

# 锅炉炉排防焦箱的工况壁温与结渣问题的防止对策

张仲敏<sup>1</sup>, 刘立波<sup>1</sup>, 谢德惠<sup>2</sup>, 赵 贺<sup>3</sup>

(1. 辽宁盛昌绿能锅炉有限公司之光锅炉研发中心, 北京 100195;

2. 大连阳光锅炉辅机有限公司, 辽宁 大连 116037;

3. 黑山锅炉压力容器检验所, 辽宁 锦州 121400)

## The Wall Temperature of Anti-slagging Box Attached to Boiler's Traveling Grate and the Countermeasures of Slagging

ZHANG Zhong-min<sup>1</sup>, LIU Li-bo<sup>1</sup>, XIE De-hui<sup>2</sup>, ZHAO He<sup>3</sup>

(1. Zhiguang Boiler Research Center of Liaoning Shengchang Green

Energy Boiler Co. Ltd., Beijing 100195, China;

2. Dalian Yangguang Boiler Auxiliary Machine Co. Ltd., Dalian 116037, Liaoning, China;

3. Heishan Boiler & Pressure Vessels Inspection Institute, Jinzhou 121400, Liaoning, China)

**摘 要:** 在壁温分析基础上, 讨论了目前普遍存在的锅炉炉排两侧结渣现象的原因, 介绍了结渣给锅炉运行带来的各种常见不利后果, 重点提出不同容量锅炉炉排结渣的防范措施。

**关键词:** 工业锅炉; 链条炉排; 防焦箱; 结渣; 预防措施

中图分类号: TK227

文献标识码: B



第一作者: 张仲敏 (1961 -), 女, 工程师。长期从事工业锅炉设计与开发技术工作, 对解决处理锅炉运行故障有较丰富经验。

## 0 引言

链条炉排锅炉发展历程中, 在炉排燃烧层的两侧, 为防止结渣, 一般皆设置防焦箱——“矩形防焦箱”或“圆筒形防焦集箱”(即水冷壁的两侧光面下集箱)。其原因在于炙热的燃烧层与温度较低的防焦箱壁面(壁温接近内部介质温度)相对运动接触时, 不易引起结渣现象。但目前情况并非如此。

有些煤质差的锅炉, 为有利于引燃与燃烧, 于炉膛两侧墙水冷壁下部, 铺设耐火混凝土卫燃带, 无疑是有益的。但是, 水冷壁下集箱也用耐火隔热层包覆。另外, 我国有些锅炉用户水质欠佳, 为防止防焦箱内壁因结垢而导致壁温升高、严重时开裂, 也涂以耐热隔热层(如图1)。上述措施未顾及易于结渣而带来颇大危害。

严重的是, 为了锅炉“适应性强”, 即使煤质、水质较好的锅炉用户也加以效仿, 并已形成惯例——

目前我国新设计的锅炉水冷壁下集箱几乎皆涂以耐火隔热层。

据燃煤锅炉用户与长期从事炉排运行调试实践的人员反映, 上述炉排两侧前段高温部分, 大部分皆出现明显结渣现象, 特别是灰熔点较低的燃料尤甚。

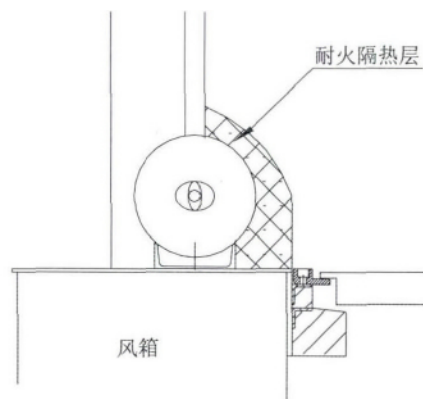


图1 下集箱耐火隔热层

锅炉运行部门深知结渣会带来较大危害: 可能造成炉排片损坏、脱落、变形, 炉排起拱; 还可能造成

收稿日期: 2015-06-08

炉排断火,火床燃烧不均,炉排漏风等现象;此外,清渣时炉门频繁开启,冷空气进入炉膛,都会降低锅炉热效率。即使短期内修复,也将影响正常供汽、供水;严重时将被迫停炉检修。

