

流化床锅炉燃用府谷煤污染物特性试验研究

彭北松¹, 刘行磊¹, 丁芸²

(1. 东方电气集团东方锅炉股份有限公司, 四川 成都 611731;

2. 京海煤矸石发电有限责任公司, 内蒙古 京海 010600)

摘要:重点研究了府谷煤采用流化床燃烧技术时正常运行床温稳定燃烧工况下污染物排放特性。试验结果表明, 府谷煤污染物原始排放主要影响因素为运行床温、炉内投入石灰石量和运行氧量。运行过程中, 通过调整一次风量等参数严格控制平均运行床温 < 910℃, 能够避免变负荷过程 NO_x 排放较大波动。结合府谷煤的燃尽特性、NO_x 和 SO₂ 排放特性, 综合协调控制运行床温、SNCR 脱硝喷氨量、炉内投入石灰石量和运行氧量等参数, 实现府谷煤的洁净、经济和高效燃烧。

关键词: 300 MW CFB 锅炉; 府谷煤; 污染物特性

Abstract: The pollutant discharge characteristics of Fugu(Shanxi province) coal are mainly studied when using fluidized bed combustion technology in normal running bed temperature under stable combustion test condition. The experimental results show that the main influencing factors for original pollutant discharge of Fugu coal is running bed temperature, amount of limestone into furnace and running oxygen content in the flue gas. In the process of operation, strictly controlling the average running bed temperature less than 910℃ by adjusting the parameters such as primary air flow, can avoid the large fluctuations of NO_x emissions in load change process. Combining with burnout characteristics of Fugu coal and emission characteristics of NO_x and SO₂, the clean, economic and efficient combustion of Fugu coal will be realized by comprehensively coordinating control parameters such as running bed temperature and SNCR denitration spray amount of ammonia, amount of limestone into furnace and running oxygen content in the flue gas etc.

Key words: 300 MW CFB boiler; Fugu coal; pollutant characteristics

中图分类号: TK229.6 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)03-0091-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.03.020

0 引言

循环流化床锅炉以其广泛的燃料适应性、高的燃料燃烧效率和低污染物排放等良好特性, 在洁净煤燃烧发电领域得到广泛商业应用^[1-3]。研究表明: 流化床燃烧技术的 NO_x 污染物排放主要随着燃料挥发分含量的增加而增大, 随着煤质品质的下降而增大。流化床锅炉中煤的矿物质可以吸收燃烧过程释放的 SO₂, 流化床燃烧过程的这一特性被称为煤的固有脱硫能力(即自脱硫能力)。流化床燃烧具有低温燃烧特性, 使得炉内加入脱硫剂(如 CaO 等碱金属氧化物)吸收 SO₂ 并形成稳定的硫酸盐化合物, 实现流化床锅炉的炉内高效脱硫。

目前, 采用流化床燃烧技术燃用陕西府谷煤燃烧特性和污染物排放特性试验研究很少; 而工程生

产中急需找到影响 NO_x、SO₂ 排放的主要运行参数指导运行, 因此, 在陕西榆林新元洁能清水川电厂 2 × 300 MW 亚临界 CFB 锅炉上, 对陕西府谷煤进行了燃烧和污染物排放特性试验研究。从锅炉运行安全性、稳定性和污染物排放控制等角度进行比较分析, 为流化床锅炉燃用陕西府谷煤优化设计和工程运行提供重要数据支持。

1 试验炉型介绍

试验锅炉为东方锅炉股份有限公司自主开发、设计制造的 300 MW 循环流化床锅炉, 见表 1。锅炉为循环流化床、亚临界参数, 一次中间再热自然循环汽包炉、紧身封闭、平衡通风、固态排渣、全钢架悬吊结构、炉顶设轻型金属屋盖。锅炉主要由 1 个膜式水冷壁炉膛、3 台冷却式旋风分离器和 1 个由汽

冷包墙包覆的尾部竖井(HRA)3部分组成。炉膛内前墙布置有6片中温过热器管屏、6片高温过热器管屏及6片高温再热器管屏,后墙布置2片水冷蒸发屏。

表1 锅炉主要设计参数

锅炉主要参数	B-MCR	BRL
过热蒸汽流量/(t·h ⁻¹)	1 058	1 027
过热蒸汽压力/MPa.g	17.4	17.4
过热蒸汽温度/℃	541	541
再热蒸汽流量/(t·h ⁻¹)	859	830
再热器进口压力/MPa.g	3.911	3.778
再热器出口压力/MPa.g	3.731	3.608
再热器进口温度/℃	330	326
给水温度/℃	284	281

