

# 锅筒排污水炉内切向喷雾强化燃烧

张永福 李方 (东南大学)

[摘要] 采用锅炉排污水降压汽化作为蒸汽喷雾介质, 在炉内燃烧空间形成切圆旋流, 强化炉内燃烧, 改善炉内气流动力分布状态。经过 UG-35/39 型锅炉的试验和应用考核, 飞灰含碳量和炉渣含碳量分别下降 25.8% 和 11.6%, 飞灰量和烟气排放浓度均大幅度下降, 烟气排放的  $\text{SO}_x$  含量可得到有效控制。

关键词 排污水 汽化 喷雾 强化燃烧

分类号 TK224.1

## 0 引言

小型锅炉普遍地应用于化工、纺织、印染、造纸等工业领域的供热和动力发电, 这类锅炉的燃烧方式通常以层燃或抛煤链条炉为多。燃烧效率受到工作方式的限制, 不完全燃烧损失较大, 一般占锅炉热损失的 40% 以上, 当燃用煤质低劣时, 燃烧效率更低。运行操作中, 为了改善火床燃烧工况, 习惯上采用的通风量较大 (高出设计值的过剩空气量), 飞灰量和飞灰含碳量有所增高。加之小型锅炉配套的除尘设备效率较低, 大多为 75%~85%, 锅炉烟尘的排放量经常超标。为此, 改善层燃炉的燃烧方式, 始终是锅炉节能和环境保护的一项研究课题。

采用锅炉锅筒连续排污水降压汽化作为蒸汽喷雾介质, 在炉内高温燃烧中心形成强烈的旋流扰动, 并使得悬浮状态的部分灼热的焦碳颗粒气化为 H 和 CO, 使火焰气流中的可燃成分尽可能地充分燃烧。

由于喷雾以切圆方向射入, 在炉内的分布更为均匀。同时, 炉水排污成分中的碱性物质还有利于控制  $\text{SO}_x$  的排放量。根据应用技术分析, 效果显然优于原有的蒸汽二次风技术。一年多来, 经在江苏省银卡集团嵩山热电厂的 UG-35/39 型锅炉的试验和

应用考核, 年节约新蒸汽 6000 吨以上, 耗汽量和提高炉效两项总计年节约标煤 2000 吨以上。经济效益十分可观。锅炉烟囱的排放浓度也大为减少, 满足了周围地区较高的环保要求。

## 1 排污水切圆喷雾的机理和系统装置

层燃炉和抛煤链条炉的燃烧主要在炉排上进行, 燃烧的通风供氧由炉排下方供入, 为克服煤层的阻力, 通风具有较高的风压穿透燃料层, 而且根据燃煤燃烧过程的需要, 供风大多集中在中间的燃烧区, 在充分供风供氧的同时, 通风的动量也带起一部分煤的细粒在空间燃烧。对于抛煤炉, 一些小粒径煤在播煤过程中就以悬浮方式在空间燃烧, 炉内空间的煤粒浓度就更大些。如何组织好这部分空间细粒燃料的燃烧, 是本课题的主要研究目标。

本研究的试验在 UG-35/39 型抛煤炉进行, 在抛煤机播煤最高点以上 (1.0~1.5 m 位置), 安装 8 只下倾的喷嘴, 其中 6 只喷嘴在炉内形成  $H1600$  mm 的假想切圆, 4、5 喷嘴只是在燃用飞灰严重的煤种时投运。系统装置如图 1 所示。切圆处的射流速度和流通量由单个喷管的动力特性试验求得, 炉内烟气上升速度由燃烧烟气的计算确定, 因此, 可得切圆喷雾导致的炉内旋流强度为:

收稿日期 1996-08-19

本文联系人 张永福 男 46 副教授 东南大学动力系热能动力教研室 邮编 210018

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

$$K = \frac{\int_0^{R_1} w \, du \, 2c_r \, dr}{\int_0^R c_d w^2 r \, dr} \quad (1)$$

