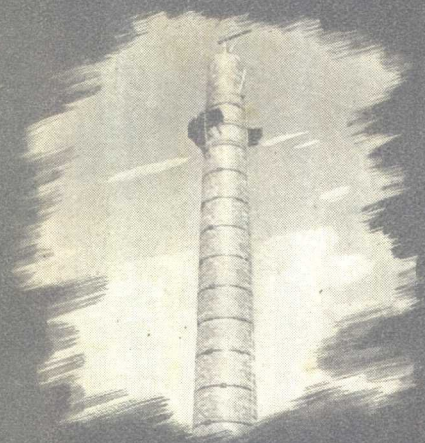




王 磊 編 著

60公尺磚砌烟囱 設計与施工实例

科 学 技 術 出 版 社

60公尺磚砌烟囱 設計与施工实例

王 磊 編 著

科学技術出版社

內 容 提 要

本書以一個實例介紹工業專用的 60 公尺磚砌煙囪的設計與施工方法。同時學習了蘇聯先進經驗使用熱工原理及扁鐵環箍的設計方法，減少磚的消耗量和避免煙囪磚壁的裂縫。在施工方面又使用頂撐式里腳手和活動套綫板的辦法，大量節約木材並保證質量。本書是一本理論與實際結合，設計和施工並重的小冊子，可供基建土建工程技術人員及工業與民用建築、結構專業的学生參考。

60公尺磚砌煙囪設計與施工實例

編 著 者 王 磊

*

科學技術出版社出版

(上海建國西路 336 弄 1 號)

上海市書刊出版業營業許可證出 079 號

信誠印刷廠印刷

新華書店上海發行所總經售

*

統一書號: 15119·470

開本 787×1092 耗 1/32·印張 1 9/16·字數 32,000

1957 年 3 月第 1 版

1957 年 3 月第 1 次印刷 印數 1--3,500

定價: (10) 0.24 元

序 言

我国第一个五年计划已进入高潮，新建的厂矿很多，在建筑物中烟囱一项乃是锅炉房、工厂、热电站等工业企业所必需的附属设施。烟囱修建的技术性较为复杂，故学习苏联方面关于新的设计及施工方法，实为当前技术人员所迫切需要。尤其是最近使用热工原理及扁铁环箍的设计方法，不但减少砖的消耗量，而且也避免烟囱砖壁的裂缝。此外又采用了黑铁管散热，可以使内部里襯及空气层的热由黑铁管散出来，减少内外温度差，使砌体热应力减少。在施工方法上使用顶撑式里脚手及活动套线板的办法后，不但可以节约大量木材，而且也避免了脚手洞的弱点及掌握烟囱中心线的正确而保证了质量。

本书以从设计到施工的实际例子而编写，重于理论而切合实际，使读者阅后能融会贯通。在设计人员往往只着重设计而未甚顾及到施工领域；在施工人员则因有实际经验，不熟悉新的设计优点，因而施工时很容易发生问题。但是无论在那种情况下，能够全面领会设计及施工新方法的优越性，对于搞好工业建设都是有所裨益，故本书可以作为一般技术人员的参考。

由于编者的技术理论及经验均属有限，谬误及值得商榷的地方不少，欢迎读者的批评与指正。

王 磊编写于武汉 1956.12.1.

計算資料

1. 烟囱高度 $H_c = 60$ 公尺
2. 上口內徑 $d_0 = 3$ 公尺
3. 排除烟氣溫度 $t_2 = 180^\circ\text{C}$
4. 土壤許可耐壓力 $[6_{sp}] = 2.0$ 公斤/公分² = 20 吨/公尺²
5. 筒身材料——紅磚, 100[#] 及 150[#]
6. 里襯材料——普通粘土磚(亦可用紅磚) 100[#]
7. 隔熱層——空氣層 50 公厘
8. 外部空氣溫度(冬季) $t_B = -5^\circ\text{C}$
9. 混凝土基礎標號——140[#]
10. 鋼筋屈服限度 = 2,800 公斤/公分²
11. v (最大風速) = 32 公尺/秒
12. 紅磚每單位體積重 = 1.7 吨/公尺³
13. 出灰口的面積為 1.2 公尺 $\times$ 0.8 公尺
14. 烟道口一個, 大小為 2.5 公尺 $\times$ 5 公尺
15. 烟囱建築在地震區(七級)

