

微油点火燃烧器煤粉流量分配比例的计算

丁历威¹, 李凤瑞¹, 张明¹, 齐晓娟¹, 李磊²

(1. 浙江省电力公司电力科学研究院, 杭州 310014; 2. 浙江电力调度控制中心, 杭州 310007)

摘要: 微油点火技术的关键之一就是在一级套筒中形成一个高煤粉浓度区域, 以利于煤粉着火。如何验证是否存在这个区域, 对微油点火燃烧器的设计 and 应用尤为重要。根据微油点火燃烧器技术特点, 结合点火试验和数值计算结果, 提出火焰形状相似度对比法, 量化数值计算精度。在精度达到要求的前提下, 提出一种煤粉流量在多级套筒中分配比例的测量方法, 已成功应用于准格尔发电厂2号炉微油点火燃烧器。

关键词: 微油点火; 燃烧器; 煤粉; 流量; 分配; 测量

中图分类号: TK223.23

文献标志码: B

文章编号: 1007-1881(2013)01-0034-03

Calculation of Pulverized Coal Flow Distribution Ratio in Tiny-oil Ignition Burner

DING Li-wei¹, LI Feng-rui¹, ZHANG Ming¹, QI Xiao-juan¹, LI Lei²

(1. Z(P)EPC Electric Power Research Institute, Hangzhou 310014, China;

2. Z(P) EPC Power Dispatching Center, Hangzhou 310007, China)

Abstract: One of the keys of the tiny-oil ignition technology is to form a high concentration region of pulverized coal in the first sleeve, which can facilitate the ignition of coal dust. How to verify the existence of the region is very important for the design and application of tiny-oil ignition burner. According to its technical characteristics, in combination with ignition test and numerical calculation result, similarity comparison method of flame profile is proposed to quantify precision of numerical calculation. When the precision meet the requirement, the measurement method of the distribution proportion of pulverized coal flow in the several sleeves was presented. The method has been successfully applied to tiny-oil ignition burner in unit 2 of the Zhunge'er power plant.

Key words: tiny-oil ignition; burner; pulverized coal; flow; distribution; measurement

火力发电厂是石油资源的消耗大户, 随着越来越多的机组参与调峰, 致使点火和稳燃用油大幅度增加。研发各类节油点火和低负荷稳燃技术^[1], 降低点火助燃用油, 有着重要的意义。

微油点火技术已经被列为国家发改委“十大节能工程”的推广技术^[2], 其关键技术之一就是在一级套筒中形成一个高煤粉浓度区域, 以利于煤粉着火, 所以如何验证是否存在这个高煤粉浓度区域, 即煤粉流量在三级套筒是如何分配的, 这对微油点火燃烧器的设计 and 应用显得尤为重要。

由于直接测量的难度很大, 目前还没有一种有效的方法解决这个问题。以准格尔发电厂2号炉微油点火燃烧器项目为基础, 结合现场试验和数值计算方法, 提出了一种微油点火燃烧器中煤粉在三级套筒中分配比例的测量方法。

1 微油点火技术的原理

微油点火技术^[3]是采用微量燃油点燃微量煤粉——点燃少量煤粉——点燃大量煤粉的逐级引燃原理, 从而使得能级逐步放大, 实现微量燃油

点燃大量煤粉的目的。目前微油点火燃烧器分为直流和旋流两种类型,以适应不同燃烧方式和不同燃烧器结构型式的改造和配套要求。

微油点火燃烧器工作原理是:先利用压缩空气的高速射流将燃油直接击碎,雾化成超细油滴进行燃烧,同时利用燃烧产生的热量对燃油进行加热、扩容,使得燃油在极短的时间内蒸发气化。油枪在正常燃烧过程中直接燃烧油气,从而大大提高燃烧效率以及火焰温度。气化燃烧后的火焰刚性极强,传播速度极快,火焰呈完全透明状,火焰中心温度高达 $1\ 500\sim 2\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$,可作为高温火核在煤粉燃烧器内直接点燃煤粉。一级燃烧室中的浓相煤粉遇到高温火核时,煤粉颗粒温度急剧升高,大量的挥发分析出并迅速着火燃烧。已燃烧的浓相煤粉在二级燃烧室内点燃煤粉,然后继续向前流动点燃三级燃烧室中的煤粉,最终实现煤粉的分级燃烧,燃烧能量逐步放大,达到点火并加速煤粉燃烧的目的,大大减少煤粉燃烧所需引燃的能量。

微油点火技术的特点:

(1)在锅炉启动停止、低负荷稳燃运动状态下能节约大量燃油,节油率在90%以上。

(2)投资少、见效快、回报周期短,1年左右能收回投资。

(3)系统简单、维护量小、操作方便,对于风速、煤粉浓度、煤质等参数变化适应能力强。

(4)锅炉启动初期便可投入电除尘系统,有利于环保,有气膜风保护,燃烧器无结焦现象。

(5)设备和系统可靠,自动化程度高,并与BMS(燃烧器管理系统)进行通信,已经历连续运行考验,故障较少。

2 火焰形状相似度对比法

内蒙古国华准格尔发电厂扩建二期工程330 MW锅炉是按引进的美国B&W公司RB锅炉技术设计制造并符合ASME标准,为亚临界参数、中间再热、自然循环单锅筒锅炉。设计燃料为内蒙古准格尔煤矿的劣质煤和褐煤,采用正压直吹MPS中速磨系统,前后墙对冲燃烧方式,并配置有B&W标准的双调风DRB型旋流煤粉燃烧器。针对锅炉的具体情况,将前后墙下层D磨和E磨对应的8只喷口改成微油点火燃烧器,在实现

