



中华人民共和国国家标准

GB/T 16508—1996

锅壳锅炉受压元件强度计算

Strength calculation of pressure parts for shell boilers

1996-09-03发布

1996-12-01实施

国家技术监督局 发布

目 次

1	主题内容与适用范围	(1)
2	引用标准	(1)
3	材料、许用应力和计算压力	(1)
4	承受内压力的圆筒形元件	(4)
5	承受外压力的圆筒形炉胆、冲天管、烟管和其他元件	(12)
6	凸形封头、炉胆顶、半球形炉胆和凸形管板	(22)
7	有拉撑(加固)的平板和管板	(27)
8	拉撑件和加固件	(34)
9	矩形集箱	(39)
10	集箱端盖、内置孔盖	(43)
11	下脚圈	(46)
12	孔和孔的加强	(47)
附录 A	铸铁锅炉受压元件(补充件)	(56)
附录 B	例题(参考件)	(58)
附录 C	单位换算(参考件)	(94)

锅壳锅炉受压元件强度计算

代替 JB 3622—84

Strength calculation of pressure parts for shell boilers

1 主题内容与适用范围

- 1.1 本标准规定了由低碳钢或低碳锰钢焊制的有烟管和(或)炉胆的固定式锅壳锅炉受压元件和铸铁锅炉受压元件的强度计算方法与有关结构规定。
- 1.2 本标准适用于额定蒸汽压力不大于 2.5 MPa 的蒸汽锅炉及额定出水压力不小于 0.1 MPa 的热水锅炉,但额定出水压力小于 0.1 MPa 的热水锅炉也可参照使用。
- 1.3 锅炉的设计、制造、安装、使用、修理、改造应符合国家现行的《蒸汽锅炉安全技术监察规程》、《热水锅炉安全技术监察规程》、有关锅炉制造技术条件及其他有关国家标准。

2 引用标准

- GB 699 优质碳素结构钢技术条件
- GB 709 热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB 711 优质碳素结构钢热轧厚钢板和宽钢带
- GB 713 锅炉用碳素钢和低合金钢板
- GB 1576 低压锅炉水质标准
- GB 3087 低中压锅炉用无缝钢管
- GB 3274 碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带
- GB 8163 输送流体用无缝钢管
- GB 9222 水管锅炉受压元件强度计算

3 材料、许用应力和计算压力

3.1 符号说明

本章所用符号的意义和单位如下:

σ_b ——常温抗拉强度,MPa;

σ_s ——常温屈服点,MPa;

σ'_s ——计算壁温时的屈服点,MPa;

δ_5 ——常温伸长率,%;

$[\sigma]$ ——许用应力,MPa;

$[\sigma]_j$ ——基本许用应力,MPa;

η ——基本许用应力修正系数;

t_{in} ——计算壁温,°C;

t_j ——计算压力(绝对压力)下介质饱和温度或热水锅炉额定出水温度,°C;

- p ——计算压力(表压),MPa;
- p_c ——锅炉额定压力(表压),MPa;
- Δp ——附加压力,MPa;
- Δp_s ——最大流量时计算元件至锅炉出口之间的压力降,MPa;
- Δp_u ——计算元件所受水柱静压力,MPa;
- $[\rho]$ ——最高允许计算压力(表压),MPa;
- $[\rho]_s$ ——锅炉出口处的最高允许工作压力,MPa。

3.2 材料

3.2.1 锅壳锅炉受压元件应采用符合有关国家标准或行业标准所规定的锅炉用低碳钢或低碳锰钢。

使用本标准未列入的上述材料中某些钢号时,应符合国家现行《蒸汽锅炉安全技术监察规程》和《热水锅炉安全技术监察规程》的有关规定。

3.2.2 用于制造受压元件的钢板应具有良好的塑性,其常温伸长率 δ_5 应不低于 18%。

3.3 许用应力

3.3.1 材料的许用应力按下式计算:

$$[\sigma] = \eta[\sigma_0] \dots\dots\dots (1)$$

3.3.2 锅壳锅炉常用钢材的基本许用应力 $[\sigma]_0$ 取表 1 所列值。对于表 1 未列出的但符合 3.2 要求的钢材,基本许用应力 $[\sigma]_0$ 按下列公式计算,取两者较小值。

$$[\sigma]_0 \leq \frac{\sigma_b}{2.7} \dots\dots\dots (2)$$

$$[\sigma]_0 \leq \frac{\sigma_s}{1.5} \dots\dots\dots (3)$$

计算时, σ_b 、 σ_s 取相应钢号的保证值;当缺乏保证值时,可用钢材抽样试验所得的 σ_b 、 σ_s 最小值乘以 0.9 作为计算取值,抽样试验应按有关标准进行。

如无 σ_s 数据,可根据 σ_b 的保证值,如无 σ_b 保证值时,可根据钢材抽样试验所得 σ_b 的最小值乘以 0.9,利用表 2 列出的 σ_s/σ_b 比值换算出 σ_s 。

表 1 常用钢材基本许用应力 $[\sigma]_0$

MPa

钢号和标准号		管		圆 钢	钢 板			
		10 GB 8163 GB 3087	20 GB 8163 GB 3087	20 GB 699	Q235 GB 3274	20 GB 711	20g GB 713	16Mng GB 713
σ_b		333	392	400	372	400	400	510
σ_s		196	245	245	216	—	245	345
计算壁温℃	250	104	125	125	113	125	125	149
	260	101	123	123	111	123	123	146
	280	96	118	118	105	118	118	140
	300	91	113	113	101	113	113	135
	320	89	109	109		109	109	132
	340	84	102	102		102	102	130
	350	80	100	100		100	100	129
	360	78	97					
	380	75	92					
	400	70	87					
	420	66	78					
	440	55	66					
	450	49	57					

注：① 相邻计算壁温数值间的 $[\sigma]$ 采用算术内插法确定。

② 对于20g、16Mng钢板，当厚度大于16mm时， σ_b 、 σ_c 值按GB 713确定，但 $[\sigma]$ 仍按表中所列数值取用。

表2 低碳钢或低碳锰钢的 σ_i/σ_b 最小值

计算壁温 ℃	250	275	300	325	350
σ_i/σ_b 最小值	0.40	0.38	0.36	0.34	0.33

注：相邻两个数值间的 σ_i/σ_b 采用算术内插法确定。

3.3.3 基本许用应力修正系数 η 按表3确定。

表3 基本许用应力修正系数 η

元件型式及工作条件	η
承受内压力的锅壳筒体和集箱筒体 不受热(在烟道外或可靠绝热)	1.00
受热(烟温 $\leq 600^\circ\text{C}$)	0.95
受热(烟温 $> 600^\circ\text{C}$)	0.90
管子(管接头)、孔圈	1.00
波形炉胆	0.6
凸形封头、炉胆顶、半球形炉胆、凸形管板	
立式无冲天管锅炉与干汽室的凹面受压的凸形封头	1.00
立式无冲天管锅炉凸面受压的半球形炉胆	0.30
立式无冲天管锅炉凸面受压的炉胆顶	0.40
立式冲天管锅炉凸面受压的炉胆顶	0.50
立式冲天管锅炉凹面受压的凸形封头	0.65
卧式内燃锅炉凹面受压的凸形封头	0.80
凹面受压的凸形管板	0.85
有拉撑的平板、烟管管板	0.85
拉撑件(拉杆、拉撑管、角撑板)	0.55
加固横梁	1.00
孔盖	1.00
圆形集箱端盖	(见表17)
矩形集箱	1.25
矩形集箱端盖	0.75

3.4 计算壁温

3.4.1 用于强度计算的计算壁温取元件温度最高部位内外壁温的算术平均值。

任何情况下锅炉受压元件的计算壁温取不低于 250°C 。

3.4.2 计算壁温 t_b 按表4确定。

表 4 计算壁温 t_{bi}

°C

受压元件型式及工作条件	t_{bi}
防焦箱	$t_f + 110$
直接受火焰辐射的锅壳筒体、炉胆、炉胆顶、平板、管板、火箱板、集箱	$t_f + 90$
与温度 900°C 以上烟气接触的锅壳筒体、回燃室、平板、管板、集箱	$t_f + 70$
与温度 600~900°C 烟气接触的锅壳筒体、回燃室、平板、管板、集箱	$t_f + 50$
与温度低于 600°C 烟气接触的锅壳筒体、平板、管板、集箱	$t_f + 25$
水冷壁管	$t_f + 50$
对流管、拉撑管	$t_f + 25$
不直接受烟气或火焰加热的元件	t_f

注：表中列出的 t_{bi} 值仅适用于锅炉给水质量符合 GB 1576 标准的情况。

3.5 计算压力

3.5.1 设计计算时，计算压力按下式计算：

$$p = p_c + \Delta p + \Delta p_s + \Delta p_{sa} \quad \dots\dots\dots (4)$$

附加压力 Δp 按以下原则确定：

额定压力小于 1.25 MPa 时， $\Delta p = 0.02$ MPa；

额定压力不小于 1.25 MPa 时， $\Delta p = 0.04(p_c + \Delta p_s + \Delta p_{sa})$ 。

当 $\Delta p_{sa} < 3\%(p_c + \Delta p + \Delta p_s)$ 时，可取 Δp_{sa} 等于零。

3.5.2 校核计算时，算得的元件最高允许计算压力 $[p]$ 包括 $[p]_s$ 、 Δp 、 Δp_s 和 Δp_{sa} 四项压力之和，锅炉出口处最高允许工作压力 $[p]_0$ 取各元件中的最小值。

4 承受内压力的圆筒形元件

4.1 符号说明

本章所用符号的意义和单位如下：

t_t ——理论计算厚度，mm；

t_{min} ——最小需要厚度，mm；

t ——取用厚度（简称“厚度”）、实际测量厚度，mm；

t_1 ——相连封头或扳边元件的厚度，mm；

t_e ——有效厚度，mm；

c ——考虑腐蚀减薄、材料厚度下偏差（为负值时）和工艺减薄的附加厚度，mm；

c_1 ——考虑腐蚀减薄的附加厚度，mm；

c_2 ——考虑材料厚度下偏差（为负值时）的附加厚度，mm；

c_3 ——考虑工艺减薄的附加厚度，mm；

D_n ——锅壳筒体内径、大横水管内径，mm；

D_w ——集箱筒体外径，mm；

p ——计算压力（表压），MPa；

$[p]$ ——最高允许计算压力（表压），MPa；

$[\sigma]$ ——许用应力，MPa；

φ_n ——焊缝减弱系数；

φ ——纵向孔桥减弱系数；

φ' ——横向孔桥减弱系数；

φ'' ——斜向孔桥减弱系数；

φ_0 ——斜向孔桥当量减弱系数；

φ_1 ——校核部位的当量减弱系数；

φ_{\min} ——最小减弱系数；

K ——斜向孔桥换算系数；

a ——斜向相邻两孔按圆筒平均直径展开的节距在圆筒圆周方向上的投影长度,mm；

b ——斜向相邻两孔按圆筒平均直径展开的节距在圆筒纵轴方向上的投影长度,mm；

n —— b 与 a 的比值(b/a)；

α ——孔的轴线偏离筒体径向的角度, (°)；

s_0 ——不考虑孔间影响的相邻两孔的最小节距,mm；

s ——纵向(轴向)相邻两孔的节距,mm；

s' ——横向(环向)相邻两孔按圆筒平均直径展开的节距,mm；

s'' ——斜向相邻两孔按圆筒平均直径展开的节距,mm；

d ——孔的直径、坡口型角焊管子或孔圈的内径、非受热部位插入式双面角焊管子或孔圈的内径,mm；

d_d ——孔的当量直径,mm；

d_p ——相邻两孔直径的平均值,mm；

d_w ——管子外径,mm；

m ——管子厚度下偏差(为负值时)与管子公称厚度的百分比绝对值, %；

A ——系数；

A_1 ——系数；

n_1 ——管子弯曲半径与管子外径的比值。

4.2 计算公式

4.2.1 锅壳筒体理论计算厚度按下式计算：

$$t_t = \frac{pD_o}{2\varphi_{\min}[\sigma] - p} \quad \dots\dots\dots (5)$$

锅壳筒体最小需要厚度按下式计算：

$$t_{\min} = t_t + c \quad \dots\dots\dots (6)$$

4.2.2 集箱筒体理论计算厚度按下式计算：

$$t_t = \frac{pD_w}{2\varphi_{\min}[\sigma] + p} \quad \dots\dots\dots (7)$$

其最小需要厚度 t_{\min} 按式(6)计算。

4.2.3 校核计算时,锅壳筒体及集箱筒体的最高允许计算压力按下列公式计算：

锅壳筒体
$$[\rho] = \frac{2\varphi_1[\sigma]t_r}{D_o + t_r} \quad \dots\dots\dots (8)$$

集箱筒体
$$[\rho] = \frac{2\varphi_1[\sigma]t_r}{D_w - t_r} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：有效厚度 t_r 按下式计算：

$$t_r = t - c \quad \dots\dots\dots (10)$$

当 t_r 按式(10)计算时,取 φ_1 等于 φ_{\min} ； t_r 也可取为校核部位的实际测量厚度减去以后可能的腐蚀减薄量,此时应以各校核部位相应的 φ_1 和 t_r 乘积的最小值代入式(8)或式(9)。此外,由式(8)、(9)算得的最高允许计算压力还应满足第12章孔的加强要求。

4.2.4 承受内压力管子的理论计算厚度按下式计算：

$$t_t = \frac{pd_w}{2[\sigma] + p} \quad \dots\dots\dots (11)$$

其最小需要厚度 t_{\min} 按式(6)计算。

4.2.5 校核计算时,承受内压力管子的最高允许计算压力按下式计算:

$$[p] = \frac{2[\sigma]t_r}{d_w - t_r} \dots\dots\dots (12)$$

4.2.6 立式锅炉大横水管取用厚度和最高允许计算压力按下列公式计算:

$$t \geq \frac{pD_n}{44} + 3 \dots\dots\dots (13)$$

$$[p] = \frac{44(t - 3)}{D_n} \dots\dots\dots (14)$$

上述公式适用于管子内径 D_n 为 102~300 mm 的情况。

4.3 减弱系数

4.3.1 式(5)和式(7)中的最小减弱系数 φ_{min} 取纵向焊缝减弱系数 φ_L 、纵向孔桥减弱系数 φ_L 两倍横向孔桥减弱系数 $2\varphi'$ (当 $2\varphi' > 1$ 时,取 $2\varphi' = 1.00$)及斜向孔桥当量减弱系数 φ_Q (当 $\varphi_Q > 1$ 时,取 $\varphi_Q = 1.00$)中的最小值。若孔桥位于焊缝上,应按 4.6.2 有关规定处理。

4.3.2 按锅炉制造技术条件检验合格的焊缝,其减弱系数 φ_L 按表 5 选取。若环向焊缝上无孔,则环向焊缝减弱系数可不予考虑。

表 5 对接焊缝减弱系数 φ_L

焊接方法	焊缝型式	φ_L
手工电焊	双面焊	0.95
	焊缝根部有垫板的单面焊	0.80
	单面焊	0.70
熔剂层下的自动焊	双面焊	1.00
	单面焊	0.80

4.3.3 相邻两孔的节距(纵向、横向或斜向)不小于按下式计算的值时,孔桥减弱系数可不必计算。

$$s_0 = d_p + 2\sqrt{(D_n + t)t} \dots\dots\dots (15)$$

式中: d_p 按式(21)确定。

4.3.4 相邻两孔的节距小于按式(15)确定的 s_0 值,且两孔直径均小于按 12.2.4 确定的未加强孔最大允许直径时,应按 4.3.6~4.3.13 的规定计算孔桥减弱系数。

若相邻两孔中的一个孔的直径大于按 12.2.4 确定的未加强孔最大允许直径,应在满足 12.6.1 所要求的条件下,按 12.2.5~12.2.7 的规定进行加强,加强后按无孔处理。

4.3.5 对于立式锅炉筒体上的加煤孔、出渣孔等,均应按 12.2.5~12.2.7 的规定进行加强,加强后按无孔处理。加煤孔圈、出渣孔圈等最小需要厚度按 12.3.4 确定。

4.3.6 等直径纵向相邻两孔(图 1)的孔桥减弱系数按下式计算:

$$\varphi = \frac{s - d}{s} \dots\dots\dots (16)$$

4.3.7 等直径横向相邻两孔(图 2)的孔桥减弱系数按下式计算:

$$\varphi' = \frac{s' - d}{s'} \dots\dots\dots (17)$$

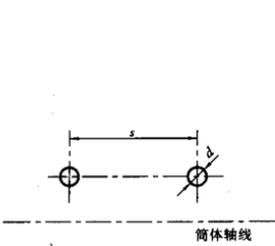


图 1 纵向孔桥

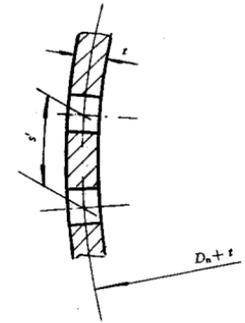
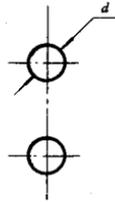


图 2 横向孔桥

4.3.8 等直径斜向相邻两孔(图 3)的孔桥当量减弱系数按下式计算:

$$\varphi_0 = K\varphi'' \quad \dots\dots\dots(18)$$

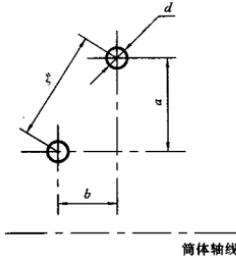


图 3 斜向孔桥

斜向孔桥换算系数 K 按下式计算:

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0.75}{(1+n^2)^2}}} \quad \dots\dots\dots(19)$$

当 $n \geq 2.4$ 时,可取 $K=1$,此时 $\varphi_0 = \varphi''$ 。

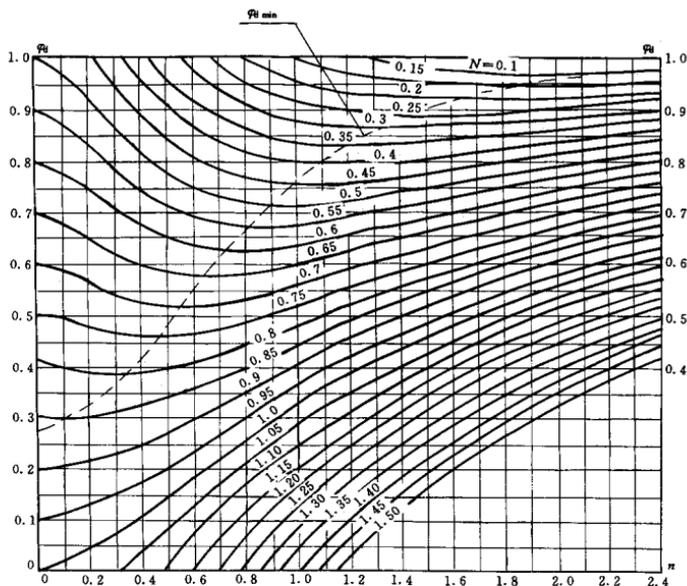
斜向孔桥减弱系数 φ'' 按下式计算:

$$\varphi'' = \frac{s'' - d}{s''} \quad \dots\dots\dots(20)$$

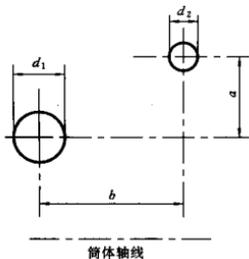
式中: $s'' = a \sqrt{1+n^2}$

当 $\varphi_0 > 1$ 时,取 $\varphi_0 = 1.00$ 。

φ_0 也可按线算图(图 4)直接查取。



注：图中虚线为各条曲线极小值的连线。



$$N = \frac{d_1 + d_2}{2a}$$

$$n = \frac{b}{a}$$

图 4 确定 \$\varphi_0\$ 值的线算图

4.3.9 若相邻两孔直径不同,在计算孔桥减弱系数时,式(16)、(17)及(20)中的直径 \$d\$ 取相邻两孔的平均值 \$d_p\$,即

$$d_p = \frac{d_1 + d_2}{2} \dots\dots\dots (21)$$

4.3.10 计算凹座开孔(图 5)的孔桥减弱系数时,式(16)、(17)及(20)中的直径 \$d\$ 以当量直径 \$d_a\$ 代入, \$d_a\$ 按下式计算:

$$d_a = d_1 + \frac{h}{t}(d_1' - d_1) \dots\dots\dots (22)$$

4.3.11 如孔排中的孔为非径向孔(图 6),计算孔桥减弱系数时,式(16)、(17)及(20)中的直径 \$d\$ 以当量直径 \$d_a\$ 代入, \$d_a\$ 按如下规定确定:

纵向孔桥

$$d_0 = d$$

横向孔桥

$$d_0 = \frac{d}{\cos \alpha} \dots\dots\dots (23)$$

斜向孔桥

$$d_0 = d \sqrt{\frac{n^2 + 1}{n^2 + \cos^2 \alpha}} \dots\dots\dots (24)$$

α 不应大于 45° 。

非径向孔宜经机械加工或仿形气割成形。

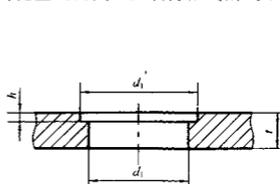
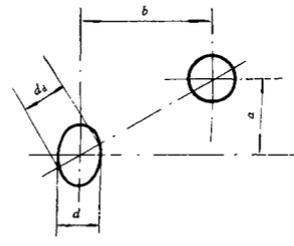
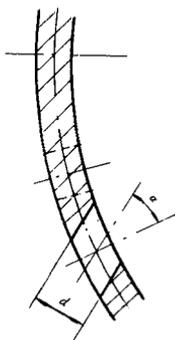


图 5 具有凹座的孔



筒体轴线

图 6 非径向孔

4.3.12 对于椭圆孔,计算孔桥减弱系数时,孔径 d 按该孔沿相应节距方向上的尺寸确定。

4.3.13 孔桥减弱系数可借助坡口型角焊结构的管接头多余厚度的加强作用予以提高,其应用条件、结构要求与计算方法见 12.6。

4.4 附加厚度

4.4.1 锅壳筒体的附加厚度 c 按下式计算:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 \dots\dots\dots (25)$$

考虑腐蚀减薄的附加厚度 c_1 一般取 0.5 mm,若腐蚀减薄量超过 0.5 mm,则取实际可能的腐蚀减薄值。

考虑材料厚度下偏差(为负值时)的附加厚度 c_2 按有关材料标准确定。

考虑工艺减薄的附加厚度 c_3 应根据具体工艺情况而定:一般情况下,冷卷后冷校的锅壳筒体,可取为零;冷卷后热校的锅壳筒体,可取为 1 mm;热卷后热校的锅壳筒体,可取为 2 mm。

4.4.2 直集箱筒体和直水管的附加厚度

4.4.2.1 设计计算时,直集箱筒体和直水管的附加厚度按式(25)计算,其中 c_1 按 4.4.1 原则处理, c_2 取为零, c_3 按下式计算:

$$c_3 = At, \dots\dots\dots (26)$$

式中:系数 A 按下式计算:

$$A = \frac{m}{100 - m} \dots\dots\dots (27)$$

A 值也可按表 6 选取。

表 6 系数 A

m, %	18	15	12.5	10	5	0
A	0.22	0.18	0.14	0.11	0.05	0

4.4.2.2 校核计算时,直集箱筒体和直水管的附加厚度 c 按下式计算:

$$c = \frac{At + c_1}{1 + A} \quad \dots\dots\dots (28)$$

4.4.3 环形集箱筒体和弯水管的附加厚度

4.4.3.1 设计计算时,环形集箱筒体和弯水管的附加厚度按式(25)计算,其中 c_1 按 4.4.1 原则处理, $c_2 + c_3$ 按下式计算:

$$c_2 + c_3 = A_1 t_1 \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中:系数 A_1 按下述规定选取:

a. $n_1 < 1.8$ 时, A_1 按下式计算:

$$A_1 = \frac{50}{n_1(4n_1 + 1)} + m \quad \dots\dots\dots (30)$$

b. $1.8 \leq n_1 \leq 3.5$ 时, A_1 按表 7 选取。

表 7 系数 A_1

m, %	18	15	12.5	10	5	0
A_1	0.26	0.22	0.18	0.15	0.09	0.03

c. $n_1 > 3.5$ 时, A_1 按表 6 中的 A 选取。

4.4.3.2 校核计算时,环形集箱筒体和弯水管的附加厚度 c 按下式计算:

$$c = \frac{A_1 t + c_1}{1 + A_1} \quad \dots\dots\dots (31)$$

4.5 厚度限制

4.5.1 锅壳内径 D_n 大于 1 000 mm 时,锅壳筒体的取用厚度不宜小于 6 mm;锅壳内径 D_n 不大于 1 000 mm 时,锅壳筒体的取用厚度不宜小于 4 mm。

4.5.2 立式锅炉大横水管的取用厚度不宜小于 6 mm。

4.5.3 不绝热的锅壳置于烟温不小于 600°C 的烟道或炉膛内时,取用厚度不应大于表 8 所列数值。

表 8 不绝热锅壳的最大允许厚度

mm

工 作 条 件	最大允许厚度
在烟温大于 900°C 的烟道或炉膛内	26
在烟温为 600°C~900°C 之间的烟道内	30

4.6 结构要求

4.6.1 对于胀接管孔,孔桥减弱系数 φ 、 φ' 及 φ'' 均不应小于 0.3;胀接管孔中心与焊缝边缘的距离不应小于 0.8 d ,且不小于 0.5 $d + 12$ mm;在纵焊缝上不得有胀接管孔,若需在环缝上开胀接管孔应符合“锅炉安全技术监察规程”的要求。

4.6.2 焊接管孔应尽量避免开在主焊缝上,并避免管孔焊缝边缘与相邻主焊缝边缘的净间距小于 10 mm。如不能避免时,应满足下列二条要求:

a. 距管孔中心 1.5 倍管孔直径(当管孔直径小于 60 mm 时,为 0.5 $d + 60$ mm)范围内的主焊缝经射线探伤合格,且孔周边不应有夹渣;

b. 管子或管接头焊后经热处理或局部热处理消除残余应力。

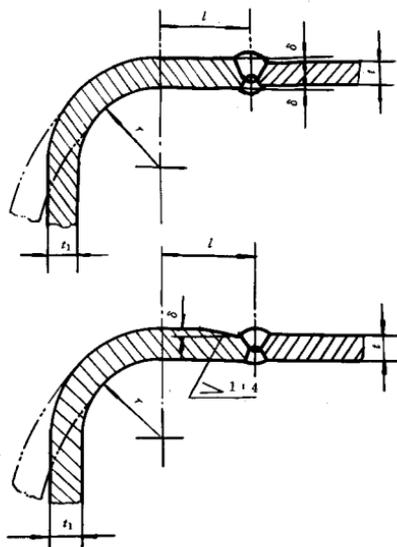
此时,该部位的减弱系数取孔桥减弱系数与焊缝减弱系数的乘积。

相邻焊接管孔焊缝边缘的净间距不宜小于 6 mm, 如焊后经热处理或局部热处理, 则不受此限。

4.6.3 锅壳筒体与扳边的平管板或凸形封头的连接型式如图 7 所示。

4.6.4 锅壳筒体与平管板采用坡口型角焊连接时, 应符合如下规定:

- 锅炉的额定压力应不大于 1.6 MPa;
- 烟温不大于 600℃ 部位(不受烟气冲刷部位, 且采用可靠绝热时, 可不受此限);
- 必须采用全焊透且经机械加工的坡口型式(参见图 8);
- 连接焊缝应全部位于筒体上;
- 连接焊缝的厚度应不小于管板的厚度, 且其焊缝背部能封焊的部位均应封焊, 不能封焊的部位应采用氩弧焊打底, 并应保证焊透;
- 焊缝应按规定进行超声波探伤;
- 采用此种结构时, 应遵守国家锅炉监察部门的有关规定。



mm

扳边元件的厚度 t_1	扳边元件直段长度 l	扳边内半径 r	对接边缘偏差 δ
<10	≥ 25	平板或管板见 7.2.11; 扁球形封头见 6.3.7	$\leq 0.1t_1 + 1$, 且 ≤ 4
10~20	$\geq t_1 + 15$		
>20	$\geq 0.5t_1 + 25$		

注: 当 δ 超过表中规定值时, 应进行削薄, 削薄长度不应小于削薄厚度的 4 倍(见图)。

图 7 锅壳筒体与扳边的平管板或凸形封头的连接

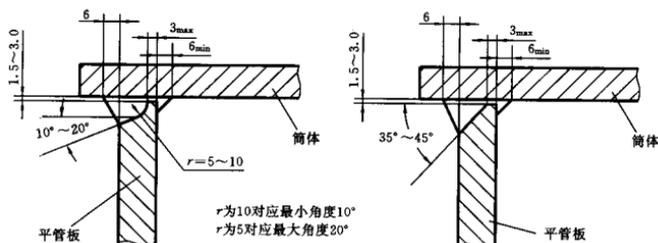


图8 钢壳筒体与平管板连接的坡口型角焊结构(参考图)

