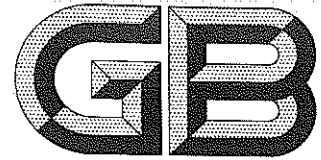


ICS 27.060.30
J 98



中华人民共和国国家标准

GB/T 9222—2008
代替 GB/T 9222—1988

水管锅炉受压元件强度计算

Strength calculation of pressure parts for watertube boilers

2008-01-31 发布

2008-07-01 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	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总则	2
5 材料、许用应力和计算壁温	8
6 锅筒筒体	17
7 圆筒形集箱筒体	20
8 管子和锅炉范围内的管道	24
9 凸形封头	28
10 平端盖及盖板	33
11 孔的补强	40
12 异形元件	50
13 决定元件最高允许计算压力的验证法	55
附录 A(规范性附录) 锅筒低周疲劳寿命计算	62
附录 B(资料性附录) 国外材料在不同计算壁温下的基本许用应力 $[\sigma]$	64
附录 C(资料性附录) 开孔减弱断面的抗弯断面系数 W 的近似算法	

前 言

本标准代替 GB/T 9222—1988《水管锅炉受压元件强度计算》。本标准与 GB/T 9222—1988 相比主要变化如下：

- 增加前言。
- 增加范围。
- 增加规范性引用文件。
- 增加术语和定义。
- 增加总则。
- 增加、调整部分国内锅炉常用材料的基本许用应力(1988 版 1.3.1 表 1;本版 5.3.1 表 1、表 2)。
- 增加部分国外锅炉常用材料的基本许用应力(本版附录 B)。
- 修改锅筒筒体、封头基本许用应力修正系数的范围和取值(1988 版表 2 注 2;本版表 3 注)。
- 修改计算壁温的选取途径(1988 版 1.4.2;本版 5.4.2)。
- 修改锅筒筒体厚度定义(1988 版 2.2.1;本版 6.2.1)。
- 扩大锅筒筒体理论计算厚度、允许最小减弱系数、最高允许计算压力计算公式中 β_1 的适用范围(1988 版 2.2.4;本版的 6.2.4)。
- 修改锅炉出口设计附加压力的取值方法(1988 版 2.3.1;本版 6.3)。
- 增加焊接未熔合的阶梯管孔当量直径的计算方法(本版 6.4.9)。
- 修改锅筒筒体附加厚度计算公式(1988 版 2.5.1;本版 6.5.1)。
- 修改锅筒筒体工艺减薄和厚度下偏差负值附加厚度选取原则(1988 版 2.5.3;本版 6.5.3、6.5.4)。
- 修改部分高压锅筒筒体同一断面最大内径与最小内径之差值的控制值(1988 版 2.10.1;本版 6.10.1)。
- 修改锅筒筒体上开胀接管孔、集中下降管管孔和其他焊接管孔位置的规定(1988 版 2.10.2、2.10.3;本版 6.10.2、6.10.3)。
- 修改额定压力大于 2.5 MPa 的锅筒筒体管接头最小取用厚度计算公式,取消对额定压力不大于 2.5 MPa 的锅筒筒体管接头的最小取用厚度限制(1988 版 2.10.4;本版 6.10.4)。
- 修改集箱筒体厚度定义(1988 版 3.2.1;本版 7.2.1)。
- 修改集箱筒体附加厚度计算公式(1988 版 3.5.1、3.5.5;本版 7.5.1、7.6.1)。
- 修改集箱筒体工艺减薄量和厚度下偏差负值附加厚度计算公式(1988 版 3.5.3、3.5.4;本版 7.5.3、7.6.3)。
- 修改不绝热集箱和防焦箱筒体的最大允许厚度(1988 版 3.6.2 表 12;本版 7.7.2 表 12)。
- 修改圆弧集箱的断面最大允许圆度划分方法及圆度值(1988 版 3.9.1 表 13;本版 7.10.1 表 13)。
- 修改管子(管道)厚度定义和厚度计算公式(1988 版 4.2.1;本版 8.2.1)。
- 修改管子(管道)的设计计算附加厚度计算公式(1988 版 4.5.1、4.5.3、4.5.4、4.5.5;本版 8.5.1、8.5.3、8.5.4)。
- 修改管子(管道)校核计算有效厚度计算公式;增加管子(管道)校核计算附加厚度定义(1988 版 4.2.2、4.5.6;本版 8.2.2、8.6)。
- 修改凸形封头厚度定义(1988 版 5.2.1;本版 9.2.1)。

- 修改凸形封头结构需要满足的条件(1988版 5.2.3;本版 9.2.3)。
- 修改凸形封头计算公式的适用条件(1988版 5.2.3;本版 9.2.3)。
- 修改凸形封头附加厚度计算公式;增加凸形封头校核计算附加厚度定义;修改封头的冲压工艺减薄值,明确凸形封头冲压工艺减薄值的取值方法(1988版 5.2.8;本版 9.2.8)。
- 修改凸形封头取用厚度需要满足的条件(1988版 5.2.9;本版 9.2.9)。
- 修改凸形封头最小厚度控制规定(1988版 5.2.10;本版 9.2.10)。
- 删除“新制造的封头不得采用扁球形的”规定(1988版 5.2.13)。
- 增加凸形封头人孔密封面切口部分径向最小剩余厚度应满足的要求(本版 9.3)。
- 修改平端盖厚度定义(1988版 6.2.1;本版 10.2.1)。
- 删除原标准表 18 中的序号 5 结构型式,增加一个全焊透结构型式;修改原标准表 18 中序号 6 结构型式适用的额定压力和尺寸规定(1988版 6.2.3;本版 10.2.3)。
- 修改盖板厚度定义和计算公式(1988版 6.3.1;本版 10.3.1)。
- 增加盖板结构型式及结构特性系数 K ;修改计算尺寸的取值方法(1988版 6.3.4;本版 10.3.4)。
- 增加确定盖板水压试验最高允许压力值的方法(本版 10.3.8)。
- 增加可视为补强结构的结构形式(1988版 7.3;本版 11.3)。
- 修改孔的补强计算中 δ_0 、 δ_{i0} 的定义和计算公式(1988版 7.4.4;本版 11.4.4)。
- 增加孔桥补强的适用范围和条件(1988版 7.5.3;本版 11.5.4)。
- 修改焊制三通厚度定义和计算公式(1988版 8.2.1;本版 12.2.1)。
- 调整焊制三通主管和支管理论计算厚度、最高允许计算压力的计算公式适用范围(1988版 8.2.3;本版 12.2.3)。
- 修正部分焊制三通减弱系数 φ_y (1988版 8.2.6;本版 12.2.6)。
- 取消原标准 8.2.11。
- 修改焊制三通开孔规定和确定减弱系数原则(1988版 8.2.12;本版 12.2.11)。
- 修改焊制三通水压试验压力取用原则(1988版 8.2.13;本版 12.2.12)。
- 修改锻造三通开孔规定和确定减弱系数原则(1988版 8.3.5;本版 12.3.5)。
- 增加热挤压三通计算方法(本版 12.4)。
- 增加等径叉形管计算适用范围(本版 12.5.1)。
- 增加有限元应力分析计算确定元件最高允许计算压力的方法(本版 13.6)。
- 取消原标准附录 A、附录 C。
- 原标准附录 B 改为附录 C,原标准附录 D 改为附录 A。

本标准的附录 A 为规范性附录,附录 B、附录 C 为资料性附录。

本标准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。

本标准由全国锅炉压力容器标准化技术委员会锅炉分技术委员会(SC 1)组织修订。

本标准负责起草单位:上海发电设备成套设计研究院。

参加本标准起草单位和起草人员(按章条排序):

上海发电设备成套设计研究院	李立人、张瑞、张庆江、吴祥鹏、盛建国、陈玮、杨文鹄;
武汉锅炉股份有限公司	肖惠芳、陶生智、崔金现;
东方锅炉(集团)股份有限公司	林洪书、张宇音、沈其炎、李厚毅、翟尧忠;
哈尔滨锅炉厂有限责任公司	梁剑平、曹雷生;
无锡华光锅炉股份有限公司	姚梅初;
上海锅炉厂有限公司	冯景源、徐沁、吴如松、蒋胜龙、史英铨;
发电设备国家工程研究中心	赵伟民;
上海工业锅炉研究所	余德祖、田耀鑫;

国电热工研究院	梁昌乾、刘树涛;
杭州锅炉集团有限公司	金平;
四川锅炉厂	李林;
上海四方锅炉厂	管雪芳;
济南锅炉集团有限公司	张强军。

参加本标准起草的特邀专家顾问有:李之光、刘福仁、黄乃祉、陈济榕、肖忠华、吴如松。

本标准所代替的历次版本发布情况为:

- DZ 173—1962《水管锅炉受压元件强度计算暂行规定》;
- JB 2194—1977《水管锅炉受压元件强度计算》;
- GB/T 9222—1988《水管锅炉受压元件强度计算》。

水管锅炉受压元件强度计算

1 范围

本标准规定了水管锅炉受压元件的强度计算方法、结构和材料要求及材料许用应力；提供了决定元件最高允许计算压力的验证方法。

本标准适用于额定压力不低于0.10 MPa¹⁾的固定式水管蒸汽锅炉和固定式水管热水锅炉的受压元件，包括锅筒筒体、集箱筒体、管子、锅炉范围内的管道、凸形封头、平端盖及盖板和异形元件。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 713 锅炉用钢板(GB 713—1997, neq ISO 5832-4:1996)

GB 3087 低中压锅炉用无缝钢管(GB 3087—1999, neq ISO 9329-1:1989)

GB/T 3274 碳素结构钢和低合金结构钢 热轧厚钢板和钢带

GB 5310 高压锅炉用无缝钢管

GB/T 8163 输送流体用无缝钢管(GB/T 8163—1999, neq ISO 559:1991)

JB/T 6734 锅炉角焊缝强度计算方法

蒸汽锅炉安全技术监察规程(原劳动部 1996 年颁布)

热水锅炉安全技术监察规程(原劳动部 1997 年颁布)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

工作压力 operating pressure

在正常工作情况下，受压元件所承受的最高压力。

3.2

额定压力 rated pressure

锅炉铭牌压力或蒸汽锅炉在规定的给水压力和负荷范围内长期连续运行时应予保证的出口蒸汽压力。

3.3

计算压力 design pressure

用以确定受压元件厚度的压力。

3.4

水压试验压力 hydrostatic test pressure

在工艺性水压试验时，受压元件所承受的压力。

1) 除特别注明外，本标准中压力均指表压。

3.5

计算壁温 design temperature

用以确定钢材基本许用应力的受压元件金属壁温。

3.6

腐蚀附加厚度 corrosion allowance thickness

受压元件设计使用期内考虑腐蚀减薄需要附加的厚度。

3.7

厚度负偏差 minus tolerance of thickness

钢材出厂时允许厚度负偏差的下限值的绝对值。

3.8

工艺厚度减薄值 processing thinning of thickness

受压元件在制造过程中产生的厚度减薄值。

3.9

理论计算厚度 theory thickness

理论计算公式确定的受压元件需要厚度。

3.10

成品最小需要厚度 minimum required thickness for production

理论计算厚度与腐蚀附加厚度之和。

3.11

设计计算厚度 design calculated thickness

成品最小需要厚度加上厚度负偏差和工艺厚度减薄值后的厚度。

3.12

取用厚度 nominal thickness

简称“厚度”，系设计计算厚度向上圆整至某一材料标准规格后选用的厚度，即图样标注厚度。

3.13

有效厚度 effective thickness

取用厚度减去腐蚀附加厚度、工艺厚度减薄值和厚度负偏差三者之和的厚度。

3.14

元件尺寸 component size

除特别指定外，均表示图样标注尺寸。

4 总则

按本标准计算的锅炉受压元件，其设计、制造、安装、使用、修理及改造，应符合《蒸汽锅炉安全技术监察规程》、《热水锅炉安全技术监察规程》及有关锅炉制造技术条件及标准。

对于调峰负荷机组等参数波动较大的锅炉，还应进行疲劳强度校核（锅筒疲劳强度校核按附录 A 计算）。

5 材料、许用应力和计算壁温

5.1 符号

本章所用符号的含义和单位如下：

σ_b ——材料在 20℃ 时的抗拉强度，MPa；

σ_s ——材料在 20℃ 时的屈服点或规定非比例伸长应力 ($\sigma_{0.2}$)，MPa；

σ'_s ——材料在计算壁温下的屈服点或规定非比例伸长应力 ($\sigma'_{0.2}$)，MPa；

σ'_D ——材料在计算壁温下的 10⁵ h 持久强度，MPa；

δ_s ——材料在 20℃ 时试样标距为 5 倍直径时的伸长率，%；

$[\sigma]$ ——许用应力，MPa；

$[\sigma]_D$ ——基本许用应力，MPa；

n_b ——对应于抗拉强度的安全系数；

n_s ——对应于屈服点或规定非比例伸长应力的安全系数；

n_D ——对应于 10⁵ h 持久强度的安全系数；

η ——基本许用应力的修正系数；

t_{bi} ——计算壁温，℃；

t_j ——介质额定平均温度，℃；

t_h ——对应于计算压力下的介质饱和温度（热水锅炉为出口出水温度），℃；

X ——介质混合程度系数；

Δt ——温度偏差，℃；

β ——锅筒筒体、集箱筒体及管子的外径与内径的比值；

δ ——取用厚度，mm；

λ ——钢材导热系数，kW/(m·℃)；

q_{max} ——最大热流密度，kW/m²；

α_2 ——内壁对介质的放热系数，kW/(m²·℃)；

J ——均流系数。

5.2 材料

5.2.1 水管锅炉受压元件的材料应符合 GB 713、GB 3087、GB/T 3274、GB 5310、GB/T 8163 和锅炉行业有关材料采购规范的规定。使用本标准中表 1、表 2 未列入的材料应符合《蒸汽锅炉安全技术监察规程》或《热水锅炉安全技术监察规程》的有关规定。

5.2.2 用于制造锅炉受压元件的板材应具有良好的塑性，其伸长率 δ_s 应不小于 18%。

5.3 许用应力

5.3.1 许用应力按式 (1) 计算：

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

基本许用应力按下列公式计算并取其中最小值：

$$[\sigma]_D \leq \frac{\sigma_b}{n_b} \dots\dots\dots (2)$$

$$[\sigma]_D \leq \frac{\sigma'_s}{n_s} \dots\dots\dots (3)$$

$$[\sigma]_D \leq \frac{\sigma'_D}{n_D} \dots\dots\dots (4)$$

计算时， σ_b 和 σ'_s 取钢材（板材和管材）最低保证值或大量试验结果的统计下限值； σ'_D 取钢材大量试验结果的 10⁵ h 持久强度的平均值。

安全系数的取值：

$$\left. \begin{aligned} n_b &= 2.7 \\ n_s &= 1.5 \\ n_D &= 1.5 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

国内常用锅炉钢材的基本许用应力 $[\sigma]_D$ 应取表 1 和表 2 给出的值。

5.3.2 对于表 1、表 2 未列入的材料,如符合 5.2 中的有关规定,其基本许用应力 $[\sigma]$ 应按式(2)~式(4)计算,并取最小值。计算时, σ_b 、 σ_s 及 σ_0 应取相应钢号的最低保证值;只有在没有保证值时,才可用钢材抽样试验,并将试验所得 σ_b 和 σ_s 的最小值及 10^5h 的 σ_0 的平均值乘以 0.90 作为计算取值。抽样和试验应按有关标准进行。

5.3.3 锅炉低碳钢、低碳锰钢及低碳锰钒钢使用温度在 350℃以下,其他低合金热强钢使用温度在 400℃以下,其基本许用应力一般只需按式(2)和式(3)计算,不必考虑式(4)。

5.3.4 采用附录 B 中列举的国外锅炉钢材,如符合 5.2 中的有关规定,其基本许用应力可按表 B.1 选取。

5.3.5 基本许用应力表中相邻计算壁温数值之间的 $[\sigma]$,可用算术内插法确定,但需舍弃小数点后的数字。

表 1 常用锅炉钢管在不同计算壁温下的基本许用应力 $[\sigma]$, 单位为兆帕

钢号与标准号	10 GB 3087, GB/T 8163		20 GB 3087, GB/T 8163		20G GB 5310	20MnG GB 5310	25MnG GB 5310	15MoG GB 5310	20MoG GB 5310	15CrMoG GB 5310	12Cr2MoG GB 5310	12Cr1MoVG GB 5310	12Cr2MoWVTiB GB 5310	12Cr3MoVSiTiB GB 5310	10Cr9Mo1VNb GB 5310	1Cr18Ni9 GB 5310	1Cr19Ni11Nb GB 5310
	σ_s	σ_b	σ_s	σ_b	σ_s	σ_b	σ_s	σ_b	σ_s	σ_b	σ_s	σ_b	σ_s	σ_b	σ_s	σ_b	σ_s
σ_s	195	225	215	240	275	270	220	225	280	255	345	440	415	205	205		
σ_b	335	410	400	415	485	450	440	450	470	540	610	585	520	520			
计算壁温 $t_{壁}/\text{℃}$	20	124	145	148	153	180	167	147	150	167	163	200	226	217	137	137	
	250	104	125	125	132	151	116	125	148	124	156	168	196	198	113	131	
	260	101	123	123	131	150	115	124	147	124	155	168	196	198	111	130	
	270	98	120	120	130	148	114	123	146	124	154	168	196	198	110	129	
	280	96	118	118	128	147	113	123	145	124	153	168	196	198	109	128	
	290	93	115	115	127	145	112	122	144	124	152	168	196	198	108	126	
	300	91	113	113	125	144	111	121	143	124	151	168	196	198	107	125	
	310	89	111	111	124	142	110	121	141	124	149	168	196	198	106	124	
	320	87	109	109	123	140	109	120	140	124	148	168	195	197	105	123	
	330	85	106	106	121	138	108	119	138	124	146	168	195	197	105	122	
	340	83	102	102	120	137	107	118	136	124	144	167	194	196	104	122	
	350	80	100	100	115	135	106	118	135	124	143	167	194	195	103	121	
	360	78	97	97	112	130	106	117	132	124	141	167	193	194	102	120	
	370	76	95	95	108	127	105	116	132	124	140	166	192	193	101	119	
	380	75	92	92	102	118	105	115	131	123	138	166	192	192	100	119	
	390	73	89	89	95	110	104	114	129	123	137	165	191	190	100	118	
	400	70	87	87	89	101	104	113	128	123	135	165	190	188	99	118	
	410	68	83	83	84	94	103	112	127	123	133	164	189	186	98	117	
	420	66	78	78	78	87	102	110	126	122	132	163	188	184	98	117	

表 1(续)

单位为兆帕

钢号与标准号	10 GB 3087, GB/T 8163	20 GB 3087, GB/T 8163	20G GB 5310	20MnG GB 5310	25MnG GB 5310	15MoG GB 5310	20MoG GB 5310	15CrMoG GB 5310	12Cr2MoG GB 5310	12Cr1MoVG GB 5310	12Cr2MoWVTiB GB 5310	12Cr3MoVSiTiB GB 5310	10Cr9Mo1VNb GB 5310	1Cr18Ni9 GB 5310	1Cr19Ni11Nb GB 5310	
	σ_s	σ_b	σ_s	σ_b	σ_s	σ_b	σ_s	σ_b	σ_s	σ_b	σ_s	σ_b	σ_s	σ_b	σ_s	
σ_s	195	225	215	240	275	270	220	225	280	255	345	440	415	205	205	
σ_b	335	410	400	415	485	450	415	440	450	470	540	610	585	520	520	
计算壁温 $t_{壁}/\text{℃}$	430	61	75	75	73	81	102	109	125	122	131	162	187	182	97	117
	440	55	66	66	68	74	101	108	124	121	130	161	186	180	96	116
	450	49	57	57	62	67	100	107	123	116	128	160	185	177	95	116
	460	45	50	50	56	61	99	104	122	110	126	159	184	174	94	116
	470	40	43	43	49	54	99	100	120	103	125	158	182	171	94	115
	480	37	38	38	42	48	94	95	119	95	124	156	181	168	93	115
	490						83	84	112	88	121	155	179	165	93	115
	500						68	70	96	81	118	153	177	161	92	115
	510						55	57	82	74	110	148	145	156	91	114
	520						43	48	69	68	98	124	120	138	91	114
	530								59	61	86	106	100	124	90	113
	540								49	54	77	90	86	111	89	113
	550								41	48	71	84	79	105(102)	88	112
	560								33	42	65	79	72	100(94)	88	112
	570									37	57	74	66	92(85)	83	109
	580									32	50	69	59	83(77)	76	104
	590										64	53	74(69)	70	99	
	600										56	47	66(62)	64	91	
	610													57(55)	59	82
620													49	54	73	
630													42	50	67	
640													36	46	60	
650													30	42	54	
660														38	49	
670														35	44	
680														32	39	

注 1: 括号内的数据为厚度大于 75mm 钢管的许用应力值。

注 2: 粗线下方的数据系按持久强度 σ_0 计算,与此数据相对应的温度表示该钢种持久强度对基本许用应力起控制作用的温度。

注 3: 铸钢件的基本许用应力取表 1 中相应数值的 0.70 倍。

注 4: 锻钢件基本许用应力的取值: 当用型钢锻造时,可取表中相应钢号的数值;当用钢锭锻造时,可取表中相应钢号数值的 0.90 倍。

表 2 常用锅炉钢板在不同计算壁温下的基本许用应力 $[\sigma]$, 单位为兆帕

钢号与标准号	Q235 GB 3274	20g GB 713			16Mng GB 713			19Mng GB 713			22Mng GB 713	13MnNiMoNb GB 713			
	钢板厚度/mm	≤60	>60 ≤100	≤36	>36 ≤60	>60 ≤100	>100 ≤150	≤60	>60 ≤100	>100 ≤150		≤50	>50 ≤100	>100 ≤125	>125 ≤150
σ_s	235	225	205	305	285	265	245	335	315	295	275	400	390	380	375
σ_b	375	400	390	470	470	440	440	510	490	480	515	570	570	570	570
计算壁温 $t_{bi}/^\circ\text{C}$	20	137	148	144	174	174	163	163	189	181	178	183	211	211	211
	250	113	125	103	147	140	133	120	163	153	143	148	211	211	211
	260	111	123	102	144	137	131	118	161	151	141	148	211	211	211
	270	108	120	101	144	137	131	118	161	151	141	148	211	211	211
	280	105	118	99	139	132	125	114	155	145	135	148	211	211	211
	290	103	115	98	136	129	123	112	153	143	133	148	211	211	209
	300	101	113	96	133	127	120	110	150	140	130	148	211	211	208
	310	111	96	132	125	119	109	109	147	137	127	148	211	211	207
	320	109	95	131	124	117	107	107	145	135	125	147	211	211	206
	330	107	94	129	123	116	106	106	142	132	122	145	211	211	205
	340	105	93	128	121	115	105	105	139	129	119	144	211	209	204
	350	103	92	127	120	113	103	103	137	127	117	141	211	208	203
	360	99	91	125	119	112	102	102	133	123	113	138	211	205	199
	370	97	90	124	117	111	101	101	129	120	111	135	210	201	196
	380	92	88	122	116	109	99	99	125	117	109	127	204	197	193
390	89	88	120	115	108	98	98	121	113	106	117	199	194	190	
400	87	85	117	113	107	97	97	117	110	103	107	193	190	187	
410	83	81	115	111	105	95	95	113	106	99	103	187	184	181	
420	78	78	113	109	103	93	93	111	104	97	101	181	178	175	
430	75	75	111	107	101	91	91	109	102	95	99	175	172	169	
440	66	66	109	105	99	89	89	107	100	93	97	169	166	163	
450	57	57	107	103	97	87	87	105	98	91	95	163	160	157	

注 1: 粗线下方的数据系按持久强度 σ_b 计算, 与此数据相对应的温度表示该钢种持久强度对基本许用应力起控制作用的温度。
注 2: 锻钢件基本许用应力的取值: 当用型钢锻造时, 可取表中相应钢号的数值; 当用钢锭锻造时, 可取表中相应钢号数值的 0.90 倍。