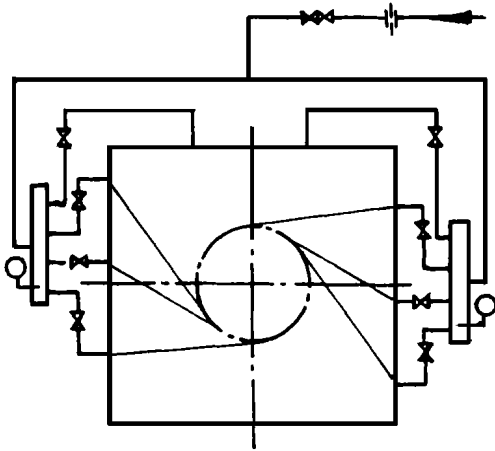


图 1 切圆喷雾燃烧系统图

式中:  $R$  为热态切圆半径,  $R_1$  为切圆处射流扩散半径,  $w$ 、 $u$  分别为切圆处的切向速度和轴向速度。经计算和试验, 喷嘴出口的蒸汽速度已达超临界音速, 具有极强的卷吸和扰动周围气流的能力。

采用锅炉连续排污水降压汽化喷雾, 可以导致下述几方面的效应:

(1) 炉膛空间的煤粒受到切圆射流的有组织的运动, 大大增加炉内停留的有效行程, 亦增加了和周围过剩氧的接触机会, 提高燃尽程度;

(2) 部分上升颗粒受下倾的切向力影响改变方向, 由自然重力和离心力作用重新回到炉排上, 一部分煤粒受扰动撞击合并成粗颗粒亦回落到炉排上, 既延长了燃烧时间, 又有较好的供氧条件, 改善了燃烧;

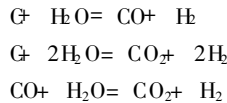
(3) 炉内上升烟气和所含颗粒, 几乎都需经过切圆分布的六股射流的扰动, 炉内动力场分布较为均匀, 有益于局部可燃气体的完全燃烧;

(4) 多股超音速气流产生的声波传导, 使炉内煤粒和焦炭产生高频谐振, 有利于和周围气体的扩散燃烧, 同时, 由于射流本身的动力场分布和激振声波的传导, 使高温燃烧区水冷壁不易结焦和积灰;

(5) 在燃烧高温区喷入适量的水蒸汽, 火焰黑度  $a_m = 1 - e^{-kps}$ , 随三原子气体辐射力的增加而增加。加之射流下倾角度的影响, 火焰中心位置下移, 对炉

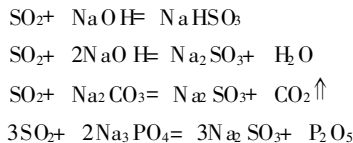
排面的燃料加热着火和燃烧是有利的。

(6) 射流蒸汽和炉内灼热焦炭产生一系列化学反应:

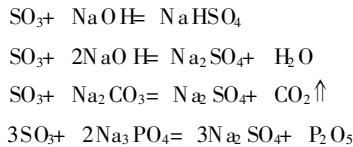


由上述化学反应可见, 水蒸汽喷雾能使部分焦炭转化为  $\text{CO}$  和  $\text{H}_2$ , 使燃烧由气-固两相反应转化为气-气均相反应, 燃烧速度大为提高。

(7) 锅炉排污水是锅筒中经蒸发浓缩的炉水。对于中压锅炉, 给水品质要求较低, 炉水中含有碱性物质浓度较高, 水中碱性物主要为钾、钠、钙、镁的氢氧化物、碳酸化合物、重碳酸化合物和磷酸化合物, 以  $\text{Na}$  的化合物形式, 它们和燃烧产物中的  $\text{SO}_2$  可以写出下述反应式:



和燃烧产物中少量的  $\text{SO}_3$  可以写出下述反应式:



在层燃炉中, 由于炉温  $< 1450^\circ\text{C}$ , 烟气中形成热力  $\text{NO}_x$  含量极低, 在此不作考虑。

由上述化学反应可看出, 炉水排污的碱性化合物具有一定的脱硫作用, 经过多股喷嘴射流在炉内高温区形成平面网络, 和燃烧生成烟气全面接触, 可以促使上述的化学反应较为完全地进行。

## 2 试验结果和分析

喷嘴结构尺寸主要根据喷雾介质热力和流量参数, 由式 (2) 和式 (3) 确定:

$$A_1 = \frac{m}{2 \frac{k}{k+1} \frac{p_1}{v_1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}} \quad (2)$$

$$A_2 = \frac{m}{2 \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{v_1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k-1}} \right]}$$

(3)

式中,  $A_1$ 、 $A_2$ 分别为喷嘴喉部和出口截面积,  $P_1$ 、 $P_2$ 分别为进口和出口蒸汽压力,  $v_1$ 为进口蒸汽比容,  $k$ 为绝热指数,由蒸汽性质确定,  $\dot{m}$ 为质量流量。

喷嘴出口的动力试验结果如图 2所示,由试验结果可知,在炉内喷嘴出口可获得足够的动量,产生切圆旋转。喷嘴出口速度和流量还可由进口蒸汽压力加以调节。

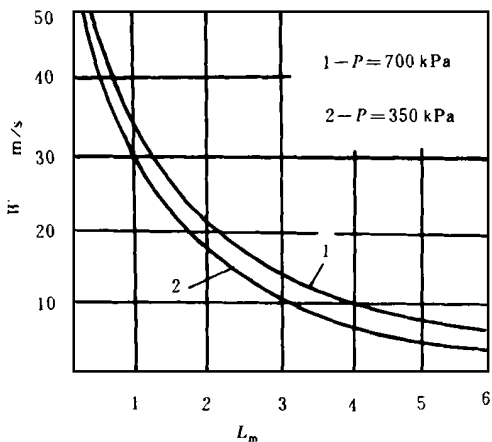


图 2 喷嘴出口轴向速度分布

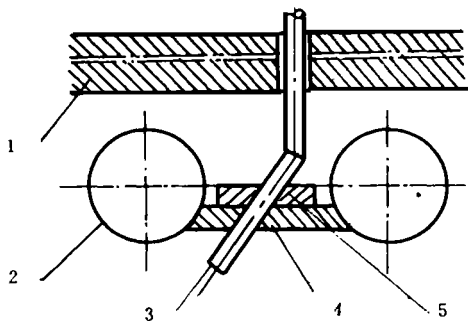


图 3 喷嘴安装结构示意图

1炉墙 2水冷壁管 3喷嘴 4冷却板 5定位块

在炉内高温区要考虑喷嘴的耐热和对水冷壁管无损的要求,结构如图 3所示,冷却板的温度根据炉内火焰辐射换热和冷却板内的导热进行平衡计算确定,经离散法有限元计算,板中心最高温度达  $952^{\circ}\text{C}$ 。喷嘴一般伸出长度为 35~ 50 mm 蒸汽停用

时,不考虑加强筋板的冷却作用时,喷嘴最高计算温度为  $982^{\circ}\text{C}$ 。由于实际应用时有加强筋板的冷却,温度会降低些。喷嘴和冷却固定板均需采用不锈钢材料,既耐热又抗氧化。

在高山热电厂 UG-35/39-M 型锅炉的应用中,经调试测定,最佳工作状态为喷嘴前集箱压力  $P = 0.5 - 0.6 \text{ MPa}$ ,投运 6个切圆喷嘴(1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、6<sup>#</sup>、7<sup>#</sup>、8<sup>#</sup>)。此时,排污水耗量为  $0.032 \text{ kg/s}$ (691.2 kg/h),相当于排污率 1.97%,基本上在锅炉排污率范围之内。具体测试数据见表 1

