

锅炉吊杆强度计算方法

1 主题内容与适用范围

本标准规定了锅炉受压件上吊杆装置的强度计算方法。

本标准适用于固定式水管锅炉受压件和锅炉范围内管道上吊杆装置的强度计算。对非受压件和其它支承结构上吊杆装置的强度计算可参照采用。

2 引用标准

GB 196	普通螺纹 基本尺寸 (直径 1~600 mm)
GB 197	普通螺纹 公差与配合 (直径 1~355 mm)
GB 699	优质碳素结构钢技术条件
GB 700	碳素结构钢
GB 713	制造锅炉用碳素钢及低合金钢钢板
GB 1591	低合金结构钢
GB 3077	合金结构钢技术条件
GB 3274	碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带
GB 3323	钢熔化焊对接接头射线照相质量分级
GB 9222	水管锅炉受压元件强度计算
GB 11251	合金结构钢热轧厚钢板
GB 10181	恒力弹簧吊架
GB 10182	可变弹簧吊架
JB/T 6734	锅炉角焊缝强度计算方法
ZB J74 003	压力容器用钢板超声波探伤

3 总则

3.1 设计原则

3.1.1 吊杆装置应有足够的强度,以保证锅炉本体和锅炉范围内管道在各种规定工况下长期安全可靠运行。

3.1.2 吊杆装置的设置应满足锅炉总体布置和所支吊受压件的布置要求。

3.1.3 吊杆装置应力求结构简单合理、制造安装方便,宜选用成熟可靠并且经济的结构型式。

3.1.4 吊杆装置及其零件应尽量标准化、通用化和系列化。

3.2 设计要求

3.2.1 应根据各种运行工况下所承受的荷载和位移对各受力构件进行强度计算,必要时还应进行刚度和稳定性计算。

3.2.2 吊杆装置中各受力焊缝应符合 JB/T 6734 的要求。

3.2.3 与锅筒、集箱和公称外径大于 133 mm 管道等受压件焊接的受力构件(如吊耳等),其厚度不得大于受压件公称厚度。

3.2.4 悬吊式锅炉顶部的普通吊杆，不论有无密封罩壳，吊杆直径不宜小于 16 mm。

3.3 类别和结构型式

3.3.1 吊杆装置按其使用部位分为普通吊杆装置和锅筒吊杆（架）装置两类，普通吊杆装置用于支吊锅炉本体除锅筒以外的其它受压件以及锅炉范围内管道。

3.3.2 普通吊杆装置的常用结构型式见图 3-1。

3.3.3 锅筒吊杆（架）装置的常用结构型式有下列两种：

- a. 圆钢式锅筒吊杆装置：见图 3-2；
- b. 链片式锅筒吊架装置：又分为全链片式（图 3-3）和复合链片式（上部为圆钢，下部为链片，见图 3-4）两种。

在锅筒一端只有一个 U 形吊杆（架）装置的称为单吊杆（架），有两个的称为双吊杆（架）。

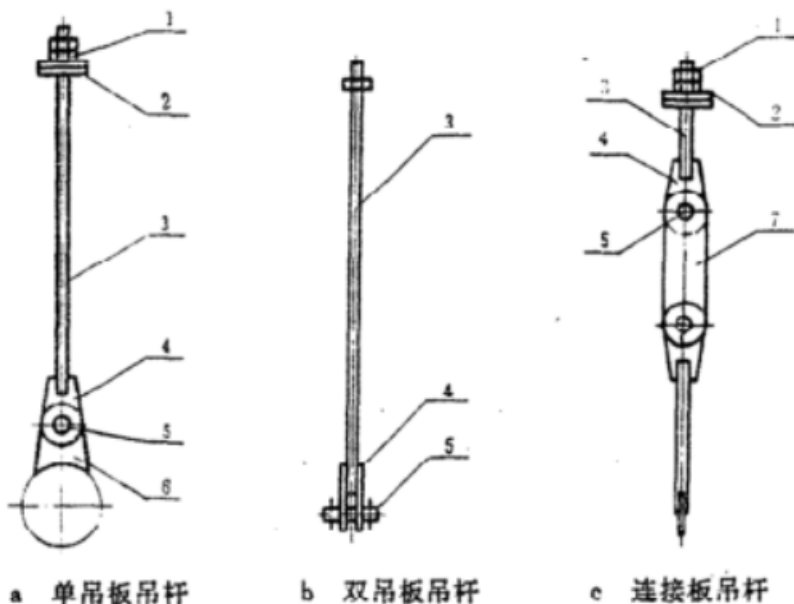
3.3.4 吊杆装置上紧固件（包括螺母、垫圈、垫块、销、销轴等）的规格应按有关国家标准的规定选用，国家标准中没有的规格可参考有关标准的规定自行设计。

3.3.5 螺纹吊杆的常用型式有下列 5 种：

- a. 单头螺纹吊杆；
- b. 双头螺纹吊杆；
- c. 双头左右螺纹吊杆（一般不推荐使用）；
- d. U 形吊杆；
- e. 螺纹付连接吊杆。

螺纹吊杆的螺纹和圆钢公称直径推荐值见附录 A1。

3.3.6 普通吊杆装置上吊板和 U 形夹（均用于连接吊杆和吊耳）的结构型式见图 3-5 和图 3-6。U 形夹与吊杆采用螺纹连接。



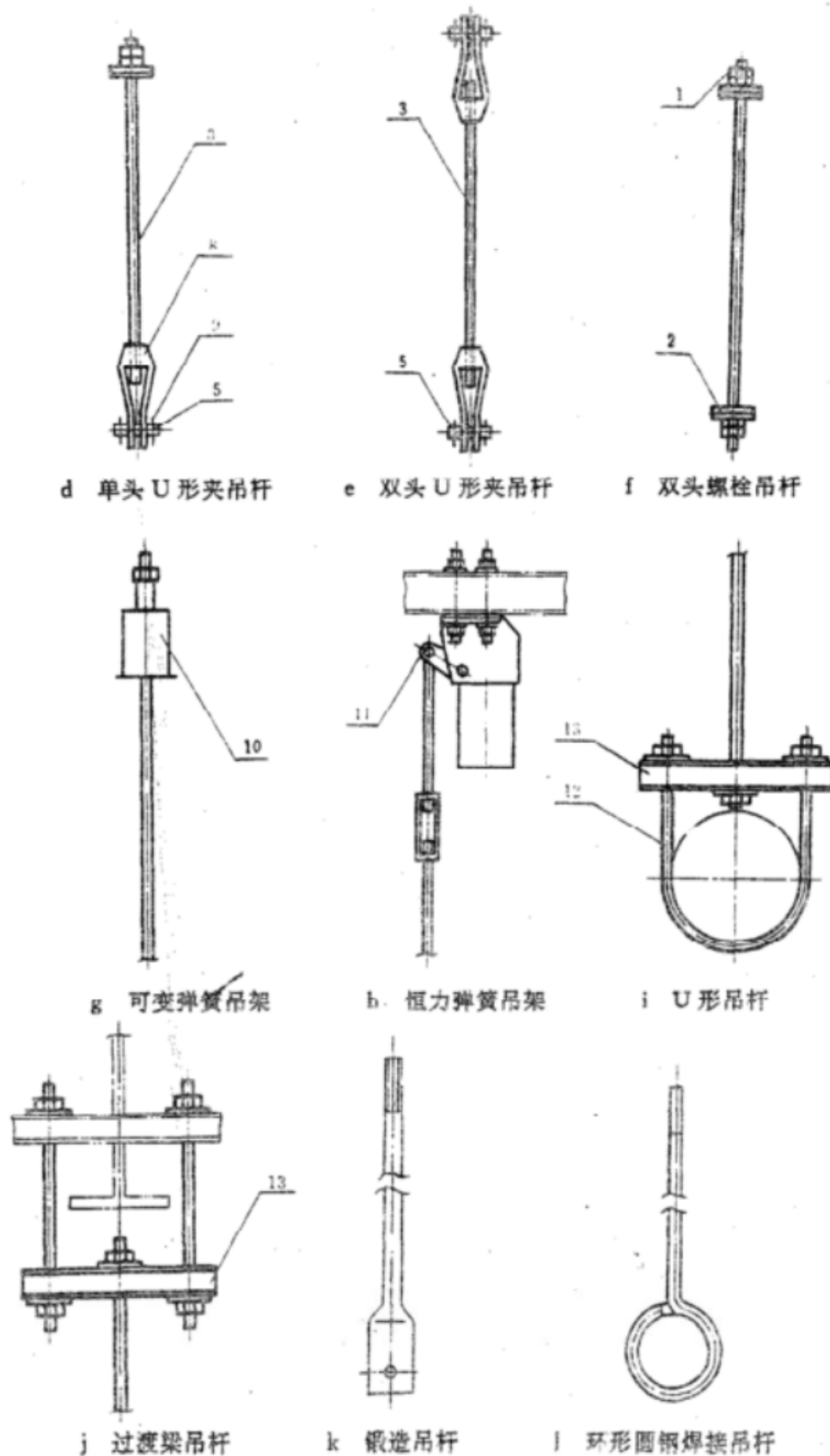


图 3-1 普通吊杆装置

1——螺母, 2——垫圈, 3——吊杆, 4——吊板, 5——销轴, 6——吊耳, 7——连接板, 8——U 形夹, 9——销钉或开口销, 10——可变弹簧吊架, 11——恒力弹簧吊架, 12——U 形吊杆, 13——过渡梁。