5.3.6 修正系数 η 根据元件结构特点和工作条件, 按表 3 选取。

5.4 计算壁温

5.4.1 计算壁温取受压元件内外壁温算术平均值中的最大值。

确定计算壁温时, 锅炉出口过热蒸汽温度在允许范围内的波动不予考虑。
若受压元件的计算壁温低于 250℃ 时, 取 250℃。

5.4.2 受压元件的计算壁温可按表 4~表 6 选取, 或按 5.4.3 中的公式计算。

表 3 基本许用应力修正系数 η

元件型式	工作条件	η
锅筒和集箱筒体	不受热(在烟道外或绝热)	1.00
	受热(烟温不大于 600℃)或透过管束的辐射热流不大, 而且筒体壁面不受烟气的强烈冲刷的锅筒	0.95
	受热(烟温大于 600℃)	0.90
管子(包括管接头)和锅炉范围内的管道		1.00
凸形封头		1.00
平端盖		见表 17
盖板		1.00
异形元件	不受热(在烟道外或绝热)	1.00
	受热(烟温不大于 600℃)	0.95
	受热(烟温大于 600℃)	0.90

注: 对于额定压力不小于 16.7MPa 的锅筒和封头, η 值取 0.95。

表 4 锅筒计算壁温 t_{bi}

单位为摄氏度

工作条件	计算公式
不受热 在烟道外	$t_{bi} = t_f$
绝热 在烟道内 在炉膛内	$t_{bi} = t_f + 10$
	$t_{bi} = t_f + 40$
透过管束的辐射热流不大, 而且筒体壁面不受烟气的强烈冲刷	$t_{bi} = t_f + 20$
不绝热 在烟温小于 600℃ 的对流烟道内 在烟温为 600℃~900℃ 的对流烟道内 在烟温为 900℃ 以上的对流烟道内或炉膛内	$t_{bi} = t_f + 30$
	$t_{bi} = t_f + 50$
	$t_{bi} = t_f + 90$

注 1: 对于受热的锅筒, 本表给出的计算公式系指水空间受热情况。
注 2: 当介质为饱和温度时, $t_f = t_b$ 。

表 5 集箱和防焦箱计算壁温 t_{bi}

单位为摄氏度

内部介质	工作条件	计算公式
水或汽水混合物	在烟道外(不受热)	$t_{bi} = t_f$
	在烟道内, 采取绝热措施, 防止受辐射和燃烧产物的直接作用	$t_{bi} = t_f + 10$
	在烟温小于 600℃ 的对流烟道内, 不绝热	$t_{bi} = t_f + 30$
	在烟温为 600℃~900℃ 的对流烟道内, 不绝热 在炉膛内, 不绝热	$t_{bi} = t_f + 110$
饱和蒸汽	在烟道外(不受热)	$t_{bi} = t_b$
	在烟道内, 采取绝热措施, 防止受辐射和燃烧产物的直接作用	$t_{bi} = t_b + 25$
饱和蒸汽	在烟温小于 600℃ 的对流烟道内, 不绝热	$t_{bi} = t_b + 40$
	在烟温为 600℃~900℃ 的对流烟道内, 不绝热	$t_{bi} = t_b + 60$

表 5(续) 单位为摄氏度

内部介质	工作条件	计算公式
过热蒸汽	在烟道外(不受热)	$t_{bi} = t_j + X\Delta t$
	在烟道内,采取绝热措施,防止受辐射和燃烧产物的直接作用	$t_{bi} = t_j + 25 + X\Delta t$
	在烟温小于 600℃ 的对流烟道内,不绝热	$t_{bi} = t_j + 40 + X\Delta t$
	在烟温为 600℃~900℃ 的对流烟道内,不绝热	$t_{bi} = t_j + 60 + X\Delta t$

注:对于受热的汽水混合物集箱和防焦箱筒体,本表给出的计算公式系指不出现自由水面的情况。

5.4.3 通过计算公式确定计算壁温:

锅筒:

$$t_{bi} = t_b + \frac{\beta q_{max}}{\alpha_2} + \frac{q_{max}}{1000} \frac{\delta}{\lambda} \frac{\beta}{\beta+1} \dots\dots\dots (6)$$

集箱:

$$t_{bi} = t_j + \frac{\beta q_{max}}{\alpha_2} + \frac{q_{max}}{1000} \frac{\delta}{\lambda} \frac{\beta}{\beta+1} + X\Delta t \dots\dots\dots (7)$$

管子:

$$t_{bi} = t_j + J \left(\frac{\beta q_{max}}{\alpha_2} + \frac{q_{max}}{1000} \frac{\delta}{\lambda} \frac{\beta}{\beta+1} \right) + \Delta t \dots\dots\dots (8)$$

表 6 管子和管道的计算壁温 t_{bi} 单位为摄氏度

元件	条件	计算公式	
沸腾管	锅炉额定压力不大于 13.7 MPa 及 q_{max} 不大于 407 kW/m ²	$t_{bi} = t_b + 60$	
	其他情况	式(8)	
省煤器	对流式省煤器	$t_{bi} = t_j + 30$	
	辐射式省煤器	$t_{bi} = t_j + 60$	
过热器	所有情况	式(8)	
	无热力计算资料	对流式过热器	$t_{bi} = t_j + 50$
		辐射式或半辐射式(屏式)过热器	$t_{bi} = t_j + 100$
管道	在烟道外(不受热)	$t_{bi} = t_j$	

5.4.4 表 4~表 6 及式(6)~式(8)中的 t_j 、 t_b 、 q_{max} 、 X 、 Δt 及 J 应取锅炉热力计算及水动力计算所确定的数值,其中:

- 温度偏差 Δt ,在任何情况下不应小于 10℃;
- 介质混合程度系数 X ,对于集箱,一般可取 0.50;当介质从集箱端部进入时,允许取为 0;对于不受热的过热蒸汽集箱,即使完全混合,也应取 $X\Delta t = 10^\circ\text{C}$;
- 导热系数 λ 按有关手册选取。

6 锅筒筒体

6.1 符号

本章所用符号的含义和单位如下:

- δ_L ——锅筒筒体理论计算厚度,mm;
- δ_{min} ——锅筒筒体成品最小需要厚度,mm;

- δ_s ——锅筒筒体设计计算厚度,mm;
- δ ——锅筒筒体取用厚度,mm;
- δ_y ——锅筒筒体有效厚度,mm;
- δ_1 ——管接头取用厚度,mm;
- C ——考虑腐蚀减薄、工艺减薄和钢板厚度负偏差的附加厚度,mm;
- C_1 ——考虑腐蚀减薄等的附加厚度,mm;
- C_2 ——考虑钢板工艺减薄的附加厚度,mm;
- C_3 ——考虑钢板厚度负偏差的附加厚度,mm;
- D_n ——锅筒筒体内径,mm;
- d_w ——管接头外径,mm;
- β_L ——按锅筒筒体理论计算厚度算出的外径与内径的比值;
- β ——按锅筒筒体有效厚度算出的外径与内径的比值;
- p ——计算压力,MPa;
- $[p]$ ——校核计算最高允许计算压力,MPa;
- p_g ——工作压力,MPa;
- p_c ——锅炉额定压力,MPa;
- Δp_n ——设计附加压力,MPa;
- Δp_z ——介质流动阻力附加压力,MPa;
- Δp_{sz} ——计算元件所受液柱静压力,MPa;
- p_{sw} ——水压试验压力,MPa;
- $[p_{sw}]$ ——水压试验最高允许压力,MPa;
- $[\sigma]$ ——锅筒筒体材料的许用应力,MPa;
- $[\sigma]_1$ ——管接头材料的许用应力,MPa;
- σ_s ——材料在 20℃ 时的屈服点或规定非比例伸长应力($\sigma_{0.2}$),MPa;
- 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_d ——斜向孔桥当量减弱系数;
- φ_h ——焊缝减弱系数;
- φ_{min} ——最小减弱系数;
- $[\varphi]$ ——允许最小减弱系数;
- φ_1 ——校核部位的减弱系数;
- φ_{sw} ——水压试验时的最小减弱系数;
- K ——斜向孔桥的换算系数;
- 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,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;
- d ——开孔直径,椭圆孔在相应节距方向上的尺寸,插入式整体焊接管接头的内径,额定压力不大于 2.5 MPa 的不受热锅筒上的插入式双面角接管接头(或孔圈)的内径,mm;
- 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;
- b ——计算斜向孔桥减弱系数时的两孔间在筒体轴线方向上的距离,mm;
- 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;

- α ——孔的轴线偏离筒体径向的角度, (°);
- d_a ——孔的当量直径, mm;
- d_p ——相邻两孔直径的平均值, mm;
- σ_w ——校核断面的最大弯曲应力, MPa;
- M ——校核断面的弯曲力矩, kN·mm;
- W ——校核断面的抗弯断面系数, mm³。

6.2 计算公式

6.2.1 锅筒筒体理论计算厚度按式(9)计算:

$$\delta_L = \frac{pD}{2\varphi_{\min}[\sigma] - p} \quad \dots\dots\dots (9)$$

锅筒筒体成品最小需要厚度按式(10)计算:

$$\delta_{\min} = \delta_L + C_1 \quad \dots\dots\dots (10)$$

锅筒筒体设计计算厚度按式(11)计算:

$$\delta_s = \delta_L + C \quad \dots\dots\dots (11)$$

锅筒筒体取用厚度应满足:

$$\delta > \delta_s$$

6.2.2 锅筒筒体允许最小减弱系数按式(12)计算:

$$[\varphi] = \frac{p(D_n + \delta_y)}{2[\sigma]\delta_y} \quad \dots\dots\dots (12)$$

δ_y 按式(13)计算:

$$\delta_y = \delta - C \quad \dots\dots\dots (13)$$

δ_y 也可取筒体实际最小厚度减去腐蚀减薄值。

6.2.3 校核计算时, 锅筒筒体最高允许计算压力按式(14)计算:

$$[p] = \frac{2\varphi[\sigma]\delta_y}{D_n + \delta_y} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式(14)中的有效厚度 δ 按式(13)计算, 此时 $\varphi = \varphi_{\min}$; δ_y 也可取为各 φ 处实际最小厚度减去腐蚀减薄值, 此时式(14)中的 $(\varphi\delta_y)/(D_n + \delta_y)$ 应以最小值代入。此外, 由式(14)算得的锅筒筒体最高允许计算压力还应满足第11章开孔补强的要求。

6.2.4 式(9)、式(12)及式(14)适用范围为 $\beta_L \leq 1.30$, β_L 值按式(15)计算:

$$\beta_L = 1 + 2 \frac{\delta_L}{D_n} \quad \dots\dots\dots (15)$$

6.3 计算压力与工作压力

锅筒筒体的计算压力按式(16)计算:

$$p = p_c + \Delta p_s \quad \dots\dots\dots (16)$$

工作压力 p_c 按式(17)计算:

$$p_c = p_e + \Delta p_a + \Delta p_w \quad \dots\dots\dots (17)$$

Δp_w 取最大流量时计算元件至锅炉出口之间的压力降。

当锅筒筒体所受液柱静压力不大于 $(p_e + \Delta p_a + \Delta p_w)$ 的3%时, 则取 $\Delta p_w = 0$ 。

设计附加压力 Δp_a 按以下规定计算:

- a) $p_e \leq 0.8$ MPa 时, $\Delta p_a = 0.03$ MPa;
- b) 0.8 MPa $< p_e \leq 5.9$ MPa 时, $\Delta p_a = 0.04 p_e$;
- c) $p_e > 5.9$ MPa 时, $\Delta p_a = 0.05 p_e$ 。

6.4 减弱系数

6.4.1 式(9)中的最小减弱系数 φ_{\min} 取为纵向焊缝减弱系数 φ_h 、纵向孔桥减弱系数 φ 、两倍横向孔桥减弱系数 $2\varphi'$ 及斜向孔桥当量减弱系数 φ_a 中的最小值。若孔桥位于焊缝上, 应按6.10.2和6.10.3的有关规定取用。

6.4.2 按锅炉制造技术条件检验合格的焊缝, 其焊缝减弱系数 φ_h 可按表7选取。

表7 焊缝减弱系数 φ_h

焊接方法	焊缝型式	φ_h
手工电焊	双面焊接有坡口对接焊缝	1.00
	有氩弧焊打底的单面焊接有坡口对接焊缝	0.90
	无氩弧焊打底的单面焊接有坡口对接焊缝	0.75
	在焊缝根部有垫板或垫圈的单面焊接有坡口对接焊缝	0.80
熔剂层下的自动焊	双面焊接对接焊缝	1.00
	单面焊接有坡口对接焊缝	0.85
	单面焊接无坡口对接焊缝	0.80
电渣焊		1.00

注: 在基本许用应力按持久强度确定的情况下, 对于表中 $\varphi_h > 0.80$ 的焊缝, φ_h 取0.80。

6.4.3 相邻两孔直径均不大于按11.2.3确定的未补强孔最大允许直径, 且两孔的节距(纵向、横向或斜向)小于按式(18)计算的值时, 应按6.4.5~6.4.13计算孔桥减弱系数。

$$s_0 = d_p + 2\sqrt{(D_n + \delta)\delta} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中 d_p 按式(24)计算。

6.4.4 若单孔直径或相邻两孔中有一孔直径大于按11.2.3确定的未补强孔最大允许直径时, 应按第11章的有关规定处理。

6.4.5 等直径纵向相邻两孔(图1)的孔桥减弱系数按式(19)计算:

$$\varphi = \frac{s-d}{s} \quad \dots\dots\dots (19)$$

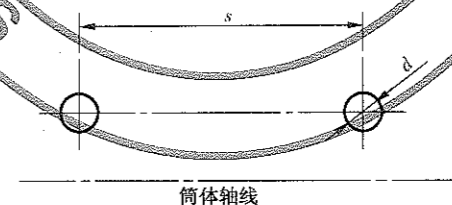


图1 纵向孔

6.4.6 等直径横向相邻两孔(图2)的孔桥减弱系数按式(20)计算:

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

式中横向节距 s' 应取筒体平均直径圆周上的弧长。

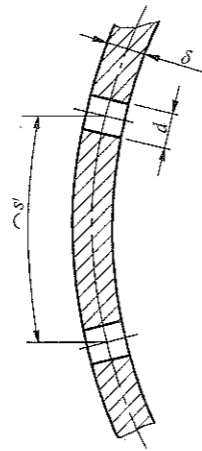


图2 横向孔桥

6.4.7 等直径斜向相邻两孔(图3)的孔桥当量减弱系数按式(21)计算:

$$\varphi_d = K\varphi'' \quad \dots\dots\dots(21)$$

式中斜向孔桥的换算系数 K 按式(22)计算:

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.75/(1+n^2)^2}} \quad \dots\dots\dots(22)$$

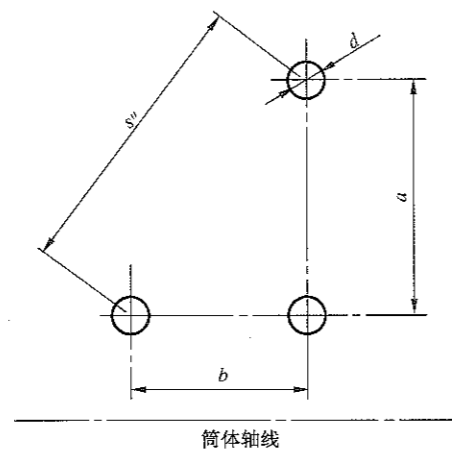


图3 斜向孔桥

斜向孔桥减弱系数 φ'' 按式(23)计算:

$$\varphi'' = \frac{s'' - d}{s''} \quad \dots\dots\dots(23)$$

式中 $s'' = a\sqrt{1+n^2}$ 。

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

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

φ_d 亦可按线算图(图4)直接查取,图中 $N = (d_1 + d_2)/(2a)$, 图中虚线为各条曲线极小值的连线。

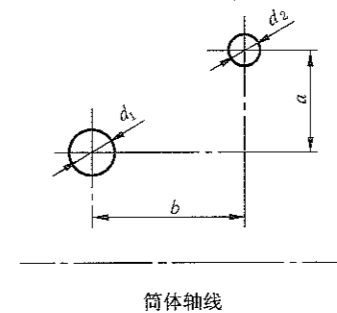
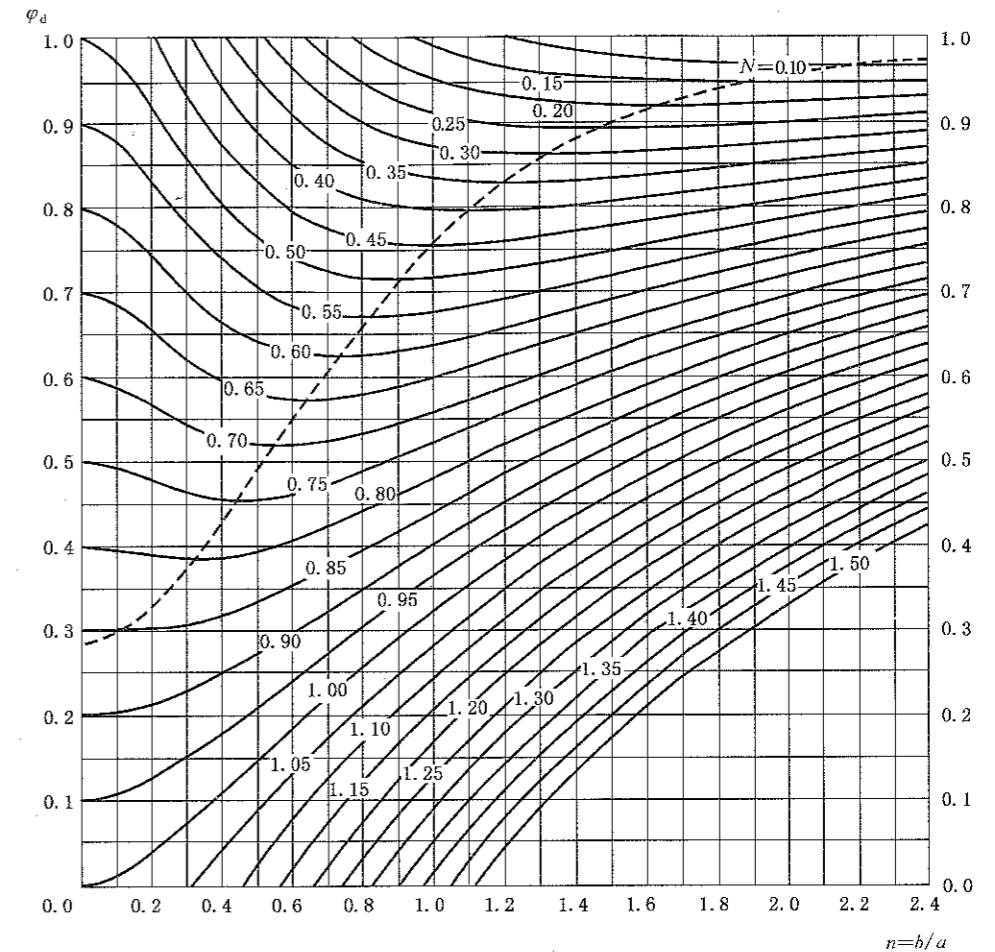


图4 确定 φ_d 值的线算图

6.4.8 若相邻两孔直径不同,计算孔桥减弱系数时,式(19)、式(20)及式(23)中的直径 d 应以相邻两孔直径的平均值 d_p 代入, d_p 按式(24)计算:

$$d_p = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \dots\dots\dots(24)$$

式中 d_1, d_2 为相邻两孔孔径(或当量孔径)。

6.4.9 具有凹座的开孔(图5),在计算孔桥减弱系数时,式(19)、式(20)及式(23)中的直径 d 应以当量直径 d_d 代入,当量直径 d_d 按式(25)计算:

$$d_d = d_1 + \frac{h}{\delta}(d'_1 - d_1) \quad \dots\dots\dots(25)$$

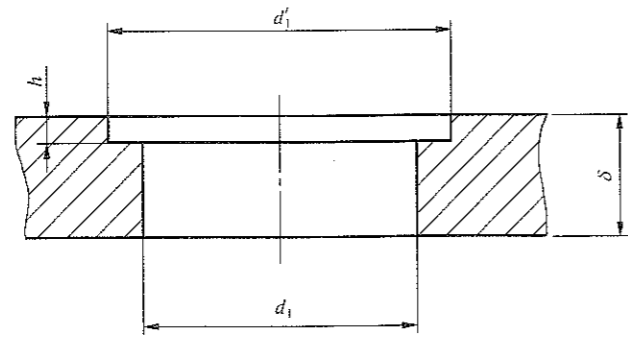


图5 具有凹座的孔

对于图5以外的其他焊接未熔合的阶梯形管孔,其当量直径等于阶梯形管孔的纵向断面积(填充焊缝金属部分除外)除以筒体取用厚度。

6.4.10 对于筒体横截面上的非径向孔(图6),计算孔桥减弱系数时,式(19)、式(20)及式(23)中的直径 d 应以当量直径 d_a 代入,当量直径 d_a 按下述原则确定:

- 纵向孔桥:
- 横向孔桥:
- 斜向孔桥:

$$d_a = d$$

$$d_a = \frac{d}{\cos \alpha}$$

$$d_a = d \sqrt{\frac{n^2 + 1}{n^2 + \cos^2 \alpha}} \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中 α 不应大于 45° 。
非径向孔应经机械加工或仿形切割成形。

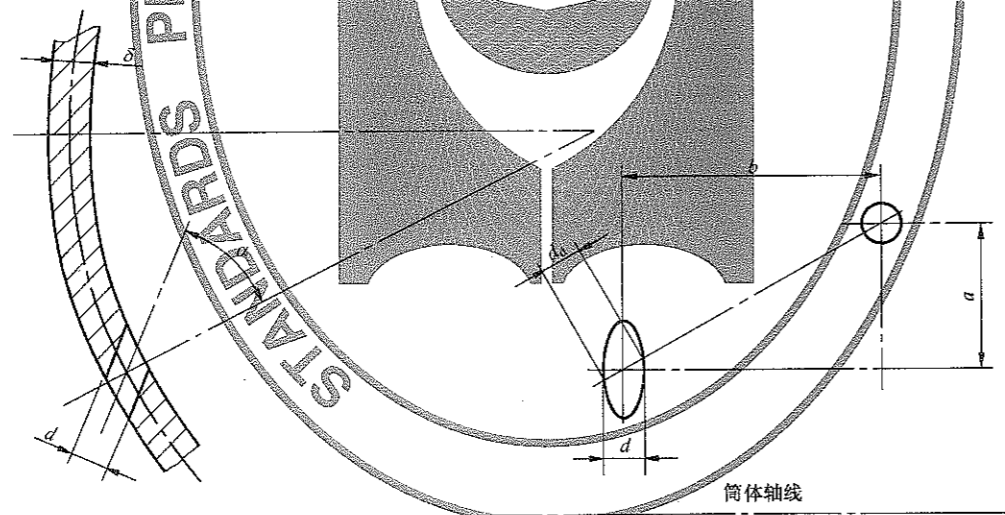


图6 非径向孔

6.4.11 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的尺寸确定。

6.4.12 对插入式整体焊接管接头或额定压力不大于2.5 MPa的不受热锅筒上的插入式双面角焊管接头(或孔圈),当管接头(或孔圈)材料的许用应力 $[\sigma]_1$ 小于筒体材料的许用应力 $[\sigma]$ 时,减弱系数计算中的 d 应取为管接头(或孔圈)内径与 $2\delta_1[1 - ([\sigma]_1/[\sigma])]$ 之和。

6.4.13 孔桥减弱系数可借助整体焊接结构的管接头多余厚度的补强作用予以提高,补强方法见11.5.2~11.5.4。

6.5 附加厚度

6.5.1 锅筒筒体的附加厚度 C 按式(27)计算:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad \dots\dots\dots (27)$$

6.5.2 考虑腐蚀减薄的附加厚度 C_1 一般取为0.5 mm。若 $\delta > 20$ mm时,则可不考虑。但若腐蚀较严重,应根据实际情况确定 C_1 值。

6.5.3 考虑工艺减薄的附加厚度 C_2 按各制造厂实际情况选取。当板厚不大于100 mm时,一般情况下可按表8选取。

表8 卷制工艺减薄值

单位为毫米

卷制工艺	减薄值
热卷	$4(p_c \geq 9.8 \text{ MPa})$
	$3(p_c < 9.8 \text{ MPa})$
冷卷	1
	0

6.5.4 考虑钢板厚度负偏差的附加厚度 C_3 ,当 $\delta \leq 20$ mm时,取钢板标准规定厚度负偏差;当 $\delta > 20$ mm时,则可不考虑,如钢板厚度负偏差超过0.5 mm,则在附加厚度中应加上此超出值。

6.6 对厚度的限制

6.6.1 任何情况下,锅筒筒体的取用厚度不应小于6 mm;采用胀接管连接时,锅筒筒体的取用厚度不应小于12 mm。

6.6.2 锅筒额定压力不大于2.5 MPa的不绝热锅筒筒体,允许置于烟温不小于 600°C 的烟道或炉膛内,其厚度不应小于表9所规定的值。

表9 不绝热锅筒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	26
在烟温为 $600^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ 之间的烟道内	30

