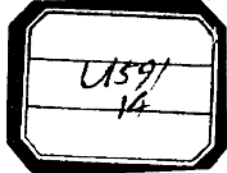


火焰式熱风机井筒保溫法 的設 計 与 应 用

煤 炭 工 业 出 版 社



內 容 提 要

这本小册子所介绍的井筒保温法，是淮南謝家集二矿利用火焰式热风机进行井筒保温的经验。

火焰式热风机的特点是设备较少，投资少，施工简单，因此使用它进行井筒保温是符合多、快、好、省方针的。

此种保温法可以在冬季最低温度为零下10度左右地区的中小型矿井采用。

本书可供中、小型矿井的设计人员和机电人员参考。

1165

火焰式热风机井筒保温法的设计与应用

朱璧华 孙 恒 编

煤炭工业出版社出版(社址：北京东长安街煤炭工业部)

北京市书刊出版业营业许可证出字第084号

煤炭工业出版社印刷厂排印 新华书店发行

*

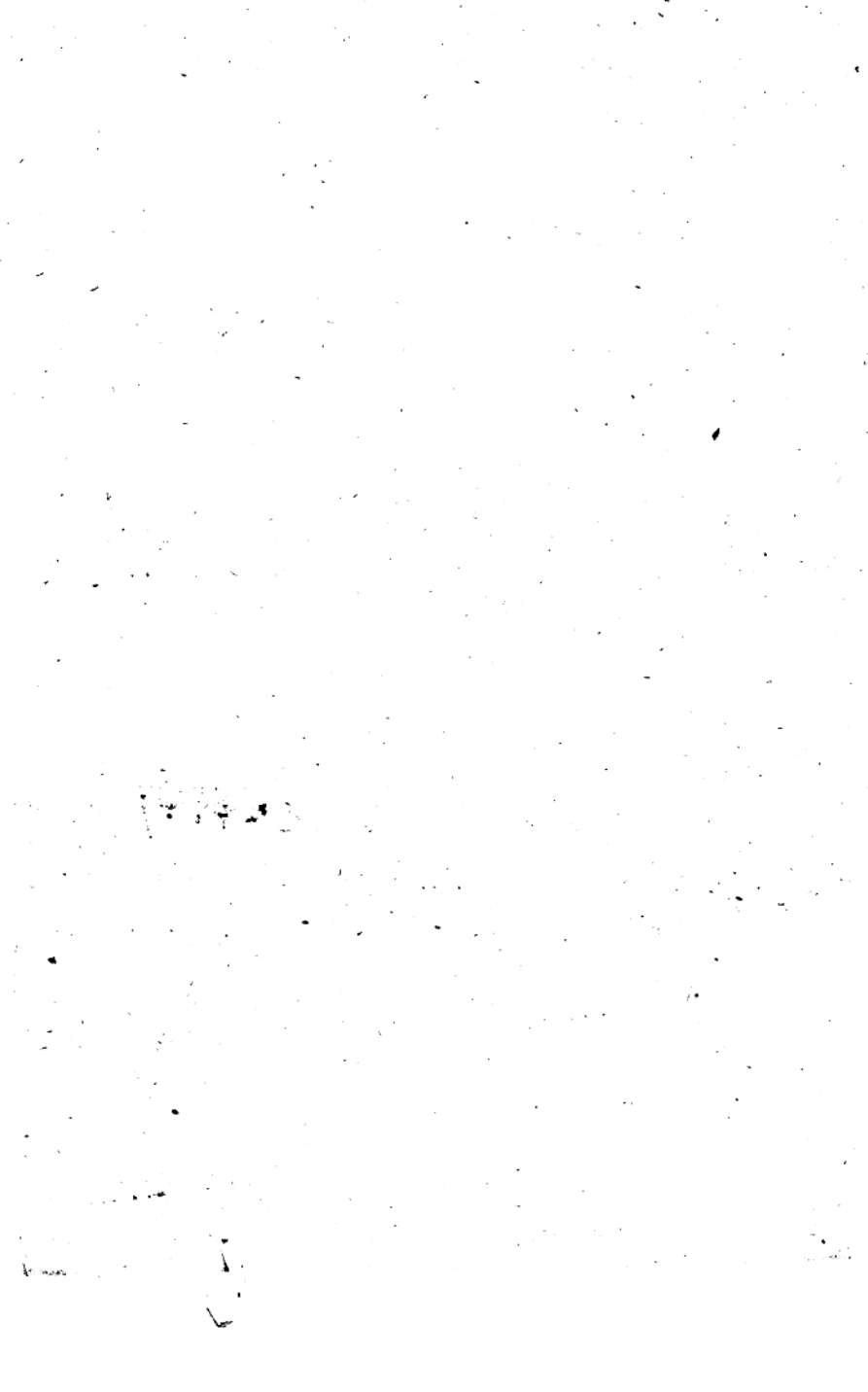
开本787×1092公厘 $\frac{1}{32}$ 印张 $\frac{13}{16}$ 字数13,000

