

苏联电站部国家地区发电厂及线路改进局资料

鍋爐爐膛燃燒帶的構造, 工作条件及耐火材料

苏联技术科学副博士 И. Я. 查尔金德工程师 瓦西列娃工程师著
夏 陽翻譯 陈 珩校訂

电 力 工 業 出 版 社

內 容 提 要

在这本小册子中，主要叙述燃燒帶工作的温度条件，燃燒帶破坏的原因，以及燃燒帶的構造和組成成分。此外，为了使讀者了解燃燒帶工作条件和破坏原因，又將苏联电站部所屬發電厂的鍋爐爐膛里所裝置的各种構造的燃燒帶和苏联国家地区發電厂及綫路改进局試驗室所建議的数种構造的燃燒帶的运行經驗，加以綜合說明。

本書可供在發電厂鍋爐分場內工作的技術人員參考。

МЭС СССР
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРЕСТ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И РАЦИОНАЛИЗАЦИИ
РАЙОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И СЕТЕЙ „ОРГРЭС“

КОНСТРУКЦИИ, УСЛОВИЯ РАБОТЫ И ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ЗАЖИГАТЕЛЬНЫХ ПОЯСОВ КОТЕЛЬНЫХ ТОПОК

根据苏联国立动力出版社1950年莫斯科版翻譯

鍋爐爐膛燃燒帶的構造, 工作条件及耐火材料

夏 陽翻譯 陈 珩校訂

429 R 97

電力工業出版社出版 (北京府右街26号)

北京市書刊出版業營業證可証出字第 082 号

北京市印刷一厂排印 新华書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 1 $\frac{1}{2}$ 印張 * 23千字

1956年10月北京第1版

1956年10月北京第1次印刷(0001—5,100册)

統一書号: 15036·372 定价(第10类)0.19元

目 录

I、引言.....	2
II、燃燒帶工作的溫度條件.....	4
III、燃燒帶破壞的原因.....	9
IV、燃燒帶的構造.....	15
結束語.....	37

I、引言

具有足够高的温度是煤粉爐經濟和稳定运行的条件之一；特别是在燃用含揮發分低的煤时，这一点更为重要。当煤粉爐膛里水冷壁管分佈稠密、冷却程度强时，就大大地降低了火焰的温度。在这种情况下，便不能保証良好燃燒的必要条件。在低負荷下运行时，其意义就更大。

为了改善燃燒条件，常用下列方法改变爐膛水冷壁管的面积：

- a. 减少加水冷壁管的程度；
6. 部分水冷壁上遮盖一層耐火材料。

水冷壁上被耐火材料遮盖住的这一段叫做燃燒帶。

减少加水冷壁的程度，会給爐牆的暴露地方造成严重的不利条件。因此，这种方法在最近的鍋爐結構中未被採用。

水冷壁表面遮盖耐火材料这种方法已广泛推行，因为这种燃燒帶的破坏並不牽連到爐牆，故不会使它的坚固性受到破坏。此外，这种燃燒帶的構造易於根据所用燃料的特性来改变它的尺寸。

實踐証明：目前所採用的燃燒帶的結構大部分不够坚固、耐用，並往往成为破坏爐膛正常燃燒的原因。

在个别情况下，燃燒帶的破坏甚至也能引起停爐的必

要。

修复燃燒帶，要耗費許多供应量很缺乏的耐火材料^①，並且需要大量的人力。

下面介紹苏联国家地区發電厂及綫路改进局 (ОРГЭ PC) 从很多發電厂內所蒐集的資料，这些資料指出，燃燒帶的寿命基本上不超过 2—3 个月，也就是說少於兩次小修之間的間隔時間。燃燒帶的損坏，大部分都是不均匀的，这样就破坏了某些露在外面的水冷壁管內的水循环作用，以致在許多場合下發生了事故。

在水冷壁上裝置燃燒帶时，如果管距大於管子直徑的 1.5 倍，那么，在管子上固定耐火材料就沒有什么特別困难。如果管距小於管子直徑的 1.5 倍，要在管子上固定耐火材料則會發生相当大的困难。可靠地固定耐火材料，是一件很不容易的事情，事实上這個問題到最近为止尚未徹底得到解决。

为了了解工作条件和破坏的原因，把在电站部 (МЭС) 所屬發電厂的鍋爐爐膛里所裝置的各种構造的燃燒帶，及苏联国家地区發電厂及綫路改进局試驗室所建議的数种構造的燃燒帶的运行經驗，加以綜合。