6.7 水压试验

锅筒筒体的水压试验压力 p_{sw} 按有关锅炉制造技术条件取用,但应满足式(28)要求:

$$p_{sw} \leq [p_{sw}] \quad \dots\dots\dots (28)$$

水压试验最高允许压力按式(29)计算:

$$[p_{sw}] = 0.45 \frac{\beta^2 - 1}{\beta^2} \varphi_{sw} \sigma_s \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中, $\beta = 1 + 2\delta_s/D_n$ 。

φ_{sw} 取锅筒筒体纵向焊缝减弱系数 φ 、纵向孔桥减弱系数 φ 、2倍的横向孔桥减弱系数 $2\varphi'$ 及斜向孔桥当量减弱系数 φ_d 中的最小值。

确定锅筒的水压试验最高允许压力时,还应考虑锅筒封头的水压试验最高允许压力(见9.2.11)。

6.8 弯曲应力的校核

6.8.1 当锅筒筒体支点间距大于10 m或者 $2\varphi'$ 不大于最小 φ 或 φ_d 时,应进行重量载荷引起的弯曲应力校核。

6.8.2 锅筒筒体各校核断面的最大弯曲应力按式(30)计算:

$$\sigma_w = \frac{1\,000M}{W\varphi_h} \quad \dots\dots\dots (30)$$

校核断面的弯曲力矩 M 按筒支梁处理。如无较大的局部荷重,梁上的荷重可按均布荷重考虑。产生弯曲力矩的荷重应包括:锅筒及相连元件的金属重量、锅筒及相连元件内满水的水重以及绝热材料的

重量等。

计算校核断面的抗弯断面系数 W 时,应考虑由于开孔对断面的减弱。 W 的近似计算方法见附录 C。

环向焊缝减弱系数 φ_h ,只有在校核断面上有环向焊缝时才考虑。 φ_h 按表 7 选取。

如筒体上的最大弯曲力矩与最小抗弯断面系数不在同一断面上,则应按几个可能发生危险的断面分别计算,以找出整个筒体的最大弯曲应力。

6.8.3 按 6.8.2 算出的最大弯曲应力应满足以下条件:

$$\sigma_w \leq [\sigma] - \frac{p(D_n + \delta_y)}{4\varphi_x \delta_y} \dots\dots\dots (31)$$

减弱系数 φ_x 为所校核断面上最大弯曲应力部位的横向孔桥减弱系数或环向焊缝减弱系数;如横向孔桥与环向焊缝重叠,则应按 6.10.2 和 6.10.3 处理;如该部位无孔桥和焊缝减弱时,则取 $\varphi_x = 1$ 。

6.9 中径相等的不等厚度锅筒的计算

薄壁与厚壁部分的强度分别按式(9)~式(31)计算。上述公式中, D_n 分别用 $2R'_n$ 与 $2R''_n$ (图 7)代入。

水压试验的最高允许压力,取厚壁与薄壁部分按式(29)的计算值中的较小值。

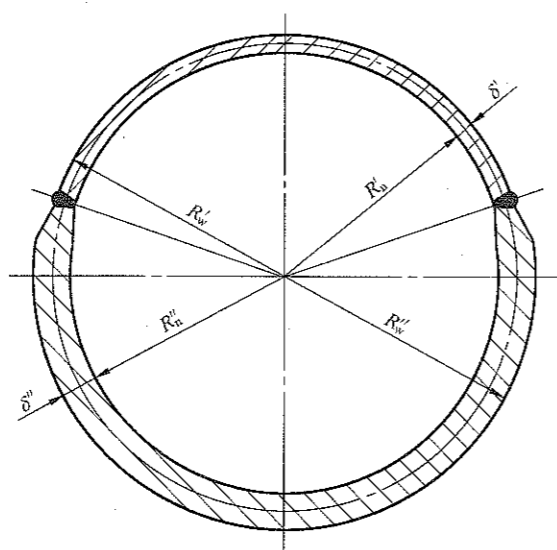


图 7 不等厚度锅筒

6.10 结构要求

6.10.1 锅筒筒体同一断面最大内径与最小内径之差应不大于表 10 规定的值。

表 10 锅筒筒体同一断面最大内径与最小内径之差值 单位为毫米

条 件	$p_c \leq 3.8 \text{ MPa}$			$p_c > 3.8 \text{ MPa}$	
	$D_n \leq 1000 \text{ mm}$	$1000 \text{ mm} < D_n \leq 1500 \text{ mm}$	$D_n > 1500 \text{ mm}$	$\beta_n < 1.10$	$\beta_n \geq 1.10$
热 卷	6	7	9	0.007 D_n	0.010 D_n
冷 卷	4	6	8		

6.10.2 对于胀接管孔,孔桥减弱系数 φ 、 φ' 及 φ'' 不宜小于 0.30。胀接管孔还应满足《蒸汽锅炉安全技术监察规程》的要求,当胀接管孔开在环缝上时,该部位的减弱系数取孔桥减弱系数和焊缝减弱系数的乘积。

6.10.3 集中下降管的管孔不应开在焊缝上。其他焊接管孔亦应避免开在焊缝上,如不能避开时,应满足《蒸汽锅炉安全技术监察规程》的要求。此时该部位的减弱系数取孔桥减弱系数和焊缝减弱系数的乘积。

6.10.4 管接头(连接受热面管子的除外)的取用厚度 $\delta_1^{(2)}$ 对于额定蒸汽压力大于 2.5 MPa 的锅炉不应小于 $0.015d_w + 3.2 \text{ mm}$ 。

6.10.5 不等厚度锅筒筒体过渡区应满足图 8 的要求,其中梯度斜度不应超过 1:4,并且在 a—b 至 b—b 的区域内不允许开孔。

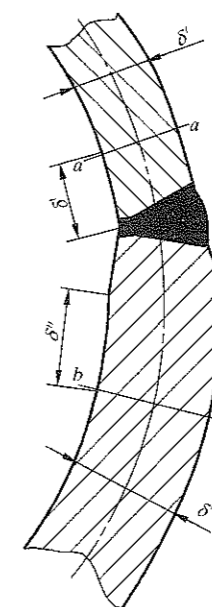


图 8 对过渡区段的要求

7 圆筒形集箱筒体

7.1 符号

本章所用符号的含义和单位如下:

- δ_L ——集箱筒体理论计算厚度,mm;
- δ_{min} ——直集箱筒体成品最小需要厚度,mm;
- δ_s ——集箱筒体设计计算厚度,mm;
- δ ——集箱筒体取用厚度,mm;
- δ_y ——集箱筒体有效厚度,mm;
- C ——设计计算考虑腐蚀减薄、工艺减薄等和钢管厚度负偏差的附加厚度,mm;
- C' ——校核计算考虑腐蚀减薄、工艺减薄等和钢管厚度负偏差的附加厚度,mm;
- C_1 ——设计计算和校核计算考虑腐蚀减薄的附加厚度,mm;
- C_2 ——设计计算考虑工艺减薄等的附加厚度,mm;
- C'_2 ——校核计算考虑工艺减薄等的附加厚度,mm;
- C_3 ——设计计算考虑钢管厚度负偏差的附加厚度,mm;
- C'_3 ——校核计算考虑钢管厚度负偏差的附加厚度,mm;
- D_w ——集箱筒体外径,mm;

2) 若管接头是螺纹的,厚度按螺纹根部量取。

β_L ——按集箱筒体理论计算厚度算出的外径与内径的比值；

β ——按集箱筒体有效厚度算出的外径与内径的比值；

p ——计算压力,MPa；

$[p]$ ——校核计算最高允许计算压力,MPa；

$[p_{sw}]$ ——水压试验最高允许压力,MPa；

p_{sw} ——水压试验压力,MPa；

$[\sigma]$ ——许用应力,MPa；

φ_i ——校核部位的减弱系数；

φ_{min} ——最小减弱系数；

$[\varphi]$ ——允许最小减弱系数；

R ——圆弧集箱中心线的半径,mm；

σ_w ——校核断面的附加弯曲应力,MPa；

m ——钢管厚度负偏差与取用厚度的百分比值；

n ——圆弧集箱中心线的半径 R 与集箱筒体外径 D_w 的比值。

7.2 计算公式

7.2.1 集箱筒体理论计算厚度按式(32)计算：

$$\delta_L = \frac{pD_w}{2\varphi_{min}[\sigma] + p} \quad (32)$$

直集箱筒体成品最小需要厚度按式(33)计算：

$$\delta_{min} = \delta_L + C_1 \quad (33)$$

集箱筒体设计计算厚度按式(34)计算：

$$\delta_s = \delta_L + C \quad (34)$$

集箱筒体取用厚度应满足：

$$\delta \geq \delta_s$$

7.2.2 集箱筒体允许最小减弱系数按式(35)计算：

$$[\varphi] = \frac{p(D_w - \delta_y)}{2[\sigma]\delta_y} \quad (35)$$

δ_y 按式(36)计算：

$$\delta_y = \delta - C' \quad (36)$$

7.2.3 校核计算时,集箱筒体最高允许计算压力按式(37)计算：

$$[p] = \frac{2\varphi_1[\sigma]\delta_y}{D_w - \delta_y} \quad (37)$$

式(37)中的有效厚度 δ 按式(36)计算,此时 $\varphi_1 = \varphi_{min}$;直集箱筒体的 δ 也可取各 φ_1 处实际最小厚度减去腐蚀减薄值,此时式(37)中的 $(\varphi_1\delta_y)/(D_w - \delta_y)$ 应以最小值代入。此外,由式(37)算得的集箱筒体最高允许计算压力还应满足第 11 章开孔补强的要求。

7.2.4 式(32)、式(35)及式(37)的适用范围如下：

对于水、汽水混合物或饱和蒸汽集箱筒体： $\beta_L \leq 1.50$

对于过热蒸汽集箱筒体： $\beta_L \leq 2.00$

β_L 值按式(38)计算：

$$\beta_L = \frac{D_w}{D_w - 2\delta_L} \quad (38)$$

7.3 计算压力与工作压力

集箱筒体的计算压力和工作压力按 6.3 的规定计算。

对于再热蒸汽集箱筒体,计算压力 p 取锅炉在额定压力时再热蒸汽集箱中介质工作压力的 1.15 倍。

7.4 减弱系数

集箱筒体的减弱系数按 6.4 确定。

7.5 设计计算时的附加厚度

7.5.1 集箱筒体的附加厚度 C 按式(39)计算：

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (39)$$

7.5.2 考虑腐蚀减薄的附加厚度 C_1 一般取为 0.5 mm,若集箱在设计运行期限内,腐蚀减薄值超过 0.5 mm,则应取实际减薄值。

7.5.3 对于由钢管制成的直集箱筒体,考虑工艺减薄的附加厚度 $C_2 = 0$;考虑钢管厚度负偏差的附加厚度 C_3 按式(40)计算：

$$C_3 = \frac{m}{100 - m} (\delta_L + C_1) \quad (40)$$

对于由钢管弯成的圆弧形集箱筒体³⁾,考虑工艺减薄等的附加厚度 C_2 和考虑钢管厚度负偏差的附加厚度 C_3 分别按式(41)和式(42)计算。

$$C_2 = \frac{\delta_L}{(4n - 1)(2n + 1)} \quad (41)$$

$$C_3 = \frac{m}{100 - m} (\delta_L + C_1 + C_2) \quad (42)$$

7.6 校核计算时的附加厚度

7.6.1 集箱筒体的附加厚度 C' 按式(43)计算：

$$C' = C_1 + C'_2 + C'_3 \quad (43)$$

7.6.2 考虑腐蚀减薄的附加厚度 C_1 按 7.5.2 规定选取。

7.6.3 对于由钢管制成的直集箱筒体,考虑工艺减薄的附加厚度 $C'_2 = 0$;考虑钢管厚度负偏差的附加厚度 C'_3 按式(44)计算：

$$C'_3 = \frac{m}{100} \delta \quad (44)$$

对于由钢管弯成的圆弧形集箱筒体,考虑钢管厚度负偏差的附加厚度 C'_3 按式(44)计算。考虑工艺减薄等的附加厚度 C'_2 按式(45)确定：

$$C'_2 = \frac{\delta - C_1 - C'_3}{2n(4n + 1)} \quad (45)$$

7.7 对厚度的限制

7.7.1 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表 11 所规定的值。

表 11 不绝热集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℃ 的烟道或炉膛内	30
在烟温为 600℃~900℃ 之间的烟道内	45

3) 对 $R/D_w > 3.5$ 的圆弧形集箱筒体,除了断面最大允许圆度需要满足表 13 要求外,其余按直集箱处理。

7.7.2 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 12 所规定的值。

表 12 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℃ 的烟道或炉膛内	15
在烟温为 600℃~900℃ 之间的烟道内	20

7.8 水压试验

集箱筒体的水压试验压力 p_{sw} 按有关锅炉制造技术条件取用,但应满足下式要求:

$$p_{sw} \leq [p_{sw}]$$

$[p_{sw}]$ 按式(29)确定,但计算时该式中的 β 按式(46)计算:

$$\beta = \frac{D_w}{D_w - 2\delta_y} \dots\dots\dots (46)$$

在确定集箱水压试验最高允许压力时,还应考虑集箱上的封头、平端盖或盖板的水压试验最高允许压力(见 9.2.11、10.2.6 和 10.3.8)。

7.9 弯曲应力的校核

对重量载荷较大的集箱应按式(47)进行弯曲应力校核计算:

$$\sigma_w \leq [\sigma] - \frac{p(D_w - 2\delta_y)^2}{4\varphi_s \delta_y (D_w - \delta_y)} \dots\dots\dots (47)$$

σ_w 、 φ_s 按 6.8.2 和 6.8.3 的原则处理。

7.10 结构要求

7.10.1 由钢管弯成的圆弧形集箱的断面圆度不应大于表 13 规定的值。

表 13 圆弧形集箱的断面最大允许圆度 以 % 表示

弯曲半径 R	$2.5D_w \leq R \leq 4.0D_w$	$R > 4.0D_w$
圆 度 $\frac{D_{wmax} - D_{wmin}}{D_w} \times 100$	10	5
注: D_{wmax} 、 D_{wmin} 分别为同一断面上的最大外径和最小外径。		

7.10.2 关于对减弱系数和管孔位置的要求,见 6.10.2 和 6.10.3。

7.10.3 管接头(连接受热面管子的除外)的取用厚度按 6.10.4 处理。

8 管子和锅炉范围内的管道

8.1 符号

本章所用符号的含义和单位如下:

- δ_L ——直管或直管道的理论计算厚度,mm;
- δ_{wL} ——弯管外侧的理论计算厚度,mm;
- δ_{min} ——直管或直管道成品的最小需要厚度,mm;
- δ_{wmin} ——弯管成品外侧的最小需要厚度,mm;
- δ_s ——直管或直管道的设计计算厚度,mm;
- δ_{ws} ——弯管设计计算厚度,mm;
- δ ——管子或管道的取用厚度,mm;
- δ_y ——直管或直管道的有效厚度,mm;

δ_{wy} ——弯管外侧的有效厚度,mm;

C——设计计算考虑腐蚀减薄、工艺减薄等和钢管或钢板厚度负偏差的附加厚度,mm;

C'——校核计算考虑腐蚀减薄、工艺减薄等和钢管或钢板厚度负偏差的附加厚度,mm;

C₁——设计计算和校核计算考虑腐蚀减薄的附加厚度,mm;

C₂——设计计算考虑工艺减薄等的附加厚度,mm;

C'₂——校核计算考虑工艺减薄等的附加厚度,mm;

C₃——设计计算考虑钢管或钢板厚度负偏差的附加厚度,mm;

C'₃——校核计算考虑钢管或钢板厚度负偏差的附加厚度,mm;

D_w——管子或管道的外径,mm;

β_L ——按管子或管道理论计算厚度算出的外径与内径的比值;

p——计算压力,MPa;

$[p]$ ——直管或直管道校核计算最高允许计算压力,MPa;

$[p]_w$ ——弯管校核计算最高允许计算压力,MPa;

$[\sigma]$ ——许用应力,MPa;

φ_h ——焊缝减弱系数;

R——弯管中心线的半径,mm;

q_{max} ——最大热流密度,kW/m²;

λ ——钢材导热系数,kW/(m·℃);

σ_z ——校核断面的附加轴向应力,MPa;

σ_w ——校核断面的附加弯曲应力,MPa;

τ ——校核断面的附加扭转应力,MPa;

F——附加轴向力,kN;

M——校核断面的弯曲力矩,kN·mm;

M_n——校核断面的扭转力矩,kN·mm;

A——管子的有效横断面积,mm²;

W——校核断面的有效抗弯断面系数,mm³;

m——厚度负偏差与取用厚度的百分比值;

K——弯管形状系数;

a——弯管工艺系数;

b——弯管外侧厚度的实际制造工艺减薄率;

A₁——系数。

8.2 计算公式

8.2.1 直管或直管道的理论计算厚度按式(48)计算:

$$\delta_L = \frac{pD_w}{2\varphi_h[\sigma] + p} \dots\dots\dots (48)$$

由钢管弯成的弯管,弯管外侧的理论计算厚度按式(49)计算:

$$\delta_{wL} = K\delta_L \dots\dots\dots (49)$$

式中弯管形状系数 K 按式(50)计算:

$$K = \frac{4R + D_w}{4R + 2D_w} \dots\dots\dots (50)$$

直管或直管道成品的最小需要厚度按式(51)计算:

$$\delta_{min} = \delta_L + C_1 \dots\dots\dots (51)$$

由钢管弯成的弯管,弯管成品外侧的最小需要厚度按式(52)计算:

$$\delta_{\min} = \delta_{wL} + C_1 \quad \dots\dots\dots(52)$$

直管或直管道的设计厚度按式(53)计算:

$$\delta_s = \delta_L + C \quad \dots\dots\dots(53)$$

由钢管弯成的弯管,弯管的设计厚度按式(54)计算:

$$\delta_{ws} = \delta_{wL} + C \quad \dots\dots\dots(54)$$

直管或直管道的取用厚度应满足:

$$\delta \geq \delta_s$$

由钢管弯成的弯管,弯管的取用厚度应满足:

$$\delta \geq \delta_{ws}$$

由钢板压制的焊接弯管($R/D_w > 3.5$)和铸造弯管的厚度按直管计算,但其中的附加厚度 C 分别按式(60)、式(61)计算。

8.2.2 校核计算时,直管或直管道最高允许计算压力按式(55)计算:

$$[P] = \frac{2\varphi_h[\sigma]\delta_y}{D_w} \quad \dots\dots\dots(55)$$

δ_y 按式(56)计算:

$$\delta_y = \delta - C' \quad \dots\dots\dots(56)$$

δ_y 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按式(57)计算:

$$[P] = \frac{2\varphi_h[\sigma]\delta_{wy}}{KD_w - \delta_{wy}} \quad \dots\dots\dots(57)$$

δ_{wy} 按式(58)计算:

$$\delta_{wy} = \delta - C' \quad \dots\dots\dots(58)$$

带弯管的管子或管道的最高允许计算压力应取式(55)和式(57)中的较小值。

8.2.3 式(48)、式(49)、式(55)和式(57)适用于 $\beta_1 \leq 2.00$ 的范围, β_1 值按式(38)计算。

8.3 计算压力与工作压力

管子或管道的计算压力和工作压力按 6.3 的规定计算。

对于再热蒸汽管子或管道,计算压力 p 取锅炉在额定压力时管子或管道中介质工作压力的 1.15 倍。

8.4 减弱系数

焊缝减弱系数 φ_h :对于无缝钢管,取为 1.00;对于由钢板压制的焊接弯管按表 7 选取。

8.5 设计计算时的附加厚度

8.5.1 直管或直管道的附加厚度 C 按式(59)计算:

$$C = C_1 + C_3 \quad \dots\dots\dots(59)$$

由钢管弯成的弯管和由钢板压制的焊接弯管($R/D_w > 3.5$),弯管的附加厚度 C 按式(60)计算:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad \dots\dots\dots(60)$$

铸造弯管的附加厚度 C 按式(61)计算:

$$C = A_1\delta_L + 2 \quad \dots\dots\dots(61)$$

式中 A_1 按式(62)计算:

$$A_1 = \frac{1}{4(R/D_w) - 2} \quad \dots\dots\dots(62)$$

8.5.2 考虑腐蚀减薄的附加厚度 C_1 按 7.5.2 原则选取。

8.5.3 由钢管弯成的弯管,考虑工艺减薄等的附加厚度 C_2 按式(63)计算:

$$C_2 = \frac{a}{100-a}(\delta_{wL} + C_1) \quad \dots\dots\dots(63)$$

式中 a 按式(64)计算:

$$a = \frac{25D_w}{R} \quad \dots\dots\dots(64)$$

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

由钢板压制的焊接弯管($R/D_w > 3.5$), C_2 取钢板压制时的实际工艺减薄值。

8.5.4 直管或直管道,考虑钢管厚度负偏差的附加厚度 C_3 按式(65)计算:

$$C_3 = \frac{m}{100-m}(\delta_L + C_1) \quad \dots\dots\dots(65)$$

由钢管弯成的弯管,考虑钢管厚度负偏差的附加厚度 C_3 按式(66)计算:

$$C_3 = \frac{m}{100-m}(\delta_{wL} + C_1 + C_2) \quad \dots\dots\dots(66)$$

由钢板压制的焊接弯管($R/D_w > 3.5$),考虑钢板厚度负偏差的附加厚度 C_3 可按 6.5.4 的原则确定,也可取实际钢板厚度负偏差。

8.6 校核计算时的附加厚度

8.6.1 直管或直管道的附加厚度 C' 按式(67)计算:

$$C' = C_1 + C_3' \quad \dots\dots\dots(67)$$

由钢管弯成的弯管和由钢板压制的焊接弯管($R/D_w > 3.5$),弯管的附加厚度 C' 按式(68)计算:

$$C' = C_1 + C_2 + C_3' \quad \dots\dots\dots(68)$$

铸造弯管的附加厚度 C' 按式(69)计算:

$$C' = \frac{A_1\delta + 2}{1 + A_1} \quad \dots\dots\dots(69)$$

式中 A_1 由式(62)确定。

8.6.2 考虑腐蚀减薄的附加厚度 C_1 按 7.5.2 的原则选取。

8.6.3 由钢管弯成的弯管,考虑工艺减薄等的附加厚度 C_2 按式(70)计算:

$$C_2 = \frac{a}{100}(\delta - C_3') \quad \dots\dots\dots(70)$$

式中 a 按 8.5.3 处理。

8.6.4 考虑钢管厚度负偏差的附加厚度 C_3' 按式(71)计算:

$$C_3' = \frac{m}{100}\delta \quad \dots\dots\dots(71)$$

C_3' 也可取实际钢管厚度负偏差。

8.6.5 由钢板压制的焊接弯管($R/D_w > 3.5$),考虑工艺减薄的附加厚度 C_2' 取钢板的实际工艺减薄值。考虑钢板厚度负偏差的附加厚度 C_3' 取实际钢板厚度负偏差。

8.7 对厚度的限制

对于热流密度很高(580 kW/m^2 及以上)的受热面管子,按 8.2.1 确定的取用厚度⁴⁾应满足以下条件:

$$\delta \leq \frac{D_w}{1 + D_w q_{\max}/(10^5 \lambda)} \quad \dots\dots\dots(72)$$

4) 对于内螺纹管及外螺纹管,厚度均按螺纹根部量取。

8.8 水压试验

管子或管道的水压试验压力按有关锅炉制造技术条件取用。

8.9 由重力载荷引起的应力校核

管子或管道由重力载荷引起的管壁附加应力(轴向应力、弯曲应力和扭转应力)可按式(73)进行校核:

$$\sigma_z + \sqrt{\sigma_w^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma] - \frac{p(D_w - 2\delta_y)^2}{4\delta_y\varphi_h(D_w - \delta_y)} \quad \dots\dots\dots(73)$$

式中:

附加轴向应力 σ_z 按式(74)计算:

$$\sigma_z = \frac{1\,000F}{A\varphi_h} \quad \dots\dots\dots(74)$$

附加弯曲应力 σ_w 按式(75)计算:

$$\sigma_w = \frac{1\,000M}{W\varphi_h} \quad \dots\dots\dots(75)$$

附加扭转应力 τ 按式(76)计算:

$$\tau = \frac{500M_t}{W\varphi_h} \quad \dots\dots\dots(76)$$

只有在校核断面上有环向焊缝时,才考虑环向焊缝减弱系数 φ_h ,其值可按表7选取。

式(73)中的 σ_z 、 σ_w 及 τ 应为作用在同一断面上的值,若三者各自最大值不在同一断面上,则应对可能发生危险的断面分别进行校核。

8.10 结构要求

8.10.1 受热面管子弯管的圆度不应大于表14规定的值。

表14 受热面管子弯管的最大允许圆度 以%表示

弯管中心线的曲率半径 R	$1.4D_w < R < 2.5D_w$	$R \geq 2.5D_w$
圆度 $\frac{D_{wmax} - D_{wmin}}{D_w} \times 100$	12	10

注: D_{wmax} 、 D_{wmin} 分别为同一断面上的最大外径和最小外径。

8.10.2 对于不受热的管道,当外径 $D_w > 76$ mm 时,弯管圆度不应大于表13规定的值;当外径 $D_w \leq 76$ mm 时,弯管圆度不应大于表14规定的值。

8.11 承受外压力的管子计算

承受外压力作用,且管子外径 $D_w \leq 200$ mm 的管子厚度,按8.2.1计算。计算压力取最大外压力,基本许用应力的修正系数 η 取表3所给值的0.70倍。

8.12 管道系统热应力的校核

需要时应对管道系统热应力进行校核。

9 凸形封头

9.1 符号

本章所用符号的含义和单位如下:

- δ_L ——封头理论计算厚度,mm;
- δ_{sL} ——封头直段部分理论计算厚度,mm;
- δ_{min} ——封头成品最小需要厚度,mm;
- δ_s ——封头设计计算厚度,mm;

- δ ——封头取用厚度,mm;
- δ_0 ——强度未减弱的热旋压封头圆筒部分理论计算厚度,mm;
- δ_y ——封头有效厚度,mm;
- δ'_y ——热旋压封头圆筒部分有效厚度,mm;
- β ——按照封头有效厚度算出的外径与内径的比值;
- C ——设计计算考虑腐蚀减薄、工艺减薄和钢板厚度负偏差的附加厚度,mm;
- C' ——校核计算考虑腐蚀减薄、工艺减薄和钢板厚度负偏差的附加厚度,mm;
- C_1 ——设计计算和校核计算考虑腐蚀减薄的附加厚度,mm;
- C_2 ——设计计算考虑工艺减薄的附加厚度,mm;
- C'_2 ——校核计算考虑工艺减薄的附加厚度,mm;
- C_3 ——设计计算和校核计算考虑钢板厚度负偏差的附加厚度,mm;
- D_n ——封头内径,mm;
- D_w ——热旋压封头圆筒部分外径,mm;
- h_n ——封头内高度,mm;
- p ——计算压力,MPa;
- $[p]$ ——校核计算最高允许计算压力,MPa;
- p_{sw} ——水压试验压力,MPa;
- $[p_{sw}]$ ——水压试验最高允许压力,MPa;
- $[\sigma]$ ——许用应力,MPa;
- σ_s ——材料在20℃时的屈服点或规定非比例伸长应力($\sigma_{0.2}$),MPa;
- φ ——封头减弱系数;
- φ_h ——焊缝减弱系数;
- φ_{sw} ——水压试验时的封头减弱系数;
- Y ——形状系数;
- d ——孔的直径,椭圆孔的长轴尺寸,mm。

9.2 计算公式

9.2.1 椭球封头(图9)和球形封头(图10)的理论计算厚度按式(77)计算:

$$\delta_L = \frac{pD_n Y}{2\varphi[\sigma] - p} \quad \dots\dots\dots(77)$$

注:图9、图10仅示出部分型式的椭球封头和球形封头结构。

封头成品最小需要厚度按式(78)计算:

$$\delta_{min} = \delta_L + C_1 \quad \dots\dots\dots(78)$$

封头的设计计算厚度按式(79)计算:

$$\delta_s = \delta_L + C \quad \dots\dots\dots(79)$$

封头取用厚度应满足:

$$\delta \geq \delta_s$$

9.2.2 校核计算时,封头最高允许计算压力按式(80)计算:

$$[p] = \frac{2\varphi[\sigma]\delta_y}{YD_n + \delta_y} \quad \dots\dots\dots(80)$$

同时, $[p]$ 也不应超过按式(14)所确定的封头直段的最高允许压力。

δ_y 按式(81)计算:

$$\delta_y = \delta - C' \quad \dots\dots\dots(81)$$

δ_y 也可取实际最小厚度减去腐蚀减薄值。

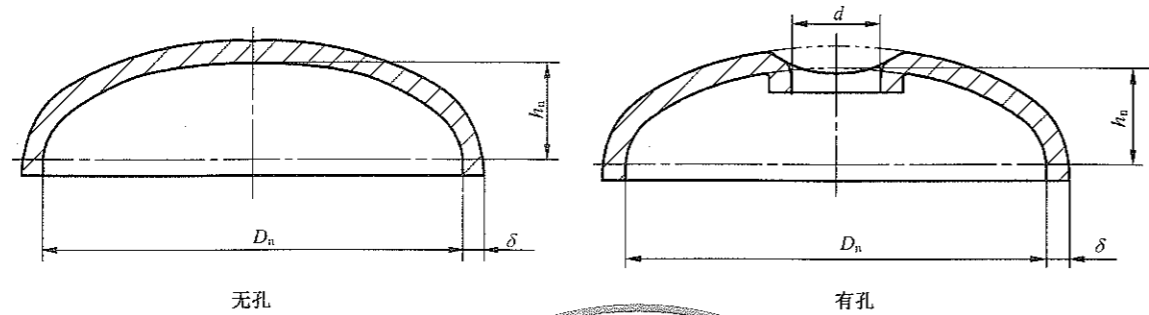


图9 椭球封头

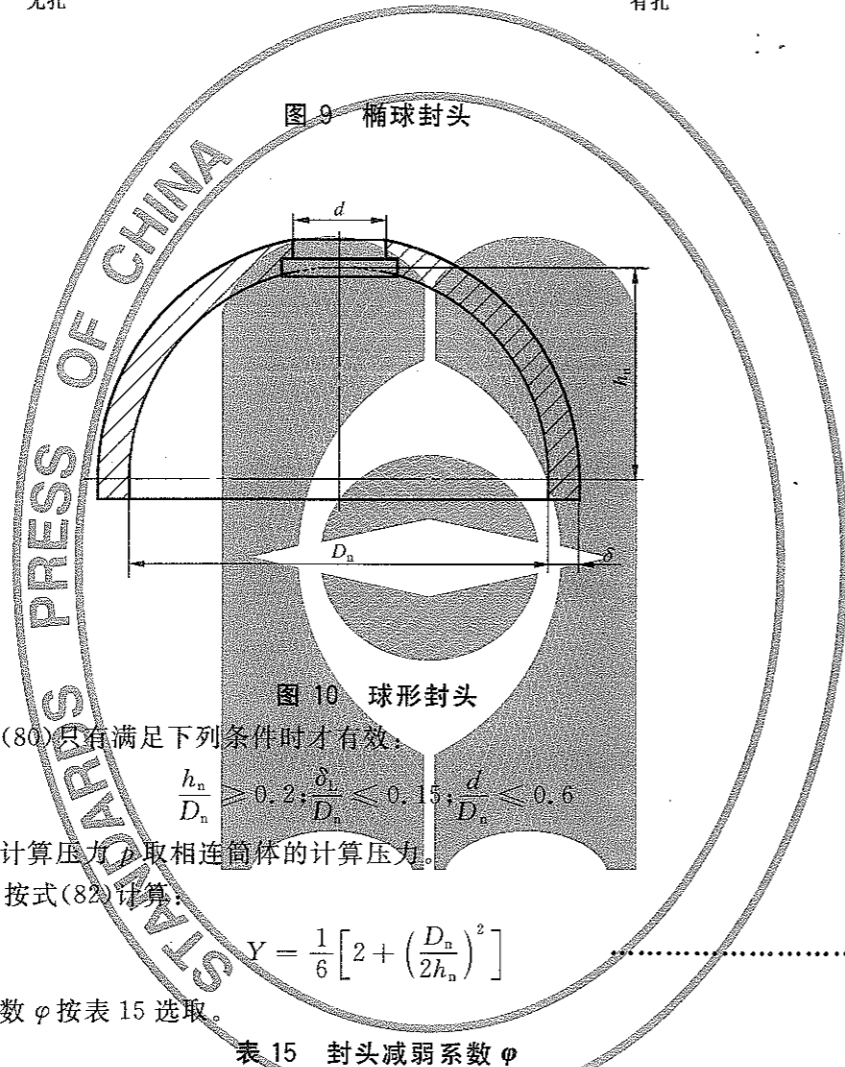


图10 球形封头

9.2.3 式(77)及式(80)只有满足下列条件时才有效:

$$\frac{h_n}{D_n} \geq 0.2; \frac{\delta_n}{D_n} \leq 0.15; \frac{d}{D_n} \leq 0.6$$

9.2.4 凸形封头的计算压力 \$p\$ 取相连筒体的计算压力。

9.2.5 形状系数 \$Y\$ 按式(82)计算:

$$Y = \frac{1}{6} \left[2 + \left(\frac{D_n}{2h_n} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots(82)$$

9.2.6 封头减弱系数 \$\phi\$ 按表15选取。

表15 封头减弱系数 \$\phi\$

封头结构型式	\$\phi\$
无孔,无拼接焊缝	1.00
无孔,有拼接焊缝	\$\phi_n\$ (见表7)
有孔,无拼接焊缝	\$1-d/D_n\$
有孔,有拼接焊缝,但孔中心与焊缝边缘距离大于 \$(0.5d+12)\$ mm	取 \$\phi_n\$ 和 \$(1-d/D_n)\$ 中较小者
有孔,有拼接焊缝,且孔中心与焊缝边缘距离小于或等于 \$(0.5d+12)\$ mm	\$\phi_n(1-d/D_n)\$

9.2.7 封头的计算壁厚 \$t_w\$ 按5.4确定。

9.2.8 设计计算时,封头的附加厚度 \$C\$ 按式(83)计算:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad \dots\dots\dots(83)$$

校核计算时,封头的附加厚度 \$C'\$ 按式(84)计算:

$$C' = C_1 + C'_2 + C_3 \quad \dots\dots\dots(84)$$

式(83)、式(84)中考虑腐蚀减薄的附加厚度 \$C_1\$ 按6.5.2原则处理;考虑工艺减薄的附加厚度 \$C_2\$ 和 \$C'_2\$ 应根据各锅炉制造厂具体工艺情况而定。一般情况下,冲压工艺减薄值 \$C_2\$ 和 \$C'_2\$ 可按表16选取;考虑钢板厚度负偏差的附加厚度 \$C_3\$ 按6.5.4原则处理。

表16 冲压工艺减薄值

单位为毫米

结构形式	减薄值计算公式			
	椭球或球形部分		直段部分	
	\$C_2\$	\$C'_2\$	\$C_2\$	\$C'_2\$
椭球封头 \$(0.20 \leq h_n/D_n \leq 0.35)\$	\$0.10(\delta_n + C_1)\$	\$0.09(\delta - C_3)\$	0	0
深椭球或球形封头 \$(0.35 \leq h_n/D_n \leq 0.5)\$	\$0.15(\delta_n + C_1)\$	\$0.13(\delta - C_3)\$	0	0

9.2.9 封头的取用厚度除满足9.2.1的要求外,还应满足式(85):

$$\delta \geq \delta_{nL} + C_1 + C_3 \quad \dots\dots\dots(85)$$

式中, \$\delta_{nL}\$ 按式(9)计算,其中 \$\phi_{min}\$ 取封头拼接焊缝减弱系数 \$\phi_n\$,如无拼接焊缝,则 \$\phi_{min} = 1.00\$,附加厚度 \$C_1, C_3\$ 分别按6.5.2和6.5.4确定。

9.2.10 封头内径 \$D\$ 大于1000 mm时,封头取用厚度不应小于6 mm;封头内径 \$D_n\$ 不大于1000 mm时,封头取用厚度不应小于4 mm。

9.2.11 封头的水压试验压力 \$p_w\$ 按有关锅炉制造技术条件选取,但应满足:

$$p_w \leq [p_{sw}] \quad \dots\dots\dots(86)$$

水压试验最高允许压力按式(87)计算:

$$[p_{sw}] = \frac{0.9(\beta^2 - 1)}{(2 + \beta^2)Y + (\beta^2 - 1)} \phi_{sw} \sigma_s \quad \dots\dots\dots(87)$$

式中, \$\beta = 1 + 2\delta_n/D_n\$。

同时,封头的水压试验压力 \$p_w\$ 也不应超过按式(29)所确定的封头直段水压试验的最高允许压力。

9.2.12 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;若集箱筒体的 \$\delta_n/\delta_s < 0.5\$,且额定压力不大于2.5 MPa,则可将9.2.3中 \$d/D_n\$ 的限制放宽至 \$d/D_w\$ 不大于0.8。

9.3 开孔要求

凸形封头上开孔应满足下列条件:

- a) 如封头上除中心人孔外还开有其他孔时,若孔径大于38 mm,则任意两孔边缘之间的投影距离 \$L\$ 不应小于 \$(L_1 + L_2)/3\$;若孔径不大于38 mm,则任意两孔边缘之间的投影距离 \$L\$ 不应小于 \$L_2\$ (图11)。
- b) 对于 \$h_n/D_n \leq 0.35\$ 的椭球封头,孔边缘至封头外壁边缘之间的投影距离不应小于 \$0.1D_n + \delta\$ (图11)。对于 \$h_n/D_n > 0.35\$ 的深椭球封头和球形封头,孔边缘至封头与直段交接处的弧长 \$l\$ 不应小于 \$\sqrt{D_n \delta_n}\$ (图12)。
- c) 位于扳边人孔附近的孔,除满足上述条件外,还应使开孔边缘与孔扳边弯曲起点之间的距离(或者与焊接圈焊缝之间的距离)不小于 \$\delta\$ (图13)。
- d) 扳边孔不应开在焊缝上。
- e) 当封头上有如图12所示的封闭人孔用密封面切口时,切口部位径向最小剩余厚度不应小于封头成品最小需要厚度 \$\delta_{min}\$。

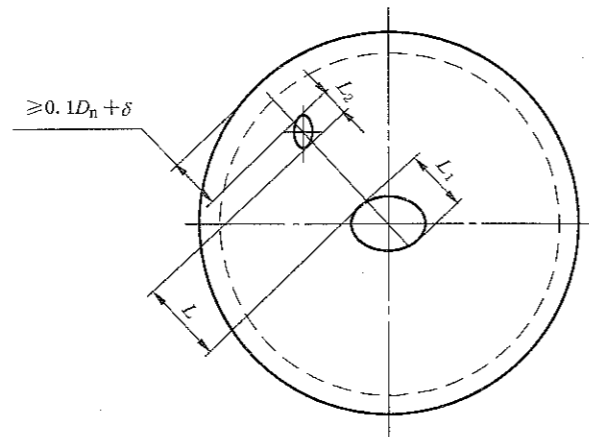


图 11 对开孔位置的要求

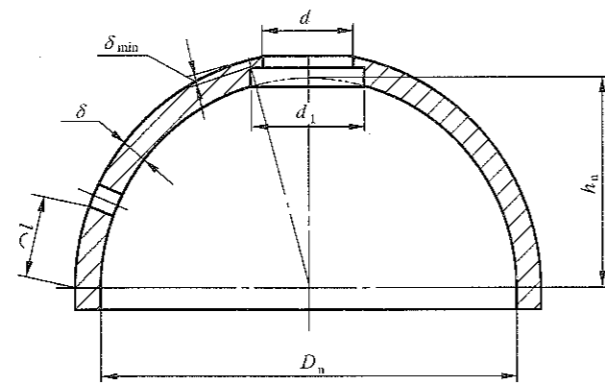


图 12 对开孔位置的要求

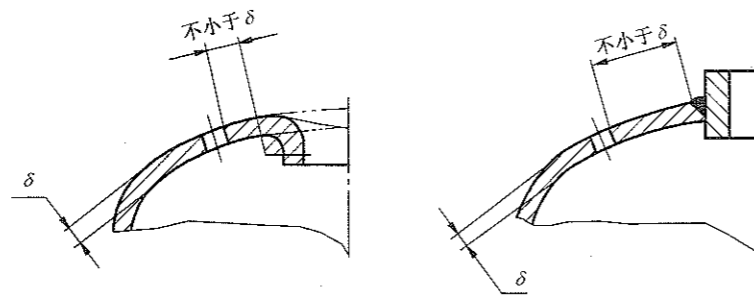


图 13 对开孔位置的要求

10 平端盖及盖板

10.1 符号

本章所用符号的含义和单位如下:

- δ_s ——平端盖或盖板的设计厚度, mm;
- δ_1 ——平端盖或盖板的取用厚度, mm;
- δ_2 ——平端盖环形凹槽处的最小厚度, mm;
- δ_3 ——盖板螺栓连接部位或密封面处环状部位的厚度, mm;

- δ ——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;
- D_n ——与平端盖相连接处的集箱筒体内径, mm;
- D_c ——盖板的计算尺寸, mm;
- a ——椭圆盖板的长半轴(公称尺寸), mm;
- b ——椭圆盖板的短半轴(公称尺寸), mm;
- d ——平端盖开孔直径, mm;
- p ——计算压力, MPa;
- $[p]$ ——校核计算最高允许计算压力, MPa;
- $[p_{sw}]$ ——水压试验最高允许压力, MPa;
- $[\sigma]$ ——许用应力, MPa;
- σ_s ——材料在 20℃ 时的屈服点或规定非比例伸长应力($\sigma_{0.2}$), MPa;
- η ——基本许用应力的修正系数;
- K ——结构特性系数;
- K_i ——焊角高度($i=1,2$), mm;
- h ——钝边高度, mm;
- Y ——盖板的形状系数;
- r ——平端盖内转角过渡圆弧半径, mm;
- l ——平端盖直段部分的长度, mm。

10.2 平端盖

10.2.1 平端盖的设计厚度按式(88)计算:

$$\delta_s = KD_n \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} \dots\dots\dots (88)$$

平端盖取用厚度应满足:

$$\delta_1 \geq \delta_s$$

10.2.2 校核计算时,平端盖的最高允许计算压力按式(89)计算:

$$[p] = \left(\frac{\delta_1}{KD_n}\right)^2 [\sigma] \dots\dots\dots (89)$$

同时, $[p]$ 也不应超过按式(37)所确定的平端盖直段的最高允许压力。

10.2.3 结构特性系数 K 按表 17 选取。平端盖的内转角圆弧半径 r 、直段部分的长度 l 应符合表 17 所规定的要求。

10.2.4 平端盖的计算压力 p 取相连筒体的计算压力。

10.2.5 平端盖的计算壁厚 t_b 按 5.4 确定。基本许用应力的修正系数 η 按表 17 选取。

10.2.6 平端盖的水压试验最高允许压力按式(90)计算:

$$[p_{sw}] = 0.9 \left(\frac{\delta_1}{KD_n}\right)^2 \sigma_s \dots\dots\dots (90)$$

在确定平端盖的水压试验最高允许压力时,还应考虑平端盖直段的水压试验最高允许压力(见 7.8)。

10.2.7 平端盖上中心孔的直径或长轴尺寸与集箱筒(与平端盖相连接处)的内径之比值不应大于 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 $2\delta_s$; 孔不应开在内转角圆弧处。

10.2.8 平端盖直段部分的厚度 δ 不应小于按 7.2.1 当减弱系数 $\varphi_{min}=1.00$ 时所确定的成品最小需要厚度。

表 17 平端盖的结构特性系数 K 和修正系数 η

序号	平端盖型式	结构要求	K		η		备注
			无孔	有孔	$l \geq 2\delta$	$2\delta > l \geq \delta$	
1		$r \geq \frac{2}{3}\delta$ $l \geq \delta$	0.40	0.45	1.05	1.00	推荐优先采用的结构型式
2		$r \geq 1.5\delta$ $\delta_2 \geq 0.8\delta_1$	0.40	0.45		0.90	
3		$r \geq 3\delta$ $l \geq \delta$	0.40	0.45	1.00	0.95	

表 17(续)

序号	平端盖型式	结构要求	K		η		备注
			无孔	有孔	$l \geq 2\delta$	$2\delta > l \geq \delta$	
4		$r \geq \frac{1}{3}\delta$ 且 $r \geq 5 \text{ mm}$ $\delta_2 \geq 0.8\delta_1$	0.40	0.45		0.90	用于锅炉 额定压力 不大于 6.3 MPa
5		$h \leq (1 \pm 0.5)\text{mm}$	0.60	0.70		0.85	用于锅炉 额定压力 不大于 2.5 MPa 且 D_n 不大于 426 mm
6		$k_1 \geq \delta$ $k_2 \geq \delta$ $h \leq (1 \pm 0.5)\text{mm}$	0.60	0.70		0.85	用于锅炉 额定压力 不大于 2.5 MPa 且 D_n 不大于 426 mm
			0.40	0.40		1.05	用于水压 试验 ^a

^a 用于水压试验时可以不开或开小坡口。

10.3 盖板

10.3.1 盖板设计厚度按式(91)计算:

$$\delta_s = KYD_c \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} \dots\dots\dots (91)$$

盖板取用厚度应满足：

$$\delta_1 \geq \delta_2$$

10.3.2 校核计算时，盖板的最高允许计算压力按式(92)计算：

$$[p] = 3.3 \left(\frac{\delta_1}{YD_c} \right)^2 [\sigma] \dots\dots\dots(92)$$

10.3.3 形状系数 Y 按表 18 选取。

表 18 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。

10.3.4 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 14), K=0.50, D_c取法兰密封面的中心线尺寸。

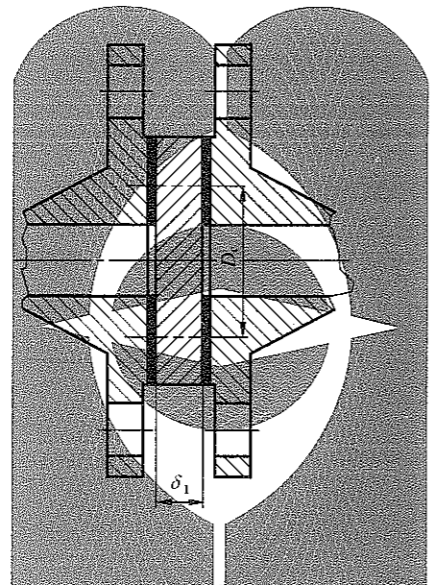


图 14 盲板

b) 凸面法兰式盖板(图 15), K=0.55, D_c取法兰螺栓中心线尺寸。

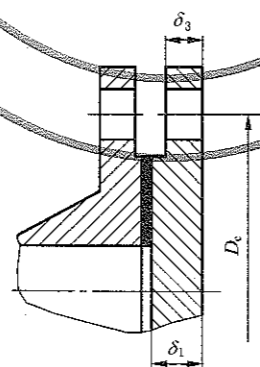


图 15 凸面法兰式盖板

c) 平面法兰式盖板(图 16), K=0.45, D_c取螺栓中心线尺寸。

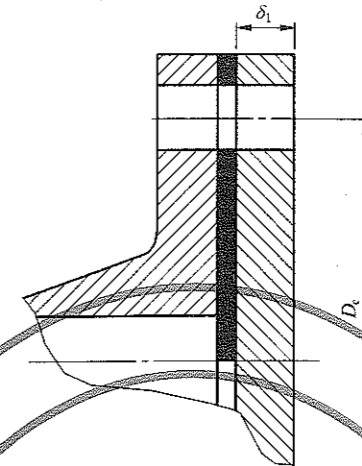


图 16 平面法兰式盖板

d) 受内压的孔盖板(图 17), K=0.55, 圆形盖板 D_c取孔圈密封接触面的中心线尺寸; 椭圆形盖板 D_c取孔圈短轴密封接触面的中心线尺寸。

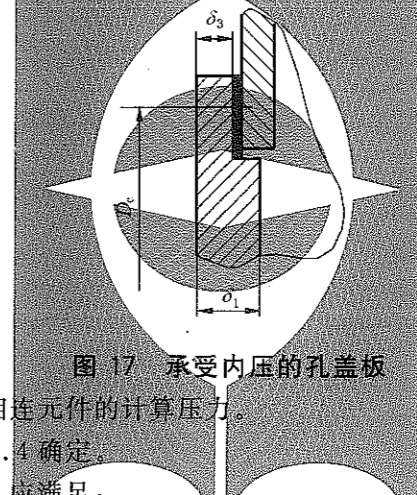


图 17 承受内压的孔盖板

10.3.5 盖板的计算压力 p 取相连元件的计算压力。

10.3.6 盖板的计算壁厚 δ₁ 按 5.4 确定。

10.3.7 盖板的连接处的厚度 δ₃ 应满足：

$$\delta_3 \geq 0.8\delta_1$$

10.3.8 盖板的水压试验最高允许压力按式(93)计算：

$$[p_w] = 0.9 \left(\frac{\delta_1}{KYD_c} \right)^2 \sigma_s \dots\dots\dots(93)$$

