



中华人民共和国国家标准

GB/T 16508.3—2022

代替 GB/T 16508.3—2013

锅壳锅炉 第 3 部分：设计与强度计算

Shell boilers—
Part 3: Design and strength calculation

2022-07-11 发布

2023-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号	3
5 设计要求	3
6 承受内压力的圆筒形元件	9
7 承受外压力的圆筒形炉胆、冲天管、烟管和其他元件	18
8 凸形封头、炉胆顶、半球形炉胆和凸形管板	29
9 有拉撑、加固的平板和管板	34
10 拉撑件和加固件	41
11 平端盖及盖板	47
12 下脚圈	51
13 孔的补强	52
14 焊制三通	60
附录 A (规范性) 确定元件最高允许工作压力的试验和有限元分析验证法	63
附录 B (规范性) 水管管板设计计算	67
参考文献	69

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 16508《锅壳锅炉》的第 3 部分。GB/T 16508 已经发布了以下部分：

- 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、检验与验收；
- 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。

本文件代替 GB/T 16508.3—2013《锅壳锅炉 第 3 部分：设计与强度计算》，与 GB/T 16508.3—2013 相比，除结构调整与编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 更改了范围(见第 1 章,2013 年版的第 1 章)；
- 增加了计算温度、工作压力、计算压力、计算厚度、设计厚度、腐蚀裕量、厚度下偏差、工艺附加厚度、最小需要厚度、名义厚度、有效厚度、最高火界、呼吸空位、水压试验压力、试验温度等术语和定义(见 3.1~3.15)；
- 增加了基本许用应力的符号(见第 4 章,2013 年版的第 4 章)；
- 更改了设计基本要求的内容。“确定元件最高允许工作压力的试验和有限元分析验证法”作为基本要求的条款；删除了采用试验或者其他计算方法确定锅炉受压元件强度的评审要求；增加了锅炉角焊缝强度计算要求(见 5.1、附录 A,2013 年版的 5.1.2、第 15 章)；
- 增加了载荷的确定方法(见 5.1.2)；
- 更改了结构要求的逻辑层次，增加了焊接接头型式和焊缝布置的要求(见 5.2,2013 年版的 5.1)；
- 删除了锅炉性能、热效率、排放要求(见 2013 年版的 5.2~5.4)；
- 增加了焊接接头系数的选取方法(见 5.4)；
- 增加了相邻温度之间的许用应力数值可用算术内插法确定并应舍去小数点后的数值的规定(见 5.5.2)；
- 更改了计算温度的要求，增加了确定烟管计算温度的要求(见表 4,2013 年版的表 4)；
- 更改了确定设计附加压力的相关条款(见 5.7.5,2013 年版的 5.7)；
- 更改了卧式锅壳锅炉烟管的压力范围(见 7.1,2013 年版的 7.1)；
- 更改了符号 α' 的单位，式(57)相应修改(见 7.2,7.3.3.1,2013 年版的 7.2、7.3.3.1)；
- 增加了烟管计算厚度的计算方法(见 7.6.2)；
- 更改了外置式平端盖结构的适用范围(见表 16,2013 年版的表 16)；
- 删除了下脚圈中 S 型和 H 型的结构形式(见 12.3,2013 年版的 12.3)；
- 更改了孔桥补强的要求(见 13.7.2,2013 年版的 13.7.2)；
- 删除了铸铁锅炉受压元件设计计算方法(见 2013 年版的附录 A)；
- 删除了矩形集箱设计计算方法(见 2013 年版的附录 B)；

——水管管板设计计算方法更改为规范性附录(见附录 B,2013 年版的附录 C)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件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。

本文件起草单位:上海工业锅炉研究所有限公司、上海市特种设备监督检验技术研究院、山东华源锅炉有限公司、中国特种设备检测研究院、国家工业锅炉质量监督检验中心(广东)、上海发电设备成套设计研究院有限责任公司、泰山集团股份有限公司、江苏太湖锅炉股份有限公司、江苏双良锅炉有限公司、苏州海陆重工股份有限公司、无锡太湖锅炉有限公司、三浦工业(中国)有限公司、陕西建工金牛集团股份有限公司。

本文件主要起草人:李春、余安明、周冬雷、傅海涛、钱林峰、王善武、郭晋、施鸿飞、雷钦祥、喻孟全、顾利平、潘瑞林、薛建光、钱风华、董黎明、杨建远、蔡晓峰、李立人、王惠云、邹玉进、李一骧、张妮乐、冯冰潇。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

——1996 年首次发布为 GB/T 16508—1996《锅壳锅炉受压元件强度计算》;

——2013 年第一次修订时,分为 GB/T 16508.1—2013~GB/T 16508.8—2013,纳入了锅壳锅炉设计、材料、制造、检验、验收、安装及运行的要求,本文件为 GB/T 16508 的第 3 部分;

——本次为第二次修订。

引 言

GB/T 16508《锅壳锅炉》是全国锅炉压力容器标准化技术委员会(以下简称“委员会”)负责制修订和归口的锅炉通用建造标准之一。其制定遵循了国家颁布的锅炉安全法规所规定的安全基本要求,设计准则、材料要求、制造检验技术要求、验收标准、安装要求和使用要求均符合 TSG 11《锅炉安全技术规程》的相应规定。GB/T 16508 为协调标准,满足 TSG 11《锅炉安全技术规程》的基本要求,同时也符合 TSG 91《锅炉节能环保技术规程》的要求。GB/T 16508 旨在规范锅炉的设计、制造、检验、验收、安装和运行,由 8 个部分构成。

- 第 1 部分:总则。目的在于确定锅壳锅炉范围、锅炉参数、建造规范以及节能和环保等建造锅壳锅炉的通用技术要求。
- 第 2 部分:材料。目的在于确定锅壳锅炉受压元件、承载非受压元件和焊接材料等的选材和用材要求。
- 第 3 部分:设计与强度计算。目的在于确定锅壳锅炉结构设计的基本要求以及受压元件的设计计算壁温、计算压力、设计许用应力取值及强度计算方法。
- 第 4 部分:制造、检验与验收。目的在于确定锅壳锅炉在制造过程中的标记、材料切割与矫正、冷热成形、主要零部件制造与装配、胀接、焊接、热处理、检验与试验、涂装与包装、铭牌及出厂资料的要求。
- 第 5 部分:安全附件和仪表。目的在于确定锅壳锅炉安全附件和仪表的设置和选用要求。
- 第 6 部分:燃烧系统。目的在于确定锅壳锅炉燃烧系统的技术要求。
- 第 7 部分:安装。目的在于确定锅壳锅炉的安装、调试和验收等要求。
- 第 8 部分:运行。目的在于确定锅壳锅炉运行与管理的要求。

由于 GB/T 16508 没有必要、也不可能囊括适用范围内锅炉建造和安装中的所有技术细节,因此,在满足 TSG 11《锅炉安全技术规程》所规定的基本安全要求的前提下,不禁止 GB/T 16508 中没有特别提及的技术内容。

GB/T 16508 不限制实际工程设计和建造中采用能够满足安全要求的先进技术方法。

对于未经委员会书面授权或认可的其他机构对标准的宣贯或解释所产生的理解歧义和由此产生的任何后果,本委员会将不承担任何责任。



锅壳锅炉

第3部分：设计与强度计算

1 范围

本文件规定了锅壳锅炉受压元件的设计要求和强度计算方法,并规定了确定元件最高允许工作压力的试验和有限元分析验证方法。

本文件适用于 GB/T 16508.1 界定的锅壳锅炉受压元件[包括承受内(外)压圆筒形元件、封头、管板、端盖、下脚圈等]和拉撑件的设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 150.3 压力容器 第3部分:设计
- GB/T 985.1 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口
- GB/T 985.2 埋弧焊的推荐坡口
- GB/T 1576 工业锅炉水质
- GB/T 2900.48 电工名词术语 锅炉
- GB/T 9252 气瓶压力循环试验方法
- GB/T 12145 火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量
- GB/T 16507.3 水管锅炉 第3部分:结构设计
- GB/T 16508.1 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、检验与验收
- JB/T 6734 锅炉角焊缝强度计算方法
- NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分:超声检测

3 术语和定义

GB/T 2900.48 和 GB/T 16508.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

计算温度 **calculating temperature**

在正常工作情况下,设定的受压元件或承受载荷的非受压元件的金属温度(内外壁温算术平均值)。

注:通常也称为计算壁温。

3.2

工作压力 **working pressure**

在正常设计运行工况条件下,受压元件所承受的最高压力。

3.3

计算压力 calculating pressure

在计算温度下,用以确定受压元件计算厚度的压力。

3.4

计算厚度 required thickness

理论计算公式确定的受压元件厚度。

注:必要时,计算厚度计入其他载荷所需厚度。

3.5

设计厚度 design thickness

计算厚度与厚度附加量之和。

3.6

腐蚀裕量 corrosion allowance thickness

设计使用期内,元件考虑腐蚀减薄需要的附加厚度。



3.7

厚度下偏差 lower tolerance of thickness

材料标准规定的厚度允许下偏差负值的绝对值。

注:无负值取0。

3.8

工艺附加厚度 process additional thickness

元件在冲压、卷制或弯制过程中制造工艺所允许的材料厚度最大减薄值。

3.9

最小需要厚度 minimum required thickness

元件承载计算压力、计算温度等载荷,并考虑腐蚀减薄因素所需厚度的最小值。

3.10

名义厚度 nominal thickness

设计厚度向上圆整至钢材标准规格的厚度。

注:即图样标注厚度。

3.11

有效厚度 effective thickness

名义厚度减去腐蚀裕量、钢材厚度下偏差和工艺附加厚度后的厚度。

3.12

最高火界 the highest fire line

锅炉蒸发受热面上受火焰或高温烟气冲刷的水侧最高点。

3.13

呼吸空位 component space

为防止产生过大的温差应力,锅炉管板上壁温不同的相邻元件之间的最小距离。

3.14

水压试验压力 hydrostatic test pressure

在水压试验时,按规定对锅炉整体或受压部件(元件)所施加的压力。

3.15

试验温度 test temperature

进行压力试验时,受压元件的金属温度。

4 符号

下列符号适用于本文件。

- C_1 ——受压元件腐蚀裕量,单位为毫米(mm);
- C_2 ——受压元件工艺附加厚度,单位为毫米(mm);
- C_3 ——受压元件钢材厚度下偏差,单位为毫米(mm);
- d ——开孔直径,单位为毫米(mm);
- E^t ——计算温度时材料的弹性模量,单位为兆帕(MPa);
- p ——元件计算压力,单位为兆帕(MPa);
- $[p]$ ——最高允许工作压力,单位为兆帕(MPa);
- p_r ——锅炉额定压力,单位为兆帕(MPa);
- p_o ——元件工作压力,单位为兆帕(MPa);
- t_s ——对应于计算压力下的工质饱和温度(热水锅炉为额定出水温度),单位为摄氏度(°C);
- t_c ——计算温度,单位为摄氏度(°C);
- t_{mave} ——平均工质温度,单位为摄氏度(°C);
- Δp_a ——设计附加压力,单位为兆帕(MPa);
- Δp_h ——液柱静压力,单位为兆帕(MPa);
- Δp_f ——工质流动阻力,单位为兆帕(MPa);
- η ——修正系数;
- δ ——受压元件名义厚度,单位为毫米(mm);
- $[\sigma]_j$ ——基本许用应力,单位为兆帕(MPa);
- $[\sigma]$ ——许用应力,单位为兆帕(MPa)。

5 设计要求

5.1 基本要求

5.1.1 锅炉设计应采用先进的技术,使产品满足安全、可靠、高效、经济和环保的要求,按 GB/T 16508.1 的相关规定进行设计。

5.1.2 设计时按下列要求确定所需考虑的计算载荷及所需进行的载荷计算。

- a) 受压元件设计时,应计入下述情况引起的载荷:
- 1) 水或蒸汽的内压或外压力;
 - 2) 液柱静压力;
 - 3) 工质流动阻力;
 - 4) 安全阀整定压力;
 - 5) 必要时还应计入下列载荷:
 - 受压元件及内装的自重载荷;
 - 附属设备的重力载荷;
 - 风、雪载荷和地震载荷;
 - 连接管道的其他作用力(管道的推力和力矩等);
 - 温度梯度和热膨胀量不同引起的作用力;
 - 压力急剧波动时的冲击载荷;
 - 运输和吊装时的作用力。

b) 承载非受压元件设计时,应计入下列载荷:

- 1) 永久载荷,包括:支吊重力、热膨胀推力;
- 2) 瞬时载荷,包括:安全阀排汽反作用力和其他短时间的作用力。

5.1.3 设计时应保证元件壁温不超过所用材料的许用温度,并考虑受热面管子内外壁温差及内壁抗蒸汽氧化等因素。

5.1.4 锅炉结构的设计应便于安装、运行操作、检修和清洗内外部。

5.1.5 设计时应按本文件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。

5.1.6 本文件范围内不能按第 6 章~第 14 章和附录 B 规定进行计算的异形受压元件或结构可按附录 A 规定的试验和有限元分析验证方法,确定元件最高允许工作压力。

5.1.7 锅炉角焊缝的强度计算应符合 JB/T 6734 的规定。

5.2 结构要求

5.2.1 一般要求

5.2.1.1 锅壳锅炉主要受压元件包括锅壳、集箱、管道、集中下降管、炉胆、回燃室以及管板(封头)、炉胆顶和下脚圈等。

5.2.1.2 受压元件应有足够的强度。受压元件结构的形式、开孔和焊缝的布置尽量避免或减少复合应力和应力集中。

5.2.2 锅壳、炉胆壁厚和长度

5.2.2.1 锅壳内径大于 1 000 mm 时,锅壳筒体的取用壁厚应不小于 6 mm;锅壳内径不大于 1 000 mm 时,锅壳筒体的取用壁厚应不小于 4 mm。

5.2.2.2 胀接连接的锅壳筒体、管板,其取用壁厚应不小于 12 mm;外径大于 89 mm 的管子不应采用胀接连接。

5.2.2.3 炉胆内径应不超过 1 800 mm,炉胆壁厚符合以下规定:

- a) 炉胆内径小于或等于 1 800 mm 且大于 400 mm 时,其取用壁厚应不小于 8 mm,且不大于 22 mm;
- b) 炉胆内径小于或等于 400 mm 时,其取用壁厚应不小于 6 mm。

5.2.2.4 卧式内燃锅炉的回燃室,其筒体的取用壁厚应不小于 10 mm,且不大于 35 mm。

5.2.2.5 卧式平直炉胆的计算长度应不超过 2 000 mm,当炉胆两端与管板扳边对接连接时,平直炉胆的计算长度可放大至 3000 mm。

5.2.3 安全水位

5.2.3.1 锅炉的最低和最高安全水位应在锅炉图样上注明。

5.2.3.2 锅炉正常运行时的最低安全水位应高于最高火界 100 mm。对于锅壳内径不大于 1 500 mm 的卧式锅壳锅炉,其最低安全水位应高于最高火界 75 mm。

5.2.3.3 锅炉停止给水情况下,在锅炉额定负荷下继续运行,锅炉水位从最低安全水位下降到最高火界的时间(安全降水时间)应不低于 7 min,对于燃气(液)锅炉应不低于 5 min。

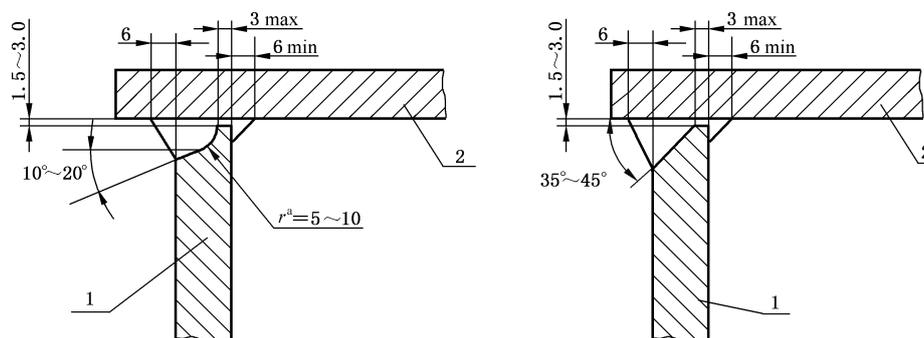
5.2.4 焊接结构

5.2.4.1 锅炉主要受压元件的主焊缝(包括锅壳、炉胆、回燃室、集箱等的纵向和环向焊缝,以及封头、管板、炉胆顶和下脚圈等的拼接焊缝)应采用全焊透型结构;拉撑件不应拼接。

5.2.4.2 对于锅炉额定压力不大于 2.5 MPa 的卧式内燃锅壳锅炉、包含锅壳锅炉元件的余热锅炉和贯流式锅炉,除直接受烟气冲刷部位的连接处以外,在符合下列要求的情况下,其管板与炉胆、锅壳可采用 T 型接头的对接连接,但不应采用搭接连接。

- 采用全焊透的接头型式(参见图 1),且坡口经机械加工。
- 管板与筒体的连接采用插入式的结构(贯流式锅炉除外)。
- T 型接头连接部位的焊缝计算厚度不小于管板(盖板)的壁厚,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或其他气体保护焊打底,且保证焊透。
- T 型接头连接部位的焊缝应按 NB/T 47013.3 的要求进行超声检测。

单位为毫米



标引序号说明:

- 1——平管板;
2——筒体。

^a r 为 5 mm 时对应最小角度 20°, r 为 10 mm 时对应最小角度 10°。

图 1 锅壳筒体与平管板连接的坡口型角焊结构(参考图)

5.2.4.3 管接头与锅壳、集箱、管道的连接,在以下情况下应采用全焊透的接头型式:

- 强度计算要求全焊透的加强结构型式;
- 额定工作压力不小于 3.8 MPa 锅炉集中下降管管接头;
- 下降管或其管接头与集箱连接时(外径不大于 108 mm,且采用插入式结构的下降管除外)。

5.2.4.4 锅炉受压元件人孔圈、头孔圈与筒体、封头、管板的连接应采用全焊透结构。

5.2.4.5 支管或管接头与锅壳、集箱、管道连接时,不应采用奥氏体钢和铁素体钢的异种钢焊接;奥氏体不锈钢元件不应直接螺纹连接到铁素体集箱和管子上。

5.2.4.6 焊接接头型式应符合以下要求:

- 对接焊接接头型式,按照 GB/T 985.1、GB/T 985.2 的要求;
- 管子或管接头与筒体、集箱的焊接连接允许采用的型式,按照 GB/T 16507.3 的要求;
- 承受主要载荷的吊耳与受压元件之间的焊接连接允许采用的型式,按照 GB/T 16507.3 的要求;
- 需进行无损检测的焊接接头,其接头型式能满足无损检测的要求。

5.2.5 焊缝布置

5.2.5.1 锅壳和炉胆上相邻两筒节的纵向焊缝,以及封头、管板、炉胆顶或下脚圈的拼接焊缝与相邻筒节的纵向焊缝,都不应彼此相连。其焊缝中心线间距离(外圆弧长)至少为较厚钢板厚度的 3 倍,且不小于 100 mm。

5.2.5.2 锅炉受热面管子(异种钢接头除外)以及管道直段上,对接焊缝中心线间的距离(L)应满足表 1

的要求。如锅炉结构难以达到表 1 要求时,对接焊缝的热影响区不应重合,且 L 应不小于 50 mm。

表 1 对接焊缝中心线间的距离(L)

单位为毫米

外径(D_o)	$D_o < 159$	$D_o \geq 159$
对接焊缝中心线间的距离(L)	$L \geq 2D_o$	$L \geq 300$

5.2.5.3 锅炉受热面管子、管道对接焊缝位置应满足以下规定:

- a) 受热面管子、管道(成型管件除外)对接焊缝应位于管子直段上;
- b) 受热面管子的对接焊缝中心线至锅壳及集箱外壁、管子弯曲起点、管子支吊架边缘的距离至少为 50 mm;对于额定工作压力不小于 3.8 MPa 的锅炉,该距离至少为 70 mm(受结构限制的异种钢接头除外);对于管道该距离应不小于 100 mm。

