

350 MW 机组脱硫氧化风机节能优化试验

Experiment on energy saving optimization test of desulfurization
and oxidation fans for 350 MW units

赵林林
ZHAO Linlin

(华电滕州新源热电有限公司, 山东 滕州 277599)
(Huadian Tengzhou Xinyuan Thermal Power Company Limited, Tengzhou 277599, China)

摘要:以某厂350 MW 机组脱硫氧化风机的运行方式为研究对象,监测2台和1台氧化风机运行时,脱硫吸收塔浆液的溶解氧质量浓度和机组负荷、烟气脱硫装置(FGD)入口SO₂质量浓度和浆液pH值之间的关系。同时,选取溶解氧的质量浓度=1.5 mg/L作为吸收塔浆液得到充分氧化的标准,最终确定在不同负荷和不同FGD入口SO₂质量浓度下,氧化风机的最佳运行方式。结果表明,通过氧化风机的运行优化,每年可节约厂用电 1.1×10^6 kW·h,对电厂脱硫系统的节能降耗与环保控制具有重要意义。

关键词:氧化风机;脱硫;节能;溶解氧;SO₂

中图分类号:TM 621.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2019)09-0045-04

Abstract: Taking the operation mode of a desulfurization and oxidation fans for a 350 MW unit as research object, by monitoring the operation mode within 2 oxidizing fans and 1 oxidizing fan, the relationships between the dissolved oxygen concentration in of desulfurizing absorber slurry and the unit load, the SO₂ concentration at FGD inlet and the pH of the slurry are obtained. At the same time, 1.5 mg/L dissolved oxygen is selected as the standard line of full oxidation of slurry, which determines the optimum operation mode of the oxidizing fan at different loads and SO₂ concentrations at the inlet of FGD. The results show that by optimizing the operation of the oxidizing fan, the power consumption for the plant can be saved by 1.1×10^6 kW·h every year. It is of great significance to the energy saving and environmental control of the desulfurization system in the power plant.

Keywords: oxidizing fan; desulphurization; energy saving; dissolved oxygen; SO₂

0 引言

随着国家大气污染物排放标准的日趋严格和超低排放要求的提出,湿式石灰石-石膏法烟气脱硫技术工艺因其SO₂脱除率高、工艺成熟、吸收剂(石灰石)价格低廉以及副产品(石膏)具有商业价值等优势,成为现阶段我国应用最为广泛的烟气脱硫工艺。该工艺采用石灰石浆液于塔内循环、喷淋脱硫,并采用强制氧化方式把脱硫产物氧化为石膏,实现了产物的资源化利用^[1-3]。

但随着湿法脱硫等环保设施的大量投运,火电厂的厂用电率也不断攀升^[4]。湿法脱硫中的浆液循环泵、氧化风机等设备作为耗能大户,节能潜力巨大。

某电厂350 MW 机组在湿法脱硫过程中的氧化

风由罗茨风机提供。理论上氧化风量应与烟气脱硫装置(FGD)的SO₂质量浓度、烟气流、脱硫效率等因素有关,并随燃煤硫分、机组负荷等条件的变化而变化。但在实际运行过程中,多数脱硫氧化风机的风量通常固定在设计的最大值上,即使燃煤硫分、机组负荷降低,氧化风机也是全负荷运行,造成电能的大量浪费^[5]。

1 研究对象与试验方法

1.1 研究对象

该厂#4机组于2016年年底完成超低排放改造,脱硫系统为双塔双循环串联型。一级塔设置3台氧化风机对浆液进行强制氧化,按照设计为2运1备。在一级塔氧化风机出口母管增加1路风管至二级塔氧化风管道并加装手动阀作为备用,二级吸收塔浆液不强制氧化,故不增设氧化风机。该机组脱

硫系统主要设计参数及性能要求见表 1。

表 1 脱硫系统设计参数及性能要求

Tab.1 Design parameters and performance requirements of desulfurization system		
项目		数值
脱硫系统 设计参数	机组负荷/MW	350
	烟气量(标态,干基)/(m ³ ·h ⁻¹)	1 220 000
	FGD 入口 SO ₂ 质量浓度/(mg·m ⁻³)	3 000
	脱硫效率/%	99.46
氧化风机 技术规范	出口压力/kPa	90
	流量/(m ³ ·min ⁻¹)	165
	电机功率/kW	355
	电机电压/V	6 000
	电机电流/A	62.6
	功率因数	0.85
石膏品	CaSO ₄ ·2H ₂ O 质量分数/%	≥ 95
质要求	CaSO ₃ ·1/2H ₂ O 质量分数/%	≤0.50