目 录

計算資料

第一章	烟囱筒身靜力計算	1
第二章	烟囱风荷重及风力弯矩計算	5
第三章	烟囱在地震区之計算	7
第四章	烟囱筒身砌体应力計算	11
第五章	受拉扁鉄环箍的計算	18
第六章	烟囱基础的計算	24
第七章	施工前的組織与准备工作	30
第八章	基础放綫測量及其施工	32
第九章	烟囱中心綫校正与活动套綫板施工	35
第十章	使用里脚手及磚壁砌筑	37
第十一章	烟囱金属配件施工	41
第十二章	工程質量及技术安全的檢查	42

第一章 烟囱筒身靜力計算

1. 筒身与里襯的設計規定

(1) 烟囱筒身的坡度一般在1.5~3.0%，但根据設計經驗坡度最好采用 2.5~3%。因坡度小則砌体应力容易超过允許值，坡度过大，則烟囱外形几如尖塔，頗不美观。其規定如下：

1) 坡度一般为 1.5~3.0%，最适宜是 2.5~3.0%。

2) 当烟囱上口直徑在 3 公尺以內时，上部筒壁厚度不应少于一磚厚。

3) 当烟囱全高砌有里襯时，烟囱頂部一磚厚的筒身部分全长不应超过 12 公尺，无里襯时不应超过 15 公尺。上項規定是当烟囱上口直徑在 3 公尺以內(旧設計方法一般只做到 7 公尺左右，而苏联的經驗无里襯时一磚厚筒身可达 15 公尺，这样可以节约大量砌体材料，故实属先进，而且砌体应力計算一般都在許可范围之內)。

4) 筒身下部的壁厚則須根据計算而定。

(2) 出烟溫度在 400°C 以下时，可以用普通粘土磚及 25# 的水泥石灰(或粘土)砂漿来砌筑。在 500°C 以上时，里襯牆可用耐火磚及火泥(干土子)来砌筑(苏联先进經驗，打破旧設計規定經常采用耐火磚設計习惯，大大的降低造价)。

里襯与筒壁的空气层一般取 50 公厘厚。但当排除高温烟气需采用隔热材料填充时，其厚度則为 80~150 公厘。用一磚厚的里襯，其每节砌置高度不应超过 25 公尺，半磚厚时，不应超过

12 公尺，里襯厚度在煙道口範圍內一段，不能小于一磚厚，其他部分則不能小於半磚厚。一般里襯的高度應根據所採用的隔熱材料及環鉄箍按熱工計算決定，但不得小於下列各項規定：

1) 若煙道口的布置在筒身底座及排除煙氣溫度達 150°C 時，則為筒身底座的高度。

2) 若排除煙氣溫度在 $151\sim 250^{\circ}\text{C}$ 時，為筒身的 $1/3$ 高。

3) 若排除煙氣溫度在 $251\sim 450^{\circ}\text{C}$ 時，為筒身的 $1/2$ 高。

4) 若排除煙氣溫度大於 450°C 時，為筒身的全高。

5) 若煙道在地下及排除煙氣溫度低於 150°C 時，則里襯僅須在基礎的杯形部分內砌置。

2. 筒身與里襯的選擇

根據計算資料，必須在設計之前作適當的選擇與假定。

(1) 本設計為 60 公尺高煙囪，選擇傾斜度為 2.5%，上口內徑為 3 公尺，故選擇 45~60 公尺高度段落內筒身磚壁為一磚厚 (0.25 公尺)。

(2) 30~45 公尺段落內筒身磚壁為一磚半厚 (0.38 公尺)。15~30 公尺段落內筒身磚壁為二磚厚 (0.51 公尺)。0~15 公尺段落內筒身磚壁為二磚半厚 (0.64 公尺)。