5.2.5.4 受压元件主要焊缝及其邻近区域不应焊接附件。如果不能避免,则焊接附件的焊缝可穿过主要焊缝,但不应在主要焊缝及其邻近区域终止。

5.2.5.5 拼接焊缝要求如下:

- a) 锅炉受热面管子(异种钢接头除外)、管道上,每根管子全长的拼接焊缝总数(N)应符合表 2 的规定。

表 2 管子拼接焊缝数量

管子全长(L_q) /m	$L_q \leq 2$	$2 < L_q \leq 5$	$5 < L_q \leq 10$	$10 < L_q \leq 15$	$L_q > 15$
拼接焊缝总数(N)	不应拼接	1	2	3	4

- b) 每根(排)蛇形管全长平均每 4 000 mm 允许有一条拼接焊缝,拼接管子的长度不宜小于 2 500 mm,最短长度不小于 500 mm。
- c) 对于名义内径大于 1 800 mm 的锅壳,每节筒体纵向拼接焊缝应不多于 3 条;名义内径不大于 1 800 mm 的锅壳及炉胆,每节筒体纵向拼接焊缝应不多于 2 条。每节筒体纵向焊缝间外圆弧长应不小于 300 mm。筒体拼接时,锅壳、炉胆任一筒节长度应不小于 300 mm,集箱筒体任一筒节长度应不小于 500 mm。
- d) 名义内径大于 2 200 mm 的管板和封头的拼接焊缝应不多于 2 条,名义内径不大于 2 200 mm 的管板和封头的拼接焊缝应不多于一条。拼接焊缝位置要求如下:
 - 1) 封头的拼接焊缝离封头中心线的距离应不大于封头名义内径的 30%,且不应通过扳边人孔,也不应布置在人孔扳边圆弧上;
 - 2) 平管板的整条拼接焊缝不应布置在扳边圆弧上,且不应通过扳边孔;
 - 3) 拱型管板拼接焊缝与平直部分和凸形部分相交线的距离不应超过当量内径的 30%(中心线按边缘烟管管排中心线算起)。
- e) 下脚圈的拼接焊缝应径向布置,两焊缝中心线间的最短外圆弧长不应小于 300 mm。

5.2.6 孔的布置

5.2.6.1 胀接管孔要求如下。

- a) 胀接管孔间的净距离应不小于 19 mm,且不小于管子壁厚的 6 倍。
- b) 胀接管孔中心与焊缝边缘以及管板扳边起点的距离应不小于 $0.8d$,并且不小于 $0.5d + 12$ mm。
- c) 胀接管孔不应布置在锅壳筒体的纵向焊缝上,也尽量避免布置在环向焊缝上。如结构设计不

能避免位于环向焊缝时,在管孔周围 60 mm(如果管孔直径大于 60 mm,则取孔径值)范围内的焊缝经射线或超声检测合格,且焊缝在管孔边缘上不存在夹渣缺陷,同时在对管孔部位的焊缝内外表面进行磨平且受压元件整体热处理后,在环向焊缝上可布置胀接管孔。

5.2.6.2 焊接管孔应满足以下规定:

- a) 集中下降管的管孔不应布置在焊缝及其热影响区上;
- b) 其他焊接管孔亦不应布置在焊缝及其热影响区上;
- c) 当结构设计不能避免时,在管孔周围 60 mm(如果管孔直径大于 60 mm,则取孔径值)范围内的焊缝经射线或超声检测合格,且焊缝在管孔边缘上不存在夹渣缺陷,管接头焊后经过热处理(额定出水温度小于 120 °C 的热水锅炉除外)消除应力的情况下,可在焊缝及其热影响区上布置焊接管孔。

5.2.6.3 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(额定出水温度小于 120 °C 的热水锅炉除外)则不受此限。

5.2.6.4 锅炉受压元件上开设的人孔、头孔、手孔、清洗孔、检查孔、观察孔的数量和位置应满足安装、检验、维修、运行监视和清洗(理)的需要。对于锅壳内有烟管的锅炉,人孔和头孔的布置应兼顾锅壳上、下部的检修需求。具体要求如下:

- a) 内径大于 1 000 mm 的锅壳至少应在筒体或封头(管板)上开设 1 个人孔,由于结构限制导致人员无法进入锅炉时,可只开设头孔;
- b) 内径为 800 mm~1 000 mm 的锅壳至少应在筒体或封头(管板)上开设 1 个头孔;
- c) 立式锅壳锅炉(电加热锅炉除外)下部至少应开设 3 个手孔。

5.3 腐蚀裕量

腐蚀裕量应根据如下要求进行确定:

- a) 对于 $\delta > 20$ mm 的元件,取 $C_1 \geq 0$ mm;
- b) 对于 $\delta \leq 20$ mm 的元件,取 $C_1 \geq 0.5$ mm;
- c) 在可能发生严重腐蚀的情况下,应相应地增加腐蚀裕量。

5.4 焊接接头系数

5.4.1 焊接接头质量应符合 GB/T 16508.4 的有关规定。

5.4.2 焊接接头系数(φ_w)应根据对接接头的焊缝型式及无损检测的比例确定。

5.4.3 双面焊对接接头和相当于双面焊的全焊透对接接头确定如下:

- a) 100%无损检测, $\varphi_w = 1.00$;
- b) 局部无损检测, $\varphi_w = 0.90$ 。

5.4.4 单面焊对接接头确定如下:

- a) 100%无损检测, $\varphi_w = 0.90$;
- b) 局部无损检测, $\varphi_w = 0.80$ 。

5.5 许用应力

5.5.1 设计计算时根据元件结构特点和工作条件,按公式(1)计算材料的许用应力($[\sigma]$)。

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

5.5.2 常用材料的基本许用应力($[\sigma]_j$)可按 GB/T 16508.2 的规定选取。GB/T 16508.2 基本许用应力表中相邻温度之间的许用应力数值可用算术内插法确定,并应舍去小数点后的数值。

5.5.3 修正系数(η)根据元件结构特点和工作条件,按表 3 选取。



表3 修正系数(η)

元件型式及工作条件		η
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(烟温不大于 600 °C)	0.95
	受热(烟温大于 600 °C)	0.90
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	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)

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。

5.6.2 受压元件的计算温度(t_c)通过以下方法确定：

- 由传热公式或经验公式计算；
- 取同类型锅炉的测量值；
- 根据受压元件内部工质温度和外部条件确定；
- 当锅炉给水质量符合 GB/T 1576 或 GB/T 12145 时,可按表 4 确定。

5.6.3 承受载荷的非受压元件的计算温度按计算部位的介质温度和环境温度确定。

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	$t_s + 110$
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	$t_s + 90$
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	$t_s + 70$

表 4 计算温度(t_c) (续)

单位为摄氏度

受压元件型式及工作条件	t_c
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	$t_s + 50$
与温度低于 600 °C 烟气接触的锅壳筒体、平板、管板、集箱	$t_s + 25$
水冷壁管	$t_s + 50$
对流管、拉撑管、烟管	$t_s + 25$
不直接受烟气或火焰加热的元件	t_s
注：对于省煤器、过热器元件，本表中的 t_s 为 t_{mave} 。	

5.7 元件工作压力和元件计算压力

5.7.1 元件工作压力按公式(2)计算：

$$p_o = p_r + \Delta p_f + \Delta p_h \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中， Δp_f 取锅炉最大流量时计算元件至锅炉出口之间的压力降； Δp_h 在元件底部液柱静压力不大于 $(p_r + \Delta p_a + \Delta p_f)$ 的 3% 时，则取 Δp_h 为零。

5.7.2 元件计算压力按公式(3)计算：

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

式中， Δp_a 可根据锅炉额定压力(p_r)的范围按下列要求取值：

- 当 $p_r \leq 0.8$ MPa 时， $\Delta p_a \geq 0.03$ MPa；
- 当 0.8 MPa $< p_r \leq 5.3$ MPa 时， $\Delta p_a \geq 0.04 p_r$ ；
- 当 $p_r > 5.3$ MPa 时， $\Delta p_a \geq 0.05 p_r$ 。

6 承受内压力的圆筒形元件

6.1 概述

本章规定了承受内压力的圆筒形元件，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

本章使用下列符号：

- a ——斜向孔桥两孔间在筒体内外壁平均直径圆周方向上的弧长，单位为毫米(mm)；
- a_1 ——弯管工艺系数；
- b ——斜向孔桥两孔间在筒体轴线方向上的距离，单位为毫米(mm)；
- b_1 ——弯管外侧厚度实际制造工艺减薄率；
- C ——厚度附加量，单位为毫米(mm)；
- D_i ——锅壳筒体内径，单位为毫米(mm)；
- D_o ——集箱筒体外径，单位为毫米(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，椭圆孔在相应节距方向上的尺寸，单位为毫米(mm)；

注：插入式双面角焊仅限 $p_r \leq 2.5$ MPa 的锅炉，且不受热管接头(或孔圈)。

- d_e ——孔的当量直径,单位为毫米(mm);
- d_m ——相邻两孔直径的平均值,单位为毫米(mm);
- d_o ——管子的外径,单位为毫米(mm);
- $[d]$ ——未补强孔最大允许直径,单位为毫米(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,以百分数(%)表示;
- 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 α 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工作压力,单位为兆帕(MPa);
- R ——弯管中心线的半径或圆弧集箱中心线的半径,单位为毫米(mm);
- s_o ——可不考虑孔间影响的相邻两孔的最小节距,单位为毫米(mm);
- s ——纵向(轴向)相邻两孔的节距,或为火箱管板的内壁间距,单位为毫米(mm);
- s' ——横向(环向)相邻两孔的节距,单位为毫米(mm);
- s'' ——斜向相邻两孔的节距,单位为毫米(mm);
- α' ——孔的轴线偏离筒体径向的角度,单位为度($^\circ$);
- δ ——受压元件名义厚度,单位为毫米(mm);
- δ' ——对接边缘厚度偏差,单位为毫米(mm);
- δ_c ——受压元件计算厚度,单位为毫米(mm);
- δ_{\min} ——受压元件最小需要厚度,单位为毫米(mm);
- δ_{bc} ——钢管弯成的弯管外侧的计算厚度,单位为毫米(mm);
- δ_{be} ——弯管外侧的有效壁厚,单位为毫米(mm);
- $\delta_{b\min}$ ——弯管成品外侧的最小需要厚度,单位为毫米(mm);
- δ_e ——受压元件有效厚度,单位为毫米(mm);
- 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_w ——焊接接头减弱系数;
- φ_{\min} ——最小减弱系数;
- φ_c ——校核部位的减弱系数;
- $[\sigma]_1$ ——管接头材料的许用应力,单位为兆帕(MPa)。



6.3 锅壳和集箱筒体

6.3.1 锅壳筒体计算厚度按公式(4)计算:

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

锅壳筒体最小需要厚度按公式(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,应满足公式(6):

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

6.3.2 集箱筒体计算厚度按公式(7)计算:

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

集箱筒体最小需要厚度(δ_{\min})按公式(5)计算。

集箱筒体名义厚度应满足公式(8):

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

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公式(9)、公式(10)计算:

锅壳筒体:

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

集箱筒体:

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

公式(9)、公式(10)中的有效厚度(δ_c)按公式(11)计算:

$$\delta_c = \delta - C \dots\dots\dots(11)$$

当 δ_c 按公式(11)计算时,取 φ_c 等于 φ_{\min} ; δ_c 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,此时公式(9)中的 $(\varphi_c\delta_c)/(D_i + \delta_c)$ 、公式(10)中的 $(\varphi_c\delta_c)/(D_o - \delta_c)$ 应以最小值代入。此外,由公式(9)、公式(10)计算所得的最高允许工作压力还应满足第13章的要求。

6.4 承受内压力管子

6.4.1 厚度按下列要求计算:

直管的计算厚度按公式(12)计算:

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

用钢管制成的弯管,弯管外侧的计算厚度(δ_{bc})按公式(13)计算:

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

公式(13)中的弯管形状系数(K_1)按公式(14)计算:

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

直管的名义厚度应满足公式(15):

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

由钢管制成的弯管,弯管的名义厚度应满足公式(16):

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

6.4.2 校核计算时,直管最高允许工作压力按公式(17)计算:

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

公式(17)中的 δ_c 按公式(18)计算:

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

弯管最高允许工作压力($[p]_w$)按公式(19)计算:

$$[p]_w = \frac{2\varphi_w[\sigma]\delta_{bc}}{K_1d_o - \delta_{bc}} \dots\dots\dots(19)$$

弯管外侧的有效厚度(δ_{bc})按公式(20)计算:

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

带弯管的管子的最高允许工作压力应取公式(17)和公式(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公式(21)、公式(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

6.6.1 公式(4)和公式(7)中的最小减弱系数(φ_{min})取纵向焊接接头系数(φ_w)、纵向孔桥减弱系数(φ)、两倍横向孔桥减弱系数($2\varphi'$)(当 $2\varphi' > 1$ 时,取 $2\varphi' = 1.00$)及斜向孔桥当量减弱系数(φ_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 的规定处理。

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(φ_w)按 5.4 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)不小于按公式(23)计算的值时,孔桥减弱系数可不必计算。

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

公式(23)中的 d_m 按公式(29)确定,插入式接管(或孔圈)的钢材许用应力($[\sigma]_1$)小于筒体钢材的许用应力($[\sigma]$)时,减弱系数计算中的 d 应取接管(或孔圈)内径与 $2\delta_1[1 - ([\sigma]_1/[\sigma])]$ 之和(δ_1 为补强管接头或补强圈的名义厚度)。

6.6.4 相邻两孔的节距小于按公式(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($[d]$)时,应按 6.6.6 的规定计算孔桥减弱系数。

若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($[d]$),应在满足 13.7.2 所要求的条件下,按 13.3.7~13.3.9 的规定按单孔对大孔进行补强。补强后按无孔处理。

若相邻两孔均需要补强,其节距应不小于其平均直径的 1.5 倍。补强后按无孔处理。

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) 加厚管接头的高度为厚度的 2.5 倍;
- b) 加厚管接头的焊脚尺寸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,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 的规定进行孔的补强,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 相邻两孔的孔桥减弱系数按下列方法计算。

a) 等直径纵向相邻两孔(见图 2)的孔桥减弱系数按公式(24)计算:

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

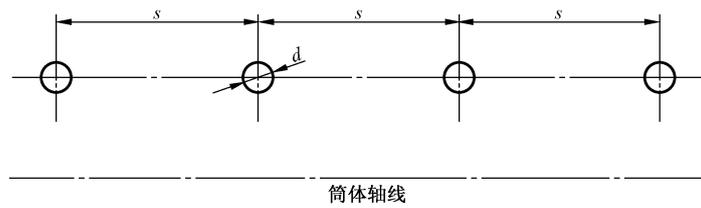


图 2 纵向孔桥

b) 等直径横向相邻两孔(见图 3)的孔桥减弱系数按公式(25)计算:

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

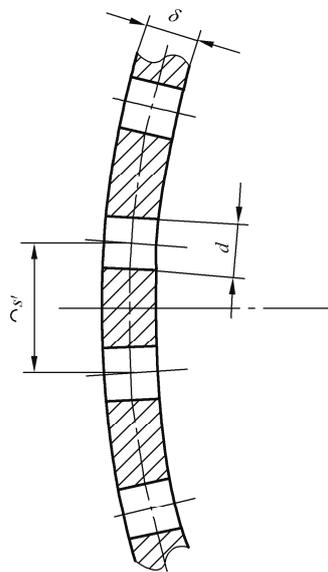


图 3 横向孔桥

c) 相邻两孔的斜向孔桥当量减弱系数按以下方法计算或查取:

1) 等直径斜向相邻两孔[见图 4a)]的孔桥当量减弱系数按公式(26)计算。

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

当计算结果 $\varphi_d > 1$ 时,取 $\varphi_d = 1.00$ 。

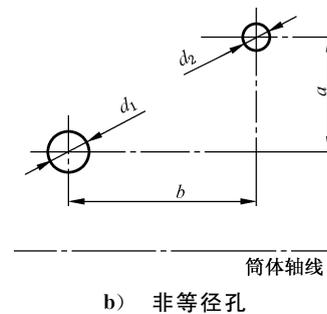
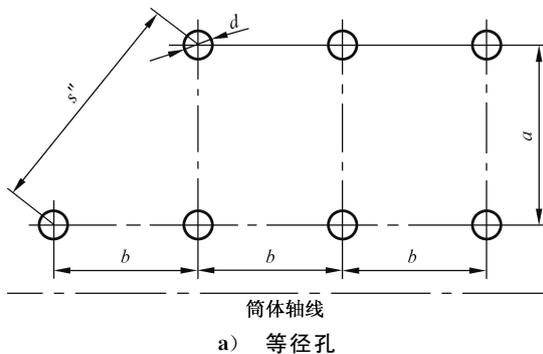


图 4 斜向孔桥

斜向孔桥换算系数(K)按公式(27)计算:

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

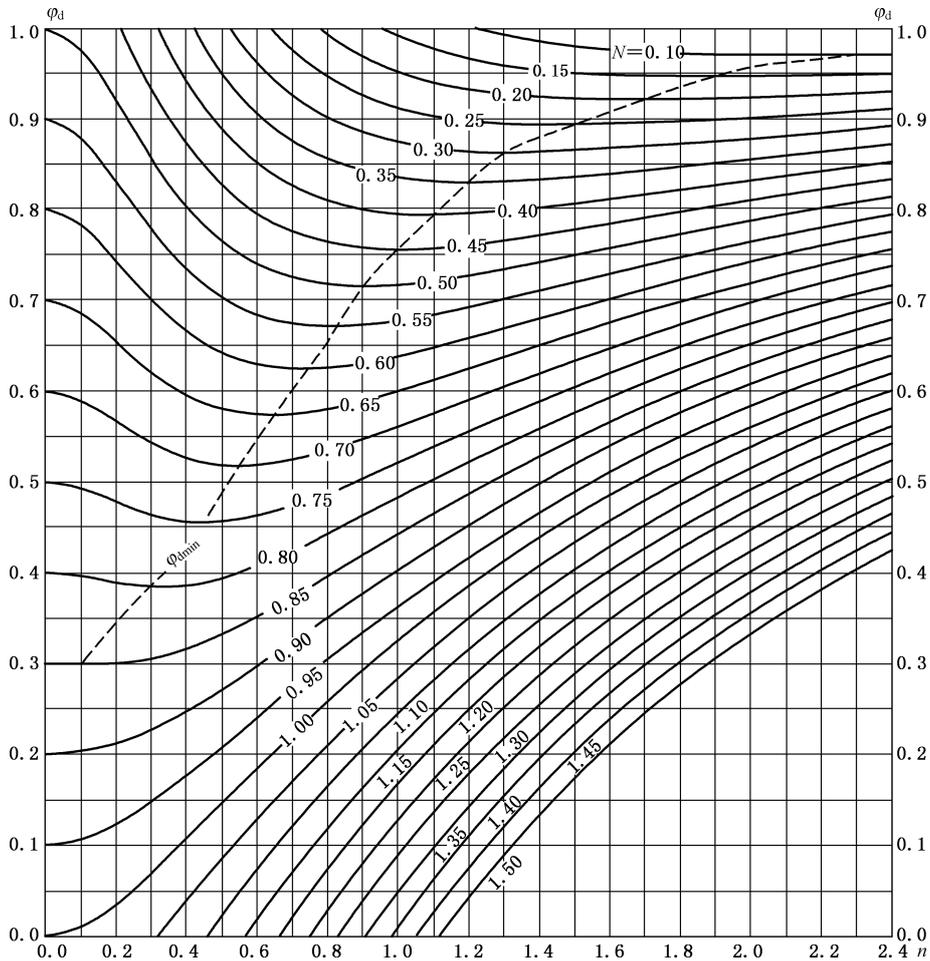
公式(27)中, $n=b/a$ 。当 $n \geq 2.4$ 时,可取 $K=1$,此时 $\varphi_d = \varphi''$ 。