在确定盖板的水压试验最高允许压力时，还应考虑与其连接的受压元件的水压试验最高允许压力。

11 孔的补强

本章规定仅适用于 d/D_n<0.8, 且 d<600 mm 的径向开孔。若为椭圆孔，则仅适用于长轴与短轴之比不大于 2 的开孔，此时 d 为椭圆孔长轴尺寸。

11.1 符号

本章所用符号的含义和单位如下：

- D_w——集箱筒体的外径, mm;
- D_n——锅筒筒体、集箱筒体的内径, mm;
- d_w——焊接管接头、管子的外径, mm;

- d_n ——焊接管接头、管子的内径,mm;
- d ——锅筒筒体、集箱筒体上孔的直径,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;
- $[d]$ ——未补强孔的最大允许直径,mm;
- $[d]_d$ ——孔桥补强计算时的最大允许当量直径,mm;
- δ_0 ——强度未减弱的锅筒筒体或集箱筒体的理论计算厚度,mm;
- δ_y ——锅筒筒体、集箱筒体的有效厚度,mm;
- δ ——锅筒筒体、集箱筒体的取用厚度,mm;
- δ_{10} ——补强管接头的理论计算厚度,mm;
- δ_{1y} ——补强管接头的有效厚度,mm;
- δ_1 ——补强管接头的取用厚度,简称“管接头厚度”,mm;
- δ_2 ——补强垫板的厚度,mm;
- δ ——补强管接头的有效高度,mm;
- δ_1 ——补强管接头伸出锅筒筒体、集箱筒体内壁的尺寸,mm;
- b ——锅筒筒体或集箱筒体的有效补强宽度,mm;
- p ——计算压力,MPa;
- $[\sigma]$ ——锅筒筒体、集箱筒体的许用应力,MPa;
- $[\sigma]_1$ ——管接头的许用应力,MPa;
- $[\sigma]_2$ ——垫板的许用应力,MPa;
- φ_w ——被补强孔桥在未补强前按孔径计算的纵向、两倍横向或斜向当量减弱系数;
- $[\varphi]$ ——允许最小减弱系数;
- s ——纵向相邻两孔的节距,mm;
- s' ——横向相邻两孔的节距,mm;
- s'' ——斜向相邻两孔的节距,mm;
- A ——纵截面上补强需要的面积,mm²;
- A_1 ——纵截面内起补强作用的焊缝面积,mm²;
- A_2 ——纵截面内起补强作用的管接头面积,mm²;
- A_3 ——纵截面内起补强作用的垫板面积,mm²;
- A_4 ——纵截面内起补强作用的锅筒筒体或集箱筒体的面积,mm²;
- e ——纵截面内焊接管接头的焊脚高度,mm;
- K ——斜向孔桥的换算系数;
- k ——系数。

11.2 未补强孔及其最大允许直径

11.2.1 胀接孔、螺丝孔和其他不施焊的孔均为未补强孔;如管接头与锅筒筒体或集箱筒体连接的焊接型式不符合 11.3 规定的补强结构型式,或虽符合 11.3 规定的补强结构型式,但不满足 11.4.4 要求的孔,均视为未补强孔。

11.2.2 对插入式整体焊接管接头、插入式双面角焊管接头(或孔圈),当管接头(或孔圈)材料的许用应力 $[\sigma]_1$ 小于筒体材料的许用应力 $[\sigma]$ 时,本章补强计算中的 d 应取管接头(或孔圈)内径与 $2\delta_1[1-([\sigma]_1/[\sigma])]$ 之和。

11.2.3 锅筒筒体或集箱筒体上的未补强孔,其最大允许直径不应超过按图 18 和图 19 所确定的 $[d]$ 值。

对于锅筒筒体,图中的 δ_y 按式(13)计算,系数 k 按式(94)计算:

$$k = \frac{pD_n}{(2[\sigma] - p)\delta_y} \dots\dots\dots(94)$$

对于集箱筒体,图中的 D_n 按 $D_n = D_w - 2\delta_y$ 计算, δ_y 按式(36)计算,系数 k 按式(95)计算:

$$k = \frac{p(D_w - 2\delta_y)}{(2[\sigma] - p)\delta_y} \dots\dots\dots(95)$$

当 $D_n\delta_y > 130 \times 10^3 \text{ mm}^2$ 时,按 $D_n\delta_y = 130 \times 10^3 \text{ mm}^2$ 查取;若查出的 $[d] > 200 \text{ mm}$ 时,取 $[d] = 200 \text{ mm}$ 。

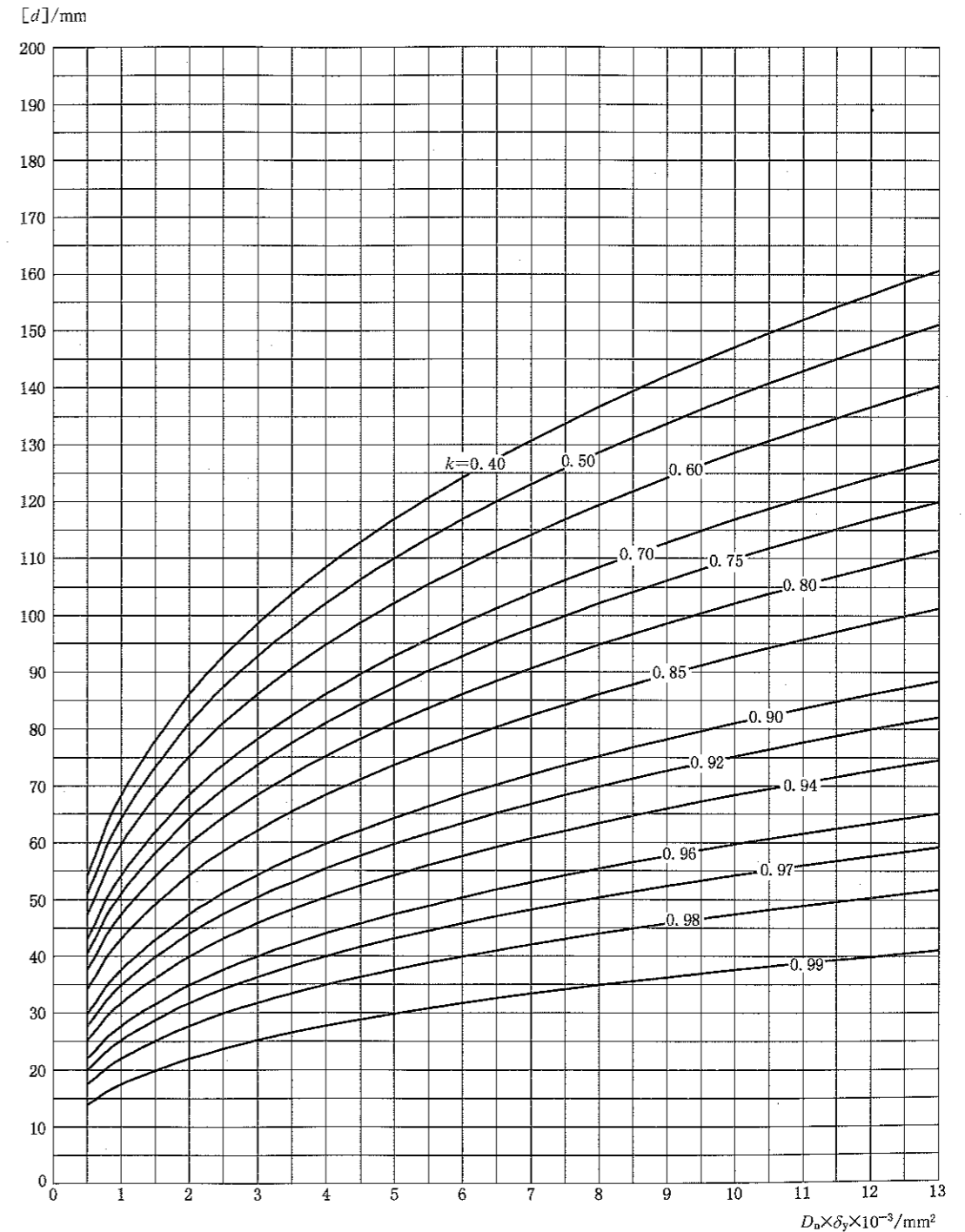


图 18 未补强孔的最大允许直径

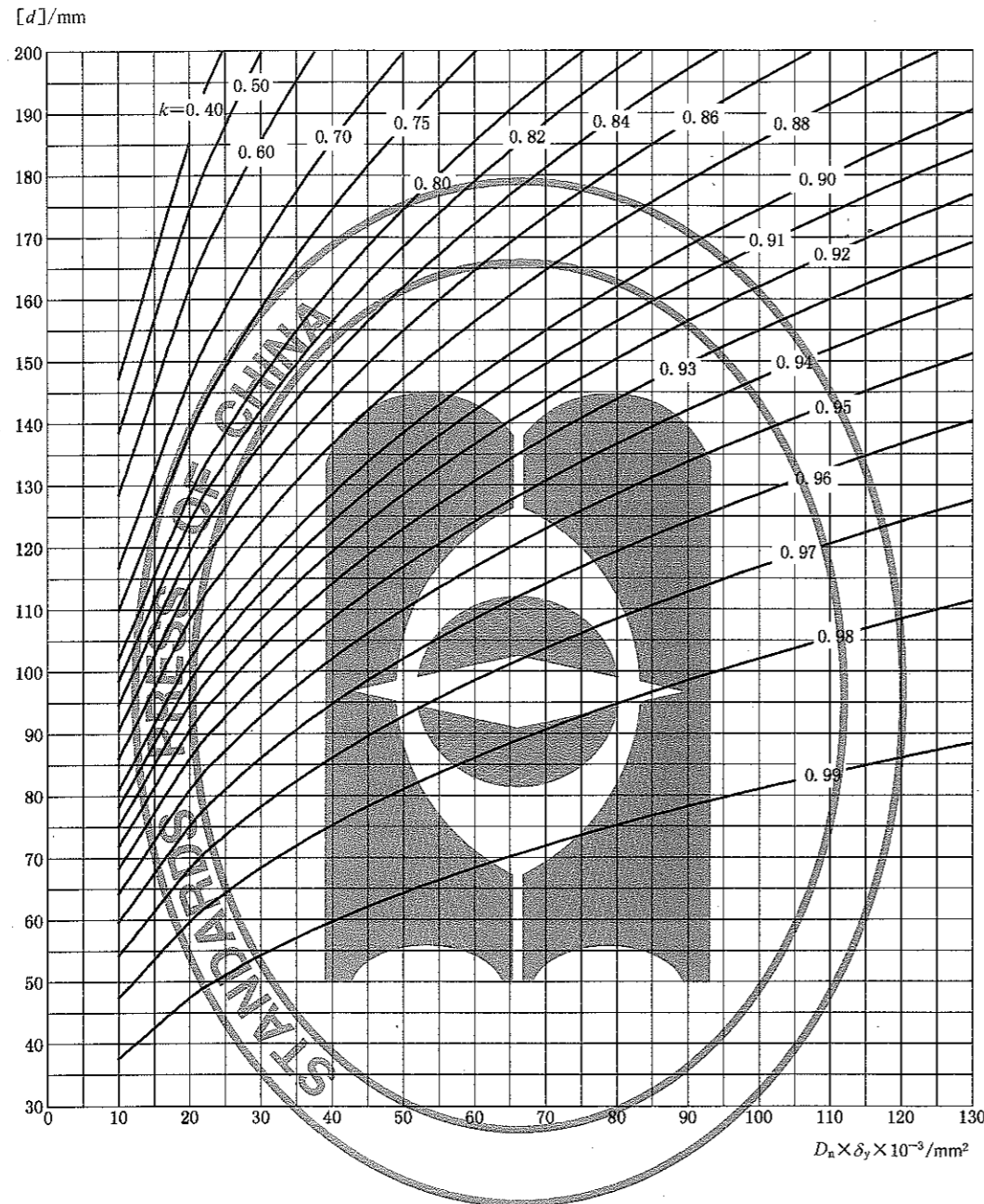


图 19 未补强孔的最大允许直径

11.3 孔的补强结构

图 20 所示的结构型式视为补强结构,其中 a)、b)、c) 的结构型式只适用于额定压力不大于 2.5 MPa 的锅炉。同时,a) 的结构型式仅适用于不受热锅炉筒体,其补强计算方法视同 d) 型整体焊接结构处理。

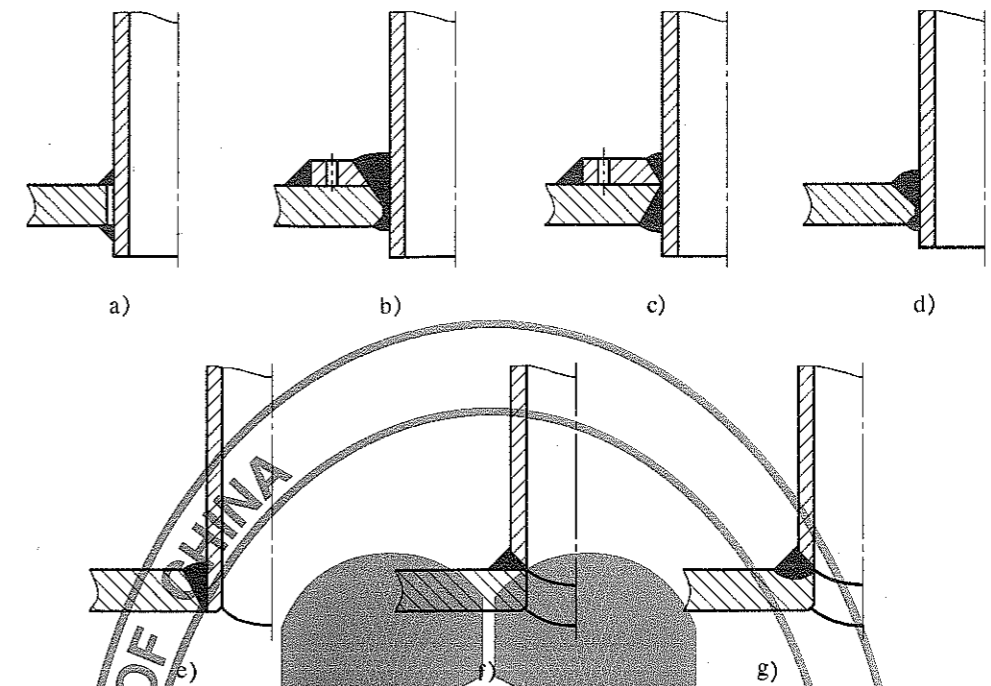


图 20 孔的补强结构型式

11.4 孔的补强计算

11.4.1 开孔直径大于按 11.2.3 确定的未补强孔最大允许直径的单孔或开孔直径大于按 11.2.3 确定的未补强孔最大允许直径,且节距不小于按式(18)确定的值的相邻两孔,应按 11.4.2~11.4.4 进行补强。

11.4.2 当锅炉筒体或集箱筒体的系数 $k > 0.40$ 时,如果锅炉筒体或集箱筒体上的开孔直径超过按 11.2.3 所确定的未补强孔的最大允许直径,应采用 11.3 规定的补强结构予以补强。当系数 $k \leq 0.40$ 时,不必进行补强。

11.4.3 开孔补强的有效范围为表 19 图中 ABCD 内所示的范围。

有效补强高度按以下规定选取:

$\delta_1/d_n \leq 0.19$ 时,取 $h = 2.5\delta_1$ 和 $h = 2.5\delta$ 中的较小值;

$\delta_1/d_n > 0.19$ 时,取 $h = \sqrt{(d_n + \delta_1)\delta_1}$;

有效补强宽度取: $b = 2a_n$;

如为椭圆孔,则 d_n 为纵截面上的尺寸。

11.4.4 开孔补强应满足以下条件:

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \geq A \quad \dots\dots\dots (96)$$

且补强所需面积的 2/3 应分布在孔边 1/4 孔径的范围内。

当采用表 19 所列的补强结构时,式(96)中各面积的计算方法如表中所示。表中 δ_0 、 δ_{10} 按下列公式计算:

对于锅炉筒体:

$$\delta_0 = \frac{pD_n}{2[\sigma] - p} \quad \dots\dots\dots (97)$$

对于集箱筒体:

$$\delta_0 = \frac{p(D_w - 2\delta_y)}{2[\sigma] - p} \quad \dots\dots\dots (98)$$

对于管接头:

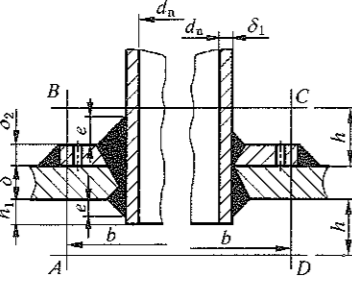
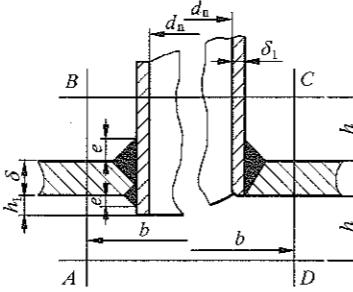
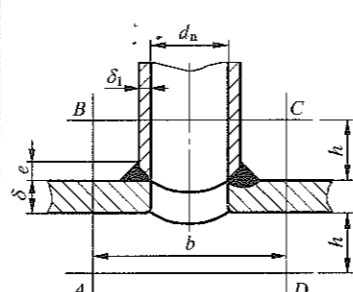
$$\delta_{10} = \frac{p(d_w - 2\delta_{1y})}{2[\sigma]_1 - p} \dots\dots\dots(99)$$

对于椭圆孔, d_w 系指长轴尺寸。

δ_y 按式(36)计算, δ_{1y} 参照式(56)计算。

当补强元件钢材的许用应力大于被补强元件钢材的许用应力时, 则按被补强元件钢材的许用应力计算。

表 19 孔的补强面积范围及计算

型式	图 20 中 b) 和 c)	图 20 中 d) 和 e)	图 20 中 f) 和 g)
补强范围			
	$\delta_2 < \delta, h_1 \leq h$	$h_1 \leq h$	
A	$[d_n + 2\delta_{1y} (1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]})] \delta_0$	$[d_n + 2\delta_{1y} (1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]})] \delta_0$	$d_n \delta_0$
A ₁	$2e^2$	$2e^2$ (或 e^2)	e^2
A ₂	$[2h(\delta_{1y} - \delta_{10}) + 2h_1 \delta_{1y}] \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}$	$[2h(\delta_{1y} - \delta_{10}) + 2h_1 \delta_{1y}] \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}$	$2h(\delta_{1y} - \delta_{10}) \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}$
A ₃	$0.8\delta_2(b - d_n - 2\delta_1) \frac{[\sigma]_2}{[\sigma]}$	0	0
A ₄	$[d_n - 2\delta_{1y} (1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]})] (\delta_y - \delta_0)$	$[d_n - 2\delta_{1y} (1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]})] (\delta_y - \delta_0)$	$d_n (\delta_y - \delta_0)$

注: 对于图 20 中的 f) 和 g) 结构型式, 开孔直径 d 与管接头内径 d_n 不同时, d_n 用 d 代替。

11.5 孔桥的补强计算

本节计算适用于相邻两孔节距小于按式(18)确定的值, 且两孔直径均小于按 11.2.3 确定的未补强孔的最大允许直径的孔桥。

11.5.1 相邻两孔节距小于按式(18)确定的值的孔桥, 若其中有一个孔的直径大于按 11.2.3 确定的未补强孔的最大允许直径时, 应在满足 11.5.2 中 a)、b) 要求的条件下, 按 11.4.2 至 11.4.4 进行补强。若该两孔节距 s 小于两孔直径之和时, 11.4.3 中的有效补强宽度取 $b = 2(s - d_1)$, d_1 为两孔中的小孔直径。补强后, 该孔在该孔桥中按无孔处理。若两孔直径均大于按 11.2.3 确定的未补强孔的最大允许直径时, 按第 13 章的有关规定处理。

11.5.2 锅筒筒体或集箱筒体上纵向、横向或斜向孔桥用管接头补强, 以提高孔桥减弱系数时, 首先应满足以下要求:

- a) 采用如图 20 中的 d)、e)、f)、g) 所示的焊接结构。
- b) 允许最小减弱系数应符合式(100):

$$[\varphi] < \frac{4}{3} \varphi_w \dots\dots\dots(100)$$

11.5.3 对锅筒筒体或集箱筒体上纵向、横向或斜向孔桥进行补强计算时, 最大允许当量直径 $[d]_d$ 按下

列公式计算:

对于纵向孔桥:

$$[d]_d = (1 - [\varphi])s \dots\dots\dots(101)$$

对于横向孔桥:

$$[d]_d = \left(1 - \frac{[\varphi]}{2}\right)s' \dots\dots\dots(102)$$

对于斜向孔桥:

$$[d]_d = \left(1 - \frac{[\varphi]}{K}\right)s'' \dots\dots\dots(103)$$

允许最小减弱系数 $[\varphi]$ 按式(12)或式(35)计算, 斜向孔桥的换算系数 K 按式(22)计算。

11.5.4 用于补强孔桥的管接头(图 21)应满足下述条件:

a) 对于相邻管接头结构、尺寸相同的孔桥:

$$A_1 + A_2 \geq \left(\frac{A}{\delta_0} - [d]_d\right)\delta_y \dots\dots\dots(104)$$

式中, A 、 A_1 及 A_2 按表 19 中的公式计算。

b) 对于相邻管接头结构、尺寸不同的孔桥:

$$A'_1 + A'_2 + A''_1 + A''_2 \geq \left(\frac{A' + A''}{\delta_0} - 2[d]_d\right)\delta_y \dots\dots\dots(105)$$

式中, A' 、 A'_1 、 A'_2 和 A'' 、 A''_1 、 A''_2 分别按表 19 中计算 A 、 A_1 、 A_2 的公式计算。

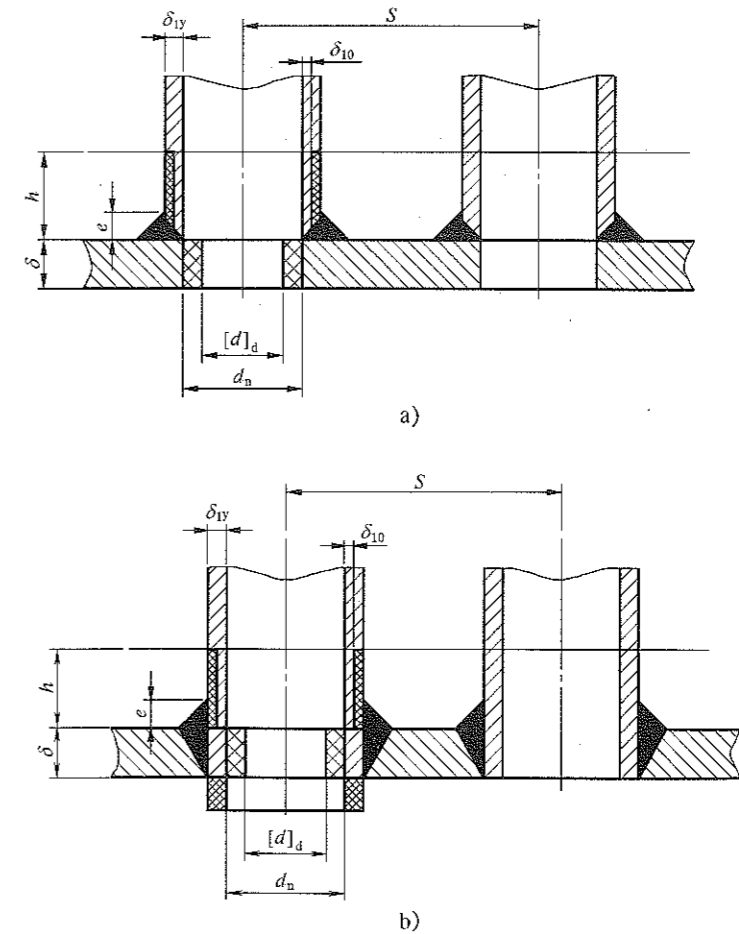


图 21 用管接头补强的孔桥

11.6 焊缝强度的校核计算

补强元件与锅筒筒体或集箱筒体的角焊缝强度,可按 JB/T 6734 进行验算。

补强元件的焊缝计算高度取焊脚高度。

12 异形元件

12.1 符号

本章所用符号的含义和单位如下:

- δ_L ——焊制三通和锻造三通主管、热挤压三通过渡区及等径叉形管的理论计算厚度,mm;
- δ_{1L} ——焊制三通和锻造三通支管的理论计算厚度,mm;
- δ_{min} ——焊制三通和锻造三通主管、热挤压三通过渡区及等径叉形管的成品最小需要厚度,mm;
- δ_{1min} ——焊制三通和锻造三通支管的成品最小需要厚度,mm;
- δ_b ——热挤压三通支管的成品最小需要厚度,mm;
- δ_c ——热挤压直型三通主管圆筒部分的上部成品最小需要厚度、或鼓型三通缩口前主管圆筒部分的上部成品最小需要厚度,mm;
- δ_d ——热挤压直型三通主管圆筒部分的下部成品最小需要厚度,mm;
- δ_{d1} ——热挤压鼓型三通缩口后主管圆筒部分的下部成品最小需要厚度,mm;
- δ_{d2} ——热挤压鼓型三通缩口后主管圆筒部分的上部成品最小需要厚度,mm;
- δ_e ——热挤压鼓型三通缩口前主管圆筒部分的下部成品最小需要厚度,mm;
- δ_s ——焊制三通主管的设计计算厚度,mm;
- δ_{1s} ——焊制三通支管的设计计算厚度,mm;
- δ ——焊制三通主管的取用厚度,mm;
- δ_1 ——焊制三通支管的取用厚度,mm;
- δ_y ——焊制三通和锻造三通主管、热挤压三通过渡区和等径叉形管的有效厚度,mm;
- δ_{1y} ——焊制三通和锻造三通支管的有效厚度,mm;
- C ——设计计算考虑腐蚀减薄、工艺减薄和钢管厚度负偏差的附加厚度,mm;
- C' ——校核计算考虑腐蚀减薄、工艺减薄和钢管厚度负偏差的附加厚度,mm;
- C_1 ——考虑腐蚀减薄的附加厚度,mm;
- D_w ——三通主管和等径叉形管的外径,mm;
- D_n ——三通主管和等径叉形管的内径,mm;
- D_p ——三通主管的平均直径,mm;
- d_w ——三通支管的外径,mm;
- d_n ——三通支管的内径,mm;
- d_{max} ——热挤压三通满足过渡区强度要求的支管最大内径,mm;
- d_p ——焊制三通和锻造三通支管的平均直径,mm;
- h ——热挤压三通支管最小高度(见图 25、图 26),mm;
- R ——热挤压三通肩部最大过渡半径(见图 27、图 28),mm;
- L ——热挤压三通主管限制开孔最小长度(见图 29、图 30),mm;
- L_1 ——热挤压三通主管最小半长(见图 25、图 26),mm;
- L_2 ——接管焊缝的外边缘至焊制三通焊缝的外边缘(或至锻造三通内壁相贯线)的距离,mm;
- β ——按三通主管和等径叉形管有效厚度算出的外径与内径的比值;
- β_L ——按三通主管和等径叉形管理论计算厚度算出的外径与内径的比值;
- p ——计算压力,MPa;
- $[p]$ ——校核计算最高允许计算压力,MPa;

$[\sigma]$ ——许用应力,MPa;

φ_y ——减弱系数;

α ——热挤压三通支管限制开孔中心角(见图 31),($^\circ$);

$X、Y$ ——系数;

d_B ——补强筋的直径,mm;

δ_B ——补强板的厚度,mm;

h_B ——补强板的高度,mm。

12.2 无缝钢管焊制三通

12.2.1 焊制三通的理论计算厚度按下列公式计算:

对于主管:

$$\delta_L = \frac{pD_w}{2\varphi_y[\sigma] + p} \dots\dots\dots(106)$$

对于支管:

$$\delta_{1L} = \delta_L \frac{d_w}{D_w} \dots\dots\dots(107)$$

焊制三通的成品最小需要厚度按下列公式计算:

对于主管:

$$\delta_{min} = \delta_L + C_1 \dots\dots\dots(108)$$

对于支管:

$$\delta_{1min} = \delta_{1L} + C_1 \dots\dots\dots(109)$$

焊制三通的设计计算厚度按下列公式计算:

对于主管:

$$\delta_s = \delta_L + C \dots\dots\dots(110)$$

对于支管:

$$\delta_{1s} = \delta_{1L} + C \dots\dots\dots(111)$$

焊制三通的取用厚度应满足:

对于主管:

$$\delta \geq \delta_s$$

对于支管:

$$\delta_1 \geq \delta_{1s}$$

12.2.2 校核计算时,焊制三通的最高允许计算压力按公式(112)计算:

$$[p] = \frac{2\varphi_y[\sigma]\delta_y}{D_w - \delta_y} \dots\dots\dots(112)$$

有效厚度 δ_y 按公式(113)计算:

$$\delta_y = \delta - C' \dots\dots\dots(113)$$

δ_y 也可取实际最小厚度减去腐蚀减薄值。

12.2.3 式(106)、式(107)及式(112)适用于 $D_w \leq 813\text{mm}$ 、 $d_n/D_n \geq 0.8$ 的范围。

12.2.4 焊制三通的计算压力 p 取相连元件的计算压力。

12.2.5 焊制三通的计算壁厚 t_b 按 5.4 确定。

12.2.6 图 22 为单筋、蝶式补强焊制三通的结构型式。用厚度补强的焊制三通,应采用图 20 中 e)、f)、g)接管型式。减弱系数 φ_y 按表 20 确定,表中 β 值按式(46)计算, β_L 值按式(38)计算。

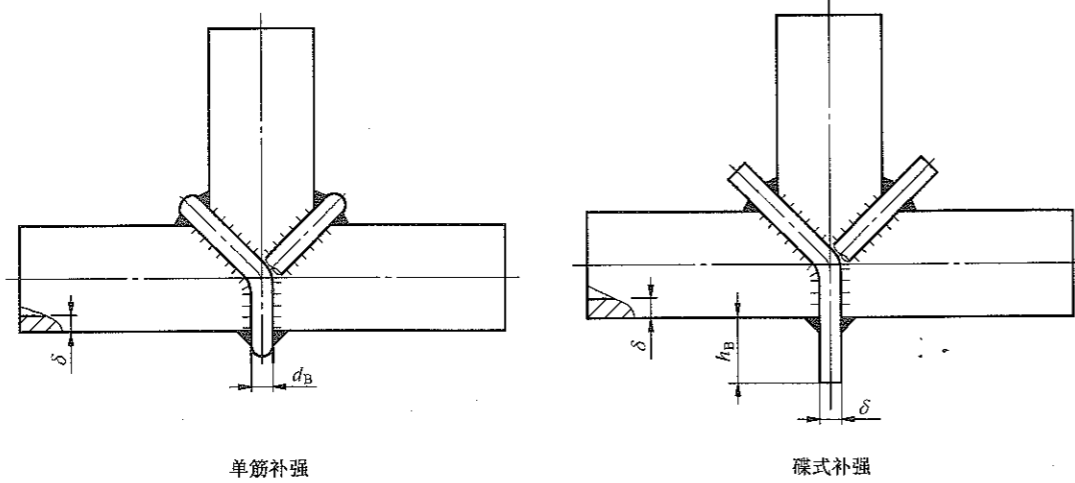


图 22 焊制三通的单筋、碟式补强型式

表 20 焊制三通的减弱系数 φ_y

t_{bi}	β, β_L, D_w	补强型式	φ_y
小于钢材持久强度对基本许用应力起控制作用的温度	$1.05 \leq \beta < 1.10^a$	碟式	0.90
	$1.10 \leq \beta$ 且 $\beta_L \leq 1.50$	碟式	0.90
		单筋	0.90
		厚度	按式(114)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	$1.05 \leq \beta < 1.10$	碟式	按式(114)计算
	$1.10 \leq \beta < 1.25$ 且 $273 \text{ mm} < D_w \leq 813 \text{ mm}$	碟式或单筋	按式(114)计算
	$1.10 \leq \beta < 1.25$ 且 $D_w \leq 273 \text{ mm}$	碟式或单筋	0.70
	$1.25 < \beta$ 且 $\beta_L \leq 2.00$	厚度	按式(114)计算
	$1.25 < \beta$ 且 $\beta_L \leq 1.50$	碟式或单筋	0.70

^a 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 $D_w \leq 273 \text{ mm}$ 时,可用厚度补强型式,减弱系数 φ_y 取式(114)计算值的 2/3。

12.2.7 三通减弱系数按公式(114)计算:

$$\varphi_y = \frac{1}{1.20 [1 + X \sqrt{1 + Y^2} / (2Y)]} \dots\dots\dots (114)$$

式中:

$$X = d_n^2 / (D_p d_p);$$

$$Y = 4.05 (\delta_y^2 + \delta_{iy}^2) / (\delta_y^2 \sqrt{D_p \delta_y}).$$

12.2.8 焊制三通的附加厚度 C, C' 按 7.5、7.6 的规定计算。

12.2.9 焊制三通补强元件的材质应与焊制三通主管的材质相同,其尺寸应满足表 21 所要求的值。

12.2.10 不绝热的焊制三通,其最大允许厚度应符合 7.7 的规定。

12.2.11 在图 23 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_w 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(106)、式(112)确定三通理论计算厚度和最高允

许计算压力时, φ_y 取由 12.2.6 确定的 φ_y 及参照 6.4 规定求得的最小孔桥减弱系数 φ_{min} 中的小者。

12.2.12 焊制三通的水压试验压力按有关锅炉制造技术条件取用,但不应超过按 7.8 所确定的值。

表 21 补强元件的尺寸要求

单位为毫米

补强型式	补强元件尺寸	
	$\delta \leq 20$	$\delta > 20$
碟式	$\delta_B = \delta$ $h_B = 6\delta$	$\delta_B = \delta$ $h_B = 120$
单筋	$d_B = 1.5\delta$	

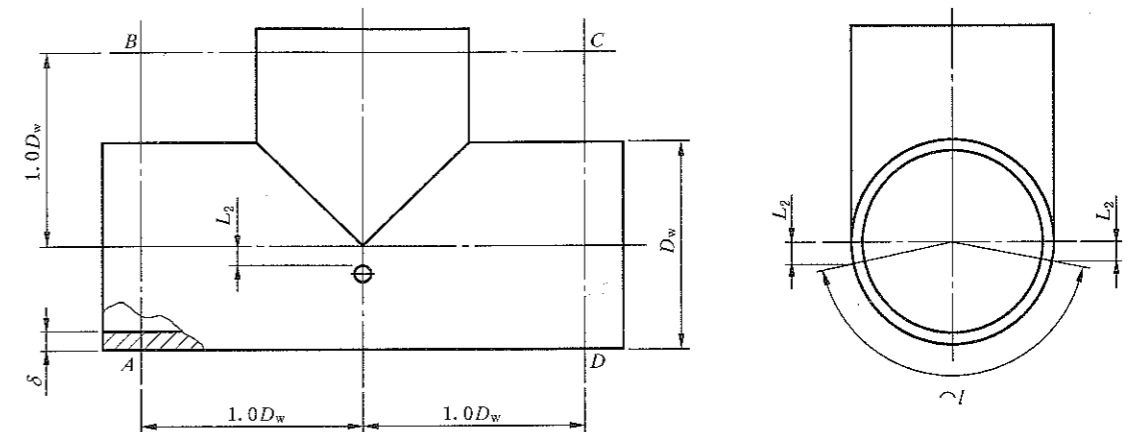


图 23 焊制三通区域

12.3 锻造三通

12.3.1 锻造三通成品最小需要厚度、最高允许计算压力和 β, β_L 的计算公式,计算压力、计算壁温、不绝热锻造三通的最高允许厚度、水压试验压力,均按焊制三通的规定处理。

12.3.2 锻造三通采用厚度补强,其减弱系数 φ_y 按式(114)计算。

12.3.3 锻造三通的上述规定,当其计算壁温 t_{bi} 小于钢材持久强度对基本许用应力起控制作用的温度时,适用于 $1.10 \leq \beta$ 且 $\beta_L \leq 1.50$; 当其计算壁温 t_{bi} 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,适用于 $1.25 < \beta$ 且 $\beta_L \leq 2.00$ 。

12.3.4 锻造三通的结构要求如图 24 所示,图中圆角半径可取以下两值中的较小者:

- a) 10 mm;
- b) 转角处较厚部分厚度的 1/4。

12.3.5 如图 24 所示的锻造三通,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_w 的 1/4,而且以 60 mm 为限,接管焊缝的外边缘至三通内壁上相贯线的距离 L_2 不应小于 20 mm。若为孔桥,按 12.2.11 办法处理。

12.4 热挤压三通

本条热挤压三通的强度计算方法只适用于无缝钢管经多套模具热挤压成型的直型三通和鼓型三通。直型三通系指支管直径不大于主管直径的三通,三通的主流通道成直线形,如图 25 所示。

鼓型三通系指支管直径大于主管直径的三通,它由等径直型三通锻缩而成,锻缩处圆滑过渡,三通的主流通道成鼓型,如图 26 所示。

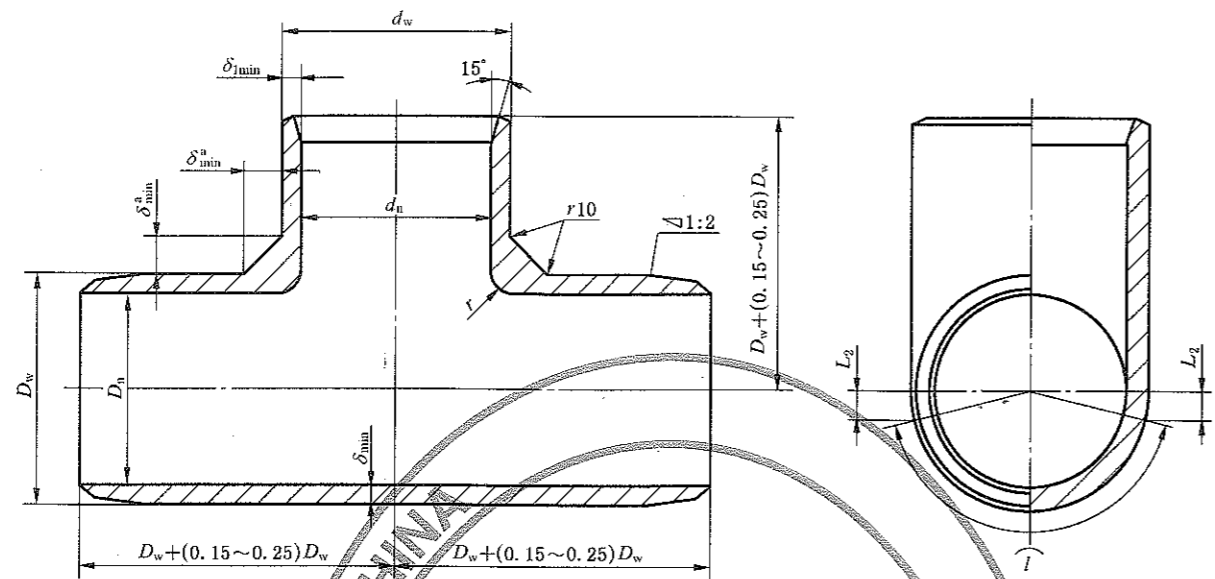


图 24 锻造三通结构

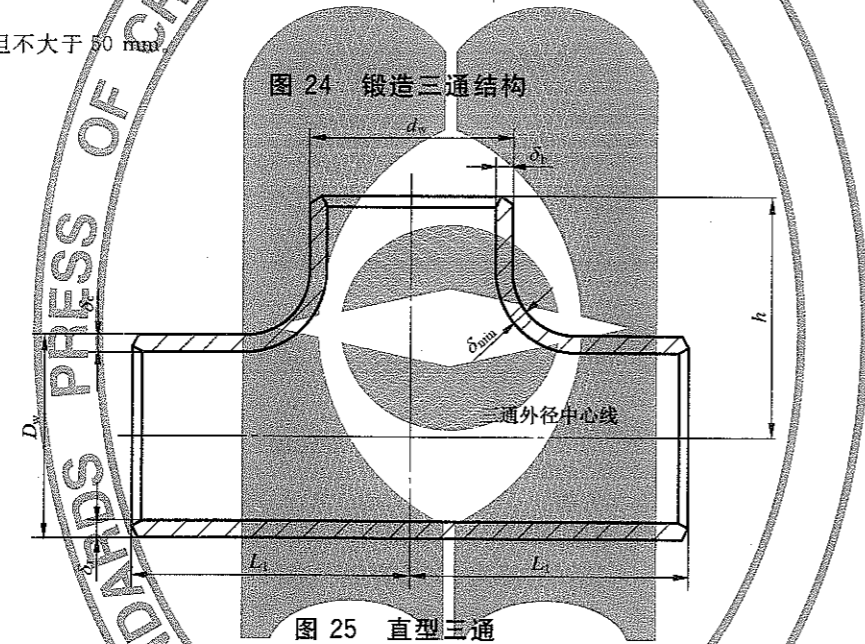


图 25 直型三通

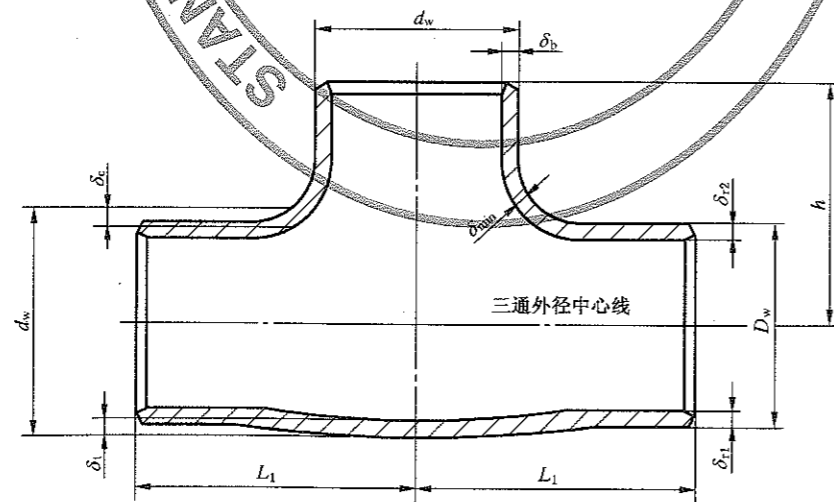


图 26 鼓型三通

- 12.4.1 热挤压三通主管和支管的管端圆筒体部分的成品最小需要厚度按式(33)计算。
- 12.4.2 热挤压三通计算压力 p 取相连元件的计算压力, 计算壁温 t_{bi} 按 5.4 确定。
- 12.4.3 热挤压三通过渡区(见图 27、图 28 中 ABCD 区域)的厚度计算。

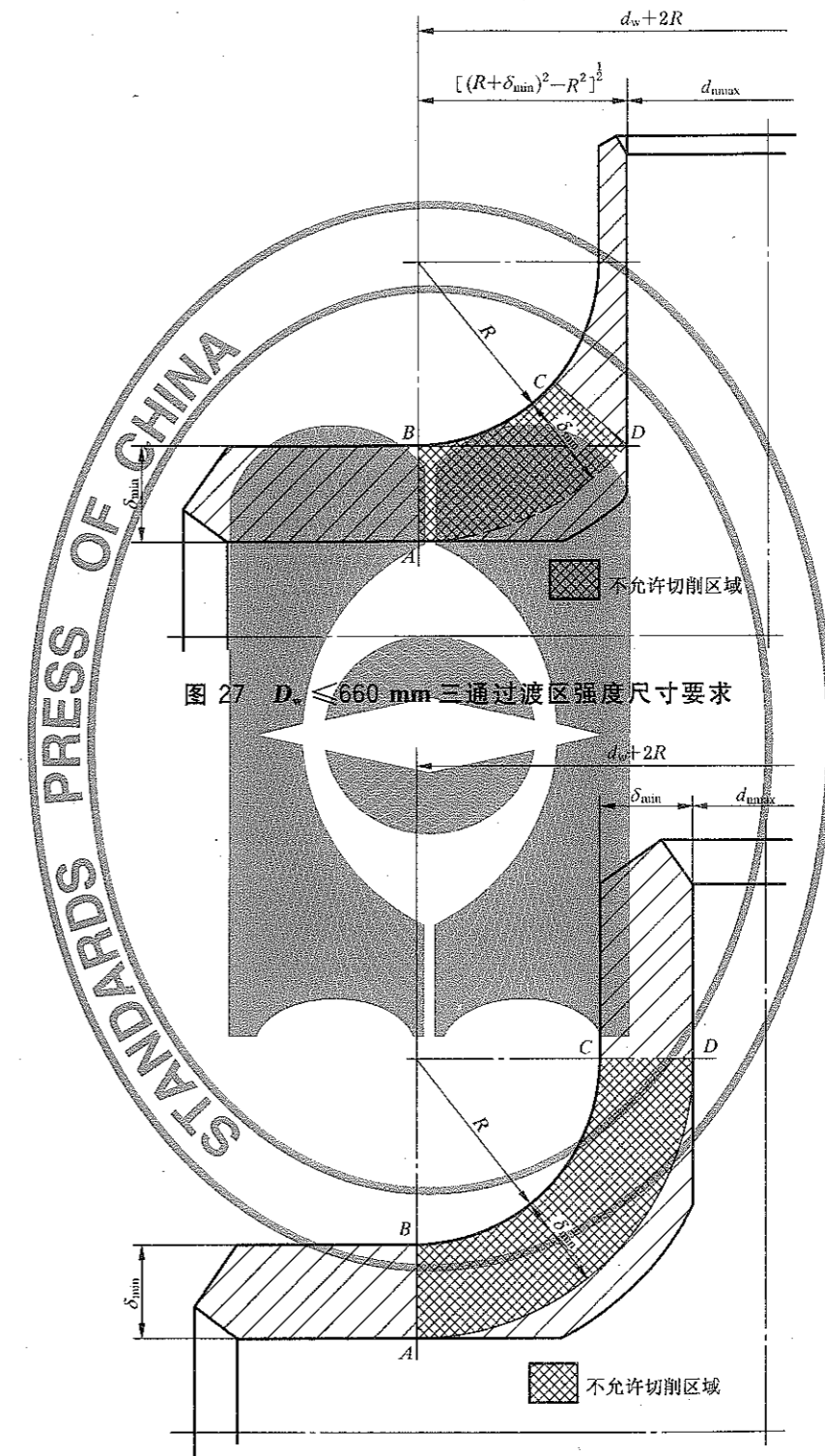


图 27 $D_w \le 660$ mm 三通过渡区强度尺寸要求

图 28 $D_w > 660$ mm 三通过渡区强度尺寸要求

a) $D_w \leq 660$ mm 的三通,理论计算厚度按公式(115)计算:

$$\delta_L = \frac{1.3pD_w}{1.9[\sigma] + p} + 2 \quad \dots\dots\dots(115)$$

成品最小需要厚度按公式(116)计算:

$$\delta_{min} = \delta_L + C_1 \quad \dots\dots\dots(116)$$

b) $D_w > 660$ mm 的三通,理论计算厚度按公式(117)计算:

$$\delta_L = \frac{1.3pD_w}{2[\sigma] + p} + 10 \quad \dots\dots\dots(117)$$

成品最小需要厚度按公式(118)计算:

$$\delta_{min} = \delta_L + C_1 \quad \dots\dots\dots(118)$$

12.4.4 校核计算时,热挤压三通最高允许计算压力按下列公式计算:

a) $D_w \leq 660$ mm 的三通:

$$[p] = \frac{1.9[\sigma](\delta_y - 2)}{1.3D_w - (\delta_y - 2)} \quad \dots\dots\dots(119)$$

b) $D_w > 660$ mm 的三通:

$$[p] = \frac{2[\sigma](\delta_y - 10)}{1.3D_w - (\delta_y - 10)} \quad \dots\dots\dots(120)$$

δ_y 取三通过渡区内实际最小厚度减去腐蚀减薄值。

同时,由式(119)或式(120)算得的热挤压三通最高允许计算压力也不应超过按式(37)计算的主管和支管圆筒体部分的最高允许计算压力。

12.4.5 直型三通其他尺寸的确定:

δ_r 取 $0.8\delta_L + C_1$ 和按式(33)计算的厚度中的较大值;

δ_c 取 δ_r 和 δ_{min} 两者中较大值;

δ_b 取 $0.5(d_w - d_{nmax})$ 和按式(33)计算的厚度中的较大值;

d_{nmax} 按式(121)或式(122)计算;

直型三通的 h, R, L, L_1 规定见表 22。

12.4.6 鼓型三通其他尺寸的确定:

δ_r 取 $0.8\delta_L + C_1$ 和按式(33)计算的厚度中的较大值;

δ_c 取 δ_r 和 δ_{min} 两者中的较大值;

δ_{r1} 按式(33)计算,当 $0.5D_w - \delta_{r1} > 0.5d_w - \delta_r$ 时,应增大 δ_{r1} ,以防有用金属被切削;

δ_{r2} 按式(33)计算,当 $0.5D_w - \delta_{r2} > 0.5d_w - \delta_c$ 时,应增大 δ_{r2} ,以防有用金属被切削;

d_{nmax}, δ_b 的计算方法和直型三通相同;

鼓型三通的 h, R, L, L_1 规定见表 23。

12.4.7 $D_w \leq 660$ mm 热挤压三通满足过渡区强度要求的支管最大内径 d_{nmax} (见图 27)按公式(121)计算:

$$d_{nmax} = d_w + 2R - 2\sqrt{(R + \delta_{min})^2 - R^2} \quad \dots\dots\dots(121)$$

12.4.8 $D_w > 660$ mm 热挤压三通满足过渡区强度要求的支管最大内径 d_{nmax} (见图 28)按公式(122)计算:

$$d_{nmax} = d_w - 2\delta_{min} \quad \dots\dots\dots(122)$$

12.4.9 对于鼓型三通,12.4.3、12.4.4、12.4.7 和 12.4.8 中的 D_w ,取三通锻缩前的外径,即鼓型三通支管外径 d_w 的值。

12.4.10 腐蚀减薄的附加厚度 C_1 按 7.5.2 的规定确定,为保证 12.4.3、12.4.5 和 12.4.6 中要求的热挤压三通各最小需要厚度,必须根据材料和工艺的情况,确定挤压前无缝钢管的厚度。

表 22 直型三通 h, R, L, L_1 规定值

单位为毫米

三通公称尺寸	h	R	$L=L_1$
254×254×203 273×273×219	203	46	381
254×254×254 273×273×273	216	51	381
305×305×203	229	51	432
305×305×254	241	62	432
305×305×305 324×324×273 324×324×324	254	61	432
356×356×254	257	61	457
356×356×305	270	72	457
356×356×324 356×356×356	279	67	457
406×406×305	295	67	457
406×406×356	305	71	483
406×406×406	305	76	483
457×457×356	330	71	546
457×457×406	330	75	546
457×457×457	343	86	546
508×508×457	368	84	597
508×508×508	381	95	597
559×559×508	406	92	660
559×559×559	419	105	660
610×610×559	432	102	718
610×610×610	457	114	718
660×660×660	495	124	762
711×711×711	520	133	762
762×762×762	559	143	832
813×813×813	597	152	876
864×864×864	635	162	933
914×914×914	673	171	965

表 23 鼓型三通 h 、 R 、 L 、 L_1 规定值

单位为毫米

三通公称尺寸	h	R	L	L_1
203×203×254	216	51	330	381
254×254×305 273×273×324	254	61	330	432
254×254×356	279	67	413	457
305×305×356 324×324×356	279	67	305	457
305×305×406	305	76	362	483
325×325×377 324×324×406 356×356×406	305	76	362	483
356×356×457	343	86	462	540
356×356×508	381	95	529	597
356×356×559	419	105	716	743
356×356×610	457	114	716	743
406×406×457	343	86	360	540
406×406×508	381	95	451	597
406×406×559	419	105	652	679
406×406×610	457	114	652	718
457×457×508	381	95	406	597
457×457×559	419	105	581	660
457×457×610 450×450×635	457	114	581	718
508×508×559	419	105	502	660
508×508×610	457	114	502	718
508×508×660	495	124	591	762
508×508×711	521	133	591	762
559×559×610	457	114	461	762
559×559×660	495	124	591	762
559×559×711	521	133	591	762
610×610×660	495	124	505	762
610×610×711	521	133	505	762
660×660×711	521	133	402	762

12.4.11 不绝热的热挤压三通,其最大允许厚度应符合 7.7 的规定。

12.4.12 热挤压三通的开孔限制

把直型三通和鼓型三通分别分成如图 29 和图 30 所示的几个区域。B、F、E 区域的宽度所对应的中心角 α 与三通支管外径有关,如图 31 所示,支管外径与 α 角的关系见表 24。E 区域的高度为三通水平中心线上 20° 和水平中心线下 10° 范围内的弧长距离。

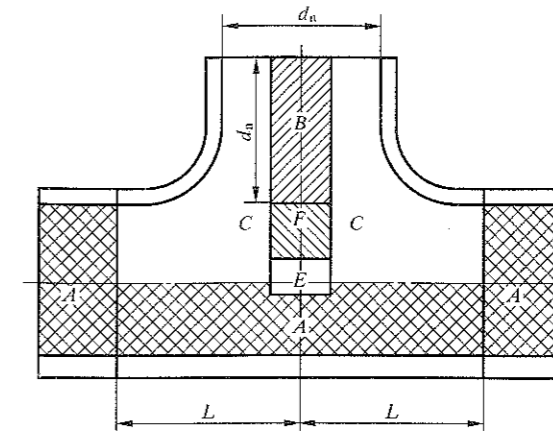


图 29 直型三通开孔区域示意图

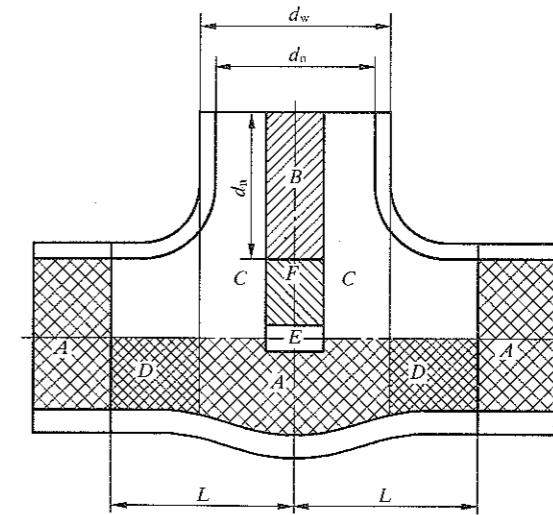


图 30 鼓型三通开孔区域示意图

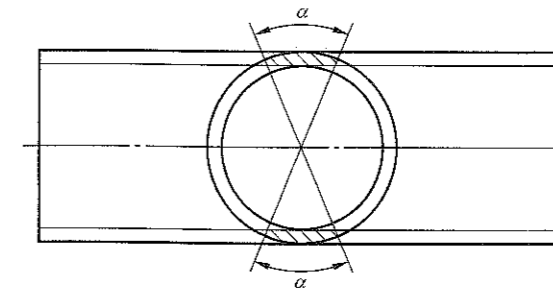


图 31 B、E、F 区域宽度示意图

表 24 支管外径与 α 角的关系

支管外径/ mm	α	支管外径/ mm	α
203, 219	27°	508	40°
254, 273	32°	559	39°
305, 324	36°	610	38°
356, 377	41°	660, 711	37°
406	43°	762, 813	36°
457	41°	864, 914	35°

采用本条方法, A 区域对于直型三通允许开孔, 对于鼓型三通, 出口三通允许开孔, 入口三通只能开在内径为常数的部分。C、E 区域不应开孔。B、F 区域不宜开孔, 在无法避免的情况下, 允许在各种三通的 F 区域和入口三通的 B 区域开沿支管轴向的孔排。所有入口三通和辐射再热器出口三通的 D 区域不应开孔, 其他三通允许开孔。开孔减弱系数参照 6.4 计算。

三通区域的开孔直径不应大于 D_w 的 1/4, 而且以 60 mm 为限。

12.4.13 热挤压三通的水压试验压力按有关锅炉制造技术条件取用, 但不应超过按 7.8 所确定的值。

12.5 等径叉形管

12.5.1 本节的计算方法只适用于 $D_w \leq 108$ mm, $1.05 \leq \beta_c \leq 2.00$ 的等径叉形管。

12.5.2 等径叉形管(图 32)的成品最小需要厚度、最高允许计算压力和计算压力、计算壁温、附加厚度、水压试验压力均按焊制三通的规定处理。

12.5.3 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 φ_y 可按以下规定取用:

当计算壁温 t_{bi} 小于钢材持久强度对基本许用应力起控制作用的温度时: $\varphi_y = 0.70$;

当计算壁温 t_{bi} 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: $\varphi_y = 0.60$ 。

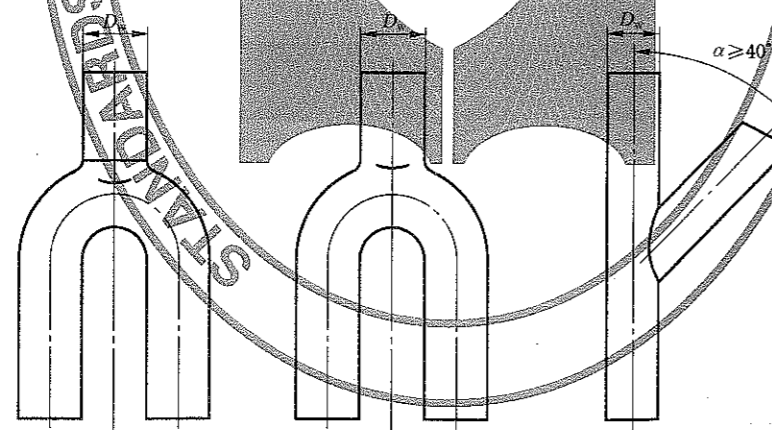


图 32 叉形管

13 决定元件最高允许计算压力的验证法

13.1 符号

本章所用符号的含义和单位如下:

$[p]$ ——工作温度时的最高允许计算压力, 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;

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;

$[\sigma]$ ——许用应力, MPa;

$[\sigma]_j$ ——工作温度时的基本许用应力, MPa;

$[\sigma]_{js}$ ——试验温度时的基本许用应力, MPa;

σ_b ——材料在 20°C 时的抗拉强度, MPa;

σ_{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 ($\sigma_{0.2}$), MPa;

σ_{bl} ——试验元件材料在 20°C 时的实际抗拉强度, MPa;

σ_{dmax} ——高应力区域中最大当量应力, MPa;

σ'_{dmax} ——低应力区域中最大当量应力, MPa;

σ_{pdmax} ——高应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大值, MPa;

σ'_{pdmax} ——低应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大值, 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;

δ'_{min} ——结构不连续处的最小厚度, mm;

δ_{omin} ——相邻两高应力区的最小厚度的平均值, mm;

ϵ ——应变值, %;

φ_h ——焊缝减弱系数;

Δ ——应变测量的相对误差;

f ——铸件的质量系数;

δ_{ys} ——经受验证试验的元件最薄弱处的厚度, mm;

δ_{yz} ——实用元件对应于试验元件 δ_{ys} 处的实际厚度, mm。

13.2 一般要求

13.2.1 本章提供了用于决定元件最高允许计算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, 应力分析验证法。

13.2.2 本章提供的方法可用于不能按本标准前述各章规定进行计算的受压元件。

13.2.3 采用本章提供的方法确定最高允许计算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。

13.3 应力验证法

本方法按下列规定进行(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部位的内外壁对应点粘贴应变片, 在元件其他部位的内外壁对应点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 $2.5 \sqrt{R_{pp} \delta'_{omin}}$, 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 33)。
- 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 34)。
- 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 35)。
- 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 36)。

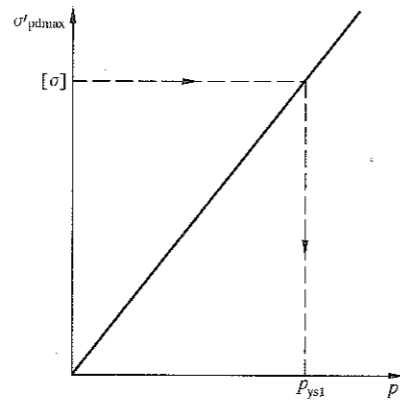


图 33 低应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大点的 $\sigma'_{pdmax} - p$ 直线

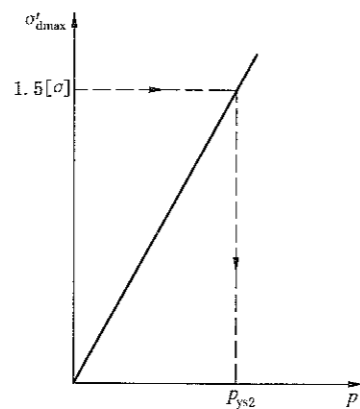


图 34 低应力区域中当量应力最大点的 $\sigma'_{dmax} - p$ 直线

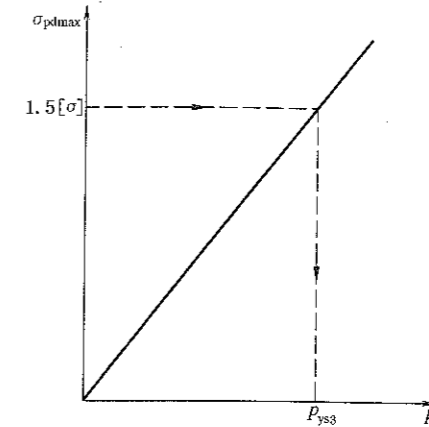


图 35 高应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大点的 $\sigma_{pdmax} - p$ 直线

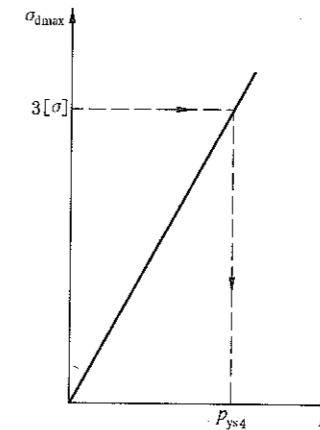


图 36 高应力区域中当量应力最大点的 $\sigma_{dmax} - p$ 直线

- 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 Δ ,则按式(123)确定元件的最高允许计算压力:

$$[p] = \frac{p_{ysmin}}{1 + \Delta} \dots\dots\dots (123)$$

按式(123)确定的最高允许计算压力 $[p]$ 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。

13.4 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。

元件的最高允许计算压力按式(124)确定:

$$[p] = 0.75 \frac{p_{ss}[\sigma] \varphi_n}{\sigma_{sls}} \dots\dots\dots (124)$$

式中, $[\sigma]$ 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,必要时最高允许计算压力可放大至 1.25[p]。

按式(124)确定的最高允许计算压力用于未经验证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 37)。

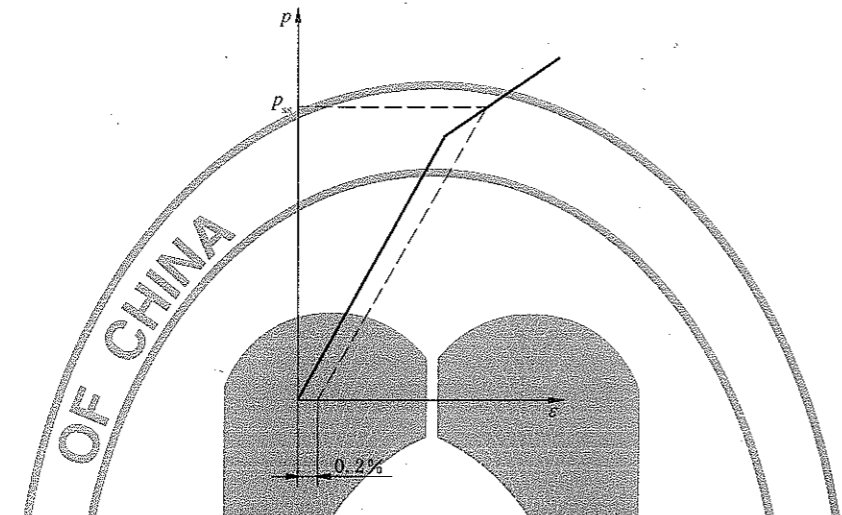


图 37 根据应变最大点的 $p-\epsilon$ 曲线确定 p_{ss} 的方法

13.5 爆破验证法

本方法试件不应少于 3 个,且取试验的最小值。

元件的最高允许计算压力按式(125)确定:

$$[p] = \frac{p_{ss} \delta_{ss} [\sigma]_s \sigma_b}{4 \delta_{ss} [\sigma]_s \sigma_{bl}} \varphi_{bl} \quad (125)$$

对于铸钢元件, f 取为 0.7; 对于其他元件,均取 $f=1.0$ 。

13.6 应力分析验证法

13.6.1 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标准的设计单位批准标识。

13.6.2 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计算压力的方法按 13.3 的原则进行。

附录 A
(规范性附录)
锅筒低周疲劳寿命计算

A.1 总则

A.1.1 适用范围

本方法适用于按本标准设计并按有关规定制造、检验合格的锅筒的低周疲劳寿命计算。

A.1.2 结构要求

A.1.2.1 采用本方法进行低周疲劳寿命计算的锅炉锅筒,需作疲劳考核的开孔部位,其接管与锅筒筒体的连接型式应为图 A.1 所示的整体焊接结构。其中图 A.1 c) 是内投影长短半轴 b, a 之比为 2:1 椭圆翻边开孔成型结构。

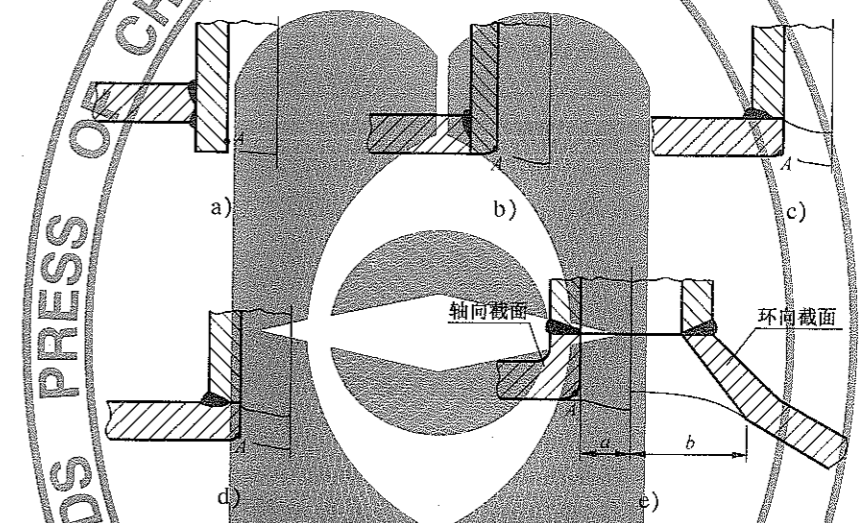


图 A.1 接管与锅筒筒体的整体焊接型式

A.1.2.2 若有必要对锅筒其他部位进行疲劳校核时,可在采用其他有效方法对该部位进行各种循环工况下的应力分析后,参照本方法 A.4、A.5 的规定计算。

A.1.3 疲劳计算的判别条件

A.1.3.1 调峰负荷机组必须进行锅炉锅筒的低周疲劳寿命计算。

A.1.3.2 仅承担基本负荷的机组不必进行锅炉锅筒的低周疲劳寿命计算。

A.1.3.3 对频繁启停、参数波动较大的机组,若在整个设计寿命期间,由于启动-停炉、压力和温度波动等工况周期性变化所导致的累积损伤满足式(A.32)条件,则不必进行低周疲劳寿命计算。

式(A.32)中 N_i 按 A.4.3 确定,其中 σ'_i 按 A.4.2.4 计算,应力幅值 σ_a 按下述简化方法确定:

a) 对全幅度压力循环(包括启动-停炉)工况:

$$\sigma_a = 3[\sigma] \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$[\sigma]$ ——该循环工况中锅筒介质温度达到最高时,筒体材料的许用应力。

注: $[\sigma]$ 按本标准规定选取。

b) 对预计压力波动范围 Δp 不小于 20% 设计压力 p_s 的循环工况:

$$\sigma_a = 3 \frac{\Delta p}{p_s} [\sigma] \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

c) 对筒体径向内外壁温差 Δt_1 不小于 20°C 的温差循环工况:

$$\sigma_a = 2E_1\alpha_1\Delta t_1 \quad \dots\dots\dots(\text{A.3})$$

d) 对筒体外壁周向温差 Δt_2 不小于 40°C 的温差循环工况:

$$\sigma_a = E_1\alpha_1\Delta t_2 \quad \dots\dots\dots(\text{A.4})$$

式(A.3)、式(A.4)中:

E_1 ——该工况平均壁温下筒体材料的弹性模量,单位为兆帕(MPa);

α_1 ——该工况平均壁温下筒体材料的线膨胀系数,单位为负一次方摄氏度($1/^\circ\text{C}$)。

若式(A.32)不满足,则必须按下述方法进行低周疲劳寿命计算。

A.2 考核载荷、考核点及工况匹配

A.2.1 考核载荷

本计算方法的考核载荷包括锅筒介质压力载荷、沿锅筒筒体厚度方向的径向温差载荷以及沿锅筒筒体的周向温差载荷。

A.2.2 考核点

本计算方法的考核点为图 A.1 所示的锅筒筒体轴向截面上的接管内转角 A 处。

A.2.3 工况匹配

根据机组的运行方式,确定循环工况的匹配。

A.3 考核点的应力计算

A.3.1 几点说明

A.3.1.1 本方法中应力计算是建立在线弹性的基础上进行的。

A.3.1.2 在应力计算中,假定考核点的主应力方向在载荷循环中不变化。

A.3.1.3 在应力计算中,应力指数可取本方法给出的推荐值,也可采用试验或数值计算获得的实际值。

A.3.1.4 对于每一种循环工况,只需计算该工况下的峰、谷值应力。

A.3.1.5 在计算给定循环工况的峰(谷)值应力时,线膨胀系数 α 、弹性模量 E 和导温系数 a 均按该工况的最高(最低)介质温度取值。

A.3.2 内压应力

A.3.2.1 考核点由内压力引起的三个主应力分量按式(A.5)~式(A.7)计算(应力分量方向 n, z, r , 如图 A.2 所示):

$$\sigma_{np} = K_{1n}\sigma_d \quad \dots\dots\dots(\text{A.5})$$

$$\sigma_{zp} = K_{1z}\sigma_d \quad \dots\dots\dots(\text{A.6})$$

$$\sigma_{rp} = K_{1r}\sigma_d \quad \dots\dots\dots(\text{A.7})$$

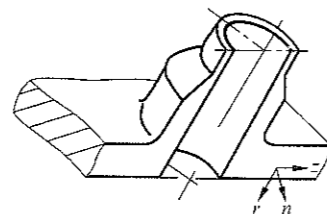


图 A.2 应力分量方向示意图

式中:

σ_{np} ——考核点的环向应力分量,单位为兆帕(MPa);

σ_{zp} ——考核点的轴向应力分量,单位为兆帕(MPa)。对图 A.1. e) 结构型式为轴向截面内轮廓线在考核点的切向应力分量;

σ_{rp} ——考核点的法向应力分量,单位为兆帕(MPa);

K_{1n} ——由内压引起的环向应力指数;

K_{1z} ——由内压引起的轴向应力指数。对图 A.1. e) 结构型式为轴向截面内轮廓线在考核点的切向应力指数;

K_{1r} ——由内压引起的法向应力指数;

σ_d ——锅筒筒体的薄膜应力强度,单位为兆帕(MPa)。

A.3.2.2 锅筒筒体薄膜应力强度 σ_d 按式(A.8)计算:

$$\sigma_d = \frac{D_n + \delta_y}{2\delta_y} p_z \quad \dots\dots\dots(\text{A.8})$$

式中:

D_n ——筒体内径,单位为毫米(mm);

δ_y ——筒体有效厚度[按式(13)确定],单位为毫米(mm);

p_z ——给定循环工况下,锅筒介质的最高、最低工作压力,单位为兆帕(MPa)。

A.3.2.3 对图 A.1 所示接管型式,考核点 A 处的内压应力指数推荐值见表 A.1。

表 A.1 考核点的内压应力指数

内压应力指数	结构型式	
	图 A.1a)~d)	图 A.1e)
K_{1n}	3.1	2.5
K_{1z}	-0.2	0.5
K_{1r}	$-\frac{2\delta_y}{D_n + \delta_y}$	$-\frac{2\delta_y}{D_n + \delta_y}$