^① 按照电站部的临时标准，燃燒帶表面每平方公尺需要耗費耐火材料 0.7—0.8 吨/年。

II、燃燒帶工作的溫度條件

使燃燒帶破壞的過程與爐膛溫度有很大關係。由於溫度的上升焦渣(又名焦子)對於耐火材料的腐蝕作用急劇加強，燃燒帶中的熱應力亦增大，在其上則產生裂縫和損壞現象。

燃燒帶的表面溫度直接影響到耐火材料的堅固性。它的設計構造應該作成這樣，即朝向爐膛的燃燒帶表面最高溫度，不得超過耐火材料按工作可靠性而言的最高容許程度。這溫度與材料的物理-化學特性有關。關於各種牌號耐火材料的溫度選擇問題，在下章中討論。

完全可以了解，表面溫度愈低，燃燒帶的工作條件愈容易，但是在低溫度的情況下，又不能保證爐膛穩定而經濟地工作。

在另一方面，欲使燃燒帶表面的溫度低，就要將它的厚度減少，如此則大大地降低了它的機械強度。由於測量方法的複雜，這種溫度的實際數值，即使也曾進行過測量，但很明顯，數據也是有着一定的限度的，因為燃燒帶表面溫度真正數值的可靠數據在文件中還無記載。

這溫度可借計算方法，由下面熱平衡方程式得出

$$C_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cm}^{sc}}{100} \right)^4 \right] = \frac{(t_{cm}^{sc} - t_{cm}) \lambda \cdot e}{S_0} 1,$$

式中 C_1 ——輻射系数(大卡/公尺²•°C•小时);

T_1 ——爐膛温度(°绝对温度——即°K);

$T_{cm}^{\text{н}}$ ——向爐膛一面的燃燒帶表面温度(°绝对温度——即°K);

$t_{cm}^{\text{н}}$ ——同上(°C);

t_{cm} ——管壁温度(管壁温度变化很小, 故採用常数)(°C);

λ ——燃燒帶材料的导热系数(大卡/公尺•°C•小时);

e ——在每一平方公尺的爐牆上, 与磚相接觸的管子的表面积(公尺²/公尺²);

S_0 ——燃燒帶的平均厚度(通过这个厚度把热傳到管子上)(公尺)。

等式左边为燃燒帶表面每平方公尺所承受的輻射热量。右边为每平方公尺燃燒帶傳給水冷壁管的热量。

应注意, 本公式只适用於燃燒帶材料为一种物質时, 並且在耐火材料靠近管子的地方, 留有空气間隙, 这一部分間隙的热阻力沒有計算在內。

为了查明各种因素對於燃燒帶表面温度的影响, 曾經作如下的近似計算。

用三种导热系数不同的材料, 在不同厚度和不同爐膛温度的条件下, 分別求出燃燒帶的表面温度。

計算时所採用的常数为:

① 羅馬金著的“煤粉爐膛水冷壁表面的結構和运行”苏联国立动力出版社, 1933年出版。

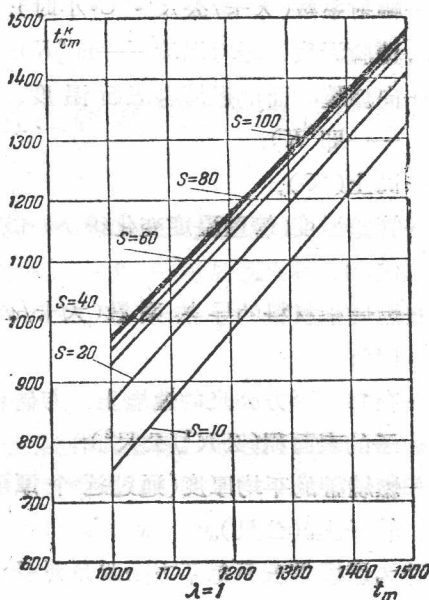


圖 1 爐膛溫度 t_m 和燃燒帶厚度 S 對於燃燒帶表面溫度 t_{cm}^N 的影響

輻射係數(對於無煙煤 $C=3$)，水冷壁的管壁溫度 $t_{cm}=300^{\circ}\text{C}$ ，以及爐牆的填充係數 $e=1.0$ 。

計算結果如圖所示(圖 1, 2, 3)。

由圖可知，燃燒帶表面溫度與所用材料的導熱性有很大關係。例如，當燃燒帶的厚度為 40—60 公厘(在多數設計構造中經常採用)和 $\lambda=1$ 時，燃燒帶的表面溫度將接近於爐膛溫度，當 $\lambda=4$ 時，燃燒帶表面溫度將比爐膛溫度低 150—180 $^{\circ}\text{C}$ ，而當 $\lambda=10$ 時，則與爐膛溫度相差 300 $^{\circ}\text{C}$ 。