1.2 试验方法

分别在 2 台和 1 台氧化风机运行的方式下,测量吸收塔浆液中溶解氧质量浓度随机组负荷和 FGD 入口 SO₂ 质量浓度的变化趋势;运用 OriginPro 软件分析溶解氧质量浓度与机组负荷、FGD 入口 SO₂ 质量浓度和浆液 pH 值的线性关系;运用 Minitab 软件分析,在不同的 FGD 入口烟气 SO₂ 质量浓度条件下,溶解氧质量浓度、机组负荷和浆液 pH 值的关系;以设计工况下实际溶解氧质量浓度为参考,选取合适的溶解氧质量浓度作为脱硫循环浆液得到充分氧化的标准值,最终确定氧化风机的最佳运行方式。

2 研究结果与结论分析

2.1 溶解氧的整体变化趋势

不限定机组负荷和 FGD 入口 SO₂ 质量浓度,2017 年分别测定 2 台和 1 台氧化风机运行时浆液中的溶解氧质量浓度与负荷之间的对应变化趋势,见表 2—3。由表 2—3 可得出以下结论:

- (1)溶解氧质量浓度与机组负荷呈现反相关关系;
- (2)1 台氧化风机运行时的溶解氧质量浓度比 2 台氧化风机运行时的明显降低。

2.2 2 台氧化风机运行时溶解氧变化分析

通过监测及数据计算发现脱硫系统 SO₂ 脱除率长期稳定于 99% 及以上,故吸收塔出口数据可以忽略不计。氧化风机母管流量并未实时监测,可通过罗茨风机风量与母管压力换算得到,数值基本维持稳定。FGD 入口烟气流量与机组负荷呈线性正相关。以下的线性-交互分析以溶解氧质量浓度与机组负荷、FGD 入口 SO₂ 质量浓度、浆液 pH 值的关系展开。

表 2 2 台氧化风机运行时溶解氧与机组负荷关系

Tab.2 Relationship between dissolved oxygen and unit load within 2 oxidation fans		
试验时间	机组负荷/MW	溶解氧质量浓度/(mg·L ⁻¹)
10-30 T 06:11	307	0.4
10-30 T 07:03	223	3.0
10-30 T 07:53	247	1.4
10-30 T 08:42	252	1.4
10-30 T 09:33	247	0.8
10-30 T 10:15	252	0.5
10-30 T 10:54	258	1.4
10-30 T 11:36	243	1.4
10-30 T 12:20	229	2.0
10-30 T 12:54	260	1.8
10-30 T 13:28	287	0
10-30 T 14:12	282	0
10-30 T 14:57	283	0
10-30 T 16:17	282	0.1
10-30 T 17:01	286	0.2

表 3 1 台氧化风机运行时溶解氧与机组负荷关系

Tab.3 Relationship between dissolved oxygen and unit load within 1 oxidation fan		
试验时间	机组负荷/MW	溶解氧质量浓度/(mg·L ⁻¹)
10-30 T 13:22	270	1.6
10-30 T 14:30	275	0.1
10-30 T 15:37	266	0.2
10-30 T 16:51	281	0.1
10-30 T 18:05	251	2.1
10-30 T 19:23	240	3.3
10-30 T 20:41	241	2.4
10-30 T 22:00	246	1.2
10-30 T 23:18	272	0
11-01 T 00:42	256	0
11-01 T 02:06	271	0
11-01 T 03:30	253	0.1
11-01 T 04:54	283	0
11-01 T 07:18	260	0.3
11-01 T 09:42	262	1.0
11-01 T 11:03	261	0.7

该机组 FGD 入口 SO₂ 质量浓度设计最高值为 3 000 mg/m³,测试期间该机组煤种保持稳定,FGD 入口 SO₂ 质量浓度保持在 2 500 ~ 3 000 mg/m³,故该机组的分析以此为最佳指导数据,2 000 mg/m³ 以下及 3 500 mg/m³ 以上的数据仅做参考。

