

水煤浆锅炉的发展及现状

李 毅, 杨公训, 高 松

(中国矿业大学 机电与信息工程学院, 北京 100083)

摘 要: 简单介绍了水煤浆锅炉的概念和区别于其它锅炉的特点。详细介绍了国内、外水煤浆锅炉的发展历程以及现状, 即由各式燃油、燃煤锅炉经改造改烧水煤浆的过程, 并指出改造后的水煤浆锅炉存在的问题以及专用水煤浆锅炉的诞生。对水煤浆锅炉的主要技术进行了详细的阐述, 介绍了一些目前常用的新技术和存在的问题。最后对水煤浆锅炉的未来进行了展望, 指出水煤浆锅炉在节能和环保方面将有所作为。

关键词: 锅炉; 水煤浆; 发展; 现状

中图分类号: TK229

文献标识码: A

引 言

水煤浆 (Coal-Water Mixture, 简称 CWM) 是一种新型煤基流体洁净环保燃料, 既保留了煤的燃烧特性, 又具备类似重油的液态燃烧应用特点, 是目前我国一项现实的洁净煤技术。水煤浆作为节约和替代石油以及洁净煤利用的示范与推广技术, 对于发挥中国煤炭资源优势, 既符合国情要求, 又可保证能源安全, 具有现实和长远意义^[1]。

水煤浆锅炉就是使用水煤浆作为燃料进行燃烧的锅炉, 这种锅炉由于其须适应水煤浆燃烧的要求, 因此在诸多方面不同于其它锅炉的特点。它的发展历程主要是各式锅炉包括燃油锅炉、工业锅炉等经改造燃烧水煤浆的过程, 为的是消除锅炉改烧水煤

浆后带来的一些难以克服的缺陷, 后期出现了水煤浆专用锅炉。

1 水煤浆锅炉的发展过程

水煤浆锅炉的发展从某种意义上讲就是各式锅炉改造成水煤浆锅炉的过程以及水煤浆技术的发展过程。在国外, 水煤浆技术在电站锅炉的应用受到普遍重视。美国等西方国家 10 多年来亦从不间断地进行水煤浆燃烧的研究工作, 并作为一种技术储备。日本、瑞典、意大利、前苏联等国家建立数个水煤浆加工厂, 部分锅炉经过改造后相继改烧水煤浆, 并已进入商业应用阶段。在美国, 电力研究所对 18 家电力公司的 42 台大、中型锅炉进行改烧水煤浆为期一年的现场验证性试验, 对 7 台代表性锅炉进行了专门性研究; 卡罗来纳州瑟齐岛库哈特发电厂在 75 MW 发电机组的锅炉上用容量为 70.62 GJ/h 的燃烧器进行试烧; 波士顿电站在 120 MW 发电机组的锅炉上把 24 个燃烧器中的两个改烧水煤浆, 每支燃烧器容量为 2 t/h, 共烧 500 t, 累计运行 3 天; 苏厄德发电站在 147 MW 发电机组的锅炉上将煤泥水煤浆与煤粉混合燃烧。在瑞典, Sydkaft 电站的 50 MW 发电机组的锅炉上改烧水煤浆, 每支燃烧器容量为 3 t/h, 蒸汽雾化喷嘴试烧了 50 t 煤浆。在日本的东京电力

勿来发电站, 两台容量分别为 75 MW 和 600 MW 的锅炉改烧水煤浆。在加拿大的 Charlotte-town 电站两台 20 MW 锅炉试烧水煤浆, 其中一台是前墙燃烧器, 另一台是四角燃烧器, 燃烧器喷嘴每支 2 t/h 煤浆, 空气预热至 216 °C, 共烧 6 000 t 水煤浆, 运行约 2 000 h。在俄罗斯, 新西伯利亚电厂 6 台水煤浆锅炉采用四角燃烧器, 每支 8 t/h, 1989 年正式投产, 成为一示范工程。在法国, 爱米丽·于歇电厂的 115 MW 发电机组的锅炉试烧煤泥水煤浆成功^[2-3]。

