

**过程设备机械设计基础**

**课程设计**

**计算说明书**

**学院 国际卓越工程师学院**

**专业 化工与制药类**

**标准 D**

**组长 张泽群（国卓211 21010484）**

**组员 刘宏琳（国卓211 21010483）**

**石鑫磊（国卓211 21010485）**

**颜泽宇（国卓212 21010497）**

**导师 陈建钧**

**日期 2024年1月9日—2025年1月14日**

目 录

[一、任务书](#_Toc28281) **[3](#_Toc28281)**

[二、设计目的和意义](#_Toc29470) **[4](#_Toc29470)**

[三、 设计内容](#_Toc9347) **[5](#_Toc9347)**

[3.1确定筒体的直径和高度 5](#_Toc4806)

[3.2确定夹套直径和高度 5](#_Toc16220)

[3.3确定夹套的材料和壁厚 6](#_Toc5994)

[3.4确定内筒的材料和壁厚 7](#_Toc27137)

[3.5水压实验及其强度校核 8](#_Toc17765)

[3.6选择釜体法兰 9](#_Toc20334)

[3.7选择搅拌器，搅拌轴和联轴器 10](#_Toc23464)

[3.8选择搅拌传动装置和密封装置 11](#_Toc31525)

[3.9校核L1/B和L1/d 11](#_Toc18078)

[3.10容器支座的选用计算 11](#_Toc17174)

[3.11选用手孔、视镜、温度计和工艺接管 12](#_Toc23288)

[四、总结](#_Toc11682) **[13](#_Toc11682)**

**[1.结构设计](#_Toc24612)** [13](#_Toc24612)

**[2.材料选择](#_Toc7371)** [13](#_Toc7371)

**[3.强度和刚度设计](#_Toc12096)** [13](#_Toc12096)

**[4.稳定性设计](#_Toc4049)** [13](#_Toc4049)

**[5.标准件的选择](#_Toc4797)** [13](#_Toc4797)

**[6.技术要求的提出](#_Toc5836)** [13](#_Toc5836)

[五、参考文献](#_Toc13335) **[13](#_Toc13335)**

[六、致谢](#_Toc12291) **[13](#_Toc12291)**

### 任务书一、任务书

### 二、设计目的和意义

《过程设备机械基础》是一门与工程实践密切相关的课程，有非常强的实用性，它紧贴工业实际，在处理问题时需要考虑到生产的实际情况，结合设备、零件的市场供应情况等作出相应的方案优化。

如果只是学习了《过程设备机械基础》的基础知识，了解了一些基本的概念，而没有从根本上认识到工业实际的复杂性、严谨性、科学性，很难做到真正体会知识的内涵，而要真正学会设计则需要相对较长时间的工程实践，因此在完成书本理论知识的学习之后进行一次综合的设计训练，能起到充分运用所学知识的作用，对领会知识内涵具有重要意义。

本次课程设计的任务是根据给定的一系列反应釜设计条件，给出一个符合生产条件的设计方案。从确定反应筒体的直径、高度到确定夹套的材料和壁厚；从进行水压试验、强度校核到选择搅拌器、搅拌轴；从容器支座的选择到最终的成图交付都由我们学生独立完成。

在这个过程中我们将充分认识工业实际设计的基本原理及一般过程，熟悉反应釜的设计方法与相关绘图软件的使用方法，提高工程思维以及解决实际工业问题的能力。

过程设备种类繁多，结构型式相似，同时有制作质量和生产成本的要求，故一般采用通用的零部件，而这些零部件大多已建立了国家和行业标准。因此，在本次课程设计的过程中，学生能够初步学会运用过程设备设计的相关标准，为日后从事相关的工作打好基础。

正由于该课程设计有上述作用与意义，它的地位与重要性不言而喻，同时也是学生今后走向社会，步入工作岗位的必经之路。

### 设计内容

#### 3.1确定筒体的直径和高度

由于设备体积为V=3.5m3，对于液-液相类型 范围一般为1～1.3，此处我们选取 =1.2，估算筒体的内径为

=1.549m

将计算结果圆整至公称直径标准系列，选取筒体直径＝1500mm，查附录，DN＝1500mm时的标准椭圆封头总深度曲H=400mm，由，得直边高度=25mm，则曲面高度=400-25=375mm，封头容积=0.4860m³，表面积=2.5568m²。