溶解氧质量浓度(测试期间的均值)与机组负荷、FGD 入口 SO₂ 质量浓度和浆液 pH 值的线性 - 交互分析如图 1 所示。

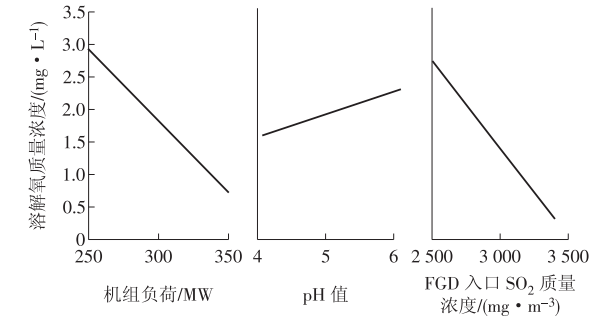


图 1 #4 机组 2 台氧化风机运行时线性 - 交互分析
Fig. 1 Linear-interactive analysis of the operation of No. 4 unit within of 2 oxidation fans

从图 1 可得到以下结论。
(1)溶解氧质量浓度受 3 种因素影响,影响的大小为:机组负荷 > FGD 入口 SO₂ 质量浓度 > 浆液 pH 值。

(2)溶解氧质量浓度与机组功率和 FGD 入口 SO₂ 质量浓度皆呈反相关关系。

(3)溶解氧质量浓度与 pH 值呈正相关关系,但实际吸收塔浆液 pH 值一般保持在 4.8 ~ 5.1,此范围内溶解氧质量浓度变化很小,相关性较小。

通过数据处理,分析得到不同条件下溶解氧质量浓度的等值线(如图 2 所示)。

由图 2 可得出以下规律。

(1)FGD 入口 SO₂ 质量浓度 = 2500 mg/m³ 且机组负荷不超过 350 MW 时,2 台氧化风机运行可以完全满足 SO₃²⁻ 的氧化,此时最低溶解氧质量浓度约在 1.5 mg/L。FGD 入口 SO₂ 质量浓度低于 2 500 mg/m³ 时,2 台氧化风机运行完全满足全负荷下 SO₃²⁻ 的氧化需要,并有大富余量。

(2)FGD 入口 SO₂ 质量浓度在 3 000 mg/m³,且机组功率大于 300 MW 时,溶解氧质量浓度在 1.0 mg/L 以下。由于机组负荷长期在 300 MW 以下,溶解氧质量浓度短时间降低并不会影响石膏品质。

因此,在煤种品质达标且在机组负荷、FGD 入口 SO₂ 质量浓度在设计值时,2 台氧化风机同时运行,脱硫塔循环浆液可以得到充分氧化,并且裕量充足。为达到节能效果且满足 SO₃²⁻ 的氧化需要,选定溶解氧质量浓度 = 1.5 mg/L 为脱硫循环浆液得到充分氧化的标准线。

2.3 1 台氧化风机运行时溶解氧的变化

#4 机组 1 台风机运行时线性交互分析如图 3 所示,溶解氧质量浓度等值线如图 4 所示。由图 4 可总结出以下规律。

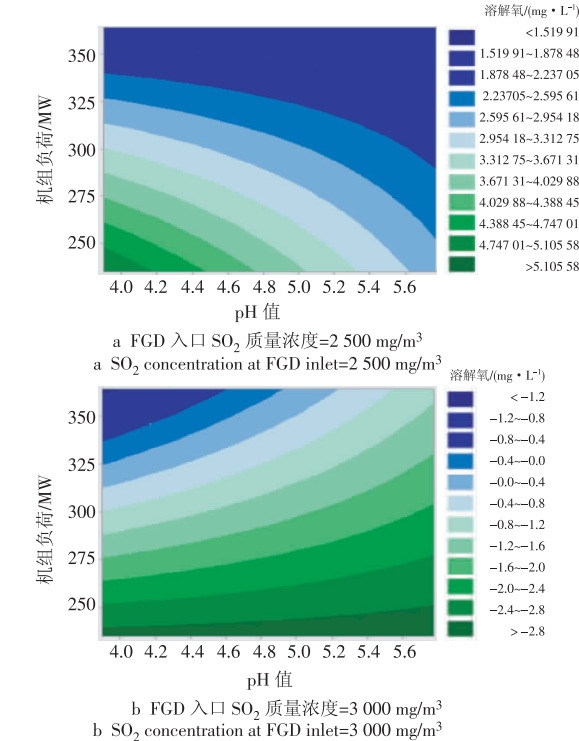


图 2 不同条件下 2 台氧化风机运行时的溶解氧等值线

Fig. 2 Contour maps of dissolved oxygen within 2 oxidation fans under different conditions