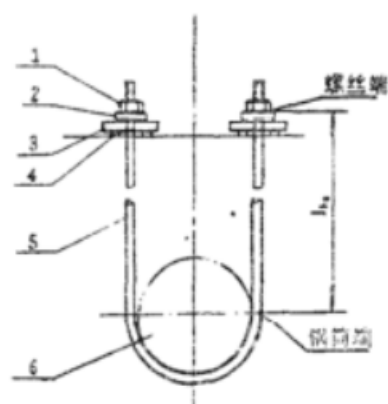


图 3-2 圆钢式锅筒吊杆装置

1——螺母，2——柱面垫块，3——垫板，4——加强肋板，5——U形吊杆，6——锅筒。

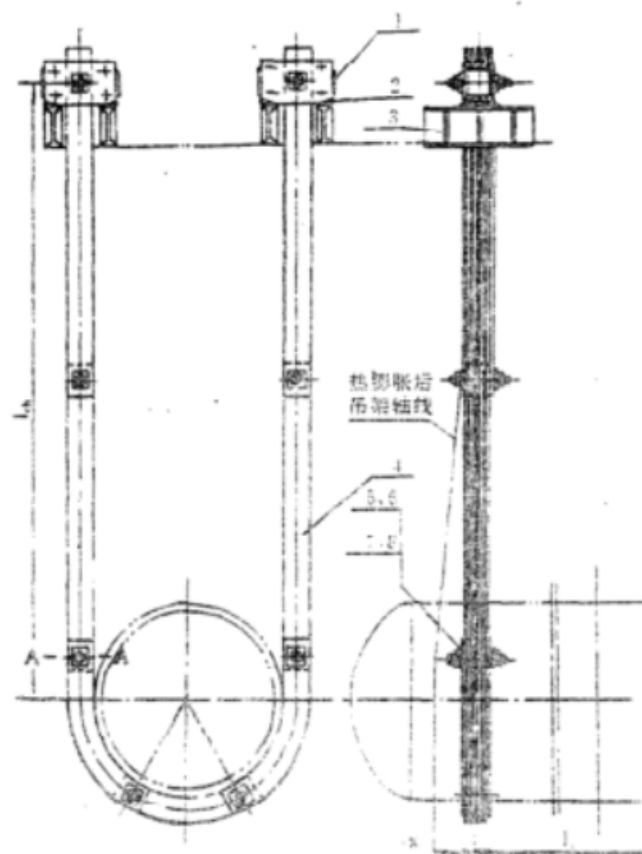


图 3-3 全链片式锅筒吊架装置

1——板，2——钢索，3——支承架，4——链片组，5——垫圈，6——双头螺栓，7——螺母，8——连接板。

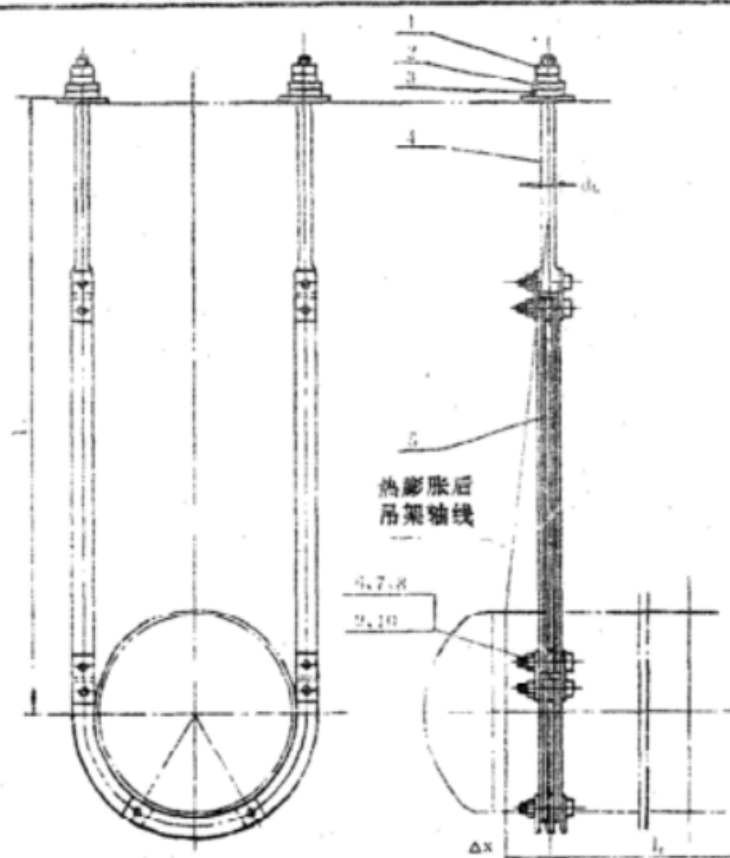


图 3-4 复合链片式钢筒吊架装置

1—螺母, 2—球面垫圈, 3—锥面垫圈, 4—吊杆, 5—链片组,
6—销, 7—销轴, 8—螺母, 9—连锁板, 10—连接板。

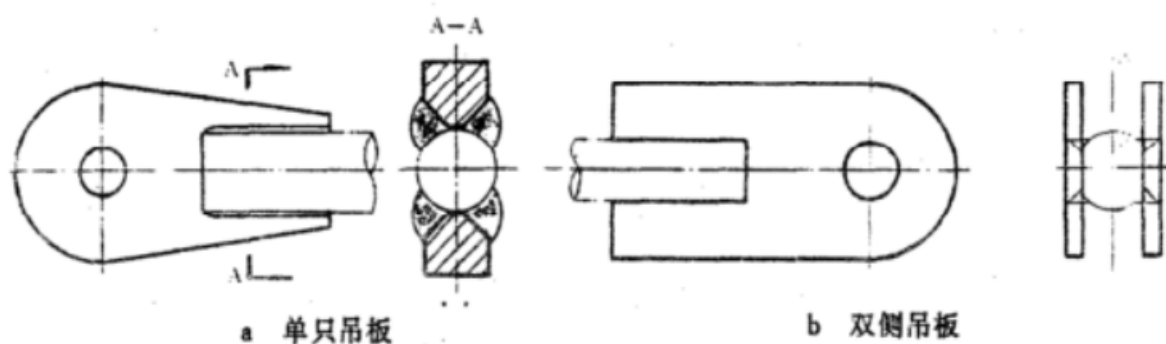


图 3-5 吊板

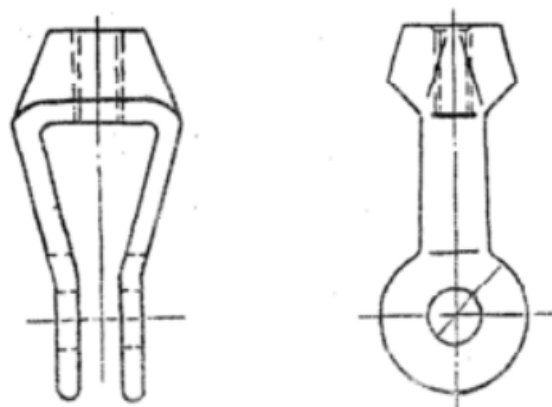


图 3-6 U形夹

3.3.7 普通吊杆装置上的吊耳（直接焊在集箱、管子、管道或梁上）分为横向吊耳（图 3-7）和纵向吊耳（图 3-8）两种。

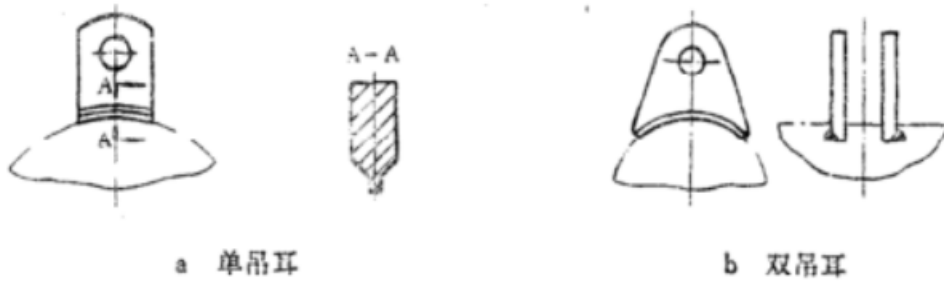


图 3-7 横向吊耳

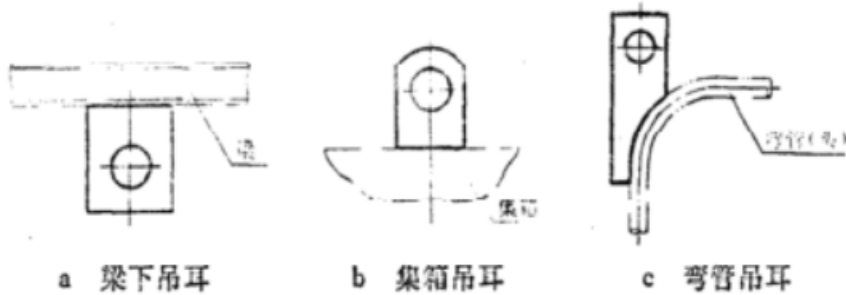


图 3-8 纵向吊耳

3.3.8 普通吊杆装置上的弹簧吊架应符合下列要求：

- a. 恒力弹簧吊架：按 GB 10181 选用。
- b. 可变弹簧吊架：按 GB 10182 选用。

3.3.9 在需要时，吊杆装置可用过渡梁，其型式见图 3-9。

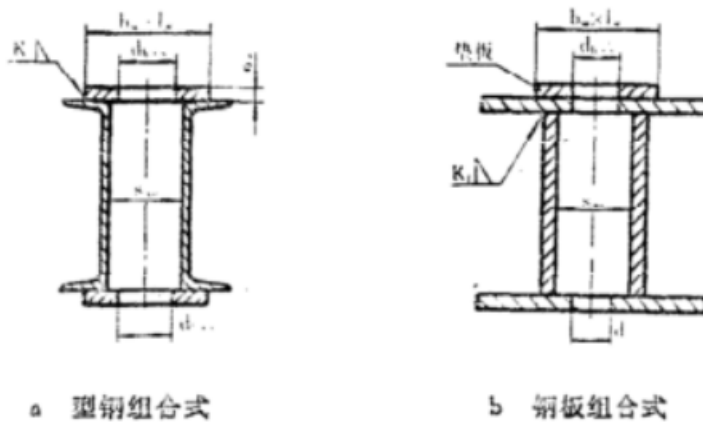


图 3-9 过渡梁

3.4 计算部位

3.4.1 为便于计算，吊杆装置上各处的温度按自下而上的原则递减。

3.4.2 每种型式吊杆装置应按表 3-1 中规定的所有计算部位分别进行强度计算并且均应符合要求，也可取强度最低处作为计算依据。

表 3-1 吊杆装置的计算部位

类 别	图 号	计 算 部 位
普通吊杆	图 3-1, a	1. 序号 1 与序号 2 间吊杆螺纹, 2. 序号 3 与序号 4 结合处圆钢, 3. 序号 4 吊板, 4. 序号 5 销轴, 5. 序号 6 吊耳。
	图 3-1, b	1. 序号 3 吊杆上端螺纹, 2. 序号 3 与序号 4 结合处圆钢, 3. 序号 4 吊板, 4. 序号 5 销轴。
	图 3-1, c	1. 序号 1 与序号 2 间吊杆螺纹, 2. 序号 3 与序号 4 结合处圆钢, 3. 序号 4 吊板, 4. 吊号 5 销轴。
	图 3-1, d, e	1. 序号 3 吊杆上、下端螺纹, 2. 序号 5 销轴。
	图 3-1, f	序号 1 与序号 2 间吊杆螺纹
	图 3-1, i	1. 序号 12 螺纹端, 2. 序号 13 过渡梁, 3. 序号 3 吊杆下部螺纹。
	图 3-1, j	1. 近过渡梁处吊杆螺纹, 2. 序号 13 过渡梁。
	图 3-1, k	1. 上部螺纹, 2. 下部吊板。
	图 3-1, l	1. 上部螺纹, 2. 环形圆钢焊缝。
圆钢式吊杆	图 3-2	1. 序号 1 与序号 2 间吊杆螺纹, 2. 圆筒端吊杆, 3. 序号 3 垫板。
链片式吊架	图 3-3	1. 序号 6 圆筒端双头螺栓, 2. 圆筒端链片。
	图 3-4	1. 序号 1 与序号 4 间吊杆螺纹, 2. 序号 7 圆筒端销轴, 3. 圆筒端链片。

4 材料和许用应力

4.1 符号说明

本章中所用符号的意义和单位如下:

σ_s ——材料在室温下的抗拉强度, N/mm²;

σ_s' ——材料在计算温度下的屈服点, N/mm²;

σ_D ——材料在计算温度下 10^5 时的持久强度, N/mm²;

$[\sigma]$ ——材料在计算温度下的许用应力, N/mm²;

n_b ——对应于室温下抗拉强度的安全系数;

n_s' ——对应于计算温度下屈服点的安全系数;

n_D ——对应于计算温度下 10^5 时持久强度的安全系数。

4.2 材料选用

4.2.1 应根据吊杆装置各受力构件的类别和计算温度选用材料, 计算温度较高时应考虑材料的抗氧化性能。

4.2.2 焊接连接的受力构件应采用焊接性较好的材料并要考虑其热处理要求。

4.2.3 为防止螺纹连接的受力构件在旋合处咬死, 螺母和吊杆的硬度应有差别, 可选用不同性能等级的材料或采用不同的热处理规范。

4.2.4 受力构件的常用材料及其最高许用壁温按表 4-1~表 4-2 的规定, 表 4-2 中的 Q235A 不得用于制造较为重要的吊杆和螺母。

锻件的最高许用壁温与同牌号钢板、型钢或圆钢相同。

4.2.5 受力构件的材料应符合有关国家标准或行业标准的规定。

4.3 许用应力

4.3.1 钢材的许用应力 $[\sigma]$ 按下列公式计算, 取其中最小值:

$$[\sigma] \leq \frac{\sigma_s}{n_b} \dots\dots\dots (4-1)$$

$$[\sigma] \leq \frac{\sigma_s'}{n_s'} \quad (4-2)$$

$$[\sigma] \leq \frac{\sigma_D}{n_D} \quad (4-3)$$

计算时, σ_s 和 σ_s' 取钢材大量试验结果的统计下限值; σ_D 取钢材大量试验结果的 10^5 h 持久强度的平均值。安全系数按下列公式选取:

$$n_b = 3 \quad (4-4)$$

$$n_s' = 1.67 \quad (4-5)$$

$$n_D = 1.67 \quad (4-6)$$

受力构件常用材料的许用应力可参考附录 A2。

表 4-1 钢板

钢 的 种 类	牌 号	标 准 编 号	最高许用壁温 $^{\circ}\text{C}$
碳钢	20g	GB 713	450
低合金钢	16Mn	GB 1591、GB 3274	430
	16Mng	GB 713	
	15MnV	GB 1591、GB 3274	450
	15MnVg	GB 713	
	15CrMo	GB 3077、GB 11251	550
	12Cr1MoV	GB 3077、GB11251	565

表 4-2 型钢和圆钢

钢的种类	牌 号	标准编号	零 件	最高许用壁温 $^{\circ}\text{C}$
碳钢	Q235A	GB 700	过渡梁、螺母	350
	20、25	GB 699	吊杆	430
			螺母	450
	35	GB 699	吊杆	430
			螺母	450
	45	GB 699	销轴	430
低合金钢	16Mn	GB 1591	梁、吊杆	430
	15MnV	GB 1591	梁、吊杆	450
	12Cr1MoV	GB 3077	吊杆、销轴、螺母	565
	30CrMoA	GB 3077	吊杆	480
	35CrMo		螺母	510

4.3.2 对布置在烟道内的受力构件,当烟气温度不大于 600°C 时,其许用应力取按 4.3.1 所得数值的 95%,大于 600°C 时取 90%。

4.3.3 锻件的许用应力,当锻坯为轧材时取按 4.3.1 所得数值 100%,当锻坯为钢锭时取 90%。

4.3.4 对于附录 A2 中未列入的材料(包括国产和进口材料),只要符合 4.2 的有关要求,其许用应力可按 4.3.1 确定, σ_s 、 σ_s' 及 σ_D 应取相应钢号的最低保证值。在没有保证值时,可进行抽样试验,将试验求得 σ_s' 的最小值和 σ_D 的平均值乘以 0.9 作为取值。抽样试验的方法应符合有关标准的要求。

4.3.5 碳钢或低合金钢受力构件如计算温度不大于 350°C ,其它合金钢不大于 400°C ,在确定许用应力时不考虑持久强度。

5 计算荷载

5.1 符号说明

本章中所用符号的意义和单位如下:

F ——总计算荷载, N ;

F_1 ——永久荷载, N ;

F_2 ——偶然荷载, N ;

F_c ——构件的计算荷载, N, mm ;

η ——计算荷载修正系数;

η_h ——荷载统计修正系数;

η_h ——荷载分配不均匀系数。

5.2 荷载分类

5.2.1 在锅炉使用期间数值不随时间变化或虽有变化但变化值与平均值相比可忽略不计的称为固定荷载, 数值随时间变化并且变化值与平均值相比不可忽略的称为可变荷载。

为便于计算, 将固定荷载与可变荷载合并, 称为永久荷载。

5.2.2 在锅炉使用期间不一定出现, 但一旦出现虽然持续时间很短而数值又不可忽略的荷载称为偶然荷载。

5.3 永久荷载

5.3.1 永久荷载 F_1 应包括吊杆装置所支吊受压件上的下列荷载:

- 受压件的金属重;
- 受压件中的介质重;
- 受压件上保温重;
- 受压件所支承其它零部件重 (包括该零部件金属重、介质重和保温重);
- 由系统应力分析所得到的热荷载和其它荷载 (包括连接管道的推力、安装时的冷拉和预紧力等);
- 吊杆装置自重。

5.3.2 在计算普通吊杆装置的永久荷载时, 还需附加下列可变荷载:

- 煤粉锅炉受热面上熔渣和积灰重;
- 锅炉炉膛或烟道的烟气压力。

应根据吊杆装置的类别和部位确定并通过分配对受压件附加相应的可变荷载。

5.4 偶然荷载

5.4.1 偶然荷载 F_2 包括下列荷载:

- 锅炉设计时允许承受的炉膛瞬时爆燃压力或炉膛内爆压力, 取两者中绝对值较大的一个;
- 安全阀或排汽阀排汽时的反力;
- 吊杆装置上所承受的其它短时荷载。

5.4.2 应根据吊杆装置的类别和部位确定并通过分配对受压件附加相应的偶然荷载。

5.4.3 对露天锅炉、设防烈度为 6 级以上地区的锅炉, 必要时还应对风力、水平地震力进行强度校核。

5.5 计算原则

5.5.1 对板材以公称尺寸所求得理论重作为金属重, 对管材以公称尺寸所求得理论重的 1.1 倍作为金属重。

5.5.2 介质重的计算原则规定如下:

a. 重度: 按额定工况下介质状态将受压件内介质分为水、汽水混合物和汽三类, 水和汽水混合物的重度取大气压力下水的重度, 汽的重度可忽略不计。

b. 容积: 除锅筒按总容积的一半计算外, 其他受压件均按总容积计算。

5.5.3 保温重按设计计算重的 1.2 倍。

5.5.4 熔渣的重度, 液态排渣锅炉取 $12 \sim 14 \text{ kN/m}^3$, 固态排渣锅炉取 $10 \sim 12 \text{ kN/m}^3$ 。积灰的重度取 $8 \sim 10 \text{ kN/m}^3$ 。

锅炉中结渣、积灰部位及其平均厚度的推荐值见附录 A3。

5.5.5 锅炉炉膛或烟道的烟气压力取炉膛或烟道的设计压力。

5.5.6 用荷载统计修正系数 η 考虑各种荷载在统计中可能出现的误差, 对普通吊杆装置, $\eta = 1.05$, 对锅筒吊杆(架)装置, $\eta = 1.10$ 。

5.5.7 用荷载分配不均匀系数 η_h 考虑各个吊杆上荷载的分配不均匀性, η_h 的数值规定如下:

a. 膜式壁管屏集箱上的多个吊杆按均匀承载时, $\eta_h = 1.20$;

b. 管道和其它集箱(只有 2 个吊杆, 按简支梁计算, 有 2 个以上的吊杆, 按连续梁静力法计算), $\eta_h = 1.20$;

c. 锅筒的单 U 形吊杆(架), $\eta_h = 1.00$, 双 U 形吊杆(架), $\eta_h = 1.20$ 。

d. 当受力构件的荷载分配是经应力分析得出, $\eta_h = 1.00$ 。

5.5.8 用计算荷载修正系数 η 考虑计算值与实际值的偏差:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_h \quad (5-1)$$

5.5.9 应取下列公式中的较大值作为某一受压件上所有吊杆装置的总计算荷载 F :

$$F = \eta F_1 \quad (5-2)$$

$$F = \frac{\eta(F_1 + F_2)}{1.33} \quad (5-3)$$

当 $F_1 \geq 3F_2$ 时, 可直接按公式(5-2)求得总计算荷载。

5.5.10 在计算受力构件的强度时, 应根据吊杆装置的型式和数目对总计算荷载 F 进行分配, 确定吊杆装置上各受力构件的计算荷载 F_c 。

5.5.11 必要时, 可对吊杆装置在水压试验工况下的强度进行校核, 对露天锅炉, 校核时还应附加雪荷载。

6 计算温度

6.1 符号说明

本章中所用符号的意义和单位如下:

l_p ——吊杆上任意点 p 的计算长度, mm;

t ——受力构件计算温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_a ——无密封罩壳时炉顶环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{a,d}$ ——有密封罩壳时炉顶环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_r ——介质温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_i ——保温层内受力构件的计算温度, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{i,s}$ ——保温层表面处受力构件的计算温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_p ——吊杆上任意点 p 的计算温度, $^{\circ}\text{C}$;

