

混煤可磨特性与掺烧方式试验研究

段学农¹, 朱光明¹, 姚 斌², 焦庆丰¹

(1. 湖南省电力公司 试验研究院, 湖南 长沙 410007; 2 华中科技大学 能源与动力工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 对 4 种典型贫煤与无烟煤分别进行了不同混煤方式下的可磨性、粒径分布变化规律实验室试验研究, 试验结果表明, 混煤的可磨性趋向于难磨煤种、成粉样品中粗颗粒难磨煤多、细颗粒易磨煤种多。从可磨性标准测试角度对试验结果进行了物理解释, 提出混煤的可磨性必须由实验确定、“炉前掺混”时混煤的煤粉细度必须由挥发份较低的煤种决定、“分磨制粉”时各组份煤选取各自合理细度的结论。针对几种可磨性差异较大煤种的掺烧, 根据制粉系统、燃烧系统的特点, 进行了 3 种不同方式的“分磨制粉”掺烧方式优化试验, 通过较好地控制难磨、难燃尽煤种的煤粉细度, 锅炉效率较传统的“炉前掺混”方式均提高 1.5% 以上。

关 键 词: 混煤; 可磨性; 粒径分布; 燃尽特性; 分磨制粉

中图分类号: TK16 TK223.7 文献标识码: A

引 言

目前, 混煤掺烧技术在燃煤电站锅炉中得到了越来越广泛的应用, 在南方缺煤少煤省份, 很大一部分电站锅炉设计燃料即为混煤。混煤掺烧对提高锅炉燃用煤种适应性、解决电煤紧张、满足污染物排放要求等方面作出了贡献。然而, 设计燃用混煤的电站锅炉在实际运行过程中, 当燃用特性差异较大煤种的混煤时, 常出现制粉系统出力低、煤粉偏粗、飞灰可燃物高和锅炉效率下降等难题。因此有必要对煤质特性差异较大煤种的混煤进行研究, 有效地解决存在的问题。

本研究针对可磨性差异较大的两种组成煤种, 对混煤可磨性规律, 成粉样品中组成煤种的粒径分布规律及其对燃烧的影响进行了分析, 提出改善混煤燃烧经济性差的方法和措施, 并将其应用在电站锅炉上, 取得了明显效果。

1 混煤的可磨特性试验研究与分析

煤的可磨性是一种与煤的硬度、强度、韧度和脆

度有关的综合物理特性, 与煤的年代、煤岩结构、煤矿的类型和分布等有关。当前国际上常用哈氏可磨性指数 HG 来衡量煤的可磨性, HG 是一个无量纲的物理量, 其值的大小反映了不同煤样破碎成粉的相对难易程度。HG 值越大, 说明在消耗一定能量的条件下, 相同量规定粒度的煤样磨制成粉的细度越细, 或者说对相同量规定粒度的煤样磨制成相同细度时所消耗的能量越少。

试验中将可磨性较差的山西晋城煤 (HG=43)、矿山公司煤 (HG=71) 分别按 1:1 的比例与可磨性较好的白沙矿务局煤 (HG=109) 进行掺混, 分别测量 3 种单煤和两种混煤的可磨性, 测量结果如表 1 所示。

表 1 单煤和混煤的可磨性指数试验结果

	山西晋城煤		山西晋城煤: 白沙矿务局煤 (1:1)		白沙矿务局煤
	实测	平均	实测	平均	
哈氏可磨性指数	43	59	76	109	109
可磨性判断	难磨	难磨	中等	易磨	易磨
	矿山公司煤		矿山公司煤: 白沙矿务局煤 (1:1)		白沙矿务局煤
	实测	平均	实测	平均	
哈氏可磨性指数	71	76	90	109	109
可磨性判断	中等	中等	易磨	易磨	易磨

注: 可磨性判断标准: HG < 62 难磨, HG > 86 易磨。

1.1 混煤的可磨性与单煤不呈线性关系, 并非两个组分煤种加权平均, 而是趋向于难磨的煤

山西晋城煤 HG 为 43 白沙矿务局煤 HG 为 109 两种煤按 1:1 混和后 HG 为 59 (可磨性判为难磨) 而非两者 HG 的加权平均值 76 (可磨性判为中等可磨) 可见混煤的可磨性趋向于难磨的晋城煤。矿山公司煤、白沙矿务局煤单煤与混煤的可磨性测量结果亦得到同样的结论。

