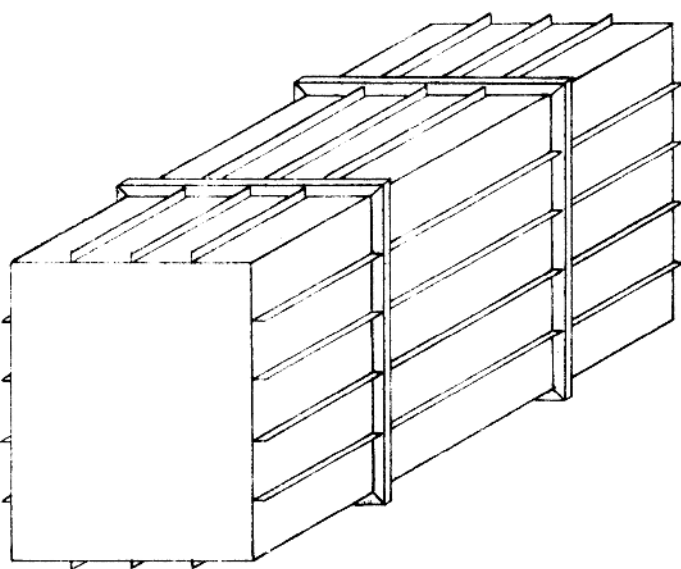


鍋爐煙風道強度的計算方法



北京電力設計院

1974 2

主 任 蔡立贤

组 长 万子阳

校 核 钟圣富

编 制 戴水祥

74.2.

前 言

近年来, 随着我国电力工业的飞速发展, 高参数、大容量锅炉的台数日益增加, 在一些锅炉上采用了微正压燃烧方式, 锅炉的烟风道面临着截面积大、风压高的特点, 必须对烟风道的强度进行计算, 才能保证设备安全运行。我们编制了“锅炉烟风道强度的计算方法”, 供使用时参考, 错误不当之处, 请批评指正。

参 考 资 料

1, 火力发电厂烟风煤粉管道设计导则 (修正稿)

1964年 电力建设总局

2, 锅炉机组煤粉烟风管道设计导则

1956年 苏联电站建设部技术委员会

3, 火力发电厂与电力网设计手册, 机务部分第21卷第一册.

1955年 北京电力设计院编译.

4, 建筑结构设计手册 静力计算

1970年 中国工业出版社

§1. 总则

锅炉中烟风管道承受着风压(或负压)、自重(包括钢板、加肋、保温的重量)和温度变化所产生的热应力。烟风管道一般装设计管口以吸收热膨胀,故在设计中不考虑温度变化所产生的纵向热应力。

烟风管道的强度设计,一般是为3在予定的管壁厚度的条件下,确定是否加装加肋和确定加肋的规格和间距。

烟风管道应有足够的强度和刚度。对于矩形截面的烟风管道,其管壁的相对挠度应不大于 $1/400$ 。纵向和横向加肋的相对挠度也应不大于 $1/400$ 。(根据64年“导则”规定)

烟风管道的设计风压(或负压),可按管道内可能出现的最大工作压力(或负压)来确定。送风机出口的冷风道、热风道,排粉风机出口风箱,烟气管道和风机出口风箱和烟道,可按风机特性曲线上的最大风压值加上允许的最大偏差值,作为设计风压。引风机前的烟道也可以按烟道内可能出现的最大负(正)压值来设计。对一次风机后的管道还应加上入口处的剩余压力。

设计时,材料的额定许用应力按表-1选用。

当烟风管道的钢板和加肋型钢采用 B_3F 钢材时,当温度低于 200°C ,其额定许用应力建议采用 1100 kg/cm^2 。当烟风管介质温度超过 200°C 时,建议不使用 B_3F 钢,而采用 A_3F 钢。

烟道风道金属结构的额定许用力, kg/cm^2 . 表-1

应力种类	钢材牌号	金属温度 $^{\circ}\text{C}$							
		20		250		350		400	
		I	II	I	II	I	II	I	II
拉伸 压缩 弯曲	A ₀	1370	1500	1030	1150	730	800	630	700
	A ₃	1600	1800	1200	1300	850	950	750	820
	A ₄	1730	1930	—	—	—	—	—	—
剪力	A ₀	790	866	600	670	420	460	360	400
	A ₃	925	1040	700	750	490	550	430	475
	A ₄	1000	1130	—	—	—	—	—	—