(3) 在 0~15 公尺採用一磚厚 (0.25 公尺) 普通粘土磚 (亦可用紅磚) 里襯，里襯與筒壁之間的空氣層採取 50 公厘厚 (見表 1)。

3. 筒身體積及重量計算

計算體積採用的公式 $V = 1.57 dh_s (D_{nn} + D_n)$

重量計算公式 $G = V \times 1.7$

d ——每段內筒壁隔熱層或里襯厚度，以公尺計。

h_s ——每段高以公尺計。

表 1 烟筒静力计算图表

筒 身										里			横			垂 直 荷 重
符号	D_H	d	D_{BH}	V	g	符 号	D_H	d	D_{BH}	V	g	N_H				
	外 径	厚 度	内 径	体 积	重 量		外 径	厚 度	内 径	体 积	重 量	重 量				
	公 尺	公 尺	公 尺	公 尺 ³	吨		公 尺	公 尺	公 尺	公 尺 ³	吨	吨				
单 位	上 口	3.50	0.25	3												
	下 口	4.25	0.25	3.75	46.1	78.4						78.4				
上 口		0.38	3.49													
下 口	5.00	0.38	4.24	76.2	129.5							207.9				
上 口		0.51	3.98													
下 口	5.75	0.51	4.73	117	199							406.9				
上 口		0.64	4.47			上 口		0.25	3.88							
下 口	6.15	0.64	4.87	85.5	145	下 口	4.77	0.25	4.28	27.3	46.4	598.3				
上 口		0.64	4.88			上 口		0.25	4.28							
下 口	6.50	0.64	5.22	80.4	127	下 口	5.12	0.25	4.62	22.56	38.35	763.65				

$H = 60$ 公尺
 $D_{BH} = 92.5$ 公分
 $D_H = 60$ 公分
第一段
第二段
第三段
第四段
第五段
出口 0.8 公尺 $\times$ 1.2 公尺
烟道口 6 公尺 $\times$ 3.4 公尺
土 0.00

$D_{\text{上}}$ ——每段筒壁、隔热层或里襯之内部上端直徑，以公尺計。

$D_{\text{下}}$ ——每段筒壁、隔热层或里襯之外部下端直徑，以公尺計。

V ——体积(公尺³)

g ——重量(公吨)

第一段 $V_1 = 1.57 \times 0.25 \times 15 \times (3 + 4.25) = 42.6$ 公尺³，
頂部梁檐增加砌体 3.5 公尺³。