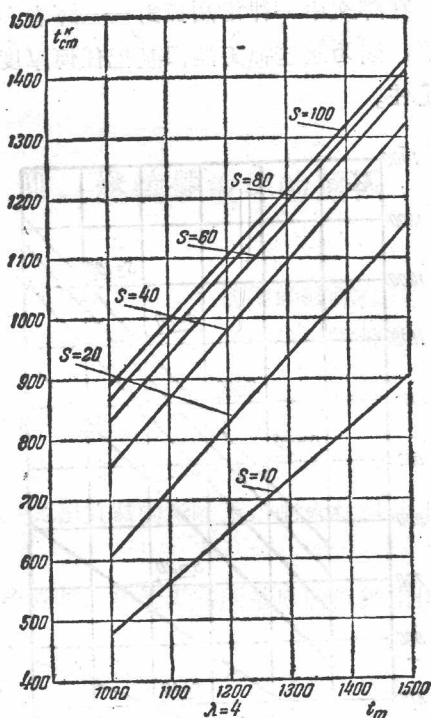


圖 2 爐膛溫度 t_m 和燃燒帶厚度 S 對於燃燒帶表面溫度 t_{cm} 的影響

用減少燃燒帶厚度的方法，可以得到降低燃燒帶表面溫度的效果。但是，必須注意到，太薄的燃燒帶在構造上是不堅固的。

在這一點上，帶抓釘（又名管刺或爬釘，不過它的主要用途是抓固燃燒帶，故命名為抓釘比較恰當，為了統一

概念起見，在譯文中一律沿用抓釘——譯者)的水冷壁是最好的結構，因為這些抓釘能保證把任何厚度的燃燒帶都很好地固定住。

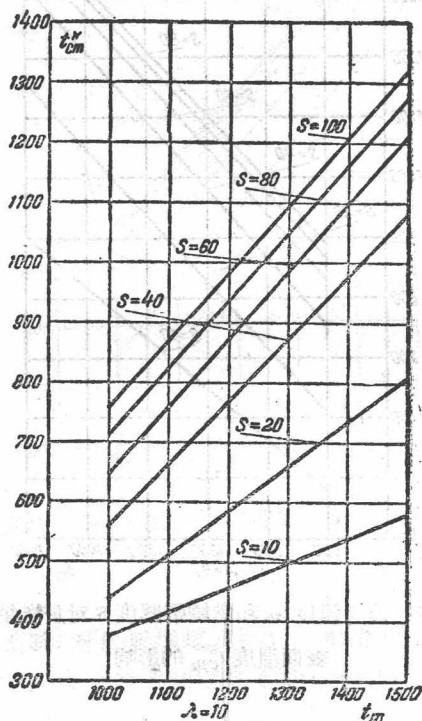


圖 3 爐膛溫度 t_m 和燃燒帶的厚度 S 對於燃燒

帶表面溫度 $t_{cm}^{\circ}\text{C}$ 的影響

因而適當地選擇燃燒帶的厚度和材料，便能使其表面溫度既適合於燃料的燃燒條件，又能保證不致受到焦渣腐

蝕——焦渣腐蝕是破壞燃燒帶的主要原因。

III、燃燒帶破壞的原因

以下各種過程能夠引起燃燒帶的破壞：

1. 焦渣的腐蝕，也就是說耐火材料被流動的熔渣所溶解。

2. 由於熱應力的緣故產生裂縫。

對於裂開的抵抗力，叫做抗熱強度（或稱耐熱性）。

3. 在高溫度和負載的影響下，耐火材料軟化，引起變形。

4. 在打焦渣時，除渣工具所造成的機械損傷以及灰和煤粉的磨損。

燃燒帶耐火層的結構通常分段支持，因此由於燃燒帶本身重量所引起的負載應力是不大的，照例，不超過 $0.5—0.8$ 公斤/公分²。大多數牌號的燒粘土磚，當均勻地承受 $1350—1400^{\circ}\text{C}$ 的溫度時，許可負載達 2 公斤/公分²。

在沿燃燒帶厚度方面的實際平均溫度不大於 $800—1000^{\circ}\text{C}$ 。

由於除焦和受灰及煤粉磨損所產生的機械破壞，僅限於局部，因此對於燃燒帶的壽命不會有多大的影響。

如果燃燒帶的構造不能保證自由膨脹，則水冷壁管受

热膨胀后的移动能引起更严重的机械破坏，所以装燃烧带时，应预先考虑到这种破坏的可能性。

因此，燃烧带的破坏，也就是它寿命的长短，基本上由两个因素来决定，即：

焦渣腐蚀及热应力作用。焦渣对耐火材料的腐蚀是极其复杂的物理-化学过程，这种过程包括：耐火材料在焦渣中溶解、耐火材料与焦渣在一起形成易熔的结晶体(共晶体)以及流动的熔渣对于耐火材料的机械破坏等。