5 承受外压力的圆筒形炉胆、冲天管、烟管和其他元件

5.1 符号说明

本章所用符号的意义和单位如下:

t_{\min} ——最小需要厚度,mm;

t ——取用厚度(简称“厚度”)、实际测量厚度,mm;

t_1 ——加强圈厚度,mm;

h_1 ——加强圈高度,mm;

D_p ——炉胆平均直径、波形炉胆平直部分的平均直径,mm;

D_a ——炉胆、冲天管内径,mm;

D_w ——炉胆外径,mm;

h_w ——炉胆顶外高度,mm;

d_w ——烟管外径,mm;

L ——计算长度,mm;

X ——计算长度增值,mm;

α ——孔的轴线偏离筒体径向的角度,(°);

p ——计算压力(表压),MPa;

$[p]$ ——最高允许计算压力(表压),MPa;

$[\sigma]$ ——许用应力,MPa;

σ_b ——常温抗拉强度,MPa;

σ'_s ——计算壁温时的屈服点,MPa;

E' ——计算壁温时的弹性模量,MPa;

u ——圆度百分率;

φ_{\min} ——最小减弱系数;

n_1 ——强度安全系数;

n_2 ——稳定安全系数;

I_b ——波纹截面对其自身中性轴的惯性矩,mm⁴;

I_1 ——加强圈对其自身中性轴的惯性矩,mm⁴;

I_p ——膨胀环对其自身中性轴的惯性矩,mm⁴;

I', I'', I''' ——所需要的惯性矩,mm⁴;

s ——波形炉胆的波纹节距,mm;

W ——波形炉胆的波纹深度,mm;

- R_0 ——波形炉胆的波纹中半径,mm;
 r ——波形炉胆的波纹内半径,mm;
 R ——波形炉胆的波纹外半径,mm;
 α' ——半夹角,rad(弧度);
 a ——中性轴 X—X 与通过圆心的轴线 X_0 — X_0 的距离,mm。

5.2 圆筒形炉胆

5.2.1 平直炉胆

5.2.1.1 卧式平直炉胆最小需要厚度按下列公式计算,取两者较大值。

$$t_{\min} = \frac{B}{2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{0.12D_p u}{B \left(1 + \frac{D_p}{0.3L} \right)}} \right] + 1 \quad \dots\dots\dots (32)$$

式中:

$$B = \frac{\rho D_p n_1}{2\sigma_s \left(1 + \frac{D_p}{15L} \right)} \quad \dots\dots\dots (33)$$

$$t_{\min} = D_p^{0.6} \left(\frac{\rho L n_2}{1.73E'} \right)^{0.4} + 1 \quad \dots\dots\dots (34)$$

5.2.1.2 校核计算时,卧式平直炉胆的最高允许计算压力按下列公式计算,取两者较小值。

$$[\rho] = \frac{2\sigma_s'(t-1)}{n_1 D_p} \left[\frac{1 + \frac{D_p}{15L}}{1 + \frac{0.03D_p u}{(t-1) \left(1 + \frac{D_p}{0.3L} \right)}} \right] \quad \dots\dots\dots (35)$$

$$[\rho] = \frac{1.73E'(t-1)^{2.5}}{LD_p^{1.5} n_2} \quad \dots\dots\dots (36)$$

5.2.1.3 立式平直炉胆的最小需要厚度和最高允许计算压力按下列公式计算:

$$t_{\min} = 1.5 \frac{\rho D_n}{\varphi_{\min} \sigma_b} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4.4L}{\rho(L + D_n)}} \right] + 2 \quad \dots\dots\dots (37)$$

$$[\rho] = \frac{\varphi_{\min} \sigma_b (t-2)}{1.5D_n \left[\frac{6.6LD_n}{\varphi_{\min} \sigma_b (L + D_n) (t-2)} + 2 \right]} \quad \dots\dots\dots (38)$$

5.2.1.4 立式平直炉胆上布置孔排时,最小减弱系数按以下规定确定:

a. 多横水管锅炉(图9)、水冷炉排锅炉(图10)的 $\varphi_{\min} = 1.00$,但 α 不应大于 45° ,非径向孔宜经机械加工或仿形气割成形,两侧边缘管孔的焊缝尺寸应满足图39要求;

b. 弯水管锅炉(图11)的 φ_{\min} 按4.3确定(带有冲天管时,取横向减弱系数 $\varphi' = 1.00$);如采用坡口型角焊,可按12.6的规定提高减弱系数。

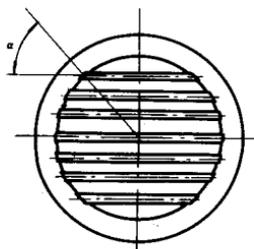
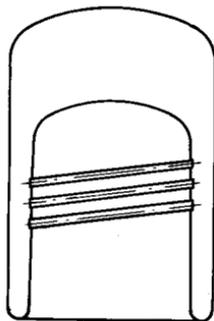


图 9 多横水管锅炉

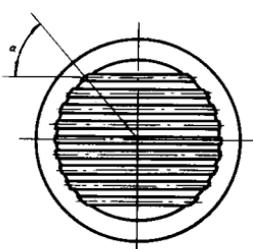
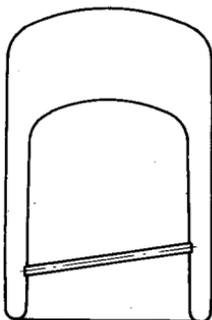


图 10 水冷炉排锅炉

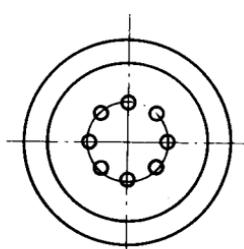
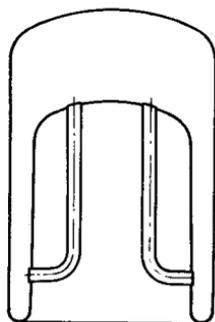


图 11 弯水管锅炉

5.2.1.5 炉胆的计算长度 L 按以下规定确定:

- 炉胆与平管板或凸形封头连接处,是板边对接焊时,以板边起点作为计算支点—— L 的起算点;是坡口型角焊时,以角焊根部作为计算支点;
- 平直炉胆用膨胀环连接时,以膨胀环中心线作为计算支点(图 19);
- 平直炉胆上焊以加强圈时,以加强圈横向中心线作为计算支点(图 18);
- 立式锅炉平直炉胆在环向装有拉杆时,如拉杆的节距不超过炉胆厚度的 14 倍,可取这一圈拉杆的中心线作为计算支点,拉杆直径不应小于 18 mm;
- 立式锅炉平直炉胆与凸形炉胆顶相连时,计算支点如图 12 所示,其中 X 值取自表 9。

表 9 X 值

h_w/D_w	0.169	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5
X/D_w	0.07	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20

注:相邻两个数值间的 X/D_w 采用算术内插法确定。

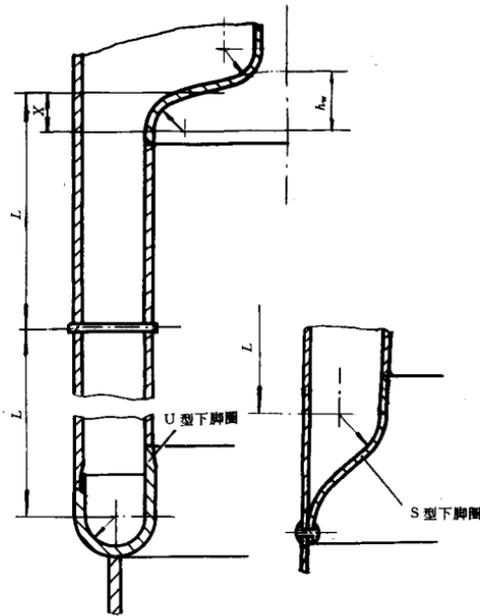


图 12 立式锅炉平直炉胆计算长度 L 的起算点

5.2.1.6 对于有锥度的平直炉胆(图 13), 内径 D_n 取 D'_n 与 D''_n 之和的一半。

5.2.1.7 圆度百分率 u 按下式计算:

$$u = \frac{200(D_{w \max} - D_{w \min})}{D_{w \max} + D_{w \min}} \dots\dots\dots (39)$$

对于平直炉胆, 一般取 $u=1.5$ 。

5.2.1.8 卧式平直炉胆强度安全系数 n_1 与稳定安全系数 n_2 按表 10 选取。

表 10 安全系数 n_1, n_2

锅 炉 级 别	n_1	n_2
$p \leq 0.38 \text{ MPa}$, 且 $pD_s \leq 480 \text{ MPa mm}$	3.5	3.9
其他情况	2.5	3.0

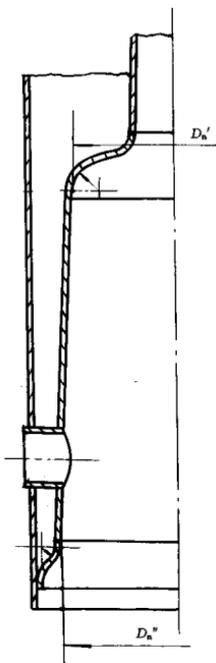


图 13 带有锥度的平直炉胆

5.2.1.9 计算壁温 t_{bl} 时的屈服点 σ_s 按 3.3.2 有关规定确定。

5.2.1.10 材料的弹性模量 E' 按表 11 确定。

表 11 材料的弹性模量 E'

计算壁温 t_{bl} , °C	250	300	350	400	450
弹性模量 E' , MPa	195×10^3	191×10^3	186×10^3	181×10^3	178×10^3

注：相邻两数值间的 E' 值采用算术内插法确定。

5.2.1.11 立式平直炉胆上的加煤孔、出渣孔等，均应按 12.3 的规定进行加强，加强后按无孔处理。

5.2.2 波形炉胆

5.2.2.1 波形炉胆(图 14)的最小需要厚度按下式计算：

$$t_{\min} = \frac{pD_w}{2[\sigma]} + 1 \quad \dots\dots\dots (40)$$

5.2.2.2 校核计算时，最高允许计算压力按下式计算：

$$[p] = \frac{2(t-1)[\sigma]}{D_w} \quad \dots\dots\dots (41)$$

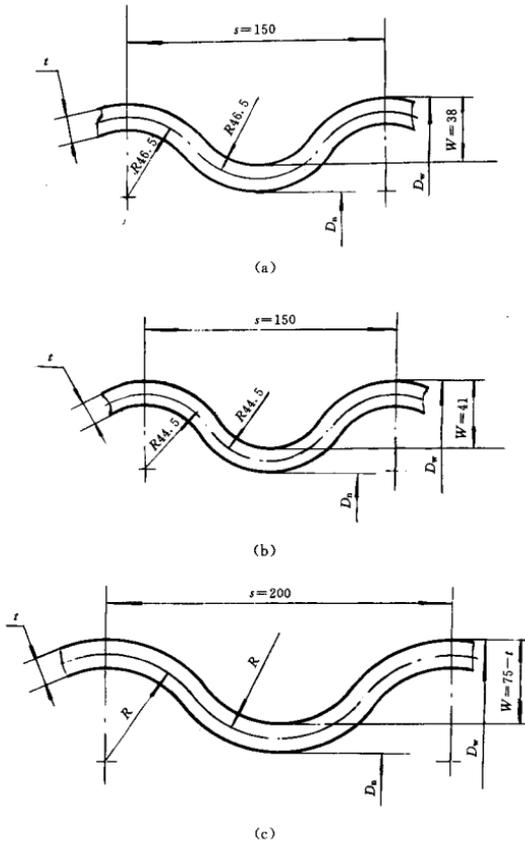


图 14 波形炉胆(参考图)

5.2.2.3 波形炉胆彼此连接处,各自平直部分的长度不应超过 125 mm(图 15)。

5.2.2.4 波形炉胆与平管板或凸形封头连接处的平直部分长度不应超过 250 mm,否则,按 5.2.3.1 处理。

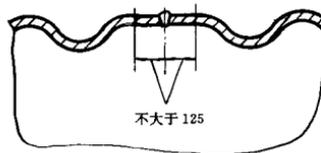


图 15 波形炉胆连接处平直部分尺寸

5.2.3 平直与波形组合炉胆

5.2.3.1 对于平直与波形组合炉胆(平直部分长度超过 250 mm),波形部分的最小需要厚度及最高允

许计算压力按式(40)、(41)计算;而平直部分的最小需要厚度与最高允许计算压力按式(32)~(34)与式(35)、(36)计算,其计算长度 L 取最边缘一节波纹的中心线至计算支点(5.2.1.5a)之间的距离(图16)。同时,要求最边缘一节波纹的惯性矩 I_b 不小于按下式算出的需要惯性矩 I' ,即:

$$I_b \geq I' = \frac{pL_2 D_0^3}{1.33 \times 10^6} \quad \dots\dots\dots(42)$$

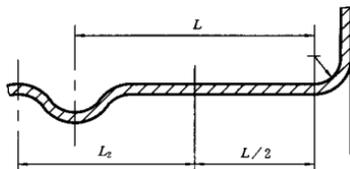


图16 平直与波形组合炉胆平直部分的计算长度 L

由扇形圆环组成的波形炉胆中一节波纹对其自身中性轴 $X-X$ (图17)的惯性矩 I_b 按下式计算:

$$I_b = \frac{R^4 - r^4}{4} [2\alpha' + \sin(2\alpha')] - \frac{8}{3} a (R^3 - r^3) \sin \alpha' + 2a^2 (R^2 - r^2) \alpha' \quad \dots\dots\dots(43)$$

式(43)中 R 、 r 、 α' 、 a 分别按下列公式计算:

$$R = R_0 + \frac{t}{2} \quad \dots\dots\dots(44)$$

$$r = R_0 - \frac{t}{2} \quad \dots\dots\dots(45)$$

$$\alpha' = \arcsin\left(\frac{s}{4R_0}\right) \quad \dots\dots\dots(46)$$

$$a = R_0 \cos \alpha' \quad \dots\dots\dots(47)$$

式(44)~(47)中 R_0 按下式计算:

$$R_0 = \frac{s^2}{16W} + \frac{W}{4} \quad \dots\dots\dots(48)$$

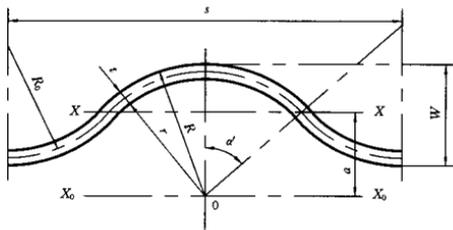


图17 波纹几何特性

常用波纹(图14)对其自身中性轴的惯性矩 I_b 如表12所示。

表 12 波纹截面对其自身中性轴的惯性矩 I_b

10^4 mm^4

I_b		t mm												
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
图 14(a)	节距 150 波深 38	31.8	35.6	39.5	43.5	47.7	52	56.5	61	65.9	70.9	76.1	81.5	87.2
图 14(b)	节距 150 波深 41	37.6	42.1	46.7	51.4	56.2	61.2	66.3	71.7	77.2	82.9	88.8	94.5	101.3
图 14(c)	节距 200 波深 $75-t$	129.2	138.7	147.5	155.7	163.3	170.3	176.8	182.9	188.4	193.5	198.3	202.7	206.8

注：表中所给出的 I_b 值已考虑了厚度减薄量，例如，对于 $t=10 \text{ mm}$ ，表中 I_b 值是按 9 mm 计算的。

5.2.3.2 如式(42)未能满足，可在炉胆平直部分设置加强圈(图 18)用以减小 L_2 ，以满足式(42)的要求。

5.2.4 加强圈与膨胀环

5.2.4.1 加强圈截面对其自身中性轴的惯性矩 I_j 按下式计算：

$$I_j = \frac{t_j h_j^3}{12} \dots\dots\dots (49)$$

它不应小于按下式算出的需要惯性矩 I'' ，即

$$I_j \geq I'' = \frac{\rho L_0 D_p^3}{1.33 \times 10^6} \dots\dots\dots (50)$$

式(50)中承压长度 L_0 按各计算支点均分原则处理，例如对图 18 中加强圈， L_0 为 L_1 与 L 之和的一半。

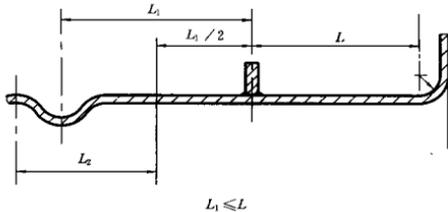


图 18 炉胆平直部分设置加强圈

5.2.4.2 膨胀环(图 19)截面对其自身中性轴的惯性矩 I_p 如表 13 所示，它不应小于按下式算出的需要惯性矩 I'' ，即

$$I_p \geq I'' = \frac{\rho L_0 D_p^3}{1.33 \times 10^6} \dots\dots\dots (51)$$

式(51)中承压长度 L_0 按 5.2.4.1 所述原则处理。

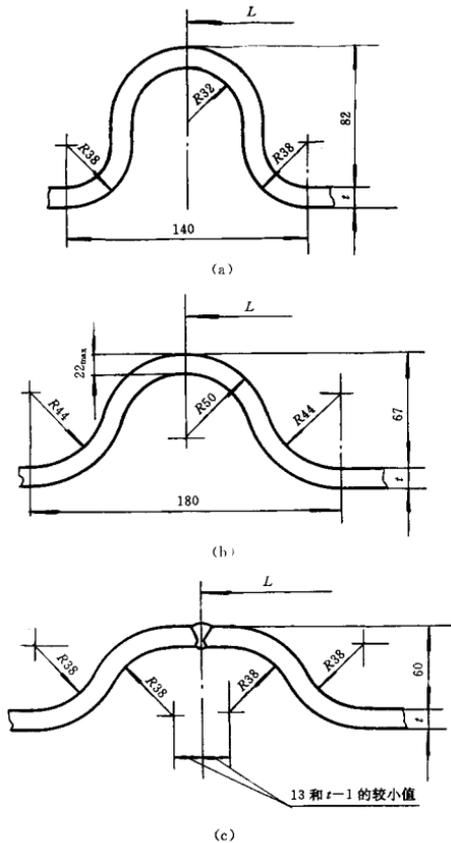


图 19 膨胀环(参考图)

表 13 膨胀环对其自身中性轴的惯性矩 I_p

10^4 mm^4

I_p \ t mm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
图 19(a)	189	210	231	252	273	295	317	339	361	384	407	430	454
图 19(b)	130	144	159	174	190	204	220	236	252	268	284	301	318
图 19(c)	114	128	141	155	170	186	204	222	241	260	280	301	322

注：表中所给出的 I_p 值已考虑了厚度减薄量，例如，对于 $t=10 \text{ mm}$ ，表中 I_p 值是按 9 mm 计算的。

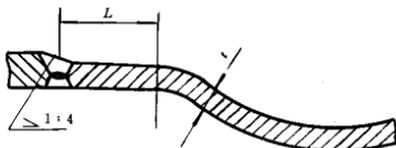
5.2.5 结构要求

5.2.5.1 平直或波形炉胆的内径 D ，不应大于 1800 mm 。

5.2.5.2 平直或波形炉胆的取用厚度不应小于 8 mm ，且不应大于 22 mm ；当炉胆内径不大于 400 mm 时，其取用厚度应不小于 6 mm 。

5.2.5.3 卧式平直炉胆计算长度一般不宜超过 2 000 mm,如炉胆两端均为扳边连接,则计算长度可放大至 3 000 mm。超过上述规定时,应采用膨胀环或波形炉胆来提高柔性,此时,波纹部分的长度应不小于炉胆全长的三分之一。

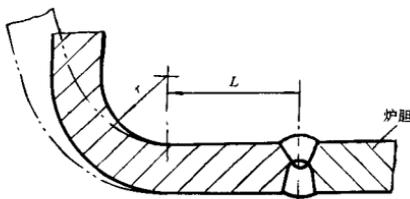
5.2.5.4 平直炉胆与波形炉胆的连接结构如图 20 所示。平直炉胆与波形炉胆的波纹顶部、底部或中部对齐均可。



注: L 见图 7 中的表。

图 20 波形炉胆与平直炉胆的连接

5.2.5.5 卧式炉胆与平管板或凸形封头的连接结构如图 21 所示。如采用坡口型角焊连接,应按 4.6.4 的规定处理。



注: L 见图 7 中的表; r 见 7.2.11。

图 21 卧式炉胆与平管板或凸形封头的连接

5.2.5.6 加强圈的厚度 t_j 应不小于 t ,但不大于 $2t$ 或 22 mm(图 22a)。如大于 22 mm,应将底部削薄,削薄后的根部厚度不应大于 22 mm(图 22b)。加强圈高度 h_j 应不大于 $6t_j$ 。

加强圈与炉胆的焊接必须采用全焊透型(图 22)。

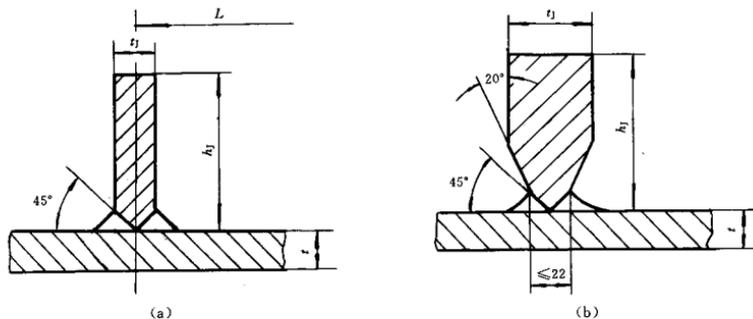


图 22 加强圈

5.3 圆筒形湿背回燃室

5.3.1 卧式内燃锅炉的回燃室筒体按卧式炉胆计算,如为焊接所需而削薄两端部时,削薄部分厚度无需另行计算。

5.3.2 回燃室筒体的取用厚度应不大于 35 mm,且不应小于 10 mm。

5.4 冲天管

5.4.1 立式锅炉冲天管的最小需要厚度和最高允许计算压力按式(37)、(38)计算,取 $\varphi_{\min}=1.00$;对于蒸汽锅炉,附加厚度由 2 mm 增至 4 mm。

5.4.2 冲天管计算长度 L 按 5.2.1.5a 处理。

5.5 烟管

5.5.1 承受外压力烟管(包括波纹管)的最小需要厚度和最高允许计算压力按下列公式计算:

$$t_{\min} = \frac{pd_w}{70} + 1.5 \quad \dots\dots\dots (52)$$

$$[p] = \frac{70(t - 1.5)}{d_w} \quad \dots\dots\dots (53)$$

6 凸形封头、炉胆顶、半球形炉胆和凸形管板

6.1 符号说明

本章所用符号的意义和单位如下:

t_{\min} ——最小需要厚度,mm;

t ——取用厚度(简称“厚度”)、实际测量厚度,mm;

t_y ——有效厚度,mm;

t_1 ——焊接圈厚度,mm;

D_n ——内径,mm;

D_{nd} ——当量内径,mm;

h_n ——内高度,mm;

R_n ——内曲率半径,mm;

r ——扳边内半径,mm;

p ——计算压力(表压),MPa;

$[p]$ ——最高允许计算压力(表压),MPa;

$[\sigma]$ ——许用应力,MPa;

Y ——形状系数;

φ ——减弱系数;

φ_1 ——孔桥减弱系数;

φ_2 ——焊缝减弱系数;

d ——孔的直径、扳边孔或焊接圈的内径、椭圆孔在规定方向的尺寸,mm;

s_{\min} ——两相邻管孔中心线与厚度中线交点的最小展开尺寸,mm;

c ——考虑腐蚀减薄、材料厚度下偏差(为负值时)和工艺减薄的附加厚度,mm;

c_1 ——考虑腐蚀减薄的附加厚度,mm;

c_2 ——考虑材料厚度下偏差(为负值时)的附加厚度,mm;

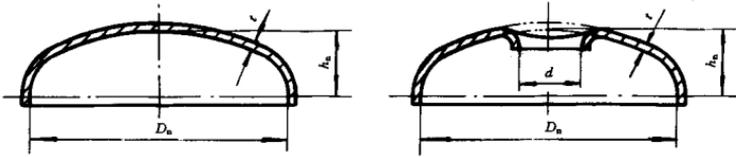
c_3 ——考虑工艺减薄的附加厚度,mm;

α ——孔的轴线偏离凸形元件法线的角度,(°)。

6.2 椭球形和半球形元件

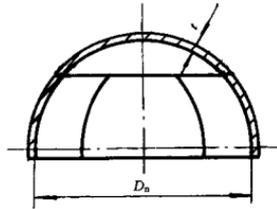
6.2.1 椭球形和半球形元件(图 23)的最小需要厚度按下式计算:

$$t_{\min} = \frac{pD_n Y}{2\varphi[\sigma] - 0.5p} + c \quad \dots\dots\dots (54)$$



(a) 椭圆形无孔封头

(b) 椭圆形有孔封头



(c) 半球形封头

图 23 椭圆形和半球形元件

6.2.2 校核计算时,椭圆形和半球形元件的最高允许计算压力按下式计算:

$$[p] = \frac{2\varphi[\sigma]t_y}{D_n Y + 0.5t_y} \quad \dots\dots\dots (55)$$

式中: t_y 按下式计算:

$$t_y = t - c \quad \dots\dots\dots (56)$$

t_y 也可取为实际测量最小厚度减去以后可能的腐蚀减薄量。

6.2.3 式(54)、(55)只有满足下列条件时才有效:

$$\frac{h_n}{D_n} \geq 0.2; \quad \frac{t_{\min} - c}{D_n} \leq 0.1; \quad \frac{d}{D_n} \leq 0.6$$

其中 d 取长轴尺寸。

6.2.4 计算压力取相连元件的计算压力,计算壁温按表 4 选取。

6.2.5 形状系数按下式计算:

$$Y = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_n}{2h_n} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (57)$$

6.2.6 凹面受压凸形封头的减弱系数 φ 按表 14 选取。

表 14 减弱系数 φ

结构型式	φ
无孔无拼接焊缝	1.00
无孔有拼接焊缝	$\varphi_b^{1)}$
有孔无拼接焊缝	$1 - \frac{d^{2.5}}{D_n}$
有孔有拼接焊缝,但二者不重合 ²⁾	取 φ_b 和 $1 - \frac{d}{D_n}$ 中较小者
有孔有拼接焊缝,且二者重合 ³⁾	$\varphi_b \left(1 - \frac{d}{D_n} \right)$

注: 1) 焊缝减弱系数 φ_b 按表 5 选取。

2) 对于椭圆孔圈, d 取长轴内尺寸。

3) 接管焊缝边缘与主焊缝边缘的净距离大于 10 mm 为不重合, 不大于 10 mm 为重合。

6.2.7 对于凸面受压的炉胆顶、半球形炉胆, 取减弱系数 $\varphi=1.00$ 。

6.2.8 如凹面受压的凸形封头有孔排时, 若孔桥减弱系数

$$\varphi_1 = \frac{s_{\min} - d}{s_{\min}} \dots\dots\dots (58)$$

小于按表 14 确定的减弱系数 φ 时, 则式(54)及(55)中的 φ 用 φ_1 代入。

6.2.9 如凸面受压的炉胆顶上有孔排时, 若按式(58)确定的 φ_1 不小于表 3 给出的炉胆顶修正系数 η 时, 则不必考虑孔排的影响; 若 φ_1 小于 η 时, 则式(54)及(55)中的 φ 用 φ_1 代入, 与此同时, 取基本许用应力修正系数 $\eta=1.00$ 。

6.2.10 附加厚度按下式计算:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 \dots\dots\dots (59)$$

其中腐蚀减薄的附加厚度 c_1 一般取为 0.5 mm, 若腐蚀减薄量超过 0.5 mm, 则取实际可能的腐蚀减薄值。考虑材料厚度下偏差(为负值时)的附加厚度 c_2 按有关材料标准确定。考虑工艺减薄的附加厚度 c_3 应根据具体工艺情况而定, 一般情况下, 冲压工艺减薄量可取 0.1 t 。

6.2.11 椭球形和半球形元件圆筒形部分(直段部分)最小需要厚度不应小于按 4.2.1 所确定的值, 最高允许计算压力不应大于按 4.2.3 所确定的值。计算时, 取 $\varphi_{\min}=1.00$, c 按 6.2.10 确定。封头的取用厚度不应小于 6 mm, 炉胆顶和半球形炉胆的取用厚度不应小于 8 mm, 且半球形炉胆的取用厚度也不应大于 22 mm。

6.2.12 封头上开孔应遵守下列要求:

- 对于封头上的炉胆孔, 两孔边缘之间的投影距离不应小于其中较小孔的直径(图 24), 此时, 不计孔桥的减弱;
- 炉胆孔边缘至封头边缘之间的投影距离不宜小于 $0.1D_n+t$ (图 24);
- 位于人孔附近的小孔, 应使小孔边缘与人孔扳边起点之间的距离或者与焊缝边缘之间的距离不小于 t (图 25);
- 扳边孔不得开在焊缝上。