锅炉冷炉启动和低负荷稳燃的前提下,确保原主燃烧器的基本性能不变。改造后的微油点火燃烧器不仅可以作为点火以及低负荷稳燃燃烧器,而且在高负荷时微油油枪退出运行后,可以作为主燃烧器使用。

目前还没有一种有效判断数值计算结果精度的方法,更多的是靠加入有限个温度或者速度测点来验证微油点火燃烧器的工况,这种方法缺乏全局性和宏观性,在工程应用上不太理想;还有一种是目测法,主要是凭经验大致评估一下数值计算结果中温度场、速度场是否正确,火焰形状是否合理,这种方法没有量化的比较,更多的是凭感觉判断,所以缺乏科学性。在此研究并提出一种更加直观、方便,也更加能反映问题的火焰形状相似度对比法。

火焰形状相似度对比法是将数值结果的火焰形状与实际燃烧火焰形状进行对比,即采用微油点火燃烧器点火过程中的照片和录像与数值计算结果进行对比,通过火焰形状来判断两者的相似度,从而使数据对比更加可视化和合理化。

具体方法是:以燃烧器喷嘴作为起点,分别选取有限个特征点,这些特征点是以喷嘴半径作为长度单位。然后在这些特征点的位置计算出火焰宽度,最后进行对比。此处设定: BL_1 为照片中火焰宽度与喷嘴半径的比值; BL_2 为数值计算图的火焰宽度与数值计算图喷嘴半径的比值。

不管照片和数值模拟结果图片中火焰的尺寸如何不同,两者喷嘴半径对应的实际长度都是一致的。以喷嘴半径作为长度单位,就可以把不同尺寸图片里的数值反映到同一个坐标系来。此处特征点的选取方法是:分别选取离喷嘴距离为0个喷嘴半径、0.25个喷嘴半径、0.5个喷嘴半径、0.75个喷嘴半径、1个喷嘴半径、1.25个喷嘴半径和1.5个喷嘴半径作为特征点。

3 煤粉流量在三级套筒分配比例的测量方法

在微油点火燃烧器设计和应用中,煤粉在各级套筒中的分配量是非常重要的。由于燃烧器内部流场比较复杂,煤粉颗粒本身又容易堵塞仪器以及现场条件的限制,光靠设备直接测量煤粉在三级套筒中的流量显得很困难。在此依据准格尔

发电厂 2 号炉微油点火燃烧器项目, 结合现场试验与数值计算方法, 提出了一种微油点火燃烧器中煤粉流量在三级套筒中分配比例的测量方法。

(1)对设计出的微油点火燃烧器进行 1:1 的数学建模, 选择合理的计算模型和计算参数, 并把实际运行参数作为边界条件对其点火过程进行数值计算。

(2)根据火焰形状相似度对比法对数值计算结果精度进行判断, 当精度达到要求后, 数值计算结果也已符合了实际燃烧器点火过程, 其温度场、速度场以及涡流情况, 颗粒轨迹等数据真实地反映了燃烧器内部情况。

(3)对 Fluent 的数据文件进行处理和计算, 从而实现煤粉流量在三级套筒中分配比例的测量。

根据火焰形状相似度对比法, 由表 1、图 1 可知, 准格尔发电厂 2 号炉微油点火燃烧器照片中数值模拟结果的火焰在相同的位置上, 火焰宽度大致相同, 对比误差都在 10%左右。这说明两者的火焰形状大致相同, 数值模拟结果大致符合实际燃烧器点火过程。

表 1 数值计算结果和照片火焰宽度对比

| 特征点 | 特征点位置 | BL_1 | BL_2 | 对比误差 $(BL_2 - BL_1) / BL_2$ /% |
|-----|-------|--------|--------|-----------------------------------|
| 1 | 0 | 0.534 | 0.485 | -10.1 |
| 2 | 0.25R | 0.593 | 0.652 | 9.1 |
| 3 | 0.5R | 0.552 | 0.612 | 9.8 |
| 4 | 0.75R | 0.615 | 0.701 | 12.2 |
| 5 | R | 0.739 | 0.826 | 10.5 |
| 6 | 1.25R | 0.749 | 0.831 | 9.9 |
| 7 | 1.5R | 0.713 | 0.811 | 12.1 |

