



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 16508.3—2013  
代替 GB/T 16508—1996



2013-12-31 发布

2014-07-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会

发布

## 目 次

前言 .....	51
1 范围 .....	53
2 规范性引用文件 .....	53
3 术语和定义 .....	53
4 符号和单位 .....	53
5 设计基本要求 .....	54
6 承受内压力的圆筒形元件 .....	58
7 承受外压力的圆筒形炉胆、冲天管、烟管和其他元件 .....	68
8 凸形封头、炉胆顶、半球形炉胆和凸形管板 .....	79
9 有拉撑(支撑、加固)的平板和管板 .....	84
10 拉撑件和加固件 .....	92
11 平端盖及盖板 .....	98
12 下脚圈 .....	101
13 孔和孔的补强 .....	102
14 焊制三通 .....	111
15 决定元件最高允许工作压力的验证法 .....	113
附录 A (资料性附录) 铸铁锅炉受压元件设计计算 .....	118
附录 B (资料性附录) 矩形集箱设计计算 .....	120
附录 C (资料性附录) 水管管板设计计算 .....	124

基

山  
引  
引

## 前 言

GB/T 16508《锅壳锅炉》分为以下 8 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计与强度计算；
- 第 4 部分：制造、检验和验收；
- 第 5 部分：安全附件和仪表；
- 第 6 部分：燃烧系统；
- 第 7 部分：安装；
- 第 8 部分：运行。

本部分为 GB/T 16508 的第 3 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 16508—1996《锅壳锅炉受压元件强度计算》，在符合国家安全监察法规要求的基础上，为锅炉产品的结构设计、强度计算提出了设计计算规则。

本部分与 GB/T 16508—1996 相比主要变化如下：

- 本部分不限定额定蒸汽压力范围，原标准范围规定额定蒸汽压力范围不大于 2.5 MPa；
- 增加了设计基本要求，并提出了设计技术指标要求；
- 删除了 GB/T 16508—1996 中“材料”章节；
- 增加了“H 型下角圈”；
- 允许在一定的条件下，对两个相邻大孔进行加强；
- 增加了“决定元件最高允许工作压力的验证法”章节；
- 增加了“水管管板”计算。

本部分对应于 EN 12953《锅壳锅炉》的第 3 部分，主要差异如下：

- 本部分包括了设计计算的一般要求、锅炉性能要求及能效要求；
- 本部分补强方法采用面积补强法；欧盟标准采用压力补强法。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本部分起草单位：上海工业锅炉研究所、上海发电设备成套设计研究院、江苏双良锅炉有限公司、泰山集团股份有限公司、张家港海陆重工有限公司、江苏太湖锅炉股份有限公司、无锡太湖锅炉有限公司、张家港市江南锅炉压力容器有限公司、上海市特种设备监督检验技术研究院。

本部分主要起草人：吴国妹、李春、施鸿飞、吴艳、雷钦祥、周冬雷、潘瑞林、顾利平、薛建光、吴钢、张宏、高宏伟、蔡昊、王海荣、喻孟全。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 16508—1996。

通告

為通告事查本局為便利市民起見特在...

凡我市民如有任何意見請向本局...

此佈  
局長 吳鐵城



# 锅壳锅炉

## 第3部分:设计与强度计算

### 1 范围

GB/T 16508 的本部分规定了锅壳锅炉基本受压元件的设计和结构要求,并给出了铸铁锅炉(附录 A)、矩形集箱(附录 B)和水管管板(附录 C)的基本设计要求。

本部分适用于承受内压圆筒形元件、承受外压圆筒形元件、封头、管板、拉撑件、下脚圈,以及开孔和补强的设计计算。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 1576 工业锅炉水质
- GB/T 2900.48 电工名词术语锅炉
- GB/T 9252 气瓶疲劳试验方法
- GB/T 12145 火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量
- GB 13271 锅炉大气污染物排放标准
- GB/T 16508.1—2013 锅壳锅炉 第1部分:总则
- GB/T 16508.2 锅壳锅炉 第2部分:材料
- GB/T 16508.4 锅壳锅炉 第4部分:制造、检验和验收
- NB/T 47013(JB/T 4730) 承压设备无损检测
- TSG G0001 锅炉安全技术监察规程
- TSG G0002 锅炉节能技术监察管理规程

### 3 术语和定义

GB/T 16508.1 和 GB/T 2900.48 界定的术语和定义适用于本文件。

### 4 符号和单位

本部分中各章节通用的符号含义和单位如下:

- $E'$  ——计算温度时材料的弹性模量,MPa;
- $p$  ——计算压力,MPa;
- $[p]$  ——校核计算最高允许工作压力,MPa;
- $p_r$  ——锅炉额定压力,MPa;
- $p_0$  ——工作压力,MPa;
- $t_s$  ——对应于计算压力下的介质饱和温度(热水锅炉为额定出水温度),℃;
- $t_c$  ——计算温度,℃;

- $t_{\text{mave}}$  —— 介质额定平均温度, °C;  
 $\Delta p_a$  —— 设计附加压力(安全阀整定压力), MPa;  
 $\Delta p_h$  —— 受压元件所受液柱静压力, MPa;  
 $\Delta p_f$  —— 介质流动阻力附加压力, MPa;  
 $\eta$  —— 修正系数;  
 $[\sigma]_t$  —— 许用应力, MPa。

## 5 设计基本要求

### 5.1 结构要求

5.1.1 锅炉设计应遵守 TSG G0001《锅炉安全技术监察规程》、TSG G0002《锅炉节能技术监督管理规程》等安全技术规范,并应采用先进的技术,使产品满足安全、可靠、高效、经济和环保的要求。

5.1.2 按本部分的规定确定所需考虑的计算载荷及所需进行的载荷计算。按本部分中的有关强度计算公式或应力分析计算公式和规定,确定受压元件的最小需要厚度。

当采用试验或者其他计算方法确定锅炉受压元件强度时,应当将有关的技术资料和方案以及所做试验的条件和数据提交国家质检总局特种设备安全技术委员会,由该技术委员会评审后,报国家质检总局核准,才能进行试制、试用。

#### 5.1.3 筒体、炉胆壁厚和长度

5.1.3.1 当锅壳内径大于 1 000 mm 时,锅壳的取用壁厚应不小于 6 mm;当锅壳内径不超过 1 000 mm 时,锅壳筒体的取用壁厚应不小于 4 mm。

5.1.3.2 炉胆内径不应超过 1 800 mm,其取用壁厚应不小于 8 mm,并且不大于 22 mm;当炉胆内径小于或等于 400 mm 时,其取用壁厚应不小于 6 mm;卧式内燃锅炉的回燃室,其筒体的取用壁厚应不小于 10 mm,并且不大于 35 mm。

5.1.3.3 胀接连接的筒体、管板,取用壁厚应当不小于 12 mm。外径大于 89 mm 的管子不应采用胀接结构设计。

5.1.3.4 卧式锅壳锅炉平直炉胆的计算长度应不超过 2 000 mm,如果炉胆两端与管板板边对接连接时,平直炉胆的计算长度可以放大至 3 000 mm。

5.1.4 蒸汽锅炉的最低安全水位应高于最高火界 100 mm,但锅壳内径不大于 1 500 mm 的卧式锅壳锅炉的最低安全水位应高于最高火界 75 mm。锅炉的最低及最高安全水位应当在图样上标明。

5.1.5 受压部件(元件)结构的型式、开孔和焊缝的布置应尽量避免或减少复合应力和应力集中。使用的焊缝类型应符合设计文件和 GB/T 16508.4。要进行无损检测的焊缝应设计成能够进行所要求的无损检测的型式。

5.1.6 锅炉主要受压元件的主焊缝(锅壳、炉胆、回燃室、集箱等的纵向和环向焊缝,以及封头、管板、炉胆顶和下脚圈的拼接焊缝等)应当采用全焊透的对接接头;锅炉受压元件的焊缝不得采用搭接结构;拉撑件不应当采用拼接。

5.1.7 锅壳内径大于 1 000 mm 时,应在筒体或者封头(管板)上开设人孔;由于结构限制导致人员无法进入锅炉时,可以只开设检查孔;对锅壳内布置有烟管的锅炉,人孔和检查孔的布置应当兼顾锅壳上部和下部的检修需求;锅壳内径为 800 mm~1 000 mm 的锅壳锅炉,至少应当在筒体或者封头(管板)上开设一个检查孔;立式锅壳锅炉下部开设的手孔数量应当满足清理和检验的需要,其数量应当不少于 3 个。

5.1.8 对于有炉胆的锅炉,燃烧应在炉胆内完成。进入锅炉的水不得直接冲刷炉胆。炉胆内径大于 1 400 mm 或热量输入大于 12 MW 的锅炉,至少在炉内设 3 个测点进行温度测量。

5.1.9 水压试验压力应符合 GB/T 16508.1 的规定。

## 5.1.10 腐蚀裕量

腐蚀裕量应符合如下规定：

- 名义厚度  $\delta > 20$  mm 的受压元件以及所有平直部件，腐蚀裕量可为 0 mm；
- 名义厚度  $\delta \leq 20$  mm 的受压元件，可取 0.5 mm 作为最小腐蚀裕量；
- 在可能发生严重腐蚀的情况下，应相应地增加腐蚀裕量的值。

## 5.2 性能要求

## 5.2.1 设计性能

5.2.1.1 制造厂应保证锅炉在设计条件下达到额定蒸发量或额定热功率，并提供锅炉经济运行负荷范围。

5.2.1.2 在设计条件下运行，锅炉的蒸汽品质应达到以下指标：

饱和蒸汽锅炉的蒸汽湿度对水火管锅炉和锅壳锅炉不应大于 4%；过热蒸汽锅炉过热器入口的蒸汽湿度不应大于 1%；过热蒸汽含盐量不应大于 0.5 mg/kg。

工业用蒸汽锅炉的过热蒸汽温度  $t_{ss}$  的偏差应符合如下规定：

- 当  $t_{ss} \leq 300$  °C 时，其偏差范围为  $(\begin{smallmatrix} +30 \\ -20 \end{smallmatrix})$  °C；
- 当  $300$  °C  $< t_{ss} \leq 350$  °C 时，其偏差范围为  $\pm 20$  °C；
- 当  $350$  °C  $< t_{ss} \leq 400$  °C 时，其偏差范围为  $(\begin{smallmatrix} +10 \\ -20 \end{smallmatrix})$  °C。

5.2.1.3 热水锅炉出水温度和回水温度偏差绝对值不应大于 5 °C。

## 5.3 热效率

5.3.1 设计时应采取有效的措施，以提高锅炉热效率并降低锅炉运行对环境产生的影响，锅炉应设置必要的热工及环保监测的测点。

5.3.2 设计条件下锅炉热效率指标应不小于下列规定值：

- 层状燃烧锅炉的热效率不应低于表 1 的规定；
- 燃油和燃气锅炉的热效率不应低于表 2 的规定；
- 表中未列燃料的锅炉热效率指标由供需双方商定。

表 1 层状燃烧锅炉热效率

燃料品种		燃料收到基低位发热量 $Q_{\text{net}, \text{v}, \text{ar}}$ kJ/kg	锅炉容量 $D$ t/h 或 MW				
			$D < 1$ 或 $D < 0.7$	$1 \leq D \leq 2$ 或 $0.7 \leq D \leq 1.4$	$2 < D \leq 8$ 或 $1.4 < D \leq 5.6$	$8 < D \leq 20$ 或 $5.6 < D \leq 14$	$D > 20$ 或 $D > 14$
			锅炉热效率 %				
烟煤	II	$17\,700 \leq Q_{\text{net}, \text{v}, \text{ar}} \leq 21\,000$	73	76	78	79	80
	III	$Q_{\text{net}, \text{v}, \text{ar}} > 21\,000$	75	78	80	81	82
贫煤		$Q_{\text{net}, \text{v}, \text{ar}} \geq 17\,700$	71	74	76	78	79
无烟煤	II	$Q_{\text{net}, \text{v}, \text{ar}} \geq 21\,000$	60	63	66	68	71
	III	$Q_{\text{net}, \text{v}, \text{ar}} \geq 21\,000$	65	70	74	76	79
褐煤		$Q_{\text{net}, \text{v}, \text{ar}} \geq 11\,500$	71	74	76	78	80

注：1 表中未列燃料的锅炉热效率指标由供需双方商定，参照相应燃料收到基低位发热值相近的锅炉热效率指标。  
2 各燃料品种的干燥无灰基挥发分 ( $V_{\text{daf}}$ ) 范围为烟煤： $V_{\text{daf}} > 20\%$ ；贫煤： $10\% < V_{\text{daf}} \leq 20\%$ ；II 类无烟煤： $V_{\text{daf}} < 6.5\%$ ；III 类无烟煤： $6.5\% \leq V_{\text{daf}} \leq 10\%$ ；褐煤： $V_{\text{daf}} > 37\%$ 。



表 2 燃油和燃气锅炉热效率

燃料品种	燃料收到基 低位发热量 $Q_{\text{net,v,ar}}$ kJ/kg	锅炉容量 $D$ t/h 或 MW	
		$D \leq 2$ 或 $D \leq 1.4$	$D > 2$ 或 $D > 1.4$
		锅炉热效率 %	
重油	—	86	88
轻油	—	88	90
气	—	88	90

注：“气”是指天然气、城市煤气和液化石油气。

5.4 排放要求

5.4.1 排烟处过量空气系数应符合如下的规定：

- a) 对燃煤室燃炉及带膜式壁的燃煤层燃炉，排烟处过量空气系数不超过 1.4；
- b) 对其他燃煤层燃炉，排烟处过量空气系数不超过 1.65；
- c) 对正压燃烧的燃油(气)锅炉，排烟处过量空气系数不超过 1.15；
- d) 对负压燃烧的燃油(气)锅炉，排烟处过量空气系数不超过 1.25。

5.4.2 在锅炉系统设计时，锅炉配套辅机的驱动电机宜配有变频调速装置。

5.4.3 锅炉设计排烟温度应符合下述要求：

- a) 额定蒸发量小于 1 t/h 的蒸汽锅炉，不高于 230 ℃；
- b) 额定热功率小于 0.7 MW 的热水锅炉，不高于 180 ℃；
- c) 额定蒸发量大于或者等于 1 t/h 的蒸汽锅炉和额定热功率大于或等于 0.7 MW 的热水锅炉，不高于 170 ℃。

5.4.4 锅炉应配置必要的脱硫除尘设备，锅炉宜配备脱硝设备，锅炉大气污染物的排放应符合 GB 13271 的规定。

5.5 许用应力

5.5.1 本部分常用材料的许用应力 $[\sigma]_j$ 按 GB/T 16508.2 选取，用于设计计算时，有时还需考虑元件结构特点和工作条件，按式(1)乘以修正系数：

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

5.5.2 修正系数  $\eta$  根据元件结构特点和工作条件，按表 3 选取。

表 3 修正系数  $\eta$

元件型式及工作条件	$\eta$
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 $\leq 600$ ℃)	0.95
受热(烟温 $> 600$ ℃)	0.90

表 3 (续)

元件型式及工作条件	$\eta$
管子(管接头)、孔圈	1.00
烟管	0.80
波形炉胆	0.60
凸形封头、炉胆顶、半球形炉胆、凸形管板	1.00
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
凸形管板的凸形部分	0.95
凸形管板的烟管管板部分	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)	0.60
加固横梁	1.00
孔盖	1.00
圆形集箱端盖	(见表 16)
矩形集箱筒板	1.25
矩形集箱端盖	0.75

## 5.6 计算温度

5.6.1 受压元件计算温度取内外壁温算术平均值中的最大值。若受压元件的计算温度低于 250 °C 时, 取 250 °C。

5.6.2 受压元件的计算温度  $t_c$  按热力计算确定。当锅炉给水质量符合 GB/T 1576 或 GB/T 12145 标准时, 计算温度可按表 4 确定。

表 4 计算温度  $t_c$ 

单位为摄氏度

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

注: 表中  $t_c$  仅适用于锅炉给水质量符合 GB/T 1576 或 GB/T 12145 的情况。



## 5.7 工作压力和计算压力

### 5.7.1 工作压力按式(2)计算:

$$p_0 = p_r + \Delta p_i + \Delta p_h \quad \dots\dots\dots(2)$$

5.7.2 工质流动阻力  $\Delta p_i$ 取最大流量时计算元件至锅炉出口之间的压力降。

5.7.3 当所受液柱静压力不大于  $(p_r + \Delta p_a + \Delta p_i)$  的 3% 时,则取所受液柱静压力等于零。

### 5.7.4 受压元件的计算压力按式(3)计算:

$$p \geq p_0 + \Delta p_a \quad \dots\dots\dots(3)$$

## 6 承受内压力的圆筒形元件

### 6.1 范围

本章规定了承受内压的圆筒形元件,包括筒体、集箱、内压管子、大横水管等元件的设计计算方法和结构要求。

### 6.2 符号与单位

- $a$  —— 计算斜向孔桥减弱系数时的两孔间在筒体平均直径圆周方向上的弧长,mm;
- $a_1$  —— 弯管工艺系数;
- $b_1$  —— 弯管外侧厚度实际制造工艺减薄率;
- $C$  —— 厚度附加量,mm;
- $C_1$  —— 受压元件腐蚀裕量,mm;
- $C_2$  —— 受压元件制造减薄量,mm;
- $C_3$  —— 受压元件钢材厚度负偏差,mm;
- $D_i$  —— 锅壳筒体内径,mm;
- $D_o$  —— 集箱筒体外径,mm;
- $d$  —— 开孔直径,椭圆孔在相应节距方向上的尺寸,mm;
- $d_e$  —— 孔的当量直径,mm;
- $d_m$  —— 相邻两孔直径的平均值,mm;
- $d_o$  —— 管子的外径,mm;
- $K$  —— 斜向孔桥的换算系数;
- $K_1$  —— 弯管形状系数;
- $m$  —— 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,%;
- $n$  —— 两孔间在筒体轴线方向上的距离  $b$  与两孔间在筒体平均直径圆周方向上的弧长  $a$  的比值;
- $n_1$  —— 弯管中心线的半径  $R$  与管子外径的比值;
- $[p]_w$  —— 弯管校核计算最高允许计算压力,MPa;
- $R$  —— 弯管中心线的半径或圆弧集箱中心线的半径,mm;
- $s_0$  —— 可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,或为火箱管板的内壁间距,mm;
- $s'$  —— 横向(环向)相邻两孔的节距,mm;

- $s''$  —— 斜向相邻两孔的节距, mm;
- $\alpha$  —— 孔的轴线偏离筒体径向的角度, ( $^{\circ}$ );
- $\delta$  —— 受压元件名义厚度, mm;
- $\delta'$  —— 对接边缘厚度偏差, mm;
- $\delta_c$  —— 受压元件计算厚度, mm;
- $\delta_{\min}$  —— 受压元件成品最小厚度, mm;
- $\delta_{bc}$  —— 钢管弯成的弯管外侧的理论计算厚度, mm;
- $\delta_{be}$  —— 弯管外侧的有效壁厚, mm;
- $\delta_{b\min}$  —— 弯管成品外侧的最小厚度, mm;
- $\delta_e$  —— 受压元件有效厚度, mm;
- $\varphi$  —— 纵向孔桥减弱系数;
- $\varphi'$  —— 横向孔桥减弱系数;
- $\varphi''$  —— 斜向孔桥减弱系数;
- $\varphi_d$  —— 斜向孔桥当量减弱系数;
- $\varphi_w$  —— 焊接接头系数;
- $\varphi_{\min}$  —— 最小减弱系数;
- $\varphi_c$  —— 校核部位的减弱系数。

### 6.3 锅壳和集箱筒体

#### 6.3.1 锅壳筒体计算厚度按式(4)计算:

$$\delta_c = \frac{pD_i}{2\varphi_{\min}[\sigma] - p} \dots\dots\dots(4)$$

锅壳筒体成品最小厚度按式(5)计算:

$$\delta_{\min} = \delta_c + C_1 \dots\dots\dots(5)$$

锅壳筒体名义厚度为圆整数, 应满足:

$$\delta \geq \delta_c + C \dots\dots\dots(6)$$

#### 6.3.2 集箱筒体理论计算厚度按式(7)计算:

$$\delta_c = \frac{pD_o}{2\varphi_{\min}[\sigma] + p} \dots\dots\dots(7)$$

其成品最小需要厚度  $\delta_{\min}$  按式(5)计算。

集箱筒体名义厚度应满足:

$$\delta \geq \delta_c + C \dots\dots\dots(8)$$

#### 6.3.3 校核计算时, 锅壳筒体及集箱筒体的最高允许工作压力按式(9)、式(10)计算:

锅壳筒体:

$$[p] = \frac{2\varphi_c[\sigma]\delta_e}{D_i + \delta_e} \dots\dots\dots(9)$$

集箱筒体:

$$[p] = \frac{2\varphi_c[\sigma]\delta_e}{D_o - \delta_e} \dots\dots\dots(10)$$

式中有效厚度  $\delta_e$  按式(11)计算:

$$\delta_e = \delta - C \quad \dots\dots\dots(11)$$

当  $\delta_e$  按式(11)计算时,取  $\varphi_c$  等于  $\varphi_{\min}$ ;  $\delta_e$  也可取为各校核部位的实际测量厚度减去以后可能的腐蚀减薄量,此时式(9)中的  $(\varphi_c \delta_e)/(D_i + \delta_e)$ 、式(10)中的  $(\varphi_c \delta_e)/(D_o - \delta_e)$  应以最小值代入。此外,由式(9)、式(10)算得的最高允许工作压力还应满足第 13 章孔的补强要求。

6.4 承受内压力管子

6.4.1 厚度计算

直管的理论计算厚度按式(12)计算:

$$\delta_c = \frac{pd_o}{2[\sigma] + p} \quad \dots\dots\dots(12)$$

用钢管弯成的弯管,弯管外侧的理论计算厚度  $\delta_{bc}$ 按式(13)计算:

$$\delta_{bc} = K_1 \delta_c \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中弯管形状系数  $K_1$  按式(14)计算:

$$K_1 = \frac{4R + d_o}{4R + 2d_o} \quad \dots\dots\dots(14)$$

直管的名义厚度应满足:

$$\delta \geq \delta_c + C \quad \dots\dots\dots(15)$$

由钢管弯成的弯管,弯管的名义厚度应满足:

$$\delta \geq \delta_{bc} + C \quad \dots\dots\dots(16)$$

6.4.2 校核计算时,直管最高允许工作压力按式(17)计算:

$$[p] = \frac{2\varphi_w [\sigma] \delta_c}{d_o - \delta_c} \quad \dots\dots\dots(17)$$

$\delta_c$ 按式(18)计算:

$$\delta_c = \delta - C \quad \dots\dots\dots(18)$$

$\delta_c$ 可取实际最小厚度减去腐蚀减薄值。

弯管最高允许计算压力  $[p]_w$ 按式(19)计算:

$$[p]_w = \frac{2\varphi_w [\sigma] \delta_{be}}{K_1 d_o - \delta_{be}} \quad \dots\dots\dots(19)$$

弯管外侧的有效厚度  $\delta_{be}$ 按式(20)计算:

$$\delta_{be} = \delta - C \quad \dots\dots\dots(20)$$

带弯管的管子的最高允许工作压力应取式(17)和式(19)中的较小值。

6.5 立式锅炉大横水管

立式锅炉大横水管 ( $D_i$  为 102 mm~300 mm)名义厚度和最高允许工作压力按式(21)、式(22)计算:

$$\delta \geq \frac{pD_i}{44} + 3 \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$[p] = \frac{44(\delta - 3)}{D_i} \quad \dots\dots\dots(22)$$

6.6 减弱系数及焊接接头系数

6.6.1 式(4)和式(7)中的最小减弱系数  $\varphi_{\min}$ 取纵向焊接接头系数  $\varphi_w$ 、纵向孔桥减弱系数  $\varphi$ 、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  $\varphi_d$  (当  $\varphi_d > 1$  时, 取  $\varphi_d = 1.00$ ) 中的最小值。若孔桥位于焊缝上, 应按 6.9.3 有关规定处理。

6.6.2 按锅炉制造技术条件检验合格的焊缝, 其焊接接头系数  $\varphi_w$  按 GB/T 16508.1 选取。若环向焊缝上无孔, 则环向焊接接头系数可不予考虑。

6.6.3 孔排中若相邻两孔的节距(纵向、横向或斜向)不小于按式(23)计算的数值时, 孔桥减弱系数可不必计算。

$$s_0 = d_m + 2\sqrt{(D_i + \delta)\delta} \quad \dots\dots\dots(23)$$

式中  $d_m$  按式(29)确定。

6.6.4 相邻两孔的节距小于按式(23)确定的  $s_0$  值, 且两孔直径均不大于按 13.3.6 确定的未补强孔最大允许直径时, 应按 6.6.6~6.6.12 的规定计算孔桥减弱系数。

若孔排中相邻两孔中的一孔大于按 13.3.6 确定的未补强孔最大允许直径, 应在满足 13.7.2 所要求的条件下, 按 13.3.7~13.3.9 的规定按单孔进行补强。补强后按无孔处理。

若相邻两孔均需要补强, 其节距不应小于其平均直径的 1.5 倍。

当相邻两孔均需要补强时, 补强计算除符合 13.3.7~13.3.9 的规定以外, 还应符合以下要求:

- a) 加厚管接头的高度应为厚度的 2.5 倍;
- b) 加厚管接头的焊脚尺寸应等于加厚管接头的厚度;
- c) 若两孔的节距小于两孔直径之和, 导致它们的有效补强范围重叠, 应按两孔总的补强面积不小于各孔单独所需补强面积之和的方法进行补强。重叠部分补强面积不能重复计算。

6.6.5 对于立式锅炉筒体上的加煤孔、出渣孔等, 均应按 13.3.7~13.3.9 的规定进行补强, 补强后按无孔处理。加煤孔圈、出渣孔圈等最小需要厚度按 13.4.4 确定。