斜向孔桥减弱系数(φ'')按公式(28)计算:

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

公式(28)中, $s'' = a\sqrt{1+n^2}$ 。

- 2) 斜向相邻两孔的孔桥当量减弱系数(φ_d)也可按图 5 中的线算图直接查取,图中, $N = (d_1 + d_2)/2a$, d_1 、 d_2 和 a 见图 4b)。



注: 图中虚线为各条曲线极小值的连线。

图 5 确定 φ_d 值的线算图

- d) 若相邻两孔直径不同,计算孔桥减弱系数时,公式(24)、公式(25)及公式(28)中的直径(d)取相邻两孔的平均值(d_m),按公式(29)计算:

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

- e) 若相邻两孔有凹座开孔(见图 6),计算孔桥减弱系数时,公式(24)、公式(25)及公式(28)中的



直径(d)以当量直径(d_e)代入, d_e 按公式(30)计算:

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

f) 若相邻两孔有非径向孔(见图7),计算孔桥减弱系数时,公式(24)、公式(25)及公式(28)中的直径(d)以当量直径(d_e)代入, d_e 按公式(31)~公式(33)确定。非径向孔孔轴与径向夹角(α')应不大于 45° ,非径向孔宜经机械加工或仿形气割成形。

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:

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

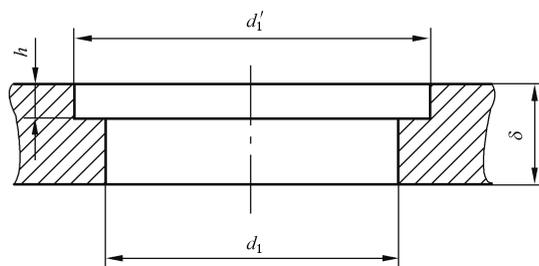


图6 具有凹座的孔

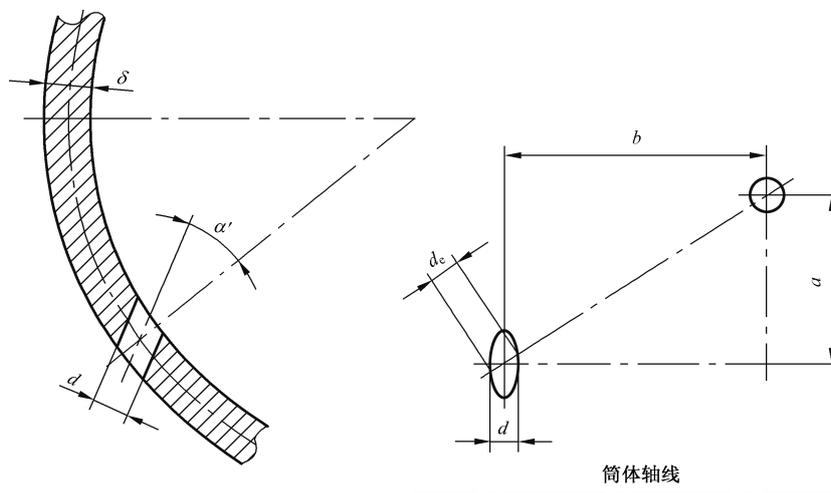


图7 非径向孔

g) 若相邻两孔有椭圆孔,计算孔桥减弱系数时,公式(24)、公式(25)及公式(28)中的直径(d)按椭圆孔沿相应节距方向上的尺寸确定。

6.7 厚度附加量

6.7.1 锅壳筒体的厚度附加量

锅壳筒体的厚度附加量(C)按公式(34)计算:



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

公式(34)中的 C_1 为腐蚀裕量,与水侧的含氧量、烟气侧的含硫量以及锅炉设计寿命相关,一般取 0.5 mm;对厚度超过 20 mm 的元件,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; C_2 为工艺附加厚度,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 0 mm;冷卷后热校的锅壳筒体,可取 1 mm;热卷后热校的锅壳筒体,可取 2 mm; C_3 为钢材厚度下偏差(为负值时),按相应的材料标准确定。

6.7.2 集箱筒体的厚度附加量

6.7.2.1 设计计算时,集箱筒体的厚度附加量(C)按公式(35)计算:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad \dots\dots\dots(35)$$

对于由钢管制成的直集箱筒体, C_1 按 6.7.1 处理, C_2 取为 0 mm, C_3 按公式(36)计算:

$$C_3 = \frac{m}{100 - m}(\delta_c + C_1) \quad \dots\dots\dots(36)$$

对于由钢管弯成的圆弧形集箱筒体, C_1 按 6.7.1 处理, C_2 、 C_3 分别按公式(37)和公式(38)计算:

$$C_2 = \frac{\delta_c}{(4n_1 - 1)(2n_1 + 1)} \quad \dots\dots\dots(37)$$

公式(37)中的 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。

$$C_3 = \frac{m}{100 - m}(\delta_c + C_1 + C_2) \quad \dots\dots\dots(38)$$

6.7.2.2 校核计算时,集箱筒体的厚度附加量(C)按公式(35)计算。

对于由钢管制成的直集箱筒体, C_1 按 6.7.1 处理, C_2 取 0 mm, C_3 按公式(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 处理, C_3 按公式(39)计算, C_2 按公式(40)计算。

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

6.7.3 承受内压力管子的厚度附加量

6.7.3.1 设计计算时,管子的厚度附加量(C)按公式(35)计算。

对于直管, C_1 按 6.7.1 处理,对换热管 C_1 取 0 mm, C_2 取 0 mm, C_3 按公式(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 的处理,对于换热管 C_1 取 0 mm, C_2 、 C_3 分别按公式(42)和公式(43)计算:

$$C_2 = \frac{a_1}{100 - a_1}(\delta_{bc} + C_1) \quad \dots\dots\dots(42)$$

$$C_3 = \frac{m}{100 - m}(\delta_{bc} + C_1 + C_2) \quad \dots\dots\dots(43)$$

公式(42)中的 a_1 为弯管工艺系数,按公式(44)计算:

$$a_1 = \frac{25d_o}{R} \quad \dots\dots\dots(44)$$

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 a_1 值时, a_1 值应取弯管外侧厚度实际制造工艺减薄率值。

6.7.3.2 校核计算时,管子的厚度附加量(C)按公式(35)计算。

对于直管, C_1 按6.7.1处理,对于换热管 C_1 取0 mm, C_2 取为0 mm, C_3 按公式(39)计算。

对于由钢管弯成的弯管, C_1 按6.7.1处理,对于换热管 C_1 取0 mm, C_3 按公式(39)计算, C_2 按公式(45)计算:

$$C_2 = \frac{a_1}{100}(\delta - C_3) \quad \dots\dots\dots(45)$$

6.8 厚度限制

6.8.1 锅壳筒体内径(D_i)大于1 000 mm时,锅壳筒体的名义厚度应不小于6 mm;锅壳筒体内径(D_i)不大于1 000 mm时,锅壳筒体的名义厚度应不小于4 mm。胀接连接的锅壳筒体,其取用壁厚应不小于12 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,名义厚度应不大于表5的规定。

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 对于锅炉额定压力大于2.5 MPa的锅炉,不绝热集箱筒体的厚度应不大于30 mm。

6.8.5 对于锅炉额定压力不大于2.5 MPa的锅炉,不绝热集箱和防焦箱筒体的厚度应不大于表6的规定。

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(φ 、 φ' 及 φ'')均应不小于0.3;外径大于89 mm的管子不应采用胀接。

6.9.2 胀接管孔应符合5.2.6.1的规定。

6.9.3 焊接管孔应符合5.2.6.2和5.2.6.3的规定。焊接管孔尽量避免开在焊缝及其热影响区,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,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,并要求如下:

- 距管孔中心 $1.5d$ 直径范围内(当管孔直径小于60 mm时,为 $0.5d+60$ mm范围内)的焊缝经射线或超声波检测合格,且孔周边不应有夹渣缺陷;
- 管子或管接头焊后经热处理或局部热处理(额定出水温度小于120 °C的热水锅炉除外)消除残余应力。

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 8 所示,要求如下:

- a) 当扳边元件内径不大于 600 mm 时,直段长度(l)应不小于 25 mm。
- b) 当扳边元件内径大于 600 mm 时,直段长度(l)应不小于 38 mm。
- c) 扳边内半径(r)的要求对于平板或管板见 9.3.11,碟形封头见 8.4.7。
- d) 对接边缘厚度偏差(δ')应不大于(0.15 名义厚度+1),且不大于 6 mm。不同厚度的两元件对接,名义厚度在削薄时指薄板厚度,不削薄时指厚板厚度。
- e) 当 δ' 超过规定值时,应进行削薄,削薄长度应不小于削薄厚度的 3 倍。

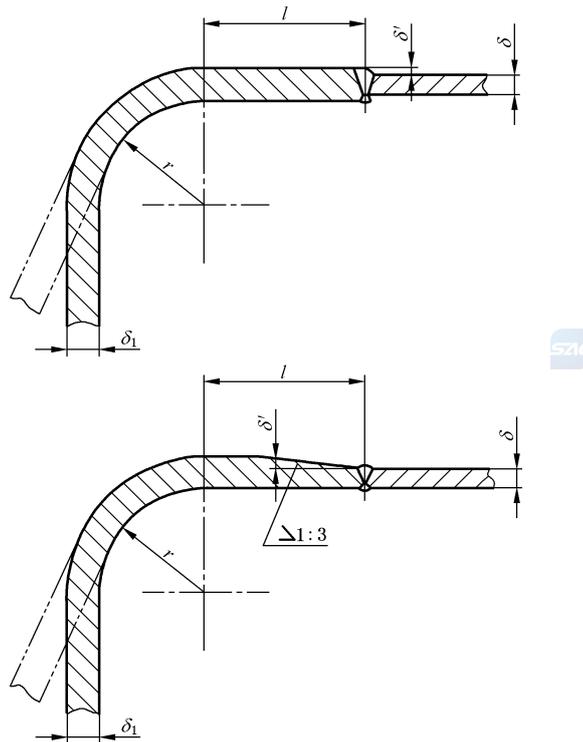


图 8 锅壳筒体与扳边的平管板或凸形封头的连接

7 承受外压力的圆筒形炉胆、冲天管、烟管和其他元件

7.1 概述

本章规定了以下承受外压的圆筒形元件的设计计算方法和结构要求:

- a) 额定工作压力不大于 2.5 MPa 的立式锅壳锅炉的炉胆、冲天管、烟管;
- b) 额定工作压力不大于 3.8 MPa 的卧式锅壳锅炉的炉胆、回燃室;
- c) 额定工作压力小于 5.3 MPa 的卧式锅壳锅炉的烟管。

7.2 符号

本章使用下列符号:

- a ——中性轴 $X-X$ 与通过圆心的轴线 X_0-X_0 的距离,单位为毫米(mm);
- D_i ——炉胆内径,单位为毫米(mm);
- D_m ——炉胆平均直径,波形炉胆平直部分的平均直径,单位为毫米(mm);
- D_o ——炉胆外径,单位为毫米(mm);

- E^t ——计算温度时的弹性模量,单位为兆帕(MPa);
 h_j ——加强圈高度,单位为毫米(mm);
 h_o ——炉胆顶外高度,单位为毫米(mm);
 I_1 ——波纹截面对其自身中性轴的惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴);
 I_2 ——加强圈对其自身中性轴的惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴);
 I_3 ——膨胀环对其自身中性轴的惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴);
 I', I'', I''' ——所需要的惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴);
 l ——扳边元件直段长度,单位为毫米(mm);
 L ——炉胆的计算长度,单位为毫米(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,单位为毫米(mm);
 R ——波形炉胆的波纹中半径,单位为毫米(mm);
 r ——波形炉胆的波纹内半径,单位为毫米(mm);
 s ——波形炉胆的波纹节距,单位为毫米(mm);
 u ——卧式平直炉胆圆度百分率;
 W ——波形炉胆的波纹深度,单位为毫米(mm);
 X ——平炉胆计算长度的增值;
 α' ——夹角,半夹角,单位为度(°);
 δ ——受压元件名义厚度,单位为毫米(mm);
 δ_c ——受压元件计算厚度,单位为毫米(mm);
 δ_j ——加强圈厚度,单位为毫米(mm);
 δ_{\min} ——受压元件最小需要厚度,单位为毫米(mm);
 δ_s ——受压元件设计厚度,单位为毫米(mm);
 δ_e ——受压元件有效厚度,单位为毫米(mm);
 φ_{\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公式(46)、公式(48)计算,取两者较大值。

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

公式(46)中的 B 按公式(47)计算:

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

或

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

公式(47)中的 n_1 、公式(48)中的 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公式(49)、公式(50)计算,取两者较小值。

$$[p] = \frac{2R_{eL}^t(\delta - 1)}{n_1 D_m} \left[\frac{1 + \frac{D_m}{15L}}{1 + \frac{0.03 D_m u}{(\delta - 1) \left(1 + \frac{D_m}{0.3L}\right)}} \right] \dots\dots\dots(49)$$

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

公式(49)中的 n_1 、公式(50)中的 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公式(51)、公式(52)计算：

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

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

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(见图 9)、水冷炉排锅炉(见图 10)的 $\varphi_{\min} = 1.00$,但 α' 应不大于 45° ,非径向孔宜经机械加工或仿形气割成形,两侧边缘管孔的焊缝尺寸应满足图 40(拉撑管与平管板的连接)要求；
- b) 弯水管锅炉(见图 11)的 φ_{\min} 按 6.6 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。

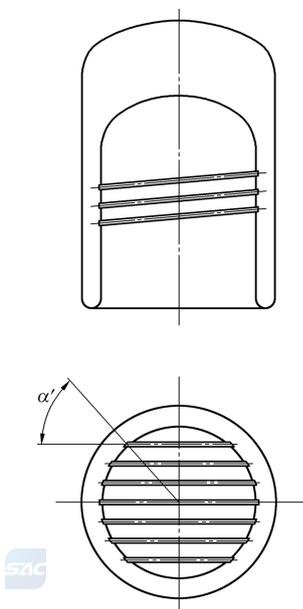


图 9 多横水管锅炉

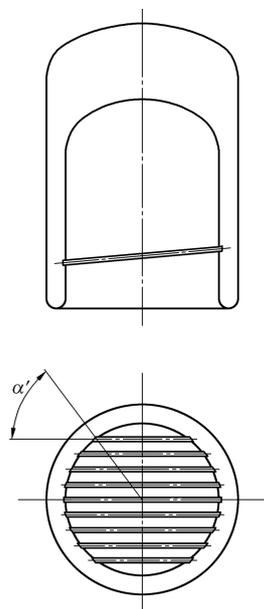


图 10 水冷炉排锅炉

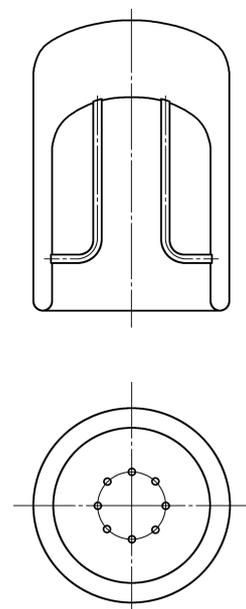


图 11 弯水管锅炉

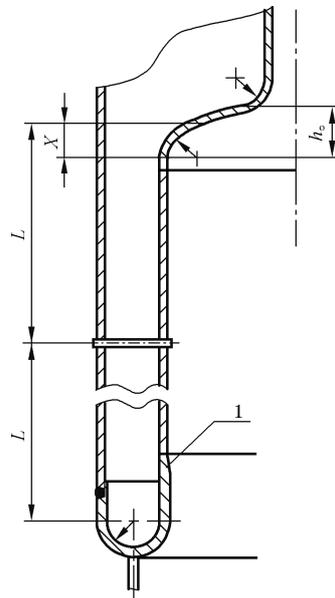
7.3.1.5 炉胆的计算长度(L)按以下规定确定：

- a) 炉胆与平管板或凸形封头连接处:为扳边对接焊时,以扳边起点作为计算支点,即 L 的起算点;为坡口型角焊时,以角焊根部作为计算支点；

- b) 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;
- 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(见图 18);
- d) 平直炉胆用膨胀环连接时,以膨胀环中心线作为计算支点(见图 19);
- e) 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,拉杆直径应不小于 18 mm。

表 7 X 值

h_o/D_o	0.17	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
X/D_o	0.07	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20
注: 相邻两个数值间的 X/D_o 采用算术内插法确定,数值保留到小数点后二位。						



标引序号说明:

1——U 型下脚圈。

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(见图 13),内径(D_i)取 D_i' 与 D_i'' 之和的一半。

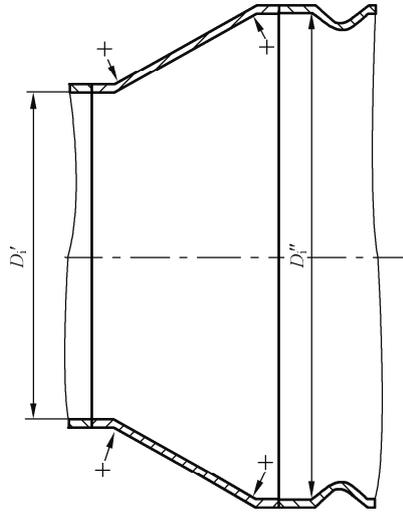


图 13 带有锥度的平直炉胆

7.3.1.7 卧式平直炉胆的圆度百分率(u)可按公式(53)计算,或取 $u = 1.2$ 。

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

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)

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

7.3.1.9 计算温度(t_c)时的屈服强度(R_{tL}')按 GB/T 16508.2 确定。

7.3.1.10 材料的弹性模量(E')按表 9 确定,其相邻两数值间的值采用算术内插法确定。

表 9 材料的弹性模量(E')



单位为千兆帕

材料类别	在下列温度下的弹性模量(E')											
	20 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C
碳素钢、碳锰钢	201	197	194	191	188	183	178	170	160	149	—	—
锰钼钢、镍钢	200	196	193	190	187	183	178	170	160	149	—	—
铬(0.5%~2%) 钼(0.2%~0.5%)钢	204	200	197	193	190	186	183	179	174	169	164	—
铬(2.25%~3%) 钼(1.0%)钢	210	206	202	199	196	192	188	184	180	175	169	162

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

7.3.2 波形炉胆

7.3.2.1 波形炉胆(参见图 14)的设计厚度按公式(54)计算:

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

7.3.2.2 校核计算时,最高允许工作压力按公式(55)计算:

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

单位为毫米

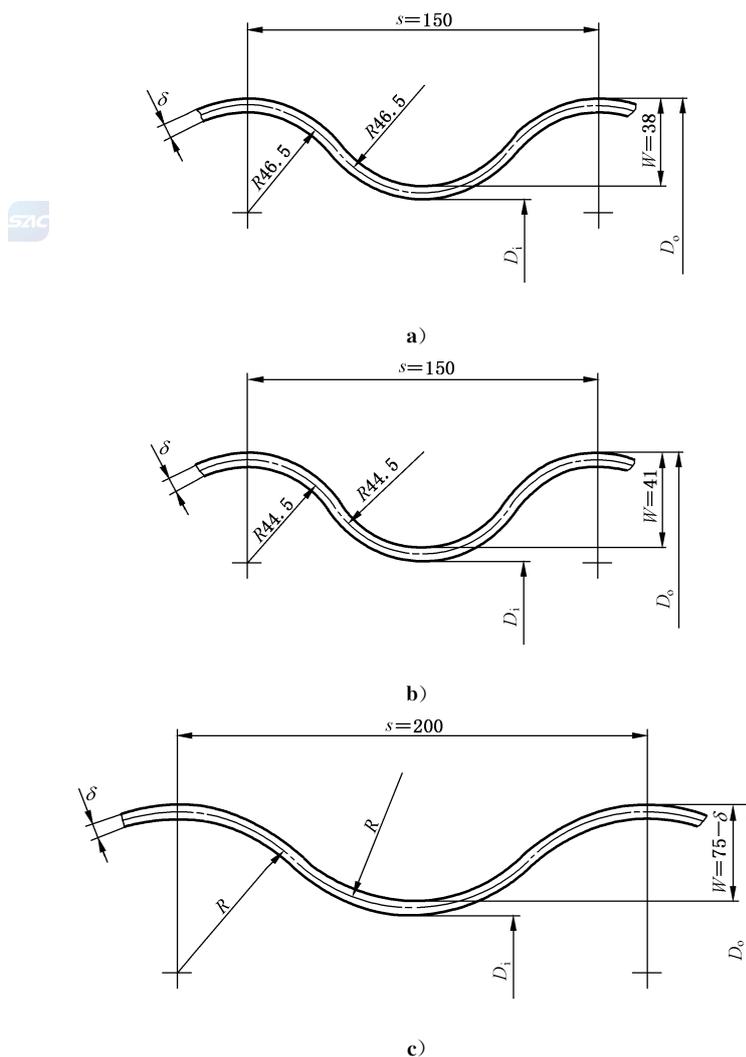


图 14 波形炉胆(参考图)