6.2.13 为减小封头厚度而对孔进行加强时, 应按 12.4 中有关规定进行加强计算。

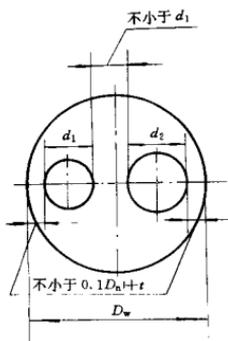


图 24 封头开孔的要求

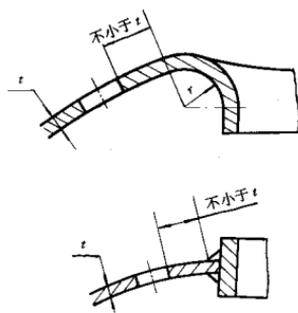


图 25 封头开孔的要求

6.3 扁球形元件

6.3.1 扁球形元件(图 26)的最小需要厚度按下式计算:

$$t_{\min} = \frac{\rho R_n}{2\varphi_3[\sigma]} + c \quad \dots\dots\dots (60)$$

6.3.2 校核计算时,扁球形元件的最高允许计算压力按下式计算:

$$[\rho] = \frac{2\varphi_3[\sigma]t_r}{R_n} \quad \dots\dots\dots (61)$$

式中: t_r 按式(56)计算,也可取为实际测量最小厚度减去以后可能的腐蚀减薄值。

6.3.3 计算压力取相连元件的计算压力,计算壁温按表 4 选取。

6.3.4 焊缝减弱系数 φ_3 按表 5 选取。人孔、头孔应满足 12.7 要求,但不计人孔、头孔的减弱。

6.3.5 附加厚度 c 按 6.2.10 规定确定。

6.3.6 扁球形元件圆筒形部分(直段部分)的最小需要厚度不应小于按 4.2.1 所确定的值,最高允许计算压力不应大于按 4.2.3 所确定的值。计算时,取 $\varphi_{\min} = 1.00$, c 按 6.2.10 确定。封头取用厚度不应小于 6 mm,炉胆顶的取用厚度不应小于 8 mm。

6.3.7 扁球形元件的内曲率半径 R_n ,不应大于其内径 D_n 。扳边内半径 r 不应小于相连元件厚度的 4 倍,且至少应为 64 mm。扳边内半径 r' 不应小于炉胆顶厚度的 2 倍,且至少应为 25 mm(图 26)。

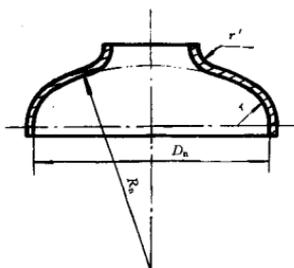


图 26 扁球形元件

6.4 凸形管板

6.4.1 椭球形管板(图 27)

6.4.1.1 椭球形管板按 6.2.1~6.2.11 有关规定确定,但不计烟管孔排的影响。

边缘管孔中心线与管板外表面交点的法线所形成的夹角 α 不应大于 45° ,管孔直径机械加工或仿形气割成形。

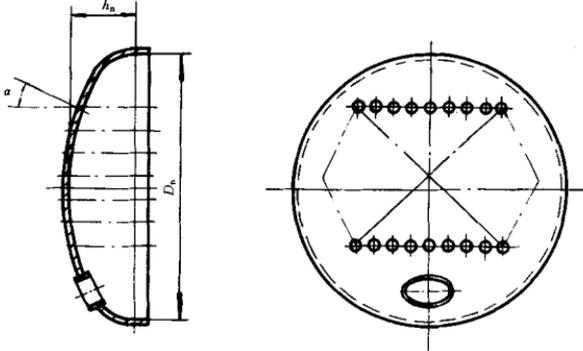


图 27 椭球形管板

6.4.2 拱形管板(图 28)。

6.4.2.1 拱形管板中由不同椭圆线构成的凸形部分按 6.2.1~6.2.11 有关规定确定。式(54)、(55)、(57)中的 D_n 用当量内径 D_{nd} 代入, D_{nd} 取二倍椭圆长半轴,而长半轴近似由边缘烟管排中心线起算,即 $D_{nd}=2\bar{a}'b$; 6.2.3 中的 D_n 用当量内径 D_{nd}' 代入,取 $D_{nd}'=2\bar{a}'b$ (见图 28)。

6.4.2.2 拱形管板的平直部分按 7.3 烟管束区以内的平板有关规定确定,边缘部分(图 28 中斜线所示部分)一般宽度不大,可不进行校核。

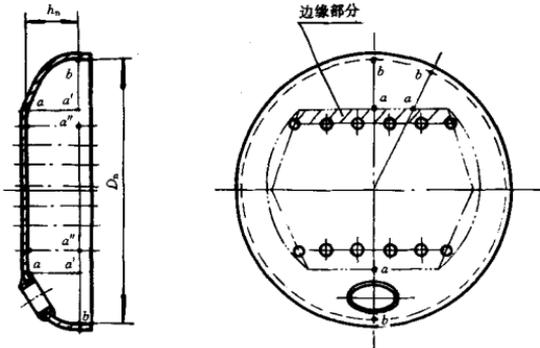


图 28 拱形管板

6.4.3 结构要求

6.4.3.1 凸形管板圆筒形部分(直段部分)的最小需要厚度不应小于按 4.2.1 所确定的值,最高允许计算压力不应大于按 4.2.3 所确定的值。计算时,取 $\varphi_{\min}=1.00$, c 按 6.2.10 确定。凸形管板的最小厚度还应满足 7.3.4 要求。

6.4.3.2 凸形管板上人孔布置可不满足图 24 中不小于 $0.1D_n+t$ 的要求。

6.4.3.3 拱形管板由不同椭圆线构成的凸形部分与平直部分的过渡应是上述椭圆线与直线的平滑过渡。

7 有拉撑(加固)的平板和管板

7.1 符号说明

本章所用符号的意义和单位如下:

- t_{\min} ——最小需要厚度,mm;
 t ——取用厚度(简称“厚度”)、实际测量厚度,mm;
 K ——系数;
 a ——椭圆孔圈的长半轴(内尺寸),mm;
 b ——椭圆孔圈的短半轴(内尺寸),mm;
 d_j ——假想圆直径,mm;
 d_h ——人孔或头孔计算直径(a 与 b 之和),mm;
 d_n ——烟管内径,mm;
 C ——系数;
 D_n ——锅壳筒体内径,mm;
 d ——孔的直径,mm;
 r ——扳边内半径,mm;
 p ——计算压力(表压),MPa;
 $[p]$ ——最高允许计算压力(表压),MPa;
 σ_b ——常温抗拉强度,MPa;
 $[\sigma]$ ——许用应力,MPa;
 t_H ——横梁厚度,mm;
 s_H ——横梁计算节距,mm;
 h_H ——横梁计算高度,mm;
 m ——横梁水通道宽度,mm;
 s ——火箱管板的内壁间距,mm;
 s_1 ——管孔横向节距,mm;
 s_2 ——管孔垂直节距,mm;
 D ——假想直径,mm;
 L_1 ——前管板最外侧管排中心线与管板壁中线交点至锅壳中心线之间的距离,mm;
 L_2 ——后管板最外侧管排中心线与管板壁中线交点至锅壳中心线之间的距离,mm;
 E ——锅壳内壁至管板外壁的弓形板最大尺寸,mm;
 Z ——系数;
 φ ——最外侧垂直管排的孔桥减弱系数。

7.2 有拉撑的平板和烟管管束区以外的平板

7.2.1 有拉撑的平板和烟管管束区以外的平板最小需要厚度按下式计算:

$$t_{\min} = K d_j \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} + 1 \quad \dots\dots\dots (62)$$

7.2.2 校核计算时,最高允许计算压力按下式计算:

$$[p] = \left(\frac{t - 1}{K d_j} \right)^2 [\sigma] \quad \dots\dots\dots (63)$$

7.2.3 计算压力取相连元件的计算压力,计算壁温按表4选取。

7.2.4 系数 K 按以下规定确定:

通过三个支撑点画假想圆时, K 按表15确定;通过四个或四个以上支撑点画假想圆时, K 值降低

10%；通过二个支撑点画假想圆时， K 值增加 10%。

7.2.5 如支撑点型式不同，则系数 K 取各支撑点相应值的算术平均值。

表 15 系数 K

支 撑 型 式		K
支 点 线	平板或管板与锅壳筒体、炉胆或冲天管连接： 板边连接〔图 29(a)〕	0.35
	坡口型角焊连接并有内部封焊〔图 29(b)〕	0.37
	内部无法封焊的单面坡口型角焊〔图 30〕 ¹⁾	0.50
直拉杆、拉撑管、角撑板、斜拉杆		0.43
带垫板的拉杆		0.38
焊接烟管(包括螺纹管)		0.45

注：1) 如氩弧焊打底，且 100% 探伤， K 可取 0.4；如采用垫板，且 100% 探伤， K 可取 0.45。

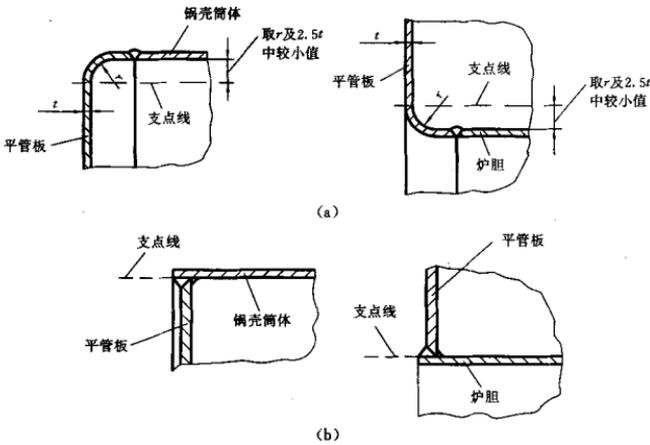


图 29 支点线位置

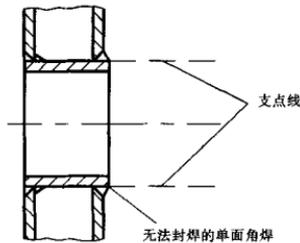


图 30 单面角焊支点线

7.2.6 如烟管与管板全部采用焊接连接时，这些烟管均可视为支撑点，以管束区边缘管子画假想圆时， K 按表 15 选取。当烟管群边缘某些烟管中心与最近支点线、最近支点的距离大于 250 mm 时，这些烟管的焊接应满足 8.4.8 的要求；两组管束间的宽水区距离大于 250 mm 时，宽水区两侧烟管每间隔一根的焊接应满足 8.4.8 的要求。

7.2.7 假想圆直径 d_j 如为经过三个或三个以上支撑点画圆时,支撑点不应都位于同一半圆周上,假想圆画法如图 31 所示;如为二个支撑点画圆时,支撑点应位于假想圆直径的两端。

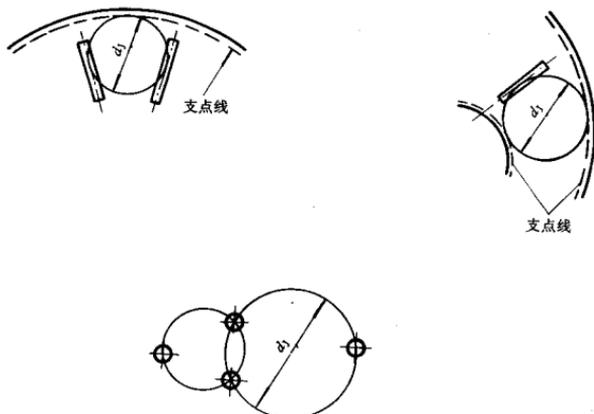


图 31 假想圆画法

7.2.8 支撑点按下列原则确定:拉杆或拉撑管中心;管束区边缘焊接烟管中心;角撑板的中线及支点头线上的各点都是支撑点。

7.2.9 支点头按图 29、图 30 所示原则确定。人孔、头孔、手孔边缘,不是支点头。

7.2.10 包含人孔、头孔在内的平板(图 32)的最小需要厚度及最高允许计算压力按下列公式计算:

$$t_{\min} = 0.62 \sqrt{\frac{p}{\sigma_b} (C d_j^2 - d_k^2)} \quad \dots\dots\dots (64)$$

$$[p] = 2.60 \sigma_b \frac{t^2}{C d_j^2 - d_k^2} \quad \dots\dots\dots (65)$$

至少有一个假想圆应将人孔或头孔包括在内,并以其中最大假想圆作为强度计算的依据,系数 C 按表 16 确定。

人孔或头孔应满足 12.7 要求。

表 16 包含人孔、头孔的平板系数

结构型式	C
无拉撑或两侧有拉撑但 $l > \frac{d_j}{10}$	1.64
两侧有拉撑且 $l = 0 \sim \frac{d_j}{10}$	1.19

注: l 为拉杆外缘至假想圆的最小距离(图 32)。

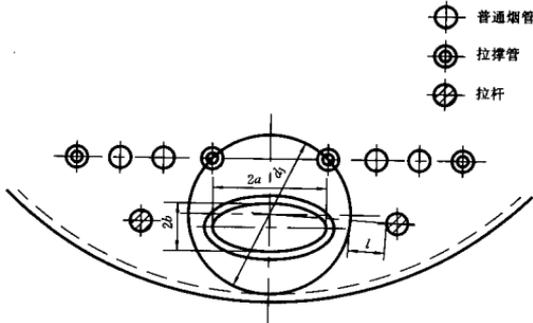


图 32 包含人孔在内的平板

7.2.11 如平板或管板是扳边的,则扳边内半径不应小于二倍板厚,且至少应为 38 mm;如火箱板、回燃室板是扳边的,则扳边内半径不应小于板厚,且至少应为 25 mm。

扳边起点与人孔圈或头孔圈焊缝边缘之间的净距离不应小于 6 mm。

7.3 烟管束区以内的平板

7.3.1 烟管束区以内的平板最小需要厚度及最高允许计算压力按式(62)和(63)计算。

7.3.2 如管束区内装有拉撑管,系数 K 按 7.2.4 处理, d_1 为按拉撑管所画假想圆的直径。

当烟管与管板采用焊接连接时,式(62)和(63)中 d_1 取为烟管最大节距,并取 $K=0.47$ 。

7.3.3 拉撑管与管板连接的焊缝高度(含深度)应为管子厚度加 3 mm(图 39),拉撑管厚度按式(74)计算。除烟管与管板采用胀接连接外,管束区不需要装拉撑管。

7.3.4 胀接管直径不大于 51 mm 时,管板取用厚度不应小于 12 mm,胀接管直径大于 51 mm 时,管板取用厚度不应小于 14 mm。

管子与管板连接全部采用焊接时,管板取用厚度不应小于 8 mm;如管板内径大于 1 000 mm,则管板取用厚度不应小于 10 mm。

7.3.5 胀接管板孔桥不应小于 $0.125 d + 12.5$ mm。焊接管板孔桥应使相邻焊缝边缘的净距离不小于 6 mm,若进行焊后热处理,可不受此限制。

7.3.6 管孔焊缝边缘至扳边起点的距离不应小于 6 mm。对于胀接管,管孔中心至扳边起点的距离不应小于 $0.8 d$,且不小于 $0.5 d + 12$ mm。

7.3.7 对于与 600℃ 以上烟气接触的管板,焊接连接的烟管或拉撑管应采取消除间隙的措施,而且管端还应满足 8.4.8 的要求。

7.3.8 对于火箱管板,当火箱顶板用横梁加固时(图 33),还应按下列公式校核横向孔桥的抗压强度:

$$t_{\min} = \frac{p s s_1}{186(s_1 - d_n)} \frac{400}{\sigma_b} \dots\dots\dots (66)$$

$$[p] = \frac{186 t (s_1 - d_n)}{s s_1} \frac{\sigma_b}{400} \dots\dots\dots (67)$$

火箱管板最小需要厚度应取式(62)和(66)计算所得较大值;最高允许计算压力取式(63)和(67)计算所得较小值。

7.4 有加固横梁的火箱顶板

7.4.1 有加固横梁火箱顶板的最小需要厚度及最高允许计算压力按式(62)和(63)计算。

7.4.2 式(62)和(63)中的 d_1 按以下规定确定:

a. 横梁有水通道时(图 33a)

$$d_j = \sqrt{M^2 + s_H^2} \dots\dots\dots (68)$$

式中: $M = m + t_H$

b. 横梁无水通道时(图 33b)

$$d_j = s_H \dots\dots\dots (69)$$

7.4.3 系数 K 取为 0.46(有水通道)或 0.56(无水通道)。

7.4.4 如火箱顶板是扳边的,则扳边内半径不应小于板厚,且至少为 25 mm。

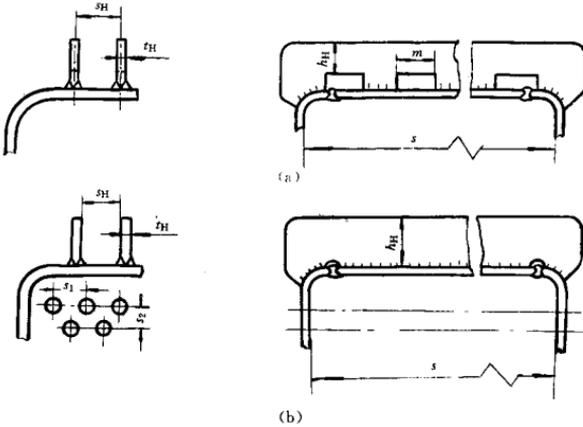


图 33 有加固横梁的火箱顶板

7.5 立式冲天管锅炉的平封头和平炉胆顶

7.5.1 立式冲天管锅炉平封头和平炉胆顶的最小需要厚度和最高允许计算压力按式(62)和(63)计算。

7.5.2 假想圆直径按以下规定确定:

7.5.2.1 仅靠冲天管支持时, d_j 取与支点线相切所画出的切圆直径(图 34 右半部)。

7.5.2.2 装有拉撑件时, d_j 取通过三个或三个以上支撑点所画出的圆中最大圆的直径(图 34 左半部)。

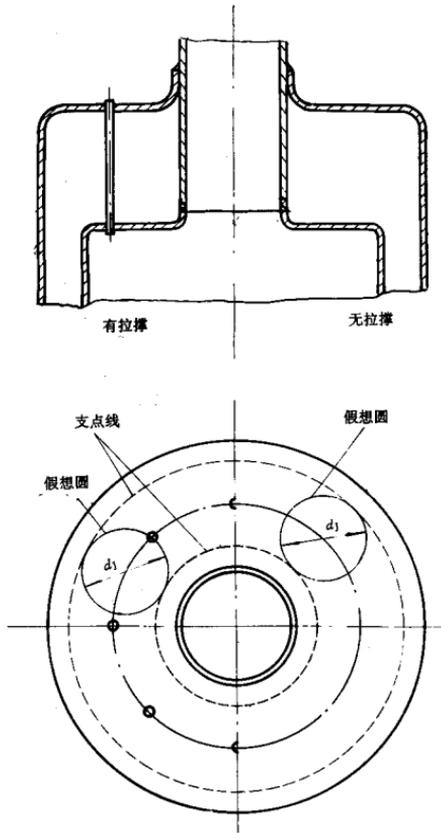


图 34 立式冲天管锅炉的平封头与平炉胆顶

7.5.3 仅靠冲天管支持时,系数 K 取表 15 给出值的 1.5 倍。装有拉撑时,如为三点支撑, K 按表 15 确定;如为四点支撑, K 值降低 10%。

7.5.4 平封头和平炉胆顶上装有拉杆时,对于外径大于 1 200 mm 但小于 1 500 mm 的锅壳筒体,至少应装 4 根拉杆;外径等于或大于 1 500 mm 但小于 1 800 mm 的锅壳筒体,至少应装 5 根拉杆;外径等于或大于 1 800 mm 的锅壳筒体,至少应装 6 根拉杆。

7.5.5 平封头或平炉胆顶的外缘扳边内半径不应小于二倍板厚,且至少为 38mm;内缘扳边(与冲天管相接)内半径不应小于板厚,且至少为 25 mm。

7.6 立式多横火管(考克兰)锅炉的管板和弓形板

7.6.1 立式多横火管锅炉管板的最小需要厚度和最高允许计算压力除按 7.3 的规定计算外,还应按下列公式校核最外侧垂直管排的强度:

$$t_{\min} = \frac{pD}{2\phi[\sigma] - p} + 1 \dots\dots\dots(70)$$

$$[\rho] = \frac{2\varphi[\sigma](t-1)}{D+(t-1)} \dots\dots\dots(71)$$

式中：D——假想直径，即最外侧管排中心线与管板厚度中线交点至锅壳中心线之间距离的二倍。

前管板 $D=2L_1$ (图 35)

后管板 $D=2L_2$ (图 35)

φ ——最外侧垂直管排的孔桥减弱系数，按下式计算：

$$\varphi = \frac{s_2 - d}{s_2} \dots\dots\dots(72)$$

管板厚度取式(62)与式(70)计算所得较大值，最高允许计算压力取式(63)与式(71)计算所得较小值。

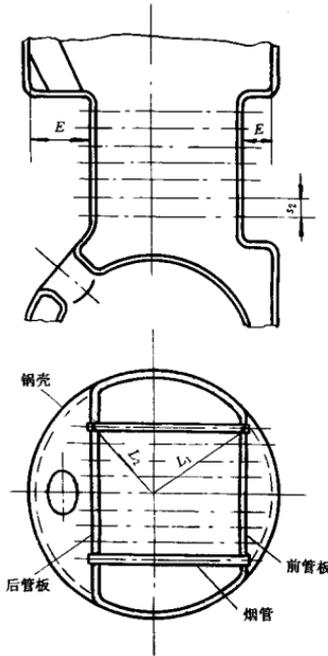


图 35 立式多横火管锅炉的管板与弓形板的计算尺寸

7.6.2 立式多横火管锅炉管板最外侧垂直管排如为胀接管，则每隔一根烟管应按 8.4.8 要求对管头进行焊接。如为焊接管孔则无此要求。管板的其他结构要求应满足 7.3.3~7.3.7 的有关规定。

7.6.3 管板的弓形板如由角撑板(或其他拉撑)支持，应按下式计算出的 Z 值确定角撑板的数目。

$$Z = \frac{E\rho D_0}{t} \dots\dots\dots(73)$$

式中：E——由锅壳内壁至管板外壁的弓形板最大尺寸(图 35)。

对于后管板(燃烧室管板)，角撑板最少应为

- Z > 25 000 1 块
- Z > 35 000 2 块

$Z > 42\ 000$ 3 块

对于前管板(烟箱管板),角撑板最少应为

$Z > 25\ 000$ 1 块

$Z > 47\ 000$ 2 块

7.6.4 与管板两边相接的锅壳板厚度至少应比圆筒形锅壳筒体公式计算所得厚度大 1.5 mm。

8 拉撑件和加固件

8.1 符号说明

本章所用符号的意义和单位如下:

F_{\min} ——拉撑件的最小需要截面积, cm^2 ;

F ——拉撑件的取用截面积、实际测量截面积, cm^2 ;

A ——拉撑件所支撑的面积, cm^2 ;

p ——计算压力(表压), MPa;

$[\rho]$ ——最高允许计算压力(表压), MPa;

$[\sigma]$ ——许用应力, MPa;

d ——拉杆直径, mm;

t ——管板厚度, mm;

t_1 ——拉撑管厚度, mm;

t_b ——角撑板厚度, mm;

t_{Hmin} ——加固横梁的最小需要厚度, mm;

t_{H} ——加固横梁的取用厚度、实际测量厚度, mm;

α ——斜拉杆或角撑板与平管板的夹角, ($^\circ$);

K_b ——焊脚尺寸, mm;

δ_b ——焊缝厚度, mm;

L_b ——焊缝长度, mm;

η_b ——焊缝系数;

s ——火箱管板的内壁间距, mm;

s_{H} ——加固横梁计算节距, mm;

h_{H} ——加固横梁计算高度, mm;

K_{H} ——系数。

8.2 呼吸空位

8.2.1 平管板上应留有足够尺寸的呼吸空位(平管板上温度不同相邻元件之间的最小距离),以防止产生过大的温差应力。

8.2.2 炉胆外壁与烟管外壁之间或炉胆外壁与锅壳筒体内壁之间的呼吸空位,应不小于锅壳筒体内径的 5% 和 50 mm 的较大值,如锅壳筒体内径的 5% 大于 100 mm 时,可取 100 mm。

8.2.3 角撑板端部或直拉杆边缘与烟管外壁之间的呼吸空位应不小于 100 mm。

8.2.4 锅壳筒体内壁与烟管外壁之间的呼吸空位应不小于 40 mm。

8.2.5 角撑板端部或直拉杆边缘与炉胆外壁之间的呼吸空位,一般应不小于 200 mm。当锅壳筒体外径大于 1 800 mm 和炉胆长度大于 6 000 mm 时,呼吸空位应不小于 250 mm;当锅壳筒体外径小于 1 400 mm 和炉胆长度小于 3 000 mm 时,呼吸空位应不小于 150 mm。

8.2.6 所有其他情况的呼吸空位,应不小于锅壳筒体内径的 3% 和 50 mm 的较大值,如锅壳筒体内径的 3% 大于 100 mm 时,可取 100 mm。

8.2.7 与波形炉胆、波形与平直组合炉胆、斜拉杆相邻部位的呼吸空位可为上述规定的 70%；如波形炉胆、波形与平直组合炉胆端部为扳边结构且采用斜拉杆，则其间的呼吸空位可为上述规定的 50%。

8.2.8 回燃室筒体与其他元件之间的呼吸空位可按上述锅壳筒体处理。

8.3 拉撑件所支撑的面积

8.3.1 拉撑件宜均匀布置，使被拉撑的面积尽量相等。

8.3.2 拉撑件所支撑的面积 A 等于被拉平板上支撑点中位线所包围的面积。支撑点中位线为距相邻支撑点等距离的连线，可近似取为相邻三个或三个以上支撑点的切圆中心和相邻两个支撑点的中点的连线，如图 36 所示。

对于直拉杆、拉撑管和普通烟管，还应将上述所画面积减去这些元件所占的面积作为支撑面积；而对于斜拉杆和角撑板，则不减去它们所占的面积。

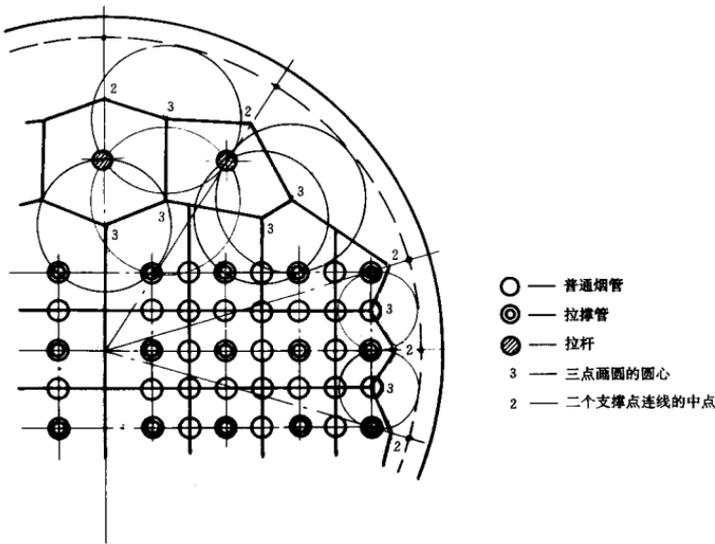


图 36 支撑面积 A 的近似画法

8.4 直拉杆和拉撑管

8.4.1 直拉杆和拉撑管的最小需要截面积按下式计算：

$$F_{\min} = \frac{pA}{[\sigma]} \dots\dots\dots (74)$$

8.4.2 校核计算时，直拉杆和拉撑管的最高允许计算压力按下式计算：

$$[p] = \frac{F[\sigma]}{A} \dots\dots\dots (75)$$

8.4.3 当焊接烟管视为拉撑管时，其最小需要截面积和最高允许计算压力也分别按式(74)、(75)计算。

8.4.4 计算压力取相连元件的计算压力，计算壁温按表 4 选取，直拉杆按不受热考虑。

8.4.5 直拉杆与平管板的连接结构如图 37 和图 38 所示。

图 37 所示结构用于烟温不大于 600℃ 的部位。图 38 所示结构可用于烟温大于 600℃ 的部位,当用于烟温不大于 600℃ 的部位时,拉杆端头超出焊缝的长度可放大至 5 mm。