Δt ——计算温度附加值, $^{\circ}\text{C}$ 。

6.2 概述

6.2.1 应按吊杆装置在锅炉中所处部位的介质温度和环境(或烟气)温度确定吊杆装置强度计算时的计算温度。

6.2.2 在确定弹性模量时, 材料温度取吊杆下端与上端计算温度的算术平均值。

6.3 环境温度

6.3.1 无密封罩壳或密封罩壳外的炉顶环境温度取 100°C 。

6.3.2 密封罩壳内的炉顶环境温度取顶棚管最高介质温度加 55℃。

6.3.3 对布置在烟道内的受力构件,以烟气温度代替环境温度确定计算温度。烟气温度的数值按额定工况的锅炉热力计算书。

6.4 介质温度

6.4.1 锅筒中的介质温度取额定工况下相应于锅筒工作压力的饱和温度。

6.4.2 除锅筒外其它受压件中的介质温度按额定工况锅炉热力计算书或参考该受压件的强度计算书。

6.5 受力构件计算温度

6.5.1 锅筒吊杆(架)装置的计算温度,螺纹端或固定端取 20℃,锅筒端取锅筒工作压力下的饱和温度。

6.5.2 当普通吊杆装置所支吊的集箱、管子或管道中介质温度 t_i 小于环境温度时,以环境温度作为吊杆的计算温度。

6.5.3 当普通吊杆装置所支吊的集箱、管子或管道中介质温度 t_i 不小于环境温度时,吊杆的计算温度按表 6-1 选用。

表 6-1 吊杆的计算温度($t_i \geq t_e$ 时)

序号	吊杆的工作条件	计算温度 ℃
1	通过绝热管束无套管的吊杆或者与集箱或管束直接接触的吊杆	$t_i + \Delta t$
2	通过绝热管束有套管的吊杆或者靠近集箱或管束连接管的吊杆	$t_i - 100 + \Delta t$
3	通过不绝热的管束但并不与管束或连接管相接触的吊杆	$t_i - 28 + \Delta t$

表 6-1 中的计算温度附加值 Δt 与顶棚穿墙管密封严密性有关,当穿墙管有可靠密封时, $\Delta t = 0$ 。当无可靠密封时, Δt 的数值与吊杆在炉顶上部的部位有关,可参考表 6-2 选用。

表 6-2 计算温度附加值

℃

吊杆在炉顶的部位	炉膛上部炉顶	转弯烟道炉顶	后烟道炉顶
计算温度附加值	40~50	20~30	0~20

6.5.4 无密封罩壳时沿吊杆长度上任意点 p 的计算温度 t_p (见图 6-1) 可按下列公式计算:

$$t_p = \frac{t_i + t_e}{2} - 30, \dots\dots\dots (6-1)$$

当按 6-1 公式所求得的 t_p 小于 t_e 时,取 $t_p = t_e$ 。

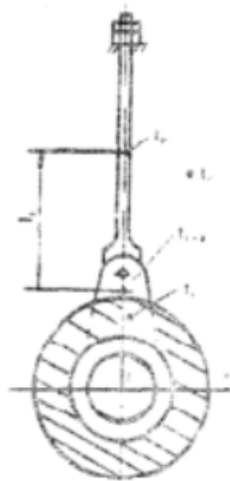


图 6-1 沿吊杆长度上任意点的计算温度

6.5.5 保温层表面处受力构件的计算温度 t_s ,取受压件中介质温度和环境温度的算术平均值。保温层内,

受力构件的计算温度 t 取受压件中介质温度。

6.5.6 为便于估算普通吊杆装置上各受力构件的计算温度,在附录 A4 中给出估算值,可供参考。

7 普通吊杆装置

7.1 符号说明

本章中所用符号的意义和单位如下。

A_s ——吊杆螺纹端计算截面积, mm^2 ;

b_s ——吊板宽度, mm ;

b_e ——吊耳宽度, mm ;

$b_{1,1}$ ——吊耳的理论计算宽度, mm ;

b_w ——垫板宽度, mm ;

d ——螺纹公称直径, mm ;

d_s ——圆钢公称直径, mm ;

d_e ——螺纹有效直径, mm ;

d_h ——孔径, mm ;

$d_{h,s}$ ——圆钢穿孔处孔径, mm ;

$d_{h,e}$ ——螺纹穿孔处孔径, mm ;

d_{th} ——吊杆计算直径, mm ;

d_p ——销轴直径, mm ;

D_h ——集箱外径, mm ;

D_i ——管子外径, mm ;

e ——偏心距, mm ;

E ——弹性模量, N/mm^2 ;

E_{th} ——吊杆材料的计算弹性模量, N/mm^2 ;

E_1 、 E_2 ——吊杆下端、上端材料在其计算温度下的弹性模量, N/mm^2 ;

F_s ——构件的计算荷载, N ;

F_r ——垂直于管子轴线的荷载分量, N ;

$[F]_{t,1}$ 、 $[F]_{t,2}$ ——弯管、直管上纵向吊耳许用压缩荷载, N/mm ;

$[F]_{t,1}$ 、 $[F]_{t,2}$ ——弯管、直管上纵向吊耳许用拉伸荷载, N/mm ;

h_s ——剪切高度, mm ;

I_{th} ——吊杆惯性矩, mm^4 ;

J_{th} ——吊杆的计算参数, mm ;

K ——组合应力系数;

K_1 、 K_2 ——焊脚高度, mm ;

k_s ——吊耳间距系数;

K_e ——吊耳应力分布系数;

$l_{b,1}$ ——理论计算支承长度, mm ;

l_b ——吊杆计算长度, mm ;

l_1 ——纵向吊耳长度, mm ;

l_w ——垫板长度, mm ;

m ——吊耳宽度系数;

M_1 ——吊杆圆钢端弯矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$;

- M_1 ——吊杆下端弯矩, $N \cdot mm$;
 $M_{1,x}, M_{1,y}$ ——吊杆下端 x 、 y 方向弯矩, $N \cdot mm$;
 $M_{p,1}$ ——销轴单侧承受荷载时的弯矩, $N \cdot mm$;
 M_t ——吊杆螺纹端弯矩, $N \cdot mm$;
 M_u ——吊杆上端弯矩, $N \cdot mm$;
 $M_{u,x}, M_{u,y}$ ——吊杆上端 x 、 y 方向弯矩, $N \cdot mm$;
 n ——外壁应力系数;
 p ——集箱计算压力, Mpa ;
 R ——弯头外圆半径, mm ;
 s ——孔中心至边缘距离, mm ;
 s_e ——吊板间距, mm ;
 s_1 ——吊耳间距, mm ;
 s_w ——孔中心至连接焊缝最小距离, mm ;
 s_{we} ——腹板间距, mm ;
 t_c ——集箱理论计算壁厚, mm ;
 t_t ——管子壁厚, mm ;
 W_b ——吊杆圆钢端截面系数, mm^3 ;
 W_p ——销轴截面系数, mm^3 ;
 W_t ——吊杆螺纹端截面系数, mm^3 ;
 δ_e ——吊板厚度, mm ;
 δ_1 ——吊耳厚度, mm ;
 δ_w ——垫板厚度, mm ;
 Δ ——合位移, mm ;
 Δx 、 Δy ——吊点在 x 、 y 方向的位移, mm ;
 μ ——系数;
 $\sigma_{s,1}$ ——销轴对孔的支承应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{s,p}$ ——孔对销轴的支承应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{s,e}$ ——集箱上设置吊耳处外壁应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{s,b}$ ——单位荷载的内壁横向应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{s,i}$ ——集箱上设置吊耳处内壁应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{M,b}$ ——吊杆圆钢端弯曲应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{M,p}'$ ——销轴单侧承受荷载时的弯曲应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{M,t}$ ——吊杆螺纹端弯曲应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{t,b}$ ——吊杆圆钢端拉应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{t,e}$ ——吊板拉应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{t,1}$ ——吊耳的平均拉应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{t,t}$ ——吊杆螺纹端拉应力, N/mm^2 ;
 $[\sigma]$ ——吊杆装置计算部位材料在计算温度下的许用应力, N/mm^2 ;
 $[\sigma]_b$ ——集箱强度计算时的许用应力, N/mm^2 ;
 $[\sigma]_M$ ——集箱的许用局部弯曲应力, N/mm^2 ;
 τ_p ——销轴的切应力, N/mm^2 ;
 τ_p' ——销轴单侧承受荷载时的切应力, N/mm^2 ;

7.2 概述

7.2.1 普通吊杆装置的强度计算包括吊杆、吊板、吊耳和销轴等主要受力构件的强度计算,其它受力构件可参考本标准有关章、条或按有关标准选用。

7.2.2 普通吊杆装置的计算部位按表 3-1, 计算时已考虑安装时的预位移。

7.3 计算模型

7.3.1 普通吊杆装置可根据两端连接方式的不同分为不同类别的计算模型,常用普通吊杆装置的计算模型见表 7-1。

7.3.2 普通吊杆装置在热膨胀或预位移时吊杆上、下端的弯矩 M_u 、 M_l 可由表 7-1 按下列公式计算:

a. A 类

$$M_u = M_l = \frac{F_c J_{ba} \Delta \sinh \mu}{l_{ba} + l_{ba} \cosh \mu - 2 J_{ba} \sinh \mu} \quad (7-1)$$

b. B 类

$$M_u = F_c J_{ba} \left[\left(\frac{\Delta y \sinh \mu}{l_{ba} + l_{ba} \cosh \mu - 2 J_{ba} \sinh \mu} \right)^2 + \left(\frac{\Delta x \tanh \mu}{l_{ba} - J_{ba} \tanh \mu} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7-2)$$

$$M_l = \frac{F_c \Delta y J_{ba} \sinh \mu}{l_{ba} + l_{ba} \cosh \mu - 2 J_{ba} \sinh \mu} \quad (7-3)$$

c. C 类

$$M_{u,x} = \frac{F_c \Delta x J_{ba} \tanh \mu}{2(l_{ba} - J_{ba} \tanh \mu)} \quad (7-4)$$

$$M_{u,y} = \frac{F_c \Delta y J_{ba} \sinh \mu}{2(l_{ba} + l_{ba} \cosh \mu - 2 J_{ba} \sinh \mu)} \quad (7-5)$$

$$M_u = (M_{u,x}^2 + M_{u,y}^2)^{1/2} \quad (7-6)$$

$$M_l = M_{l,y} = \frac{F_c \Delta y (\cosh \mu - 1)(\mu + 2\mu \cosh \mu - 3 \sinh \mu)}{2(2 - 2 \cosh \mu + \mu \sinh \mu)(\mu \cos \mu - \sin \mu)} \quad (7-7)$$

d. D 类

$$M_u = M_l = \frac{F_c J_{ba} \Delta \sinh \mu}{2(l_{ba} + l_{ba} \cosh \mu - 2 J_{ba} \sinh \mu)} \quad (7-8)$$

e. E 类

$$M_u = M_l = \frac{F_c \Delta y \sinh \mu}{l_{ba} + l_{ba} \cosh \mu - 2 J_{ba} \sinh \mu} \quad (7-9)$$

f. F 类

$$M_u = \frac{F_c \Delta x J_{ba} \tanh \mu}{l_{ba} - J_{ba} \tanh \mu} \quad (7-10)$$

$$M_l = \frac{F_c \Delta y J_{ba} \tanh \mu}{l_{ba} - J_{ba} \tanh \mu} \quad (7-11)$$

公式 (7-1) ~ (7-11) 中的符号 J_{ba} 、 μ 和 Δ 的计算公式如下,

$$J_{ba} = \left(\frac{E_{ba} I_{ba}}{F_c} \right)^{1/2} \quad (7-12)$$

$$E_{ba} = \frac{E_u + E_l}{2} \quad (7-13)$$

$$I_{ba} = \frac{\pi d_{ba}^4}{64} \quad (7-14)$$

$$\mu = \frac{l_{ba}}{J_{ba}} \quad (7-15)$$

$$\Delta = (\Delta x^2 + \Delta y^2)^{1/2} \quad (7-16)$$

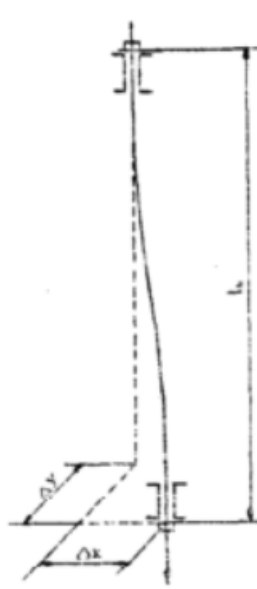
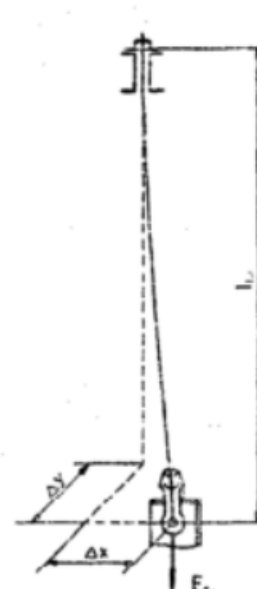

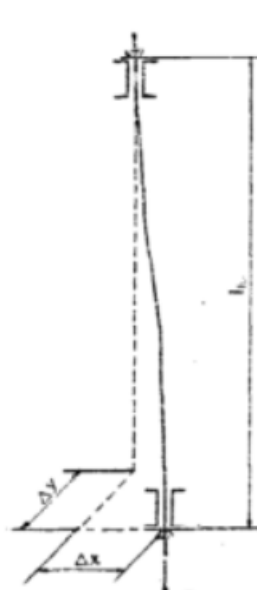
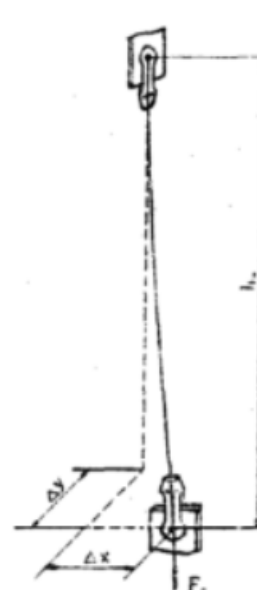
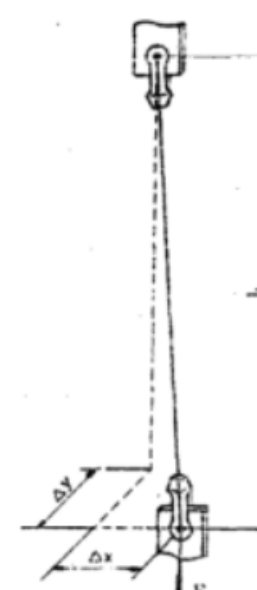
为便于计算,在附录 A5 中给出常用国产材料的弹性模量。

7.4 吊杆

7.4.1 应按下列公式计算吊杆的拉应力:

a. 螺纹端

表 7-1 常用普通吊杆装置的计算模型

类 别		A	B	C
计算模型				
连接 方式	上端	x、y 方向均固接	x、y 方向均固接	x、y 方向均半固接
	下端		x 方向铰接 y 方向固接	x 方向铰接 y 方向固接
类 别		D	E	F
计算模型				
连接 方式	上端	x、y 方向均固接	x 方向铰接 y 方向固接	x 方向固接 y 方向铰接
	下端			x 方向铰接 y 方向固接

$$\sigma_{t,t} = \frac{F_t}{A_t} \leq [\sigma] \quad (7-17)$$

$$A_t = \frac{\pi}{4} d_t^2 \quad (7-18)$$

$$d_t = d - 0.9382p \quad (7-19)$$

螺纹的公称直径 d 和螺距 p 应符合 GB 196 的要求, 附录 A1 给出推荐采用的螺纹和圆钢公称直径, 附录 A6 给出常用公称直径的螺纹计算截面积。

b. 圆钢端

$$\sigma_{t,b} = \frac{4F_t}{\pi d_b^2} \leq [\sigma] \quad (7-20)$$

7.4.2 应根据吊杆两端(包括螺纹端和圆钢端)的固定方式按下列公式计算因热膨胀或预位移引起的弯曲应力:

a. 螺纹端

$$\sigma_{M,t} = \frac{M_t}{W_t} \quad (7-21)$$

b. 圆钢端

$$\sigma_{M,b} = \frac{M_b}{W_b} \quad (7-22)$$

弯矩可参考 7.3.2, 吊杆直径对螺纹端取等于 d_t , 对圆钢取等于 d_b 。吊杆的截面系数 W_t 和 W_b 按下列公式计算:

$$W_t = \frac{\pi d_t^3}{32} \quad (7-23)$$

$$W_b = \frac{\pi d_b^3}{32} \quad (7-24)$$

7.4.3 对承受弯曲应力的吊杆, 除按 7.4.1 的规定校核其拉应力外, 吊杆的组合应力应符合下列公式的要求:

$$\sigma_{t,t} + \sigma_{M,t} \leq K [\sigma] \quad (7-25)$$

公式 (7-25) 中的组合应力系数 K 按表 7-2 选用。

表 7-2 组合应力系数

钢的种类	计算温度 $^{\circ}\text{C}$	K
碳钢	<340	≤ 1.67
	≥ 340	> 1.39
低合金钢和合金钢	<420	≤ 1.67
	≥ 420	> 1.39