注: R 是喷嘴的半径。特征点位置是特征点离喷嘴的距离。

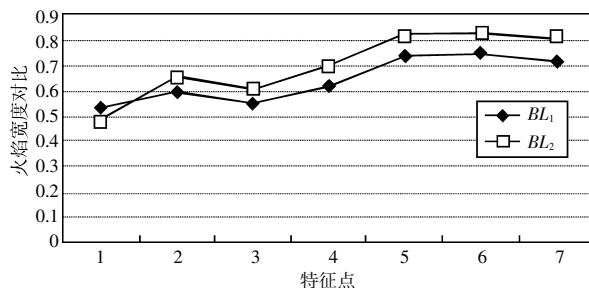


图 1 微油燃烧器火焰宽度对比

因为在计算软件 Fluent 中颗粒轨迹只是在颗粒迭代中才会计算, 当计算完成后, 数据文件中只有流场信息而无颗粒信息。此时只能通过颗粒

跟踪计算颗粒的轨迹, 相当于颗粒迭代了 1 次, 但是 Fluent 无法在颗粒迭代中跟踪到某截面通过颗粒的流量信息。在此提出了 1 种任意截面上计算颗粒流量的计算方法。通过跟踪截面经过的煤粉颗粒, 计算出这些跟踪颗粒中代表的流量, 得到该截面通过的煤粉量, 最终算出煤粉在三级套筒中的分配比例。

(1)创建 1 个所需截面。该截面要大于(包含)所计算的截面, 比如可以是套筒的入口截面。

(2)采用轨迹取样法, 在颗粒迭代时, 记录跟踪颗粒通过该截面时的所有信息。这些信息包括跟踪颗粒的三维坐标值(x, y, z), 三维速度值(u, v, w), 跟踪颗粒的当前直径, 跟踪颗粒的当前温度以及跟踪颗粒所代表的流量。

(3)通过检查颗粒坐标是否在所计算的截面内, 然后把所需的颗粒流量信息计算累加, 从而求得该截面通过的煤粉流量。

(4)分别算出三级套筒入口截面通过的煤粉流量, 从而计算出分配比例。

经过计算, 准格尔发电厂 2 号炉微油点火燃烧器煤粉流量在三级套筒中的分配比例为: 一级套筒占该燃烧器煤量的 82%, 二级套筒占该燃烧器煤量的 6%, 三级套筒占该燃烧器煤量的 12%, 如图 2 所示。这个分配比例符合微油点火燃烧器的设计要求, 说明燃烧器设计结构合理, 可以进行工程应用。

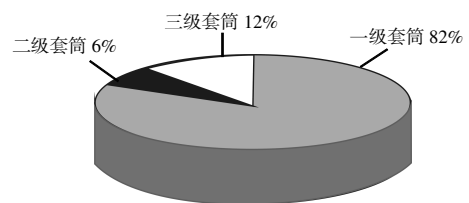


图 2 三级套筒煤粉流量的分配比例

4 结语

在微油点火燃烧器的设计和应用中, 煤粉在各级套筒中的分配比例是非常重要的。这个数据直接反映了微油点火燃烧器内部浓缩装置是否起作用, 结构是否合理, 是否在一级套筒中形成高煤粉浓度区域, 以利于着火, 而目前并没有一种有效的方法测量煤粉流量的分配比例。在此结合点

(下转第 51 页)

(上接第 36 页)

火试验和数值计算方法,应用火焰形状相似度对比法,提出了一种微油点火燃烧器中煤粉流量在三级套筒中分配比例的测量方法。该方法成功应用于准格尔发电厂 2 号炉,效果明显,最终锅炉冷炉启动节油率高达 90%以上。

参考文献:

- [1] 沈明德,颜祝明,熊凯,等.微油点火稳燃技术在 600 MW 超临界机组上的应用[J].广东电力,2008,21(1):38-41.
- [2] 赵家荣.“十一五”十大重点节能工程实施意见读本[M].北京:中国发展出版社,2007.
- [3] 潘国传.微油点火燃烧器技术及其应用[J].浙江电力,2006,25(5):16-18,34.
- [4] 徐旭常,周力行.燃烧技术手册[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [5] 江帆,黄鹏.Fluent 高级应用与实例分析[M].北京:清华大学出版社,2008.
- [6] B E LAUNDER,D B SPALDING.Lectures in Mathemati-

cal Models of Turbulence[M].London,England:Academic Press,1972.

- [7] M M BAUM,P J STREET.Predicting the Combustion Behavior of Coal Particles[J].Combust Sci Tech,3(5):231-243,1971.
- [8] S Badzioch,P G W HAWKSLEY.Kinetics of Thermal Decomposition of Pulverized Coal Particles[J].Ind Eng Chem Process Design and Development,9:521-530.
- [9] P CHENG.Two-Dimensional Radiating Gas Flow by a Moment Method[J].AIAA Journal,2:1662-1664.
- [10] Gosman A D,Ioannides E. AIAA 19th Aerospace Science Meeting[M].1981.
- [11] 周力行.湍流两相流动与燃烧的数值模拟[M].北京:清华出版社,1991.

收稿日期:2012-05-09

作者简介:丁历威(1979-),男,浙江长兴人,硕士,工程师,从事发电厂锅炉试验以及科研工作。

(本文编辑:陆莹)

努力超越 追求卓越