1959年5月北京第1版 1959年5月北京第1次印刷

统一书号：15035·851 印数：0,001—3,000册 定价：0.11元

目 录

一、前言.....	3
二、設計与計算.....	4
三、热风机的結構.....	13
四、操作維護.....	22
五、使用效果.....	23
六、存在問題及解決办法.....	24
七、火焰式热风机在中小型矿井的使用前途.....	25



一、前 言

为了保証在冬季气温低于摄氏零度以下地区的煤矿中的安全生产，对提升兼进风的井筒必须进行保温，以便使进入井筒中空气的温度按照保安规程规定达到 2°C ，否则提升井筒就会因大量的寒冷空气通过而致井筒淋水冻结以致产生一系列不安全情况。例如：电缆坠断，罐道结瘤阻碍罐籠在井筒中的順利运行，更严重的是能使防坠装置失灵，引起断繩，造成重大的坠罐事故。当井筒內的冰块融解时，由数百公尺的高处往下墜落，对人和设备的危害很大。因此，井筒保温对矿井安全生产有很重大的意义和作用。

井筒保温方法，一般均采用热风设备，按其热风设备的类型，大致可以分为三种。

1. 蒸气式热风机。用扇风机把一部分冷空气以蒸汽作为传热介质，使其温度升高后，压送至井筒中与冷空气相混合，以达到井筒保温的目的。这种热风机的特点是设备多，投資大，施工复杂，建設時間較长，适用于冬季严寒時間較长地区的大型矿井。

2. 火焰式热风机。本文所述即这种热风机，同样是用扇风机将一部分冷空气以专設的燃烧室供給的烟气作为传热介质，使其加热后，压入井筒中与井筒中的冷空气相混合，以达到井筒保温的目的。这种热风机的特点是设备較少，投資小，施工簡單，建設時間短；但是由于維護麻煩，

效率較低，仅适用于小型矿井及分散进风的矿井。

3. 电气热风机。这是用圓形或带状的电阻絲組成，以电热能为介質的热风机。由于这种热风机消耗电力大，所用金屬价格較高，虽然效率高，管理方便，但一般不采用它。

淮南謝二矿系1956年夏季移交生产的新矿井，由于設計部門对淮南地区冬季最低气温掌握不够，設計时对井筒保温未加考虑。移交生产后，在1956年初冬季节，气温逐日下降，并考虑到淮南54年冬季原有几个矿井发生的井筒結冰情况，而且此矿又与老矿通风方式不同（老矿分散进风，此矿中央集中进风），所以尽快解决副井进风兼提升井筒的保温工作，就显得异常迫切需要。在领导的重視与支持下，有关人员参考苏联姆·姆·謝瑪哈諾夫所著的“矿井井筒的保温”一書，经过研究，根据几种热风机的特点，結合当时具体情况，进行了方案比較，确定采用火焰式热风机，立即組織人員进行設計及施工，在短短的20天左右即告建成。投入运轉经过使用，虽然起到一定的作用，但是由于缺乏經驗，依然存在不少缺陷，因而未能达到預期的效果。针对使用中所发现的問題，在1957年秋季修建时，又进行了若干部分的修改，成为本文所述的这种較為完备的火焰式热风机。

二、設計与計算

1. 已知条件与要求：

- (1) 室外空气最低溫度 -13°C 。

(2) 热风机钢管出口处温度 100°C 。

(3) 井筒内空气温度即冷热空气混合后温度 2°C 。

(4) 进入热风机的容许烟气温度的 700°C 。

(5) 煤的含热量 7500 大卡/公斤。

2. 根据现场设备条件及初算结果，决定在下列两条件下作出详细计算：

(1) 热风机钢管采用 4" 的 74 根，5" 的 40 根。

(2) 采用矿场现有的 A 型抽风机两台，其进口处实测风速为 18.6 公尺/秒；进口处直径为 663 公厘，风量为 $310 \times 2 = 620$ 公尺³/分。