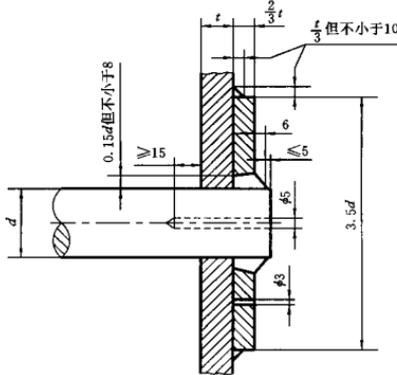


图 37 有垫板的拉杆与平管板的连接

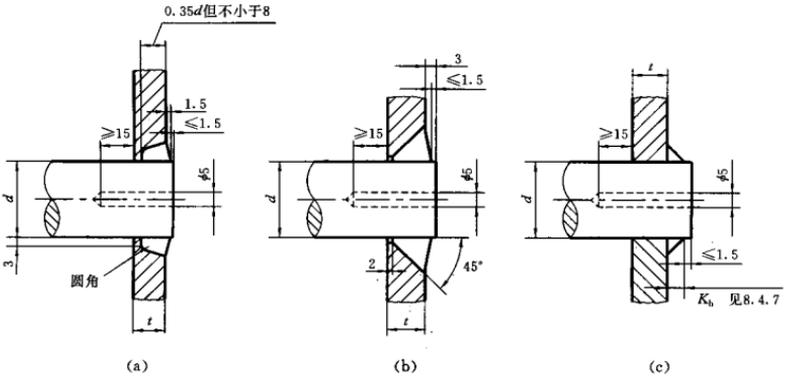


图 38 无垫板的拉杆与平管板的连接

8.4.6 用于平管板的直拉杆的直径不宜小于 25 mm。长度大于 4 000 mm 的直拉杆,中间应加支撑点。用于火箱的直拉杆的直径不宜小于 20 mm。

8.4.7 直拉杆与平管板的连接如采用图 38c 结构时,焊脚尺寸 K_b 应满足下式要求:

$$K_b \geq \frac{125F_{\min}}{\pi d} \dots\dots\dots (76)$$

8.4.8 拉撑管与平管板的连接结构如图 39 所示。

当用于烟温大于 600℃ 的部位时,管端超出焊缝的长度不应大于 1.5 mm;当用于烟温不大于 600℃ 的部位时,管端超出焊缝的长度可放大至 5 mm。焊接烟管也按此规定处理。

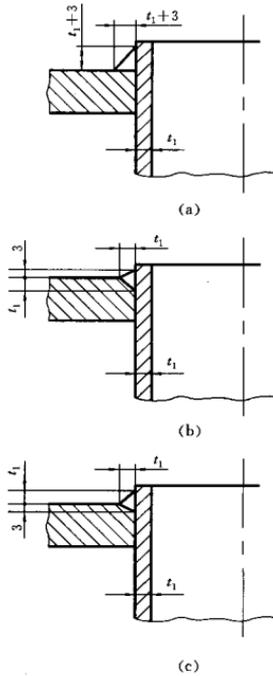


图 39 拉撑管与平管板的连接

8.5 斜拉杆

8.5.1 斜拉杆的最小需要截面积按下式计算：

$$F_{\min} = \frac{pA}{[\sigma] \sin \alpha} \dots\dots\dots (77)$$

8.5.2 校核计算时，斜拉杆的最高允许计算压力按下式计算：

$$[p] = \frac{F[\sigma] \sin \alpha}{A} \dots\dots\dots (78)$$

8.5.3 计算压力取相连元件的计算压力，计算壁厚按表 4 不受热元件选取。

8.5.4 斜拉杆与平管板及锅壳筒体的连接结构如图 40 所示。插入平管板的端头的焊接结构应符合图 38 要求，端头伸出平管板的长度应符合 8.4.5 要求。

斜拉杆的转角半径 r 不应小于 2 倍杆的直径。斜拉杆与平管板的夹角 α 不应小于 60° 。

8.5.5 斜拉杆与锅壳筒体连接的焊缝厚度 δ_h ，对于 I 型焊缝应满足下列要求：

$$\delta_h \geq \frac{125F_{\min}}{2L_h} \dots\dots\dots (79)$$

任何情况下，焊缝厚度 δ_h 不应小于 10 mm。

对于 II 型焊缝，厚度 δ_h 取为 $d/4$ ，焊缝长度 L_h 应满足下式要求：

$$L_h \geq \frac{250F_{\min}}{d} \dots\dots\dots (80)$$

8.5.6 斜拉杆的直径不宜小于 25 mm。

8.5.7 斜拉杆与锅壳筒体连接部位的烟温不得大于 600°C 。

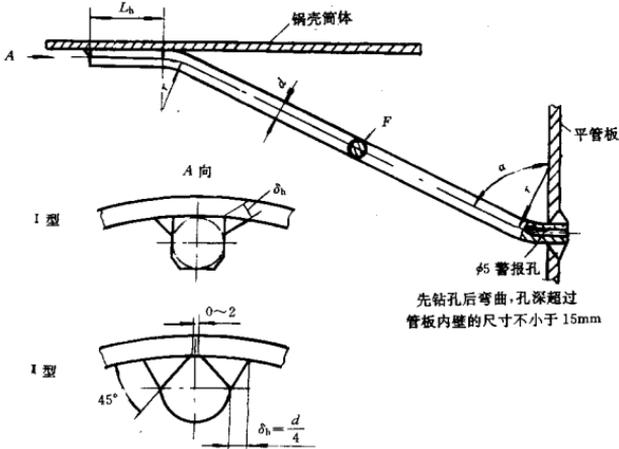


图 40 斜拉杆与平管板及钢壳筒体的连接

8.6 角撑板

8.6.1 角撑板的最小需要截面积按式(77)计算,最高允许计算压力按式(78)计算。

8.6.2 角撑板在平管板上宜辐射布置,两块角撑板间的夹角宜在 $15^\circ \sim 30^\circ$ 之间。应优先采用斜拉杆或当空间允许时,采用直拉杆。

8.6.3 角撑板与平管板、钢壳筒体的连接焊缝均应为坡口型,焊缝应避免咬边等缺陷,焊缝与母材应圆滑过渡。

8.6.4 角撑板与平管板、钢壳筒体的焊缝长度 L_h 应满足下式要求:

$$L_h \geq \frac{100\rho A}{t_h \eta_h [\sigma] \sin \alpha} + 20 \dots\dots\dots (81)$$

8.6.5 计算压力取相连元件的计算压力,计算壁温按表 4 不受热元件选取。

8.6.6 焊缝系数 η_h 取 0.6。

8.6.7 角撑板与平管板的夹角 α 不应小于 60° 。

8.6.8 角撑板厚度不应小于平管板厚度的 70%,也不应小于钢壳筒体的厚度和不大于钢壳筒体厚度的 1.7 倍。

8.6.9 角撑板与平管板、钢壳筒体连接处的结构形状与尺寸应符合图 41 要求。

8.6.10 角撑板与平管板、钢壳筒体连接部位的烟温不得大于 600°C 。

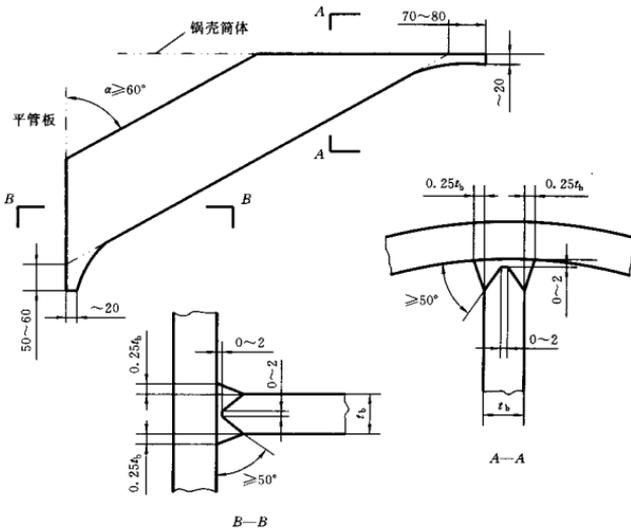


图 41 角撑板与平管板及钢壳筒体的连接

8.7 加固横梁

8.7.1 火箱顶板上加固横梁的最小需要厚度按下式计算:

$$t_{Hmin} = \frac{\rho s^2 s_H}{K_H h_H^2 [\sigma]} \quad \dots\dots\dots (82)$$

式中: $K_H = 1.13$;

s, s_H, h_H 见图 33。

8.7.2 校核计算时,加固横梁的最高允许计算压力按下式计算:

$$[p] = \frac{K_H t_H^2 h_H^2 [\sigma]}{s^2 s_H} \quad \dots\dots\dots (83)$$

8.7.3 计算压力取相连元件的计算压力,计算壁温按表 4 不受热元件选取。

8.7.4 加固横梁与火箱顶板的连接应采用全焊透结构。

9 矩形集箱

9.1 符号说明

本章所用符号的意义和单位如下:

- t_{min} ——最小需要厚度,mm;
- t ——取用厚度(简称“厚度”)、实际测量厚度,mm;
- $2m$ ——长边净宽,mm;
- $2l$ ——短边净宽,mm;
- d ——圆孔直径,椭圆孔在集箱轴向的尺寸,mm;
- d' ——椭圆孔在集箱横向的尺寸,mm;
- b ——孔中心或焊缝中线至集箱中心线的距离,mm;
- s ——纵向相邻两孔的节距,mm;
- s'' ——斜向相邻两孔的节距,mm;

- r ——集箱内圆角半径,mm;
- p ——计算压力(表压),MPa;
- $[p]$ ——最高允许计算压力(表压),MPa;
- $[\sigma]$ ——许用应力,MPa;
- φ, φ_1 ——孔桥减弱系数;
- φ_2 ——焊缝减弱系数;

K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 ——系数。

9.2 矩形集箱

9.2.1 矩形集箱(图 42)的最小需要厚度按下列公式计算,取两者较大值。

$$t_{\min} = m \left[K_1 \frac{p}{[\sigma]} + K_2 \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} \right] \dots\dots\dots (84)$$

$$t_{\min} = m \left[K_3 \frac{p}{\varphi[\sigma]} + K_4 \sqrt{\frac{p}{\varphi_1[\sigma]}} \right] \dots\dots\dots (85)$$

9.2.2 校核计算时,矩形集箱的最高允许计算压力按下列公式计算,取两者较小值。

$$[p] = \frac{t^2}{m^2} \frac{1}{2K_1 \frac{t}{m} + K_2^2} [\sigma] \dots\dots\dots (86)$$

$$[p] = \frac{t^2}{m^2} \frac{1}{2 \frac{K_3}{\varphi} \frac{t}{m} + \frac{K_4^2}{\varphi_1}} [\sigma] \dots\dots\dots (87)$$

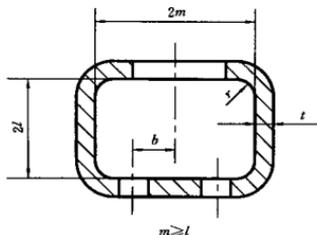


图 42 矩形集箱

9.2.3 系数 K_1, K_2, K_3, K_4 按下列公式计算或由图 43,44 查得。

$$K_1 = 0.5 \sqrt{1 + \frac{l^2}{m^2}} \dots\dots\dots (88)$$

$$K_2 = 1.41 \sqrt{1 - \frac{l}{m} \left(1 - \frac{l}{m} \right)} \dots\dots\dots (89)$$

$$K_3 = 0.5 \frac{l}{m} \dots\dots\dots (90)$$

$$K_4 = \sqrt{1 - 3 \frac{b^2}{m^2} + 2 \frac{l}{m} \left(1 - \frac{l}{m} \right)} \dots\dots\dots (91)$$

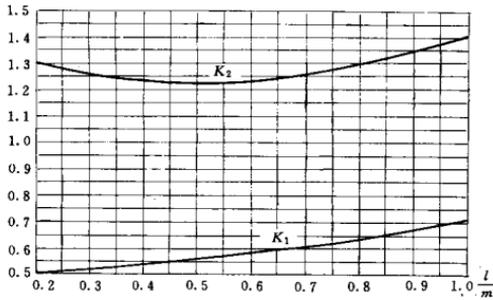


图 43 系数 K_1 、 K_2

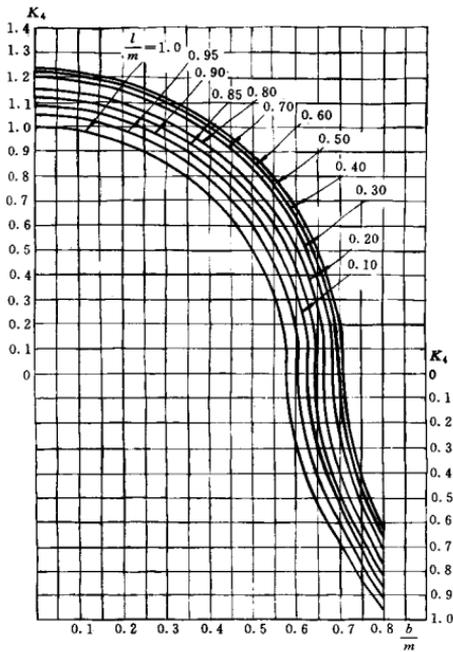


图 44 系数 K_4

9.2.4 纵向孔桥减弱系数按下列公式计算：

$$\varphi = \frac{s-d}{s} \dots\dots\dots (92)$$

当 $d' < m$ 时

$$\varphi_1 = \frac{s-d}{s} \dots\dots\dots (93)$$

当 $m \leq d' < 1.3 m$ 时

$$\varphi_1 = \frac{s - \frac{2}{3}d}{s} \dots\dots\dots (94)$$

当 $d' \geq 1.3 m$ 时

$$\varphi_1 = \frac{s - \frac{1}{3}d}{s} \dots\dots\dots (95)$$

对于椭圆孔, d 为沿集箱轴向尺寸, d' 为沿集箱横向尺寸(图 45)。

对于圆孔, $d' = d$ 。

9.2.5 与集箱中心线对称布置的斜向孔排(图 46), 除按式(84)、(85)计算最小需要厚度外, 还需按斜向孔桥上的应力校核最小需要厚度, 即:

$$t_{\min} = m \left[K_3 \frac{p}{\varphi[\sigma]} + K_5 \sqrt{\frac{p}{\varphi_1[\sigma]}} \right] \dots\dots\dots (96)$$

式中: K_5 按下式计算或由图 47 查得。

$$K_5 = \sqrt{\frac{1 + 2 \frac{l}{m} \left(1 - \frac{l}{m} \right)}{1 + 16 \frac{b^2}{s^2}}} \dots\dots\dots (97)$$

校核计算时, 除按式(86)、(87)计算最高允许计算压力外, 还需按斜向孔桥上的应力校核最高允许计算压力, 即:

$$[p] = \frac{t^2}{m^2} \frac{1}{2 \frac{K_3 t}{\varphi m} + \frac{K_5^2}{\varphi_1}} \dots\dots\dots (98)$$

式(96)、(98)中 φ, φ_1 仍按式(92)~(95)计算, 但其中 s 用 s'' 代替。

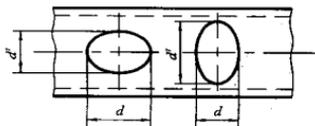


图 45 椭圆孔 d 与 d' 的确定方法

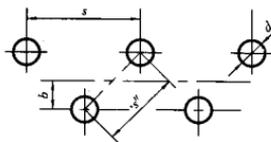


图 46 斜向布置的孔排

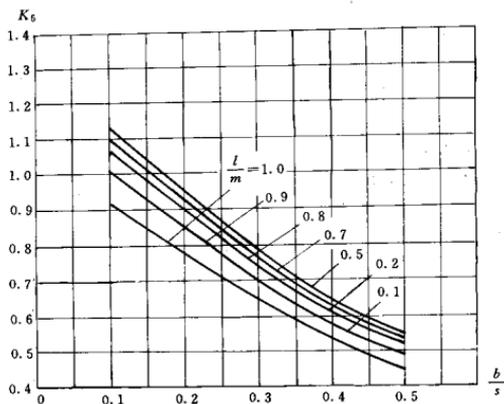


图 47 系数 K_5

9.2.6 对于有纵向焊缝而无开孔的集箱(图 48),上述公式中的 φ_1, φ_2 用 φ_3 代替, φ_3 按表 5 确定。

9.2.7 矩形集箱的焊缝不允许布置在集箱角上,如图 49、50 所示。

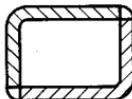


图 48 有纵向焊缝的集箱

图 49 有角焊缝的集箱

图 50 用四块平板角焊成的集箱

9.2.8 集箱内圆角半径 r (图 42)应满足以下要求:

$$r \geq \frac{1}{3}t, \text{ 且 } r \geq 6 \text{ mm}$$

10 集箱端盖、内置孔盖

10.1 符号说明

本章所用符号的意义和单位如下:

$t_{1\min}$ ——平端盖、孔盖的最小需要厚度,mm;

t_1 ——平端盖、孔盖的取用厚度(简称“厚度”)、实际测量厚度,mm;

t_2 ——平端盖环形槽处的最小厚度,mm;

t ——集箱筒体的厚度,mm;

D_n ——与平端盖相连接处的集箱筒体内径、圆形孔圈的内径,mm;

d ——孔的直径,mm;

a ——椭圆孔圈的长半轴(内尺寸),mm;

b ——椭圆孔圈的短半轴(内尺寸),mm;

$2m$ ——矩形集箱长边净宽,mm;

$2l$ ——矩形集箱短边净宽,mm;

l_1 ——孔盖的计算尺寸,mm;

- p ——平端盖、孔盖的计算压力(表压),MPa;
- $[p]$ ——平端盖、孔盖的最高允许计算压力(表压),MPa;
- $[\sigma]$ ——平端盖、孔盖的许用应力,MPa;
- η ——基本许用应力修正系数;
- K, K_1 ——系数;
- r ——平端盖内转角圆弧半径,mm;
- l_2 ——平端盖扳边直段部分的长度,mm。

10.2 集箱端盖

10.2.1 圆形平端盖的最小需要厚度和最高允许计算压力按下列公式计算:

$$t_{\min} = KD_0 \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} \dots\dots\dots (99)$$

$$[p] = \left(\frac{t_1}{KD_0} \right)^2 [\sigma] \dots\dots\dots (100)$$

式中:系数 K 按表 17 选取。

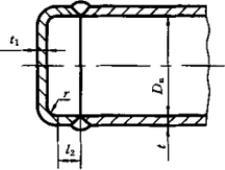
10.2.2 矩形平端盖(焊缝型式如表 17 中序号 3 所示)的最小需要厚度和最高允许计算压力按下列公式计算:

$$t_{\min} = 1.26l \sqrt{[\sigma] \left[1 + \left(\frac{l}{m} \right)^2 \right]} \dots\dots\dots (101)$$

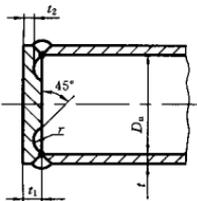
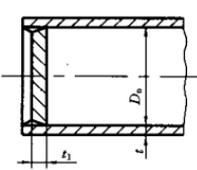
$$[p] = \frac{0.63t_1^2 [\sigma] \left[1 + \left(\frac{l}{m} \right)^2 \right]}{l^2} \dots\dots\dots (102)$$

10.2.3 计算压力取相连元件的计算压力,计算壁温按表 4 选取。基本许用应力修正系数 η 按表 17 选取。

表 17 集箱平端盖的系数 K 和修正系数 η

序号	结构型式	结构要求	K		η		备注
			无孔	有孔	$l_2 \geq 2t_1$	$2t_1 > l_2 \geq t_1$	
1		$r \geq 3t_1$ $l_2 \geq t_1$	0.40	0.45	1.00	0.95	

续表 17

序号	结构型式	结构要求	K		γ	备注
			无孔	有孔		
2		$r \geq \frac{1}{3}t$ 且不小于 5 mm $t_2 \geq 0.8t_1$	0.40	0.45	0.90	
3			0.60	0.70	0.85	用于额定压力不大于 2.5 MPa, 且集箱外径不大于 426 mm
			0.40	0.45	1.05	用于水压试验

注：对于序号 3 的结构型式，当额定压力大于 1.25 MPa 且集箱外径大于 219 mm 时，应对焊缝进行超声波探伤。

10.2.4 平端盖的结构应符合表 17 的要求，平端盖中心圆孔的直径 d 或中心椭圆孔圈的长轴 $2a$ 与平端盖内径 D_n 的比值不应大于 0.8；平端盖上任意两孔边缘之间的距离不应小于小孔的直径；孔边缘至平端盖内边缘之间的距离不应小于 t_{1min} ，且孔不得开在内转角圆弧处。

10.2.5 集箱的热旋(挤)压椭圆形或球形端盖(收口端部)可不进行计算，但要求收口处圆滑过渡，顶端应开孔以去除收口处的不规则部分。

10.3 孔盖

10.3.1 孔盖(图 51)的最小需要厚度按下式计算：

$$t_{1min} = 0.55K_1t_1 \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} \dots\dots\dots (103)$$

式中： t_1 ——对圆形为 d ；对椭圆形为 $2b$ 。

孔盖边缘的局部减薄(装设垫片)在强度计算时可不考虑。

10.3.2 校核计算时，孔盖的最高允许计算压力按下式计算：

$$[p] = 3.30 \left(\frac{t}{K_1 t_1} \right)^2 [\sigma] \dots\dots\dots (104)$$

式中：系数 K_1 按表 18 确定。

表 18 系数 K_1

b/a	1.00	0.75	0.50
K_1	1.00	1.15	1.30

注：如 b/a 介于表中相邻数值之间， K_1 值可用算术内插法确定。

10.3.3 对于有波形槽的孔盖,上述计算中的尺寸 d (圆形), a 、 b (椭圆形)均用波形槽中心线尺寸 d' 、 a' 、 b' 代替(图 52)。

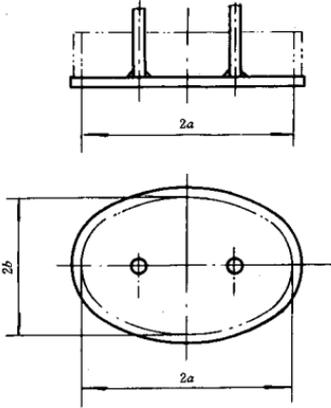


图 51 内置孔盖

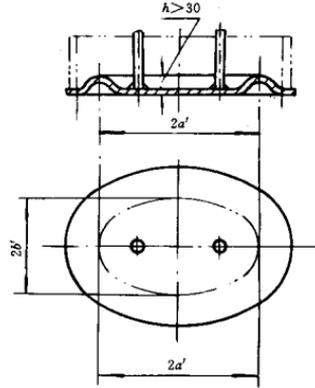


图 52 有波形槽的孔盖

11 下脚圈

11.1 符号说明

本章所用符号的意义和单位如下:

t_{\min} ——下脚圈的最小需要厚度,mm;

t_1 ——下脚圈的取用厚度(简称“厚度”)、实际测量厚度,mm;

t ——锅壳筒体厚度,mm;

D_n ——对应锅壳筒体内径的下脚圈尺寸,mm;

D_w ——对应炉胆外径的下脚圈尺寸,mm;

σ_b ——常温抗拉强度,MPa;

p ——计算压力(表压),MPa;

$[p]$ ——最高允许计算压力(表压),MPa。

11.2 下脚圈

11.2.1 立式冲天管锅炉的下脚圈可不进行计算,厚度取相连炉胆的厚度。

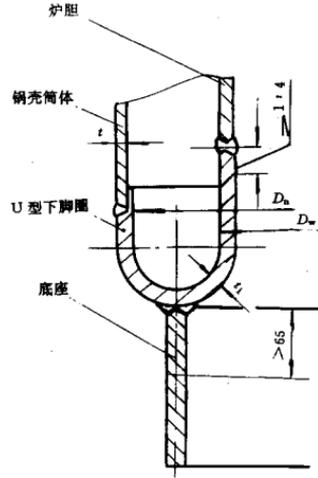
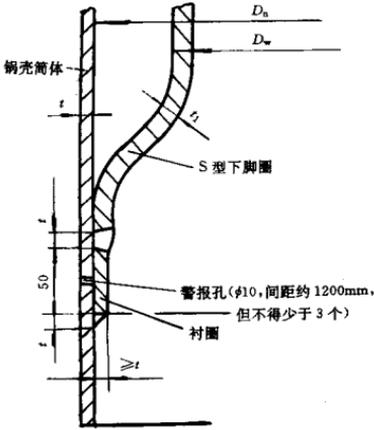


图 53 S 型下脚圈与锅壳连接结构(参考图)

图 54 U 型下脚圈与锅壳连接结构(参考图)

11.2.2 立式无冲天管锅炉 S 型下脚圈(图 53)的最小需要厚度按下式计算:

$$t_{\min} = \sqrt{\frac{pD_n(D_n - D_w)}{990}} \sqrt{\frac{372}{\sigma_b}} + 1 \quad \dots\dots\dots (105)$$

11.2.3 校核计算时,立式无冲天管锅炉 S 型下脚圈的最高允许计算压力按下式计算:

$$[p] = \frac{990(t_1 - 1)^2}{D_n(D_n - D_w)} \frac{\sigma_b}{372} \quad \dots\dots\dots (106)$$

11.2.4 立式无冲天管锅炉 U 型下脚圈(图 54)的最小需要厚度应按式(105)算出的值增加 20%,最高允许计算压力应为按式(106)算出值的 70%。

11.2.5 任何情况下,下脚圈的取用厚度不应小于 8 mm。

12 孔和孔的加强

12.1 符号说明

本章所用符号的意义和单位如下:

D_n ——锅壳筒体内径,mm;

D_w ——炉胆外径,mm;

d ——孔径、双面角焊或坡口型角焊接接头或孔圈的内径、椭圆孔在规定方向的尺寸,mm;

$[d]$ ——未加强孔的最大允许直径,mm;

$[d]_a$ ——孔桥加强计算时允许的当量直径,mm;

t_{\min} ——平板的最小需要厚度,mm;

t ——锅壳筒体、凸形封头、炉胆、平板的取用厚度(简称“厚度”)或实际测量厚度,mm;

t_y ——锅壳筒体、凸形封头、炉胆的有效厚度,mm;

t_0 ——强度未减弱的锅壳筒体或炉胆按承受内压所需的理论计算厚度,mm;

t_1 ——加强管接头或加强圈的取用厚度,mm;

t_{y1} ——加强管接头或加强圈的有效厚度,mm;

t_{01} ——加强管接头或加强圈按承受内压所需的理论计算厚度,mm;

- t_2 ——加强垫板的厚度,mm;
 h ——加强圈高度,板边孔的板边高度,mm;
 h_1 ——加强管接头的有效加强高度、加强圈伸入锅壳筒体或凸形封头内壁的尺寸,mm;
 h_2 ——加强管接头伸入锅壳筒体或凸形封头内壁的尺寸、加强圈的有效加强高度,mm;
 B ——锅壳筒体、凸形封头、炉胆、平板的有效加强宽度,mm;
 p ——计算压力(表压),MPa;
 $[\sigma]$ ——锅壳筒体、凸形封头、炉胆、平板的许用应力,MPa;
 $[\sigma]_1$ ——加强管接头、加强圈的许用应力,MPa;
 $[\sigma]_2$ ——加强垫板的许用应力,MPa;
 φ_0 ——锅壳筒体、炉胆的实际减弱系数;
 φ_w ——被加强孔桥在未作加强考虑时的纵向、二倍横向或斜向当量减弱系数;
 $[\varphi]$ ——允许提高到的孔桥减弱系数;
 s ——纵向相邻两孔的节距,mm;
 s' ——横向相邻两孔按圆筒平均直径展开的节距,mm;
 s'' ——斜向相邻两孔按圆筒平均直径展开的节距,mm;
 A ——锅壳筒体、炉胆纵截面内的加强需要面积和平板的加强需要面积,mm²;
 A_1 ——锅壳筒体、炉胆纵截面内起加强作用的焊缝面积,mm²;
 A_2 ——锅壳筒体、炉胆纵截面内起加强作用的管接头、加强圈的多余面积,mm²;
 A_3 ——锅壳筒体纵截面内起加强作用的加强垫板面积,mm²;
 A_4 ——锅壳筒体、炉胆自身在纵截面内起加强作用的多余面积,mm²;
 A_F ——加强件对封头加强时起加强作用的面积,mm²;
 A_P ——加强件对平板加强时起加强作用的面积,mm²;
 K_h ——加强管接头或加强圈的焊角尺寸,mm;
 K ——斜向孔桥换算系数;
 K_1 ——系数;
 n ——系数。

12.2 锅壳筒体上孔的加强

注:本条有关锅壳筒体上孔的加强也适用于集箱筒体。

12.2.1 有关锅壳筒体上孔的加强,仅适用于 $d/D_n < 0.8$ 和 $d < 600$ mm的孔。如为椭圆孔, d 取长轴尺寸。

注: $d/D_n \geq 0.8$ 的集箱开孔,集箱厚度按三通计算(参见GB 9222—88,但表21中限制条件 β_L 用 β 代替)。

12.2.2 确定锅壳筒体未加强孔的最大允许直径 $[d]$ 时,应按下式计算锅壳筒体的实际减弱系数 φ_0 。

$$\varphi_0 = \frac{pD_n}{(2[\sigma] - p)t_s} \dots\dots\dots (107)$$

12.2.3 对于实际减弱系数 $\varphi_0 \leq 0.4$ 的锅壳筒体,需要加强的孔已得到自身加强,无需另行加强。

12.2.4 对于实际减弱系数 $\varphi_0 > 0.4$ 的锅壳筒体,未加强孔的直径 d 不应大于按图55确定的未加强孔的最大允许直径 $[d]$,且最大为200 mm。如为椭圆孔, d 取筒体纵截面上的尺寸。