6.6.6 等直径纵向相邻两孔(图 1)的孔桥减弱系数按式(24)计算:

$$\varphi = \frac{s-d}{s} \quad \dots\dots\dots(24)$$

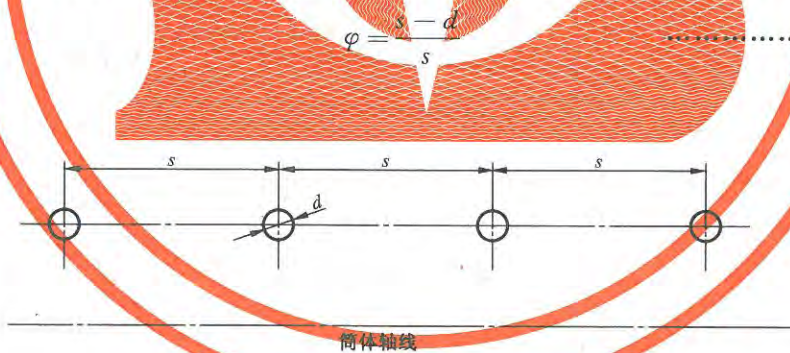


图 1 纵向孔桥

6.6.7 等直径横向相邻两孔(图 2)的孔桥减弱系数按式(25)计算:

$$\varphi' = \frac{s'-d}{s'} \quad \dots\dots\dots(25)$$

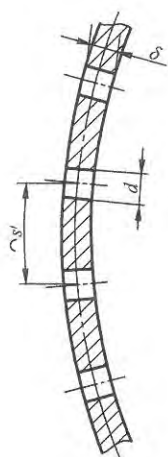


图2 横向孔桥

6.6.8 等直径斜向相邻两孔(图3)的孔桥当量减弱系数按式(26)计算:

$$\varphi_d = K\varphi'' \quad \dots\dots\dots(26)$$

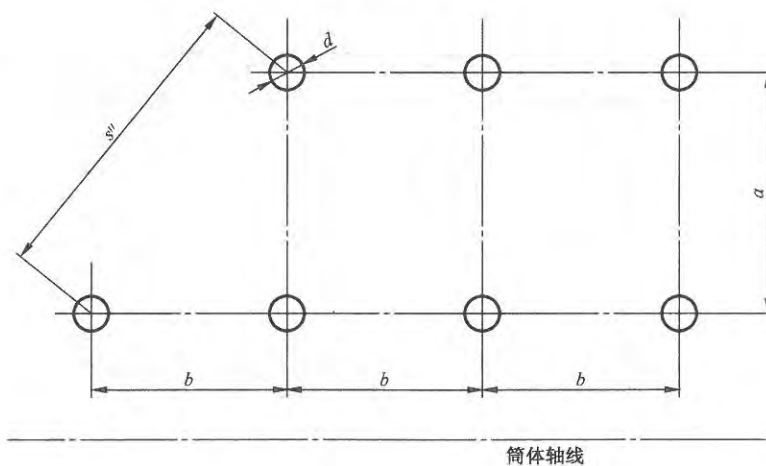


图3 斜向孔桥

斜向孔桥换算系数  $K$  按式(27)计算:

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0.75}{(1+n^2)^2}}} \quad \dots\dots\dots(27)$$

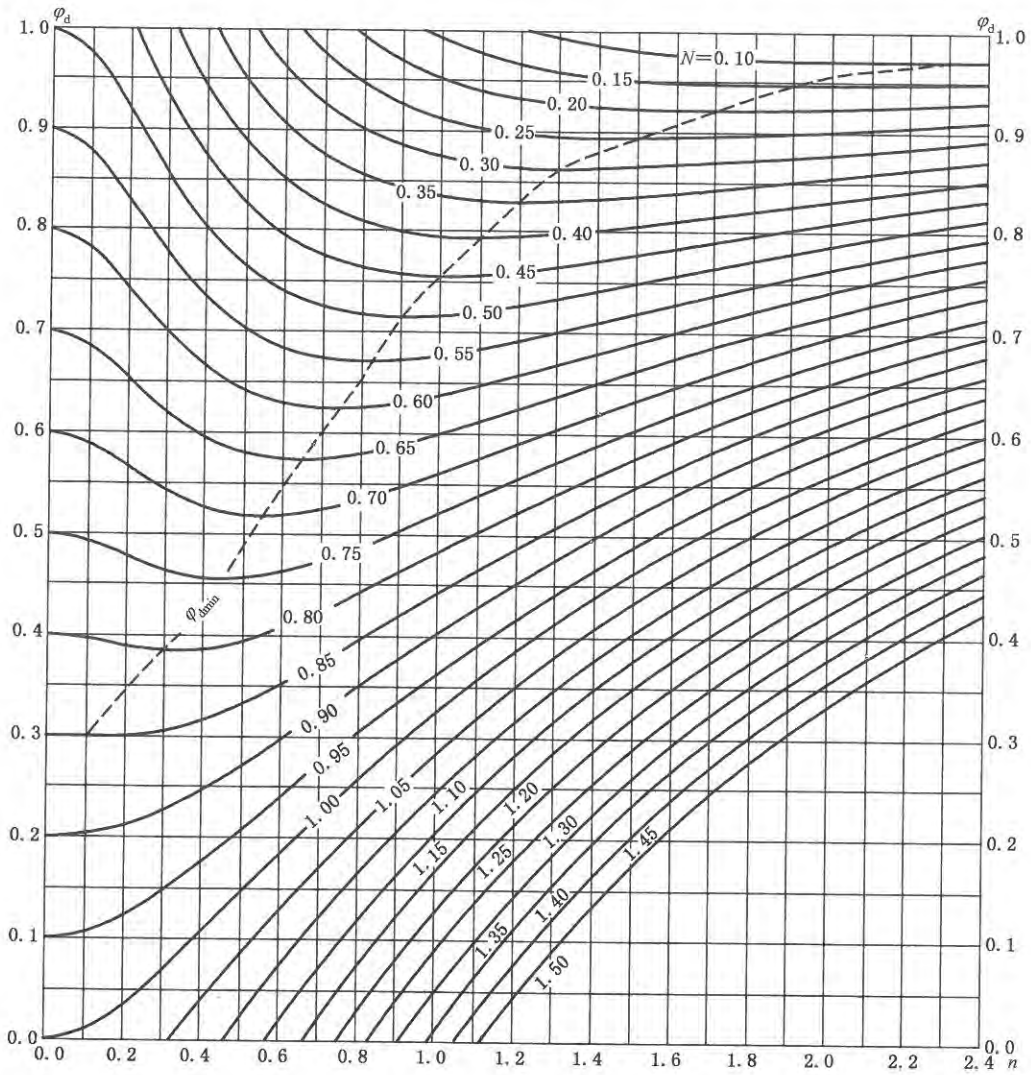
当  $n \geq 2.4$  时,可取  $K=1$ ,此时  $\varphi_d = \varphi''$ 。

斜向孔桥减弱系数  $\varphi''$ 按式(28)计算:

$$\varphi'' = \frac{s'' - d}{s''} \quad \dots\dots\dots(28)$$

式中: $s'' = a\sqrt{1+n^2}$ ;当  $\varphi_d > 1$  时,取  $\varphi_d = 1.00$ ;  $\varphi_d$ 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。

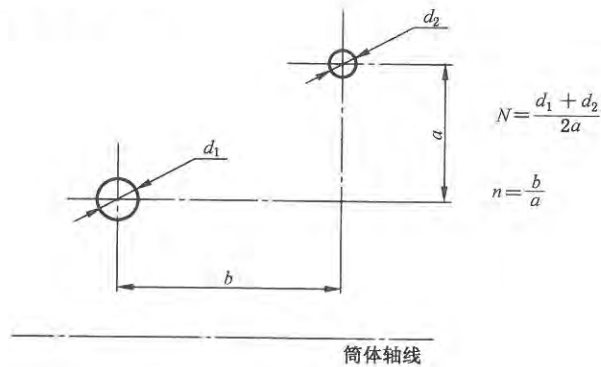


图4 确定  $\varphi_d$  值的线算图

6.6.9 若相邻两孔直径不同,在计算孔桥减弱系数时,式(24)、式(25)及式(28)中的直径  $d$  取相邻两孔的平均值  $d_m$ ,即:

$$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2} \dots\dots\dots (29)$$

6.6.10 计算凹座开孔(图 5)的孔桥减弱系数时,式(24)、式(25)及式(28)中的直径  $d$  以当量直径  $d_e$  代入,  $d_e$  按式(30)计算:

$$d_e = d_1 + \frac{h}{\delta}(d'_1 - d_1) \quad \dots\dots\dots(30)$$

式(30)中  $d_1$ 、 $d'_1$  参见图 5。

6.6.11 如孔排中的孔为非径向孔(图 6),计算孔桥减弱系数时,式(24)、式(25)及式(28)中的直径  $d$  以当量直径  $d_e$  代入,  $d_e$  按如下规定确定:

纵向孔桥

$$d_e = d \quad \dots\dots\dots(31)$$

横向孔桥

$$d_e = \frac{d}{\cos\alpha} \quad \dots\dots\dots(32)$$

斜向孔桥

$$d_e = d \sqrt{\frac{n^2 + 1}{n^2 + \cos^2\alpha}} \quad \dots\dots\dots(33)$$

非径向孔孔轴与径向夹角  $\alpha$  不应大于  $45^\circ$ 。

非径向孔宜经机械加工或仿形气割成形。

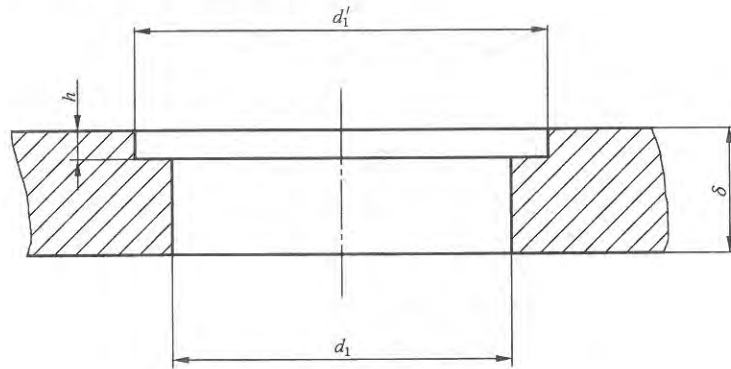


图 5 具有凹座的孔

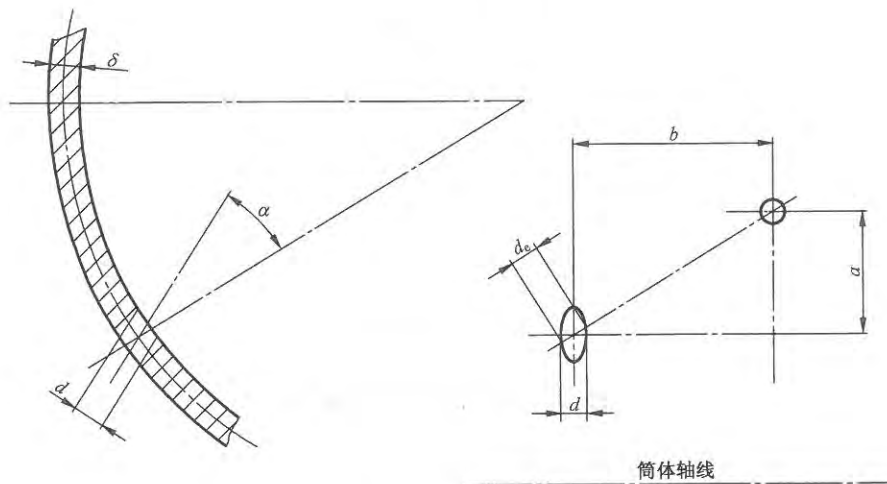


图 6 非径向孔

6.6.12 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。

### 6.7 附加厚度

6.7.1 锅壳筒体的厚度附加量  $C$  按式(34)计算:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad \dots\dots\dots (34)$$

腐蚀裕量与水侧的含氧量相关,也与烟气侧的含硫量相关,并与锅炉的设计寿命相关,腐蚀裕量的附加厚度  $C_1$  一般取 0.5 mm,对厚度超过 20 mm 的元件,腐蚀裕量可取 0 mm,若腐蚀减薄量超过 0.5 mm,则取实际可能的腐蚀减薄值。

制造减薄量的附加厚度  $C_2$  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。

钢材厚度负偏差(为负值时)的附加厚度  $C_3$  按有关材料标准确定。

### 6.7.2 集箱筒体的附加厚度

6.7.2.1 设计计算时,集箱筒体的厚度附加量按式(38)计算。

对于由钢管制成的直集箱筒体, $C_1$  按 6.7.1 原则处理, $C_2$  取为零, $C_3$  按式(35)计算:

$$C_3 = \frac{m}{100 - m} (\delta_c + C_1) \quad \dots\dots\dots (35)$$

对于由钢管弯成的圆弧形集箱筒体, $C_1$  按 6.7.1 原则处理, $C_2$ 、 $C_3$  分别按式(36)和式(37)计算:

$$C_2 = \frac{\delta_c}{(4n_1 + 1)(2n_1 + 1)} \quad \dots\dots\dots (36)$$

式中  $n_1$  为集箱中心线的弯曲半径与集箱筒体外径的比值,当  $n_1 > 4.5$  时,按直集箱处理。

$$C_3 = \frac{m}{100 - m} (\delta_c + C_1 + C_2) \quad \dots\dots\dots (37)$$

6.7.2.2 校核计算时,集箱筒体的厚度附加量  $C$  按式(38)计算:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad \dots\dots\dots (38)$$

对于由钢管制成的直集箱筒体, $C_1$  按 6.7.1 原则处理, $C_2$  取为零, $C_3$  按式(39)计算:

$$C_3 = \frac{m}{100} \delta \quad \dots\dots\dots (39)$$

对于由钢管弯成的圆弧形集箱筒体, $C_1$  按 6.7.1 原则处理, $C_3$  按式(39)计算。 $C_2$  按式(40)计算:

$$C_2 = \frac{\delta - C_1 - C_3}{2n_1(4n_1 + 1)} \quad \dots\dots\dots (40)$$

式中  $n_1$  为弯管中心线半径与管子外径的比值。

### 6.7.3 承受内压力管子的附加厚度

6.7.3.1 设计计算时,管子的厚度附加量按式(41)计算。

对于直水管, $C_1$  按 6.7.1 原则处理,对换热管  $C_1$  取零, $C_2$  取为零, $C_3$  按式(41)计算:

$$C_3 = \frac{m}{100 - m} (\delta_c + C_1) \quad \dots\dots\dots (41)$$

对于由钢管弯成的弯管, $C_1$  按 6.7.1 原则处理,对换热管  $C_1$  取零, $C_2$ 、 $C_3$  分别按式(42)和式(44)计算:

$$C_2 = \frac{\alpha_1}{100 - \alpha_1} (\delta_{bc} + C_1) \quad \dots\dots\dots (42)$$

式中弯管工艺系数  $\alpha_1$  按式(43)计算:



$$\alpha_1 = \frac{25d_o}{R} \dots\dots\dots(43)$$

当弯管外侧厚度实际制造工艺减薄率  $b_1$  大于计算所得的  $\alpha_1$  值时,  $\alpha_1$  值应取弯管外侧厚度实际制造工艺减薄率值。

$$C_3 = \frac{m}{100 - m}(\delta_{bc} + C_1 + C_2) \dots\dots\dots(44)$$

6.7.3.2 校核计算时,管子的厚度附加量  $C$  按式(38)计算。

对于直管,  $C_1$  按 6.7.1 原则处理,对换热管  $C_1$  取零,  $C_2$  取为零,  $C_3$  按式(39)计算。

对于由钢管弯成的弯管,  $C_1$  按 6.7.1 原则处理,对换热管  $C_1$  取零,  $C_3$  按式(39)计算,  $C_2$  按式(45)计算:

$$C_2 = \frac{\alpha_1}{100}(\delta - C_3) \dots\dots\dots(45)$$

6.8 厚度限制

6.8.1 锅壳内径  $D_i$  大于 1 000 mm 时,锅壳筒体的名义厚度不宜小于 6 mm;锅壳内径  $D_i$  不大于 1 000 mm 时,锅壳筒体的名义厚度不宜小于 4 mm。

6.8.2 立式锅炉大横水管的名义厚度不宜小于 6 mm。

6.8.3 不绝热的锅壳置于烟温不小于 600 °C 的烟道或炉膛内时,名义厚度不应大于表 5 所列数值。

表 5 不绝热锅壳的最大允许厚度 单位为毫米

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

6.8.4 对于额定压力大于 2.5 MPa 的锅炉,不绝热集箱筒体的厚度不应大于 30 mm。

6.8.5 对于额定压力不大于 2.5 MPa 的锅炉,不绝热集箱和防焦箱筒体的厚度不应大于表 6 所规定的值。

表 6 不绝热集箱和防焦箱筒体的最大允许厚度 单位为毫米

工作条件	最大允许壁厚
在烟温大于 900 °C 的烟道或炉膛内	15
在烟温为 600 °C~900 °C 之间的烟道内	20

6.9 结构要求

6.9.1 对于胀接管孔,孔桥减弱系数  $\varphi$ 、 $\varphi'$  及  $\varphi''$  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  $0.8d$ ,且不小于  $0.5d + 12$  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 TSG G0001《锅炉安全技术监察规程》的要求。

6.9.2 胀接管子的锅筒(壳)的厚度应不小于 12 mm。胀接管孔间的净距离不应小于 19 mm。外径大于 63.5 mm 的管子不宜采用胀接。

6.9.3 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  $0.5d + 60$ mm)范围内的主焊缝经

射线或者超声波检测合格,且孔周边不应有夹渣缺陷;

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接接头系数的乘积。

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。

6.9.4 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。

6.9.5 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:

a) 锅炉的额定压力应不大于 2.5 MPa;

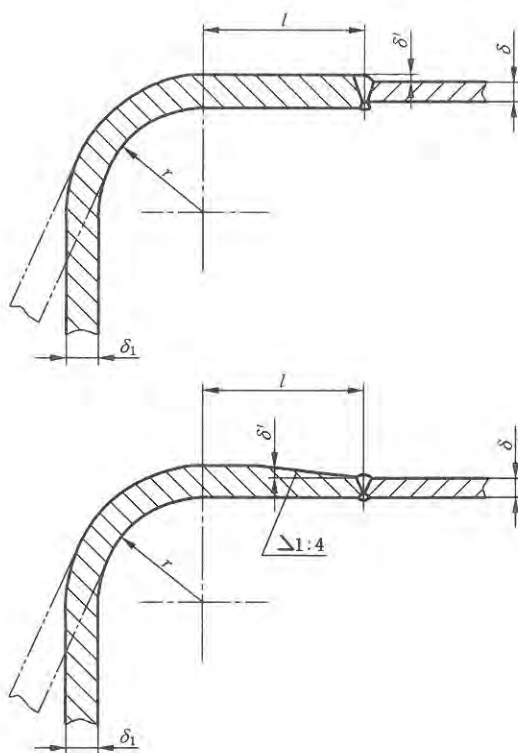
b) 烟温不大于 600 °C 部位(不受烟气冲刷部位,且采用可靠绝热时,可不受此限);

c) 应采用全焊透,且坡口经过机械加工(参见图 8),坡口段厚度不需强度校核;

d) 卧式内燃锅炉锅壳、炉胆的管板与筒体的连接应当采用插入式的结构;

e) 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;

f) 焊缝应按 NB/T 47013(JB/T 4730)的有关要求进行超声检测;



说明:

当扳边元件内径小于或等于 600 mm 时,直段长度应大于或等于 25 mm;

当扳边元件内径大于 600 mm 时,直段长度应大于或等于 38 mm;

对接边缘厚度偏差  $\delta'$  应当小于或等于  $(0.1\delta_1 + 1)$ ,且小于或等于 4 mm;

对扳边内半径  $r$ :平板或管板见 9.3.11;碟形封头见 8.4.7;

当  $\delta'$  超过规定值时,应进行削薄,削薄长度不应小于削薄厚度的 4 倍。

图 7 锅壳筒体与扳边的平管板或凸形封头的连接



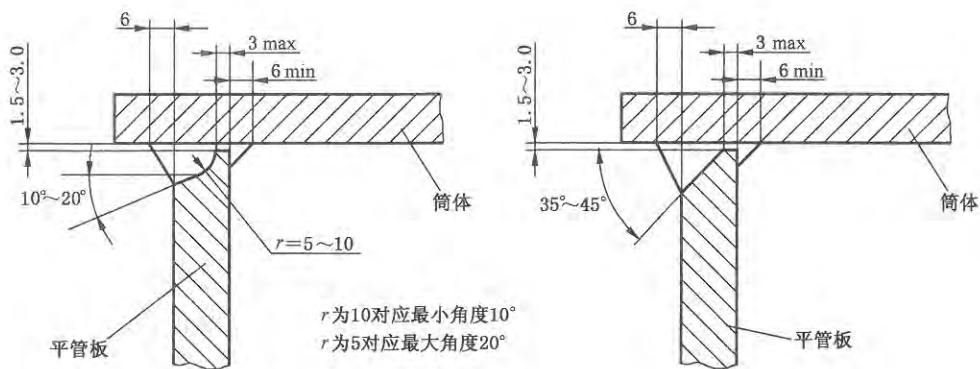


图 8 锅壳筒体与平管板连接的坡口型角焊结构(参考图)

## 7 承受外压力的圆筒形炉胆、冲天管、烟管和其他元件

### 7.1 范围

本章计算公式适用于承受外压不超过 2.5 MPa 的炉胆、回燃室、冲天管、烟管等圆筒形元件的设计计算方法和结构要求。

### 7.2 符号和单位

- $D_i$  —— 炉胆内径, mm;
- $D_m$  —— 炉胆平均直径, 波形炉胆平直部分的平均直径, mm;
- $D_o$  —— 炉胆外径, mm;
- $E'$  —— 计算温度时的弹性模量, MPa;
- $h_o$  —— 炉胆顶外高度, mm;
- $I_1$  —— 波纹截面对其自身中性轴的惯性矩,  $\text{mm}^4$ ;
- $I_2$  —— 加强圈对其自身中性轴的惯性矩,  $\text{mm}^4$ ;
- $I_3$  —— 膨胀环对其自身中性轴的惯性矩,  $\text{mm}^4$ ;
- $I', I'', I'''$  —— 所需要的惯性矩,  $\text{mm}^4$ ;
- $l$  —— 扳边元件直段长度, mm;
- $L$  —— 炉胆的计算长度, mm;
- $n_1$  —— 强度安全系数;
- $n_2$  —— 稳定安全系数;
- $R_o$  —— 波形炉胆的波纹外半径, mm;
- $R$  —— 波形炉胆的波纹中半径, mm;
- $r$  —— 波形炉胆的波纹内半径, mm;
- $s$  —— 波形炉胆的波纹节距, mm;
- $u$  —— 卧式平直炉胆圆度百分率;
- $W$  —— 波形炉胆的波纹深度, mm;
- $X$  —— 平炉胆计算长度的增值;
- $\alpha$  —— 中性轴  $x-x$  与通过圆心的轴线  $x_0-x_0$  的距离, mm;
- $\alpha'$  —— 半夹角, rad(弧度);

- $\delta$  ——受压元件名义厚度, mm;
- $\delta_c$  ——受压元件理论计算厚度, mm;
- $\delta_{\min}$  ——受压元件最小成品厚度, mm;
- $\delta_s$  ——受压元件设计厚度, mm;
- $\delta_e$  ——受压元件有效厚度, mm;
- $\varphi_{\min}$  ——最小减弱系数。

### 7.3 圆筒形炉胆

#### 7.3.1 平直炉胆

7.3.1.1 卧式平直炉胆设计厚度按式(46)~式(48)计算,取两者较大值。

$$\delta_s = \frac{B}{2} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{0.12D_m \mu}{B \left(1 + \frac{D_m}{0.3L}\right)}} \right] + 1 \quad \dots\dots\dots (46)$$

式中:

$$B = \frac{pD_m n_1}{2R_{cl} \left(1 + \frac{D_m}{15L}\right)} \quad \dots\dots\dots (47)$$

或

$$\delta \geq D_m^{0.6} \left( \frac{pL n_2}{1.73E} \right)^{0.4} + 1 \quad \dots\dots\dots (48)$$

式中,  $L$  为炉胆计算长度;  $n_1$  为炉胆强度安全系数;  $n_2$  为炉胆稳定安全系数,  $n_1$ 、 $n_2$  按表 8 选取。

7.3.1.2 校核计算时,卧式平直炉胆的最高允许工作压力按式(49)、式(50)计算,取两者较小值。

$$[p] = \frac{2R_{cl}(\delta - 1)}{n_1 D_m} \left[ \frac{1 + \frac{D_m}{15L}}{1 + \frac{0.03D_m \mu}{(\delta - 1) \left(1 + \frac{D_m}{0.3L}\right)}} \right] \quad \dots\dots\dots (49)$$

$$[p] = \frac{1.73E^1(\delta - 1)^{2.5}}{LD_m^{1.5} n_2} \quad \dots\dots\dots (50)$$

式中,  $L$  为炉胆计算长度;  $n_1$  为炉胆强度安全系数;  $n_2$  为炉胆稳定安全系数,  $n_1$ 、 $n_2$  按表 8 选取。

7.3.1.3 立式平直炉胆的设计厚度和最高允许工作压力按式(51)、式(52)计算:

$$\delta_s = 1.5 \frac{pD_i}{\varphi_{\min} R_m} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{4.4L}{p(L + D_i)}} \right] + 2 \quad \dots\dots\dots (51)$$

$$[p] = \frac{\varphi_{\min} R_m (\delta - 2)}{1.5D_i \left[ \frac{6.6LD_i}{\varphi_{\min} R_m [L + D_i] [\delta - 2]} + 2 \right]} \quad \dots\dots\dots (52)$$

7.3.1.4 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  $\alpha$  不应大于  $45^\circ$ , 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 40(拉撑管与平管板的连接)要求;
- b) 弯水管锅炉(图 11)的  $\varphi_{\min}$  按 7.3 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 13.7 的规定考虑管接头和焊缝对开孔的补强。

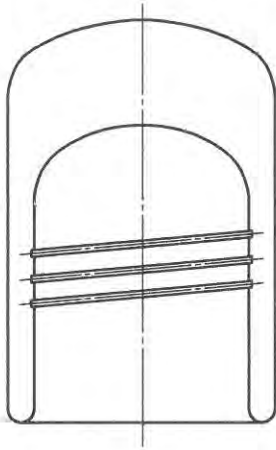


图 9 多横水管锅炉

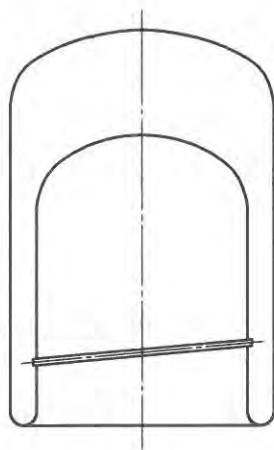


图 10 水冷炉排锅炉

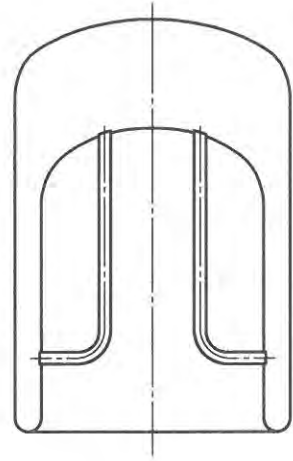
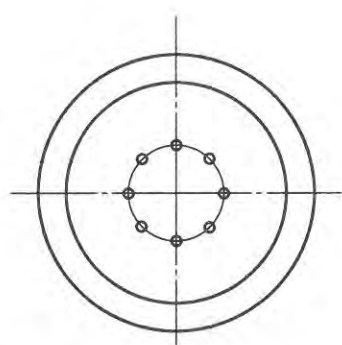
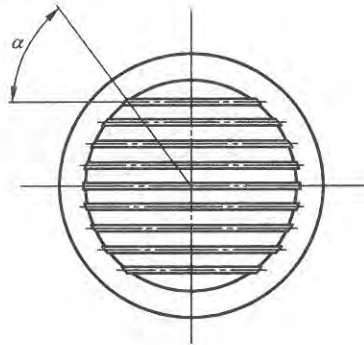
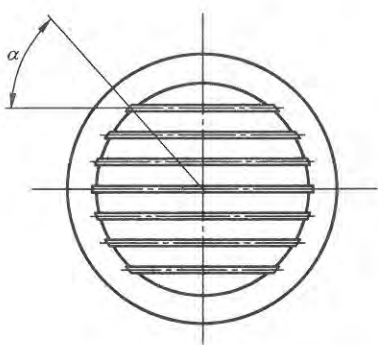