註: 当按主要荷载(金属结构及保温重量)进行计算时, 许用力取第I项; 若计算考虑了主要荷载外的附加荷载(风荷载、安装荷载等), 许用力取第II项。

§ 2. 荷重的计算

作用在板壁上的静压力 P ——

$$P \text{ kg/cm}^2 = \pm H \text{ mmH}_2\text{O (水柱)} ;$$

式中: H —— 烟道风道中可能出现的最大压力(或负压), 通常以毫米水柱表示。

$$1 \text{ kg/m}^2 = 10^{-4} \text{ kg/cm}^2 .$$

自重 q ——

$$q = q' + q'' \quad \text{kg/m}^2 ;$$

式中 q' —— 烟道的金属重量 (包括钢板加固肋) kg/m^2 ;
 $q' = 30 \sim 50 \text{ kg/m}^2$ 。

q'' —— 主保温层和保护层的重量, kg/m^2 。其值决定于烟道输送介质的温度和保温层所使用的材料。例如, 当主保温层采用珍珠岩保温材料时, q'' 可按:

$t = 200 \sim 250^\circ\text{C}$ 时, $q'' = 70 \sim 80 \text{ kg/m}^2$;

$t = 300 \sim 400^\circ\text{C}$ 时, $q'' = 90 \sim 100 \text{ kg/m}^2$ 。

§3. 无加固肋水平烟道的强度计算。

水平布置的保温烟道, 处于压力状态时, 其下部水平壁承受荷重最大; 处于负压状态时, 其上部水平壁承受的荷重最大, 如图-1所示。因为以上两种情况, P 和 q 是同时加上, 而且方向相同。

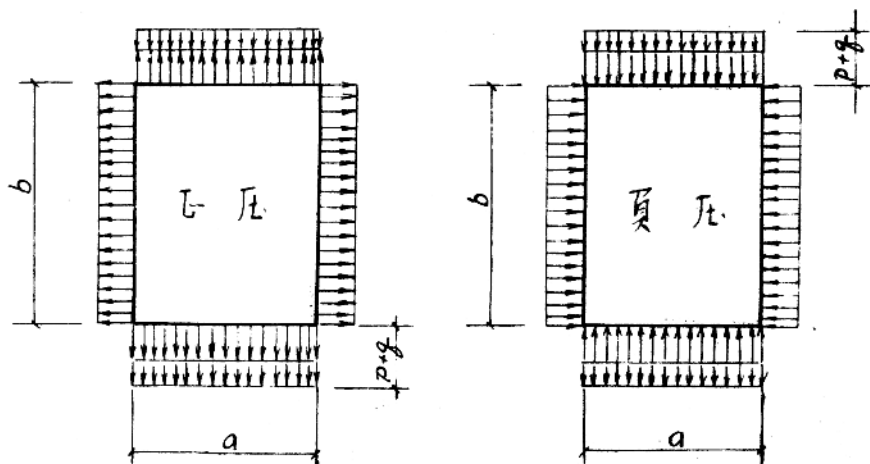


图-1 水平烟道壁上受力情况。

在垂直壁上只计抹灰压力，因为 q' 和 q'' 所产生的力是纵向的。

无加固肋的水平烟道壁的强度计抹灰，仅计抹灰重最大的水平壁，其余的板壁均采用相同的厚度。

通常取 1 米长的烟道来计算，矩形烟道的垂直壁高度和水平壁宽度的比值 $\alpha = \frac{b}{a}$ 。则烟道角上的弯矩 M_1 和水平壁跨中的弯矩 M_2 以及水平壁跨中的相对挠度 f 可按下列公式确定：