计算1m高的圆筒的体积：

计算1m高的圆筒的内表面积：

计算筒体高度为：

将筒体高度圆整为H＝1700mm。

验证 ，核查结果符合原定范围1~1.3中。

#### 3.2确定夹套直径和高度

由表1可知，对于筒体内径＝700～1800mm，夹套的内径=+100=1500+100=1600mm，符合压力容器公称直径系列。

**表1 夹套直径与筒体直径的关系**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| /mm | 500～600 | 700～1800 | 2000～3000 |
| /mm | +50 | +100 | +200 |

选取反应釜装料系数=0.8，因此估算夹套的高度为：

选取夹套高度=1500mm，则=H-=200mm介于150～200mm，这样是便于筒体法兰螺栓装拆的。

验算夹套传热面积为F=+=4.711.5+2.5568=9.622m²>7.5m²，夹套传热面积符合设计要求。

#### 3.3确定夹套的材料和壁厚

由于夹套内的介质为水或蒸汽，介质对材料的腐蚀轻微，故选用Q235-A为夹套材料，查手册，知道板厚为4.5～16mm，设计温度为165℃时，Q235-A的许用应力=110MPa，夹套加热蒸汽系统装有安全阀，选取夹套设计压力p=1.1=1.10.6=0.66MPa，夹套筒体与内筒的环焊缝因无法双面焊和作相应的探伤检查，从安全考虑，夹套上所有焊缝均取焊缝系数，单面腐蚀取腐蚀余量=2mm。因为是随着钢板厚度改变的，所以先算出设计厚度再决定。

夹套壁的设计厚度为：

mm

由于夹套也是由钢板卷制而成，故采用热轧厚钢板的允许偏差（参照表2），用于制夹套的钢板宽度为：

而预计钢板厚度又在8.0~15.0mm之间，故钢板厚度负偏差取0.8mm。

# 表2 热扎厚钢板厚度允许偏差（GB 24511-2009 承压设备用不锈钢及钢带）

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 公称厚度 | 公称宽度 | | | | | | |
| ≤1000 | | >1000~1500 | | >1500~2500 | | >2500 |
| 普通精度 | 较高精度 | 普通精度 | 较高精度 | 普通精度 | 较高精度 |
| 厚度负偏差为-0.30 | | | | | | | |
| 5.0~8.0 | 0.38 | 0.35 | 0.40 | 0.36 | 0.50 | 0.45 | 0.80 |
| >8.0~15.0 | 0.45 | 0.42 | 0.48 | 0.44 | 0.60 | 0.55 |
| >15.0~25.0 | 0.50 | 0.45 | 0.53 | 0.48 | 0.65 | 0.60 | 1.00 |
| >25.0~40.0 | 0.65 | 0.60 | 0.70 | 0.65 | 0.85 | 0.80 |
| >40.0~60.0 | 0.90 | 0.85 | 0.95 | 0.90 | 1.10 | 1.05 | 1.50 |
| >60.0~80.0 | 0.90 | 0.85 | 0.95 | 0.90 | 1.40 | 1.35 |
| \*>80~100的厚度允许偏差由供需双方协商。 | | | | | | | |

凸形封头的壁厚附加量也只考虑和，加工成型的减薄量由制造厂根据加工条件来确定，以保证壁厚符合图纸要求，设计计算时可以不作考虑。取=0.6mm， =2mm，标准椭圆形夹套封头的壁厚为：

圆整至钢板规格厚度并查阅封头标准，选取夹套的筒体和封头壁厚均为=12mm。

3.4确定内筒的材料和壁厚

筒体材料也选用Q235-R，筒体受内压取设计压力为=1.1x0.3=0.33MPa，设计温度165℃，参考前面计算夹套壁厚结果，可知按强度计算内筒的壁厚=+c=+2.8=6.56mm，而筒体又受外压作用，按设计外压p=0.66MPa，所得壁厚大于内压设计的壁厚，则按外压稳定设计的壁厚，一定能满足内压设计要求，可以不再作内压设计校核。

考虑到内筒筒体按外压设计，且受双面腐蚀作用，可以初选筒体壁厚=14mm，

并取=0.8mm, =4mm，筒体有效壁厚=-c=14-4.8=9.2mm，==166.09

内筒受外压作用的计算长度Ｌ为被夹套包围的筒体部分加凸形封头高的，=++=1500+25+=1650mm,==1.1

查教材《过程设备机械基础》(华东理工大学出版社，2006)图(8-21)，由=166.09和=1.1，可以查得系数A=0.0008；再查该书图(8-22)，由系数A查得系数B＝115MPa。

