

大型燃煤火电机组炉前脱硫试验研究

张海珍, 宋华伟, 韩海燕, 张鑫
(华电电力科学研究院 浙江 杭州 310030)

摘要: 本文针对西南地区燃烧高硫煤的大型燃煤火电机组, 开展炉前脱硫技术试验研究, 在某火电厂搭建现场试验平台, 采用浮沉筛分的方法对机组常用的不同含硫量的高硫煤进行现场试验, 现场试验结果表明: 采用炉前脱硫技术能够有效的降低入炉煤硫分, 同时能够在一定程度上降低入炉煤的灰分, 炉前脱硫技术对于燃煤机组防腐及减排以及设备运行安全都具有重要的作用, 仅就所选用高硫煤而言, 炉前脱硫能够将入场煤的硫分平均降低约 39.12%, 能够将入场煤的灰分平均降低约 25.01%。

关键词: 大型燃煤火电机组; 炉前脱硫; 硫分; 灰分
中图分类号: TK229.6⁺1; X701.3 文献标识码: A
DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2016.11.0012

引言

我国西南地区煤质以高硫煤为主^[1], 受交通运输等方面的影响, 西南地区火电机组用煤的平均含硫量普遍高于设计煤种, 这就导致了烟气中 SO₂ 的浓度偏高, 一方面是煤质含硫量普遍偏高, 另一方面是 SO₂ 排放标准不断提高, 燃煤火电机组 SO₂ 排放形势越来越严峻, 机组减排压力巨大。目前大型燃煤机组普遍采用炉后脱硫技术路线, 但脱硫技术未有革命性的突破, 在日益严格的排放标准和煤质变差的双重压力下, 单一依靠炉后脱硫很难将 SO₂ 控制在标准排放浓度以下, 即使控制住脱硫系统也是满负荷或者超负荷运行, 系统压力大, 容易造成系统故障, 机组承受的防腐压力和环保减排压力剧增, 设备的安全性下降。因此, 大型燃煤机组需要多种脱硫技术手段配合, 达到联合控制 SO₂ 的目的。

炉前脱硫技术主要包括通过分选减少硫分、灰分, 以降低 SO₂ 的排放的选煤技术、水煤浆技术、型

煤技术和动力煤配煤技术等。对于我国这样的发展中国家来说, 煤的炉前脱硫, 尤其是通过选煤来降低煤的含硫量具有非常重要的意义。选煤是洁净煤技术的源头技术, 既能脱硫又能降灰, 同时还可以提高热能利用效率, 并且选煤的费用又远远低于燃烧中脱硫和烟气脱硫。

燃煤炉前分选提质技术, 是当前的成熟技术, 可以有效地脱除部分矸石, 降低煤中硫化物的含量和灰分, 同时也可以减少部分水分, 可以有效地缓解脱硫系统的压力, 同时提高锅炉效率, 降低厂用电率, 减少金属部件的磨损, 降低炉膛结焦, 从而提高电厂的综合效益。

1 炉前脱硫技术

燃煤机组炉前脱硫技术主要分为物理脱硫法、化学脱硫法和微生物脱硫法, 以下对 3 种脱硫技术进行简要介绍。

(1) 物理脱硫法

物理脱硫法是利用煤中黄铁矿与有机质在密度、电性质、磁性质和表面性质等物理化学性质的差异, 将硫铁矿和煤及煤矸石分开, 除去煤中无机硫的方法。主要有重选、磁选、浮选等多种方法, 其工艺成熟、成本低, 可有效脱除煤中黄铁矿, 脱硫率可达 40% ~ 80%^[2]。物理方法脱硫工艺简单、投资少、成本低, 但不能脱除煤中的有机硫。