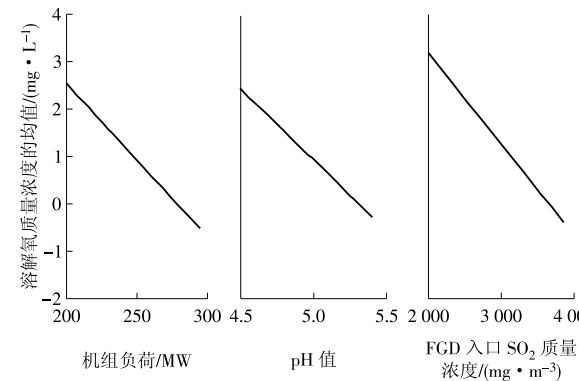


图 3 #4 机组 1 台氧化风机运行时线性 - 交互分析

Fig. 3 Linear-interactive analysis of the operation of No. 4 unit within 1 oxidation fan

(1)FGD 入口 SO₂ 质量浓度 = 1000 mg/m³ 且机组负荷小于 300 MW 时,1 台氧化风机运行可以完全满足 SO₃²⁻ 的氧化需要。

(2)FGD 入口 SO₂ 质量浓度 = 2000 mg/m³ 且机组负荷小于 280 MW 时,1 台氧化风机运行可以完全满足 SO₃²⁻ 的氧化需要。

(3)因实际控制浆液 pH 值在 4.8 ~ 5.1 之间,FGD 入口 SO₂ 质量浓度 = 2 500 mg/m³ 且机组负荷小于 260 MW 时,1 台氧化风机运行可以完全满足 SO₃²⁻ 的氧化。

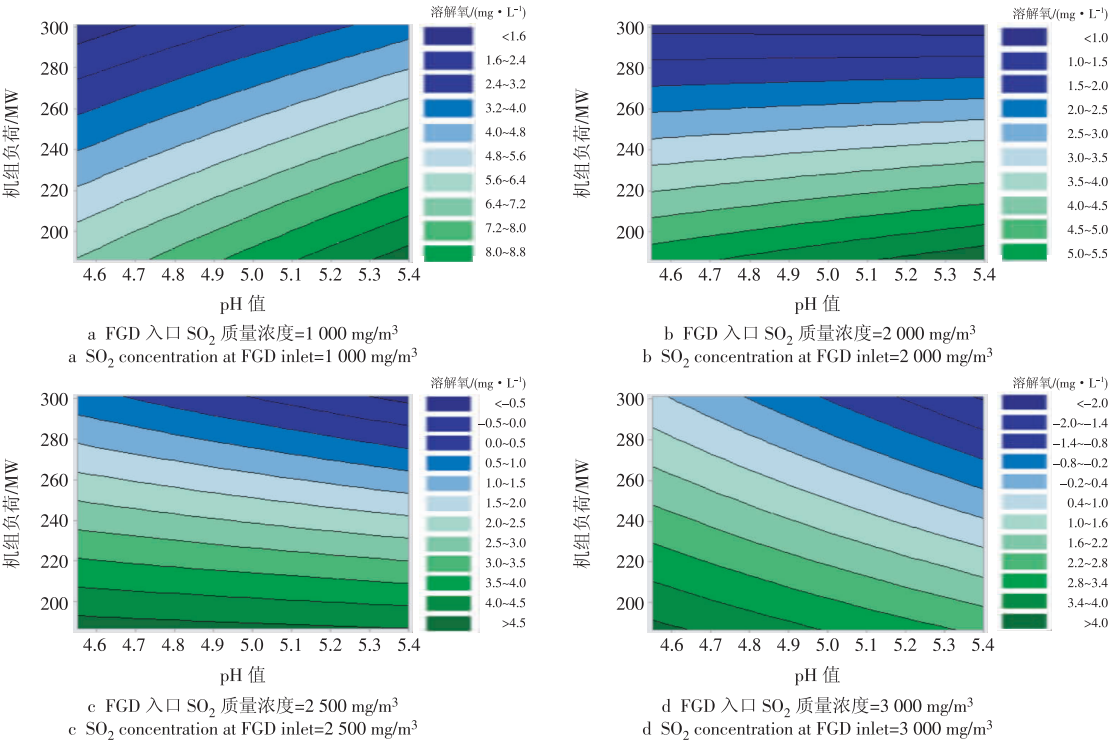


图 4 不同条件下 1 台氧化风机运行的溶解氧等值线

Fig. 4 Contour maps of dissolved oxygen within 1 oxidation fan under different conditions