7.5 吊板

7.5.1 吊板按其结构型式分为方角吊板和圆角吊板(图 7-1)。

7.5.2 吊板的拉应力应符合下列公式的要求

$$\sigma_{t,r} = \frac{F_r}{(b_r - d_r) \delta_r} \leq 0.75[\sigma] \quad (7-26)$$

7.5.3 销轴对孔的文承应力应符合下列公式的要求:

$$\sigma_{r,b} = \frac{F_r}{\delta_r \cdot d_p} \leq 1.20[\sigma] \quad (7-27)$$

7.5.4 吊板上孔与销轴的间隙不大于 0.8 mm, 为便于保持适当的间隙, 孔径 d_h 与销轴直径 d_p 之比不大于 1.035。

7.5.5 吊板上孔边缘至吊板边缘的尺寸(见图 7-1)应符合下列公式的要求:

a. I-I 截面

$$b_e - d_h \leq 8\sigma c \quad \dots\dots\dots (7-28)$$

$$\frac{d_h}{b_e} = 0.35 \sim 0.55 \quad \dots\dots\dots (7-29)$$

b. I—I 截面

$$h_s > \frac{2}{3}(b_e - d_h) \quad \dots\dots\dots (7-30)$$

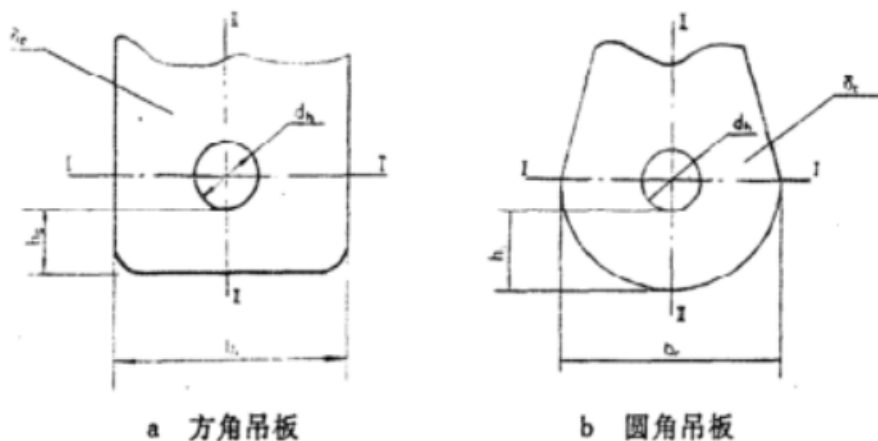


图 7-1 吊板结构尺寸

7.6 圆角环向吊耳

7.6.1 圆角环向吊耳包括单吊耳 (图 7-2) 和双吊耳 (图 7-3)。

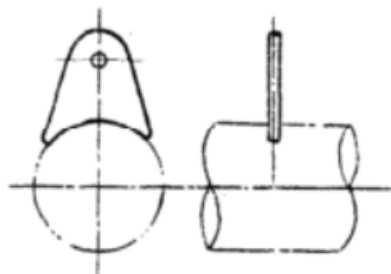


图 7-2 单吊耳

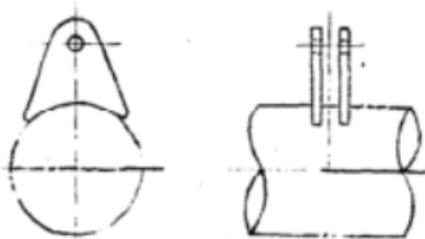


图 7-3 双吊耳

7.6.2 圆角环向吊耳的强度计算, 上部圆角部分按 7.5 中圆角吊板的有关规定, 下部与集箱连接部分按 7.7 中方角环向吊耳的有关规定。根据上、下部分的计算结果确定吊耳的结构尺寸。

7.7 方角环向吊耳

7.7.1 方角环向吊耳的结构尺寸见图 7-4。强度计算时除吊耳本身强度要求外, 还应根据在集箱壁产生的局部弯曲应力确定吊耳的结构尺寸。7.7.2~7.7.5 中的公式仅适用于介质温度不大于 480℃ 的集箱。

7.7.2 按下列公式计算集箱的许用局部弯曲应力

$$[\sigma]_M = 1.5[\sigma]_h - P\left(\frac{D_h}{2t_r} - 0.4\right) \quad \dots\dots\dots (7-31)$$

如果从吊耳中心线起在下列任一范围内开有管孔:

a. 横向, 135° ;

b. 纵向, $1.89 (D_h \cdot t_r)^{1/2}$

则 $[\sigma]_M$ 按下列公式计算:

$$[\sigma]_M = 0.5[\sigma]_h \quad \dots\dots\dots (7-32)$$

7.7.3 集箱上设置吊耳处的内壁应力按下列公式计算:

$$\sigma_{\lambda,1} = \sigma_{\lambda,0} \cdot K_s \cdot F_c \dots\dots\dots (7-33)$$

公式中, $\sigma_{\lambda,0}$ 根据集箱外径和比值 $\frac{t_r}{D_h}$ 由附录 B1 查得, K_s 根据比值 $\frac{s_1}{D_h}$ 由附录 B2 查得。

集箱内壁应力 $\sigma_{\lambda,1}$ 应小于集箱的许用局部弯曲应力 $[\sigma]_M$ 。

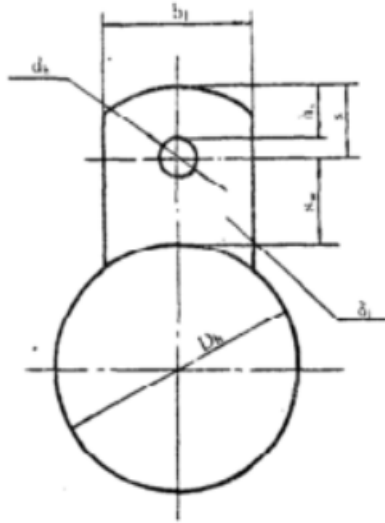


图 7-4 方角环向吊耳结构尺寸

7.7.4 集箱上设置吊耳处的外壁应力按下列公式计算:

$$\sigma_{\lambda,e} = K_s \cdot \bar{\sigma}_{\lambda,1} \dots\dots\dots (7-34)$$

公式中, K_s 根据比值 $\frac{\delta_1}{D_h}$ 和 $\frac{t_r}{D_h}$ 由附录 B3 查得, 吊耳的平均拉应力 $\bar{\sigma}_{\lambda,1}$ 按下列公式计算:

$$\bar{\sigma}_{\lambda,1} = \frac{2780 F_c}{D_h \cdot \delta_1} \dots\dots\dots (7-35)$$

7.7.5 当 $\sigma_{\lambda,e}$ 不大于 $[\sigma]_M$ 时, 按 7.7.6 求得 $b_{1,r}$, 当 $\sigma_{\lambda,e}$ 大于 $[\sigma]_M$ 时, 按下列步骤求得 $b_{1,r}$:

a. 计算外壁应力系数:

$$n = \frac{[\sigma]_M}{\sigma_{\lambda,e}} \dots\dots\dots (7-36)$$

b. 根据比值 $\frac{\delta_1}{D_h}$ 和 $\frac{t_r}{D_h}$ 由附录 B4 查得吊耳宽度系数 m ;

c. 根据 n 和 m 由附录 B5 查得比值 $(\frac{b_{1,r}}{D_h})$;

d. 按所查得的 $(\frac{b_{1,r}}{D_h})$ 和集箱外径 D_h 求得吊耳的理论计算宽度:

$$b_{1,r} = (\frac{b_{1,r}}{D_h}) \cdot D_h \dots\dots\dots (7-37)$$

7.7.6 当集箱上设置吊耳处的外壁应力不大于集箱许用局部弯曲应力 $[\sigma]_M$ 时, 按下列公式求得吊耳的理论计算宽度:

$$b_{1,r} = \frac{F_c}{0.75 [\sigma] \delta_1} + d_h \dots\dots\dots (7-38)$$

应取按公司 (7-38) 所求得 $b_{1,r}$ 和 $b_{1,r} = 0.36 D_h$ 两者中的较大值。

7.7.7 吊耳的实际宽度 b_1 取 $b_{1,r} + 4 \text{ mm}$ 。

7.7.8 吊耳的厚度应同时满足下列条件:

a. 销轴对孔的支承应力:

$$\sigma_{b,b} = \frac{F_c}{\delta_1 \cdot d_p} \leq 1.20[\sigma] \quad (7-39)$$

b. 吊耳与吊板(或U形夹)的间隙: 不小于3 mm, 即 $s_c \geq \delta_1 + 3$ mm, 见图7-7。

7.7.9 按7.5.5的规定校核孔边缘至吊耳边缘的尺寸, 校核时公式(7-28)~(7-30)中的 b_c 和 δ_c 改用 b_1 和 δ_1 。

7.7.10 孔中心至边缘的距离 s (图7-4) 取:

$$s = h_c + 0.5d_h + 6 \quad (7-40)$$

孔的剪切高度按下列公式计算:

$$h_c = \frac{F_c}{1.12[\sigma]\delta_1} \quad (7-41)$$

7.7.11 孔中心至吊耳与集箱的连接焊缝的最小距离 s_w (图7-4) 取:

$$s_w = 0.5b_{Lr} \quad (7-42)$$

同时还应考虑吊板或U形夹下端不与吊耳同集箱的焊缝相碰, 留有一定间隙。

7.7.12 当集箱上装有三通时, 吊耳中心线与相邻三通文管中心线的距离不小于三通文管外径的1.5倍。

7.8 纵向吊耳

7.8.1 计算直管和弯头上纵向吊耳的强度时, 除吊耳本身强度外, 还应根据管壁的局部弯曲应力校核每单位长度吊耳的许用荷载。

7.8.2 对直管上纵向吊耳(图7-5), 应根据管子外径 D_1 和壁厚 t_1 计算比值 $\frac{D_1}{t_1}$, 由附录B6查得每单位长度吊耳的许用拉伸荷载 $[F]_{L_s}$ 或许用压缩荷载 $[F]_{L_c}$, 按下列公式进行校核:

a. 拉伸荷载

$$[F]_{L_s} \geq \frac{F_t}{l_1} - \frac{6F_c \cdot e}{l_1^2} \quad (7-43)$$

b. 压缩荷载

$$[F]_{L_c} \geq \frac{F_t}{l_1} + \frac{6F_c \cdot e}{l_1^2} \quad (7-44)$$

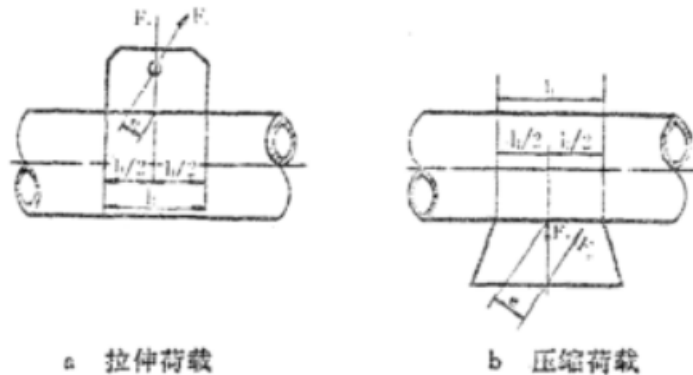


图7-5 直管上的纵向吊耳

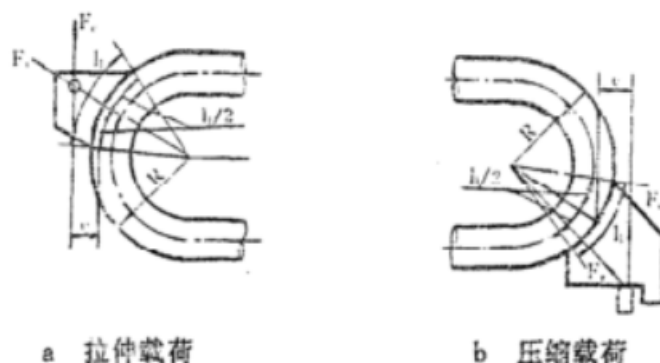
7.8.3 对弯头上纵向吊耳(图7-6), 每单位长度吊耳的许用荷载为直管许用荷载与弯管许用荷载之和。弯管的许用荷载由附录B6查得, 但 D_1 改用弯头外圆半径 R 的两倍。按下列公式进行校核:

a. 拉伸荷载

$$[F]_{L_s} + [F]_{L_{sb}} \geq \frac{F_t}{l_1} - \frac{6F_c \cdot e}{l_1^2} \quad (7-45)$$

b. 压缩荷载

$$[F]_{L_s} + [F]_{L_{sb}} \geq \frac{F_t}{l_1} + \frac{6F_c \cdot e}{l_1^2} \quad (7-46)$$



a 拉伸载荷

b 压缩载荷

图 7-6 弯头上的纵向吊耳

7.8.4 在需要时可另按应力分析的方法校核纵向吊耳的许用荷载。

7.8.5 在需要时,应根据纵向吊耳的型式按 7.5 和 7.7 的有关规定计算纵向吊耳的厚度和孔中心至边缘的距离。

7.9 销轴

7.9.1 当吊板(或 U 形夹)间距 s , 不大于吊耳厚度 δ_1 的 1.2 倍时,销轴的荷载可视为均匀分布(图 7-7),按支承应力和切应力校核销轴的强度。

a. 销轴的支承应力

$$\sigma_{\text{承}} = \frac{F_v}{\delta_1 \cdot d_p} \leq 1.20[\sigma] \quad (7-47)$$

b. 销轴的切应力

$$\tau_p = \frac{2F_v}{\pi d_p^2} \leq 0.6[\sigma] \quad (7-48)$$

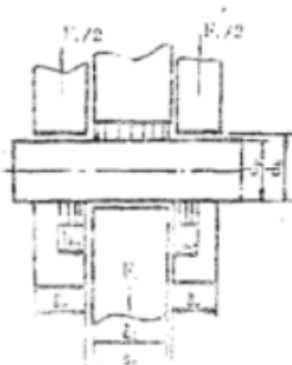


图 7-7 销轴的荷载分布

7.9.2 当吊板(或 U 形夹)间距 s , 大于吊耳厚度 δ_1 的 1.2 倍时,除按公式(7-47)计算销轴的支承应力外,还应校核销轴单侧承受荷载条件下的切应力和弯曲应力。

a. 单侧承受荷载时切应力

$$\tau_p' = \frac{4F_v}{\pi d_p^2} \leq 0.6[\sigma] \quad (7-49)$$

b. 单侧承受荷载时弯曲应力

$$\sigma_{\text{M.p}}' = \frac{M_p'}{W_p} \leq 1.5[\sigma] \quad (7-50)$$

$$M_p' = \frac{F_v}{2} (2(s_1 + l_1) - \delta_1) \quad (7-51)$$

$$W_p = \frac{\pi d_p^3}{32} \dots\dots\dots (7-52)$$

为便于计算,公式(7-51)中的理论计算支承长度 l_k ,可取等于吊板厚度 δ_k 。

7.10 其它受力构件

7.10.1 过渡梁(图3-9)的主要结构尺寸推荐值见表7-3。

表7-3 过渡梁的主要结构尺寸

mm

螺纹公称直径 d	腹板间距 s_w	垫板尺寸 $b_w \times l_w \times \delta_w$	焊脚尺寸		圆钢穿孔 处开孔直径 d_{k1}	螺纹穿孔 处开孔直径 d_{k2}
			K_1	K_2		
$d \leq 50$	65	130×130×14	10	6	1.15d	1.1d
$90 \geq d > 50$	105	155×155×20				

