

# 第一章 化工设备材料及其选择

## 一. 名词解释

### A 组:

1. 蠕变: 在高温时, 在一定的应力下, 应变随时间而增加的现象. 或者金属在高温和应力的作用下逐渐产生塑性变形的现象。
2. 延伸率: 试件受拉力拉断后, 总伸长的长度与原始长度之比的百分率。
3. 弹性模数(E): 材料在弹性范围内, 应力和应变成正比, 即  $\sigma = E \varepsilon$ , 比例系数 E 为弹性模数。
4. 硬度: 金属材料表面上不大的体积内抵抗其他更硬物体压入表面发生变形或破裂的能力。
5. 冲击功与冲击韧性: 冲击功是冲击负荷使试样破断所做的功。冲击韧性是材料在外加载荷突然袭击时的一种及时和迅速塑性变形的能力。
6. 泊桑比 ( $\mu$ ): 拉伸试验中试件单位横向收缩与单位纵向伸长之比。对于钢材,  $\mu = 0.3$ 。
7. 耐腐蚀性: 金属和合金对周围介质侵蚀 (发生化学和电化学作用引起的破坏) 的抵抗能力。
8. 抗氧化性: 金属和合金抵抗被氧化的能力。
9. 屈服点: 金属材料发生屈服现象的应力, 即开始出现塑性变形的应力。它代表材料抵抗产生塑性变形的能力。
10. 抗拉强度: 金属材料在受力过程中, 从开始加载到发生断裂所能达到的最大应力值。

### B 组:

1. 镇静钢: 镇静钢在用冶炼时用强脱氧剂 Si, Al 等完全脱氧脱氧, 是脱氧完全的钢。把 FeO 中的氧还原出来, 生成  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。钢锭膜上上下下, 浇注后钢液从底部向上, 向中心顺序地凝固. 钢锭上部形成集中缩孔, 内部紧密坚实。
2. 沸腾钢: 沸腾钢在冶炼时用弱脱氧剂 Mn 脱氧, 是脱氧不完全的钢。其锭模上小下大, 浇注后钢液在锭模中发生自脱氧反应, 放出大量 CO 气体, 造成沸腾现象。沸腾钢锭中没有缩孔, 凝固收缩后气体分散为很多形状不同的气泡, 布满全锭之中, 因而内部结构疏松。
3. 半镇静钢: 介于镇静钢和沸腾钢之间, 锭模也是上小下大, 钢锭内部结构下半部像沸腾钢, 上半部像镇静钢。
4. 低碳钢: 含碳量低于 0.25% 的碳素钢。
5. 低合金钢: 一般合金元素总含量小于 5% 的合金钢。
6. 碳素钢: 这种钢的合金元素含量低, 而且这些合金元素不是为了改善钢材性能人为加入的。
7. 铸铁: 含碳量大于 2% 的铁碳合金。
8. 铁素体: 碳溶解在  $\alpha\text{-Fe}$  中所形成的固溶体叫铁素体。
9. 奥氏体: 碳溶解在  $\gamma\text{-Fe}$  中所形成的固溶体叫奥氏体。
10. 马氏体: 钢和铁从高温奥氏体状态急冷下来, 得到一种碳原子在  $\alpha$  铁中过饱和的固溶体。

### C.

1. 热处理: 钢铁在固态下通过加热, 保温和不同的冷却方式, 以改变其组织、满足所需要的物理、化学与机械性能, 这样的加工工艺称为热处理。
2. 正火: 将加热到临界点以上的一定温度, 保温一段时间后的工件从炉中取出置于空气中冷却下来, 冷却速度比退火快, 因而晶粒细化。
3. 退火: 把工件加热到临界点以上的一定温度, 保温一段时间, 然后随炉一起冷却下来, 得到接近平衡状态组织的热处理方法。

4. 淬火：将钢加热至淬火温度（临界点以 30~50°C）并保温一定时间，然后再淬火剂中冷却以得到马氏体组织的一种热处理工艺。淬火可以增加工件的硬度、强度和耐磨性。
5. 回火：在零件淬火后再进行一次较低温度的加热与冷却处理工艺。回火可以降低和消除工件淬火后的内应力，使组织趋于稳定，并获得技术上所要求的性能。
6. 调质：淬火加高温回火的操作。要求零件的强度、韧性、塑性等机械性能都较好时，一般采用调质处理。
7. 普通碳素钢：这种钢含硫、磷等有害杂质较多，要求  $S \leq 0.055\%$ ， $P \leq 0.045\%$ 。普通碳素结构钢的牌号由代表钢材屈服点的字母、屈服点数值、材料质量等级符号、脱氧方法符号等四个部分按顺序组成，例如：Q235—A·F。
8. 优质碳素钢：含硫、磷等较少（含硫 S、磷 P 均  $\leq 0.04\%$ ），非金属杂质少，组织均匀，表面质量较好。
9. 不锈钢和耐酸钢：不锈钢是耐大气腐蚀的钢；耐酸钢是能抵抗强烈腐蚀性介质的钢。不锈钢耐酸钢是不锈钢和耐酸钢的总称。
10. 锅炉钢：有锅炉钢管和锅炉钢板。锅炉钢管主要用作锅炉及某些换热设备的受热面和蒸汽管路，锅炉钢板则常用于锅炉和其他压力容器的承压壳体。由于锅炉钢常处于中温高压状态，而且还受冲击、疲劳、水和蒸汽的腐蚀作用，以及各种冷热加工，因此，对其性能要求也较高。

D。

1. 容器钢：化工生产所用容器与设备的操作条件较复杂，制造技术要求比较严格，对压力容器用钢板有比较严格的要求。
2. 耐热钢：能耐高温的钢，抗氧化性能强且强度大。
3. 低温用钢：由于普通碳钢在低温下（-20°C 以下）会变脆，冲击韧性会显著下降。因此用作低温场合的钢要求具有良好的韧性（包括低温韧性），良好的加工工艺性和可焊性的钢。
4. 腐蚀速度：评定金属的腐蚀有两种方法。

- (1) 根据重量评定金属的腐蚀的速度。它是通过实验的方法测出金属试件在单位表面积、单位时间腐蚀引起的重量变化。即：

$$K = \frac{p_0 - p_1}{F \cdot t} \quad (\text{g/m}^2 \cdot \text{h})$$

K：腐蚀速度， $\text{g/cm}^2 \cdot \text{h}$ ；

$p_0$ ：腐蚀前试件的重量，g；

$p_1$ ：腐蚀后试件的重量，g；

F：试件与腐蚀介质接触的面积， $\text{m}^2$ ；

t：腐蚀作用的时间，h；

- (2) 根据金属的腐蚀深度评定金属的腐蚀速度。根据重量变化表示腐蚀速度时，没有考虑金属的相对密度，因此当重量损失相同时，相对密度不同的金属其截面的尺寸的减少则不同。为了表示腐蚀前后尺寸的变化，常用金属厚度减少量，即腐蚀深度来表示腐蚀速度。即：

$$K_a = \frac{24 \times 365 K}{1000 \rho} = 8.76 \frac{K}{\rho} \quad (\text{mm/a})$$

式中： $K_a$ ：用每年金属厚度的减少量表示的腐蚀速度， $\text{mm/a}$ ；

$\rho$ ：金属的相对密度， $\text{g/cm}^3$ 。

5. 化学腐蚀：金属遇到干燥的气体和非电解质溶液发生化学作用引起的腐蚀。化学腐蚀在金属表面上，腐蚀过程没有电流产生。
6. 电化学腐蚀：金属与电解质溶液间产生电化学作用而引起的破坏，其特点是在腐蚀过程中有电流

产生。

7. 氢腐蚀: 氢气在高温高压下对普通碳钢及低合金钢产生腐蚀, 使材料的机械强度和塑性显著下降, 甚至破坏的现象。

8. 晶间腐蚀: 一种局部的, 选择性的破坏。

9. 应力腐蚀: 金属在腐蚀性介质和拉应力的共同作用下产生的一种破坏形式。

10. 阴极保护: 把盛有电解质的金属设备和直流电源负极相连, 电源正极和一辅助阳极相连. 当电路接通后, 电源便给金属设备以阴极电流, 使金属的电极电位向负向移动, 当电位降至阳极起始电位时, 金属设备的腐蚀即停止。

二。指出下列钢材的种类、含碳量及合金元素含量

A 组

钢号	种类	含碳量%	合金元素含量 (%)	符号意义
<b>Q235-A·F</b>	普通碳素甲类钢	—	—	F: 沸腾钢 Q: 钢材屈服点
<b>Q235—A</b>	普通碳素甲类钢	—	—	A: 甲类钢
<b>20g</b>	优质碳素结构钢	0.2%	—	g: 锅炉钢
<b>16Mn R</b>	普通低合金钢	0.16%	<1.5%	R: 容器钢
<b>20MnMo</b>	普通低合金钢	0.2%	MnMo<1.5%	—
<b>16MnDR</b>	普通低合金钢	0.16%	Mn: <1.5%	D: 低温钢
<b>14Cr1Mo</b>	普通低合金钢	0.14%	Cr: 0.9~1.3%; Mo: <1.5%	—
<b>0Cr13</b>	铬不锈钢	<0.08%	Cr: 13%	—
<b>1Cr18Ni9Ti</b>	奥氏体不锈钢	0.1%	Cr: 18%; Ni: 9%; Ti: <1.5%	—
<b>00Cr19Ni10</b>	奥氏体不锈钢	<0.03%	Cr: 19%; Ni: 10%	—

B 组:

钢号	种类	含碳量%	合金元素含量 (%)	符号意义
<b>Q235—B</b>	普通碳素乙类钢	—	—	F: 沸腾钢 Q: 钢材屈服点
<b>Q235—AR</b>	普通碳素甲类容器钢	—	—	R: 容器钢
<b>16Mng</b>	普通低合金钢	0.16%	Mn: <1.5%	g: 锅炉钢
<b>18Nb</b>	普通低合金钢	0.18%	Nb: <1.5%	b: 半镇静钢
<b>18MnMoNbR</b>	普通低合金钢	0.18%	Mn. Mo. Nb: <1.5%	—
<b>09MnNiDR</b>	普通低合金钢	0.09%	Mn. Ni: <1.5%	R: 容器钢
<b>06MnNb</b>	普通低合金钢	0.06%	Mn. Nb: <1.5%	—
<b>2Cr13</b>	铬不锈钢	0.2%	Cr13%	—
<b>12Cr2Mo1</b>	普通低合金钢	0.12%	Cr: 1.5~2.49%; Mo: 0.9~1.3%	—
<b>0Cr18Ni12Mo2Ti</b>	奥氏体不锈钢	<0.08%	Cr: 18%; Ni: 12%; Mo: 1.5~2.49%; Ti: <1.5%	—