图 11 弯水管锅炉



7.3.1.5 炉胆的计算长度  $L$  按以下规定确定：

- a) 炉胆与平管板或凸形封头连接处，若是扳边对接焊时，以扳边起点作为计算支点，即  $L$  的起算点；若是坡口型角焊时，以角焊根部作为计算支点；
- b) 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)；
- c) 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)；
- d) 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；
- e) 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  $X$  值按表 7 选取。

表 7  $X$  值

$h_0/D_0$	0.17	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
$X/D_0$	0.07	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20

注：相邻两个数值间的  $X/D_0$  采用算术内插法确定，数值保留到小数点后二位。

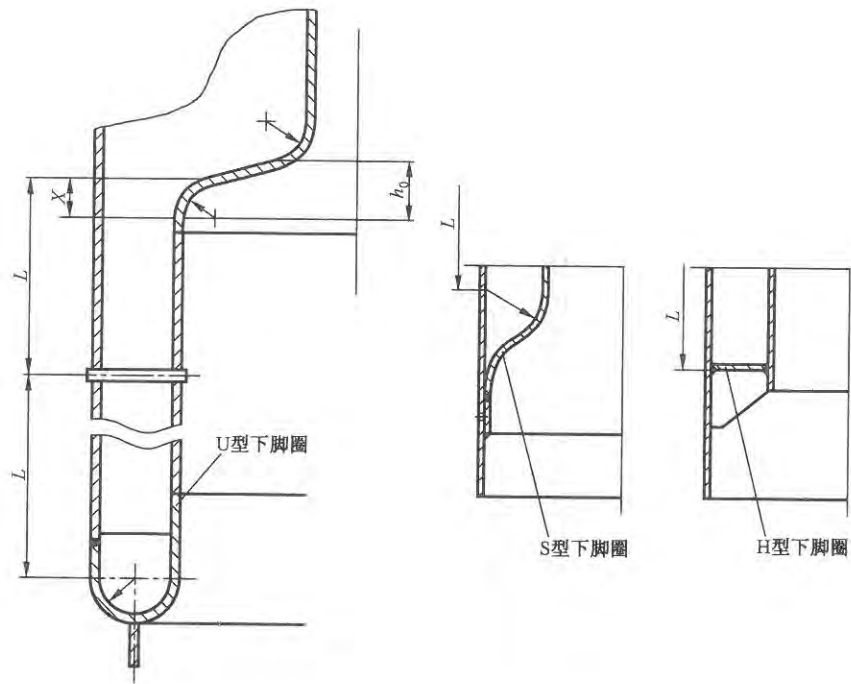


图 12 立式锅炉平直炉胆计算长度  $L$  的起算点

7.3.1.6 对于有锥度的平直炉胆(图 13),内径  $D_i$  取  $D'_i$  与  $D''_i$  之和的一半。

7.3.1.7 卧式平直炉胆的圆度百分率  $u$  按式(53)计算:

$$u = \frac{200(D_{o \max} - D_{o \min})}{D_{o \max} + D_{o \min}} \dots\dots\dots (53)$$

也可取  $u = 1.2$ 。

7.3.1.8 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 8 选取。

表 8 安全系数  $n_1, n_2$

锅炉级别	$n_1$	$n_2$
$p \leq 0.38 \text{ MPa}$ , 且 $pD_m \leq 480 \text{ MPa mm}$	3.5	3.9
其他情况	2.5	3.0

7.3.1.9 计算温度  $t_c$  时的屈服点  $\sigma'_s$  按 GB/T 16508.2 确定。

7.3.1.10 材料的弹性模量  $E'$  按表 9 确定。

表 9 材料的弹性模量  $E'$

计算温度 $t_c$ °C	250	300	350	400	450
弹性模量 $E'$ MPa	$195 \times 10^3$	$191 \times 10^3$	$186 \times 10^3$	$181 \times 10^3$	$178 \times 10^3$

注: 相邻两数值间的  $E'$  值采用算术内插法确定。

7.3.1.11 立式平直炉胆上的加煤孔、出渣孔等,均应按 13.3 的规定进行补强,补强后按无孔处理。

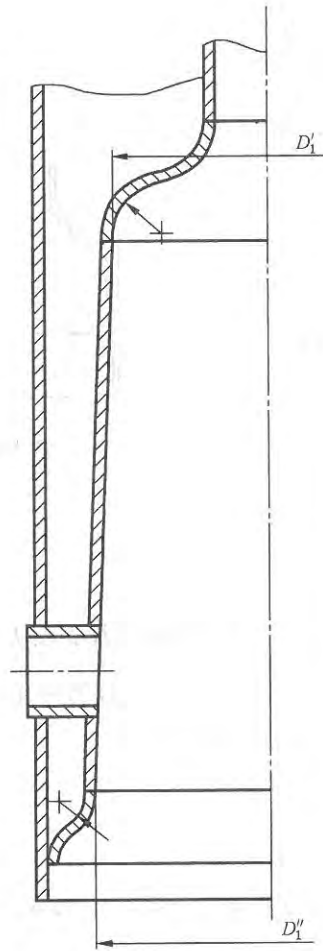


图 13 带有锥度的平直炉胆

7.3.2 波形炉胆

7.3.2.1 波形炉胆的设计厚度按式(54)计算:

$$\delta_s = \frac{pD_o}{2[\sigma]} + 1 \quad \dots\dots\dots(54)$$

7.3.2.2 校核计算时,最高允许工作压力按式(55)计算:

$$[p] = \frac{2(\delta - 1)[\sigma]}{D_o} \quad \dots\dots\dots(55)$$



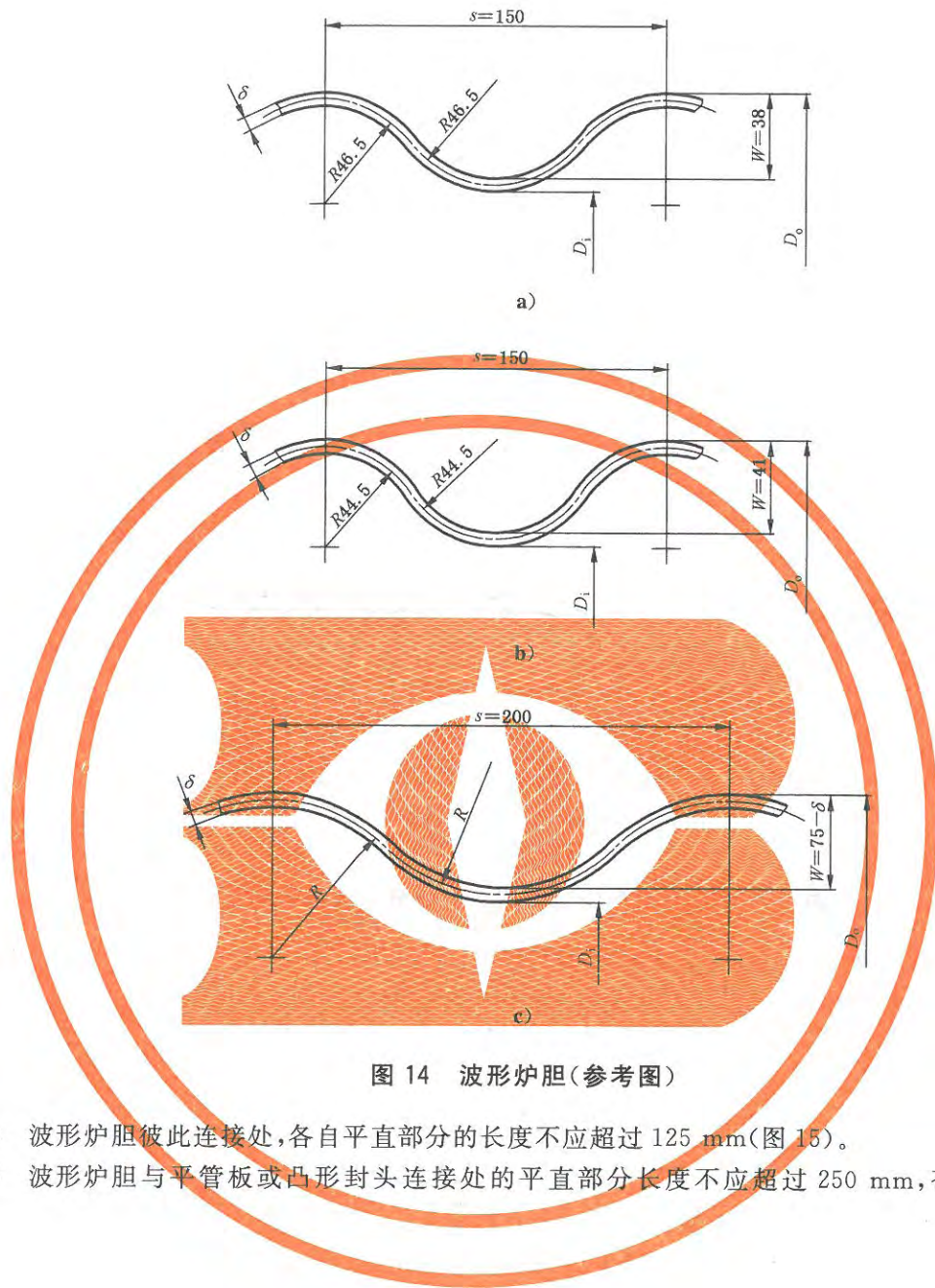


图 14 波形炉胆(参考图)

7.3.2.3 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)。

7.3.2.4 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 7.3.3.1 处理。

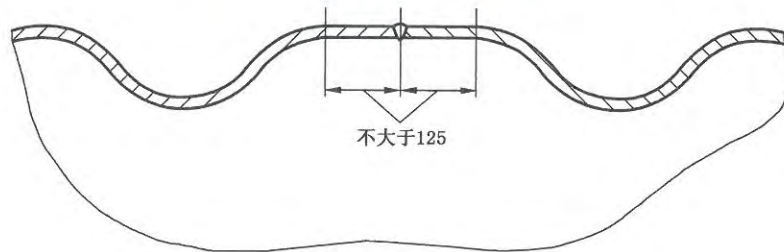


图 15 波形炉胆连接处平直部分尺寸

7.3.3 平直与波形组合炉胆

7.3.3.1 对于平直与波形组合炉胆(平直部分长度超过 250mm),波形部分的设计厚度及最高允许计算压力按式(54)、式(55)计算;而平直部分的设计厚度与最高允许工作压力按式(46)~式(50)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[7.3.1.5a)]之间的距离(图 16)。

同时,要求最边缘一节波纹的惯性矩  $I_1$  不小于按式(56)算出的需要惯性矩  $I'$ ,即:

$$I_1 \geq I' = \frac{pL_2 D_m^3}{1.33 \times 10^6} \dots\dots\dots(56)$$

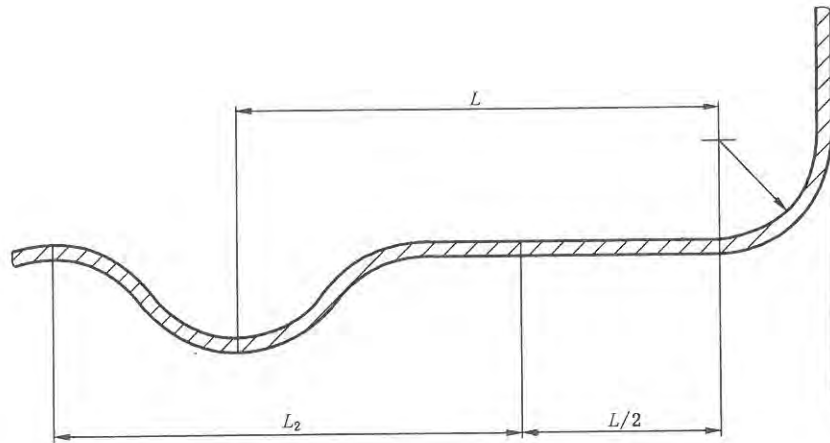


图 16 平直与波形组合炉胆平直部分的计算长度  $L$

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  $I_1$  按式(57)计算:

$$I_1 = \frac{R_o^4 - r^4}{4} [2\alpha' + \sin(2\alpha')] - \frac{8}{3} \alpha (R_o^3 - r^3) \sin\alpha' + 2\alpha^2 (R_o^2 - r^2) \alpha' \dots\dots\dots(57)$$

式(57)中  $R$ 、 $r$ 、 $\alpha'$ 、 $\alpha$  分别按式(58)~式(61)计算:

$$R_o = R + \frac{\delta}{2} \dots\dots\dots(58)$$

$$r = R - \frac{\delta}{2} \dots\dots\dots(59)$$

$$\alpha' = \arcsin\left(\frac{s}{4R}\right) \dots\dots\dots(60)$$

$$\alpha = R \cos\alpha' \dots\dots\dots(61)$$

式(58)~式(61)中  $R$  按式(62)计算:

$$R = \frac{S_2}{16W} + \frac{W}{4} \dots\dots\dots(62)$$

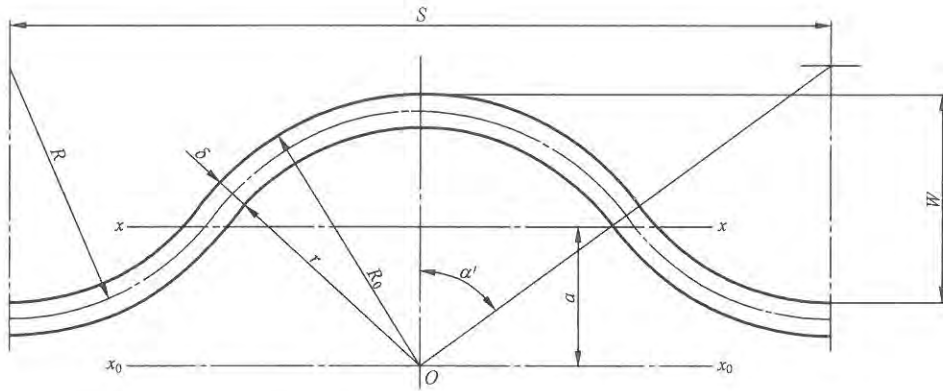


图 17 波纹几何特性

常用波纹(图 14)对其自身中性轴的惯性矩  $I_1$  如表 10 所示。

表 10 波纹截面对其自身中性轴的惯性矩  $I_1$

$10^4 \text{ mm}^4$

图序号		$\delta/\text{mm}$												
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
图 14a)	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 14b)	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 14c)	节距 200 波深 $75-\delta$	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：表中给出的  $I_1$  值已考虑了厚度减薄量，例如，对于  $\delta=10 \text{ mm}$ ， $I_1$  值是按  $9 \text{ mm}$  计算的。

7.3.3.2 如式(56)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(56)的要求。

7.3.4 加强圈与膨胀环

7.3.4.1 加强圈截面对其自身中性轴的惯性矩  $I_2$ ，按式(63)计算：

$$I_2 = \frac{\delta_j h_j^3}{12} \dots\dots\dots (63)$$

其中  $\delta_j$  为加强圈厚度(参照图 22)；

$h_j$  为加强圈高度(参照图 22)。

它不应小于按式(64)算出的需要惯性矩  $I''$ ，即：

$$I_2 \geq I'' = \frac{pL_0 D_m^3}{1.33 \times 10^6} \dots\dots\dots (64)$$

式(64)中承压计算长度  $L_0$ 。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。

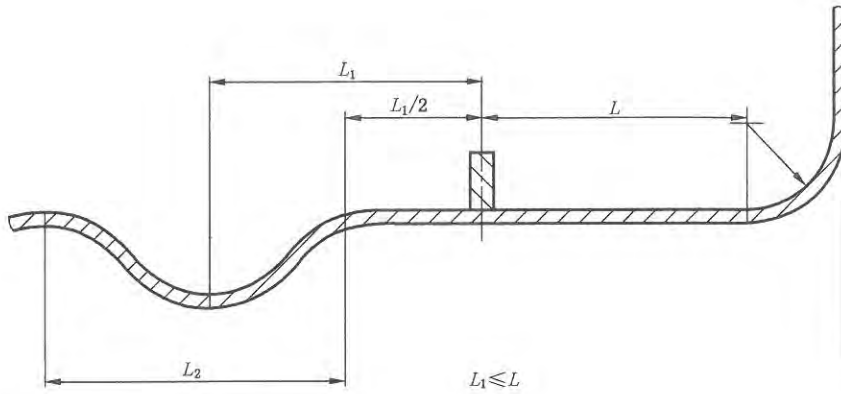


图 18 炉胆平直部分设置加强圈

7.3.4.2 膨胀环(图 19)截面对其自身中性轴的惯性矩  $I_3$  如表 11 所示,它不应小于按式(65)算出的需要惯性矩  $I''$ ,即:

$$I_3 \geq I'' = \frac{pL_0 D_m^3}{1.33 \times 10^6} \dots\dots\dots (65)$$

式(65)中承压计算长度  $L_0$  按 7.3.4.1 所述原则处理。

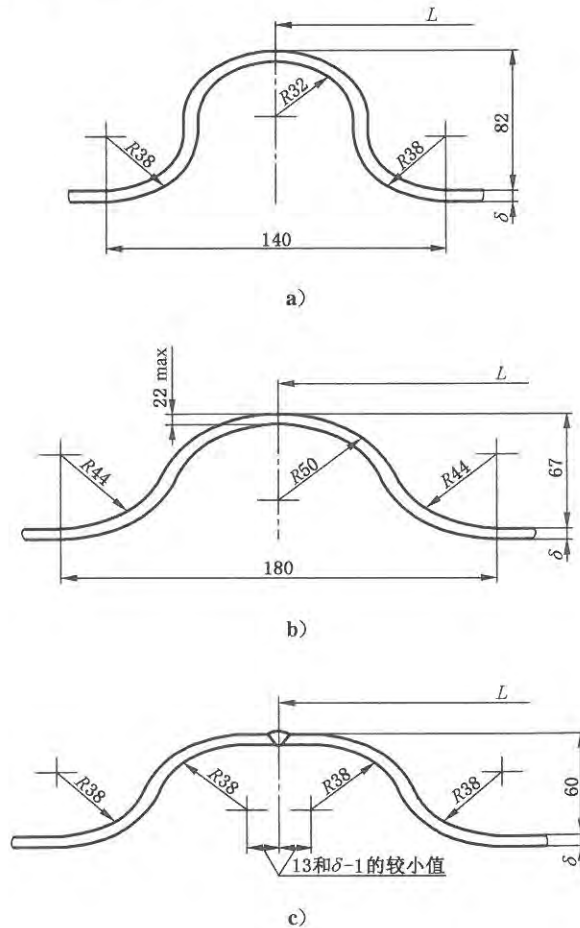


图 19 膨胀环(参考图)



表 11 膨胀环对其自身中性轴的惯性矩  $I_3$ 

图序号	$\delta$												
	mm												
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$I_3$													
$10^4 \text{ mm}^4$													
图 19a)	189	210	231	252	273	295	317	339	361	384	407	430	454
图 19b)	130	144	159	174	190	204	220	236	252	268	284	301	318
图 19c)	114	128	141	155	170	186	204	222	241	260	280	301	322

注：表中给出的  $I_3$  值已考虑了厚度减薄量，例如，对于  $\delta=10$  mm， $I_3$  值是按 9 mm 计算的。

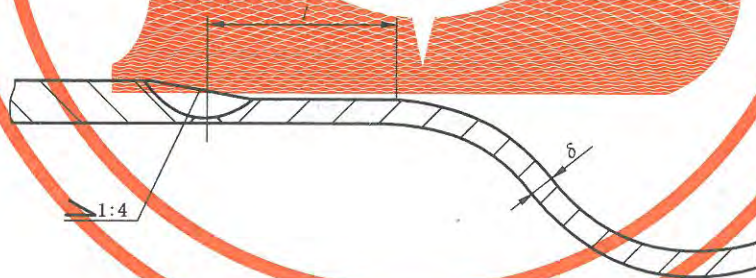
### 7.3.5 结构要求

7.3.5.1 平直或波形炉胆的内径  $D_i$  不应大于 1 800 mm。

7.3.5.2 平直或波形炉胆的名义厚度不应小于 8 mm，且不应大于 22 mm；当炉胆内径不大于 400 mm 时，其名义厚度应不小于 6 mm。

7.3.5.3 卧式平直炉胆计算长度一般不宜超过 2 000 mm，如炉胆两端均为板边连接，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  $1/3$ 。

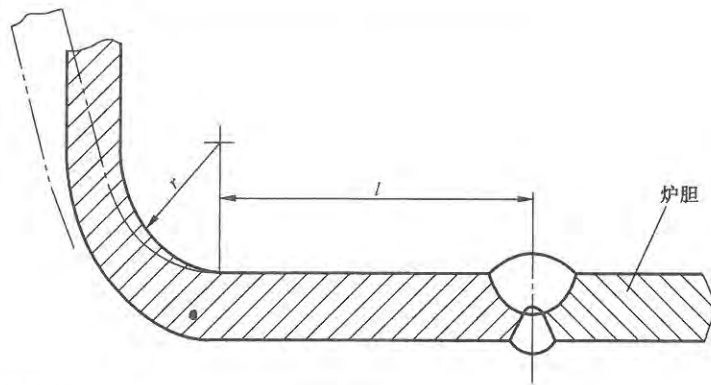
7.3.5.4 平直炉胆与波形炉胆的连接结构如图 20 所示。平直炉胆与波形炉胆的波纹顶部、底部或中部对齐均可。



说明：l 见图 7。

图 20 波形炉胆与平直炉胆的连接

7.3.5.5 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 6.9.5 的规定处理。



说明:  $l$  见图 7,  $r$  见 9.3.11。

图 21 卧式炉胆与平管板或凸形封头的连接

7.3.5.6 加强圈的厚度  $\delta_j$  应不小于  $\delta$ , 但不大于  $2\delta$  或 22 mm [见图 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 [见图 22b)]。加强圈高度  $h_j$  应不大于  $6\delta_j$ 。加强圈与炉胆的焊接应采用全焊透型 (图 22)。

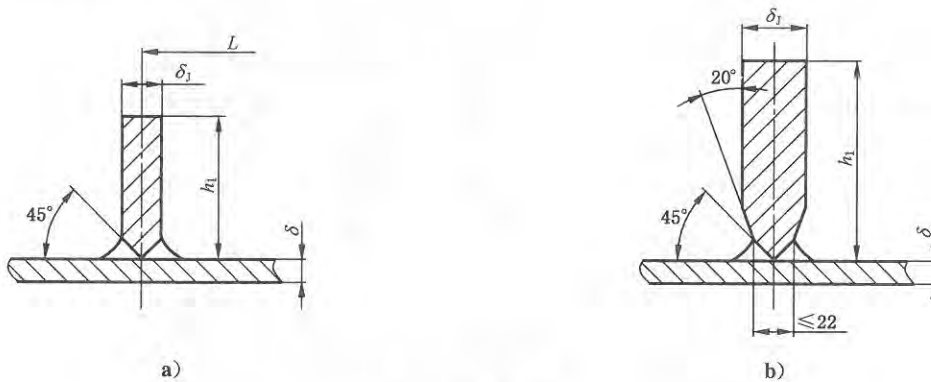


图 22 加强圈

#### 7.4 圆筒形湿背回燃室

7.4.1 卧式内燃锅炉的回燃室筒体按卧式平直炉胆计算, 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。

7.4.2 回燃室筒体的名义厚度应不大于 35 mm, 且不应小于 10 mm。

#### 7.5 冲天管

7.5.1 立式锅炉冲天管的设计厚度和最高允许工作压力按式(51)、式(52)计算, 取  $\varphi_{\min} = 1.00$ ; 对于蒸汽锅炉, 附加厚度由 2 mm 增至 4 mm。

7.5.2 冲天管计算长度  $L$  按 7.3.1.5a) 处理。

#### 7.6 烟管

7.6.1 承受外压力烟管 (包括螺纹管) 的名义厚度和最高允许工作压力按式(66)计算或按表 12, 取其中的较大值:

$$\delta \geq \frac{pd_o}{2[\sigma]} + C \quad \dots\dots\dots (66)$$

表 12 管子的最小公称厚度

单位为毫米

公称外径	名义厚度
$d_o \leq 25$	2
$25 < d_o \leq 76$	2.5
$76 < d_o \leq 89$	3
$89 < d_o \leq 133$	3.5

校核计算时,最高允许工作压力按式(67)计算:

$$[p] = \frac{2[\sigma](\delta - C)}{d_o} \dots\dots\dots (67)$$

式(66)中的  $C$  和式(67)中的  $C$  分别按 6.7.3.1 和 6.7.3.2 处理。

## 8 凸形封头、炉胆顶、半球形炉胆和凸形管板

### 8.1 范围

本章规定了承受内压或外压的凸形封头(包括椭球形、半球形、蝶形等)、炉胆顶、凸形管板(包括椭圆形、拱形等)等元件的设计计算方法和结构要求。

### 8.2 符号和单位

- $C$  —— 厚度附加量, mm;
- $C_1$  —— 受压元件腐蚀裕量, mm;
- $C_2$  —— 受压元件制造减薄量, mm;
- $C_3$  —— 受压元件钢材厚度负偏差, mm;
- $D_i$  —— 封头内径, mm;
- $D_{ie}$  —— 拱形管板当量内径, mm;
- $D'_{ie}$  —— 拱形管板当量内径, mm;
- $d$  —— 开孔直径, 扳边孔或焊接圈的内径, 椭圆孔在相应节距方向上的尺寸, mm;
- $h_i$  —— 凸形封头的内高, mm;
- $R_i$  —— 碟形封头内曲率半径, mm;
- $r$  —— 扳边内半径, mm;
- $S_{\min}$  —— 封头上两相邻管孔中心线与厚度中线交点的最小展开尺寸, mm;
- $Y$  —— 形状系数;
- $\alpha$  —— 孔的轴线偏离凸形元件法线的角度, ( $^\circ$ );
- $\delta$  —— 受压元件名义厚度, mm;
- $\delta_c$  —— 受压元件理论计算厚度, mm;
- $\delta_e$  —— 受压元件有效厚度, mm;
- $\varphi$  —— 减弱系数;
- $\varphi_w$  —— 焊接接头系数;
- $\varphi_1$  —— 凸形封头的孔桥减弱系数。