这种较普遍存在的结渣现象必须消除,防焦箱的作用应该充分发挥。

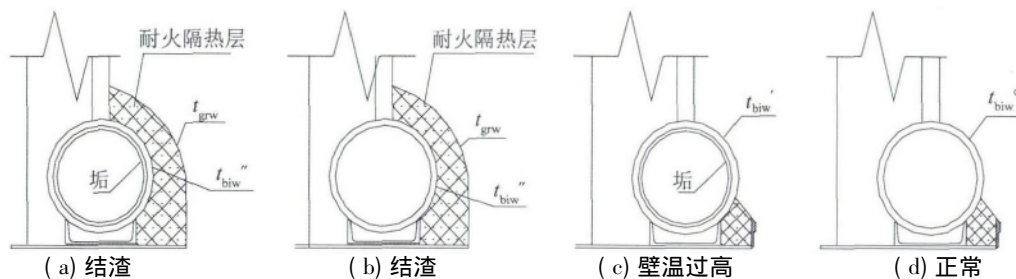


图2 壁面温度示意图

由于工业锅炉压力较低,集箱壁厚与直径的比值较小,则按平板传热处理,与圆筒相比,误差很小,对以下分析结果基本无影响。

(1) 有隔热层与水垢时,防焦集箱的壁温与热负荷(用 $q''$ 表示)

依据传热学<sup>[1]</sup>,有:

$$t_{grw} - t_{biw}'' = q'' \delta_{gr} / \lambda_{gr}$$

$$t_{biw}'' - t_{bin}'' = q'' \delta / \lambda$$

$$t_{bin}'' - t_{gn}'' = q'' \delta_g / \lambda_g$$

$$t_{gn}'' - t_j = q'' / \alpha_j$$

以上4式相加,得

$$t_{biw}'' - t_j = q'' (\delta / \lambda + \delta_g / \lambda_g + 1 / \alpha_j)$$

而热负荷

$$q'' = (t_{hy} - t_j) / (1 / \alpha_{hy} + \delta_{gr} / \lambda_{gr} + \delta / \lambda + \delta_g / \lambda_g + 1 / \alpha_j) \quad (1)$$

于是外壁温度与内部介质温度的差值

$$t_{biw}'' - t_j = (t_{hy} - t_j) (\delta / \lambda + \delta_g / \lambda_g + 1 / \alpha_j) / (1 / \alpha_{hy} + \delta_{gr} / \lambda_{gr} + \delta / \lambda + \delta_g / \lambda_g + 1 / \alpha_j) \quad (2)$$

式中  $q''$ ——有隔热层与水垢的单位面积热负荷,  $W/m^2$

$t_{grw}$ ——隔热层外壁温度,  $^{\circ}C$

$t_{biw}''$ ——防焦箱外壁温度,  $^{\circ}C$

$t_{bin}''$ ——防焦箱内壁温度,  $^{\circ}C$

$t_{gn}''$ ——水垢内壁温度,  $^{\circ}C$

$t_j$ ——内部介质温度, 取  $100^{\circ}C$

$t_{hy}$ ——燃烧层火焰温度, 取  $1500^{\circ}C$

$\delta_{gr}$ ——隔热层厚度, 取  $100\text{ mm}$

$\delta$ ——防焦集箱壁厚, 取  $20\text{ mm}$

$\delta_g$ ——水垢厚度, 取  $5\text{ mm}$

$\lambda_{gr}$ ——隔热层的导热系数, 取  $1.3\text{ W/(m} \cdot ^{\circ}C)$

## 1 防焦箱壁温分析

防焦箱的表面温度与结渣现象直接相关。

以下分析炉排前部高温区段防焦箱(两侧水冷壁下集箱)的工况壁温(见图2)。

$\lambda$ ——碳钢防焦箱的导热系数, 取  $44\text{ W/(m} \cdot ^{\circ}C)$

$\lambda_g$ ——水垢的导热系数, 取  $1.15\text{ W/(m} \cdot ^{\circ}C)$

$\alpha_{hy}$ ——燃烧层火焰放热系数, 取  $120\text{ W/(m}^2 \cdot ^{\circ}C)$

$\alpha_j$ ——内部介质放热系数, 取  $5000\text{ W/(m}^2 \cdot ^{\circ}C)$

代入式(1)与式(2)得:

$$t_{biw}'' = t_j + 77.6^{\circ}C$$

$$q'' = 15.5 \times 10^3\text{ W/m}^2$$

可见,由于有  $100\text{ mm}$  厚的隔热层,防焦箱的外壁温度  $t_{biw}''$  不高,但耐火隔热层的外表面温度  $t_{grw}$  却颇高:

$$t_{grw} = t_{biw}'' + q'' \delta_{gr} / \lambda_{gr} = 1371^{\circ}C$$

而烟煤软化温度(灰熔点,  $ST, t_2$ )一般约为  $1250^{\circ}C$ ,则耐火隔热层的外表面的结渣现象已难避免。

(2) 有隔热层无水垢时,防焦集箱的壁温与热负荷(用 $q''$ 表示)

将式(1)与式(2)中的  $\delta_g / \lambda_g$  取消,计算得

$$t_{biw}'' = t_j + 10.7^{\circ}C$$

$$q'' = 16.3 \times 10^3\text{ W/m}^2$$

可见,  $100\text{ mm}$  厚的隔热层当无水垢时,防焦箱的外壁温度更低一些,但是耐火隔热层的外表面温度仍颇高:

$$t_{grw} = t_{biw}'' + q'' \delta_{gr} / \lambda_{gr} = 1364^{\circ}C$$

同样,结渣已难避免。

以上计算分析表明,即使耐火隔热层为  $100\text{ mm}$ ,其外表面温度已高于灰熔点。何况,一般耐火隔热层的厚度要大于  $100\text{ mm}$ ,其外表面温度更接近于灰熔点。

(3) 无隔热层有水垢时,防焦集箱的壁温与热负荷(用 $q''$ 表示)

将式(1)与式(2)中的  $\delta_{gr} / \lambda_{gr}$  取消,计算得

$$t_{biw}' = t_J + 525\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$q' = 105 \times 10^3\text{ W/m}^2$$

可见,尽管水垢厚度仅 5 mm,但防焦箱的外壁温度已高达 625  $^{\circ}\text{C}$ ,显然防焦箱强度已不够。这与其它资料类似计算结果基本相符<sup>[2,3]</sup>。

无隔热层时不同水垢厚度  $\delta_g$  对应的防焦箱外壁温度见表 1。

表 1 无隔热层时水垢厚度对防焦箱壁温的影响

水垢厚度 $\delta_g/\text{mm}$	0*	1	2	3	4	5
防焦箱外壁温度与介质温度的差值 $t_{biw}' - t_J/^{\circ}\text{C}$	102	216	312	394	464	525
防焦箱外壁温度 $t_{biw}'/^{\circ}\text{C}^{**}$	202	316	412	494	564	625

\* 见(d)的计算结果。

\*\* 内部介质温度为 100  $^{\circ}\text{C}$  时。

由表 1 可见,水垢厚度仅 3 mm 时,防焦箱的外壁温度  $t_{biw}'$  已高于碳钢允许值(450  $^{\circ}\text{C}$ )。锅炉运行实践经验也证实,不符合水质标准时,防焦箱开裂现象确有发生。

(4) 无隔热层也无水垢时,光管防焦集箱的壁温与热负荷(用  $^{\circ}\text{C}$  表示)

将式(1)与式(2)中的  $\delta_g/\lambda_g$  与  $\delta_{gr}/\lambda_{gr}$  取消,计算得

$$t_{biw}^{\circ} = t_J + 102\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$q^{\circ} = 156 \times 10^3\text{ W/m}^2$$