三、选择材料

设备	介质	设计温度/℃	设计压力/MPa	供选材料	应选材料
氨合成塔外筒	氮、氢、少量氨	≤200	15	<b>0Cr18Ni9Ti</b> , 20, <b>Q235—A·F</b> , 18MnMoNbR, <b>15MnVR</b> , <b>13MnNiMoNbR</b>	18MnMoNbR 或 <b>13MnNiMoNbR</b>
氯化氢吸收塔	氯化氢气体, 盐酸, 水	80~120	0.2	<b>Q235-A·R</b> , <b>1Cr18Ni9Ti</b> , 铜, 铝, 硬聚氯乙烯塑料, 酚醛树脂漆浸渍的不透性石墨	<b>Q235-A·R+铜衬里</b>
溶解乙炔气瓶蒸压釜	水蒸汽	≤200	15	<b>Q235—A</b> , <b>0Cr19Ni10</b> , 20, <b>16MnR</b> , 18MnMoNbR, <b>07MnCrMoVR</b>	18MnMoNbR
高温高压废热锅炉的高温气侧壳体衬	转化气(H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> , Ar)	890~1000	3.14	18MnMoNbR, <b>0Cr13</b> , <b>Q235-A·R</b> , <b>Cr25Ni20</b> , <b>0Cr18Ni9Ti</b> , <b>Cr22Ni14N</b>	<b>Cr25Ni20</b>

## 《化工设备机械基础》习题解答

### 第二篇：化工容器设计

#### 第二章 容器设计的基本知识

一、指出下列压力容器温度与压力分级范围

温度分级	温度范围 (°C)	压力分级	压力范围(Mpa)
常温容器	-20°C ~ 200°C	低压容器	0.1 ≤ P < 1.6
中温容器	壁温在常温和高温之间	中压容器	1.6 ≤ P < 10
高温容器	壁温达到材料蠕变温度	高压容器	10 ≤ P < 100
低温容器	壁温低于 -20°C	超高压容器	P ≥ 100
浅冷容器	壁温在 -20°C 至 -40°C 之间	真空容器	器外一个大气压, 内部为真空或低于常压

深冷容器	壁温低于 $-40^{\circ}\text{C}$	—	—
------	----------------------------	---	---

二、指出下列容器属于一、二、三类容器的哪一类

A 组:

序号	容器（设备）及条件	类别
1	$\Phi 1500$ , 设计压力为 10Mpa 的管壳式余热锅炉	三
2	设计压力为 0.6MPa, 容积为 $1\text{m}^3$ 的氯化氢气体贮罐	三
3	$\Phi 2000$ , 容积为 $20\text{m}^3$ 的液氨贮罐	三
4	压力为 10Mpa, 容积为 800 立升的乙烯贮罐	三
5	设计压力为 2.5Mpa 的搪玻璃容器	三

B 组:

序号	容器（设备）及条件	类别
1	压力为 4Mpa 的毒性程度为极度危害介质的容器	三
2	$\Phi 800$ , 设计压力为 0.6Mpa, 介质为非易燃和无毒的管壳式余热锅炉	二
3	用抗拉强度规定值下限为 $\sigma_s=620\text{Mpa}$ 材料制造的容器	三
4	工作压力为 23.5Mpa 的尿素合成塔	三
5	汽车罐车和铁路罐车	三

三、填空题

- 1、钢板卷制的筒体和成型封头的公称直径是指它们的(内)径。
- 2、无缝钢管做筒体时,其公称直径是指它们的(外)径。
- 3、查手册找出下列无封钢管的公称直径 DN 是多少毫米?

规格	$\Phi 14 \times 3$	$\Phi 25 \times 3$	$\Phi 45 \times 3.5$	$\Phi 57 \times 3.5$	$\Phi 108 \times 4$
DN (mm)	10	20	40	50	100

4、压力容器法兰标准中公称压力 PN 有哪些等级?

PN (Mpa)	0.25	0.60	1.0	1.6	2.5	4.0	6.4	
----------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	--

5、管法兰标准中公称压力 PN 有哪些等级?

PN (Mpa)	0.1	0.25	0.40	0.60	1.0	1.6	2.5	4.0
----------	-----	------	------	------	-----	-----	-----	-----

## 《化工设备机械基础》习题解答

### 第三章 内压薄壁容器的应力分析

一、名词解释

A 组:

- 1.薄壁容器: 容器的壁厚与其最大截面圆的内径之比小于 0.1 的容器。

- 2.回转壳体:壳体的中间面是直线或平面曲线绕其同平面内的固定轴线旋转  $360^\circ$  而成的壳体.
- 3.经线:若通过回转轴作一纵截面与壳体曲面相交所得的交线.
- 4.薄膜理论:薄膜应力是只有拉压正应力没有弯曲正应力的一种两向应力状态,也称为无力矩理论.
- 5.第一曲率半径:中间面上任一点 M 处经线的曲率半径.
- 6.小位移假设:壳体受力以后,各点位移都远小于壁厚.
- 7.区域平衡方程式:计算回转壳体在任意纬线上径向应力的公式.
- 8.边缘应力:内压圆筒壁上的弯曲应力及连接边缘区的变形与应力.
- 9.边缘应力的自限性:当边缘处的局部材料发生屈服进入塑性变形阶段时,弹性约束开始缓解,原来不同的薄膜变形便趋于协调,边缘应力就自动限制.

## 二、判断题(对者画√,错着画×)

### A组:

- 下列直立薄壁容器,受均匀气体内压力作用,哪些能用薄膜理论求解壁内应力?哪些不能?
  - 横截面为正六角形的柱壳。(×)
  - 横截面为圆的轴对称柱壳。(√)
  - 横截面为椭圆的柱壳。(×)
  - 横截面为圆的椭球壳。(√)
  - 横截面为半圆的柱壳。(×)
  - 横截面为圆的锥形壳。(√)
- 在承受内压的圆筒形容器上开椭圆孔,应使椭圆的长轴与筒体轴线平行。(×)
- 薄壁回转壳体中任一点,只要该点的两个曲率半径,则该点的两向应力。(√)
- 因为内压薄壁圆筒的两向应力与壁厚成反比,当材质与介质压力一定时,则壁厚大的容器,壁内的应力总是小于壁厚小的容器。(×)
- 按无力矩理论求得的应力称为薄膜应力,薄膜应力是沿壁厚均匀分布的。(√)

### B组:

- 卧式圆筒形容器,其内介质压力,只充满液体,因为圆筒内液体静载荷不是沿轴线对称分布的,所以不能用薄膜理论应力公式求解。(√)
- 由于圆锥形容器锥顶部分应力最小,所以开空宜在锥顶部分。(√)
- 凡薄壁壳体,只要其几何形状和所受载荷对称于旋转轴,则壳体上任何一点用薄膜理论应力公式求解的应力都是真实的。(×)
- 椭球壳的长,短轴之比  $a/b$  越小,其形状越接近球壳,其应力分布也就越趋于均匀。(√)
- 因为从受力分析角度来说,半球形封头最好,所以不论在任何情况下,都必须首先考虑采用半球形封头。(×)

## 三、指出和计算下列回转壳体上诸点的第一和第二曲率半径

### A组:

1、球壳上任一点

2、圆锥壳上之 M 点

3、碟形壳上之连接点 A 与 B

A 点： 在球壳上：

在弧面上：

B 点： 在弧面上：

在圆柱壳上：

B 组：

1。圆柱壳上任一点

2。圆锥壳与柱壳的连接点 A 及锥顶点 B

四、计算下列各种承受气体均匀内压作用的薄壁回转壳体上诸点的薄膜应力。

A 组:

1. 球壳上任一点, 已知:  $p=2\text{Mpa}$ ,  $D=1008\text{mm}$ ,  $S=8\text{mm}$ .

2. 圆锥壳上之 A 点和 B 点, 已知:  $p=0.5\text{Mpa}$ ,  $D=1010\text{mm}$ ,  $S=10\text{mm}$ ,  $\alpha=30^\circ$ 。

3. 椭球壳上之 A, B, C 点, 已知:  $p=1\text{Mpa}$ ,  $a=1010\text{mm}$ ,  $b=505\text{mm}$ ,  $S=20\text{mm}$ 。B 点处坐标  $x=600\text{mm}$ 。

标准椭圆形封头



### 五、工程应用题

1. 某厂生产的锅炉汽包，其工作压力为 2.5Mpa，汽包圆筒的平均直径为 816 mm，壁厚为 16 mm，试求汽包圆筒壁被的薄膜应力。

【解】  $P=2.5\text{Mpa}$      $D=816\text{mm}$      $S=16\text{mm}$

属薄壁容器

2. 有一平均直径为 10020 mm 的球形容器，其工作压力为 0.6Mpa，厚度为 20 mm，试求该球形容器壁内的工作压力是多少。

【解】  $P=0.6\text{Mpa}$      $D=10020\text{mm}$      $S=20\text{mm}$

属薄壁容器

3. 有一承受气体内压的圆筒形容器，两端封头均为椭圆形封头，已知：圆筒平均直径为 2030 mm，筒体与封头厚度均为 30 mm，工作压力为 3Mpa，试求；

(1)圆筒壁内的最大工作压力；

(2)若封头椭圆长，短半轴之比分别为 1.5，2，2.5 时，计算封头上薄膜应力的最大值并确定其所在的位置。

【解】 (1) 圆筒  $P=3\text{Mpa}$      $D=2030\text{mm}$      $S=30\text{mm}$

## 属薄壁容器

最大工作应力:

(2) 椭球:

① 在  $x=0, y=b$ , (顶点处) 有最大值

② , 在  $x=0, y=b$  处 (顶点处)

在  $x=a, y=0$  点 (边缘处)

③ , 在  $x=0, y=b$  处 (顶点处)

在  $x=a, y=0$  点 (边缘处)

## 《化工设备机械基础》习题解答

### 第三章 内压薄壁容器的应力分析

#### 六、名词解释

A 组:

1. 薄壁容器: 容器的壁厚与其最大截面圆的内径之比小于 0.1 的容器。
2. 回转壳体: 壳体的中间面是直线或平面曲线绕其同平面内的固定轴线旋转  $360^\circ$  而成的壳体。

3.经线:若通过回转轴作一纵截面与壳体曲面相交所得的交线。

4.薄膜理论: 薄膜应力是只有拉压正应力没有弯曲正应力的一种两向应力状态, 也称为无力矩理论。

5.第一曲率半径: 中间面上任一点 M 处经线的曲率半径。

6.小位移假设: 壳体受力以后, 各点位移都远小于壁厚。

7.区域平衡方程式: 计算回转壳体在任意纬线上径向应力的公式。

8.边缘应力: 内压圆筒壁上的弯曲应力及连接边缘区的变形与应力。

9.边缘应力的自限性: 当边缘处的局部材料发生屈服进入塑性变形阶段时, 弹性约束开始缓解, 原来不同的薄膜变形便趋于协调, 边缘应力就自动限制。

七、判断题 (对者画√, 错着画×)

A 组:

1. 下列直立薄壁容器, 受均匀气体内压力作用, 哪些能用薄膜理论求解壁内应力? 哪些不能?