筒体的许用外压力为：

因为[p]>p，且比较接近，所以取筒体=14mm，此外外压稳定和内压强度均能满足要求。

选取筒体下封头壁厚=14mm，壁厚附加量中=0.8mm, =4mm，所以筒体下封头的有效壁厚=-c=9.2mm；标准椭圆封头的外压计算当量球面半径=K=0.91500=1350mm，计算系数A为：

查教材《过程设备机械基础》（华东理工大学出版社，2006）图（8-22），由系数A查得系数B=118MPa，许用外压为：

取筒体下封头壁厚=14mm符合外压稳定和内压强度要求。

筒体的上封头只受内压作用，并不受外压作用，为了便于制造取上封头壁厚与筒体下封头壁厚相同。

3.5水压实验及其强度校核

内筒体水压试验压力由=p+0.1=0.43MPa，=12.5p=0.4125MPa，取二者中大值，为方便压力表读数，取=0.45MPa。

夹套水压试验压力由=p+0.1=0.76MPa，=12.5p=0.825MPa，取夹套水压试验=0.85MPa。

内筒水压试验时壁内应力

===43.42MPa

===38.98MPa

夹套水压试验时壁内应力

===123.90MPa

===111.22MPa

由于Q235-A在常温时的屈服强度为=235MPa，计算

0.9=211.5MPa

可见水压试验时内筒、夹套壁内应力都小于0.9，水压试验安全。

当夹套作水压试验时，釜体将受外压作用。因夹套的试验压力为=0.85MPa，而筒体的许用外压为[p]=0.69MPa，故在夹套水压试验时，筒体内需要充压才能保持筒体稳定。

3.6选择釜体法兰

根据筒体内操作压力、温度和筒体直径，查表3,初选乙型平焊法兰和《压力容器法兰类型与技术条件》，法兰材料选Q235-A，再查标准JB4702-2000《乙型平焊法兰》，公称压力为PN6的Q235-A乙型平焊法兰在操作压力165℃时的许用工作压力为0.40MPa，大于筒体设计压力，所选用的乙型平焊法兰合适。

查标准 《非金属软垫片》（JB/T4704-2000）、《缠绕垫片》（JB/T4705-2000）和《金属包垫片》（JB/T4706-2000）以及《压力容器法兰类型与技术条件》（JB/T4700-2000），选择石棉橡胶垫片和平面密封面。

查标准《乙型平焊法兰》（JB/T4702-2000），选用乙型平焊法兰平密封面，公称压力为PN6，公称直径为DN1500。标记为法兰-RF 1500-0.6 JB/4701-2000,法兰尺寸为D=1660mm，=1615mm，=1576mm，=1556mm,=1553mm，=74mm，H=270mm。查标准《非金属软垫片》（JB/T4704-2000），选用垫片1555×1505×3， JB/T4704-2000。

# 表3 各类压力容器法兰使用范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 类型 | | 平焊法兰 | | | | | | | | | | 对焊法兰 | | | | | |
| 甲型 | | | | 乙型 | | | | | | 长颈 | | | | | |
| PN/MPa | | 0.25 | 0.6 | 1.0 | 1.6 | 0.25 | 0.6 | 1.0 | 1.6 | 2.5 | 4.0 | 0.6 | 1.0 | 1.6 | 2.5 | 4.0 | 6.4 |
| 公称直径DN/  mm | 300 |  |  |  |  |  | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |
| (350) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 400 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| (450) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 500 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| (550) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 600 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| (650) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 700 |  |  |  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| 800 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 900 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1000 |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |
| (1100) |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1200 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| (1300) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1400 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| (1500) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1600 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| (1700) |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1800 |  |  |  |  |  |  |  |
| (1900) |  |  |  |  |  |  |  |
| 2000 |  |  |  |  |  |  |
| 2200 |  |  |  |  | | | |
| 2400 |  |  |
| 2600 |  |  |
| 2800 |  |
| 3000 |  |