### 8.3 椭球形和半球形元件

8.3.1 承受内压的椭球形和半球形元件(图 23)的封头厚度按式(68)计算:

$$\delta \geq \frac{pD_i Y}{2\varphi[\sigma] - 0.5p} + C \quad \dots\dots\dots (68)$$

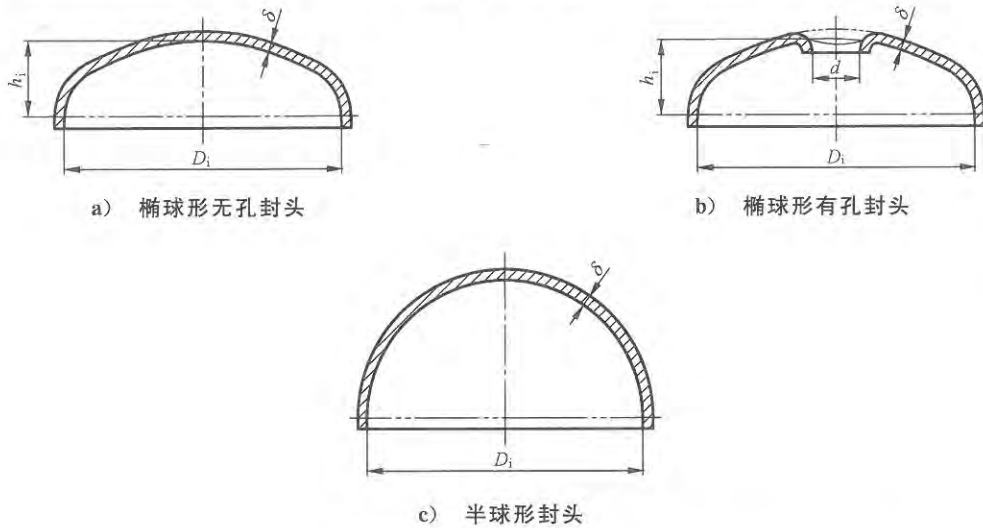


图 23 椭球形和半球形封头

8.3.2 校核计算时,椭球形和半球形元件的最高允许工作压力按式(69)计算:

$$[p] = \frac{2\varphi[\sigma]\delta_e}{D_i Y + 0.5\delta_e} \quad \dots\dots\dots (69)$$

式中  $\delta_e$  按式(70)计算:

$$\delta_e = \delta - C \quad \dots\dots\dots (70)$$

$\delta_e$  也可取为实际测量最小厚度减去以后可能的腐蚀减薄量。

8.3.3 式(68)、式(69)只有满足下列条件时才有效:

$$\frac{h_i}{D_i} \geq 0.2; \frac{\delta - C}{D_i} \leq 0.1; \frac{d}{D_i} \leq 0.7$$

其中  $d$  取长轴尺寸。

8.3.4 计算压力取相连元件的计算压力,计算温度按表 4 选取。

8.3.5 形状系数按式(71)计算:

$$Y = \frac{1}{6} \left[ 2 + \left( \frac{D_i}{2h_i} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (71)$$

8.3.6 凹面受压凸形封头的减弱系数  $\varphi$  按表 13 选取。

表 13 减弱系数  $\varphi$

结构型式	$\varphi$
无孔无拼接焊缝	1.00
无孔有拼接焊缝 <sup>a</sup>	$\varphi_w$
有孔无拼接焊缝 <sup>b</sup>	$1 - \frac{d}{D_i}$
有孔有拼接焊缝,但二者不重合 <sup>c</sup>	取 $\varphi_w$ 和 $1 - \frac{d}{D_i}$ 中较小者
有孔有拼接焊缝,且二者重合 <sup>c</sup>	$\varphi_w \left[ 1 - \frac{d}{D_i} \right]$

<sup>a</sup> 焊接接头系数  $\varphi_w$  按 GB/T 16508.1 选取。

<sup>b</sup> 对于椭圆孔圈,  $d$  取长轴内尺寸。

<sup>c</sup> 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。



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

8.3.8 如凹面受压的凸形封头有孔排时,若孔桥减弱系数:

$$\varphi_1 = \frac{S_{\min} - d}{S_{\min}} \quad \dots\dots\dots (72)$$

小于按表 13 确定的减弱系数  $\varphi$  时,则式(68)及式(69)中的  $\varphi$  用  $\varphi_1$  代入。式中,  $S_{\min}$  为两相邻管孔中心线与厚度中线交点的最小展开尺寸(mm)。

8.3.9 如凸面受压的炉胆顶上有孔排时,若按式(72)确定的  $\varphi_1$  不小于表 3 给出的炉胆顶修正系数  $\eta$  时,则不必考虑孔排的影响;若  $\varphi_1$  小于  $\eta$  时,则式(68)及式(69)中的  $\varphi$  用  $\varphi_1$  代入,与此同时,取基本许用应力修正系数  $\eta=1.00$ 。

8.3.10 设计计算和校核计算时的附加厚度按式(73)计算:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad \dots\dots\dots (73)$$

其中腐蚀减薄的附加厚度  $C_1$ ,一般取为 0.5 mm,若厚度大于 20 mm,腐蚀裕量可取为 0 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  $C_3$  按有关材料标准确定。考虑工艺减薄的附加厚度  $C_2$  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  $0.1\delta$ 。

8.3.11 封头内径  $D_i$  大于 1 000 mm 时,封头的名义厚度不应小于 6 mm;封头内径  $D_i$  不大于 1 000 mm 时,封头的名义厚度不宜小于 4 mm。炉胆顶和半球形炉胆的名义厚度不应小于 8 mm,且半球形炉胆的名义厚度也不应大于 22 mm。

8.3.12 热旋压凸形封头可按本章的规定进行计算;但旋压后封头顶端必须开工艺孔,最小孔径不小于 80 mm。

8.3.13 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  $0.1D_i + \delta$ (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  $\delta$ (图 25);
- 扳边孔不应开在焊缝上(图 25)。

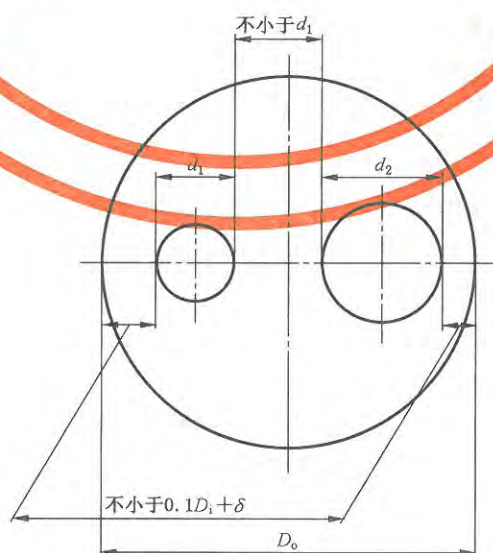


图 24 封头开孔的要求

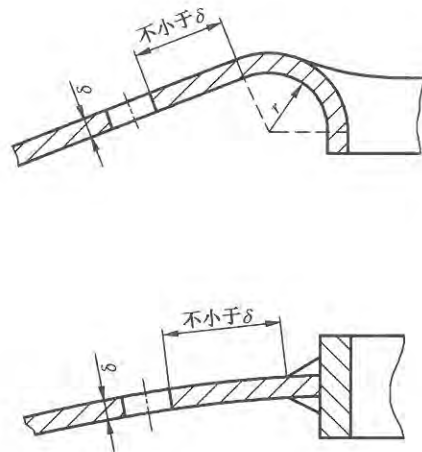


图 25 封头开孔的要求

8.3.14 为减小封头厚度而对孔进行补强时,应按 13.5 中有关规定进行补强计算。

8.4 承受内压的碟形封头

8.4.1 碟形封头(图 26)的名义厚度按式(74)计算:

$$\delta \geq \frac{pR_i}{2\varphi_w[\sigma]} + C \quad \dots\dots\dots(74)$$

8.4.2 校核计算时,碟形封头的最高允许工作压力按式(75)计算:

$$[p] = \frac{2\varphi_w[\sigma]\delta_e}{R_i} \quad \dots\dots\dots(75)$$

式中  $\delta_e$  按式(70)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。

8.4.3 计算压力取相连元件的计算压力,计算温度按表 4 选取。

8.4.4 焊接接头系数  $\varphi_w$  应按 GB/T 16508.1 选取。人孔、头孔应满足 13.8 要求,但不计人孔、头孔的减弱。

8.4.5 附加厚度  $C$  按 8.3.10 规定确定。

8.4.6 碟形封头的圆筒形部分(直段部分)的最小需要厚度不应小于按 6.3.1 所确定的值,最高允许工作压力不应大于按 6.3.3 所确定的值。计算时, $\varphi_{\min} = 1.00$ , $C$  按 8.3.10 确定。封头内径  $D_i$  大于 1 000 mm 时,封头的名义厚度不应小于 6 mm;封头内径  $D_i$  不大于 1 000 mm 时,封头的名义厚度不宜小于 4 mm。炉胆顶的名义厚度不应小于 8 mm。

8.4.7 碟形封头的内曲率半径  $R_i$  不应大于其内径  $D_i$ ; 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)。

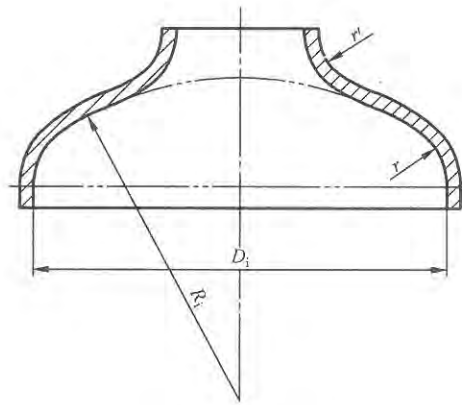


图 26 碟形封头

## 8.5 凸形管板

### 8.5.1 椭球形管板

椭球形管板厚度(图 27)按 8.3.1~8.3.11 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  $\alpha$  不应大于  $45^\circ$ ,管孔宜经机械加工或仿形气割成形。

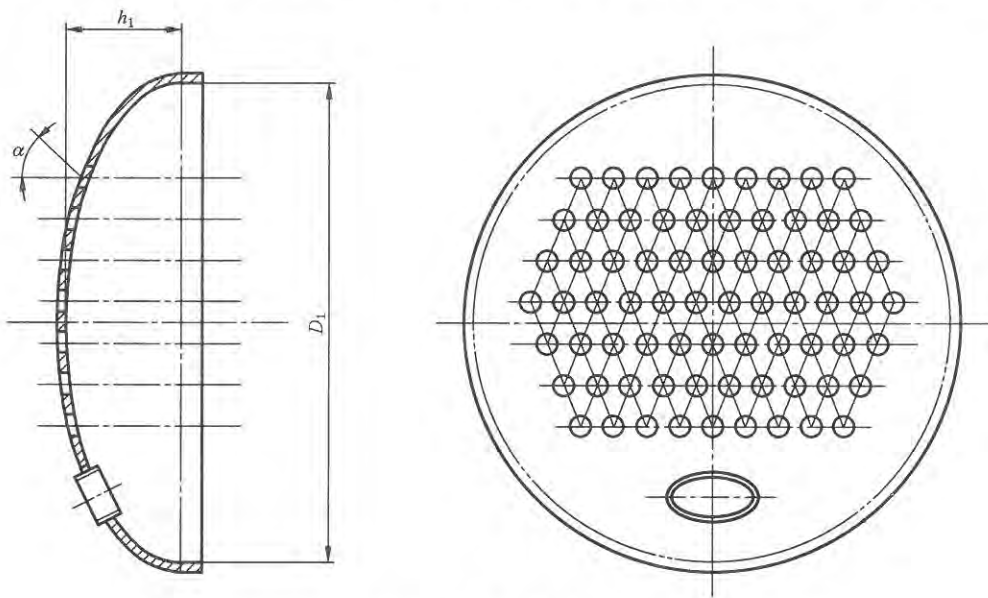


图 27 椭球形管板

### 8.5.2 拱形管板

8.5.2.1 拱形管板(图 28)中由不同椭圆线构成的凸形部分厚度按 8.3.1~8.3.11 有关规定确定。式(68)~式(71)中的  $D_i$  用当量内径  $D_{ed}$  代入,  $D_{ed}$  取两倍椭圆长半轴,而长半轴近似由边缘烟管管排中心线起算,即  $D_{ed} = 2\overline{a'b}$ ; 8.3.3 中的  $D_i$  用当量内径  $D'_{ed}$  代入,取  $D'_{ed} = 2\overline{a'b}$ (见图 28)。

8.5.2.2 拱形管板的平直部分按 9.4 烟管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。

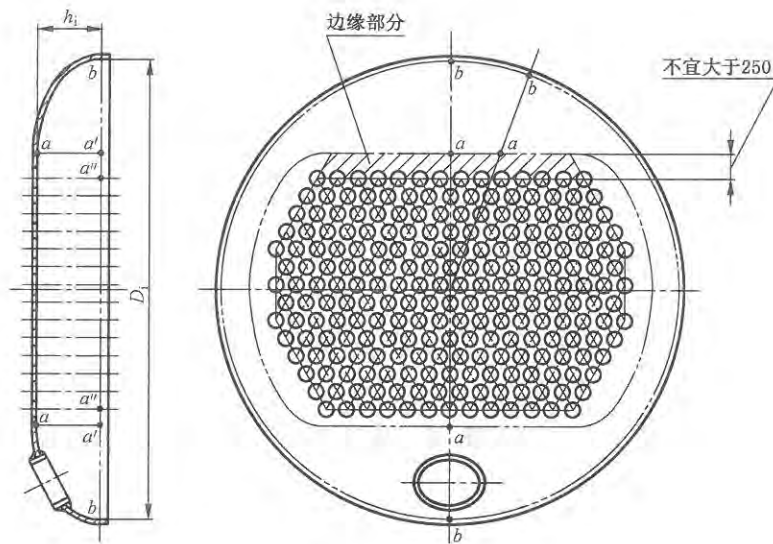


图 28 拱形管板

### 8.5.3 结构要求

8.5.3.1 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 6.3.1 所确定的值,最高允许工作压力不应大于按 6.3.3 所确定的值。计算时,取  $\varphi_{\min}=1.00$ ,  $C$  按 8.3.10 确定。凸形管板的最小厚度还应满足 9.4.4 要求。

8.5.3.2 胀接管子的管板的厚度应不小于 12 mm。胀接管孔间的距离不应小于 19 mm。胀接管孔中心与焊缝边缘及管板扳边起点的距离不应小于  $0.8d$  ( $d$  为管孔直径),且不小于  $0.5d+12$  mm。

8.5.3.3 凸形管板上人孔布置可不满足图 24 中不小于  $0.1D_i+\delta$  的要求。

8.5.3.4 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。

## 9 有拉撑(支撑、加固)的平板和管板

### 9.1 范围

本章适用于承压和有拉撑管的平板和管板(包括烟管管束区内外平板、火箱顶板、立式冲天管锅炉封头、立式多横火管锅炉的管板和弓形板等)的设计计算方法和结构要求。矩形集箱设计计算方法参照附录 B,水管管板的设计计算方法参照附录 C。

### 9.2 符号和单位

- $a$  —— 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;
- $C$  —— 包括含人孔、头孔的平板系数;
- $D_e$  —— 当量直径;
- $D_i$  —— 锅筒筒体内径, mm;
- $d$  —— 孔的直径, mm;
- $d_e$  —— 当量圆直径, mm;
- $d_h$  —— 人孔或头孔计算直径( $a$  与  $b$  之和), mm;



- $d_i$  —— 烟管内径, mm;  
 $E$  —— 锅壳内壁至管板外壁的弓形板最大尺寸, mm;  
 $K$  —— 系数;  
 $L_1$  —— 立式多横火管锅炉最外侧管排中心与前管板厚度中线交点至锅壳中心线之间的距离, mm;  
 $L_2$  —— 立式多横火管锅炉最外侧管排中心与后管板厚度中线交点至锅壳中心线之间的距离, mm;  
 $r$  —— 扳边内半径, mm;  
 $s$  —— 火箱管板的内壁间距, mm;  
 $S_H$  —— 火箱顶板上加固横梁间距, mm;  
 $S_1$  —— 火箱管板上管孔横向节距, mm;  
 $S_2$  —— 立式多横火管锅炉管板上管孔垂直节距, mm;  
 $Z$  —— 系数;  
 $\delta$  —— 受压元件名义厚度, mm;  
 $\delta_H$  —— 火箱顶板上加固横梁厚度, mm;  
 $\delta_c$  —— 受压元件理论计算厚度, mm;  
 $\delta_e$  —— 受压元件有效厚度, mm;  
 $\varphi$  —— 立式多横火管锅炉管板上最外侧垂直管排的孔桥减弱系数。

### 9.3 有拉撑的平板和烟管管束区以外的平板

9.3.1 有拉撑的平板和烟管管束区以外的平板厚度按式(76)计算:

$$\delta > Kd_s \sqrt{\frac{p}{[\sigma]} + 1} \quad \text{..... (76)}$$

9.3.2 校核计算时,最高允许工作压力按式(77)计算:

$$[p] = \left( \frac{\delta - 1}{Kd_s} \right)^2 [\sigma] \quad \text{..... (77)}$$

9.3.3 计算压力取相连元件的计算压力,计算温度按表4选取。

9.3.4 系数  $K$  按以下规定确定:

通过3个支撑点画当量圆时,  $K$  按表14确定;通过4个或4个以上支撑点画当量圆时,  $K$  值降低10%;通过2个支撑点画当量圆时,  $K$  值增加10%。

9.3.5 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14 系数  $K$  的取值

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: 扳边连接[图29a)]	0.35
	坡口型角焊连接并有内部封焊;图29b)	0.37
	内部无法封焊的单面坡口型角焊(图30)*	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);管头45°扳边的胀接管	0.45
* 如氩弧焊打底,且100%无损检测, $K$ 可取0.4;如采用垫板,且100%无损检测, $K$ 可取0.45。		

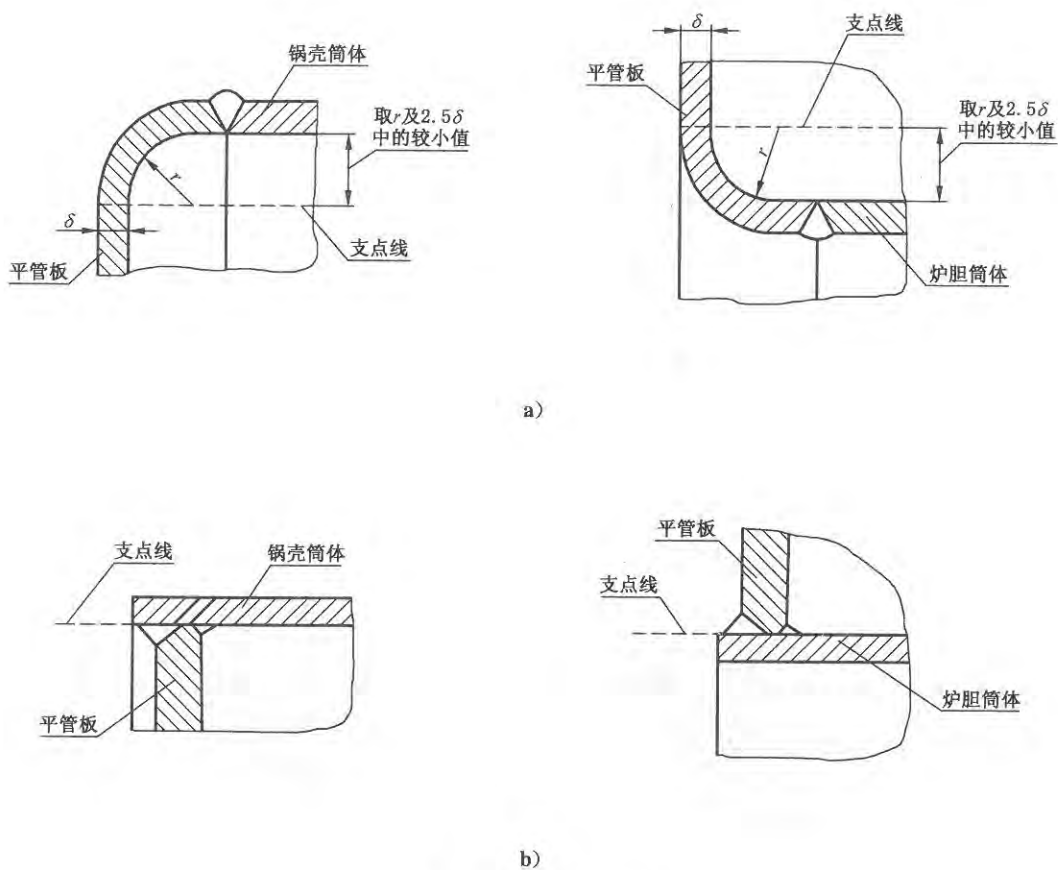


图 29 支点线位置

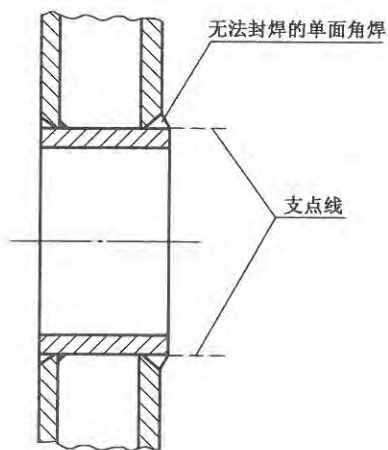


图 30 单面角焊的支点线

9.3.6 如烟管与管板全部采用焊接连接时,这些烟管中心均可视为支撑点,以管束区边缘管子画当量圆时, $K$ 按表 14 选取。当烟管群边缘某些烟管中心与最近支撑点线、最近支撑点的距离大于 250 mm 时,这些烟管的焊接应满足 10.5.8 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

每隔一根的焊接应满足 10.5.8 的要求。

9.3.7 当量圆直径  $d_e$ 。如为通过 3 个或 3 个以上支撑点画圆时,支撑点不应都位于同一半圆周上,当量圆画法如图 31 所示;如为 2 个支撑点画圆时,支撑点应位于当量圆直径的两端。

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

9.3.9 支点线按图 29、图 30 所示原则确定。人孔、手孔边缘不是支点线。

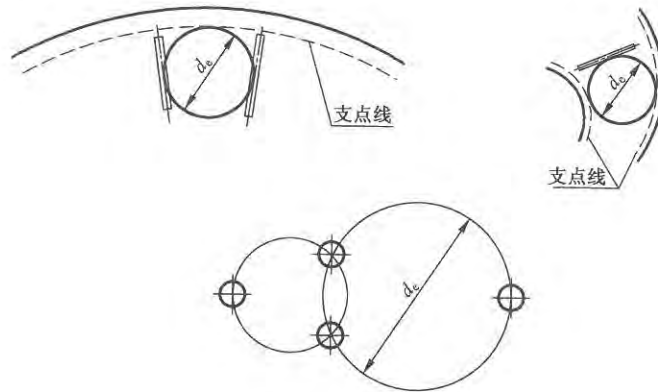


图 31 当量圆的画法

9.3.10 包含人孔在内的平板(图 32)的厚度及最高允许工作压力按式(78)计算:

$$\delta > 0.62 \sqrt{\frac{p}{\sigma_b} (C d_e^2 - d_h^2)} \quad \dots\dots\dots (78)$$

$$[p] = 2.60 \sigma_b \frac{\delta^2}{C d_e^2 - d_h^2} \quad \dots\dots\dots (79)$$

式(78)、式(79)中的  $d_h$  为人孔或头孔的计算直径(或是椭圆孔圈的长半轴  $a$  与椭圆孔圈的短半轴  $b$  之和;式(78)、式(79)中的系数  $C$  按表 15 确定。

至少有一个当量圆应将人孔或头孔包括在内,并以其中最大当量圆作为强度计算的依据。如为两点画当量圆,  $\delta$  增加 10%,  $[p]$  减小 10%。

人孔或头孔应满足 13.7 要求。

表 15 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 $l > \frac{d_e}{10}$	1.64
两侧有拉撑且 $l = 0 \sim \frac{d_e}{10}$	1.19

注:  $l$  为拉杆外缘至当量圆的最小距离(图 32)。

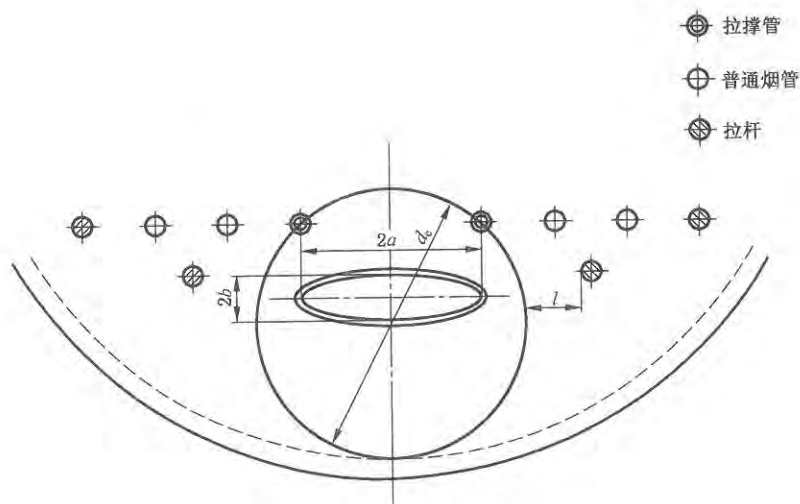


图 32 包含人孔在内的平板

9.3.11 如平板或管板是扳边的,则扳边内半径不应小于两倍板厚,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。

9.3.12 扳边孔不应开在对接焊缝上。

#### 9.4 烟管管束区以内的平板

9.4.1 烟管管束区以内的平板厚度及最高允许工作压力按式(76)和式(77)计算。

9.4.2 如管束区内装有拉撑管,系数  $K$  按 9.3.4 处理,  $d_e$  为按拉撑管所画当量圆的直径。当烟管与管板采用焊接连接时,式(76)和式(77)中  $d_e$  取为烟管最大节距,并取  $K=0.47$ 。