(1) 横截面为正六角形的柱壳。(×)

(2) 横截面为圆的轴对称柱壳。(√)

(3) 横截面为椭圆的柱壳。(×)

(4) 横截面为圆的椭球壳。(√)

(5) 横截面为半圆的柱壳。(×)

(6) 横截面为圆的锥形壳。(√)

2. 在承受内压的圆筒形容器上开椭圆孔, 应使椭圆的长轴与筒体轴线平行。(×)

3. 薄壁回转壳体中任一点, 只要该点的两个曲率半径, 则该点的两向应力。(√)

4. 因为内压薄壁圆筒的两向应力与壁厚成反比, 当材质与介质压力一定时, 则壁厚大的容器, 壁内的应力总是小于壁厚小的容器。(×)

5. 按无力矩理论求得的应力称为薄膜应力, 薄膜应力是沿壁厚均匀分布的。(√)

B 组:

1. 卧式圆筒形容器, 其内介质压力, 只充满液体, 因为圆筒内液体静载荷不是沿轴线对称分布的, 所以不能用薄膜理论应力公式求解。(√)

2. 由于圆锥形容器锥顶部分应力最小, 所以开空宜在锥顶部分。(√)

3. 凡薄壁壳体, 只要其几何形状和所受载荷对称于旋转轴, 则壳体上任何一点用薄膜理论应力公式求解的应力都是真实的。(×)

4. 椭球壳的长, 短轴之比  $a/b$  越小, 其形状越接近球壳, 其应力分布也就越趋于均匀。(√)

5. 因为从受力分析角度来说, 半球形封头最好, 所以不论在任何情况下, 都必须首先考虑采用半球形封头。(×)

八、指出和计算下列回转壳体上诸点的第一和第二曲率半径

A 组:

2、球壳上任一点

2、圆锥壳上之 M 点

3、碟形壳上之连接点 A 与 B

A 点： 在球壳上：

在弧面上：

B 点： 在弧面上：

在圆柱壳上：

B 组：

1。圆柱壳上任一点

2。圆锥壳与柱壳的连接点 A 及锥顶点 B

九、计算下列各种承受气体均匀内压作用的薄壁回转壳体上诸点的薄膜应力。

A 组：

1. 球壳上任一点, 已知:  $p=2\text{Mpa}$ ,  $D=1008\text{mm}$ ,  $S=8\text{mm}$ 。

2. 圆锥壳上之 A 点和 B 点, 已知:  $p=0.5\text{Mpa}$ ,  $D=1010\text{mm}$ ,  $S=10\text{mm}$ ,  $\alpha=30^\circ$ 。

3. 椭球壳上之 A, B, C 点, 已知:  $p=1\text{Mpa}$ ,  $a=1010\text{mm}$ ,  $b=505\text{mm}$ ,  $S=20\text{mm}$ 。B 点处坐标  $x=600\text{mm}$ 。

标准椭圆形封头

#### 十、工程应用题

1. 某厂生产的锅炉汽包，其工作压力为 2.5Mpa，汽包圆筒的平均直径为 816 mm，壁厚为 16 mm，

试求汽包圆筒壁被的薄膜应力 .

【解】  $P=2.5\text{Mpa}$      $D=816\text{mm}$      $S=16\text{mm}$

属薄壁容器

2. 有一平均直径为 10020 mm 的球形容器，其工作压力为 0.6Mpa，厚度为 20 mm，试求该球形容器壁内的工作压力是多少.

【解】  $P=0.6\text{Mpa}$      $D=10020\text{mm}$      $S=20\text{mm}$

属薄壁容器

3. 有一承受气体内压的圆筒形容器，两端封头均为椭圆形封头，已知：圆筒平均直径为 2030 mm，筒体与封头厚度均为 30 mm，工作压力为 3Mpa，试求；

(1)圆筒壁内的最大工作压力；

(2)若封头椭圆长，短半轴之比分别为    , 2, 2.5 时, 计算封头上薄膜应力的    的最大值并确定其所在的位置。

【解】 (1) 圆筒  $P=3\text{Mpa}$      $D=2030\text{mm}$      $S=30\text{mm}$

属薄壁容器

最大工作应力:

(2) 椭球:

①                      在  $x=0$ ,  $y=b$ , (顶点处) 有最大值

② , 在  $x=0, y=b$  处 (顶点处)

在  $x=a, y=0$  点 (边缘处)

③ , 在  $x=0, y=b$  处 (顶点处)

在  $x=a, y=0$  点 (边缘处)

## 《化工设备机械基础》习题解答

### 第四章 内压薄壁圆筒与封头的强度设计

#### 二、填空题

A 组:

1. 有一容器,其最高气体工作压力为  $1.6\text{MPa}$ ,无液体静压作用,工作温度 $\leq 150^\circ\text{C}$ 且装有安全阀,试确定该容器的设计压力  $p=(1.76)\text{MPa}$ ; 计算压力  $p_c=(1.76)\text{MPa}$ ;水压试验压力  $p_T=(2.2)\text{MPa}$ 。
2. 有一带夹套的反应釜,釜内为真空,夹套内的工作压力为  $0.5\text{MPa}$ , 工作温度 $<200^\circ\text{C}$ , 试确定:  
(1) 釜体的计算压力 (外压) $p_c=(-0.6)\text{MPa}$ ;釜体水压试验压力  $p_T=(0.75)\text{MPa}$ .  
(2)夹套的计算压力 (内压)  $p_c=(0.5)\text{MPa}$ ; 夹套的水压试验压力  $p_T=(0.625)\text{MPa}$ 。
3. 有一立式容器,下部装有  $10\text{m}$  深,密度为  $\rho=1200\text{kg/m}^3$  的液体介质, 上部气体压力最高达  $0.5\text{MPa}$ , 工作温度 $\leq 100^\circ\text{C}$ , 试确定该容器的设计压力  $p=(0.5)\text{MPa}$ ;计算压力  $p_c=(0.617)\text{MPa}$ ; 水压试验压力  $p_T=(0.625)\text{MPa}$ 。
4. 标准碟形封头之球面部分内径  $R_i=(0.9)D_i$ ;过渡圆弧部分之半径  $r=(0.17)D_i$ 。
5. 承受均匀压力的圆平板,若周边固定,则最大应力是(径向)弯曲应力,且最大应力在圆平

板的(边缘 )处;若周边简支,最大应力是( 径向 )和( 切向 )弯曲应力,且最大应力在圆平板的( 中心 )处。

6. 凹面受压的椭圆形封头,其有效厚度  $S_e$  不论理论计算值怎样小,当  $K \leq 1$  时,其值应小于封头内直径的(0.15 )%;  $K > 1$  时,  $S_e$  应不小于封头内直径的( 0.3 )%。
7. 对于碳钢和低合金钢制的容器,考虑其刚性需要,其最小壁厚  $S_{\min} = ( 3 ) \text{ mm}$ ;对于高合金钢制容器,其最小壁厚  $S_{\min} = ( 2 ) \text{ mm}$ 。
8. 对碳钢,16MnR,15MnNbR 和正火的 15MnVR 钢板制容器,液压试验时,液体温度不得低于( 5 ) °C,其他低合金钢制容器(不包括低温容器),液压试验时,液体温度不得低于( 15 ) °C。

### 三、判断是非题(是者画√;非者画×)

1. 厚度为 60mm 和 6mm 的 16MnR 热轧钢板,其屈服点是不同的,且 60mm 厚钢板的  $\sigma_s$  大于 6mm 厚钢板的  $\sigma_s$ 。( × )
2. 依据弹性失效理论,容器上一处的最大应力达到材料在设计温度下的屈服点  $\sigma_s(t)$  时,即宣告该容器已经"失效"。( √ )
3. 安全系数是一个不断发展变化的数据,按照科学技术发展的总趋势,安全系数将逐渐变小。( √ )
4. 当焊接接头结构形式一定时,焊接接头系数随着监测比率的增加而减小。( × )
5. 由于材料的强度指标  $\sigma_b$  和  $\sigma_s$  ( $\sigma_0.2$ ) 是通过试件作单向拉伸试验而测得,对于二向或三向应力状态,在建立强度条件时,必须借助于强度理论将其转换成相当于单向拉伸应力状态的相当应力。( √ )

### 四、工程应用题

#### A 组:

- 1、有一 DN2000mm 的内压薄壁圆筒,壁厚  $S_n = 22 \text{ mm}$ ,承受的最大气体工作压力  $p_w = 2 \text{ MPa}$ ,容器上装有安全阀,焊接接头系数  $\phi = 0.85$ ,厚度附加量为  $C = 2 \text{ mm}$ ,试求筒体的最大工作应力。

【解】(1) 确定参数:  $p_w = 2 \text{ MPa}$ ;  $p_c = 1$ ;  $1p_w = 2.2 \text{ MPa}$  (装有安全阀);

$D_i = \text{DN} = 2000 \text{ mm}$  (钢板卷制);  $S_n = 22 \text{ mm}$ ;  $S_e = S_n - C = 20 \text{ mm}$