注:g表示表压。

锅炉共布置有8个给煤口,全部布置于炉前,在前墙水冷壁下部收缩段沿宽度方向均匀布置。炉膛底部是由水冷壁管弯制围成的水冷风室,水冷风室两侧布置有一次热风道,进风型式为从风室两侧进风,空气预热器一二次风出口均在两侧。炉膛下部左右侧的一次风道内分别布置有2台点火燃烧器。6个排渣口布置在炉膛后水冷壁下部,分别对应6台滚筒式冷渣器。

炉膛与尾部竖井之间,布置有3台冷却式旋风分离器,其下部各布置1台“U”阀回料器,回料器为一分为二结构,保证了沿炉膛深度方向上回料的均匀性;尾部采用双烟道结构,前烟道布置了3组低温再热器,后烟道布置有4组低温过热器,向下前后烟道

合成1个,在其中布置有H型鳍片管式省煤器和卧式空气预热器。过热器系统中设有两级喷水减温器,再热器系统中布置有事故喷水减温器和微喷减温器。

2 煤质特性

该CFB锅炉设计燃料为低热值褐煤,试验煤质为陕西府谷煤,见表2所示。

3 数据分析与处理

3.1 SO₂ 排放特性

这里设计煤质的SO₂理论最大排放值为952 mg/Nm³,设计Ca/S摩尔比为2.0条件下折算SO₂保证排放值为100 mg/Nm³(干烟气、6%氧量)。

试验燃烧煤质(即陕西府谷煤)的SO₂理论最大排放值为1 470 mg/Nm³。对流化床锅炉进行燃烧调整试验工况,在不添加石灰石前提下,得到府谷煤的SO₂实际排放值为447~759.6 mg/Nm³(见表3)。

试验数据表明,府谷煤的SO₂排放值随着运行床温的升高而升高,随着运行氧量的升高而降低;然而,燃料的燃尽率随着运行氧量的升高而提高,随着运行床温升高而提高,因此寻求一个合理的运行床温和运行氧量试验工况,对府谷煤的燃尽特性和污染物排放特性显得尤为重要。试验数据表明,控制流化床锅炉运行氧量<3.25%和运行床温<916℃,能够实现陕西府谷煤自脱硫效率为69.5%,表明府谷煤的自脱硫特性良好。

表2 试验期间燃用煤质分析

煤质	碳 Car	氢 Har	氧 Oar	氮 Nar	硫分 Sar	水分		灰分 Aar	低位热值 Qnet,ar
	/%	/%	/%	/%	/%	Mar/%	Mad/%	/%	/(MJ·kg ⁻¹)
设计煤质	32.87	2.68	9.60	0.54	0.21	9.30	2.72	44.80	11.76
试验煤质	42.91	2.88	7.69	0.75	0.43	12.46	5.93	32.88	15.74

表3 陕西府谷煤污染物排放试验参数汇总

参数	工况1	工况2	工况3	工况4
机组负荷/MW	257	298	300	295
省煤器出口平均氧量/%	2.31	1.86	3.25	3.32
平均运行床温/℃	898	924	916	914
氨水母管流量/(m ³ ·h ⁻¹)	1.06	0	1.50	1.37
折算NO _x 排放/(mg·m ⁻³)	45.5	270.9	48.2	24.3
炉内石灰石投入量/(T·h ⁻¹)	0	0	0	0
折算SO ₂ 排放/(mg·m ⁻³)	591.1	759.6	447.0	477.2

3.2 运行床温对 NO_x 排放影响

结合府谷煤燃烧调整不同运行工况参数,归纳总结了平均运行床温对府谷煤 NO_x 折算原始排放量影响曲线(不添加石灰石,不投运 SNCR 脱硝设备)见图1所示。试验结果表明,随着运行床温的升高,床温对 NO_x 折算原始排放量的影响程度越明显。