7.10.2 (图3-1i)中的U形吊杆,应按公式(7-17)和(7-20)计算螺纹端和圆钢端的拉应力,均应符合要求,必要时,可按第8章的有关规定进行校核。

7.10.3 U形夹(图3-6)的规格和主要结构尺寸的推荐值见附录A7。

7.10.4 集箱上垫板的结构尺寸按表7-3选用,必要时可按8.6的规定进行校核。

8 圆钢式锅筒吊杆装置

8.1 符号说明

本章中所用符号的意义和单位如下:

b_w ——垫板宽度,mm;

d_b ——圆钢公称直径,mm;

d_s ——螺纹有效直径,mm;

d_k ——孔径,mm;

F ——总计算荷载,N;

F_{d1} ——起吊时的锅筒计算荷载,N;

F_c ——构件的计算荷载,N;

h_f ——支承梁上翼缘承受荷载的假想高度,mm;

l_1 ——吊点至锅筒对称中心线的距离,mm;

l_2 ——锅筒轴线至锅炉膨胀中心的水平距离,mm;

l_d ——锅筒总长,mm;

$M_{d,u}$ ——U形吊杆锅筒端弯矩, $N \cdot mm$;

$M_{s,u}$ ——U形吊杆螺纹端弯矩, $N \cdot mm$;

M_w ——垫板弯矩, $N \cdot mm$;

s_b ——支承梁中心距,mm;

t ——构件的计算温度, $^{\circ}C$;

W_b ——吊杆圆钢端截面系数, mm^3 ;

W_s ——吊杆螺纹端截面系数, mm^3 ;

W_w ——垫板截面系数, mm^3 ;

α ——线膨胀系数, $mm/mm \cdot ^{\circ}C$;

α_1, α_2 ——锅筒和与锅筒相连管子或管道材料在额定工况介质温度下线膨胀系数, $mm/mm \cdot ^{\circ}C$;

δ_b ——腹板厚度,mm;

δ_w ——垫板厚度,mm;

- Δ ——合位移, mm;
 Δt ——温升, $^{\circ}\text{C}$;
 Δx 、 Δy ——钢筒吊点在 x、y 方向的位移, mm;
 μ ——系数;
 $\sigma_{c.w}$ ——支承梁腹板上翼缘的压应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{M.d.U}$ ——U 形吊杆钢筒端弯曲应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{M.t.U}$ ——U 形吊杆螺纹端弯曲应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{M.w}$ ——垫板的弯曲应力, N/mm^2 ;
 σ_s ——材料在室温下的屈服点, N/mm^2 ;
 $\sigma_{t.d.U}$ ——U 形吊杆钢筒端拉应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{t.t.U}$ ——U 形吊杆螺纹端拉应力, N/mm^2 ;
 $[\sigma]$ ——材料在计算温度下的许用应力, N/mm^2 。

8.2 概述

8.2.1 圆钢式钢筒吊杆装置的强度计算包括 U 形吊杆和垫板等主要受力构件的强度计算, 其它受力构件可参考本标准有关章、条或按有关标准选用。

8.2.2 圆钢式钢筒吊杆装置的计算部位按表 3-1, 计算时不考虑安装中的调整。

8.2.3 吊杆单肢的计算荷载 F_d , 对单吊杆装置取钢筒总计算荷载的四分之一, 对双吊杆装置取八分之一。

8.3 布置

8.3.1 圆钢式钢筒吊杆装置的支承结构见图 8-1, 支承梁应具有最小挠度或近似相等的挠度。

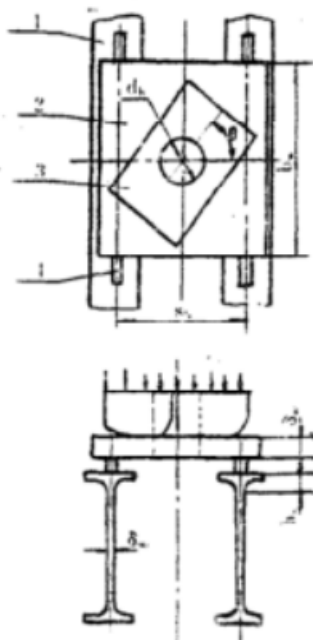


图 8-1 圆钢式钢筒吊杆装置的支承结构

1——支承梁, 2——垫板, 3——柱面垫块, 4——加强肋板。

8.3.2 钢筒吊杆装置应布置在离钢筒对称中心线 $0.3L_d$ 处, L_d 为包括封头在内的钢筒总长。

8.3.3 当采用双吊杆装置时, 每对 U 形吊杆应尽量靠近。

8.4 位移计算

8.4.1 如果锅炉设计时预先确定了膨胀中心, 钢筒的位移 (图 8-2) 按下列公式计算:

a. x 方向 (平行于筒体轴线) 位移:

$$\Delta x = l_1 \alpha_s \Delta t \quad (8-1)$$

b. y 方向 (垂直于筒体轴线) 位移:

$$\Delta y = l_2 \alpha_s \Delta t \quad (8-2)$$

c. 合位移

$$\Delta = (\Delta x^2 + \Delta y^2)^{1/2} \quad (8-3)$$

公式 (8-1) 和 (8-2) 中的温升 Δt 取:

$$\Delta t = t - 20 \quad (8-4)$$

计算温度 t 按 6.4.1 的规定

为便于计算, 在附录 A8 中给出常用国产材料的线膨胀系数。

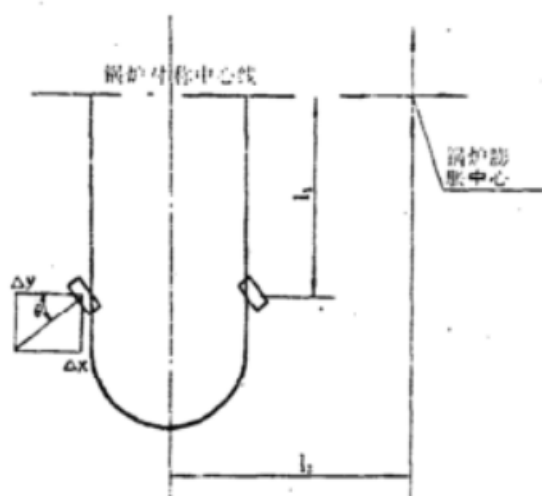


图 8-2 锅筒位移

8.4.2 如果锅炉设计时未确定膨胀中心, 可按 8.4.1 的规定确定合位移, 但 Δy 应取实际的膨胀位移。为便于计算, 也可按公式 (8-2) 求得 Δy , 但 l_2 取等于炉膛截面纵向中心线至锅筒轴线的水平距离。

8.5 U 形吊杆

8.5.1 U 形吊杆螺纹端和锅筒端的拉应力按下列公式计算:

$$\sigma_{L,U} = \frac{4F_t}{\pi d_s^2} \quad (8-5)$$

$$\sigma_{L,U} = \frac{4F_t}{\pi d_b^2} \quad (8-6)$$

d. 按公式 (7-19)。

8.5.2 U 形吊杆螺纹端和锅筒端的弯曲应力按下列公式计算:

$$\sigma_{M,U} = \frac{M_{L,U}}{W_s} \quad (8-7)$$

$$\sigma_{M,U} = \frac{M_{L,U}}{W_b} \quad (8-8)$$

$$W_s = \frac{\pi d_s^3}{32} \quad (8-9)$$

$$W_b = \frac{\pi d_b^3}{32} \quad (8-10)$$

$M_{L,U}$ 和 $M_{L,U}$ 按 8.5.3 计算。

8.5.3 U 形吊杆螺纹端 (配有球面或柱面垫块或板) 和锅筒端的弯矩按下列公式计算:

$$M_{L,U} = \frac{F_t \Delta}{2} = \frac{\cosh \mu - 1}{2 - 2 \cosh \mu + \mu \sinh \mu} \quad (8-11)$$

$$M_{\Delta U} = \frac{F_e \Delta}{2} = \frac{(\cosh \mu - 1)(\mu + 2\mu \cosh \mu - 3\sinh \mu)}{(2 - 2\cosh \mu + \mu \sinh \mu)(\mu \cosh \mu - \sinh \mu)} \quad (8-12)$$

μ 按公式 (7-15) 计算。

8.5.4 U形吊杆螺纹端的强度应同时符合下列公式的要求:

$$\sigma_{L,U} \leq [\sigma] \quad (8-13)$$

$$1.67\sigma_{L,U} + \sigma_{M,U} \leq 1.25[\sigma] \quad (8-14)$$

8.5.5 U形吊杆锅筒端的强度应同时符合下列公式的要求:

$$\sigma_{L,U} \leq [\sigma] \quad (8-15)$$

$$1.67\sigma_{L,U} + \sigma_{M,U} \leq 1.67[\sigma] \quad (8-16)$$

8.6 垫板

8.6.1 垫板在支承梁上的布置位置见图 8-1, 垫板边缘与垫块的距离不小于 25 mm。

8.6.2 双吊杆装置垫板的计算荷载取下列两式中的较大值:

$$F_e = \frac{1}{8}F \quad (8-17)$$

$$F_e = 0.188F_{d1} \quad (8-18)$$

8.6.3 垫板的弯曲应力应符合下列公式的要求:

$$\sigma_{M,w} = \frac{M_w}{W_w} \leq 0.75\sigma_s \quad (8-19)$$

$$M_w = \frac{F_e s_b}{8} \quad (8-20)$$

$$W_w = \frac{(b_w - d_b)\delta_w}{6} \quad (8-21)$$

公式 (8-20) 和 (8-21) 中的结构尺寸见图 8-1。

设计垫板时按下列公式确定最小垫板厚度:

$$\delta_w = \left(\frac{F_e s_b}{(b_w - d_b)\sigma_s} \right)^{1/2} \quad (8-22)$$

8.6.4 当支承梁未设置加强肋板时, 支承梁腹板上翼缘的压应力应符合下列公式的要求:

$$\sigma_{c,w} = \frac{F_e}{2\delta_w(\delta_w + h_f)} \leq 0.75\sigma_s \quad (8-23)$$

如果 $\sigma_{c,w} > 0.75\sigma_s$, 应在上翼缘上设置加强肋板。

8.6.5 柱面垫块 (图 8-1) 的结构尺寸推荐值见附录 A9。

9 链片式锅筒吊架装置

9.1 符号说明

本章中所用符号的意义和单位如下:

$A_{b,1}$ 、 $A_{b,2}$ ——第 1、2 组链片的支承计算截面积, mm^2 ;

$A_{c,a}$ ——链片的支承计算截面积, mm^2 ;

$A_{c,1}$ 、 $A_{c,2}$ ——第 1、2 组链片的拉伸计算截面积, mm^2 ;

$A_{c,ab}$ ——链片的拉伸计算截面积, mm^2 ;

b_a ——链片宽度, mm ;

$b_{a,a}$ ——链片净宽, mm ;

d_b ——孔径, mm ;

D ——线性方程组系数矩阵;

$D_{11} \sim D_{22}$ ——矩阵 D 的分块矩阵;

D_M ——弯矩矩阵;

$D_{M11} \sim D_{M22}$ ——矩阵 D_M 的分块矩阵;

- E_{ch} ——吊架材料的计算弹性模量, N/mm^2 ;
 E_1 、 E_2 ——吊架下段、上段材料的计算弹性模量, N/mm^2 ;
 F_c ——构件的计算荷载, N ;
 I_1 、 I_2 ——第 1、2 组链片的惯性矩, mm^4 ;
 I_1 、 I_2 ——吊架下段、上段的惯性矩, mm^4 ;
 J_1 、 J_2 ——吊架下段、上段的计算参数, mm ;
 l_{ch} ——吊架计算长度, mm ;
 l_1 、 l_2 ——吊架下段、上段计算长度, mm ;
 M_{ch} ——吊架弯矩, $N \cdot mm$;
 n ——销轴受剪截面数;
 n_1 、 n_2 ——第 1、2 组链片数;
 s ——孔中心至边缘距离, mm ;
 $s_{1,1} \sim s_{1,5}$ —— $n_1=4 \sim 5$ 时 B-B 中性轴至最近一个第 1 组链片中心线的距离, mm ;
 s_2 ——第 2 组链片中心距, mm ;
 $s_{2,1} \sim s_{2,5}$ —— $n_1=3 \sim 5$ 时 B-B 中性轴至最近一个第 2 组链片中心线的距离, mm ;
 $s_{2,1} \sim s_{2,5}$ —— $n_1=2 \sim 5$ 时 B-B 中性轴至外侧链片中心线的距离, mm ;
 W_1 、 W_2 ——第 1、2 组链片的截面系数, mm^3 ;
 W_{ch} ——链片截面系数, mm^3 ;
 δ_1 、 δ_2 ——第 1、2 组链片的厚度, mm ;
 δ_e ——外侧链片的厚度, mm ;
 Δ ——合位移, mm ;
 Δx ——销筒吊点在 x 方向的位移, mm ;
 e ——链片间隙, mm ;
 μ ——系数;
 $\sigma_{ch,1}$ ——链片的支承应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{ch,2}$ ——销轴的支承应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{M,1}$ ——链片的弯曲应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{M,2}$ ——吊杆螺纹端弯曲应力, N/mm^2 ;
 $\sigma'_{t,1}$ ——链片的拉应力, N/mm^2 ;
 $\sigma_{t,2}$ ——吊杆螺纹端拉应力, N/mm^2 ;
 $[\sigma]$ ——吊杆装置计算部位材料在计算温度下的许用应力, N/mm^2 ;
 τ_p ——销轴的切应力, N/mm^2 。

9.2 概述

9.2.1 链片式钢筒吊架装置的强度计算,全链片式包括链片和销轴等主要受力构件;复合链片式包括链片、销轴和吊杆等主要受力构件,其它受力构件可参考本标准有关章、条或按有关标准选用。

9.2.2 链片式钢筒吊架装置的计算部位按表 3-1,计算时不考虑安装中的调整。

9.2.3 吊架装置的上端和钢筒端均按固接考虑。

9.3 链片结构

9.3.1 每排链片由 1、2 两组链片组成,第 1 组链片又分内侧和外侧两种(图 9-1)。多排链片串联成链带。每排中,第 1 组链片总数为 n_1 ,其中外侧两片,第 2 组链片总数 n_2 , $n_2=n_1-1$ 。

