

1 000 MW 机组炉烟再循环送粉改造技术研究

靖长财¹ 杨富鑫² 谭厚章² 刘 兴² 王学斌²

(1. 神华国华(北京)电力研究院有限公司,北京 100025;

2. 西安交通大学热流科学与工程教育部重点实验室 陕西西安 710049)

摘要: 针对制粉系统中出口温度过低等问题,以某电厂 1 000 MW 机组为工程应用背景,提出炉烟再循环送粉的改造方案。采用制粉系统热平衡的方法,对该方案进行热力计算。计算结果表明:炉烟再循环的改造方案,有效提高了制粉系统的出口温度和机组的经济性,并且制粉系统的氧含量质量百分数控制在 16% 以下,防止了系统的爆燃。

关键词: 锅炉;制粉系统;炉烟再循环

中图分类号: TK223.25 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16308/j.cnki.issn1003-9171.2017.05.009

Study on the Recycling of Flue Gas into the Coal Pulverizer System in 1 000 MW Power Plant

Jing Changcai¹, Yang Fuxin², Tan Houzhang², Liu Xing², Wang Xuebin²

(1. Shenhua Guohua (Beijing) Electric Power Research Institute Co. Ltd., Beijing 100025, China;

2. MOE Key Laboratory of Thermo-Fluid Science and Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: To solve the problem that the temperature is quite low in the outlet of coal pulverizer system, a retrofit of recycling the flue gas into the system is proposed in a 1 000 MW power plant. A heat balance method to the coal pulverizer system was used to calculate the parameters. The results show that the proposal is feasible to control oxygen content in the coal pulverizer system under 16% and to meet the requirements of anti-explosion. The retrofit can increase the temperature in the outlet of coal pulverizer and improve the efficiency of the power plant.

Key words: boiler, coal pulverizer system, recycling of flue gas

0 引言

目前,国内燃用高挥发分煤种机组的制粉系统,为防止爆燃,保证运行安全性,往往将磨煤机出口风温控制的比较低,这不仅直接影响煤粉气流的着火特性,降低锅炉效率,而且还间接导致一次风率过高,加剧侧墙的高温腐蚀,不利于降低氮氧化物排放。

一般情况,煤粉浓度、含氧量和风粉混合物温度是制粉系统发生爆燃的 3 个必要因素,而磨煤机和输粉管道内煤粉的沉积和自燃也往往成为制粉系统爆燃的直接诱因^[1]。燃煤的爆炸性与煤的干燥无灰基挥发分 V_{daf} 基本成线性正相关的关系:当 $V_{daf} < 10\%$ 时,属于难爆煤种;当 $V_{daf} > 25\%$ 时,属于极易爆煤种。当前,我国大型机组的主力煤种普遍 $V_{daf} > 25\%$,因而,制粉系统的安

全可靠运行将成为我国大型燃煤机组面临的普遍性问题^[2-3]。

在燃烧高挥发分煤种的机组上,采用炉烟再循环送粉技术,可以有效防止制粉系统的爆燃,实现制粉系统运行的安全性和机组的高效性。本文以某电站 1 000 MW 机组制粉系统的炉烟改造方案为工程应用背景,对炉烟再循环送粉技术进行了详细介绍,对炉烟再循环送粉技术提高制粉系统的抑爆性能、改善锅炉效率和降低污染物排放等方面进行了论证,分析了炉烟再循环改造后对机组产生的影响。

1 制粉系统抑爆及降低氮氧化物排放

1.1 制粉系统抑爆

循环烟气含有大量的 CO_2 , N_2 等不可燃气体,因而考虑烟气的抑爆作用,主要是其中 CO_2 ,

N_2 及降低温度对制粉系统的抑爆作用。电站锅炉的烟气中这两种气体的含量很高,因而十分适合作为抑爆气用于制粉系统的抑爆。通过炉烟再循环,只要将氧气浓度控制在 16% 以下,即可有效抑制制粉系统的爆燃。

1.2 降低氮氧化物排放

烟气再循环燃烧技术作为一种低氮燃烧,早在上世纪七八十年代就已经应用于电站锅炉中,由于这部分烟气的温度较低(140~180℃)、含氧量也较低(8%左右),可同时降低炉内燃烧区的温度和氧气浓度,有效地抑制了氮氧化物的生成。

胡满银利用 Fluent 研究了烟气再循环对燃煤锅炉炉膛内氮氧化物形成的影响,结果发现烟气再循环技术可以降低炉膛内平均温度,从而降低了氮氧化物的排放量;采用烟气再循环后氮氧化物总排放浓度由 320 mg/m^3 下降至 210 mg/m^3 ^[4]。日本三菱公司多年前就提出了 MACT 的综合低氮氧化物燃烧系统,其中的关键系统则是采取了加烟气循环风机,采用再循环烟气送粉的技术输送主燃烧区的一次燃料和再燃燃烧区的二次燃料,并耦合了空气分级和燃料分级技术,实现了燃烧过程中的氮氧化物超低排放^[5]。

炉烟再循环对于降低炉膛出口氮氧化物的排放,主要可以归纳为以下几点:(1)降低了制粉系统出口氧量,减少一次风空气的供给,有助于燃烧器出口形成局部缺氧环境的形成,会使氮氧化物得到还原,抑制了氮氧化物的形成;(2)增加了炉膛烟气总量,使炉膛燃烧温度降低,降低热力型氮氧化物的生成速率,从而降低氮氧化物的排放;(3)降低了一次风率,提高了二次风率以及燃尽风率,其本质是一种深度的空气分级燃烧技术。

炉烟再循环送粉不仅能提高制粉系统的抑爆能力,增加制粉系统运行的安全性,同时也能在一定程度上降低炉膛出口氮氧化物的排放,降低 SCR 脱硝工作负荷。循环烟气直接喷入炉内,或者用来输送二次燃料,或者与空气混合后掺混到燃烧空气^[6]。

2 项目概述

2.1 项目机组简介

某电站锅炉型号 DG3033/26.25-II1,为超超

临界参数直流炉,前后墙对冲燃烧,一次中间再热,锅炉的设计参数如表 1。该电站设计煤种为神华准 2 煤,其设计煤种与校核煤种的煤质特性分析如表 2。

表 1 锅炉主要设计参数

名称	单位	设计煤种	校核煤种
过热蒸汽流量	t/h	3 033.0	3 033.0
过热器出口蒸汽压力	MPa(g)	26.15	26.15
过热器出口蒸汽温度	℃	605	605
再热蒸汽流量	t/h	2 470.46	2 470.46
再热器进口蒸汽压力	MPa(g)	4.89	4.89
再热器出口蒸汽压力	MPa(g)	4.64	4.64
再热器进口蒸汽温度	℃	351	351
再热器出口蒸汽温度	℃	603	603
省煤器进口给水温度	℃	302.9	302.9
预热器出口一次风	℃	325	—
预热器出口二次风	℃	338	—
空气预热器出口(未修正)	℃	127	—
空气预热器出口(修正后)	℃	121	—
燃料消耗量	t/h	361.5	363.6
一次风率	%	21.28	—
省煤器出口过剩空气系数	—	1.15	1.15

表 2 设计煤种和校核煤种资料

名称	符号	单位	设计煤种 (准 2 煤)	校核 1 煤种 (准 5 煤)	校核 2 煤种 (神华煤)
收到基碳份	C_{ar}	%	54.72	47.87	62.85
收到基氢份	H_{ar}	%	3.10	2.86	3.83
收到基氧份	O_{ar}	%	10.21	10.15	9.99
收到基氮份	N_{ar}	%	0.96	0.81	0.84
收到基硫份	S_{ar}	%	0.53	0.62	0.4
收到基灰份	A_{ar}	%	18.48	26.69	6.59
收到基水份	M_{ar}	%	12.0	11.0	15.5
空气干燥基水份	M_{ad}	%	3.50	3.50	6.8
干燥无灰基挥发份	V_{daf}	%	37.00	37.00	33.84
低位发热量	$Q_{net,ar}$	kJ/kg	20 725	17 585	23 750
可磨性系数	HGI	—	60	60	55
冲刷磨损指数	K_e	—	—	—	1.1

制粉系统采用正压直吹式,配 6 台 ZGM133G 中速磨煤机,5 台运行带锅炉最大连续负荷(BM-CR),1 台备用,燃烧器主要参数如表 3。

表3 燃烧器主要参数

项目	单位	数值
炉膛出口过量空气系数	—	1.14
燃烧器区过量空气系数(设计值)	—	0.8
燃烧器区过量空气系数(推荐数值)	—	0.75~0.9
总一次风量(含密封风)	kg/s	184.4
总二次风量(含燃尽风)	kg/s	727.7
燃尽风量	kg/s	272.03
燃烧器投运层的二次风量(单层)	kg/s	91.1
燃烧器一次风侧阻力	kPa	1.15
燃烧器二次风侧阻力	kPa	1.85
二次风温	℃	334.9
一次风温	℃	75
实际耗煤量	kg/s	115.7
运行燃烧器数量	支	40

2.2 机组运行情况

目前为防止爆燃保证运行安全性,该机组磨煤机出口风温一般控制为 65℃,导致磨煤机干燥出力降低;同时,因一次风粉温度偏低,着火燃烧推迟、燃尽条件变差,使得飞灰可燃物偏高;并且,尾部烟道一氧化碳含量出现较大波动,在侧墙区域还原性气氛严重,出现高温腐蚀等问题。锅炉运行时,根据燃料特性及时地做出调整,保证燃烧器的风温、风速和配风比率等符合设计要求。一般,一次风率为 20%,二次风率为 80%,一次风速为 22~28 m/s^[7]。

3 项目改造意义

本项目在通过获得“炉烟再循环送粉技术”

的关键工艺参数基础上,对某 1 000 MW 机组进行炉烟再循环改造^[8]。通过本项目的实施^[9-11]:

(1) 可将磨煤机出口风粉温度从 65℃ 提高到 100℃ 以上,从而显著改善煤粉着火性能,降低飞灰可燃物,提高锅炉效率;一次风热风温度升高还可提高制粉系统干燥出力,大幅降低制粉电耗;

(2) 将磨煤机出口的风粉含氧量控制在 16% 以下,防止制粉系统爆燃,同时显著降低炉膛出口氮氧化物;

(3) 因空预器入口一次风温升高,在一定程度上预防空预器发生低温腐蚀和 SCR 脱硝导致的硫酸氢铵堵塞问题;

(4) 由于着火及时,未燃尽煤粉不会冲刷水冷壁,可显著缓解侧墙高温腐蚀。火焰中心下移,减轻受热面管壁温度超温、减温水量大和炉膛出口结焦等问题。

4 炉烟节能改造方案

针对某电站磨煤机出口风温控制较低,一般控制在 65℃,提出采用炉烟再循环方案,提高其出口温度。

方案一:从引风机出口分流出一股冷炉烟,从省煤器出口分流出一股热炉烟,冷/热炉烟与一次风混合进入磨煤机作为干燥介质,即三介质系统,如图 1 所示。

方案二:从省煤器出口分流出一股热炉烟,热炉烟与冷风、一次风混合进入磨煤机作为干燥介质,即二介质系统,如图 2 所示。方案二与方案一区别于不再抽取冷炉烟作为干燥剂。

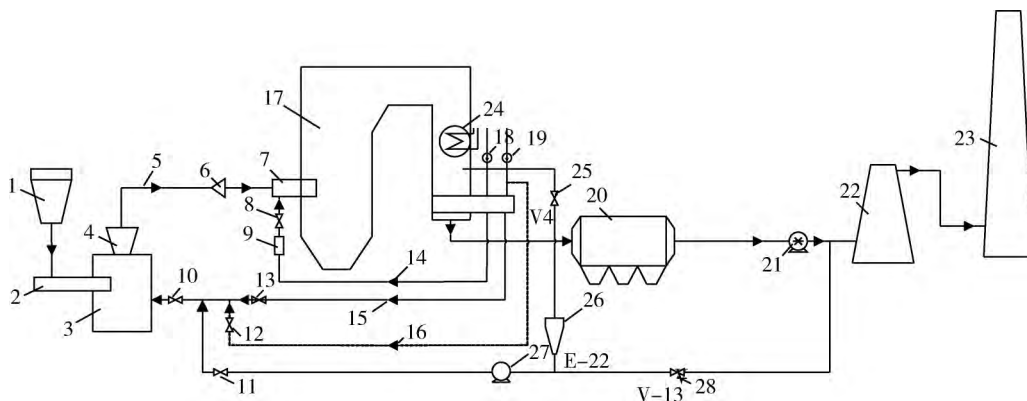


图1 某电站 1 000 MW 机组炉烟再循环方案一示意图

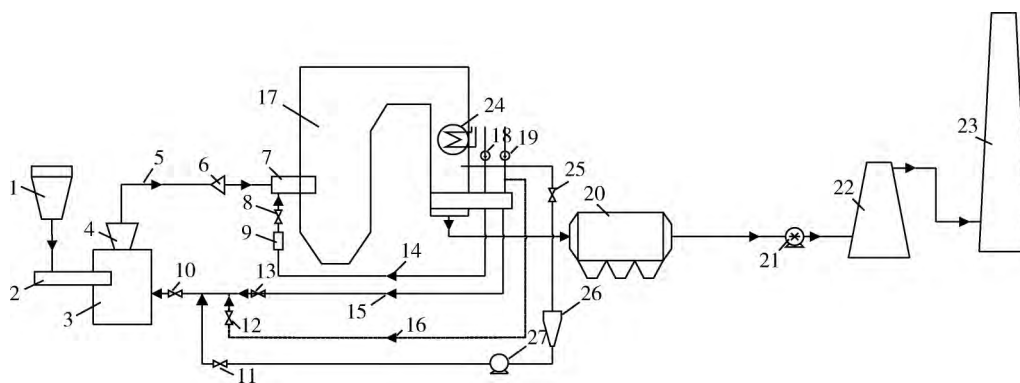


图2 某电站1 000 MW 机组炉烟再循环方案二示意图

通过阻力计算和烟道设计,可以实现所需的烟气流再循环,循环烟气流可通过烟道中间的挡板调节机构进行控制,这样就可逐渐提高磨煤机出口温度,有利于煤粉着火及较大幅度提高燃烧效率。

4.1 机组制粉系统炉烟再循环方案参数计算

利用制粉系统热平衡的方法计算得到,改造后,磨煤机出口温度提高至 100 ℃ 时,1 000 MW 和 500 MW 两种不同工况的设计计算结果,如

表 4 所示。

方案一,当循环冷/热炉烟占干燥剂比例高于 19% 时,终端干燥剂含氧量小于爆炸临界值 16%。因此,出于制粉系统安全考虑,干燥剂中循环炉烟份额需大于 19%。但方案一需要抽取冷炉烟,将增加初期的投资成本,同时需要增压风机,增加运行费用。方案二,提出只抽取热炉烟,采用冷风来调节干燥剂温度,减少初期的投资费用。

表 4 改造设计计算结果

名称		方案一		方案二	
		1 000 MW	500 MW	1 000 MW	500 MW
实际燃料消耗量	t/h	370	191	370	191
煤粉细度(R_{90})	%	20	20	20	20
煤粉水分	%	12	12	12	12
理论空气量	m^3/kg	5.36	5.36	5.36	5.36
磨煤机出口计算通风量	m^3/h	144 372	136 238	140 327	131 162
热炉烟抽取点过量空气系数		1.15	1.15	1.15	1.15
冷炉烟抽取点过量空气系数		1.20	1.20	1.20	1.20
终端干燥剂温度	℃	100	100	100	100
磨煤机出力	t/h	74	64	74	64
磨煤机运行台数		5	3	5	3
热风温度	℃	325	325	325	325
冷风温度	℃	—	—	29	29
热炉烟温度	℃	355	355	355	355
冷炉烟温度	℃	127	127	127	—
制粉系统入口干燥剂量	kg/kg	1.55	1.70	1.55	1.70
干燥剂中热风质量分数	%	81	81	74.9	68.6
干燥剂中冷风质量分数	%	—	—	6.1	12.4
干燥剂中热炉烟质量分数	%	11.5	3.8	19.0	19.0
干燥剂中冷炉烟质量分数	%	7.5	15.2	—	—
干燥剂初温	℃	309	292	309	292
制粉系统末端氧量	%	15.9	16.0	15.8	16.0
制粉系统末端干燥剂露点	℃	46.1	46.0	45.1	44.0
一次风率(空气)		18.4	17.5	18.5	17.6

选取方案二,比较风机改造前和改造后的能耗情况。相对改造前,磨煤机一次风风量将减少,使得一次风机能耗降低;同时,为了维持炉膛内总氧量,需增加二次风量,即二次风机能耗增加;考虑热炉烟循环风机的增加,使得能耗增加。通过计算,在负荷为1 000 MW时,改造后风机能耗将增加519.2 kW左右。

4.2 改造预期效果

在炉烟再循环模式下,磨煤机出口温度可以提高至100℃,制粉系统出口温度升高,有利于煤粉着火及较大幅度提高燃烧效率,并且飞灰可燃物可明显降低。因一次风率降低,二次风量增加,燃烧状况明显改善,可解决一氧化碳浓度、飞灰可燃物高等问题。同时,因风粉含氧量降低至16%以下,炉膛出口氮氧化物有所降低。另外,因磨煤机掺冷风量减少,通过增加空预器的热风,综合考虑空预器入口提高一次风温的影响,锅炉排烟温度将有所降低。因升高空预器入口一次风温,在一定程度上可以预防空预器发生低温腐蚀和硫酸氢铵堵塞。

5 炉烟再循环改造后的影响

5.1 提高锅炉效率 降低煤耗

制粉系统出口风粉温度从65℃提高至100℃,锅炉效率提高0.6%以上,测算标准发电煤耗降低1.7 g/kWh以上,全年机组负荷为1 000 MW运行5 200 h计算,年度节省标准煤0.884万t,标煤单价495元/标煤t,节煤折合人民币437.6万元。同时,风机能耗将增加519.2 kW,电费按0.4元/kWh计算,折合人民币207.9万元;项目投资1 000万元,投资回报周期为5年。

5.2 一次风率减小

改造前,在额定负荷下,一次风量保持不变;改造后利用炉烟代替了部分一次风,送入制粉系统,导致一次风率下降,同时其氧量质量分数维持在16%左右。根据GB/T 10440—2004《大型煤粉锅炉炉膛及燃烧器性能设计规范》,燃用高挥发分煤时,对于直吹式制粉系统、对冲燃烧的燃烧器,一次风率推荐范围为16%~25%。改造前,在额定负荷下,一次风率为21.28%;改造后,一次风率为18.5%^[8]。一次风率在推荐范围内。因此,掺烧炉烟不会对锅炉煤粉的着火产生较大

的影响。

5.3 降低氮氧化物排放

炉烟再循环送粉不仅能提高制粉系统的抑爆能力,增加制粉系统运行的安全性,同时也能在一定程度上降低炉膛出口氮氧化物的排放,降低SCR脱硝工作负荷。氮氧化物排放可在低氮改造的基础上再额外降低10%以上,节省脱硝费用。

6 结论

本文以某1 000 MW电厂机组为工程应用背景,采用炉烟再循环送粉的改造方案,可以有效提高制粉系统的出口温度和机组的效率。改造后,机组每年可以节约成本230万元,经济效益显著。

参考文献

- [1]邢希东,刘登军. ZGM-423型中速直吹式磨煤机进水事故分析和预防[J]. 中国电力, 2008, 41(5): 23-27.
- [2]崔福兴. 提高中速磨煤机出口温度的可行性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [3]张小宇. 双进双出磨煤机燃用高挥发份烟煤防爆技术应用[J]. 中国新技术新产品, 2016(2): 186-187.
- [4]胡满银, 乔欢, 杜欣, 等. 烟气再循环对炉内氮氧化物生成影响的数值模拟[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2007, 34(6): 77-82.
- [5]苟湘. 直吹煤粉低NO_x燃烧和再燃技术的实验、理论与数值模拟研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [6]胡敏. 大型电站锅炉深度低氮燃烧耦合SNCR和SCR脱硝研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [7]黄海涛, 郭雪艳. 1 000 MV机组运行方式优化研究[J]. 科技创新导报, 2012(25): 74.
- [8]高继录, 邹天舒, 吴景兴, 等. 800 MW机组制粉系统掺混冷炉烟改造设计及影响分析[J]. 发电设备, 2013, 27(1): 20-23.
- [9]李传龙. 1 025 t/h锅炉烟气制粉防爆技术的应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [10]杨蓓. 锅炉改烧烟煤采用低温烟气对燃烧与NO_x排放影响的数值模拟[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [11]赵志宏, 刘吉, 曾红芳, 等. 回转式空气预热器堵塞原因分析及预防措施[J]. 内蒙古电力技术, 2015, 33(2): 23-26.

收稿日期: 2016-12-07

作者简介: 靖长财(1962—),男,教授级高工,神华国华(北京)电力研究院有限公司,从事发电技术研究。

(本文编辑 王晨晨)