9.4.3 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(88)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。

9.4.4 胀接管直径不大于 51 mm 时,管板名义厚度不应小于 12 mm,胀接管直径大于 54 mm 时,管板名义厚度不应小于 14 mm。管子与管板连接全部采用焊接时,管板名义厚度不应小于 8 mm;如管板内径大于 1 000 mm,则管板名义厚度不应小于 10 mm。

9.4.5 管子与管板采用胀接连接时,其孔桥不应小于  $0.125d+12.5$  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。

9.4.6 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  $0.8d$ ,且不应小于  $0.5d+12$  mm。

9.4.7 对于与 600 °C 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 10.5.8 的要求。

9.4.8 对于火箱管板,当火箱顶板用横梁加固时(图 33),还应按式(80)、式(81)校核横向孔桥的抗压强度:

$$\delta > \frac{p_s S_1}{186(S_1 - d_i)} \frac{400}{R_m} \dots\dots\dots(80)$$

$$[p] = \frac{186\delta(S_1 - d_i)}{s S_1} \frac{R_m}{400} \dots\dots\dots(81)$$

式中:

$d_i$  ——烟管内径,mm;



- s —— 火箱管板的内壁间距, mm;
- S<sub>1</sub> —— 管孔横向节距, mm(参见图 33)。

火箱管板厚度应取式(76)和式(80)计算所得较大值;最高允许工作压力取式(77)和式(81)计算所得较小值。

### 9.5 有加固横梁的火箱顶板

9.5.1 有加固横梁火箱顶板的最小需要厚度及最高允许工作压力按式(76)和式(77)计算。

9.5.2 式(76)和式(77)中的  $d_e$  按以下规定确定:

- a) 横梁有水通道时[见图 33a)]:

$$d_e = \sqrt{(m + \delta_H)^2 + S_H^2} \dots\dots\dots (82)$$

- b) 横梁无水通道时[见图 33b)]:

$$d_e = S_H \dots\dots\dots (83)$$

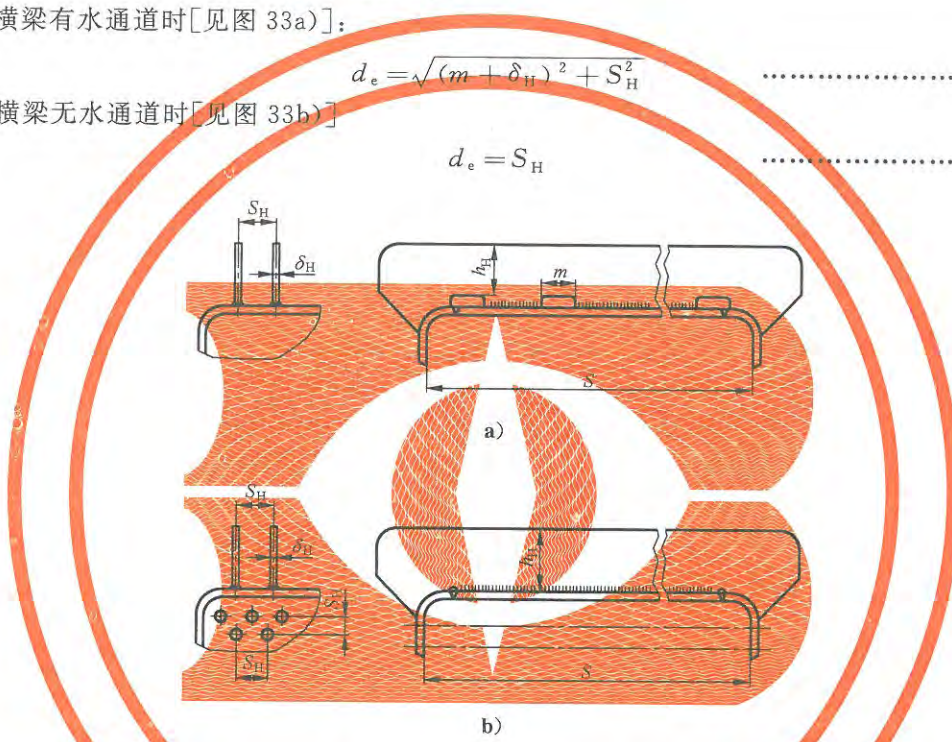


图 33 有加固横梁的火箱顶板

9.5.3 用式(76)计算火箱顶板厚度时,当横梁有水通道时,系数  $K$  取为 0.46,横梁无水通道时,系数  $K$  取为 0.56。

9.5.4 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。

### 9.6 立式冲天管锅炉的平封头和平炉胆顶

9.6.1 立式冲天管锅炉平封头和平炉胆顶的厚度和最高允许工作压力按式(76)和式(77)计算。

9.6.2 当量圆直径按以下规定确定:

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

9.6.2.2 装有拉撑件时,  $d_e$  通过 3 个或 3 个以上支撑点所画出的圆中最大圆的直径(图 34 左半部)。

9.6.3 仅靠冲天管支持时,系数  $K$  取表 14 给出值的 1.5 倍。装有拉撑时,如为三点支撑,  $K$  按表 14 确定;如为四点支撑,  $K$  值降低 10%。

9.6.4 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。

9.6.5 平封头或平炉胆顶的外缘扳边内半径不应小于两倍板厚,且至少为 38 mm 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。

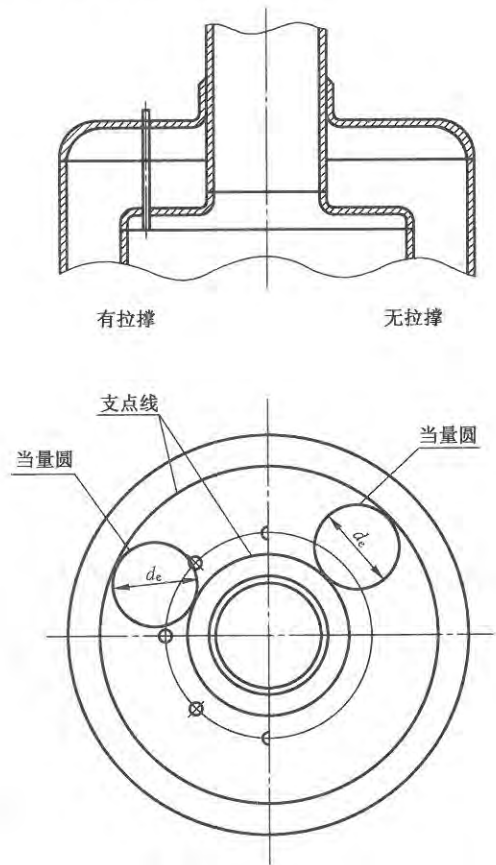


图 34 立式冲天管锅炉的平封头与平炉胆顶

9.7 立式多横火管锅炉的管板和弓形板

9.7.1 立式多横火管锅炉管板的厚度和最高允许工作压力除按 9.3 的规定计算外,还应按式(84)、式(85)校核最外侧垂直管排的强度:

$$\delta = \frac{pD}{2\varphi[\sigma] - p} + 1 \quad \dots\dots\dots(84)$$

$$[\rho] = \frac{2\varphi[\sigma](\delta - 1)}{D + (\delta - 1)} \quad \dots\dots\dots(85)$$

式中:

$D$  ——当量直径,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 2 倍。

前管板  $D = 2L_1$ (图 35);

后管板  $D = 2L_1$ (图 35)。

$\varphi$  ——最外侧垂直管排的孔桥减弱系数,按式(86)计算:

$$\varphi = \frac{S_2 - d}{S_2} \quad \dots\dots\dots(86)$$

式中:

$d$  ——管孔直径;

$S_2$  ——管孔垂直节距。

管板厚度取式(76)与式(84)计算所得的较大值,最高允许工作压力取式(77)与式(85)计算所得的较小值。

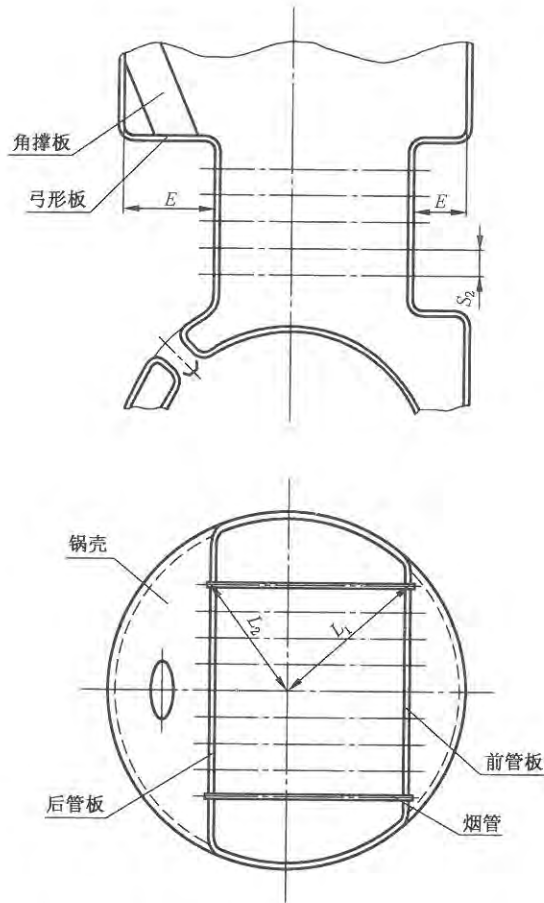


图 35 立式多横管锅炉的管板与弓形板的计算尺寸

9.7.2 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 10.5.8 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 9.4.3~9.4.7 的有关规定。

9.7.3 管板的弓形板如由角撑板(或其他拉撑)支持,应按式(87)计算出的  $Z$  值确定角撑板的数目。

$$Z = \frac{EpD_i}{\delta} \dots\dots\dots(87)$$

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

9.7.4 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。

9.8 矩形集箱参照附录 B

9.9 水管管板的计算参见附录 C

10 拉撑件和加固件

10.1 本章规定了锅炉元件之间的呼吸空位,以及拉撑件(直拉杆和拉撑管、斜拉杆等)和加固件(角撑板、加固横梁等)的设计计算方法和结构要求。

10.2 符号和单位

- $A$  ——拉撑件所支撑的面积,  $\text{mm}^2$ ;
- $d$  ——开孔直径,椭圆孔在相应节距方向上的尺寸,  $\text{mm}$ ;
- $F$  ——拉撑件的名义截面积、实际测量截面积,  $\text{mm}^2$ ;
- $F_{\min}$  ——拉撑件的最小需要截面积,  $\text{mm}^2$ ;
- $h_H$  ——横梁计算高度,  $\text{mm}$ ;
- $K_H$  ——系数;
- $K_w$  ——拉杆焊脚尺寸,  $\text{mm}$ ;
- $L_w$  ——焊缝长度,  $\text{mm}$ ;
- $s$  ——火箱管板的内壁间距,  $\text{mm}$ ;
- $s_H$  ——火箱顶板上加固横梁间距,  $\text{mm}$ ;
- $\alpha$  ——斜拉杆或角撑板与平管板的夹角,  $(^\circ)$ ;
- $\delta$  ——管板名义厚度,  $\text{mm}$ ;
- $\delta_b$  ——角撑板厚度,  $\text{mm}$ ;
- $\delta_H$  ——火箱顶板上加固横梁名义厚度,  $\text{mm}$ ;
- $\delta_{H\min}$  ——加固横梁的最小需要厚度,  $\text{mm}$ ;
- $\delta_1$  ——拉撑管厚度,  $\text{mm}$ ;
- $\delta_w$  ——焊缝厚度,  $\text{mm}$ 。

10.3 呼吸空位(参见图 36)

10.3.1 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。

10.3.2 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。

10.3.3 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。

10.3.4 锅壳筒体内壁与烟管外壁之间的呼吸空位应不小于 40 mm。

10.3.5 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。

10.3.6 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。

10.3.7 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%。

10.3.8 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。



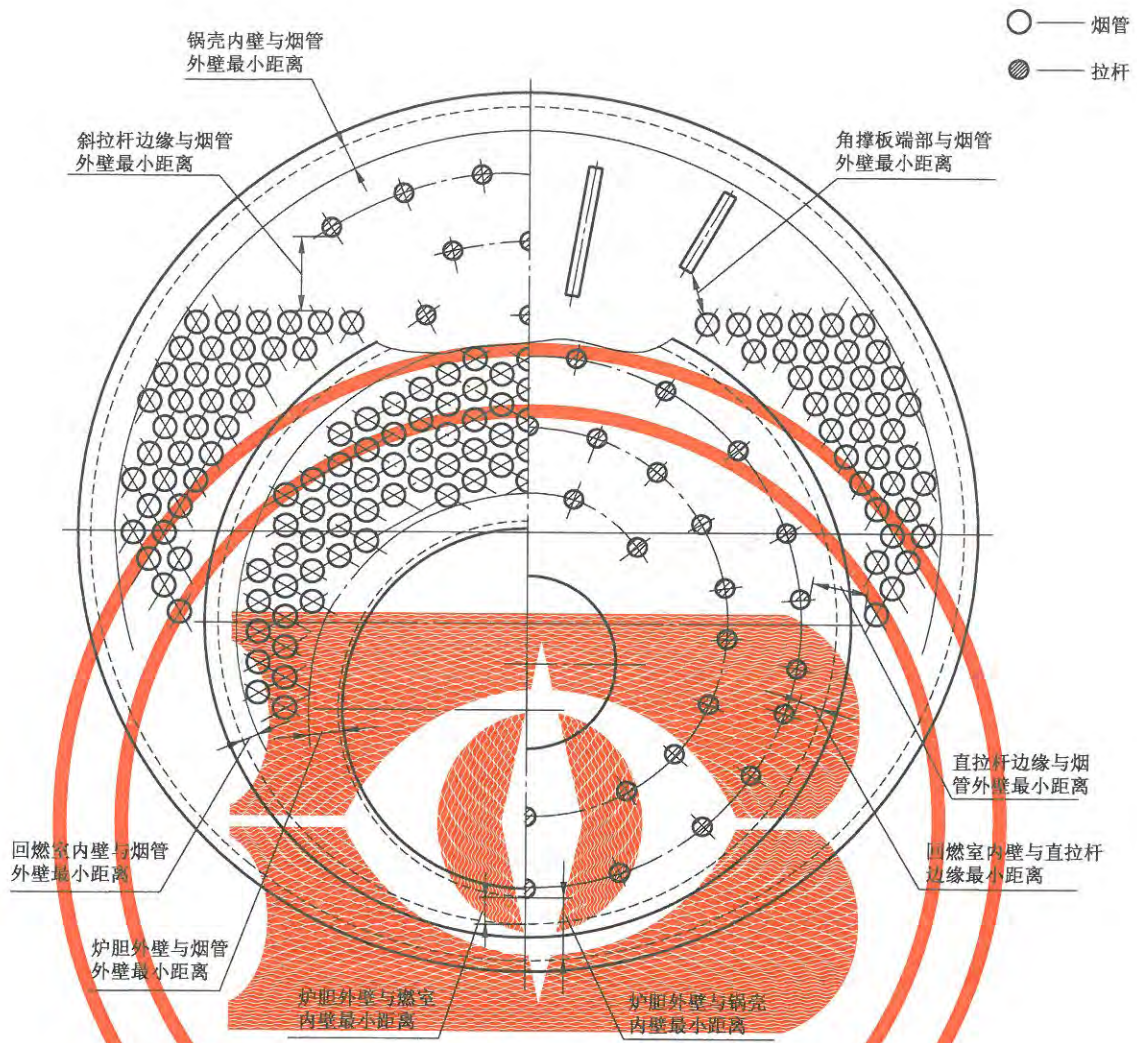


图 36 呼吸空位说明简图

#### 10.4 拉撑件所支撑的面积

10.4.1 拉撑件宜均匀布置,使被拉撑的面积尽量相同。

10.4.2 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 3 个或 3 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 37 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。

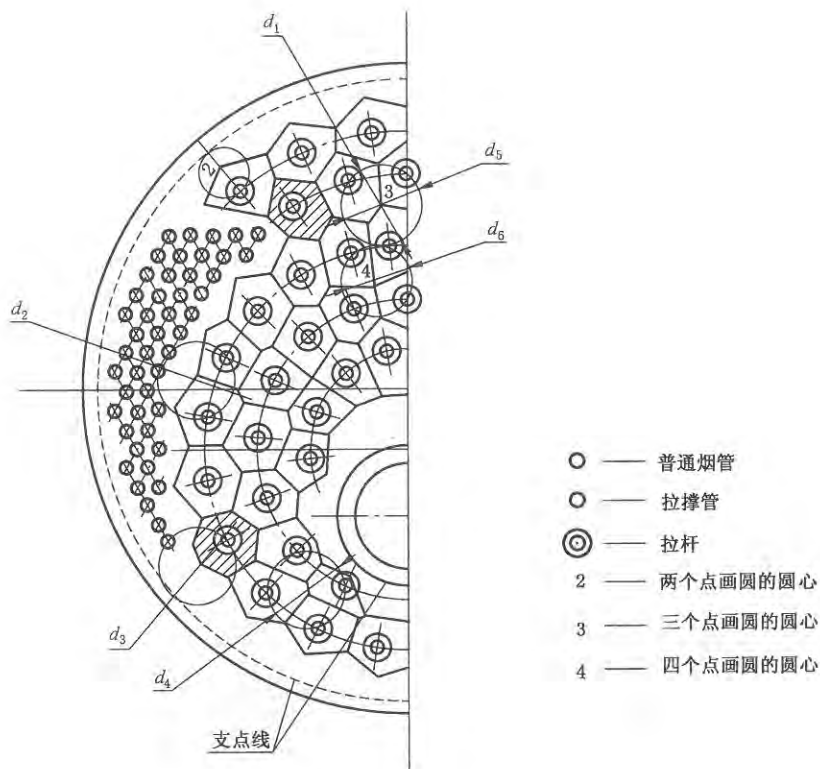


图 37 支撑面积 A 的近似画法

10.5 直拉杆和拉撑管

10.5.1 直拉杆和拉撑管的最小需要截面积按式(88)计算:

$$F_{\min} = \frac{pA}{[\sigma]} \dots\dots\dots(88)$$

10.5.2 校核计算时,直拉杆和拉撑管的最高允许工作压力按式(89)计算:

$$[p] = \frac{F[\sigma]}{A} \dots\dots\dots(89)$$

10.5.3 当焊接烟管视为拉撑管时,其最小需要截面积和最高允许工作压力也分别按式(88)、式(89)计算。

10.5.4 计算压力取相连元件的计算压力,计算温度按表 4 选取,直拉杆按不受热考虑。

10.5.5 直拉杆与平管板的连接结构如图 38 和图 39 所示。

图 38 所示结构用于烟温不大于 600 °C 的部位。图 39 所示结构可用于烟温大于 600 °C 的部位,当用于烟温不大于 600 °C 的部位时,拉杆端头超出焊缝的长度可放大至 5 mm。

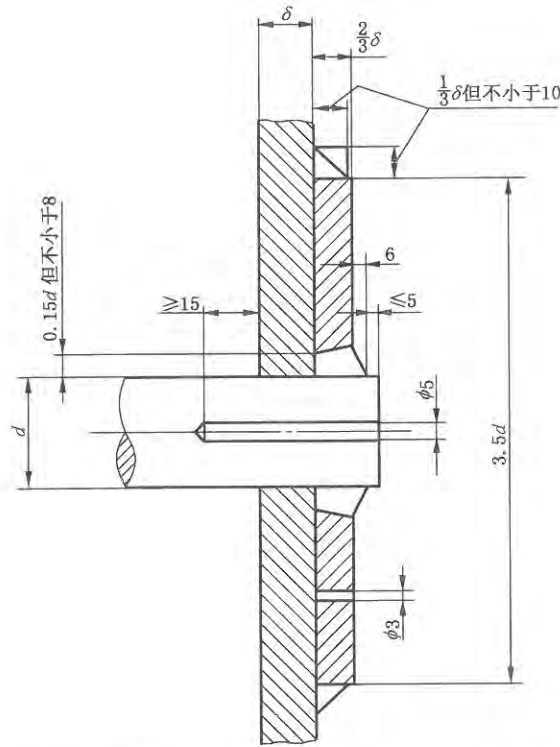


图 38 有垫板的拉撑杆与平管板的连接

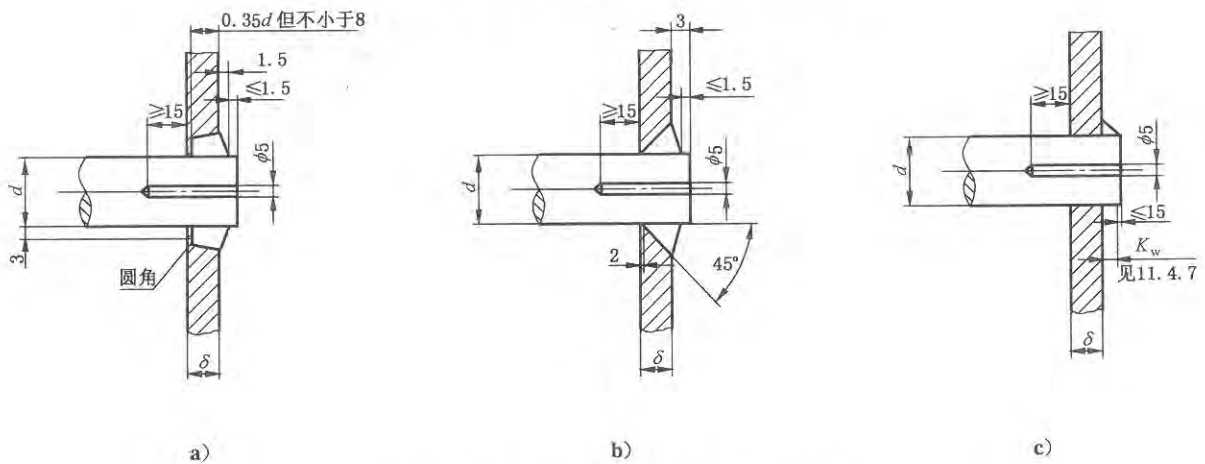


图 39 无垫板的拉杆与平管板的连接

10.5.6 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。

10.5.7 直拉杆与平管板的连接如采用图 39c)结构时,焊脚尺寸  $K_w$  应满足式(90)要求:

$$K_w \geq \frac{125F_{\min}}{\pi d} \dots\dots\dots(90)$$

10.5.8 拉撑管与平管板的连接结构如图 40 所示。

当用于烟温大于 600 °C 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 °C 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。

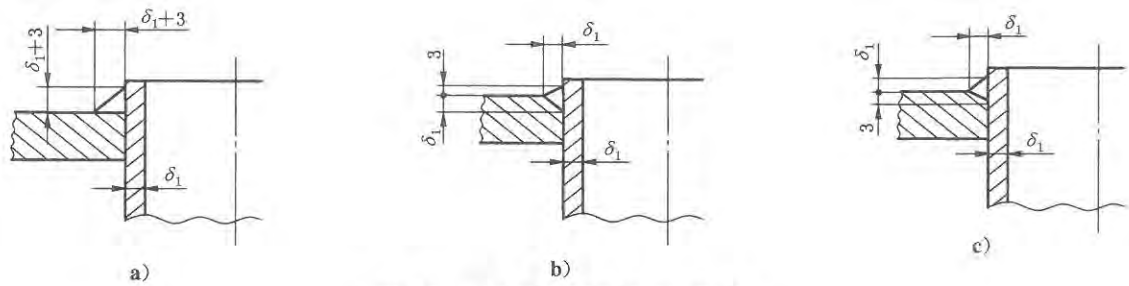


图 40 拉撑管与平管板的连接

10.6 斜拉杆(参见图 41)

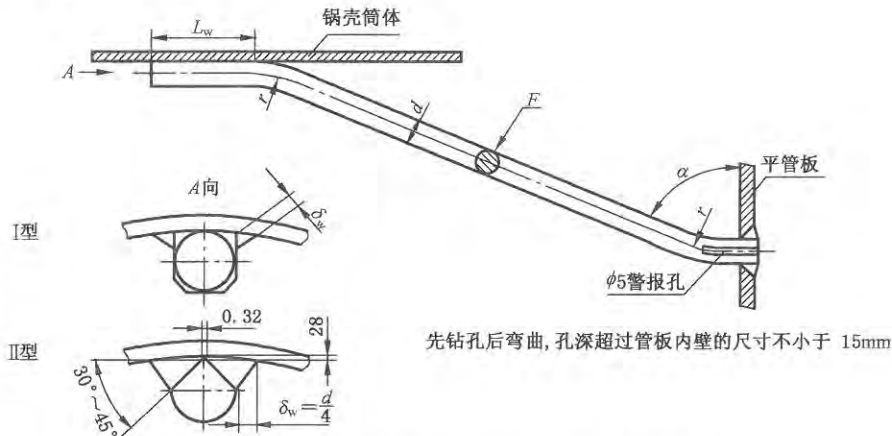


图 41 斜拉杆与平管板及锅壳筒体的连接

10.6.1 斜拉杆的最小需要截面积按式(91)计算:

$$F_{\min} = \frac{pA}{[\sigma] \sin \alpha} \dots\dots\dots (91)$$

10.6.2 校核计算时,斜拉杆的最高允许工作压力按式(92)计算:

$$[p] = \frac{F[\sigma]}{A} \sin \alpha \dots\dots\dots (92)$$

10.6.3 计算压力取相连元件的计算压力,计算温度按表 4 不受热元件选取。

10.6.4 斜拉杆与平管板及锅壳筒体的连接结构如图 41 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 10.5.5 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  $\alpha$  不应小于  $60^\circ$ 。

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

$$\delta_w \geq \frac{125F_{\min}}{2L_w} \dots\dots\dots (93)$$

任何情况下,焊缝厚度  $\delta_w$  不应小于 10 mm。

对于 II 型焊缝,厚度  $\delta_w$  取为  $d/4$  焊缝长度  $L_w$  应满足式(94)要求:

$$L_w = \frac{250F_{\min}}{d} \dots\dots\dots (94)$$

10.6.6 斜拉杆的直径不宜小于 25 mm。

10.6.7 斜拉杆与锅壳筒体连接部位的烟温应不大于  $600^\circ\text{C}$ 。

10.7 角撑板(参见图 42)



10.7.1 角撑板的最小需要截面积按式(91)计算,最高允许工作压力按式(92)计算。

10.7.2 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°~30°之间。应优先采用斜拉杆或当空间允许时,采用直拉杆。