$\phi = 0.85$  (题中给定);  $C = 2 \text{ mm}$  (题中给定)。

(2) 最大工作应力:

- 2、某球形内压薄壁容器,内径为  $D_i = 10 \text{ m}$ ,厚度为  $S_n = 22 \text{ mm}$ ,若令焊接接头系数  $\phi = 1.0$ ,厚度附加量为  $C = 2 \text{ mm}$ ,试计算该球形容器的最大允许工作压力。已知钢材的许用应力  $[\sigma]^t = 147 \text{ MPa}$ 。

【解】(1) 确定参数:  $D_i = 10 \text{ m}$ ;  $S_n = 22 \text{ mm}$ ;  $\phi = 1.0$ ;  $C = 2 \text{ mm}$ ;  $[\sigma]^t = 147 \text{ MPa}$ 。

$S_e = S_n - C = 20 \text{ mm}$ 。

(2) 最大工作压力: 球形容器。

- 3、某化工厂反应釜,内径为 1600mm,工作温度为  $5^\circ\text{C} \sim 105^\circ\text{C}$ ,工作压力为 1.6MPa,釜体材料选用 0Cr18Ni9Ti。采用双面焊对接接头,局部无损探伤,凸形封头上装有安全阀,试设计釜体厚度。

【解】

(1) 确定参数:  $D_i = 1600 \text{ mm}$ ;  $t_w = 5 \sim 105^\circ\text{C}$ ;



$p_w=1.6\text{MPa}$ ;  $p_c=1.1 p_w=1.76\text{MPa}$  (装有安全阀)

$\phi=0.85$ (双面焊对接接头, 局部探伤)

$C_2=0$ (对不锈钢, 当介质腐蚀性轻微时)

材质: 0Cr18Ni9Ti  $[\sigma]^t=112.9\text{MPa}$  (按教材附录 9 表 16—2, 内插法取值)

$$[\sigma]=137\text{MPa}$$

(2) 计算厚度:

$C_1=0.8\text{mm}$  (按教材表 4-9 取值, GB4237—92《不锈钢热轧钢板》),  $C=C_1+C_2=0.8\text{mm}$ 。

名义壁厚:  $S_n=S+C$  圆整,  $S+C=14.8+0.8=15.6\text{mm}$ 。

圆整后,  $S_n=16\text{mm}$ 。

(3) 水压试验校核

有效壁厚  $S_e=S_n-C=16-0.8=15.2\text{mm}$

试验压力

计算应力

应力校核

$\therefore$  水压试验强度足够

- 4、有一圆筒形乙烯罐, 内径  $D_i=1600\text{mm}$ , 壁厚  $S_n=16\text{mm}$ , 计算压力为  $p_c=2.5\text{MPa}$ , 工作温度为  $-3.5^\circ\text{C}$ , 材质为 16MnR, 采用双面焊对接接头, 局部无损探伤, 厚度附加量  $C=3\text{mm}$ , 试校核贮罐强度。

【解】(1) 确定参数:  $D_i=1600\text{mm}$ ;  $S_n=16\text{mm}$ ;  $t_w=-3.5^\circ\text{C}$ ;  $p_c=2.5\text{MPa}$ 。

$\phi=0.85$  (双面焊对接接头, 局部探伤)

16MnR: 常温下的许用应力  $[\sigma]=170\text{MPa}$

设计温度下的许用应力  $[\sigma]^t=170\text{MPa}$

常温下的屈服点  $\sigma_s=345\text{MPa}$

有效壁厚:  $S_e=S_n-C=16-3=13\text{mm}$

(2) 强度校核

最大允许工作压力  $[P_w]$

$\because P_c > [P_w] \therefore$  该贮罐强度不足

9、设计容器筒体和封头厚度。已知内径  $D_i=1400\text{mm}$ , 计算压力  $p_c=1.8\text{MPa}$ , 设计温度为  $40^\circ\text{C}$ , 材质为 15MnVR, 介质无大腐蚀性。双面焊对接接头, 100%探伤。封头按半球形、标准椭圆形和标准碟形三种形式算出其所需厚度, 最后根据各有关因素进行分析, 确定一最佳方案。

【解】(1) 确定参数:  $D_i=1400\text{mm}$ ;  $p_c=1.8\text{MPa}$ ;  $t=40^\circ\text{C}$ ;

$\phi=1.0$  (双面焊对接接头, 100%探伤);  $C_2=1\text{mm}$ 。(介质无大腐蚀性)

15MnVR: 假设钢板厚度:  $6\sim 16\text{mm}$ , 则:

$[\sigma]^t=177\text{MPa}$ ,  $[\sigma]=177\text{MPa}$ ,  $\sigma_s=390\text{MPa}$

(2) 筒体壁厚设计:

$C_1=0.25\text{mm}$  (按教材表 4-9 取值, GB6654-94《压力容器用钢板》)

$C=C_1+C_2=1.25\text{mm}$ .

名义壁厚:  $S_n=S+C+\text{圆整}$ ,  $S+C=7.16+1.25=8.41\text{mm}$ .

圆整后,  $S_n=9\text{mm}$ .

(3) 筒体水压试验校核

有效壁厚  $S_e=S_n-C=9-1.25=7.75\text{mm}$

试验压力

计算应力

应力校核

$\therefore$  筒体水压试验强度足够

(4) 封头厚度设计

半球形封头:

$C_1=0.25\text{mm}$ (按教材表 4—9 取值, GB6654-94《压力容器用钢板》)

$C=C_1+C_2=1.25\text{mm}$ .

名义壁厚:  $S_n=S+C+\text{圆整}$ ,  $S+C=3.57+1.25=4.82\text{mm}$ 。

圆整后,  $S_n=5\text{mm}$ 。

标准椭圆封头:

名义壁厚:  $S_n = S + C + \text{圆整}$ ,  $S + C = 7.1 + 1.25 = 8.35\text{mm}$ 。

圆整后,  $S_n = 9\text{mm}$ 。

标准碟形封头:

名义壁厚:  $S_n = S + C + \text{圆整}$ ,  $S + C = 9.4 + 1.25 = 10.65\text{mm}$ 。

圆整后,  $S_n = 11\text{mm}$ 。

从计算结果看, 最佳方案是选用标准椭圆封头。

## 《化工设备机械基础》习题解答

### 第五章 外压圆筒与封头的设计

二、判断是非题 (对者画√, 错者画X)

1. 假定外压长圆筒和短圆筒的材质绝对理想, 制造的精度绝对保证, 则在任何大的外压下也不会发生弹性失稳。 (X)
2. 18MnMoNbR 钢板的屈服点比 Q235—AR 钢板的屈服点高 108%, 因此, 用 18MnMoNbR 钢板制造的外压容器, 要比用 Q235—AR 钢板制造的同一设计条件下的外压容器节省许多钢材。 (X)
3. 设计某一钢制外压短圆筒时, 发现采用 20g 钢板算得的临界压力比设计要求低 10%, 后改用屈服点比 20g 高 35% 的 16MnR 钢板, 即可满足设计要求。 (X)
4. 几何形状和尺寸完全相同的三个不同材料制造的外压圆筒, 其临界失稳压力大小依次为:  $P_{cr \text{ 不锈钢}} > P_{cr \text{ 铝}} > P_{cr \text{ 铜}}$ 。 (X)
5. 外压容器采用的加强圈愈多, 壳壁所需厚度就愈薄, 则容器的总重量就愈轻。 (X)

三、填空题

- a) 受外压的长圆筒, 侧向失稳时波形数  $n = (2)$ ; 短圆筒侧向失稳时波形数为  $n > (2)$  的整数。
- b) 直径与壁厚分别为  $D, S$  的薄壁圆筒壳, 承受均匀侧向外压  $p$  作用时, 其环向应力  $\sigma_{\theta} = (PD/2S)$ , 经向应力  $\sigma_{\parallel} = (PD/4S)$ , 它们均是 (压) 应力, 且与圆筒的长度  $L$  (无) 关。
- c) 外压容器的焊接接头系数均取为  $\Phi = (1)$ ; 设计外压圆筒现行的稳定安全系数为  $m = (3)$ 。
- d) 外压圆筒的加强圈, 其作用是将 (长) 圆筒转化成为 (短) 圆筒, 以提高临界失稳压力, 减薄筒体壁厚。加强圈的惯性矩应计及 (加强圈) 和 (加强圈和圆筒有效段组合截面)。
- e) 外压圆筒上设置加强圈后, 对靠近加强圈的两侧部分长度的筒体也起到加强作用, 该部分长度的范围为 (加强圈中心线两侧各为  $0.55$  的壳体)。

四、工程应用题

A 组:

- 1、图 5-21 中 A, B, C 点表示三个受外压的钢制圆筒, 材质为碳素钢,  $\sigma_s = 216\text{MPa}$ ,  $E = 206\text{GPa}$ 。试回答:

(1) A, B, C 三个圆筒各属于哪一类圆筒? 它们失稳时的波形数  $n$  等于 (或大于) 几?

- (2) 如果将圆筒改为铝合金制造 ( $\sigma_s=108\text{MPa}$ ,  $E=68.7\text{GPa}$ ), 它的许用外压力有何变化? 变化的幅度大概是多少? (用比值  $[P]_{\text{铝}}/[P]_{\text{铜}}=?$  表示)

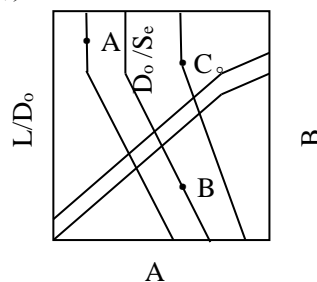


图 5-21

【解】

- (1) A—长圆筒,  $L/D_0$  值较大, 临界压力  $P_{cr}$  仅与  $S_e/D_0$  有关, 而与  $L/D_0$  无关, 失稳时的波形数  $n=2$ 。  
 B—短圆筒, 临界压力  $P_{cr}$  不仅与  $S_e/D_0$  有关, 而且与  $L/D_0$  有关, 失稳时的波形数为  $n>2$  的整数。  
 C—临界圆筒 (长、短圆筒拐点处), 长度等于临界长度, 发生失稳时的波形数为  $n\geq 2$ 。  
 (2) 在圆筒几何尺寸一定情况下,  $[P]$  只与  $E$  有关. 所以, 改用铝合金后:

$$[P]_{\text{铝}}/[P]_{\text{铜}}=P_{cr\text{铝}}/P_{cr\text{铜}}=E_{\text{铝}}/E_{\text{铜}}=68.7/206=0.333 \quad \text{许用外压力下降了 } 66.7\%$$

- 2、有一台聚乙烯聚合釜, 其外径为  $D_0=1580\text{mm}$ , 高  $L=7060\text{mm}$  (切线间长度), 有效厚度  $S_e=11\text{mm}$ , 材质为  $0\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ , 试确定釜体的最大允许外压力。(设计温度为  $200^\circ\text{C}$ )

【解】查表得  $E^t=1.84\times 10^5\text{MPa}$

$\therefore$  该聚合釜属于短圆筒

其临界压力

$$\text{取 } m=3, [P]=P_{cr}/m=0.42/3=0.14\text{MPa}$$

$\therefore$  聚合釜的最大允许外压力为  $0.14\text{MPa}$

- 4、试设计一台氨合成塔内筒的厚度, 已知内筒外径为  $D_0=410\text{mm}$ , 筒长  $L=4000\text{mm}$ , 材质为  $0\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ , 内筒壁温最高可达  $450^\circ\text{C}$ , 合成塔内系统的总压力降为  $0.5\text{MPa}$ .