物理-化学相互作用的过程——耐火材料的溶解和易熔混合物(共晶体)的生成与耐火材料和焦渣的化学成分、燃烧带向着炉膛的表面温度，以及耐火材料与焦渣之间的反应面积大小有关。

当焦渣内含有碱 Na_2O ； K_2O 及大于百分之十的氧化物 Fe_2O_3 ； CaO ； MgO 时，则它与普通成分组成的烧粘土耐火材料之间相互作用的活动性，就大大提高了。

如果在焦渣内铝矾土 (Al_2O_3) 和氧化硅 (SiO_2) 的含量增大，那末相互作用的活动性就要减低。

对于溶解过程及化学反应速度有影响的，首先是温度。

由于温度的升高，溶解及化学反应的速度都加快。

两个过程——溶解及易熔混合物的形成——沿着焦渣与耐火材料相接触的表面产生，因而它们的作用强度同样与其面积大小有关。

同时应该理解到，所谓焦渣与耐火材料相互作用的表面不仅是指外表面，而且也包括被焦渣渗入的耐火材料气

孔内部表面。所以耐火材料愈松，焦渣腐蝕作用愈强。除松度外，焦渣与耐火材料間反应面积的大小还与焦渣的粘度有关。在粘度大时，焦渣不能很深地滲入耐火材料內，粘度小就相当於流动性高，这时焦渣便能足够深地滲入耐火材料內，使它腐蝕。

大家知道，当温度升高时，焦渣的粘度急剧下降。焦渣的粘度与温度的相互关系从下面的公式可以看出：

$$\eta = A \cdot t^{-B},$$

式中 η ——焦渣粘度，泊 (пяз);

A, B, Z ——對於一定焦渣的常数;

t ——温度($^{\circ}\text{C}$)。

从上述可見，温度對於焦渣腐蝕过程的影响，不仅是加速了它的化学反应及溶解作用，而且也增加了熔渣向耐火材料內的滲入作用，致使耐火材料严重地受到破坏。

流动的熔渣對於耐火材料的机械破坏，也加剧了焦渣的腐蝕作用，因为在这种情况下，耐火材料常常有新的表面暴露出来。

我們不能改变焦渣的化学成分，因为这种成分是由爐膛內所燒的燃料来决定的。

因而有必要按照焦渣的特性及現有的成分，選擇足以保証燃燒帶工作坚固性的合适耐火材料。

在选好耐火材料后，我們應該确定能保証有可靠抵抗熔渣腐蝕性的最高容許温度。

目前，还没有測定耐火材料抵抗焦渣破坏力的标准方法①。只有一些間接試驗方法以及耐火材料在爐膛內实际

工作的一些資料，按所有这些資料，只能概約地指出，耐火材料和焦渣在一定条件下相互配合的許可溫度。

第一种試驗方法是，把焦渣和耐火材料的混合物做成三角錐，然后求出它变形时的熔化溫度。

在表 1 中列举着耐火材料松度的資料，及牌号为 T 的頓巴斯煤焦渣和几种耐火材料混合物的可熔性的資料。

由此表中可以看出，当耐火材料中 Al_2O_3 的含量增加时，混合物的三角錐变形溫度也升高。但是在所有的情况下，这种溫度低於純耐火材料的溫度而高於純焦渣的溫度。

根据用混合物做成的样品的变形溫度，考虑到耐火材料的松度，就可定出燃燒帶表面的極限溫度。

表 1

序号	耐火材料的名称	耐火材料的松度	焦渣三角錐的变形溫度	耐火材料三角錐的变形溫度	由焦渣及耐火材料混合物作成的三角錐的变形溫度 混合物中含：耐火材料...60%和焦渣...40%
1.	25% Al_2O_3 的燒粘土	16.8%	1150	1625	1355
2.	35% Al_2O_3 的燒粘土	14.9%	1150	1680	1480
3.	高氧化鋁燒粘土， Al_2O_3 含量为40%	16.7%	1150	1730	1600
4.	高氧化鋁燒粘土， Al_2O_3 含量为60%	18%	1150	1800	1680
5.	可塑性鉻鉄矿制的耐火材料， Cr_2O_3 含量为36%	5—8%	1150	1750	1300