图 9-1 给出 $n_1=3$ 和 4 时每排链片的组合。

9.3.2 链片的厚度为三种,第 1 组外侧链片的厚度为 δ_e ,第 1 组其余链片为 δ_1 ,第 2 组链片的厚度为 δ_2 。

三种链片其余的结构尺寸均相同, 见图 9-1, 推荐采用下列数值:

$$b_{ch} \geq 3d_b \quad (9-1)$$

$$s \geq 2d_b \quad (9-2)$$

$$\delta_b \leq 5d_b \quad (9-3)$$

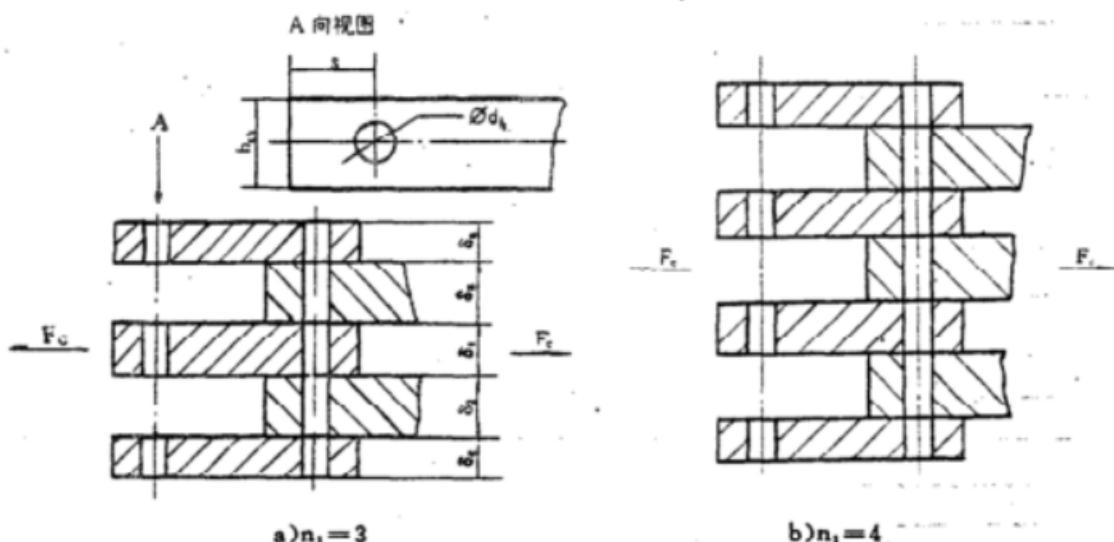


图 9-1 链片的结构和组合

9.4 几何特性

9.4.1 按 8.4.1 的规定计算链片式锅筒吊架装置的位移, 计算时只考虑沿锅筒轴线方向即 x 方向的位移 Δx 。

9.4.2 链片的拉伸和支承计算截面积见表 9-1, 链片的净宽 $b_{ch,s} = b_{ch} - d_b$ 。

表 9-1 链片的拉伸和支承计算截面积 mm^2

链 片	第 1 组	第 2 组
拉伸计算截面积	$A_{t,1} = b_{ch,s} [2\delta_1 + (n_1 - 2)\delta_2]$	$A_{t,2} = b_{ch,s} (n_1 - 1)\delta_2$
支承计算截面积	$A_{s,1} = d_b [2\delta_1 + (n_1 - 2)\delta_2]$	$A_{s,2} = d_b [2\delta_1 + (n_1 - 1)\delta_2]$

9.5 力学特性

9.5.1 第 1、2 组链片相对于 B-B 中性轴的惯性矩 I_1 、 I_2 和截面系数 W_1 、 W_2 见表 9-2~9-3。

9.5.2 在吊架装置直段长度内, 任意两连接段的惯性矩相差不大于 10% 时, 吊架上端和锅筒端的弯矩 M_{ch} 取按公式 (8-11) 所求得弯矩 $M_{s,u}$ 的两倍, 公式 (8-11) 中的 Δ 取等于 Δx , (图 3-3 和 3-4), μ 按下列公式计算:

$$\mu = \frac{I_{ch}}{J_{ch}} \quad (9-4)$$

$$J_{ch} = \left(\frac{E_{ch} I_{ch}}{F_t} \right)^{1/3} \quad (9-5)$$

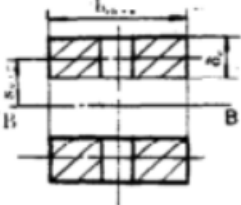
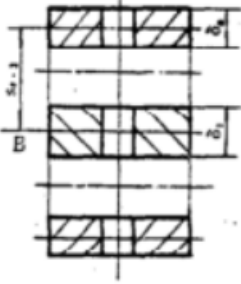
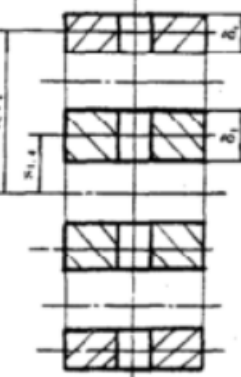
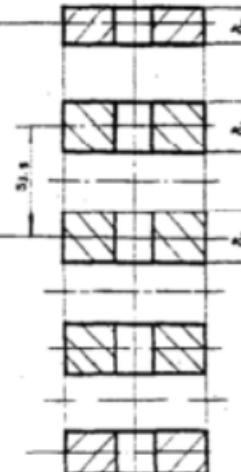
$$E_{ch} = \frac{E_1 + E_2}{2} \quad (9-6)$$

对第 1 组链片, $I_{ch} = I_1$, 第 2 组, $I_{ch} = I_2$, 吊架计算长度 l_{ch} 见图 3-3 和 3-4。

如果相差大于 10%, 按下列公式计算:

$$M_{ch} = \frac{D_M}{D} \quad (9-7)$$

表 9-2 第 1 组链片的惯性矩和截面系数

n_1	截面尺寸	I_1 mm ⁴	W_1 mm ³
2		$\frac{1}{6} b_{1,2} \delta_1^3 + 2 b_{1,2} \delta_1 s_{1,1}^2$	$\frac{I_1}{s_{1,1} + 0.5 \delta_1}$
3		$\frac{1}{12} b_{1,3} (2 \delta_1^3 + \delta_1^3) + 2 b_{1,3} \delta_1 s_{1,1}^2$	$\frac{I_1}{s_{1,1} + 0.5 \delta_1}$
4		$\frac{1}{6} b_{1,4} (\delta_1^3 + \delta_1^3) + 2 b_{1,4} (\delta_1 s_{1,1}^2 + \delta_1 s_{1,1}^2)$	$\frac{I_1}{s_{1,1} + 0.5 \delta_1}$
5		$\frac{1}{12} b_{1,5} (2 \delta_1^3 + 3 \delta_1^3) + 2 b_{1,5} (\delta_1 s_{1,1}^2 + \delta_1 s_{1,1}^2)$	$\frac{I_1}{s_{1,1} + 0.5 \delta_1}$

注: $s_{1,2} = 0.5(\delta_1 + \delta_2) + s$ $s_{1,3} = 0.5(\delta_1 + \delta_2) + \delta_1 + 2s$

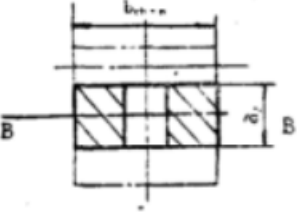
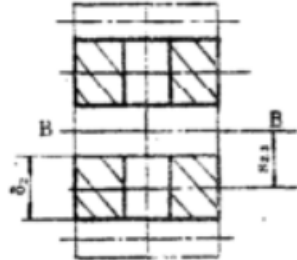
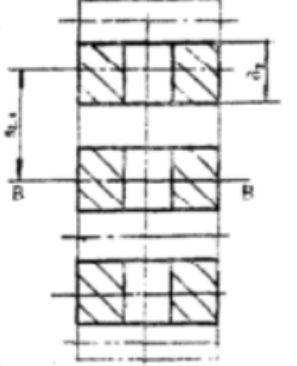
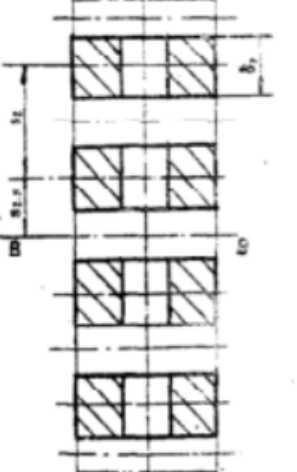
$$s_{2,4} = 0.5\delta_1 + \delta_2 + 1.5\delta_3 + 3e$$

$$s_{1,4} = 0.5(\delta_1 + \delta_2) + e$$

$$s_{2,3} = 0.5\delta_1 + 1.5\delta_2 + 2\delta_3 + 4e$$

$$s_{1,3} = \delta_1 + \delta_2 + 2e$$

表 9-3 第 2 组链片的惯性矩和截面系数

n_1	n_2	截面尺寸	$I_z \text{ mm}^4$	$W_z \text{ mm}^3$
2	1		$\frac{1}{12} b_{2,1} \delta_1^3$	$\frac{2I_z}{\delta_1}$
3	2		$\frac{1}{6} b_{2,2} \delta_2^3 + 2b_{2,1} \delta_2 s_{2,1}^2$	$\frac{I_z}{s_{2,4} + 0.5\delta_1}$
4	3		$\frac{1}{12} b_{2,3} \delta_3^3 + 2b_{2,2} \delta_3 s_{2,4}^2$	$\frac{I_z}{s_{2,4} + 0.5\delta_2}$
5	4		$\frac{1}{6} b_{2,4} \delta_4^3 + b_{2,3} \delta_4 (2s_{2,4} + 2s_{2,3} s_2 + s_1^2)$	$\frac{I_z}{s_{2,4} + s_2 + 0.5\delta_3}$

注: $s_{2,3} = 0.5(\delta_1 + \delta_2) + e$

$s_{2,4} = \delta_1 + \delta_2 + 2e$

$$s_{1,3} = 0.5(\delta_1 + \delta_7) + e$$

$$s_2 = \delta_1 + \delta_2 + 2e$$

公式(9-7)中,线性方程组系数矩阵 D 和弯矩矩阵 D_M 按下列公式计算。

$$D = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (9-8)$$

$$D_M = \begin{pmatrix} D_{M11} & D_{M12} \\ D_{M21} & D_{M22} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (9-9)$$

$$D_{11} = \begin{vmatrix} \frac{l_{ab}}{J_s} & \frac{-l_{ab}}{J_s} & 0 & 0 \\ e \frac{l_1}{J_s} & e \frac{-l_1}{J_s} & 0 & 0 \\ \frac{1}{J_s} e \frac{l_{ab}}{J_s} & \frac{-1}{J_s} e \frac{-l_{ab}}{J_s} & 0 & 0 \\ \frac{1}{J_s} e \frac{l_1}{J_s} & \frac{-1}{J_s} e \frac{-l_1}{J_s} & 0 & 0 \end{vmatrix} = D_{M11} \dots\dots\dots (9-10)$$

$$D_{12} = \begin{vmatrix} \frac{-1}{F_s} & \frac{l_{ab}+l_1}{F_s} & -1 & 0 \\ \frac{-1}{F_s} & \frac{2l_1}{F_s} & -2 & 0 \\ 0 & \frac{1}{F_s} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{F_s} & 0 & 1 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (9-11)$$

$$D_{21} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & e \frac{l_1}{J_1} & e \frac{-l_1}{J_1} \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & \frac{1}{J_1} e \frac{l_1}{J_1} & \frac{-1}{J_1} e \frac{-l_1}{J_1} \\ 0 & 0 & \frac{1}{J_1} & \frac{-1}{J_1} \end{vmatrix} = D_{M21} \dots\dots\dots (9-12)$$

$$D_{22} = \begin{vmatrix} \frac{-1}{F_s} & \frac{l_1}{F_s} & -1 & 0 \\ \frac{-1}{F_s} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{F_s} & 0 & -1 \\ 0 & \frac{1}{F_s} & 0 & 0 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (9-13)$$

$$D_{M12} = \begin{vmatrix} -\frac{1}{\Delta} & \frac{l_{ch}+l_1}{F_c} & -1 & 0 \\ 0 & \frac{2l_1}{F_c} & -2 & 0 \\ 0 & \frac{1}{F_c} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{F_c} & 0 & -1 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (9-14)$$

$$D_{M12} = \begin{vmatrix} 0 & \frac{l_1}{F_c} & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{F_c} & 0 & -1 \\ 0 & \frac{1}{F_c} & 0 & 0 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (9-15)$$

公式(9-9)~(9-15)中的符号 J_1, J_2 , 计算公式如下:

$$J_1 = \left(\frac{E_{ch} I_1}{F_c} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (9-16)$$

$$J_2 = \left(\frac{E_{ch} I_2}{F_c} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (9-17)$$

Δ 取等于 Δx 。

9.5 链片

9.5.1 应按下列公式计算第1、2组链片的拉应力:

$$\sigma_{t, ch} = \frac{F_c}{A_{t, ch}} \dots\dots\dots (9-18)$$

对第1组链片, $A_{t, ch} = A_{t, 1}$, 第2组, $A_{t, ch} = A_{t, 2}$ 。

9.5.2 应按下列公式计算第1、2组链片的弯曲应力:

$$\sigma_{M, ch} = \frac{M_{ch}}{W_{ch}} \dots\dots\dots (9-19)$$

对第1组链片, $W_{ch} = W_1$, 第2组, $W_{ch} = W_2$ 。

9.5.3 应按下列公式计算第1、2组链片的支承应力:

$$\sigma_{b, ch} = \frac{F_c}{A_{b, ch}} \dots\dots\dots (9-20)$$

对第1组链片, $A_{b, ch} = A_{b, 1}$, 第2组, $A_{b, ch} = A_{b, 2}$ 。

9.5.4 链片的强度应同时符合下列公式的要求:

$$\sigma_{t, ch} + \sigma_{M, ch} \leq [\sigma] \dots\dots\dots (9-21)$$

$$\sigma_{b, ch} \leq 1.20[\sigma] \dots\dots\dots (9-22)$$

9.7 销轴

9.7.1 应按下列公式计算销轴的切应力:

$$\tau_p = \frac{2F_c}{n\pi d_p^2} \leq 0.6[\sigma] \dots\dots\dots (9-23)$$

对第1组链片, $n = n_1$, 第2组, $n = n_2$ 。

9.7.2 应按下列公式计算销轴的支承应力:

$$\sigma_{b, s} = \frac{F_c}{A_{b, s}} \leq 1.20[\sigma] \dots\dots\dots (9-24)$$

9.8 吊杆

9.8.1 应按 8.5.1~8.5.3 的规定计算复合链片式吊架装置吊杆螺纹端的拉应力 $\sigma_{t, s}$ 和弯曲应力 $\sigma_{M, s}$ 。

9.8.2 吊杆螺纹端的强度应同时符合下列公式的要求:

$$\sigma_{L,t} \leq [\sigma] \quad \dots\dots\dots (9-25)$$

$$1.67\sigma_{L,t} + \sigma_{M,t} \leq 1.25[\sigma] \quad \dots\dots\dots (9-26)$$

10 制造安装要求

10.1 符号说明

本章中所用符号的意义和单位如下:

l_h ——吊杆计算长度, mm;

Δ ——合位移, mm;

Δl_x 、 Δl_y ——在 x、y 方向的计算膨胀量, mm;

Δx 、 Δy ——吊点在 x、y 方向的位移, mm;

θ ——柱面垫块安装时方位角,°。

10.2 吊杆的制造要求

10.2.1 圆钢式钢筒吊杆装置中的吊杆, 直径不大于 210 mm。

10.2.2 制造吊杆的材料如需要拼接, 可采用螺纹连接或焊接连接。接头数对普通吊杆装置和复合链片式钢筒吊杆装置为每根吊杆不多于 1 个, 对圆钢式钢筒吊杆装置为不多于 3 个并且只允许在图 10-1 中的阴影部位进行拼接。

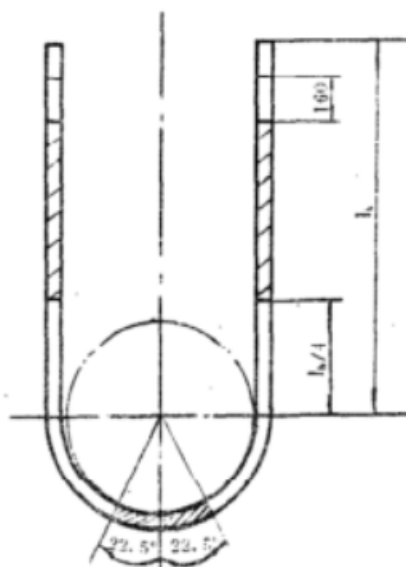


图 10-1 钢筒吊杆的允许拼接部位

10.2.3 吊杆拼接采用焊接连接时所用的焊接工艺应经评定合格。

10.2.4 吊杆的对接接头应采用全焊透焊缝, 吊杆轴线应通过坡口钝边所在的平面, 焊接时接头两边应对齐。

10.2.5 所有对接接头均应进行外观检查和射线探伤。外观检查的合格标准为: 不允许有裂纹、未熔合、夹渣、弧坑、气孔和咬边。射线探伤按 GB 3323, 照相方法的质量等级不低于 AB 级, 焊缝质量 I 级为合格。