【解】已知  $D_0=410\text{mm}$ ,  $L=4000\text{mm}$ ,  $E^t=1.64\times 10^5\text{MPa}$ , 计算外压  $P_c=0.5\text{MPa}$

- (1) 假设塔内筒名义厚度  $S_n=8\text{mm}$ , 取壁厚附加量  $C=2\text{mm}$

$$S_e=S_n-C=8-2=6\text{mm} \quad L/D_0=9.76 \quad D_0/S_e=68.3$$

- (2) 求 A 值 查图 5-5 得  $A=0.0026$

- (3) 求 B 值 查图 5-12 得  $B=88\text{MPa}$

$P_c = 0.5 \text{ MPa}$ ,  $P_c \ll [P]$ , 说明假设的  $S_n = 8 \text{ mm}$  偏大。

(1) 重新假设  $S_n = 6 \text{ mm}$      $S_e = S_n - C = 6 - 2 = 4 \text{ mm}$      $L/D_0 = 9.76$      $D_0/S_e = 102.5$

(2) 求 A 值    查图 5—5    得  $A = 0.0014$

(3) 求 B 值    查图 5—12    得  $B = 78 \text{ MPa}$

$P_c = 0.5 \text{ MPa}$ ,  $P_c < [P]$ , 且较接近, 故取  $S_n = 6 \text{ mm}$  合适

该内筒采用  $S_n = 6 \text{ mm}$  的 0Cr18Ni9Ti 制作, 能够满足稳定性要求。

- 6、有一台液氮罐, 直径为  $D_i = 800 \text{ mm}$ , 切线间长度  $L = 1500 \text{ mm}$ , 有效厚度  $S_e = 2 \text{ mm}$ , 材质为 0Cr18Ni9Ti, 由于其密闭性能要求较高, 故须进行真空试漏, 试验条件为绝对压力  $10^{-3} \text{ mmHg}$ , 问不设置加强圈能否被抽瘪? 如果需要加强圈, 则需要几个?

【解】确定计算外压力:

$\therefore$  真空度 = 大气压 - 绝压 =  $760 - 10^{-3} = 759.99 \text{ mmHg}$

$\therefore$

查表得:  $E' = 1.95 \times 10^5 \text{ MPa}$

(1) 取壁厚附加量  $C = 2 \text{ mm}$ , 有效厚度  $S_e = 2 \text{ mm}$ , 则名义厚度  $S_n = S_e + C = 2 + 2 = 4 \text{ mm}$

$D_0 = D_i + 2S_n = 800 + 8 = 808 \text{ mm}$      $L/D_0 = 1.86$      $D_0/S_e = 404$

(2) 求 A 值    查图 5—5    得  $A = 0.000085$

(3) 求 B 值    查图 5—12    A 点落在曲线左侧, 计算 B 值:

$\therefore P_c > [P]$      $\therefore$  不设置加强圈会被抽瘪

(4) 设置加强圈

所需加强圈最大间距

加强圈个数:

取整,  $n = 3$     需设三个加强圈

(5) 验算

设三个加强圈, 则:  $L_c = L/4 = 1500/4 = 375 \text{ mm}$      $L_c/D_0 = 0.464$      $D_0/S_e = 404$

查图 5—5 得  $A = 0.00035$ , 查图 5—12, 得  $B = 45 \text{ MPa}$

因为  $P_c < [P]$ , 且十分接近, 故至少需设三个加强圈。

# 《化工设备机械基础》习题解答

## 第六章 容器零部件

### 二、填空题:

#### A组:

- 1 法兰联接结构,一般是由(联接)件,(被联接)件和(密封元)件三部分组成。
- 2 在法兰密封所需要的预紧力一定时,采取适当减小螺栓(直径)和增加螺栓(个数)的办法,对密封是有利的。
- 3 提高法兰刚度的有效途径是1(增加法兰厚度) 2(减小螺栓作用力臂) 3(增加法兰盘外径)。
- 4 制定法兰标准尺寸系列时,是以(16MnR)材料,在(200)℃时的力学性能为基础的
- 5 法兰公称压力的确定与法兰的最大(操作压力),(操作温度)和(法兰材料)三个因素有关。
- 6 卧式容器双鞍座的设计中,容器的计算长度等于(筒体)长度加上两端凸形封头曲面深度的(2/3)。
- 7 配有双鞍座制作的卧式容器,其筒体的危险截面可能出现在(支座)处和(跨距中间)处。
- 8 卧式容器双鞍座的设计中,筒体的最大轴向总应力的验算条件是:  
轴向应力应为(  $\sigma \leq [\sigma]$  )

轴向压力应为(  $\sigma \leq [\sigma]$  )和(轴向许用压缩应力  $\sigma_{ac}$  的较小值)

#### B组:

- 1 采用双鞍座时,为了充分利用封头对筒体临近部分的加强作用,应尽可能将支座设计的靠近封头,即 $A \leq (0.25)D_0$ ,且A不大于(0.2)L
- 2 在鞍座标准规定的鞍座包角有  $\theta = (120^\circ)$  和  $\theta = (150^\circ)$  两种。
- 3 采用补强板对开孔进行等面积补强时,其补强范围是:

有效补强宽度是(  $2b$  )

外侧有效补强高度是(  $\min \{ b, h \}$  )

内侧有效补强高度是(  $\min \{ b, h \}$  )

- 4 根据等面积补强原则,必须使开孔削弱的截面积 $A \leq A_e = (\text{壳体有效厚度减去计算厚度之外的多余面积}) A_1 + (\text{接管有效厚度减去计算厚度之外的多余面积}) A_2 + (\text{焊缝金属截面积}) A_3$ 。
- 5 采用等面积补强时,当筒体径 $D_i \leq 1500\text{mm}$ 时,须使开孔最大直径 $d \leq (1/2)D_i$ ,且不得超过(520)mm。当筒体直径 $D_i > 1500\text{mm}$ 时,须使开孔最大直径 $d \leq (1/3)D_i$ ,且不得超过(1000)。
- 6 现行标准中规定的圆形人孔公称直径有DN(400)mm, DN(450)mm, DN(500)mm, DN(600)mm等四种。
- 7 现行标准中规定,椭圆形人孔的尺寸为(400)×(250)mm与(380)×(280)mm。
- 8 现行标准中规定的标准手孔的公称直径有DN(150mm)和DN(250mm)两种。

### 三、是非判断题

- 1 法兰密封中,法兰的刚度与强度具有同等重要的意义。(×)
- 2 在法兰设计中,如欲减薄法兰的厚度 $t$ ,则应加大法兰盘外径 $D_0$ ,加大法兰长径部分尺寸和加大臂长度。(×)
- 3 金属垫片材料一般并不要求强度高,为要求其软韧,金属垫片主要用于中高温和中高压的法兰联接密封。(√)
- 4 法兰连接中,预紧密封比压大,则工作时可有较大的工作密封比压,有利于保证密封.所以预密封比

压越大越好。(×)

- 5 正压操作的盛装气体(在设计温度下不冷凝)的圆筒形处贮罐,采用双鞍式支座支承时,可以不必验算其轴向的拉应力。(×)

#### 四、工程应用题

A 组:

##### 1. 选择设备法兰密封面型式及垫片

介质	公称压力 PN (MPa)	介质温度 ℃	适宜密封面型式	垫片名称及材料
丙 烷	1.0	150	平形	耐油橡胶石棉垫/耐油橡胶石棉板
蒸 汽	1.6	200	平形	石棉橡胶垫/中压石棉橡胶板
液 氨	2.5	≤50	凹凸或榫槽	石棉橡胶垫圈/中压石棉橡胶板
氢 气	4.0	200	凹凸	缠绕式垫圈/08(15) 钢带-石棉带

2. 试为一精馏塔配塔节与封头的联接法兰及出料口接管法兰。已知条件为:塔体内径 800mm,接管公称直径 100mm,操作温度 300℃,操作压力 0.25MPa,材质 Q 235-AR。画出法兰结构图并注明尺寸。

【解】

##### (1) 塔节与封头的联接法兰——容器法兰

根据该塔的工艺条件:温度、压力及塔径,塔节与封头联接的法兰应该选用甲型平焊法兰. 根据操作温度、设计压力和使用材料,由表 6—4 可知应按法兰的公称压力为 0.6MPa 来选择尺寸。由附录十四表 32 查得法兰各部尺寸,并绘注于图 1 中. 由表 6-1 可采用平面密封面,垫片材料为石棉橡胶板,宽度从表 6-3 中查得值为 20mm. 联接螺栓为 M20,共 24 个,材料由表 6—6 查得为 35. 螺母材料为 Q 235—A。

##### (2) 出料口接管法兰——管法兰

根据计算压力、法兰材质和工作温度查附录十五表 34,确定接管法兰的公称压力为 0.25 MPa; 根据公称压力、公称直径按表 6—10 确定法兰类型和密封面型式为突面板式平焊管法兰,法兰标记: HG20592 法兰 PL100—0.25 RF Q235-A。根据公称压力、工作温度由附录十五表 35 查得垫片选用石棉橡胶垫圈,螺栓、螺柱材质为 35。由表 36 得法兰各部尺寸及螺栓、螺柱规格,并绘于图 2 中。