以上计算结果  $t_{biw}^{\circ} - t_J = 102\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,与各国标准<sup>[4,5]</sup>给出值  $t_{biw}^{\circ} - t_J = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$  基本一致。可见,外壁温度  $t_{biw}^{\circ}$  较低,不影响防焦箱强度。

由以上计算分析可见:

防焦箱外壁涂以耐火隔热层,尽管防焦箱的壁温满足强度要求,但耐火隔热层的外面结渣是完全可能的。

防焦箱的外壁应是光面的,而内壁不许有水垢,表明规程要求的水处理与水质监督是完全必须的。

## 2 防止炉排两侧结渣现象的措施

图 3 所示为炉排两侧光面下集箱的建议结构:

(1) 炉排面调高至风箱以上,使燃煤层与集箱(防焦箱)的侧面尽量接近;

(2) 填充耐火混凝土部分(避免集箱下底座和炉排内侧板端部置于火焰和高温烟气中)的坡度不小于 60 $^{\circ}$ ,便于燃料滑落;

(3) 集箱至风箱内侧板距离尽量减小——控制在 30 mm 左右,以降低填充耐火混凝土的温度,使其不易导致结渣。

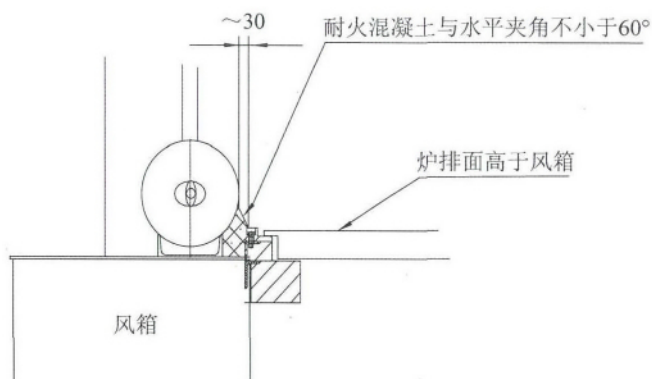
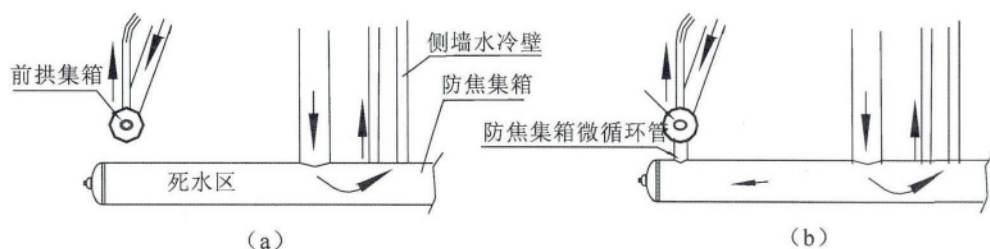


图 3 炉排两侧防焦集箱的合理结构

大多数锅炉水质能够满足标准要求,则下集箱内壁一般不会结垢。水冷壁下集箱的孔排减弱系数很小(一般为 0.3~0.4),则无孔排的其它部位壁厚裕度颇大<sup>[3]</sup>,与燃煤层接触的防焦箱侧面从未有磨损先例。

因此,只要锅炉水质满足标准要求,防焦箱(光面水冷壁下集箱)的安全可靠性足能保证。何况,防焦箱内壁可以通过手孔不难窥视到。

此外,热水锅炉炉排两侧水冷壁下集箱(防焦箱)前段的死水区[见图 4(a)]必须消除,以防汽化逐渐结垢。可增设微循环管<sup>[6]</sup>,见图 4(b)。应定期通过手孔窥视,如有结垢迹象,应检查水质或加粗微循环管。蒸汽锅炉因水质较佳可不设微循环管。



以下运行要求必须严格执行:

(1) 加强水质管理。锅炉运行过程中应严格控

制水中的悬浮物、硬度等指标,以防止防焦集箱内壁结垢、积存污物;