我国于 20 世纪 80 年代初开始水煤浆的研发工作, 并于 1983 年 5 月在浙江大学试验台架上首次实现水煤浆稳定燃烧。经过近 20 年的摸索和发展我国的水煤浆产业已取得了长足的进步, 对各式锅炉的改烧水煤浆都进行了试验, 包括工业锅炉 (1~60 t/h)、电站锅炉 (230 t/h) 等多种燃用水煤浆技术的工程试验和建设。我国现已成为世界上水煤浆炉型最多的国家, 其中在电站锅炉上燃用的水煤浆占全国水煤浆生产量的约 90%。全国目前共有山东白杨河电厂、广东茂名热电厂、北京燕山石化第三热电站、广东汕头万丰热电厂、广东南海发电一厂等 5 家企业在电站锅炉上燃用水煤浆。汕头万丰热电厂 2 号炉是燃油设计锅炉直接改烧水煤浆的, 是我国首台真正

意义上按燃油设计锅炉改烧水煤浆的锅炉。茂名热电厂按燃油设计的3号和4号炉(410 t/h)也已改烧水煤浆成功,并带100%负荷。2005年10月广东南海发电一厂配200 MW机组的670 t/h水煤浆专用锅炉投运成功,这是国际上首台最大的水煤浆专用锅炉。目前,水煤浆在工业锅炉上应用较好,应用面较宽的是在山东省和三大油田,如在山东省枣庄、新纹、青岛等地约30台各种工业锅炉使用水煤浆,胜利油田也有20余台锅炉在使用。水煤浆在工业锅炉上的应用主要是采用浙江大学开发的技术,正在应用水煤浆的工业锅炉约有五六十台,这些锅炉改造后一般都能达到油/水煤浆两用要求,烧油时能达到满负荷要求,烧水煤浆时,如原锅炉按燃煤设计,也能达到满负荷,其燃用的水煤浆占全国水煤浆生产量的约20%。

在水煤浆锅炉研发方面,自水煤浆技术诞生及其战略意义日趋突显以来,各个科研单位和公司都对水煤浆锅炉研究投入了大量人力物力。其中浙江大学热能工程研究所是我国最早开展水煤浆燃烧技术研究的单位,也是国家水煤浆燃烧技术研究中心,通过十多年的研究、技术开发和工程应用,已开发了包括水煤浆锅炉改造技术、水煤浆喷嘴、水煤浆燃烧器及水煤浆在线过滤器等15项水煤浆配套技术。中国矿业大学(北京)、北京煤化分院的水煤浆技术研究所等科研单位也提出了有益的创新和改造。

水煤浆锅炉发展的初期绝大多数都是由其它锅炉改造而来的,如果改造的不合适就会导致许多不利于水煤浆燃烧的问题,也使得燃烧效率相对较低。其中主要问题有:(1)不能保证水煤

浆正常燃烧,锅炉出力达不到;(2)无法解决除渣问题,锅炉不能连续运行;(3)达不到节能、环保目的。因此近年来很多公司和科研机构除采用改炉技术应用水煤浆外,还致力于专用水煤浆锅炉的开发。例如:燕化水煤浆示范炉是世界上第一台针对水煤浆燃料设计的专用锅炉,青岛的海众实业有限公司联合浙江大学开发生产出中小型水煤浆专用锅炉,经过一年的试运行,通过了青岛市环保局检测中心的环保检测和上海热工测试所的热工测试,其环保、节能、烟色、含硫量等环保指标均优于国家标准。这之后其它公司也陆续推出了各自的专用水煤浆锅炉^[6]。

2 水煤浆锅炉发展中用到的主要技术^[7~8]

水煤浆锅炉主要由燃煤或燃油的工业锅炉和电站锅炉改造而来,在改烧水煤浆时由于燃烧性质的差异,须对锅炉本体进行改造,以利于水煤浆的稳定、高效燃烧。因此水煤浆锅炉的主要技术是指锅炉本体的改造技术和适合水煤浆燃烧的喷嘴和燃烧器的研制技术。