12.2.5 对于实际减弱系数 $\varphi_0 > 0.4$ 的锅壳筒体,如开孔直径 d 大于按12.2.4确定的未加强孔最大允许直径 $[d]$ 时,应采取图56的结构予以加强(图示(a)、(b)加强结构仅适用于不受热部位)。

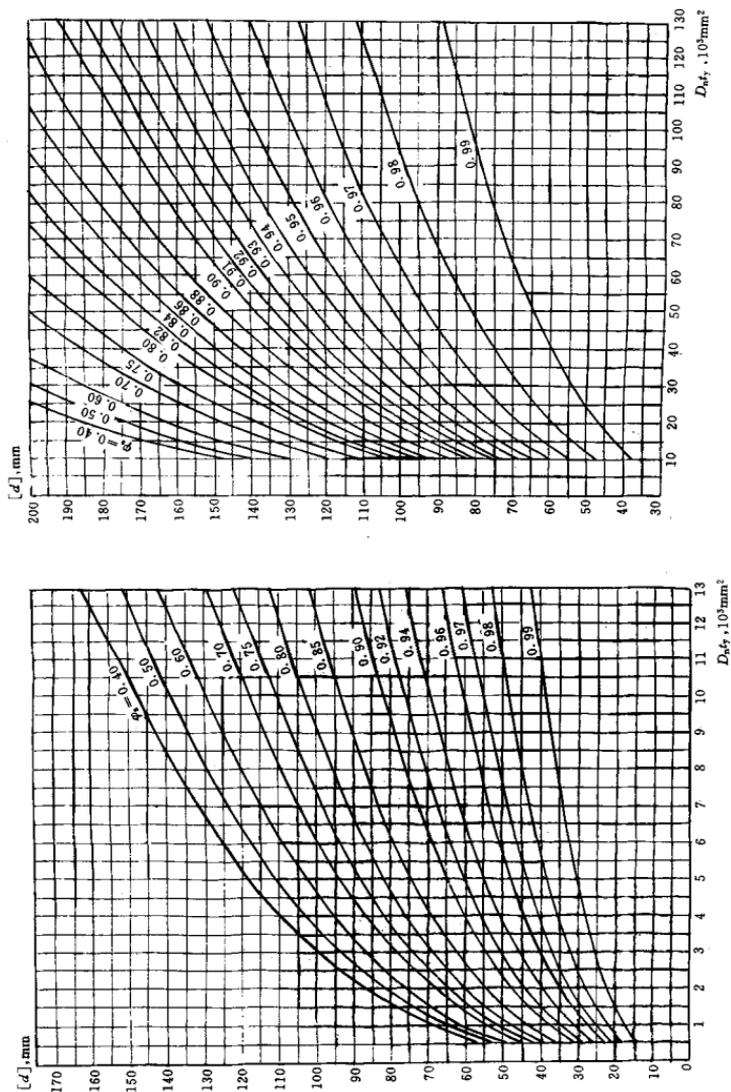


图 55 未加强孔的最大允许直径

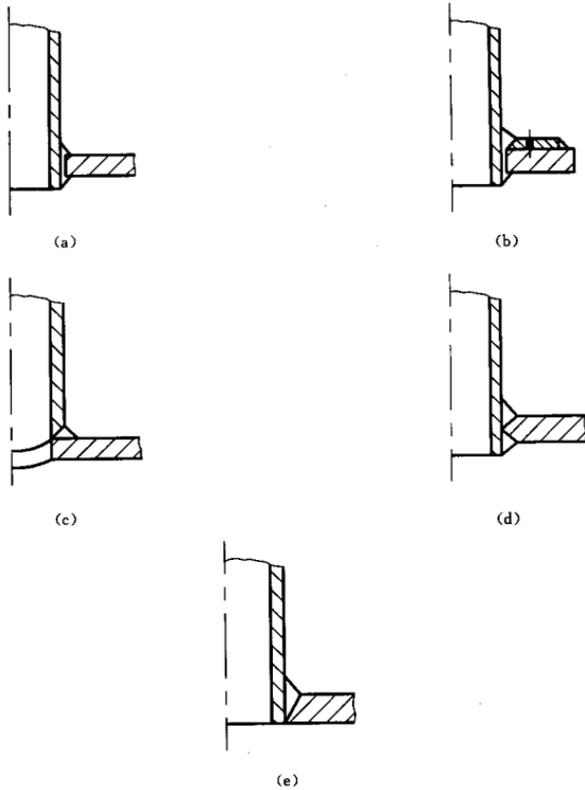


图 56 孔的加强结构型式

12.2.6 开孔加强的有效范围(表 19);有效加强高度 h_1, h_2 取 $2.5t_1$ 和 $2.5t$ 中的较小值;有效加强宽度 B 取 $2d$ 。

12.2.7 开孔加强应满足以下条件:

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \geq A \dots\dots\dots (108)$$

且应使加强所需面积 A 的三分之二分布在离孔四分之一孔径范围内;如为加强管接头,则布置在离管接头内壁四分之一内径的范围内。式(108)中各面积的计算方法如表 19 所示。表中 t_0 和 t_{01} 按下列公式计算:

$$t_0 = \frac{pD_n}{2[\sigma] - p} \dots\dots\dots (109)$$

$$t_{01} = \frac{pd}{2[\sigma]_1 - p} \dots\dots\dots (110)$$

如为椭圆孔, d 取长轴尺寸。

如加强元件的许用应力大于被加强元件的许用应力,则按被加强元件钢材的许用应力计算,即表 19 中的 $[\sigma]_1$ 或 $[\sigma]_2$ 取等于 $[\sigma]$ 。如加强元件的许用应力小于被加强元件的许用应力,则按表 19 中的公式计算。

12.3 炉胆上孔的加强

12.3.1 炉胆上孔的加强方法适用于 $d/D_w \leq 0.6$ 的孔。如为椭圆孔, d 取长轴尺寸。

12.3.2 炉胆上孔的加强计算按 12.2 有关规定进行。

12.3.3 对炉胆上的孔进行加强计算时,假设炉胆按承受内压圆筒公式(109)计算。

12.3.4 炉胆上的加煤孔圈、出渣孔圈等的最小需要厚度,按假设承受内压圆筒公式(110)计算,如为椭圆孔圈, d 取孔圈长轴的内尺寸。

12.3.5 不得用垫板对炉胆上的孔进行加强。

表 19 加强需要面积与起加强作用面积的确定

型式	双面角接管接头加强	单面坡口接管接头加强	垫板与管接头联合加强
加强结构			
加强需要面积	$A = \left[d + 2t_{y1} \left(1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right) \right] t_0$	$d t_0$	$\left[d + 2t_{y1} \left(1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right) \right] t_0$
起加强作用的面积	$A_1 = 2K_1^2$	K_1^2	$2K_1^2$
	$A_2 = \left[2h_1(t_{y1} - t_0) + 2h_2t_{y1} \right] \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}$	$\left[2h_1(t_{y1} - t_0) \right] \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}$	$\left[2h_1(t_{y1} - t_0) + 2h_2t_{y1} \right] \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}$
	$A_3 = 0$	0	$0.8(B - d - 2t_1)t_2 \frac{[\sigma]_2}{[\sigma]}$
	$A_4 = \left[d - 2t_{y1} \left(1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right) \right] (t_y - t_0)$	$d(t_y - t_0)$	$\left[d - 2t_{y1} \left(1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right) \right] (t_y - t_0)$

注: 如为椭圆孔,表中 d 取筒体纵截面上的尺寸。

12.4 凸形元件上孔的加强

12.4.1 为减小凸形元件厚度,可采用孔边缘焊以加强圈或(和)加强板的办法进行加强。

12.4.2 能起加强作用的截面积 A_F 为图 57 中斜线部分的二倍。

图 57 中,加强有效范围(h_1, h_2, B)按 12.2.6 确定; t_{01} 按式(110)计算;如加强圈用钢板制成, c 按 4.4.1 确定,如加强圈用管子制成, c 按式(26)、(27)计算;如为椭圆孔, d 取孔的长轴尺寸。

12.4.3 经加强后,表 14 中的 d 用 $d - A_F/t_y$ 代替。

如加强元件的许用应力与被加强元件的许用应力不同时,按 12.2.7 原则处理。

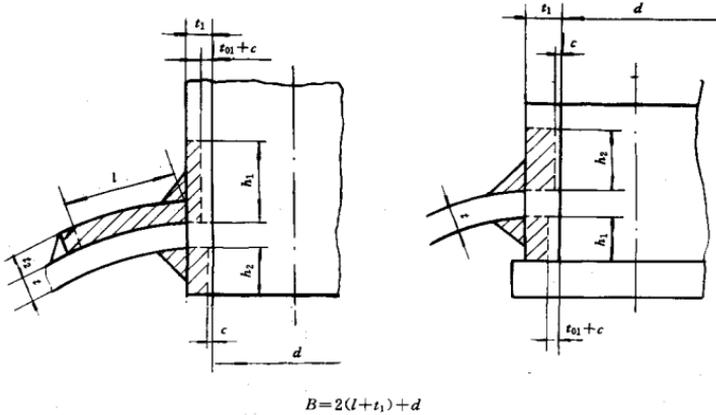


图 57 凸形元件上孔的加强计算示意图

12.5 平板上孔的加强

注：按式(64)、(65)计算的包含人孔的平板无需再作加强计算。

12.5.1 如平板取用厚度满足下式时，则孔无需加强。

$$t \geq K_1 t_{\min} \quad \dots\dots\dots (111)$$

式中： $K_1 = 1.5$ (图 58 和 60)； 1.25 (图 59)。

12.5.2 如未能满足式(111)条件时，平板上的孔应予加强。

12.5.3 图 58、59、60 中孔的加强有效范围 (h_1 、 B) 按 12.2.6 确定。

12.5.4 能起加强作用的截面积 A_p 及需要加强的面积 A 如图 58、59、60 所示。要求：

$$A_p \geq A \quad \dots\dots\dots (112)$$

12.5.5 图 58 中，焊接圈或孔板边的高度 h 应满足下式要求：

$$h \geq \sqrt{td} \quad \dots\dots\dots (113)$$

式中： d 为孔径或孔圈的内径。如为椭圆孔，则为短轴内尺寸。

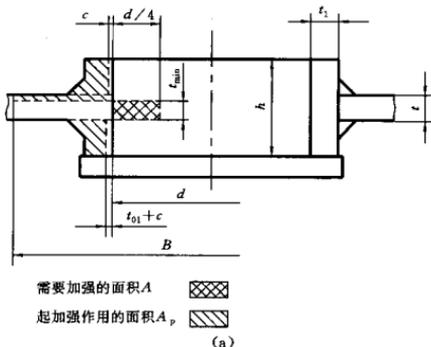
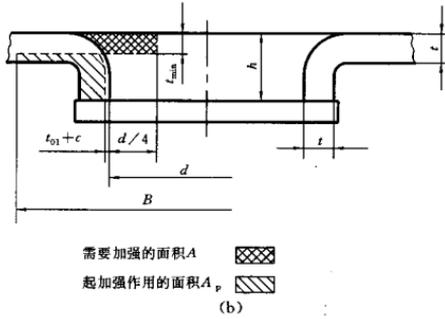


图 58 平板上孔的孔圈加强



续图 58

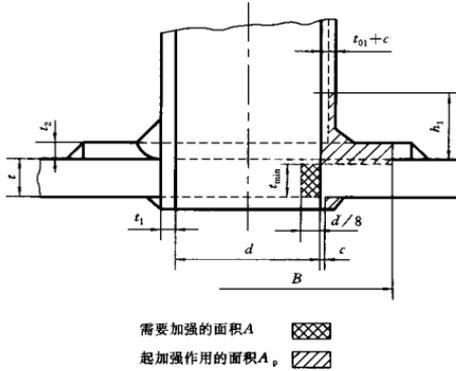


图 59 平板上孔的垫板与管接头加强

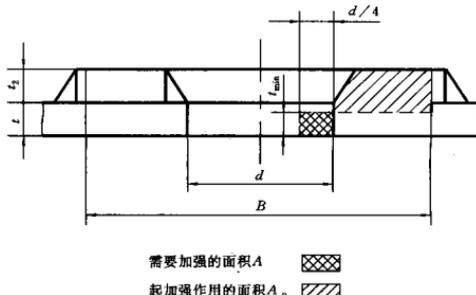


图 60 平板上孔的垫板加强

12.6 孔桥的加强计算

12.6.1 锅壳筒体上纵向、横向或斜向孔桥可用管接头加强以提高孔桥减弱系数。此时，应首先满足以下条件：

- 采用坡口型焊接结构，如图 56(c)、(d)、(e)所示；
- 允许提高到的孔桥减弱系数

$$[\varphi] < \frac{4}{3}\varphi_w \dots\dots\dots(114)$$

12.6.2 对锅壳筒体孔桥进行加强计算时,允许的当量直径 $[d]_a$ 按下列公式计算:

纵向孔桥 $[d]_a = (1 - [\varphi])s \dots\dots\dots(115)$

横向孔桥 $[d]_a = (1 - 0.5[\varphi])s' \dots\dots\dots(116)$

斜向孔桥 $[d]_a = (1 - [\varphi]/K)s'' \dots\dots\dots(117)$

式中:

$$[\varphi] = \frac{\rho(D_n + t_y)}{2[\sigma]t_y} \dots\dots\dots(118)$$

12.6.3 用于加强孔桥的管接头(图 61)应符合下式要求:

$$A_1 + A_2 \geq (d - [d]_a)t_y \dots\dots\dots(119)$$

式中: A_1 、 A_2 按表 19 中的公式计算。

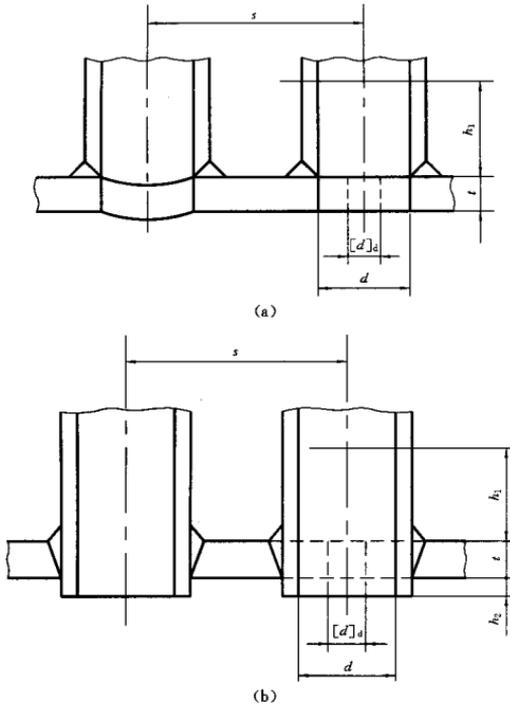


图 61 孔桥加强

12.7 人孔、头孔、手孔

12.7.1 筒体、封头、平板上的人孔、头孔、手孔的边缘可采用焊接圈或扳边型式(图 62)。

焊接圈、扳边的高度 h 应满足式(113)要求。

焊接人孔圈和头孔圈的厚度 t_1 应满足下式要求

$$t_1 \geq \frac{7}{8}t \dots\dots\dots(120)$$

且 t_1 对于人孔圈不宜小于 19 mm, 对于头孔圈不宜小于 15 mm, 对于手孔圈不宜小于 6 mm。

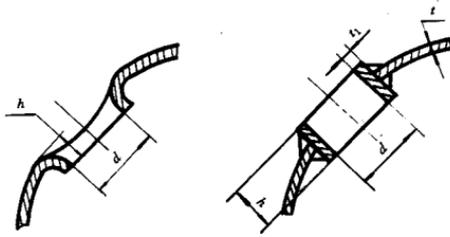


图 62 人孔、头孔、手孔的边缘结构

附录 A
铸铁锅炉受压元件
(补充件)

A1 符号说明

本附录所用符号的意义和单位如下：

t_{\min} ——最小需要厚度,mm;

t ——取用厚度(简称“厚度”)、实际测量厚度,mm;

c ——附加厚度,mm;

$2m$ ——矩形结构的长边净宽,mm;

$2l$ ——矩形结构的短边净宽,mm;

p ——计算压力(表压),MPa;

$[\sigma]$ ——许用应力,MPa;

$K_1、K_2、K_3、K_4$ ——系数;

σ_b ——常温抗拉强度,MPa;

σ_{b1} ——常温试验抗拉强度,MPa;

$\sigma_{0.2}$ ——常温屈服点(残余变形为0.2%),MPa;

$[p]$ ——最高允许计算压力(表压),MPa;

p_b ——爆破压力,MPa。

A2 公式计算法

A2.1 铸铁锅炉受压元件——铸铁锅片,根据几何形状与受力状态,按本标准4~12章所给出的基本公式进行计算。对于矩形截面,按A2.2计算。铸铁锅片的许用应力按A2.3确定,附加厚度按A2.4确定。

A2.2 图A1所示截面形状可简化成矩形结构进行计算。

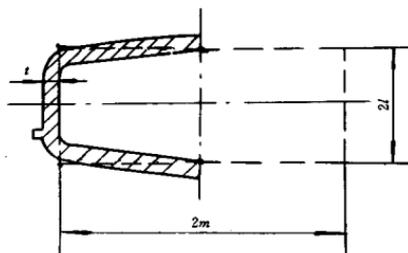


图 A1

A2.2.1 矩形结构的最小需要厚度按下列公式计算,取两者较大值。

$$t_{\min} = m \left[K_1 \frac{p}{[\sigma]} + K_2 \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} \right] + c \dots\dots\dots (A1)$$

$$t_{\min} = m \left[K_3 \frac{p}{[\sigma]} + K_4 \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} \right] + c \dots\dots\dots (A2)$$

式中 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 按式(88)~(91)计算。

A2.2.2 校核计算时,矩形结构的最高允许计算压力按下列公式计算,取两者较小值。

$$[p] = \frac{1}{2K_1 \frac{t-c}{m} + K_2^2} \frac{(t-c)^2}{m^2} [\sigma] \dots\dots\dots (A3)$$

$$[p] = \frac{1}{2K_3 \frac{t-c}{m} + K_4^2} \frac{(t-c)^2}{m^2} [\sigma] \dots\dots\dots (A4)$$

A2.3 许用应力按表 A1 选取。

表 A1 铸铁元件的许用应力 $[\sigma]$

MPa

材 料	灰 口 铸 铁		球 墨 铸 铁
	不 退 火	退 火	退 火
许用应力	$\frac{\sigma_b}{6.0}$	$\frac{\sigma_b}{5.0}$	$\frac{\sigma_b}{4.0}$ 与 $\frac{\sigma_{0.2}}{2.5}$ 中的较小值

注:受弯曲元件的许用应力放大 1.5 倍,受压缩元件的许用应力放大 2.0 倍。

如工厂自行试验确定强度特性,则取三个锅片试件所得强度特性的平均值再乘以 0.9,但各试件的强度特性都必须大于材料标准给出的值。

A2.4 附加厚度 c 主要用以考虑铸造工艺造成的厚度负偏差,应视各厂工艺水平而定,一般取 $c = 2$ mm。

A2.5 如计算法确定的最高允许计算压力高于水压试验法 A3 确定的相应值,可取此较高值。

A3 水压试验法

A3.1 水压试验法按下式确定最高允许计算压力:

$$[p] = \frac{p_b}{5} \frac{\sigma_s}{\sigma_{bl}} \dots\dots\dots (A5)$$

A3.2 如水压试验法确定的最高允许计算压力高于公式计算法 A2 确定的相应值,可取此较高值。

$$p = p_c + \Delta p + \Delta p_s + \Delta p_{ss} = 1.25 + 0.05 + 0 + 0 = 1.30 \text{ MPa}$$

B1.1.2 许用应力

由水蒸汽表, 计算压力为 1.40 MPa (绝对压力) 下的饱和蒸汽温度

$$t_j = 195^\circ\text{C}$$

由表 4, 直接受火焰辐射锅壳筒体的计算壁温

$$t_{bi} = t_j + 90 = 195 + 90 = 285^\circ\text{C}$$

由表 1, 16Mng 钢板在 285°C 时的基本许用应力

$$[\sigma]_j = 139 \text{ MPa}$$

由表 3, 烟温大于 600°C 时的锅壳筒体的基本许用应力修正系数

$$\eta = 0.90$$

按式(1), 许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_j = 0.09 \times 139 = 125 \text{ MPa}$$

B1.1.3 最小减弱系数

由表 5, 锅壳筒体纵向焊缝减弱系数

$$\varphi_h = 1.00$$

按式(15), 不需计算孔桥减弱系数的最小节距

$$s_0 = d_p + 2\sqrt{(D_n + t)t}$$

按 4.1, 水冷壁管管孔直径

$$d_1 = 64.2 \text{ mm}$$

按 4.1, 下降管管孔直径取管子内径

$$d_2 = 121 \text{ mm}$$

对于 $s = 184 \text{ mm}$ 的纵向孔桥及 $s'' = 169.7 \text{ mm}$ 的斜向孔桥:

$$s_0 = 64.2 + 2\sqrt{(1800 + 16) \times 16} = 405 \text{ mm}$$

(先假定锅壳筒体取用厚度为 16 mm。)

由于 s 及 s'' 均小于 s_0 , 故均应计算孔桥减弱系数。

对于 $s'' = 333.6 \text{ mm}$ 的斜向孔桥:

$$d_p = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{64.2 + 121}{2} = 92.6 \text{ mm}$$

$$s_0 = 92.6 + 2\sqrt{(1800 + 16) \times 16} = 434 \text{ mm}$$

由于 s'' 小于 s_0 , 故应计算孔桥减弱系数。

按式(16), 纵向孔桥减弱系数

$$\varphi = \frac{s - d}{s} = \frac{184 - 64.2}{184} = 0.651$$

对于 $s'' = 169.7 \text{ mm}$ 的斜向孔桥:

按式(20), 斜向孔桥减弱系数

$$\varphi'' = \frac{s'' - d}{s''} = \frac{169.7 - 64.2}{169.7} = 0.622$$

按式(19), 斜向孔桥换算系数

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0.75}{(1 + n^2)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0.75}{(1 + 0.645^2)^2}}} = 1.26$$

$$\text{式中: } n = \frac{b}{a} = \frac{92}{142.6} = 0.645$$

按式(18), 斜向孔桥当量减弱系数

$$\varphi_d = K\varphi'' = 1.26 \times 0.622 = 0.784$$

对于 $s'' = 333.6$ mm 的斜向孔桥:

按式(20), 斜向孔桥减弱系数

$$\varphi'' = \frac{s'' - d}{s''} = \frac{333.6 - 92.6}{333.6} = 0.722$$

按式(19), 斜向孔桥换算系数

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0.75}{(1+n^2)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0.75}{(1+0.984^2)^2}}} = 1.11$$

$$\text{式中: } n = \frac{b}{a} = \frac{234}{237.7} = 0.984$$

按式(18), 斜向孔桥当量减弱系数

$$\varphi_d = K\varphi'' = 1.11 \times 0.722 = 0.801$$

斜向孔桥当量减弱系数亦可按图4直接查取。

按4.3.1, 最小减弱系数

$$\varphi_{\min} = \varphi = 0.651$$

B1.1.4 钢壳筒体厚度

按式(5), 理论计算厚度

$$t_t = \frac{pD_n}{2\varphi_{\min}[\sigma] - p} = \frac{1.30 \times 1800}{2 \times 0.651 \times 125 - 1.30} = 14.5 \text{ mm}$$

按4.4.1, 腐蚀减薄的附加厚度

$$c_1 = 0.5 \text{ mm}$$

按GB 713和GB 709, $t = 16$ mm的钢板下偏差(为负值)的附加厚度

$$c_2 = 0.8 \text{ mm}$$

按4.4.1, 工艺减薄的附加厚度(冷卷冷校)

$$c_3 = 0$$

按式(25), 附加厚度

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 0.5 + 0.8 + 0 = 1.3 \text{ mm}$$

按式(6), 最小需要厚度

$$t_{\min} = t_t + c = 14.5 + 1.3 = 15.8 \text{ mm}$$

取用厚度

$$t = 16 \text{ mm}$$

它满足4.5.1钢壳筒体内径 D_n 大于1000 mm时的取用厚度不宜小于6 mm的要求, 也满足4.5.3不绝热钢壳置于炉膛内的厚度不应大于26 mm的要求。

B1.1.5 未加强孔的最大允许直径

按式(10), 有效厚度

$$t_y = t - c = 16 - 1.3 = 14.7 \text{ mm}$$

按式(107), 实际减弱系数

$$\varphi_a = \frac{pD_n}{(2[\sigma] - p)t_y} = \frac{1.30 \times 1800}{(2 \times 125 - 1.30) \times 14.7} = 0.640$$

按图55未加强孔的最大允许直径

$$[d] = 171 \text{ mm}$$

($D_n t_f = 1800 \times 14.7 = 26.5 \times 10^3 \text{ mm}^2$.)