10.2.6 所有对接接头均应进行焊后热处理。

10.2.7 吊杆拼接采用螺纹连接时, 螺纹的制造公差应符合 GB 197 的要求, 内螺纹为 6H, 外螺纹为 6g。

10.3 链片的制造要求

10.3.1 制造链片的钢板应按 ZB J74 003 的规定进行超声波探伤, I 级为合格。

10.3.2 链片的纵向应平行于钢板轧制方向下料并不得拼接。

10.3.3 链片机加工后应对每一加工面进行外观检查, 不得有分层和夹渣等缺陷。

10.3.4 多个链片同时加工孔内外圆弧(或侧面)时,孔的同轴度公差不得大于0.1 mm。链片加工完毕后应进行正火处理并组装后出厂。

10.4 安装要求

10.4.1 吊杆(架)装置的安装应符合设计图样和有关文件的要求。

10.4.2 安装前应检查各受力构件的连接是否完好无损和可靠,漏焊处不允许就地补焊。吊杆或吊架与锅筒接触处应良好贴合,必要时进行修磨。吊架与锅筒接触处应涂以石墨粉。

10.4.3 起吊时吊点应对称。对锅筒双吊杆(架),应先支承在内侧吊杆(架)上,再安装外侧吊杆(架)。

10.4.4 圆钢式锅筒吊杆装置的柱面垫块(图8-1),按图8-2和下列公式计算安装时的方位角:

$$\theta = \arctan \frac{\Delta x}{\Delta y} \dots\dots\dots (10-1)$$

10.4.5 安装过程中应注意加载的均匀性并进行调整,凡对称布置的吊杆(架),其荷载应基本相等。

10.4.6 安装时在加载过程中应多次检查所支吊受压件的水平和标高。

10.4.7 吊杆经调整后应核对其实际荷载与计算荷载的偏差是否超过设计要求,对普通吊杆装置,此偏差不得大于±15%。

10.5 预位移

对普通吊杆装置,取受压件在水平面方向的计算膨胀量 Δl_x 、 Δl_y 的一半作为吊杆装置在水平面平行于受压件轴线和垂直于受压件轴线方向的位移 Δx 、 Δy ,按所求得合位移 Δ 的大小和方向进行预位移。

附录 A

附表

A.1 螺纹和圆钢公称直径推荐值

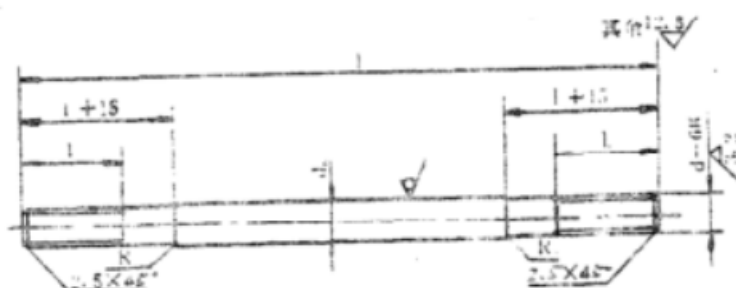


表 A1

螺纹公称直径 d			螺 距 p					圆钢公称直径 d _s	螺纹长度 L	
第一 系列	第二 系列	第三 系列	粗牙	细 牙						
				3	4	3	2	1.5		
10			1.5						12	100
12			1.75						14	100
		14						1.5	20	110
16			2						20	120
20			2.5						25	130
24			3						28	140
	27		3						30	150
30			3.5			3	2		36	150
36			4			3			40	160
42			4.5		4	3			45	170
	45		4.5		4	3			50	180
48			5		4	3			55	200
	52		5		4	3			55	200
56			5.5		4	3			60	220
64			6		4	3			70	240
	68		6		4	3			70	250
72				6	4	3			75	280
	76			6	4	3			80	300
80				6	4	3			85	320
	85			6	4	3			90	340
90				6	4	3			95	350
100				6	4	3			105	350

A2 常用材料的许用应力

表 A2

N/mm²

牌 号	Q235A	20	20g	35	15MnV	16Mng	12Cr1MoV	30GrMo	35CrMo				
标准编号	GB 700	GB 3087	GB 713	GB 699	GB 1591	GB 713	GB 3077	GB 3077	GB 3077				
σ_s	432	372	392	400	510	481	470	441	765				
σ_b	216	226	255	295	324	305	255	635	590				
计 算 温 度 ℃	20	124	130	133	170	160	156	147	255				
	250	101	110	94	126	146	133	140	255				
	260	99	107	93			131	139					
	280	94	99	89			125	137					
	300	90	96	86	114	135	121	135	255				
	320		92	83			118	132					
	340		86	79			116	129					
	350		85	78	105	125	115	128	255				
	360		82	77			114	126					
	380		78	74			109	124					
	400		75	71			114	105	121	255			
	410		68	64					119				
	420		61	57					118				
	430		54	51					117				
	440		48	44					116				
	450		42	37					115	134			
	460								113				
	470								112				
	480								111				
	490								108				
	500								106	70			
	510								98				
	520								88				
	530								77				
	540								69				
	550								63				
	560								58				
	570								51.2				

注：① 表中粗线下方的数据为持久强度值。

② 此表可用算术内插法确定，但需舍弃小数点后的数字。

A3 结渣、积灰部位及其平均厚度推荐值

A3.1 结渣平均厚度见表 A3-1

表 A3-1 mm

序号	名 称	结 渣 部 位	平均厚度
1	炉膛前墙	水平烟道底部管子标高处到冷灰斗底部	38
2	炉膛后墙	折焰角至冷灰斗底部	38
3	分隔屏	蒸汽冷却定位管的中心线到屏的底部(按屏的一侧计算)	38
4	高温过热器和高温再热器管排	管排底部到三分之一垂直高度(按两侧计算)	38
5	后屏	屏的底部到三分之一垂直高度(按屏的两侧计算)	38
6	双面水冷壁	水平烟道底部管子标高处至冷灰斗底部(按两侧计算)	38
7	炉膛两侧墙	水平烟道底部管子标高处至冷灰斗底部	25
8	卫燃带		100

A3.2 积灰平均厚度见表 A3-2

表 A3-2 mm

序 号	积 灰 部 位	积灰厚度
1	炉顶大罩壳底部	200
2	水平烟道(从炉膛后墙至后烟井前墙)	200
3	水平烟道底部及倾斜部管屏(倾斜度不大于 40°)	400
4	上述烟道倾斜部管屏(倾斜度大于 40°)	假定不积灰
5	水平烟道处过热器	
6	后烟井水平过热器	
7	省煤器顶部	38
8	灰斗(其荷载由后烟井四侧包墙管承受)	按充满整个灰斗的容积计算
9	冷灰斗密封区	200

A4 沿吊杆高度方向计算温度推荐值

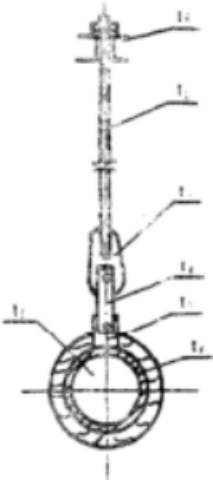


表 A4

℃

t_2	450	540
t_1	200	200
t_2	350	350
t_3	400	400
t_4	400	400
t_5	400	500
t_6	450	540

注: t_i 为介质温度。

A5 常用国产材料的弹性模量

表 A5

 10^3N/mm^2

牌 号	Q235A	20	20g	35	15MnV	16Mnq	12Cr1MoV	30CrMo	25CrMoV	25CrMoV	40Cr
20	206	198	198	201	206	206	208	218	218		
100	200	183	183	201	200	200	208	216	216		
200	192	175	175	190	189	189	201				
250	188	171	171		185	185	197				
260	187	170	170		184	184	196				
280	186	168	168		183	183	194				
300	184	166	166	179	181	181	192	205	205		
320		165	165		179	179	190				
340		163	163		177	177	188				
350		162	162		176	176	187				
360		161	161		175	175	186				
380		159	159		173	173	183				
400		158	158	171	171	171	181	195	195		
410		155	155				180				
420		153	153				178				
430		151	151				177				
440		148	148				175				
450		146	146	157			174	192	192		
450		144	144				172				
470		141	141				170				
480		129	129				168				
490							166				
500							165	186	186		
510							163				
520							162				

续表 A5										10 ³ N/mm ²	
牌 号	Q235A	20	20g	35	15MnV	16Mng	12Cr1MoV	30CrMo	25CrMoV	25CrMoV	40Cr
壁 厚	530						160				
	540						158				
	550						157				
	560						153				
型	570						153				
	580						152				
	590										
	600									174	1.68

2.5 螺纹计算截面积

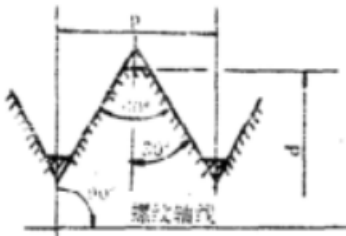


表 A6

mm

d	p	d ₂	A _s mm ²	d	p	d ₂	A _s mm ²	d	p	d ₂	A _s mm ²
10	* 1.5	8.5927	57.99	48	* 5	43.3090	1473	76	6	70.3708	3889
12	* 1.75	10.3582	107.3		4	44.2472	1538		4	72.2472	4100
14	1.5	12.5927	138.6		3	45.1854	1604		3	73.1854	4207
16	* 2	14.1236	156.7	52	5	49.3090	1758	80	6	74.3708	4344
20	* 2.5	17.6545	244.8		4	48.4272	1828		4	76.2472	4566
24	* 3	21.1854	352.8		3	49.1854	1900		3	77.1854	4679
27	* 3	24.1854	459.4	55	* 5.5	50.8399	2030	85	6	79.3708	4948
30	* 3.5	26.7165	560.6		4	52.2472	2144		4	81.2472	5185
	3	27.1854	580.4		3	53.1854	2222		3	82.1854	5305
	2	28.1236	621.3	64	* 6	68.3708	2676	90	6	84.3708	5591
36	* 4	32.2472	816.7		4	60.2472	2850		4	86.2472	5842
	3	33.1854	865		3	61.1854	2940		3	87.1854	5970
42	* 4.5	37.7781	1121	68	* 6	62.3708	3055	100	6	94.3708	6995
	4	38.2472	1149		4	64.2472	3242		4	96.2472	7275
	3	39.1854	1206		3	65.1854	3337		3	97.1854	7418
45	* 4.5	40.7781	1306	72	6	66.3708	3460				
	4	41.2472	1336		4	68.2472	3658				
	3	42.1854	1398		3	69.1854	3759				

注：表中“*”为粗牙，其余为细牙。

A7 U形夹规格和尺寸

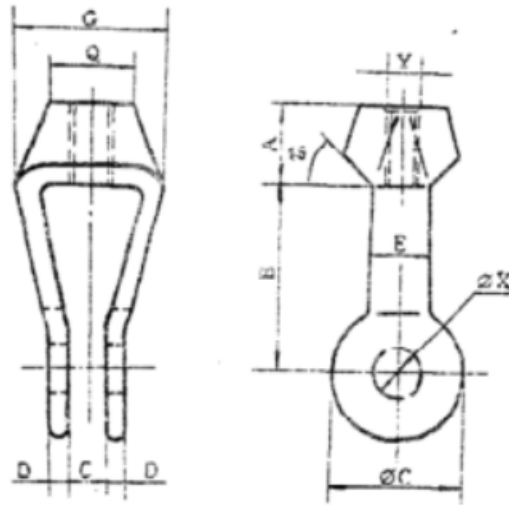


表 A7-1 温度不大于 93℃ U形夹

Y	Z	A	B	C	D	E	G	K	Q	X	Y	Z	A	B	C	D	E	G	K	Q	X	
M20	10	28	102	65	8	32	54	24	36	26	M55	25	76	230	180	24	89	143	68	120	67	
	13											35										
M27	13	33	127	76	13	38	62	32	50	31.5		48										
	20																					
M30	13	45	152	104	13	50	76	37	62	42	M64	28	76	230	180	24	89	143	68	120	73	
	20											35										
	25											48										
M42	20	58	178	130	16	64	105	48	78	47		54										M72
	25										35											
	28										48											
M45	23	58	178	130	16	64	105	48	78	52	54	M76	41	102	254	205	40	102	184	88	150	
	28										54											
	35										41											
M52	23	70	205	158	20	76	117	56	94	62	54		M76									60
	28										41											
	35																					
	41																					

注：材料：35号钢

热处理硬度 HB≤187

表 A7-2 温度不大于 400℃ U 形夹

Y	Z	A	B	C	D	E	G	K	Q	X	Y	Z	A	B	C	D	E	G	K	Q	X
M20	10	28	102	65	8	32	54	24	36	26	M56×3	25	76	230	180	24	89	143	68	120	67
	13											35									
M27	13	33	127	76	13	38	62	32	50	31.5		48									
	20																				
M30×3	13	45	152	104	13	50	76	37	62	42	M64×3	28	76	230	180	24	89	143	68	120	73
	20											35									
	25											48									
M36×3	20	58	178	130	16	64	105	48	78	47		54									
	25										M72×3	28	102	254	205	40	102	184	88	150	94
M42×3	20	58	178	130	16	64	105	48	78	47		35									
	25											48									
	28											54									
M45×3	23	58	178	130	16	64	105	48	78	52	M75×3	41	102	254	205	40	102	184	88	150	94
	28											54									
	35										M85×3	45	110	254	210	45	104	192	92	160	94
M52×3	23	70	205	155	20	76	117	58	94	62		54									
	28											60									
	35																				
41																					

注：材料 35 号钢

热处理硬度 HB≤187

表 A7-3 温度不大于 520℃ U 形夹

Y	Z	A	B	C	D	E	G	K	Q	X	Y	Z	A	B	C	D	E	G	K	Q	X
M20	10	28	102	65	8	32	54	24	36	26	M56×3	23	76	230	178	22	90	143	68	120	67
	13											33									
M27	13	33	127	76	13	38	70	32	50	31.5		48									
	20																				
M30×3	13	45	152	102	13	50	76	37	52	42	M64×3	28	76	230	178	22	90	143	68	120	73
	20											33									
	25											48									
M36×3	20	58	178	127	16	64	105	47	78	47		54									
	23										28										
M42×3	20	58	178	127	16	64	105	47	78	47	M72×3	35	102	254	205	40	102	184	88	150	94
	23											48									
	28											54									
M45×3	23	58	178	127	16	64	105	47	78	52		M76×3									
	28										54										
	33																				
M52×3	23	70	205	152	20	26	117	56	94	62	M85×3		45	110	254	210	45	104	192	92	160
	28											54									
	33											60									
	41																				

注：材料 12Cr1MoV

热处理硬度 HB≤179

A8 常用国产材料的线膨胀系数 (自 20℃起)

表 A8

 $10^{-4} \text{mm/mm} \cdot ^\circ\text{C}$

牌 号	Q235A	20	20g	35	15Mng	16Mng	12Cr1MoV	30CrMo	35CrMo
100	12.20	11.16	11.16	11.1*	8.31	8.31	13.36	13.30	12.30
200	13.00	12.12	12.12	11.9	10.99	10.99	13.70	12.60	12.60
250	13.23	12.45	12.45		11.60	11.60	13.85		
260	13.27	12.52	12.52		11.78	11.78	13.88		
280	13.36	12.65	12.65		12.05	12.05	13.94		
300	13.45	12.78	12.78		12.31	12.31	14.00		
320		12.99	12.99		12.49	12.49	14.04		
340		13.20	13.20		12.68	12.68	14.08		
350		13.31	13.31		12.77	12.77	14.10		
360		13.41	13.41		12.86	12.86	14.12		
380		13.62	13.62		13.04	13.04	14.16		
400		13.83	13.83	13.40	13.22	13.22	14.20	13.90	13.90
410		13.84	13.84				14.23		
420		13.85	13.85				14.26		
430		13.86	13.86				14.29		
440		13.87	13.87				14.32		
450		13.88	13.88				14.35		
460		13.89	13.89				14.38		
470		13.90	13.90				14.41		
480		13.91	13.91				14.44		
490							14.47		
500						13.71	14.50		
510							14.52		
520							14.54		
530							14.56		
540							14.58		
550							14.60		
560							14.62		
570							14.64		
580							14.68		
590									
600				14.40		13.94		14.60	14.60