弯矩

压力形成的弯矩——

作用在烟道角上的弯矩 M_1'

$$M_1' = \frac{P(b^2\alpha + a^2)}{12(\alpha + 1)} \quad \text{kg-m;}$$

作用在水平壁跨中的弯矩 M_2'

$$M_2' = \frac{Pa^2}{8} - M_1' \quad \text{kg-m;}$$

自重形成的弯矩——

作用在烟道角上的弯矩 M_1''

$$M_1'' = \frac{ga^2}{12} \quad \text{kg-m;}$$

作用在水平壁跨中的弯矩 M_2''

$$M_2'' = \frac{ga^2}{24} \quad \text{kg-m;}$$

则：作用在烟道角上的总弯矩 M_1

$$\begin{aligned} M_1 &= M_1' + M_1'' \\ &= \frac{P(b^2\alpha + a^2)}{12(\alpha + 1)} + \frac{ga^2}{12} \quad \text{kg-m} \quad (1) \end{aligned}$$

∴ 作用在水平壁跨中的总弯矩 M_2

$$M_2 = M_2' + M_2''$$

$$= \frac{Pa^2}{8} - M_1' + \frac{qa^2}{24} \quad \text{kg-m} \quad (2)$$

沿水平壁跨中的挠度

$$\text{绝对挠度 } f = \frac{(P+q) \cdot 10^{-2} a^4}{384 EJ} \quad \text{cm};$$

$$\text{相对挠度 } \frac{f}{a} = \frac{(P+q) \cdot 10^{-2} a^3}{384 EJ} \quad (3)$$

式中:

a —— 水平壁的宽度, cm;

P —— 风压荷载, kg/m²;

q —— 自重荷载, kg/m²;

E —— 钢材的弹性模数, kg/cm²; E 值和介质温度、钢材牌号有关,但为计算方便,均都用 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, 计算误差在许可范围之内。

J —— 钢板的惯性矩, cm⁴;

$$J = \frac{100 \delta^3}{12} \quad \text{cm}^4.$$

δ —— 钢板的厚度, cm。

根据求出的弯矩中最大的一个弯矩值,来决定钢板的厚度 δ , 并验核其相对挠度 $\frac{f}{a} < \frac{1}{400}$ 。

抗弯断面系数 W ——

$$W = \frac{100 M_{\max}}{\sigma_{ex}} \quad \text{cm}^3 \quad (4)$$

式中:

$$W = \frac{100 \delta^2}{6} \quad \text{cm}^3 \quad (5)$$

$M_{\max}$ —— 取 M_1 和 M_2 中的最大值, kg-m ,

σ_{ex} —— 额定许用应力, kg/cm^2 。

以(5)代入(4)则得:

$$\delta = 2.45 \sqrt{\frac{M_{\max}}{\sigma_{ex}}} \quad \text{cm} \quad (6)$$

对于冷烟风道 如果计算所得钢板厚度 $\delta > 0.4 \text{ cm}$, 且相对挠度 $\frac{1}{a} > \frac{1}{400}$ 时, 则应考虑采用有加筋肋的结构。

§4. 有加筋肋的水平烟风道的强度计算。

有加筋肋的水平烟风道的强度计算可分为壁板、纵向加筋肋和横向加筋肋三个部分来进行。从图-2所示, a 为水平壁板的宽度, b 为垂直壁板的高度, c 为纵向加筋肋的间距, d 为横向加筋肋的间距。

