

链条炉中推迟配风方式的特性研究

季俊杰, 罗永浩, 常 兵, 吴文广
(上海交通大学热能工程研究所, 上海 200240)

摘 要: 采用气相色谱法研究了某 6.5 t/h 链条炉在 3 种不同配风方式(尽早配风、均匀配风和推迟配风)下煤层表面各气体组分沿链条长度的分布规律。结果显示: 尽早配风和推迟配风相对均匀, 配风整体氧量水平较低, 推迟配风在煤燃烧的中后期促进焦炭燃烧, 集中释放出大量 CO 和 CO₂ 而且固体碳转化为气态碳(CH₄, CO, CO₂)的量最大, 这说明其煤层燃尽率最高。对炉膛内气相燃烧的数值模拟进一步表明, 推迟配风还有利于新型双人字型炉拱在前拱下部形成火焰漩涡, 直接冲刷新煤, 保证和加速新煤的引燃。

关 键 词: 链条炉; 燃烧; 配风方式; 双人字型炉拱

中图分类号: TK229 文献标识码: A

引 言

我国有工业锅炉 60 多万台^[1], 其中大多为燃煤链条炉。链条炉的配风方式直接影响到煤层燃烧的优劣, 同时也对炉膛内气体动力场和气相燃烧构成影响, 是决定锅炉效率的主要因素之一。过去采用的统仓配风方式, 虽然简单, 但供风量不能随煤层燃烧所需空气量的变化而变化, 造成很大的能源浪费。优良的配风方式, 不仅有利于煤层碳的燃烧释放, 同时对组织炉膛的流场和气相燃烧也有促进作用。

目前常见的配风方式有均匀配风、尽早配风和推迟配风^[2]。本文采用气相色谱法研究了这 3 种配风方式下煤层表面各气体组分(H₂, O₂, CH₄, CO, CO₂)沿链条长度的分布规律, 从而对煤层燃烧优劣进行评价分析。通过炉膛内气相燃烧的数值模拟, 比较尽早配风和推迟配风方式对新型双人字型炉拱锅炉内气体动力场的影响^[3]。

1 气体组分分布规律研究

配风方式直接影响煤层的燃烧, 间接体现为煤层表面气体组分沿链条长度分布规律的不同。因此, 通过对煤层表面气体组分的分析, 可以解析煤层燃烧的优劣。为此, 本文首先对均匀配风, 尽早配风和推迟配风 3 种配风方式下煤层表面气体组分进行研究。

实验以某 6.5 t/h 的链条炉为对象, 在煤层表面上方 100 mm 处取 6 个测点(a~f)抽取样气进行分析。除 a 点外, 其余各测点正好位于各风仓的正上方, 如图 1 所示。气体组分浓度采用岛津 GC-14B 气相色谱仪进行分析, 检测的气体组分为: H₂, O₂, N₂, CH₄, CO 和 CO₂, 测试锅炉用煤的成分分析见表 1。测试中 3 种配风方案的各风仓开度如表 2 所示, 测试时, 控制 3 者的总风量相同, 空气过量系数为 1.9。

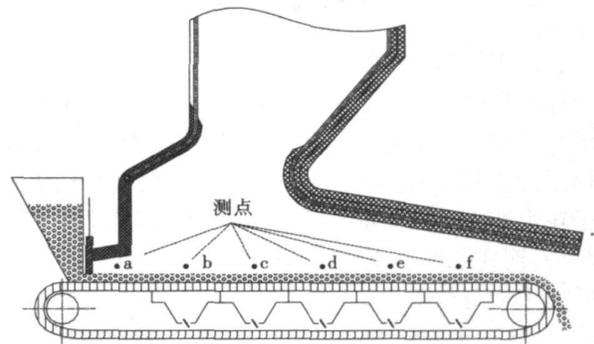


图 1 测试锅炉示意图

表 1 测试锅炉用煤的成分分析

工业分析/ %, (ar)					元素分析/ %, (ar)				热值 $Q_{net, ar}$ /MJ·kg ⁻¹
M	A	V	FC	C	H	S	N	O	
11.88	18.41	25.30	44.41	55.55	3.76	0.86	1.16	8.38	21.54

收稿日期: 2006-11-02; 修订日期: 2006-12-04

基金项目: 上海市科委重大科技攻关基金资助项目(05dz12028)

作者简介: 季俊杰(1978-)男, 上海人, 上海交通大学博士研究生

表 2 3 种配风方案的风仓开度 (%)

	一风仓	二风仓	三风仓	四风仓	五风仓
均匀	50	50	50	50	50
推迟	5	10	100	100	20
尽早	20	100	100	10	5

图 2 所示为均匀配风的气体组分分布。可以看出, 挥发分 (H_2, CH_4) 在第一风仓位置即达到最大值, 说明此时挥发分已经大量析出。氧量呈“U”型分布, 中间由于燃烧旺盛而缺氧, 两端则由于燃烧强度不高而极度富氧。在该配风方式下, 若要使中间阶段能有足够的氧气维持充分燃烧, 则总风量必须进一步提高, 从而导致总空气过量系数增大, 增加了排烟损失, 影响锅炉效率。

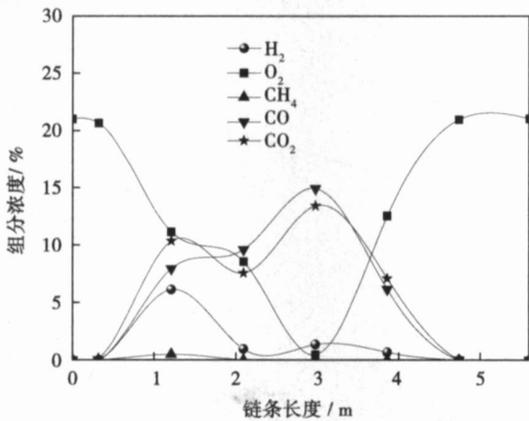


图 2 均匀配风的气体组分分布

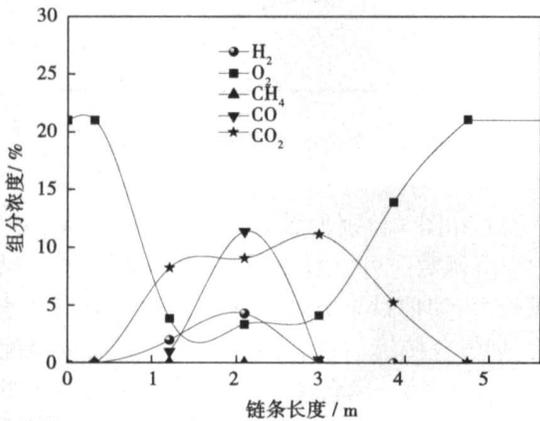


图 3 尽早配风的气体组分分布

相比之下, 尽早配风中后期氧量分布较低且平均, 第一风仓时氧量即已下降到 5% 以下, 随后氧量一直维持较低水平, 直到第四风仓煤基本燃尽时, 氧量才开始回升, 如图 3 所示。推迟配风也有类似规律, 如

图 4 所示。不同的是, 尽早配风的 CO 量在第二风仓时最大, 而推迟配风则推迟到第三风仓。结合供风量来看, CO 量最大的时刻恰好是供风量最大的位置, 说明大供风量促进煤层燃烧, 燃烧速率和碳的析出量提高, 从而导致煤层缺氧燃烧, 产生较多 CO。推迟配风整体平均的低氧量分布有利于保证煤层燃尽率的条件下控制锅炉总体氧量水平, 改善均匀配风的缺点。

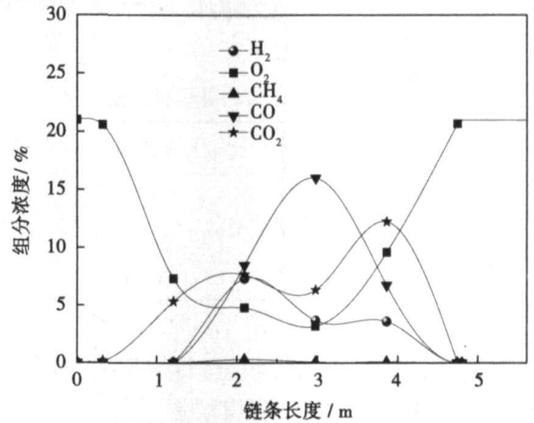


图 4 推迟配风的气体组分分布

煤燃烧时碳元素由固态转化为气态的 3 种产物是 CH_4, CO 和 CO_2 (其它高碳烃类经岛津 GC/MS-QP2010 气相色谱质谱联用仪试检后发现十分微量, 小于 0.1%, 可忽略, 所以可定义煤层的碳释放量 TCR (Total Carbon Release):

$$TCR = CO + CO_2 + CH_4$$

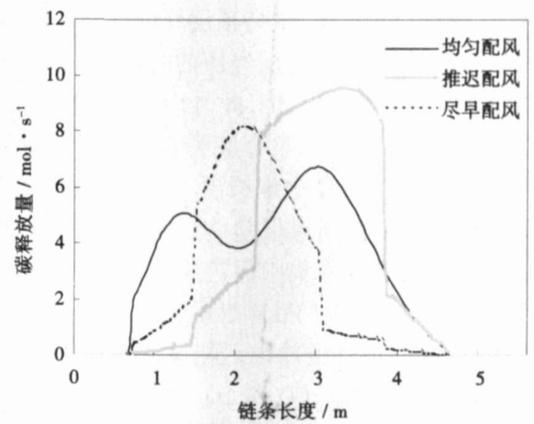


图 5 3 种配风方式的碳释放量曲线

TCR 表征了燃烧时煤中固态碳转化为气态碳的量, 未转化为这 3 个气体组分的碳即成为残碳随灰渣落入灰坑。因此, TCR 在整个链条行程上的积分

值则体现了煤层的燃尽率。根据前面测得的 3 种配风方式的气体组分分布数据, 绘制三者的碳释放量曲线, 如图 5 所示。

从图 5 的碳释放量曲线来看, 均匀配风的碳析出较为平均。而尽早配风则在中前部供风量最大的时候, 碳集中大量析出, 说明此时燃烧相当旺盛。相比而言, 推迟配风则由于大风量供应推迟到中后部, 碳析出量的最大值也相应推迟到中后部。由此可见, 尽早配风实质是促进早期的燃烧, 而推迟配风则促进中后期的燃烧。

表 3 3 种配风方式的总碳释放量

配风方式	总碳释放量/ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$
均匀	16.12
尽早	11.72
推迟	16.96

对碳释放量曲线进行积分, 得煤层燃烧时碳的总析出量。该值越大, 说明煤层燃尽度越好。表 3 给出 3 种配风方式的积分结果。可以看出, 尽早配风的总碳释放量最低, 这是由于尽早配风在早期就供以大风量, 虽然对表层的煤燃烧有一定的促进, 但由于煤层是由顶向下层燃, 底部的煤尚未升温燃烧或还处于挥发分析出阶段, 大风量对底部的冷煤毫无作用。而到中后期整个煤层燃烧并进入焦炭燃烧阶段, 需要大量耗氧时, 尽早配风却给以小风量, 致使大量焦炭无法燃尽。结果总体的碳释放反而变小, 灰渣含碳量必然上升。推迟配风则相反, 挥发分析出时, 只给以小风量, 维持顶层煤的燃烧。同时由于在供以大风量之前, 煤层经历的时间较长, 所以到中后期煤层整体开始燃烧, 此时恰好又为焦炭燃烧阶段, 这样给以大风量, 整个煤层的燃烧速率则立刻快速上升, 碳也大量集中地析出。由此可见, 推迟配风的实质是前期提高煤层整体温度, 而在中后期在煤层整体高温条件下集中促进焦炭的燃烧, 这也有利于将包裹在灰壳中的残碳燃尽。

值得指出的是, 虽然推迟配风法能使煤层中的碳更多地析出为 CH_4 、 CO 和 CO_2 , 但仍需要与具有良好混合特性的炉拱(如双人字型炉拱)配合, 使 CH_4 和 CO 在炉膛空间内燃尽。否则, 尽管碳已经析出并转化为气态的 CH_4 和 CO , 但由于炉膛空间内 CO 和 O_2 混合不好, 导致化学不完全燃烧损失增加, 仍会限制锅炉热效率的提高。

2 配风对炉膛流场影响的数值研究

配风不仅影响煤层的燃烧, 也会对炉膛内流场产生直接影响。配风风量大的地方, 从煤层上升到炉膛的烟气具有大的速度。它和炉拱配合可以影响炉膛内空气动力场的组织。在前面实测数据的基础上, 对新型双人字型炉拱的锅炉采用尽早配风和推迟配风的炉内流场进行数值分析。

计算域为煤层表面至炉膛出口, 不包含煤层。这样, 测出的气体组分即为本数值模拟中的入口条件。采用标准 $k-\epsilon$ 湍流模型结合 EDC 燃烧模型对炉内热态流场进行数值模拟^[4], 数值方法采用二阶迎风格式, SIMPLE 算法。由于 CH_4 的量很少, 所以只考虑 H_2 和 O_2 , 及 CO 和 O_2 两个单步燃烧反应, 即:

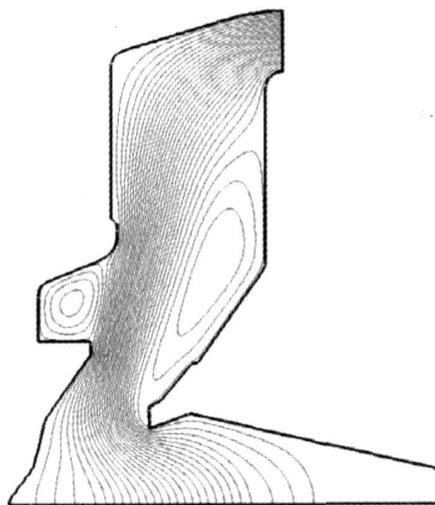


图 6 尽早配风的炉内流函数

图 6 和图 7 分别为尽早配风和推迟配风方式下的炉内流函数。可以看出, 尽早配风由于第一风仓供风较大, 使前拱下方从煤层上升而来的烟气速度较大, 烟气直接沿前拱升到炉膛高处。而推迟配风方式下, 由于第一风仓供风几乎为零, 使得前拱下方形成回流漩涡区, 在此处高温烟气可以对新煤进行旋转冲刷, 保证和加速新煤的引燃。同时, 旋转方式下, 氧气和 CO 可以得到更好地混合, 解决了推迟配风可能导致的化学不完全燃烧损失的问题。另外, 扬起的灼热碳粒也可以随着漩涡旋转, 并重新落回煤层上, 减少飞灰。这正是双人字型炉拱能够提高链条炉效率的内在机理之一^[5]。由此可见, 推迟配

风对炉内气相流场组织也是有利的。

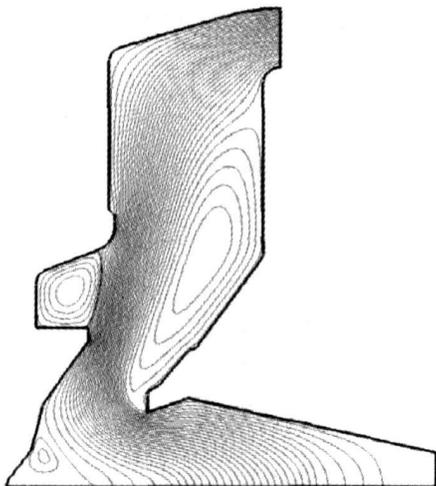


图 7 推迟配风的炉内流函数

3 结 论

运用气相色谱法研究了尽早、均匀和推迟 3 种配风方式下煤层表面的气体组分 (H_2 , CH_4 , O_2 , CO , CO_2) 沿链条长度的分布规律, 并利用实测数据作为边界条件对炉膛内流场进行了数值模拟, 得出如下结论:

(1) 均匀配风氧量呈“U”型分布, 尽早配风和推迟配风的氧量在早期就出现大幅下降, 且能维持较长时间的低氧量水平, 这有利于控制锅炉的总体空气过量系数。

(2) 定义了碳释放量概念, 通过对 3 种配风方式的研究发现, 推迟配风集中促进中后期焦炭的燃烧, 具有最高的碳释放量, 生成的 CO 和 CO_2 最多, 煤层燃尽率最高。但应使用混合性能良好的炉拱予以配合, 使多生成的 CO 在炉膛内与 O_2 充分混合, 保证燃尽, 才能有利于锅炉效率的提高。

(3) 推迟配风方式和新型双人字型炉拱配合时, 还有利于在前拱下方形成火焰漩涡, 冲刷新煤, 保证和加速新煤的引燃。

参考文献:

- [1] 李振钢. 层燃锅炉燃烧恶化与严重漏风原因分析探讨 // 2004 中美工业锅炉先进技术研讨会 [C]. 北京: 中国动力工程学会, 2004.
- [2] 黄祥新. 层燃炉中的推迟配风法及空气二次利用原理 [J]. 工业锅炉, 1999(4): 33-35.
- [3] 黄祥新. 宽煤种高消烟双人字形节煤炉拱 [J]. 工业锅炉, 1996(1): 2-4.
- [4] 赵坚行. 燃烧的数值模拟 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [5] 罗永浩. 双人字形宽煤种节能炉拱的工作原理和运行方式 [J]. 节能技术, 1999, 17(1): 10-11.

(编辑 伟)

运行维护

蒸汽初始冷凝的特点及其对汽轮机内腐蚀的影响

据《Теплоэнергетика》2007 年 2 月号报道, 汽轮机低压缸工作叶片和轮盘破坏的原因之一是存在初始冷凝(相变)区域。通常, 这些破坏具有腐蚀-疲劳特性或应力下腐蚀的特性。

根据有关文献报道, 在相变区域内工作的级破坏的份额约占汽轮机被破坏和故障总数的 20%~25%。由于在汽轮机负荷和(或)新蒸汽和中间再热参数变化时初始冷凝区域沿通流部分移动, 腐蚀破坏可以包括若干级。它们的强度在很大程度上取决于蒸汽的品质。

腐蚀破坏过程的原因是在叶片表面上形成腐蚀性溶液, 它加剧了在叶片和轮盘金属内裂纹产生和发展。

ЦКТИ(锅炉透平研究中心)分析了在蒸汽初始冷凝区域内汽轮机叶片金属腐蚀龟裂的过程, 提出了防止叶片腐蚀-疲劳破坏的可能的途径。

(吉桂明 供稿)

柱状粒子循环流化过程中取向性的数值研究=A Numerical Study of the Orientation of Columnar Particles in Their Circulating Fluidization Process[刊, 汉]/CAI Jie, WU Xuan, YUAN Zhu-lin (Education Ministry Key Laboratory on Clean Coal Power Generation and Combustion Technology, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096)//Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2007, 22(6). — 625~629

The circulating fluidization of columnar particles has extremely wide applications in industrial production. Orientation represents a major characteristic of columnar particles. The movement posture of columnar particles exercises a very important influence on circulating fluidization. Depending on the actual structure and operating parameters of a cold-state circulating fluidized bed, a simulation was performed of a gas-solid two-phase flow field in the bed by using a numerical simulation method along with the study and exposition of some characteristics of the movement posture of columnar particles. In most cases, the columnar particles move in the flow field with an upright posture. The wind speed of a flow field and bed height have a certain influence on the orientation of the columnar particles but the length-diameter ratio and density of the latter have no obvious influence on the orientation of the particles in question. **Key words:** columnar particle, circulating fluidization, orientation, numerical simulation, attitude angle

链条炉中推迟配风方式的特性研究=A Study of the Specific Features of Postponed Air-distribution Mode in a Travelling Grate Stoker[刊, 汉]/JI Jun-jie, LUO Yong-hao, CHANG Bing, et al (Thermal Energy Engineering Research Institute, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240)// Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2007, 22(6). — 630~633

By using gas chromatography a study was conducted of the law governing the distribution of various gas constituents along the length of a chain at the lower coal-layer surface of a 6.5 t/h travelling grate stoker. The study has been performed under the following three different air distribution modes, i. e. at-the-earliest-possible-time, uniform and postponed. The results of the study show that both the first and third air distribution mode can lead to a relatively low oxygen-content level as a whole relative to that of the uniform air distribution mode. However, the postponed air distribution mode can promote the combustion of coke in the middle and later stages of coal combustion and release in a concentrated manner a great quantity of CO and CO₂. Under the postponed air distribution mode, the solid-state carbon has been converted to a maximum amount of gas-state carbon (CH₄, CO, CO₂), indicating the highest burn-out rate of the coal layer. A numerical simulation of in-furnace gas-phase combustion further shows that the postponed air distribution mode is also favorable to the formation of a flame vortex at the lower portion of a front arch on a new type of double-herringbone furnace arch, which directly sweeps the newly-fed coal, thereby guaranteeing and accelerating its ignition and combustion. **Key words:** travelling grate stoker, combustion, air distribution mode, double herringbone type furnace arch

船用增压锅炉的炉膛对流传热计算= Calculation of the Convection Heat Transfer in a Marine Supercharged Boiler Furnace[刊, 汉]/ZHANG Yong (Boiler Design Department, CSIC No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036)//Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2007, 22(6). — 634~637

The furnace heat transfer calculation of normal pressure combustion boilers has long been mastered by boiler designers, in which the convection heat transfer can be virtually ignored. Due to an increase of combustion pressure in supercharged boilers, the convection heat transfer has been intensified and the neglect of convection heat transfer will directly influence the accuracy of the furnace thermodynamic calculation. The furnace characteristic parameters of supercharged boilers are compared with those of normal-pressure combustion ones along with an analysis of the supercharged boiler test data of the former Soviet Union. The influencing factors on furnace convection heat transfer in a supercharged boiler have been pinpointed. The author has proposed that the furnace heat transfer calculation of a supercharged boiler should be divided into a radiation and convection one. A calculation formula applicable for furnace convection heat transfer in a supercharged boiler was given and a specific case calculation and analysis has been conducted. The calculation results approximate to those obtained from the tests of the supercharged boiler of the former Soviet Union. The foregoing can provide a definite theoretical and practical guidance for improving the furnace thermodynamic calculation of supercharged boilers. **Key words:** supercharged boiler, furnace, convection heat transfer calculation