$$g_1 = (42.6 + 3.5) \times 1.7 = 46.1 \times 1.7 = 78.4 \text{ 吨}$$

第二段 $V_2 = 1.57 \times 0.38 \times 15 \times (3.49 + 5) = 76.2$ 公尺³，

$$g_2 = 76.2 \times 1.7 = 129.5 \text{ 吨}$$

第三段 $V_3 = 1.57 \times 0.51 \times 15 \times (3.98 + 5.75) = 117$ 公尺³，

$$g_3 = 117 \times 1.7 = 199 \text{ 吨}$$

第四段 $V_4 = 1.57 \times 0.64 \times 8 \times (4.47 + 6.15) = 85.5$ 公尺³，

$$g_4 = 85.5 \times 1.7 = 145 \text{ 吨}$$

第五段 $V_5 = 1.57 \times 0.64 \times 7 \times (4.88 + 6.5) = 80.4$ 公尺³。

(1) 底座部分增加砌体体积 2.5 公尺³

(2) 出灰口减去 $1.2 \times 0.8 \times 0.64 = 0.61$ 公尺³

(3) 烟道口减去 $5 \times 2.4 \times 0.64 = 7.7$ 公尺³

$g_5 = (80.5 + 2.5 - 0.61 - 7.7) \times 1.7 = 74.69 \times 1.7 = 127 \text{ 吨}$

第四段內里襯体积 $V_4 = 1.57 \times 0.25 \times 8 \times (3.88 + 4.77)$

$$= 27.3 \text{ 公尺}^3$$

$$27.3 \times 1.7 = 46.4 \text{ 吨}$$

第五段內里襯体积 $V_5 = [1.57 \times 0.25 \times 7 \times (4.28 + 5.12)]$

$$- (5 \times 2.4 \times 0.25) - (1.2 \times 0.8 \times 0.25)$$

$$= 22.56 \text{ 公尺}^3; 22.56 \times 1.7 = 38.35 \text{ 吨}$$

4. 计算断面 0.00 线以上全部垂直荷重

$$N_1 = 78.4 \text{ 吨}$$

$$N_2 = 78.4 \text{ 吨} + 129.5 \text{ 吨} = 207.9 \text{ 吨}$$

$$N_3 = 207.9 \text{ 吨} + 199 \text{ 吨} = 406.9 \text{ 吨}$$

$$N_4 = 406.9 \text{ 吨} + 145 \text{ 吨} + 46.4 \text{ 吨(里襯)} = 598.3 \text{ 吨}$$

$$N_5 = 598.3 \text{ 吨} + 127 \text{ 吨} + 38.35 \text{ 吨(里襯)} = 763.65 \text{ 吨}$$

第二章 烟囱风荷重及风力弯矩计算

1. 风荷重的计算

$$\begin{aligned} \text{令 } v = 32 \text{ 公尺/秒, 则风压应为 } q &= \frac{v^2}{16} = 64 \text{ 公斤/公尺}^2 \\ &= 0.064 \text{ 吨/公尺}^2 \end{aligned}$$

(以离地面 20 公尺处之风压值为基准, 每增高 1 公尺, 风压值增加 1 公斤/公尺²)

$$\text{风荷重 } P_B = q'f$$

式中 $q' = q \times 0.7 \times 1.5 = 1.05q = q$ (约) (0.7 为空气动力系数; 1.5 为塔形构筑物振动系数)

$f = D_{CP}h_3$ (D_{CP} 为所计算段的中点外端直径以公尺计, h_3 为计算段的高度以公尺计)

$$\begin{aligned} q'_1 &= \frac{[(60-20) \times 0.001 + (45-20) \times 0.001]}{2} + 0.064 \\ &= 0.0965 \text{ 吨/公尺}^2 \end{aligned}$$

(第一段增加风压值, 取其 +60 公尺及 +45 公尺标高处平均值)

$$P_1 = 0.0965 \times 3.875 \times 15 = 5.6 \text{ 吨}$$

$$q'_2 = \frac{[(45-20) \times 0.001 + (30-20) \times 0.001]}{2} + 0.064$$

$$= 0.0815 \text{ 吨/公尺}^2$$

(第二段增加风压值, 取其 +45 公尺及 +30 公尺标高处平均值)

表 2 煙囪風力計算圖表

風 荷 重	風 力 彎 矩	風 壓	考 備
P_w	M_c	q'	
單位噸	單位噸·公尺	單位噸/公尺 ²	
5.6	42	0.0965	
5.65	168.4	0.0815	
5.43	377.7	0.069	
3.05	524.2	0.064	
2.83	671.45	0.064	

Diagram illustrating the wind load calculation for a 60m brick chimney, showing the distribution of wind pressure (P_w) and bending moment (M_c) across five segments.

Segments and Wind Pressure (P_w):

- 第一段 (0-15m): $P_1 = 5.6 \text{ 吨}$
- 第二段 (15-30m): $P_2 = 5.65 \text{ 吨}$
- 第三段 (30-45m): $P_3 = 5.43 \text{ 吨}$
- 第四段 (45-60m): $P_4 = 3.05 \text{ 吨}$
- 第五段 (60-60m): $P_5 = 2.83 \text{ 吨}$

Diagram also shows the resulting bending moment curve and the chimney structure with height markers (+60公尺, ±0.00, 1.2公尺, 3.5公尺).