注：*为 120℃的数据。

A9 柱面垫块尺寸



表 A9

mm

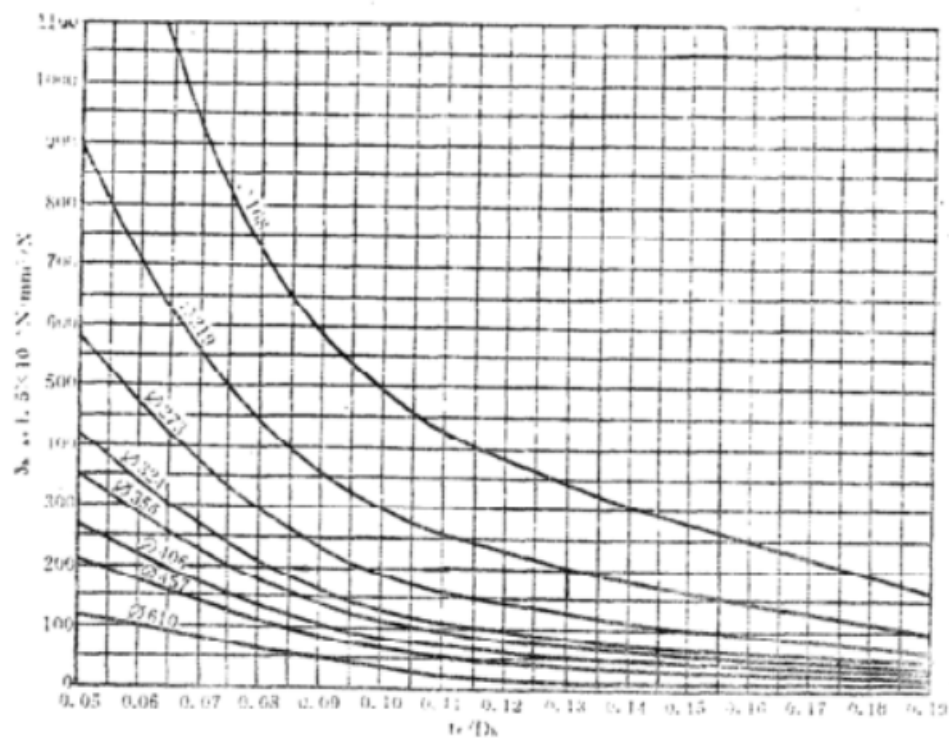
d	100	105	110	115	120	125	130	140	150	160	170	180	190	200	210
b	200	210	220	230	240	250	260	280	300	320	340	360	380	400	420
c	300	310	325	345	355	375	385	420	445	475	505	540	570	595	635
h	90	95	100	105	110	115	120	130	140	150	160	165	175	185	195
R	440	445	450	450	455	465	470	475	490	500	510	515	525	535	545
d _h	104	109	114	120	126	131	136	147	158	160	178	188	193	208	218

注：材料为 35 号钢。

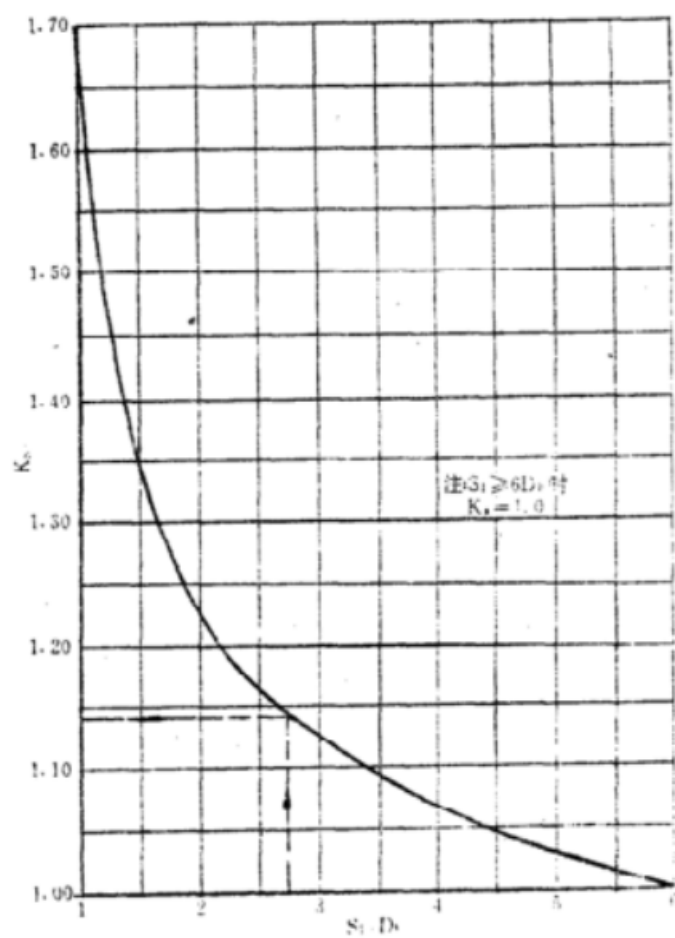
附录 B

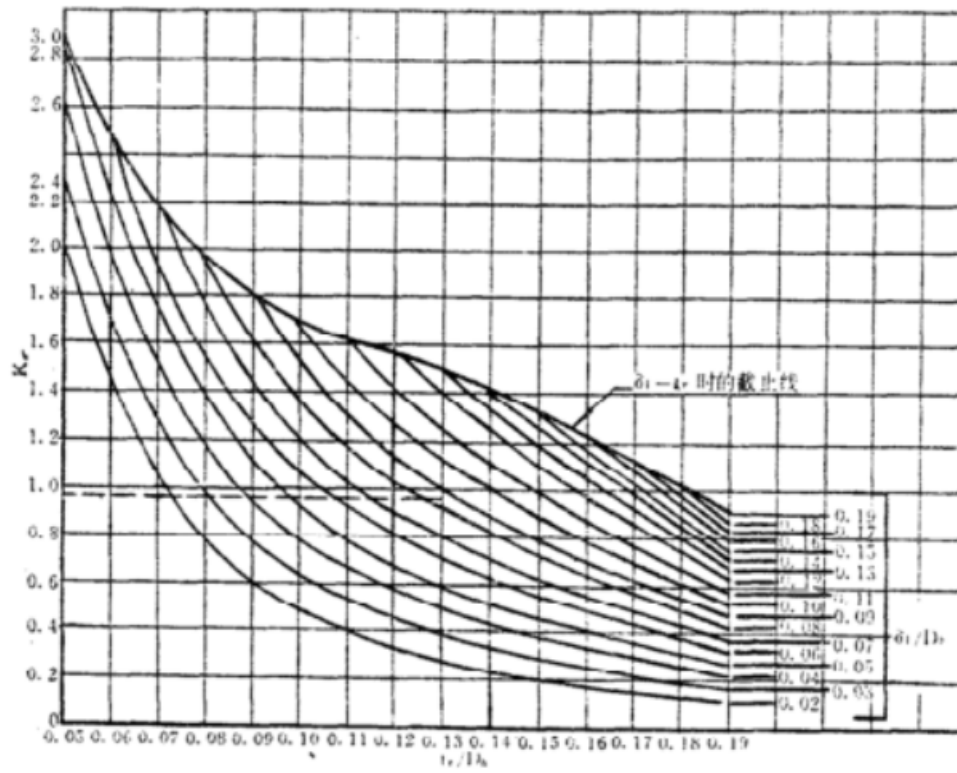
附图

B1 单位荷载的内壁横向应力

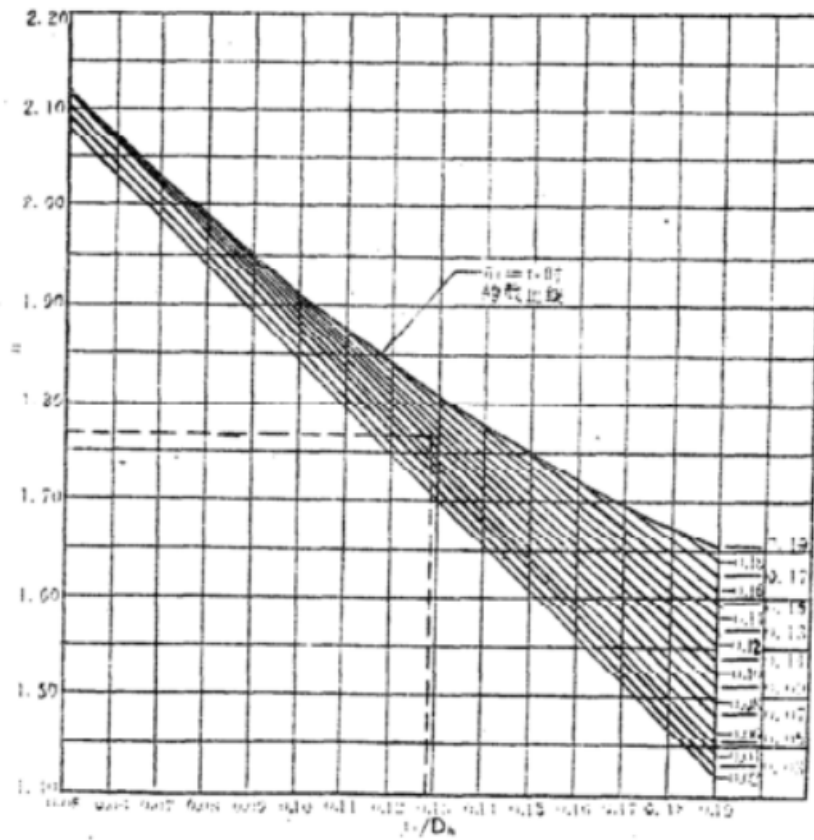


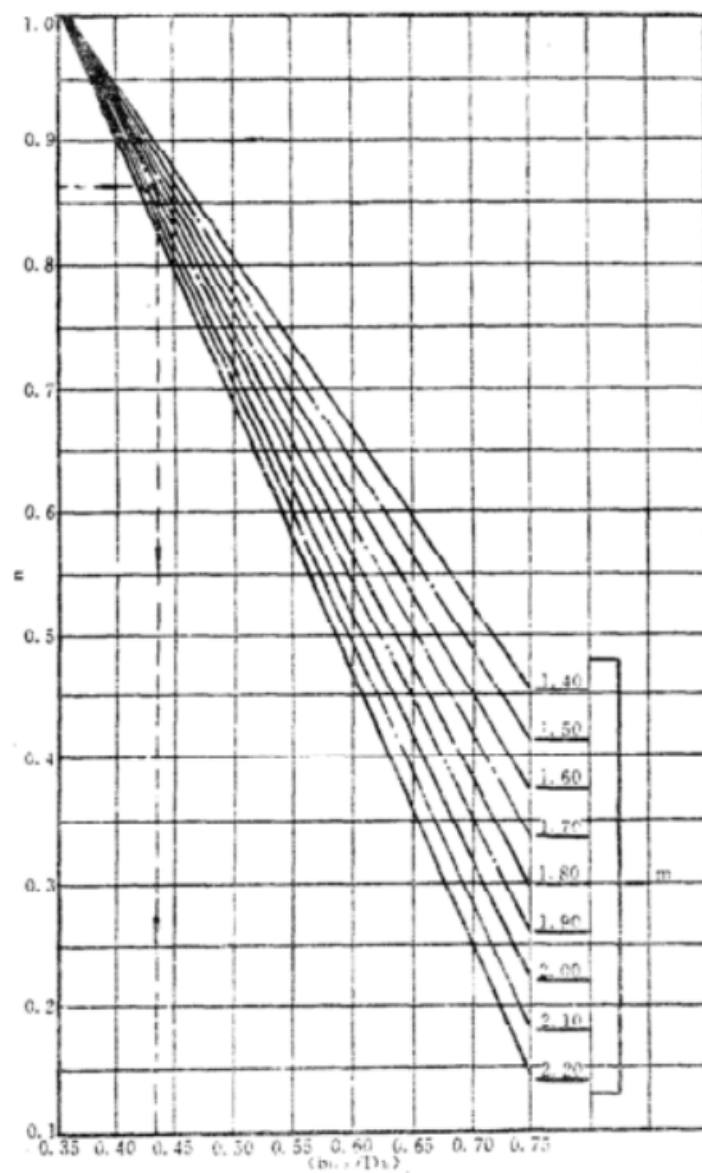
B2 吊耳间距系数



B3 吊耳应力分布系数($b_{Lr}/D_0=0.36$)

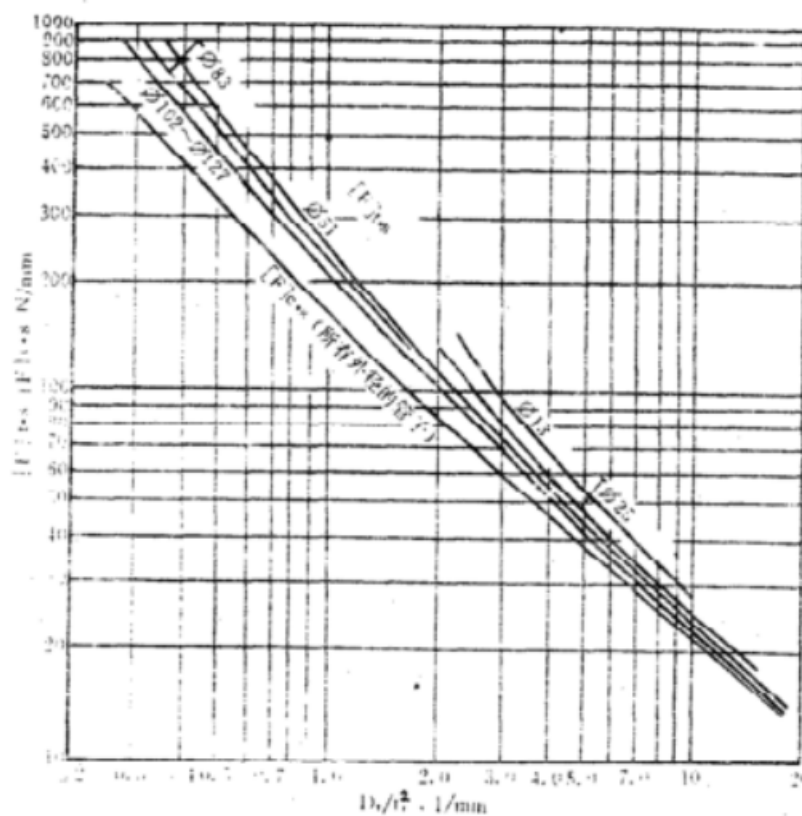
B4 吊耳宽度系数



B5 比值(b_1/D_1)

33-6735-93

B6 纵向吊耳的许用荷载



附加说明:

本标准由机械工业部上海发电设备成套设计研究所提出并归口。

本标准负责起草单位上海锅炉厂、哈尔滨锅炉厂、武汉锅炉厂、上海发电设备成套设计研究所。

本标准参加起草单位东方锅炉厂、北京巴布科克·威尔科克斯公司、北京锅炉厂、杭州锅炉厂

起草人员何木寿、王春繁、黄绍建、薛之年、吕翔、肖忠华、王志文、韩肇俊、陈恭颐、程丰洲、蒋菁、何振康、毛初、潘如。