1.2 可磨性差异越大的两种煤掺混时, 混煤的可磨性越趋向于难磨煤种

山西晋城煤与白沙矿务局煤可磨性差异大, 其实测可磨性与加权平均值的比为 0.776 而矿山公司煤与白沙矿务局煤可磨性差异相对小些, 其实测可磨性与加权平均值的比为 0.844 说明可磨性差异越大的煤进行混和时, 混煤的可磨性越接近难磨煤种。

1.3 工业应用中, 混煤的可磨性必须由实验确定

从混煤可磨性变化规律可知, 在锅炉设计和运行中, 混煤的可磨性不能取两者的加权平均值, 而必须由实验确定, 可磨性差异大的煤掺混时更是如此, 以免引起制粉系统出力低、煤粉偏粗等异常。在锅炉设计中, 一般采用实验的方法确定混煤的可磨性指数, 来定磨煤机的容量。而在锅炉运行过程中, 电厂很少进行混煤的可磨性实验, 指导锅炉运行。

2 混煤成粉粒径分布规律的研究及对燃尽特性的影响

为了进一步研究混煤对燃烧的影响, 进行了混煤成粉样品各组分煤种的粒径分布规律实验。某厂山西晋城无烟煤和潞安煤按质量比 1:1 采用“炉前掺混, 炉内混烧^[1]”的方式进行掺烧, 将制粉系统成粉样品按粗粒 ($> 0.12 \text{ mm}$)、中粒 ($0.06 \sim 0.12 \text{ mm}$)、细粒 ($< 0.06 \text{ mm}$) 进行粒径分级, 测量各种粒径组煤粉的干燥无灰基挥发分, 以判别各组分煤的粒径分布规律, 实验结果如表 2 所示。

表 2 先混后磨混煤不同粒径组煤粉的挥发分实验结果

煤 种	干燥无灰基挥发分 /%
潞安煤 (原煤)	15.58
潞安煤 山西晋城无烟煤 (细煤粉)	15.19
潞安煤 山西晋城无烟煤 (中等粒径煤粉)	13.42
潞安煤 山西晋城无烟煤 (粗煤粉)	9.42
山西晋城无烟煤 (原煤)	6.76

2.1 混煤成粉样品粒径分布规律

成粉样经过筛分后, 工业分析表明, 粗粉干燥无灰基挥发分 9.42%, 略高于晋城煤 6.76%, 细粉干燥无灰基挥发分 15.19%, 接近于潞安贫煤 15.58%, 这揭示了“混煤成粉样品中粗粉无烟煤多、细粉样品中贫煤多”的混煤成粉样品颗粒分布规律。

2.2 混煤粒径分布对混煤燃烧特性的影响

燃烧理论认为, 细度对煤粉着火和燃尽影响巨

大, 尤其是对无烟煤种类。提高煤粉细度, 可有效缩短着火时间, 提高燃尽度。当两种不同燃烧特性的煤掺配时, 如何有效控制合适煤粉细度是提高锅炉燃烧稳定性和经济性的根本手段。

“先混后磨”时, 混煤成粉样中粗煤粉无烟煤多、无烟煤“欠磨”, 细煤粉贫煤多, 贫煤“过磨”, 这与燃尽特性对煤粉细度的要求正好相反。这一粒径分布规律以及混煤的“抢风现象”决定了混煤的燃尽特性接近于难燃尽煤种。对潞安贫煤、山西晋城无烟煤及其混煤的不同粒径组的燃烧特性试验也充分说明了这一点, 其燃尽率主要地由混煤中山西晋城无烟煤的燃尽情况所决定。

2.3 混煤成粉粒径分布规律与可磨性变化规律的分析

可磨指数实验是在风干条件下, 将单位质量标准燃料和试验燃料由相同的粒度, 磨碎到相同的细度时, 所消耗的能量比值统称“可磨指数”。

混煤进行可磨性试验时为保证无烟煤磨到合格的细度, 与其掺混的烟煤或贫煤将“过磨”, 其细度明显变细, 同时多消耗能量。两者的可磨性差异越大, 烟煤或贫煤“过磨”更重, 消耗的能量更多, 因此混煤的可磨性趋向于难磨煤种。

3 混煤煤粉细度选取原则

一直以来制粉系统的煤粉细度由 V_{da} 所决定, 常用的煤粉细度计算为:

$$R_{90} = K + 0.5 n V_{daf}$$

式中: R_{90} —煤粉细度, %; K —系数; n —表征煤粉粒度总体均匀程度的系数; V_{daf} —煤的干燥无灰基挥发分, %。

对于用单一煤种的锅炉, 毫无疑问这是正确的。对于燃用混煤的锅炉, 煤粉细度是否按混煤的 V_{daf} 选取, 这就值得商榷。

从混煤的煤粉细度分布规律试验结果可知, 混煤的煤粉细度选取应由组分煤中 V_{daf} 较低的煤种决定, 而不能按混煤的平均挥发分选取。在燃用混煤的锅炉运行中, 如果按混煤 V_{daf} 选取煤粉细度, 就会造成烟煤、贫煤“过磨”, 煤粉过细; 而无烟煤“欠磨”, 粗颗粒较多, 最终导致飞灰含碳量高, 锅炉效率低等一系列问题。在燃用混煤的锅炉设计中, 如果按混煤的 V_{daf} 选取煤粉细度, 就会造成磨煤机选型偏小、制粉系统出力低、煤粉细度无法保证, 从而使运行锅炉效率低。

在设计阶段,按混煤的平均挥发分选取煤粉细度、设计制粉系统在某些时候是不合适的。如某厂 300 MW“W”火焰锅炉设计燃用无烟煤、贫煤和少量烟煤的混煤,其哈氏可磨性 HG 为 109 收到基低位发热量为 20 990 kJ/kg V_{da} 为 11.22%。设计煤粉细度按平均挥发分取 R_{90} 为 11%~13%,由于煤粉细度选择偏粗,导致磨煤机选型严重偏小,其型号为 BB3854 (该型号为湖南省火电机组中最小的双进双出磨煤机),投运后,为保证机组安全、经济运行不得不大幅降低无烟煤掺烧比例,锅炉煤种适应性受到严重限制。

因此,在工业应用中,如果采用“炉前掺混^[1~2]”的方式进行混煤掺烧,煤粉细度应由掺烧的挥发分最低的无烟煤所决定;如果采用“分磨制粉^[1~2]”的方式进行混煤掺烧方式,则各掺混煤种应按各自的 V_{da} 选取各自合理的煤粉细度。

4 “分磨制粉”混煤掺烧方式的探索与应用

为了解决低可磨性煤种的掺烧经济性,在湖南省电站锅炉中开展了以“分磨制粉”为特点的混煤掺烧试验研究,根据混煤特性、炉型、制粉系统等特点,推出了“分磨制粉,仓内掺混,炉内混烧^[3]”、“分磨制粉,分仓储存,分层掺烧^[4]”、直吹式制粉系统“分磨制粉,炉内掺烧^[3]”等新型掺烧方法,取得了令人满意的效果。

4.1 “分磨制粉,仓内掺混,炉内混烧”

某 300 MW 四角切圆锅炉,采用仓储式制粉系统,粉仓与粉仓的联络方式为输粉裤衩管,粉仓与燃烧器连接为单边连接,设计燃用山西晋东南无烟煤和黄陵烟煤的混煤,试验期间,实际燃用河南郑煤(贫煤)和巩义金鼎无烟煤。

“分磨制粉,仓内掺混,炉内混烧”选定 D 制粉系统单独磨制金鼎无烟煤, R_{90} 煤粉细度降至 6% 以下, C 制粉系统磨制郑煤, R_{90} 细度在 14%~20%;当粉位下降时,短时间启动 A 或 D 制粉系统,磨制郑煤,金鼎无烟煤和郑煤通过 B、C 制下的裤衩管进行仓内掺混,经统计计算郑煤与金鼎无烟煤掺混比例为 3:2。

郑煤与金鼎无烟煤按 3:2 掺混比例进行“炉前掺混”的试验,煤粉细度控制在 12%~16%。

试验均在 300 MW 满负荷下进行,测试结果表明“分磨制粉”下,平均锅炉效率达 92.59%,较“炉前掺混,炉内混烧”方式下平均锅炉效率提高约 1.5%。

4.2 “分磨制粉,分仓储存,分层掺烧”

某 300 MW 四角切圆锅炉,采用仓储式制粉系统,粉仓与粉仓之间的联络方式为输粉机,粉仓与燃烧器连接为分层连接,设计煤种为劣质烟煤,受煤炭市场的影响,被迫掺烧 50% 左右的当地无烟煤,加上炉前掺混手段欠缺,致使锅炉效率低、额定负荷时平均热效率为 87.29%,且每月均有灭火现象发生。

通过增设卫燃带、进行燃烧调整,特别是采用下两层半燃烧器燃用无烟煤、上两层半燃烧器燃用烟煤的“分磨制粉,分仓储存,分层掺烧”方式后,锅炉燃烧稳定,且锅炉效率提高了 2.1%~2.8%。

4.3 直吹式制粉系统“分磨制粉,炉内掺烧”

某厂“W”型火焰锅炉,采用正压直吹式制粉系统,配有 16 个浓缩型 EI-XCL 低 NO_x 双调风旋流煤粉燃烧器、4 套 Metso Minerals 公司生产的 14'-0" × 18'-0" 双进双出磨煤机,设计燃用当地无烟煤。实际燃用当地无烟煤、山西晋城无烟煤等煤的混煤。在该 300 MW 机组锅炉进行了“炉前掺混”与“分磨制粉”的对比试验。

“炉前掺混,炉内混烧”试验将山西晋城煤和白沙矿务局煤按 1:1 在炉前进行掺混,混煤进入磨煤机制粉,控制煤粉细度 R_{90} 在 6.5% 左右,锅炉效率测试结果为 88.69%。“分磨制粉,炉内掺烧”试验进行了 3 个工况,两台磨磨制晋城无烟煤,煤粉细度控制在 5% 左右,两台磨磨制白沙矿务局煤,煤粉细度控制在 7% 左右,3 个工况锅炉平均效率为 90.60%,较“炉前掺混”方式提高 1.91%。试验结果表明,可磨性差异较大的无烟煤掺烧时,由于“分磨制粉”使难磨、难着火、难燃尽的煤粉细度得到控制,锅炉效率比“炉前掺混”明显提高。

5 结论

(1) 混煤的可磨性与单煤不呈线性关系,并非两个组分煤种加权平均,而是趋向于难磨的煤,可磨性差异越大的两种煤掺混时,混煤的可磨性更加趋向于难磨煤种,在工业应用中,混煤的可磨性必须由实验确定。

(2) 混煤成粉样中粗粉无烟煤多、细粉贫煤(烟煤)多,混煤的燃尽特性接近于难燃尽煤种,混煤的煤粉细度不能由混煤的 V_{da} 决定,而主要由难燃煤种的挥发分所决定。在工业应用中,如果采用“炉前掺混”的方式进行混煤掺烧,煤粉细度将由掺烧的挥发分最低的无烟煤所决定;如果采用“分磨

制粉”的方式进行混煤掺烧方式, 则各掺混煤种按各自的 V_{da} 选取各自合理的煤粉细度。

(3) 对于可磨特性、燃尽特性差异较大的燃煤进行掺烧时, “分磨制粉”的掺烧方式, 由于能较好地控制难磨、难燃尽煤种的煤粉细度, 可显著降低飞灰可燃物, 提高锅炉效率 1.5%。

参考文献:

[1] 段学农, 朱光明, 焦庆丰, 等. 电站锅炉混煤掺烧技术研究与实践 [J]. 中国电力, 2008, 41(6): 51—54

- [2] 湖南省电力系统技术中心. 湖南省电站锅炉混煤掺烧指导性意见 [R]. 湘电技中 [2007] 18号.
- [3] 朱光明, 段学农, 康黄辉, 等. 仓储式制粉系统锅炉混煤掺烧方式优化的试验研究 [J]. 中国电力, 2008, 41(11): 33—37
- [4] 焦贤明, 史林, 任达清. 炉内混煤掺烧方式探讨 [J]. 湖南电力, 2005, 25(4): 43—45
- [5] 朱光明, 段学农, 姚斌, 等. 直吹式制粉系统“W”型火焰锅炉无烟煤混煤掺烧优化试验研究 [J]. 中国电力, 2009, 42(4): 18—21.

(编辑 陈 滨)

新技术、新工艺

加拿大建 800 MW 联合循环电站

据《Gas Turbine World》2009年 11~12月号报道, 安大略电力管理局授予 Trans Canada 一个 20 年“清洁能源供应合同”, 来建造、拥有并运行一座位于安大略省奥克维尔市的额定功率为 800 MW 烧天然气的联合循环电站。

该联合循环电站主要由两台额定功率为 2×270 MW 的 MHI(三菱重工)M501 GAC 燃气轮机、两台不补燃的余热锅炉和一台 270 MW 的汽轮机组成。

在运行上, 该电站将提供分布式电力; 根据需要, 能迅速启动以便安排迅速地加载, 达到响应转换电力的要求。

在标准的 2×1 结构中, 在 15°C 环境温度和海平面现场条件下以天然气作为燃料, 对于基本负荷运行, MHI 联合循环装置被设计成额定净输出功率为 810 MW、热耗率为 6 060 kJ/(kWh) (LHV(低发热值)效率为 59.4%)。

该联合循环装置将装有 SCR(选择催化还原)设备, 以便满足管理机构规定的 15 mg/kg NO_x 排放限制。

安大略电力管理局已经着手一项计划, 预计在 2014 年年底前取消烧煤火电机组, 并利用烧天然气的联合循环容量满足负荷的需要, 上述电站的环境性能是有特殊意义的。

时间表要求该电站于 2014 年年底前启动并投入商业运行生产电力。预计该项目的开发成本约为 11 亿美元(每千瓦装机功率 1 360 美元)。

在投入运行以后, 该 810 MW 联合循环电站, 配有 25 个专责的管理、运行和维护人员。

(吉桂明 摘译)

operating conditions of the boiler. Compared with the currently available methods for evaluating and judging the combustion conditions of a boiler, the above-mentioned method can avoid the difficulty for evaluation, judgment and policy-making caused by the incomparability of various factors, making the operation realized by using the method in question enjoy a conspicuous superiority. Key words: tangentially corner-fired pulverized coal boiler; combustion judgment; factor analytic method; common factor; mean square deviation; contribution rate

混煤可磨特性与掺烧方式试验研究 = Experimental Study of the Grindability and Mixed-diluted Combustion Mode of a Blended Coal [刊, 汉] / DUAN Xue-nong, ZHU Guang-ming, JIAO Qing-feng (Experiment Research Institute, Hunan Provincial Electric Power Corporation, Changsha, China, Post Code: 410007), YAO Bin (College of Energy Source and Power Engineering, Central China University of Science and Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(4). — 410 ~ 413

Experimentally studied were the grindability and the variation law of the particle diameter distribution of four kinds of typical lean coal and anthracite respectively in different coal mixing modes in a laboratory. The test results show that the grindability of the blended coal tends to be such as assumed by coal ranks difficult to grind, i.e. in the pulverized coal samples, the coarse particles pertain to more difficult to grind coals while the fine particles involve more easily grindable coal ranks. The test results were explained physically from the angle of the standard testing of grindability. It has been concluded that the grindability of a blended coal must be determined through tests. The pulverized coal fineness of a blended coal must be decided by a coal rank with a relatively low volatile content when it is "mixed and diluted in front of the furnace" and a rational fineness for each coal component must be chosen when separate milling is adopted. For the mixed/diluted combustion of coal ranks with a relative big difference in grindability, an optimization test was performed of three "separate milling" mixed/diluted combustion modes in the light of specific features of the milling and combustion system. By controlling relatively well the pulverized coal finenesses of difficult to grind and difficult to burn out coal ranks, the boiler efficiencies were invariably enhanced by more than 1.5% when compared with that in the traditional "mixing/dilution in front of the furnace" combustion mode. Key words: blended coal; grindability; particle diameter distribution; burn-out characteristics; separate milling

基于遗传算法的 PD 参数整定在高温多相流风洞中的应用 = Application of PID (Proportional, Integral and Differential) Parameter Setting Based on a Genetic Algorithm in a High-temperature Multiphase Flow Wind Tunnel [刊, 汉] / XU Ting-yan, FU Xing-guo, YUAN Zhen-fu (National Key Laboratory on Clean Utilization of Energy Source, Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(4). — 414 ~ 417

A high-temperature multiphase flow wind tunnel can simulate gas-solid two-phase flow conditions during the operation of a boiler, facilitating the study of flow characteristics and testing methods. To better control the technical parameters of the wind tunnel, PID (proportional, integral and differential) controllers were adopted in the main control loops of the wind tunnel and the PD parameters were set based on a genetic algorithm. The choice of the target function based on the genetic algorithm and the concrete operations of the genetic algorithm were described in detail with the option operations being coupled with optimum preservation tactics. By using software Matlab, a simulation was performed of the PD parameter setting of temperature control objects based on the genetic algorithm. The set PD parameters were used for on-site commissioning test, and $k_p=0.2173$, $k_i=0.4505$ and $k_d=0.0758$ were obtained after a tiny correction. During the test, the maximal dynamic deviation of temperature was 1 °C, thus attaining a good control quality. Key words: genetic algorithm; PID (proportional, integral and differential) parameter setting; wind tunnel; high-temperature multiphase flow