3. 求热风机所能加热的空气量及井筒进风量。

(1) 热风机所能加热的空气量

钢管断面为：

$$74 \times \frac{\pi}{4} (0.100)^2 + 40 \times \frac{\pi}{4} (0.127)^2 = 0.581 + 0.506 \\ = 1.037 \text{ 公尺}^2.$$

风机进口断面为：

$$\frac{\pi}{4} \times (0.663)^2 = 0.345 \text{ 公尺}^2.$$

钢管进口处风的流速为：

$$\frac{18.6 \times 0.345}{1.037} = 5.9 \text{ 公尺/秒}.$$

钢管中平均热风温度为：

$$\frac{100 - 13}{2} = 43.5^{\circ}\text{C}.$$

管中平均流速为:

$$5.9 \times \frac{273+43.5}{273-13} = 7.2 \text{公尺/秒}.$$

在平均温度 43.5°C 下通过热风机的空气量为:

$$7.2 \times 1.037 = 7.82 \text{公尺}^3/\text{秒} = 28300 \text{公尺}^3/\text{秒}.$$

在平均温度 43.5°C 下, 热风平均比重为:

$$\begin{aligned} \gamma_{cp} &= \gamma_0 \times \frac{273}{273+43.5} = 1.293 \times \frac{273}{273+43.5} \\ &= 1.11 \text{公斤/公尺}^3. \end{aligned}$$

热风机所能加热的空气量:

$$\begin{aligned} g &= 1.11 \times 7.82 = 8.7 \text{公斤/秒} = 520 \text{公斤/分} \\ &= 31200 \text{公斤/小时}. \end{aligned}$$

(2) 井筒进风量:

按公式:

$$g = \gamma_0 V \frac{t_{cm} - t_n'}{t_n'' - t_n'} \text{ 即}$$

$$V = \frac{g(t_n'' - t_n')}{\gamma_0(t_{cm} - t_n')}.$$

式中 t_n' —— -13°C , 室外空气温度;

t_n'' —— 100°C , 热风机出口温度;

t_{cm} —— 2°C , 冷热空气混合后温度。

$$\begin{aligned} \therefore V &= \frac{31200(100+13)}{1.293(2+13)} = 18200 \text{公尺}^3/\text{小时} \\ &= 3040 \text{公尺}^3/\text{分} \end{aligned}$$

4. 火爐計算:

(1) 每小时所需由热风机传给空气的热量

$$Q = 0.24 g_1 (t_n'' - t_n')$$

$$= 0.24 \times 31200 (100 + 13) = 845000 \text{ 大卡/小时。}$$

令热风机效率 (不包括火爐效率) 为 0.65, 则每小时烟气传给热风机鋼管中空气的热量为:

$$I_r' = \frac{Q}{0.65} = \frac{845000}{0.65} = 1300000 \text{ 大卡/小时。}$$

(2) 在燃烧过程中, 需要空气量概算:

$$L_0 = 1.42 \frac{Q_m'}{1000} = 1.42 \frac{2500}{1000} = 10.65 \text{ 公斤(空气)/公斤(煤)。}$$

(3) 为了将进入热风机鋼管处的热风降至 700°C , 以免烧坏鋼管所需混合的冷空气量为:

$$g_n = \frac{Q_n'' \eta_r + \beta L_0 C_n t_n - (1 + \beta L_0) C_r t_r}{C_r t_r - C_n t_n},$$

式中 t_n —— 5°C , 室内空气温度;

C_n —— 0.24 大卡/公斤 $^\circ\text{C}$, 空气比热;

t_r —— 700°C , 进入热风机内的烟气温度,

$$C_r = 0.242 + 0.000027 \times 700$$

$$= 0.2619 \text{ 大卡/公斤 } ^\circ\text{C}, \text{ 燃烧室比热。}$$

$$\therefore g_n = \frac{7500 \times 0.9 + 1.4 \times 10.65 \times 0.24 \times 5 - (1 + 1.4 \times 10.65) 0.2619 \times 700}{0.2619 \times 700 + 0.24 \times 13}$$

$$= \frac{6750 + 17.9 - 2940}{176.2 + 3.12} = \frac{3827.9}{179.32}$$

$$= 21.4 \text{ 公斤(空气)/公斤(煤)。}$$

(4) 每公斤煤共需空气量为:

$$L_0 + g_n = 10.65 + 21.4 = 32.05 \text{ 公斤(空气)/公斤(煤).}$$

每小时燃料消耗量(当不考虑周围介质的热量损失时)

$$B = \frac{I_r'}{(Q_n'' \cdot \eta_r + \beta L_0 C_n t_n) + g_n C_n t_n'}$$

$$= \frac{1300000}{(7500 \times 0.9 + 1.4 \times 10.65 \times 0.24 \times 5) - 21.4 \times 0.24 \times 13}$$

$$\Rightarrow \frac{1300000}{6711.8} = 194 \text{ 公斤/时.}$$

(5) 火爐尺寸計算:

采用人工加煤火爐, 其爐棚供熱能力为 900000 大卡/公尺²时, 則爐棚面积为

$$R = \frac{7500 \times 194}{900000} = 1.62 \text{ 公尺}^2.$$

火爐容积的供熱能力为 275000 大卡/公尺²时, 則火爐容积为

$$V = \frac{7500 + 194}{275000} = 5.3 \text{ 公尺}^3.$$

火爐爐膛高度为

$$l = \frac{5.3}{1.62} = 3.27 \text{ 公尺.}$$

由于房屋高度的限制, 对火爐尺寸实际上为

$$l_n' = 1.87 \text{ 公尺 (到半圓礮頂);}$$

$$R' = 2.01 \times 1.8 = 3.62 \text{ 公尺}^2;$$

$$V' = 3.62 \times 0.97 + \frac{1}{2} \pi 0.92^2 \times 2.01 = 3.5 + 2.56$$

$$= 6.06 \text{ 公尺}^3.$$

实际火爐爐膛容积比計算值大，这样便于在需要情況下多加煤，以应付天气的特殊变化。

5. 热风机加热室計算:

(1) 加热室內烟氣平均溫度:

$$t'_r = \frac{t_r + t''_r}{2},$$

式中 t''_r 为烟氣由热风机向外排出的溫度，其計算公式为:

$$t''_r = \frac{I''_r}{\beta g_r C''_r} = \frac{I'_r(1-0.65)}{\beta g_r C''_r},$$

式中 g_r 为每公斤煤产生的烟氣重量 $= 1 + \beta_0 L_0 + g_a = 1 + 1.4 \times 10.65 + 21.4 = 37.4$ 公斤(烟氣)/公斤(煤);

C''_r 为燃燒的比热 $= 0.243 + 0.000027 t''_r$ 大卡/公斤 $^{\circ}\text{C}$ 。

令 $t''_r = 250^{\circ}\text{C}$,

則 $C''_r = 0.242 + 0.000027 \times 250 = 0.250$ 大卡/公斤 $^{\circ}\text{C}$ 。

$\therefore t''_r = \frac{1800000(1-0.65)}{194 \times 37.4 \times 0.25} = 250^{\circ}\text{C}$ ，与假設 250°C 相同

$$\text{又得 } t'_r = \frac{700 + 250}{2} = 475^{\circ}\text{C}.$$

(2) 烟氣与空气流速計算:

① 烟氣:

当烟氣在平均溫度 475°C 时的比重为

$$\gamma_r = \gamma \cdot \frac{T}{T_r} = 1.34 \times \frac{273}{273 + 475} = 0.486 \text{ 公斤/公尺}^3;$$

当 $t'_r = 475^\circ\text{C}$ 时的烟气体积为

$$V_r = \frac{\beta(1 + PL_0 + g_n)}{\gamma_r} = \frac{194 \times 87.4}{0.486} = 14900 \text{ 公尺}^3/\text{秒}$$

为了提高加热室效率，用三道隔墙将加热室分为三部分，以加快烟气的流速和使烟气与管壁获得良好的接触。铜管长6"，管子每道隔墙进程为 $\frac{6}{4} = 1.5$ 公尺，每一进程内管子间流动体积为 $11 \times 0.030 \times 1.5 = 0.495 \text{ 公尺}^3$ ，烟气的平均流速为

$$\frac{4.14}{0.495} = 8.38 \text{ 公尺/秒}$$

当温度为 700°C 时的烟气流速为

$$8.38 \times \frac{273 + 700}{273 + 475} = 10.9 \text{ 公尺/秒}$$

当温度为 250°C 时的烟气流速为

$$8.38 \times \frac{273 + 250}{273 + 475} = 0.59 \text{ 公尺/秒}$$

② 空气：

接前面计算，空气在管中平均流速为7.2公尺/秒，管子出口处流速为

$$7.2 \times \frac{273 + 100}{273 + 49.5} = 8.5 \text{ 公尺/秒}$$

(3) 传热系数K值计算：

按公式

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

式中 α_1 ——由烟气传热給加热面的对流传热系数,大卡/公尺²小时[°]C;