表 1 排污水喷雾燃烧试验数据(平均值)

状 态	$P = 0.6 \text{ MPa}$ , 投运 6个喷嘴		不投运喷嘴	
	飞灰含碳量 (%)	22	18	30
炉渣含碳量 (%)	12.1	10.7	13.8	12.0
炉膛温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	1380	1400	1320	1350
林格曼黑度 (级)	0~ 1	0	2~ 3	2~ 3
燃料特性 (%)	$A^f = 37.7$	$A^f = 30.4$	$A^f = 37.7$	$A^f = 30.4$
	$V^f = 20.3$	$V^f = 26.1$	$V^f = 20.3$	$V^f = 26.1$

经一段时期的反复测试考核,采用切圆喷雾强化燃烧后,飞灰含碳量下降~ 25.8%,炉渣含碳量降低~ 11.6%,按理论的炉内热力计算,喷雾后炉内中心温度应降低  $9^{\circ}\text{C}$ ,但实测炉温由于燃烧的改善还有所提高。

经三个月投运后的检查,水冷壁管污染程度较之前明显改善,尤其是两侧水冷壁后部,原来结焦严重,现除了耐火砖墙上留有旧的残渣,水冷壁管表面较清洁,这和超音速射流产生的声波和动力场有关。

该炉原来在后墙采用 2排共 16个 H10 喷管作蒸汽二次风,工作压力为  $1.6 \text{ MPa}$ ,汽源采用新蒸汽。但长期的投运中,逐步被抛煤煤块打击变形失效,甚至多次造成吹破水冷壁管停炉事故。现采用 6只喷嘴,蒸汽耗量大为下降。经计算,年节约新蒸汽 6000吨以上,经济效益十分可观。

### 3 结 论

(1)采用锅筒排污水降压汽化,在炉内切圆喷雾

燃烧,具有多重强化燃烧作用,有利于降低飞灰和炉渣的可燃物含量,同时减少层燃炉的飞灰量。

(2) 排污水的碱性化合物能够控制  $\text{SO}_x$  的排放量,若用于炉内温度较高的锅炉,也能控制  $\text{NO}_x$  的排放量。

(3) 应用排污水作为喷雾介质,较之用新蒸汽的蒸汽“二次风”技术更节约能耗。

(4) 低负荷运行时,应根据试验,喷嘴前集箱压力调整在 0.35~0.45 MPa,并可关闭 2、7 喷嘴。

## 参考文献:

- 1 Douglas Smoot L. Philip J Smith. Coal combustion and gassification. Plenum Press, New York, 1985
- 2 (美) Elliott M A. 煤利用化学. 化学工业出版社, 1991
- 3 庞麓鸣, 汪孟乐. 工程热力学. 高等教育出版社, 1986
- 4 姚继贤等. 锅炉水处理及水质分析. 劳动人事出版社, 1987

(渠源 编辑)

# 废弃能源的利用

## 废轮胎能量回收节省处理费用

据“Modern Power Systems”1997年3月号报道,由于占地费用的增加和对环保的关心,轮胎的处理日益受到人们关注,例如,在美国每年有2亿5千万只废轮胎并加上早已堆存的20亿只废轮胎有待处理。作为市政废料把轮胎埋入地下具有截留甲烷的倾向并逐渐趋向地表。存放在地面上将产生潜在的火灾危险。

鉴于可供利用埋置现场的减少以及对非法倾倒关注的增加,清洁地焚烧轮胎用于生产能量已越来越成为具有吸引力的一个方案。为此,美国和英国都在这一领域展开了试验研究工作。

80年代初美国 Combustion Power Company (燃烧动力公司)研制了碎屑再循环 (FICIRC) 流化床锅炉,用来燃烧固体燃料,尤其是废弃的可燃物料,并满足加利福尼亚州极为严格的排放要求。