10.7.3 角撑板与平管板、锅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。

10.7.4 角撑板与平管板、锅壳筒体的焊缝长度  $L_w$  应满足式(95)要求:

$$L_w \geq \frac{100pA}{0.6[\sigma]\delta_b \sin\alpha} + 20 \quad \dots\dots\dots(95)$$

10.7.5 计算压力取相连元件的计算压力,计算温度按表 4 不受热元件选取。

10.7.6 角撑板与平管板的夹角  $\alpha$  不应小于 60°。

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

10.7.8 角撑板与平管板、锅壳筒体连接处的结构形状与尺寸应符合图 42 要求。

10.7.9 角撑板与平管板、锅壳筒体连接部位的烟温不应大于 600 °C。

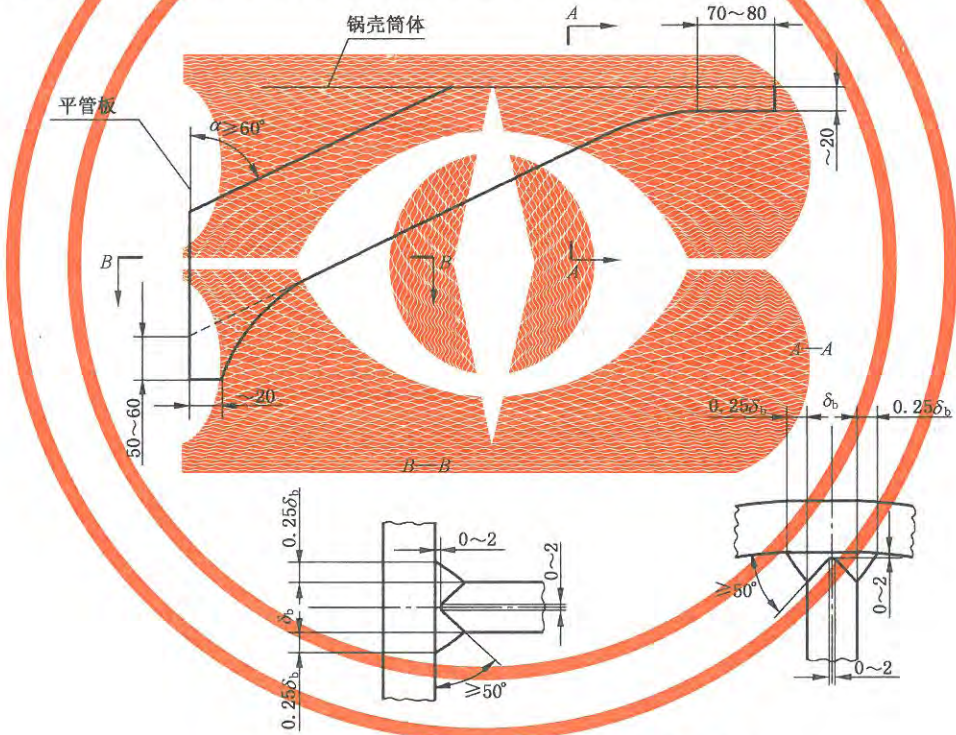


图 42 角撑板与平管板及锅壳筒体的连接

10.8 加固横梁

10.8.1 火箱顶板上加固横梁的最小需要厚度按式(96)计算:

$$\delta_{Hmin} = \frac{ps^2 S_H}{K_H h_H^2 [\sigma]} \quad \dots\dots\dots(96)$$

式中:  $K_H=1.13$ ;

$s, S_H, h_H$  见图 33。

10.8.2 校核计算时,加固横梁的最高允许工作压力按式(97)计算:

$$[p] = \frac{K_H \delta_H h_H^2 [\sigma]}{s^2 S_H} \quad \dots\dots\dots(97)$$

10.8.3 计算压力取相连元件的计算压力,计算温度按表 4 不受热元件选取。

10.8.4 加固横梁与火箱顶板的连接应采用全焊透结构。

## 11 平端盖及盖板

11.1 本章规定了承压平端盖和盖板的设计计算方法和结构要求。

### 11.2 符号和单位

- $a$  ——椭圆盖板的长半轴,mm;
- $b$  ——椭圆盖板的短半轴,mm;
- $D_c$  ——盖板的计算尺寸,mm;
- $D_i$  ——与平端盖相连接处的集箱筒体内径,mm;
- $d$  ——平端盖开孔直径,mm;
- $h$  ——焊缝坡口钝边高度,mm;
- $K$  ——端盖和盖板结构系数;
- $K_w$  ——焊角高度( $w=1,2$ ),mm;
- $l$  ——平端盖直段部分的长度,mm;
- $r$  ——平端盖内转角过渡圆弧半径,mm;
- $Y$  ——盖板的形状系数;
- $\delta$  ——平端盖直段部分厚度,与平端盖相连接处的集箱筒体厚度,mm;
- $\delta_s$  ——平端盖或盖板的设计厚度,mm;
- $\delta_1$  ——平端盖名义厚度,mm;
- $\delta_{1e}$  ——平端盖的有效厚度,mm;
- $\delta_2$  ——平端盖环形凹槽处的最小厚度,mm;
- $\delta_3$  ——盖板螺栓连接部位或密封面处环状部位的厚度,mm。

### 11.3 平端盖

11.3.1 平端盖的设计厚度按式(98)计算:

$$\delta_s = KD_i \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} \dots\dots\dots (98)$$

平端盖名义厚度应满足:

$$\delta_1 \geq \delta_s$$

11.3.2 校核计算时,平端盖的最高允许工作压力按式(99)计算:

$$[p] = \left( \frac{\delta_1}{KD_i} \right)^2 [\sigma] \dots\dots\dots (99)$$

同时,  $[p]$  也不应超过按式  $[p] = \frac{2\delta_1[\sigma]}{D_i + \delta_1}$  所确定的平端盖直段的最高允许工作压力。

11.3.3 结构特性系数按表 16 选取。平端盖的内转角过渡圆弧半径  $r$ 、直段部分的长度  $l$  等应符合表 16 所规定的要求。

11.3.4 平端盖的计算压力取相连筒体的计算压力。

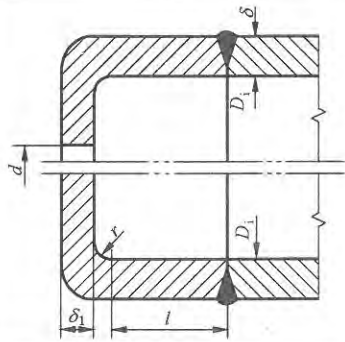
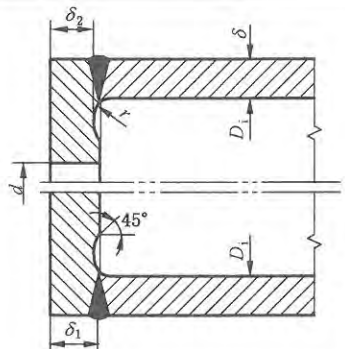
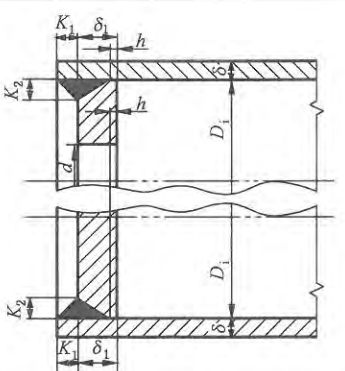
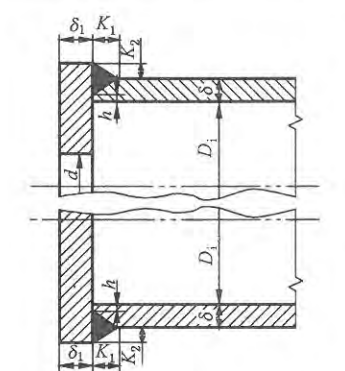
11.3.5 平端盖的计算温度  $t_c$  按表 4 确定。

11.3.6 平端盖基本许用应力的修正系数按表 16 取。

11.3.7 平端盖上中心孔的直径或长轴尺寸与端盖内直径之比值不应大于 0.8;平端盖上任意两孔边缘之间的距离不应小于其中小孔的直径;孔边缘至平端盖外边缘之间的距离不应小于  $2\delta_c$ ;孔不应开在内转角过渡圆弧处。

11.3.8 平端盖直段部分的厚度不应小于按 6.3.1 当减弱系数  $\varphi_{\min} = 1$  时所确定的成品最小需要厚度。

表 16 平端盖的结构特性系数  $K$  和修正系数  $\eta$

序号	平端盖型式	结构要求	$K$		$\eta$		备注
			无孔	有孔			
1		$r \geq 3\delta_1$ $l \geq \delta_1$	0.40	0.45	$l \geq 2\delta_1$ $2\delta_1 > l \geq \delta_1$	1.00 0.95	
2		$r \geq \frac{1}{3}\delta$ 且 $r \geq 5 \text{ mm}$ $\delta_2 \geq 0.8\delta_1$	0.40	0.45		0.90	
3		$K_1 \geq \delta$ $K_2 \geq \delta$ $h \leq (1 \pm 0.5) \text{ mm}$	0.50	0.60		0.85	用于锅炉额定压力不大于 2.5 MPa 且 $D_1$ 不大于 $\phi 426 \text{ mm}$
			0.40	0.40		1.05	用于水压试验 <sup>a</sup>
4		$K_1 \geq \delta$ $K_2 \geq \delta$ $h \leq (1 \pm 0.5) \text{ mm}$	0.60	0.70		0.85	用于锅炉额定压力不大于 2.5 MPa 且 $D_1$ 不大于 $\phi 426 \text{ mm}$

<sup>a</sup> 用于水压试验时可以不开或开小坡口。

11.4 盖板

11.4.1 盖板设计厚度按式(100)计算:

$$\delta_s = KYD_c \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} \dots\dots\dots(100)$$

盖板名义厚度应满足:

$$\delta_1 \geq \delta_s$$

11.4.2 校核计算时,盖板的最高允许工作压力按式(101)计算:

$$[p] = \left( \frac{\delta_1}{KYD_c} \right)^2 [\sigma] \dots\dots\dots(101)$$

11.4.3 形状系数 Y 按表 17 选取。

表 17 形状系数 Y

$b/a$	1.00	0.75	0.50
Y	1.00	1.15	1.30
注:表中相邻 $b/a$ 之间 Y 值可用算术内插法确定,小数点后第三位四舍五入。			

11.4.4 结构特性系数 K 和计算尺寸  $D_c$  按以下规定选取:

- a) 两法兰间加盲板(图 43),  $K=0.50$ ,  $D_c$  取法兰密封面的中心线尺寸;

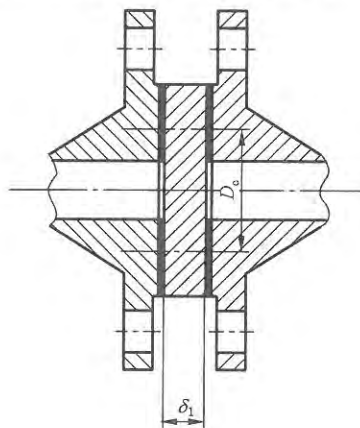


图 43 盲板

- b) 凸面法兰式盖板(图 44),  $K=0.55$ ,  $D_c$  取法兰螺栓中心线尺寸;

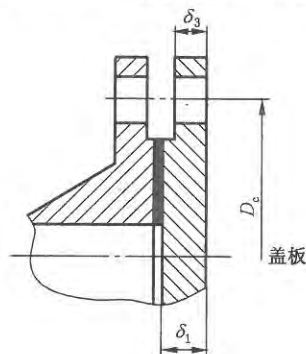


图 44 凸面法兰式盖板



c) 平面法兰式盖板(图 45),  $K=0.45$ ,  $D_e$  取螺栓中心线尺寸;

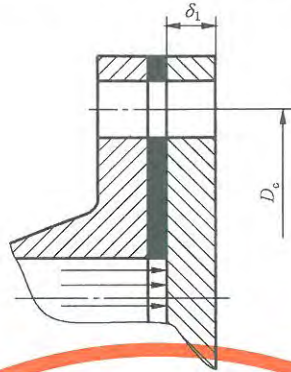


图 45 平面法兰式盖板

d) 受内压的孔盖板(图 46),  $K=0.55$ , 圆形盖板  $D_e$  取孔圈密封接触面的中心线尺寸; 椭圆形盖板  $D_e$  取孔圈短轴密封接触面的中心线尺寸。

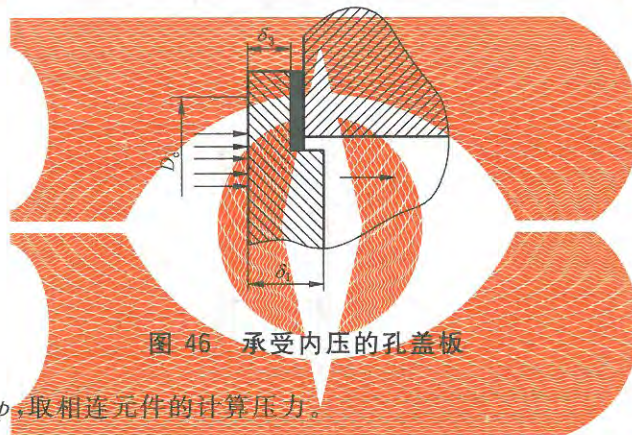


图 46 承受内压的孔盖板

11.4.5 盖板的计算压力  $p$ , 取相连元件的计算压力。

11.4.6 盖板的计算温度  $t_c$  按表 4 确定。

11.4.7 盖板的连接处的厚度  $\delta_3$  (图 44) 应满足:

$$\delta_3 \geq 0.8\delta_1$$

## 12 下脚圈

12.1 本章适用于立式锅炉下脚圈的设计计算方法和结构要求。

### 12.2 符号和单位

$D_i$  —— 对应锅壳筒体内径的下脚圈尺寸, mm;

$D_o$  —— 对应炉胆外径的下脚圈尺寸, mm;

$[p]$  —— 下脚圈最高允许工作压力, MPa;

$\delta$  —— 锅壳筒体名义厚度, mm;

$\delta_{1\min}$  —— 下脚圈成形最小壁厚, mm;

$\delta_1$  —— 下脚圈名义厚度, mm;

$\delta_{1e}$  —— 下脚圈的有效厚度, mm。

### 12.3 计算公式

12.3.1 立式冲天管(或炉胆顶部有可靠拉撑)锅炉的 S 型下脚圈和 U 型下脚圈厚度可不必进行计算, 名义厚度不小于相连炉胆的厚度, 且不小于 8 mm。

12.3.2 立式锅炉 H 型下脚圈(炉胆顶部有可靠拉撑)的计算厚度按第 10 章平板进行计算,但名义厚度应不小于相连炉胆的厚度,且不小于 8 mm。

12.3.3 立式无冲天管(且炉胆顶部无可靠拉撑)锅炉的 S 型和 U 型下脚圈(图 47 和图 48)的厚度按式(102)计算:

$$\delta_1 \geq \sqrt{\frac{pD_1(D_1 - D_0)}{990}} \sqrt{\frac{372}{R_m}} + 1 \quad \dots\dots\dots(102)$$

式中,  $D_1$  是锅壳筒体内径;  $D_0$  是炉胆外径。

12.3.4 校核计算时,立式无冲天管(且炉胆顶部无拉撑)的 S 型和 U 型下脚圈的最高允许工作压力按式(103)计算:

$$[p] = \frac{(\delta_{1c} - 1)^2 990 R_m}{D_1(D_1 - D_0) 372} \quad \dots\dots\dots(103)$$

12.3.5 立式无冲天管(或炉胆顶部无可靠拉撑)锅炉的 H 型下脚圈用于额定压力  $p \leq 1.0$  MPa 的锅炉,其下脚圈和支撑板的结构型式按(图 49)的要求。支撑板数量确定:在支撑板的外圈(在锅壳筒体内径处)弧线长度不大于 400 mm,且不少于 4 块;下脚圈底板和支撑板的厚度取不低于炉胆厚度,且不小于 8 mm,支撑板与相邻件的焊接应采用全焊透结构。

12.3.6 在 H 型下脚圈结构中,各相邻件焊接的 T 型接头不得位于温度  $t \geq 600$  °C 的场合。

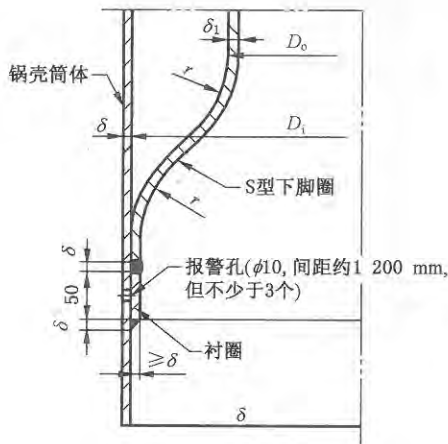


图 47 S 型下脚圈

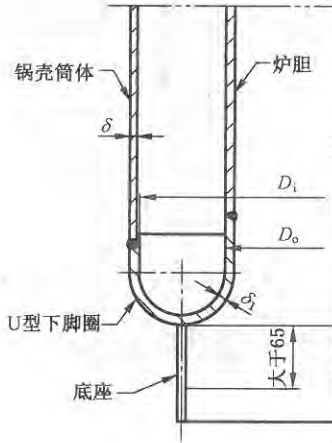


图 48 U 型下脚圈

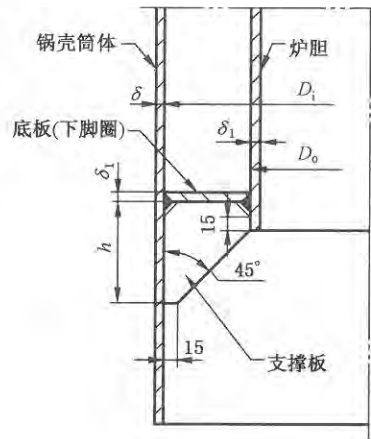


图 49 H 型下脚圈

### 13 孔和孔的补强

13.1 本章适用于受压元件上的开孔、开孔补强计算,以及补强结构要求。

#### 13.2 符号和单位

- A —— 锅壳筒体、集箱筒体、炉胆纵截面内的补强需要面积和平板的补强需要面积,  $\text{mm}^2$ ;
- $A_1$  —— 锅壳筒体、集箱筒体、炉胆纵截面内起补强作用的焊缝面积,  $\text{mm}^2$ ;
- $A_2$  —— 锅壳筒体、集箱筒体、炉胆纵截面内起补强作用的管接头、加强圈的多余面积,  $\text{mm}^2$ ;
- $A_3$  —— 锅壳筒体纵截面内起补强作用的补强垫板面积,  $\text{mm}^2$ ;
- $A_4$  —— 锅壳筒体、集箱筒体、炉胆自身在纵截面内起补强作用的多余面积,  $\text{mm}^2$ ;
- $A_F$  —— 加强件对封头补强时起补强作用的面积,  $\text{mm}^2$ ;
- $A_P$  —— 加强件对平板补强时起补强作用的面积,  $\text{mm}^2$ ;
- B —— 锅壳筒体、凸形封头、炉胆、平板的有效补强宽度,  $\text{mm}$ ;

- $D_i$  —— 锅筒筒体内径, mm;  
 $D_o$  —— 炉胆外径, mm;  
 $d$  —— 开孔直径, 插入式整体焊接管接头、插入式双面角焊管接头(或孔圈)的内径, 椭圆孔在筒体纵截面上的尺寸, mm;  
 $[d]_e$  —— 多孔补强计算时的最大允许当量直径, mm;  
 $d_o$  —— 焊接管接头、管子的外径, mm;  
 $e$  —— 加强管接头或加强圈的焊角尺寸, mm;  
 $h$  —— 加强圈高度, 或扳边孔的扳边高度, mm;  
 $h_1$  —— 加强管接头的有效补强高度、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;  
 $K$  —— 斜向孔桥的换算系数;  
 $K_1$  —— 系数;  
 $s$  —— 纵向(轴向)相邻两孔的节距, 或为火箱管板的内壁间距, mm;  
 $s'$  —— 横向(环向)相邻两孔的节距, mm;  
 $s''$  —— 斜向相邻两孔的节距, mm;  
 $\delta$  —— 锅壳筒体、集箱筒体、炉胆、平板的名义厚度, mm;  
 $\delta_c$  —— 理论计算壁厚, mm;  
 $\delta_e$  —— 锅壳筒体、集箱筒体、炉胆、平板的有效厚度, mm;  
 $\delta_0$  —— 强度未减弱的锅壳筒体或集箱筒体或炉胆按承受内压所需的理论计算厚度, mm;  
 $\delta_1$  —— 加强管接头或加强圈的名义厚度, mm;  
 $\delta_{1e}$  —— 加强管接头或加强圈的有效厚度, mm;  
 $\delta_{10}$  —— 加强管接头或加强圈按承受内压所需的理论计算厚度, mm;  
 $[\sigma]_1$  —— 管接头材料的许用应力, MPa;  
 $[\sigma]_2$  —— 加强垫板的许用应力, MPa;  
 $[\varphi]$  —— 允许最小减弱系数;  
 $\varphi_s$  —— 锅壳筒体实际减弱系数;  
 $\varphi_e$  —— 被补强的多孔在未作补强考虑时的纵向、2 倍横向或斜向当量减弱系数。

### 13.3 筒体上孔的补强

13.3.1 筒体上孔的补强适用于锅壳筒体和集箱筒体。在进行集箱筒体上孔的补强计算时, 应将式(104)、式(106)中的  $D_i$  以  $(D_o - 2\delta_c)$  代替。

13.3.2 本章规定仅适用于  $d/D_i < 0.8$  和  $d < 600$  mm 的孔。如为椭圆孔,  $d$  取长轴尺寸, 椭圆孔仅适用于长轴与短轴之比不大于 2 的开孔。

13.3.3  $\frac{d}{D_i} \geq 0.8$  的集箱开孔, 集箱厚度按三通计算。

13.3.4 确定锅壳筒体未补强孔的最大允许直径  $[d]$  时, 应按式(104)计算锅壳筒体的实际减弱系数  $\varphi_s$ 。

$$\varphi_s = \frac{pD_i}{(2[\sigma] - p)\delta_e} \dots\dots\dots (104)$$

13.3.5 对于实际减弱系数  $\varphi_s \leq 0.4$  的筒体, 需要补强的孔已得到自身补强, 无需另行补强。

13.3.6 对于实际减弱系数  $\varphi_s > 0.4$  的筒体, 未补强孔的直径  $d$  不应大于按图 50 确定的未补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。

13.3.7 对于实际减弱系数  $\varphi_s > 0.4$  筒体, 如开孔直径  $d$  大于按 13.3.6 确定的未补强孔最大允许直径  $[d]$  时, 应采取图 51 的结构予以补强。



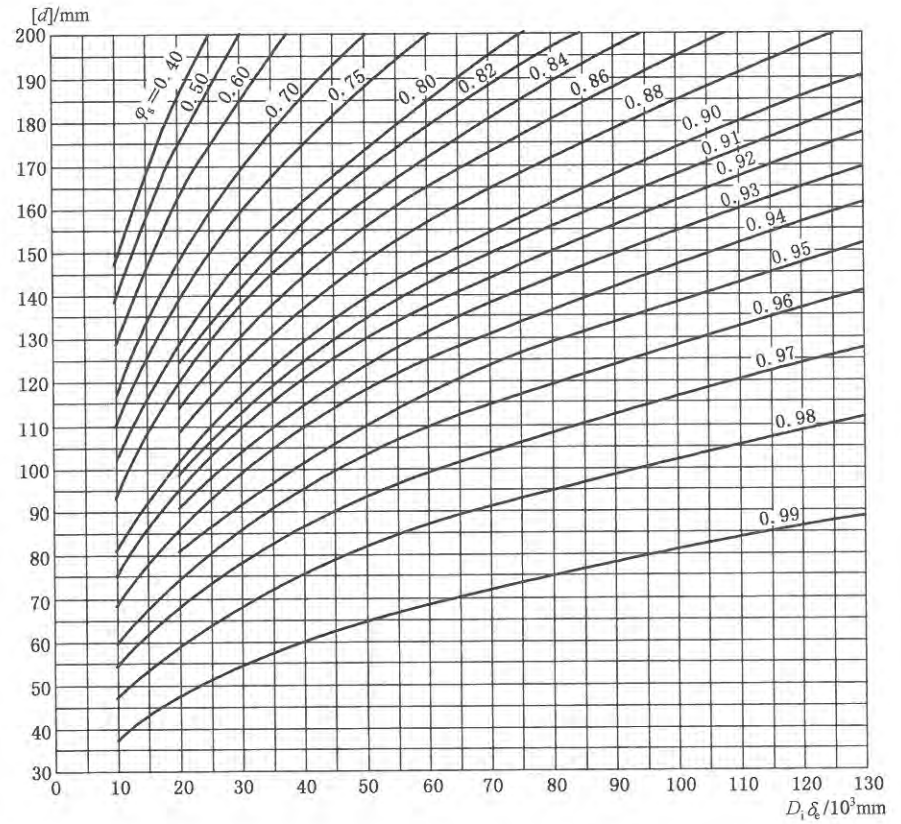
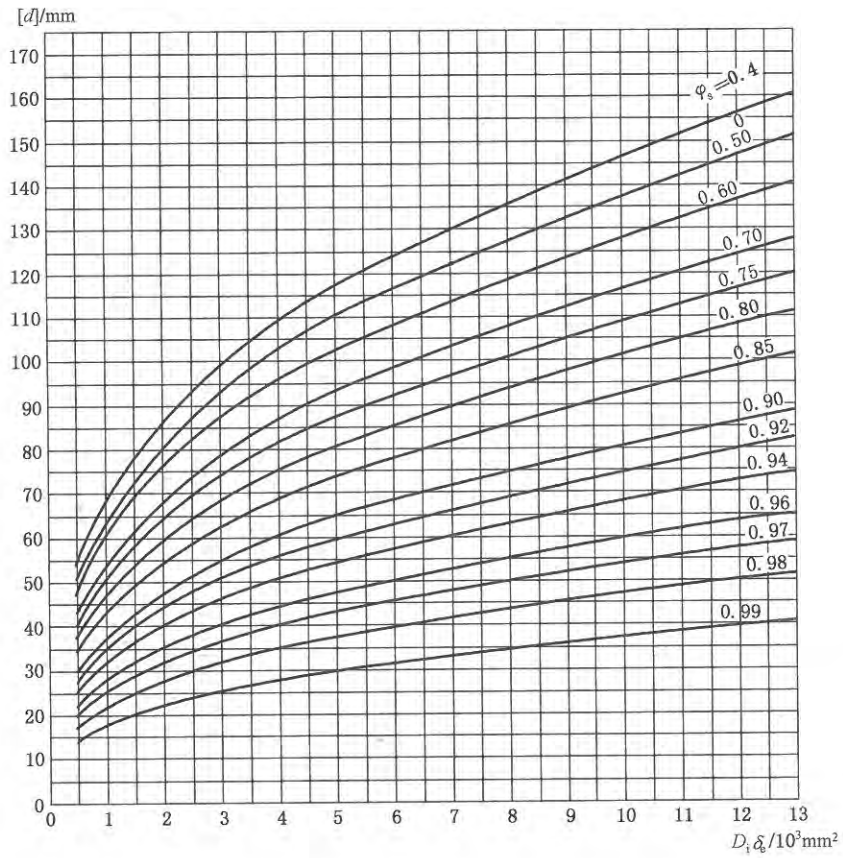