(2) 化学脱硫法

化学脱硫主要是利用强碱、强酸或强氧化剂等化学试剂, 通过氧化、还原、热解等化学反应将煤中的硫分转化为液态或气态的硫化物抽取出来从而实

收稿日期: 2016-01-07; 修订日期: 2016-03-09

作者简介: 张海珍(1986-), 男, 河北邯郸人, 华电电力科学研究院工程师。

现脱硫目的。化学脱硫技术主要包括:碱法脱硫、气体脱硫、热解与氢化脱硫、超临界气体抽提脱硫、氧化法脱硫等。化学法脱硫可以有效地脱除无机硫和有机硫。有些化学方法可脱除 90% 以上的黄铁矿硫和 50% 左右的有机硫,但反应条件比较苛刻、投资较高。

(3) 微生物脱硫法

微生物脱硫法是通过培育出针对含硫化合物的菌种,利用煤中含硫化合物的生物化学反应,使含硫化合物氧化后,用酸洗、沥滤的方法实现脱硫。微生物脱硫法大致可分为两类:一类是微生物浸滤法脱硫,其原理是将煤炭中的黄铁矿通过微生物的氧化变为二价铁和硫酸后再洗脱到液相中;另一类是微生物预处理浮选法脱硫,该方法是利用微生物的特有吸附作用和生理特点,改变黄铁矿表面的疏水性,再通过浮选脱除黄铁矿,它是对浮选法和选择性凝聚法的一种改进。微生物脱硫能耗低,黄铁矿硫脱除率达 90%,有机硫脱除率约 40%。生物脱硫过程不仅能除去煤中的硫,同时具有脱除重金属和矿物质等功能,可获得清洁煤产品。

我国高硫煤主要集中在四川、贵州、湖北、广西、山东和陕西等省的部分地区,西南地区煤平均硫分最高,煤中硫的分布形态呈一定的规律性,全硫大于 2% 的高硫煤,以黄铁矿硫含量最高,少部分是有有机硫。根据西南地区高硫煤中无机硫含量较高的情况以及炉前脱硫技术特点,采用物理脱硫法可以脱除大部分无机硫,因此试验选用物理脱硫法进行炉前脱硫^[3~4]。

2 试验条件

2.1 煤种条件

试验选用的 1 号~10 号共计 10 种原煤为试验电厂常用煤种,原煤发热量在 18~27 MJ/kg,平均发热量为 22.37 MJ/kg;含硫量在 3%~7% 之间,平均含硫量为 4.67%;煤质含硫量较高,灰分集中在 17%~35% 之间,平均灰分 26.98%,试验煤种原煤主要参数如表 1 所示。

表 1 原煤主要参数

Tab. 1 Main parameters of raw coal

煤种编号	发热量/MJ·kg ⁻¹	含硫量/%	含灰量/%
1	26.65	3.87	17.74
2	21.32	4.11	30.08
3	19.78	4.27	33.43
4	18.93	4.48	34.95
5	20.61	4.49	31.53
6	23.94	4.60	22.03
7	21.91	4.71	28.84
8	23.51	4.89	25.07
9	23.31	5.24	23.35
10	23.69	6.00	22.77

2.2 试验设备

试验选用高效矿物分离机,是一种专门针对高低密度混合物、特别是高密度矿物含量较多的难分离物料及高温物料的高效环保型模块集成化干法分离设备,主要应用于煤炭分选领域,能够在降硫分的同时降低一定量的灰分,实现对燃煤中杂质的一站式解决,综合效率高。设备采用阶梯式分离原理,根据不同物料密度差异,分离出精煤、煤粉、矸石等产物。产能 35 t/h,入料粒度≤70 mm,全水分≤7%。

2.3 取样方法

现场分选试验采样选用落流采样法,对原煤、精煤、粉煤及矸石进行时间基采样。落流采样器在传送皮带末端的下落煤流中截取一段完整的煤流作为单个子样,单次试验原煤、精煤、粉煤及矸石的所有子样分别合并为总样。炉前脱硫分选设备工作原理和分选料堆如图 1、图 2 所示。