(2) 加强运行管理。严格执行锅炉排污操作规程,采用正确的排污操作方法,避免集箱聚集泥垢;

(3) 定期开启手孔盖,检查内壁状态。

#### 4 小容量锅炉

一些小容量锅炉的炉排两侧与炉墙直接接触(见图5)或与尺寸不当的耐热护铁接触(见图6),结渣现象一般难以避免。图5结构不宜采用;图6中耐热护铁应改进:高度不应超过150 mm,厚度可为40~50 mm,这样,就不至于烧毁。但是,容量较大锅炉(10 t/h以上)则应设置无耐热涂层的光壁面防焦集箱。

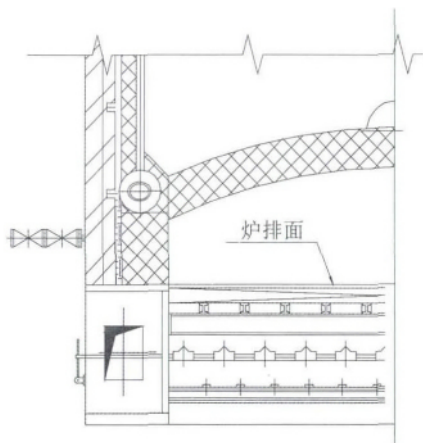


图5 炉排两侧与炉墙直接接触(不宜采用)

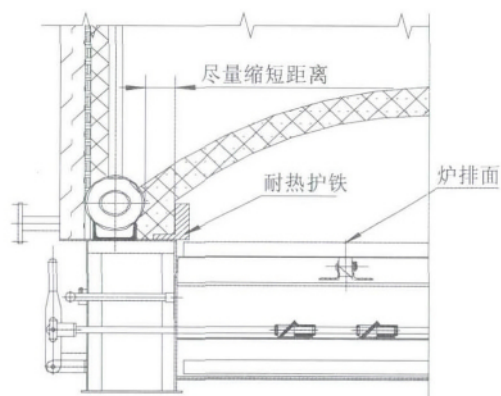


图6 炉排两侧与耐热护铁接触(有尺寸要求)

区段两侧水冷壁下集箱外壁应是光面的,并尽量接近燃煤层;

(3) 已运行并频繁结渣的锅炉,建议剥去耐火涂层,加强水质管理、定期观察内壁状况;

(4) 容易结渣的燃料不宜采用链条炉排燃烧方式。■

#### 参考文献

- [1]杨世铭,陶文铨. 传热学[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [2]李之光. 锅炉钢材及强度与焊接[M]. 北京:劳动人事出版社,1983.
- [3]李之光. 锅炉强度标准应用手册(增订版)[M]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [4]李之光,蒋智翔. 锅炉受压元件强度[M]. 北京:技术标准出版社,1980.
- [5]GB/T 16508.3—2013 锅壳锅炉设计与强度计算[S].
- [6]李之光,梁耀东,牛全正,等. 工业锅炉现代设计与开发[M]. 北京:中国标准出版社,2011.

#### 5 结语

(1) 炉排两侧结渣现象已成为目前锅炉运行中普遍存在的共性问题,明显影响锅炉经济运行与可靠性;

(2) 新设计的容量10 t/h以上锅炉,炉排高温

### 《工业锅炉》启事

近期本刊陆续接到作者和读者的来电,反映网上出现假冒《工业锅炉》杂志的网站和投稿邮箱,并以各种名义收取相关费用。

现重申《工业锅炉》杂志投稿方式:

1. 您可以通过邮箱向本刊投稿,《工业锅炉》投稿邮箱: shgygl@126.com
2. 登录“中国锅炉网”(http://www.china-boiler.net)向本刊在线投稿

本刊再次申明:除了上述邮箱及在线投稿方式,网上出现的其他方式均为假冒,且本刊不收取审稿费、加急费、版面费等费用。编辑部联系电话:021-51020808,51803255。

敬请《工业锅炉》杂志读者留意并相互转告。

《工业锅炉》编辑部