① 全苏标准 (OCT) 3270 所規定的關於測定抵抗焦渣腐蝕性的方法，建議用於平爐渣。

按照表內的資料，可以大約地規定出耐火材料抗焦渣腐蝕的極限溫度如下：

燒粘土耐火材料

(Al_2O_3 的含量為 25—35%).....1300—1380°C

高氧化鋁燒粘土

(Al_2O_3 的含量為 40—40%).....1380—1450°C

鉻鐵礦制成的耐火材料1300°C

對於燒粘土和高氧化鋁耐火材料，這種許可溫度還要用其他研究來證明適合。

損壞的另一種形式——因熱應力而產生的裂縫，對於燃燒帶的破壞影響略小於焦渣腐蝕對它的破壞。但是在某些條件下這種破壞可能也是很嚴重的，由於受熱而產生的裂縫，加強了焦渣的腐蝕作用，因為液態的熔渣滲入裂縫內，增加了焦渣和耐火材料的接觸面。

可能產生裂縫的原因有二：當爐腔溫度急劇變化時，例如在火焰中斷的情況下，結果使沿着爐牆厚度方向產生溫度差，引起剪切應力。由於爐腔內燃燒情況的急劇變化而產生的裂縫，對於燃燒帶的壽命不能有多大的影響，因為爐腔內燃燒情況的突然變化只是偶然的現象，在正常條件下很少遇到。因此這個因素我們不予考慮。

燃燒帶層中的熱應力是有更嚴重的影響的，往往會使燃燒帶破壞。

剪切應力可按下面的公式求得：

$$\sigma_{\text{сдвига}} = \frac{G\alpha(t_1 - t_2)}{2h} \text{ 公斤/公分}^2,$$

式中 $\sigma_{\text{сдвига}}$ ——剪切应力(公斤/公分²);

G ——耐火材料的剪切彈性系数;

l ——与热流相垂直的平面上耐火制品的最大尺寸
(公分);

α ——耐火材料热膨胀系数;

h ——耐火材料的厚度(公分);

t_1 ——燃燒帶向火一面的温度(°C);

t_2 ——燃燒帶向管子一面的温度(°C)。

對於燒粘土耐火材料 G 約等於 1×10^5 公斤/公分²,
 $\alpha = 6 \times 10^{-6}$ 。

耐火材料的厚度減少, 則温度差 $\frac{t_1 - t_2}{h}$ 便增大, 因为分数中分子的減少要比分母的減少小得多。可見隨着耐火材料厚度的減少, 热应力及裂开的危險性將增加。

因此, 当燃燒帶厚度減少时, 它的表面温度就降低, 由於这种緣故, 焦渣腐蝕也減少, 但同时沿着截面的温度降增加, 热应力也增加。所以選擇燃燒帶的适宜厚度时应考虑到这两个因素。

按这些条件, 导热性高的耐火材料比其他耐火材料更适合於做燃燒帶, 因为这种导热性高的耐火材料表面温度較低, 允許裝置較厚的燃燒帶, 从而就減少了沿截面的温度降。

几种不同材料的燃燒帶內所产生的剪切热应力示於表 2 中。

应力可按下列公式求得:

$$\sigma_{\text{сдвига}} = \frac{G \cdot l \cdot \alpha (t_1 - t_2)}{2h} \text{ 公斤/公分}^2,$$

表 2

耐火材料的名称	燃燒帶厚度 (公厘)	在下列爐膛溫度時的剪切应力 公斤/公分 ²		
		1300°C	1400°C	1500°C
燒粘土 ($G=1 \times 10^5$, $\alpha=6 \times 10^{-6}$)	60	720	800	870
	40	1040	1200	1250
	20	2050	2250	2450
	10	3600	4150	4700
鉻鉄砂 ($G=4 \times 10^5$, $\alpha=9.2 \times 10^{-6}$)	60	5700	5900	6400
	40	6300	7200	7800
	20	11 300	12 900	15 000
金鋼砂 ($G=2 \times 10^5$, $\alpha=4.7 \times 10^{-6}$)	60	810	940	1080
	40	1000	1200	1380
	20	1300	1550	1780
	10	1400	1740	1920

表 2 的資料說明，倘燃燒帶厚度減少，熱应力便大大增加；用具有高導熱性的金鋼砂作成的燃燒帶則屬例外。

此外，當產生的熱应力相當小時，金鋼砂耐火材料，有着很高的機械強度。

由於軟化變形和存在着裂縫（裂縫在某種程度上起着伸縮縫的作用）實際發生的熱应力將減少。

IV、燃燒帶的構造

根據水冷壁表面管距的尺寸，可將燃燒帶的構造分作