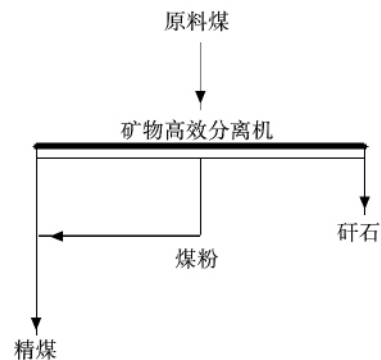


图 1 试验设备原理图

Fig. 1 Schematic diagram of test equipment

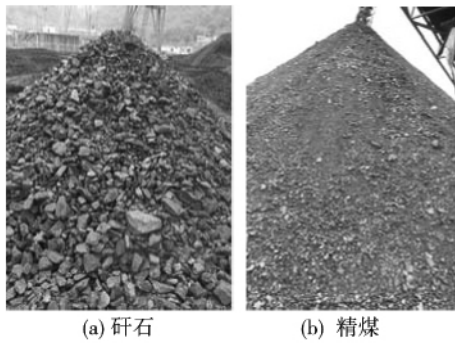


图 2 矸石和精煤分选料堆

Fig. 2 Gangue and processed coal sifting pile

3 分选结果及分析

对试验原煤和精煤进行元素分析,得到分选后精煤的发热量、含硫量和含灰量,如表 2 所示。

表 2 精煤主要参数

Tab. 2 Main parameters of processed coal

煤种编号	发热量/MJ · kg ⁻¹	含硫量/%	含灰量/%
1	27.61	2.91	15.95
2	24.79	2.49	21.67
3	23.92	1.82	23.98
4	24.60	2.75	21.41
5	25.32	2.36	21.31
6	26.54	2.94	17.45
7	27.07	2.71	16.87
8	26.66	2.86	17.77
9	24.62	3.60	20.71
10	27.56	4.07	20.52

对炉前脱硫试验前后的煤样含硫量进行对比,如图 3 所示。

对采用炉前脱硫前的原煤和炉前脱硫后的精煤含灰量进行对比如图 4 所示。

分选后,对入场煤、精煤和煤矸石样品进行称重,结合煤质化验结果,得到原煤脱硫率与脱灰率关系曲线如图 5 所示。

由图 3 和图 4 现场试验结果可知,原煤经过炉前脱硫分选后,平均含硫量从 4.67% 降低到 2.85%,硫分平均降低 1.82%,降低幅度为 39.12%;平均含灰量从 26.98% 降低到 19.76%,灰分平均降低 7.22%,降低幅度为 25.01%。由图 5

可以看出,原煤中硫的脱除和灰的脱除是成正相关的,说明煤中硫分富集在灰分中的比例相对稳定。试验结果表明,炉前脱硫能够有效地降低西南地区高硫煤的硫分,同时能够有效地降低一定量的灰分。

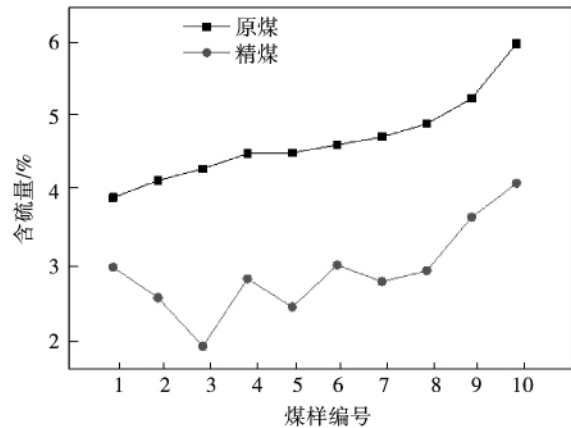


图 3 炉前脱硫前后煤样含硫量对比

Fig. 3 Contrast of the sulfur content of coal samples before and after the desulfurization in the front of the furnace