过去10年已有12台碎屑再循环流化床锅炉投入运行,并成功地燃烧石油焦、褐煤和煤屑。最近,这种锅炉已被开发成来燃烧轮胎屑。1995年,1台 FICIRC 流化床锅炉被选用于美国伊利诺伊州,富尔敦的一个试验项目,并制定了试验计划,以便评估燃烧轮胎屑的特点。

Fulton把废轮胎变成能量的项目被设计成每小时最多能燃烧10.9吨名义尺寸为152 mm×152 mm的轮胎屑,并产生103 t/h 8.8 MPa压力和511°C温度的过程蒸汽。

(思娟 供稿)

双炉膛炉内空气动力场的数值模拟研究 = **A Numerical Simulation Study of Aerodynamic Field Characteristics in a Double-Furnace** [刊, 中] /Zhu Tong, Fan Weidong, et al (Harbin Institute of Technology) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(6): 401~ 404

A numerical simulation study is conducted of the aerodynamic field characteristics of a 1000 t/h once-through boiler double-furnace. The results of the simulation study basically agree with the measured results on site. Through analysis it is shown that the front and rear wall rectangular arrangement of impellerless burners in a tangentially fired furnace constitutes a major cause of the water walls being swept by flue gases. The separation of primary air and secondary air can be mainly attributed to a high and narrow primary air nozzle and a thin and wide secondary air nozzle, resulting in a high-temperature corrosion of the water walls on the gas side. **Key words** intra-furnace aerodynamic field, numerical simulation, high-temperature corrosion, boiler, double-furnace

切向燃烧煤粉炉后屏过热器对水平烟道入口烟速分布的影响 = **The Influence of the Rear-Panel Superheater of a Tangentially Fired Pulverized-Coal Boiler on the Gas Speed Distribution at the Inlet of a Horizontal Flue** [刊, 中] /Zhang Wenhong, He Baishu, et al (Xi'an Jiaotong University) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(6): 405~ 407

A detailed measurement of the velocity fields in a panel and platen zone as well as at the inlet of the horizontal flue of a tangentially-fired boiler was conducted using a hot-wire anemometer. The influence of the rear-panel superheater on velocity distribution at the horizontal flue was studied, which provides useful reference data for the design and modification of utility boilers. **Key words** rear-panel superheater, speed excursions, tangentially fired pulverized-coal boiler

再热湿空气循环分析 = **Reheated Humid Air Cycle Analysis** [刊, 中] /Wang Yongqing, Chen Anbin (Harbin Institute of Technology) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(6): 408~ 411

The systematic analysis and optimization calculation of a humid air cycle have shown that reheating has a marked effect on enhancing the humid air cycle performance. Under the existing technical conditions (turbine inlet temperature 1300°C, pressure ratio 10~ 30) the cycle thermal efficiency can be as high as 59.2~ 60.2% with a specific power of 620~ 980 kJ/kg air. **Key words** humid air cycle, intermediary reheat, system analysis, optimization calculation

锅筒排污水炉内切向喷雾强化燃烧 = **Tangential Spray Intensified Combustion in a Boiler Furnace with Continuous Blowdown** [刊, 中] /Zhang Yongfu, Li Fangyue (Southeastern University) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1997, 12(6): 412~ 415

With the pressure reduction evaporation of boiler blowdown water serving as a steam spray working medium a tangential circle swirl flow can be formed in the combustion space of the boiler, resulting in an intensified combustion and the improvement of aerodynamic distribution in the furnace. The test and use verification on a UG-35/39 boiler have shown that the fly ash carbon content and boiler slag carbon content are lowered by 25.8% and 11.6% respectively. In addition, a considerable reduction of the fly ash quantity and gas emission concentration is also attained with a simultaneous effective control of SO<sub>x</sub> content in the gas emissions. **Key words** blowdown water, evaporation, spray, intensified combustion

电站锅炉应用热管式空气预热器的利弊分析 = **Analysis of the Merits and Demerits of Using Heat Pipe Type**