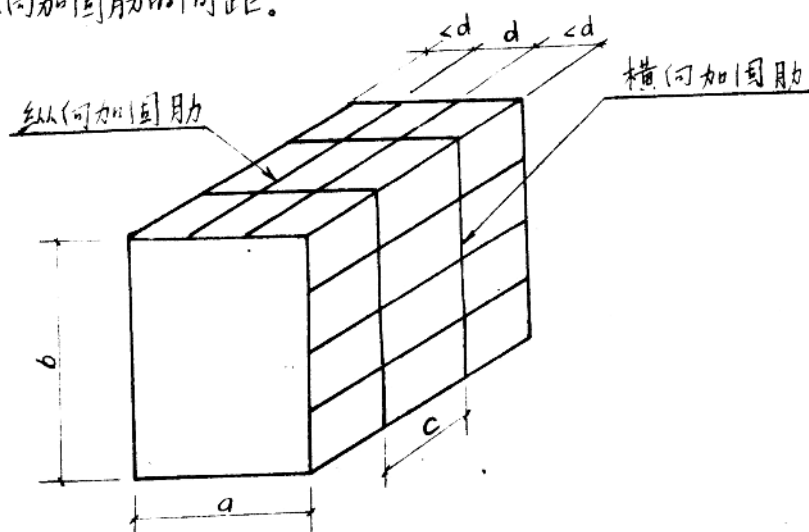


图-2. 有加筋肋水平烟风道的计算尺寸

壁板的计算

有加固肋的圆形风道壁板设计与四边固定支承的平板设计是相同的。其受力情况如图-3所示。

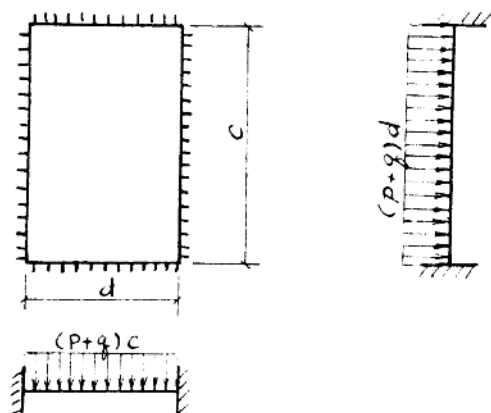


图-3 四边固定的平板受力情况

当 $\frac{d}{c} = 0.5 \sim 1.0$ 时，沿板跨中的弯矩，

$$M_1 = \alpha_1 (P+q) c d^2 \quad \text{kg-m}, \quad (7)$$

钢板厚度

$$\delta = \sqrt{\frac{600 M_1}{c \sigma_{ex}}} \quad \text{cm} \quad (8)$$

当 $\frac{d}{c} = 1.0 \sim 2.0$ 时，沿板跨中的弯矩，

$$M_2 = \alpha_2 (P+q) d c^2 \quad \text{kg-m}, \quad (9)$$

钢板厚度

$$\delta = \sqrt{\frac{600 M_2}{d \sigma_{ex}}} \quad \text{cm} \quad (10)$$

上述式中，

α_1 和 α_2 ——系数，根据 $\frac{d}{c}$ 值查表-2和表-3，

σ_{ex} ——容许应力 kg/cm^2 ；

M_1 和 M_2 ——钢板的跨中弯矩， kg-m ；

d —— 纵向加固肋的间距, cm ;

c —— 横向加固肋的间距, cm 。

当 $\frac{d}{c} = 0.5 \sim 1.0$ 时, 壁板跨中的相对挠度

$$\frac{f_1}{d} = \beta_1 \frac{(P+g) \cdot 10^{-4} c d^3}{B_c} < \frac{1}{400} ; \quad (11)$$

当 $\frac{d}{c} = 1.0 \sim 2.0$ 时, 壁板跨中的相对挠度

$$\frac{f_2}{c} = \beta_2 \frac{(P+g) \cdot 10^{-4} d c^3}{B_c} < \frac{1}{400} ; \quad (12)$$

上述式中:

β_1 和 β_2 —— 系数。根据 $\frac{d}{c}$ 值查表-2和表-3 ;

P —— 风压荷载, kg/m^2 ;

g —— 自重荷载, kg/m^2 ;

d —— 纵向加固肋的间距, cm ;

c —— 横向加固肋的间距, cm ;

B_c —— 钢板的刚度, $\text{kg}-\text{cm}^2$;

当 $\frac{d}{c} = 0.5 \sim 1.0$ 时

$$B_c = \frac{E c \delta^3}{12(1-\mu^2)} \quad \text{kg}-\text{cm}^2 ; \quad (13)$$

当 $\frac{d}{c} = 1.0 \sim 2.0$ 时

$$B_c = \frac{E d \delta^3}{12(1-\mu^2)} \quad \text{kg}-\text{cm}^2 ; \quad (14)$$

E —— 钢材的弹性模数, $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$;

μ —— 钢材的泊桑系数, $\mu = 0.3$;