A.3.3 径向温差热应力

A.3.3.1 假定:

a) 锅筒筒体温度场在环向截面内为轴对称分布,沿筒体轴向不变。

b) 锅筒筒体内壁温度取为介质温度,外壁为绝热。

A.3.3.2 锅筒筒体径向内外壁温差计算:

$$\Delta t_1 = t_w - t_n = -\frac{\phi\delta^2\nu}{a}(1 - e^{-\eta_j/\tau}) \quad \dots\dots\dots(\text{A.9})$$

若 $|\Delta t_1| > |\nu t_j|$, 则:

$$\Delta t_1 = -\nu t_j \quad \dots\dots\dots(\text{A.10})$$

式中:

t_w ——筒体外壁温度,单位为摄氏度($^\circ\text{C}$)。

t_n ——筒体内壁温度,单位为摄氏度($^\circ\text{C}$)。

ϕ ——结构系数,由图 A.3 查取。图中 β 为筒体外径 D_w 与内径 D_n 之比。

δ ——筒体取用厚度,单位为毫米(mm)。

ν ——锅筒介质温度变化速度,单位为摄氏度每分($^\circ\text{C}/\text{min}$)。计算谷值应力时, ν 取启动(或升负荷)初始阶段的平均升温速度(正值);计算峰值应力时, ν 取停炉(或降负荷)初始阶段的平均

降温速度(负值)。

t_1 ——锅筒介质温度以速度 v 上升(下降)所经历的时间,单位为分(min)。

η ——温度阻尼系数,由图 A.4 查取。

τ ——时间常数, $\tau = D_n^2 / (16a)$, 单位为分(min)。

a ——筒体材料的导热系数,单位为平方毫米每分(mm^2/min)。

e ——自然对数的底。

A.3.3.3 径向温差热应力按下列公式计算:

环向热应力:

$$\sigma_{\theta r} = K_{2\theta} \frac{\alpha E}{f(1-\mu)} \Delta t_1 \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

轴向热应力:

$$\sigma_{zr} = \begin{cases} 0 & \text{[对于图 A.1a) ~ d) 接管型式]} \\ K_{2z} \frac{\alpha E}{f(1-\mu)} \Delta t_2 & \text{[对于图 A.1e) 接管型式]} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

法向热应力:

$$\sigma_{rr} = 0 \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

式中:

$K_{2\theta}$ ——径向温差引起的环向热应力指数。其值为径向温差在考核点处引起的环向热应力与无孔筒体内壁环向热应力理论解之比值。推荐 $K_{2\theta} = 1.6$ 。

K_{2z} ——径向温差引起的轴向热应力指数。其值为径向温差在考核点处引起的轴向[对图 A.1 e) 结构型式为切向]热应力与无孔筒体内壁轴向热应力理论解之比值。推荐 $K_{2z} = 1.6$ 。

α ——筒体材料的线膨胀系数,单位为负一次方摄氏度($1/^\circ\text{C}$)。

E ——筒体材料的弹性模量,单位为兆帕(MPa)。

μ ——筒体材料的泊松比, $\mu = 0.3$ 。

f ——结构系数,由图 A.3 查取。

A.3.4 周向温差热应力

周向温差热应力按下列公式计算:

环向热应力:

$$\sigma_{\theta t} = K_{3\theta} B \alpha E \Delta t_{\max} \quad \dots\dots\dots (A.14)$$

轴向热应力:

$$\sigma_{z t} = \begin{cases} 0 & \text{[对于图 A.1 a) ~ d) 接管型式]} \\ K_{3z} B \alpha E \Delta t_{\max} & \text{[对于图 A.1 e) 接管型式]} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (A.15)$$

法向热应力:

$$\sigma_{r t} = 0 \quad \dots\dots\dots (A.16)$$

式中:

$K_{3\theta}$ ——周向温差引起的环向热应力指数。其值定义为由周向温差在考核点处引起的环向应力与“ $0.4\alpha E \Delta t_{\max}$ ”之比值。推荐 $K_{3\theta} = -1$ 。

K_{3z} ——周向温差引起的轴向热应力指数。其值定义为由周向温差引起的轴向[对图 A.1. e) 结构型式为切向]热应力与“ $0.4\alpha E \Delta t_{\max}$ ”之比值。推荐 $K_{3z} = -1$ 。

B ——系数,取 0.4。

Δt_{\max} ——外壁周向最大温差,单位为摄氏度($^\circ\text{C}$)。对于某一循环工况,在计算谷值、峰值应力时, Δt_{\max} 分别取启动或升负荷、停炉或降负荷初始阶段筒体最大上、下壁温差。若此温差值难以确定,计算谷值应力时 Δt_{\max} 取 40°C , 计算峰值应力时 Δt_{\max} 取 10°C 。

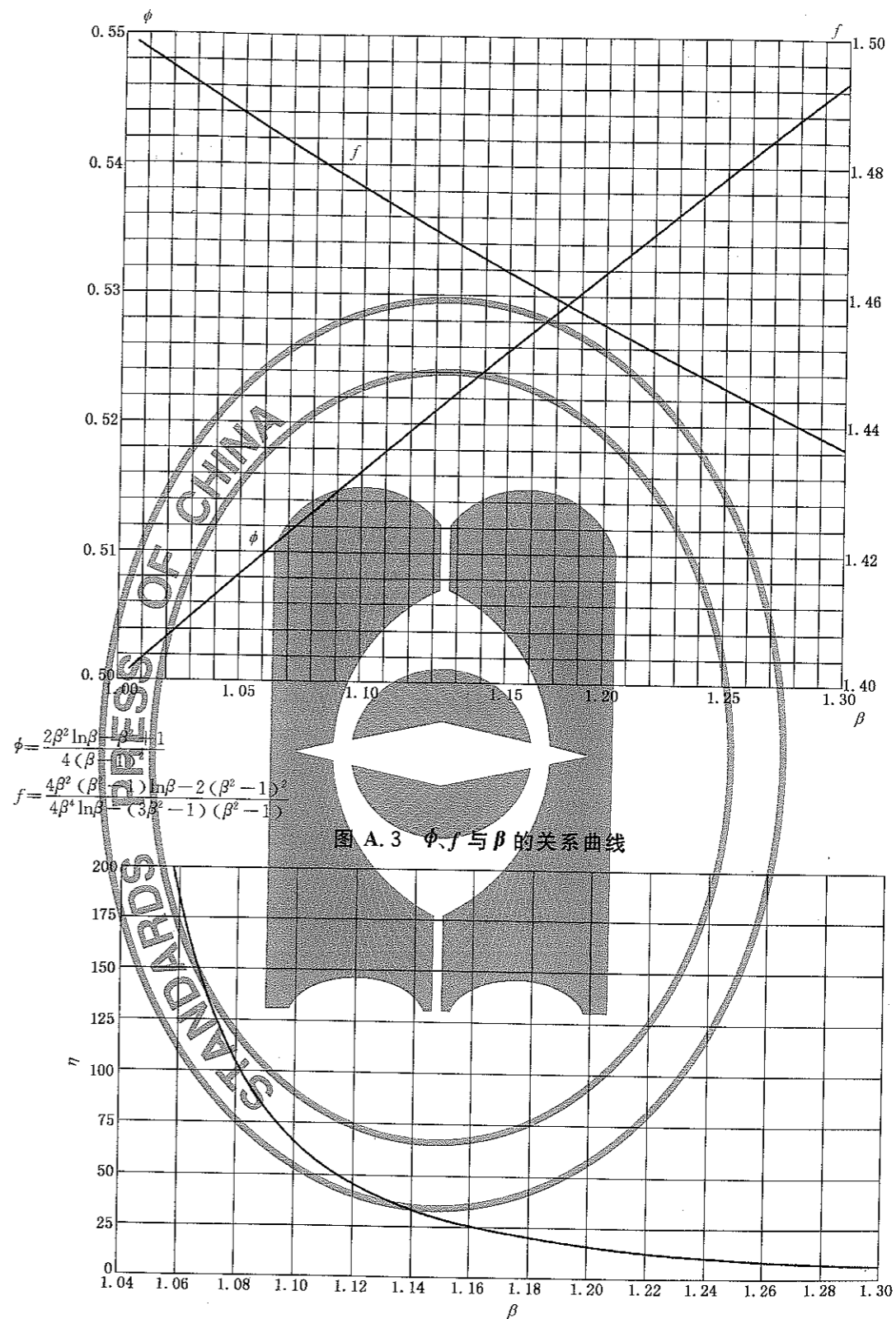


图 A.3 ϕ, f 与 β 的关系曲线

$$\eta = \left(\frac{\beta - 1}{\beta} \right)^{\frac{1}{2}}$$

式中: $\beta = \frac{D_w}{D_n}$

$$\bar{\beta} = \frac{\beta^5 - 1}{\beta} - 4\beta^2 \left(\frac{\beta^3 \ln \beta}{3} - \frac{\beta^3 - 1}{9} \right) + 4\beta^4 [\beta(\ln \beta - 1)^2 + \beta - 2] + 2 \left\{ 2\beta^2 [\beta(\ln \beta - 1) + 1] - \frac{\beta^3 - 1}{3} \right\} + \beta - 1$$

图 A.4 温度阻尼系数 η 与 β 的关系曲线

A.3.5 合成主应力

内压和温差引起的合成主应力按下列公式计算:

$$\sigma_1 = \sigma_{ip} + \sigma_{ni} + \sigma_{nT} \quad \dots\dots\dots (A.17)$$

$$\sigma_2 = \sigma_{ip} + \sigma_{at} + \sigma_{sT} \quad \dots\dots\dots (A.18)$$

$$\sigma_3 = \sigma_{ip} + \sigma_{rt} + \sigma_{rT} \quad \dots\dots\dots (A.19)$$

式中:

σ_1 ——考核点环向合成主应力,单位为兆帕(MPa);

σ_2 ——考核点轴向[对图 A.1 e)结构型式为切向]合成主应力,单位为兆帕(MPa);

σ_3 ——考核点法向合成主应力,单位为兆帕(MPa)。

式(A.17)~式(A.19)中合成主应力均取内压应力和热应力的极值计算,得到的结果偏保守。如需要时可按在同一时刻的内压应力和热应力的值进行计算。

A.4 给定循环工况的低周疲劳寿命计算

A.4.1 主应力差值

以 $\sigma_{fi}, \sigma_{gi} (i=1,2,3)$ 标记峰、谷值主应力计算值,在按 A.3.2~A.3.5 规定计算出该工况的峰、谷值主应力 σ_{fi}, σ_{gi} 后,可按下列公式计算主应力差值。

A.4.1.1 峰值主应力差值按下列公式计算:

$$\sigma_{f12} = \sigma_{f1} - \sigma_{f2} \quad \dots\dots\dots (A.20)$$

$$\sigma_{f23} = \sigma_{f2} - \sigma_{f3} \quad \dots\dots\dots (A.21)$$

$$\sigma_{f31} = \sigma_{f3} - \sigma_{f1} \quad \dots\dots\dots (A.22)$$

A.4.1.2 谷值主应力差值按下列公式计算:

$$\sigma_{g12} = \sigma_{g1} - \sigma_{g2} \quad \dots\dots\dots (A.23)$$

$$\sigma_{g23} = \sigma_{g2} - \sigma_{g3} \quad \dots\dots\dots (A.24)$$

$$\sigma_{g31} = \sigma_{g3} - \sigma_{g1} \quad \dots\dots\dots (A.25)$$

A.4.2 主应力差波动范围、交变应力范围及应力幅值

A.4.2.1 主应力差波动范围按下列公式计算:

$$\Delta\sigma_{12} = |\sigma_{f12} - \sigma_{g12}| \quad \dots\dots\dots (A.26)$$

$$\Delta\sigma_{23} = |\sigma_{f23} - \sigma_{g23}| \quad \dots\dots\dots (A.27)$$

$$\Delta\sigma_{31} = |\sigma_{f31} - \sigma_{g31}| \quad \dots\dots\dots (A.28)$$

A.4.2.2 交变应力范围按式(A.29)计算:

$$\Delta\sigma = \max\{\Delta\sigma_{12}, \Delta\sigma_{23}, \Delta\sigma_{31}\} \quad \dots\dots\dots (A.29)$$

A.4.2.3 应力幅值按式(A.30)计算:

$$\sigma_s = \Delta\sigma/2 \quad \dots\dots\dots (A.30)$$

A.4.2.4 修正的应力幅值按式(A.31)计算:

$$\sigma'_a = \sigma_a \frac{E_0}{E'} \quad \dots\dots\dots (A.31)$$

式中:

E_0 ——低周疲劳曲线(图 A.5)中给出的弹性模量, $E_0=2.06 \times 10^5$ MPa;

E' ——该工况最高介质温度下考核点处材料的弹性模量,单位为兆帕(MPa)。

A.4.3 允许循环次数

由 σ'_a 值在低周疲劳设计曲线(图 A.5)上查取 N 值,此 N 值即为该工况的允许循环次数。

A.5 累积损伤安全准则

累积损伤的安全准则为:

$$\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (A.32)$$

式中:

m ——不同循环工况累计数;

n_i ——给定循环工况在设计寿命期间的预期循环次数;

N_i ——给定循环工况条件下计算出的允许循环次数。

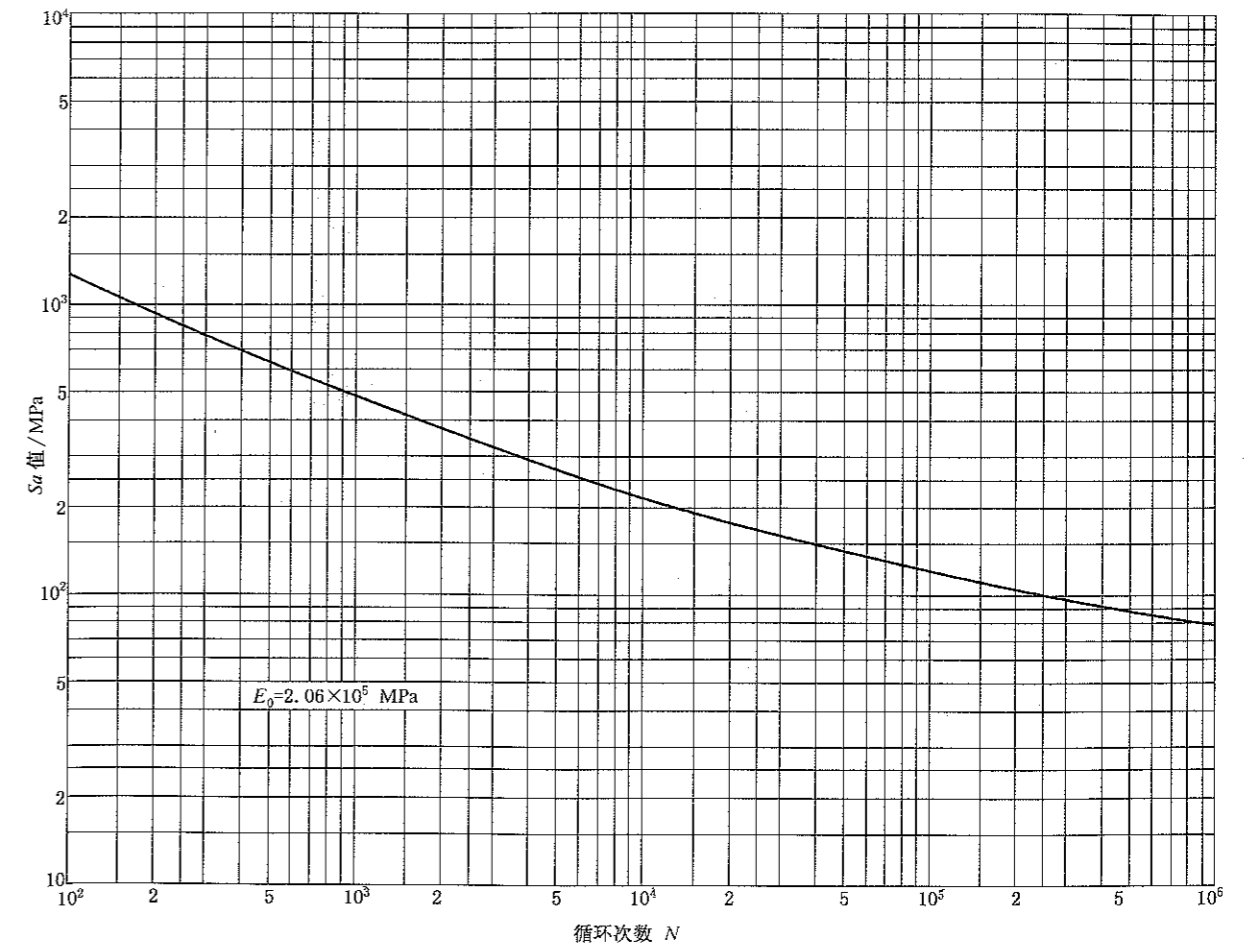


图 A.5 适用于工作温度低于 375°C 锅筒常用材料的低周疲劳设计曲线

附录 B (资料性附录)

国外材料在不同计算壁温下的基本许用应力[σ]

表 B.1 国外材料在不同计算壁温下的基本许用应力[σ] 单位为兆帕

Table with columns for material standards (SA-106, SA-210C, 15Mo3, etc.), plate thickness (mm), and allowable stress (σs, σb) at various temperatures (20°C to 540°C).

表 B.1(续)

单位为兆帕

Continuation of Table B.1, showing allowable stress for materials like SA-106, SA-210C, 15Mo3, SA-209TT1a, T12, T22, T91/P91, TP304H, TP347H, 15NiCuMoNb5-6-4, T23, Super304, TP310HCbN, and WB36 DSW360-1987 across various temperatures and thicknesses.

注：粗线下方的数据系按持久强度σb计算，与此数据相对应的温度表示该钢种持久强度对基本许用应力起控制作用的温度

附录 C
(资料性附录)

开孔减弱断面的抗弯断面系数 W 的近似算法

C.1 本附录所用符号的含义和单位

- δ ——锅筒筒体或集箱筒体的厚度, mm;
 - D_w ——锅筒筒体或集箱筒体的外径, mm;
 - D_n ——锅筒筒体或集箱筒体的内径, mm;
 - R_p ——锅筒筒体或集箱筒体平均半径, mm;
 - d_i ——孔的直径 ($i=1, 2, 3, \dots$), mm;
 - α_i ——孔中心线与锅筒筒体或集箱筒体水平中心轴线 $X-X$ 之间的夹角 ($i=1, 2, 3, \dots$);
 - I_x ——开孔减弱断面对轴线 $X-X$ 的惯性矩, mm^4 ;
 - I_{x1} ——开孔减弱断面对轴线 X_1-X_1 的惯性矩, mm^4 ;
 - $\sum S_x$ ——孔对轴线 $X-X$ 的静矩, mm^3 ;
 - $\sum A$ ——开孔减弱断面的面积, mm^2 ;
 - y_c ——开孔减弱断面重心坐标与轴线 $X-X$ 之间的垂直距离, mm;
 - W_x ——开孔减弱断面对轴线 $X-X$ 的抗弯断面系数, mm^3 ;
 - I_{xdi} ——开孔减弱断面上孔 d_i 对轴线 $X-X$ 的惯性矩, mm^4 ;
 - W_{x1} ——开孔减弱断面对轴线 X_1-X_1 的抗弯断面系数, 简称“抗弯断面系数”, mm^3 。
- 注: d_i, α_i 取值方法见图 C.1。

C.2 开孔减弱断面的抗弯断面系数的计算公式

开孔减弱断面的抗弯断面系数按下式计算:

$$W_{x1} = \frac{I_{x1}}{D_w/2 + y_c} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

其中:
$$y_c = \frac{\sum S_x}{\sum A} = \frac{-\delta R_p \sum d_i \sin \alpha_i}{\pi(D_w^2 - D_n^2)/4 - \sum \delta d_i} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

$$I_{x1} = I_x - y_c^2 \sum A = \frac{\pi}{64} (D_w^4 - D_n^4) - \sum I_{xdi} - y_c^2 \sum A$$

$$= \frac{\pi}{64} (D_w^4 - D_n^4) - \sum \left(\frac{\delta d_i^3}{12} \cos^2 \alpha_i + \frac{d_i \delta^3}{12} \sin^2 \alpha_i + d_i \delta R_p^2 \sin^2 \alpha_i \right) -$$

$$y_c^2 \left[\frac{\pi}{4} (D_w^2 - D_n^2) - \sum \delta d_i \right] \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

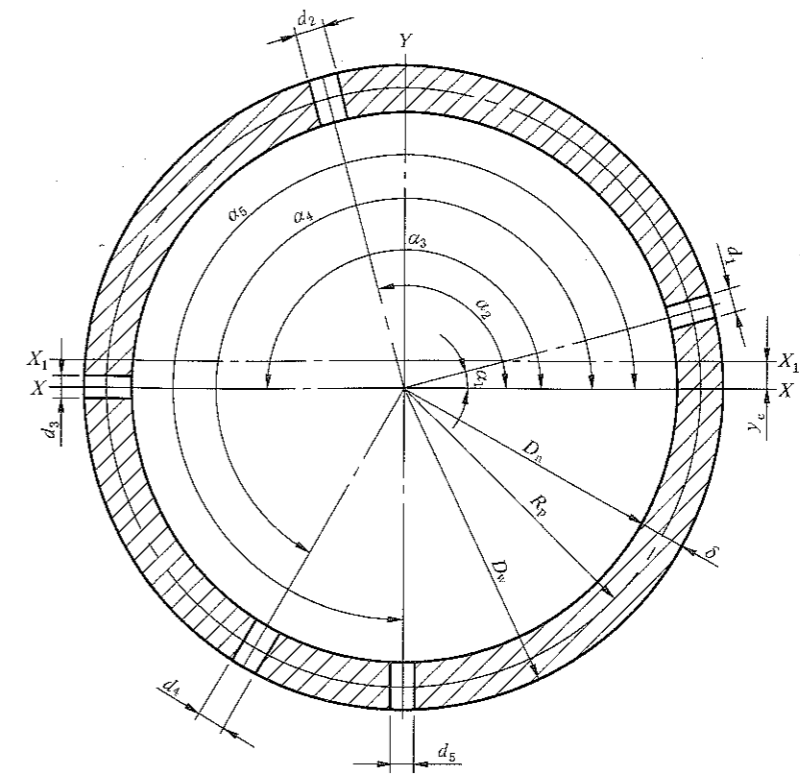


图 C.1 锅筒筒体断面图

C.3 开孔减弱断面的抗弯断面系数的近似计算

C.3.1 惯性矩

$$I_{x1} \approx I_x \approx \frac{\pi}{64} (D_w^4 - D_n^4) - \sum d_i \delta R_p^2 \sin^2 \alpha_i \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

计算中忽略

$$\sum \left(\frac{\delta d_i^3}{12} \cos^2 \alpha_i + \frac{d_i \delta^3}{12} \sin^2 \alpha_i \right)$$

及

$$y_c^2 \left[\frac{\pi}{4} (D_w^2 - D_n^2) - \sum \delta d_i \right]$$

C.3.2 抗弯断面系数

在断面水平轴线 $X-X$ 上、下两半部开孔减弱情况较接近的情况下, y_c 值甚小, 可忽略不计 (认为轴线 $X-X$ 与轴线 X_1-X_1 重合, 也即 $y_c=0$), 因此, 抗弯断面系数可按式 (C.5) 近似计算:

$$W_{x1} \approx W_x = \frac{I_x}{D_w/2} \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

若开孔减弱情况集中于断面水平轴线的某一边时, 则必须考虑 y_c 值的影响, 此时, 抗弯断面系数按式 (C.6) 近似计算:

$$W_{x1} = \frac{I_x}{D_w/2 + y_c} \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

I_x 按式 (C.4) 计算。

GB/T 9222—2008

GB/T 9222—2008

C.1 本附录

δ —
 D_w —
 Γ

中华人民共和国
国家标准
水管锅炉受压元件强度计算
GB/T 9222—2008

*
中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

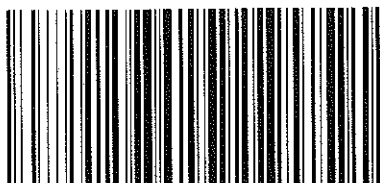
网址 www.spc.net.cn
电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*
开本 880×1230 1/16 印张 4.5 字数 131 千字
2008年5月第一版 2008年5月第一次印刷

*
书号: 155066·1-31227 定价 44.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533



GB/T 9222-2008