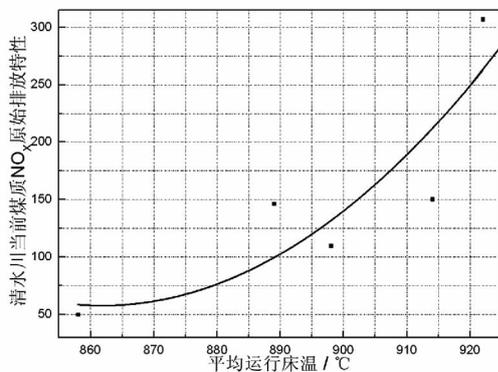


图1 府谷煤燃烧过程折算 NO_x 原始排放与床温关系

3.3 运行氧量对 NO_x 排放影响

图2给出了机组运行负荷为190 MW期间,陕西府谷煤的运行氧量与 NO_x 排放值的关系曲线。在运行负荷、平均床温和喷氨量相对稳定的工况下,NO_x 排放值随着运行氧量的升高而明显升高。

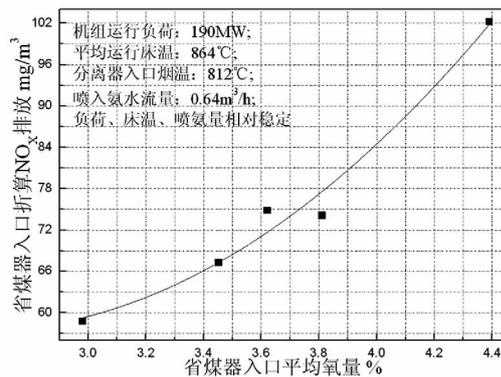


图2 府谷煤燃烧过程氧量对 NO_x 排放影响

3.4 炉内脱硫对 NO_x 排放影响

试验在投运 SNCR 脱硝设备,炉内不投运石灰石稳定满负荷工况下,省煤器入口平均氧量值2.0%,平均运行床温约为930 °C,对应折算标况下 SO₂ 排放值为 738.7 mg/m³,NO_x 排放值为 72.50 mg/m³。

在向炉内逐渐添加石灰石量并稳定后,省煤器入口平均氧量值为2.0%,平均运行床温约为930 °C,折算标况下 SO₂ 排放值为 453.8 mg/m³,NO_x 排

放值为 108.7 mg/m³。即向炉内添加石灰石实现炉内脱硫效率为70%时,对应折算标况 NO_x 排放值从72.50 mg/m³ 升高到 108.7 mg/m³,增长绝对值36.2 mg/m³,其增长相对幅度为50%。试验数据表明,对CFB锅炉燃用陕西府谷煤值而言,炉内石灰石脱硫对污染物 NO_x 排放影响较大。

3.5 喷氨量对 NO_x 排放影响

分别在发电机组300 MW两组试验工况,在其他运行参数保持不变的情况下(如机组负荷、运行氧量、运行床温和配风等参数),通过改变旋风分离器入口位置SNCR脱硝设备的喷入氨量方式,考察喷氨量对脱硝效率的影响。

试验表明:试验工况A(机组负荷300 MW、氧量2.0%、平均床温930 °C、一次风率46.8%),喷入氨水量由1.39 m³/h降至0 m³/h时,NO_x 排放值为由70.3 mg/m³ 升至307 mg/m³(折算标况),表明SNCR脱硝设备的脱硝效率为77.1%;

试验工况B(机组负荷300 MW、氧量3.32%、平均床温914 °C、一次风率47.2%),喷入氨水量由1.18 m³/h升至1.37 m³/h时,NO_x 排放值由54.31 mg/m³ 降至36.14 mg/m³(折算标况),炉内脱硫效率增加12%。

4 结 论

1) 试验数据表明,府谷煤的SO₂ 排放随着运行床温的升高而升高,随着运行氧量的升高而降低。额定机组负荷300 MW工况下,不向炉内添加石灰石,控制流化床锅炉运行氧量<3.25%和运行床温<916 °C时,对应府谷煤的自脱硫效率为69.5%,表明采用流化床锅炉燃用府谷煤能够实现很高的自脱硫效率。

2) 开展了NO_x 排放燃烧调整试验,重点研究了石灰石、运行床温、运行氧量、喷氨量等因素对NO_x 排放特性的影响。试验表明:府谷煤NO_x 排放随着运行床温、运行氧量的升高而升高;流化床炉内石灰石脱硫对府谷煤NO_x 排放影响较大;流化床燃烧技术采用SNCR脱硝设备,其脱硝效率高达77%。

