**河北工业大学2020届本科毕业设计（论文）中期报告**

**毕业设计（论文）题目：年处理40万吨含混盐废水的蒸发结晶工艺及设备设计**

**专业（方向）：过程装备与控制工程**

**学生信息：161929 马旭 过程162**

**指导教师信息：98033 刘燕 副教授**

**报告提交日期：2020年4月18日**

**报告内容**：

**目 录**

[符号说明 4](#_Toc38116316)

[1 工艺计算 5](#_Toc38116317)

[1.1 蒸发过程确定 5](#_Toc38116318)

[1.2 物料衡算 6](#_Toc38116319)

[1.3 MVR热量衡算 8](#_Toc38116320)

[1.4 二效强制循环热量衡算 14](#_Toc38116321)

[2 结构设计 19](#_Toc38116322)

[2.1 MVR蒸发器结构设计 19](#_Toc38116323)

[2.2 Ⅰ效蒸发器结构设计 24](#_Toc38116324)

[2.3 Ⅱ效蒸发器结构设计 27](#_Toc38116325)

[2.4 热力压缩式热泵结构设计 32](#_Toc38116326)

[2.5 预热器结构设计 34](#_Toc38116327)

[2.6 冷凝水罐结构设计 36](#_Toc38116328)

[3 强度设计 38](#_Toc38116329)

[3.1 MVR加热室强度设计 38](#_Toc38116330)

[3.2 MVR分离室强度设计 51](#_Toc38116331)

[3.3 Ⅰ效加热室强度设计 57](#_Toc38116332)

[3.4 Ⅰ效分离室强度设计 69](#_Toc38116333)

[3.5 Ⅱ效加热室强度设计 77](#_Toc38116334)

[3.6 Ⅱ效分离室强度设计 88](#_Toc38116335)

[3.7 混合冷凝器强度设计 96](#_Toc38116336)

[3.8 冷凝水罐Ⅰ强度设计 102](#_Toc38116337)

[3.9 冷凝水罐Ⅱ强度设计 107](#_Toc38116338)

[3.10 冷凝水罐Ⅲ强度设计 112](#_Toc38116339)

[参考文献 119](#_Toc38116340)

[附录A MVR加热室SW6校核计算书 120](#_Toc38116341)

[附录B MVR分离室SW6校核计算书 135](#_Toc38116342)

[附录C Ⅰ效加热室SW6校核计算书 141](#_Toc38116343)

[附录D Ⅰ效分离室SW6校核计算书 155](#_Toc38116344)

[附录E Ⅱ效加热室SW6校核计算书 164](#_Toc38116345)

[附录F Ⅱ效分离室SW6校核计算书 179](#_Toc38116346)

[附录G 混合冷凝器SW6校核计算书 188](#_Toc38116347)

[附录H 冷凝水罐ⅠSW6校核计算书 195](#_Toc38116348)

[附录I 冷凝水罐ⅡSW6校核计算书 201](#_Toc38116349)

[附录J 冷凝水罐ⅢSW6校核计算书 207](#_Toc38116350)

# 符号说明

|  |  |
| --- | --- |
| i──阶段序号，MVR: i=0；Ⅰ效: i=1；Ⅱ效: i=2 | ∆T──压缩机温升，℃ |
| ti──各阶段进料温度，℃ | ε──压缩机压缩比 |
| ti'──各阶段出料温度(蒸发温度)，℃ | η──热利用系数 |
| t*f*──冷冻结晶温度，℃ | *Q*i──各效热负荷，kW |
| xiA/B──各阶段进料氯化钠/硫酸钠质量浓度 | *K*i──各效总传热系数，W/(m2·℃） |
| xiA/B'──各阶段出料液相氯化钠/硫酸钠质量浓度 | ∆ti──各效有效传热温差，℃ |
| xiA/B''──各阶段出料氯化钠/硫酸钠总质量浓度 | *A*i──各效换热面积，m2 |
| xfA/B──冷冻结晶后液相氯化钠/硫酸钠质量浓度 | P──压缩机轴功，kW |
| Wi──各阶段蒸发量，kg·h-1 | ηm──压缩机机械效率 |
| Di──各阶段加热蒸汽用量，kg·h-1 | ηeL──电动机效率 |
| F──MVR进料流量，kg·h-1 | m──多变指数 |
| Si──各阶段结晶量，kg·h-1 | k──绝热系数 |
| S*f*──冷冻结晶量，kg·h-1 | ηpol──压缩机多变效率 |
| Ti──各阶段加热蒸汽温度，℃ | P0──压缩机功率，kW |
| Ti'──各阶段二次蒸汽温度，℃ | qw──补充水量，kg·h-1 |
| *p*i──各阶段加热蒸汽绝对压力，kPa | *U*i──各效生产强度，kg/(m2·h) |
| *p*i'──各阶段二次蒸汽绝对压力，kPa |  |
| *p*k──末效冷凝器绝对压力，kPa |  |
| ri──各阶段加热蒸汽汽化热，kPa |  |
| ri'──各阶段二次蒸汽汽化热，kPa |  |
| Δi'──因溶液蒸汽压下降引起的沸点升高，℃ |  |
| Δi''──因加热管内液层静压强引起的沸点升高，℃ |  |
| Δi-i+1'''──因管道阻力引起的温度差损失，℃ |  |

# 1 工艺计算

## 1.1 蒸发过程确定

本蒸发工艺采用“MVR蒸发+Ⅱ效强制循环蒸发”工艺，根据任务书要求，蒸发处理脱硫废水的同时结晶出硫酸钠，结晶分盐工艺采用“高温结晶Na2SO4+冷冻结晶Na2SO4·10H2O+较高温结晶NaCl”工艺，初步估计MVR蒸发温度t0'=90℃，Ⅰ效蒸发温度t1'=100℃，Ⅱ效蒸发温度t2'=75℃，通过查阅文献确定冷冻结晶温度为tf=-5℃[[1]](#endnote-2)[1]，通过查阅“Na2SO4–NaCl–H2O”相平衡数据[[2]](#endnote-3)[2]，绘制相图，并根据相图确定蒸发过程，如图1所示。

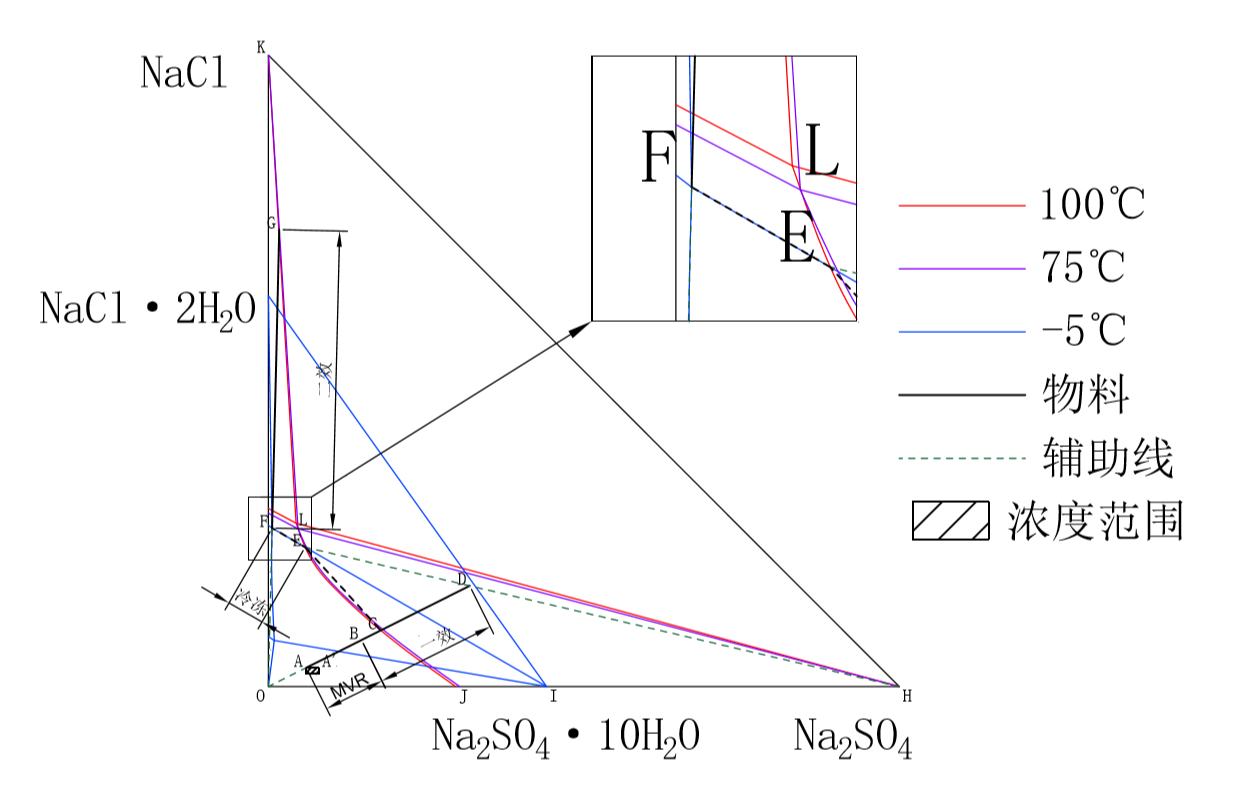


图1 三元相图及蒸发过程示意图

### 1.1.1 保证冷冻结晶只析出S10

为保证冷冻结晶时只析出S10，要保证Ⅰ效蒸发终点D对应的液相浓度点E落在S10固相结晶区内，即不得越过两固相共析线FI，因此要确定MVR蒸发量W0与Ⅰ效蒸发量W1之和W0+W1的最大值。

根据相图特性，平行于KH线的各线上H20质量浓度相等，垂直于KH线上H20质量浓度成梯度变化，点O为100%，KH线上为0%，即蒸发始末线段垂直于KH线方向上的分量长度代表蒸发水量。运用图1直接对比全进料浓度范围蒸发量得出线段AD对应蒸发量最小，MVR进料浓度A点为：氯化钠浓度x0A=3%，硫酸钠浓度x0B=6%。

### 1.1.2 保证MVR蒸发器不出现结晶

为保证MVR蒸发器不出现结晶，要保证MVR蒸发浓度终点在液相区内，初步估计的MVR蒸发温度t0'=90℃，其Na2SO4溶解度与100℃时接近且高于100℃溶解度，以此使用100℃相平衡曲线即红线确定蒸发终点从而计算最大MVR蒸发量W0。运用图1直接对比全进料浓度范围蒸发量，发现MVR进料浓度点A'：xA=3%、xB=8%对应蒸发量最小，以此蒸发量作为最大MVR蒸发量W0，MVR进料浓度点A对应蒸发浓度终点B。

### 1.1.3 保证Ⅱ效蒸发器只析出氯化钠

为保证Ⅱ效蒸发器只结晶NaCl，要保证Ⅱ效蒸发浓度终点落在氯化钠单相结晶区，运用图1直接对比全进料浓度范围对应的冷冻结晶终点浓度范围的蒸发量，线段FG为最小量，即Ⅱ效蒸发阶段的最大蒸发量。

### 1.1.4 蒸发过程概述

首先进料浓度点A通过MVR蒸发到浓度点B，之后通过Ⅰ效蒸发器蒸发到浓缩终点D，当液相浓度到达点C后，液相浓度沿曲线到达点E，同时析出硫酸钠固体，Ⅰ效蒸发器出料经稠厚器进入离心机进行固液分离，之后液相进入冷冻结晶器，冷冻后的液相浓度到达共饱和点F，同时析出十水合硫酸钠，固液分离后液相升温进入Ⅱ效蒸发器蒸发到浓缩终点G，液相到达共饱和点L，同时析出氯化钠。

## 1.2 物料衡算

根据任务书，年处理量400000t，年工作时间8000h，则

MVR进料流量。

### 1.2.1 MVR物料衡算

根据蒸发过程确定时的分析，按MVR蒸发进料浓度x0A=3%，x0B=6%进行工艺计算，而最大MVR蒸发量对应进料浓度xA=3%，xB=8%，通过图1读取最大MVR蒸发量对应结晶起点浓度xA=7.38%，xB=19.69%，根据公式（1-1）计算：

式中 F──进料流量，kg/h；

W──蒸发量，kg/h；

、──原料液和出料液中溶质质量分数。

MVR蒸发量；

MVR出料流量；

MVR出料浓度，。

### 1.2.2 Ⅰ效物料衡算

根据相图，Ⅰ效出料液相浓度为共饱和液相浓度，即氯化钠浓度x1A'=22.08%，硫酸钠浓度x1B'=5.83%，通过图1直接读取Ⅰ效出料总质量浓度：x1A''=15.96%，x1B''=31.93%，同理，根据公式（1-1）计算得：

Ⅰ效出料总流量；

Ⅰ效蒸发量。

由于此过程中氯化钠没有结晶，液相中氯化钠质量总量没变，所以

Ⅰ效出料液相流量；

Ⅰ效结晶量。

### 1.2.3 冷冻结晶物料衡算

根据相图，冷冻结晶后液相浓度即Ⅱ效进料浓度为共饱和点浓度：x2A=25.1%，x2B=0.6%，由于在此过程中氯化钠没有结晶，液相中氯化钠质量总量不变，所以

冷冻结晶器出料液相流量;

冷冻结晶量。

### 1.2.4 Ⅱ效物料衡算

根据相图，Ⅱ效出料液相浓度为共饱和液相浓度，即氯化钠浓度x2A'=25%，硫酸钠浓度x2B'=4.7%，通过图1直接读取Ⅱ效出料总质量浓度：x2A''=72.37%，x2B''=1.73%，同理，根据公式（1-1）计算得：

Ⅱ效出料总流量；

Ⅱ效蒸发量。

由于此过程中硫酸钠没有结晶，液相中硫酸钠质量总量没变，所以

Ⅱ效出料液相流量；

Ⅱ效结晶量。

### 1.2.5 物料衡算结果汇总

物料衡算结果见表1。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表1 物料衡算计算结果一览表** | | | | |
| 项目 | MVR | Ⅰ效 | 冷冻结晶 | Ⅱ效 |
| 进料浓度xA（%） | 3 | 7.38 | 22.08 | 25.1 |
| 进料浓度xB（%） | 6 | 14.77 | 5.83 | 0.6 |
| 进料流量（kg/h） | 50000.00 | 20314.19 | 6793.48 | 5976.096 |
| 出料液相浓度xA'（%） | 7.38 | 22.08 | 25.1 | 25.0 |
| 出料液相浓度xB'（%） | 14.77 | 5.83 | 0.6 | 4.7 |
| 出料液相流量（kg/h） | 20314.19 | 6793.48 | 5976.096 | 762.91 |
| 出料总浓度xA''（%） | ── | 15.96 | ── | 72.37 |
| 出料总浓度xB''（%） | ── | 31.93 | ── | 1.73 |
| 出料总流量（kg/h） | ── | 9396.73 | ── | 2072.634 |
| 结晶量S（kg/h） | ── | 2603.25 | 817.38 | 1309.73 |
| 蒸发量Wi（kg/h） | 29685.81 | 10917.46 | ── | 3903.46 |

## 1.3 MVR热量衡算

硫酸钠仅浓缩不结晶，蒸发温度在90℃左右较为合适，通过设定MVR蒸发压力，推导计算溶液沸点升高等参数，从而得出实际蒸发温度，与最佳蒸发温度90℃比对后，相差较大则调整蒸发压力，重新计算实际蒸发温度，直至符合要求。

经过取值、比对、调整，设定Ⅰ效蒸发压力*p*1'=55kPa，通过查询手册[[3]](#endnote-4)[3]确定饱和蒸汽的性质，操作压强下二次蒸汽温度T0'=83.74℃，汽化热r0'=2298.7kJ/kg。

### 1.3.1 计算溶液沸点升高

（1）因溶液蒸汽压下降引起的温度差损失Δ0'

通过公式（1-2）估算溶液沸点[[4]](#endnote-5)[4]，即

式中 Δa'━━常压下溶液蒸汽压下降引起沸点升高，℃；

Δ'━━操作压强下溶液蒸汽压下降引起沸点升高，℃；

*f* ━━校正系数，其经验计算公式为

式中 T'━━操作压强下二次蒸汽温度，℃；

r'━━操作压强下二次蒸汽汽化热，kJ/kg。

查询常压下沸点升高与浓度关系图[4]，常压下7.38%浓度氯化钠溶液沸点升高Δa'A=1.4℃，常压下14.77%浓度硫酸钠溶液沸点升高Δa'B=1.3℃，则

Δa'=Δa'A+Δa'B=1.4+1.3=2.7℃；

利用公式（1-3）求校正系数*f* ，并利用公式（1-2）求出因溶液蒸汽压下降引起的温度差损失Δ0'，即

校正系数，

溶液蒸汽压下降引起的温度差损失0.8969=2.422℃。

（2）因加热管内液柱静压强引起的沸点升高（温度差损失）Δ0''

蒸发器加热管内有一定高度液层，导致液层内部实际压强大于液面压强，由此造成一定的沸点上升，由液层中部平均压强*p*m及相应沸点为准，由此计算沸点升高Δ0''。

式中 ━━与二次蒸汽压强*p'*对应水的沸点，及二次蒸汽温度，℃；

━━与平均压强*p*m对应的纯水沸点，℃；*p*m的计算公式为

式中 *p*m━━液层中部平均压强，Pa；

*p'*━━液面压强，即二次蒸汽压强，Pa；

g━━重力加速度，m/s2；

━━液相密度，kg/m3；

l━━液层深度，m。

已设定二次蒸汽压强*p*0'=55kPa，重力加速度取g=9.8m/s2，液层深度取l=2m，由于溶液为混合溶液且温度高于常温，通过分别查询常温下总浓度数值对应的氯化钠和硫酸钠溶液密度[[5]](#endnote-6)[5]，按比重折算相加并根据温度升高适当减小密度数值，从而估算出相应温度、浓度下的混合物料密度。估算得到MVR液相密度=1146 kg/m3，由式（1-5）计算得：

液层中部平均压强，

查询饱和水性质[3]，由65kPa和70kPa对应沸点数据通过内插法求得，由式（1-5）计算得：

液柱静压强引起沸点升高。

（3）沸点和温度差损失

溶液总温度差损失为各温度差损失之和，其中Δ0'''此情况不考虑，即

总温度差损失；

沸点；

实际蒸发温度与最佳蒸发温度90℃较为接近，符合要求。

### 1.3.2 计算蒸汽消耗量及换热面积

（1）加热蒸汽（再压缩后蒸汽）消耗量

查阅文献[[6]](#endnote-7)[6]，MVR蒸发要保持有效温差在5-8℃，因总温度差损失，设定压缩机温升。计算压缩后的蒸汽温度：

MVR加热蒸汽温度，

查询饱和蒸汽性质[3]，由98℃和99℃对应压强数据通过内插法求得加热蒸汽压力*p*0=96.85kPa，计算：

压缩比。

当加热蒸汽冷凝液在蒸汽饱和温度下排出，且溶液无明显浓缩热（可忽略），且考虑热损失，且物料采用沸点进料时，蒸汽消耗量计算公式为[4]

式中 D━━加热蒸汽消耗量，kg/h；

W━━蒸发量，即二次蒸汽量，kg/h；

r━━加热蒸汽汽化热，kJ/kg；

r'━━二次蒸汽汽化热，kJ/kg。

η━━热利用系数，kJ/kg。

将物料预热至沸点进料；查阅资料[[7]](#endnote-8)[7]，忽略浓缩热的物料取η=0.98；查询饱和蒸汽性质[3]，由98℃和99℃对应汽化热数据通过内插法求得加热蒸汽汽化热r0=2259.986 kJ/kg；已查得r0'=2298.7kJ/kg，计算：

MVR加热蒸汽消耗量；

蒸汽量差。

（2）换热面积

换热面积的计算按照式（1-7）[4]

式中 A━━换热面积，m2；

K━━总传热系数，W/(m2·℃）；一般查询资料取经验值；

Δt━━有效传热温差，℃；

Q━━热负荷，W；Q按照式（1-8）计算

式中 D━━加热蒸汽消耗量，kg/h；

r━━加热蒸汽汽化热，kJ/kg。

根据式（1-8），计算：

MVR热负荷，

查询蒸发器总传热系数经验值[7]，根据物料浓度、结垢情况等特性，取MVR总传热系数K0=1600 W/(m2·℃），Δt0计算：

MVR有效传热温差，

由式（1-7）计算：

MVR换热面积。

### 1.3.3 压缩机功率及补充水量计算

（1）压缩机功率

查阅相关文献[6],[[8]](#endnote-9)[8]，离心压缩机功率计算公式为

式中 ηm━━压缩机机械效率；

ηeL━━电动机效率；

P━━压缩机轴功，kW；按式（1-10）计算

式中 *p* ━━压缩机进口压力，Pa；

V━━压缩机进口体积流量，m3/s；

ε━━压缩比；

m━━多变指数；按式（1-11）计算

式中 ηpol━━压缩机多变效率；

k━━绝热系数。

参考文献[[9]](#endnote-10)[9]，取绝热系数k=1.33，ηpol=0.79（0.7-0.84），由（1-11）计算得：

多变指数，；

查询饱和蒸汽密度[5]，由50kPa和60kPa对应密度数据通过内插法求得55kPa进口蒸汽密度=0.3375kg/m3，根据已知参数，计算得：

进口体积流量，参考文献[[10]](#endnote-11)[10]-[[11]](#endnote-12)[11]，取ηm=0.96，ηeL=0.9，根据其他已知参数，由式（1-10）、式（1-9）计算得：

压缩机轴功；

压缩机功率。

（2）补充水量

由于压缩机出口为过热蒸汽，需要一定补充水消除过热度，补充水消耗量由式（1-12）通过能量守恒计算得出：

式中 qw━━补充水量，kg/h；

hw━━补充水焓值，kJ/kg；

qs━━压缩机进口流量，即W0，kg/h；

has━━饱和蒸汽焓值，kJ/kg；由加热蒸汽温度查表得；

hd━━压缩机出口焓值，kJ/kg；由压缩机出口温度压力查表得；出口压力即加热蒸汽压力，出口温度由式（1-13）计算：

式中 Ts、Td━━压缩机进出口温度，K；Ts即二次蒸汽温度；

ps、pd━━压缩机进出口压力，kPa；即二次蒸汽压力、加热蒸汽压力。

根据已知条件，利用式（1-13）计算，得:

压缩机出口温度；

查询过热蒸汽、饱和蒸汽和不饱和水蒸汽性质[5]，由80kPa、100 kPa和150℃、160℃四个数据通过内插法计算得hd=2782.45kJ/kg；由95 kPa和100 kPa数据通过内插法计算得has=2673.7 kJ/kg；直接利用蒸馏水作为补充水，设可利用蒸馏水温度为90℃，压力为100kPa，其焓值hw=376.96 kJ/kg，运用式（1-12）计算得：

补充水量。

所需蒸汽量与实际蒸汽量差，

相对误差，误差较小，符合要求。

### 1.3.4 MVR蒸发计算结果汇总

MVR换热面积及压缩机功率计算结果见表2，表3。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表2 MVR换热面积计算结果一览表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值 | 单位 | 备注 |
| 进料流量 | F | 50000 | kg/h | 之前部分求得 |
| 蒸发量 | W0 | 29685.81 | kg/h | 之前部分求得 |
| 氯化钠出料浓度 | x0A' | 7.38% | ── | 之前部分求得 |
| 硫酸钠出料浓度 | x0B' | 14.77% | ── | 之前部分求得 |
| 蒸发压力（二次蒸汽压力） | *p*0' | 55 | kPa | 自定 |
| 蒸汽压下降沸点升高 |  | 2.422 | ℃ |  |
| 液层静压力沸点升高 |  | 4.757 | ℃ |  |
| 物料沸点（蒸发温度） |  | 90.91 | ℃ | 接近90℃ |
| 压缩机温升 |  | 15 | ℃ | 自定 |
| 有效温差 |  | 7.82 | ℃ |  |
| 加热蒸汽温度 | T0 | 98.736 | ℃ |  |
| 加热蒸汽压力 | *p*0 | 96.95 | kPa |  |
| 加热蒸汽消耗量 | D0 | 30810.54 | kg/h |  |
| 蒸汽量差 | ── | 1124.73 | kg/h |  |
| 热负荷 | Q0 | 19342.1 | kW |  |
| 总传热系数 | K0 | 1600 | W/(m2·℃） |  |
| 换热面积 | A0 | 1545.55 | m2 |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表3 MVR离心压缩机功率及补充水量计算结果一览表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值 | 单位 | 备注 |
| 绝热指数 | k | 1.33 | ── |  |
| 多变效率 | ηpol | 0.79 | ── |  |
| 多变指数 | m | 0.46 | ── |  |
| 进口体积流量（二次蒸汽量） | V | 87957.95 |  |  |
| 压缩机轴功 | P | 832.1 | kW |  |
| 机械效率 | ηm | 0.96 | ── |  |
| 电动机效率 | ηeL | 0.9 | ── |  |
| 压缩机功率 | P0 | 963.1 | ── |  |
| 压缩机温升 |  | 15 | ℃ | 自定 |
| 进口温度（二次蒸汽温度） |  | 90.91 | ℃ | 之前部分求得 |
| 进口压力（二次蒸汽压力） | *p*s | 55 | kPa | 自定 |
| 出口温度（过热蒸汽温度） |  | 153.14 | ℃ |  |
| 加热蒸汽温度 | T0 | 98.736 | ℃ | 之前部分求得 |
| 进口压力（加热蒸汽压力） | *p*s | 55 | kPa | 自定 |
| 加热蒸汽压力 | *p*0 | 96.95 | kPa | 之前部分求得 |
| 压缩比 | ε | 1.76 | ── |  |
| 补充水温度 | tw | 90 | ℃ | 自定 |
| 补充水压力 | *p*w | 100 | kPa | 自定 |
| 补充水量 |  | 1405.57 | kg/h |  |
| 总加热蒸汽(循环蒸汽量)富余 |  | 280.84 | kg/h |  |

## 1.4 二效强制循环热量衡算

由于考虑结晶分盐问题，其蒸发量要符合根据相图确定的蒸发过程，同时考虑Ⅰ效蒸发器内硫酸钠最佳蒸发温度，因此，蒸发量、有效温度差分配，要从多方面考虑。

首先初步估计各效蒸发温度即为相图中的t1'=100℃，t2'=75℃，选定生蒸汽压力*p*1=200kPa，末效冷凝器压力*p*k=20kPa。

查询饱和蒸汽性质[3]，生蒸汽温度T1=120.24℃，冷凝器压力对应饱和温度Tk=60.065℃，取Ⅱ效蒸发器到冷凝器管道阻力造成的温度差损失，则

操作压力下Ⅱ效二次蒸汽温度，

查询饱和蒸汽性质[3]，由61℃和62℃对应压强数据通过内插法求得Ⅱ效二次蒸汽压力*p*2'=20.94kPa，Ⅱ效二次蒸汽汽化热。

### 1.4.1 等压差原则初估总有效温差

以等压差原则确定Ⅰ效蒸发压力，相应的推导其他参数，从而计算沸点升高，初步估算出总有效传热温差。各效平均压强降由式（1-14）计算：

式中 ━━各效平均压强差，kPa；

、━━生蒸汽压力、冷凝器压力，kPa；

n━━总效数。

根据式（1-14）计算：

各效平均压强降；

Ⅰ效二次蒸汽压强。

（1）因溶液蒸汽压下降引起的温度差损失Δ1'，Δ2'

查询常压下沸点升高与浓度关系图[4]，常压下22.1%浓度氯化钠溶液沸点升高Δa'A=4.8℃，常压下5.8%浓度硫酸钠溶液沸点升高Δa'B=0.42℃；常压下25%浓度氯化钠沸点升高Δa'A=5.2℃，常压下4.7%浓度硫酸钠溶液沸点升高Δa'B=0.24℃则

Ⅰ效Δa'=Δa'A+Δa'B=4.8+0.42=5.22℃；

Ⅱ效Δa'=Δa'A+Δa'B=5.2+0.24=5.44℃；

通过查询饱和水蒸气性质[3]，Ⅰ效二次蒸汽温度，Ⅰ效二次蒸汽汽化热，前文已查得Ⅱ效数据，利用公式（1-3）求校正系数*f* ，并利用公式（1-2）求出因溶液蒸汽压下降引起的温度差损失Δ'，即

Ⅰ效校正系数，

Ⅰ效溶液蒸汽压下降引起的温度差损失；

Ⅱ效校正系数，

Ⅱ效溶液蒸汽压下降引起的温度差损失。

（2）因加热管内液柱静压强引起的沸点升高（温度差损失）Δ1''，Δ2''

已求得Ⅰ效二次蒸汽压强*p*1'=100kPa，Ⅱ效二次蒸汽压强*p*2'=20.94kPa，重力加速度取g=9.8m/s2，液层深度取l=2m。通过分别查询常温下总浓度数值对应的氯化钠和硫酸钠溶液密度[5]，按比重折算相加并根据温度升高适当减小密度数值，从而估算出相应温度、浓度下的混合物料密度。估算得到Ⅰ效液相密度=1384.11kg/m3，Ⅱ效液相密度=1701.59kg/m3，由式（1-5）计算得：

Ⅰ效液层中部平均压强；

Ⅱ效液层中部平均压强。

查询饱和水性质[3]，由120kPa和130kPa对应沸点数据通过内插法求得Ⅰ效，由36kPa和38kPa对应沸点数据通过内插法求得Ⅱ效，由式（1-5）计算得：

Ⅰ效液层静压强引起沸点升高；

Ⅱ效液层静压强引起沸点升高。

（3）沸点和温度差损失

溶液总温度差损失为各温度差损失之和，取，即

总温度差损失；

Ⅰ效沸点；

Ⅱ效沸点；

Ⅰ效有效温差；

Ⅱ效有效温差；

总有效传热温差。

### 1.4.2 等生产强度原则重新分配总有效温差

（1）重新分配有效温差

因各效蒸发量主要根据分盐结晶设计，其换热面积应根据蒸发量来确定。等生产强度原则的各效换热面积与蒸发量成比例，有效传热温差按照式（1-15）分配[[12]](#endnote-13)[12]。

式中 ━━各效有效传热温差，℃；

━━各效总传热系数，W/(m2·℃）；

n━━多效蒸发总效数。

查询蒸发器总传热系数经验值[7]，根据物料浓度、结垢情况等特性，取Ⅰ效蒸发器总传热系数K1=1200 W/(m2·℃），Ⅱ效蒸发器总传热系数K2=1100 W/(m2·℃）。由式（1-15）计算：

等生产强度原则Ⅱ效有效传热温差估值，

等生产强度原则Ⅰ效有效传热温差估值。

### 1.4.3 核算沸点升高并调整各效传热温差

因Ⅱ效蒸发温度、压力无变化，其沸点升高也不发生变化，根据这些已知固定参数，以Ⅱ效有效传热温差估值反推其他参数，重新计算Ⅰ效蒸发压力、温度、沸点升高、沸点等数值，得到大于估值，因此总有效温差有增大趋势，调大Ⅱ效有效传热温差估值后，根据等生产强度原则计算理想Ⅰ效有效传热温差，同时通过反推Ⅰ效蒸发压力、温度、沸点升高、沸点等数值，得出实际Ⅰ效有效传热温差，与比对后，误差较大则继续调整，直至与相对误差满足要求。

（1）调整反推其他参数

经过反复调整，最终自定，通过等生产强度原则计算：

理论Ⅰ效有效传热温差。

反推其他参数：

Ⅱ效加热蒸汽温度，

Ⅰ效二次蒸汽温度。

（2）计算实际Ⅰ效有效温差

已查得询并计算得Ⅰ效Δa'=5.22℃，通过查询饱和水蒸气性质[3]，由96℃和97℃对应汽化热数据通过内插法求得Ⅰ效二次蒸汽汽化热，利用公式（1-3）求校正系数*f* ，并利用公式（1-2）求出因溶液蒸汽压下降引起的温度差损失Δ'，即

校正系数；

溶液蒸汽压下降引起的温度差损失。

通过查询饱和水蒸气性质[3]，由96℃和97℃对应压强数据通过内插法求得Ⅰ效二次蒸汽压强*p*1'=90.88kPa，重力加速度取g=9.8m/s2，液层深度取l=2m。已估算出相应温度、浓度下的混合物料密度=1384.11kg/m3，由式（1-5）计算得：

Ⅰ效液层中部平均压强；

查询饱和水性质[3]，由100kPa和110kPa对应沸点数据通过内插法求得Ⅰ效，计算：

Ⅰ效液层静压强引起沸点升高；

Ⅰ效总沸点升高；

Ⅰ效沸点；

实际Ⅰ效有效温差；

总有效传热温差。

（3）比对与

相对误差；

实际Ⅰ效有效温差与理想Ⅰ效有效传热温差较为接近，符合等生产强度原则；且此时Ⅰ效沸点，Ⅱ效沸点，与蒸发过程确定时的，Ⅱ效沸点较为接近，且根据相图，小范围改变Ⅰ效蒸发温度对硫酸钠溶解度不大，因此方案较为合理。

### 1.4.4 计算蒸汽消耗量及换热面积

（1）蒸汽消耗量

Ⅰ效、Ⅱ效都将物料预热至沸点进料；查阅资料[7]，忽略浓缩热的物料取η=0.98；查询饱和蒸汽性质[3]，Ⅰ效加热蒸汽汽化热，由95℃和96℃对应压强和汽化热数据通过内插法求得Ⅱ效加热蒸汽压力，Ⅱ效加热蒸汽汽化热，已查得r1'=2264.56kJ/kg，根据式（1-6）计算：

生蒸汽消耗量；

Ⅱ效蒸汽消耗量；

剩余Ⅰ效二次蒸汽量。

（2）换热面积

根据式（1-8）计算热负荷，根据式（1-7）计算换热面积：

Ⅰ效热负荷；

Ⅱ效热负荷；

Ⅰ效换热面积；

Ⅱ效换热面积。

生产强度的计算按式（1-16）：

式中 U━━生产强度（单位传热面积上单位时间内的蒸发量），kg/(m2·h)；

W━━蒸发量，；

S━━换热面积，。

根据式（1-16）计算：

Ⅰ效生产强度；

Ⅱ效生产强度；

相对误差，较为接近，符合要求。

### 1.4.5 两效强制循环计算结果汇总

两效强制循环计算结果见表4。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表4 两效强制循环计算结果一览表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值 | 单位 | 备注 |
| Ⅰ效加热蒸汽压力 | *p*1 | 200 | kPa | 自定 |
| Ⅰ效加热蒸汽温度 | T1 | 120.24 | ℃ |  |
| Ⅰ效二次蒸汽压力 | *p*1' | 90.88 | kPa |  |
| Ⅰ效二次蒸汽温度 | T1' | 96.98 | ℃ |  |
| Ⅱ效加热蒸汽压力 | *p*2 | 82.62 | kPa |  |
| Ⅱ效加热蒸汽温度 | T2 | 95.98 | ℃ |  |
| Ⅱ效二次蒸汽压力 | *p*2' | 20.94 | kPa | 自定 |
| Ⅱ效二次蒸汽温度 | T2' | 61.065 | ℃ |  |
| Ⅰ效沸点升高 |  | 7.29 | ℃ |  |
| Ⅱ效沸点升高 |  | 17.51 | ℃ |  |
| 总阻力温度差损失 |  | 2 | ℃ |  |
| Ⅰ效沸点 |  | 104.27 | ℃ |  |
| Ⅱ效沸点 |  | 78.58 | ℃ |  |
| Ⅰ效有效温差 |  | 15.97 | ℃ |  |
| Ⅱ效有效温差 |  | 17.4 | ℃ |  |
| Ⅰ效生蒸汽用量 | D1 | 11458.32 | kg/h |  |
| Ⅱ效蒸汽用量 | D2 | 4137.53 | kg/h |  |
| Ⅰ效二次蒸汽剩余 |  | 6779.93 | kg/h |  |
| Ⅰ效热负荷 | Q1 | 7007.72 | kW |  |
| Ⅱ效热负荷 | Q2 | 2605.68 | kW |  |
| Ⅰ效蒸发器总传热系数 | K1 | 1200 | W/(m2·℃） |  |
| Ⅱ效蒸发器总传热系数 | K2 | 1100 | W/(m2·℃） |  |
| Ⅰ效换热面积 | A1 | 365.63 | m2 |  |
| Ⅱ效换热面积 | A2 | 136.14 | m2 |  |
| Ⅰ效生产强度 | U1 | 29.86 | kg/(m2·h) |  |
| Ⅱ效生产强度 | U2 | 28.67 | kg/(m2·h) |  |