图 50 未被补强孔的最大允许直径



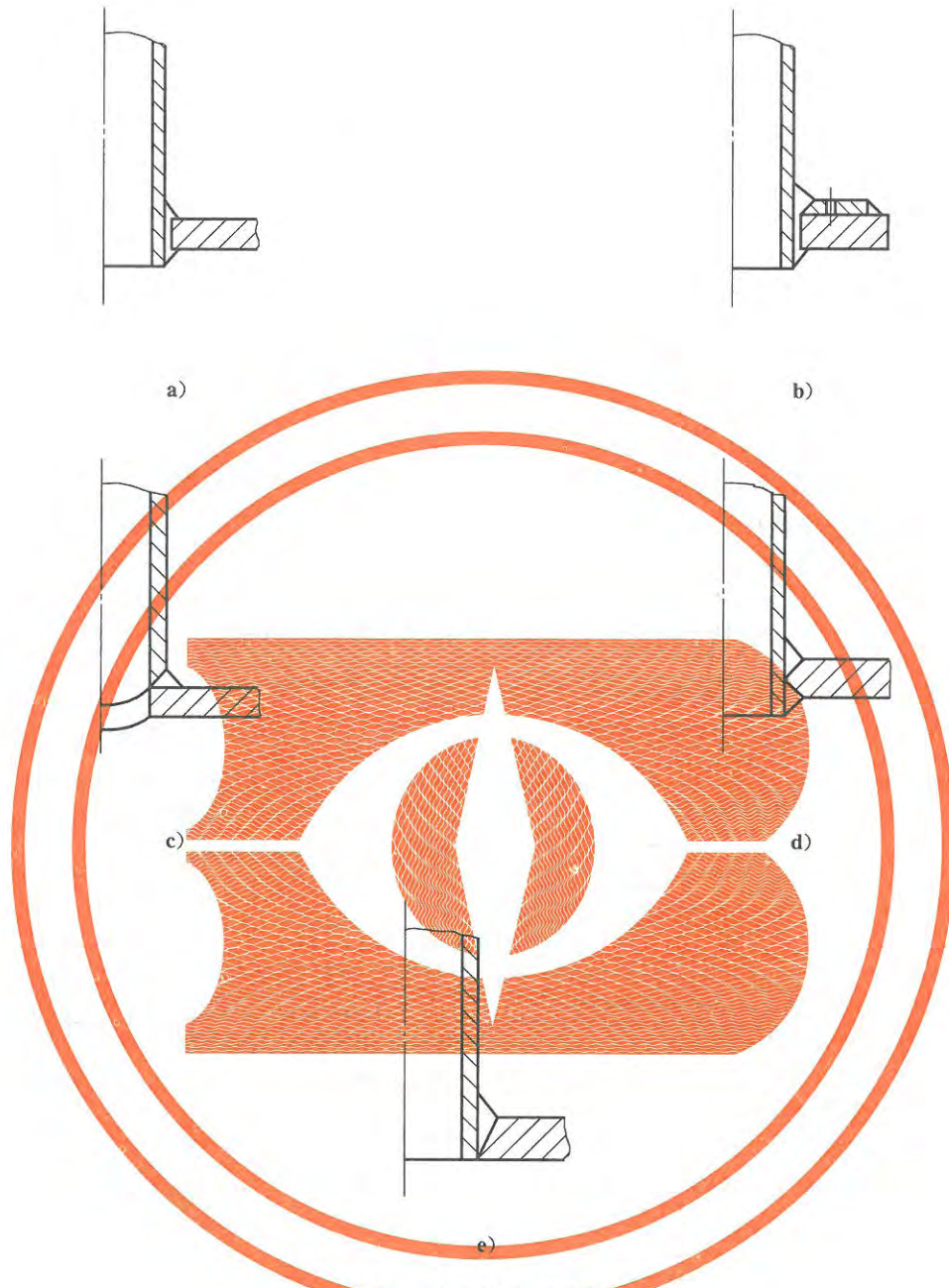


图 51 孔的补强结构型式

13.3.8 开孔补强的有效范围(表 18):有效补强高度  $h_1, h_2$  取  $2.5\delta_1$  和  $2.5\delta$  中的较小值;有效补强宽度  $B$  取  $2d$ 。

13.3.9 开孔补强应满足以下条件:

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \geq A \quad \dots\dots\dots(105)$$

且应使补强所需面积  $A$  的  $2/3$  分布在离孔  $1/4$  孔径范围内;如为加强管接头,则布置在离管接头内壁  $1/4$  内径的范围内。式(105)中各面积的计算方法如表 18 所示。表中  $\delta_0$  和  $\delta_{10}$  按式(106)、式(107)计算:

$$\delta_0 = \frac{pD_i}{2[\sigma] - p} \quad \dots\dots\dots(106)$$

$$\delta_{10} = \frac{p(d_0 - 2\delta_{1e})}{2[\sigma]_1 - p} \dots\dots\dots (107)$$

如为椭圆孔,  $d_0$  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, 则按被补强元件钢材的许用应力计算, 即表 18 中的  $[\sigma]_1$  或  $[\sigma]_2$  取等于  $[\sigma]$ 。如加强元件的许用应力小于被补强元件的许用应力, 则按表 18 中的公式计算。

13.4 炉胆上孔的补强

13.4.1 炉胆上孔的补强方法适用于炉胆上的  $d/D_0 \leq 0.6$  的孔。如为椭圆孔,  $d$  取长轴尺寸。

13.4.2 炉胆上孔的补强计算按 13.3 有关规定进行。

13.4.3 对炉胆上的孔进行补强计算时, 炉胆理论计算厚度按承受内压圆筒式(106)计算, 附加厚度按式取 2 mm。

13.4.4 炉胆上的加煤孔圈、出渣孔圈等的理论厚度, 按假设承受内压圆筒式(107)计算, 附加厚度按 6.7 有关规定计算, 如为椭圆孔圈,  $d$  取孔圈长轴的内尺寸。

13.4.5 不得用垫板对炉胆上的孔进行补强。

表 18 补强需要面积与起补强作用面积的确定

型式	双面角焊管接头补强	单面坡口焊管接头补强	垫板与管接头联合补强
补强结构			
补强需要面积	$A$		
	$\left[ d + 2\delta_{1e} \left( 1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right) \right] \delta_0$	$d\delta_0$	$\left[ d + 2\delta_{1e} \left( 1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right) \right] \delta_0$
起补强作用的面积	$A_1$	$2e^2$ (或 $e^2$ )	$e^2$
	$A_2$	$2h_1(\delta_{1e} - \delta_{10}) + 2h_2\delta_{1e} \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}$	$2h_1(\delta_{1e} - \delta_{10}) \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}$
	$A_3$	0	0
	$A_4$	$\left[ B - d - 2\delta_{1e} \left( 1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right) \right] (\delta_e - \delta_0)$	$(b - d)(\delta_e - \delta_0)$
注: 如为椭圆孔, 表中 $d$ 取筒体纵截面上的尺寸。			

13.5 凸形元件上孔的补强

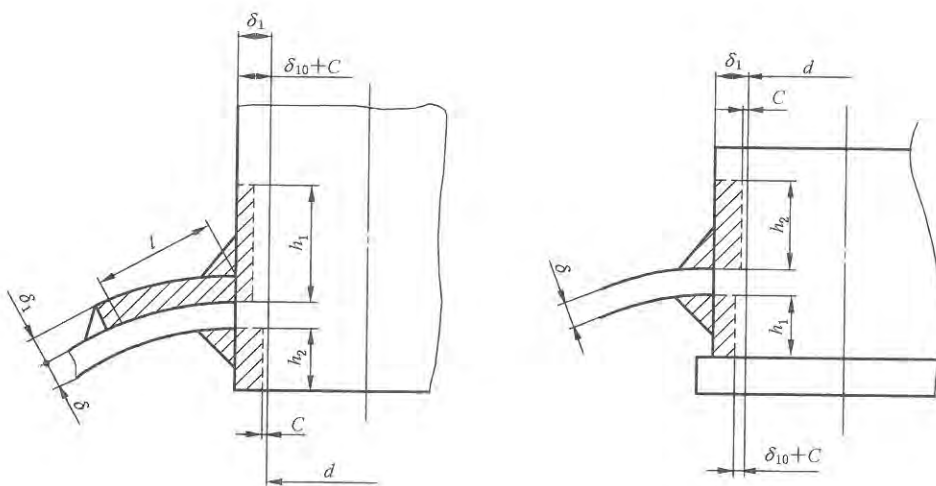
13.5.1 为减小凸形元件厚度,可采用孔边缘焊以加强圈或(和)加强板的办法进行补强。

13.5.2 能起补强作用的截面积  $A_F$ ,为图 52 中斜线部分的 2 倍。

图 52 中,补强有效范围( $h_1$ 、 $h_2$ 、 $B$ )按 13.3.8 确定; $\delta_{10}$ 按式(107)计算;如加强圈用钢板制成, $C$ 按 6.7.1 确定,如加强圈用管子制成, $C$ 按 6.7.2.2 确定;如为椭圆孔, $d$ 取孔的长轴尺寸。

13.5.3 经补强后,表 13 中的  $d$  用  $d - A_F/\delta_e$  代替。

如加强元件的许用应力与被补强元件的许用应力不同时,按 13.3.9 原则处理。



$$B = 2(l + \delta_1) + d$$

图 52 凸形元件上孔的补强计算示意图

13.6 平板上孔的补强

按式(78)、式(79)计算的包含人孔的平板无需再作补强计算。

13.6.1 如平板名义厚度满足式(108)、式(109)时,则孔无需补强。

对图 53 和图 55 的结构:

$$\delta \geq 1.5\delta_e \dots\dots\dots(108)$$

对图 54 的结构:

$$\delta \geq 1.25\delta_e \dots\dots\dots(109)$$

13.6.2 如未能满足 13.6.1 条件时,平板上的孔应予补强。

13.6.3 图 53、图 54、图 55 中孔的补强有效范围( $h_1$ 、 $B$ )按 13.3.8 确定。

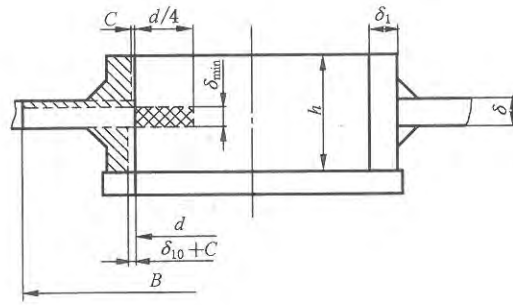
13.6.4 能起补强作用的截面积  $A_p$  及需要补强的面积  $A$  如图 53、图 54、图 55 所示。要求:

$$A_p \geq A \dots\dots\dots(110)$$

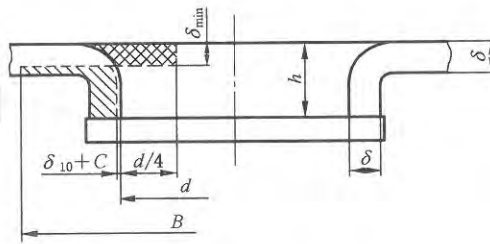
13.6.5 图 53 中,焊接圈或孔扳边的高度  $h$  应满足式(111)要求:

$$h \geq \sqrt{\delta d} \dots\dots\dots(111)$$

式中: $d$  为孔径或孔圈的内径。如为椭圆孔,则为短轴内尺寸。



a)

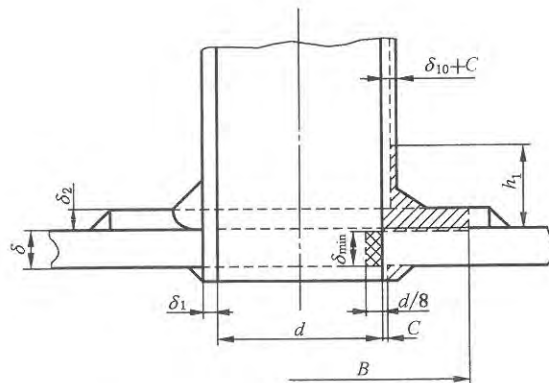


b)

需要加强的面积  $A$

起加强作用的面积  $A$

图 53 平板上孔的补强

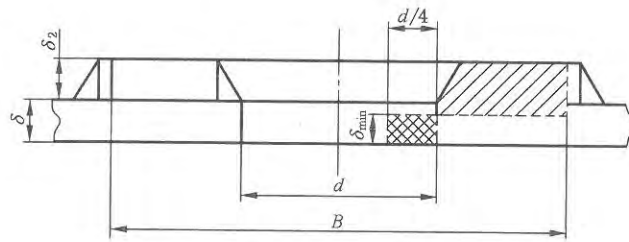


需要加强的面积  $A$

起加强作用的面积  $A$

图 54 平板上孔的垫板与管接头加强





需要加强的面积 A   
起加强作用的面积 A

图 55 平板上孔的垫板的加强

13.7 多个开孔的补强计算

13.7.1 本章计算适用于相邻两孔节距小于按式(23)确定的值的下列情况:

- a) 两孔直径均小于按 13.3.6 确定的未补强的最大允许直径;
- b) 两孔的直径均大于按 13.3.6 确定的未补强的最大允许直径,但两孔的节距不应小于其平均直径的 1.5 倍;
- c) 若  $\varphi < \frac{3}{4}[\varphi]$  时,两孔的节距不应小于其平均直径的 1.5 倍;
- d) 若两孔中有一孔的直径大于按 13.3.6 确定的未补强的最大允许直径,则按 13.3.7~13.3.9 的规定按单孔补强,补强后按无孔处理。

13.7.2 筒体上纵向、横向或斜向相邻孔可用管接头补强。此时,应采用坡口型焊接结构,如图 51(c)、(d)、(e)所示。

13.7.3 补强管接头按以下要求计算:

- a) 加厚管接头的高度应为厚度的 2.5 倍;
- b) 加厚管接头的焊脚尺寸应等于加厚管接头的厚度。

13.7.4 对筒体多孔进行补强计算时,允许的当量直径 $[d]_e$ 按式(112)~式(115)计算。

纵向孔桥:

$$[d]_e = (1 - [\varphi])s \quad \dots\dots\dots(112)$$

横向孔桥:

$$[d]_e = (1 - 0.5[\varphi])s' \quad \dots\dots\dots(113)$$

斜向孔桥:

$$[d]_e = (1 - [\varphi]/K)s'' \quad \dots\dots\dots(114)$$

式中:

$$[\varphi] = \frac{p(D_i + \delta_e)}{2[\sigma]\delta_e} \quad \dots\dots\dots(115)$$

13.7.5 用于补强孔桥的管接头(图 56)应符合式(116)、式(117)要求:

a) 对于相邻管接头结构、尺寸相同的孔桥:

$$A_1 + A_2 \geq \left( \frac{A}{\delta_0} - [d]_e \right) \delta_e \quad \dots\dots\dots(116)$$

式中  $A_1$ 、 $A_2$  按表 18 中的公式计算。

b) 对于相邻管接头结构、尺寸不同的孔桥:

$$A'_1 + A'_2 + A''_1 + A''_2 \geq \left( \frac{A' + A''}{\delta_0} - [d]_e \right) \delta_e \quad \dots\dots\dots(117)$$

式中  $A'$ 、 $A'_1$ 、 $A'_2$  和  $A''$ 、 $A''_1$ 、 $A''_2$  分别按表 18 中计算  $A$ 、 $A_1$ 、 $A_2$  的公式计算。

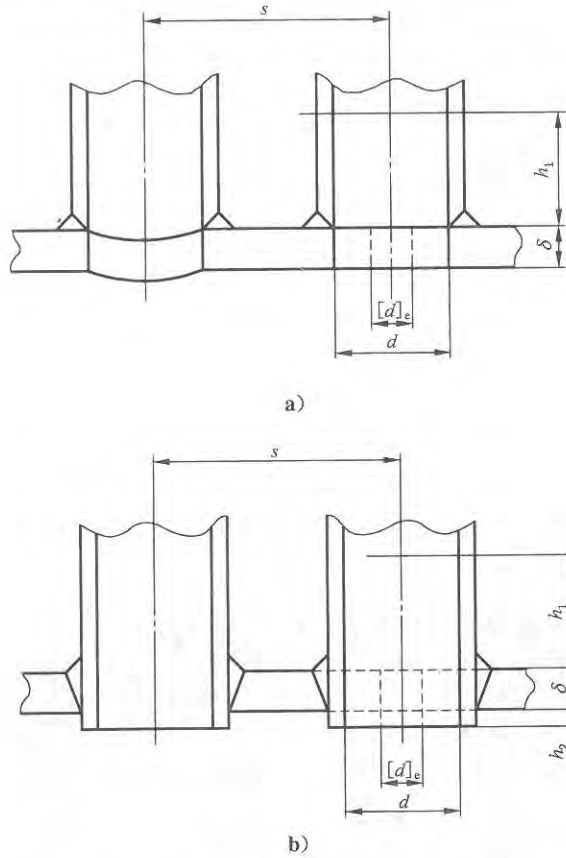


图 56 用管接头补强的孔桥

13.8 人孔、头孔、手孔

13.8.1 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 57)。

焊接圈、扳边的高度  $h$  应满足式(111)要求。

焊接人孔圈和头孔圈的厚度  $\delta_1$  应满足式(118)要求：

$$\delta_1 \geq \frac{7}{8} \delta \quad \dots\dots\dots (118)$$

且  $\delta_1$  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。

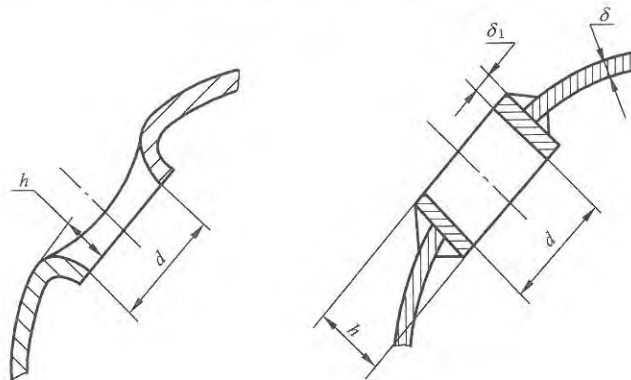


图 57 人孔、头孔、手孔的边缘结构

## 14 焊制三通

14.1 本章规定了焊制三通的设计计算和结构要求

## 14.2 符号和单位

$C$ ——厚度附加量, mm;

$C_1$ ——腐蚀裕量, mm;

$D_o$ ——三通主管和等径叉形管的外径, mm;

$D_m$ ——三通主管的平均直径, mm;

$d_m$ ——三通支管的平均内径, mm;

$d_o$ ——三通支管的外径, mm;

$d_i$ ——三通支管的内径, mm;

$X、Y$ ——系数;

$\beta$ ——按三通主管有效厚度算出的外径与内径的比值;

$\beta_c$ ——按三通主管理论计算厚度算出的外径与内径的比值;

$\delta$ ——焊制三通主管的名义厚度, mm;

$\delta_{\min}$ ——焊制三通及等径叉形管的成品最小厚度, mm;

$\delta_c$ ——焊制三通及等径叉形管的理论计算厚度, mm;

$\delta_s$ ——焊制三通及等径叉形管的设计计算厚度, mm;

$\delta_e$ ——焊制三通及等径叉形管的有效厚度, mm;

$\delta_1$ ——焊制三通支管的名义厚度, mm;

$\delta_{1c}$ ——焊制三通支管的理论计算厚度, mm;

$\delta_{1\min}$ ——焊制三通支管的成品的最小需要厚度, mm;

$\delta_{1s}$ ——焊制三通支管的设计计算厚度, mm;

$\delta_{1e}$ ——焊制三通支管的有效厚度, mm;

$[\sigma]$ ——许用应力, MPa;

$\varphi_Y$ ——三通减弱系数。

## 14.3 无缝钢管焊制三通

14.3.1 焊制三通的理论计算厚度按式(119)、式(120)计算;

对于主管:

$$\delta_c = \frac{pD_o}{2\varphi_Y[\sigma] + p} \dots\dots\dots(119)$$

对于支管:

$$\delta_{1c} = \delta_c \frac{d_o}{D_o} \dots\dots\dots(120)$$

焊制三通的成品最小需要厚度按式(121)、式(122)计算:

对于主管:

$$\delta_{\min} = \delta_c + C_1 \dots\dots\dots(121)$$

对于支管:

$$\delta_{1\min} = \delta_{1c} + C_1 \dots\dots\dots(122)$$

焊制三通的名义厚度应满足:

对于主管:

$$\delta \geq \delta_c + C \quad \dots\dots\dots(123)$$

对于支管:

$$\delta_1 \geq \delta_{1c} + C \quad \dots\dots\dots(124)$$

14.3.2 校核计算时,焊制三通的最高允许工作压力按式(125)计算:

$$[p] = \frac{2\varphi_y [\sigma] \delta_e}{D_o - \delta_e} \quad \dots\dots\dots(125)$$

有效厚度  $\delta_e$  按式(126)计算:

$$\delta_e = \delta - C \quad \dots\dots\dots(126)$$

$\delta_e$  也可取实际最小厚度减去腐蚀减薄值。

14.3.3 式(119)、式(120)及式(125)适用于  $D_o \leq 813$  mm、 $d_i/D_i \geq 0.8$  的范围。

14.3.4 焊制三通的计算压力  $p$  取相连元件的计算压力。

14.3.5 焊制三通的计算温度  $t_c$  按 5.6 确定。

14.3.6 用厚度补强的焊制三通,应采用图 51c)、d)、e)接管型式。减弱系数  $\varphi_y$  按表 19 确定,表 19 中

$$\beta = \frac{D_o}{D_o - 2\delta_e}; \beta_c = \frac{D_o}{D_o - 2\delta_{1c}}$$

表 19 焊制三通的减弱系数  $\varphi_y$

$t_c$	$\beta, \beta_c$	补强型式	$\varphi_y$
小于钢材持久强度对基本许用应力起控制作用的温度	$1.10 \leq \beta$ 且 $\beta_c \leq 1.50$	厚度	按式(127)计算
不小于钢材持久强度对基本许用应力起控制作用的温度	$1.25 \leq \beta$ 且 $\beta_c \leq 2.00$	厚度	按式(127)计算

注 1: 对  $1.05 \leq \beta < 1.10$  对于额定压力不大于 2.5 MPa 的锅炉无缝钢管焊制三通,当主管外径  $D_o \leq 426$  mm 时,可用厚度补强型式,减弱系数  $\varphi_y$  取式(127)计算值的 2/3。

注 2: 对  $1.05 \leq \beta < 1.10$  对于额定压力不大于 3.8 MPa 的锅炉无缝钢管焊制三通,当主管外径  $D_o \leq 273$  mm 时,可用厚度补强型式,减弱系数  $\varphi_y$  取式(127)计算值的 2/3。

14.3.7 三通减弱系数按公式(127)计算:

$$\varphi_y = \frac{1}{1.20 [1 + X \sqrt{1 + Y^2 / (2Y)}]} \quad \dots\dots\dots(127)$$

式中:  $X = d_i^2 / (D_m d_m)$ ;  $Y = 4.05(\delta_e^2 + \delta_{1e}^2) / (\delta_e^2 \sqrt{D_m \delta_e})$ 。

14.3.8 焊制三通的附加厚度  $C$  按 6.7 的规定计算。

14.3.9 不绝热的焊制三通,其最大允许厚度应符合 6.8 的规定。

14.3.10 在图 58 所示的 ABCD 三通区域内,应尽量避免开孔。若必须开孔,则应布置在弧长  $l$  范围内,且孔的直径不应大于  $D_o$  的 1/4,而且以 60 mm 为限。同时,接管焊缝的外边缘至三通焊缝的外边缘的距离  $L_2$  不应小于 20 mm。若为孔桥,则在采用式(119)、式(125)确定三通理论计算厚度和最高允许工作压力时,  $\varphi_y$  取由 14.3.6 确定的  $\varphi_y$  及参照 6.6 规定求得的最小孔桥减弱系数  $\varphi_{min}$  中的小者。



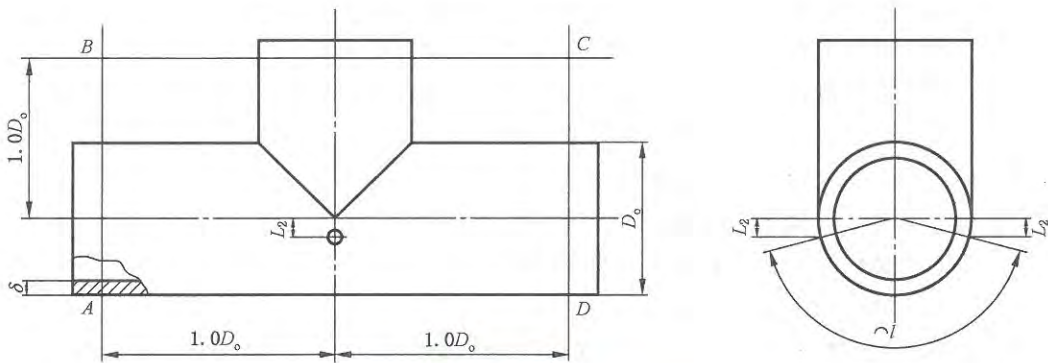


图 58 焊制三通区域

14.3.11 焊制三通的水压试验压力按有关锅炉制造技术条件取用,但不超过集箱筒体的水压试验压力。

14.4 等径叉形管

14.4.1 本节的等径叉形管计算方法只适用于  $D_o \leq 108 \text{ mm}$ ,  $1.05 \leq \beta_o \leq 2.00$  的等径叉形管。