除 300 mm × 400 mm 人孔外,其他孔均无需加强。

B1.1.6 人孔加强计算

校核人孔加强计算方法的适用范围

$$\frac{d}{D_n} = \frac{400}{1800} = 0.22 < 0.8$$

$$d = 400 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$$

满足 12.2.1 的要求。

由表 4,不直接受烟气或火焰加热的人孔圈的计算壁温

$$t_{bi} = t_f = 195^\circ\text{C}$$

按 3.4.1,当计算壁温低于 250°C 时,实取计算壁温

$$t_{bi} = 250^\circ\text{C}$$

由表 1,20g 钢板在 250°C 时的基本许用应力

$$[\sigma]_{11} = 125 \text{ MPa}$$

由表 3,人孔圈基本许用应力的修正系数

$$\eta = 1.00$$

按式(1),人孔圈的许用应力

$$[\sigma]_1 = \eta[\sigma]_{11} = 1.00 \times 125 = 125 \text{ MPa}$$

按式(109),未减弱的锅壳筒体的理论计算厚度

$$t_0 = \frac{pD_n}{2[\sigma] - p} = \frac{1.30 \times 1800}{2 \times 125 - 1.30} = 9.4 \text{ mm}$$

按式(110),人孔圈的理论计算厚度

$$t_{01} = \frac{pd}{2[\sigma]_1 - p} = \frac{1.30 \times 400}{2 \times 125 - 1.30} = 2.1 \text{ mm}$$

按式(10),人孔圈有效厚度

$$t_{y1} = t_1 - c = 20 - 1.3 = 18.7 \text{ mm}$$

(人孔圈附加厚度 c 的取法与锅壳筒体相同。)

按 12.2.6,有效加强高度

$$h_1 = 2.5t = 2.5 \times 16 = 40 \text{ mm}$$

由表 19,需要加强的面积

$$A = \left[d + 2t_{y1} \left(1 - \frac{[\sigma]_{11}}{[\sigma]} \right) \right] t_0$$

$$= \left[300 + 2 \times 18.7 \times \left(1 - \frac{125}{125} \right) \right] \times 9.4$$

$$= 2820 \text{ mm}^2$$

由表 19,焊缝面积

$$A_1 = 2K_n^2 = 2 \times 10^2 = 200 \text{ mm}^2$$

由表 19,人孔圈多余面积

$$A_2 = [2h_1(t_{y1} - t_{01}) + 2h_2t_{y1}] \frac{[\sigma]_{11}}{[\sigma]}$$

$$= [2 \times 40 \times (18.7 - 2.1) + 2 \times 25 \times 18.7] \times \frac{125}{125}$$

$$= 2260 \text{ mm}^2$$

由表 19, 锅壳筒体自身多余面积

$$\begin{aligned} A_4 &= \left[d - 2t_{y1} \left(1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right) \right] (t_y - t_0) \\ &= \left[300 - 2 \times 18.7 \times \left(1 - \frac{125}{125} \right) \right] \times (14.7 - 9.4) \\ &= 1\,590 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

因

$$A_1 + A_2 + A_4 = 200 + 2\,260 + 1\,590 = 4\,050 \text{ mm}^2 > A = 2\,820 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_1 + A_2 + 0.5A_4 &= 200 + 2\,260 + 0.5 \times 1\,590 \\ &= 3\,260 \text{ mm}^2 > \frac{2}{3}A \\ &= \frac{2}{3} \times 2\,820 = 1\,880 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

故满足 12.2.7 的要求。

B1.1.7 校验人孔圈的高度和厚度

人孔圈的高度

$$h = 90 \text{ mm} > \sqrt{td} = \sqrt{16 \times 300} = 69.3 \text{ mm}$$

人孔圈的厚度

$$t_1 = 20 \text{ mm} > \frac{7}{8}t = \frac{7}{8} \times 16 = 14.0 \text{ mm}$$

且

$$t_1 = 20 \text{ mm} > 19 \text{ mm}$$

人孔圈的高度 h 和厚度 t_1 均满足 12.7.1 的要求。

B1.2 例题 2

某卧式内燃回火管燃油锅炉, 额定蒸汽压力为 1.0 MPa, 平直炉胆用 20g 钢板制造, 长度为 2 716 mm, 外径为 800 mm(图 B3), 试计算炉胆厚度。

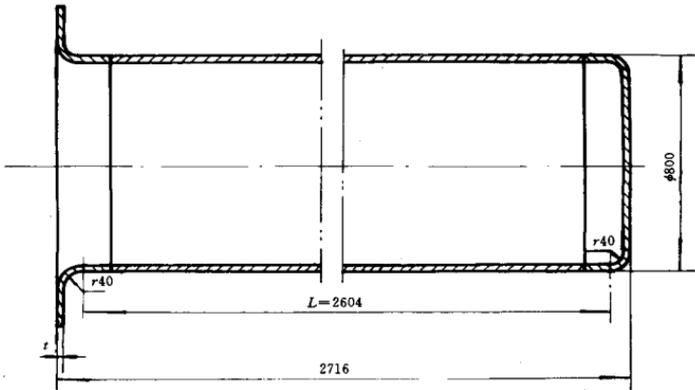


图 B3

[解]:

B1.2.1 计算压力

锅炉额定蒸汽压力 $p_e = 1.0 \text{ MPa}$; 因无过热器, 炉胆至锅炉出口之间的压力降 $\Delta p_r = 0$; 水柱静压力 $\Delta p_{st} < 0.03(p_e + \Delta p + \Delta p_r)$, 按 3.5.1, 取 $\Delta p_{st} = 0$; 按 3.5.1, 附加压力 $\Delta p = 0.02 \text{ MPa}$ 。

按 3.5.1, 计算压力

$$p = p_e + \Delta p + \Delta p_r + \Delta p_{st} = 1.0 + 0.02 + 0 + 0 = 1.02 \text{ MPa}$$

B1.2.2 计算壁温

由水蒸汽表, 计算压力为 1.12 MPa (绝对压力) 下的饱和蒸汽温度

$$t_j = 185^\circ\text{C}$$

由表 4, 直接受火焰辐射的炉胆的计算壁温

$$t_{bi} = t_j + 90 = 185 + 90 = 275^\circ\text{C}$$

B1.2.3 计算壁温时的屈服点

由表 1, 20g 钢板常温时的抗拉强度

$$\sigma_b = 400 \text{ MPa}$$

由表 2, 20g 钢板在 275°C 时的屈服点

$$\sigma_s = 0.38\sigma_b = 0.38 \times 400 = 152 \text{ MPa}$$

B1.2.4 炉胆厚度

按 5.2.1.5 中 a, 计算长度

$$L = 2604 \text{ mm}$$

由表 10, 强度安全系数

$$n_1 = 2.5$$

由表 10, 稳定安全系数

$$n_2 = 3.0$$

由表 11, 20g 钢板在 275°C 时的弹性模量

$$E' = 193 \times 10^3 \text{ MPa}$$

按 5.2.1.7, 平直炉胆的圆度

$$u = 1.5$$

按式(33), 计算值

$$B = \frac{pD_p n_1}{2\sigma_s \left(1 + \frac{D_p}{15L}\right)} = \frac{1.02 \times 784 \times 2.5}{2 \times 152 \times \left(1 + \frac{784}{15 \times 2604}\right)} = 6.45$$

(先假定炉胆取用厚度为 16 mm 。)

按式(32), 炉胆最小需要厚度

$$\begin{aligned} t_{\min} &= \frac{B}{2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{0.12D_p u}{B \left(1 + \frac{D_p}{0.3L}\right)}} \right] + 1 \\ &= \frac{6.45}{2} \times \left[1 + \sqrt{1 + \frac{0.12 \times 784 \times 1.5}{6.45 \times \left(1 + \frac{784}{0.3 \times 2604}\right)}} \right] + 1 \\ &= 15.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

按式(34),炉胆最小需要厚度

$$t_{\min} = D_p^{0.6} \left(\frac{pLn_2}{1.73E_t} \right)^{0.4} + 1 = 784^{0.6} \times \left(\frac{1.02 \times 2\,604 \times 3}{1.73 \times 193\,000} \right)^{0.4} + 1 = 13.2 \text{ mm}$$

按 5.2.1.1,炉胆最小需要厚度

$$t_{\min} = 15.4 \text{ mm}$$

取用厚度

$$t = 16 \text{ mm}$$

B1.2.5 考核

炉胆内径 $D_n = 768 \text{ mm}$, 小于 $1\,800 \text{ mm}$, 满足 5.2.5.1 的要求。

炉胆取用厚度 $t = 16 \text{ mm}$, 满足 5.2.5.2 炉胆厚度不应小于 8 mm 和不应大于 22 mm 的要求。

按 5.2.5.3, 炉胆两端采用扳边连接, 计算长度 $L = 2\,604 \text{ mm}$, 小于 $3\,000 \text{ mm}$ 时, 中间不加膨胀环或波形炉胆是可以的。

B1.3 例题 3

某立式弯水管锅炉, 额定蒸汽压力为 0.7 MPa , 水柱静压力为 0.03 MPa , 炉胆用 20g 钢板制造, 内径为 $1\,000 \text{ mm}$, 炉胆与 U 型下脚圈连接处至 U 型下脚圈弯曲起点的距离为 65 mm , 其他尺寸见图 B5, 炉胆上管孔布置如图 B4, 管子与炉胆单面角焊连接, 炉胆上设一 $300 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ 的炉门孔和 $300 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 的出烟孔, 其连接详图如图 B5, 炉门圈和出烟孔圈均用 14 mm 厚的 20g 钢板冷压制造, 试计算炉胆厚度。

[解]:

B1.3.1 计算压力

锅炉额定蒸汽压力 $p_e = 0.7 \text{ MPa}$; 因无过热器, 炉胆至锅炉出口之间的压力降 $\Delta p_s = 0$; 水柱静压力 $\Delta p_{st} = 0.03 \text{ MPa}$, 它已大于 $0.03(p_e + \Delta p + \Delta p_s) = 0.03 \times (0.7 + 0.02 + 0) = 0.02 \text{ MPa}$; 按 3.5.1, 附加压力 $\Delta p = 0.02 \text{ MPa}$ 。

按 3.5.1, 计算压力

$$p = p_e + \Delta p + \Delta p_s + \Delta p_{st} = 0.7 + 0.02 + 0 + 0.03 = 0.75 \text{ MPa}$$

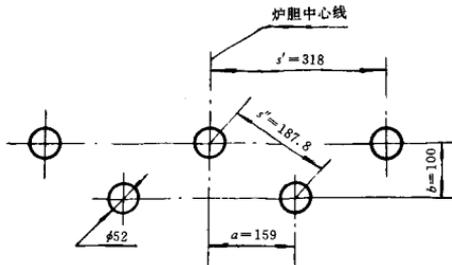


图 B4

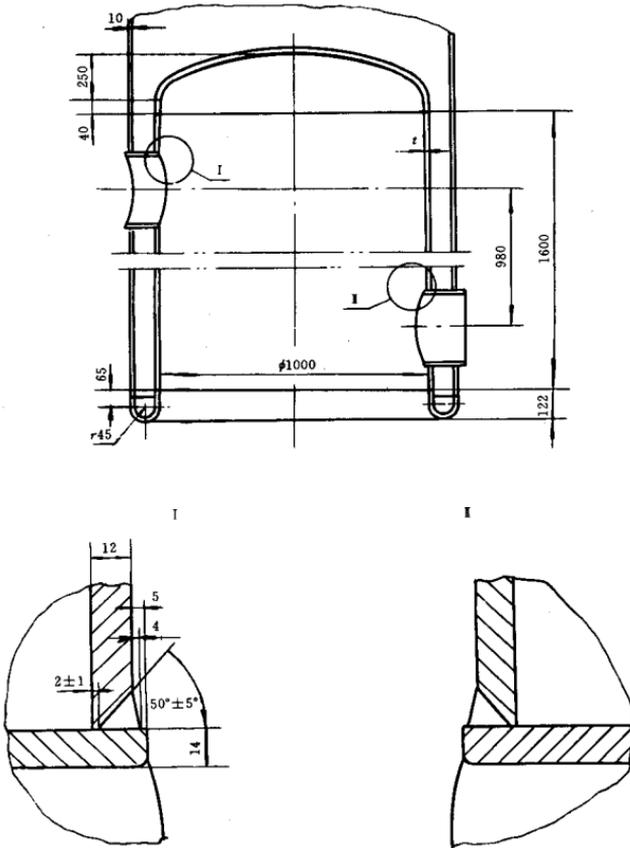


图 B5

B1.3.2 最小减弱系数

由表 5, 炉胆纵向焊缝(双面对接自动焊)的减弱系数

$$\varphi_1 = 1.00$$

按式(15), 不需计算孔桥减弱系数的最小节距

$$s_0 = d_p + 2\sqrt{(D_n + t)t} = 52 + 2\sqrt{(1000 + 12) \times 12} = 272 \text{ mm}$$

(先假定炉胆厚度为 12 mm。)

由于横向节距 318 mm 已大于 $s_0 = 272$ mm, 故横向孔桥减弱系数可不必计算, 只需计算斜向孔桥减弱系数。

按式(20), 斜向孔桥减弱系数

$$\varphi'' = \frac{s'' - d}{s''} = \frac{187.8 - 52}{187.8} = 0.723$$

按式(19),斜向孔桥换算系数

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0.75}{(1+n^2)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0.75}{(1+0.629^2)^2}}} = 1.28$$

式中: $n = \frac{b}{a} = \frac{100}{159.0} = 0.629$

按式(18),斜向孔桥当量减弱系数

$$\varphi_2 = K\varphi'' = 1.28 \times 0.723 = 0.925$$

斜向孔桥当量减弱系数亦可按图4直接查取。

按4.3.1,最小减弱系数

$$\varphi_{\min} = \varphi_2 = 0.925$$

B1.3.3 计算长度

按5.2.1.5中e及图12,计算长度

$$L = X + 40 + 1\,600 + 65 = 105 + 40 + 1\,600 + 65 = 1\,810 \text{ mm}$$

式中: X 根据 $\frac{h_w}{D_w} = \frac{262}{1\,024} = 0.256$,由表9得

$$X = 0.102 D_w = 0.102 \times 1\,024 = 105 \text{ mm}$$

B1.3.4 炉胆厚度

由表1,20g钢板常温时的抗拉强度

$$\sigma_b = 400 \text{ MPa}$$

按式(37),炉胆最小需要厚度

$$\begin{aligned} t_{\min} &= 1.5 \frac{pD_0}{\varphi_{\min} \sigma_b} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4.4L}{p(L+D_0)}} \right] + 2 \\ &= 1.5 \times \frac{0.75 \times 1\,000}{0.925 \times 400} \times \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4.4 \times 1\,810}{0.75 \times (1\,810 + 1\,000)}} \right] + 2 \\ &= 11.7 \text{ mm} \end{aligned}$$

取用厚度

$$t = 12 \text{ mm}$$

B1.3.5 孔的加强计算

a. 炉胆未加强孔的最大允许直径

按12.3.2和12.2.4,未加强孔的最大允许直径为200mm,炉胆上的炉门孔和出烟孔在炉胆上纵截面的尺寸均为300mm,故应进行加强。

b. 炉胆理论计算厚度和有效厚度

由表4,计算壁温

$$t_{bi} = t_j + 90 = 173 + 90 = 263^\circ\text{C}$$

中介质饱和温度 t_j 按工作压力为0.85MPa(绝对压力)查水蒸汽表而得。

由表1,20g钢板在263°C时的基本许用应力

$$[\sigma]_j = 122 \text{ MPa}$$

由表3,基本许用应力的修正系数

$$\eta = 0.90$$

按式(1),许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_j = 0.90 \times 122 = 110 \text{ MPa}$$

按12.3.3和式(109),炉胆理论计算厚度

$$t_0 = \frac{pD_n}{2[\sigma] - p} = \frac{0.75 \times 1000}{2 \times 110 - 0.75} = 3.4 \text{ mm}$$

按式(37)中的附加厚度,取

$$c = 2 \text{ mm}$$

按式(10),炉胆有效厚度

$$t_y = t - c = 12 - 2 = 10 \text{ mm}$$

c. 出烟孔圈理论计算厚度和有效厚度

许用应力按炉胆取

$$[\sigma]_1 = [\sigma] = 110 \text{ MPa}$$

按 12.3.4 和式(110),理论计算厚度

$$t_{01} = \frac{pd}{2[\sigma]_1 - p} = \frac{0.75 \times 500}{2 \times 110 - 0.75} = 1.7 \text{ mm}$$

按式 4.4.1,腐蚀减薄的附加厚度

$$c_1 = 0.5 \text{ mm}$$

按 GB 713 和 GB 709, $t = 14 \text{ mm}$ 的钢板下偏差(为负值)的附加厚度

$$c_2 = 0.8 \text{ mm}$$

按 4.4.1,工艺减薄的附加厚度

$$c_3 = 0$$

按式(25),附加厚度

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 0.5 + 0.8 + 0 = 1.3 \text{ mm}$$

按式(10),有效厚度

$$t_{y1} = t_1 - c = 14 - 1.3 = 12.7 \text{ mm}$$

d. 需要加强的面积

由表 19

$$\begin{aligned} A &= \left[d + 2t_{y1} \left(1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right) \right] t_0 \\ &= \left[300 + 2 \times 12.7 \times \left(1 - \frac{110}{110} \right) \right] \times 3.4 \\ &= 1020 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

e. 起加强作用的面积

焊缝面积

$$A_1 = 16 \times 4 = 64 \text{ mm}^2$$

按 12.2.6,有效加强高度

$$h_1 = 2.5t = 2.5 \times 12 = 30 \text{ mm}$$

由表 19,出烟孔圈的多余面积

$$\begin{aligned} A_2 &= [2h_1(t_{y1} - t_{01}) + 2h_2t_{y1}] \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \\ &= [2 \times 30 \times (12.7 - 1.7) + 2 \times 5 \times 12.7] \times \frac{110}{110} \\ &= 787 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

由表 19,炉胆自身的多余面积

$$\begin{aligned} A_3 &= \left[d - 2t_{y1} \left(1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right) \right] (t_y - t_0) \\ &= \left[300 - 2 \times 12.7 \times \left(1 - \frac{110}{110} \right) \right] \times (10 - 3.4) \end{aligned}$$

$$= 1\,980 \text{ mm}^2$$

起加强作用的多余面积

$$A_1 + A_2 + A_4 = 64 + 787 + 1\,980 = 2\,830 \text{ mm}^2$$

f. 考核

按 12.3.2 和 12.2.7

$$A_1 + A_2 + A_4 = 2\,830 \text{ mm}^2 > A = 1\,020 \text{ mm}^2$$

$$A_1 + A_2 + 0.5A_4 = 64 + 787 + 0.5 \times 1\,980$$

$$= 1\,840 \text{ mm}^2 > \frac{2}{3}A$$

$$= \frac{2}{3} \times 1\,020 = 680 \text{ mm}^2$$

且满足 12.3.1, $\frac{d}{D_w} = \frac{500}{1\,024} = 0.49 < 0.6$ 的要求。

炉门孔圈除长轴尺寸为 400 mm 小于出烟孔圈 500 mm 外,其他尺寸均与出烟孔圈相同,故无需对炉门孔圈进行加强计算。

B1.3.6 校验炉胆结构尺寸

炉胆内径为 1 000 mm,满足 5.2.5.1 炉胆内径不得大于 1 800 mm 的要求。

炉胆取用厚度 $t = 12 \text{ mm}$,满足 5.2.5.2 炉胆厚度不应小于 8 mm 和不应大于 22 mm 的要求。

B1.4 例题 4

某立式无冲天管锅炉,额定蒸汽压力为 0.7 MPa,锅壳封头用 20g 钢板热压制造,内径为 1 200 mm,内高度为 300 mm,封头上设有一 280 mm × 380 mm 的人孔,人孔圈用 20 mm 厚的 20g 钢板冷压制造,人孔圈与封头采用双面角焊连接,试计算锅壳封头厚度。

[解]:

B1.4.1 计算压力

除水柱静压力 $\Delta p_{st} < 0.03(p_e + \Delta p + \Delta p_e)$ 可不予考虑外,其余同例 3

$$p = 0.72 \text{ MPa}$$

B1.4.2 许用应力

由水蒸汽表,计算压力为 0.82 MPa(绝对压力)下的饱和蒸汽温度

$$t_j = 171^\circ\text{C}$$

由表 4,不直接受烟气或火焰加热的元件的计算壁温

$$t_{bi} = t_j = 171^\circ\text{C}$$

按 3.4.1,当计算壁温低于 250°C 时,实取计算壁温

$$t_{bi} = 250^\circ\text{C}$$

由表 1,20g 钢板在 250°C 时的基本许用应力

$$[\sigma]_j = 125 \text{ MPa}$$

由表 3,立式无冲天管锅炉,凹面受压凸形封头基本许用应力的修正系数

$$\eta = 1.00$$

按式(1),许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_j = 1.00 \times 125 = 125 \text{ MPa}$$

B1.4.3 封头厚度

由表 14,有孔无拼接焊缝的减弱系数

$$\varphi = 1 - \frac{d}{D_n} = 1 - \frac{380}{1\,200} = 0.683$$

(由于人孔圈与锅壳封头是插入式双面角焊,故开孔尺寸取内径长轴尺寸。)

按式(57),形状系数

$$Y = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_n}{2h_n} \right)^2 \right] = \frac{1}{6} \times \left[2 + \left(\frac{1\,200}{2 \times 300} \right)^2 \right] = 1.00$$

按 6.2.10,腐蚀减薄的附加厚度

$$c_1 = 0.5 \text{ mm}$$

按 GB 713 和 GB 709, $t=8 \text{ mm}$ 的钢板下偏差(为负值)的附加厚度

$$c_2 = 0.8 \text{ mm}$$

(先假定锅壳封头取用厚度为 8 mm 。)

按 6.2.10,工艺减薄的附加厚度

$$c_3 = 0.1t = 0.1 \times 8 = 0.8 \text{ mm}$$

按式(59),附加厚度

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 0.5 + 0.8 + 0.8 = 2.1 \text{ mm}$$

按式(54),锅壳封头最小需要厚度

$$t_{\min} = \frac{pD_n Y}{2\varphi[\sigma] - 0.5p} + c = \frac{0.72 \times 1\,200 \times 1.00}{2 \times 0.683 \times 125 - 0.5 \times 0.72} + 2.1 \\ = 7.2 \text{ mm}$$

按 6.2.11,式(5)和(6),封头圆筒形部分最小需要厚度

$$t_{\min} = \frac{pD_n}{2\varphi_{\min}[\sigma] - p} + c = \frac{0.72 \times 1\,200}{2 \times 1.00 \times 125 - 0.72} + 2.1 \\ = 5.6 \text{ mm}$$

取用厚度

$$t = 8 \text{ mm}$$

满足 6.2.11 封头厚度不应小于 6 mm 的要求。

B1.4.4 校验封头几何尺寸

$$\frac{h_n}{D_n} = \frac{300}{1\,200} = 0.25 > 0.2$$

$$\frac{t_{\min} - c}{D_n} = \frac{7.2 - 2.1}{1\,200} = 0.004 < 0.1$$

$$\frac{d}{D_n} = \frac{300}{1\,200} = 0.32 < 0.6$$

满足 6.2.3 要求。

封头上除中心开有人孔外,虽还开有安全阀管座孔、主汽阀管座孔、付汽阀管座孔各一个,但符合 6.2.12 中的 a 和 c 的要求。

B1.4.5 补充说明

如需减小封头厚度,亦可按 12.4 对开孔进行加强计算。

B1.5 例题 5

某立式无冲天管弯水管锅炉,额定蒸汽压力为 0.7 MPa ,炉胆顶用 20g 钢板热压制造,内径为 $1\,000 \text{ mm}$,内高度为 250 mm ,炉胆顶上开直径为 52 mm 的孔排,其最小节距为 150 mm ,试计算炉胆顶厚度。

[解]:

B1.5.1 计算压力

与例题 4 同

$$p = 0.72 \text{ MPa}$$

B1.5.2 许用应力

由水蒸汽表,计算压力为 0.82 MPa(绝对压力)下的饱和蒸汽温度

$$t_j = 171^\circ\text{C}$$

由表 4,直接受火焰辐射的炉胆顶的计算壁温

$$t_{bi} = t_j + 90 = 171 + 90 = 261^\circ\text{C}$$

由表 1,20g 钢板在 261°C 时的基本许用应力

$$[\sigma]_j = 123 \text{ MPa}$$

由表 3,立式无冲天管锅炉凸面受压炉胆顶基本许用应力的修正系数

$$\eta = 0.40$$

按式(1),许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_j = 0.40 \times 123 = 49.2 \text{ MPa}$$

B1.5.3 炉胆顶厚度

按式(58),孔桥减弱系数

$$\varphi_1 = \frac{s_{\min} - d}{s_{\min}} = \frac{150 - 52}{150} = 0.653$$

按 6.2.9,孔排减弱系数 $\varphi_1 = 0.653 > \eta = 0.40$,则不必考虑孔排的影响。

按式(57),形状系数

$$Y = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_n}{2h_n} \right)^2 \right] = \frac{1}{6} \times \left[2 + \left(\frac{1000}{2 \times 250} \right)^2 \right] = 1.00$$

按 6.2.10,腐蚀减薄的附加厚度

$$c_1 = 0.5 \text{ mm}$$

按 GB 713 和 GB 709, $t = 10 \text{ mm}$ 的钢板下偏差(为负值)的附加厚度

$$c_2 = 0.8 \text{ mm}$$

(先假定炉胆顶取用厚度为 10 mm。)

按 6.2.10,工艺减薄的附加厚度

$$c_3 = 0.1t = 0.1 \times 10 = 1.0 \text{ mm}$$

按式(59),附加厚度

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 0.5 + 0.8 + 1.0 = 2.3 \text{ mm}$$

按式(54),炉胆顶最小需要厚度

$$t_{\min} = \frac{pD_n Y}{2\varphi[\sigma] - 0.5p} + c = \frac{0.72 \times 1000 \times 1.00}{2 \times 1.00 \times 49.2 - 0.5 \times 0.72} + 2.3 = 9.6 \text{ mm}$$

按 6.2.11,式(5)和(6),炉胆顶圆筒形部分最小需要厚度

$$t_{\min} = \frac{pD_n}{2\sigma_{\min}[\sigma] - p} + c = \frac{0.72 \times 1000}{2 \times 1.00 \times 49.2 - 0.72} + 2.3 = 9.7 \text{ mm}$$

取用厚度

$$t = 10 \text{ mm}$$

满足 6.2.11 炉胆顶厚度不应小于 8 mm 的要求。

B1.5.4 校验炉胆顶几何尺寸

$$\frac{h_n}{D_n} = \frac{250}{1\,000} = 0.25 > 0.2$$

$$\frac{t_{\min} - c}{D_n} = \frac{9.7 - 2.3}{1\,000} = 0.007 < 0.1$$

$$\frac{d}{D_n} = \frac{52}{1\,000} = 0.05 < 0.6$$

满足 6.2.3 的要求。

B1.6 例题 6

某锅炉额定蒸汽压力为 0.7 MPa,其前管板为标准椭球形管板,烟管区的烟温小于 800℃,管板用 20g 钢板热压制造,内径为 1 400 mm,内高度为 350 mm;管板下部设一 300 mm×400 mm 的人孔(图 B6),人孔圈用 20 mm 厚的 20g 钢板冷压制造,并与管板用双面角焊连接,管子与管板用焊接连接,试计算管板厚度。

[解]:

B1.6.1 计算压力

锅炉额定蒸汽压力 $p_e = 0.7$ MPa;因是无过热器的卧式锅炉,管板至锅炉出口之间的压力降 $\Delta p_s = 0$;水柱静压力 $\Delta p_{st} < 0.03(p_e + \Delta p + \Delta p_s)$,按 3.5.1,取 $\Delta p_{st} = 0$;按 3.5.1,附加压力 $\Delta p = 0.02$ MPa。

按 3.5.1,计算压力

$$p = p_e + \Delta p + \Delta p_s + \Delta p_{st} = 0.7 + 0.02 + 0 + 0 = 0.72 \text{ MPa}$$

B1.6.2 许用应力

由水蒸汽表,计算压力为 0.82 MPa(绝对压力)下的饱和蒸汽温度

$$t_j = 171 \text{ }^\circ\text{C}$$

由表 4,与 600~900℃烟气接触的管板的计算壁温

$$t_{bi} = t_j + 50 = 171 + 50 = 221 \text{ }^\circ\text{C}$$

按 3.4.1,当计算壁温低于 250℃时,实取计算壁温

$$t_{bi} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$$

由表 1,20g 钢板在 250℃时的基本许用应力

$$[\sigma]_j = 125 \text{ MPa}$$

由表 3,凹面受压凸形管板基本许用应力的修正系数

$$\eta = 0.85$$

按式(1),许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_j = 0.85 \times 125 = 106 \text{ MPa}$$

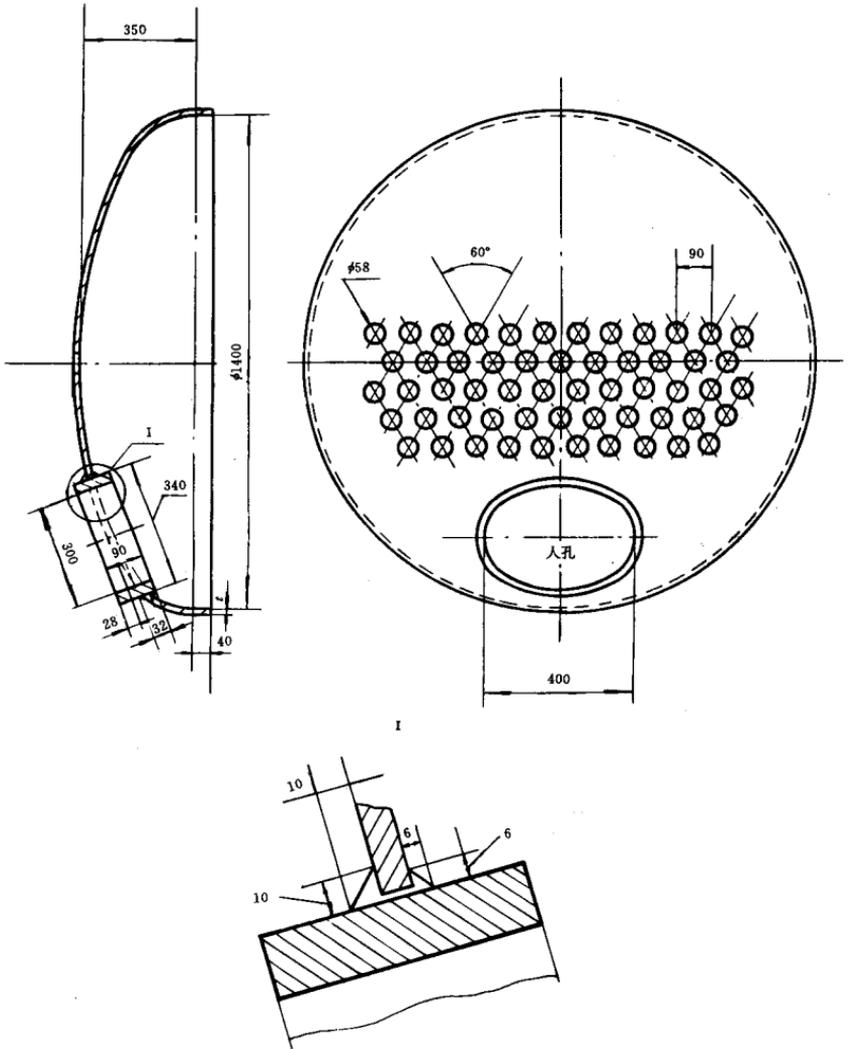


图 B6

B1.6.3 人孔圈及连接焊缝起加强作用的多余面积

人孔圈的基本许用应力与管板相同

$$[\sigma]_{j1} = [\sigma]_j = 125 \text{ MPa}$$

由表 3, 人孔圈基本许用应力的修正系数

$$\eta = 1.00$$

按式(1), 人孔圈的许用应力

$$[\bar{\sigma}]_j = \eta[\sigma]_{j1} = 1.00 \times 125 = 125 \text{ MPa}$$

按式(110), 人孔圈的理论计算厚度

$$t_{01} = \frac{pd}{2[\bar{\sigma}]_{j1} - p} = \frac{0.72 \times 400}{2 \times 125 - 0.72} = 1.2 \text{ mm}$$

按 12.4.2 和 4.4.1, 人孔圈腐蚀减薄的附加厚度

$$c_1 = 0.5 \text{ mm}$$

按 GB 713 和 GB 709, $t=20 \text{ mm}$ 的钢板下偏差(为负值)的附加厚度

$$c_2 = 0.8 \text{ mm}$$

按 4.4.1, 人孔圈工艺减薄的附加厚度

$$c_3 = 0$$

按式(25), 附加厚度

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 0.5 + 0.8 + 0 = 1.3 \text{ mm}$$

按 12.4.2 和 12.2.6, 有效加强高度

$$h_1 = h_2 = 2.5t = 2.5 \times 10 = 25 \text{ mm}$$

(先假定管板取用厚度为 10 mm 。)