$$P_2 = 0.0815 \times 4.625 \times 15 = 5.65 \text{ 吨}$$

$$q'_3 = \frac{(30-20) \times 0.001}{2} + 0.064 = 0.069 \text{ 吨/公尺}^2$$

(第三段增加风压值, 乃取其 30 公尺处較 20 公尺处 0.064 吨/公尺² 标准风压所增加的风压值)

$$P_3 = 5.375 \times (0.069 \times 10 + 0.064 \times 5) = 5.43 \text{ 吨}$$

$$q'_4 = q'_5 = 0.064 \text{ 吨/公尺}^2$$

$$P_4 = 0.064 \times 5.95 \times 8 = 3.05 \text{ 吨}$$

$$P_5 = 0.064 \times 6.325 \times 7 = 2.83 \text{ 吨}$$

2. 风力弯矩的計算

$$M_n = P_1 h_1 + P_2 h_2 + \dots + P_n h_n$$

$$M_1 = 5.6 \times 7.5 = 42 \text{ 吨-公尺}$$

$$M_2 = 5.6 \times (7.5 + 15) + 5.65 \times 7.5 = 168.4 \text{ 吨-公尺}$$

$$M_3 = (5.6 \times 37.5) + (5.65 \times 22.5) + (5.43 \times 7.5) = 377.7 \text{ 吨-公尺}$$

$$M_4 = (5.6 \times 45.5) + (5.65 \times 30.5) + (5.43 \times 15.5) + (3.05 \times 4) = 524.2 \text{ 吨-公尺}$$

$$M_5 = (5.6 \times 52.5) + (5.65 \times 37.5) + (5.43 \times 22.5) + (3.05 \times 11) + (2.83 \times 3.5) = 671.45 \text{ 吨-公尺}$$

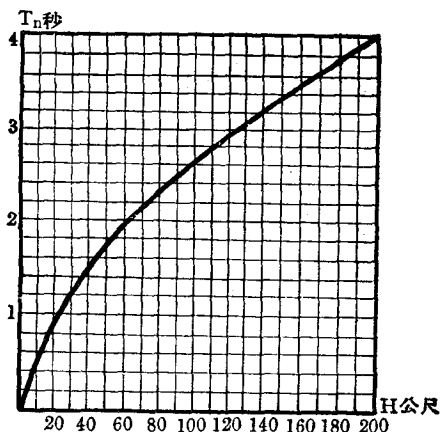
第三章 烟囱在地震区之計算

1. 在地震区烟囱自身振动周期限制(见图 1)

查曲线表 $T_n = 2$ (当地震計算强烈度为七度时)

$$T_n \leq 0.8 \sqrt{\frac{H}{g}}$$

T_n ——自身振动周期可依图 1 查得

图1 T_n 值曲线表

H ——烟囪高度(公尺)

g ——9.81 重力加速度(公尺/秒²)

$\therefore T_n = 2 \leq 0.8 \sqrt{\frac{H}{g}} = 0.8 \sqrt{\frac{60}{9.81}} = 1.99$ (相差极微, 故属安全)

2. 地震惯性力之计算

$$S = \alpha K_c P$$

α ——根据地震荷重特性而定的系数, 在顶部为 $\alpha = 2$;

基础底 $\alpha = 1$, 在中間任一高度时, $\alpha = 1 + \frac{h}{H}$

K_c ——地震系数, 当地震强烈度计算值为七度时 $K_c = \frac{1}{40}$

附注: 烟囪每段风力作用点应在梯形重心略为偏下, 计算时是在每段高度中点, 在第五段内已将 P_5 的作用点放在该段高度中点, 但因开口减弱, P_5 应在 $1/2$ 高度偏上, 故为了免去繁复计算; P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 都计算作用点在中央