2.1 卫燃带技术

卫燃带是指在燃烧器附近的水冷壁涂抹耐火泥,以提高燃烧器区域的温度,使煤浆易于着火,着火时间缩短,达到稳定燃烧的目的。

2.2 提高空气预热温度

进入炉膛参与燃烧的空气温度越高,越有利于着火。随空气温度的提高,着火温度虽变化不大,但着火时间却大大缩短。因此,提高空气预热温度是水煤浆稳定燃烧的重要措施。

2.3 喷嘴雾化技术

水煤浆必须通过喷嘴雾化燃烧,雾化是保证水煤浆燃烧的关键,

良好的雾化可以减少水煤浆滴的形成,缩短水煤浆的着火距离和燃尽时间,为水煤浆着火燃烧奠定良好的基础。

2.4 直流燃烧器的正四角切圆布置

绝大多数水煤浆锅炉采用四角切圆的燃烧器布置方法,采用这种布置方式可在炉膛内组织较好的空气动力场,此时的火焰行程较长,炉内混合均匀并且燃烧经济性高。

2.5 炉底风特殊清灰射流技术

该技术对难于改成斜冷灰斗的平底油炉改烧水煤浆尤为适用,不但成功地解决了炉内清灰问题,同时也提高了锅炉的燃烧效率。

2.6 预燃室燃烧技术

所谓预燃室技术就是使水煤浆先在一个容积比较小的绝热燃烧室内点燃,然后使稳定火焰喷入炉膛继续燃烧和燃尽。水煤浆燃烧时气流温度的提高,将明显提高水煤浆中固定碳的燃烧速度。如在1400℃的气流环境下,固定碳的燃烧速度约为1000℃气流环境下固定碳燃烧速度的2倍;另外在较高的辐射热流中,随着挥发物迅速析出和燃烧,有些煤浆滴经水分蒸发后形成的煤胞团会发生爆裂,分裂为几块,这有利于水煤浆燃尽。预燃室技术是特别适用在无热风条件下实现水煤浆稳定燃烧的有效方法。

2.7 前置燃烧室

前置复合燃烧室是专为水煤浆燃烧发展起来的一项技术,具有可实现分段送风、带预热室、原炉改造小的优点。该技术可以达到部分炉内清灰的目的,同时增加了燃烧空间,降低了炉内火焰中心。

2.8 液态排渣技术

立式液态排渣旋风燃烧室技

术, 利用煤中灰分的熔融特性, 使煤浆雾炬在高温下迅速着火燃烧并燃尽, 达到高强度燃烧; 同时把煤中 70%~80% 的灰分以液态方式排出, 达到脱灰的目的, 这也是减少负荷下降的一项技术。

3 水煤浆锅炉的现状

3.1 新技术

近年来, 随着专用水煤浆锅炉的诞生以及水煤浆锅炉改造技术的不断发展, 许多新的经验和技術得到总结和应用。

3.1.1 减少过热器受热面积和提高过热蒸汽调温能力

在燃油锅炉的改造过程中, 由于水冷壁和屏式过热器等设备的积灰以及炉膛火焰中心的偏高, 引起炉膛出口烟气温度升高, 导致过热蒸汽超温等问题。通过减少过热器受热面, 使蒸汽受热过程缩短, 降低过热蒸汽温度; 更换或增加减温器以提高过热蒸汽的调节能力, 使得过热蒸汽保持在允许的范围之内。

3.1.2 加强吹灰

燃油锅炉与水煤浆锅炉较为明显的区别在于水煤浆锅炉存在积灰问题, 因此在燃油锅炉改烧水煤浆的改造过程中, 就必须重视由积灰引起的一系列问题, 比如烟气出口温度偏高, 热效率降低, 设备磨损等。增加吹灰器是目前改造技术中必要的一环。