δ ——加热面壁厚,公尺;

λ ——加热面的传热系数,大卡/公尺²小时[°]C;

α_2 ——由壁传热給空气的对流传热系数,大卡/公尺²小时[°]C。

① α_1 值計算:

假定管子的平均温度为350[°]C, 則管子与烟气的平均温度为

$$\frac{350 + 475}{2} = 412.5^{\circ}\text{C}.$$

管子与空气間的平均温度为

$$\frac{350 + 43.5}{2} = 196.75^{\circ}\text{C}.$$

根据“矿井井筒的保温”一書中表33查出烟气的

$$\begin{cases} V=8.38 \\ \alpha_0=55.8 \end{cases} \begin{cases} t=412.5^{\circ}\text{C} \\ \beta_t=0.70 \end{cases} \begin{cases} d=0.11\text{m} \\ \beta_d=0.97 \end{cases} \begin{cases} n=0.135\text{m} \\ \beta_n=0.91 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_0 \cdot \beta_t \cdot \left(\frac{74 \times \beta_d + 40 \times \beta_d'}{74 + 40} \right) \\ &= 55.8 \times 0.70 \times \left(\frac{74 \times 0.97 + 0.91 \times 40}{74 + 40} \right) \\ &= 36.9 \text{大卡/公尺}^2 \text{小时}^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

② α_2 值計算:

由同書表35查出空气的

$$\begin{cases} V=7.2 \\ \alpha_0=26.5 \end{cases} \begin{cases} t=196.75^\circ\text{C} \\ \beta_t=0.72 \end{cases} \begin{cases} d=0.097 \\ \beta_d=1 \end{cases} \begin{cases} d'=0.112 \\ \beta_{d'}=0.99 \end{cases} \begin{cases} L=6 \\ \beta_L=0.91 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} a_2 &= \alpha_0 \cdot \beta \cdot \left(\frac{74 \times \beta_d + 40 \times \beta_{d'}}{74 + 40} \right) \cdot \beta_L \\ &= 26.5 \times 0.72 \left(\frac{74 \times 1 + 40 \times 0.99}{74 + 40} \right) \times 0.91 \\ &= 17.3 \text{ 大卡/公尺}^2 \text{ 小时}^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

③ 驗算管壁平均溫度：

$$D_{L,T} = \frac{\alpha_1 t'_r + \alpha_2 t}{\alpha_1 + \alpha_2} = \frac{36.9 \times 475 + 17.3 \times 43.5}{36.9 + 17.3} = 337^\circ\text{C}.$$

此結果與假定的數字相差不大，故不再復算。

④ 鋼管壁厚6公厘，导热系数 $\lambda=40$ 大卡/公尺²小时[°]C

$$\begin{aligned} \therefore K &= \frac{1}{\frac{1}{36.9} + \frac{0.006}{40} + \frac{7}{17.3}} = \frac{1}{0.08525} \\ &= 11.7 \text{ 大卡/公尺}^2 \text{ 小时}^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

因清灰間隔期間，管子外壁將被烟氣堆積而阻止熱的傳導，故K值尚應降低85%，即

$$K' = 11.7 (1 - 0.85) = 7.6 \text{ 大卡/公尺}^2 \text{ 小时}^\circ\text{C}.$$

(4) 加熱室加熱面積計算

$$\text{按公式 } F = \frac{Q}{K' \Delta t},$$

$$\text{式中 } \Delta t \text{ 為平均溫度差} = \frac{(t'_r - t''_n) - (t''_r - t'_n)}{2.3 \lg \frac{t'_r - t''_n}{t''_r - t'_n}}$$

$$= \frac{(700-100)-(250+18)}{2.3 \lg \frac{700-100}{250+18}} = \frac{337}{2.3 \lg 2.28}$$

$$= \frac{337}{2.3 \times 0.36} = 407^{\circ} \text{C},$$

$$\therefore F = \frac{845000}{7.6 \times 407} = 274 \text{ 公尺}^2.$$

· 热风管 114 根，其中 5" 的 40 根，4" 的 74 根，每根管子每公尺加热面积为：

$$f = \frac{0.14\pi + 0.114\pi}{2} = 0.4 \text{ 公尺}^2.$$

所需鋼管长度

$$L = \frac{274}{114 \times 0.14} = 6 \text{ 公尺}.$$

· 現采用的鋼管长为 6.6 公尺，有效长为 6 公尺。因此，按計算結果，本設計可以解决井筒不致冰冻的入风量为 3040 公尺³/分。

三、热风机的結構

1. 布置：

· 本热风机利用原有截煤机修理室进行設計建造，設備器材也采用矿上現有的。鑒于暖气鍋爐的烟囱能力有余，所以确定修建烟道一条，直通鍋爐烟道。热风机与鍋爐的烟气共同由鍋爐烟囱排出至大气中。由于上述的迁就，从