# 2 结构设计

## 2.1 MVR蒸发器结构设计

### 2.1.1 MVR加热室结构设计

① 采用MVR降膜蒸发器，MVR换热面积，考虑安全余量，计算得

MVR实际换热面积。

② 选取加热管：根据废水特性，考虑氯离子腐蚀设备，采用钛材无缝钢管，根据GB/T 3625-2007，选用：管 TA2 S M 38×1.5×12000。

③ 计算加热管根数：按照式（2-1）计算：

式中 ━━换热管根数；

━━换热面积，取考虑安全余量后的实际换热面积，；

━━换热管外径，；

L━━换热管长度，。

根据式（2-1）计算得：

换热管根数，取整，

换热管根数。

④ 确定换热管排列方式：采用正三角形排列，根据GB/T 151-2014，确定排列中心距为48mm。

⑤ 确定加热室壳径：根据物料特性，加热室筒体材料选用S30408（304不锈钢），加热室壳体内径按式（2-2）计算：

式中 ━━壳体内径，；

━━换热管排列中心距，；

━━最外层六边形或同心圆直径上的管数；

━━最外层换热管中心到壳体内壁距离，。一般取。

查询《常用化工单元设备得设计》表8-3[7]，取管子层数，则；取，计算得：

加热室壳体内径。

内径1938mm筒体六角形内最大排管数1141，包括弓形面积最大排管数1303；但通过实际布管，内径1900mm筒体包括弓形面积的最大排管数为1248，大于1178，可以排开，因此MVR加热室壳程筒体内径。

### 2.1.2 MVR加热室附件设计

① 折流板及拉杆：采用单弓形折流板，根据GB/T 151-2014，弦高占比0.20-0.45；取弦高占比0.25，计算得：

初估弦高；

根据计算，选取弦高，此弦高对应折流板缺口处恰好在两换热管间。

折流板最小间距不宜小于圆通内径的1/5且不小于50mm，即折流板间距不小于380mm；对于外径38mm的钛材换热管，其最大无支撑跨距为2200mm。综合考虑确定折流板间距为600mm，折流板数量19块。

根据GB/T 151-2014，对于外径38mm换热管，拉杆直径=16mm，同时对于筒体内径1900mm换热器，拉杆数量12根。换热管与拉杆总数1199根，小于最大排管数1248根，筒体内径满足要求。

② 布液器：首先确定溢流强度是否满足降膜蒸发器要求，根据文献[[13]](#endnote-14)[13]，溢流强度计算按式（2-3）计算：

式中 ━━溢流强度，；

━━进入降膜蒸发器的料液体积流量，；

━━换热管根数；

━━换热管内径，。

原料质量流量50000kg/h，查询估算得原料密度1030.37kg/m3，计算得

原料体积流量；计算得

溢流强度。

文献[13]指出，溢流强度要大于最小溢流强度，小于满流强度，满足要求。

采用盘式布液器，上布液器高度350mm，下布液器高度100mm，布液器筛孔排列形式为直线型。根据资料[[14]](#endnote-15)[14]，按式（2-4）计算小孔直径。

式中 ━━单个小孔体积流量，；

━━小孔直径，；

━━小孔流量系数，，取；

━━盘上液层高度，；

━━重力加速度，取。

初估小孔数量1227个，根据式（2-4）计算得小孔孔径为5.26mm。

③ 上、下器体（管箱）：筒体采用S22053+Q245R复合钢板，内径1900mm，上器体筒体长度700mm，保证足够空间安装盘式布液器，下器体筒体长度2200mm，保证一定的气液分离空间；封头材料同筒体，上下封头都采用标准椭圆封头，内径1900mm，直边高度40mm。

④ 管板：管板一侧接触废水料液，一侧接触饱和蒸汽，采用钛-钢复合板，覆材选用TA2，基材选用S30408。管板与换热管连接方式采用焊账并用。

⑤ 蒸汽进口、排气孔、排液孔、疏水器：蒸汽进口设置膨胀节、防冲挡板，设置上、下不凝气出口接管，设置冷凝液出口接管，设置疏水阀。

### 2.1.3 MVR分离室结构设计

①分离室直径：分离室材料采用S22053+Q245R复合钢板。根据《传热传质过程设备设计》[[15]](#endnote-16)[15]，采用近似比例法，其内径由式（2-5）计算：

式中 ━━筒体内径，；

━━二次蒸汽体积流量，；

━━料液/二次蒸汽密度，。

已知蒸发量，查询估算得，，计算得分离室内径，圆整为。

②分离室高度：分离室高度应按高径比1~2计算，并考虑液层以上高度满足气液分离要求，一般大直径分离室高度应在直径基础上加2m左右。初定高径比1.5，计算得分离室高度，按直径加2m计算。

取分离室高度H，实际高径比1.48。

### 2.1.4 MVR分离室附件设计

① 气液分离器：根据文献[[16]](#endnote-17)[16]，应用在蒸发器中，处理可溶性盐物系，采用径流折板式或径流丝网式，其中径流折板式适用于含固粒浆状物系，更抗结垢，因此采用径流折板式。

② 顶盖和底盖：顶盖和底盖封头都采用S22053+Q245R复合钢板，其中顶盖（上封头）采用标准椭圆封头，内径4200mm，直边高度40mm；底盖（下封头）采用两端折边锥形封头，大端内径4200mm，小端内径等于出料接管内径，半锥角45°，大端折边半径630mm，小端折边半径100mm，大端直边高度40mm。

### 2.1.5 MVR蒸发器接管设计

接管内径按式（2-6）计算，并根据HG/T 20395-2009圆整到标准尺寸。

式中 ━━各接管内流体体积流量，；

圆整至标准公称直径，mm。

1. 加热蒸汽接管：位于加热室壳程筒体，采用S30408钢板卷制钢管。加热蒸汽流速取50m/s；已知加热蒸汽总流量为31091kg/h，加热蒸汽温度98.74℃，查询估算加热蒸汽密度0.575kg/m3，计算得加热蒸汽体积流量为15.01m3/s，由式（2-6）计算得：

加热蒸汽接管直径，取公称直径DN 600mm。

② 二次蒸汽接管：位于分离室上封头，采用S22053钢板卷制钢管。二次蒸汽流速取50m/s；已知二次蒸汽流量为29686kg/h，二次蒸汽温度83.74℃，查询估算二次蒸汽密度0.341kg/m3，计算得二次蒸汽体积流量为24.15m3/s，由式（2-6）计算得：

二次蒸汽接管直径，取公称直径DN 800mm。

③ 进料接管：位于加热室上器体（管箱）封头，采用S22053无缝钢管。原料液流速取1.5m/s；已知原料液流量为50000kg/h，查询估算得原料液密度1030.67kg/m3，计算得原料液体积流量为0.0135m3/s，由式（2-6）计算得：

进料接管直径，取公称直径DN 100mm。

④ 出料接管：位于分离室下封头底部（锥壳小端），采用S22053无缝钢管。出料液流速取1.1m/s；已知出料液流量为20314kg/h，查询估算得出料液密度1146.00kg/m3，计算得出料体积流量为0.0049m3/s，由式（2-6）计算得：

出料接管直径，取公称直径DN 80mm。

⑤ 上、下不凝气接管：位于加热室壳程筒体，上下各一个，采用S30408无缝钢管。不凝气流速取50m/s；不凝气流量按加热蒸汽量0.5%，为0.075m3/s，则每一个接管为0.038 m3/s，由式（2-6）计算得：

不凝气接管直径，取公称直径DN 32mm。

⑥ 冷凝水接管：位于加热室壳程筒体，采用S30408无缝钢管。冷凝水流速取0.6m/s；已知冷凝水流量为31091kg/h，；冷凝水温度为98.74℃，查询估算得冷凝水密度959.27kg/m3，计算得冷凝水体积流量为0.009m3/s，由式（2-6）计算得：

冷凝水接管直径，取公称直径DN 150mm。

⑦ 连接管：连接加热室下器体（管箱）筒体和分离室筒体之间，采用S22053+Q245R复合钢板。类比上循环管设计，采用圆管，直径取分离室直径的0.2~0.3倍，此处取0.3，则；参考相关资料[14]，采用方管，管高为2倍管宽，流体速度取18m/s，计算圆整得方管宽815mm，高1630mm。

### 2.1.6 MVR蒸发器辅助设备

① 冷凝器：MVR蒸发无末效蒸汽，产生的不凝气较少，根据文献[[17]](#endnote-18)[17]，设置板式换热器，利用低温原料冷凝。为保证冷凝效果，需冷凝的蒸汽量按加热蒸汽的1%计算，大于不凝气接管设计时假设的0.5%，则需冷凝蒸汽量为296.86kg/h。

已知进气温度98.74℃，假设原料温度15℃，由于原料量较大，蒸汽量较小，认为原料温度不变化，则原料出冷凝器温度为15℃，假设冷凝水排出温度比原料出冷凝器温度高5℃，则冷凝水排出温度为20℃。

该冷凝过程为先冷凝再降温，查询得100℃饱和蒸汽汽化热为2259.99，水的比热容为4.212，求得热负荷分别为186.36kW和27.35kW；冷凝过程传热系数取3500，降温过程传热系数取3000；冷凝过程传热温差为83.74℃，降温过程对数传热温差为27.94℃。

根据式（1-7）计算换热面积，得总换热面积为0.962。考虑原料水温变化幅度较大等因素，为保证冷凝效果，取1.2倍计算换热面积，即1.15。

② 真空泵：参考《常用化工单元设备的设计》[7]，真空泵排出气体量G由式（2-7）计算：

式中 ━━真空系统渗漏的空气量，；

━━料液释放的不凝性气体量，；

━━直接混合冷凝器中冷却水释放不凝性气体量，；

━━蒸发过程在流体的饱和蒸汽压当量值，；

━━不凝气夹带的蒸汽量，；

按10%冷凝蒸汽计算，为29.69；忽略不计；没有使用直接混合冷凝器，忽略不计；计算得，0.455；忽略不计。由式（2-7）计算得：

真空泵排出气体量；

不凝性气体主要成分为空气，因此吸气量计算得，26.17，实际吸气量取1.5倍计算吸气量，为39.3。

## 2.2 Ⅰ效蒸发器结构设计

### 2.2.1 Ⅰ效加热室结构设计

① 采用强制循环蒸发器，Ⅰ效换热面积，考虑安全余量，计算得

Ⅰ效实际换热面积。

② 选取加热管：根据废水特性，考虑氯离子腐蚀设备，采用钛材无缝钢管，根据GB/T 3625-2007，选用：管 TA2 S M 38×1.5×6000。

③ 计算加热管根数：根据式（2-1）计算得：

换热管根数，取整，

换热管根数。

④ 确定换热管排列方式：采用正三角形排列，根据GB/T 151-2014，确定排列中心距为48mm。

⑤ 确定加热室壳径：根据物料特性，加热室筒体材料选用S30408（304不锈钢），加热室壳体内径按式（2-2）计算；查询《常用化工单元设备得设计》表8-3[7]，取管子层数，则；取，计算得：

加热室壳体内径。

内径1362mm筒体六角形内最大排管数547根，包括弓形面积最大排管数613；通过实际布管，内径1300mm筒体包括弓形面积的最大排管数为554根，小于613根，不能排开，因此Ⅰ效加热室壳程筒体内径。

### 2.2.2 Ⅰ效加热室附件设计

① 折流板及拉杆：采用单弓形折流板，根据GB/T 151-2014，弦高占比0.20-0.45；取弦高占比0.25，计算得：

初估弦高；

根据计算，选取弦高，此弦高对应折流板缺口处恰好在两换热管间。

折流板最小间距不宜小于圆通内径的1/5且不小于50mm，即折流板间距不小于280mm；对于外径38mm的钛材换热管，其最大无支撑跨距为2200mm。综合考虑确定折流板间距为600mm，折流板数量9块。

根据GB/T 151-2014，对于外径38mm换热管，拉杆直径=16mm，同时对于筒体内径1400mm换热器，拉杆数量8根。换热管与拉杆总数570根，小于最大排管数613根，筒体内径满足要求。

② 上、下器体（管箱）：筒体采用S22053+Q245R复合钢板，内径1400mm，上器体筒体长度800mm，保证足够空间安装上循环管，下器体筒体长度400mm；封头材料同筒体，上下封头都采用标准椭圆封头，内径1400mm，直边高度25mm。

③ 管板：管板一侧接触废水料液，一侧接触饱和蒸汽，采用钛-钢复合板，覆材选用TA2，基材选用S30408。管板与换热管连接方式采用焊账并用。

⑤ 蒸汽进口、排气孔、排液孔、疏水器：蒸汽进口设置膨胀节、防冲挡板，设置上、下不凝气出口接管，设置冷凝液出口接管，设置疏水阀。

### 2.2.3 Ⅰ效分离室结构设计

① 分离室直径：分离室材料采用S22053+Q245R复合钢板。其内径由式（2-5）计算：已知蒸发量，查询估算得，，计算得分离室内径，圆整为。

②分离室高度：分离室高度应按高径比1~2计算，并考虑液层以上高度满足气液分离要求，一般大直径分离室高度应在直径基础上加2m左右。初定高径比1.5，计算得分离室高度，按直径加2m计算。

取分离室高度H，实际高径比1.64。

### 2.2.4 Ⅰ效分离室附件设计

① 气液分离器：根据文献[16]，应用在蒸发器中，处理可溶性盐且含固粒浆状物系，径流折板式更抗结垢，因此采用径流折板式。

② 顶盖和底盖：顶盖和底盖封头都采用S22053+Q245R复合钢板，其中顶盖（上封头）采用标准椭圆封头，内径2200mm，直边高度40mm；底盖（下封头）采用两端折边锥形封头，大端内径2200mm，小端内径等于下循环管内径，半锥角45°，大端折边半径330mm，小端折边半径105mm，大端直边高度40mm。

### 2.2.5 Ⅰ效蒸发器接管设计

① 加热蒸汽接管：位于加热室壳程筒体，采用S30408无缝钢管。加热蒸汽流速取30m/s；已知加热蒸汽流量为11458.32kg/h，加热蒸汽温度120.24℃，查询估算加热蒸汽密度1.129kg/m3，计算得加热蒸汽体积流量为2.82m3/s，由式（2-6）计算得：

加热蒸汽接管直径，取公称直径DN 350mm。

② 二次蒸汽接管：位于分离室上封头，采用S22053无缝钢管。二次蒸汽流速取40m/s；已知二次蒸汽流量为10917.46kg/h，二次蒸汽温度96.98℃，查询估算二次蒸汽密度0.5448kg/m3，计算得二次蒸汽体积流量为5.57m3/s，由式（2-6）计算得：

二次蒸汽接管直径，取公称直径DN 450mm。

③ 进料接管：位于分离室筒体，采用S22053无缝钢管。进料流速取1m/s；已知进料流量为20314.19kg/h，查询估算得进料液密度1140kg/m3，计算得进料体积流量为0.0495m3/s，由式（2-6）计算得：

进料接管直径，取公称直径DN 80mm。

④ 出料接管：位于分离室下封头一侧，采用S22053无缝钢管。出料液流速取1m/s；已知出料液流量为9396.73kg/h，查询估算得出料液密度1384.11kg/m3，计算得出料体积流量为0.0019m3/s，由式（2-6）计算得：

出料接管直径，取公称直径DN 50mm。

⑤ 上、下不凝气接管：位于加热室壳程筒体，上下各一个，采用S30408无缝钢管。不凝气流速取50m/s；不凝气流量按加热蒸汽量0.5%，为0.014m3/s，则每一个接管为0.007 m3/s，由式（2-6）计算得：

不凝气接管直径，取公称直径DN 15mm。

⑥ 冷凝水接管：位于加热室壳程筒体，采用S30408无缝钢管。冷凝水流速取0.6m/s；已知冷凝水流量为11458.32kg/h，；冷凝水温度为120.24℃，查询估算得冷凝水密度943.2kg/m3，计算得冷凝水体积流量为0.003m3/s，由式（2-6）计算得：

冷凝水接管直径，取公称直径DN 80mm。

⑦ 上、下循环管：上循环管连接加热室上器体（管箱）筒体和分离室筒体，下循环管连接加热室下器体（管箱）封头和分离室下封头底部（锥壳小端）；采用S22053+Q245R复合钢板。上循环管直径取分离室直径的0.2~0.3倍，此处取0.2，则，圆整后上循环管直径为500mm；下循环管直径与换热管总截面积之比为0.8~1.1，此处取0.8，计算得，圆整后下循环管直径为700mm。

循环速度取1.5~2.5m/s，此处取2m/s，则循环量为2771m3/h。

## 2.3 Ⅱ效蒸发器结构设计

### 2.3.1 Ⅱ效加热室结构设计

① 采用强制循环蒸发器，Ⅱ效换热面积，考虑安全余量，计算得

Ⅱ效实际换热面积。

② 选取加热管：根据废水特性，考虑氯离子腐蚀设备，采用钛材无缝钢管，根据GB/T 3625-2007，选用：管 TA2 S M 38×1.5×6000。

③ 计算加热管根数：根据式（2-1）计算得：

换热管根数，取整，

换热管根数。

④ 确定换热管排列方式：采用正三角形排列，根据GB/T 151-2014，确定排列中心距为48mm。

⑤ 确定加热室壳径：根据物料特性，加热室筒体材料选用S30408（304不锈钢），加热室壳体内径按式（2-2）计算；查询《常用化工单元设备得设计》表8-3[7]，取管子层数，则；取，计算得：

加热室壳体内径。

内径882mm筒体六角形内最大排管数217根，包括弓形面积最大排管数241；通过实际布管，内径800mm筒体不能排开，因此Ⅰ效加热室壳程筒体内径。

### 2.3.2 Ⅱ效加热室附件设计

① 折流板及拉杆：采用单弓形折流板，根据GB/T 151-2014，弦高占比0.20-0.45；取弦高占比0.25，计算得：

初估弦高；

根据计算，选取弦高，此弦高对应折流板缺口处恰好在两换热管间。

折流板最小间距不宜小于圆通内径的1/5且不小于50mm，即折流板间距不小于180mm；对于外径38mm的钛材换热管，其最大无支撑跨距为2200mm。综合考虑确定折流板间距为600mm，折流板数量9块。

根据GB/T 151-2014，对于外径38mm换热管，拉杆直径=16mm，同时对于筒体内径900mm换热器，拉杆数量6根。换热管与拉杆总数216根，小于最大排管数241根，筒体内径满足要求。

② 上、下器体（管箱）：筒体采用S22053+Q245R复合钢板，内径900mm，上器体筒体长度800mm，保证足够空间安装上循环管，下器体筒体长度400mm；封头材料同筒体，上下封头都采用标准椭圆封头，内径900mm，直边高度25mm。

③ 管板：管板一侧接触废水料液，一侧接触饱和蒸汽，采用钛-钢复合板，覆材选用TA2，基材选用S30408。管板与换热管连接方式采用焊账并用。

⑤ 蒸汽进口、排气孔、排液孔、疏水器：蒸汽进口设置膨胀节、防冲挡板，设置上、下不凝气出口接管，设置冷凝液出口接管，设置疏水阀。

### 2.3.3 Ⅱ效分离室结构设计

① 分离室直径：分离室材料采用S22053+Q245R复合钢板。其内径由式（2-5）计算：已知蒸发量，查询估算得，，计算得分离室内径，圆整为。

②分离室高度：分离室高度应按高径比1~2计算，并考虑液层以上高度满足气液分离要求，一般大直径分离室高度应在直径基础上加2m左右。初定高径比1.5，计算得分离室高度，按直径加2m计算。

取分离室高度H，实际高径比1.67。

### 2.3.4 Ⅱ效分离室附件设计

① 气液分离器：根据文献[16]，应用在蒸发器中，处理可溶性盐且含固粒浆状物系，径流折板式更抗结垢，因此采用径流折板式。

② 顶盖和底盖：顶盖和底盖封头都采用S22053+Q245R复合钢板，其中顶盖（上封头）采用标准椭圆封头，内径1800mm，直边高度25mm；底盖（下封头）采用两端折边锥形封头，大端内径1800mm，小端内径等于下循环管内径，半锥角45°，大端折边半径270mm，小端折边半径75mm，大端直边高度25mm。

### 2.3.5 Ⅱ效蒸发器接管设计

① 加热蒸汽接管：位于加热室壳程筒体，采用S30408无缝钢管。加热蒸汽流速取35m/s；已知加热蒸汽流量为4137.53kg/h，加热蒸汽温度95.97℃，查询估算加热蒸汽密度0.5274kg/m3，计算得加热蒸汽体积流量为2.18m3/s，由式（2-6）计算得：

加热蒸汽接管直径，取公称直径DN 300mm。

② 二次蒸汽接管：位于分离室上封头，采用S22053钢板卷制钢管。二次蒸汽流速取40m/s；已知二次蒸汽流量为3903.46kg/h，二次蒸汽温度61.07℃，查询估算二次蒸汽密度0.1374kg/m3，计算得二次蒸汽体积流量为7.89m3/s，由式（2-6）计算得：

二次蒸汽接管直径，取公称直径DN 500mm。

③ 进料接管：位于分离室筒体，采用S22053无缝钢管。进料流速取1m/s；已知进料流量为5976.1kg/h，查询估算得进料液密度1148.59kg/m3，计算得进料体积流量为0.0015m3/s，由式（2-6）计算得：

进料接管直径，取公称直径DN 50mm。

④ 出料接管：位于分离室下封头一侧，采用S22053无缝钢管。出料液流速取1m/s；已知出料液流量为2027.63kg/h，查询估算得出料液密度1701.59kg/m3，计算得出料体积流量为0.0003m3/s，由式（2-6）计算得：

出料接管直径，取公称直径DN 25mm。

⑤ 上、下不凝气接管：位于加热室壳程筒体，上下各一个，采用S30408无缝钢管。不凝气流速取50m/s；不凝气流量按加热蒸汽量0.5%，为0.011m3/s，则每一个接管为0.005 m3/s，由式（2-6）计算得：

不凝气接管直径，取公称直径DN 15mm。

⑥ 冷凝水接管：位于加热室壳程筒体，采用S30408无缝钢管。冷凝水流速取0.6m/s；已知冷凝水流量为4137.53kg/h，；冷凝水温度为95.98℃，查询估算得冷凝水密度961.18kg/m3，计算得冷凝水体积流量为0.0012m3/s，由式（2-6）计算得：

冷凝水接管直径，取公称直径DN 50mm。

⑦ 上、下循环管：上循环管连接加热室上器体（管箱）筒体和分离室筒体，下循环管连接加热室下器体（管箱）封头和分离室下封头底部（锥壳小端）；采用S22053+Q245R复合钢板。上循环管直径取分离室直径的0.2~0.3倍，此处取0.2，则，圆整后上循环管直径为400mm；下循环管直径与换热管总截面积之比为0.8~1.1，此处取0.8，计算得，圆整后下循环管直径为400mm。

循环速度取1.5~2.5m/s，此处取2m/s，则循环量为904.79m3/h。

### 2.3.6 蒸发器辅助设备

（1） 板式预热器（冷凝器）

末效二次蒸汽含有一定的热量可以被利用，设置板式换热器，加热原料同时冷凝部分蒸汽。

假设末效二次蒸汽都可以被冷凝，则进入板式换热器蒸汽量为，已知进气温度61.065℃，查询估算其汽化热为2458.27，冷凝热负荷为2458.27。进入板式换热器的原料量为，假设原料温度15℃，查询估算其定压比热容为3.886，则原料升温为45.55℃，原料出换热器温度为60.55℃，太接近蒸汽温度。

假设冷凝比例为90%，其冷凝热负荷为2212.44，原料温升为41℃，原料终温为56℃，较为合理。计算对数平均温差为18.58℃，传热系数K取3500，根据式（1-7）计算换热面积，得换热面积为34.02。考虑原料水温变化幅度较大等因素，取1.1倍计算换热面积，即37.42。

（2） 混合冷凝器

采用逆流高位冷凝器。

① 气压管长度取10~11m，此处取10.5m。

② 冷凝器直径按式（2-8）计算

式中 ━━冷凝器直径，；

━━需冷凝蒸汽密度，；

━━需冷凝蒸汽量，；

━━气体在冷凝器内表观流速，。

需冷凝蒸汽量以未冷凝蒸汽量为基础，考虑冷凝不完全，取1.2倍，即

;

已知蒸汽温度为60.065℃，查询估算蒸汽密度为0.1302；使用洁净水时，取液滴直径为2-5mm，此处取4mm，对应表观气速；按式（2-8）计算得：

冷凝器直径，圆整后，采用公称直径DN 200mm管材。

③ 淋水板尺寸：淋水板宽度一般取冷凝器半径加50mm，即150mm；淋水板筛孔直径与液滴直径相同，即4mm，呈正三角形排列；淋水堰高取40mm。

冷却水量计算按式（2-9）：

式中 ━━冷却水消耗量，；

━━蒸汽焓值，；

━━出冷凝器冷凝水焓值，；

━━冷却水进/出温度，℃；

━━水的比热容，。

查询估算得蒸汽焓值为2608.79，设冷却水进温度为30℃，冷却水出温度比蒸汽低3~5℃，取冷却水出温度为55℃，此时水焓值为230.245，比热容为4.183，计算得冷却水水量。

根据《常用化工单元设备的设计》[7]相关公式，取筛孔阻力系数为0.965，水流收缩系数为0.81，计算得每个小孔淋水量为0.031，筛孔数为171个，初定孔间距为2.5倍孔径为10mm。

④ 冷凝器高度：冷凝器直径<500mm，取4~6块淋水板，直径较小，取4块。淋水板采用上稀下密不等距安装，最上层间距取，之后间距为上一间距的（0.5~0.7）倍，最下层间距大于0.15m；由此，确定板间距分别为：0.35m、0.24m、0.16m，上、下空间高分别为0.6m，则总高为1.95m。

⑤ 冷凝器接管：蒸汽进口尺寸取0.4~0.65倍冷凝器直径，此处0.4，计算并圆整，蒸汽进口尺寸为DN80mm；当冷凝器直径<500mm，不凝性气体接管直径取50~75mm，此处取DN50mm；以1.5m/s流速确定冷却水进口尺寸，计算并圆整，冷却水进口直径DN50；冷却水出口直径，即大气腿直径以1m/s流速计算圆整为DN65。

（3） 真空泵

真空泵排出气体量由式（2-7）计算：

在吸入压力15~25kPa时取11.3~13.6，此处取12；忽略不计；按计算，为0.266。

参考文献[[18]](#endnote-19)[18]，计算得真空泵吸入气体温度为36.5℃；查询估算得此温度下饱和蒸气密度为0.044、饱和蒸汽压为6.1121kPa；不凝气按空气计算，标况下密度为1.293；计算得，3.432；忽略不计。由式（2-7）计算得：

真空泵排出气体量；

吸气量为69.74，实际吸气量取1.5倍计算量，为104.6。

## 2.4 热力压缩式热泵结构设计

### 2.4.1 热泵理论计算

（1）假设全部抽取

本工艺只需部分Ⅰ效二次蒸汽即可满足Ⅱ效加热室要求，因此采用热力压缩式热泵，抽取部分Ⅰ效二次蒸汽作为一部分加热热源，从而降低能耗。经后续计算，理论富余的Ⅰ效二次蒸汽在合理设计的情况下不能完全被热泵所利用，剩余蒸汽通过板式换热器冷凝，冷凝后的不凝性气体体积较小，接入真空系统。

喷射系数γ为吸入蒸汽量和工作蒸汽量之比，即，表示耗用1kg高压蒸汽能抽取多少kg二次蒸汽进行再压缩。已知Ⅰ效加热蒸汽消耗量，压力为，Ⅰ效二次蒸汽富余量，即，压力，压缩比ε=2.2。

假设全部抽取，则高压生蒸气消耗量，即，则理想喷射系数1.44。查阅喷射系数取值表，ε=2.2、1.44对应膨胀比β>4000。膨胀比为工作蒸汽压力与吸入压力之比，膨胀比过高即生蒸汽过高，此假设不合理。

（2）确定生蒸汽压力计算

经反复推算，确定生蒸汽压力，则，查取并估算喷射系数，此时的生蒸汽消耗量，Ⅰ效二次蒸汽抽取量，较为合理。

### 2.4.2 热泵结构计算

热泵结构简图见图2。

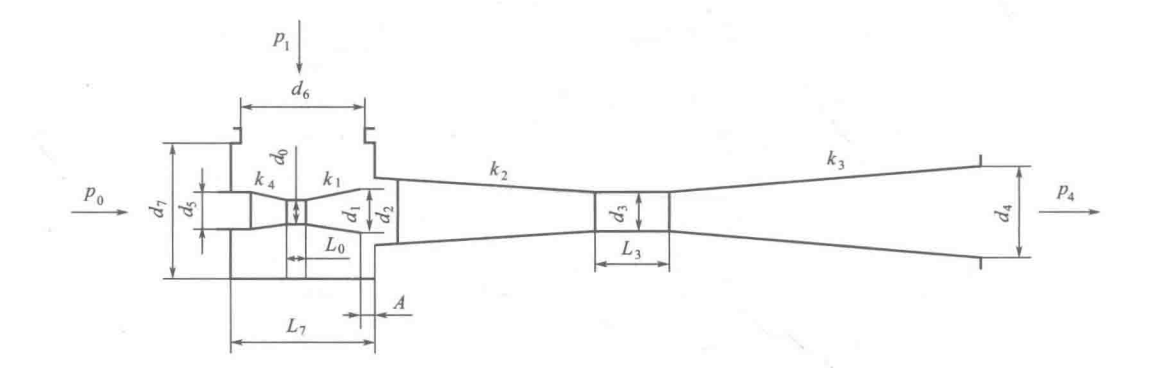


图2 热泵结构简图

（1）几何尺寸计算

喷嘴喉部直径，取；

喷嘴出口直径，取；

扩散管喉部直径，式中，为吸气量；为生蒸汽量；为被抽混合气中空气量，取；为漏入空气量，取；为混合式冷凝器冷却水析出空气量，取；计算得，取。

（2）校核最大反压力

最大反压力，计算得；，较为接近，尺寸合理。

（3）其他尺寸计算

以下尺寸符号见图2，计算得：

，取；

，取；

，取；

，取；

，取；

，取；

，取；

，取；

，取；

二次蒸汽入口直径，取；

混合室直径，取；

混合室长度，取；

自由喷射长度，取；

扩散管直径，取；

自由喷射流在距离喷嘴出口截面距离处直径，取；

，，喷嘴离开扩散管距离A>0；此情况下，，令计算A；

；计算得，取。

## 2.5 预热器结构设计

### 2.5.1 预热器Ⅰ

该预热器即为MVR蒸发器的冷凝器，已设计；采用板式换热器，利用低温原料冷凝来自MVR加热室的不凝性气体；其换热面积为。

### 2.5.2 预热器Ⅱ

该预热器即为末效二次蒸汽冷凝器，已设计；采用板式换热器，利用末效二次蒸汽加热物料，同时冷凝部分末效二次蒸汽；其换热面积为37.42，将物料加热至56℃左右。

### 2.5.3 预热器Ⅲ

该预热器位于预热器Ⅱ后，预热器Ⅳ前，利用热泵抽取后仍富余的Ⅰ效二次蒸汽加热物料。

理论Ⅰ效二次蒸汽富余量为，其温度为96.98℃，考虑二次蒸汽量波动问题，假设进入预热器的Ⅰ效二次蒸汽量为，其温度为96℃，查询估算其汽化热为。

需预热的物料量为，物料出预热器Ⅲ温度为55.99℃，假设物料进预热器Ⅲ温度为55.5℃，查询估算其比热容为。

假设全部冷凝，计算得热负荷为943.57kW，物料出预热器Ⅲ温度为72.47℃，较为合理。计算对数平均温差为31.46℃，传热系数K取3500，由式（1-7）计算换热面积，得换热面积为8.57。为保证预热效果，取1.1倍计算换热面积，即9.43。

### 2.5.4 预热器Ⅳ

该预热器位于预热器Ⅲ后，MVR加热室前，利用MVR加热室冷凝水和来自预热器Ⅴ的Ⅰ效加热室冷凝水预热物料至沸点，其中Ⅰ效加热室冷凝水先预热Ⅰ效进料至沸点，出预热器Ⅴ后99℃左右。

MVR冷凝水量为，其温度为98.74℃，Ⅰ效冷凝水量为，其温度经预热器Ⅴ设计计算为99.28℃，则冷凝水总量为，假设进入预热器Ⅳ冷凝水温度为98.5℃，查询估算其比热容为。

需预热的物料量为，物料出预热器Ⅲ温度为72.47℃，假设物料进预热器Ⅳ温度为72℃，查询估算其比热容为；物料出预热器Ⅳ目标温度为MVR沸点90.91℃。

计算得热负荷为1022.1kW，冷凝水出预热器Ⅳ温度为77.27℃，较为合理。计算对数平均温差为6.36℃，传热系数K取3000，由式（1-7）计算换热面积，得换热面积为53.6。为保证预热效果，取1.1倍计算换热面积，即58.9。

### 2.5.5 预热器Ⅴ

该预热器位于MVR分离室后，Ⅰ效加热室前，利用Ⅰ效加热室冷凝水预热物料至沸点。

Ⅰ效冷凝水量为，其温度为120.24℃，假设进入预热器Ⅴ冷凝水温度为120℃，查询估算其比热容为。

需预热的物料量为，物料出MVR分离室温度为90.91℃，假设物料进预热器Ⅴ温度为90℃，查询估算其比热容为；物料出预热器Ⅴ温度为Ⅰ效沸点104.3℃。

计算得热负荷为279.89kW，冷凝水出预热器Ⅴ温度为99.28℃，较为合理。计算对数平均温差为12.21℃，传热系数K取2800，由式（1-7）计算换热面积，得换热面积为8.16。为保证预热效果，取1.1倍计算换热面积，即9.00。

### 2.5.6 预热器Ⅵ

该预热器位于Ⅰ效分离室后，冷冻结晶器和Ⅱ效加热室前，利用Ⅰ效分离室出料预热Ⅱ效进料物料至沸点，同时降低进入冷冻结晶器的物料温度。

Ⅰ效出料液量为，其温度为104.3℃，假设进入预热器Ⅵ的Ⅰ效出料液温度为100℃，查询估算其比热容为。

需预热的物料量为，物料出预热器Ⅶ初步预热后温度为50℃，假设物料进预热器Ⅵ温度为50℃，查询估算其比热容为；物料出预热器Ⅵ的目标温度为Ⅱ效沸点78.58℃。

计算得热负荷为151.61kW，Ⅰ效出料液出预热器Ⅵ温度为75.5℃，较为合理。计算对数平均温差为23.4℃，传热系数K取2500，由式（1-7）计算换热面积，得换热面积为2.59。为保证预热效果，取1.1倍计算换热面积，即2.85。

### 2.5.7 预热器Ⅶ

该预热器位于冷冻结晶器后，预热器Ⅵ前，利用Ⅱ效加热室冷凝水初步预热Ⅱ效进料物料至50℃左右。

Ⅱ效冷凝水量为，其温度为95.98℃，假设进入预热器Ⅶ的Ⅱ效冷凝水温度为95℃，查询估算其比热容为。

需预热的物料即冷冻结晶器出料液量为，物料出冷冻结晶器温度为-5℃，假设物料进预热器Ⅶ温度为-5℃，查询估算其比热容为；物料出预热器Ⅶ的目标温度为50℃。

计算得热负荷为294.21kW，Ⅱ效冷凝水出预热器Ⅶ温度为34.2℃，较为合理。计算对数平均温差为42.0℃，传热系数K取2800，由式（1-7）计算换热面积，得换热面积为2.50。为保证预热效果，取1.1倍计算换热面积，即2.75。

## 2.6 冷凝水罐结构设计

根据文献[[19]](#endnote-20)[19]，采用“液柱自压式疏水装置”，该装置冷凝水罐安装高度低于蒸发器加热室壳程部分，加热室壳程下部与冷凝水罐筒体间由U型管相连，并且冷凝水罐上封头与加热室壳程间设有气压平衡管，因此冷凝水罐与加热室壳程压力相同，当U型管中水位高于冷凝水罐中时，冷凝水靠静压能克服管道阻力流入冷凝水罐，从而达到阻汽排水的目的。

### 2.6.1 冷凝水罐Ⅰ

该冷凝水罐用于收集MVR蒸发器加热室内冷凝水，材料采用S30408板材，其工作压力温度与MVR蒸发器加热室壳程相同。其容积按式（2-10）计算：

式中 ━━冷凝水罐容积，；

━━冷凝水体积流量，；

━━停留时间，；

━━充装系数，冷凝水罐液位高则排水，取；

已知MVR蒸发器冷凝水为，取停留时间5min；由式（2-10）计算得：冷凝水罐Ⅰ容积；取高径比为1.5，计算得冷凝水罐直径，圆整取，取筒体高度为。采用标准椭圆封头，经计算实际容积为，满足要求。

其冷凝水进口接管直径按MVR加热室泠凝水出口接管设计，直径为DN150mm，材料采用S30408管材。

其冷凝水出口接管直径按式（2-6）计算，出口流速取1m/s，计算得直径为107.1mm，取DN100mm，材料采用S30408管材。

气压平衡管接管流速按15m/s，在出口阀未开启时，体积流量为冷凝水流量，计算得直径为27.6mm，取DN32mm，材料采用S30408管材。

### 2.6.2 冷凝水罐Ⅱ

该冷凝水罐用于收集Ⅰ效蒸发器加热室内冷凝水，材料采用S30408板材，其工作压力温度与Ⅰ效蒸发器加热室壳程相同。

已知Ⅰ效蒸发器冷凝水为，取停留时间5min；由式（2-10）计算得：冷凝水罐Ⅱ容积；取高径比为1.5，计算得冷凝水罐直径，圆整取，取筒体高度为。采用标准椭圆封头，经计算实际容积为，满足要求。

其冷凝水进口接管直径按Ⅰ效加热室泠凝水出口接管设计，直径为DN80mm，材料采用S30408管材。

其冷凝水出口接管直径按式（2-6）计算，出口流速取1m/s，计算得直径为65.5mm，取DN65mm，材料采用S30408管材。

气压平衡管接管直径按与冷凝水罐Ⅰ设计，取DN32mm，材料采用S30408管材。

### 2.6.3 冷凝水罐Ⅲ

该冷凝水罐用于收集Ⅱ效蒸发器加热室内冷凝水，材料采用S30408板材，其工作压力温度与Ⅱ效蒸发器加热室壳程相同。

已知Ⅱ效蒸发器冷凝水为，取停留时间5min；由式（2-10）计算得：冷凝水罐Ⅲ容积；取高径比为1.5，计算得冷凝水罐直径，圆整取，取筒体高度为。采用标准椭圆封头，经计算实际容积为，满足要求。

其冷凝水进口接管直径按Ⅱ效加热室泠凝水出口接管设计，直径为DN50mm，材料采用S30408管材。

其冷凝水出口接管直径按式（2-6）计算，出口流速取1m/s，计算得直径为39.0mm，取DN40mm，材料采用S30408管材。

气压平衡管接管直径按与冷凝水罐Ⅰ设计，取DN32mm，材料采用S30408管材。

# 3 强度设计

非标设备条件见表5，其中大气压按100kPa计算。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **表5 非标设备条件表** | | | | | | | |
|  | | 工作压力（MPa） | | 工作温度（℃） | 介质 | 介质特性 | 材质（主要） |
| 绝压 | 表压 |
| MVR  加热室 | 管程 | 0.055 | -0.045 | 90.91 | 废水料液（主要溶质为氯化钠、硫酸钠） | 腐蚀性 | S22053+Q245R复合板材 |
| 壳程 | 0.097 | -0.003 | 98.74 | 饱和蒸汽、水 | 部分材料生锈 | S30408板材 |
| MVR分离室 | | 0.055 | -0.045 | 90.91 | 饱和蒸汽和废水料液（主要溶质同上） | 腐蚀性 | S22053+Q245R复合板材 |
| Ⅰ效  加热室 | 管程 | 0.091 | -0.009 | 104.27 | 废水料液（含硫酸钠固体、主要溶质同上） | 腐蚀性 | S22053+Q245R复合板材 |
| 壳程 | 0.200 | 0.100 | 120.24 | 饱和蒸汽、水 | 部分材料生锈 | S30408板材 |
| Ⅰ效分离室 | | 0.091 | -0.009 | 104.27 | 饱和蒸汽和废水料液（主要溶质同上） | 腐蚀性 | S22053+Q245R复合板材 |
| Ⅱ效加热室 | 管程 | 0.021 | -0.079 | 78.58 | 废水料液（含氯化钠固体、主要溶质同上） | 腐蚀性 | S22053+Q245R复合板材 |
| 壳程 | 0.088 | -0.012 | 95.98 | 饱和蒸汽、水 | 部分材料生锈 | S30408板材 |
| Ⅱ效分离室 | | 0.021 | -0.079 | 78.58 | 废水料液（含氯化钠固体、主要溶质同上） | 腐蚀性 | S22053+Q245R复合板材 |
| 冷凝水罐Ⅰ | | 0.097 | -0.003 | 98.74 | 冷凝水 | 部分材料生锈 | S30408板材 |
| 冷凝水罐Ⅱ | | 0.200 | 0.100 | 120.24 | 冷凝水 | 部分材料生锈 | S30408板材 |
| 冷凝水罐Ⅲ | | 0.088 | -0.012 | 95.98 | 冷凝水 | 部分材料生锈 | S30408板材 |
| 混合冷凝器 | | 0.020 | -0.080 | 60.07 | 饱和蒸汽和冷却水 | 部分材料生锈 | S30408管材 |

## 3.1 MVR加热室强度设计

### 3.1.1 壳程筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表6，其中，外压容器不设置安全阀，设计压力取0.1MPa；液柱静压力较小，且在外压容器中抵消一部分外压，因此在确定计算压力时不考虑；设计温度不低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度；相关金属材料力学性能参数查询自GB 150.2-2011，板材负偏差查询自GB/T 24511-2017；双面焊对接接头和相当于双面焊的全焊透对接接头全部无损检测，取*φ* =1.0。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表6 MVR加热室壳程筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 120 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 1900 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S30408 | （板材） | 考虑低合金钢易生锈 |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 137.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 137.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 205.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm | 无腐蚀 |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

根据GB/T 151-2014中规定，DN1900的高合金钢板制筒体名义厚度大于或等于最小厚度10mm，因此初步确定筒体名义厚度为10mm；经稳定性校核后不通过，重新确定筒体名义厚度δn=14mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=13.7mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，取计算长度L=12000mm。

③确定外压应变系数A、B

计算筒体外径*D*o=*D*i+2δn=1900+2×14=1928mm，则*L*/*D*o=6.22，*D*o/δe=140.73>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-8，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000114，B=14.16。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，按式（3-1）计算许用外压力[*p*]：

式中 ━━外压圆筒许用外压力，；

━━外压应变系数B；

━━外压圆筒外径与有效厚度的比值。

由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，外压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

试验压力下圆筒的应力按式（3-2）计算：

式中 ━━耐压试验压力，；

━━圆筒外径，；

━━圆筒有效厚度，；

━━焊接接头系数，取。

计算得：试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.1.2 前端管箱筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表7，其中，外压容器不设置安全阀，设计压力取0.1MPa；液柱静压力较小，且在外压容器中抵消一部分外压，因此在确定计算压力时不考虑；设计温度不低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度；筒体材料采用B2级S22053+Q245R复合板材，覆材厚度3mm，强度计算中不计入覆材强度，即按Q245R板材计算；相关金属材料力学性能参数查询自GB 150.2-2011，板材负偏差查询自GB 713-2008，腐蚀裕量因覆材不计入强度，取0mm。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表7 MVR加热室前端管箱筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 110 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 1900 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 148.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 145.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 245.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

初步确定筒体名义厚度为6mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=5.7mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，需考虑封头高度hi，取计算长度L=700+475/3=858mm。

③确定外压应变系数A、B

计算筒体外径*D*o=*D*i+2δn=1900+2×6=1912mm，则*L*/*D*o=0.45，*D*o/δe=335.44>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000504，B=66.58。

④计算许用外压力[*p*]

由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，外压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.1.3 前端管箱封头

（1）计算条件确定

计算条件见表8，其中，设计压力等参数已确定；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表8 MVR加热室前端管箱封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 110 | ℃ |  |
| 封头内径 | *D*i | 1900 | mm | 结构设计已确定 |
| 曲面深度 | *h*i | 475 | mm |  |
| 封头材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 148.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 145.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度及稳定性校核

根据GB 150.3-2011，受外压得椭圆形封头厚度计算采用外压球壳设计方法，其中Ro为椭圆形封头的当量球壳外半径，，其中为由椭圆形长短轴比值决定的系数，标准椭圆封头取。

①确定封头厚度

初步确定封头名义厚度为δnh=6mm，即有效厚度δeh=δnh-*C*1-*C*2=5.7mm。

②确定外压应变系数A、B

计算封头外径，则当量球壳外半径；根据式（3-3）计算外压应变系数Ａ值

式中 ━━外压应变系数Ａ；

━━当量球壳外半径，；

━━封头有效厚度，。

计算得：外压应变系数，

根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值，查得：B=55.04。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，按式（3-4）计算封头许用外压力[*p*]：

式中 ━━外压封头许用外压力，；

━━外压应变系数B。

计算得许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，外压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

试验压力下椭圆形封头的应力按式（3-5）计算：

式中 ━━耐压试验压力，；

━━椭圆形封头形状系数，标准椭圆封头取；

━━封头外径，；

━━封头有效厚度，；

━━焊接接头系数，取。

计算得：试验压力下封头的应力；

，即，合格。

### 3.1.4 后端管箱筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表9，其中，设计压力等参数已确定；筒体材料采用B2级S22053+Q245R复合板材，覆材厚度3mm，强度计算中不计入覆材强度，即按Q245R板材计算；相关金属材料力学性能参数查询自GB 150.2-2011，板材负偏差查询自GB 713-2008，腐蚀裕量因覆材不计入强度，取0mm。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表9 MVR加热室后端管箱筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 110 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 1900 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 148.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 145.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 245.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

初步确定筒体名义厚度为8mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=7.7mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，需考虑封头高度hi，取计算长度L=2200+475/3=2358mm。

③确定外压应变系数A、B

计算筒体外径*D*o=*D*i+2δn=1900+2×8=1916mm，则*L*/*D*o=1.23，*D*o/δe=248.83>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000272，B=35.95。

④计算许用外压力[*p*]

由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，外压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.1.5 后端管箱封头

（1）计算条件确定

计算条件见表10，其中，设计压力等参数已确定；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表8 MVR加热室后端管箱封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 110 | ℃ |  |
| 封头内径 | *D*i | 1900 | mm | 结构设计已确定 |
| 曲面深度 | *h*i | 475 | mm |  |
| 封头材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 148.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 145.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度及稳定性校核、压力试验校核

可见后端管箱封头与前端管箱封头计算条件相同，亦取封头名义厚度为δnh=6mm，相同条件下稳定性校核和压力试验应力校核亦合格。

### 3.1.6 开孔补强计算

（1）加热蒸汽入口接管

①判断是否需要补强

加热蒸汽入口接管尺寸为DN600mm，接管外径为610mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表11，其中，部分参数已查得或已确定；接管尺寸较大，无适用的不锈钢无缝钢管，采用钢板卷制钢管。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表11 MVR加热室加热蒸汽入口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 壳程筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ610×22 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 120 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1900 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 14 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 钢板卷制 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 200 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

根据GB 150.3-2011，外压容器壳体开孔所需补强面积按式（3-6）计算：

式中 A━━开孔所需补强面积，；

━━开孔直径，；

━━壳体开孔处计算厚度，，根据不同壳体型式按标准计算；

━━接管有效厚度，；

━━强度削弱系数，取。

计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

有效宽度B按式（3-7）计算，取二者较大值；

有效高度按式（3-8）和式（3-9）计算，分别取式中较小值。

外伸接管有效补强高度：

内伸接管有效补强高度：

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

在有效补强范围内，可作为补强的截面积按式（3-10）计算：

式中 ━━补强面积，；

━━壳体有效厚度减去计算厚度之外的多余面积，按式（3-11）计算，；

━━接管有效厚度减去计算厚度之外的多余面积，按式（3-12）计算，；

━━焊缝金属截面积，；

若，则开孔不需另加补强；

若，则开孔需另加补强，其另加补强面积按式（3-13）计算

式中 ━━有效补强范围内另加的补强面积，。

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（2）料液入口接管

①判断是否需要补强

料液入口接管尺寸为DN100mm，接管外径为108mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表12，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表12 MVR加热室料液入口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 前端管箱封头 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ108×6 | mm | GB/T 17395-2008 |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 110 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1900 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 6 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 145.6 | MPa |  |
| 接管轴线与封头轴线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053 | 管材 | GB/T 21833-2008 |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 1 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.6 | mm | -10%S |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 243 | MPa | BG 150.2-2011 |

③开孔所需补强面积计算

外压容器壳体开孔所需补强面积按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

由式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（3）不凝气出口接管

①判断是否需要补强

不凝气出口接管尺寸为DN25mm，接管外径为32mm，根据GB 150.3-2011，该接管满足可不另行补强要求，合格。

②设计条件

设计条件见表13，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表13 MVR加热室不凝气出口接管设计条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 壳程筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ32×4 | mm | GB/T 17395-2008 |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 120 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1900 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 14 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 | GB 13296-2013 |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.4 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa | BG 150.2-2011 |

（4）冷凝水出口接管

①判断是否需要补强

冷凝水出口接管尺寸为DN150mm，接管外径为159mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表14，其中，部分参数已查得或已确定；

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表14 MVR加热室冷凝水出口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 壳程筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ159×14 | mm | GB/T 17395-2008 |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 120 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1900 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 14 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 | GB 13296-2013 |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 1.4 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

外压容器壳体开孔所需补强面积按式（3-6）计算：

式中 A━━开孔所需补强面积，；

━━开孔直径，；

━━壳体开孔处计算厚度，，根据不同壳体型式按标准计算；

━━接管有效厚度，；

━━强度削弱系数，取。

计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

由式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

### 3.1.7 管箱法兰

（1）计算条件确定

管箱法兰及垫片、紧固件根据NB/T 47020-2012设计或选用，采用甲型平焊法兰，PN0.25MPa，DN1900mm，平密封面，材料采用S22053，增加法兰厚度，其他参数按标准法兰设计；垫片和螺柱、螺母材质尺寸按NB/T 47024-2012和NB/T 47027-2012；主要计算条件见表15。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表15 MVR加热室管箱法兰计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 120 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 壳体材料许用应力 |  | 145.6 | MPa |  |
| 法兰材料 |  | S22053 |  |  |
| 法兰有效厚度 |  | 76 | mm | 较标准增厚20 |
| 法兰材料许用应力 |  | 230 | MPa |  |
| 法兰材料设计温度下许用应力 |  | 230 | MPa |  |
| 螺柱材料 |  | 20 |  | NB/T 47020-2012 |
| 螺柱材料许用应力 |  | 91 | MPa |  |
| 螺柱材料设计温度下许用应力 |  | 80.4 | MPa |  |
| 螺柱公称直径 |  | 20 | mm |  |
| 螺柱根径 |  | 17.3 | mm |  |
| 螺柱数量 | n | 56 | 个 |  |
| 垫片材料 |  | 氟橡胶 |  |  |
| 密封面型式 |  | 平面 |  |  |

（2）法兰、螺柱校核

通过SW6-2011进行管箱法兰校核，法兰应力校核合格，螺柱剪应力校核合格。

### 3.1.8 管板（兼作法兰）

（1）计算条件确定

主要计算条件见表16，其中管板材料选用TA2+S30408复合板材，覆材厚度为3mm，覆材不计入强度设计；管板厚度经反复校核，取80mm；钛管与管板连接宜采用焊接+贴胀方法，计算中按焊接；换热管材料选用TA2无缝管；管子受压失稳当量长度根据GB/T 151-2014确定；其他参数根据已确定条件确定，金属材料力学性能查阅对应标准。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表16 MVR加热室管板计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 管板材料 |  | TA2+S30408 | 复合板材 | NB/T 47002.3-2009 |
| 设计温度 |  | 120 | ℃ |  |
| 管板负偏差 | *C1* | 0.3 | mm |  |
| 管板腐蚀裕量 | *C2* | 0 | mm |  |
| 管板名义厚度 | *δn* | 80 | mm |  |
| 管板计算厚度 | *δ* | 79.7 | mm |  |
| 管板和管子连接型式 |  | 焊接+贴账 |  | 按焊接计算 |
| 管板和管子焊接高度 |  | 1.5 | mm |  |
| 法兰与管板厚度差 |  | 0 | mm |  |
| 换热管材料 |  | TA2 | 管材 | GB/T 3625-2007 |
| 管子平均温度 | *tt* | 90.1 | ℃ |  |
| 管子外径 | *d* | 38 | mm |  |
| 管子壁厚 | *δt* | 1.5 | mm |  |
| 管子根数 | *n* | 1187 | 根 |  |
| 换热管中心距 | *S* | 48 | mm |  |
| 管子受压失稳当量长度 | *lcr* | 1200 | mm |  |

（2）管板、换热管校核

通过SW6-2011进行管板和换热管校核，管板应力校核合格，管板名义厚度80mm，换热管内压、外压、壳程压力试验外压计算合格。

## 3.2 MVR分离室强度设计

### 3.2.1 筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表17，其中，外压容器不设置安全阀，设计压力取0.1MPa；液柱静压力较小，且在外压容器中抵消一部分外压，因此在确定计算压力时不考虑；设计温度不低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度；采用复合钢板，覆材厚度3mm，同加热室管箱材料；相关金属材料力学性能参数查询自GB 150.2-2011，板材负偏差查询自GB/T 24511-2017；双面焊对接接头和相当于双面焊的全焊透对接接头全部无损检测，取*φ* =1.0。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表17 MVR分离室筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 110 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 4200 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 148.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 138.5 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 235.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

根据GB/T 151-2014中规定，DN4200的高合金钢板制筒体名义厚度大于或等于最小厚度17mm，因此初步确定筒体名义厚度为17mm；经稳定性校核后不通过，重新确定筒体名义厚度δn=20mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=19.7mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，考虑上封头、下封头（锥壳），取计算长度L=9580mm。

③确定外压应变系数A、B

计算筒体外径*D*o=*D*i+2δn=4200+2×20=4240mm，则*L*/*D*o=2.26，*D*o/δe=215.23>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000181，B=23.91。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，外压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.2.2 上封头

（1）计算条件确定

计算条件见表18，其中，设计压力等参数已确定；采用标准椭圆封头；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表18 MVR分离室上封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 封头内径 | *D*i | 4200 | mm |  |
| 曲面深度 | *h*i | 1050 | mm |  |
| 封头材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度及稳定性校核

根据GB 150.3-2011，受外压得椭圆形封头厚度计算采用外压球壳设计方法，其中Ro为椭圆形封头的当量球壳外半径，，其中为由椭圆形长短轴比值决定的系数，标准椭圆封头取。

①确定封头厚度

初步确定封头名义厚度为δnh=12mm，即有效厚度δeh=δnh-*C*1-*C*2=11.7mm。

②确定外压应变系数A、B

计算封头外径，则当量球壳外半径；根据式（3-3）计算外压应变系数Ａ值得：

外压应变系数，

根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值，查得：B=51.11。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，按式（3-4）计算得：

计算得许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

已知，压力试验允许通过的应力。

按式（3-5）计算得：

试验压力下封头的应力；

，即，合格。

### 3.2.3 下封头

根据GB 150.3-2011规定，当锥壳大端或大、小端同时具有加强段或过渡段时，应按分别确定锥形封头各部分厚度，且先应考虑满足强度要求。在任何情况下，过渡段或加强段的厚度不得小于与其连接的锥壳厚度并不小于圆筒内直径的0.3%。

因此外压锥形封头要进行强度设计、校核和外压校核，强度设计时计算压力取正值。

（1）计算条件确定

计算条件见表19，各部分材料性能查询GB 150.2-2011；小端筒体为出料接管。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表19 MVR分离室下封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 强度设计计算压力 |  | 0.1 | MPa |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 110 | ℃ |  |
| 锥壳大端直径 | *D*i | 4200 | mm |  |
| 锥壳小端直径 | *D*is | 77 | mm |  |
| 锥壳大端转角半径 | *r* | 630 | mm |  |
| 锥壳小端转角半径 | *r*s | 50 | mm |  |
| 锥壳半顶角 | α | 45 | （°） |  |
| 锥壳轴向长度 | *Lx* | 1870.57 | mm |  |
| 锥壳计算内直径 | *D*c | 3830.98 | mm |  |
| 锥壳段大端外直径 | *D*L | 3859.26 | mm |  |
| 锥壳段小端外直径 | *D*s | 118.29 | mm |  |
| 大端圆筒材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 小端圆筒材料 |  | S22053 | 管材 |  |
| 负偏差 | *C*1 | 0.6 | mm |  |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 1 | mm |  |
| 锥壳部分 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）各部分厚度强度计算

①锥壳厚度

锥壳厚度按式（3-14）计算，式中参数为上表中参数，下标c代表锥壳：

计算得：；取锥壳最小名义厚度3.5mm（<20mm）。

②锥壳大端

受内压折边锥壳大端厚度按式（3-15）、（3-16）计算，取其较大值；

过渡段厚度：

式中 K━━系数，查GB 150.3-2011表5-6；

与过渡段相接处锥壳厚度：

式中 *f*━━系数，查GB 150.3-2011表5-7。

查询取：K=0.8181，*f*=0.64；

计算得：；圆筒内直径0.15%为6.3mm；取锥壳大端最小名义厚度7mm（<20mm）。

③锥壳小端

当锥壳半顶角时受内压折边锥壳小端过渡段厚度按需加强的受内压无折边锥壳小端计算，即按式（3-17）计算：

式中 ━━与锥壳相接圆筒计算厚度，mm；

━━系数，查GB 150.3-2011图5-14。

计算得：，*δ*/*R*s＜0.002；

此时，查得，计算得。

在任何情况下，加强段的厚度不得小于相连接的锥壳厚度。锥壳加强段的长度应不小于

，圆筒加强段的长度应不小于。小端筒体有效厚度4.4mm，取锥壳和圆筒加强段所需最小名义厚度为4.5mm（<20mm），锥壳加强段长度为5.94mm，圆筒加强段长度为4.99mm。

（3）各部分厚度及稳定性校核

采用锥形封头，两端有折边，且两端都不作为支撑线。

①确定筒体厚度

确定大端圆筒名义厚度δn=20mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=19.7mm；小端圆筒名义厚度δn=6mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=4.4mm；锥壳部分名义厚度δn=20mm，即有效厚度δe=（δn-*C*1-*C*2）cosα=13.93mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，考虑各因素，取大端筒体计算长度*L*L=7330mm，小端筒体计算长度*L*sm =100mm，锥壳部分当量长度*L*e =1424.65mm。

③确定外压应变系数A、B

计算大端筒体外径*D*o=*D*i+2δn=4200+2×20=4240mm，则*L*/*D*o=1.73，*D*o/δe=214.21>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000177，B=23.36。

计算小端筒体外径*D*o=*D*i+2δn=77+2×6=89mm，则*L*/*D*o=1.12，*D*o/δe=20.23>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-8，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.002926，B=191.20。

计算锥壳段大端外直径*DL*=3859.26mm，用*L*e/*DL*代替*L*/*D*o，则*L*e/*DL*=0.37，用*DL*/δe代替*D*o/δe，*DL*/δe=277.05>20；根据*L*e/*DL*和*DL*/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000825，B=106.04。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格；

许用外压力；，即，合格；

许用外压力；，即，合格。

（4）压力试验应力校核

已确定。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格，即锥壳部分名义厚度为20mm。

### 3.2.4 开孔补强计算

（1）二次蒸汽出口接管

①判断是否需要补强

二次蒸汽出口接管尺寸为DN800mm，接管外径为820mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表20，其中，部分参数已查得或已确定；接管尺寸较大，无适用的不锈钢无缝钢管，采用钢板卷制钢管。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表20 MVR分离室二次蒸汽出口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 上封头 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ820×14 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 110 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 4200 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 12 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 145.6 | MPa |  |
| 接管轴线与封头轴线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053 | 钢板卷制 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 200 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 230 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

## 3.3 Ⅰ效加热室强度设计

### 3.3.1 壳程筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表21，其中，内压容器不设置安全阀，设计压力高于工作压力，取0.1MPa；液柱静压力较小，不考虑；设计温度不低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度；相关金属材料力学性能参数查询自GB 150.2-2011，板材负偏差查询自GB/T 24511-2017；双面焊对接接头和相当于双面焊的全焊透对接接头全部无损检测，取*φ* =1.0。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表21 Ⅰ效加热室壳程筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | 0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | 0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 140 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 1400 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 137.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 137.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 205.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm | 无腐蚀 |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度计算

内压圆筒计算厚度按式（3-18）计算，式中符号含义见上表：

计算得：

内压圆筒计算厚度；

根据GB/T 151-2014中规定，DN1400的高合金钢板制筒体名义厚度大于或等于最小厚度8mm，取筒体名义厚度为δn=8mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=7.7mm。

（3）压力及应力计算

内压圆筒计算应力按式（3-19）计算，式中符号含义见上表：

计算得：

内压圆筒计算应力；

，137MPa>9.14MPa，即，合格。

最大允许工作压力按式（3-20）计算，式中符号含义见上表：

计算得：

最大允许工作压力；

（4）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，内压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.3.2 前端管箱筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表22，其中，外压容器不设置安全阀，设计压力取0.1MPa；液柱静压力较小，且在外压容器中抵消一部分外压，因此在确定计算压力时不考虑；设计温度不低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度；筒体材料采用B2级S22053+Q245R复合板材，覆材厚度3mm，强度计算中不计入覆材强度，即按Q245R板材计算；相关金属材料力学性能参数查询自GB 150.2-2011，板材负偏差查询自GB 713-2008，腐蚀裕量因覆材不计入强度，取0mm。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表22 Ⅰ效加热室前端管箱筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 125 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 1400 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 148.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 145.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 245.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

初步确定筒体名义厚度为8mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=7.7mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，需考虑封头高度hi，取计算长度L=800+350/3=917mm。

③确定外压应变系数A、B

计算筒体外径*D*o=*D*i+2δn=1400+2×8=1416mm，则*L*/*D*o=0.65，*D*o/δe=183.9>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000856，B=107.28。

④计算许用外压力[*p*]

由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，外压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.3.3 前端管箱封头

（1）计算条件确定

主要计算条件见表23，其中，设计压力等参数已确定；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表23 Ⅰ效加热室前端管箱封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 125 | ℃ |  |
| 封头内径 | *D*i | 1400 | mm | 结构设计已确定 |
| 曲面深度 | *h*i | 350 | mm |  |
| 封头材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 148.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 143.5 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度及稳定性校核

根据GB 150.3-2011，受外压得椭圆形封头厚度计算采用外压球壳设计方法，其中Ro为椭圆形封头的当量球壳外半径，，其中为由椭圆形长短轴比值决定的系数，标准椭圆封头取。

①确定封头厚度

初步确定封头名义厚度为δnh=6mm，即有效厚度δeh=δnh-*C*1-*C*2=5.7mm。

②确定外压应变系数A、B

计算封头外径，则当量球壳外半径；根据式（3-3）计算得：

外压应变系数，

根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值，查得：B=74.65。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，按式（3-4）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

已确定耐压试验压力。压力试验允许通过的应力。

按式（3-5）计算得：

试验压力下封头的应力；

，即，合格。

### 3.3.4 后端管箱筒体

1）计算条件确定

主要计算条件见表24，其中，设计压力等参数已确定；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表24 Ⅰ效加热室后端管箱筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 110 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 1900 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

初步确定筒体名义厚度为6mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=5.7mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，需考虑封头高度hi，取计算长度L=400+350/3=517mm。

③确定外压应变系数A、B

计算筒体外径*D*o=*D*i+2δn=1400+2×6=1412mm，则*L*/*D*o=0.37，*D*o/δe=247.72>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000984，B=112.4。

④计算许用外压力[*p*]

由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

已确定耐压试验压力。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.3.5 后端管箱封头

（1）计算条件确定

主要计算条件见表25，其中，设计压力等参数已确定；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表25 Ⅰ效加热室后端管箱封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 125 | ℃ |  |
| 封头内径 | *D*i | 1400 | mm | 结构设计已确定 |
| 曲面深度 | *h*i | 350 | mm |  |
| 封头材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度及稳定性校核、压力试验校核

可见后端管箱封头与前端管箱封头计算条件相同，亦取封头名义厚度为δnh=6mm，相同条件下稳定性校核和压力试验应力校核亦合格。

### 3.3.6 开孔补强计算

（1）加热蒸汽入口接管

①判断是否需要补强

加热蒸汽入口接管尺寸为DN350mm，接管外径为377mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

主要计算条件见表26，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表26 Ⅰ效加热室加热蒸汽入口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 壳程筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ377×8 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | 0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 140 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1400 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 8 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.8 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

根据GB 150.3-2011，内压容器壳体开孔所需补强面积按式（3-21）计算：

式中 A━━开孔所需补强面积，；

━━开孔直径，；

━━壳体开孔处计算厚度，，根据不同壳体型式按标准计算；

━━接管有效厚度，；

━━强度削弱系数，取。

计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（2）不凝气出口接管

①判断是否需要补强

不凝气出口接管尺寸为DN15mm，接管外径为18mm，根据GB 150.3-2011，该接管满足可不另行补强要求，合格。

②设计条件

主要设计条件见表27，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表27 Ⅰ效加热室不凝气出口接管设计条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 壳程筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ18×4 | mm | GB/T 17395-2008 |
| 计算压力 | *pc* | 0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 140 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1400 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 8 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 | GB 13296-2013 |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.4 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa | BG 150.2-2011 |

（3）冷凝水出口接管

①判断是否需要补强

冷凝水出口接管尺寸为DN80mm，接管外径为89mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表28，其中，部分参数已查得或已确定；

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表28 Ⅰ效加热室冷凝水出口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 壳程筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ89×4 | mm | GB/T 17395-2008 |
| 计算压力 | *pc* | 0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 140 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1400 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 8 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 | GB 13296-2013 |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.4 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

内压容器壳体开孔所需补强面积按式（3-21）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

由式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（4）上循环管

①判断是否需要补强

上循环管尺寸为DN500mm，接管外径为530mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

主要计算条件见表29，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表29 Ⅰ效加热室上循环管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 前端管箱筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ530×8 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 125 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1400 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 8 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 143.5 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053 | （板材） |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 500 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 143.5 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

外压容器壳体开孔所需补强面积按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

由式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（5）下循环管

（1）加热蒸汽入口接管

①判断是否需要补强

下循环管尺寸为DN700mm，接管外径为710mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

主要计算条件见表30，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表30 Ⅰ效加热室下循环管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 后端管箱封头 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ710×8 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 125 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1400 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 6 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 143.5 | MPa |  |
| 接管轴线与封头轴线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053 | （板材） |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 500 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 143.5 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

外压容器壳体开孔所需补强面积按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

由式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

### 3.3.7 管箱法兰

管箱法兰及垫片、紧固件根据NB/T 47020-2012设计或选用，采用甲型平焊法兰，PN0.25MPa，DN1400mm，平密封面，材料采用S22053；垫片和螺柱、螺母材质尺寸按NB/T 47024-2012和NB/T 47027-2012；主要设计条件见表31。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表31 Ⅰ效加热室管箱法兰设计条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 125 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 壳体材料许用应力 |  | 143.5 | MPa |  |
| 法兰材料 |  | S22053 |  |  |
| 法兰有效厚度 |  | 46 | mm |  |
| 法兰材料许用应力 |  | 230 | MPa |  |
| 法兰材料设计温度下许用应力 |  | 230 | MPa |  |
| 螺柱材料 |  | 20 |  | NB/T 47020-2012 |
| 螺柱材料许用应力 |  | 94 | MPa |  |
| 螺柱材料设计温度下许用应力 |  | 82 | MPa |  |
| 螺柱公称直径 |  | 20 | mm |  |
| 螺柱根径 |  | 17.3 | mm |  |
| 螺柱数量 | n | 40 | 个 |  |
| 垫片材料 |  | 氟橡胶 |  |  |
| 密封面型式 |  | 平面 |  |  |

### 3.4.8 管板（兼作法兰）

（1）计算条件确定

主要计算条件见表32，其中管板材料选用TA2+S30408复合板材，覆材厚度为3mm，覆材不计入强度设计；管板厚度取46mm；钛管与管板连接宜采用焊接+贴胀方法，计算中按焊接；换热管材料选用TA2无缝管；管子受压失稳当量长度根据GB/T 151-2014确定；其他参数根据已确定条件确定，金属材料力学性能查阅对应标准。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表32 Ⅰ效加热室管板计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 管板材料 |  | TA2+S30408 | 复合板材 | NB/T 47002.3-2009 |
| 设计温度 |  | 140 | ℃ |  |
| 管板负偏差 | *C1* | 0.3 | mm |  |
| 管板腐蚀裕量 | *C2* | 0 | mm |  |
| 管板名义厚度 | *δn* | 46 | mm |  |
| 管板计算厚度 | *δ* | 45.7 | mm |  |
| 管板和管子连接型式 |  | 焊接+贴账 |  | 按焊接计算 |
| 管板和管子焊接高度 |  | 1.5 | mm |  |
| 法兰与管板厚度差 |  | 0 | mm |  |
| 换热管材料 |  | TA2 | 管材 | GB/T 3625-2007 |
| 管子平均温度 | *tt* | 104 | ℃ |  |
| 管子外径 | *d* | 38 | mm |  |
| 管子壁厚 | *δt* | 1.5 | mm |  |
| 管子根数 | *n* | 562 | 根 |  |
| 换热管中心距 | *S* | 48 | mm |  |
| 管子受压失稳当量长度 | *lcr* | 1200 | mm |  |

（2）管板、换热管校核

通过SW6-2011进行管板和换热管校核，管板应力校核合格，管板名义厚度46mm，换热管内压、外压、壳程压力试验外压计算合格。

## 3.4 Ⅰ效分离室强度设计

### 3.4.1 筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表33，其中，外压容器不设置安全阀，设计压力取0.1MPa；液柱静压力较小，且在外压容器中抵消一部分外压，因此在确定计算压力时不考虑；设计温度不低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度；采用复合钢板，覆材厚度3mm，同加热室管箱材料；相关金属材料力学性能参数查询自GB 150.2-2011，板材负偏差查询自GB/T 24511-2017；双面焊对接接头和相当于双面焊的全焊透对接接头全部无损检测，取*φ* =1.0。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表33 Ⅰ效分离室筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 125 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 2200 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 148.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 143.5 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 245.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

初步确定筒体名义厚度为δn=14mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=13.7mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，考虑上封头、下封头（锥壳）、下循环管，取计算长度L=10000mm。

③确定外压应变系数A、B

计算筒体外径*D*o=*D*i+2δn=2200+2×14=2228mm，则*L*/*D*o=4.49，*D*o/δe=162.63>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000133，B=17.65。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，外压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.4.2 上封头

（1）计算条件确定

计算条件见表34，其中，设计压力等参数已确定；采用标准椭圆封头；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表34 Ⅰ效分离室上封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 封头内径 | *D*i | 2200 | mm |  |
| 曲面深度 | *h*i | 550 | mm |  |
| 封头材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度及稳定性校核

根据GB 150.3-2011，受外压得椭圆形封头厚度计算采用外压球壳设计方法，其中Ro为椭圆形封头的当量球壳外半径，，其中为由椭圆形长短轴比值决定的系数，标准椭圆封头取。

①确定封头厚度

初步确定封头名义厚度为δnh=8mm，即有效厚度δeh=δnh-*C*1-*C*2=7.7mm。

②确定外压应变系数A、B

计算封头外径，则当量球壳外半径；根据式（3-3）计算得：

外压应变系数，

根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值，查得：B=64.17。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，按式（3-4）计算得：

计算得许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

已知，压力试验允许通过的应力。

按式（3-5）计算得：

试验压力下封头的应力；

，即，合格。

### 3.4.3 下封头

根据GB 150.3-2011规定，当锥壳大端或大、小端同时具有加强段或过渡段时，应按分别确定锥形封头各部分厚度，且先应考虑满足强度要求。在任何情况下，过渡段或加强段的厚度不得小于与其连接的锥壳厚度并不小于圆筒内直径的0.3%。

因此外压锥形封头要进行强度设计、校核和外压校核，强度设计时计算压力取正值。

（1）计算条件确定

计算条件见表35，各部分材料性能查询GB 150.2-2011；小端筒体为下循环管。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表35 Ⅰ效分离室下封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 强度设计计算压力 |  | 0.1 | MPa |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 125 | ℃ |  |
| 锥壳大端直径 | *D*i | 2200 | mm |  |
| 锥壳小端直径 | *D*is | 694 | mm |  |
| 锥壳大端转角半径 | *r* | 330 | mm |  |
| 锥壳小端转角半径 | *r*s | 105 | mm |  |
| 锥壳半顶角 | α | 45 | （°） |  |
| 锥壳轴向长度 | *Lx* | 627.53 | mm |  |
| 锥壳计算内直径 | *D*c | 2006.7 | mm |  |
| 锥壳段大端外直径 | *D*L | 2026.5 | mm |  |
| 锥壳段小端外直径 | *D*s | 771.5 | mm |  |
| 大端圆筒材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 小端圆筒材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 锥壳部分 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）各部分厚度强度计算

①锥壳厚度

锥壳厚度按式（3-14）计算得：；取锥壳最小名义厚度3.5mm（<14mm）。

②锥壳大端

受内压折边锥壳大端厚度按式（3-15）、（3-16）计算，取其较大值；查询取：K=0.8181，*f*=0.64；计算得：；圆筒内直径0.15%为3.3mm；取锥壳大端最小名义厚度4mm（<14mm）。

③锥壳小端

当锥壳半顶角时受内压折边锥壳小端过渡段厚度按需加强的受内压无折边锥壳小端计算，即按式（3-17）计算；计算得：，*δ*/*R*s＜0.002；

此时，查得，计算得。

在任何情况下，加强段的厚度不得小于相连接的锥壳厚度。锥壳加强段的长度应不小于

，圆筒加强段的长度应不小于。取锥壳和圆筒加强段所需最小名义厚度为4mm（<14mm），锥壳加强段长度为53.50mm，圆筒加强段长度为44.99mm。

（3）各部分厚度及稳定性校核

采用锥形封头，两端有折边，且两端都不作为支撑线。

①确定筒体厚度

确定大端圆筒名义厚度δn=14mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=13.7mm；小端圆筒名义厚度δn=8mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=7.7mm；锥壳部分名义厚度δn=14mm，即有效厚度δe=（δn-*C*1-*C*2）cosα=9.69mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，考虑各因素，取大端筒体计算长度*L*L=4230mm，小端筒体计算长度*L*sm =5000mm，锥壳部分当量长度*L*e =704.72mm。

③确定外压应变系数A、B

计算大端筒体外径*D*o=*D*i+2δn=2200+2×14=2228mm，则*L*/*D*o=1.90，*D*o/δe=162.63>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000131，B=17.32。

计算小端筒体外径*D*o=*D*i+2δn=694+2×8=710mm，则*L*/*D*o=7.04，*D*o/δe=92.21>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000137，B=18.14。

计算锥壳段大端外直径*DL*=2026.5mm，用*L*e/*DL*代替*L*/*D*o，则*L*e/*DL*=0.35，用*DL*/δe代替*D*o/δe，*DL*/δe=209.1>20；根据*L*e/*DL*和*DL*/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.001365，B=122.09。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格；

许用外压力；，即，合格；

许用外压力；，即，合格。

（4）压力试验应力校核

已确定。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格，即锥壳部分名义厚度为14mm。

### 3.4.4 开孔补强计算

（1）二次蒸汽出口接管

①判断是否需要补强

二次蒸汽出口接管尺寸为DN450mm，接管外径为480mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表36，其中，部分参数已查得或已确定；接管尺寸较大，无适用的不锈钢无缝钢管，采用钢板卷制钢管。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表36 Ⅰ效分离室二次蒸汽出口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 上封头 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ480×8 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 125 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 2200 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 8 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 143.5 | MPa |  |
| 接管轴线与封头轴线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053 | 钢板卷制 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 1 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 230 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（2）上循环管

①判断是否需要补强

上循环管尺寸为DN500mm，接管外径为530mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

主要计算条件见表37，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表37 Ⅰ效分离室上循环管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ530×8 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 125 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 2200 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 14 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 143.5 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 接管实际外伸高度 |  | 500 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 143.5 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

外压容器壳体开孔所需补强面积按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

由式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔需另加补强。

⑥补强圈选用

采用Q245材质补强圈，补强圈外径900mm，补强圈厚度8mm，补强圈面积，，满足要求，合格。

（3）出料接管

①判断是否需要补强

出料接管尺寸为DN50mm，接管外径为57mm，根据GB 150.3-2011，该接管满足可不另行补强要求，合格。

②设计条件

主要设计条件见表38，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表38 Ⅰ效分离室出料接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 下封头 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ57×8 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 125 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 开孔处壳体内径 | *D*i | 1100 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 14 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 143.5 | MPa |  |
| 接管轴线与封头轴线夹角 |  | 45 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 1 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.8 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 243 | MPa |  |

（4）进料接管

①判断是否需要补强

进料接管尺寸为DN80mm，接管外径为89mm，根据GB 150.3-2011，该接管满足可不另行补强要求，合格。

②设计条件

主要设计条件见表39，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表39 Ⅰ效分离室进料接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ89×6 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 125 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 2200 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 14 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 143.5 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 1 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.6 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 243 | MPa |  |

## 3.5 Ⅱ效加热室强度设计

### 3.5.1 壳程筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表40，其中，外压容器不设置安全阀，设计压力取0.1MPa；液柱静压力较小，不考虑；设计温度不低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度；相关金属材料力学性能参数查询自GB 150.2-2011，板材负偏差查询自GB/T 24511-2017；双面焊对接接头和相当于双面焊的全焊透对接接头全部无损检测，取*φ* =1.0。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表40 Ⅱ效加热室壳程筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 115 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 900 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 137.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 137.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 205.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm | 无腐蚀 |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

初步确定筒体名义厚度为8mm，大于GB/T151-2014中规定的最小厚度7mm，有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=7.7mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，取计算长度L=6000mm。

③确定外压应变系数A、B

计算筒体外径*D*o=*D*i+2δn=900+2×8=916mm，则*L*/*D*o=6.55，*D*o/δe=118.96>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-8，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000137，B=17.07。

④计算许用外压力[*p*]

由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，外压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.5.2 前端管箱筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表41，其中，外压容器不设置安全阀，设计压力取0.1MPa；液柱静压力较小，且在外压容器中抵消一部分外压，因此在确定计算压力时不考虑；设计温度不低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度；筒体材料采用B2级S22053+Q245R复合板材，覆材厚度3mm，强度计算中不计入覆材强度，即按Q245R板材计算；相关金属材料力学性能参数查询自GB 150.2-2011，板材负偏差查询自GB 713-2008，腐蚀裕量因覆材不计入强度，取0mm。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表41 Ⅱ效加热室前端管箱筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 100 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 900 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 148.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 145.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 245.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

初步确定筒体名义厚度为6mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=5.7mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，需考虑封头高度hi，取计算长度L=800+225/3=875mm。

③确定外压应变系数A、B

计算筒体外径*D*o=*D*i+2δn=900+2×6=912mm，则*L*/*D*o=0.96，*D*o/δe=160.0>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000695，B=91.59。

④计算许用外压力[*p*]

由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，外压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.5.3 前端管箱封头

（1）计算条件确定

主要计算条件见表42，其中，设计压力等参数已确定；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表42 Ⅱ效加热室前端管箱封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 100 | ℃ |  |
| 封头内径 | *D*i | 900 | mm | 结构设计已确定 |
| 曲面深度 | *h*i | 225 | mm |  |
| 封头材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 148.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 147.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度及稳定性校核

根据GB 150.3-2011，受外压得椭圆形封头厚度计算采用外压球壳设计方法，其中Ro为椭圆形封头的当量球壳外半径，，其中为由椭圆形长短轴比值决定的系数，标准椭圆封头取。

①确定封头厚度

初步确定封头名义厚度为δnh=6mm，即有效厚度δeh=δnh-*C*1-*C*2=5.7mm。

②确定外压应变系数A、B

计算封头外径，则当量球壳外半径；根据式（3-3）计算得：

外压应变系数，

根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值，查得：B=108.2。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，按式（3-4）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

已确定耐压试验压力。压力试验允许通过的应力。

按式（3-5）计算得：

试验压力下封头的应力；

，即，合格。

### 3.5.4 后端管箱筒体

1）计算条件确定

主要计算条件见表43，其中，设计压力等参数已确定；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表43 Ⅰ效加热室后端管箱筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 100 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 900 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

初步确定筒体名义厚度为6mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=5.7mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，需考虑封头高度hi，取计算长度L=400+225/3=475mm。

③确定外压应变系数A、B

计算筒体外径*D*o=*D*i+2δn=900+2×6=912mm，则*L*/*D*o=0.52，*D*o/δe=160.0>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000133，B=121.4。

④计算许用外压力[*p*]

由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

已确定耐压试验压力。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.5.5 后端管箱封头

（1）计算条件确定

主要计算条件见表44，其中，设计压力等参数已确定；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表44 Ⅱ效加热室后端管箱封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 100 | ℃ |  |
| 封头内径 | *D*i | 900 | mm | 结构设计已确定 |
| 曲面深度 | *h*i | 225 | mm |  |
| 封头材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度及稳定性校核、压力试验校核

可见后端管箱封头与前端管箱封头计算条件相同，亦取封头名义厚度为δnh=6mm，相同条件下稳定性校核和压力试验应力校核亦合格。

### 3.5.6 开孔补强计算

（1）加热蒸汽入口接管

①判断是否需要补强

加热蒸汽入口接管尺寸为DN300mm，接管外径为325mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

主要计算条件见表43，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表43 Ⅱ效加热室加热蒸汽入口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 壳程筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ325×10 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 115 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 900 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 8 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 1 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

外压容器壳体开孔所需补强面积按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（2）不凝气出口接管

①判断是否需要补强

不凝气出口接管尺寸为DN15mm，接管外径为18mm，根据GB 150.3-2011，该接管满足可不另行补强要求，合格。

②设计条件

主要设计条件见表44，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表44 Ⅱ效加热室不凝气出口接管设计条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 壳程筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ18×4 | mm | GB/T 17395-2008 |
| 计算压力 | *pc* | 0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 115 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 900 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 8 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 | GB 13296-2013 |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.4 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa | BG 150.2-2011 |

（3）冷凝水出口接管

①判断是否需要补强

冷凝水出口接管尺寸为DN50mm，接管外径为57mm，根据GB 150.3-2011，该接管满足可不另行补强要求，合格。

②设计条件

计算条件见表45，其中，部分参数已查得或已确定；

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表45 Ⅱ效加热室冷凝水出口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 壳程筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ57×5 | mm | GB/T 17395-2008 |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 115 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 900 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 8 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 | GB 13296-2013 |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.5 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

（4）上循环管

①判断是否需要补强

上循环管尺寸为DN400mm，接管外径为426mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

主要计算条件见表46，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表46 Ⅱ效加热室上循环管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 前端管箱筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ426×6 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 100 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 900 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 6 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 147 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053 | （板材） |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 500 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 147 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

外压容器壳体开孔所需补强面积按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

由式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（5）下循环管

（1）加热蒸汽入口接管

①判断是否需要补强

下循环管尺寸为DN700mm，接管外径为710mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

主要计算条件见表47，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表47 Ⅱ效加热室下循环管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 后端管箱封头 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ426×6 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 100 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 900 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 6 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 147 | MPa |  |
| 接管轴线与封头轴线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053 | （板材） |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 500 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 147 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

外压容器壳体开孔所需补强面积按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

由式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

### 3.5.7 管箱法兰

管箱法兰及垫片、紧固件根据NB/T 47020-2012设计或选用，采用甲型平焊法兰，PN0.25MPa，DN900mm，平密封面，材料采用S22053；垫片和螺柱、螺母材质尺寸按NB/T 47024-2012和NB/T 47027-2012；主要设计条件见表48。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表48 Ⅱ效加热室管箱法兰设计条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 100 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 壳体材料许用应力 |  | 147 | MPa |  |
| 法兰材料 |  | S22053 |  |  |
| 法兰有效厚度 |  | 46 | mm |  |
| 法兰材料许用应力 |  | 230 | MPa |  |
| 法兰材料设计温度下许用应力 |  | 230 | MPa |  |
| 螺柱材料 |  | 20 |  | NB/T 47020-2012 |
| 螺柱材料许用应力 |  | 91 | MPa |  |
| 螺柱材料设计温度下许用应力 |  | 81 | MPa |  |
| 螺柱公称直径 |  | 16 | mm |  |
| 螺柱根径 |  | 113.8 | mm |  |
| 螺柱数量 | n | 36 | 个 |  |
| 垫片材料 |  | 氟橡胶 |  |  |
| 密封面型式 |  | 平面 |  |  |

### 3.5.8 管板（兼作法兰）

（1）计算条件确定

主要计算条件见表49，其中管板材料选用TA2+S30408复合板材，覆材厚度为3mm，覆材不计入强度设计；管板厚度取46mm；钛管与管板连接宜采用焊接+贴胀方法，计算中按焊接；换热管材料选用TA2无缝管；管子受压失稳当量长度根据GB/T 151-2014确定；其他参数根据已确定条件确定，金属材料力学性能查阅对应标准。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表49 Ⅱ效加热室管板计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 管板材料 |  | TA2+S30408 | 复合板材 | NB/T 47002.3-2009 |
| 设计温度 |  | 115 | ℃ |  |
| 管板负偏差 | *C1* | 0.3 | mm |  |
| 管板腐蚀裕量 | *C2* | 0 | mm |  |
| 管板名义厚度 | *δn* | 46 | mm |  |
| 管板计算厚度 | *δ* | 45.7 | mm |  |
| 管板和管子连接型式 |  | 焊接+贴账 |  | 按焊接计算 |
| 管板和管子焊接高度 |  | 1.5 | mm |  |
| 法兰与管板厚度差 |  | 0 | mm |  |
| 换热管材料 |  | TA2 | 管材 | GB/T 3625-2007 |
| 管子平均温度 | *tt* | 78.6 | ℃ |  |
| 管子外径 | *d* | 38 | mm |  |
| 管子壁厚 | *δt* | 1.5 | mm |  |
| 管子根数 | *n* | 210 | 根 |  |
| 换热管中心距 | *S* | 48 | mm |  |
| 管子受压失稳当量长度 | *lcr* | 1200 | mm |  |

（2）管板、换热管校核

通过SW6-2011进行管板和换热管校核，管板应力校核合格，管板名义厚度46mm，换热管内压、外压、壳程压力试验外压计算合格。

## 3.6 Ⅱ效分离室强度设计

### 3.6.1 筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表50，其中，外压容器不设置安全阀，设计压力取0.1MPa；液柱静压力较小，且在外压容器中抵消一部分外压，因此在确定计算压力时不考虑；设计温度不低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度；采用复合钢板，覆材厚度3mm，同加热室管箱材料；相关金属材料力学性能参数查询自GB 150.2-2011，板材负偏差查询自GB/T 24511-2017；双面焊对接接头和相当于双面焊的全焊透对接接头全部无损检测，取*φ* =1.0。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表50 Ⅱ效分离室筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 100 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 1800 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 148.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 147.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 245.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

初步确定筒体名义厚度为δn=12mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=11.7mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，考虑上封头、下封头（锥壳）、下循环管，取计算长度L=8700mm。

③确定外压应变系数A、B

计算筒体外径*D*o=*D*i+2δn=1800+2×12=1824mm，则*L*/*D*o=4.77，*D*o/δe=155.9>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000132，B=17.49。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，外压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.6.2 上封头

（1）计算条件确定

计算条件见表51，其中，设计压力等参数已确定；采用标准椭圆封头；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表51 Ⅱ效分离室上封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 封头内径 | *D*i | 1800 | mm |  |
| 曲面深度 | *h*i | 450 | mm |  |
| 封头材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 709中B类偏差 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度及稳定性校核

根据GB 150.3-2011，受外压得椭圆形封头厚度计算采用外压球壳设计方法，其中Ro为椭圆形封头的当量球壳外半径，，其中为由椭圆形长短轴比值决定的系数，标准椭圆封头取。

①确定封头厚度

初步确定封头名义厚度为δnh=8mm，即有效厚度δeh=δnh-*C*1-*C*2=7.7mm。

②确定外压应变系数A、B

计算封头外径，则当量球壳外半径；根据式（3-3）计算得：

外压应变系数，

根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值，查得：B=78.42。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，按式（3-4）计算得：

计算得许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

已知，压力试验允许通过的应力。

按式（3-5）计算得：

试验压力下封头的应力；

，即，合格。

### 3.6.3 下封头

根据GB 150.3-2011规定，当锥壳大端或大、小端同时具有加强段或过渡段时，应按分别确定锥形封头各部分厚度，且先应考虑满足强度要求。在任何情况下，过渡段或加强段的厚度不得小于与其连接的锥壳厚度并不小于圆筒内直径的0.3%。

因此外压锥形封头要进行强度设计、校核和外压校核，强度设计时计算压力取正值。

（1）计算条件确定

计算条件见表52，各部分材料性能查询GB 150.2-2011；小端筒体为下循环管。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表52 Ⅱ效分离室下封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 强度设计计算压力 |  | 0.1 | MPa |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 100 | ℃ |  |
| 锥壳大端直径 | *D*i | 1800 | mm |  |
| 锥壳小端直径 | *D*is | 414 | mm |  |
| 锥壳大端转角半径 | *r* | 270 | mm |  |
| 锥壳小端转角半径 | *r*s | 75 | mm |  |
| 锥壳半顶角 | α | 45 | （°） |  |
| 锥壳轴向长度 | *Lx* | 594.47 | mm |  |
| 锥壳计算内直径 | *D*c | 1641.9 | mm |  |
| 锥壳段大端外直径 | *D*L | 1658.8 | mm |  |
| 锥壳段小端外直径 | *D*s | 469.9 | mm |  |
| 大端圆筒材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 小端圆筒材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 锥壳部分 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）各部分厚度强度计算

①锥壳厚度

锥壳厚度按式（3-14）计算得：；取锥壳最小名义厚度3.5mm（<12mm）。

②锥壳大端

受内压折边锥壳大端厚度按式（3-15）、（3-16）计算，取其较大值；查询取：K=0.8181，*f*=0.64；计算得：；圆筒内直径0.15%为2.7mm；取锥壳大端最小名义厚度4mm（<12mm）。

③锥壳小端

当锥壳半顶角时受内压折边锥壳小端过渡段厚度按需加强的受内压无折边锥壳小端计算，即按式（3-17）计算；计算得：，*δ*/*R*s＜0.002；

此时，查得，计算得。

在任何情况下，加强段的厚度不得小于相连接的锥壳厚度。锥壳加强段的长度应不小于

，圆筒加强段的长度应不小于。取锥壳和圆筒加强段所需最小名义厚度为3.5mm（<12mm），锥壳加强段长度为31.91mm，圆筒加强段长度为26.84mm。

（3）各部分厚度及稳定性校核

采用锥形封头，两端有折边，且两端都不作为支撑线。

①确定筒体厚度

确定大端圆筒名义厚度δn=12mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=11.7mm；小端圆筒名义厚度δn=6mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=5.7mm；锥壳部分名义厚度δn=12mm，即有效厚度δe=（δn-*C*1-*C*2）cosα=8.27mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，考虑各因素，取大端筒体计算长度*L*L=3230mm，小端筒体计算长度*L*sm =5000mm，锥壳部分当量长度*L*e =595.86mm。

③确定外压应变系数A、B

计算大端筒体外径*D*o=*D*i+2δn=1800+2×12=1824mm，则*L*/*D*o=1.77，*D*o/δe=155.9>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000126，B=16.71。

计算小端筒体外径*D*o=*D*i+2δn=414+2×6=426mm，则*L*/*D*o=11.74，*D*o/δe=74.74>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000211，B=27.94。

计算锥壳段大端外直径*DL*=1658.8mm，用*L*e/*DL*代替*L*/*D*o，则*L*e/*DL*=0.36，用*DL*/δe代替*D*o/δe，*DL*/δe=200.6>20；根据*L*e/*DL*和*DL*/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.0014，B=122.88。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格；

许用外压力；，即，合格；

许用外压力；，即，合格。

（4）压力试验应力校核

已确定。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格，即锥壳部分名义厚度为12mm。

### 3.6.4 开孔补强计算

（1）二次蒸汽出口接管

①判断是否需要补强

二次蒸汽出口接管尺寸为DN500mm，接管外径为530mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表53，其中，部分参数已查得或已确定；接管尺寸较大，无适用的不锈钢无缝钢管，采用钢板卷制钢管。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表53 Ⅱ效分离室二次蒸汽出口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 上封头 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ530×8 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 100 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1800 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 8 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 147 | MPa |  |
| 接管轴线与封头轴线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053 | 板材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 1 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 230 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（2）上循环管

①判断是否需要补强

上循环管尺寸为DN400mm，接管外径为426mm，根据GB 150.3-2011，该外径大于可不另行补强的最大开孔直径，采用等面积法补强。

②计算条件确定

主要计算条件见表54，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表54 Ⅱ效分离室上循环管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ426×6 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 100 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1800 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 12 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 147 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 | NB/T 47002.1-2009 |
| 接管实际外伸高度 |  | 500 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 147 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

外压容器壳体开孔所需补强面积按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

由式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔需另加补强。

⑥补强圈选用

采用Q245材质补强圈，补强圈外径700mm，补强圈厚度8mm，补强圈面积，，满足要求，合格。

（3）出料接管

①判断是否需要补强

出料接管尺寸为DN50mm，接管外径为57mm，根据GB 150.3-2011，该接管满足可不另行补强要求，合格。

②设计条件

主要设计条件见表55，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表55 Ⅱ效分离室出料接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 下封头 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ57×8 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 100 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 开孔处壳体内径 | *D*i | 900 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 12 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 147 | MPa |  |
| 接管轴线与封头轴线夹角 |  | 45 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 1 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.8 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 243 | MPa |  |

（4）进料接管

①判断是否需要补强

进料接管尺寸为DN32mm，接管外径为38mm，根据GB 150.3-2011，该接管满足可不另行补强要求，合格。

②设计条件

主要设计条件见表56，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表56 Ⅱ效分离室进料接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ38×4 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 100 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S22053+Q245R | 复合板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1800 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 12 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 147 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S22053 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 1 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.4 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 243 | MPa |  |

## 3.7 混合冷凝器强度设计

### 3.7.1 筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表57，其中，外压容器不设置安全阀，设计压力取0.1MPa；液柱静压力较小，且在外压容器中抵消一部分外压，因此在确定计算压力时不考虑；设计温度不低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度；筒体直径较小，采用管材，尺寸选自GB/T 17395-2008；相关金属材料力学性能参数查询自GB 150.2-2011，管材负偏差查询自GB 13296-2013；双面焊对接接头和相当于双面焊的全焊透对接接头全部无损检测，取*φ* =1.0。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表57 混合冷凝器筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 80 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 200 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S30408 | 管材 | GB 13296-2013 |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 137 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 137 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 205 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.5 | mm | GB 13296-2013 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

初步确定筒体名义厚度为δn=5mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=4.5mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，考虑上、下封头（管帽），取计算长度L=2018mm。

③确定外压应变系数A、B

筒体外径*D*o=219mm，则*L*/*D*o=9.21，*D*o/δe=48.67>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-8，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000498，B=57.63。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，外压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.7.2 上、下封头

（1）计算条件确定

计算条件见表58，其中，设计压力等参数已确定；直径较小，采用管帽，选自GB/T 12495；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表58 混合冷凝器上、下封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 封头内径 | *D*i | 209 | mm |  |
| 曲面深度 | *h*i | 50 | mm |  |
| 封头材料 |  | S30408 | 锻件 | 管件 |
| 负偏差 | *C*1 | 0 | mm |  |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度及稳定性校核

根据GB 150.3-2011，受外压得椭圆形封头厚度计算采用外压球壳设计方法，其中Ro为椭圆形封头的当量球壳外半径，，其中为由椭圆形长短轴比值决定的系数，标准椭圆封头取。

①确定封头厚度

初步确定封头名义厚度为δnh=5mm，即有效厚度δeh=δnh-*C*1-*C*2=5mm。

②确定外压应变系数A、B

计算封头外径，则当量球壳外半径；根据式（3-3）计算得：

外压应变系数，

根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-5，由Ａ值查取Ｂ值，查得：B=105.92。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，按式（3-4）计算得：

计算得许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

已知，压力试验允许通过的应力。

按式（3-5）计算得：

试验压力下封头的应力；

，即，合格。

### 3.7.3 开孔补强计算

（1）蒸汽进口接管

①判断是否需要补强

蒸汽进口接管尺寸为DN80mm，接管外径为89mm，根据GB 150.3-2011，不满足可不另行补强的条件，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表59，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表59 混合冷凝器蒸汽进口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ89×3 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 80 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 209 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 5 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.5 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 50 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.36 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（2）不凝气出口接管

①判断是否需要补强

不凝气出口接管尺寸为DN50mm，接管外径为57mm，根据GB 150.3-2011，不满足可不另行补强的条件，采用等面积法补强。

②计算条件确定

主要计算条件见表60，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表60 混合冷凝器不凝气出口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ57×3 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 80 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 209 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 5 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.5 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 50 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.36 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

外压容器壳体开孔所需补强面积按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

由式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；205，即，开孔不需另加补强，合格。

（3）冷凝水出口接管

该接管位置在筒体上，接管尺寸φ57×3，接管材料采用S30408管材，其条件与不凝气出口接管相同，不再重复计算；合格。

（4）蒸汽进口接管

①判断是否需要补强

蒸汽进口接管尺寸为DN65mm，接管外径为76mm，根据GB 150.3-2011，不满足可不另行补强的条件，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表61，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表61 混合冷凝器冷凝水出口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 下封头 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ76×3 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 80 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | 锻件 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 209 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 5 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与封头轴线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.36 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

## 3.8 冷凝水罐Ⅰ强度设计

### 3.8.1 筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表62，其中，外压容器不设置安全阀，设计压力取0.1MPa；液柱静压力在外压容器中抵消一部分外压，因此在确定计算压力时不考虑；设计温度不低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度；相关金属材料力学性能参数查询自GB 150.2-2011，板材负偏差查询自GB/T 24511-2017；双面焊对接接头和相当于双面焊的全焊透对接接头全部无损检测，取*φ* =1.0。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表62 冷凝水罐Ⅰ筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 120 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 1600 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 137.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 137.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 205.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm | 无腐蚀 |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

初步确定筒体名义厚度为δn=8mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=7.7mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，考虑上封头、下封头，取计算长度L=2811mm。

③确定外压应变系数A、B

计算筒体外径*D*o=*D*i+2δn=1600+2×8=1616mm，则*L*/*D*o=1.74，*D*o/δe=209.87>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-8，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000246，B=30.64。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，外压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.8.2 上、下封头

（1）计算条件确定

计算条件见表63，其中，设计压力等参数已确定；采用标准椭圆封头；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表63 冷凝水罐Ⅰ上、下封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 封头内径 | *D*i | 1600 | mm |  |
| 曲面深度 | *h*i | 400 | mm |  |
| 封头材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度及稳定性校核

根据GB 150.3-2011，受外压得椭圆形封头厚度计算采用外压球壳设计方法，其中Ro为椭圆形封头的当量球壳外半径，，其中为由椭圆形长短轴比值决定的系数，标准椭圆封头取。

①确定封头厚度

初步确定封头名义厚度为δnh=4mm，即有效厚度δeh=δnh-*C*1-*C*2=3.7mm。

②确定外压应变系数A、B

计算封头外径，则当量球壳外半径；根据式（3-3）计算得：

外压应变系数，

根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-8，由Ａ值查取Ｂ值，查得：B=40.02。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，按式（3-4）计算得：

计算得许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

已知，压力试验允许通过的应力。

按式（3-5）计算得：

试验压力下封头的应力；

，即，合格。

### 3.8.3 开孔补强计算

（1）冷凝水进口接管

①判断是否需要补强

冷凝水进口接管尺寸为DN150mm，接管外径为159mm，根据GB 150.3-2011，不满足可不另行补强的条件，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表64，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表64 冷凝水罐Ⅰ冷凝水进口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ159×7 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 120 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | 板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1600 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 8 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.7 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（2）冷凝水出口接管

①判断是否需要补强

冷凝水出口接管尺寸为DN100mm，接管外径为108mm，根据GB 150.3-2011，不满足可不另行补强的条件，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表65，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表65 冷凝水罐Ⅰ冷凝水出口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ108×6 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 120 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | 板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1600 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 8 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.6 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（3）气压平衡管接管

①判断是否需要补强

气压平衡管接管尺寸为DN32mm，接管外径为38mm，根据GB 150.3-2011，该接管满足可不另行补强要求，合格。

②计算条件确定

计算条件见表66，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表66 冷凝水罐Ⅰ气压平衡管接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 上封头 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ38×4 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 120 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | 板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1600 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 4 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与封头轴线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.4 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

## 3.9 冷凝水罐Ⅱ强度设计

### 3.9.1 筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表67，其中，内压容器不设置安全阀，设计压力高于工作压力，取0.1MPa；液柱静压力较大，考虑。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表67 冷凝水罐Ⅰ筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | 0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | 0.11 | MPa | 考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 140 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 1200 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 137.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 137.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 205.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm | 无腐蚀 |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度计算

按式（3-18）计算得：

内压圆筒计算厚度；

取筒体名义厚度为δn=4mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=3.7mm。

（3）压力及应力计算

按式（3-19）计算得：

内压圆筒计算应力；

，137MPa>17.73MPa，即，合格。

按式（3-20）计算得：

最大允许工作压力；

（4）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，内压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.9.2 上封头

（1）计算条件确定

计算条件见表68，其中，设计压力等参数已确定；采用标准椭圆封头；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表68 冷凝水罐Ⅱ上封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 封头内径 | *D*i | 1200 | mm |  |
| 曲面深度 | *h*i | 300 | mm |  |
| 封头材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度计算

内压封头计算厚度按式（3-22）计算，式中符号含义前文已提及：

计算得：

内压圆筒计算厚度；

取封头名义厚度为δn=4mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=3.7mm。

（3）压力计算

最大允许工作压力按式（3-23）计算，式中符号含义前文已提及：

计算得：

最大允许工作压力；

（4）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，内压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

试验压力下应力按式（3-24）计算，式中符号含义前文已提及：

试验压力下封头的应力；

，即，合格。

### 3.9.3 下封头

（1）计算条件确定

计算条件见表69，其中，设计压力等参数已确定；采用标准椭圆封头；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表69 冷凝水罐Ⅱ下封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 计算压力 | *pc* | 0.11 | MPa | 考虑液柱静压力 |
| 封头内径 | *D*i | 1200 | mm |  |
| 曲面深度 | *h*i | 300 | mm |  |
| 封头材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度计算

按式（3-22）计算得：

内压圆筒计算厚度；

取封头名义厚度为δn=4mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=3.7mm。

（3）压力计算

最大允许工作压力同上封头，；

（4）压力试验应力校核

条件同上封头，合格。

### 3.9.4 开孔补强计算

（1）冷凝水进口接管

①判断是否需要补强

冷凝水进口接管尺寸为DN80mm，接管外径为89mm，根据GB 150.3-2011，不满足可不另行补强的条件，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表70，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表70 冷凝水罐Ⅱ冷凝水进口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ89×2.5 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | 0.1 | MPa |  |
| 设计温度 | *t* | 140 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | 板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1200 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 4 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

按式（3-21）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（2）冷凝水出口接管

①判断是否需要补强

冷凝水出口接管尺寸为DN65mm，接管外径为76mm，根据GB 150.3-2011，不满足可不另行补强的条件，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表71，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表71 冷凝水罐Ⅱ冷凝水出口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ76×2.5 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | 0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 140 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | 板材 |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |

③开孔所需补强面积计算

按式（3-21）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（3）气压平衡管接管

①判断是否需要补强

气压平衡管接管尺寸为DN32mm，接管外径为38mm，根据GB 150.3-2011，不满足可不另行补强的条件，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表72，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表72 冷凝水罐Ⅱ气压平衡管接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 上封头 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ38×2 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | 0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 140 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | 板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 1200 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 4 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与封头轴线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.24 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

按式（3-21）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

## 3.10 冷凝水罐Ⅲ强度设计

### 3.10.1 筒体

（1）计算条件确定

计算条件见表73，其中，外压容器不设置安全阀，设计压力取0.1MPa；液柱静压力在外压容器中抵消一部分外压，因此在确定计算压力时不考虑；设计温度不低于元件金属在工作状态可能达到的最高温度。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表73 冷凝水罐Ⅲ筒体计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 设计压力 | *p* | -0.1 | MPa |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 115 | ℃ |  |
| 筒体内径 | *D*i | 800 | mm | 结构设计已确定 |
| 筒体材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 试验温度许用应力 | [σ] | 137.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 设计温度许用应力 | [σ]t | 137.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 试验温度下屈服点 | *ReL* | 205.0 | MPa | GB 150.2-2011 |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm | GB/T 24511-2017 |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm | 无腐蚀 |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）圆筒厚度及稳定性校核

①确定筒体厚度

初步确定筒体名义厚度为δn=6mm，即有效厚度δe=δn-*C*1-*C*2=5.7mm。

②确定计算长度

根据GB 150.3-2011相关原则，考虑上封头、下封头，取计算长度L=1384mm。

③确定外压应变系数A、B

计算筒体外径*D*o=*D*i+2δn=800+2×6=812mm，则*L*/*D*o=1.70，*D*o/δe=142.46>20；根据*L*/*D*o和*D*o/δe由GB 150.3-2011图4-2查取外压应变系数Ａ值；根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-8，由Ａ值查取Ｂ值。查得：A=0.000449，B=53.05。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，由式（3-1）计算得：

许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

根据GB 150.1-2011，外压容器采用液压试验时，耐压试验压力，即。压力试验允许通过的应力。

按式（3-2）计算得：

试验压力下圆筒的应力；

，即，合格。

### 3.10.2 上、下封头

（1）计算条件确定

计算条件见表74，其中，设计压力等参数已确定；采用标准椭圆封头；封头材料与筒体材料相同；相关参数已查得。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表74 冷凝水罐Ⅲ上、下封头计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  |  |
| 封头内径 | *D*i | 800 | mm |  |
| 曲面深度 | *h*i | 200 | mm |  |
| 封头材料 |  | S30408 | （板材） |  |
| 负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 腐蚀裕量 | *C*2 | 0.0 | mm |  |
| 焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |

（2）封头厚度及稳定性校核

根据GB 150.3-2011，受外压得椭圆形封头厚度计算采用外压球壳设计方法，其中Ro为椭圆形封头的当量球壳外半径，，其中为由椭圆形长短轴比值决定的系数，标准椭圆封头取。

①确定封头厚度

初步确定封头名义厚度为δnh=4mm，即有效厚度δeh=δnh-*C*1-*C*2=3.7mm。

②确定外压应变系数A、B

计算封头外径，则当量球壳外半径；根据式（3-3）计算得：

外压应变系数，

根据所用材料，查GB 150.3-2011图4-8，由Ａ值查取Ｂ值，查得：B=61.44。

④计算许用外压力[*p*]

根据外压应变系数B值，按式（3-4）计算得：

计算得许用外压力；，即，合格。

（3）压力试验应力校核

已知，压力试验允许通过的应力。

按式（3-5）计算得：

试验压力下封头的应力；

，即，合格。

### 3.10.3 开孔补强计算

（1）冷凝水进口接管

①判断是否需要补强

冷凝水进口接管尺寸为DN50mm，接管外径为57mm，根据GB 150.3-2011，不满足可不另行补强的条件，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表75，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表75 冷凝水罐Ⅲ冷凝水进口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ57×2.5 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 115 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | 板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 800 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 6 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（2）冷凝水出口接管

①判断是否需要补强

冷凝水出口接管尺寸为DN40mm，接管外径为45mm，根据GB 150.3-2011，不满足可不另行补强的条件，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表76，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表76 冷凝水罐Ⅲ冷凝水出口接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 筒体 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ45×2.5 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 115 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | 板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 接管轴线与筒体表面法线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

（3）气压平衡管接管

①判断是否需要补强

气压平衡管接管尺寸为DN32mm，接管外径为38mm，根据GB 150.3-2011，不满足可不另行补强的条件，采用等面积法补强。

②计算条件确定

计算条件见表77，其中，部分参数已查得或已确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表77 冷凝水罐Ⅲ气压平衡管接管开孔补强计算条件表** | | | | |
| 项目 | 符号 | 数值/名称 | 单位 | 备注 |
| 计算所依据标准 |  | GB 150.3-2011 |  | 等面积补强法，单孔 |
| 开孔位置 |  | 上封头 |  |  |
| 接管尺寸 |  | φ38×2 | mm |  |
| 计算压力 | *pc* | -0.1 | MPa | 不考虑液柱静压力 |
| 设计温度 | *t* | 120 | ℃ |  |
| 壳体材料 |  | S30408 | 板材 |  |
| 壳体开孔处焊接接头系数 | *φ* | 1 |  |  |
| 壳体内径 | *D*i | 800 | mm |  |
| 壳体开孔处名义厚度 | *δn* | 4 | mm |  |
| 壳体厚度负偏差 | *C*1 | 0.3 | mm |  |
| 壳体腐蚀裕量 | *C*2 | 0 | mm |  |
| 壳体材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |
| 接管轴线与封头轴线夹角 |  | 0 | （°） |  |
| 接管连接型式 |  | 插入式接管 |  |  |
| 接管材料 |  | S30408 | 管材 |  |
| 接管实际外伸高度 |  | 100 | mm |  |
| 接管实际内伸高度 |  | 0 | mm |  |
| 接管焊接接头系数 |  | 1 |  |  |
| 接管腐蚀裕量 |  | 0 | mm |  |
| 接管厚度负偏差 | *C*1 | 0.24 | mm |  |
| 接管材料许用应力 | [σ]t | 137 | MPa |  |

③开孔所需补强面积计算

按式（3-6）计算得：

开孔直径，

开孔所需补强面积。

④有效补强范围确定

根据式（3-7）、（3-8）、（3-9）计算得：

有效宽度，外伸接管有效补强高度，内伸接管有效补强高度。

⑤补强面积计算

由式（3-10）、（3-11）、（3-12）、（3-13）计算得：

各补强面积数值为：，，，则；，即，开孔不需另加补强，合格。

# 参考文献

# 附录A MVR加热室SW6校核计算书

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **固定管板换热器设计计算** | | | | |
|  | | | | |
| **设计计算条件:** | | | | |
|  | | | | |
| **壳 程:** | | | **管 程:** | |
| 设计压力 *P*s (MPa) | **-0.1** |  | 设计压力 *P*t (MPa) | **-0.1** |
| 设计温度 *t*s (℃) | **120** |  | 设计温度 *t*t (℃) | **110** |
| 壳程圆筒内径Di (mm) | **1900** |  | 管箱圆筒内径Di (mm) | **1900** |
| 材料名称 | **S30408** |  | 材料名称 | **Q245R** |
| 试验压力(MPa) | **0.125** |  | 试验压力(MPa) | **0.125** |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **壳程圆筒计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **137.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **120.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **205.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **1900.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 材料名称 | | | | **S30408** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **板材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **137.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **184.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **8.73** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **13.70** | |  | *L*/*D*o | | **6.22** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **13.70** | |  | *D*o/*δ*e | | **140.73** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **14.00** | |  | *A*值 | | **0.0001144** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **12000.00** | | | |  | *B*值 | | **14.16** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **1928.00** | |  | 重量 (kg) | | **7929.71** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **0.10063** | |  |  | |  |
| **结论** | **筒体名义厚度大于或等于GB/T151-2014中规定的最小厚度10.00mm,合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **前端管箱筒体计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **145.60** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **110.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **245.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **1900.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 材料名称 | | | | **Q245R** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **板材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **148.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **20.90** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **4.35** | |  | *L*/*D*o | | **0.45** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **5.70** | |  | *D*o/*δ*e | | **335.44** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **6.00** | |  | *A*值 | | **0.0005044** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **858.00** | | | |  | *B*值 | | **66.58** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **1912.00** | |  | 重量 (kg) | | **197.41** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **0.19847** | |  |  | |  |
| **结论** | **合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **前端管箱封头计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **148.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **110.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **145.60** |
| 内径 *D*i (mm) | **1900.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **475.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **Q245R** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **板材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **20.86** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **4.22** |  | 外径 *D*o (mm) | **1912.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **5.70** |  | 系数 *K*1 | **0.8953** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **6.00** |  | *A* 值 | **0.0004167** |
| 重量 | **186.51** |  | *B* 值 | **55.04** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **0.18344** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **后端管箱筒体计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **145.60** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **110.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **245.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **1900.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 材料名称 | | | | **Q245R** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **板材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **148.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **15.48** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **6.65** | |  | *L*/*D*o | | **1.23** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **7.70** | |  | *D*o/*δ*e | | **248.83** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **8.00** | |  | *A*值 | | **0.0002720** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **2358.00** | | | |  | *B*值 | | **35.95** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **1916.00** | |  | 重量 (kg) | | **828.13** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **0.14448** | |  |  | |  |
| **结论** | **合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **后端管箱封头计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **148.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **110.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **145.60** |
| 内径 *D*i (mm) | **1900.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **475.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **Q245R** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **板材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **20.86** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **4.22** |  | 外径 *D*o (mm) | **1912.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **5.70** |  | 系数 *K*1 | **0.8953** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **6.00** |  | *A* 值 | **0.0004167** |
| 重量 | **186.51** |  | *B* 值 | **55.04** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **0.18344** |  | **结论** | **合格** |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N1蒸汽入口, φ610×22** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **120** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1900** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **14** | |  | | 名称及类型 | | **板材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **200** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **566.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **13.7** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **1.255** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **566.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **1133.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **111.65** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **3881** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **0** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **4565** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **77** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**4642** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N2料液入口, φ108×6** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **110** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **1** |
| 壳体型式 | **椭圆形封头** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.6** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **243** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1900** | |  | | 接管材料 | | **S22053** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **6** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **145.6** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 椭圆形封头长短轴之比 | **2** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | | **-0** |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **100** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **99.2** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **4.225** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.34** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **99.2** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **198.4** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **24.397** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **24.397** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **210** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **146** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **364** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **16** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**527** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N3不凝气出口, φ32×4** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **120** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.4** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1900** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **14** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **24.8** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) |  |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | |  | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr |  |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | |  | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **24.8** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | |  | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) |  |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | |  | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) |  |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | |  | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) |  |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | |  | |
| *A*1+*A*2+*A*3= (mm2) | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **根据GB/T150第6.1.3节的规定,本开孔可不另行补强。** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N4冷凝水出口, φ159×14** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **120** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **1.4** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1900** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **14** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **133.8** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **13.7** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.4265** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **133.8** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **267.6** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **43.28** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **917** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **0** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **1054** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **49** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**1103** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **延长部分兼作法兰固定式管板腐蚀后计算** | | | | | | | | | | | |
|  | |  | | | | | | | | | |
| **设计计算条件:** | |  | | | | | | | | | |
|  | | | | |  |  |  | | | | |
| **壳程圆筒：** | | | | |  |  |  | | |  | |
| 设计压力 *ps* (MPa) | | | | | **-0.1** |  | 平均温度下热膨胀系数*αs*(1/℃) | | | **1.683e-05** | |
| 设计温度 *Ts* (℃) | | | | | **120** |  | 壳程圆筒内径 *D*I(mm) | | | **1900** | |
| 平均金属温度*ts* (℃) | | | | | **98.7** |  | 壳 程 圆 筒 名 义 厚 度 *δs* (mm) | | | **14** | |
| 装配温度*t0* (℃) | | | | | **20** |  | 壳程圆筒有效厚度δse(mm) | | | **13.7** | |
| 材料名称 | **S30408** | | | | |  | 壳体法兰弹性模量*Ef’*(MPa) | | | **1.878e+05** | |
| 设计温度下许用应力[*σ*]t(MPa) | | | | | **137** |  | 壳程圆筒内直径横截面积*A*(mm2) | | | **2.835e+06** | |
| 平均温度下弹性模量 *Es*(MPa) | | | | | **1.891e+05** |  | 壳程圆筒金属横截面积*As*(mm2) | | | **8.237e+04** | |
| 壳程圆筒环向焊接接头系数 | | | | | **1** |  |  | | |  | |
| **壳程端部圆筒:** | | | | |  |  |  | | |  | |
| 材料名称 | | | | |  |  | 端部圆筒有效厚度 *δse* | | |  | |
| 端部圆筒平均金属温度下弹性模量 Es | | | | |  |  | 两端部圆筒总长度 | | |  | |
| 端部圆筒平均金属温度下热膨胀系数*αs* | | | | |  |  | 端部圆筒金属横截面积 *As=πδs* (*D*i*+δ*s) | | |  | |
| 端部圆筒名义厚度 *δs* | | | | |  |  |  | | |  | |
| **管箱圆筒:** | | | | |  |  |  | | |  | |
| 设计压力 *pt* (MPa) | | | | | **-0.1** |  | 弹性模量 *Eh* (MPa) | | | **1.964e+05** | |
| 设计温度 *Tt* (℃) | | | | | **110** |  | 管箱圆筒名义厚度*δh* (mm) | | | **6** | |
| 材料名称 | | | | | **Q245R** |  | 管箱法兰弹性模量 *Et”(*MPa) | | | **1.932e+05** | |
|  | | | | |  |  |  | | |  | |
| **换热管:** | | | | |  |  |  | | |  | |
| 材料名称 | | | | | **TA2** |  | 换热管中心距 *S* (mm) | | | **48** | |
| 管子平均温度 *tt* (℃) | | | | | **90.1** |  | 一根管子金属横截面积α(mm2) | | | **172** | |
| 设计温度下管子材料许用应力[*σ*]tt (MPa) | | | | | **113** |  | 换热管长度 L(mm) | | | **1.2e+04** | |
| 设计温度下管子材料屈服应力*σ*st  (MPa) | | | | | **232.2** |  | 管子有效长度(两管板内侧间距)*L1*(mm) | | | **1.184e+04** | |
| 设计温度下管子材料弹性模量*E*tt | | | | | **1.058e+05** |  | 管束模数*K*t | | | **975.6** | |
| 平均温度下管子材料弹性模量*E*t(MPa) | | | | | **1.075e+05** |  | 管子回转半径 *i* | | | **12.92** | |
| 平均温度下管子材料热膨胀系数*α*t | | | | | **8.2e-06** |  | 管子受压失稳当量长度 | | | **1200** | |
| 管子外径 *d* (mm) | | | | | **38** |  | 系数*Cr* | | | **94.84** | |
| 管子壁厚 *δt* (mm) | | | | | **1.5** |  | 比值 | | | **92.91** | |
| 管子根数 *n* | | | | | **1187** |  | 管子稳定许用压应力[*σ*]cr | **78.97** | | | |
| **注：** | | | | |  |  |  |  | | | |
| **管 板:** | | | |  | |  |  |  | | | |
| 材料名称 | | | | **S30408** | |  | 管板强度削弱系数 *η* | **0.4** | | | |
| 设计温度 *tp* | | | | **120** | |  | 管板刚度削弱系数 *μ* | **0.4** | | | |
| 设计温度下许用应力[*σ*]rt (MPa) | | | | **109.6** | |  | 管子加强系数 K | **4.184** | | | |
| 设计温度下弹性模量*EP* (MPa) | | | | **1.878e+05** | |  | 管板和管子连接型式 | **焊接** | | | |
| 管板腐蚀裕量 *C2* (mm) | | | | **0** | |  | 管板和管子胀接(焊接)高度 *l*(mm) | **1.5** | | | |
| 管板输入厚度*δn* (mm) | | | | **80** | |  | 胀接许用拉脱应力 [q](MPa) |  | | | |
| 管板计算厚度 *δ* (mm) | | | | **79.7** | |  | 焊接许用拉脱应力 [*q*](MPa) | **54.8** | | | |
| 管板分程处面积 *Ad* (mm2) **0** | | | | | | |  |  | | | |
|  | | | | | | |  |  | | | |
| **管箱法兰:** | | |  | | |  |  | |  | | |
| 材料名称 | | | **S22053** | | |  | 比值 *δ*h/*D*i | | **0.003** | | |
| 管箱法兰厚度*δ*f”(mm) | | | **76** | | |  | 比值*δ*f”/*D*i | | **0.04** | | |
| 法兰外径 *D*f (mm) | | | | | **2030** |  | 法兰宽度 (mm) | | **65** | | |
| 基本法兰力矩 *M*m (N⋅mm) | | | | | **2.234e+06** |  | 系数 *ω”* | | **2.528e-05** | | |
| 管程压力操作工况下法兰力*M*p (N⋅mm) | | | | | **1.151e+07** |  | 管箱圆筒与法兰的旋转刚度 *K*f”(MPa) | | | | **0.9591** |
| 管箱圆筒壳常数(1/mm) | | | | | **0.01747** |  |  | |  | | |
| **壳体法兰:** | | |  | | |  |  | |  | | |
| 材料名称 | | | **S30408** | | |  | 旋转刚度参数 (Mpa) | | **3.184** | | |
| 壳体法兰厚度 *δ*f’(mm) | | | **80** | | |  | 法兰外径与内径之比 *K* | | **1.068** | | |
| 法兰外径 *D*f (mm) | | | **2030** | | |  | 壳体法兰应力系数 *Y* | | **29.14** | | |
| 法兰宽度 *b*f (mm) | | | **65** | | |  | 旋转刚度无量纲参数 | | **0.002563** | | |
| 比值 *δ*s/*D*i | | | **0.007211** | | |  | 膨胀节总体轴向刚度*K*ex(N/mm) | |  | | |
| 比值*δ*f’/*D*i | | | **0.04211** | | |  | 膨胀节波峰处内直径 (mm) | |  | | |
| 系数*ω’* | | | **0.0001628** | | |  | 系数 | |  | | |
| 壳体法兰与圆筒的旋转刚度 *K*f’(MPa) | | | | | **3.184** |  |  | |  | | |
|  | | | | | | | | | | | |
|  |  |  |
| **管板参数计算:** | | | | |  |  |  | |  | | |
|  | | | | |  |  |  | |  | | |
| 管板开孔后面积 *A*1(mm2) | | | | | **1.489e+06** |  | 管板布管区当量直径*D*t(mm) | | **1737** | | |
| 管板布管区面积 *A*t(mm2) | | | | | **2.368e+06** |  |  | |  | | |
|  | | | | |  |  |  | |  | | |
| **系数计算:** | | | | |  |  |  | |  | | |
| 管板第一弯矩系数*m*1 | | | | | **0.1511** |  | 系数 *M*1 | | **0.004186** | | |
| 系数 *ψ* | | | | | **14.1** |  | 系数 *G*3 | | **0.01343** | | |
| 系数 *G*2 | | | | | **2.908** |  | 法兰力矩折减系数 *ξ* | | **0.1602** | | |
| 换热管束与不带膨胀节壳体刚度之比*Q* | | | | | **1.409** |  | 管板边缘力矩变化系 | | **0.2874** | | |
| 换热管束壳体刚度之比 *Q*ex | | | | | **1.409** |  | 法兰力矩变化系数 | | **0.954** | | |
| 系数 *λ*=*A*1/*A* | | | | | **0.5252** |  | 系数 | | **0.1371** | | |
| 系数 *Σ*s | | | | | **3.152** |  | 管板布管区当量直径与壳体内径之比 | | **0.914** | | |
| 系数 *Σ*t | | | | | **4.28** |  | 管板周边不布管区无量纲宽度 *k = K* (1-*ρ*t) | | **0.36** | | |
| 管板第二弯矩系数*m*2 | | | | | **2.15** |  |  | |  | | |
|  | | | | |  |  |  | |  | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **仅有壳程压力*Ps*作用下的危险组合工况 (*Pt* = 0)** | | | | | | | | | |
|  | 不计温差应力 | | | | | | 计温差应力 | | |
| 换热管与壳程圆筒热膨胀变形差 γ | **0.0** | | | | | | **-0.0007499** | | |
| 当量压力组合 *P*c(MPa) | **-0.1** | | | | | | **-0.1** | | |
| 有效压力组合 *P*a (MPa) | **-0.3152** | | | | | | **-11.37** | | |
| 基本法兰力矩系数 | **-0.002505** | | | | | | **-6.947e-05** | | |
| 管板边缘力矩系数 | **-0.001302** | | | | | | **0.001133** | | |
| 管板边缘剪力系数 *ν* | **-0.01836** | | | | | | **0.01598** | | |
| 管板总弯矩系数 *m* | **0.1138** | | | | | | **0.1826** | | |
| 管板布管区周边径向弯矩系数 | | | **-0.1615** | | | | **-0.09431** | | |
| 管板布管区最大径向弯矩系数 | | | **-0.4112** | | | | **-0.3709** | | |
| 管板径向弯矩系数 | | | **-0.4112** | | | | **-0.3709** | | |
| 系数G1 | | | **-0.295** | | | | **-0.2661** | | |
| 管板径向应力系数 | | | **-0.01677** | | | | **-0.01565** | | |
| 管板布管区周边处剪切应力系数 | | | **0.05685** | | | | **0.05884** | | |
| 壳体法兰力矩系数 | | | **-0.004395** | | | | **-0.004005** | | |
|  | | 计算值 | | 许用值 | | | 计算值 | | 许用值 |
| 管板径向应力 *σ*r (MPa) | | **3.945** | | **164.4** | | | **132.8** | | **328.8** |
| 管板布管区周边剪切应力 *τ*p(MPa) | | **-0.5126** | | **54.8** | | | **-19.13** | | **164.4** |
| 壳体法兰应力*σ*f’ (MPa) | | **9.393** | | **164.4** | | | **308.6** | | **328.8** |
| 换热管轴向应力*σ*t (MPa) | | **0.8331** | | [*σ*]tt **=113**  [*σ*]cr **=78.97** | | | **54.68** | | 3[*σ*]tt **=339**  1.2[*σ*]cr  **=94.77** |
| 壳程圆筒轴向应力 *σ*c (MPa) | | **-1.296** | | **137** | | | **-48.37** | | **411** |
| 换热管与管板连接拉脱应力 *q* (MPa) | | **0.8002** | | **54.8** | | | **52.52** | | **164.4** |
| **仅有管程压力*Pt*作用下的危险组合工况 (*Ps* = 0)** | | | | | | | | | |  | |  | |
|  | 不计温差应力 | | | | | | 计温差应力 | | |
| 换热管与壳程圆筒热膨胀变形差 *γ* | **0.0** | | | | | | **-0.0007499** | | |
| 当量压力组合 *P*c(MPa) | **0.1137** | | | | | | **0.1137** | | |
| 有效压力组合*P*a (MPa) | **0.428** | | | | | | **-10.62** | | |
| 操作情况下法兰力矩系数 | **0.009505** | | | | | | **-0.0003829** | | |
| 管板边缘力矩系数 | **0.009505** | | | | | | **-0.0003829** | | |
| 管板边缘剪力系数 | **0.134** | | | | | | **-0.0054** | | |
| 管板总弯矩系数 *m* | **0.3874** | | | | | | **0.1403** | | |
| 管板布管区周边径向弯矩系数 | **0.155** | | | | | | **-0.1356** | | |
| 管板布管区最大径向弯矩系数 | **-0.2723** | | | | | | **-0.3952** | | |
| 管板径向弯矩系数 | **-0.2723** | | | | | | **-0.3952** | | |
| 系数 | **-0.1954** | | | | | | **-0.2835** | | |
| 管板径向应力系数 | **-0.01283** | | | | | | **-0.01633** | | |
| 壳体法兰力矩系数 | **-0.002663** | | | | | | **-0.004248** | | |
|  | 计算值 | | | | 许用值 | | 计算值 | | 许用值 |
| 管板径向应力 *σ*r (MPa) | **4.098** | | | | **164.4** | | **129.5** | | **328.8** |
| 管板布管区周边剪切应力 *τ*p(MPa) | **0.8042** | | | | **54.8** | | **-17.51** | | **164.4** |
| 壳体法兰应力*σ*f’ (MPa) | **-7.729** | | | | **164.4** | | **306** | | **328.8** |
| 换热管轴向应力*σ*t (MPa) | **-1.137** | | | | [*σ*]tt **= 113**  [*σ*]cr= **78.97** | | **53.16** | | 3[*σ*]tt **=339**  1.2[*σ*]cr= **94.77** |
| 壳程圆筒轴 向 应 力 *σ*c (MPa) | **-1.41** | | | | **137** | | **-47.69** | | **411** |
| 换热管与管板连接拉脱应力 *q* (MPa) | **1.092** | | | | **54.8** | | **51.06** | | **164.4** |
| **考虑壳程*Ps*和管程压力*Pt*同时作用下的危险组合工况:** | | | | | | | | | |
|  | 不计温差应力 | | | | | | 计温差应力 | | |  |  | |
| 换热管与壳体热膨胀变形差 *γ* | **0.0** | | | | | | **-0.0007499** | | |
| 当量压力组合 *P*c (MPa) | **0.01371** | | | | | | **0.01371** | | |
| 有效压力组合 *P*a (MPa) | **0.1128** | | | | | | **-10.94** | | |
| 基本法兰力矩系数 | **0.007** | | | | | | **-7.219e-05** | | |
| 操作情况下法兰力矩系数 | **0.03727** | | | | | | **0.0008311** | | |
| 管板边缘力矩系数 | **0.008203** | | | | | | **0.001131** | | |
| 管板边缘剪力系数 *ν* | **0.1157** | | | | | | **0.01595** | | |
| 管板总弯矩系数 *m* | **0.3584** | | | | | | **0.1825** | | |
| 管板布管区周边径向弯矩系数 | **0.1434** | | | | | | **-0.09439** | | |
| 管板布管区最大径向弯矩系数 | **-0.2842** | | | | | | **-0.3709** | | |
| 管板径向弯矩系数 | **0.5905** | | | | | | **-0.3951** | | |
| 系数 | **0.4236** | | | | | | **-0.2834** | | |
| 管板径向应力系数 | **0.03701** | | | | | | **-0.01633** | | |
| 管板布管区周边处剪切应力系数 | **0.08736** | | | | | | **0.05883** | | |
| 壳体法兰力矩系数 | **-0.002872** | | | | | | **-0.004246** | | |
|  | 计算值 | | | | | 许用值 | | 计算值 | 许用值 |
| 管板径向应力 *σ*r (MPa) | **3.115** | | | | | **164.4** | | **133.3** | **328.8** |
| 管板布管区周边剪切应力 *τ*p (MPa) | **0.2819** | | | | | **54.8** | | **-18.41** | **164.4** |
| 壳体法兰应力 (MPa) | **-2.197** | | | | | **164.4** | | **314.9** | **328.8** |
| 换热管轴向应力 *σ*t (MPa) | **-0.4231** | | | | | [*σ*]tt **= 113**  [*σ*]cr= **78.97** | | **53.98** | 3[*σ*]tt **= 339**  1.2[*σ*]cr  =**94.77** |
| 壳程圆筒轴向应力*σ*c (MPa) | **-2.915** | | | | | **137** | | **-49.99** | **411** |
| 换热管与管板连接拉脱应力 *q* (MPa) | **0.4064** | | | | | **54.8** | | **51.32** | **164.4** |
| **计算结果:** | 管板名义厚度*δ*n (mm) | | | | | | | **80** | **管板校核通过** |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **管箱法兰计算** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| **设 计 条 件** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) : | **-0.100** | |  | 螺栓根径 *dB* (mm) : | **17.3** | |
| 计算压力 *p*c (MPa) : | **-0.100** | |  | 螺栓数量 *n* (个) : | **56** | |
| 设计温度 *t* (° C) : | **110.0** | |  | 法兰结构尺寸 (mm) : |  | |
| 轴向外载荷 *F* (N) : | **0.0** | |  | *D*i = | **1900.0** | |
| 外力矩 *M* (N.mm) : | **0.0** | |  | *D*o = | **2030.0** | |
| 壳体材料名称 : | **Q245R** | |  | *δ*0 = | **6.0** | |
| 壳体材料在设计温度下的 |  | |  | *δ*1 = | **13.0** | |
| 许用应力 [*σ*]nt (MPa) : | **145.6** | |  | *h* = | **6.0** | |
| 法兰材料名称 : | **S22053** | |  | *D*b = | **1990.0** | |
| 法兰厚度*δf*  (mm) : | **76.0** | |  | *L*e = | **20.0** | |
| 法兰材料在常温下的 |  | |  | *L*A = | **32.0** | |
| 许用应力[*σ*]f (MPa) : | **230.0** | |  | 垫片结构尺寸 (mm) : |  | |
| 法兰材料在设计温度下的 |  | |  | *D*外 = | **1940.0** | |
| 许用应力[*σ*]tf  (MPa) : | **230.0** | |  | *D*内 = | **1900.0** | |
| 螺栓材料名称 : | **20** | |  | 垫片性能参数 : |  | |
| 螺栓材料在常温下的 |  | |  | *m*  = | **1.00** | |
| 许用应力 [*σ*]b (MPa) : | **91.0** | |  | *y* (MPa) = | **1.4** | |
| 螺栓材料在设计温度下的 |  | |  | 垫片材料名称 : | **合成橡胶(肖氏硬度≥75)** | |
| 许用应力[*σ*]tb (MPa) : | **80.4** | |  | 压紧面形状 : | **1a,1b** | |
| 螺栓公称直径 *dB* (mm) :  分程隔板垫片面积(mm2): | **20.0**  **0.00** | |  | 垫片厚度(mm)： |  | |
|  | | | | | | |
| **计 算 结 果** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 螺栓受力计算 (N) : | | | | | | |
| *N* = (mm) | **20.0** | |  |  |  | |
| *b* = (mm) | **8.00** | |  | *D*G = (mm) | **1924.0** | |
| 注：*b*0≤6.4mm时， *b*= *b*0， *D*G= ( *D*外+*D*内 )/2 ； | | | | | | |
| *b*0 > 6.4mm时，  *b*=2.53 ， *D*G= *D*外 - 2*b* | | | | | | |
| *W*a= *πbD*G*y*= (N) | **67702.2** | |  | *W*p = *F*p + *F*= (N) | **300408.0** | |
| *A*m = max(*A*p ,*A*a )= (mm2) | **744.0** | |  | 实际螺栓总截面积*A*b = (mm2) | **13154.3** | |
| 力矩计算 (N.mm) : | | | | | | |
| *F*D = 0.785*p*c = (N) | **-283385.0** | |  | *L*D= *L* A+ 0.5*δ*1 = (mm) | **38.5** | |
| *F*G = *F*p = (N) | **-9666.9** | |  | *L*G= 0.5 ( *D*b - *D*G )= (mm) | **33.0** | |
| *F*T = *F*-*F*D = (N) | **-7204.1** | |  | *L*T=0.5(*L*A + δ1 + *L*G )= (mm) | **39.0** | |
| 外压: *M*p = *F*D(*L*D - *L*G )+*F*T(*L*T-*L*G )= 内压: *M*p = *M*D+*M*G+*M*T = | | | | | **11510295.0** | |
| *W* = (N) | **632372.8** | |  | *L*G = (mm) | **33.0** | |
| *M*a= *W**L*G = (N.mm) | **20868650.0** | |  |  | | |
| 计算力矩 *M*o= *M*o = (N.mm) | **20868650.0** | |  |  | | |
| 螺栓间距校核 : | | | | | | |
| 推荐的最大间距 (mm) : | **344.0** | |  | 推荐的最小间距 (mm) : | **46.0** | |
| 实际间距 (mm) : | **111.6** | |  |  |  | |
| 计算系数 : | | | | | | |
| *ho* = | **106.77** | |  | *h/ho* = | **0.1** | |
| *K* = | **1.068** | |  | *δ1/δo* = | **2.2** | |
| *T* = | **1.888** | |  | *Z* = | **15.132** | |
| *Y* = | **29.141** | |  | *U* = | **32.023** | |
| 整体法兰 *FI* = | **0.90736** | |  | *VI* = | **0.48120** | |
| 松式法兰 *FL*= | **0.00000** | |  | *VL* = | **0.00000** | |
| *e* (整体法兰)= | **0.00850** | |  | *d1* (整体法兰)= | **255792.4** | |
| *e* (松式法兰)= | **0.00000** | |  | *d1* (松式法兰)= | **0.0** | |
| *f* = | **4.21801** | |  | *η* = | **1.7** | |
| ψ= | **1.65** | |  | *γ* = | **0.87** | |
| *β* = | **1.86** | |  | *λ* = | **2.59** | |
| 剪应力、正应力(MPa)计算与校核 : | | | | | | |
| 预紧状态 *τ1* = | | **11.70** |  | [*τ*]*1* = 0.8[σ]n | | **校核合格** |
| 操作状态 *τ2* = | | **5.56** |  | [*τ*]*2* = 0.8[σ]nt | | **校核合格** |
| 轴向应力 *σH* = | | **105.94** |  | 需小于 1.5[*σ*]*ft* =**345.0**和 2.5[*σ*]=**364.0***nt* 中大值(按整体法兰设计的任意式法兰,2.5 [*σ*]*nt* 取1.5[*σ*]*nt* ) | | **校核合格** |
|  | |  |  |  |
|  | |  |  |  |
| 径向应力 *σR*  = | | **1.37** |  | 需小于 [*σ*]*ft*=**230.0** | | **校核合格** |
| 切向应力 *σT* = | | **34.72** |  | 需小于 [*σ*]*ft*=**230.0** | | **校核合格** |
| Max{0.5(*σH*+*σR*),0.5(*σH*+*σT*)} | | **70.33** |  | 需小于 [*σ*]*ft*=**230.0** | | **校核合格** |
| 刚度系数 *J* = | | **0.908** |  |  | | **校核合格** |
| **法兰校核结果 :** | | **校核合格** |  | | | |

# 附录B MVR分离室SW6校核计算书

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **立式搅拌容器计算** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| **设 计 条 件** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体设计条件: | | | | | | |
| 设计压力 *p* (MPa): | | **-0.1** |  | 内径 *D*i (mm): | | **4200** |
| 设计温度 *t* (° C): | | **110** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **20** |
| 压力试验温度下的屈服点*σ* | | **245** |  | 材料名称: | | **Q245R** |
| 常温下许用应力[ *σ* ] (MPa): | | **148** |  | 设计温度下许用应力[ *σ* ] t (MPa): | | **138.6** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
| 压力试验类型: | | **液压** |  | 试验压力 *p*T (MPa): | | **0.125** |
| 筒体长度 Lw (mm): | | **6200** |  | 内筒外压计算长度 L (mm): | | **9580** |
|  | |  |  |  | |  |
| 封头设计条件: | |  |  |  | |  |
| 上封头: | |  |  | 下封头: | |  |
| 封头形式: | | **椭圆形** |  | 封头形式: | | **两端有折边锥形** |
| 名义厚度 *δ*n (mm): | | **12** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **20** |
| 材料名称: | | **Q245R** |  | 材料名称: | | **Q245R** |
| 设计温度下的许用 | |  |  | 设计温度下的许用 | |  |
| 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **145.6** |  | 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **138.6** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |  | 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |
| 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量*C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |  | 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |
| 焊接接头系数 *φ* | | **1** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
|  | |  |  |  | |  |
|  | | | | | | |
| **计 算 结 果** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **12904.5** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒上封头校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **1802.38** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒下封头校核结果: |  | |  | 质量 *m* (kg): | **3675.62** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 搅拌轴计算轴径 (mm): |  | |  |  |  | |
|  | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒体压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **138.60** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **110.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **235.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **4200.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 材料名称 | | | | **Q245R** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **板材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **148.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **211.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **13.39** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **19.00** | |  | *L*/*D*o | | **2.26** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **19.70** | |  | *D*o/*δ*e | | **215.23** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **20.00** | |  | *A*值 | | **0.0001807** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **9580.00** | | | |  | *B*值 | | **23.91** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **4240.00** | |  | 重量 (kg) | | **12904.54** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **0.11108** | |  |  | |  |
| **结论** | **合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒上封头内压计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **148.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **110.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **145.60** |
| 内径 *D*i (mm) | **4200.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **1050.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **Q245R** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **板材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **22.47** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **9.32** |  | 外径 *D*o (mm) | **4224.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **11.70** |  | 系数 *K*1 | **0.8958** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **12.00** |  | *A* 值 | **0.0003869** |
| 重量 | **1802.38** |  | *B* 值 | **51.11** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **0.15820** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒下封头压力计算** | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | | | | | |
|  | | | | | |  | | | | | | | | |
| **设计条件** | | | | | |  | | | | | | | | |
|  | | | | | |  | | | | | | | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | | **0.10** | | |  | 锥壳大端转角半径 *r* (mm) | | | | **630.00** | | | | |
| 设计温度 *t* (℃) | | **110.00** | | |  | 锥壳小端转角半径 *r*s (mm) | | | | **50.00** | | | | |
| 锥壳大端直径 *D*iL (mm) | | **4200.00** | | |  | 锥壳计算内直径 *D*c (mm) | | | | **3830.98** | | | | |
| 锥壳小端直径 *D*is (mm) | | **77.00** | | |  | 锥壳半顶角 α (°) | | | | **45.00** | | | | |
| 大端产生的轴向载荷 *f*1 (N/mm) | | **0.00** | | |  | 小端产生的轴向载荷 *f*2 (N/mm) | | | | **0.00** | | | | |
|  | | **大端圆筒** | | |  | **小端圆筒** | **锥壳部分** | | | | | | | |
| 材料名称 | | **Q245R** | | |  | **S22053** | **Q245R** | | | | | | | |
| 材料类型 | | **板材** | | |  | **管材** | **板材** | | | | | | | |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | **148.00** | | |  | **243.00** | **148.00** | | | | | | | |
| 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **138.60** | | |  | **243.00** | **138.60** | | | | | | | |
| 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **235.00** | | |  | **485.00** | **235.00** | | | | | | | |
| 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** | | |  | **0.60** | **0.30** | | | | | | | |
| 焊接接头系数 *φ* | | **1.00** | | |  | **1.00** | **1.00** | | | | | | | |
| 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** | | |  | **1.00** | **0.00** | | | | | | | |
|  | |  | | |  |  | |  | | | | | | |
| **锥壳厚度计算** | |  | | |  |  | |  | | | | | | |
| 锥壳 | |  | | |  | 锥壳小端 | |  | | | | | | |
| 计算厚度 *δ*r (mm) | | **1.96** | | |  | 是否加强 | | **需要加强** | | | | | | |
|  | |  | | |  | 不需加强, 计算厚度 δr (mm) | | | | | | | |  |
|  | | | | |  | 需加强 | |  | | | | | | |
|  | | | | |  | 小端圆筒计算厚度 *δ*(mm) | | **0.02** | | | | | | |
| 锥壳大端 | | | | |  | *δ*/*R*S >=0.002时，计算厚度 *δ*r (mm) | | | | | | | |  |
| 过渡段厚度 *δ*r (mm) | | **1.24** | | |  | 应力增值系数 | |  | | | | | | |
| 系数 *K* | | **0.8181** | | |  | *δ*/*R*S <0.002时，计算厚度 *δ*r (mm) | | | | | **0.32** | | | |
| 与过渡段相接处的锥壳厚度δr (mm) | | | | **1.96** |  | 应力增值系数 | | | **4.20** | | | | | |
| 系数 *f* | | **0.64** | | |  | 圆筒内直径的0.15% (mm) | | | | | | | **0.12** | |
| 圆筒内直径的0.15% (mm) | **6.30** | | | |  | 相连接的锥壳计算厚度 (mm) | | | | | | | **0.06** | |
| 最终计算厚度 *δ*r (mm) | | **1.96** | | |  | 锥壳加强段所需名义厚度 (mm) | | | | | | | **4.50** | |
|  | | | | |  | 圆筒加强段所需名义厚度 (mm) | | | | | | | **4.50** | |
|  | | | | |  | 锥壳加强段长度 (mm) | | | **5.94** | | | | | |
|  | | | | |  | 圆筒加强段长度 (mm) | | | | | | **4.99** | | |
|  | | | | |  |  | | |  | | | | | |
| **压力试验时应力校核** | |  | | |  |  | | |  | | | | | |
|  | | 锥壳 | | |  |  | | |  | | | | | |
| 压力试验类型 | | **液压试验** | | |  |  | | |  | | | | | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | **0.1250** | | |  |  | | |  | | | | | |
| 压力试验允许通过的应力[*σ*]T (MPa) | | | **211.50** | |  |  | | |  | | | | | |
| 试验压力下封头的周向应力*σ*T (MPa) | | | **17.25** | |  |  | | |  | | | | | |
| 校核条件 | | σT ≤ [σ]T | | |  |  | | |  | | | | | |
| 校核结果 | | **合格** | | |  |  | | |  | | | | | |
|  | | | | |  |  | | |  | | | | | |
| **计算结果** | | | | |  |  | | |  | | | | | |
| 锥壳所需名义厚度 (mm) | | **3.50** | | |  | 小端锥壳加强段所需名义厚度 (mm) | | | | | | | **4.50** | |
| 锥壳大端所需名义厚度 (mm) | | **7.00** | | |  | 小端筒体加强段所需名义厚度 (mm) | | | | | | | **4.50** | |
| 输入厚度 (mm) | | **20.00** | | |  | **结论** | | | **合格** | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒下封头压力计算** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | | | |
|  | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | | 锥壳段大端外直径 *D*L (mm) | | **3859.26** |
| 设计温度 *t* (℃) | **110.00** |  | | 大端筒体计算长度 *L*L (mm) | | **7330.00** |
| 锥壳大端直径 *D*i (mm) | **4200.00** |  | | 锥壳段小端外直径 *D*s (mm) | | **118.29** |
| 锥壳小端直径 *D*is (mm) | **77.00** |  | | 小端筒体计算长度 *L*sm (mm) | | **100.00** |
| 锥壳大端转角半径 *r* (mm) | **630.00** |  | | 大端产生的轴向载荷 *f*1 (N/mm) | | **0.00** |
| 锥壳小端转角半径 *r*s (mm) | **50.00** |  | | 小端产生的轴向载荷 *f*2 (N/mm) | | **0.00** |
| 锥壳半顶角 α (°) | **45.00** |  | | 当量长度 *L*e (mm) | | **1424.65** |
| 锥壳轴向长度 *L*x (mm) | **1870.57** |  | | 锥壳大端是否作支撑线 | | **□** |
|  |  |  | | 锥壳小端是否作支撑线 | | **□** |
|  | **大端圆筒** |  | | **小端圆筒** | **锥壳部分** | |
| 材料名称 | **Q245R** |  | | **S22053** | **Q245R** | |
| 材料类型 | **板材** |  | | **管材** | **板材** | |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | **148.00** |  | | **243.00** | **148.00** | |
| 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | **138.60** |  | | **243.00** | **138.60** | |
| 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | **235.00** |  | | **485.00** | **235.00** | |
| 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |  | | **0.60** | **0.30** | |
| 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |  | | **1.00** | **0.00** | |
| 焊缝接头系数 φ | **1.00** |  | | **1.00** | **1.00** | |
|  | | | | | | |
| **厚度计算** | **大端圆筒** |  | | **小端圆筒** | **锥壳部分** | |
| 计算厚度 (mm) | **19.20** |  | | **0.63** | **8.17** | |
| 有效厚度 (mm) | **19.70** |  | | **4.40** | **13.93** | |
| *A*值 | **0.00017658** |  | | **0.00292600** | **0.00082533** | |
| *B*值 (MPa) | **23.3610** |  | | **191.1962** | **106.0440** | |
| 许用压力 (MPa) | **0.1085** |  | | **9.4524** | **0.3828** | |
| 名义厚度 (mm) | **20.00** |  | | **6.00** | **20.00** | |
| **结论** | **厚度合格** |  | | **厚度合格** | **厚度合格** | |
|  |  |  | |  |  | |
| **压力试验时应力校核** |  |  | |  |  | |
|  |  |  | |  |  | |
|  | **锥壳** |  | |  |  | |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | |  |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | |  |  | |
| 压力试验允许通过的应力[*σ*]T (MPa) | **211.50** |  | |  |  | |
| 试验压力下封头的周向应力*σ*T (MPa) | **17.25** |  | |  |  | |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | |  |  | |
| 压力试验校核结果 | **合格** |  | |  |  | |
|  | | | | | | |
| **锥壳和筒体连接处的加强计算** | | | | | | |
| **大端** |  |  | | **小端** | |  |
| △值 (°) | **0.00** |  | |  | |  |
| *Q*L=*p*C*D*L/4+*f*1 (N/mm) | **0.00** |  | | *Q*S=*p*C*D*S/4+*f*2 (N/mm) | | **0.00** |
| 所需加强面积 Arl (mm2) | **0.00** |  | | 所需加强面积 Ars (mm2) | | **0.00** |
| 有效加强面积 Ael (mm2) | **0.00** |  | | 有效加强面积 Ael (mm2) | | **0.00** |
| *L*c=(*L*2x+(*R*L-*R*S)2)1/2 (mm) |  |  | | *L*c=(*L*2x+(*R*L-*R*S)2)1/2 (mm) | |  |
| *A*TL=(*L*L*δe*+*L*c*δ*ec)/2 (mm2) |  |  | | *A*Ts=(*L*sm*δe*+*L*c*δ*ec)/2 (mm2) | |  |
| M*=-*D*Ltg*α*/4+*L*L/2+(*D2*L-*D2*s)/(6*D*Ltg*α*)* | |  | | N*=*D*stg*α*/4+*L*sm/2+(*D2*L-*D2*s)/(12*D*stg*α*)* | | |
| *F*L=*p*c*M* + *f*1tgα(N/mm) |  |  | | *F*s=*p*c*N* + *f*2tgα(N/mm) | |  |
| *B*=*F*L*D*L/*A*TL (MPa) |  |  | | *B*=*F*s*D*s/*A*Ts (MPa) | |  |
| *A*值 |  |  | | *A*值 | |  |
| 所需惯性矩*I*=*AD*2L*A*TL/10.9 (mm4) |  |  | | 所需惯性矩*I*=*AD*2s*A*Ts/10.9 (mm4) | |  |
| 有效惯性矩 *I*s (mm4) |  |  | | 有效惯性矩 *I*s (mm4) | |  |
| 加强段厚度 (mm) | **20.00** |  | | 加强段厚度 (mm) | | **6.00** |
| 筒体加强段长度 (mm) | **152.80** |  | | 筒体加强段长度 (mm) | | **11.82** |
| 锥壳加强段长度 (mm) | **152.80** |  | | 锥壳加强段长度 (mm) | | **11.82** |
|  |  |  | |  | |  |
|  | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N1二次蒸汽出口, φ820×14** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **110** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **1** |
| 壳体型式 | **椭圆形封头** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **230** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **4200** | |  | | 接管材料 | | **S22053** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **12** | |  | | 名称及类型 | | **板材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **145.6** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 椭圆形封头长短轴之比 | **2** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **200** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | | **-0** |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **794.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **9.325** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **1.475** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **794.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **1589.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **105.47** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **3705** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **1887** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **2368** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **42** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**4297** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

# 附录C Ⅰ效加热室SW6校核计算书

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **固定管板换热器设计计算** | | | | |
|  | | | | |
| **设计计算条件:** | | | | |
|  | | | | |
| **壳 程:** | | | **管 程:** | |
| 设计压力 *P*s (MPa) | **0.1** |  | 设计压力 *P*t (MPa) | **-0.1** |
| 设计温度 *t*s (℃) | **140** |  | 设计温度 *t*t (℃) | **125** |
| 壳程圆筒内径Di (mm) | **1400** |  | 管箱圆筒内径Di (mm) | **1400** |
| 材料名称 | **S30408** |  | 材料名称 | **Q245R** |
| 试验压力(MPa) | **0.125** |  | 试验压力(MPa) | **0.125** |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **壳程圆筒计算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | |
|  | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | | **0.10** |  | | 设计温度 *t* (℃) | **140.00** | |
| 内径 *D*i (mm) | | **1400.00** |  | |  | | |
| 材料名称 | | **S30408** |  | | 材料类型 | **板材** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | **137.00** |  | | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** | |
| 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **137.00** |  | | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** | |
| 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **205.00** |  | | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** | |
|  | |  |  | |  |  | |
| **厚度及重量计算** | |  |  | |  |  | |
|  | |  |  | |  |  | |
| 计算厚度*δ* (mm) | | **0.51** |  | | 名义厚度δn (mm) | **8.00** | |
| 有效厚度*δe* (mm) | | **7.70** |  | | 重量 (kg) | **1666.68** | |
|  | |  |  | |  |  | |
| **压力试验时应力校核** | |  |  | |  |  | |
|  | |  |  | |  |  | |
| 压力试验类型 | | **液压试验** |  | | 压力试验允许通过的应力 | | |
| 试验压力值*p*T (MPa) | **0.1250** | |  | | [*σ*]T=0.90*σ*s | **184.50** | |
| 试验压力下圆筒的应力*σ*T (MPa) | | **11.43** |  | | 校核条件 | σT≤ [σ]T | |
|  | | |  | |  |  | |
| **校核结果** | | **合格** |  | |  |  | |
|  | | |  | |  |  | |
| **压力及应力计算** | | |  | |  |  | |
|  | |  |  | |  |  | |
| 最大允许工作压力[*p*w] (MPa) | | **1.49876** |  | | 设计温度下计算应力*σ*t (MPa) | **9.14** | |
| [*σ*]t*φ* | | **137.00** |  | | 校核条件 | [*σ*]t*φ* ≥*σ*t | |
| **结论** | |  |  | |  |  | |
| **筒体名义厚度大于或等于GB/T151-2014中规定的最小厚度8.00mm,合格** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **前端管箱筒体计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **143.50** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **125.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **245.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **1400.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 材料名称 | | | | **Q245R** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **板材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **148.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **11.43** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **3.75** | |  | *L*/*D*o | | **0.65** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **7.70** | |  | *D*o/*δ*e | | **183.90** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **8.00** | |  | *A*值 | | **0.0008560** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **917.00** | | | |  | *B*值 | | **107.28** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **1416.00** | |  | 重量 (kg) | | **222.22** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **0.58336** | |  |  | |  |
| **结论** | **合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **前端管箱封头计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **148.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **125.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **143.50** |
| 内径 *D*i (mm) | **1400.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **350.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **Q245R** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **板材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **15.38** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **3.11** |  | 外径 *D*o (mm) | **1412.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **5.70** |  | 系数 *K*1 | **0.8955** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **6.00** |  | *A* 值 | **0.0005654** |
| 重量 | **102.91** |  | *B* 值 | **74.65** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **0.33767** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **后端管箱筒体计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **143.50** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **125.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **245.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **1400.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 材料名称 | | | | **Q245R** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **板材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **148.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **15.41** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **2.95** | |  | *L*/*D*o | | **0.37** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **5.70** | |  | *D*o/*δ*e | | **247.72** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **6.00** | |  | *A*值 | | **0.0009844** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **517.00** | | | |  | *B*值 | | **112.40** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **1412.00** | |  | 重量 (kg) | | **83.22** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **0.45372** | |  |  | |  |
| **结论** | **合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **后端管箱封头计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **148.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **125.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **143.50** |
| 内径 *D*i (mm) | **1400.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **350.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **Q245R** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **板材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **15.38** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **3.11** |  | 外径 *D*o (mm) | **1412.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **5.70** |  | 系数 *K*1 | **0.8955** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **6.00** |  | *A* 值 | **0.0005654** |
| 重量 | **102.91** |  | *B* 值 | **74.65** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **0.33767** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N1加热蒸汽接管, φ377×8** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **140** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.8** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1400** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **8** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **362.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **0.5111** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.1318** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **362.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **725.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **53.859** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **185** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **2607** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **761** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **16** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**3384** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N2不凝气接管, φ18×4** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **140** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.4** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1400** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **8** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **10.8** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) |  |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | |  | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr |  |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | |  | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **10.8** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | |  | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) |  |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | |  | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) |  |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | |  | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) |  |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | |  | |
| *A*1+*A*2+*A*3= (mm2) | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **根据GB/T150第6.1.3节的规定,本开孔可不另行补强。** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N3上循环管, φ530×8** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **125** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **143.5** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1400** | |  | | 接管材料 | | **Q245R** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **8** | |  | | 名称及类型 | | **板材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **143.5** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **500** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **514.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **3.75** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **1.65** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **514.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **1029.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **64.162** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **965** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **2033** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **776** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **16** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**2825** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N4下循环管, φ710×8** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **125** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **椭圆形封头** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **143.5** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1400** | |  | | 接管材料 | | **Q245R** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **6** | |  | | 名称及类型 | | **板材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **143.5** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 椭圆形封头长短轴之比 | **2** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **500** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | | **-0** |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **694.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **3.1125** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **1.95** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **694.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **1389.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **74.544** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **1081** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **1797** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **857** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **12** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**2667** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N5冷凝水接管, φ89×4** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **140** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.4** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1400** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **8** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **81.8** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **0.5111** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.0296** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **81.8** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **163.6** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **18.089** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **42** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **588** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **129** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **8** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**725** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **延长部分兼作法兰固定式管板腐蚀后计算** | | | | | | | | | | | |
|  | |  | | | | | | | | | |
| **设计计算条件:** | |  | | | | | | | | | |
|  | | | | |  |  |  | | | | |
| **壳程圆筒：** | | | | |  |  |  | | |  | |
| 设计压力 *ps* (MPa) | | | | | **0.1** |  | 平均温度下热膨胀系数*αs*(1/℃) | | | **1.693e-05** | |
| 设计温度 *Ts* (℃) | | | | | **140** |  | 壳程圆筒内径 *D*I(mm) | | | **1400** | |
| 平均金属温度*ts* (℃) | | | | | **120** |  | 壳 程 圆 筒 名 义 厚 度 *δs* (mm) | | | **8** | |
| 装配温度*t0* (℃) | | | | | **20** |  | 壳程圆筒有效厚度δse(mm) | | | **7.7** | |
| 材料名称 | **S30408** | | | | |  | 壳体法兰弹性模量*Ef’*(MPa) | | | **1.866e+05** | |
| 设计温度下许用应力[*σ*]t(MPa) | | | | | **137** |  | 壳程圆筒内直径横截面积*A*(mm2) | | | **1.539e+06** | |
| 平均温度下弹性模量 *Es*(MPa) | | | | | **1.878e+05** |  | 壳程圆筒金属横截面积*As*(mm2) | | | **3.405e+04** | |
| 壳程圆筒环向焊接接头系数 | | | | | **1** |  |  | | |  | |
| **壳程端部圆筒:** | | | | |  |  |  | | |  | |
| 材料名称 | | | | |  |  | 端部圆筒有效厚度 *δse* | | |  | |
| 端部圆筒平均金属温度下弹性模量 Es | | | | |  |  | 两端部圆筒总长度 | | |  | |
| 端部圆筒平均金属温度下热膨胀系数*αs* | | | | |  |  | 端部圆筒金属横截面积 *As=πδs* (*D*i*+δ*s) | | |  | |
| 端部圆筒名义厚度 *δs* | | | | |  |  |  | | |  | |
| **管箱圆筒:** | | | | |  |  |  | | |  | |
| 设计压力 *pt* (MPa) | | | | | **-0.1** |  | 弹性模量 *Eh* (MPa) | | | **1.955e+05** | |
| 设计温度 *Tt* (℃) | | | | | **125** |  | 管箱圆筒名义厚度*δh* (mm) | | | **8** | |
| 材料名称 | | | | | **Q245R** |  | 管箱法兰弹性模量 *Et”(*MPa) | | | **1.92e+05** | |
|  | | | | |  |  |  | | |  | |
| **换热管:** | | | | |  |  |  | | |  | |
| 材料名称 | | | | | **TA2** |  | 换热管中心距 *S* (mm) | | | **48** | |
| 管子平均温度 *tt* (℃) | | | | | **104** |  | 一根管子金属横截面积α(mm2) | | | **172** | |
| 设计温度下管子材料许用应力[*σ*]tt (MPa) | | | | | **104.4** |  | 换热管长度 L(mm) | | | **6000** | |
| 设计温度下管子材料屈服应力*σ*st  (MPa) | | | | | **214.8** |  | 管子有效长度(两管板内侧间距)*L1*(mm) | | | **5908** | |
| 设计温度下管子材料弹性模量*E*tt | | | | | **1.046e+05** |  | 管束模数*K*t | | | **1248** | |
| 平均温度下管子材料弹性模量*E*t(MPa) | | | | | **1.068e+05** |  | 管子回转半径 *i* | | | **12.92** | |
| 平均温度下管子材料热膨胀系数*α*t | | | | | **8.216e-06** |  | 管子受压失稳当量长度 | | | **1200** | |
| 管子外径 *d* (mm) | | | | | **38** |  | 系数*Cr* | | | **98.04** | |
| 管子壁厚 *δt* (mm) | | | | | **1.5** |  | 比值 | | | **92.91** | |
| 管子根数 *n* | | | | | **562** |  | 管子稳定许用压应力[*σ*]cr | **75.35** | | | |
| **注：** | | | | |  |  |  |  | | | |
| **管 板:** | | | |  | |  |  |  | | | |
| 材料名称 | | | | **S30408** | |  | 管板强度削弱系数 *η* | **0.4** | | | |
| 设计温度 *tp* | | | | **140** | |  | 管板刚度削弱系数 *μ* | **0.4** | | | |
| 设计温度下许用应力[*σ*]rt (MPa) | | | | **105.2** | |  | 管子加强系数 K | **5.379** | | | |
| 设计温度下弹性模量*EP* (MPa) | | | | **1.866e+05** | |  | 管板和管子连接型式 | **焊接** | | | |
| 管板腐蚀裕量 *C2* (mm) | | | | **0** | |  | 管板和管子胀接(焊接)高度 *l*(mm) | **1.5** | | | |
| 管板输入厚度*δn* (mm) | | | | **46** | |  | 胀接许用拉脱应力 [q](MPa) |  | | | |
| 管板计算厚度 *δ* (mm) | | | | **45.7** | |  | 焊接许用拉脱应力 [*q*](MPa) | **52.2** | | | |
| 管板分程处面积 *Ad* (mm2) **0** | | | | | | |  |  | | | |
|  | | | | | | |  |  | | | |
| **管箱法兰:** | | |  | | |  |  | |  | | |
| 材料名称 | | | **S22053** | | |  | 比值 *δ*h/*D*i | | **0.0055** | | |
| 管箱法兰厚度*δ*f”(mm) | | | **46** | | |  | 比值*δ*f”/*D*i | | **0.03286** | | |
| 法兰外径 *D*f (mm) | | | | | **1530** |  | 法兰宽度 (mm) | | **65** | | |
| 基本法兰力矩 *M*m (N⋅mm) | | | | | **9.16e+06** |  | 系数 *ω”* | | **7.635e-05** | | |
| 管程压力操作工况下法兰力*M*p (N⋅mm) | | | | | **1.278e+07** |  | 管箱圆筒与法兰的旋转刚度 *K*f”(MPa) | | | | **1.647** |
| 管箱圆筒壳常数(1/mm) | | | | | **0.01751** |  |  | |  | | |
| **壳体法兰:** | | |  | | |  |  | |  | | |
| 材料名称 | | | **S30408** | | |  | 旋转刚度参数 (Mpa) | | **1.587** | | |
| 壳体法兰厚度 *δ*f’(mm) | | | **46** | | |  | 法兰外径与内径之比 *K* | | **1.093** | | |
| 法兰外径 *D*f (mm) | | | **1530** | | |  | 壳体法兰应力系数 *Y* | | **21.79** | | |
| 法兰宽度 *b*f (mm) | | | **65** | | |  | 旋转刚度无量纲参数 | | **0.0009987** | | |
| 比值 *δ*s/*D*i | | | **0.0055** | | |  | 膨胀节总体轴向刚度*K*ex(N/mm) | |  | | |
| 比值*δ*f’/*D*i | | | **0.03286** | | |  | 膨胀节波峰处内直径 (mm) | |  | | |
| 系数*ω’* | | | **7.635e-05** | | |  | 系数 | |  | | |
| 壳体法兰与圆筒的旋转刚度 *K*f’(MPa) | | | | | **1.587** |  |  | |  | | |
|  | | | | | | | | | | | |
|  |  |  |
| **管板参数计算:** | | | | |  |  |  | |  | | |
|  | | | | |  |  |  | |  | | |
| 管板开孔后面积 *A*1(mm2) | | | | | **9.02e+05** |  | 管板布管区当量直径*D*t(mm) | | **1195** | | |
| 管板布管区面积 *A*t(mm2) | | | | | **1.121e+06** |  |  | |  | | |
|  | | | | |  |  |  | |  | | |
| **系数计算:** | | | | |  |  |  | |  | | |
| 管板第一弯矩系数*m*1 | | | | | **0.1295** |  | 系数 *M*1 | | **0.00225** | | |
| 系数 *ψ* | | | | | **24.11** |  | 系数 *G*3 | | **0.006583** | | |
| 系数 *G*2 | | | | | **3.737** |  | 法兰力矩折减系数 *ξ* | | **0.1317** | | |
| 换热管束与不带膨胀节壳体刚度之比*Q* | | | | | **1.614** |  | 管板边缘力矩变化系 | | **0.9132** | | |
| 换热管束壳体刚度之比 *Q*ex | | | | | **1.614** |  | 法兰力矩变化系数 | | **0.8797** | | |
| 系数 *λ*=*A*1/*A* | | | | | **0.586** |  | 系数 | | **0.1072** | | |
| 系数 *Σ*s | | | | | **3.076** |  | 管板布管区当量直径与壳体内径之比 | | **0.8535** | | |
| 系数 *Σ*t | | | | | **4.221** |  | 管板周边不布管区无量纲宽度 *k = K* (1-*ρ*t) | | **0.7881** | | |
| 管板第二弯矩系数*m*2 | | | | | **2.071** |  |  | |  | | |
|  | | | | |  |  |  | |  | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **仅有壳程压力*Ps*作用下的危险组合工况 (*Pt* = 0)** | | | | | | | | | |
|  | 不计温差应力 | | | | | | 计温差应力 | | |
| 换热管与壳程圆筒热膨胀变形差 γ | **0.0** | | | | | | **-0.001003** | | |
| 当量压力组合 *P*c(MPa) | **0.1** | | | | | | **0.1** | | |
| 有效压力组合 *P*a (MPa) | **0.3076** | | | | | | **-11.16** | | |
| 基本法兰力矩系数 | **0.02358** | | | | | | **-0.0006498** | | |
| 管板边缘力矩系数 | **0.02563** | | | | | | **0.001405** | | |
| 管板边缘剪力系数 *ν* | **0.6181** | | | | | | **0.03389** | | |
| 管板总弯矩系数 *m* | **0.8713** | | | | | | **0.1931** | | |
| 管板布管区周边径向弯矩系数 | | | **0.3485** | | | | **-0.2814** | | |
| 管板布管区最大径向弯矩系数 | | | **-0.1389** | | | | **-0.3648** | | |
| 管板径向弯矩系数 | | | **0.3485** | | | | **-0.3648** | | |
| 系数G1 | | | **0.1945** | | | | **-0.2036** | | |
| 管板径向应力系数 | | | **0.01471** | | | | **-0.009834** | | |
| 管板布管区周边处剪切应力系数 | | | **0.07561** | | | | **0.04831** | | |
| 壳体法兰力矩系数 | | | **0.001126** | | | | **-0.002065** | | |
|  | | 计算值 | | 许用值 | | | 计算值 | | 许用值 |
| 管板径向应力 *σ*r (MPa) | | **6.219** | | **157.8** | | | **150.9** | | **315.6** |
| 管板布管区周边剪切应力 *τ*p(MPa) | | **0.8909** | | **52.6** | | | **-20.66** | | **157.8** |
| 壳体法兰应力*σ*f’ (MPa) | | **3.218** | | **157.8** | | | **214.2** | | **315.6** |
| 换热管轴向应力*σ*t (MPa) | | **-0.5365** | | [*σ*]tt **=104.4**  [*σ*]cr **=75.35** | | | **72.62** | | 3[*σ*]tt **=313.2**  1.2[*σ*]cr  **=90.42** |
| 壳程圆筒轴向应力 *σ*c (MPa) | | **2.465** | | **137** | | | **-57.14** | | **411** |
| 换热管与管板连接拉脱应力 *q* (MPa) | | **0.5153** | | **52.2** | | | **69.75** | | **156.6** |
| **仅有管程压力*Pt*作用下的危险组合工况 (*Ps* = 0)** | | | | | | | | | |  | |  | |
|  | 不计温差应力 | | | | | | 计温差应力 | | |
| 换热管与壳程圆筒热膨胀变形差 *γ* | **0.0** | | | | | | **-0.001003** | | |
| 当量压力组合 *P*c(MPa) | **0.1107** | | | | | | **0.1107** | | |
| 有效压力组合*P*a (MPa) | **0.4221** | | | | | | **-11.05** | | |
| 操作情况下法兰力矩系数 | **0.02398** | | | | | | **-0.0009162** | | |
| 管板边缘力矩系数 | **0.02398** | | | | | | **-0.0009162** | | |
| 管板边缘剪力系数 | **0.5783** | | | | | | **-0.02209** | | |
| 管板总弯矩系数 *m* | **0.841** | | | | | | **0.08559** | | |
| 管板布管区周边径向弯矩系数 | **0.3364** | | | | | | **-0.3732** | | |
| 管板布管区最大径向弯矩系数 | **-0.1423** | | | | | | **-0.429** | | |
| 管板径向弯矩系数 | **0.3364** | | | | | | **-0.429** | | |
| 系数 | **0.1877** | | | | | | **-0.2394** | | |
| 管板径向应力系数 | **0.01384** | | | | | | **-0.01094** | | |
| 壳体法兰力矩系数 | **0.0009086** | | | | | | **-0.002371** | | |
|  | 计算值 | | | | 许用值 | | 计算值 | | 许用值 |
| 管板径向应力 *σ*r (MPa) | **8.034** | | | | **157.8** | | **166.2** | | **315.6** |
| 管板布管区周边剪切应力 *τ*p(MPa) | **1.192** | | | | **52.6** | | **-19.34** | | **157.8** |
| 壳体法兰应力*σ*f’ (MPa) | **3.562** | | | | **157.8** | | **243.4** | | **315.6** |
| 换热管轴向应力*σ*t (MPa) | **-1.031** | | | | [*σ*]tt **= 104.4**  [*σ*]cr= **75.35** | | **73.73** | | 3[*σ*]tt **=313.2**  1.2[*σ*]cr= **90.42** |
| 壳程圆筒轴 向 应 力 *σ*c (MPa) | **-1.222** | | | | **137** | | **-58.02** | | **411** |
| 换热管与管板连接拉脱应力 *q* (MPa) | **0.9898** | | | | **52.2** | | **70.82** | | **156.6** |
| **考虑壳程*Ps*和管程压力*Pt*同时作用下的危险组合工况:** | | | | | | | | | |
|  | 不计温差应力 | | | | | | 计温差应力 | | |  |  | |
| 换热管与壳体热膨胀变形差 *γ* | **0.0** | | | | | | **-0.001003** | | |
| 当量压力组合 *P*c (MPa) | **0.2107** | | | | | | **0.2107** | | |
| 有效压力组合 *P*a (MPa) | **0.7297** | | | | | | **-10.74** | | |
| 基本法兰力矩系数 | **0.009941** | | | | | | **-0.0006753** | | |
| 操作情况下法兰力矩系数 | **0.01593** | | | | | | **0.001113** | | |
| 管板边缘力矩系数 | **0.012** | | | | | | **0.00138** | | |
| 管板边缘剪力系数 *ν* | **0.2893** | | | | | | **0.03327** | | |
| 管板总弯矩系数 *m* | **0.5652** | | | | | | **0.192** | | |
| 管板布管区周边径向弯矩系数 | **0.2261** | | | | | | **-0.2824** | | |
| 管板布管区最大径向弯矩系数 | **-0.2001** | | | | | | **-0.3654** | | |
| 管板径向弯矩系数 | **0.2465** | | | | | | **-0.4298** | | |
| 系数 | **0.1376** | | | | | | **-0.2398** | | |
| 管板径向应力系数 | **0.008577** | | | | | | **-0.01095** | | |
| 管板布管区周边处剪切应力系数 | **0.06236** | | | | | | **0.04828** | | |
| 壳体法兰力矩系数 | **-0.0006704** | | | | | | **-0.002375** | | |
|  | 计算值 | | | | | 许用值 | | 计算值 | 许用值 |
| 管板径向应力 *σ*r (MPa) | **8.605** | | | | | **157.8** | | **161.7** | **315.6** |
| 管板布管区周边剪切应力 *τ*p (MPa) | **1.743** | | | | | **52.6** | | **-19.86** | **157.8** |
| 壳体法兰应力 (MPa) | **-4.544** | | | | | **157.8** | | **236.9** | **315.6** |
| 换热管轴向应力 *σ*t (MPa) | **-2.195** | | | | | [*σ*]tt **= 104.4**  [*σ*]cr= **75.35** | | **72.65** | 3[*σ*]tt **= 313.2**  1.2[*σ*]cr  =**90.42** |
| 壳程圆筒轴向应力*σ*c (MPa) | **0.3007** | | | | | **137** | | **-59.47** | **411** |
| 换热管与管板连接拉脱应力 *q* (MPa) | **2.108** | | | | | **52.2** | | **68.16** | **156.6** |
| **计算结果:** | 管板名义厚度*δ*n (mm) | | | | | | | **46** | **管板校核通过** |

# 附录D Ⅰ效分离室SW6校核计算书

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **立式搅拌容器计算** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| **设 计 条 件** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体设计条件: | | | | | | |
| 设计压力 *p* (MPa): | | **-0.1** |  | 内径 *D*i (mm): | | **2200** |
| 设计温度 *t* (° C): | | **125** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **14** |
| 压力试验温度下的屈服点*σ* | | **245** |  | 材料名称: | | **Q245R** |
| 常温下许用应力[ *σ* ] (MPa): | | **148** |  | 设计温度下许用应力[ *σ* ] t (MPa): | | **143.5** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
| 压力试验类型: | | **液压** |  | 试验压力 *p*T (MPa): | | **0.125** |
| 筒体长度 Lw (mm): | | **3600** |  | 内筒外压计算长度 L (mm): | | **10000** |
|  | |  |  |  | |  |
| 封头设计条件: | |  |  |  | |  |
| 上封头: | |  |  | 下封头: | |  |
| 封头形式: | | **椭圆形** |  | 封头形式: | | **两端有折边锥形** |
| 名义厚度 *δ*n (mm): | | **8** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **14** |
| 材料名称: | | **Q245R** |  | 材料名称: | | **Q245R** |
| 设计温度下的许用 | |  |  | 设计温度下的许用 | |  |
| 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **143.5** |  | 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **143.5** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |  | 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |
| 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量*C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |  | 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |
| 焊接接头系数 *φ* | | **1** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
|  | |  |  |  | |  |
|  | | | | | | |
| **计 算 结 果** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **2751.79** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒上封头校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **338.61** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒下封头校核结果: |  | |  | 质量 *m* (kg): | **672.3** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 搅拌轴计算轴径 (mm): |  | |  |  |  | |
|  | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒体压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **143.50** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **125.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **245.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **2200.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 材料名称 | | | | **Q245R** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **板材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **148.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **10.10** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **13.35** | |  | *L*/*D*o | | **4.49** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **13.70** | |  | *D*o/*δ*e | | **162.63** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **14.00** | |  | *A*值 | | **0.0001333** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **10000.00** | | | |  | *B*值 | | **17.65** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **2228.00** | |  | 重量 (kg) | | **2751.79** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **0.10852** | |  |  | |  |
| **结论** | **合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒上封头内压计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **148.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **125.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **143.50** |
| 内径 *D*i (mm) | **2200.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **550.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **Q245R** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **板材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **17.89** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **4.87** |  | 外径 *D*o (mm) | **2216.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **7.70** |  | 系数 *K*1 | **0.8951** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **8.00** |  | *A* 值 | **0.0004861** |
| 重量 | **338.61** |  | *B* 值 | **64.17** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **0.24954** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒下封头压力计算** | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | | | | | | | |
| **设计条件** | | | | |  | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | | | | | | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.10** | | |  | 锥壳大端转角半径 *r* (mm) | | | | **330.00** | | | | |
| 设计温度 *t* (℃) | **125.00** | | |  | 锥壳小端转角半径 *r*s (mm) | | | | **105.00** | | | | |
| 锥壳大端直径 *D*iL (mm) | **2200.00** | | |  | 锥壳计算内直径 *D*c (mm) | | | | **2006.70** | | | | |
| 锥壳小端直径 *D*is (mm) | **694.00** | | |  | 锥壳半顶角 α (°) | | | | **45.00** | | | | |
| 大端产生的轴向载荷 *f*1 (N/mm) | **0.00** | | |  | 小端产生的轴向载荷 *f*2 (N/mm) | | | | **0.00** | | | | |
|  | **大端圆筒** | | |  | **小端圆筒** | **锥壳部分** | | | | | | | |
| 材料名称 | **Q245R** | | |  | **Q245R** | **Q245R** | | | | | | | |
| 材料类型 | **板材** | | |  | **板材** | **板材** | | | | | | | |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | **148.00** | | |  | **148.00** | **148.00** | | | | | | | |
| 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | **143.50** | | |  | **143.50** | **143.50** | | | | | | | |
| 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | **245.00** | | |  | **245.00** | **245.00** | | | | | | | |
| 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** | | |  | **0.30** | **0.30** | | | | | | | |
| 焊接接头系数 *φ* | **1.00** | | |  | **1.00** | **1.00** | | | | | | | |
| 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** | | |  | **0.00** | **0.00** | | | | | | | |
|  |  | | |  |  | |  | | | | | | |
| **锥壳厚度计算** |  | | |  |  | |  | | | | | | |
| 锥壳 |  | | |  | 锥壳小端 | |  | | | | | | |
| 计算厚度 *δ*r (mm) | **0.99** | | |  | 是否加强 | | **需要加强** | | | | | | |
|  |  | | |  | 不需加强, 计算厚度 δr (mm) | | | | | | | |  |
|  |  | | |  | 需加强 | |  | | | | | | |
|  |  | | |  | 小端圆筒计算厚度 *δ*(mm) | | **0.24** | | | | | | |
| 锥壳大端 |  | | |  | *δ*/*R*S >=0.002时，计算厚度 *δ*r (mm) | | | | | | | |  |
| 过渡段厚度 *δ*r (mm) | **0.63** | | |  | 应力增值系数 | |  | | | | | | |
| 系数 *K* | **0.8181** | | |  | *δ*/*R*S <0.002时，计算厚度 *δ*r (mm) | | | | | **2.92** | | | |
| 与过渡段相接处的锥壳厚度δr (mm) | | | **0.99** |  | 应力增值系数 | | | **4.20** | | | | | |
| 系数 *f* | **0.64** | | |  | 圆筒内直径的0.15% (mm) | | | | | | | **1.04** | |
| 圆筒内直径的0.15% (mm) | **3.30** | | |  | 相连接的锥壳计算厚度 (mm) | | | | | | | **0.37** | |
| 最终计算厚度 *δ*r (mm) | **0.99** | | |  | 锥壳加强段所需名义厚度 (mm) | | | | | | | **4.00** | |
|  |  | | |  | 圆筒加强段所需名义厚度 (mm) | | | | | | | **4.00** | |
|  |  | | |  | 锥壳加强段长度 (mm) | | | **53.50** | | | | | |
|  |  | | |  | 圆筒加强段长度 (mm) | | | | | | **44.99** | | |
|  |  | | |  |  | | |  | | | | | |
| **压力试验时应力校核** |  | | |  |  | | |  | | | | | |
|  | 锥壳 | | |  |  | | |  | | | | | |
| 压力试验类型 | **液压试验** | | |  |  | | |  | | | | | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** | | |  |  | | |  | | | | | |
| 压力试验允许通过的应力[*σ*]T (MPa) | | **220.50** | |  |  | | |  | | | | | |
| 试验压力下封头的周向应力*σ*T (MPa) | | **13.01** | |  |  | | |  | | | | | |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T | | |  |  | | |  | | | | | |
| 校核结果 | **合格** | | |  |  | | |  | | | | | |
|  |  | | |  |  | | |  | | | | | |
| **计算结果** |  | | |  |  | | |  | | | | | |
| 锥壳所需名义厚度 (mm) | **3.50** | | |  | 小端锥壳加强段所需名义厚度 (mm) | | | | | | | **4.00** | |
| 锥壳大端所需名义厚度 (mm) | **4.00** | | |  | 小端筒体加强段所需名义厚度 (mm) | | | | | | | **4.00** | |
| 输入厚度 (mm) | **14.00** | | |  | **结论** | | | **合格** | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒下封头压力计算** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | | | |
|  | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | | 锥壳段大端外直径 *D*L (mm) | | **2026.50** |
| 设计温度 *t* (℃) | **125.00** |  | | 大端筒体计算长度 *L*L (mm) | | **4230.00** |
| 锥壳大端直径 *D*i (mm) | **2200.00** |  | | 锥壳段小端外直径 *D*s (mm) | | **771.50** |
| 锥壳小端直径 *D*is (mm) | **694.00** |  | | 小端筒体计算长度 *L*sm (mm) | | **5000.00** |
| 锥壳大端转角半径 *r* (mm) | **330.00** |  | | 大端产生的轴向载荷 *f*1 (N/mm) | | **0.00** |
| 锥壳小端转角半径 *r*s (mm) | **105.00** |  | | 小端产生的轴向载荷 *f*2 (N/mm) | | **0.00** |
| 锥壳半顶角 α (°) | **45.00** |  | | 当量长度 *L*e (mm) | | **704.72** |
| 锥壳轴向长度 *L*x (mm) | **627.53** |  | | 锥壳大端是否作支撑线 | | **□** |
|  |  |  | | 锥壳小端是否作支撑线 | | **□** |
|  | **大端圆筒** |  | | **小端圆筒** | **锥壳部分** | |
| 材料名称 | **Q245R** |  | | **Q245R** | **Q245R** | |
| 材料类型 | **板材** |  | | **板材** | **板材** | |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | **148.00** |  | | **148.00** | **148.00** | |
| 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | **143.50** |  | | **143.50** | **143.50** | |
| 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | **245.00** |  | | **245.00** | **245.00** | |
| 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |  | | **0.30** | **0.30** | |
| 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |  | | **0.00** | **0.00** | |
| 焊缝接头系数 φ | **1.00** |  | | **1.00** | **1.00** | |
|  | | | | | | |
| **厚度计算** | **大端圆筒** |  | | **小端圆筒** | **锥壳部分** | |
| 计算厚度 (mm) | **13.45** |  | | **6.10** | **4.19** | |
| 有效厚度 (mm) | **13.70** |  | | **7.70** | **9.69** | |
| *A*值 | **0.00013085** |  | | **0.00013706** | **0.00136472** | |
| *B*值 (MPa) | **17.3212** |  | | **18.1409** | **122.0936** | |
| 许用压力 (MPa) | **0.1065** |  | | **0.1967** | **0.5837** | |
| 名义厚度 (mm) | **14.00** |  | | **8.00** | **14.00** | |
| **结论** | **厚度合格** |  | | **厚度合格** | **厚度合格** | |
|  |  |  | |  |  | |
| **压力试验时应力校核** |  |  | |  |  | |
|  |  |  | |  |  | |
|  | **锥壳** |  | |  |  | |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | |  |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | |  |  | |
| 压力试验允许通过的应力[*σ*]T (MPa) | **220.50** |  | |  |  | |
| 试验压力下封头的周向应力*σ*T (MPa) | **13.01** |  | |  |  | |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | |  |  | |
| 压力试验校核结果 | **合格** |  | |  |  | |
|  | | | | | | |
| **锥壳和筒体连接处的加强计算** | | | | | | |
| **大端** |  |  | | **小端** | |  |
| △值 (°) | **0.00** |  | |  | |  |
| *Q*L=*p*C*D*L/4+*f*1 (N/mm) | **0.00** |  | | *Q*S=*p*C*D*S/4+*f*2 (N/mm) | | **0.00** |
| 所需加强面积 Arl (mm2) | **0.00** |  | | 所需加强面积 Ars (mm2) | | **0.00** |
| 有效加强面积 Ael (mm2) | **0.00** |  | | 有效加强面积 Ael (mm2) | | **0.00** |
| *L*c=(*L*2x+(*R*L-*R*S)2)1/2 (mm) |  |  | | *L*c=(*L*2x+(*R*L-*R*S)2)1/2 (mm) | |  |
| *A*TL=(*L*L*δe*+*L*c*δ*ec)/2 (mm2) |  |  | | *A*Ts=(*L*sm*δe*+*L*c*δ*ec)/2 (mm2) | |  |
| M*=-*D*Ltg*α*/4+*L*L/2+(*D2*L-*D2*s)/(6*D*Ltg*α*)* | |  | | N*=*D*stg*α*/4+*L*sm/2+(*D2*L-*D2*s)/(12*D*stg*α*)* | | |
| *F*L=*p*c*M* + *f*1tgα(N/mm) |  |  | | *F*s=*p*c*N* + *f*2tgα(N/mm) | |  |
| *B*=*F*L*D*L/*A*TL (MPa) |  |  | | *B*=*F*s*D*s/*A*Ts (MPa) | |  |
| *A*值 |  |  | | *A*值 | |  |
| 所需惯性矩*I*=*AD*2L*A*TL/10.9 (mm4) |  |  | | 所需惯性矩*I*=*AD*2s*A*Ts/10.9 (mm4) | |  |
| 有效惯性矩 *I*s (mm4) |  |  | | 有效惯性矩 *I*s (mm4) | |  |
| 加强段厚度 (mm) | **14.00** |  | | 加强段厚度 (mm) | | **8.00** |
| 筒体加强段长度 (mm) | **92.64** |  | | 筒体加强段长度 (mm) | | **40.98** |
| 锥壳加强段长度 (mm) | **92.64** |  | | 锥壳加强段长度 (mm) | | **40.98** |
|  |  |  | |  | |  |
|  | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N1上循环管, φ530×8** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **125** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **143.5** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **2200** | |  | | 接管材料 | | **Q245R** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **14** | |  | | 名称及类型 | | **板材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | | **Q245R** |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | | **900** |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **143.5** | |  | | 补强圈厚度(mm) | | **8** |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | | **0.3** |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | | **143.5** |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **500** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **514.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **13.35** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **1.65** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **1** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **514.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **1029.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **64.162** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **3435** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **180** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **776** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **28** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**984** (mm2)**，小于A，需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) | **2849** |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | | **2450** | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N2二次蒸汽接管, φ480×8** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **125** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **1** |
| 壳体型式 | **椭圆形封头** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **230** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **2200** | |  | | 接管材料 | | **S22053** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **8** | |  | | 名称及类型 | | **板材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **143.5** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 椭圆形封头长短轴之比 | **2** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | | **-0** |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **466.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **4.875** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.81** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **466.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **933.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **61.097** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **1137** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **1318** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **720** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **16** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**2054** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N3出料接管, φ57×8** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **125** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **1** |
| 壳体型式 | **锥壳或锥形封头** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | | **1100** |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.8** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **243** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1100** | |  | | 接管材料 | | **S22053** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **14** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **143.5** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 锥形封头或变径段半顶角 | **45** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | | **45** |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **44.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) |  |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | |  | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr |  |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | |  | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **44.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | |  | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) |  |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | |  | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) |  |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | |  | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) |  |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | |  | |
| *A*1+*A*2+*A*3= (mm2) | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **根据GB/T150第6.1.3节的规定,本开孔可不另行补强。** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N4进料接管, φ89×6** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **125** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **1** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.6** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **243** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **2200** | |  | | 接管材料 | | **S22053** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **14** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **143.5** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **80.2** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) |  |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | |  | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr |  |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | |  | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **80.2** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | |  | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) |  |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | |  | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) |  |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | |  | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) |  |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | |  | |
| *A*1+*A*2+*A*3= (mm2) | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **根据GB/T150第6.1.3节的规定,本开孔可不另行补强。** | | | | | | | |

# 附录E Ⅱ效加热室SW6校核计算书

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **固定管板换热器设计计算** | | | | |
|  | | | | |
| **设计计算条件:** | | | | |
|  | | | | |
| **壳 程:** | | | **管 程:** | |
| 设计压力 *P*s (MPa) | **-0.1** |  | 设计压力 *P*t (MPa) | **-0.1** |
| 设计温度 *t*s (℃) | **115** |  | 设计温度 *t*t (℃) | **100** |
| 壳程圆筒内径Di (mm) | **900** |  | 管箱圆筒内径Di (mm) | **900** |
| 材料名称 | **S30408** |  | 材料名称 | **Q245R** |
| 试验压力(MPa) | **0.125** |  | 试验压力(MPa) | **0.125** |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **壳程圆筒计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **137.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **115.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **205.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **900.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 材料名称 | | | | **S30408** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **板材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **137.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **184.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **7.37** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **6.65** | |  | *L*/*D*o | | **6.55** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **7.70** | |  | *D*o/*δ*e | | **118.96** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **8.00** | |  | *A*值 | | **0.0001376** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **6000.00** | | | |  | *B*值 | | **17.07** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **916.00** | |  | 重量 (kg) | | **1074.82** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **0.14348** | |  |  | |  |
| **结论** | **筒体名义厚度大于或等于GB/T151-2014中规定的最小厚度7.00mm,合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **前端管箱筒体计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **147.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **100.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **245.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **900.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 材料名称 | | | | **Q245R** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **板材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **148.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **9.93** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **2.85** | |  | *L*/*D*o | | **0.96** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **5.70** | |  | *D*o/*δ*e | | **160.00** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **6.00** | |  | *A*值 | | **0.0006949** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **875.00** | | | |  | *B*值 | | **91.59** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **912.00** | |  | 重量 (kg) | | **107.24** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **0.57242** | |  |  | |  |
| **结论** | **合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **前端管箱封头计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **148.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **100.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **147.00** |
| 内径 *D*i (mm) | **900.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **225.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **Q245R** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **板材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **9.90** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **2.00** |  | 外径 *D*o (mm) | **912.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **5.70** |  | 系数 *K*1 | **0.8941** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **6.00** |  | *A* 值 | **0.0008795** |
| 重量 | **43.97** |  | *B* 值 | **108.20** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **0.76131** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **后端管箱筒体计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **147.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **100.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **245.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **900.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 材料名称 | | | | **Q245R** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **板材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **148.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **9.93** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **2.21** | |  | *L*/*D*o | | **0.52** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **5.70** | |  | *D*o/*δ*e | | **160.00** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **6.00** | |  | *A*值 | | **0.0013331** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **475.00** | | | |  | *B*值 | | **121.38** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **912.00** | |  | 重量 (kg) | | **53.62** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **0.75865** | |  |  | |  |
| **结论** | **合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **后端管箱封头计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **148.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **100.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **147.00** |
| 内径 *D*i (mm) | **900.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **225.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **Q245R** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **板材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **9.90** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **2.00** |  | 外径 *D*o (mm) | **912.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **5.70** |  | 系数 *K*1 | **0.8941** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **6.00** |  | *A* 值 | **0.0008795** |
| 重量 | **43.97** |  | *B* 值 | **108.20** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **0.76131** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N1加热蒸汽接管, φ325×10** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **115** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **1** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **117** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **900** | |  | | 接管材料 | | **S30403** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **8** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **307** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **6.65** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.67** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **0.854** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **307** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **614** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **55.408** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **1030** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **320** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **788** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **20** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**1128** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N2上循环管, φ426×6** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **100** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **147** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **900** | |  | | 接管材料 | | **Q245R** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **6** | |  | | 名称及类型 | | **板材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **147** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **500** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **414.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **2.85** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **1.45** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **414.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **829.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **49.876** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **591** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **1182** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **424** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **9** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**1615** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N3下循环管, φ426×6** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **100** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **椭圆形封头** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **147** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **900** | |  | | 接管材料 | | **Q245R** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **6** | |  | | 名称及类型 | | **板材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **147** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 椭圆形封头长短轴之比 | **2** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **500** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | | **-0** |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **414.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **2** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **1.45** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **414.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **829.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **49.876** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **415** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **1534** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **424** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **9** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**1967** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N4冷凝水接管, φ57×5** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **115** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.5** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **900** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **8** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **0** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **48** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) |  |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | |  | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr |  |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | |  | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **48** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | |  | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) |  |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | |  | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) |  |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | |  | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) |  |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | |  | |
| *A*1+*A*2+*A*3= (mm2) | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **根据GB/T150第6.1.3节的规定,本开孔可不另行补强。** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N5不凝气接管, φ18×4** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **115** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.4** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **900** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **8** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **10.8** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) |  |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | |  | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr |  |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | |  | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **10.8** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | |  | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) |  |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | |  | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) |  |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | |  | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) |  |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | |  | |
| *A*1+*A*2+*A*3= (mm2) | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **根据GB/T150第6.1.3节的规定,本开孔可不另行补强。** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **延长部分兼作法兰固定式管板腐蚀后计算** | | | | | | | | | | | |
|  | |  | | | | | | | | | |
| **设计计算条件:** | |  | | | | | | | | | |
|  | | | | | |  |  | | | | |
| **壳程圆筒：** | | | | | |  |  | | |  | |
| 设计压力 *ps* (MPa) | | | | | **-0.1** |  | 平均温度下热膨胀系数*αs*(1/℃) | | | **1.682e-05** | |
| 设计温度 *Ts* (℃) | | | | | **115** |  | 壳程圆筒内径 *D*I(mm) | | | **900** | |
| 平均金属温度*ts* (℃) | | | | | **96** |  | 壳 程 圆 筒 名 义 厚 度 *δs* (mm) | | | **8** | |
| 装配温度*t0* (℃) | | | | | **20** |  | 壳程圆筒有效厚度δse(mm) | | | **7.7** | |
| 材料名称 | **S30408** | | | | |  | 壳体法兰弹性模量*Ef’*(MPa) | | | **1.881e+05** | |
| 设计温度下许用应力[*σ*]t(MPa) | | | | | **137** |  | 壳程圆筒内直径横截面积*A*(mm2) | | | **6.362e+05** | |
| 平均温度下弹性模量 *Es*(MPa) | | | | | **1.893e+05** |  | 壳程圆筒金属横截面积*As*(mm2) | | | **2.196e+04** | |
| 壳程圆筒环向焊接接头系数 | | | | | **1** |  |  | | |  | |
| **壳程端部圆筒:** | | | | |  |  |  | | |  | |
| 材料名称 | | | | |  |  | 端部圆筒有效厚度 *δse* | | |  | |
| 端部圆筒平均金属温度下弹性模量 Es | | | | |  |  | 两端部圆筒总长度 | | |  | |
| 端部圆筒平均金属温度下热膨胀系数*αs* | | | | |  |  | 端部圆筒金属横截面积 *As=πδs* (*D*i*+δ*s) | | |  | |
| 端部圆筒名义厚度 *δs* | | | | |  |  |  | | |  | |
| **管箱圆筒:** | | | | |  |  |  | | |  | |
| 设计压力 *pt* (MPa) | | | | | **-0.1** |  | 弹性模量 *Eh* (MPa) | | | **1.97e+05** | |
| 设计温度 *Tt* (℃) | | | | | **100** |  | 管箱圆筒名义厚度*δh* (mm) | | | **6** | |
| 材料名称 | | | | | **Q245R** |  | 管箱法兰弹性模量 *Et”(*MPa) | | | **1.94e+05** | |
|  | | | | |  |  |  | | |  | |
| **换热管:** | | | | |  |  |  | | |  | |
| 材料名称 | | | | | **TA2** |  | 换热管中心距 *S* (mm) | | | **48** | |
| 管子平均温度 *tt* (℃) | | | | | **78.6** |  | 一根管子金属横截面积α(mm2) | | | **172** | |
| 设计温度下管子材料许用应力[*σ*]tt (MPa) | | | | | **115** |  | 换热管长度 L(mm) | | | **6000** | |
| 设计温度下管子材料屈服应力*σ*st  (MPa) | | | | | **236.4** |  | 管子有效长度(两管板内侧间距)*L1*(mm) | | | **5908** | |
| 设计温度下管子材料弹性模量*E*tt | | | | | **1.061e+05** |  | 管束模数*K*t | | | **734.1** | |
| 平均温度下管子材料弹性模量*E*t(MPa) | | | | | **1.081e+05** |  | 管子回转半径 *i* | | | **12.92** | |
| 平均温度下管子材料热膨胀系数*α*t | | | | | **8.2e-06** |  | 管子受压失稳当量长度 | | | **1200** | |
| 管子外径 *d* (mm) | | | | | **38** |  | 系数*Cr* | | | **94.12** | |
| 管子壁厚 *δt* (mm) | | | | | **1.5** |  | 比值 | | | **92.91** | |
| 管子根数 *n* | | | | | **210** |  | 管子稳定许用压应力[*σ*]cr | **79.82** | | | |
| **注：** | | | | |  |  |  |  | | | |
| **管 板:** | | | |  | |  |  |  | | | |
| 材料名称 | | | | **S30408** | |  | 管板强度削弱系数 *η* | **0.4** | | | |
| 设计温度 *tp* | | | | **115** | |  | 管板刚度削弱系数 *μ* | **0.4** | | | |
| 设计温度下许用应力[*σ*]rt (MPa) | | | | **110.7** | |  | 管子加强系数 K | **3.376** | | | |
| 设计温度下弹性模量*EP* (MPa) | | | | **1.881e+05** | |  | 管板和管子连接型式 | **由程序确定** | | | |
| 管板腐蚀裕量 *C2* (mm) | | | | **0** | |  | 管板和管子胀接(焊接)高度 *l*(mm) | **40** | | | |
| 管板输入厚度*δn* (mm) | | | | **46** | |  | 胀接许用拉脱应力 [q](MPa) | **3** | | | |
| 管板计算厚度 *δ* (mm) | | | | **45.7** | |  | 焊接许用拉脱应力 [*q*](MPa) |  | | | |
| 管板分程处面积 *Ad* (mm2) **0** | | | | | | |  |  | | | |
|  | | | | | | |  |  | | | |
| **管箱法兰:** | | |  | | |  |  | |  | | |
| 材料名称 | | | **S22053** | | |  | 比值 *δ*h/*D*i | | **0.006333** | | |
| 管箱法兰厚度*δ*f”(mm) | | | **40** | | |  | 比值*δ*f”/*D*i | | **0.04444** | | |
| 法兰外径 *D*f (mm) | | | | | **1015** |  | 法兰宽度 (mm) | | **57.5** | | |
| 基本法兰力矩 *M*m (N⋅mm) | | | | | **8.663e+05** |  | 系数 *ω”* | | **0.0001291** | | |
| 管程压力操作工况下法兰力*M*p (N⋅mm) | | | | | **2.396e+06** |  | 管箱圆筒与法兰的旋转刚度 *K*f”(MPa) | | | | **3.483** |
| 管箱圆筒壳常数(1/mm) | | | | | **0.02538** |  |  | |  | | |
| **壳体法兰:** | | |  | | |  |  | |  | | |
| 材料名称 | | | **S30408** | | |  | 旋转刚度参数 (Mpa) | | **6.293** | | |
| 壳体法兰厚度 *δ*f’(mm) | | | **46** | | |  | 法兰外径与内径之比 *K* | | **1.128** | | |
| 法兰外径 *D*f (mm) | | | **1015** | | |  | 壳体法兰应力系数 *Y* | | **16.16** | | |
| 法兰宽度 *b*f (mm) | | | **57.5** | | |  | 旋转刚度无量纲参数 | | **0.006733** | | |
| 比值 *δ*s/*D*i | | | **0.008556** | | |  | 膨胀节总体轴向刚度*K*ex(N/mm) | |  | | |
| 比值*δ*f’/*D*i | | | **0.05111** | | |  | 膨胀节波峰处内直径 (mm) | |  | | |
| 系数*ω’* | | | **0.0002715** | | |  | 系数 | |  | | |
| 壳体法兰与圆筒的旋转刚度 *K*f’(MPa) | | | | | **6.293** |  |  | |  | | |
|  |  |  |
| **管板参数计算:** | | | | |  |  |  | |  | | |
|  | | | | |  |  |  | |  | | |
| 管板开孔后面积 *A*1(mm2) | | | | | **3.98e+05** |  | 管板布管区当量直径*D*t(mm) | | **730.4** | | |
| 管板布管区面积 *A*t(mm2) | | | | | **4.19e+05** |  |  | |  | | |
|  | | | | |  |  |  | |  | | |
| **系数计算:** | | | | |  |  |  | |  | | |
| 管板第一弯矩系数*m*1 | | | | | **0.1887** |  | 系数 *M*1 | | **0.008734** | | |
| 系数 *ψ* | | | | | **8.306** |  | 系数 *G*3 | | **0.02502** | | |
| 系数 *G*2 | | | | | **2.262** |  | 法兰力矩折减系数 *ξ* | | **0.212** | | |
| 换热管束与不带膨胀节壳体刚度之比*Q* | | | | | **0.9391** |  | 管板边缘力矩变化系 | | **0.4953** | | |
| 换热管束壳体刚度之比 *Q*ex | | | | | **0.9391** |  | 法兰力矩变化系数 | | **0.895** | | |
| 系数 *λ*=*A*1/*A* | | | | | **0.6256** |  | 系数 | | **0.09075** | | |
| 系数 *Σ*s | | | | | **2.26** |  | 管板布管区当量直径与壳体内径之比 | | **0.8116** | | |
| 系数 *Σ*t | | | | | **2.896** |  | 管板周边不布管区无量纲宽度 *k = K* (1-*ρ*t) | | **0.6361** | | |
| 管板第二弯矩系数*m*2 | | | | | **2.049** |  |  | |  | | |
|  | | | | |  |  |  | |  | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **仅有壳程压力*Ps*作用下的危险组合工况 (*Pt* = 0)** | | | | | | | | | |
|  | 不计温差应力 | | | | | | 计温差应力 | | |
| 换热管与壳程圆筒热膨胀变形差 γ | **0.0** | | | | | | **-0.0007975** | | |
| 当量压力组合 *P*c(MPa) | **-0.1** | | | | | | **-0.1** | | |
| 有效压力组合 *P*a (MPa) | **-0.226** | | | | | | **-8.048** | | |
| 基本法兰力矩系数 | **-0.0107** | | | | | | **-0.0003005** | | |
| 管板边缘力矩系数 | **-0.006376** | | | | | | **0.004025** | | |
| 管板边缘剪力系数 *ν* | **-0.05296** | | | | | | **0.03343** | | |
| 管板总弯矩系数 *m* | **0.08461** | | | | | | **0.2488** | | |
| 管板布管区周边径向弯矩系数 | | | **-0.3169** | | | | **-0.1679** | | |
| 管板布管区最大径向弯矩系数 | | | **-0.4518** | | | | **-0.371** | | |
| 管板径向弯矩系数 | | | **-0.4518** | | | | **-0.371** | | |
| 系数G1 | | | **-0.4018** | | | | **-0.3299** | | |
| 管板径向应力系数 | | | **-0.02971** | | | | **-0.02662** | | |
| 管板布管区周边处剪切应力系数 | | | **0.07396** | | | | **0.0807** | | |
| 壳体法兰力矩系数 | | | **-0.01009** | | | | **-0.00788** | | |
|  | | 计算值 | | 许用值 | | | 计算值 | | 许用值 |
| 管板径向应力 *σ*r (MPa) | | **4.073** | | **166** | | | **130** | | **332.1** |
| 管板布管区周边剪切应力 *τ*p(MPa) | | **-0.4178** | | **55.35** | | | **-16.24** | | **166** |
| 壳体法兰应力*σ*f’ (MPa) | | **6.928** | | **166** | | | **192.8** | | **332.1** |
| 换热管轴向应力*σ*t (MPa) | | **0.6963** | | [*σ*]tt **=115**  [*σ*]cr **=79.82** | | | **60.69** | | 3[*σ*]tt **=345**  1.2[*σ*]cr  **=95.78** |
| 壳程圆筒轴向应力 *σ*c (MPa) | | **-1.212** | | **137** | | | **-47.09** | | **411** |
| 换热管与管板连接拉脱应力 *q* (MPa) | | **0.02508** | | **3** | | | **2.186** | | **3** |
| **仅有管程压力*Pt*作用下的危险组合工况 (*Ps* = 0)** | | | | | | | | | |  | |  | |
|  | 不计温差应力 | | | | | | 计温差应力 | | |
| 换热管与壳程圆筒热膨胀变形差 *γ* | **0.0** | | | | | | **-0.0007975** | | |
| 当量压力组合 *P*c(MPa) | **0.1091** | | | | | | **0.1091** | | |
| 有效压力组合*P*a (MPa) | **0.2896** | | | | | | **-7.532** | | |
| 操作情况下法兰力矩系数 | **0.0231** | | | | | | **-0.0008883** | | |
| 管板边缘力矩系数 | **0.0231** | | | | | | **-0.0008883** | | |
| 管板边缘剪力系数 | **0.1918** | | | | | | **-0.007378** | | |
| 管板总弯矩系数 *m* | **0.4881** | | | | | | **0.1748** | | |
| 管板布管区周边径向弯矩系数 | **0.1953** | | | | | | **-0.2351** | | |
| 管板布管区最大径向弯矩系数 | **-0.3009** | | | | | | **-0.4044** | | |
| 管板径向弯矩系数 | **-0.3009** | | | | | | **-0.4044** | | |
| 系数 | **-0.2676** | | | | | | **-0.3596** | | |
| 管板径向应力系数 | **-0.0249** | | | | | | **-0.02788** | | |
| 壳体法兰力矩系数 | **-0.003836** | | | | | | **-0.008922** | | |
|  | 计算值 | | | | 许用值 | | 计算值 | | 许用值 |
| 管板径向应力 *σ*r (MPa) | **4.375** | | | | **166** | | **127.4** | | **332.1** |
| 管板布管区周边剪切应力 *τ*p(MPa) | **0.6739** | | | | **55.35** | | **-14.59** | | **166** |
| 壳体法兰应力*σ*f’ (MPa) | **-3.378** | | | | **166** | | **204.3** | | **332.1** |
| 换热管轴向应力*σ*t (MPa) | **-0.8738** | | | | [*σ*]tt **= 115**  [*σ*]cr= **79.82** | | **60.03** | | 3[*σ*]tt **=345**  1.2[*σ*]cr= **95.78** |
| 壳程圆筒轴 向 应 力 *σ*c (MPa) | **-0.9427** | | | | **137** | | **-45.23** | | **411** |
| 换热管与管板连接拉脱应力 *q* (MPa) | **0.03147** | | | | **3** | | **2.162** | | **3** |
| **考虑壳程*Ps*和管程压力*Pt*同时作用下的危险组合工况:** | | | | | | | | | |
|  | 不计温差应力 | | | | | | 计温差应力 | | |  |  | |
| 换热管与壳体热膨胀变形差 *γ* | **0.0** | | | | | | **-0.0007975** | | |
| 当量压力组合 *P*c (MPa) | **0.009075** | | | | | | **0.009075** | | |
| 有效压力组合 *P*a (MPa) | **0.06367** | | | | | | **-7.758** | | |
| 基本法兰力矩系数 | **0.03798** | | | | | | **-0.0003117** | | |
| 操作情况下法兰力矩系数 | **0.1094** | | | | | | **0.003464** | | |
| 管板边缘力矩系数 | **0.04231** | | | | | | **0.004014** | | |
| 管板边缘剪力系数 *ν* | **0.3514** | | | | | | **0.03334** | | |
| 管板总弯矩系数 *m* | **0.6724** | | | | | | **0.2487** | | |
| 管板布管区周边径向弯矩系数 | **0.269** | | | | | | **-0.1681** | | |
| 管板布管区最大径向弯矩系数 | **-0.236** | | | | | | **-0.371** | | |
| 管板径向弯矩系数 | **0.5637** | | | | | | **-0.4042** | | |
| 系数 | **0.5013** | | | | | | **-0.3595** | | |
| 管板径向应力系数 | **0.07331** | | | | | | **-0.02787** | | |
| 管板布管区周边处剪切应力系数 | **0.1462** | | | | | | **0.08069** | | |
| 壳体法兰力矩系数 | **0.01354** | | | | | | **-0.008917** | | |
|  | 计算值 | | | | | 许用值 | | 计算值 | 许用值 |
| 管板径向应力 *σ*r (MPa) | **2.832** | | | | | **166** | | **131.2** | **332.1** |
| 管板布管区周边剪切应力 *τ*p (MPa) | **0.2328** | | | | | **55.35** | | **-15.65** | **166** |
| 壳体法兰应力 (MPa) | **2.622** | | | | | **166** | | **210.3** | **332.1** |
| 换热管轴向应力 *σ*t (MPa) | **-0.3235** | | | | | [*σ*]tt **= 115**  [*σ*]cr= **79.82** | | **60.69** | 3[*σ*]tt **= 345**  1.2[*σ*]cr  =**95.78** |
| 壳程圆筒轴向应力*σ*c (MPa) | **-2.41** | | | | | **137** | | **-48.29** | **411** |
| 换热管与管板连接拉脱应力 *q* (MPa) | **0.01165** | | | | | **3** | | **2.149** | **3** |
| **计算结果:** | 管板名义厚度*δ*n (mm) | | | | | | | **46** | **管板校核通过** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **管箱法兰计算** | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | |  | | | | | |
| **设 计 条 件** | | | | | |  | | | | | |
|  | |  | | |  |  | | | | |  |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | **-0.100** | | |  | 法兰常温下许用应力[σ]f (MPa) | | | | | **230.0** |
| 计算压力 *p*c (MPa) | | **-0.100** | | |  | 法兰设计温度下许用应力 [σ]tf | | | | | **230.0** |
| 设计温度 *t*(°C) | | **100.0** | | |  | (MPa) | | | | |  |
| 轴向外载荷 *F* (N) | | **0.0** | | |  | 螺栓材料名称 | | | | | **20** |
| 外力矩 *M* (N.mm) | | **0.0** | | |  | 螺栓常温下许用应力[σ]b (MPa) | | **91.0** | | | |
| 壳体材料名称 | | **Q245R** | | |  | 螺栓设计温度下许用应力[σ]tb | | | | | **81.0** |
| 壳体材料常温下许用应力 | | **148.0** | | |  | (MPa) | | | | |  |
| [σ]n(MPa) | |  | | |  | 螺栓公称直径 *d*B (mm) | | | | | **16.0** |
| 壳体材料设计温度下许用 | | **147.0** | | |  | 螺栓根径 *d*B (mm) | | | | | **13.8** |
| 应力 [σ]tn (MPa) | |  | | |  | 螺栓数量 *n* (个) | | | | | **36** |
| 法兰材料名称 | | **S22053** | | |  |  | | | | |  |
| 垫片结构尺寸(mm)： | | | | | |  | | | | |  |
| *D*I （mm） | | | | **912.0** |  | *D*o | | | | | **1015.0** |
| *D*b (mm) | | | | **980.0** |  | *D*外 | | | | | **939.0** |
| *D*内 (mm) | | | | **903.0** |  | *l* | | | | | **13.0** |
| 注： *b*0≤6.4mm *b*=*b*0 *D*G= ( *D*外+*D*内 )/2  *b*0 > 6.4mm *b*=2.53 *D*G= *D*外 – 2*b* | | | | | |  | | | | | |
| *D*G | | | | **923.8** |  | 压紧面形状 *C* | | | | | **1a,1b** |
| *b* | | | | **7.59** |  | *m* | | | | | **1.00** |
| 材料类型 | | | | **合成橡胶(肖氏硬度≥75)** |  | *y* (MPa) | | | | | **1.4** |
| N  分程隔板垫片面积(mm2): | | | | **18.0**  **0.00** |  | 垫片厚度(mm) : | | | | |  |
|  | | | | | | | | | | | |
| **计算结果:** | | | | | | | | | |  | |
|  | | | | | | | | | |  | |
| **螺栓受力计算:** | | | | | | | | | |  | |
| *W*a=*πbD*G*y*= (N) | | | | **30839.5** |  | *W*p = *F*p+*F* = (N) | | | | **71434.9** | |
| *A*m = max (*A*p ,*A*a ) = (mm2) | | | | **338.9** |  | 实际使用螺栓总截面积 *A*b(mm2) | | | | **5411.9** | |
| 垫片最小宽度 *N*min (mm) | | | | **60.6** |  |  | | | |  | |
| **弯矩计算:** | | | | | | | | | | | |
| 操 作 *M*p | | | | | | | | | | | |
| *F*D = 0.785*D*2i*p*c = (N) | **-65291.9** | | | |  | 图(a):*L*T= 0.5(*D*b - *D*G) | | |  | | |
| *F*G = *F*p = (N) | **-4403.4** | | | |  | 图(b):*L*T=0.5 (*L*D+ *L*G )(mm) | | | **31.0** | | |
| *F*T = *F*-*F*D = (N) | **-1703.4** | | | |  | *M*D= *F*D *L*D = (N.mm) | | **-2219924.8** | | | |
| *L*D= 0.5(*D*b -*D*i) = (mm) | **34.0** | | | |  | *M*G= *F*G *L*G = (N.mm) | | **-123691.7** | | | |
| *L*G= 0.5 ( *D*b - *D*G )=(mm) | **28.1** | | | |  | *M*T= *F*T *L*T = | | **-52882.1** | | | |
| 外压: *M*p = *F*D (*L*D - *L*G )+*F*T(*L*T-*L*G ); 内压: *M*p = *M*D+*M*G+*M*T *M*p = (N.mm) | | | | | | | | **2396498.5** | | | |
| 预紧Ma | | | | | | | | | | | |
| *W*=*W*2= (N) | **261661.5** | | | |  | *L*G= 0.5 ( *D*b - *D*G )= (mm) | | | **28.1** | | |
| *M*a= *W**L*G = (N.mm) | **7350070.5** | | | |  |  | | |  | | |
| 计算弯矩 *M*o= *M*p与*M*a[*σ*]tf/[*σ*]f中大者 *M*o= (N.mm) | | | | | | | | | **7350070.5** | | |
| **螺栓间距校核:** | | | | | | | | | | | |
| 实际间距 (mm) | | **85.5** | | |  | 最大间距 (mm) | | | **192.0** | | |
| 最小间距 (mm) (查GB/T 150.3-2011表7-3) | | | | | | | **38.0** | | | | |
| **法兰应力校核:** | | | | | | | | | | | |
| 输入法兰厚度δf = (mm) | | **40.0** | | |  | *Y* = (查GB/T 150-2011表7-9) | | | **18.129** | | |
| *K=Do/Di =* | | **1.113** | | |  |  | | |  | | |
| 图a结构剪应力校核(Mpa): | | 计算值: | | |  |  | | | 许用值: | | |
| 预紧工况下: *τ*1 | | **7.03** | | |  | [*τ*]1=*0.8*[*σ*]tn | | | **校核合格** | | |
| 操作工况下: *τ*2 | | **1.92** | | |  | [*τ*]2=*0.8*[*σ*]n | | | **校核合格** | | |
| **计算结果:** | | | | | | | | | | | |
| 按环向应力确定的法兰厚度(mm) | | | **25.2** | | **校核合格** | | | | | | |

# 附录F Ⅱ效分离室SW6校核计算书

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **立式搅拌容器计算** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| **设 计 条 件** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体设计条件: | | | | | | |
| 设计压力 *p* (MPa): | | **-0.1** |  | 内径 *D*i (mm): | | **1800** |
| 设计温度 *t* (° C): | | **100** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **12** |
| 压力试验温度下的屈服点*σ* | | **245** |  | 材料名称: | | **Q245R** |
| 常温下许用应力[ *σ* ] (MPa): | | **148** |  | 设计温度下许用应力[ *σ* ] t (MPa): | | **147** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
| 压力试验类型: | | **液压** |  | 试验压力 *p*T (MPa): | | **0.125** |
| 筒体长度 Lw (mm): | | **3000** |  | 内筒外压计算长度 L (mm): | | **8700** |
|  | |  |  |  | |  |
| 封头设计条件: | |  |  |  | |  |
| 上封头: | |  |  | 下封头: | |  |
| 封头形式: | | **椭圆形** |  | 封头形式: | | **两端有折边锥形** |
| 名义厚度 *δ*n (mm): | | **8** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **12** |
| 材料名称: | | **Q245R** |  | 材料名称: | | **Q245R** |
| 设计温度下的许用 | |  |  | 设计温度下的许用 | |  |
| 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **147** |  | 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **147** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |  | 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |
| 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量*C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |  | 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |
| 焊接接头系数 *φ* | | **1** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
|  | |  |  |  | |  |
|  | | | | | | |
| **计 算 结 果** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **1608.67** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒上封头校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **224.36** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒下封头校核结果: |  | |  | 质量 *m* (kg): | **395.96** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 搅拌轴计算轴径 (mm): |  | |  |  |  | |
|  | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒体压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **147.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **100.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **245.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **1800.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 材料名称 | | | | **Q245R** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **板材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **148.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **9.68** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **11.20** | |  | *L*/*D*o | | **4.77** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **11.70** | |  | *D*o/*δ*e | | **155.90** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **12.00** | |  | *A*值 | | **0.0001322** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **8700.00** | | | |  | *B*值 | | **17.49** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **1824.00** | |  | 重量 (kg) | | **1608.67** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **0.11221** | |  |  | |  |
| **结论** | **合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒上封头内压计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **148.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **100.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **147.00** |
| 内径 *D*i (mm) | **1800.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **450.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **Q245R** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **板材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **220.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **14.64** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **4.00** |  | 外径 *D*o (mm) | **1816.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **7.70** |  | 系数 *K*1 | **0.8955** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **8.00** |  | *A* 值 | **0.0005941** |
| 重量 | **224.36** |  | *B* 值 | **78.42** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **0.37272** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒下封头压力计算** | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | | | | | | | |
| **设计条件** | | | | |  | | | | | | | | |
|  | | | | |  | | | | | | | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.10** | | |  | 锥壳大端转角半径 *r* (mm) | | | | **270.00** | | | | |
| 设计温度 *t* (℃) | **100.00** | | |  | 锥壳小端转角半径 *r*s (mm) | | | | **75.00** | | | | |
| 锥壳大端直径 *D*iL (mm) | **1800.00** | | |  | 锥壳计算内直径 *D*c (mm) | | | | **1641.85** | | | | |
| 锥壳小端直径 *D*is (mm) | **414.00** | | |  | 锥壳半顶角 α (°) | | | | **45.00** | | | | |
| 大端产生的轴向载荷 *f*1 (N/mm) | **0.00** | | |  | 小端产生的轴向载荷 *f*2 (N/mm) | | | | **0.00** | | | | |
|  | **大端圆筒** | | |  | **小端圆筒** | **锥壳部分** | | | | | | | |
| 材料名称 | **Q245R** | | |  | **Q245R** | **Q245R** | | | | | | | |
| 材料类型 | **板材** | | |  | **板材** | **板材** | | | | | | | |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | **148.00** | | |  | **148.00** | **148.00** | | | | | | | |
| 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | **147.00** | | |  | **147.00** | **147.00** | | | | | | | |
| 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | **245.00** | | |  | **245.00** | **245.00** | | | | | | | |
| 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** | | |  | **0.30** | **0.30** | | | | | | | |
| 焊接接头系数 *φ* | **1.00** | | |  | **1.00** | **1.00** | | | | | | | |
| 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** | | |  | **0.00** | **0.00** | | | | | | | |
|  |  | | |  |  | |  | | | | | | |
| **锥壳厚度计算** |  | | |  |  | |  | | | | | | |
| 锥壳 |  | | |  | 锥壳小端 | |  | | | | | | |
| 计算厚度 *δ*r (mm) | **0.79** | | |  | 是否加强 | | **需要加强** | | | | | | |
|  |  | | |  | 不需加强, 计算厚度 δr (mm) | | | | | | | |  |
|  |  | | |  | 需加强 | |  | | | | | | |
|  |  | | |  | 小端圆筒计算厚度 *δ*(mm) | | **0.14** | | | | | | |
| 锥壳大端 |  | | |  | *δ*/*R*S >=0.002时，计算厚度 *δ*r (mm) | | | | | | | |  |
| 过渡段厚度 *δ*r (mm) | **0.50** | | |  | 应力增值系数 | |  | | | | | | |
| 系数 *K* | **0.8181** | | |  | *δ*/*R*S <0.002时，计算厚度 *δ*r (mm) | | | | | **1.74** | | | |
| 与过渡段相接处的锥壳厚度δr (mm) | | | **0.79** |  | 应力增值系数 | | | **4.20** | | | | | |
| 系数 *f* | **0.64** | | |  | 圆筒内直径的0.15% (mm) | | | | | | | **0.62** | |
| 圆筒内直径的0.15% (mm) | **2.70** | | |  | 相连接的锥壳计算厚度 (mm) | | | | | | | **0.22** | |
| 最终计算厚度 *δ*r (mm) | **0.79** | | |  | 锥壳加强段所需名义厚度 (mm) | | | | | | | **3.50** | |
|  |  | | |  | 圆筒加强段所需名义厚度 (mm) | | | | | | | **3.50** | |
|  |  | | |  | 锥壳加强段长度 (mm) | | | **31.91** | | | | | |
|  |  | | |  | 圆筒加强段长度 (mm) | | | | | | **26.84** | | |
|  |  | | |  |  | | |  | | | | | |
| **压力试验时应力校核** |  | | |  |  | | |  | | | | | |
|  | 锥壳 | | |  |  | | |  | | | | | |
| 压力试验类型 | **液压试验** | | |  |  | | |  | | | | | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** | | |  |  | | |  | | | | | |
| 压力试验允许通过的应力[*σ*]T (MPa) | | **220.50** | |  |  | | |  | | | | | |
| 试验压力下封头的周向应力*σ*T (MPa) | | **12.47** | |  |  | | |  | | | | | |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T | | |  |  | | |  | | | | | |
| 校核结果 | **合格** | | |  |  | | |  | | | | | |
|  |  | | |  |  | | |  | | | | | |
| **计算结果** |  | | |  |  | | |  | | | | | |
| 锥壳所需名义厚度 (mm) | **3.50** | | |  | 小端锥壳加强段所需名义厚度 (mm) | | | | | | | **3.50** | |
| 锥壳大端所需名义厚度 (mm) | **4.00** | | |  | 小端筒体加强段所需名义厚度 (mm) | | | | | | | **3.50** | |
| 输入厚度 (mm) | **12.00** | | |  | **结论** | | | **合格** | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒下封头压力计算** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | | | |
|  | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | | 锥壳段大端外直径 *D*L (mm) | | **1658.82** |
| 设计温度 *t* (℃) | **100.00** |  | | 大端筒体计算长度 *L*L (mm) | | **3230.00** |
| 锥壳大端直径 *D*i (mm) | **1800.00** |  | | 锥壳段小端外直径 *D*s (mm) | | **469.93** |
| 锥壳小端直径 *D*is (mm) | **414.00** |  | | 小端筒体计算长度 *L*sm (mm) | | **5000.00** |
| 锥壳大端转角半径 *r* (mm) | **270.00** |  | | 大端产生的轴向载荷 *f*1 (N/mm) | | **0.00** |
| 锥壳小端转角半径 *r*s (mm) | **75.00** |  | | 小端产生的轴向载荷 *f*2 (N/mm) | | **0.00** |
| 锥壳半顶角 α (°) | **45.00** |  | | 当量长度 *L*e (mm) | | **595.86** |
| 锥壳轴向长度 *L*x (mm) | **594.47** |  | | 锥壳大端是否作支撑线 | | **□** |
|  |  |  | | 锥壳小端是否作支撑线 | | **□** |
|  | **大端圆筒** |  | | **小端圆筒** | **锥壳部分** | |
| 材料名称 | **Q245R** |  | | **Q245R** | **Q245R** | |
| 材料类型 | **板材** |  | | **板材** | **板材** | |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | **148.00** |  | | **148.00** | **148.00** | |
| 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | **147.00** |  | | **147.00** | **147.00** | |
| 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | **245.00** |  | | **245.00** | **245.00** | |
| 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |  | | **0.30** | **0.30** | |
| 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |  | | **0.00** | **0.00** | |
| 焊缝接头系数 φ | **1.00** |  | | **1.00** | **1.00** | |
|  | | | | | | |
| **厚度计算** | **大端圆筒** |  | | **小端圆筒** | **锥壳部分** | |
| 计算厚度 (mm) | **11.45** |  | | **3.65** | **3.45** | |
| 有效厚度 (mm) | **11.70** |  | | **5.70** | **8.27** | |
| *A*值 | **0.00012624** |  | | **0.00021129** | **0.00140042** | |
| *B*值 (MPa) | **16.7120** |  | | **27.9439** | **122.8809** | |
| 许用压力 (MPa) | **0.1072** |  | | **0.3739** | **0.6129** | |
| 名义厚度 (mm) | **12.00** |  | | **6.00** | **12.00** | |
| **结论** | **厚度合格** |  | | **厚度合格** | **厚度合格** | |
|  |  |  | |  |  | |
| **压力试验时应力校核** |  |  | |  |  | |
|  |  |  | |  |  | |
|  | **锥壳** |  | |  |  | |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | |  |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | |  |  | |
| 压力试验允许通过的应力[*σ*]T (MPa) | **220.50** |  | |  |  | |
| 试验压力下封头的周向应力*σ*T (MPa) | **12.47** |  | |  |  | |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | |  |  | |
| 压力试验校核结果 | **合格** |  | |  |  | |
|  | | | | | | |
| **锥壳和筒体连接处的加强计算** | | | | | | |
| **大端** |  |  | | **小端** | |  |
| △值 (°) | **0.00** |  | |  | |  |
| *Q*L=*p*C*D*L/4+*f*1 (N/mm) | **0.00** |  | | *Q*S=*p*C*D*S/4+*f*2 (N/mm) | | **0.00** |
| 所需加强面积 Arl (mm2) | **0.00** |  | | 所需加强面积 Ars (mm2) | | **0.00** |
| 有效加强面积 Ael (mm2) | **0.00** |  | | 有效加强面积 Ael (mm2) | | **0.00** |
| *L*c=(*L*2x+(*R*L-*R*S)2)1/2 (mm) |  |  | | *L*c=(*L*2x+(*R*L-*R*S)2)1/2 (mm) | |  |
| *A*TL=(*L*L*δe*+*L*c*δ*ec)/2 (mm2) |  |  | | *A*Ts=(*L*sm*δe*+*L*c*δ*ec)/2 (mm2) | |  |
| M*=-*D*Ltg*α*/4+*L*L/2+(*D2*L-*D2*s)/(6*D*Ltg*α*)* | |  | | N*=*D*stg*α*/4+*L*sm/2+(*D2*L-*D2*s)/(12*D*stg*α*)* | | |
| *F*L=*p*c*M* + *f*1tgα(N/mm) |  |  | | *F*s=*p*c*N* + *f*2tgα(N/mm) | |  |
| *B*=*F*L*D*L/*A*TL (MPa) |  |  | | *B*=*F*s*D*s/*A*Ts (MPa) | |  |
| *A*值 |  |  | | *A*值 | |  |
| 所需惯性矩*I*=*AD*2L*A*TL/10.9 (mm4) |  |  | | 所需惯性矩*I*=*AD*2s*A*Ts/10.9 (mm4) | |  |
| 有效惯性矩 *I*s (mm4) |  |  | | 有效惯性矩 *I*s (mm4) | |  |
| 加强段厚度 (mm) | **12.00** |  | | 加强段厚度 (mm) | | **6.00** |
| 筒体加强段长度 (mm) | **77.60** |  | | 筒体加强段长度 (mm) | | **27.41** |
| 锥壳加强段长度 (mm) | **77.60** |  | | 锥壳加强段长度 (mm) | | **27.41** |
|  |  |  | |  | |  |
|  | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N1上循环管, φ426×6** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **100** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **147** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1800** | |  | | 接管材料 | | **Q245R** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **12** | |  | | 名称及类型 | | **板材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | | **Q245R** |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | | **700** |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **147** | |  | | 补强圈厚度(mm) | | **8** |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | | **0.3** |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | | **147** |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **500** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **414.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **11.2** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **1.45** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **1** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **414.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **829.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **49.876** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **2322** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **207** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **424** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **18** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**649** (mm2)**，小于A，需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) | **2110** |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | | **1673** | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N2二次蒸汽接管, φ530×8** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **100** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **1** |
| 壳体型式 | **椭圆形封头** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **230** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1800** | |  | | 接管材料 | | **S22053** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **8** | |  | | 名称及类型 | | **板材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **147** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 椭圆形封头长短轴之比 | **2** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | | **-0** |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **516.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **4** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.855** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **516.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **1033.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **64.287** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **1033** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **1911** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **752** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **16** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**2679** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N3进料接管, φ57×8** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **100** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **1** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.8** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **243** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1800** | |  | | 接管材料 | | **S22053** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **12** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **147** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **44.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) |  |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | |  | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr |  |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | |  | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **44.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | |  | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) |  |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | |  | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) |  |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | |  | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) |  |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | |  | |
| *A*1+*A*2+*A*3= (mm2) | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **根据GB/T150第6.1.3节的规定,本开孔可不另行补强。** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N4出料接管, φ38×4** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **100** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **1** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **Q245R** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.4** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **243** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1800** | |  | | 接管材料 | | **S22053** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **12** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **147** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **32.8** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) |  |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | |  | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr |  |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | |  | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **32.8** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | |  | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) |  |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | |  | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) |  |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | |  | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) |  |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | |  | |
| *A*1+*A*2+*A*3= (mm2) | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **根据GB/T150第6.1.3节的规定,本开孔可不另行补强。** | | | | | | | |

# 附录G 混合冷凝器SW6校核计算书

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **立式搅拌容器计算** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| **设 计 条 件** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体设计条件: | | | | | | |
| 设计压力 *p* (MPa): | | **-0.1** |  | 内径 *D*i (mm): | | **209** |
| 设计温度 *t* (° C): | | **80** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **5** |
| 压力试验温度下的屈服点*σ* | | **205** |  | 材料名称: | | **S30408** |
| 常温下许用应力[ *σ* ] (MPa): | | **137** |  | 设计温度下许用应力[ *σ* ] t (MPa): | | **137** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.5** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.5** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
| 压力试验类型: | | **液压** |  | 试验压力 *p*T (MPa): | | **0.125** |
| 筒体长度 Lw (mm): | | **1950** |  | 内筒外压计算长度 L (mm): | | **2018** |
|  | |  |  |  | |  |
| 封头设计条件: | |  |  |  | |  |
| 上封头: | |  |  | 下封头: | |  |
| 封头形式: | | **椭圆形** |  | 封头形式: | | **椭圆形** |
| 名义厚度 *δ*n (mm): | | **5** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **5** |
| 材料名称: | | **S30408** |  | 材料名称: | | **S30408** |
| 设计温度下的许用 | |  |  | 设计温度下的许用 | |  |
| 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **137** |  | 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **137** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0** |  | 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0** |
| 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量*C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0** |  | 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0** |
| 焊接接头系数 *φ* | | **1** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
|  | |  |  |  | |  |
|  | | | | | | |
| **计 算 结 果** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **51.45** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒上封头校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **3.11** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒下封头校核结果: |  | |  | 质量 *m* (kg): | **3.11** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 搅拌轴计算轴径 (mm): |  | |  |  |  | |
|  | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒体压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **137.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **80.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **205.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **209.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.50** |
| 材料名称 | | | | **S30408** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **管材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **137.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **184.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **2.97** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **1.79** | |  | *L*/*D*o | | **9.21** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **4.50** | |  | *D*o/*δ*e | | **48.67** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **5.00** | |  | *A*值 | | **0.0004978** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **2018.00 (计算长度无限制, 临界长度= 1909.72)** | | | |  | *B*值 | | **57.63** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **219.00** | |  | 重量 (kg) | | **51.45** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **1.18419** | |  |  | |  |
| **结论** | **合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒上封头内压计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **137.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **80.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **137.00** |
| 内径 *D*i (mm) | **209.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.00** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **50.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **S30408** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **锻材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **184.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **2.80** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **0.49** |  | 外径 *D*o (mm) | **219.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **5.00** |  | 系数 *K*1 | **0.9127** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **5.00** |  | *A* 值 | **0.0031855** |
| 重量 | **3.11** |  | *B* 值 | **105.92** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **2.69918** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒下封头压力计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **137.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **80.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **137.00** |
| 内径 *D*i (mm) | **209.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.00** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **50.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **S30408** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **锻材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **184.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **2.80** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **0.49** |  | 外径 *D*o (mm) | **219.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **5.00** |  | 系数 *K*1 | **0.9127** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **5.00** |  | *A* 值 | **0.0031855** |
| 重量 | **3.11** |  | *B* 值 | **105.92** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **2.69918** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N1蒸汽进口, φ89×3** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **80** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **管材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.36** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **209** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **5** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.5** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **50** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **83.72** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **1.79** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.227** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **83.72** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **167.44** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **15.848** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **75** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **227** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **76** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **4** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**307** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N2不凝气接管, φ57×3** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **80** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **管材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.36** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **209** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **5** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.5** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **50** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **51.72** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **1.79** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.175** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **51.72** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **103.44** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **12.456** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **46** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **140** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **61** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **4** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**205** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N3冷却水进口, φ57×3** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **80** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **管材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.36** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **209** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **5** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.5** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **50** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **51.72** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **1.79** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.175** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **51.72** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **103.44** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **12.456** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **46** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **140** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **61** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **4** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**205** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N4冷凝水出口, φ76×3** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **80** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **椭圆形封头** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **锻件** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.36** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **209** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **5** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 椭圆形封头长短轴之比 | **2.09** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | | **-0** |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **70.72** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **0.4938** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.276** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **70.72** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **141.44** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **14.566** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **17** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **319** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **69** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **4** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**391** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

# 附录H 冷凝水罐ⅠSW6校核计算书

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **立式搅拌容器计算** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| **设 计 条 件** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体设计条件: | | | | | | |
| 设计压力 *p* (MPa): | | **-0.1** |  | 内径 *D*i (mm): | | **1600** |
| 设计温度 *t* (° C): | | **120** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **8** |
| 压力试验温度下的屈服点*σ* | | **205** |  | 材料名称: | | **S30408** |
| 常温下许用应力[ *σ* ] (MPa): | | **137** |  | 设计温度下许用应力[ *σ* ] t (MPa): | | **137** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
| 压力试验类型: | | **液压** |  | 试验压力 *p*T (MPa): | | **0.125** |
| 筒体长度 Lw (mm): | | **2500** |  | 内筒外压计算长度 L (mm): | | **2811** |
|  | |  |  |  | |  |
| 封头设计条件: | |  |  |  | |  |
| 上封头: | |  |  | 下封头: | |  |
| 封头形式: | | **椭圆形** |  | 封头形式: | | **椭圆形** |
| 名义厚度 *δ*n (mm): | | **4** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **4** |
| 材料名称: | | **S30408** |  | 材料名称: | | **S30408** |
| 设计温度下的许用 | |  |  | 设计温度下的许用 | |  |
| 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **137** |  | 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **137** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |  | 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |
| 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量*C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |  | 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |
| 焊接接头系数 *φ* | | **1** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
|  | |  |  |  | |  |
|  | | | | | | |
| **计 算 结 果** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **793.09** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒上封头校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **88.66** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒下封头校核结果: |  | |  | 质量 *m* (kg): | **88.66** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 搅拌轴计算轴径 (mm): |  | |  |  |  | |
|  | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒体压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **137.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **120.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **205.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **1600.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 材料名称 | | | | **S30408** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **板材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **137.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **184.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **13.05** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **6.65** | |  | *L*/*D*o | | **1.74** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **7.70** | |  | *D*o/*δ*e | | **209.87** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **8.00** | |  | *A*值 | | **0.0002462** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **2811.00** | | | |  | *B*值 | | **30.64** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **1616.00** | |  | 重量 (kg) | | **793.09** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **0.14599** | |  |  | |  |
| **结论** | **合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒上封头内压计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **137.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **120.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **137.00** |
| 内径 *D*i (mm) | **1600.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **400.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **S30408** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **板材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **184.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **27.06** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **3.65** |  | 外径 *D*o (mm) | **1608.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **3.70** |  | 系数 *K*1 | **0.8955** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **4.00** |  | *A* 值 | **0.0003212** |
| 重量 | **88.66** |  | *B* 值 | **40.02** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **0.10284** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒下封头压力计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **137.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **120.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **137.00** |
| 内径 *D*i (mm) | **1600.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **400.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **S30408** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **板材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **184.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **27.06** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **3.65** |  | 外径 *D*o (mm) | **1608.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **3.70** |  | 系数 *K*1 | **0.8955** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **4.00** |  | *A* 值 | **0.0003212** |
| 重量 | **88.66** |  | *B* 值 | **40.02** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **0.10284** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N1冷凝水进口接管, φ159×7** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **120** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.7** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1600** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **8** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **146.4** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **6.65** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.4265** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **146.4** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **292.8** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **32.012** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **487** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **154** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **376** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **14** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**544** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N2冷凝水出口接管, φ108×6** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **120** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.6** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1600** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **8** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **97.2** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **6.65** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.3405** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **97.2** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **194.4** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **24.15** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **323** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **102** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **244** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **12** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**358** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N3气压平衡管接管, φ38×4** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **120** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **椭圆形封头** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.4** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1600** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **4** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 椭圆形封头长短轴之比 | **2** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | | **-0** |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **30.8** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) |  |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | |  | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr |  |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | |  | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **30.8** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | |  | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) |  |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | |  | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) |  |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | |  | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) |  |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | |  | |
| *A*1+*A*2+*A*3= (mm2) | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **根据GB/T150第6.1.3节的规定,本开孔可不另行补强。** | | | | | | | |

# 附录I 冷凝水罐ⅡSW6校核计算书

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **立式搅拌容器计算** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| **设 计 条 件** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体设计条件: | | | | | | |
| 设计压力 *p* (MPa): | | **0.1** |  | 内径 *D*i (mm): | | **1200** |
| 设计温度 *t* (° C): | | **140** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **4** |
| 压力试验温度下的屈服点*σ* | | **205** |  | 材料名称: | | **S30408** |
| 常温下许用应力[ *σ* ] (MPa): | | **137** |  | 设计温度下许用应力[ *σ* ] t (MPa): | | **137** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
| 压力试验类型: | | **液压** |  | 试验压力 *p*T (MPa): | | **0.125** |
| 筒体长度 Lw (mm): | | **1800** |  | 内筒外压计算长度 L (mm): | |  |
|  | |  |  |  | |  |
| 封头设计条件: | |  |  |  | |  |
| 上封头: | |  |  | 下封头: | |  |
| 封头形式: | | **椭圆形** |  | 封头形式: | | **椭圆形** |
| 名义厚度 *δ*n (mm): | | **4** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **4** |
| 材料名称: | | **S30408** |  | 材料名称: | | **S30408** |
| 设计温度下的许用 | |  |  | 设计温度下的许用 | |  |
| 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **137** |  | 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **137** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |  | 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |
| 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量*C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |  | 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |
| 焊接接头系数 *φ* | | **1** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
|  | |  |  |  | |  |
|  | | | | | | |
| **计 算 结 果** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **213.78** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒上封头校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **50.71** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒下封头校核结果: |  | |  | 质量 *m* (kg): | **50.71** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 搅拌轴计算轴径 (mm): |  | |  |  |  | |
|  | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒体压力计算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | |
|  | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | | **0.11** |  | | 设计温度 *t* (℃) | **140.00** | |
| 内径 *D*i (mm) | | **1200.00** |  | |  |  | |
| 材料名称 | | **S30408** |  | | 材料类型 | **板材** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | **137.00** |  | | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** | |
| 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **137.00** |  | | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** | |
| 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **205.00** |  | | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** | |
|  | |  |  | |  |  | |
| **厚度及重量计算** | |  |  | |  |  | |
|  | |  |  | |  |  | |
| 计算厚度*δ* (mm) | | **0.48** |  | | 名义厚度δn (mm) | **4.00** | |
| 有效厚度*δe* (mm) | | **3.70** |  | | 重量 (kg) | **213.78** | |
|  | |  |  | |  |  | |
| **压力试验时应力校核** | |  |  | |  |  | |
|  | |  |  | |  |  | |
| 压力试验类型 | | **液压试验** |  | | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值*p*T (MPa) | **0.1250** | |  | | [*σ*]T=0.90*σ*s | **184.50** | |
| 试验压力下圆筒的应力*σ*T (MPa) | | **20.33** |  | | 校核条件 | σT≤ [σ]T | |
|  | |  |  | |  |  | |
| **校核结果** | | **合格** |  | |  |  | |
|  | |  |  | |  |  | |
| **压力及应力计算** | |  |  | |  |  | |
|  | |  |  | |  |  | |
| 最大允许工作压力[*p*w] (MPa) | | **0.84224** |  | | 设计温度下计算应力*σ*t (MPa) | **17.73** | |
| [*σ*]t*φ* | | **137.00** |  | | 校核条件 | [*σ*]t*φ* ≥*σ*t | |
| **结论** | |  |  | |  |  | |
| **合格** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒上封头内压计算** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | **GB/T 150.3-2011** | | |
|  | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | |
|  | | | |  | | |
| 计算压力 *P*c (MPa) | | **0.10** |  | 内径 *D*i (mm) | | **1200.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | | **140.00** |  | 曲面高度 *h*I (mm) | | **300.00** |
| 材料名称 | | **S30408** |  | 材料类型 | | **板材** |
| 试验温度许用应力[*σ*] (MPa) | | **137.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 设计温度许用应力[*σ*]t(MPa) | | **137.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 焊接接头系数 *φ* | | **1.00** |  |  | |  |
|  | |  |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | |  |  |  | |  |
|  | |  |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 | |  |
| 试验压力值 *P*T (MPa) | | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | | **184.50** |
|  | |  |  | 试验压力下封头的 | |  |
| 校核条件 | | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | | **20.30** |
| 校核结果 | | **合格** |  |  | |  |
|  | |  |  |  | |  |
| **厚度及重量计算** | |  |  |  | |  |
|  | |  |  |  | |  |
| 形状系数 *K* | | **1.0000** |  | 最小厚度 *δ*min (mm) | | **2.00** |
| 计算厚度 *δh* (mm) | | **0.44** |  | 名义厚度 *δ*nh (mm) | | **4.00** |
| 有效厚度 *δ*eh (mm) | | **3.70** |  | 重量 (kg) | | **50.71** |
| **结论** | **满足最小厚度要求** | |  |  | |  |
|  | |  |  |  | |  |
| **压力计算** | |  |  |  | |  |
|  | |  |  |  | |  |
| 最大允许工作压力[*P*w](MPa) | | **0.84353** |  | **结论** | **合格** | |
|  | | | | | | |
|  | | | | | | |
|  | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒下封头压力计算** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | **GB/T 150.3-2011** | | |
|  | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | |
|  | | | |  | | |
| 计算压力 *P*c (MPa) | | **0.11** |  | 内径 *D*i (mm) | | **1200.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | | **140.00** |  | 曲面高度 *h*I (mm) | | **300.00** |
| 材料名称 | | **S30408** |  | 材料类型 | | **板材** |
| 试验温度许用应力[*σ*] (MPa) | | **137.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 设计温度许用应力[*σ*]t(MPa) | | **137.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 焊接接头系数 *φ* | | **1.00** |  |  | |  |
|  | |  |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | |  |  |  | |  |
|  | |  |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 | |  |
| 试验压力值 *P*T (MPa) | | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | | **184.50** |
|  | |  |  | 试验压力下封头的 | |  |
| 校核条件 | | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | | **20.30** |
| 校核结果 | | **合格** |  |  | |  |
|  | |  |  |  | |  |
| **厚度及重量计算** | |  |  |  | |  |
|  | |  |  |  | |  |
| 形状系数 *K* | | **1.0000** |  | 最小厚度 *δ*min (mm) | | **2.00** |
| 计算厚度 *δh* (mm) | | **0.49** |  | 名义厚度 *δ*nh (mm) | | **4.00** |
| 有效厚度 *δ*eh (mm) | | **3.70** |  | 重量 (kg) | | **50.71** |
| **结论** | **满足最小厚度要求** | |  |  | |  |
|  | |  |  |  | |  |
| **压力计算** | |  |  |  | |  |
|  | |  |  |  | |  |
| 最大允许工作压力[*P*w](MPa) | | **0.84353** |  | **结论** | **合格** | |
|  | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N1冷凝水进口接管, φ89×2.5** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **140** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1200** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **4** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **84.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **0.4381** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.0307** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **84.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **169.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **14.543** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **37** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **276** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **63** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **2** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**342** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N2冷凝水出口接管, φ76×2.5** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **140** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1200** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **4** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **71.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **0.4381** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.0259** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **71.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **143.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **13.379** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **31** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **234** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **58** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **2** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**294** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N3气压平衡管接管, φ38×2** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **140** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **椭圆形封头** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.24** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **1200** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **4** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 椭圆形封头长短轴之比 | **2** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | | **-0** |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **34.48** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **0.3942** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.0124** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **34.48** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **68.96** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **8.3042** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **14** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **114** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **29** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **2** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**145** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

# 附录J 冷凝水罐ⅢSW6校核计算书

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **立式搅拌容器计算** | | | | | | |
|  | | | | | | |
| **设 计 条 件** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体设计条件: | | | | | | |
| 设计压力 *p* (MPa): | | **-0.1** |  | 内径 *D*i (mm): | | **800** |
| 设计温度 *t* (° C): | | **115** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **6** |
| 压力试验温度下的屈服点*σ* | | **205** |  | 材料名称: | | **S30408** |
| 常温下许用应力[ *σ* ] (MPa): | | **137** |  | 设计温度下许用应力[ *σ* ] t (MPa): | | **137** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
| 压力试验类型: | | **液压** |  | 试验压力 *p*T (MPa): | | **0.125** |
| 筒体长度 Lw (mm): | | **1200** |  | 内筒外压计算长度 L (mm): | | **1384** |
|  | |  |  |  | |  |
| 封头设计条件: | |  |  |  | |  |
| 上封头: | |  |  | 下封头: | |  |
| 封头形式: | | **椭圆形** |  | 封头形式: | | **椭圆形** |
| 名义厚度 *δ*n (mm): | | **4** |  | 名义厚度 *δ*n (mm): | | **4** |
| 材料名称: | | **S30408** |  | 材料名称: | | **S30408** |
| 设计温度下的许用 | |  |  | 设计温度下的许用 | |  |
| 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **137** |  | 应力[ *σ* ] t (MPa)  | | **137** |
| 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |  | 钢材厚度负偏差 *C*1 (mm): | | **0.3** |
| 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm): | | **0** |
| 厚度附加量*C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |  | 厚度附加量 *C*＝*C*1＋*C*2 (mm): | | **0.3** |
| 焊接接头系数 *φ* | | **1** |  | 焊接接头系数 *φ* | | **1** |
|  | |  |  |  | |  |
|  | | | | | | |
| **计 算 结 果** : | | | | | | |
|  | | | | | | |
| 内圆筒体校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **143.11** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒上封头校核结果: | **校核合格** | |  | 质量 *m* (kg): | **23.29** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 内筒下封头校核结果: |  | |  | 质量 *m* (kg): | **23.29** | |
|  |  | |  |  |  | |
| 搅拌轴计算轴径 (mm): |  | |  |  |  | |
|  | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒体压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算所依据的标准** | | | | | **GB/T 150.3-2011** | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| **计算条件** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 设计压力 *p*c (MPa) | | | | **-0.10** | |  | 设计温度许用应力 [*σ*]t (MPa) | | **137.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | | | | **115.00** | |  | 试验温度下屈服点 *ReL* (MPa) | | **205.00** |
| 内径 *D*i (mm) | | | | **800.00** | |  | 负偏差 *C*1 (mm) | | **0.30** |
| 材料名称 | | | | **S30408** | |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | | **0.00** |
| 材料类型 | | | | **板材** | |  | 焊缝接头系数 φ | | **1.00** |
| 试验温度许用应力 [*σ*] (MPa) | | | | **137.00** | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力试验时应力校核** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 压力试验类型 | | | | **液压试验** | |  | 压力试验允许通过的应力 |  | |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | | | **0.1250** | | |  | [*σ*]T (Mpa) | **184.50** | |
|  | | |  | | |  | 试验压力下圆筒的 |  | |
| 校核条件 | | | | σT ≤ [σ]T | |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **8.83** | |
| 校核结果 | | | | **合格** | |  |  |  | |
|  | | | |  | |  |  |  | |
| **厚度及重量计算** | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| 计算厚度 (mm) | | | | **3.30** | |  | *L*/*D*o | | **1.70** |
| 有效厚度 (mm) | | | | **5.70** | |  | *D*o/*δ*e | | **142.46** |
| 名义厚度 (mm) | | | | **6.00** | |  | *A*值 | | **0.0004490** |
| 外压计算长度 L (mm) | | **1384.00** | | | |  | *B*值 | | **53.05** |
| 筒体外径 *D*o=*D*i+2*δ*n (MPa) | | | | **812.00** | |  | 重量 (kg) | | **143.11** |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| **压力计算** | | | | | | | | | |
|  | | | |  | |  |  | |  |
| 许用外压力 [*p*] (MPa) | | | | **0.37239** | |  |  | |  |
| **结论** | **合格** | | | | |  |  | |  |
|  | | | |  | |  |  | |  |
|  | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒上封头内压计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **137.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **115.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **137.00** |
| 内径 *D*i (mm) | **800.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **200.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **S30408** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **板材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **184.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **13.54** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **1.83** |  | 外径 *D*o (mm) | **808.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **3.70** |  | 系数 *K*1 | **0.8944** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **4.00** |  | *A* 值 | **0.0006423** |
| 重量 | **23.29** |  | *B* 值 | **61.44** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **0.31569** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **内筒下封头压力计算** | | | | |
|  | | |  | |
| **计算所依据的标准** | | | **GB/T 150.3-2011** | |
|  | | |  | |
| **计算条件** | | |  | |
|  | | |  | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **-0.10** |  | 试验温度许用应力[σ] (MPa) | **137.00** |
| 设计温度 *t* (℃) | **115.00** |  | 设计温度许用应力[σ]t(MPa) | **137.00** |
| 内径 *D*i (mm) | **800.00** |  | 负偏差 *C*1 (mm) | **0.30** |
| 曲面高度 *h*i (mm) | **200.00** |  | 腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0.00** |
| 材料名称 | **S30408** |  | 焊接接头系数 *φ* | **1.00** |
| 材料类型 | **板材** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **压力试验时应力校核** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 压力试验类型 | **液压试验** |  | 压力试验允许通过的应力 |  |
| 试验压力值 *p*T (MPa) | **0.1250** |  | [*σ*]T (Mpa) | **184.50** |
|  |  |  | 试验压力下封头的 |  |
| 校核条件 | σT ≤ [σ]T |  | 周向应力*σ*T (MPa) | **13.54** |
| 校核结果 | **合格** |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| **厚度计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 计算厚度*δh* (mm) | **1.83** |  | 外径 *D*o (mm) | **808.00** |
| 有效厚度*δ*eh (mm) | **3.70** |  | 系数 *K*1 | **0.8944** |
| 名义厚度*δ*nh (mm) | **4.00** |  | *A* 值 | **0.0006423** |
| 重量 | **23.29** |  | *B* 值 | **61.44** |
|  |  |  |  |  |
| **压力计算** |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 许用外压力[*p*] (MPa) | **0.31569** |  | **结论** | **合格** |
|  |  |  |  |  |
|  | | | | |
|  | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N1冷凝水进口接管, φ57×2.5** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **115** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **800** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **6** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **52.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **3.3** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.235** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **52.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **105.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **11.467** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **87** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **126** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **45** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **4** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**175** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N2冷凝水出口接管, φ45×2.5** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **115** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **圆形筒体** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.3** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **800** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **6** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 接管轴线与筒体表面法线的夹角(°) | **0** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | |  |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **40.6** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **3.3** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.205** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **40.6** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **81.2** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **10.075** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **67** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **97** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **40** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **4** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**141** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **开孔补强计算** | | | | | | | |
|  | | | | |  | | |
| **设 计 条 件** | | | | |  | | |
|  | | | | |  | | |
| 接管: **N3气压平衡管接管, φ38×2** | | | | | 计算方法: GB/T 150.3-2011 等面积补强法,单孔 | | |
| 计算压力 *p*c (MPa) | **0.1外压** | |  | | 接管焊接接头系数 | | **1** |
| 设计温度 *t* (℃) | **115** | |  | | 接管腐蚀裕量 (mm) | | **0** |
| 壳体型式 | **椭圆形封头** | |  | | 凸形封头开孔中心至 | |  |
| 壳体材料 | **S30408** | |  | | 封头轴线的距离 (mm) | |  |
| 名称及类型 | **板材** | |  | | 接管厚度负偏差 *C*1t (mm) | | **0.24** |
| 壳体开孔处焊接接头系数*φ* | **1** | |  | | 接管材料许用应力[*σ*]t (MPa) | | **137** |
| 壳体内直径 *D*I (mm) | **800** | |  | | 接管材料 | | **S30408** |
| 壳体开孔处名义厚度*δ*n (mm) | **4** | |  | | 名称及类型 | | **管材** |
| 壳体厚度负偏差 *C*1 (mm) | **0.3** | |  | | 补强圈材料名称 | |  |
| 壳体腐蚀裕量 *C*2 (mm) | **0** | |  | | 补强圈外径(mm) | |  |
| 壳体材料许用应力[*σ*]t (MPa) | **137** | |  | | 补强圈厚度(mm) | |  |
| 椭圆形封头长短轴之比 | **2** | |  | | 补强圈厚度负偏差 *C*1r (mm) | |  |
| 接管连接型式 | **插入式接管** | |  | | 补强圈许用应力[σ]t (MPa) | |  |
| 接管实际外伸长度 (mm) | **100** | |  | | 接管轴线与封头轴线的夹角(**°)** | | **-0** |
| 接管实际内伸长度 (mm) | **0** | |  | |  | |  |
|  | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| **开 孔 补 强 计 算** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 非圆形开孔长直径(mm) | **34.48** |  | | 开孔长径与短径之比 | | **1** | |
| 壳体计算厚度*δ*(mm) | **1.825** |  | | 接管计算厚度*δ*t (mm) | | **0.1855** | |
| 补强圈强度削弱系数  *f*rr | **0** |  | | 接管材料强度削弱系数 *f*r | | **1** | |
| 开孔补强计算直径 *d* (mm) | **34.48** |  | | 补强区有效宽度 *B* (mm) | | **68.96** | |
| 接管有效外伸长度 *h*1 (mm) | **8.3042** |  | | 接管有效内伸长度 *h*2 (mm) | | **0** | |
| 开孔削弱所需的补强面积*A* (mm2) | **31** |  | | 壳体多余金属面积 *A*1 (mm2) | | **65** | |
| 接管多余金属面积 *A*2 (mm2) | **26** |  | | 补强区内的焊缝面积 *A*3(mm2) | | **2** | |
| *A*1+*A*2+*A*3=**93** (mm2)**，大于A，不需另加补强。** | | | | | | | |
| 补强圈面积 *A*4 (mm2) |  |  | | *A*-(*A*1+*A*2+*A*3) (mm2) | |  | |
|  | | | | | | | |
| **结论**: **合格** | | | | | | | |

1. 1 裴旭东,陈卫红,李朝恒.煤化工废水中硫酸钠-氯化钠-硝酸钠分离工艺研究[J].工业水处理,2020,40(01):63-66. [↑](#endnote-ref-2)
2. 2 牛自得,程芳琴.水盐体系相图及其应用[M].天津:天津大学出版社,2002. [↑](#endnote-ref-3)
3. 3 严家騄,余晓福,王永青.水和水蒸气热力性质图表[M].北京:高等教育出版社,2004. [↑](#endnote-ref-4)
4. 4 姚玉英.化工原理（上）[M].天津:天津大学出版社.1999. [↑](#endnote-ref-5)
5. 5 刘光启,马连湘,刘杰.化学化工物性数据手册（无机卷）[M].北京:化学工业出版社,2002. [↑](#endnote-ref-6)
6. 6 顾承真,闵兆升,洪厚胜.机械蒸汽再压缩蒸发系统的性能分析[J].化工进展,2014,33(01):30-35. [↑](#endnote-ref-7)
7. 7 陈英南,刘玉兰.常用化工单元设备的设计[M].上海:华东理工大学出版社,2005. [↑](#endnote-ref-8)
8. 8 严家騄.工程热力学（第四版）[M].北京:高等教育出版社,2006. [↑](#endnote-ref-9)
9. 9 基伊埃工程技术(中国)有限公司.机械蒸汽再压缩应用于蒸发器[M]. [↑](#endnote-ref-10)
10. 10 宋晓瑜,程时波,杨杰.浅谈离心式压缩机的功率计算[J].大氮肥,2014,37(05):296-298+302. [↑](#endnote-ref-11)
11. 11 刘立.机械蒸汽再压缩式降膜蒸发系统的设计和性能研究[D].河北工业大学,2014. [↑](#endnote-ref-12)
12. 12 谭志明.多效蒸发器有效传热温差的计算及其分配原则[J].井矿盐技术,1989(05):9-14. [↑](#endnote-ref-13)
13. 13 朱玉峰,司孟华.降膜蒸发器内多层喷淋盘式分布器研究[J].化学工程,2002(04):25-27+2. [↑](#endnote-ref-14)
14. 14 刘殿宇.降膜式蒸发器设计及应用[M].北京:化学工业出版社,2015. [↑](#endnote-ref-15)
15. 15 邹华生,钟理,伍钦.传热传质过程设备设计[M].广州:华南理工大学出版社,2007. [↑](#endnote-ref-16)
16. 16 辛宝丰.气液分离器的设计和选择[J].医药工程设计,1986(03):1-9. [↑](#endnote-ref-17)
17. 17 刘广彬,赵远扬,李连生,杨启超,王乐,舒悦. 一种MVR废水蒸发浓缩系统[P]. CN106315717A,2017-01-11. [↑](#endnote-ref-18)
18. 18 王畅,丁德承.混合冷凝器的计算[J].医药工程设计,2011,32(02):8-12. [↑](#endnote-ref-19)
19. 19 黄军萍,梁立强,王毅.蒸发器冷凝水疏水器的选型与使用[J].中国有色冶金,2011,40(04):32-33+73. [↑](#endnote-ref-20)