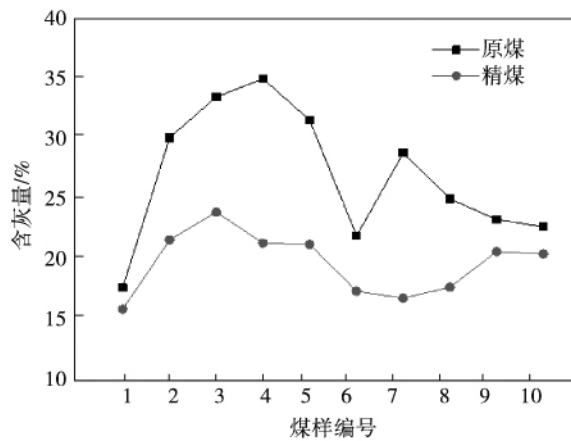


图 4 炉前脱硫前后煤质含灰量对比

Fig. 4 Contrast of the ash content of coal before and after the desulfurization in the front of the furnace

4 炉前脱硫对机组运行的影响分析

A 厂设计煤种含硫量 3.80%,在实际运行过程中出现了尾部受热面腐蚀和空预器腐蚀堵塞的现象,分别如图 6、图 7 所示。

硫分的降低对于改善炉膛水冷壁高温腐蚀和烟风道的腐蚀都会有积极作用。灰分的降低对改善尾部烟道堵塞有积极作用,同时能够降低受热面的磨损和烟道的磨损^[5~7]。

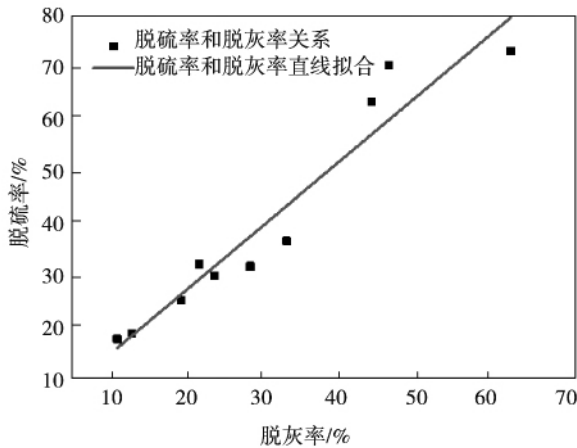


图 5 原煤脱硫率与脱灰率关系

Fig. 5 Relationship between the desulfurization rate and ash removal rate of raw coal



图 6 尾部受热面腐蚀现场图片

Fig. 6 A on-the-spot photo of the corrosion on the heating surface in the tail portion

按照上述炉前脱硫试验的脱除效果,降低硫分 39.12%,灰分降低 25.01%,以 A 厂设计煤种含硫量 3.80%,含灰量 33.02% 为例,经过炉前脱硫分选后精煤含硫为 2.31%,灰分为 24.76%。

按照文献[8]的计算方法,对于 600 MW 机组,硫分每增加 0.1%,脱硫系统运行费用增加 0.0016 元/(kW·h),本案例 A 电厂经过炉前脱硫后,硫分降低了 1.49%,因此,在仅燃煤硫分发生变化的情况下,脱硫系统运行费用降低 0.002384 元/(kW·

h)。机组年运行小时数按照 5 500 h 计,负荷率 75%,则年脱硫运行费用降低 590.04 万元。分选成本约 9 元/标吨,燃煤消耗按照 600 MW 机组小时耗量 250 t 计,则年分选运行成本约 103.13 万元,仅脱硫和设备运行成本年综合费用降低约 486.91 万元。



图 7 空预器腐蚀现场图片

Fig. 7 A on-the-spot photo of the corrosion of an air preheater

5 结 论

(1) 能够采用高效矿物分离机大幅度降低入场煤硫分和灰分,炉前脱硫技术上是可行的。

(2) 针对西南地区高硫煤,采用炉前脱硫技术,仅就所分选的高硫煤而言,炉前脱硫能够将入场煤的硫分平均降低约 39.12%,能够将入场煤的灰分平均降低约 25.01%。