7.3.2.3 波形炉胆彼此连接处,各自平直部分长度应不大于 125 mm(见图 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应不大于 250 mm;如大于 250 mm,则按 7.3.3.1 的规定。

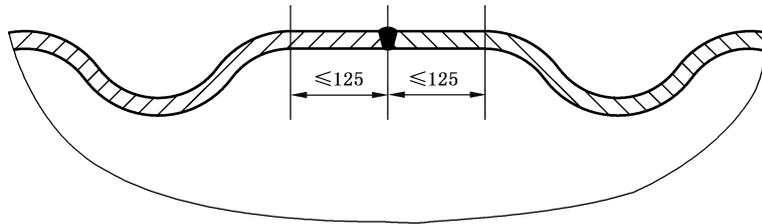


图 15 波形炉胆连接处平直部分尺寸

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 250 mm),波形部分的设计厚度及最高允许工作压力按公式(54)、公式(55)计算;而平直部分的设计厚度与最高允许工作压力按公式(46)~公式(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之间的距离(见图 16),支点按 7.3.1.5 a) 确定。

同时,最边缘一节波纹的惯性矩(I_1)不小于按公式(56)算出的需要惯性矩(I'):

$$I_1 \geq I' = \frac{\rho L_2 D_m^3}{1.33 \times 10^6} \dots\dots\dots (56)$$

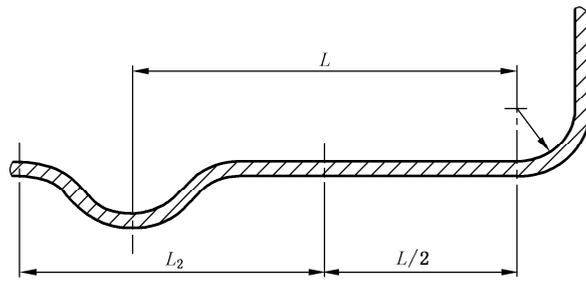


图 16 平直与波形组合炉胆平直部分的计算长度(L)

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(见图 17)的惯性矩(I_1)按公式(57)计算。常用波纹(见图 14)对其自身中性轴的惯性矩(I_1)如表 10 所示。

$$I_1 = \frac{R_o^4 - r^4}{4} \left[2\alpha' \frac{\pi}{180} + \sin(2\alpha') \right] - \frac{8}{3} \alpha (R_o^3 - r^3) \sin\alpha' + 2\alpha^2 (R_o^2 - r^2) \alpha' \frac{\pi}{180} \dots\dots (57)$$

公式(57)中的 R_o 、 r 、 α' 、 α 分别按公式(58)~公式(61)计算:

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

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

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

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

公式(58)~公式(61)中的 R 按公式(62)计算:

$$R = \frac{s^2}{16W} + \frac{W}{4} \dots\dots\dots (62)$$



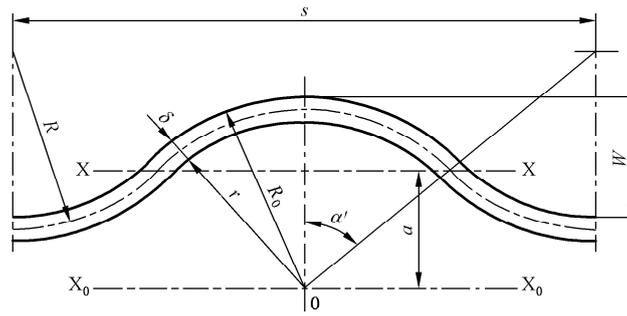


图 17 波纹几何特性

表 10 波纹截面对其自身中性轴的惯性矩(I₁)

单位为万四次方毫米

图序号		δ												
		10 mm	11 mm	12 mm	13 mm	14 mm	15 mm	16 mm	17 mm	18 mm	19 mm	20 mm	21 mm	22 mm
图 14 a)	节距 150、 波深 38	31.8	35.6	39.5	43.5	47.7	52	56.5	61	65.9	70.9	76.1	81.5	87.2
图 14 b)	节距 150、 波深 41	37.6	42.1	46.7	51.4	56.2	61.2	66.3	71.7	77.2	82.9	88.8	94.5	101.3
图 14 c)	节距 200、 波深 75—δ	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 I₁ 值已考虑了厚度减薄量，例如，对于 δ=10 mm，表中 I₁ 值按 9 mm 计算。

7.3.3.2 如公式(56)未能满足，可在炉胆平直部分设置加强圈(见图 18)用以减小 L₂，以满足公式(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(I₂)，按公式(63)计算：

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

公式(63)中的 δ_j 为加强圈厚度，h_j 为加强圈高度(见图 22)。I₂ 应不小于按公式(64)算出的需要惯性矩 I''：

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

公式(64)中的承压计算长度(L_o)按各计算支点均分原则处理，例如对于图 18 中的加强圈，L_o 为 (L₁+L)/2。

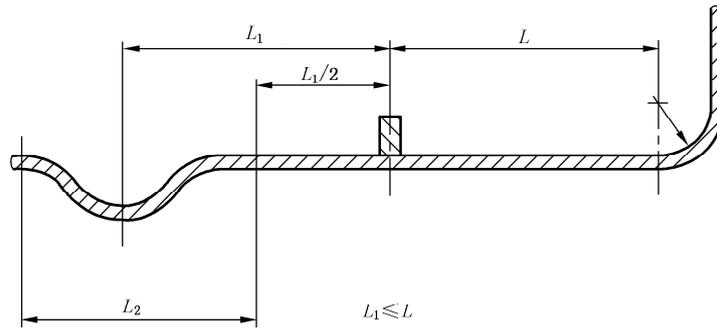


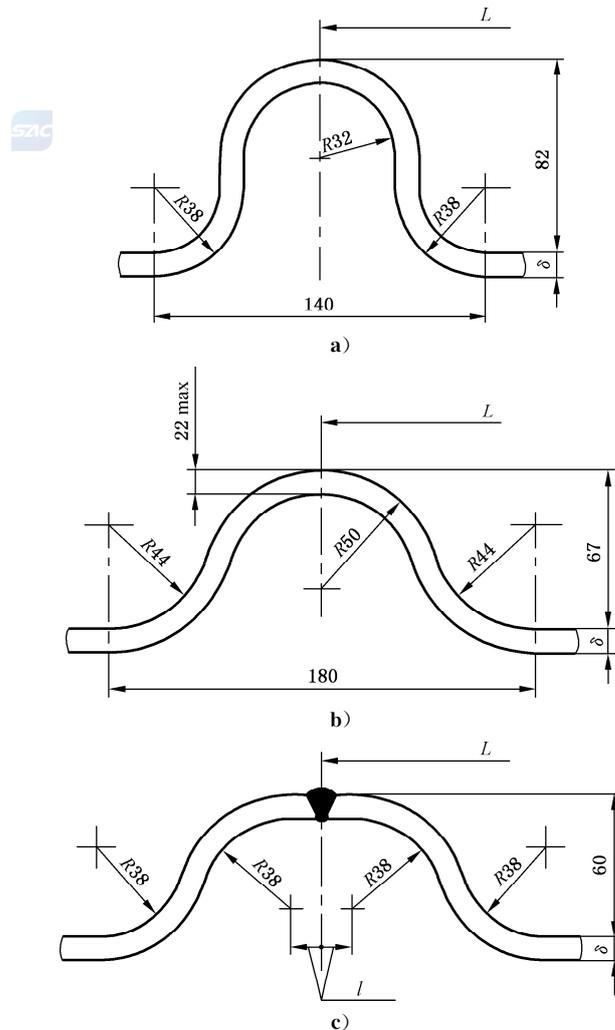
图 18 炉胆平直部分加强圈的设置

7.3.4.2 膨胀环(参见图 19)截面对其自身中性轴的惯性矩(I_3)如表 11 所示; I_3 应不小于按公式(65)算出的需要惯性矩(I''):

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

公式(65)中的承压计算长度(L_o)按 7.3.4.1 处理。

单位为毫米



l 取 13 和 $\delta-1$ 的较小值。

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)

单位为万四次方毫米

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

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

7.3.5 结构要求

7.3.5.1 平直或波形炉胆的内径(D_i)应不大于 1 800 mm。

7.3.5.2 平直或波形炉胆的名义厚度应不小于 8 mm，且不大于 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应不超过 2 000 mm，如炉胆两端均为扳边连接，则计算长度可放大至 3 000 mm。超过上述规定时，应采用膨胀环或波形炉胆以提高柔性，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， l 的要求见 6.9.4。平直炉胆与波形炉胆的波纹顶部、底部或中部对齐均可。

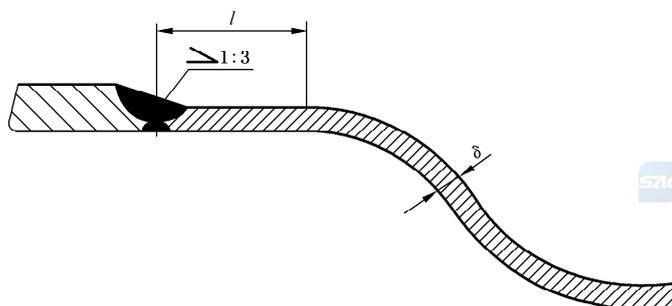
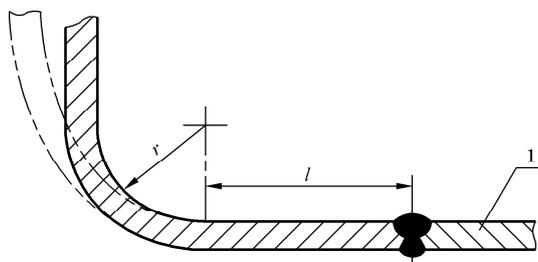


图 20 波形炉胆与平直炉胆的连接

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， l 的要求见 6.9.4， r 的要求见 9.3.11。如采用坡口型角焊连接，应符合 5.2.4.2 的规定。



标引序号说明：

1——炉胆。

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(δ_j)应不小于 δ , 但不大于 2δ 或 22 mm, 如图 22 a) 所示。如大于 22 mm, 应将底部削薄, 削薄后的根部厚度应不大于 22 mm, 如图 22b) 所示。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(见图 22)。

单位为毫米

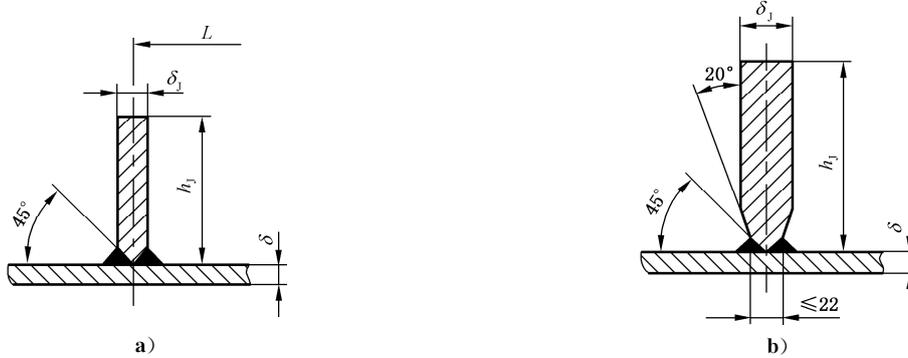


图 22 加强圈

7.4 圆筒形湿背回燃室筒体

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公式(51)、公式(52)计算, 取 $\varphi_{\min} = 1.00$; 对于蒸汽锅炉, 厚度附加量由 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 对于额定工作压力不大于 3.8 MPa 的锅壳锅炉, 承受外压力烟管(包括螺纹管)的名义厚度按公式(66)计算, 名义厚度的取值不小于公式(66)计算值和表 12 中取值的较大值:

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

烟管的计算厚度可按 $\delta_c = 0.5pd_o/[\sigma]$ 计算, 公式(66)中的 C 按 6.7.3.1 处理。

表 12 管子的最小公称厚度

单位为毫米

公称外径	名义厚度
$d_o \leq 25$	2.0
$25 < d_o \leq 76$	2.5
$76 < d_o \leq 89$	3.0
$89 < d_o \leq 133$	3.5

校核计算时,最高允许工作压力按公式(67)计算:

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

公式(67)中的 C 按 6.7.3.2 处理。

7.6.2 对于额定工作压力大于 3.8 MPa 且小于 5.3 MPa 的卧式锅壳锅炉,承受外压力烟管的计算可按照 GB/T 150.3 进行。

8 凸形封头、炉胆顶、半球形炉胆和凸形管板

8.1 概述

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

本章使用下列符号:

C ——厚度附加量,单位为毫米(mm);

D_i ——封头内径,单位为毫米(mm);

D_o ——封头外径,单位为毫米(mm);

D_{ie} ——拱形管板当量内径,单位为毫米(mm);

D'_{ie} ——拱形管板当量内径,单位为毫米(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,单位为毫米(mm);

h_i ——凸形封头的内高,单位为毫米(mm);

R_i ——碟形封头内曲率半径,单位为毫米(mm);

r ——扳边内半径,单位为毫米(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,单位为毫米(mm);

Y ——形状系数;

α' ——孔的轴线偏离凸形元件法线的角度,单位为度($^\circ$);

δ ——受压元件名义厚度,单位为毫米(mm);

δ_0 ——强度未减弱的热旋压管制缩口封头圆筒部分计算厚度,单位为毫米(mm);

δ_e ——受压元件有效厚度,单位为毫米(mm);

φ ——减弱系数;

φ_w ——焊接接头系数;

φ_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(见图 23)的封头厚度按公式(68)计算:

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

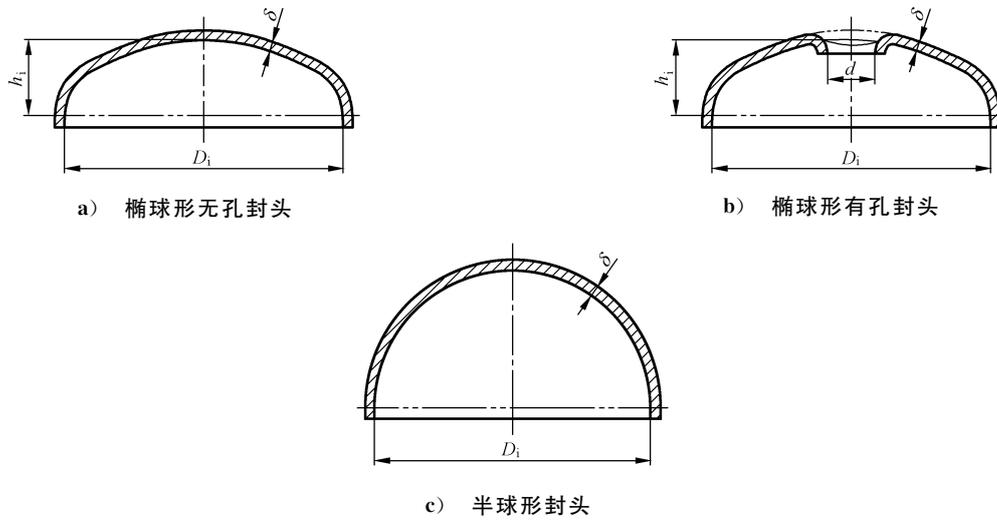


图 23 椭球形和半球形封头

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公式(69)计算:

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

公式(69)中的 δ_e 按公式(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量。

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

8.3.3 公式(68)、公式(69)只有满足下列条件时才有效:

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

注: 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 形状系数按公式(71)计算:

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

8.3.6 凹面受压凸形封头的减弱系数(φ)按表 13 选取。

表 13 减弱系数(φ)

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

^a 焊接接头系数(φ_w)按 5.4 选取。
^b 对于椭圆孔圈, d 取长轴内尺寸。
^c 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(φ)等于 1.00。

8.3.8 如凹面受压的凸形封头有孔排时,若由公式(72)计算所得的孔桥减弱系数小于按表 13 确定的减弱系数(φ)时,则公式(68)及公式(69)中的 φ 用 φ_1 代入:

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

8.3.9 如凸面受压的炉胆顶上有孔排时,若按公式(72)确定的 φ_1 不小于表 3 给出的炉胆顶修正系数(η)时,则不必考虑孔排的影响;若 φ_1 小于 η 时,则公式(68)及公式(69)中的 φ 用 φ_1 代入,与此同时,取基本许用应力修正系数(η)等于 1.00。

8.3.10 设计计算和校核计算时的厚度附加量(C)按公式(73)计算:

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

公式(73)中的 C_1 为腐蚀减薄的腐蚀裕量,一般取为 0.5 mm;若厚度大于 20 mm,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; C_2 为考虑工艺减薄的附加厚度,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 0.1δ ; C_3 为考虑材料厚度下偏差(为负值时)的附加厚度,按相应材料标准确定。

8.3.11 椭球形和半球形封头的圆筒形部分(直段部分)的最小需要厚度应不小于按 6.3.1 所确定的值,最高允许工作压力应不大于按 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,封头的名义厚度应不小于 6 mm;封头内径(D_i)不大于 1 000 mm 时,封头的名义厚度应不小于 4 mm。炉胆顶和半球形炉胆的名义厚度应不小于 8 mm,且半球形炉胆的名义厚度也应不大于 22 mm。

8.3.12 热旋压管制缩口封头可按本章的规定进行计算,但旋压后封头顶端应开工艺孔,最小孔径不小于 80 mm。热旋压管制缩口封头的 $\delta_o/\delta_e < 0.5$,且 $p_r \leq 2.5$ MPa 时,计算厚度公式适用范围中的 d/D_i 用 d/D_o 控制,并应满足 $d/D_o \leq 0.8$ 。

8.3.13 封头上开孔位置应满足以下规定:

- a) 对于封头上的炉胆孔,如图 24 所示,两孔边缘之间的投影距离应不小于其中较小孔的直径,此时孔桥的减弱可不计;炉胆孔边缘至封头边缘之间的投影距离不宜小于 $0.1D_i + \delta$;
- b) 位于人孔附近的小孔,小孔边缘与人孔扳边起点之间的距离或与焊缝边缘之间的距离应不小于 δ (见图 25);
- c) 扳边孔不应开在焊缝上。

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。

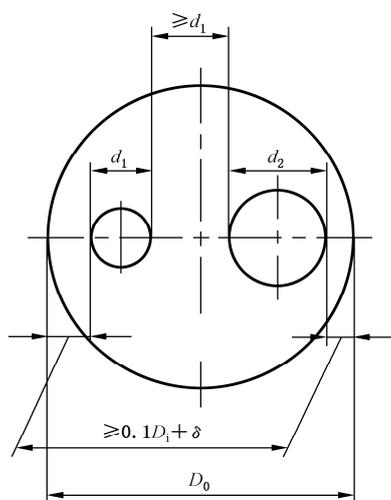


图 24 炉胆孔

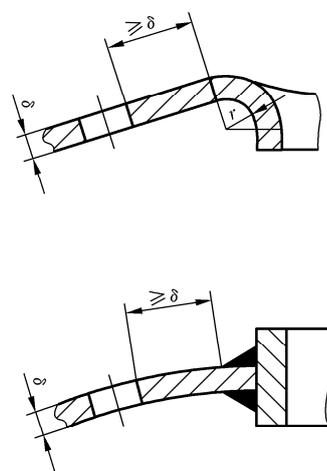


图 25 人孔附近的小孔

8.4 承受内压的碟形封头

8.4.1 碟形封头(见图 26)的名义厚度按公式(74)计算:

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

8.4.2 校核计算时,碟形封头的最高允许工作压力按公式(75)计算:

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

公式(75)中的 δ_e 按公式(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(φ_w)应按 5.4 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 厚度附加量(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)的最小需要厚度应不小于按 6.3.1 所确定的值,最高允许工作压力应不大于按 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,封头的名义厚度应不小于 6 mm;封头内径(D_i)不大于 1 000 mm 时,封头的名义厚度应不小于 4 mm。炉胆顶的名义厚度应不小于 8 mm。

8.4.7 碟形封头的内曲率半径(R_i)应不大于其内径(D_i);扳边内半径(r)应不小于相连元件厚度的 4 倍,且至少应为 64 mm;扳边内半径(r')应不小于炉胆顶厚度的 2 倍,且至少应为 25 mm(见图 26)。

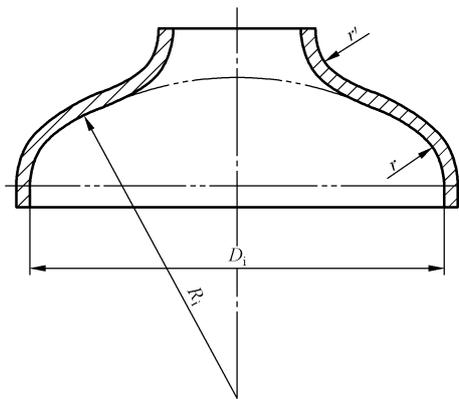


图 26 碟形封头

8.5 凸形管板

8.5.1 椭球形管板

椭球形管板(见图 27)的厚度按 8.3.1~8.3.11 的有关规定确定,但不计烟管孔排的影响。边缘管孔中心线与管板外表面交点的法线所形成的夹角(α')应不大于 45° ,管孔宜经机械加工或仿形气割成形。

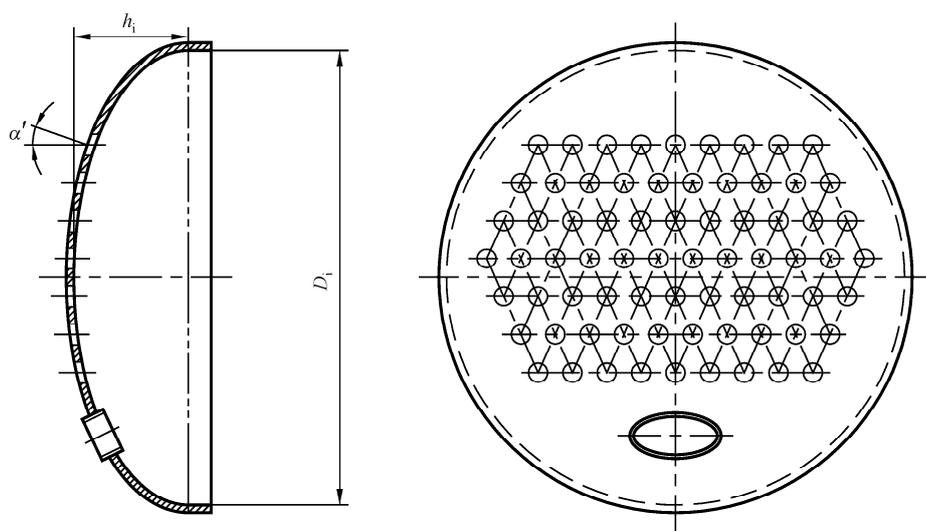


图 27 椭球形管板

8.5.2 拱形管板

8.5.2.1 拱形管板(见图 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。公式(68)~公式(71)中的 D_i 用当量内径(D_{ie})代入, D_{ie} 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 $D_{ie} = 2\overline{\alpha''b}$; 8.3.3 中的 D_i 用当量内径(D'_{ie})代入, 取 $D'_{ie} = 2\overline{\alpha'b}$ 。

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(见图 28 中斜线所示部分)一般宽度不大, 可不进行校核。

单位为毫米

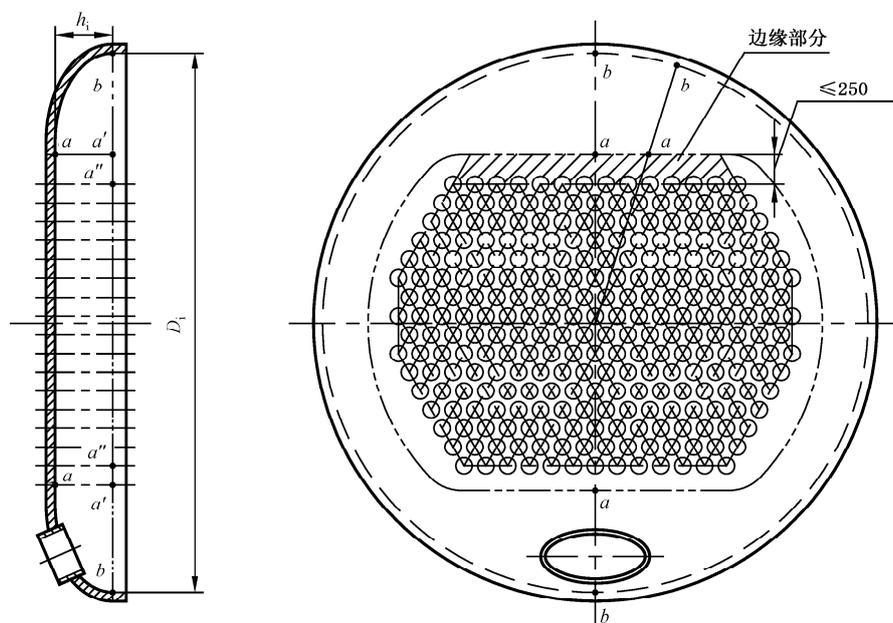


图 28 拱形管板

8.5.3 结构要求

8.5.3.1 凸形管板圆筒形部分(直段部分)的最小需要厚度应不小于按 6.3.1 所确定的值, 最高允许工作

压力应不大于按 6.3.3 所确定的值。计算时,取 $\varphi_{\min}=1.00$, C 按 8.3.10 确定。凸形管板的最小需要厚度还应满足 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。胀接管孔间的距离应不小于 19 mm。胀接管孔中心与焊缝边缘及管板扳边起点的距离应不小于 $0.8d$ (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、加固的平板和管板

9.1 概述

本章规定了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,也给出了水管管板的设计计算方法。

9.2 符号

本章使用下列符号:

a ——椭圆孔圈的长半轴(内尺寸),单位为毫米(mm);

b ——椭圆孔圈的短半轴(内尺寸),单位为毫米(mm);

C' ——包含人孔、头孔的平板系数;

D_e ——当量直径,单位为毫米(mm);

D_i ——锅壳筒体内径,单位为毫米(mm);

d ——孔的直径,单位为毫米(mm);

d_e ——当量圆直径,单位为毫米(mm);

d_h ——人孔或头孔计算直径(a 与 b 之和),单位为毫米(mm);

d_i ——烟管内径,单位为毫米(mm);

E ——锅壳内壁至管板外壁的弓形板最大尺寸,单位为毫米(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,单位为毫米(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,单位为毫米(mm);

r ——扳边内半径,单位为毫米(mm);

s ——火箱管板的内壁间距,单位为毫米(mm);

S_H ——火箱顶板上加固横梁间距,单位为毫米(mm);

S_1 ——火箱管板上管孔横向节距,单位为毫米(mm);

S_2 ——立式多横火管锅炉管板上管孔垂直节距,单位为毫米(mm);

Z ——系数;

δ ——受压元件名义厚度,单位为毫米(mm);

δ_H ——火箱顶板上加固横梁厚度,单位为毫米(mm);

δ_e ——受压元件有效厚度,单位为毫米(mm);

φ ——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公式(76)计算:

$$\delta \geq K d_e \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} + 1 \quad \dots\dots\dots (76)$$

9.3.2 校核计算时,最高允许工作压力按公式(77)计算:

$$[p] = \left(\frac{\delta - 1}{K d_e}\right)^2 [\sigma] \quad \dots\dots\dots (77)$$

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:

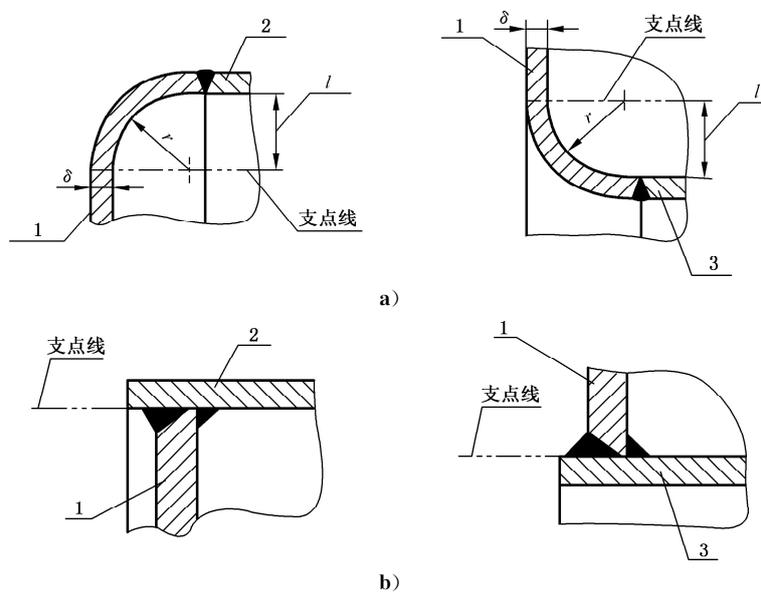
- a) 通过 3 个支撑点画当量圆时,K 值按表 14 确定;
- b) 通过 4 个或 4 个以上支撑点画当量圆时,K 值降低 10%;
- c) 通过 2 个支撑点画当量圆时,K 值增加 10%。

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) ^a	0.50
SAC	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

^a 如氩弧焊打底,且 100%无损检测,K 可取 0.40;如采用垫板,且 100%无损检测,K 可取 0.45。



标引序号说明:

- 1——平管板;
- 2——锅壳筒体;
- 3——炉胆筒体;

l 取 r 及 2.5δ 中的较小值。

图 29 支点线位置

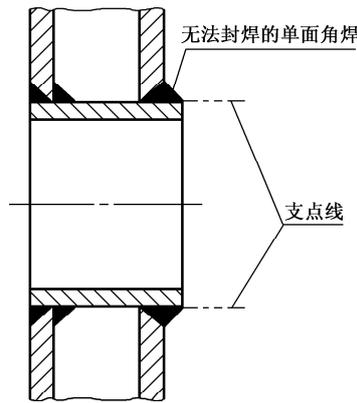


图 30 单面角焊的支点线

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。

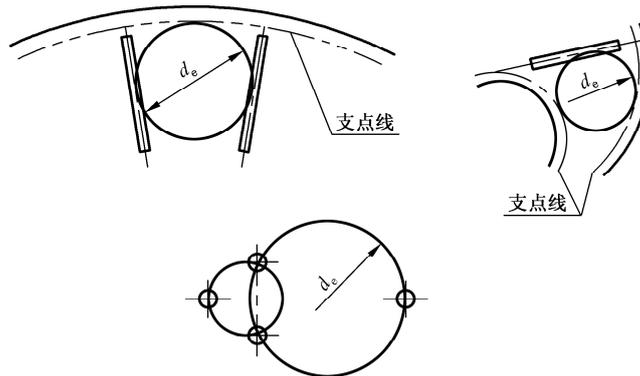


图 31 当量圆的画法

9.3.8 支撑点按下列原则确定:

- a) 拉撑杆或拉撑管中心;
- b) 管束区边缘焊接烟管中心;
- c) 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、头孔、手孔边缘不是支点线。

9.3.10 包含人孔、头孔在内的平板(见图 32)的厚度及最高允许工作压力按公式(78)、公式(79)计算:

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

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

公式(78)、公式(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];公式(78)、公式(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, δ 增加 10%, $[p]$ 减小 10%。

人孔或头孔应满足 13.8 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 $l > \frac{d_c}{10}$	1.64
两侧有拉撑, 且 $l = 0 \sim \frac{d_c}{10}$	1.19

注: l 为拉杆外缘至当量圆的最小距离(见图 32)。

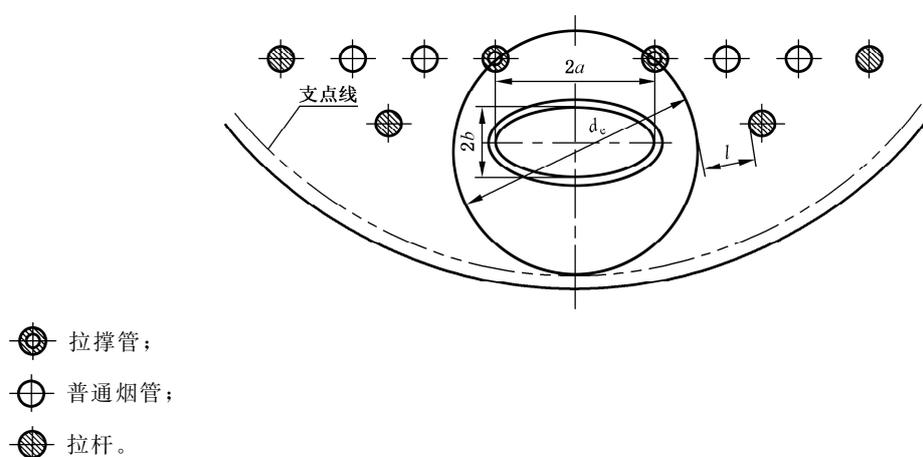


图 32 包含人孔在内的平板

9.3.11 如平板或管板是扳边的, 则扳边内半径应不小于两倍板厚, 且至少应为 38 mm; 如火箱板、回燃室板是扳边的, 则扳边内半径应不小于板厚, 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应不小于 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公式(76)和公式(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_c 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, 公式(76)和公式(77)中 d_c 取烟管最大节距, 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(见图 40), 拉撑管厚度按公式(88)计算。除烟管与管板采用胀接连接外, 管束区不需要装设拉撑管。

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

9.4.5 管子与管板采用胀接连接时, 其孔桥应不小于 $0.125d + 12.5$ 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应不小于 6 mm。对于胀接管, 管孔中心至扳边起点的距离应不小于 $0.8d$, 且不小于 $0.5d + 12$ 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(见图 33),还应按公式(80)、公式(81)校核横向孔桥的抗压强度:

$$\delta \geq \frac{psS_1}{186(S_1 - d_i)} \frac{400}{R_m} \quad \dots\dots\dots(80)$$

$$[p] = \frac{186\delta(S_1 - d_i)}{sS_1} \frac{R_m}{400} \quad \dots\dots\dots(81)$$

火箱管板厚度应取公式(76)和公式(80)计算所得的较大值;最高允许工作压力取公式(77)和公式(81)计算所得的较小值。

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厚度及最高允许工作压力按公式(76)和公式(77)计算。

9.5.2 公式(76)和公式(77)中的 d_e 按以下规定确定:

a) 横梁有水通道时[见图 33a)]:

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

b) 横梁无水通道时[见图 33b)]:

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

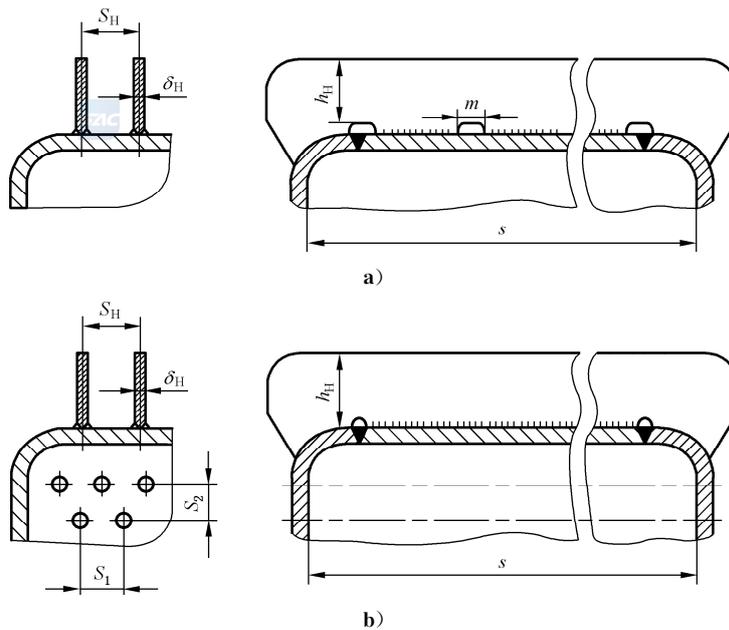


图 33 有加固横梁的火箱顶板

9.5.3 用公式(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,则扳边内半径应不小于板厚,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公式(76)和公式(77)计算。

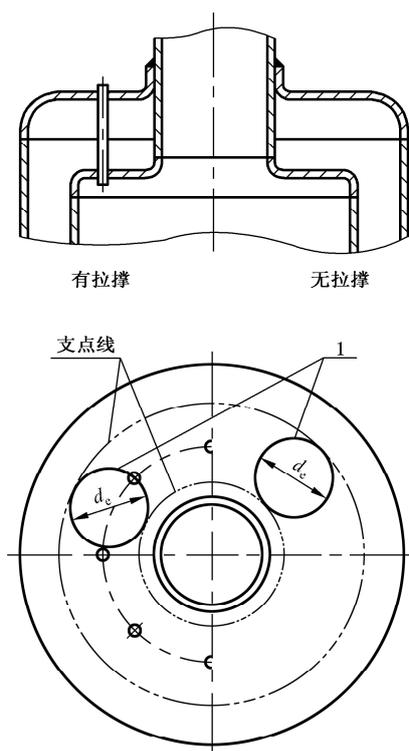
9.6.2 当量圆直径按以下规定确定:

- a) 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);
- b) 装有拉撑件时, d_e 取通过 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;外径不小于 1 500 mm 但小于 1 800 mm 的锅壳筒体,至少应装 5 根拉杆;外径不小于 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应不小于两倍板厚,且至少为 38 mm;内缘扳边(与冲天管相接)内半径应不小于板厚,且至少为 25 mm。



标引序号说明:

1——当量圆;

注:此图所示左侧为有拉撑管的情况,右侧为无拉撑管情况。

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 9.4 的规定计算外,还应按公式(84)、公式(85)校核最外侧垂直管排的强度:

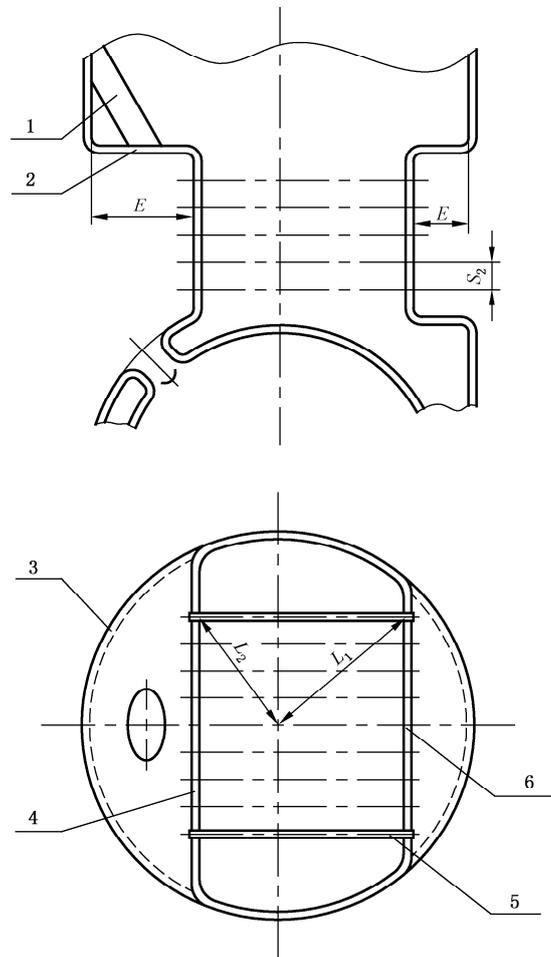
$$\delta \geq \frac{pD_e}{2\varphi[\sigma] - p} + 1 \quad \dots\dots\dots(84)$$