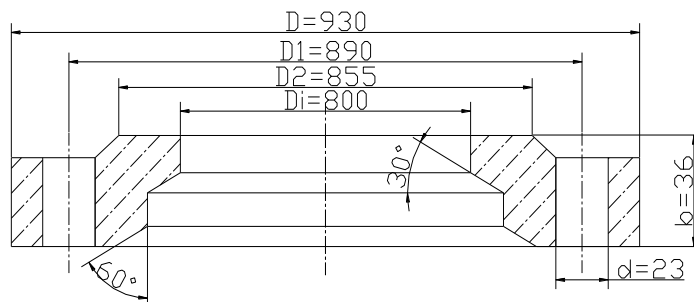


图 1 甲型平焊法兰(容器法兰)(法兰—RF 800-0.6 JB4702—92)

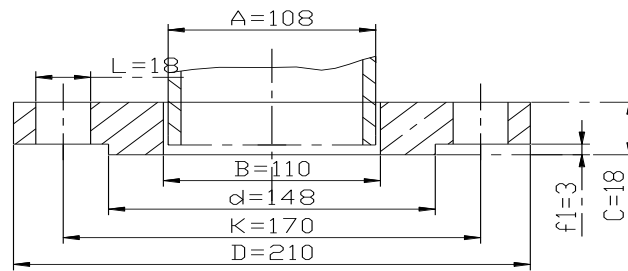


图 错误!未定义书签。突面板式平焊管法兰(HG20592 法兰 PL100—0.25

RF Q235-A)

6. 有一卧式圆筒形容器, DN=3000mm, 最大重量为100吨, 材质为16MnR, 选择双鞍式支座标准.

【解】每个支座上的载荷

$$F = \frac{mg}{2} = \frac{100 \times 10^3 \times 9.8}{2} = 490 \text{ kN}$$

根据承受载荷与公称直径查附录十六, 应选用轻型(A型)120°包角带垫板鞍座.

JB/4712-92 鞍座 A3000-F

JB/4712-92 鞍座 A3000-S

鞍座材料 Q235-AF 垫板材料 16MnR 允许载荷 Q=786kN

鞍座高度:  $h = 250 \text{ mm}$  腹板:  $\delta_2 = 10 \text{ mm}$

	$l_1 = 2180 \text{ mm}$	$l_3 = 341 \text{ mm}$	弧长 = 3490mm
底板:	$b_1 = 360 \text{ mm}$	$b_2 = 316 \text{ mm}$	$b_4 = 500 \text{ mm}$
	$\delta_1 = 14 \text{ mm}$	筋板: $b_3 = 406 \text{ mm}$	垫板: $\delta_4 = 10 \text{ mm}$
		$\delta_3 = 10 \text{ mm}$	$e = 65 \text{ mm}$

9. 有一 $\Phi 89 \times 6$ 的接管, 焊接于内径为 1400mm, 壁厚为 16mm 的筒体上, 接管材质为 10 号无缝钢管, 筒体材料 16MnR, 容器的设计压力 1.8MPa, 设计温度为 250℃, 腐蚀裕量 2mm, 开孔未与筒体焊缝相交, 接管周围 20mm 内无其他接管, 试确定此开孔是否需要补强? 如需要, 其补强圈的厚度应为多少? 画出补强结构图.

【解】由表 16-1 查得 16MnR (厚度 6 ~ 16) 在 250℃ 下的  $[\sigma]^t = 156 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_s = 325 \text{ MPa}$

10 号钢管在 250℃ 下  $[\sigma]^t = 92 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_s = 205 \text{ MPa}$

取  $\phi = 1$

$$\text{壳体计算壁厚: } S = \frac{P_c D_i}{2[\sigma]^t \phi - P_c} = \frac{1.8 \times 1400}{2 \times 92 \times 1 - 1.8} = 8.12 \text{ mm}$$



$$\text{接管计算壁厚: } S_t = \frac{P_c D_0}{2[\sigma]^t \varphi + P_c} = \frac{1.8 \times 89}{2 \times 92 \times 1 + 1.8} = 0.86 \text{ mm}$$

壳体与接管的壁厚附加量取  $C = 2 \text{ mm}$  则开孔直径:

$$d = d_1 + 2C = 89 - 2 \times 6 + 2 \times 2 = 81 \text{ mm}$$

$$\text{壳体的名义壁厚: } S_n = 16 \text{ mm}$$

$$\text{壳体的有效壁厚: } S_e = \delta_n - C = 16 - 2 = 14 \text{ mm}$$

$$\text{接管的名义壁厚: } S_{nt} = 6 \text{ mm}$$

$$\text{接管的有效壁厚: } S_{et} = S_{nt} - C = 6 - 2 = 4 \text{ mm}$$

$$\text{接管有效补强宽度: } B = 2d = 2 \times 81 = 162 \text{ mm}$$

$$\text{接管外侧、内侧有效补强高度: } h_1 = h_2 = \sqrt{d S_{nt}} = \sqrt{81 \times 6} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{强度削弱系数: } f_r = \frac{[\sigma]_{\text{管}}^t}{[\sigma]_{\text{壳}}^t} = \frac{92}{156} = 0.59$$

需要补强金属面积:

$$A = dS + 2SS_{et}(1 - f_r) = 81 \times 8.12 + 2 \times 8.12 \times 4 \times (1 - 0.59) = 684.35 \text{ mm}^2$$

可作为补强的金属面积:

$$\begin{aligned} A_1 &= (B - d)(S_e - S) - 2S_{et}(S_e - S)(1 - f_r) \\ &= (162 - 81) \times (14 - 8.12) - 2 \times 4 \times (14 - 8.12) \times (1 - 0.59) = 457 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= 2h_1(S_{et} - S_t)f_r + 2h_2(S_{et} - C_2)f_r \\ &= 2 \times 22 \times (4 - 0.86) \times 0.59 + 2 \times 22 \times (4 - 2) \times 0.59 = 133.4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{焊缝按 } R=8 \text{ 计算, 则 } A_3 = 2 \times \frac{1}{2} \times 8 \times 8 = 64 \text{ mm}^2$$

可作为有效补强的金属截面积:

$$A_e = A_1 + A_2 + A_3 = 457 + 133.4 + 64 = 654.4 \text{ mm}^2$$

因为  $A_e < A$ , 所以需要另加补强。

$$\text{另加补强面积: } A_4 = A - A_e = 684.35 - 654.4 = 30 \text{ mm}^2$$

用补强圈补强结构, 补强材料与壳体材料相同为 16MnR, 厚度与筒体壁厚相同为 16mm。

## 《化工设备机械基础》习题解答

### 第三篇：典型化工设备的机械设计

#### 第七章 管壳式换热器的机械设计

##### 一、思考题

1. 衡量换热器好坏的标准大致有哪些？

答:传热效率高, 流体阻力小, 强度足够, 结构可靠, 节省材料; 成本低; 制造、安装、检修方便。

2. 列管式换热器主要有哪几种? 各有何优缺点?

答:如下表 1 所示:

表 1

列管式换热器 种类	优 点	缺 点
固定管板式	结构较简单, 造价较低, 相对其它列管式换热器其管板最薄。	管外清洗困难; 管壳间有温差应力存在; 当两种介质温差较大时必须设置膨胀节。
浮头式	一端管板固定, 另一端管板可在壳体内移动; 管壳间不产生温差应力; 管束可抽出, 便于清洗。	结构较复杂, 金属耗量较大; 浮头处发生内漏时不便检查; 管束与管体间隙较大, 影响传热。
填料函式	管束一端可自由膨胀; 造价比浮头式低; 检修、清洗容易; 填函处泄漏能及时发现。	壳程内介质有外漏的可能; 壳程中不宜处理易挥发、易燃、易爆、有毒的介质。
U 型管式	只有一个管板; 管程至少为两程; 管束可以抽出清洗; 管子可自由膨胀。	管内不便清洗; 管板上布管少, 结构不紧凑, 管外介质易短路, 影响传热效果; 内层管子损坏后不易更换。

3. 列管式换热器机械设计包括哪些内容?

答: ①壳体直径的决定和壳体壁厚的计算;

②换热器封头选择, 压力容器法兰选择;

③管板尺寸确定;

④管子拉脱力的计算;

⑤折流板的选择与计算;

⑥温差应力计算。

此外还应考虑接管、接管法兰选择及开孔补强等。

4. 我国常用于列管式换热器的无缝钢管规格有哪些? 通常规定换热管的长度有哪些?

答: 我国管壳式换热器常用无缝钢管规格(外径×壁厚), 如下表 2 所示。换热管长度规定为: 1500mm, 2000mm, 2500mm, 3000mm, 4500mm, 5000mm, 6000mm, 7500mm, 9000mm, 12000mm。换热器的换热管长度与公称直径之比, 一般在 4~25 之间, 常用的为 6~10。立式换热器, 其比值多为 4~6。

表 2

换 热 管 规 格 (mm)

碳钢低合金钢	$\phi 19 \times 2$	$\phi 25 \times 2.5$	$\phi 32 \times 3$	$\phi 38 \times 3$
--------	--------------------	----------------------	--------------------	--------------------

不 锈 钢	$\phi 19 \times 2$	$\phi 25 \times 2$	$\phi 32 \times 2.5$	$\phi 38 \times 2.5$
-------	--------------------	--------------------	----------------------	----------------------

5. 换热管在管板上有哪几种固定方式?各适用范围如何?

答: 固定方式有三种: 胀接、焊接、胀焊结合。

胀接: 一般用在换热管为碳素钢, 管板为碳素钢或低合金钢, 设计压力不超过 4.0MPa, 设计温度在 350℃ 以下, 且无特殊要求的场合。

焊接: 一般用在温度压强都较高的情况下, 并且对管板孔加工要求不高时。

胀焊结合: 适用于高温高压下, 连接接头在反复的热冲击、热变形、热腐蚀及介质压力作用, 工作环境极其苛刻, 容易发生破坏, 无法克服焊接的“间隙腐蚀”和“应力腐蚀”的情况下。

6. 换热管胀接于管板上时应注意什么? 胀接长度如何确定?