(3) 炉前脱硫能够达到同时脱硫和除灰的效果,并且脱硫和除灰是正相关的,说明煤中硫分富集在灰分中的比例相对稳定。

(4) 炉前脱硫大幅度降低了入炉煤的硫分和灰分,对机组高温受热面及尾部烟道具有重要的保护作用。

(5) 仅脱硫和设备运行成本年综合费用降低约 486.91 万元。

参考文献:

[1] 路迈西,刘文礼.高硫煤中硫的分布和燃前脱硫可行性的研究[J].煤炭科学技术,1999,27(2):42-45.
 LU Mai-xi, LIU Wen-li. Sulfur distribution of coal with a high sulfur content and feasibility study of desulfurization before the combustion [J]. Coal Science and Technology, 1999, 27(2): 42-45.
 [2] 田正山,王全坤,白素贞.高硫煤燃前脱硫技术[J].化工时刊,

2009 07(23) :53 - 56.
TIAN Zheng-shan ,WANG Quan-kun ,BAI Su-zhen. Desulfurization technology for coal with a high surfur content before the combustion [J]. Chemical Industry Times ,2009 07(23) :53 - 56.

[3] 陈 鹏. 中国煤中硫的赋存特征及脱硫 [J]. 煤炭转化 ,1994 ,17(2) :1 - 9.
CHEN Peng. Assignment and storage characteresisitics of sulfur in coal in China and desulfurization [J]. Coal Conversion ,1994 ,17(2) :1 - 9.

[4] 单晓云 ,高志芳 ,候亚红. 选煤技术在降低燃煤 SO₂ 污染中的作用 [J]. 选煤技术 2004 05(03) :2 - 6.
SHAN Xiao-yun ,GAO Zhi-fang ,HOU Ya-hong. Role of the coal preparation technology played in lessening pollution by SO₂ in coal combustion [J]. Coal Preparation Technology 2004 05(03) :2 - 6 (in Chinese).

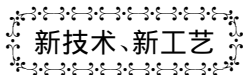
[5] 弓学敏 ,张文忠. 锅炉受热面高温腐蚀的机理及防范措施 [J]. 电力科学与工程 2007 23(2) :72 - 76.
GONG Xue-min ,ZHANG Wen-zhong. Mechanism governing the high temperature corosion of heating surfaces in boilers and preventive measures [J]. Electric Power Science and Engineering ,2007 23(2) :72 - 76.

[6] 施万森. 锅炉受热面高温腐蚀及预防措施 [J]. 能源与节能 ,2012(9) :11 - 12.
SHI Wan-sen. High temperature corrosion of heating surfaces in boilers and preventive measures [J]. Energy Source and Energy Conservation 2012(9) :11 - 12.

[7] 宋金琳 ,张 光. 高硫煤对燃煤机组的影响分析 [J]. 江苏电机工程 ,2014 33(5) :70 - 73.
SONG Jin-lin ,ZHANG Guang. Analysis of the influence of coal with a high surfur content on a coal-fired unit [J]. Jiangsu Electric Machinery Engineering 2014 33(5) :70 - 73.

[8] 侯德安 ,蒋蓬勃. 燃煤硫分对锅炉及脱硫系统经济性影响的模型研究 [J]. 华电技术 2015 37(2) :21 - 23.
HOU De-an ,JIANG Peng-bo. Study of the model governing the influence of the surfur component of coal burned on the cost-effectiveness of a boiler and its desulfurization system [J]. China Electric Power Technology 2015 37(2) :21 - 23.

(刘 瑶 编辑)



M501 简单循环动力装置的发展历程

据《Gas Turbine World》2014 ~ 2015 年年度手册报道,利用大量机组设计和运行的经验,通过采用创新的先进技术,通常是借助于提高燃烧温度、压比或质量流量来提高动力装置的性能,大约每经过十年左右,Mitsubishi Hitachi Power Systems(三菱日立动力系统)就推出一种新的燃气轮机系列。

包含进口和出口损失,用天然气作为燃料,60 Hz M501 简单循环动力装置的额定性能示于下表。

燃气轮机型号	推出年份	基本负荷净输出功率/kW	热耗率/ kJ • (kW • h) ⁻¹	效率/ %	压比	燃气初温/℃	排气流量/ kg • s ⁻¹	排气温度/℃
M501DA	1980	113 950	10 318	34.9	14.0	1 250	354	543
M501F3	1989	185 400	9 738	37.0	16.0	1 400	468	613
M501G1	1997	267 500	9 210	39.1	20.0	1 500	612	601
M501GAC	2011	276 000	9 073	39.8	20.0	1 500	612	614
M501J	2011	327 000	8 783	41.0	23.0	1 600	620	636
M501JAC	2015	310 000	< 8 783	> 41.0	23.0	1 600	620	613

(吉桂明 摘译)

Montecarlo method , carbon-contained particle , water molecule , adsorption isotherm

大型燃煤火电机组炉前脱硫试验研究 = **Experimental Study of the Desulfurization in Front of the Furnace in a Large-sized Coal-fired Thermal Power Generation Unit** [刊, 汉] / ZHANG Hai-zhen , SONG Hua-wei , HAN Hai-yan , ZHANG Xin (Hua dian Electric Power Research Institute , Hangzhou , China , Post Code : 310030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2016 , 31 (11) . - 64 ~ 68

An experimental study of a large-sized coal-fired thermal power generation unit burning coal with a high sulfur content in the southwest region was performed by using the desulfurization technology in front of the furnace. An on-the-spot test platform was built in a thermal power plant and the sink-float sieving method was used to perform an on-the-spot test of coal ranks with various high sulfur contents commonly used in units. The test results show that to adopt the in-front-of-the-furnace desulfurization technology can effectively lower the sulfur content of coal entering into the furnace and at the meantime can drop the ash content of the coal to a certain extent. The in-front-of-the-furnace desulfurization technology can play an important role in preventing corrosion , reducing the emissions and securing a safe operation of equipment items in coal-fired units and is also significant for large-sized coal-fired units. Only in terms of coal ranks with a high sulfur content chosen , the in-the-front-of-the-furnace desulfurization can force the sulfur content of coal entering into the furnace to averagely lower by about 39.12% and the ash content of the coal to averagely reduce by around 25.01% . **Key words** : large-sized coal-fired thermal power generation unit , desulfurization in front of a furnace , sulfur content , ash content

六回路循环流化床锅炉单回路中断的影响实验研究 = **Study of the Influence of the Interruption of a Single Loop on a Six-loop Circulating Fluidized Bed Boiler** [刊, 汉] / ZOU Yang-jun , HE Sheng (Huadian Electric Power Science Academy , Hangzhou , China , Post Code : 310030) , CHENG Le-ming (National Key Laboratory on Energy Source Clean Utilization , Zhejiang University , Hangzhou , China , Post Code : 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2016 , 31 (11) . - 69 ~ 73

On a six loop supercritical circulating fluidized bed (CFB) boiler cold-state test rig , the differential pressure method was used to determine the in-furnace particle concentration distribution and study the law governing changes of the in-furnace particle concentration distribution when a single loop is being interrupted and blocked and the influence of the interruption and blockage of various loops on such a law. It has been found that after the single loop has been interrupted and blocked , the axial in-furnace average particle concentration will assume an exponential type decline and renew the initial balance state of the system after the loop has restored its normal material returning , indicating that the “dual-leg” type CFB boiler enjoys self-balancing characteristics. After the single loop has been interrupted and blocked , the particle concentration distribution in various zones in a cross section in the furnace will