(4)因实际控制浆液 pH 值在 4.8 ~ 5.1 之间,FGD 入口 SO_2 质量浓度 = 3 000 mg/m^3 且机组负荷小于 245 MW 时,1 台氧化风机运行可以完全满足 SO_3^{2-} 的氧化需要。

3 运行优化与节能环保分析

3.1 运行优化分析

由试验数据得知,当 FGD 入口 SO_2 质量浓度小于 3 000 mg/m^3 (设计值)时,2 台氧化风机运行时可满足机组的全负荷运行时 SO_3^{2-} 氧化所需要的氧化风量。

当 1 台氧化风机运行且实际吸收塔浆液 pH 值在 4.8 ~ 5.1 之间时,浆液中溶解氧质量浓度以 1.5 mg/L 为限制条件,FGD 入口 SO_2 质量浓度与机组负荷呈线性关系,如图 5 所示。当 FGD 入口 SO_2 质量浓度与机组负荷所对应的点在图 5 直线下方区域时,适用 1 台氧化风机运行;当吸收塔入口 SO_2 质量浓度与机组负荷所对应的点在图 5 直线上方区域时,适用 2 台氧化风机运行。此线形图可设置在脱硫分散控制系统(DCS)界面中,实现提醒运行人员启停氧化风机的功能。

3.2 节能环保分析

该机组 2 台氧化风机同时运行时,其电流值均约为 35 A,1 台氧化风机运行时,电流值约为 30 A。根据近 3 年该机组情况,设定该机组每年运行 7 000 h,其中适合 1 台氧化风机运行的时间为 3 000 h,可

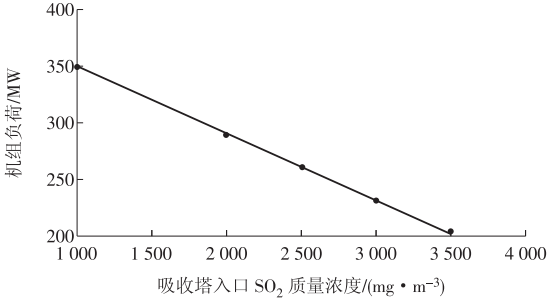


图 5 1 台氧化风机运行时 FGD 入口 SO_2 质量浓度与机组负荷关系

Fig.5 Relationship between SO_2 concentration at FGD inlet and unit power within 1 oxidation fan

计算出每年节约厂用电量约 $1.1 \times 10^6 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。同时,降低了氧化风机的运行时间,可降低氧化风机的故障率、延长氧化风机的检修周期。

在试验中,定期对石膏的品质进行了化验, $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 的质量分数始终在 0.5% 以下,说明在实现节能的同时达到了石膏品质的性能要求。

4 结束语

以脱硫吸收塔浆液的溶解氧为控制目标,对某厂 350 MW 机组脱硫氧化风机运行方式的试验研究,得到了脱硫吸收塔浆液的溶解氧质量浓度和机组负荷、烟气脱硫装置(FGD)入口 SO_2 质量浓度和浆液 pH 值之间的关系,找到了合适的氧化风机运行方式。优化运行方式不仅达到(下转第 52 页)

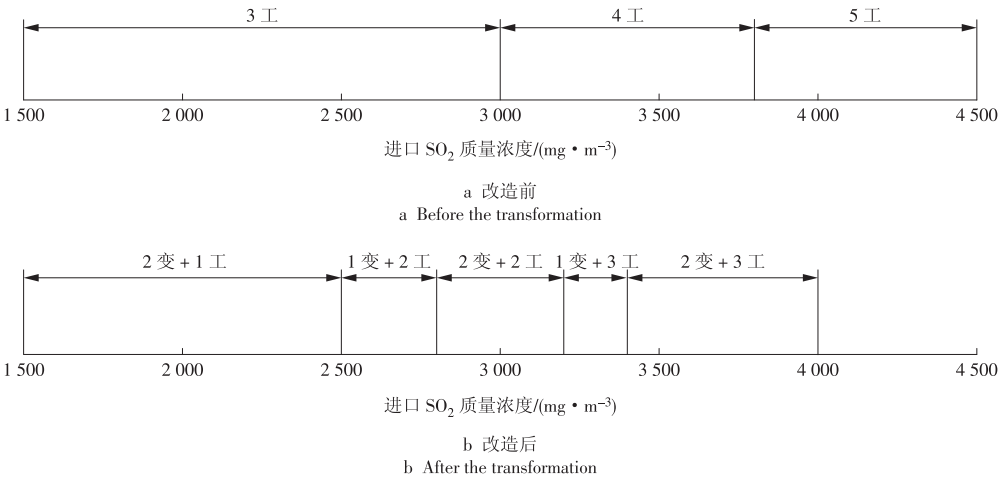


图 3 改造前、后满负荷工况下脱硫系统循环泵适用图

Fig.3 Applicable of the circulating pump in the desulfurization system under full load condition before and after the transformation

工况下,当进口质量浓度为 1 500 ~ 2 500 mg/m³ 时,可采用 2 台变频泵 + 1 台工频泵(2 变 + 1 工)的运行方式,此时对应改造前 3 台泵运行的工况,节能效果较好;当质量浓度为 2 500 ~ 2 800 mg/m³,为了保证排放达标则需要开启 1 台变频泵 + 2 台工频泵(1 变 + 2 工),节能性略有降低;在质量浓度为 3 000 ~ 3 200 mg/m³ 和 3 800 ~ 4 000 mg/m³ 的条件下,可分别采取 2 台变频泵 + 2 台工频泵(2 变 + 2 工)、2 台变频泵 + 3 台工频泵(2 变 + 3 工)的运行方式,节能效果明显。

6 结束语

本方案采用了液柱喷射与雾化喷淋协同脱硫的技术,实现了浆液循环泵的变频控制,在满足排放要求的前提下不仅降低了烟气系统阻力,而且实现了浆液循环量的线性调节与自动控制,节约了大量电能,为脱硫系统喷淋层的节能运行提供了有利条件。

(上接第 48 页)了良好的脱硫效果,而且减少了能耗,为运行调整提供了参考,对电厂脱硫系统的节能降耗与环保控制具有重要意义。

参考文献:

[1]赵毅,李守信.有害气体控制工程[M].北京:化学工业出版社,2001:188-194.

[2]李守信,纪立国,于军玲,等.石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺原理[J].华北电力大学学报,2002,29(4):91-94.

[3]郭东明.脱硫工程技术与设备[M].北京:化学工业出版社,

参考文献:

[1]大中型火力发电厂设计规范:GB 50660—2011[S].

[2]赵旭东,项光明,姚强,等.液柱喷射烟气脱硫技术工程[J].中国环保产业,2004(12):27-29.

[3]杜云贵,邓佳佳,杨斌懿,等.液柱塔喷浆管道设计与优化[J].环境工程,2010,28(3):73-76.

[4]王君,高翔,郭瑞堂,等.液柱冲击塔雾化特性的试验研究[J].热能动力工程,2006,21(3):275-282.

[5]邓荣喜,陈丽萍.石灰石-石膏湿法烟气脱硫之液柱塔(DCFS)技术[J].广州化工,2010,38(3):191-193.

[6]华润电力焦作有限公司.一种烟气脱硫的装置:201821093508.0[P].2019-04-19.

[7]方立军,常艳超,胡月龙,等.液柱塔雾化特性研究[J].电力科学与工程,2012,28(2):46-50.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

杨翻(1980—),男,河南信阳人,工程师,从事电厂环保技术管理工作(E-mail:yanghe12@crpower.com.cn)。

社,2011:28-33.

[4]王小明,薛建明,金定强,等.火电厂烟气脱硫工艺的选择[J].电力设备,2005,6(5):6-10.

[5]徐刚,袁星,杨勇平,等.火电机组烟气脱硫系统的节能优化运行[J].中国电机工程学报,2012,32(32):22-27.

(本文责编:陆华)

作者简介:

赵林林(1986—),男,山东莱芜人,助理工程师,从事火电厂节能环保工作(E-mail:zhaolinlin95@163.com)。