答: 采用胀接时, 管板硬度应比管端硬度高, 以保证胀接质量。这样可避免在胀接时管板产生塑性变形, 影响胀接的紧密性。如达不到这个要求时, 可将管端进行退火处理, 降低硬度后再进行胀接。另外, 对于管板及换热器材料的线膨胀系数和操作温度与室温的温差  $\Delta t$ , 必须符合表 3 的规定。

表 3 线 膨 胀 系 数 和 温 度

$10\% \leq \Delta\alpha/\alpha \leq 30\%$	$\Delta t \leq 155^\circ\text{C}$
$30\% \leq \Delta\alpha/\alpha \leq 50\%$	$\Delta t \leq 128^\circ\text{C}$
$\Delta\alpha/\alpha > 50\%$	$\Delta t \leq 72^\circ\text{C}$

表中:  $\alpha = 1/2(\alpha_1 + \alpha_2)$ ,  $\alpha_1, \alpha_2$  分别为管板与换热管材料的线膨胀系数,  $1/^\circ\text{C}$ 。

$\Delta\alpha = |\alpha_1 - \alpha_2|$ ,  $1/^\circ\text{C}$ 。

$\Delta t$  等于操作温度减去室温 ( $20^\circ\text{C}$ )。

7. 换热管与管板的焊接连接法有何优缺点? 焊接接头的形式有哪些?

答: 焊接连接比胀接连接有更大的优越性: 在高温高压条件下, 焊接连接能保持连接的紧密性; 管板孔加工要求低, 可节省孔的加工工时; 焊接工艺比胀接工艺简单; 在压力不太高时可使用较薄的管板。

焊接连接的缺点是: 由于在焊接接头处产生的热应力可能造成应力腐蚀和破裂; 同时管子与管板间存在间隙, 这些间隙内的流体不流动, 很容易造成“间隙腐蚀”。

焊接接头的形式有: ①管板孔上不开坡口;

②管板孔端开  $60^\circ$  坡口;

③管子头部不突出管板;

④孔四周开沟槽。

8. 换热管采用胀焊结合方法固定于管板上有何优点? 主要方法有哪些?

答: 胀焊结合方法的优点: 由于焊接连接产生应力腐蚀及间隙腐蚀, 尤其在高温高压下, 连接接头在反复的热冲击、热变形、热腐蚀及介质压力作用下, 工作环境极其苛刻, 容易发生破坏, 无论采用胀接或焊接均难以满足要求。而胀焊结合法能提高连接处的抗疲劳性能, 消除应力腐蚀和间隙腐蚀, 提高使用寿命。

主要方法有: 先强度焊后贴胀、先强度焊后强度胀、先强度胀后密封焊等多种。

9. 管子在管板上排列的标准形式有哪些? 各适用于什么场合?

答: 排列的标准形式有: ①正三角形和转角正三角形排列, 适用于壳程介质污垢少, 且不需要进行机械清洗的场合。

②正方形和转角正方形排列, 一般可用于管束可抽出清洗管间的场合。

10. 《钢制管壳式换热器设计规定》中换热器管板设计方法的基本思想是什么?

答: 其基本思想是: 将管束当作弹性支承, 而管板则作为放置于这一弹性基础上的圆平板,

然后根据载荷大小、管束的刚度及周边支撑情况来确定管板的弯曲应力. 由于它比较全面地考虑了管束的支承和温差的影响, 因而计算比较精确. 但计算公式较多, 计算过程也较繁杂. 但应用计算机进行设计计算, 是一种有效的设计方法。

11. 换热管分程原因是什么? 一般有几种种分程方法? 应满足什么条件? 其相应两侧的管箱隔板形式如何?

答: 分程原因: 当换热器所需的换热面积较大, 而管子做得太长时, 就得增大壳体直径, 排列较多的管子. 此时为了增加管程流速, 提高传热效果, 须将管束分程, 使流体依次流过各程管子。

分程方法: 为了把换热器做成多管程, 可在流道室 (管箱) 中安装与管子中心线相平行的分程隔板. 管程数一般有 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 等七种.

满足条件: ①各程换热管数应大致相等; ②相邻程间平均壁温差一般不应超过 28℃; ③各程间的密封长度应最短; ④分程隔板的形式应简单.

管箱隔板形式有: 单层和双层两种。

12. 折流板的作用如何? 常用有哪些形式? 如何定位?

答: 在对流传热的换热器中, 为了提高壳程内流体的流速和加强湍流强度, 以提高传热效率, 在壳程内装置折流板. 折流板还起支撑换热管的作用.

常用形式有: 弓形、圆盘—圆环形和带扇形切口三种。

折流板的固定是通过拉杆和定距管来实现的. 拉杆是一根两端皆有螺纹的长杆, 一端拧入管板, 折流板就穿在拉杆上, 各板之间则以套在拉杆上的定距管来保持板间距离. 最后一块折流板可用螺母拧在拉杆上予以紧固。

13. 固定管板式换热器中温差应力是如何产生的? 有哪些补偿温差应力的措施?

答: 当操作时, 壳体和管子温度都升高, 若管壁温度高于壳壁温度, 则管子自由伸长量比壳体自由伸长量大, 但由于管子与壳体是刚性连接, 所以管子和壳体的实际伸长量必须相等, 因此就出现壳体被拉伸, 产生拉应力; 管子被压缩, 产生压应力. 此拉、压应力就是温差应力, 也称热应力。

补偿温差应力的措施有: 解决壳体与管束膨胀的不一致性; 或是消除壳体与管子间刚性约束, 使壳体和管子都自由膨胀和收缩。

- ①减少壳体与管束间的温度差;
- ②装设饶性构件;
- ③使壳体和管束自由热膨胀;
- ④双套管温度补偿.

14. 何谓管子拉脱力? 如何定义? 产生原因是什么?

答: 换热器在操作中, 承受流体压力和管壳壁的温度应力的联合作用, 这两个力在管子与管板的连接接头处产生了一个拉脱力, 使管子与管板有脱离的倾向.

拉脱力的定义: 管子每平方米胀接周边上所受到的力, 单位为帕。

15. 壳程接管挡板的作用是什么? 主要有哪些结构形式?

答: 在换热器进口处设置挡板 (常称为导流筒), 它可使加热蒸汽或流体导致靠近管板处才进入管束间, 更充分的利用换热面积, 目前常用这种结构来提高换热器的换热能力。

### 三、试验算固定管板式换热器的拉脱力

已知条件如下:

项 目	管 子	壳 体
操作压力 MPa	1.0	0.6
操作温度℃	200	100
材质	10	16MnR

线膨胀系数 $1/^\circ\text{C}$	$11.8 \times 10^{-6}$	$11.8 \times 10^{-6}$
弹性模数 MPa	$0.21 \times 10^6$	$0.21 \times 10^6$
许用应力 MPa	113	173
尺寸 mm	$\varnothing 25 \times 2.5 \times 2000$	$\varnothing 1000 \times 8$
管子根数	562	
排列方式	正三角形	
管间距 mm	$a=32$	
管子与管板连接结构:	开槽胀接	
胀接长度 mm	$l=30$	
许用拉脱力 MPa	$[q]=4$	

解：在操作压力下，每平方米胀接周边产生的力  $q_p$ ：

$$q_p = \frac{pf}{\pi d_o l}$$

$$\text{其中： } f = 0.866a^2 - \frac{\pi}{4}d_o^2 = 0.866 \times 32^2 - \frac{\pi}{4} \times 25^2 = 396(\text{mm}^2)$$

$$\therefore q_p = \frac{1.0 \times 396}{25 \times 30 \times 3.14} = 0.168(\text{MPa})$$

在温差应力作用下，管子每平方米胀接周边所产生的力  $q_t$ ：

$$q_t = \frac{\sigma_t \cdot a_t}{4d_o l} = \frac{\sigma_t \cdot (d_o^2 - d_i^2)}{4d_o l}$$

其中：

$$\sigma_t = \frac{\alpha E(t_t - t_s)}{1 + \frac{A_t}{A_s}} = \frac{\alpha E(t_t - t_s)}{1 + \frac{\frac{\pi}{4}(d_o^2 - d_i^2)n}{\pi D_{\text{中}} S_n}} = \frac{11.8 \times 10^{-6} \times 0.21 \times 10^6 \times (200 - 100)}{1 + \frac{(25^2 - 20^2) \times 562}{4 \times 1008 \times 8}} = 50.36(\text{MPa})$$

$$\therefore q_t = \frac{50.36 \times (25^2 - 20^2)}{4 \times 25 \times 30} = 3.777(\text{MPa})$$

又  $q_p$  与  $q_t$  作用方向相同，则：

$$q = q_p + q_t = 0.168 + 3.777 = 3.945(\text{MPa})$$

$\therefore q < [q]$ ，故管子拉脱力在许用范围内。

## 《化工设备机械基础》习题解答

### 第八章 塔设备的机械设计

## 二、填空题

A 组:

1. 自支撑式塔设备设计时,除了考虑操作压力以外,还必须考虑 ( 自重载荷 )、( 风载荷 )、( 地震载荷 )、( 偏心载荷 ) 等载荷。
2. 内压操作的塔设备,最大组合轴向压应力出现在 ( 停车 ) 时的 ( 背 ) 风面,其最大组合轴向压应力为  $\sigma_{\max}^{i-i} = (\sigma_2^{i-i} + \sigma_3^{i-i})$ 。
3. 外压操作的塔设备,最大组合轴向拉应力出现在 ( 非操作 ) 时的 ( 迎 ) 风面,其最大组合轴向拉应力为  $\sigma_{\max}^{i-i} = (\sigma_3^{i-i} - \sigma_2^{i-i})$ 。
4. 当地震烈度  $\geq (7)$  度时,设计塔设备必须考虑地震载荷。
5. 内压操作的塔设备,最大组合轴向压应力的稳定条件是:  $\sigma_{\max} = (\sigma_2 + \sigma_3) \leq \begin{cases} (KB) \\ (K[\sigma]') \end{cases}$  中较小值。
6. 外压操作塔设备,最大组合轴向拉应力的强度条件是:  $\sigma_{\max} = (\sigma_3 - \sigma_2) \leq (K[\sigma]'\phi)$ 。
7. 裙式支座基底截面水压试验时最大组合轴向压应力满足的强度与稳定条件是:  

$$\sigma_{\max} = \frac{0.3M_w^{0-0} + M_e}{Z_{sb}} + \frac{m_{\max} + g}{A_{sb}} \leq \begin{cases} (0.9K\sigma_s) \\ (KB) \end{cases} \text{ 中的较小值。}$$
8. 裙式支座人孔或较大管线引出孔处,水压试验时,最大组合轴向压应力应满足的强度与稳定条件是:  

$$\sigma_{\max} = \frac{0.3M_w^{1-1} + M_e}{Z_{sm}} + \frac{m_{\max}^{1-1} \cdot g}{A_{sm}} \leq \begin{cases} (KB) \\ (0.9K\sigma_s) \end{cases} \text{ 中的较小值。}$$
9. 裙座与塔体的连接焊缝,如采用对接焊缝,则 ( 只需 ) 验算焊缝强度;如采用搭接焊缝,则焊缝同时承受 ( 载荷 ) 和 ( 剪力 ) 作用,所以操作或水压试验时,焊缝承受复合剪切应力作用,其验算的强度条件为:

$$\tau \begin{cases} \frac{m_o^{J-J} \cdot g + F_v^{J-J}}{A_w} + \frac{M_{\max}^{J-J}}{Z_w} \leq (0.8K[\sigma]_w^t) \\ \frac{m_{\max}^{J-J} \cdot g}{A_w} + \frac{0.3M_w^{J-J} + M_e}{Z_w} \leq (0.72K\sigma_s) \end{cases}$$