3.7选择搅拌器，搅拌轴和联轴器

根据工艺条件要求，查阅《搅拌器形式及主要参数》（HG/T2123－1991）与《搅拌轴轴径系列》（HG/T 3796.2-2005），选取平桨式搅拌器各项参数如下：搅拌器外径D=（0.25～0.75）DN，取D=700mm，搅拌器的宽度b=（0.1～0.25）D，取b=70mm，搅拌器离底高度h=（0.2～1）D，取h=350mm，搅拌轴直径d＝50mm，标记为：搅拌器700-50 HG/T2501.4－1991

选择搅拌轴材料为45钢，查表4，得钢的许用扭应力为[]=30～40MPa，计算系数A＝118～107,则搅拌轴的直径为

d=A=（118～107）=（39.8～36.1）mm

# 表4 几种常用轴材料的[]及A值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 轴的材料 | Q235,20 | 35,1Cr18Ni9Ti | 45 | 40Cr,35SiMn,40mNb,38SiMnMo,3Cr13 |
| []/MPa | 12～20 | 20～30 | 30～40 | 40～52 |
| A | 160～135 | 135～118 | 118～107 | 107～98 |

考虑到键槽可能对轴的强度的削弱和物料对轴的腐蚀，可以取搅拌轴的直径d＝50mm。

查阅标准《搅拌传动装置—联轴器》（HG21570－1995）中夹壳式联轴器形式、尺寸、技术要求、选用C型凸缘联轴器。公称直径50mm的联轴器的最大扭矩[≈975N•m。验算联轴器的扭矩，查表5，选取工作情况系数K＝1.7，联轴器的计算扭矩[]为

[]=K=1.79550=624.4N•m<[

# 表5 工作情况系数K

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 原动机 | 工作机 | | | | |
| 扭矩变化很小的机械 | 扭矩变化很小的机械 | 扭矩变化中等的机械 | 扭矩变化和冲击载荷中等的机械 | 扭矩变化和冲击载荷很大的机械 |
| 电动机 | 1.3 | 1.5 | 1.7 | 1.9 | 2.3 |

夹壳联轴器的标记为：联轴器C50-ZG HG21570－1995

3.8选择搅拌传动装置和密封装置

根据设计条件，查阅标准《搅拌传动装置－传动轴、减速器型号及技术参数》（HG21568－1995）及其附录《单级立式摆线针轮减速器》，按照搅拌功率和转速选择摆线针齿行星减速机BLD3-43。查阅标准《Y系列三相异步电动机》（HBT10391－2002），选电机Y100L-2,额定功率：3.0kw，转速2880r/min，根据表3-13查得摆线针齿行星减速机传动效率为0.95，减速机输出功率为3.0×0.95＝2.85kw，符合搅拌要求。

参考标准《单支点机架》HG21566－1995，根据所选减速机设计减速机机架。

根据操作条件选用带衬套及冷却水套铸填料箱，查阅《搅拌传动装置—碳钢填料箱》（HG21537—1992），选用公称轴径DN50的填料箱，标记为：填料箱 PN0.6 DN50 HG/T21537.7—1992

3.9校核L1/B和L1/d

桨式搅拌器安装一层，根据安装要求和考虑带衬套填料箱有支承作用，得，参考《单支点机架》（HG21566-1995），机座J-B-60尺寸，可得，，0均符合要求。

3.10容器支座的选用计算

反应釜因需外另保温，故选用B型悬挂式支座。反应釜的总质量包括物料（或水压试验的水）W1,釜体和夹套的质量W2,电动机、减速机、搅拌装置、法兰、保温层等附件W3。

当釜内、夹套内充满水时的质量比物料重，由此



釜体和夹套的质量可以查手册或自行计算，由此



电动机和减速机总质量约100kg,搅拌装置质量约40kg，筒体法兰120kg，保温层约100 kg,手孔及其它拉管附件质量约50kg，由此



反应釜总质量： W＝W1+W2+W3＝4428+1162+410＝6000kg

即总重力约为60kN。

反应釜安装4个支座，但按3个支座承受计算，查阅标准《耳式支座》（JB/T4725—92），可以选用承载能力为30kN的支座

B3 JB/T4725—1992 材料为Q235－A

3.11选用手孔、视镜、温度计和工艺接管

a:加热蒸汽进口管采用∅32×3.5无缝钢管，配法兰PN0.6，DN25，HG20592—1997 （《钢制管法兰型式、参数（欧洲体系）》）

b:进料管口采用∅32×3.5无缝钢管，配法兰PN0.6，DN25，HG20592—1997（《钢制管法兰型式、参数（欧洲体系）》）

c:根据《水平吊盖板式平焊法兰人孔》（HG21522－1995），选用突面密封面的平盖人孔DN450，PN0.6，H1=285，标记为人孔 II（A· G）450-0.6 HG21522－1995