δ —— 钢板厚度, cm 。

通常在矩形剛性風道的四角是不設置縱向加勁肋的，靠近邊角的鋼板的受力情況要比四周固定支承的平板受力情況差些，因此靠近四角的縱向加勁肋距離邊角的尺寸應小於 d 值，可以取 $\leq 0.8d$ 。

表-3

$\frac{d}{c}$	β_1	α_1
0.50	0.00251	0.0826
0.55	0.00245	0.0806
0.60	0.00235	0.0784
0.65	0.00222	0.0759
0.70	0.00209	0.0731
0.75	0.00197	0.0698
0.80	0.00184	0.0661
0.85	0.00170	0.0620
0.90	0.00156	0.0580
0.95	0.00142	0.0543
1.00	0.00127	0.0511

表-4

$\frac{d}{c}$	β_2	α_2
1.00	0.00127	0.0511
1.05	0.00142	0.0543
1.11	0.00156	0.0580
1.18	0.00170	0.0550
1.25	0.00184	0.0558
1.33	0.00197	0.0564
1.43	0.00209	0.0568
1.54	0.00222	0.0565
1.67	0.00235	0.0562
1.82	0.00245	0.0561
2.00	0.00251	0.0560

縱向加勁肋的計標

縱向加勁肋的計標方法和跨度為 c 兩端間支梁的計標是相同的。其受力情況如圖-4所示。

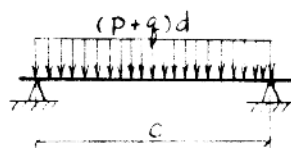


图-4 纵向加固肋的受力情况

跨中最大弯矩

$$M_{\max} = \frac{(P+q)d c^2}{8} \quad \text{kg-m ;} \quad (15)$$

抗弯断面系数

$$W = \frac{100 M_{\max}}{\sigma_{ex}} \quad \text{cm}^3 ; \quad (16)$$

式中:

$M_{\max}$ —— 跨中最大弯矩, kg-m ;

P 和 q —— 风压和自重荷载, kg/m² ;

d —— 纵向加固肋的间距, m ;

c —— 横向加固肋的间距, m ;

σ_{ex} —— 钢材额定许用力, kg/cm²。

纵向加固肋通常采用扁钢制作, 不同厚度的钢板和不同规格的扁钢组成的抗弯断面系数 W 和惯性矩 J 列入表-5 中。根据(16)式计算所得的 W 值按表-5 选择纵向加固肋的扁钢规格。并验算跨中相对挠度 $\frac{f}{c} < \frac{1}{400}$, 即:

$$\frac{f}{c} = \frac{5(P+q) \cdot 10^{-4} d c^3}{384 EJ} < \frac{1}{400} \quad (17)$$

上述式中符号和单位与公式(12)相同。

表-5

L 形断面纵向加肋的静力值

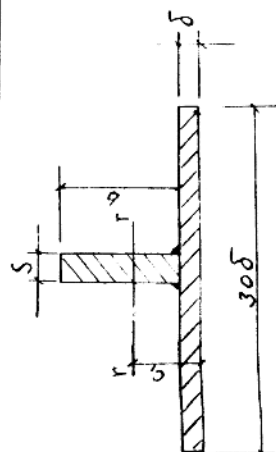
纵向加肋			钢板的厚度											
b	s	f _p	δ = 3 mm			δ = 4 mm			δ = 5 mm			δ = 6 mm		
mm	mm	cm ²	C ₁	J _r	W ₁	C ₁	J _r	W ₁	C ₁	J _r	W ₁	C ₁	J _r	W ₁
			cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³
50	5	2.5	1.12	14.3	3.7	0.72	17.2	4.0	0.44	19.4	4.25	0.225	21.10	4.4
60	6	3.6	1.65	26.1	6.0	1.18	32.0	6.6	0.80	36.4	7.00	0.53	40.2	7.3
70	6	4.2	2.08	39.1	8.0	1.54	48.0	8.8	1.10	55.1	9.30	0.76	60.8	9.7
80	8	6.4	2.76	66.8	12.7	2.15	82.3	14.2	1.71	96.6	15.4	1.29	108	16.1
80	10	8.0	2.96	77.5	15.4	2.45	96.1	17.3	1.96	113.1	18.7	1.53	127.7	19.7
90	8	7.2	3.24	91.1	15.8	2.62	112.2	17.6	2.08	131.6	19.00	1.62	148.2	20.1
90	10	4.0	3.43	105.7	19.0	2.86	129.8	21.1	2.34	153.0	23.0	1.88	173.8	24.4
100	10	10	3.92	140.0	23.0	3.31	171.1	25.6	2.74	201.1	27.7	2.24	229.0	29.5