B 组:

1. 塔设备质量载荷包括:

- (1) (塔设备壳体 (包括裙座) 质量)  $m_{01}$ ;
- (2) (塔设备内件质量)  $m_{02}$ ;
- (3) (塔设备保温材料质量)  $m_{03}$ ;
- (4) (平台、扶梯质量)  $m_{04}$ ;
- (5) (操作时塔内物料质量)  $m_{05}$ ;

(6) (人孔、法兰、接管等附属件质量)  $m_a$ ;

(7) (液压试验时, 塔器内充液质量)  $m_w$ ;

2. 内压操作的塔设备, 最大组合轴向拉应力出现在( 正常操作 )时的( 迎 )风面, 其最大

$$\text{组合轴向拉应力 } \sigma_{\max}^{i-i} = (\sigma_1 - \sigma_2 + \sigma_3)。$$

3. 外压操作的塔设备, 最大组合轴向压应力出现在( 正常操作 )时的( 背 )风面, 其最大组

$$\text{合轴向压应力 } \sigma_{\max}^{i-i} = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)。$$

4. 塔体各种载荷引起的轴向应力包括:

(1) 设计压力引起的轴向应力(内压或外压):  $\sigma_1 = \pm(\frac{pD_i}{4S_{ei}})$

(2) 操作质量引起的轴向应力:  $\sigma_2^{i-i} = -(\frac{m_o^{i-i}g}{\pi D_i S_e})$

(3) 最大弯矩引起的轴向应力:  $\sigma_3^{i-i} = \pm(\frac{M_{\max}^{i-i}}{\frac{\pi}{4} D_i S_e})$

其中最大弯矩  $M_{\max}$  取计算截面上的  $(M_w + M_e)$  或  $(M_E + M_e) + (25)\% (M_w)$  中的较大值。

5. 内压操作的塔设备, 最大组合轴向压应力的强度条件是:

$$\sigma_{\max} = (\sigma_2 + \sigma_3) \leq (K[\sigma]^t \phi)。$$

6. 外压操作的塔设备, 最大组合轴向压应力的强度与稳定条件是:

$$\sigma_{\max} = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \leq \begin{cases} (KB) \\ (K[\sigma]^t) \end{cases} \text{中较小值。}$$

7. 塔设备水压试验时, 应满足:

$$\text{轴向压应力强度条件: } \sigma = (\sigma_1 - \sigma_2 + \sigma_3) \leq (0.9K\sigma_s \phi);$$

$$\text{轴向拉应力强度与稳定条件: } \sigma_T = \frac{(p_T + \gamma g H)(D_i + S_e)}{2S_e} \leq$$

$$\begin{cases} (KB) \\ (0.9K\sigma_s) \end{cases} \text{中较小值。}$$

8. 裙式支座基底截面操作时, 最大组合轴向压应力应满足的强度与稳定条件是:

$$\sigma_{\max} = (\frac{M_{\max}^{0-0}}{Z_{sb}} + \frac{m_0 \cdot g + F_v^{0-0}}{A_{sb}}) \leq \begin{cases} (KB) \\ (K[\sigma]_s^t) \end{cases} \text{中较小值。}$$

9. 裙式支座人孔或较大管线引出孔处, 操作时最大组合轴向压应力满足的强度与稳定

$$(KB)$$

条件是:  $\sigma_{\max} = \left( \frac{M_{\max}^{1-1}}{Z_{sm}} + \frac{m_0^{1-1} \cdot g + F_v^{1-1}}{A_{sm}} \right) \leq \left\{ (K[\sigma]_s)' \right\}$  中较小值。

10. 当塔设备作用在基础面上的最小应力  $\sigma_{\min} < 0$  时 (即压应力), 设备稳定, 地脚螺栓只起 ( 固定设备位置 ) 的作用; 当  $\sigma_{\min} > 0$  时 (即拉应力), 设备可能翻倒, 此时地脚螺栓必须有 ( 足够数量 ) 和一定的 ( 直径 )。地脚螺栓的数目必须是 ( 4 ) 的倍数。

### 三、画出下列情况下危险截面组合应力分布图

1. 内压操作塔设备的最大组合轴向压应力  $\sigma_{\max} = \sigma_2^{2-2} + \sigma_3^{2-2}$ 。(如图 8-57)

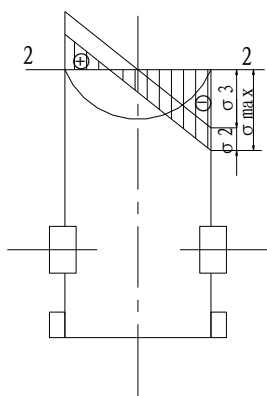


图 8-57

2. 内压操作塔设备的最大组合轴向拉应力  $\sigma_{\max} = \sigma_1 - \sigma_2^{2-2} + \sigma_3^{2-2}$ 。(如图 8-58)

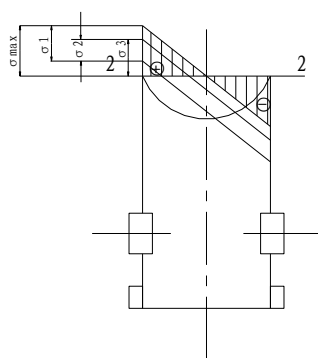


图 8-58

3. 外压操作塔设备的最大组合轴向压应力  $\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_2^{2-2} + \sigma_3^{2-2}$ 。(如图 8-59)



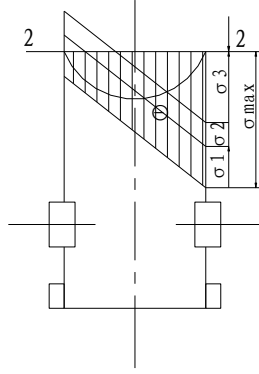


图 8—59

4. 外压操作塔设备的最大组合轴向拉应力  $\sigma_{\max} = \sigma_3^{2-2} - \sigma_2^{2-2}$ 。(如图 8-60)

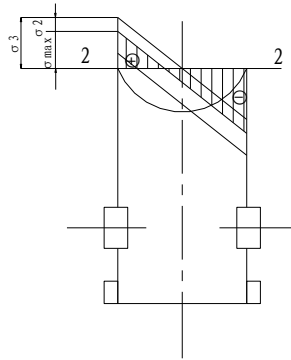


图 8—60

5. 裙式支座基底截面, 操作时最大组合轴向压应力  $\sigma_{\max} = \sigma_2^{0-0} + \sigma_3^{0-0}$ 。(如图 8-61)

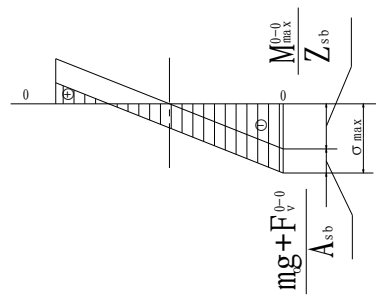


图 8—61

6. 裙式支座基底截面, 水压试验时最大组合轴向压应力  $\sigma_{\max} = \sigma_2^{0-0} + \sigma_3^{0-0}$ 。  
(如图 8-62)

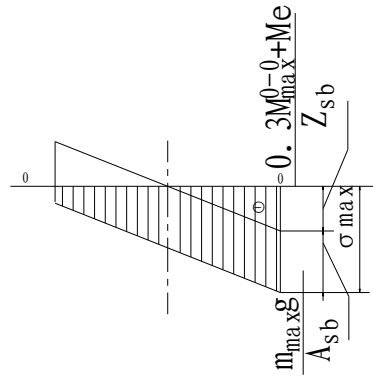


图 8—62

7. 裙式支座人孔或较大管线引出孔处，操作时最大组合轴向压应力

$$\sigma_{\max} = \sigma_2^{1-1} + \sigma_3^{1-1}。(\text{如图 8-63})$$

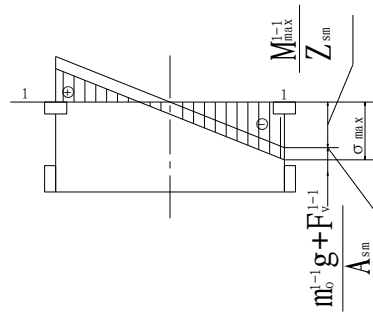


图 8—63

8. 裙式支座人孔或较大管线引出孔处，水压试验时最大组合轴向压应力

$$\sigma_{\max} = \sigma_2^{1-1} + \sigma_3^{1-1}。(\text{如图 8—64})$$

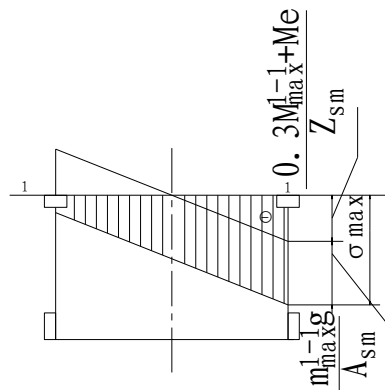


图 8-64