d:加强套管温度计的选用可以参考生产厂家的产品目录，这里取公称长度1430mm，配凸面带颈平焊管法兰PN0.6，DN40，HG20593—1997（《带颈平焊钢制管法兰》）

e、f:压力表和备用口接管都选用∅32×3.5无缝钢管，配法兰PN0.6，DN25，HG20592—1997（《钢制管法兰型式、参数（欧洲体系）》）

g:压料管接管选用∅57×3.5无缝钢管，配法兰PN0.6，DN50，HG20592—1997（《钢制管法兰型式、参数（欧洲体系）》）

h：由标准《压力容器视镜》（HG/T21619-21620—1986）选用碳素钢带颈视镜（HGJ501-86-4）IPN1，DN80（HG/T21619--21620--1986）

p:冷凝液出口管选用∅45×3.5无缝钢管，配法兰PN0.6，DN40，HG20592—1997（《钢制管法兰型式、参数（欧洲体系）》）

j:物料排放管采用∅32×3.5无缝钢管，配法兰PN0.6，DN25，HG20592—1997（《钢制管法兰型式、参数（欧洲体系）》）。

反应釜上封头上的各个工艺接管都布置在∅850的中心圆周上，因上封头壁厚裕量很大，故对人孔等均不做开孔补强验算。

设计结果见反应釜装配图。

### 四、总结

1、结构设计：

根据计算得筒体直径Di＝1500mm，筒体高度为H=1700mm；夹套的内径Dj=1600mm，夹套高度Hj=1500mm。

2、材料选择：

根据设计温度，压力和轻微的腐蚀性，筒体、封头和夹套均采用Q235－A的材料。此材料在反应器中广泛应用，而且经济耐用，故选用此材料。

3、强度和刚度设计：

经计算得内筒筒体壁厚t=14mm

4、稳定性设计：

经过外压稳定性校核，取筒体下封头壁厚14mm, 符合设计要求，为了制造方便，所以上封头和下封头的厚度也设计为14mm；经过水压试验，夹套在进行水压时筒体内需要充压才能保持筒体稳定。

5、标准件的选择：

标准件的具体要求详见图纸上标准件总结。

6、技术要求的提出：具体见设备装配图。

### 五、参考文献

[1] 潘红良.《过程设备机械基础》.华东理工大学出版社，2006

[2] 潘红良，郝俊文.《过程设备机械设计》.华东理工大学出版社，2006

[3] 茅晓东，李建伟.《典型化工设备机械设计指导》. 华东理工大学出版社，1995

[4] 冯伟.《AutoCAD 2004应用技巧》.清华大学出版社，2005

[5] 董立新，陈程，吴海平，高杰，凌志浩，顾幸生，《带搅拌釜式反应器的先进控制系统》，华东理工大学自动化系，上海 2002

[6]邵惠鹤．《工过程高级控制》．上海交通大学出版社，1997

[7]徐想娥, 王跃飞, 周健东等. 《一种新型搅拌轴支承结构》. 石油化工设备, 2001, 1.

### 六、致谢

这次的课程设计对我们来说是一次十分宝贵的经验；并且能够顺利完成这次设计要感谢身边很多人热心的帮助。

本课程设计是在程军老师的悉心指导和严格要求下完成的。程老师在一学期的过程设备机械基础的课程中谆谆教诲，对于我们非机械类学生掌握必要的过程设备以及机械基础知识非常有帮助，感谢程老师富有特色的课堂讲解。同时我们也注意到，程老师在上课时十分注意引导学生的自主思考能力，经常让同学们回答问题，充分调动了学生学习的主观能动性。

在几天的课程设计中，虽然期末考试都已结束，但小组同学们依旧没有放松和懈怠，从学习课本范例，到选择技术参数，整个过程既有繁琐的过程计算和CAD绘图，又有激烈的讨论，更有互相之间的帮助与沟通，才得以使整个课程设计得以完成。我们以为，这整个过程才是本次课程设计的最大收获吧！

最后，再次感谢程老师的教学和指导，感谢小组成员相互配合、共同学习、一起进步，并感谢班内其他同学给予的帮助！