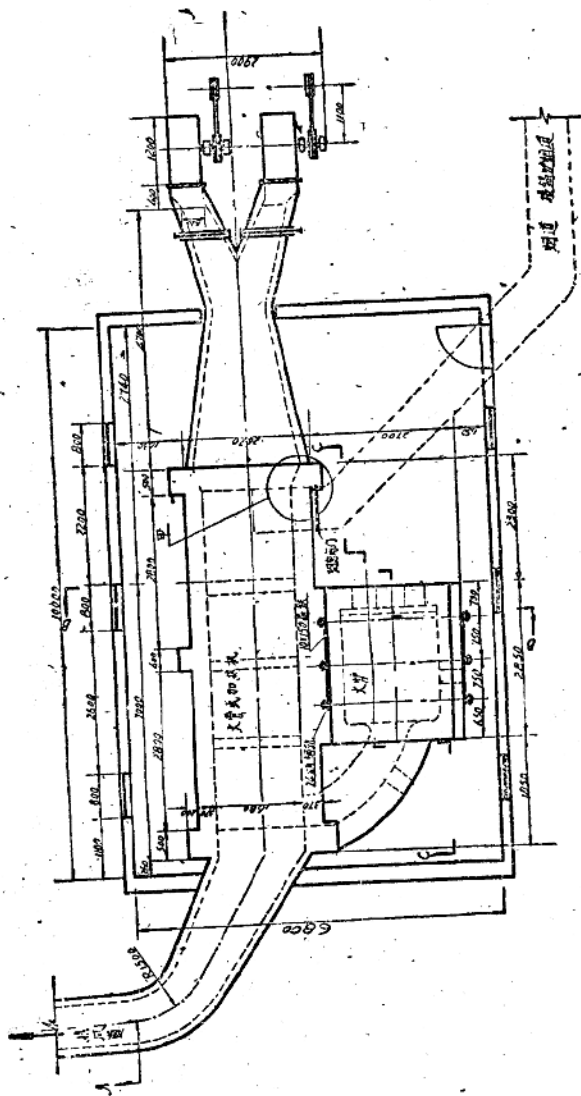


图 1 热风机平面图

平面图(图1)中可以看出是不太合理的。如受房屋面积的限制,热风机不可能再扩大,容量较小;室外另搭房子,安设两台扇风机,造成管理上的不便;整个机房的位置,距离井筒及烟囱较远,使风道及烟道加长,造成在建设上多费工料,在使用上增加热风的风压及热量损失。

2. 空气加热室(图2):

本加热室系采取空气通过管内,火焰围绕钢管外周,并垂直于钢管与空气成逆向状态而流动。管子原拟全部用4"钢管,因利用现有器材,改为4"与5"钢管交错排列配合使用(图3)。管长6.6公尺,两端焊接于花板中,花板管子伸出处用5×50扁钢电焊联接,借以增加在高温状态下的机械强度,以保证花板不致变形。为了消除花板在进风口的一端,由于管口伸出凹凸不平所造成的涡流现象,故于该处涂抹耐火泥,以求光滑平坦。

加热室进风口至扇风机出口的风道,长度按倾度7~8°设计,以消灭涡流,并使空气均匀地进入钢管中,充分发挥每根管子的热力交换作用。

热风机内壁,按纵向而言,由火焰进入端算起,全长 $\frac{2}{3}$ 均衬耐火砖,外部及其他部分全用普通砖材。

加热室顶部,原拟用异形耐火砖做成平顶,后因缺乏该项材料,故改用 $\frac{1}{2}$ 半径而做成拱形。为了加大烟气在加热室中的流动速度,借以提高传热系数,增加空气温度,并使烟垂直于火管流动,故在加热室中间增设三道隔墙,钢管中隔墙用耐火泥碎砖块填塞而成(最好用异形砖比较耐久可靠)。