14.4.2 等径叉形管(图 59)的成品最小需要厚度、最高允许工作压力和计算压力、计算温度、附加厚度、水压试验压力均按焊制三通的规定处理。

14.4.3 等径叉形管可用钢管弯制、锻造、铸造或用钢板压焊成型。减弱系数  $\varphi_Y$  可按以下规定取用：

当计算温度  $t_c$  小于钢材持久强度对基本许用应力起控制作用的温度时： $\varphi_Y = 0.70$ ；

当计算温度  $t_c$  不小于钢材持久强度对基本许用应力起控制作用的温度时： $\varphi_Y = 0.60$ 。

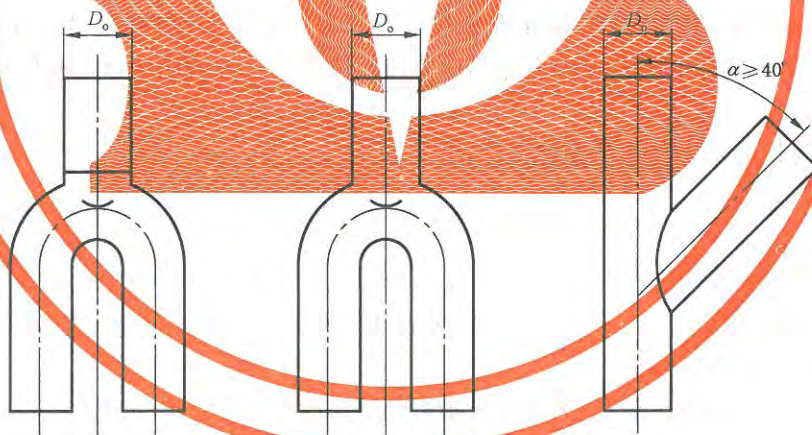


图 59 叉形管

15 决定元件最高允许工作压力的验证法

15.1 符号和单位

- $f$  —— 铸件的质量系数；
- $p_{ss}$  —— 试验温度时最薄弱部位达到屈服时的压力,MPa；
- $p_{bs}$  —— 试验温度时的爆破压力,MPa；
- $p_{ysi}$  —— 试验温度时的验证压力( $i = 1, 2, 3, 4$ ),MPa；
- $p_{ysmin}$  —— 试验温度时的最小验证压力,MPa；

- $R_p$  ——回转壳体结构不连续部位的平均曲率半径, mm;  
 $R_{pp}$  ——回转壳体上相邻两高应力区的平均曲率半径的平均值, mm;  
 $\Delta$  ——应变测量的相对误差;  
 $\delta'_{pmin}$  ——相邻两高应力区的最小厚度的平均值, mm;  
 $\delta'_{min}$  ——结构不连续处的最小厚度, mm;  
 $\delta_{ys}$  ——经受验证试验的元件最薄弱处的厚度, mm;  
 $\delta_{yz}$  ——实用元件对应于试验元件处的实际厚度, mm;  
 $\epsilon$  ——应变变量, %;  
 $\sigma_{bl}$  ——试验元件材料在 20 °C 时的实际抗拉强度, MPa;  
 $\sigma_{dmax}$  ——高应力区域中最大当量应力, MPa;  
 $\sigma'_{dmax}$  ——低应力区域中最大当量应力, MPa;  
 $[\sigma]_s$  ——试验温度时的基本许用应力, MPa;  
 $\sigma_{pdmax}$  ——高应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大值, MPa;  
 $\sigma'_{pdmax}$  ——低应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大值, MPa;  
 $\sigma_{sls}$  ——试验元件材料在试验温度时的实际屈服点或规定非比例伸长应力, MPa;  
 $\varphi_w$  ——焊接接头系数。

## 15.2 一般要求

15.2.1 本章提供了用于决定元件最高允许工作压力的验证试验和有限元计算方法, 这些方法包括应力验证法、屈服验证法、爆破验证法、低周疲劳试验法、应力分析验证法。

15.2.2 本章提供的方法可用于不能按本部分前述各章规定进行计算的受压元件。

15.2.3 采用本章提供的方法确定最高允许工作压力的锅炉受压元件, 所使用的材料应符合第 5 章的有关规定。同时, 元件的所有转角处应有适当的圆角。圆角半径不应小于以下两值中的较小值:

- a) 10 mm;
- b) 圆角相连接的较厚部分厚度的 1/4。

## 15.3 应力验证法

本方法按下列规定程序进行(当量应力按最大剪应力强度理论计算):

- a) 在元件可能出现高应力区域的内外壁对应部位粘贴应变片, 在元件其他部位的内外壁对应部位也应适当粘贴应变片。
- b) 按一定压力分级升压和降压, 并记录每级压力值及其相应的每个测点的应变值。试验最高压力以内外壁都不出现屈服为准。反复几次升压和降压, 直至测量数据重现性满意为止。
- c) 根据验证试验获得的应力值及其分布, 按如下规定将应力区分为一次应力、二次应力和一次局部薄膜应力:
  - 1) 一次应力——试验元件上没有受到结构不连续影响的区域中的应力;
  - 2) 一次局部薄膜应力——当元件上内、外壁平均应力的当量应力值不小于  $1.1[\sigma]$  的范围, 在回转壳体经线方向上的尺寸不大于  $\sqrt{R_p \delta'_{min}}$ , 并且相邻两个这样区域的边缘间距不小于  $2.5 \sqrt{R_{pp} \delta'_{pmin}}$ , 则此应力属于一次局部薄膜应力;
  - 3) 二次应力——试验元件上结构不连续部位为满足变形协调条件在其邻近区域引起的局部弯曲应力。

为方便起见, 将只有一次应力的区域称为低应力区; 将有一次局部薄膜应力或二次应力的区域称为高应力区。

- d) 作出低应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大点的  $\sigma'_{pdmax}-p$  关系直线,从该线上定出相应于  $[\sigma]$  的压力  $p_{ys1}$  (图 60)。
- e) 作出低应力区域中当量应力最大点的  $\sigma'_{dmax}-p$  关系直线,从该线上定出相应于  $1.5[\sigma]$  的压力  $p_{ys2}$  (图 61)。
- f) 作出高应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大点的  $\sigma_{pdmax}-p$  关系直线,从该线上定出相应于  $1.5[\sigma]$  的压力  $p_{ys3}$  (图 62)。
- g) 作出高应力区域中当量应力最大点的  $\sigma_{dmax}-p$  关系直线,从该线上定出相应于  $3[\sigma]$  的压力  $p_{ys4}$  (图 63)。

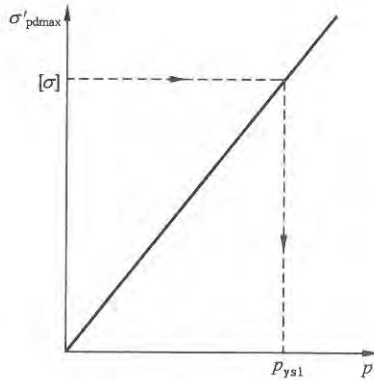


图 60 低应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大点的  $\sigma'_{pdmax}-p$  直线

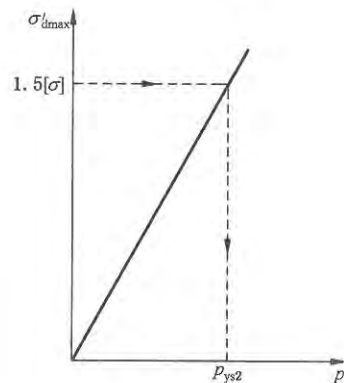


图 61 低应力区域中当量应力最大点的  $\sigma'_{pdmax}-p$  直线

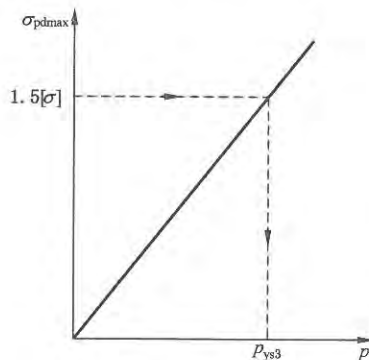


图 62 高应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大点的  $\sigma_{pdmax}-p$  直线

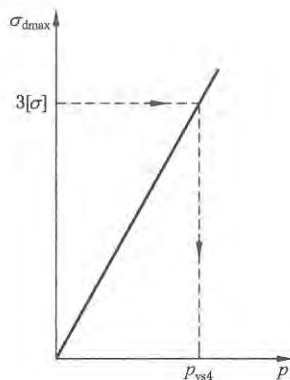


图 63 高应力区域中当量应力最大点的  $\sigma_{dmax}-p$  直线

- h) 取  $p_{ys1}$ 、 $p_{ys2}$ 、 $p_{ys3}$ 、 $p_{ys4}$  中的最小值为  $p_{ysmin}$ 。
- i) 对应变测量的相对误差作出估计。如相对误差为  $\Delta$ ，则按式(128)确定元件的最高允许工作压力：

$$[p] = \frac{p_{ysmin}}{1 + \Delta} \dots\dots\dots (128)$$

按式(128)确定的最高允许工作压力  $[p]$  用于未经试验验证的相同元件时，应按实际情况考虑温度和厚度差异，进行修正。

15.4 屈服验证法

本方法只适用于工作温度小于该钢材持久强度对基本许用应力起控制作用的温度的元件，并且元件材料应满足以下条件：

$$\frac{\text{试验温度时最小保证屈服点}}{\text{试验温度时最小保证抗拉强度}} \leq 0.6$$

进行屈服验证的元件在试验前应是没有形变硬化和内应力的，也未受过液压试验，否则，元件应在消除应力热处理后进行此项验证试验。

元件的最高允许工作压力按式(129)确定：

$$[p] = 0.75 \frac{p_{ss} [\sigma]_j \varphi_w}{\sigma_{sls}} \dots\dots\dots (129)$$

式中， $[\sigma]_j$  应取元件材料在工作温度下的基本许用应力。

对于投入运行后内外壁能作定期严格检查的元件，必要时最高允许工作压力可放大至  $1.25[p]$ 。

按式(129)确定的最高允许工作压力用于未经试验验证的相同元件时，应按实际情况考虑厚度差异进行修正。

元件的屈服压力  $p_{ss}$  可用应变测量法确定：

在可能发生高应力部位的外壁粘贴应变片，然后缓慢分级升压，记录每级压力值及相应的每个测点的应变值，作出应变值最大点的  $p-\epsilon$  曲线，取相应残余应变量为 0.2% 的压力为  $p_{ss}$  (图 64)。



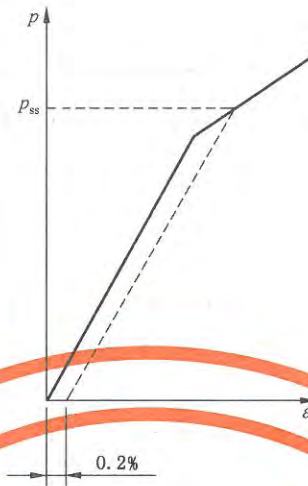


图 64 根据应变最大点的  $p-\varepsilon$  曲线确定  $p_{ss}$  的方法

15.5 爆破验证法

元件的最高允许工作压力按式(130)确定:

$$[p] = \frac{p_{ss} \delta_{yz} [\sigma] \sigma_b}{4.0 \delta_{ys} [\sigma]_{\sigma_{el}} \varphi_w f} \quad (130)$$

对于铸钢元件,  $f$  取为 0.7, 对于其他元件, 均取  $f=1.0$ 。

15.6 低周疲劳试验法

试验方法参照 GB/T 9252—2001。

15.7 应力分析验证法

15.7.1 设计单位的职责如下:

- a) 设计单位应对分析设计的条件的准确性和完整性予以确认;
- b) 设计单位应对设计文件的条件的准确性和完整性负责;
- c) 设计文件至少应包括应力分析报告书、设计简图、计算简化模型图;
- d) 采用分析设计技术的部件总图应有应用本部分的设计单位批准标识。

15.7.2 应力分析计算应符合下列规定:

- a) 所采用的有限元计算分析程序应具有完整的程序说明文件、用户手册、标准考题。计算结果应与已有的解析解、数值解或实验结果相比较, 以证明计算程序的可靠性。也可应用国际通用的结构分析计算程序;
- b) 应力按虚拟线弹性或弹性理论计算, 当量应力按最大剪应力理论整理;
- c) 应力分类和确定最高允许工作压力的方法按 15.3 的原则进行。

附 录 A  
(资料性附录)  
铸铁锅炉受压元件设计计算

A.1 公式计算法

A.1.1 铸铁锅炉受压元件——铸铁锅片,根据几何形状与受力状态,按第 6 章~第 13 章给出的基本公式进行计算。对于矩形截面,按 A.1.2 计算。铸铁锅片的许用应力按 A.1.3 确定,附加厚度按 A.1.4 确定。

A.1.2 图 A.1 所示截面形状可简化成矩形结构进行计算。

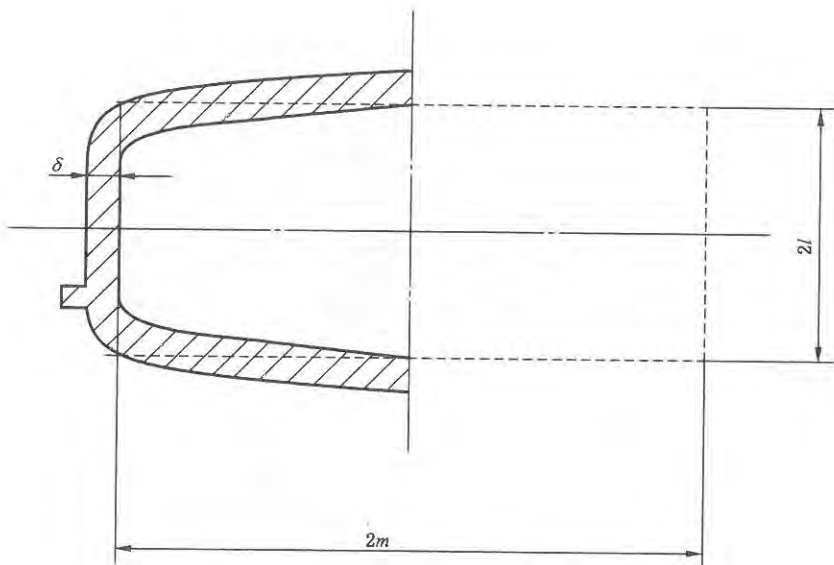


图 A.1

A.1.2.1 矩形结构的设计厚度按式(A.1)、式(A.2)计算。

$$\delta_s = K d_e \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中 K 取 0.65。

$$\delta \geq \delta_s \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

A.1.2.2 校核算时,矩形结构的最高允许工作压力按式(A.3)计算。

$$[p] = \left( \frac{\delta - 1}{K d_e} \right)^2 [\sigma] \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

A.1.3 许用应力按 GB/T 16508.2 选取。

A.1.4 附加厚度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。

A.1.5 如计算法确定的最高允许工作压力高于水压试验法 A.2 确定的相应值,可取此较高值。

## A.2 水压试验法

A.2.1 水压试验法按下式确定最高允许工作压力：

$$[p] = \frac{p_{bs}}{5} \frac{R_m}{R_{m1}} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中， $p_{bs}$  爆破压力； $R_{m1}$  为常温试验抗拉强度。

A.2.2 如水压试验法确定的最高允许工作压力高于公式计算法 A.1 确定的相应值，可取此较高值。

附录 B  
(资料性附录)  
矩形集箱设计计算

### B.1 矩形集箱

本章计算方法适用于压力不大于 2.5 MPa 的矩形集箱。

#### B.1.1 结构要求

B.1.1.1 矩形集箱的结构应符合相关锅炉规范的要求,采用全焊透的对接焊接,如图 B.1。

B.1.1.2 矩形集箱的焊缝不允许布置在集箱角上,如图 B.2、图 B.3 所示。

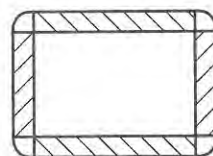
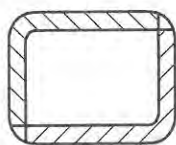
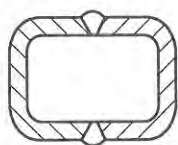


图 B.1 有纵向焊缝的集箱    图 B.2 有角焊缝的集箱    图 B.3 用四块平板角焊成的集箱

B.1.1.3 集箱内圆角半径  $r$  (图 B.4) 应满足以下要求:

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

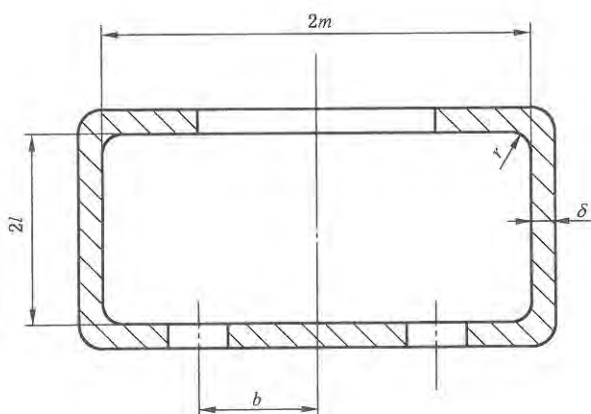


图 B.4 集箱内圆角半径

B.1.1.4 矩形截面的集箱或管子在各个侧面应具有相同的厚度。在一个面和/或其对称面上开孔后,其相距  $90^\circ$  的面上不得开孔,开孔应在一条直线上或两条相平行的直线上开圆形孔。椭圆形开孔只能位于一条直线上。开孔直线应与纵轴相平行,且要求  $b \leq m/2$ 。见图 B.5、图 B.6。



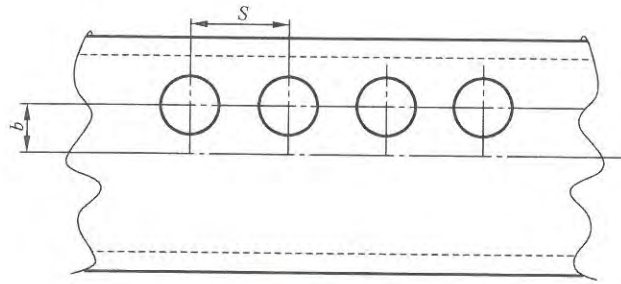


图 B.5 矩形集箱开孔

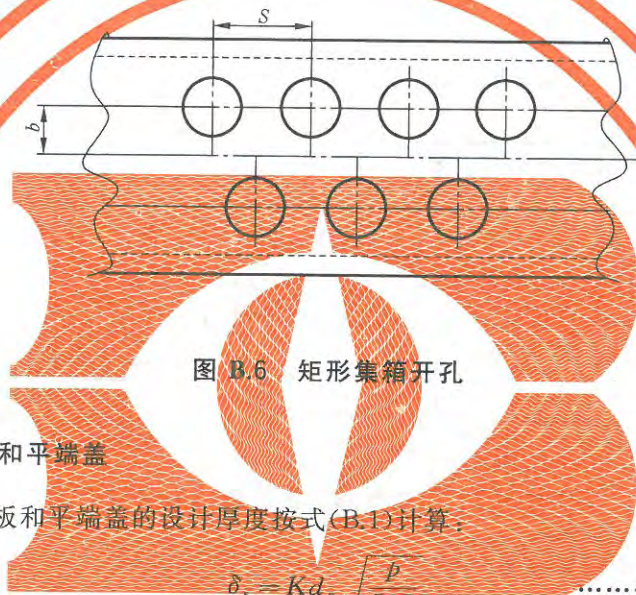


图 B.6 矩形集箱开孔

**B.1.2 矩形集箱的筒板和平端盖**

B.1.2.1 矩形集箱的筒板和平端盖的设计厚度按式(B.1)计算:

$$\delta_s = K d_e \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

B.1.2.2 矩形集箱的筒板和平端盖名义厚度应满足:

$$\delta \geq \delta_s \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

B.1.2.3 校核计算时,矩形集箱的筒板和平端盖的最高允许工作压力按式(B.3)计算:

$$[p] = \left( \frac{\delta - 1}{K d_e} \right)^2 [\sigma] \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

B.1.2.4 矩形集箱的筒板和平端盖的计算压力  $p$  按 5.7 确定。

B.1.2.5 矩形集箱的筒板和平端盖的计算温度  $t_c$  按 5.6 确定。

B.1.2.6 系数  $K$  按表 B.1 选取。系数  $K$  取两支撑点相应值的算术平均值再增加 10%。

表 B.1 系数  $K$

元件名称	系数 $K$		
	$l/m$		
矩形集箱的筒板 ( $\eta=1.25$ )	1.0	0.75	0.5
矩形集箱的平端盖 ( $\eta=0.75$ )	0.65	0.65	0.65
矩形集箱的平端盖 ( $\eta=0.75$ )	0.5	0.6	0.65

B.1.2.7 矩形集箱的筒板当量圆直径  $d_e$  为两支撑点画圆(支撑点为矩形长边的弯边起点),如图 B.7。

矩形集箱的平端盖当量圆直径  $d_e$  为两支撑点画圆(矩形短边弯边起点)或四支撑点画圆(正方形弯边起点),如图 B.8。

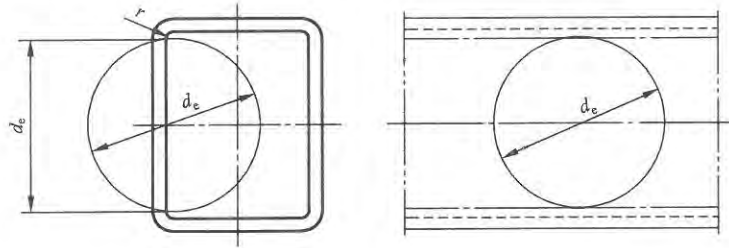


图 B.7 矩形集箱的筒板当量圆直径

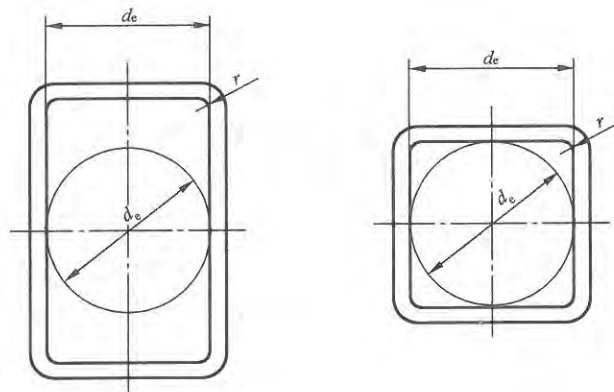


图 B.8 矩形集箱平端盖当量圆直径

B.1.2.8 支撑点和支点线的确定按第 9 章。

B.2 矩形截面环形集箱

B.2.1 结构要求

B.2.1.1 贯流式矩形截面环形集箱的结构应符合相关锅炉规范的要求,采用全焊透的对接焊接。

B.2.1.2 贯流式锅炉的矩形截面环形集箱上下集箱盖板与集箱筒体的连接允许采用 T 形接头,应符合 6.9.5 的规定:

B.2.2 矩形截面环形集箱上下集箱盖板

B.2.2.1 矩形截面环形集箱上下集箱盖板的设计厚度按式(B.4)计算:

$$\delta_s = K d_e \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} + 1 \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

B.2.2.2 上下集箱盖板名义厚度应满足:

$$\delta \geq \delta_s$$

B.2.2.3 校核计算时,上下集箱盖板的最高允许工作压力按式(B.5)计算:

$$[p] = \left( \frac{\delta - 1}{K d_e} \right)^2 [\sigma] \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

B.2.2.4 上下集箱盖板的计算压力  $p$  按 5.7 确定。

B.2.2.5 上下集箱盖板的计算温度  $t_c$  按 5.6 确定。

B.2.2.6 系数  $K$  按第 9 章表 14 选取。如支撑点型式不同,则系数  $K$  取两支撑点相应值的算术平均值再增加 10%。

B.2.2.7 当量圆直径  $d_e$  为两支撑点画圆,如图 B.9。

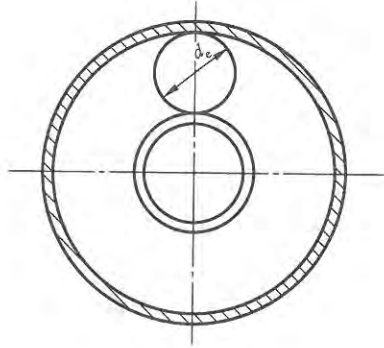


图 B.9

B.2.2.8 支撑点和支点线的确定按第 9 章。

B.2.2.9 如上下集箱盖板是扳边的,则扳边内半径不应小于两倍板厚,且至少应为 38 mm。

### B.2.3 矩形截面环形集箱内、外筒体

B.2.3.1 矩形截面环形集箱内筒体按第 7 章相关要求计算。

B.2.3.2 矩形截面环形集箱外筒体按第 6 章相关要求计算。

附 录 C  
(资料性附录)  
水管管板设计计算

### C.1 水管管板

本章计算方法适用于压力不大于 2.5 MPa 的水管管板。

#### C.1.1 有拉撑的水管管板

C.1.1.1 对于立式直水管锅炉和贯流式锅炉的水管管板,当水管与管板全部采用焊接连接时,在单根水管稳定性校核满足要求时,这些水管(最外圈水管除外)中心均可视为支撑点。

#### C.1.1.2 环形水管管板

C.1.1.2.1 当环形水管管板上仅有单圈焊接水管,这些水管中心均不能作为支撑点。

C.1.1.2.2 当环形水管管板上有两圈焊接水管时,以最外圈支点线画圆时,应以内圈水管中心作为支撑点;以最内圈支点线画圆时,应以外圈水管中心作为支撑点。在确定可作为支撑的水管数量  $n$  时,应取内、外圈管子数量较少的作为  $n$ 。

C.1.1.2.3 当环形水管管板上有三圈及以上焊接水管时,最内圈和最外圈水管中心均不能作为支撑点。

#### C.1.1.3 单根水管稳定性校核

单根水管的失稳临界力:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu L)^2} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中: $\mu$  为考虑失稳变形的系数,一般水管与管板焊接时可作为两端固支取 0.5;

$$J = \pi(d_o^4 - d_i^4)/64$$

单根水管的平均轴向载荷:

$$N = \frac{p\pi(D_o^2 - D_i^2 - nd_i^2)}{4n} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

安全裕度:  $S_m = P_{cr}/N$ ;

当安全裕度  $S_m \geq 4$  时,可认为水管束稳定条件满足。

#### C.1.2 有拉撑的水管管板的计算

C.1.2.1 水管管板计算之前,应按 C.1.1.3 进行单根水管稳定性校核。

C.1.2.2 当水管束稳定条件满足时,水管束区以外的管板部分,可按 9.3 给出的管板计算方法进行计算,对于可作为支撑点焊接水管,  $K$  取 0.60。当水管群边缘某些水管中心与最近支点线、最近支点的距离大于 250 mm 时,这些水管的焊接应满足图 40 的要求;两组管束间的宽水区距离大于 250 mm 时,宽水区两侧水管每间隔一根的焊接应满足图 40 的要求。

C.1.2.3 当水管束稳定条件满足时,水管束区以内的管板部分,可按 9.3 给出的管板计算方法进行计算,对于可作为支撑点焊接水管,  $K$  取 0.47。