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

公式(84)和公式(85)中的 D_e 为当量直径,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。前管板的 $D_e = 2L_1$ (见图 35);后管板的 $D_e = 2L_2$ (见图 35); φ 为最外侧垂直管排的孔桥减弱系数,按公式(86)计算:

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

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



标引序号说明:

- 1——角撑板;
- 2——弓形板;
- 3——锅壳;
- 4——后管板;
- 5——烟管;
- 6——前管板。

图 35 立式多横火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,应按公式(87)计算出的 Z 值确定角撑板的数量。

$$Z = \frac{E p D_i}{\delta} \dots\dots\dots (87)$$

式中:

E ——由锅壳内壁至管板外壁的弓形板最大尺寸(见图 35)。

对于后管板(燃烧室管板),角撑板数量至少应为:

- a) 当 $25\ 000 < Z \leq 35\ 000$ 时,1 块;

- b) 当 $35\,000 < Z \leq 42\,000$ 时, 2 块;
- c) 当 $Z > 42\,000$ 时, 3 块。

对于前管板(烟箱管板), 角撑板数量至少应为:

- a) 当 $25\,000 < Z \leq 47\,000$ 时, 1 块;
- b) 当 $Z > 47\,000$ 时, 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 水管管板

额定工作压力不大于 2.5 MPa 的水管管板的设计计算方法和结构要求按附录 B。

10 拉撑件和加固件

10.1 概述

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

本章使用下列符号:

- A ——拉撑件所支撑的面积, 单位为平方毫米(mm^2);
- d ——拉杆直径, 单位为毫米(mm);
- F ——拉撑件的名义截面积、实际测量截面积, 单位为平方毫米(mm^2);
- F_{\min} ——拉撑件的最小需要截面积, 单位为平方毫米(mm^2);
- h_{H} ——横梁计算高度, 单位为毫米(mm);
- K_{H} ——系数;
- K_{W} ——拉杆焊脚尺寸, 单位为毫米(mm);
- L_{W} ——焊缝长度, 单位为毫米(mm);
- s ——火箱管板的内壁间距, 单位为毫米(mm);
- S_{H} ——火箱顶板上加固横梁间距, 单位为毫米(mm);
- α' ——斜拉杆或角撑板与平管板的夹角, 单位为度($^{\circ}$);
- δ ——管板名义厚度, 单位为毫米(mm);
- δ_{b} ——角撑板厚度, 单位为毫米(mm);
- δ_{H} ——火箱顶板上加固横梁名义厚度, 单位为毫米(mm);
- δ_1 ——拉撑管厚度, 单位为毫米(mm);
- δ_{W} ——焊缝厚度, 单位为毫米(mm)。

10.3 呼吸空位

10.3.1 平管板上应留有足够尺寸的呼吸空位(见图 36), 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, 当锅壳筒体内径的 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。

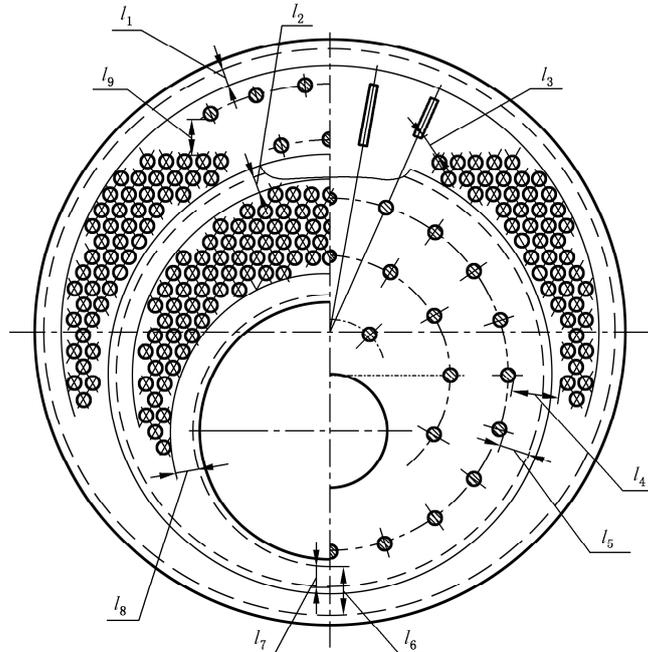
10.3.5 角撑板端部或直拉杆边缘与炉胆外壁之间的呼吸空位, 应不小于 200 mm。当锅壳筒体外径大于 1 800 mm 和炉胆长度大于 6 000 mm 时, 呼吸空位应不小于 250 mm; 当锅壳筒体外径小于

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,当锅壳筒体内径的 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。



标引序号说明:

- l_1 ——锅壳内壁与烟管外壁最小距离;
- l_2 ——回燃室内壁与烟管外壁最小距离;
- l_3 ——角撑板端部与烟管外壁最小距离;
- l_4 ——直拉杆边缘与烟管外壁最小距离;
- l_5 ——回燃室内壁与直拉杆边缘最小距离;
- l_6 ——炉胆外壁与锅壳内壁最小距离;
- l_7 ——炉胆外壁与回燃室内壁最小距离;
- l_8 ——炉胆外壁与烟管外壁最小距离;
- l_9 ——斜拉杆边缘与烟管外壁最小距离。

⊕ 烟管;

⊗ 拉杆。

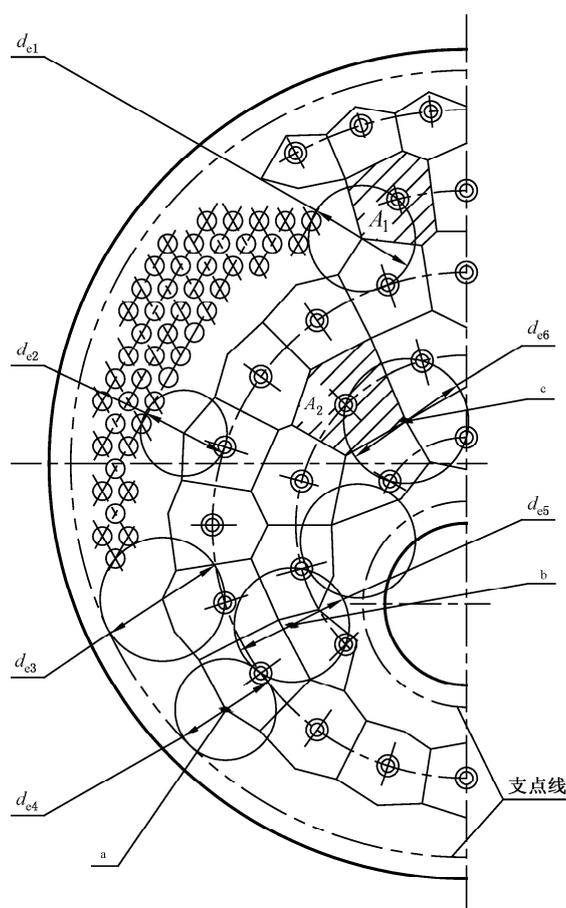
图 36 呼吸空位说明简图

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。

10.4.3 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,则无需减去它们所占的面积。



- ⊕ 普通烟管、拉撑管；
- ⊗ 拉杆。
- a 两个点画圆的圆心。
- b 三个点画圆的圆心。
- c 四个点画圆的圆心。

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公式(88)计算：

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

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公式(89)计算：

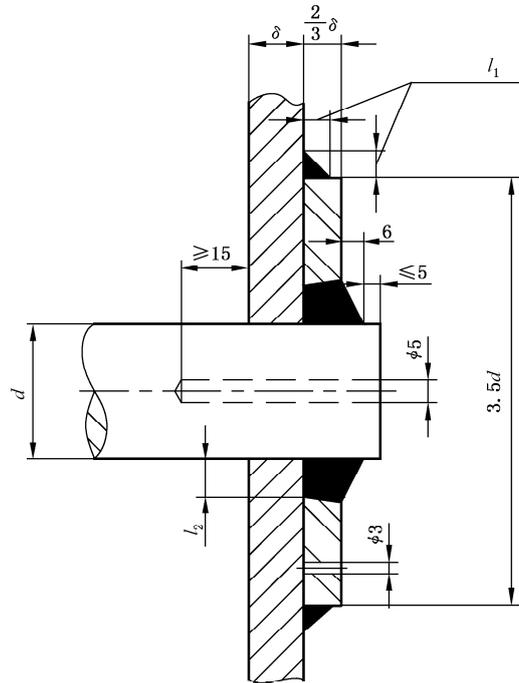
$$[p] = \frac{F[\sigma]}{A} \quad \dots\dots\dots(89)$$

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公式(88)、公式(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℃ 的部位,图 39 所示结构可用于烟温大于 600℃ 的部位;当用于烟温不大于 600℃ 的部位时,拉杆端头超出焊缝的长度可放大至 5 mm。

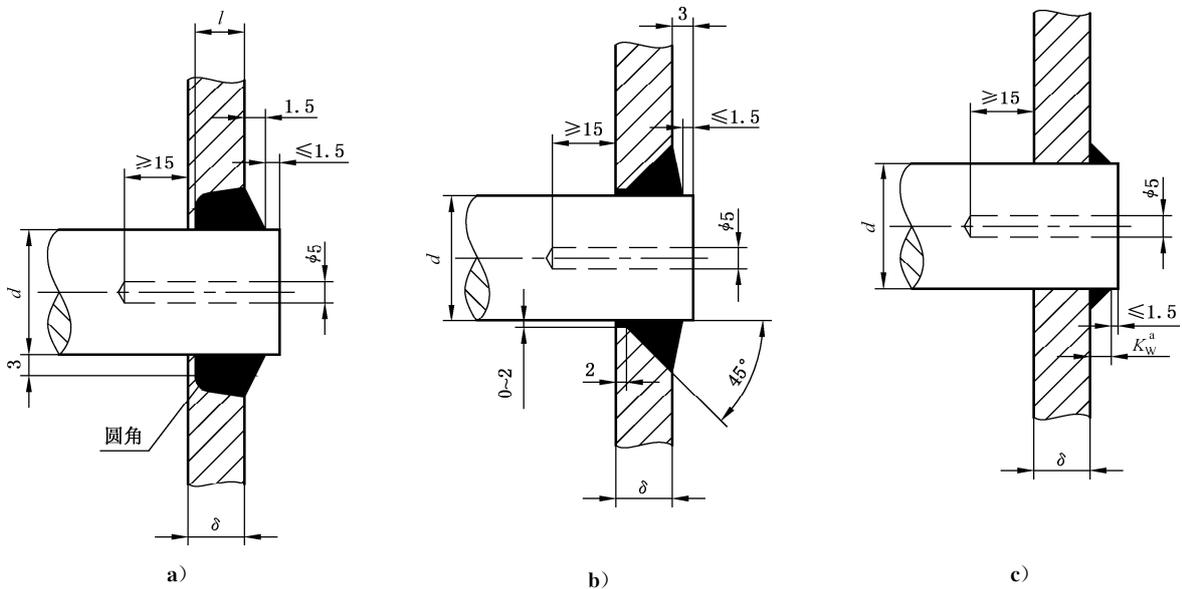
单位为毫米



l_1 取 $1/3\delta$ 但不小于 10 mm;
 l_2 取 $0.15d$ 但不小于 8 mm。

图 38 有垫板的拉撑杆与平管板的连接

单位为毫米



l 取 $0.35d$ 但不小于 8 mm。

* K_w 应符合 10.5.7 的要求。

图 39 无垫板的拉撑杆与平管板的连接

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,拉杆焊脚尺寸(K_w)应满足公式(90)要求:

$$K_w \geq \frac{1.25F_{\min}}{\pi d} \dots\dots\dots(90)$$

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应不大于 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。焊接烟管管端超出焊缝的长度也应符合此项规定。

单位为毫米

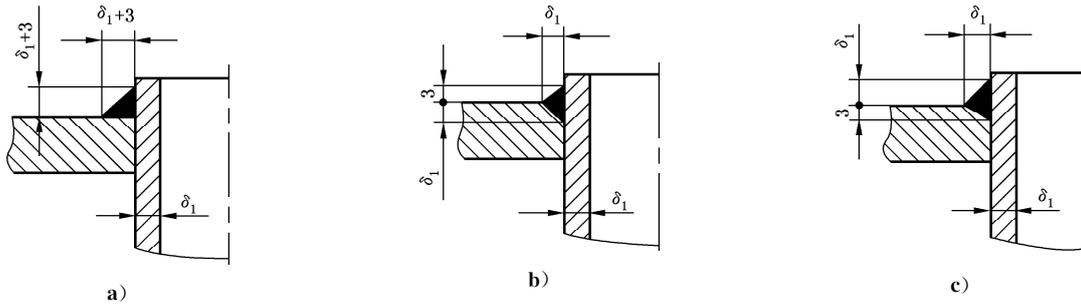


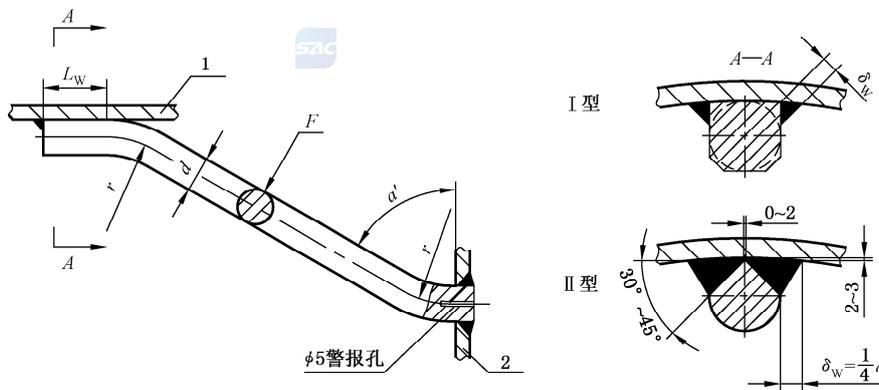
图 40 拉撑管与平管板的连接

10.6 斜拉杆

10.6.1 斜拉杆(见图 41)的最小需要截面积按公式(91)计算:

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

单位为毫米



标引序号说明:

- 1——锅壳筒体;
- 2——平管板。

斜拉杆应先钻孔后弯曲,警报孔深度超过管板内壁的尺寸应不小于 15 mm。

图 41 斜拉杆与平管板及锅壳筒体的连接

10.6.2 校核计算时,斜拉杆的最高允许工作压力按公式(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 39 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)应不小于 2 倍杆的直径。斜拉杆与平管板的夹角(α')应不小于 60° 。

10.6.5 斜拉杆与锅壳筒体连接的焊缝厚度(δ_w),对于 I 型焊缝,任何情况下焊缝厚度(δ_w)应不小于 10 mm 且应满足公式(93)要求:

$$\delta_w \geq \frac{1.25F_{\min}}{2L_w} \quad \dots\dots\dots(93)$$

对于 II 型焊缝,焊缝厚度(δ_w)取为 $d/4$,焊缝长度(L_w)应满足公式(94)要求:

$$L_w \geq \frac{2.5F_{\min}}{d} \quad \dots\dots\dots(94)$$

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°C 。

10.7 角撑板

10.7.1 角撑板最小需要截面积按公式(91)计算,最高允许工作压力按公式(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 $15^\circ\sim 30^\circ$ 之间。应优先采用斜拉杆或当空间允许时,采用直拉杆。

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(见图 42),焊缝不应有咬边等缺陷,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)应满足公式(95)要求:

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

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。

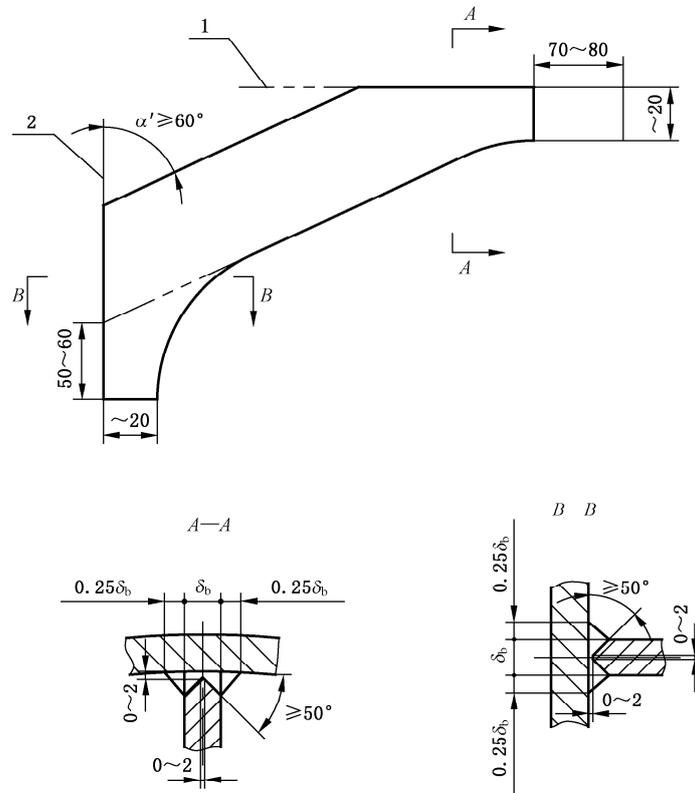
10.7.6 角撑板与平管板的夹角(α')应不小于 60° 。

10.7.7 角撑板厚度应不小于平管板厚度的 70%,也应不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应不大于 600°C 。





标引序号说明：
 1——锅壳筒体；
 2——平管板。

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厚度按公式(96)计算：

$$\delta_H \geq \frac{ps^2 S_H}{K_H h_H^2 [\sigma]} \dots\dots\dots (96)$$

公式(96)中的 K_H 取 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公式(97)计算：

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

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

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 概述

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

本章使用下列符号：

- a ——椭圆孔的长半轴,单位为毫米(mm);
- b ——椭圆孔的短半轴,单位为毫米(mm);
- D_c ——盖板的计算尺寸,单位为毫米(mm);
- D_i ——与平端盖相连接处的集箱筒体内径,单位为毫米(mm);
- d ——平端盖开孔直径,单位为毫米(mm);
- h ——焊缝坡口钝边高度,单位为毫米(mm);
- K ——端盖和盖板结构特性系数;
- K_w ——焊角高度($W=1,2$),单位为毫米(mm);
- l ——平端盖直段部分的长度,单位为毫米(mm);
- r ——平端盖内转角过渡圆弧半径,单位为毫米(mm);
- Y ——盖板的形状系数;
- 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,单位为毫米(mm);
- δ_s ——平端盖或盖板的设计厚度,单位为毫米(mm);
- δ_1 ——平端盖名义厚度,单位为毫米(mm);
- δ_{1e} ——平端盖的有效厚度,单位为毫米(mm);
- δ_2 ——平端盖环形凹槽处的最小厚度,单位为毫米(mm);
- δ_3 ——盖板螺栓连接部位或密封面处环状部位的厚度,单位为毫米(mm)。

11.3 平端盖

11.3.1 平端盖的设计厚度按公式(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公式(99)计算：

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

同时, $[p]$ 也应不超过按 $[p] = 2\delta_1[\sigma]/(D_i + \delta_1)$ 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。

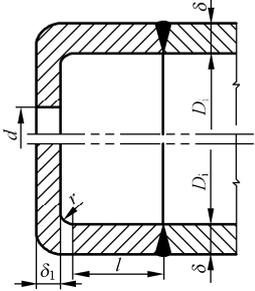
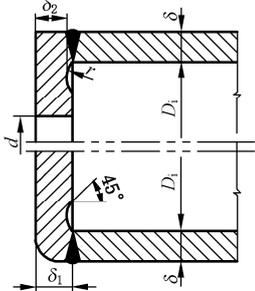
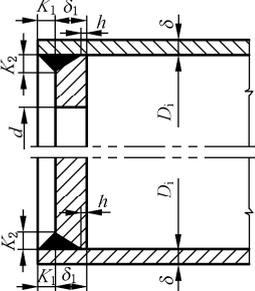
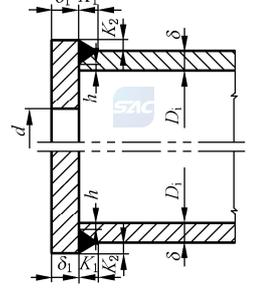
11.3.5 平端盖的计算温度(t_c)按表 4 确定。

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应不大于 0.8;平端盖上任意两孔边缘之间的距离应不小于其中小孔的直径;孔边缘至平端盖外边缘之间的距离应不小于 $2\delta_s$;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应不小于按 6.3.1 当减弱系数(φ_{\min})等于 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(η)

序号	平端盖型式	结构要求	K		η	
			无孔	有孔		
1		$r \geq 3\delta_1$ $l \geq \delta_1$	0.40	0.45	$l \geq 2\delta_1$	$\delta_1 \leq l < 2\delta_1$
					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 ^a	
			0.40	0.40	1.05 ^b	
4		$K_1 \geq \delta$ $K_2 \geq \delta$ $h \leq (1 \pm 0.5) \text{ mm}$	0.60	0.70	0.85 ^c	

1型和2型应使用锻件制造,1型也可使用钢板冲压制造。

^a 用于锅炉额定压力不大于 2.5 MPa 且 D_i 不大于 $\phi 426 \text{ mm}$ 。

^b 仅用于水压试验,可不开或开小坡口。

^c 仅用于水压试验,限锅炉额定压力不大于 2.5 MPa 且 D_i 不大于 $\phi 426 \text{ mm}$ 。

11.4 盖板

盖板设计厚度按公式(100)计算,盖板名义厚度应满足 $\delta_1 \geq \delta_s$; 校核计算时,盖板的最高允许工作压力按公式(101)计算。

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

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

公式(100)和(101)中的 Y 为形状系数,按表 17 选取。 K 、 D_c 分别为结构特性系数和计算尺寸,按以下规定选取:

- a) 两法兰间加盲板(见图 43), $K=0.50$, D_c 取法兰密封面的中心线尺寸;
- b) 凸面法兰式盖板(见图 44), $K=0.55$, D_c 取法兰螺栓中心线尺寸;
- c) 平面法兰式盖板(见图 45), $K=0.45$, D_c 取螺栓中心线尺寸;
- d) 受内压的孔盖板(见图 46), $K=0.55$, 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。

p 为盖板的计算压力,取相连元件的计算压力。 t_c 为盖板的计算温度,按表 4 确定。 δ_3 为盖板连接处的厚度(见图 44 和图 46),应满足 $\delta_3 \geq 0.8\delta_1$ 。

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。

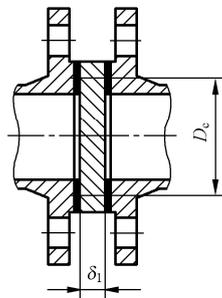


图 43 盲板

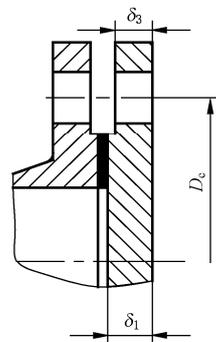


图 44 凸面法兰式盖板

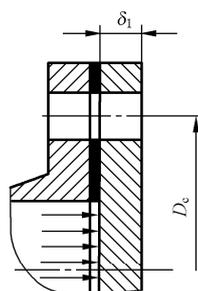


图 45 平面法兰式盖板

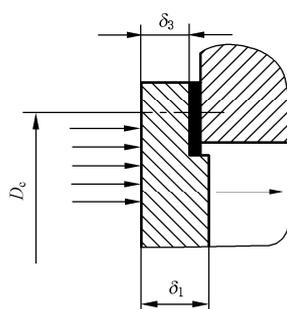


图 46 承受内压的孔盖板

12 下脚圈

12.1 概述

本章规定了立式锅炉下脚圈的设计计算方法和结构要求。

12.2 符号

本章使用下列符号：

D_i ——对应锅壳筒体内径的下脚圈尺寸,单位为毫米(mm)；

D_o ——对应炉胆外径的下脚圈尺寸,单位为毫米(mm)；

δ ——锅壳筒体名义厚度,单位为毫米(mm)；

δ_1 ——下脚圈名义厚度,单位为毫米(mm)；

δ_{1e} ——下脚圈的有效厚度,单位为毫米(mm)。

12.3 结构与计算

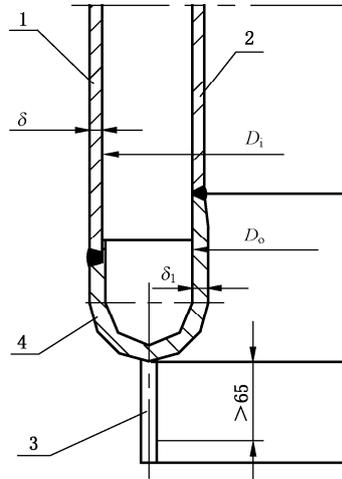
12.3.1 立式冲天管(或炉胆顶部有可靠拉撑)锅炉的 U 型下脚圈厚度可不必进行计算,名义厚度不小于相连炉胆的厚度,且不小于 8 mm。

12.3.2 立式无冲天管(且炉胆顶部无可靠拉撑)锅炉的 U 型下脚圈(见图 47)的厚度按公式(102)计算：

$$\delta_1 \geq \sqrt{\frac{pD_i(D_i - D_o)}{990}} \sqrt{\frac{372}{R_m} + 1} \quad \dots\dots\dots(102)$$

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

$$[p] = \frac{990 (\delta_{1e} - 1)^2 R_m}{372 D_i (D_i - D_o)} \quad \dots\dots\dots(103)$$



标引序号说明:

- 1——锅壳筒体;
- 2——炉胆;
- 3——底座;
- 4——U型下脚圈。

图 47 U型下脚圈

13 孔的补强

13.1 概述

本章规定了受压元件上的开孔补强计算以及补强结构要求。

13.2 符号

本章使用下列符号:

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,单位为平方毫米(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,单位为平方毫米(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、补强圈的多余面积,单位为平方毫米(mm^2);

A_3 ——锅壳筒体纵截面内起补强作用的补强垫板面积,单位为平方毫米(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,单位为平方毫米(mm^2);

A_F ——补强件对封头补强时起补强作用的面积,单位为平方毫米(mm^2);

A_P ——补强件对平板补强时起补强作用的面积,单位为平方毫米(mm^2);

B ——锅壳筒体、凸形封头、炉胆、平板的有效补强宽度,单位为毫米(mm);

D_i ——锅壳筒体内径,单位为毫米(mm);

D_o ——炉胆外径,单位为毫米(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,单位为毫米(mm);

注：插入式双面角焊仅限 $p_r \leq 2.5$ MPa 的锅炉，且不受热管接头（或孔圈）。

$[d]_e$ ——多孔补强计算时的最大允许当量直径，单位为毫米（mm）；

d_o ——焊接管接头、管子的外径，单位为毫米（mm）；

e ——补强管接头或补强圈的焊角尺寸，单位为毫米（mm）；

h ——补强圈高度，或扳边孔的扳边高度，单位为毫米（mm）；

h_1 ——补强管接头的有效补强高度、补强圈插入锅壳筒体或凸形封头内壁的尺寸，单位为毫米（mm）；

h_2 ——补强管接头插入锅壳筒体或凸形封头内壁的尺寸、补强圈的有效补强高度，单位为毫米（mm）；

K ——斜向孔桥的换算系数；

s ——纵向（轴向）相邻两孔的节距，或为火箱管板的内壁间距，单位为毫米（mm）；

s' ——横向（环向）相邻两孔的节距，单位为毫米（mm）；

s'' ——斜向相邻两孔的节距，单位为毫米（mm）；

δ ——锅壳筒体、集箱筒体、炉胆、平板的名义厚度，单位为毫米（mm）；

δ_s ——设计厚度，单位为毫米（mm）；

δ_e ——锅壳筒体、集箱筒体、炉胆、平板的有效厚度，单位为毫米（mm）；

δ_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计算厚度，单位为毫米（mm）；

δ_1 ——补强管接头或补强圈的名义厚度，单位为毫米（mm）；

δ_2 ——补强垫板的厚度，单位为毫米（mm）；

δ_{1e} ——补强管接头或补强圈的有效厚度，单位为毫米（mm）；

δ_{10} ——补强管接头或补强圈按承受内压所需的计算厚度，单位为毫米（mm）；

$[\sigma]_1$ ——管接头材料的许用应力，单位为兆帕（MPa）；

$[\sigma]_2$ ——加强垫板的许用应力，单位为兆帕（MPa）；

$[\varphi]$ ——允许最小减弱系数；

φ_s ——锅壳筒体实际减弱系数；

φ_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，且同时满足 $d/D_i < 0.8$ 和 $d < 600$ mm 的孔。如为椭圆孔，仅适用于长轴与短轴之比不大于 2 的开孔， d 取长轴尺寸。

13.3.2 在进行集箱筒体上孔的补强计算时，应将公式（104）、公式（106）中的 D_i 以 $(D_o - 2\delta_e)$ 代替。集箱开孔 $d \geq 0.8D_i$ 时，集箱厚度按三通计算。

13.3.3 开孔补强有效范围内应保证圆筒体的焊接接头减弱系数为 1。

13.3.4 确定锅壳筒体未补强孔的最大允许直径 $[d]$ 时，应按公式（104）计算锅壳筒体的实际减弱系数 (φ_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 (φ_s) 不大于 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 (φ_s) 大于 0.4 的筒体，未补强孔的直径 (d) 应不大于按图 48 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 (φ_s) 大于 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 49 的结构予以补强；图 49a) 所示的补强结构仅适用于 $p_r \leq 2.5$ MPa 的不受热工作条件，图 49b) 所示的补强结构仅适用于 $p_r \leq 2.5$ MPa 的锅炉。

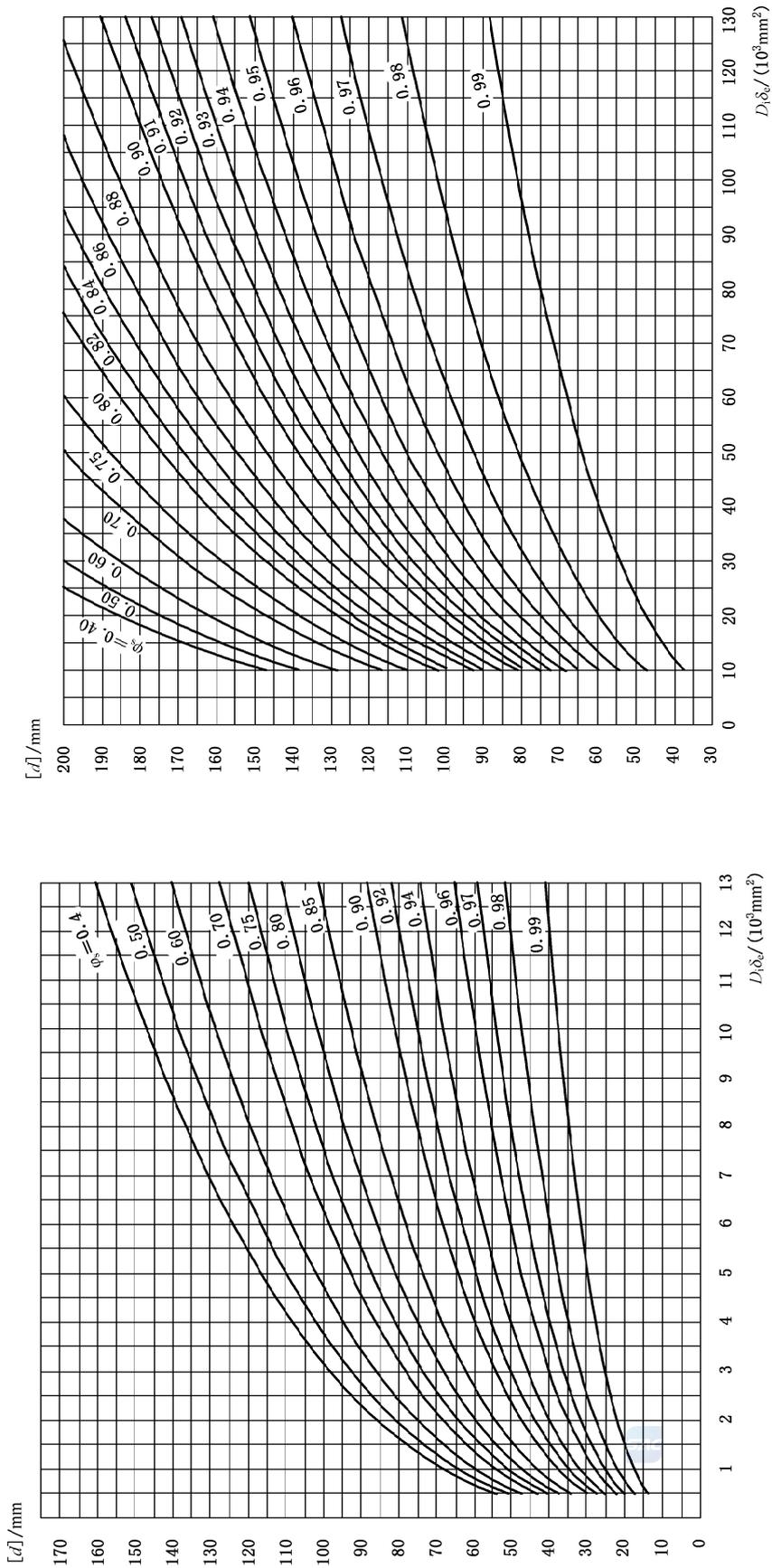


图 48 未被补强孔的最大允许直径

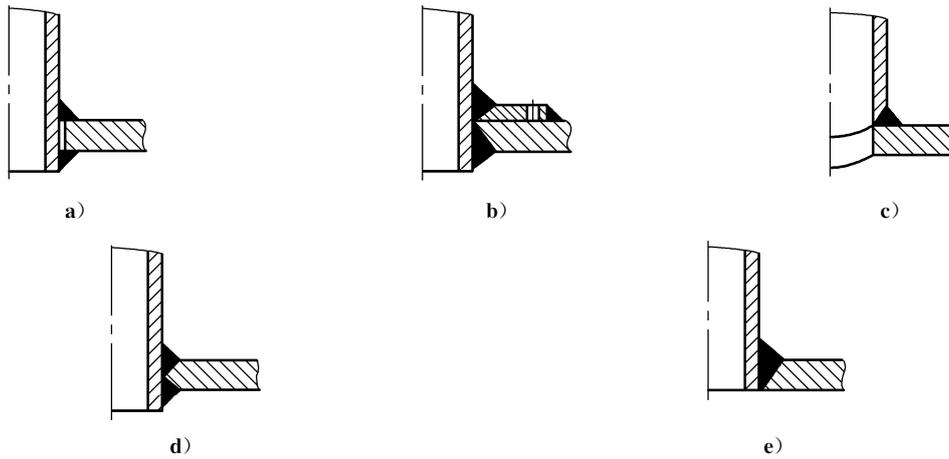


图 49 孔的补强结构型式

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

13.3.9 开孔补强应满足公式(105)的要求:

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

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;如为补强管接头,则布置在离管接头内壁 $1/4$ 内径的范围内。公式(105)中各面积的计算方法如表 18 所示。表中 δ_0 和 δ_{10} 按公式(106)、公式(107)计算:

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

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

如为椭圆孔, d_0 取长轴尺寸。

如补强元件的许用应力大于被补强元件的许用应力,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 $[\sigma]$ 。如补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。

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		
	$\left[d + 2\delta_{1e} \left(1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right) \right] \delta_0$	$d\delta_0$	$\left[d + 2\delta_{1e} \left(1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right) \right] \delta_0$

表 18 补强需要面积与起补强作用面积的确定 (续)

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
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	$[B-d-2\delta_{1e}(1-\frac{[\sigma]_1}{[\sigma]})](\delta_e-\delta_0)$	$(B-d)(\delta_e-\delta_0)$
注: 如为椭圆孔,表中 d 取筒体纵截面上的尺寸。			

13.4 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。开孔补强有效范围内应保证圆筒体的焊接接头减弱系数为 1。

13.4.3 对炉胆上的孔进行补强计算时,炉胆计算厚度按承受内压圆筒公式(106)计算,附加厚度取 2 mm。

13.4.4 炉胆上的加煤孔圈、出渣孔圈等的计算厚度,按假设承受内压圆筒公式(107)计算,附加厚度按 6.7 有关规定计算,如为椭圆孔圈, d 取孔圈长轴的外尺寸。

13.4.5 不应用垫板对炉胆上的孔进行补强。

13.5 凸形元件上孔的补强

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

13.5.2 能起补强作用的截面积(A_F),为图中斜线部分的 2 倍。图 50 中,补强有效范围(h_1 、 h_2 、 B)按 13.3.8 确定,当用补强垫板时 $B=2(l+\delta_1)+d$; δ_{10} 按公式(107)计算;如补强圈用钢板制成, C 按 6.7.1 确定,如补强圈用管子制成, 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。如补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 处理。

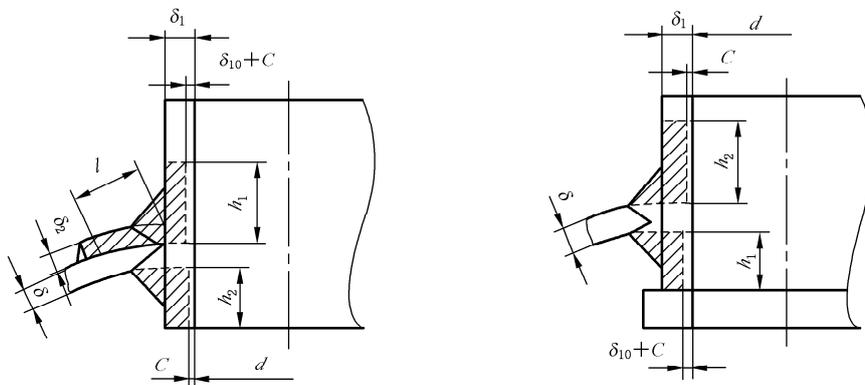


图 50 凸形元件上孔的补强计算示意图

13.6 平板上孔的补强

13.6.1 按公式(78)、公式(79)计算的包含人孔的平板无需再作补强计算。

13.6.2 如平板名义厚度满足公式(108)、公式(109)时,则孔无需补强。

对于图 51 和图 53 的结构:

$$\delta \geq 1.5\delta_s \quad \dots\dots\dots(108)$$

对于图 52 的结构:

$$\delta \geq 1.25\delta_s \quad \dots\dots\dots(109)$$

13.6.3 如未能满足 13.6.2 条件时,平板上的孔应予补强。

13.6.4 图 51、图 52、图 53 中孔的补强有效范围(h_1 、 B)按 13.3.8 确定。开孔补强有效范围内应保证平板的焊接接头减弱系数为 1。

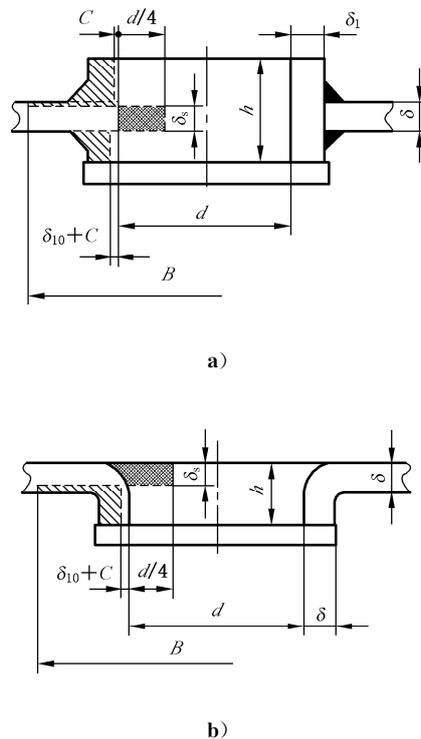
13.6.5 能起补强作用的面积(A_P)及需要补强的面积(A)如图 51、图 52、图 53 所示,应满足公式(110)要求:

$$A_P \geq A \quad \dots\dots\dots(110)$$

13.6.6 图 51 中,焊接圈或孔板边的高度(h)应满足公式(111)要求:

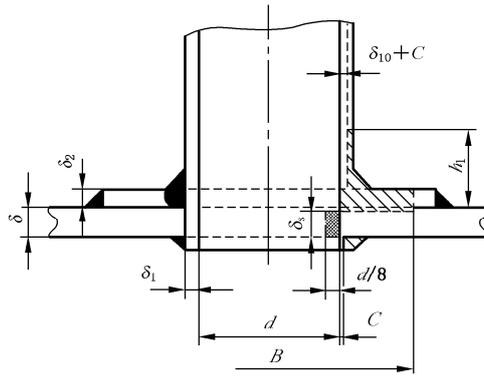
$$h \geq \sqrt{\delta d} \quad \dots\dots\dots(111)$$

公式(111)中的 d (孔径或孔圈的内径)如为椭圆孔,则为短轴内尺寸。



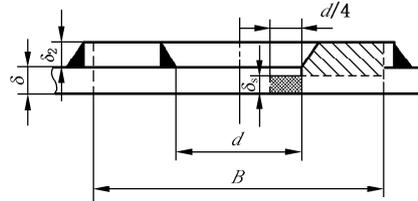
需要补强的面积 A ;
 起补强作用的面积 A_P 。

图 51 平板上孔的补强



 需要补强的面积 A
 起补强作用的面积 A_p

图 52 平板上孔的垫板与管接头的补强



 需要补强的面积 A
 起补强作用的面积 A_p



图 53 平板上孔的垫板的补强

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公式(23)确定的值,且符合下列要求:

- 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) $\varphi_e > 3/4[\varphi]$ 。

13.7.2 圆筒体上未形成连续孔排的单孔桥可用管接头厚度裕量进行孔桥补强,提高孔桥减弱系数。此时,应采用坡口型焊接结构,如图 49 中的分图 c)、分图 d)、分图 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)按公式(112)~公式(114)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:

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

公式(112)~(114)中的[φ]按公式(115)确定:

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

13.7.5 用于补强孔桥的管接头(见图 54)应符合公式(116)、公式(117)要求:

a) 对于相邻管接头结构、尺寸相同的孔桥:

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

公式(116)中的 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:

$$A'_1 + A'_2 + A''_1 + A''_2 \geq \left(\frac{A' + A''}{\delta_0} - 2 [d]_e \right) \delta_e \quad \dots\dots\dots (117)$$

公式(117)中的 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。

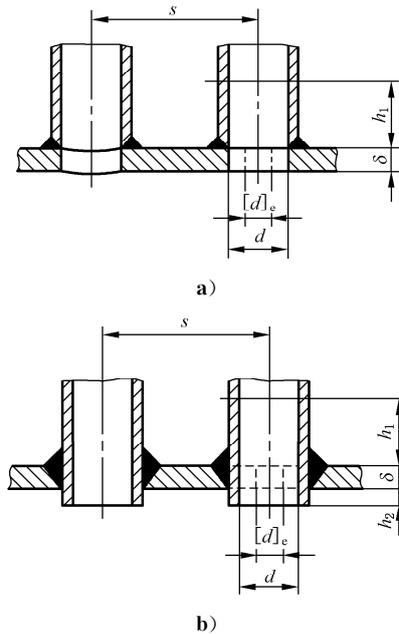


图 54 用管接头补强的孔桥

13.8 人孔、头孔、手孔

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(见图 55)。焊接圈、扳边的高度(h)应满足公式(111)要求。焊接人孔圈和头孔圈的厚度(δ_1)应满足公式(118)要求:

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

且 δ_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。

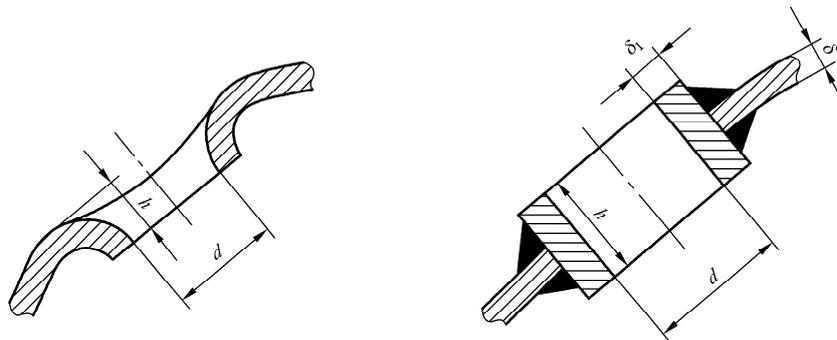


图 55 人孔、头孔、手孔的边缘结构

14 焊制三通

14.1 概述

本章规定了焊制三通的设计计算和结构要求。

14.2 符号

本章使用下列符号：

- C ——厚度附加量,单位为毫米(mm);
- D_o ——三通主管和等径叉形管的外径,单位为毫米(mm);
- D_m ——三通主管的平均直径,单位为毫米(mm);
- d_m ——三通支管的平均内径,单位为毫米(mm);
- d_o ——三通支管的外径,单位为毫米(mm);
- d_i ——三通支管的内径,单位为毫米(mm);
- $X、Y$ ——系数;
- β ——按三通主管有效厚度算出的外径与内径的比值;
- β_c ——按三通主管计算厚度算出的外径与内径的比值;
- δ ——焊制三通主管的名义厚度,单位为毫米(mm);
- δ_{\min} ——焊制三通及等径叉形管的最小需要厚度,单位为毫米(mm);
- δ_c ——焊制三通及等径叉形管的计算厚度,单位为毫米(mm);
- δ_s ——焊制三通及等径叉形管的设计厚度,单位为毫米(mm);
- δ_e ——焊制三通及等径叉形管的有效厚度,单位为毫米(mm);
- δ_1 ——焊制三通支管的名义厚度,单位为毫米(mm);
- δ_{1c} ——焊制三通支管的计算厚度,单位为毫米(mm);
- $\delta_{1\min}$ ——焊制三通支管的最小需要厚度,单位为毫米(mm);
- δ_{1s} ——焊制三通支管的设计厚度,单位为毫米(mm);
- δ_{1e} ——焊制三通支管的有效厚度,单位为毫米(mm);
- $[\sigma]$ ——许用应力,单位为兆帕(MPa);
- φ_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公式(119)、公式(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公式(121)、公式(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：

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

14.3.2 校核计算时,焊制三通的最高允许工作压力按公式(125)计算：

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

有效厚度 δ_c 按公式(126)计算：

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

δ_c 也可取实际最小厚度减去腐蚀减薄值。

14.3.3 公式(119)、公式(120)及公式(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 49 中 c)、d)、e)接管型式。减弱系数(φ_Y)按表 19 确定,表中 β 值按公式 $\beta = D_o/(D_o - 2\delta_c)$ 计算, β_c 值按公式 $\beta_c = D_o/(D_o - 2\delta_{1c})$ 计算。

表 19 焊制三通的减弱系数(φ_Y)

t_c	β, β_c	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	$1.10 \leq \beta$ 且 $\beta_c \leq 1.50$	厚度	按公式(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	按公式(127)计算

注 1: 当 $1.05 \leq \beta < 1.10$ 时,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)不大于 426 mm 时,可用厚度补强型式,减弱系数(φ_Y)取公式(127)计算值的 2/3。

注 2: 当 $1.05 \leq \beta < 1.10$ 时,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)不大于 273 mm 时,可用厚度补强型式,减弱系数(φ_Y)取公式(127)计算值的 2/3。

14.3.7 三通减弱系数按公式(127)计算：

$$\varphi_Y = \frac{1}{1.2[1 + X\sqrt{1 + Y^2}/(2Y)]} \quad \dots\dots\dots(127)$$

式中：

$$X = d_i^2 / (D_m d_m);$$

$$Y = 4.05(\delta_c^3 + \delta_{1c}^3) / (\delta_c^2 \sqrt{D_m \delta_c}).$$

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 56 所示的 ABCD 三通区域内,尽量避免开孔。若必须开孔,则应布置在弧长(l)范围内,且孔的直径应不大于 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)应不小于 20 mm。若为孔桥,则在采用公式(119)、公式(125)确定三通计算厚度和最高允许工作压力时, φ_Y 取由 14.3.6 确定的 φ_Y 及按 6.6 规定求得的最小孔桥减弱系数(φ_{min})中的较小者。

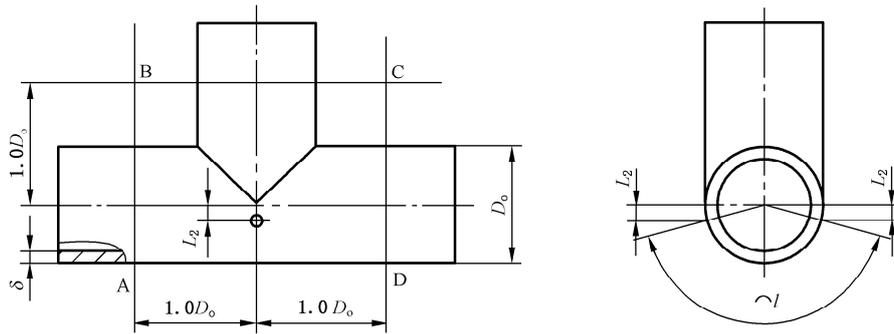


图 56 焊制三通区域

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,但不应超过集箱筒体的水压试验压力。

14.4 等径叉形管

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

14.4.2 等径叉形管(见图 57)的最小需要厚度、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(φ_Y)可按以下规定取用:

- a) 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: $\varphi_Y = 0.70$;
- b) 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: $\varphi_Y = 0.60$ 。

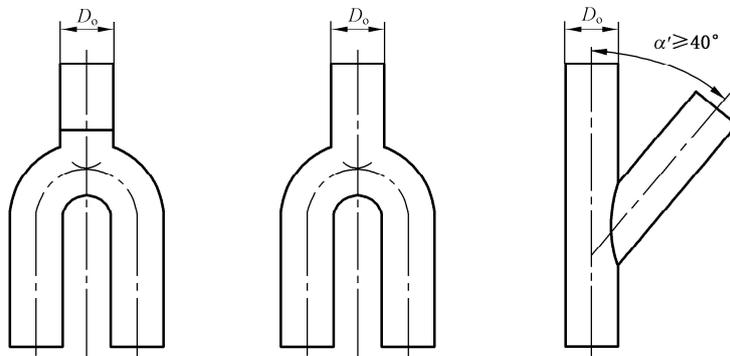


图 57 叉形管

附录 A

(规范性)

确定元件最高允许工作压力的试验和有限元分析验证法

A.1 符号

本附录使用下列符号：

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，单位为兆帕(MPa)；

p_{bs} ——试验温度时的爆破压力，单位为兆帕(MPa)；

p_{ysi} ——试验温度时的验证压力($i=1,2,3,4$)，单位为兆帕(MPa)；

p_{ysmin} ——试验温度时的最小验证压力，单位为兆帕(MPa)；

R_p ——回转壳体结构不连续部位的平均曲率半径，单位为毫米(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，单位为毫米(mm)；

Δ ——应变测量的相对误差；

δ'_{pmin} ——相邻两高应力区的最小厚度的平均值，单位为毫米(mm)；

δ'_{min} ——结构不连续处的最小厚度，单位为毫米(mm)；

δ_{ys} ——经受验证试验的元件最薄弱处的厚度，单位为毫米(mm)；

δ_{yz} ——实用元件对应于试验元件处的实际厚度，单位为毫米(mm)；

ϵ ——应变变量，%；

σ_{bl} ——试验元件材料在 20 °C 时的实际抗拉强度，单位为兆帕(MPa)；

σ_{dmax} ——高应力区域中最大当量应力，单位为兆帕(MPa)；

σ'_{dmax} ——低应力区域中最大当量应力，单位为兆帕(MPa)；

$[\sigma]_{js}$ ——试验温度时的基本许用应力，单位为兆帕(MPa)；

σ_{pdmax} ——高应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大值，单位为兆帕(MPa)；

σ'_{pdmax} ——低应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大值，单位为兆帕(MPa)；

σ_{sls} ——试验元件材料在试验温度时的实际屈服点或规定塑性延伸强度，单位为兆帕(MPa)；

φ_w ——焊接接头系数。

A.2 通用要求

A.2.1 本附录规定了用于确定元件最高允许工作压力的试验和有限元分析验证方法，这些方法包括：应力试验验证法，屈服试验验证法，爆破试验验证法，低周疲劳试验法和应力分析验证法。

A.2.2 本附录提供的方法可用于不能按本文件前述各章规定进行计算的受压元件。

A.2.3 采用本附录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 GB/T 16508.2 的有关规定。同时，元件的所有转角处应有适当的圆角。圆角半径应不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。

A.3 试验验证法

A.3.1 应力试验验证法

应力试验验证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 $\sqrt{R_p \delta_{pmin}^2}$,并且相邻两个这样区域的边缘间距不小于 $2.5\sqrt{R_{pp} \delta_{pmin}^2}$,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。
- 注:为方便起见,将只有一次应力的区域称为低应力区域;将有一次局部薄膜应力或二次应力的区域称为高应力区域。
- 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}) (见图 A.1)。
 - 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}) (见图 A.2)。
 - 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}) (见图 A.3)。
 - 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}) (见图 A.4)。
 - 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 ,则按公式(A.1)确定元件的最高允许工作压力。

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

按公式(A.1)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。

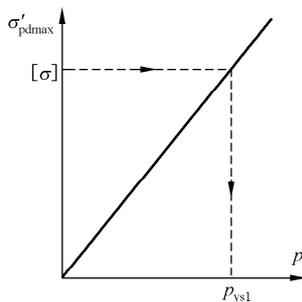


图 A.1 低应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大点的 $\sigma'_{pdmax}-p$ 直线

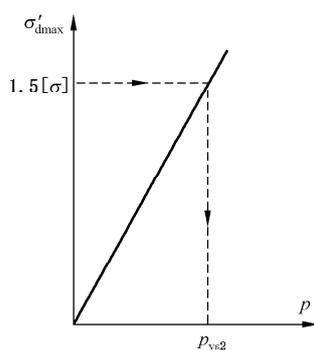


图 A.2 低应力区域中当量应力最大点的 $\sigma'_{dmax}-p$ 直线

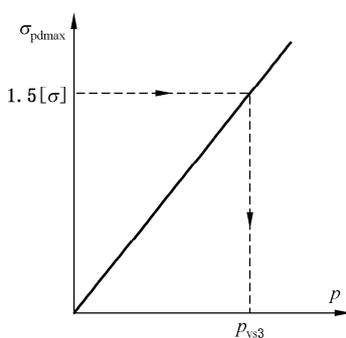


图 A.3 高应力区域中内外壁平均应力的当量应力最大点的 $\sigma_{pdmax}-p$ 直线

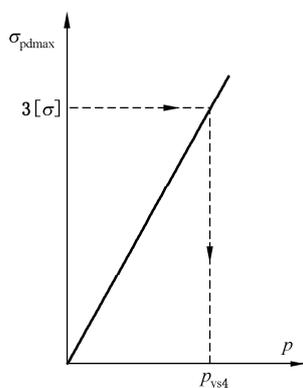


图 A.4 高应力区域中当量应力最大点的 $\sigma_{dmax}-p$ 直线

A.3.2 屈服试验验证法

A.3.2.1 屈服试验验证法仅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,并且在试验温度时元件材料的最小保证屈服强度与最小保证抗拉强度之比不大于 0.6。

A.3.2.2 进行屈服试验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公式(A.2)确定:

$$[p] = 0.75 \frac{p_{ss} [\sigma]_J \varphi_w}{\sigma_{s1s}} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$[\sigma]_j$ ——应取元件材料在工作温度下的基本许用应力；

p_{ss} ——元件的屈服压力，可用应变测量法确定。

A.3.2.3 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 $1.25[p]$ 。

A.3.2.4 按公式(A.2)确定的最高允许工作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。

A.3.2.5 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 $p-\varepsilon$ 曲线，取相应残余应变量为 0.2% 的压力为 p_{ss} (图 A.5)。

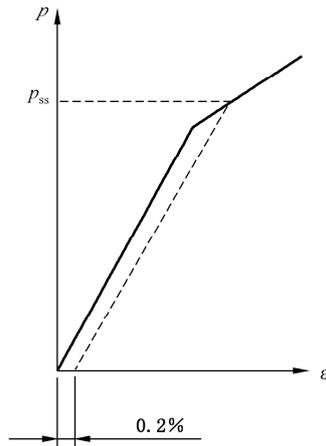


图 A.5 根据应变最大点的 $p-\varepsilon$ 曲线确定 p_{ss} 的方法

A.3.3 爆破试验验证法

元件的最高允许工作压力按公式(A.3)确定：

$$[p] = \frac{p_{bs} \delta_{yz} [\sigma]_j R_m}{4 \delta_{ys} [\sigma]_{js} \sigma_{b1}} \varphi_w f \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

对于铸钢元件， f 取为 0.7；对于其他元件，均取 f 为 1.0。

A.3.4 低周疲劳试验法

试验方法按照 GB/T 9252。

A.4 有限元分析验证法

A.4.1 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。

A.4.2 设计单位应对设计文件的条件的准确性和完整性负责。

A.4.3 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。

A.4.4 采用分析设计技术的部件总图应有应用本文件的设计单位批准标识。

A.4.5 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 A.3.1 的规定进行。

附录 B
(规范性)
水管管板设计计算

B.1 符号

本附录使用下列符号：

- d_i ——水管内径,单位为毫米(mm);
 d_o ——水管外径,单位为毫米(mm);
 D_i ——水管管板最内圈支点线直径,单位为毫米(mm);
 D_o ——水管管板最外圈支点线直径,单位为毫米(mm);
 J ——惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴);
 L ——水管管板之间的水管长度,单位为毫米(mm);
 n ——可作为支撑的水管数量;
 N ——水管的平均轴向载荷,单位为牛顿(N);
 p ——计算压力,单位为兆帕(MPa);
 p_{cr} ——水管的失稳临界力,单位为牛顿(N);
 S_m ——安全裕度;
 μ ——失稳变形系数。

B.2 有拉撑的水管管板

B.2.1 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。

B.2.2 环形水管管板要求如下。

- a) 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。
- b) 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) 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。

B.2.3 单根水管稳定性校核按下列方法计算：

单根水管的失稳临界力按公式(B.1)计算：

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E^4 J}{(\mu L)^2} \dots\dots\dots (B.1)$$

公式(B.1)中的 μ 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 $\mu=0.5$; $J = \pi(d_o^4 - d_i^4)/64$ 。

单根水管的平均轴向载荷按公式(B.2)计算：

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

安全裕度按公式(B.3)计算：

$$S_m = \frac{p_{cr}}{N} \dots\dots\dots (B.3)$$

当安全裕度 $S_m \geq 4$ 时,可认为水管束稳定条件满足。

B.3 有拉撑的水管管板的计算

B.3.1 水管管板计算之前,应按 B.2.3 进行单根水管稳定性校核。

B.3.2 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。

B.3.3 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。



参 考 文 献

- [1] TSG 11 锅炉安全技术规程
 - [2] TSG 91 锅炉节能环保技术规程
-