按 12.4.2、图 57.12.2.7、表 19、图 B6, 人孔圈和连接焊缝起加强作用的多余面积

$$\begin{aligned} A_F &= K_{b1}^2 + K_{b2}^2 + 2[h_1(t_{y1} - t_{01}) + h_2 t_{y1}] \frac{[\sigma]_j}{[\sigma]} \\ &= (10^2 + 6^2) + 2 \times [25 \times (20 - 1.3 - 1.2) + 25 \times (20 - 1.3)] \times \frac{106}{106} \\ &= 1946 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(因 $[\sigma]_j > [\sigma]$, 故取 $[\sigma]_j = [\sigma]$ 。)

B1.6.4 管板厚度

按 6.2.10, 腐蚀减薄的附加厚度

$$c_1 = 0.5 \text{ mm}$$

按 GB 713 和 GB 709, $t=10 \text{ mm}$ 的钢板下偏差(为负值)的附加厚度

$$c_2 = 0.8 \text{ mm}$$

按 6.2.10, 工艺减薄的附加厚度

$$c_3 = 0.1t = 0.1 \times 10 = 1.0 \text{ mm}$$

按式(59), 附加厚度

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 0.5 + 0.8 + 1.0 = 2.3 \text{ mm}$$

按式(56), 有效厚度

$$t_y = t - c = 10 - 2.3 = 7.7 \text{ mm}$$

按 12.4.3, 经加强后人孔开孔直径

$$d = 400 - \frac{A_F}{t_y} = 400 - \frac{1946}{7.7} = 147 \text{ mm}$$

由表 14, 有孔无拼接焊缝的减弱系数

$$\varphi = 1 - \frac{d}{D_n} = 1 - \frac{147}{1400} = 0.895$$

按式(57),形状系数

$$Y = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_n}{2h_n} \right)^2 \right] = \frac{1}{6} \times \left[2 + \left(\frac{1400}{2 \times 350} \right)^2 \right] = 1.00$$

按式(54),管板最小需要厚度

$$t_{\min} = \frac{pD_n Y}{2\varphi[\sigma] - 0.5p} + c = \frac{0.72 \times 1400 \times 1.00}{2 \times 0.895 \times 106 - 0.5 \times 0.72} + 2.3 = 7.6 \text{ mm}$$

按 6.4.3、式(5)和(6),管板圆筒形部分最小需要厚度

$$t_{\min} = \frac{pD_n}{2\varphi_{\min}[\sigma] - p} + c = \frac{0.72 \times 1400}{2 \times 1.00 \times 106 - 0.72} + 2.3 = 7.1 \text{ mm}$$

取用厚度

$$t = 10 \text{ mm}$$

满足 6.4.3 和 7.3.4 焊接管板厚度不应小于 10 mm 的要求。

B1.6.5 校验管板几何尺寸

$$\frac{h_n}{D_n} = \frac{350}{1400} = 0.25 > 0.2$$

$$\frac{t_{\min} - c}{D_n} = \frac{7.6 - 2.3}{1400} = 0.004 < 0.1$$

$$\frac{d}{D_n} = \frac{400}{1400} = 0.29 < 0.6$$

满足 6.2.3 的要求。

B1.6.6 校验人孔圈的高度和厚度

人孔圈的高度

$$h = 90 \text{ mm} > \sqrt{td} = \sqrt{10 \times 300} = 54.8 \text{ mm}$$

人孔圈的厚度

$$t_1 = 20 \text{ mm} > \frac{7}{8}t = \frac{7}{8} \times 10 = 8.8 \text{ mm}$$

且

$$t_1 = 20 \text{ mm} > 19 \text{ mm}$$

人孔圈的高度 h 和厚度 t_1 均满足 12.7.1 的要求。

B1.7 例题 7

某卧式水水管热水锅炉,锅炉额定出水压力为 1.0 MPa,额定出口水温为 95℃,其拱形管板结构如图 B7 所示,烟管区的烟温小于 900℃,管板采用 16Mng 钢板制造,人孔圈用 20 mm 厚的 20g 钢板冷压制造,高度为 90 mm,并与管板用双面角焊连接,烟管与管板用焊接连接,试计算拱形管板厚度。

【解】:

B1.7.1 校验结构尺寸

烟管与管板全部采用焊接连接,满足 7.3.3 不装拉掌管的要求。

管子焊缝间净距离为 $88 - 64.2 - 9 = 14.8 \text{ mm}$,满足 7.3.5 不应小于 6 mm 的要求。

B1.7.2 计算压力

锅炉额定出水压力 $p_e = 1.0 \text{ MPa}$;拱形管板至锅炉出口之间的压力降 $\Delta p_i = 0$;水柱静压力 $\Delta p_{st} < 0.03(p_e + \Delta p + \Delta p_e)$,按 3.5.1,取 $\Delta p_{st} = 0$;按 3.5.1,附加压力 $\Delta p = 0.02 \text{ MPa}$ 。

按 3.5.1, 计算压力

$$p = p_e + \Delta p + \Delta p_s + \Delta p_{ss} = 1.0 + 0.02 + 0 + 0 = 1.02 \text{ MPa}$$

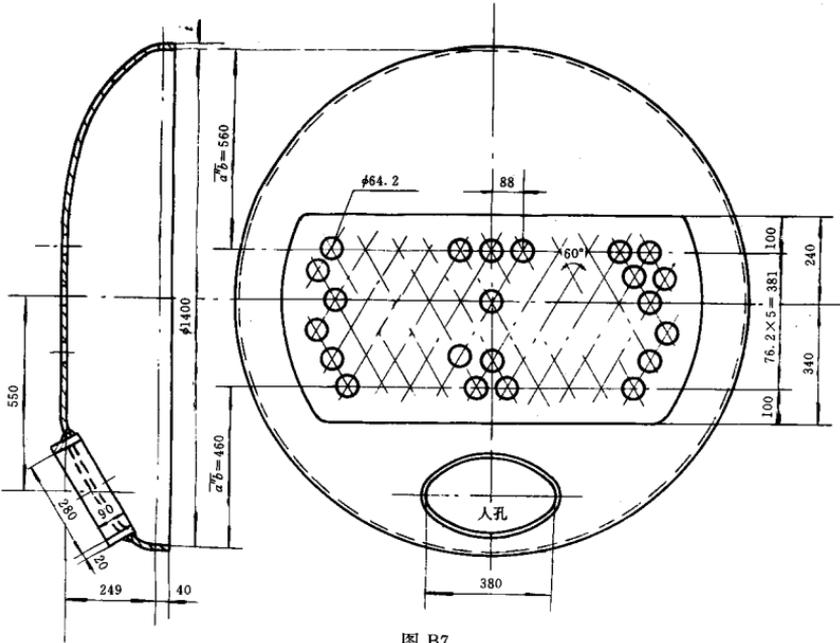


图 B7

B1.7.3 许用应力

由表 4, 与 600~900℃ 烟气接触的管板的计算壁温

$$t_{bi} = t_j + 50 = 95 + 50 = 145^\circ\text{C}$$

按 3.4.1, 当计算壁温低于 250℃ 时, 实取计算壁温

$$t_{bi} = 250^\circ\text{C}$$

由表 1, 16Mng 钢板在 250℃ 时的基本许用应力

$$[\sigma]_j = 149 \text{ MPa}$$

由表 3, 凹面受压凸形管板基本许用应力的修正系数

$$\eta = 0.85$$

按式(1), 许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_j = 0.85 \times 149 = 127 \text{ MPa}$$

B1.7.4 拱形管板下部凸形部位的最小需要厚度

按 6.4.2.1, 凸形部位的当量直径

$$D_{nd} = 2\sqrt{a^2 + b^2} = 2 \times 460 = 920 \text{ mm}$$

由表 14, 有孔无拼接焊缝的减弱系数

$$\varphi = 1 - \frac{d}{D_{nd}} = 1 - \frac{380}{920} = 0.587$$

按式(57), 形状系数

$$Y = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_{nd}}{2h_n} \right)^2 \right] = \frac{1}{6} \times \left[2 + \left(\frac{920}{2 \times 249} \right)^2 \right] = 0.901$$

按 6.2.10, 腐蚀减薄的附加厚度

$$c_1 = 0.5 \text{ mm}$$

按 GB 713 和 GB 709, $t=10 \text{ mm}$ 的钢板下偏差(为负值)的附加厚度

$$c_2 = 0.8 \text{ mm}$$

(先假定管板取用厚度为 10 mm。)

按 6.2.10, 工艺减薄的附加厚度

$$c_3 = 0.1t = 0.1 \times 10 = 1.0 \text{ mm}$$

按式(59), 附加厚度

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 0.5 + 0.8 + 1.0 = 2.3 \text{ mm}$$

按 6.4.2.1 和式(54), 最小需要厚度

$$t_{\min} = \frac{pD_{nd}Y}{2\phi[\sigma] - 0.5p} + c = \frac{1.02 \times 920 \times 0.901}{2 \times 0.587 \times 127 - 0.5 \times 1.02} + 2.3 \\ = 8.0 \text{ mm}$$

如需减小厚度, 可按 12.4 对孔进行加强。

校验管板凸形部位几何尺寸

$$\frac{h_n}{D_{nd}'} = \frac{249}{720} = 0.35 > 0.2$$

$$\frac{t_{\min} - c}{D_{nd}'} = \frac{8.0 - 2.3}{720} = 0.008 < 0.1$$

$$\frac{d}{D_{nd}'} = \frac{380}{720} = 0.53 < 0.6$$

满足 6.2.3 的要求。

B1.7.5 拱形管板上部凸形部位的最小需要厚度

按 6.4.2.1, 凸形部位的当量直径

$$D_{nd} = 2\sqrt{ab} = 2 \times 560 = 1120 \text{ mm}$$

由表 14, 无孔无拼接焊缝的减弱系数

$$\phi = 1.00$$

按式(57), 形状系数

$$Y = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_{nd}}{2h_n} \right)^2 \right] = \frac{1}{6} \times \left[2 + \left(\frac{1120}{2 \times 249} \right)^2 \right] = 1.17$$

按 6.4.2.1 和式(54), 最小需要厚度

$$t_{\min} = \frac{pD_{nd}Y}{2\phi[\sigma] - 0.5p} + c = \frac{1.02 \times 1120 \times 1.17}{2 \times 1.00 \times 127 - 0.5 \times 1.02} + 2.3 \\ = 7.6 \text{ mm}$$

校验管板凸形部位几何尺寸

$$\frac{h_n}{D_{nd}'} = \frac{249}{920} = 0.27 > 0.2$$

$$\frac{t_{\min} - c}{D_{nd}'} = \frac{7.6 - 2.3}{920} = 0.0058 < 0.1$$

满足 6.2.3 的要求。

B1.7.6 拱形管板圆筒形部位的最小需要厚度

按 6.4.3, 式(5)和(6), 最小需要厚度

$$t_{\min} = \frac{pD_n}{2\varphi_{\min}[\sigma]} - p + c = \frac{1.02 \times 1400}{2 \times 1.00 \times 127 - 1.02} + 2.3$$

$$= 7.9 \text{ mm}$$

B1.7.7 校验人孔圈的高度和厚度

人孔圈的高度

$$h = 90 \text{ mm} > \sqrt{td} = \sqrt{10 \times 280} = 52.9 \text{ mm}$$

人孔圈的厚度

$$t_1 = 20 \text{ mm} > \frac{7}{8}t = \frac{7}{8} \times 10 = 8.8 \text{ mm}$$

且

$$t_1 = 20 \text{ mm} > 19 \text{ mm}$$

人孔圈的高度 h 和厚度 t_1 均满足 12.7.1 的要求。**B1.7.8 拱形管板平板部位最小需要厚度**

按 7.3.2, 系数

$$K = 0.47$$

按 7.3.2, 假想圆直径

$$d_j = s_{\max} = 88 \text{ mm}$$

按 6.4.2.2 和 7.3.1 及式(62), 最小需要厚度

$$t_{\min} = Kd_j \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} + 1 = 0.47 \times 88 \times \sqrt{\frac{1.02}{127}} + 1 = 4.7 \text{ mm}$$

B1.7.9 校验拱形管板最小需要厚度

取 B1.7.4、B1.7.5、B1.7.6、B1.7.8 计算较大值

$$t_{\min} = 8.0 \text{ mm}$$

取用厚度

$$t = 10 \text{ mm}$$

满足 6.4.3.1 和 7.3.4 焊接管板厚度不应小于 10 mm 的要求。

B1.8 例题 8

某卧式水火管锅炉, 额定蒸汽压力为 1.25 MPa, 前管板用 16Mng 钢板热压制造, 内径 $D_n = 1800$ mm, 管板结构布置如图 B8 所示, 烟管区烟温小于 900°C, 管板下部设有一 280 mm × 380 mm 的人孔, 人孔圈用 20 mm 厚的 20g 钢板冷压制造, 并与管板用双面角焊连接, 烟管与管板用胀连接, 烟管与拉撑管均用 $\phi 63.5 \times 3.5$ mm 的 20 号无缝钢管, 直拉杆用 $\phi 40$ mm 的 20 号圆钢, 角撑板用 16 mm 厚的 16Mng 钢板, 试计算平管板厚度及拉撑件尺寸。

[解]:

B1.8.1 校验结构尺寸

图 B8 中扳边内半径 $r = 40$ mm, 不小于 $2t = 2 \times 16 = 32$ mm, 也不小于 38 mm (先假定管板厚度为 16 mm), 满足 7.2.11 的要求。

图 B8 中人孔加强圈焊缝边缘至扳边起点的最小距离为 10 mm, 不小于 6 mm, 也满足 7.2.11 的要求。

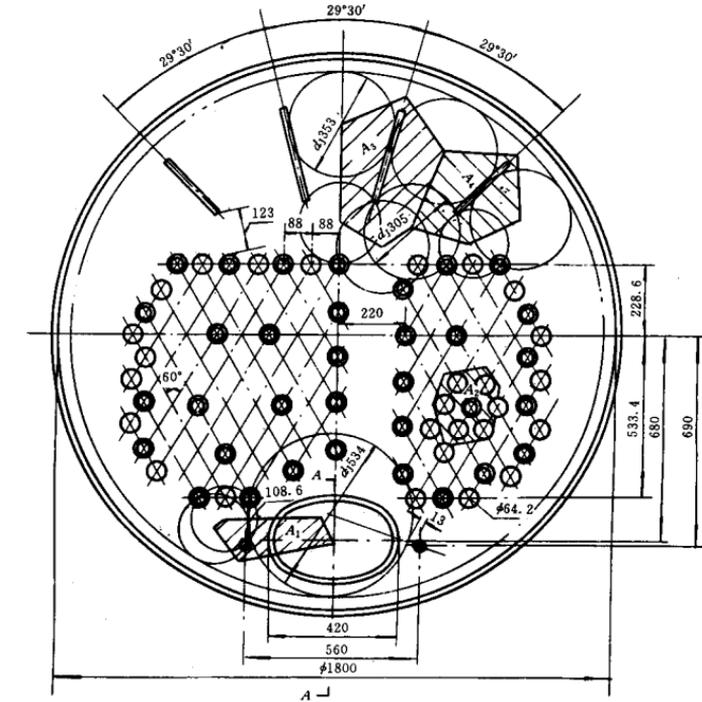
图 B8 中胀接管板孔桥 $s - d = 88 - 64.2 = 23.8$ mm, 不小于 $0.125d + 12.5$ mm = $0.125 \times 64.2 + 12.5 = 20.5$ mm, 满足 7.3.5 的要求。

图 B8 中胀接管孔中心至扳边起点的最小距离为 128 mm, 不小于 $0.8d = 0.8 \times 64.2 = 51.4$ mm, 也不小于 $0.5d + 12$ mm = $0.5 \times 64.2 + 12 = 44.1$ mm, 满足 7.3.6 的要求。

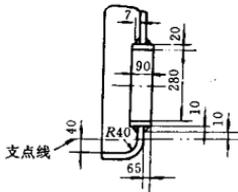
图 B8 中直拉杆边缘至烟管外壁间的最小距离为 106 mm, 角撑板端部至烟管外壁间的最小距离为

123 mm, 都不小于 100 mm, 满足 8.2.3 的要求。

图 B8 中锅壳内壁至烟管外壁的最小距离为 136 mm, 不小于 40 mm, 满足 8.2.4 的要求。



A-A



- 胀接管孔
- 拉撑管孔
- ⊗ 直拉杆

直拉杆最大支撑面积 $A_1 = 382 \text{ cm}^2$

拉撑管最大支撑面积 $A_2 = 334 \text{ cm}^2$

角撑板支撑面积 $A_3 = 1\,220 \text{ cm}^2$

$A_4 = 787 \text{ cm}^2$

图 B8

B1.8.2 计算压力

与例 1 同

$$p = 1.30 \text{ MPa}$$

B1.8.3 许用应力

由水蒸汽表,计算压力为 1.40 MPa(绝对压力)下的饱和蒸汽温度

$$t_j = 195^\circ\text{C}$$

由表 4,与 600~900°C 烟气接触的管板的计算壁温

$$t_{bi} = t_j + 50 = 195 + 50 = 245^\circ\text{C}$$

按 3.4.1,当计算壁温低于 250°C 时,实取计算壁温

$$t_{bi} = 250^\circ\text{C}$$

由表 1,16Mng 钢板在 250°C 时的基本许用应力

$$[\sigma]_j = 149 \text{ MPa}$$

由表 3,烟管管板基本许用应力的修正系数

$$\eta = 0.85$$

按式(1),许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_j = 0.85 \times 149 = 127 \text{ MPa}$$

B1.8.4 管板厚度

a. $d_j = 353 \text{ mm}$ 部位

按 7.2.4、7.2.5 和表 15,系数(板边支点的系数 $K = 0.35$,角撑板的系数 $K = 0.43$ 。)

$$K = \frac{0.35 + 2 \times 0.43}{3} = 0.40$$

按式(62),最小需要厚度

$$t_{\min} = K d_j \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} + 1 = 0.40 \times 353 \sqrt{\frac{1.30}{127}} + 1 = 15.3 \text{ mm}$$

b. $d_j = 305 \text{ mm}$ 部位

按 7.2.4、7.2.5 和表 15,系数(角撑板和拉撑管的系数 $K = 0.43$ 。)

$$K = 0.43$$

按式(62),最小需要厚度

$$t_{\min} = K d_j \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} + 1 = 0.43 \times 305 \sqrt{\frac{1.30}{127}} + 1 = 14.3 \text{ mm}$$

c. $d_j = 534 \text{ mm}$,包含人孔部位

由表 1,16Mng 钢板在常温时的抗拉强度

$$\sigma_b = 510 \text{ MPa}$$

人孔计算直径

$$d_h = a + b = 190 + 140 = 330 \text{ mm}$$

由表 16,系数(图 B8 中 $l = 13 \text{ mm} < \frac{d_j}{10} = 53.4 \text{ mm}$ 。)

$$C = 1.19$$

按式(64),最小需要厚度

$$t_{\min} = 0.62 \sqrt{\frac{p}{\sigma_b} (C d_j^2 - d_h^2)} = 0.62 \sqrt{\frac{1.30}{510} \times (1.19 \times 534^2 - 330^2)} = 15.0 \text{ mm}$$

d. 管板最小需要厚度取 a、b、c 中最大值

$$t_{\min} = 15.3 \text{ mm}$$

e. 实取厚度

$$t = 16 \text{ mm}$$

满足 7.3.4, 胀接管直径大于 51 mm 的管板厚度不应小于 14 mm 的要求。

B1.8.5 校验人孔圈的高度和厚度

人孔圈的高度

$$h = 90 \text{ mm} > \sqrt{td} = \sqrt{16 \times 280} = 66.9 \text{ mm}$$

人孔圈的厚度

$$t_1 = 20 \text{ mm} > \frac{7}{8}t = \frac{7}{8} \times 16 = 14.0 \text{ mm}$$

且

$$t_1 = 20 \text{ mm} > 19 \text{ mm}$$

人孔圈的高度 h 和厚度 t_1 均满足 12.7.1 的要求。

B1.8.6 直拉杆的最小需要直径

a. 计算壁温

由表 4, 不直接受烟气或火焰加热的元件的计算壁温

$$t_{bi} = t_j = 195^\circ\text{C}$$

按 3.4.1, 当计算壁温低于 250°C 时, 实取计算壁温

$$t_{bi} = 250^\circ\text{C}$$

b. 许用应力

由表 1, 20 号圆钢在 250°C 时的基本许用应力

$$[\sigma]_j = 125 \text{ MPa}$$

由表 3, 拉撑件基本许用应力的修正系数

$$\eta = 0.55$$

按式(1), 许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_j = 0.55 \times 125 = 68.8 \text{ MPa}$$

c. 被拉面积

按图 B8, 直拉杆最大支撑面积

$$A_1 = 382 \text{ cm}^2$$

d. 直拉杆的最小需要截面积

按式(74), 最小需要截面积

$$F_{\min} = \frac{pA_1}{[\sigma]} = \frac{1.30 \times 382}{68.8} = 7.22 \text{ cm}^2$$

e. 直拉杆的最小需要直径

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{4F_{\min}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 7.22}{3.14}} = 3.03 \text{ cm} = 30.3 \text{ mm}$$

f. 考核

直拉杆取用直径(考虑后管板的需要)

$$d = 40 \text{ mm}$$

满足 8.4.6 直拉杆的直径不宜小于 25 mm 的要求。

B1.8.7 拉撑管的最小需要厚度

a. 计算壁温

由表 4, 拉撑管的计算壁温

$$t_{bi} = t_j + 25 = 195 + 25 = 220^\circ\text{C}$$

按 3.4.1, 当计算壁温低于 250℃ 时, 实取计算壁温

$$t_{bi} = 250^{\circ}\text{C}$$

b. 许用应力
与直拉杆相同

$$[\sigma] = 68.8 \text{ MPa}$$

c. 被拉面积

按图 B8, 拉撑管的最大支撑面积

$$A_2 = 334 \text{ cm}^2$$

d. 拉撑管的最小需要截面积

$$F_{\min} = \frac{pA_2}{[\sigma]} = \frac{1.30 \times 334}{68.8} = 6.31 \text{ cm}^2$$

e. 拉撑管的最大允许内径

$$d_n = \sqrt{d_w^2 - \frac{4F_{\min}}{\pi}} = \sqrt{6.35^2 - \frac{4 \times 6.31}{3.14}} = 5.69 \text{ cm} = 56.9 \text{ mm}$$

f. 拉撑管的最小需要厚度

$$t_{1\min} = \frac{d_w - d_n}{2} = \frac{63.5 - 56.9}{2} = 3.3 \text{ mm}$$

g. 拉撑管的取用厚度

$$t_1 = 3.5 \text{ mm}$$

满足要求。

B1.8.8 角撑板的最小需要宽度

a. 角撑板的结构如图 B9 所示。

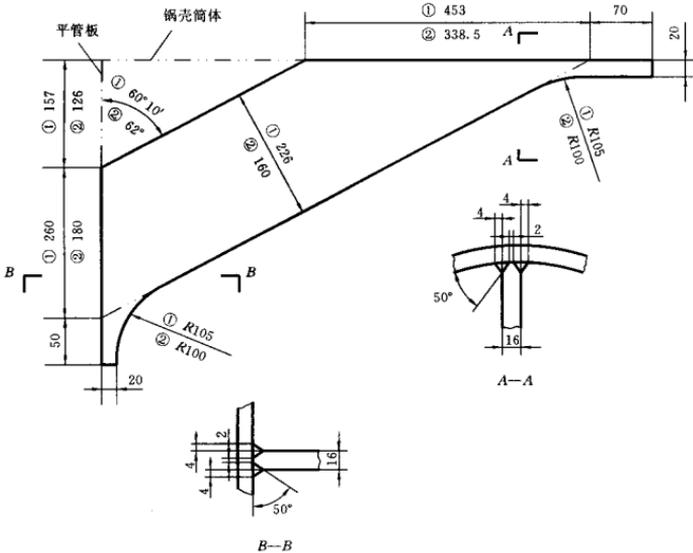


图 B9

b. 计算壁温

与直拉杆相同

$$t_{bi} = 250^{\circ}\text{C}$$

c. 许用应力

由表 1, 16Mng 钢板在 250°C 时的基本许用应力

$$[\sigma]_1 = 149 \text{ MPa}$$

由表 3, 角撑板基本许用应力的修正系数

$$\eta = 0.55$$

按式(1), 许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_1 = 0.55 \times 149 = 82.0 \text{ MPa}$$

d. 角撑板的最小需要截面积

按图 B8, 角撑板①的支撑面积

$$A_3 = 1\,220 \text{ cm}^2$$

按图 B8, 角撑板②的支撑面积

$$A_4 = 787 \text{ cm}^2$$

按式(77), 角撑板①的最小需要截面积

$$F_{1\min} = \frac{\rho A_3}{[\sigma] \sin \alpha_1} = \frac{1.30 \times 1\,220}{82 \times \sin 60^{\circ}10'} = 22.3 \text{ cm}^2$$

(角撑板与管板的夹角 $\alpha_1 = 60^{\circ}10'$)

按式(77), 角撑板②的最小需要截面积

$$F_{2\min} = \frac{\rho A_4}{[\sigma] \sin \alpha_2} = \frac{1.30 \times 787}{82 \times \sin 62^{\circ}} = 14.1 \text{ cm}^2$$

(角撑板与管板的夹角 $\alpha_2 = 62^{\circ}$)

e. 角撑板的尺寸

取用厚度

$$t_b = 16 \text{ mm}$$

它不小于管板厚度的 70% = $0.7 \times 16 = 11.2 \text{ mm}$, 亦不小于锅壳筒体的厚度 16 mm, 且不大于锅壳筒体厚度的 1.7 倍 = $16 \times 1.7 = 27.2 \text{ mm}$, 满足 8.6.8 的要求。

角撑板①的最小需要宽度

$$b_{1\min} = \frac{100F_{1\min}}{t_b} = \frac{100 \times 22.3}{16} = 139 \text{ mm}$$

角撑板②的最小需要宽度

$$b_{2\min} = \frac{100F_{2\min}}{t_b} = \frac{100 \times 14.1}{16} = 88 \text{ mm}$$

f. 角撑板的焊缝长度

按 8.6.6, 焊缝系数

$$\eta_b = 0.60$$

按式(81), 角撑板①的焊缝最小长度

$$L_{h1\min} = \frac{100\rho A_3}{t_b \eta_b [\sigma] \sin \alpha_1} + 20 = \frac{100 \times 1.30 \times 1\,220}{16 \times 0.60 \times 82 \times \sin 60^{\circ}10'} + 20 = 252 \text{ mm}$$

按式(81), 角撑板②的焊缝最小长度

$$L_{h2\min} = \frac{100\rho A_4}{t_b \eta_b [\sigma] \sin \alpha_2} + 20 = \frac{100 \times 1.30 \times 787}{16 \times 0.60 \times 82 \times \sin 62^{\circ}} + 20 = 167 \text{ mm}$$

g. 按焊缝长度校核角撑板的宽度

角撑板①的最小需要宽度

$$b_{1\min} = (L_{h1} - 50)\sin\alpha_1 = (252 - 50) \times \sin 60^\circ 10' = 175 \text{ mm}$$

角撑板②的最小需要宽度

$$b_{2\min} = (L_{h2} - 50)\sin\alpha_2 = (167 - 50) \times \sin 62^\circ = 103 \text{ mm}$$

角撑板①的取用宽度 $b_1 = 226 \text{ mm}$

角撑板②的取用宽度 $b_2 = 160 \text{ mm}$

均满足要求。

B1.9 例题 9

某立式无冲天管锅炉,额定蒸汽压力为 0.7 MPa,水柱静压力为 0.3 MPa,U 型下脚圈用 20g 钢板制造,锅壳筒体内径为 1 200 mm,与下脚圈相连处的炉胆外径为 1 024 mm,试计算 U 型下脚圈厚度。

[解]:

B1.9.1 计算压力

与例题 3 同

$$p = 0.75 \text{ MPa}$$

B1.9.2 下脚圈厚度

由表 1,20g 钢板常温时的抗拉强度

$$\sigma_b = 400 \text{ MPa}$$

按 11.2.4 和式(105),U 型下脚圈的最小需要厚度

$$\begin{aligned} t_{1\min} &= 1.2 \left\{ \sqrt{\frac{pD_n(D_n - D_w)}{990}} \sqrt{\frac{372}{\sigma_b} + 1} \right\} \\ &= 1.2 \times \left\{ \sqrt{\frac{0.75 \times 1\,200 \times (1\,200 - 1\,024)}{990}} \times \sqrt{\frac{372}{400} + 1} \right\} \\ &= 15.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

取用厚度

$$t_1 = 16 \text{ mm}$$

B2 校核计算

B2.1 例题 10

某已运行过的立式多横火管(考克兰)锅炉(图 B10),经检验,各受压元件无异状,且结构合理。锅炉技术档案资料完整,除烟管、拉撑管为 20 号无缝钢管外,其余材料均为 20g 钢板。各受压元件实测尺寸如下:

- 锅壳筒体内径 1 646 mm,厚度 12 mm;
- 半球形封头内径 1 646 mm,厚度 12 mm;
- 半球形炉胆内径 1 420 mm,厚度 14 mm;
- U 型下脚圈厚度 19 mm;
- 前管板厚度 16 mm;
- 后管板厚度 14 mm;
- 管孔直径 65 mm,横向、竖向管孔节距均为 105 mm;
- 前管板弓形板厚度 16 mm;
- 后管板弓形板厚度 14 mm;
- 烟管外径 64 mm,厚度 3 mm;
- 拉撑管外径 64 mm,厚度 6 mm;
- 人孔 300 mm × 400 mm,人孔盖厚度 19 mm;

m. 手孔 88 mm×102mm, 手孔盖厚度 12 mm;

n. 喉管 300 mm×400mm;

o. 炉门 300 mm×400mm。

这台锅炉要求出口处正常运行最高压力为 0.7 MPa, 试校核能否合格。

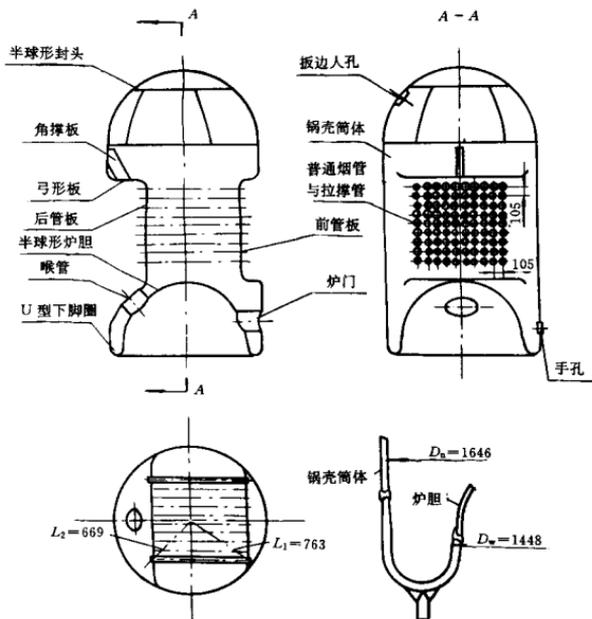


图 B10

[解]:

B2.1.1 锅壳筒体最高允许计算压力

确定计算压力

锅炉额定蒸汽压力 $p_e = 0.7$ MPa; 因无过热器, 弓形板至锅炉出口之间的压力降 $\Delta p_r = 0$; 水柱静压力 $\Delta p_{st} < 0.03(p_e + \Delta p + \Delta p_r)$, 按 3.5.1, 取 $\Delta p_{st} = 0$; 按 3.5.1, 附加压力 $\Delta p = 0.02$ MPa。

按 3.5.1, 计算压力

$$p = p_e + \Delta p + \Delta p_r + \Delta p_{st} = 0.7 + 0.02 + 0 + 0 = 0.72 \text{ MPa}$$

由水蒸汽表, 计算压力为 0.82 MPa(绝对压力)下的饱和蒸汽温度

$$t_j = 171^\circ\text{C}$$

由表 4, 不直接受烟气或火焰加热的元件的计算壁温

$$t_{bi} = t_j = 171^\circ\text{C}$$

按 3.4.1, 当计算壁温低于 250°C 时, 实取计算壁温

$$t_{bi} = 250^\circ\text{C}$$

由表 1, 20g 钢板在 250°C 时的基本许用应力

$$[\sigma]_j = 125 \text{ MPa}$$

由表 3, 不受热锅壳筒体基本许用应力的修正系数

$$\eta = 1.00$$

按式(1), 许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_j = 1.00 \times 125 = 125 \text{ MPa}$$

按式(10), 有效厚度

$$t_y = t - c = 12 - 1 = 11 \text{ mm}$$

(以后的腐蚀减薄量取 1 mm, 因是实测厚度, 故 $c_2=0, c_3=0$ 。)

因按 7.6.4 要求, 与管板两边相接的锅壳板厚度至少应按锅壳筒体公式计算的厚度大 1.5 mm,

故

$$t'_y = t_y - 1.5 = 11 - 1.5 = 9.5 \text{ mm}$$

由表 5, 双面自动焊的锅壳筒体纵向焊缝减弱系数

$$\varphi_h = 1.00$$

按 4.2.3, 校核部位减弱系数

$$\varphi_j = \varphi_{\min} = \varphi_h = 1.00$$

按式(8), 锅壳筒体最高允许计算压力

$$[p] = \frac{2\varphi_j[\sigma]t'_y}{D_n + t_y} = \frac{2 \times 1.00 \times 125 \times 9.5}{1\ 646 + 9.5} = 1.43 \text{ MPa}$$

B2.1.2 半球形封头最高允许计算压力

基本许用应力与锅壳筒体相同

$$[\sigma]_j = 125 \text{ MPa}$$

由表 3, 立式无冲天管锅炉, 凹面受压凸形封头基本许用应力的修正系数

$$\eta = 1.00$$

按式(1), 许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_j = 1.00 \times 125 = 125 \text{ MPa}$$

焊缝减弱系数与锅壳筒体相同

$$\varphi_h = 1.00$$

按 6.2.6 和由表 14, 对于有孔有拼接焊缝且两者不重合的减弱系数取

$$\varphi = 1 - \frac{d}{D_n} = 1 - \frac{400}{1\ 646} = 0.757$$

$$\varphi_h = 1.00$$

中的较小值, 故

$$\varphi = 0.757$$

按式(57), 形状系数

$$Y = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_n}{2h_n} \right)^2 \right] = \frac{1}{6} \times \left[2 + \left(\frac{1\ 646}{2 \times 823} \right)^2 \right] = 0.50$$

按式(56), 有效厚度

$$t_y = t - c = 12 - 1 = 11 \text{ mm}$$

(以后的腐蚀减薄量取 1 mm, 因是实测厚度, 故 $c_2=0, c_3=0$ 。)

按式(55), 半球形封头最高允许计算压力

$$[p] = \frac{2\varphi[\sigma]t_y}{D_n Y + 0.5t_y} = \frac{2 \times 0.757 \times 125 \times 11}{1\ 646 \times 0.50 + 0.5 \times 11} = 2.51 \text{ MPa}$$

按 6.2.11 和式(8), 封头圆筒形部分最高允许计算压力

$$[\rho] = \frac{2\varphi[\sigma]t_y}{D_n + t_y} = \frac{2 \times 1.00 \times 125 \times 11}{1\ 646 + 11} = 1.66 \text{ MPa}$$

封头最高允许计算压力取上述两计算中的较小值

$$[\rho] = 1.66 \text{ MPa}$$

校验封头几何尺寸

$$\frac{h_n}{D_n} = \frac{823}{1\ 646} = 0.50 > 0.2$$

$$\frac{t_{\min} - c}{D_n} = \frac{12 - 1}{1\ 646} = 0.007 < 0.1$$

$$\frac{d}{D_n} = \frac{400}{1\ 646} = 0.24 < 0.6$$

满足 6.2.3 要求。

B2.1.3 半球形炉胆最高允许计算压力

饱和温度与钢壳筒体相同

$$t_f = 171^\circ\text{C}$$

由表 4, 受火焰辐射的炉胆的计算壁温

$$t_{bi} = t_f + 90 = 171 + 90 = 261^\circ\text{C}$$

由表 1, 20g 钢板在 261°C 时的基本许用应力

$$[\sigma_j] = 123 \text{ MPa}$$

由表 3, 立式无冲天管锅炉凸面受压半球形炉胆基本许用应力的修正系数

$$\eta = 0.30$$

按式(1), 许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma_j] = 0.30 \times 123 = 36.9 \text{ MPa}$$

按 6.2.7, 半球形炉胆的减弱系数

$$\varphi = 1.00$$

按式(57), 形状系数

$$Y = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_n}{2h_n} \right)^2 \right] = \frac{1}{6} \times \left[2 + \left(\frac{1\ 420}{2 \times 710} \right)^2 \right] = 0.50$$

按式(56), 有效厚度

$$t_y = t - c = 14 - 1 = 13 \text{ mm}$$

(以后的腐蚀减薄量取 1 mm, 因是实测厚度, 故 $c_2 = 0, c_3 = 0$ 。)

按式(55), 半球形炉胆最高允许计算压力

$$[\rho] = \frac{2\varphi[\sigma]t_y}{D_n Y + 0.5t_y} = \frac{2 \times 1.00 \times 36.9 \times 13}{1\ 420 \times 0.50 + 0.5 \times 13} = 1.32 \text{ MPa}$$

按 6.2.11 和式(8), 半球形炉胆圆筒形部分最高允许计算压力

$$[\rho] = \frac{2\varphi[\sigma]t_y}{D_n + t_y} = \frac{2 \times 1.00 \times 36.9 \times 13}{1\ 420 + 13} = 0.67 \text{ MPa}$$

半球形炉胆最高允许计算压力取上述两计算中的较小值

$$[\rho] = 0.67 \text{ MPa}$$

校验半球形炉胆几何尺寸

$$\frac{h_n}{D_n} = \frac{710}{1\ 420} = 0.50 > 0.2$$

$$\frac{t_{\min} - c}{D_n} = \frac{14 - 1}{1\ 420} = 0.009 < 0.1$$

$$\frac{d}{D_o} = \frac{400}{1420} = 0.28 < 0.6$$

满足 6.2.3 要求。

B2.1.4 U 型下脚圈最高允许计算压力

对应锅壳筒体内径的下脚圈尺寸(见图 B10)

$$D_n = 1646 \text{ mm}$$

对应炉胆外径的下脚圈尺寸(见图 B10)

$$D_w = 1448 \text{ mm}$$

由表 1, 20g 钢板常温时的抗拉强度

$$\sigma_b = 400 \text{ MPa}$$

按 11.2.4 和式(108), U 型下脚圈最高允许计算压力

$$[p] = 0.7 \frac{990(t_1 - 1)^2 \sigma_b}{D_n(D_n - D_w) 372} = 0.7 \times \frac{990 \times (19 - 1)^2}{1646 \times (1646 - 1448)} \times \frac{400}{372} = 0.74 \text{ MPa}$$

B2.1.5 前管板最高允许计算压力

a. 校验结构尺寸

按 7.3.3, 由于烟管与管板采用胀接连接, 管束区装设拉撑管是应该的。

按 7.6.2, 由于最外侧垂直管排与管板采用胀接连接, 故每隔一根普通烟管设置一根拉撑管也是应该的。

管板板边内半径能满足 7.2.11 要求。

管孔焊缝边缘至扳边起点的距离能满足 7.3.6 要求。

按 7.3.4, 胀接管直径大于 51 mm 时, 管板厚度不应小于 14 mm, 现为 16 mm, 满足要求。

按 7.3.5, 胀接管板孔桥应不小于 $0.125d + 12.5 \text{ mm} = 0.125 \times 65 + 12.5 = 20.6 \text{ mm}$ (管孔直径 $d = 65 \text{ mm}$), 图 B10 中为 $105 - 65 = 40 \text{ mm}$, 满足要求。

b. 管束区域最高允许计算压力

饱和温度与锅壳筒体相同

$$t_j = 171^\circ\text{C}$$

由表 4, 与低于 600°C 烟气接触的管板的计算壁温

$$t_{bi} = t_j + 25 = 171 + 25 = 196^\circ\text{C}$$

按 3.4.1, 当计算壁温低于 250°C 时, 实取计算壁温

$$t_{bi} = 250^\circ\text{C}$$

由表 1, 20g 钢板在 250°C 时的基本许用应力

$$[\sigma]_j = 125 \text{ MPa}$$

由表 3, 烟管管板基本许用应力的修正系数

$$\eta = 0.85$$

按式(1), 许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_j = 0.85 \times 125 = 106 \text{ MPa}$$

按 7.2.7 和 7.3.2, 最大假想圆直径(见图 B12)

$$d_j = \sqrt{(3 \times 105)^2 + (3 \times 105)^2} = 445 \text{ mm}$$

按 7.3.2.7.2.4 和表 15, 拉撑管的系数

$$K = 0.9 \times 0.43 = 0.39$$

按 7.6.1 和 7.3.1 及式(63), 前管板管束区域最高允许计算压力

$$[p] = \left(\frac{t - 1}{Kd_j} \right)^2 [\sigma] = \left(\frac{16 - 1}{0.39 \times 445} \right)^2 \times 106 = 0.79 \text{ MPa}$$

c. 最外侧垂直管排最高允许计算压力

按式(72),最外侧垂直管排的孔桥减弱系数

$$\varphi = \frac{s_2 - d}{s_2} = \frac{105 - 65}{105} = 0.381$$

按 7.6.1, 假想直径(见图 B10)

$$D = 2L_1 = 2 \times 763 = 1\,526 \text{ mm}$$

按式(71),前管板最外侧管排最高允许计算压力

$$[p] = \frac{2\varphi[\sigma](t-1)}{D+(t-1)} = \frac{2 \times 0.381 \times 106 \times (16-1)}{1\,526 + (16-1)} = 0.79 \text{ MPa}$$

d. 前管板最高允许计算压力

按 7.6.1, 前管板最高允许计算压力取 b 与 c 中的较小值, 则

$$[p] = 0.79 \text{ MPa}$$

B2.1.6 后管板最高允许计算压力

a. 校验结构尺寸

校验方法与前管板相同, 校验结果均合格。

b. 管束区域最高允许计算压力

饱和温度与锅壳筒体相同

$$t_j = 171^\circ\text{C}$$

由表 4, 与 900°C 以上烟气接触的管板的计算壁温

$$t_{bi} = t_j + 70 = 171 + 70 = 241^\circ\text{C}$$

按 3.4.1, 当计算壁温低于 250°C 时, 实取计算壁温

$$t_{bi} = 250^\circ\text{C}$$

由表 1, 20g 钢板在 250°C 时的基本许用应力

$$[\sigma]_j = 125 \text{ MPa}$$

由表 3, 烟管管板基本许用应力的修正系数

$$\eta = 0.85$$

按式(1), 许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_j = 0.85 \times 125 = 106 \text{ MPa}$$

按 7.2.7 和 7.3.2, 最大假想圆直径(见图 B12)

$$d_j = \sqrt{(3 \times 105)^2 + (3 \times 105)^2} = 445 \text{ mm}$$

按 7.3.2、7.2.4 和表 15, 拉撑管的系数

$$K = 0.9 \times 0.43 = 0.39$$

按 7.6.1 和 7.3.1 及式(63), 后管板管束区域最高允许计算压力

$$[p] = \left(\frac{t-1}{Kd_j} \right)^2 [\sigma] = \left(\frac{14-1}{0.39 \times 445} \right)^2 \times 106 = 0.60 \text{ MPa}$$

c. 最外侧垂直管排最高允许计算压力

按式(72),最外侧垂直管排的孔桥减弱系数

$$\varphi = \frac{s_2 - d}{s_2} = \frac{105 - 65}{105} = 0.381$$

按 7.6.1, 假想直径(见图 B10)

$$D = 2L_2 = 2 \times 669 = 1\,338 \text{ mm}$$

按式(71),后管板最外侧管排最高允许计算压力

$$[p] = \frac{2\varphi[\sigma](t-1)}{D+(t-1)} = \frac{2 \times 0.381 \times 106 \times (14-1)}{1\,338 + (14-1)} = 0.78 \text{ MPa}$$

d. 后管板最高允许计算压力

按 7.6.1, 后管板最高允许计算压力取 b 与 c 中的较小值, 则

$$[\rho] = 0.6 \text{ MPa}$$

B2.1.7 校验前管板弓形板

计算压力与锅壳筒体相同

$$p = 0.72 \text{ MPa}$$

由锅壳内壁至前管板外壁的弓形板最大尺寸(见图 B11)

$$E = 230 \text{ mm}$$

按式(73), Z 值

$$Z = \frac{E p D_n}{t} = \frac{230 \times 0.72 \times 1646}{16} = 17\,000$$

按 7.6.3, $Z=17\,000 < 25\,000$, 故不加角撑板是可以的。

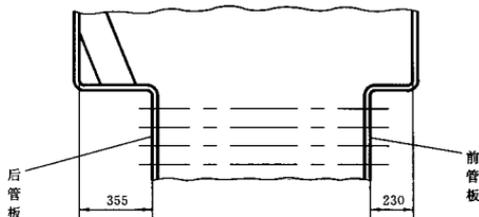


图 B11

B2.1.8 校验后管板弓形板

计算压力与锅壳筒体相同

$$p = 0.72 \text{ MPa}$$

由锅壳内壁至后管板外壁的弓形板最大尺寸(见图 B11)

$$E = 355 \text{ mm}$$

按式(73), Z 值

$$Z = \frac{E p D_n}{t} = \frac{355 \times 0.72 \times 1646}{14} = 30\,100$$

按 7.6.3, $25\,000 < Z=30\,100 < 35\,000$, 故加装一块角撑板是合理的。

B2.1.9 普通烟管最高允许计算压力

按式(53), 普通烟管最高允许计算压力

$$[\rho] = \frac{70(t - 1.5)}{d_w} = \frac{70 \times (3 - 1.5)}{64} = 1.64 \text{ MPa}$$

B2.1.10 拉撑管最高允许计算压力

a. 拉撑管的许用应力

饱和温度与锅壳筒体相同

$$t_j = 171 \text{ }^\circ\text{C}$$

由表 4, 拉撑管的计算壁温

$$t_{bi} = t_j + 25 = 171 + 25 = 196 \text{ }^\circ\text{C}$$

按 3.4.1, 当计算壁温低于 $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 实取计算壁温

$$t_{bi} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$$

由表 1, 20 号钢管在 $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的基本许用应力

$$[\sigma]_j = 125 \text{ MPa}$$

由表 3, 拉撑管基本许用应力的修正系数

$$\eta = 0.55$$

按式(1), 许用应力

$$[\sigma] = \eta[\sigma]_j = 0.55 \times 125 = 68.7 \text{ MPa}$$

b. 拉撑管的支撑面积

按 8.3.2, 拉撑的支撑面积(见图 B12)

$$A = 31.5 \times 31.5 - 9 \left(\frac{\pi d_w^2}{4} \right) = 31.5^2 - 9 \times \left(\frac{\pi \times 6.4^2}{4} \right) = 703 \text{ cm}^2$$

c. 拉撑管的截面积

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} [d_w^2 - (d_w - 2t_1)^2] \\ &= \frac{\pi}{4} \times [6.4^2 - (6.4 - 2 \times 0.6)^2] \\ &= 10.93 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

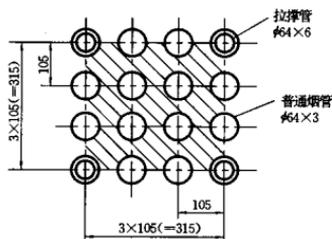


图 B12

d. 拉撑管最高允许计算压力

按式(75), 拉撑管最高允许计算压力

$$[p] = \frac{F[\sigma]}{A} = \frac{10.93 \times 68.7}{703} = 1.07 \text{ MPa}$$

B2.1.11 人孔盖最高允许计算压力

许用应力与锅壳筒体相同

$$[\sigma] = 125 \text{ MPa}$$

短半轴与长半轴的比值

$$\frac{b}{a} = \frac{150}{200} = 0.75$$

由表 18, 系数

$$K_1 = 1.15$$

按 10.3.1, 计算尺寸

$$l_1 = 2b = 2 \times 150 = 300 \text{ mm}$$

按式(106), 最高允许计算压力

$$[p] = 3.30 \left(\frac{t}{K_1 l_1} \right)^2 [\sigma] = 3.30 \times \left(\frac{19}{1.15 \times 300} \right)^2 \times 125 = 1.25 \text{ MPa}$$

B2.1.12 手孔盖最高允许计算压力

许用应力与锅壳筒体相同

$$[\sigma] = 125 \text{ MPa}$$

短半轴与长半轴的比值

$$\frac{b}{a} = \frac{44}{51} = 0.86$$

由表 18, 系数

$$K_1 = 1.08$$

按 10.3.1, 计算尺寸

$$l_1 = 2b = 2 \times 44 = 88 \text{ mm}$$

按式(106), 最高允许计算压力

$$[p] = 3.30 \left(\frac{t}{K_1 l_1} \right)^2 [\sigma] = 3.30 \times \left(\frac{12}{1.08 \times 88} \right)^2 \times 125 = 6.58 \text{ MPa}$$

B2.1.13 校核锅炉出口处允许的正常运行的最大压力

经上述校核计算, 各受压元件的最高允许计算压力如下:

锅壳筒体	1.43 MPa
半球形封头	1.66 MPa
半球形炉胆	0.67 MPa
U型下脚圈	0.74 MPa
前管板	0.79 MPa
后管板	0.60 MPa
前管板弓形板	0.72 MPa 合格
后管板弓形板	0.72 MPa 合格
普通烟管	1.64 MPa
拉撑管	1.07 MPa
人孔盖	1.25 MPa
手孔盖	6.58 MPa

上述各元件中的最小值为 0.60 MPa(后管板)

按 3.5.1, 锅炉出口处最高允许工作压力应为各元件最高允许计算压力减去各自的附加压力、计算元件至锅炉出口之间的压力降、水柱静压力后的最低值。

本锅炉无过热器, 故各元件至锅炉出口之间的压力降 $\Delta p_s = 0$; 按 3.5.1, 本锅炉的附加压力为 0.2 MPa; 后管板的水柱静压力 Δp_{ss} 小于额定压力和附加压力及计算元件至锅炉出口间的压力降三者之和的 3%, 故后管板允许锅炉出口处正常运行的最高压力为

$$\begin{aligned} [p]_s &= [p] - (\Delta p + \Delta p_s + \Delta p_{ss}) \\ &= 0.60 - (0 + 0.02 + 0) \\ &= 0.58 \text{ MPa} \end{aligned}$$

显然满足不了 0.7 MPa 的要求, 该锅炉只能在出口压力为 0.58 MPa 下运行。

B3 铸铁锅炉

B3.1 例题 11

求图 B13 所示结构的厚度 t 。

[解]:

按 A2.2.1, 图 B13 所示锅片为简化矩形结构, 其最小需要厚度取下二式算得的较大值

$$t_{\min} = m \left[K_1 \frac{p}{[\sigma]} + K_2 \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} \right] + c$$

$$t_{\min} = m \left[K_3 \frac{p}{[\sigma]} + K_4 \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} \right] + c$$

式中: $K_1 = 0.5 \sqrt{1 + \frac{l^2}{m^2}} = 0.5 \times \sqrt{1 + \frac{25^2}{65^2}} = 0.536$;

$$K_2 = 1.41 \sqrt{1 - \frac{l}{m} \left(1 - \frac{l}{m} \right)} = 1.41 \times \sqrt{1 - \frac{25}{65} \times \left(1 - \frac{25}{65} \right)} = 1.23$$
;

$$K_3 = 0.5 \frac{l}{m} = 0.5 \times \frac{25}{65} = 0.192$$
;

$$K_4 = \sqrt{1 - 3 \frac{b^2}{m^2} + 2 \frac{l}{m} \left(1 - \frac{l}{m} \right)} = \sqrt{1 - 3 \times \frac{0}{65^2} + 2 \times \frac{25}{65} \times \left(1 - \frac{25}{65} \right)} = 1.21$$
;

$p = 0.5$ MPa (按 3.5.1 确定的热水锅炉计算压力);

按 A2.3, 许用应力 $[\sigma] = 1.5 \frac{\sigma_b}{6} = 1.5 \times \frac{196}{6} = 49.0$ MPa (主要受变曲, 而拉伸占很小部分, $\sigma_b = 196$ MPa, 不退火);

按 A2.4, 附加厚度 $c = 2$ mm。

则

$$t_{\min} = 65 \times \left(0.536 \times \frac{0.5}{49.0} + 1.23 \times \sqrt{\frac{0.5}{49.0}} \right) + 2 = 10.4 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = 65 \times \left(0.192 \times \frac{0.5}{49.0} + 1.21 \times \sqrt{\frac{0.5}{49.0}} \right) + 2 = 10.1 \text{ mm}$$

取

$$t = 11 \text{ mm}$$

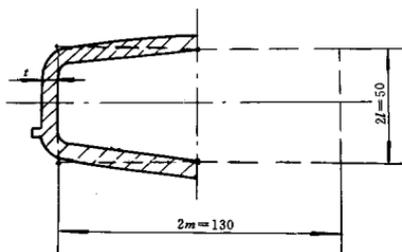


图 B13

B3.2 例题 12

求图 B14 所示结构的厚度 t 与拉杆直径 d

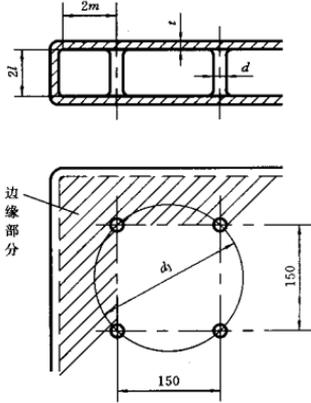


图 B14

[解]:

按式(62)。拉撑平板部分最小需要厚度

$$t_{\min} = Kd_1 \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} + c$$

式中: $K = 0.9 \times 0.43 = 0.39$ (按 7.2.4 通过四个撑杆画假想圆);

$d_1 = \sqrt{150^2 + 150^2} = 212 \text{ mm}$ (按 7.2.7);

$p = 0.5 \text{ MPa}$ (同例 1);

$[\sigma] = 1.5 \frac{\sigma_b}{6} = 1.5 \times \frac{196}{6} = 49.0 \text{ MPa}$ (按 A2.3, 受弯曲, $\sigma_b = 196 \text{ MPa}$, 不退火);

$c = 2 \text{ mm}$ (按 A2.4)。

则

$$t_{\min} = 0.39 \times 212 \sqrt{\frac{0.5}{49.0}} + 2 = 10.4 \text{ mm}$$

取

$$t = 11 \text{ mm}$$

按式(74), 直拉杆最小需要面积

$$F_{\min} = \frac{pA}{[\sigma]}$$

式中: $p = 0.5 \text{ MPa}$ (同前);

$A = 15 \times 15 - \frac{\pi}{4} 2.8^2 = 219 \text{ cm}^2$ (按 8.3.2);

$[\sigma] = \eta \frac{\sigma_b}{6} = 0.55 \times \frac{196}{6} = 18.0 \text{ MPa}$ (按 A2.3, 并参照表 3, 取 $\eta = 0.55$)

则

$$F_{\min} = \frac{0.5 \times 219}{18.0} = 6.08 \text{ cm}^2$$

拉杆最小需要直径

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{400F_{\min}}{\pi}} = \sqrt{\frac{400 \times 6.08}{\pi}} = 27.8 \text{ mm}$$

取

$$d = 28 \text{ mm}$$

(直拉杆一般作成扁条形截面。)

图 B14 所示边缘部分应根据 $2m, 2l$ 尺寸按 B3.1 例题 11 矩形结构计算方法进行计算(从略)。

附 录 C

单位换算

(参考件)

C1 长度换算

m	cm	mm	ft	in
1	100	1 000	3.281	39.37
0.01	1	10	0.032 8	0.393 7
0.001	0.1	1	0.003 28	0.039 37
0.304 8	30.48	304.8	1	12
0.025 4	2.54	25.4	0.083 3	1

C2 面积换算

m ²	cm ²	mm ²	ft ²	in ²
1	10 ⁴	10 ⁶	10.76	1 550
10 ⁻⁴	1	10 ²	10.76×10 ⁻⁴	0.155 0
10 ⁻⁶	10 ⁻²	1	10.76×10 ⁻⁶	0.001 55
0.092 9	0.092 9×10 ⁴	0.092 9×10 ⁶	1	144
6.425×10 ⁻⁴	6.452	645.2	6.944×10 ⁻⁶	1

C3 力换算

N	kgf	lbf
1	0.102	0.224 8
9.807	1	2.205
4.448	0.453 6	1

C4 压力和应力换算

N/m ²	bar	kgf/mm ²	kgf/cm ²	lbf/ft ²	lbf/in ²
1	10 ⁻⁵	1.02×10 ⁻⁷	1.02×10 ⁻⁵	0.020 89	14.5×10 ⁻⁵
10 ⁵	1	0.010 2	1.02	2 089	14.5
98.07×10 ⁵	98.07	1	100		1 422
9 807	0.980 7	0.01	1	2 048	14.22
47.88		4.882×10 ⁻⁶		1	0.006 94
6 895	0.068 95	7.03×10 ⁻⁴	0.070 3	144	1

1 牛顿/米²(N/m²)=1 帕斯卡(Pa)

1 兆帕(MPa)=0.102 公斤力/毫米²(kgf/mm²)=10.2 公斤力/厘米²(kgf/cm²)

1 公斤力/厘米²(kgf/cm²)=1 工程大气压(at)

C5 温度换算

摄氏度, C	华氏度, F	开尔文, K
t	$\frac{9}{5}t + 32$	$t + 273.2$
$\frac{5}{9}(t_F - 32)$	t_F	$\frac{5}{9}(t_F + 459.7)$
$T - 273.2$	$\frac{5}{9}T - 459.7$	T

附加说明:

本标准由中华人民共和国机械工业部提出。

本标准由上海工业锅炉研究所负责起草并归口。

本标准主要起草人李之光、刘复田、田耀鑫、刘福仁、刘曼青、王铨庆、夏长江、吴志刚、王昌明。

自本标准实施之日起,原 JB 3622—84 作废。