3) 试验研究表明,府谷煤污染物原始排放主要影响因素为运行床温、炉内投入石灰石量和运行氧量。机组在变负荷过程中运行参数变化幅度较大,

容易造成 NO_x 排放产生较大波动。

运行过程中,建议通过调整一次风量等参数严格控制平均运行床温 < 910℃,有效避免变负荷过程 NO_x 排放产生较大波动。结合府谷煤燃尽特性、NO_x 和 SO₂ 排放,协调控制运行床温、SNCR 脱硝喷氨量、炉内投入石灰石量和运行氧量等参数,实现府谷煤的洁净、经济和高效燃烧。

参考文献

[1] 岑可法. 循环流化床锅炉理论与运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.

[2] 刘行磊, 宋刚, 徐国辉, 等. 东方锅炉 300 MW 机组 CFB

锅炉混煤燃烧试验研究[J]. 东方电气评论, 2015(1): 32-36.

[3] 刘德昌, 阎维平. 流化床燃烧技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.

作者简介:

彭北松(1961), 工程师, 从事循环流化床锅炉调试工作;

刘行磊(1984), 硕士研究生、工程师, 从事循环流化床锅炉研制工作;

丁芸(1968), 从事循环流化床机组调试、运行优化及生产技术管理工作。

(收稿日期: 2017-01-13)

(上接第 55 页)

[4] 胡毅, 王力农, 刘凯, 等. 750 kV 输电线路带电作业安全防护研究[J]. 高电压技术, 2006, 32(10): 1-4.

[5] 班连庚, 王晓刚, 白宏坤, 等. 同塔架设的 220 kV/500 kV 输电线路感应电流与感应电压仿真分析[J]. 电网技术, 2009, 33(6): 45-49.

[6] 马爱清, 徐东捷, 王海波, 等. 500 kV 同塔双回输电线路下平行运行 0.38 kV 线路时的感应电压和感应电荷[J]. 高电压技术, 2015, 41(1): 306-312.

[7] 李长益, 魏旭, 张劲松. 上河变电所 500 kV 隔离开关操作中感应过电压事故分析[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(4): 85-88.

[8] GB/T 13870.1-2008/IEC/TS60479-1:2005, 电流对人和家畜的效应[S].

[9] GB/T 16895.11-2011, 低压电气装置对暂时过电压和高压系统与地之间的故障的防护[S].

[10] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程通用设计 110(66) kV 输电线路分册(2011年版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.

作者简介:

史华勃(1987), 硕士、工程师, 主要从事电力系统稳定分析与控制的研究。

(收稿日期: 2017-01-24)

(上接第 77 页)

管理方面的现状和存在困难,提出了配置文件的全过程管控流程,研究了以 SCD 文件语法和语义校验、SCD 文件过程层 CRC 计算、SCD 文件对比、SCD 文件的虚端子图形化展示 4 个方面为核心的配置文件管控系统。实现了配置文件的全过程管控,保证了配置文件的安全性、完整性、一致性、唯一性。

其成果已经运用在实际工程调试中。此应用缩短了实际智能变电站工程投运周期,增加了 SCD 文件的正确率和时效性,从而提升了 SCD 文件的规范度。

参考文献

[1] 国家电网公司. Q/GDW 383-2009, 智能变电站技术导则[S].

[2] 陈安伟. IEC 61850 在变电站中的工程应用[M]. 北

京: 中国电力出版社, 2012.

[3] 胡道徐, 沃建栋. 基于 IEC 61850 的智能变电站虚回路体系[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(17): 78-82.

[4] 王松, 宣晓华, 陆承宇. 智能变电站配置文件版本管理方法[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(17): 1-4.

[5] 张沛超, 姜健宁, 杨漪俊, 等. 智能变电站配置信息的全生命周期管理[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(10): 85-89.

[6] 刘明忠, 童晓阳, 郑永康, 等. 智能变电站配置描述虚端子多视角图形化查看系统[J]. 电力系统自动化, 2014, 39(22): 104-109.

[7] 高磊. IEC 61850 SCL 配置文件比对工具的研究与实现[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(20): 88-91.

作者简介:

林波(1987), 助理工程师, 主要研究方向为智能电网技术、继电保护及自动化技术。

(收稿日期: 2017-01-13)