3.1.3 反切风技术

反切风也叫燃尽风, 反切之目的是强化水煤浆后期燃烧, 有利于焦炭的燃尽, 同时反切还有利于消除切圆扭转残余, 降低炉膛出口烟温偏差。反切风加入后, 燃烧室附近的烟气平均温度明显提高, 有利于煤浆的顺利着火与稳定燃烧。

3.1.4 增高炉膛的高度

由于水煤浆着火热大, 着火

延迟, 煤浆颗粒成团结聚, 颗粒比煤粉粗, 燃尽比煤粉困难, 要求在炉膛内停留时间长, 因此炉膛高度比同容量的煤粉炉要高 1 m 左右, 比同容量的燃油炉要高 2 m 左右。

3.2 存在的问题^[9]

水煤浆锅炉已经出现了 20 多年, 经过长期的运行和实践, 一些问题和不足逐渐暴露出来。

3.2.1 锅炉负荷不易调节

运行稳定性差。由于水煤浆自身的特点, 水煤浆燃烧只能在较窄的炉膛温度范围内进行, 当炉膛温度低时易熄火, 当炉膛温度高时则易结焦, 无法根据天气情况调节负荷。由于燃烧不稳定造成的间断影响了供热的稳定性和连续性, 并增加了油耗。

3.2.2 结焦和积灰

由于水煤浆中含有水分, 造成其燃烧不稳定, 炉膛内温度不均匀, 使得结焦较易发生, 从而引发由结焦带来的各种问题, 比如热效率降低、过热汽温偏高、燃烧器寿命降低等。积灰则是水煤浆锅炉不可避免的一个问题, 积灰同样会给锅炉运行带来一系列问题, 因此良好的吹灰系统对于水煤浆锅炉是非常重要的。

3.2.3 雾化器即燃烧器喷嘴的使用寿命较短

水煤浆中煤颗粒的存在导致了喷嘴的磨损, 在大容量和高负荷的情况下, 燃烧器喷嘴磨损加剧, 导致寿命缩短。因此燃烧器喷嘴必须定期更换, 这提高了运行的材料费和维修费, 同时降低了运行的连续性。

此外, 水煤浆锅炉还存在诸多问题, 例如设备磨损、烟道烟温偏差、过热蒸汽温度偏高等, 但通过使用前面的技术改造后, 这些问题均可以得到较好地解决。

4 结束语

自从 20 世纪 70 年代水煤浆技术诞生以来, 水煤浆锅炉就伴随水煤浆技术在不断摸索前进, 各种燃油、燃煤锅炉改造技术大量涌现, 使得水煤浆锅炉愈发成熟。到目前已开发出适合各种用途的水煤浆锅炉, 包括电站用和工业用。可以看到水煤浆作为一种代油燃料用于燃油锅炉改造的观点已被广泛认同, 在当今国际燃油紧张的大环境下, 水煤浆锅炉还是有较大的市场潜力的。未来随着燃油锅炉的减少, 水煤浆锅炉的经济优势将逐步增强, 水煤浆锅炉的环保优势将凸显出来, 因此在环保要求较高的地区, 水煤浆锅炉将会有一番作为。

参考文献:

- [1] 郝临山, 彭建喜. 水煤浆制备与应用技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.
- [2] 赵翔, 姚强, 曹欣玉, 等. 水煤浆在电站燃油锅炉内的燃烧试验[J]. 煤炭学报, 1997, 22(02): 187-191
- [3] BATTISTA J J. Test results from the co-firing of coal water slurry fuel in a 32 megawatt pulverized coal boiler[J]. Coal Fines; Unclaimed Fuel, 1995, 20: 1-12
- [4] ADDY S N, CONSIDINE T J. Retrofitting oil-fired boilers to fire coal-water slurry; an economic evaluation[J]. Coal Utility; Fuel System, 1994, 19: 341-352
- [5] PERKINS R P, SMITH R D, MANFRED R K, et al. Coal-water slurry test in an industrial boiler // Proceedings of the American Power Conference[C]. Chicago, Illinois Institute Technol, 1984, 769-776.
- [6] 姬钢. 水煤浆专用锅炉炉面世[J]. 安全与健康, 2002(1): 50-55
- [7] 范晴. 水煤浆及其燃烧技术[J]. 湖南电力, 1999, 19(2): 54-55
- [8] 胡中兴, 刘凤美, 龚光辉. 200 MW 水煤浆锅炉的设计[J]. 动力工程, 2006, 26(3): 369-374
- [9] 朱霞, 周锦峰. 65th 锅炉改烧水煤浆燃料的改造设计[J]. 节能, 2005, 271(2): 16-19.