$$J_r = (J_1 + J_2) + (F_1 X_1^2 + F_2 X_2^2) - (F_1 + F_2) C_1^2;$$

$$C_1 = \frac{F_1 X_1 + F_2 X_2}{F_1 + F_2}; \quad C_2 = b + \delta - C_1;$$

$$W_1 = \frac{J_r}{C_1}; \quad W_2 = \frac{J_r}{C_2}.$$

註：同材料结果， $W_1 < W_2$ ，所以表中只列 W_1 值。



横向加固肋的计算

横向加固肋的计算方法与带有刚结点的截面刚架内力计算是相同的, 其受力情况如图-6所示。

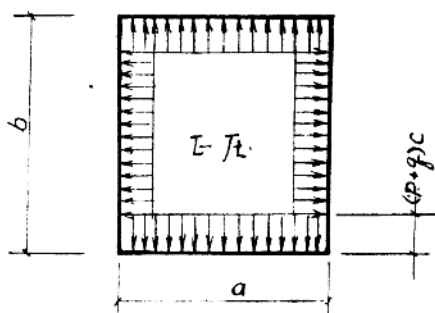


图-6. 横向加固肋的受力情况

弯矩

风压形成的弯矩——

作用在矩形孔道角上的弯矩 M_1'

$$M_1' = \frac{pc(b^2\alpha + a^2)}{12(1+\alpha)} \quad \text{kg-m};$$

式中: $\alpha = \frac{b}{a}$.

作用在水平肋跨中的弯矩 M_2'

$$M_2' = \frac{pca^2}{8} - M_1' \quad \text{kg-m};$$

自重形成的弯矩——

作用在矩形孔道角上的弯矩 M_1''

$$M_1'' = \frac{gca^2}{12} \quad \text{kg-m};$$

作用在水平肋跨中的弯矩 M_2''

$$M_2'' = \frac{qca^2}{24} \quad \text{kg-m}$$

作用在横向加固肋角上的总弯矩 M_1

$$\begin{aligned} M_1 &= M_1' + M_1'' \\ &= \frac{pc(b^2\alpha + a^2)}{12(1+\alpha)} + \frac{qca^2}{12} \quad \text{kg-m} \quad (18) \end{aligned}$$

作用在水平肋跨中的总弯矩 M_2

$$\begin{aligned} M_2 &= M_2' + M_2'' \\ &= \frac{pca^2}{8} - \frac{pc(b^2\alpha + a^2)}{12(1+\alpha)} + \frac{qca^2}{24} \quad \text{kg-m} \quad (19) \end{aligned}$$

所需抗弯断面系数 W :

$$\text{当 } M_1 > M_2 \text{ 时} \quad W = \frac{100 M_1}{\sigma_{ex}} \quad \text{cm}^3 \quad (20)$$

$$\text{当 } M_2 > M_1 \text{ 时} \quad W = \frac{100 M_2}{\sigma_{ex}} \quad \text{cm}^3 \quad (21)$$

(18) ~ (21) 式中:

P —— 风压荷载, kg/m^2 ;

q —— 自重荷载, kg/m^2 ;

a —— 纵向风道的宽度, m ;

b —— 纵向风道的高度, m ;

c —— 横向加固肋的间距, m ;

σ_{ex} —— 容许应力, kg/cm^2 。

水平肋跨中的相对挠度 $\frac{f}{a}$:

$$\frac{f}{a} = \frac{(P+q) \cdot 10^{-4} ca^3}{384 EJ} < \frac{1}{400} \quad (22)$$

(22) 式中: