

燃煤锅炉制粉系统的优化运行试验

吴东垠¹, 盛宏至², 魏小林², 余立新², 张厚超³

(1. 天津大学内燃机燃烧学国家重点实验室, 天津市南开区 300072; 2. 中国科学院力学研究所, 北京市海淀区 100080; 3. 内江发电总厂, 四川省内江市 641005)

THE OPTIMIZED EXPERIMENTS OF MILLING SYSTEM FOR COAL-FIRED BOILER

WU Dong-yin¹, SHENG Hong-zhi², WEI Xiao-lin², YU Li-xin², ZHANG Hou-chao³

(1.State Key Laboratory of Engines, Tianjin University, Nankai District, Tianjin 300072, China; 2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Haidian District, Beijing 100080, China; 3. Neijiang Power Plant, Neijiang 641005, Sichuan Province, China)

ABSTRACT: The experimental research has been done to optimize classifier speed of pulverized coal milling system and primary air flow rate of the boiler when the system load is varied. The results show that: when the mill load is 12 kg/s, the recommended classifier speed is 85 r/min and the ratio of air to pulverized coal is 2.0 in mass; when the mill load is 8 kg/s, the recommended classifier speed is 70 r/min and the ratio of air to pulverized coal is 2.5 in mass. The conclusion of the in mass pulverized coal, the curve for classifier speed/coal capacity, both can be used as the guidance for milling system operating.

KEY WORDS: Thermal power engineering; Boiler; Mill; Separator; Primary air; Pulverized coal fineness

摘要: 该文在磨煤机出力变化时,进行了优化分离器转速和一次风量的试验。试验发现:当磨煤机出力为 12 kg/s 时,建议分离器转速为 85r/min、风粉比为 2.0;当磨煤机出力为 8 kg/s 时,建议分离器转速为 70r/min、风粉比为 2.5。文中得出的风/粉比和分离器转速/给煤量曲线可以指导磨煤机的运行。

关键词: 热能动力工程; 锅炉; 磨煤机; 分离器; 一次风; 煤粉细度

1 引言

煤粉的燃烧特性随煤粉粒径的减少而得到显著改善,煤粉细度直接关系到锅炉的燃尽程度^[1-7],超细煤粉不仅燃烧效果好,而且可以有效地降低

NO_x 的生成^[8-10],但是,超细煤粉燃烧技术应对超细煤粉的制备(分离)、输送、防爆及燃烧等技术进行进一步研究^[11]。电站锅炉的磨煤机系统庞大、工作条件恶劣,提高煤粉细度,锅炉的燃烧效果变好,但制粉电耗又随之上升。因此,磨煤机的运行特性必须引起足够的重视,本文主要研究磨煤机的风粉比和分离器转速对煤粉细度及制粉电耗等的影响。

某锅炉为亚临界压力,一次中间再热、自然循环、平衡通风、固态排渣,设计蒸发量为 1188 t/h。采用正压直吹式制粉系统,配 4 台 HP-1003 型碗式磨煤机,在锅炉额定负荷时一台磨煤机备用,另外 3 台磨煤机运行。

在运行过程中,磨煤机出口各一次风管的粉量偏差较大,而且磨制的煤粉偏粗,距设计值相差甚远,锅炉的飞灰和炉渣可燃物均明显偏高,锅炉设计未完全燃烧损失为 1.00%,而运行过程中锅炉的飞灰可燃物有时竟高达 19.58%,炉渣可燃物达 10.27%,实际未完全燃烧损失达到 4.80%。为了降低煤粉细度,并查找其原因,进行了磨煤机的性能试验,考虑到其中一台磨煤机出口的 6 根一次风管均可以取到煤粉,而且其顶部的取样条件相对较好,故选用该磨煤机为重点调整对象,然后再进行其它 3 台磨煤机的校核试验。试验煤种的煤质特性如表 1 所示。

基金项目: 国家自然科学基金项目(50376068)。

Project Supported by National Natural Science Foundation of China (50376068).

2 试验内容

本次试验主要依据电力行业标准《磨煤机试验规则》(DL467-92)进行^[12], 结合现场实际情况, 实验分以下几部分:

表 1 试验煤种的煤质特性

Tab. 1 The characteristics of tested coal		
项目	内容	数值
元素分析	收到基碳/%	58.56
	收到基氢/%	3.36
	收到基氧/%	7.28
	收到基氮/%	0.79
	收到基硫/%	0.63
工业分析	收到基水分/%	9.61
	收到基灰分/%	19.77
	干燥无灰基挥发分/%	22.82
	固定碳/%	47.80
	低位发热量/(kJ/kg)	22410
	哈氏可磨系数	57.64

(1) 磨煤机出力分别为 12 kg/s、8 kg/s 的试验根据分离器转速与分离器电流、煤粉细度之间的关系确定适宜的分离器转速以后, 再根据一次风的风粉比与分离器压差、分离器电流和煤粉细度等之间的关系, 确定适宜的一次风的风粉比^[13,14]。

(2) 确定风粉比和分离器转速曲线试验

在 1 台磨煤机性能试验的基础上, 进行了其它 3 台磨煤机的校核试验, 优选若干组试验结果得出风粉比和分离器转速曲线, 以指导磨煤机的运行。

在试验期间, 煤质稳定, 接近设计煤种, 除非特意说明, 其它运行参数均按习惯运行方式设定。得到了较多试验工况的数据, 试验重复性较好, 为了简化篇幅, 下文选择了有代表性的实验数据予以说明问题。

3 试验结果及分析

3.1 磨煤机出力为 12 kg/s 的试验

实验发现: 随着分离器转速的增加, 分离器压差也随之上升, 分离器旋转所需克服的阻力也增加, 表现为分离器的电流上升, 当分离器转速从 66r/min 升高到 80r/min, 分离器压差由 2.793 kPa 上升到 3.049 kPa, 当分离器转速分别为 66r/min、70r/min、75r/min 和 80r/min 时, 对应的分离器电流分别为 41.9 A、42.3 A、45.1 A 和 48.8 A, 分离器电流增加了 6.9 A。

煤粉细度对动态分离器转速的变化比较敏感, 随着分离器转速的增加, 煤粉细度下降, 煤粉变细,

图 1 为分离器转速与煤粉细度之间的关系曲线。当分离器转速从 66r/min 升高到 80r/min 时, 相应煤粉细度 R_{75} 、 R_{90} 和 R_{200} 分别下降了 6.36、6.58 和 1.7 个百分点, 但是, 煤粉细度 R_{75} 尚未达到设计值 20%。

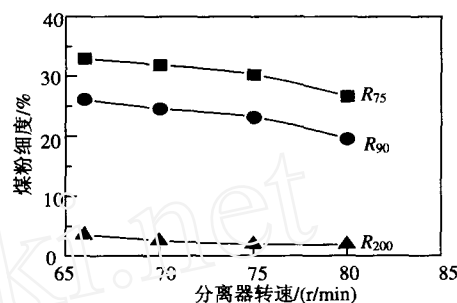


图 1 分离器转速与煤粉细度的关系(12 kg/s)

Fig.1 Relation between classifier rotor speed and pulverized coal fineness (12 kg/s)

上述试验说明, 提高分离器转速是降低煤粉细度的必要条件之一, 但是, 磨煤电耗却随之增加。当分离器转速为 80r/min 时, 分离器电流仅为 48.8 A, 距分离器额定电流 71 A 尚有较大的裕度, 为了更好地发挥动态分离器的优势, 应该提高分离器的转速, 从图 1 可见, 分离器转速越高, 则分离器转速每增加 1r/min 对煤粉细度的影响幅度越大, 在磨制试验煤种时, 若 R_{75} 达到 20%, 分离器转速大致为 85r/min, 对应分离器电流为 55 A, 因为分离器电流直接关系到制粉电耗, 影响锅炉的经济性, 如果希望分离器电流低于 50A 运行, 则需要通过降低磨煤机入口的一次风量来实现。

但是, 风粉比太低, 一次风管的气力输送力降低, 容易引起一次风管堵管和一次风管自燃等事故, 影响机组的安全性, 因此, 选择了风粉比为 1.8、1.9、2.0、2.1 和 2.2 进行试验, 其中, 分离器转速为 85r/min。

试验发现: 当风粉比为 2.2、2.1、2.0、1.9 和 1.8 时, 对应分离器压差/分离器电流分别为 3.049 kPa/48.8 A、2.9 kPa/46.6 A、2.721 kPa/45.7 A、2.4 kPa/44 A 和 2.187 kPa/42 A。

可见, 一次风的风粉比对分离器压差、分离器电流和煤粉细度等的影响比较明显, 随着风粉比的升高, 分离器压差、分离器电流和煤粉细度均呈上升的趋势。

图 2 为一次风的风粉比与煤粉细度之间的关系曲线。当风粉比由 2.2 降至 1.8 时, 分离器压差下降了 0.9 kPa, 分离器电流下降了 6.8A, 煤粉细度 R_{75} 由 26.61% 降至 23.39%, 下降了 3.22%, 已基本

接近设计值。

仔细观察图2可以发现：随着风粉比的降低， R_{75} 由开始表现为下降，然后基本不再变化，而 R_{90} 和 R_{200} 始终表现为下降的趋势，为了解释该现象，在试验过程测量了煤粉均匀性指数，当风粉比为2.2、2.0和1.8时，其均匀性指数分别为1.3060、1.1646和1.1189，说明煤粉中粗煤粉的比率在不断下降，即风粉比降低，煤粉中细煤粉的份额增加，煤粉细度亦随之降低，更有利于煤粉燃烧。

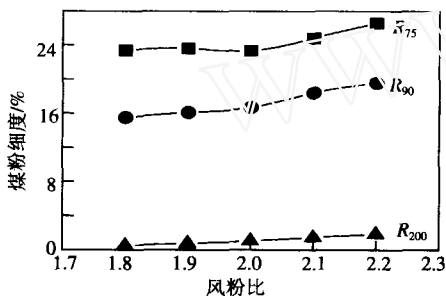


图2 风粉比与煤粉细度的关系(12 kg/s)

Fig. 2 Relation of the proportion between air and coal and Pulverized coal fineness(12kg/s)

在以往的运行过程中，曾发生过分离器过力矩保护动作的情况，因此，分离器电流不宜过高，为了获得合格的煤粉，在保持较高的分离器转速的同时，尽量降低风粉比，同时，为了防止一次风管堵管，建议该出力时的风粉比选为2.0为宜。

3.2 磨煤机出力为8 kg/s的试验

参照磨煤机出力为12 kg/s时的试验结果，同时进行了磨煤机出力为8 kg/s的试验，试验结果如表2和表3所示，其中变分离器转速试验中风粉比设为2.5，根据表2的试验结果，在表3所示的试验中，分离器的转速设定为70 r/min。

从表2和表3可见其规律与磨煤机出力为12 kg/s的试验相同，由此也支持了上述试验结果，在此不再赘述。因此，当磨煤机出力为8 kg/s时，建议分离器转速设定为70 r/min、风粉比为2.5为宜。

表2 改变分离器转速的试验结果(8 kg/s)
Tab. 2 Result of changing classifier speed(8 kg/s)

项目	数值			
分离器转速/(r/min)	55	65	70	80
分离器压差/kPa	1.664	1.762	1.788	1.795
分离器电流/A	28.0	31.0	31.2	32.8
平均 $R_{75}/\%$	29.64	28.84	24.68	22.62
平均 $R_{90}/\%$	22.50	21.25	18.16	14.70
平均 $R_{200}/\%$	1.81	0.92	0.81	0.28

表3 改变风粉比的试验结果(8 kg/s)

Tab. 3 Result of changing the proportion between air and coal(8 kg/s)

项目	数值		
风粉比/(r/min)	2.3	2.5	2.75
风量/(kg/s)	21.6	20.0	21.9
分离器压差/kPa	1.301	1.409	1.762
分离器电流/A	28.0	29.0	31.2
平均 $R_{75}/\%$	24.50	24.54	24.68
平均 $R_{90}/\%$	17.32	17.50	18.16
平均 $R_{200}/\%$	0.46	0.48	0.81
均匀性指数	1.4048	1.4011	1.2996

3.3 风粉比和分离器转速的关系

以上描述的是其中1台磨煤机的性能试验，本次试验另外进行了其它3台磨煤机的校核试验，并完成了若干磨煤机变出力的特性试验，本文优选几组试验结果绘制了风/粉比和分离器转速/给煤量的关系曲线，如图3和图4，以指导磨煤机的运行。

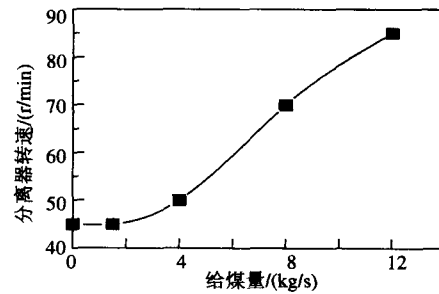


图3 给煤量与分离器转速的关系

Fig. 3 The relation of coal capacity and classifier roter speed

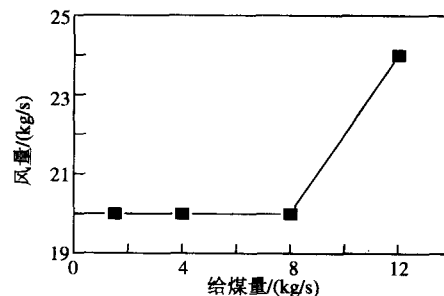


图4 给煤量与风量的关系

Fig. 4 The relation of coal capacity and air flow

结合现场实践，并参考图3和图4，主要得到如下启示：

(1) 因煤质多变(如可磨度、水份等)，当磨煤机出力为12 kg/s时，风粉比宜控制在2.0左右，当磨煤机出力为8 kg/s时，风粉比宜控制在2.5左右；

(2) 磨煤机启动时宜保持较低的风量和分离器转速；

(3) 磨煤机最高出力为12 kg/s，分离器的最高

转速为 85 r/min, 磨煤机的电流为 55 A。

在优化工况下, 当磨煤机出力为 12 kg/s 时, 锅炉的飞灰可燃物为 4.70%、炉渣可燃物为 2.27%、实际未完全燃烧损失为 0.88%; 当磨煤机出力为 8 kg/s 时, 锅炉的飞灰可燃物为 3.47%、炉渣可燃物为 6.86%、实际未完全燃烧损失为 0.75%, 均优于设计值。

4 结论

(1) 当磨煤机出力保持不变时, 随着分离器转速的升高, 煤粉细度下降, 磨煤电耗升高。原运行方式的分离器转速设置过低, 只有提高分离器转速, 才能发挥动态分离器的优势, 达到降低煤粉细度的目的。当磨煤机出力为 12 kg/s 时, 分离器转速为 85 r/min; 当磨煤机出力为 8 kg/s 时, 分离器转速为 70 r/min, 而且分离器最高电流小于 55 A, 尚未达到额定值 71 A, 这样既可以保证煤粉细度达到设计要求, 又能兼顾磨煤电耗不致过高。

(2) 当磨煤机出力不变时, 随着风粉比的降低, 煤粉细度和磨煤电耗均呈下降的趋势, 但风粉比过低容易使一次风管堵管。因此, 当磨煤机出力为 12 kg/s 时, 建议风粉比为 2.0; 当磨煤机出力为 8 kg/s 时, 建议风粉比为 2.5。

(3) 该磨煤机设计的额定出力为 15.4 kg/s, 设计风粉比为 1.5, 本文推荐磨煤机额定出力为 12 kg/s, 风粉比为 2.0, 此时分离器转速为 85 r/min。

(4) 按照本文推荐的磨煤机特性曲线运行, 经过近一年的运行实践证明, 煤粉细度基本达到设计要求, 炉内煤粉燃尽状况较好, 飞灰和炉渣可燃物中均明显降低。

参考文献

- [1] 姜秀民, 李巨斌, 邱建荣. 超细煤粉燃烧特性的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(6): 71-74.
Jiang Xiumin, Li Jubin, Qiu Jianrong. Study on characteristics of micro-pulverized coal[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(6): 71-74.
- [2] 姜秀民, 杨海平, 刘辉, 等. 煤粉颗粒粒度对燃烧特性影响热分析 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(9): 142-145.
Jiang Xiumin, Yang Haiping, Liu Hui, et al. Analysis of effect of coal powder granularity on combustion characteristics by thermo gravity[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(9): 142-145.
- [3] Zajdlík R, Jelemenský L, Remiarová B, et al. Experimental and thermo investigations of single coal particle combustion[J]. Chemical Engineering Science. 2001, 56(4): 1355-1361.
- [4] 张静英. 煤的着火燃尽特性及其燃烧过程中空隙结构变化研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 1997.
Zhang Jingying. Ignition and burnout as well as pore structure characteristics during coal combustion[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 1997.
- [5] 姜秀民, 杨海平, 闫激, 等. 超细煤粉表面形态分形特征[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(12): 165-169.
Jiang Xiumin, Yang Haiping, Yan Che, et al. Fractal characteristics of surface structure of micro-pulverized coal[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(12): 165-169.
- [6] P.U.Sestry, D.Sen S.Mazumder, K.S. Chandrasekaral. Structural variations in lignite coal: A small angle X-ray scattering investigation solid state communications [J]. Combustion and Flame. 2000, 114: 329-333.
- [7] C.R.Clarkson, R.M.Bustin. The effect of pore structure and gas pressure upon the transport properties of coal: a laboratory and modeling study. 1. Isotherms and volume distributions[J]. Fuel. 1999, 78: 1333-1344.
- [8] 王恩禄, 彭玲, 罗永浩, 等. 燃煤电站锅炉 NO_x 排放的控制措施[J]. 锅炉技术, 2003, 34(5): 48-52.
Wang Enlu, Peng Ling, Luo Yonghao, et al. The measurements for reducing the NO_x emissions of coal fired power plants in china[J]. Proceedings of the Boiler Technology, 2003, 34(5): 48-52.
- [9] 刘忠, 阎维平, 高正阳, 等. 超细煤粉细度对再燃还原 NO 的影响 [J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(10): 204-208.
Liu Zhong, Yan Weiping, Gao Zhengyang, et al. The effect of the micro-pulverized coal fineness on nitric oxide reduction by reburning[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(10): 204-208.
- [10] Wei Xiaolin, Schnell Uwe, Han Xiaohai, et al. Interactions of CO, HCl, and SO_x in pulverised flames[J]. Fuel. 83(2003): 1227-1233.
- [11] Motoya Nakamura, Kiga Takashi, Mikio Kuwahara, et al. Demonstration test and practical studies on combustion technologies of micro-pulverized coal[A]. International Conference on Power Engineering-97[C]. Tokyo, 1997, 2: 452-458.
- [12] 中华人民共和国电力行业标准 磨煤机试验规程[S]. DL467-92, 1992.
Standard of Power Industry of P. R. China, The test guideline for coal mill, [S]DL 467-92, 1992.
- [13] 贾鸿祥. 制粉系统设计与运行. 第一版[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.

收稿日期: 2004-05-14。

作者简介:

吴东垠(1966-), 男, 现作博士后研究, 研究领域为电站锅炉经济运行和低排放;

盛宏至(1951-), 男, 研究员, 研究领域为煤和特种燃料高效清洁燃烧及乳化燃料;

魏小林(1967-), 男, 研究员, 研究领域为煤和特种燃料高效清洁燃烧。