(编辑 滨)

水煤浆锅炉的发展及现状 = **Development and Status Quo of Coal-water-mixture (CWM)-fired Boilers** [刊, 汉] / LI Yi, YANG Gong-xun, GAO Song (College of Electromechanical and Information Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing, China, Post Code: 100083) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(6). — 583 ~ 585

The concept of coal-water-mixture (CWM)-fired boilers and the features that set them apart from other boilers are briefly described along with a detailed account of the evolution and status quo of CWM-fired boilers both at home and abroad, i. e. the evolutionary process of various oil and coal-fired boilers being converted to burn CWM. The authors have noted the problems existing in the retrofitted CWM-fired boilers and the emergence of special purpose ones. The main technologies used in such boilers are depicted in detail with an analysis of their new technologies and related existing problems. Finally, the future development of CWM-fired boilers was forecasted and the authors conclude that the boilers in question will play a positive role in promoting energy-savings and environment protection. **Key words:** boiler, development, status quo, coal-water-mixture

零压力梯度平板边界层转捩的数值模拟 = **A Numerical Simulation of the Boundary Layer Transition on a Plate with Zero Pressure Gradient** [刊, 汉] / DONG Ping, HUANG Hong-yan, FENG Guo-tai (College of Energy Sciences and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(6). — 586 ~ 590

A numerical simulation of the boundary layer transition tests T3A and T3B on a plate was performed and the calculated values were in relatively good agreement with the test ones. Through a study of the phenomenon of boundary layer transition on a plate at zero pressure gradient, the authors have concluded that the influence of the complexity of the transition flows on the boundary layer of a flow field should not be neglected. The M-L transition model can somewhat accurately predict the generation and development process of the transition. At a high turbulence, the use of a total turbulence model to simulate a transition flow will result in a relatively small error. **Key words:** boundary layer transition on a plate, transition model, zero pressure gradient, numerical simulation

影响系数法平衡中的病态方程研究 = **A Study of Ill-conditioned Equations Involved in a Dynamic Balancing Process When Influence Coefficient Method is Used** [刊, 汉] / WANG Xiu-feng, NIU Zhen (National Key Laboratory on Machine Building Systematic Engineering, Diagnosis and Control Theory Research Institute, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(6). — 591 ~ 595

Dynamic balancing technology provides the most important means for the elimination of unbalance faults of rotors while influence coefficient method (ICM) represents a major approach in dynamic balancing techniques. However, in practical operations the balancing efficiency may be lowered due to the influence of ill-conditioned equations. To cope with the problem of possible emergence of ill-conditioned equations, a single-span rotor model was established and by using rotor vibration mode theory the mechanism governing the appearance in the ICM of ill-conditioned equations analyzed. On this basis, an experimental study was conducted. The research results show that the ICM can be used for the dynamic balancing of flexible rotors. However, the rotors may be influenced by the ill-conditioned equations at a special rotating speed and a special counterweight plane while the selection of a rational balancing speed and balanced counterweight plane constitutes a main measure for avoiding the ill-conditioned equations. **Key words:** influence coefficient method, dynamic balancing, ill-conditioned equation

LDV 实验测量气冷环形涡轮叶栅内部流场 = **Experimental Measurement of the Flow Field in an Air-cooled Annular Turbine Cascade by Using LDV (laser-Doppler velocimetry)** [刊, 汉] / YUAN Feng, WU Ya-dong, ZHU Xiao-cheng, et al (School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(6). — 596 ~ 600

An experimental measurement was performed of the three-dimensional average speed in the flow field of an air-cooled an-