P = 有效荷重

$$\alpha_1 = 1 + \frac{52.5}{60} = 1.875$$

$$\therefore S_1 = 1.875 \times \frac{1}{40} \times 78.4 = 3.68 \text{ 吨}$$

$$\alpha_2 = 1 + \frac{37.5}{60} = 1.625$$

$$\therefore S_2 = 1.625 \times \frac{1}{40} \times 129.5 = 5.25 \text{ 吨}$$

$$\alpha_3 = 1 + \frac{22.5}{60} = 1.374$$

$$\therefore S_3 = 1.374 \times \frac{1}{40} \times 199 = 6.83 \text{ 吨}$$

$$\alpha_4 = 1 + \frac{11}{60} = 1.18$$

$$\therefore S_4 = 1.18 \times \frac{1}{40} \times 191.4 = 5.65 \text{ 吨}$$

$$\alpha_5 = 1 + \frac{3.5}{60} = 1.06$$

$$\therefore S_5 = 1.06 \times \frac{1}{40} \times 165.35 = 4.39 \text{ 吨}$$

3. 地震慣性力和风荷重 50% 計算

在計算地震慣性力同时，仍須考虑风力的 50%，两值之和作一水平力作用，其計算方法与风荷重計算同。

$$S_1 + P_{150\%} = 3.68 + \frac{5.6}{2} = 6.48 \text{ 吨}$$

$$S_2 + P_{250\%} = 5.25 + \frac{5.65}{2} = 8.08 \text{ 吨}$$

$$S_3 + P_{350\%} = 6.83 + \frac{5.43}{2} = 9.55 \text{ 吨}$$

$$S_4 + P_{450\%} = 5.65 + \frac{3.05}{2} = 7.18 \text{ 吨}$$

$$S_5 + P_5 50\% = 4.39 + \frac{2.83}{2} = 5.81 \text{ 吨.}$$

表 3 地震慣性力計算圖表

有效荷重				地震慣性力		地震慣性力加風荷重50%		地震慣性力加風荷重50%的彎矩	
P		S		S + P 50%		M(S + P 50%)			
單位噸		單位噸		單位噸		單位噸-公尺			
78.4		3.68		6.48		48.6			
129.5		5.25		8.08		206.43			
199		6.83		9.55		496.43			
191.4		5.65		7.18		718.03			
170.5		4.39		5.81		957.32			

Diagram illustrating the seismic inertia force calculation for a 60m brick chimney. The chimney is divided into sections with horizontal dimensions: 15公尺, 15公尺, 15公尺, 15公尺, 8公尺, 7公尺, and 3.5公尺. Vertical loads are applied at various heights: 6.48噸, 8.08噸, 9.55噸, 7.18噸, 11.0噸, and 5.81噸. The total height is 60公尺.

4. 地震惯性力和风荷重 50% 之弯矩

$$M(S_1 + P_1 50\%) = 6.48 \times 7.5 = 48.6 \text{ 吨-公尺}$$

$$M(S_2 + P_2 50\%) = 6.48 \times 22.5 + 8.08 \times 7.5 = 206.43 \text{ 吨-公尺}$$

$$M(S_3 + P_3 50\%) = 6.48 \times 37.5 + 8.08 \times 22.5 + 9.55 \times 7.5 = 496.43 \text{ 吨-公尺}$$

$$M(S_4 + P_4 50\%) = 6.48 \times 45.5 + 8.08 \times 30.5 + 9.55 \times 15.5 + 7.18 \times 4 = 718.03 \text{ 吨-公尺}$$

$$M(S_5 + P_5 50\%) = 6.48 \times 52.5 + 8.08 \times 37.5 + 9.55 \times 22.5 + 7.18 \times 11 + 5.81 \times 3.5 = 957.32 \text{ 吨-公尺}$$

第四章 烟囱筒身砌体应力计算

1. 烟囱断面积及面积矩计算

$$F = \frac{\pi}{4} (D_H^2 - D_{BH}^2) = 0.785 (D_H^2 - D_{BH}^2)$$

$$W = \frac{\pi}{32} \frac{(D_H^2 + D_{BH}^2)(D_H^2 - D_{BH}^2)}{D_H}$$

$$= 0.0981 \frac{(D_H^2 + D_{BH}^2)(D_H^2 - D_{BH}^2)}{D_H}$$

$$F_1 = 0.785 \times (4.25^2 - 3.75^2) = 3.14 \text{ 公尺}^2$$

$$W_1 = 0.0981 \times \frac{(4.25^2 + 3.75^2)(4.25^2 - 3.75^2)}{4.25}$$

$$= 2.97 \text{ 公尺}^3$$

$$F_2 = 0.785 \times (5^2 - 4.24^2) = 5.5 \text{ 公尺}^2$$

$$W_2 = 0.0981 \times \frac{(5^2 + 4.24^2)(5^2 - 4.24^2)}{5} = 5.9 \text{ 公尺}^3$$

$$F_3 = 0.785 \times (5.75^2 - 4.73^2) = 8.4 \text{ 公尺}^2$$