

燃煤锅炉石灰石-石膏法

烟气脱硫节能及运行成本优化探讨

Discussions on energy saving and operating cost optimization of limestone-gypsum flue gas desulfurization in coal-fired boiler

杨超英 (陕西大秦环境科技有限公司, 陕西 西安 710065)

蒋廉颖 邵君娜 (浙江菲达脱硫工程有限公司, 浙江 杭州 310053)

Yang Chaoying(Shaanxi Daqin Environmental Technology Co.,Ltd.,Shaanxi Xi'an 710065)

Jiang Lianying Shao Junna(Zhejiang Feida desulfurization Engineering Co.,Ltd,Zhejiang Hangzhou 310053)

摘要: 为挖掘石灰石-石膏湿法烟气脱硫系统节能降耗,结合某厂热水锅炉石灰石-石膏湿法烟气脱硫改造工程,重点分析循环泵变频控制、优化布置 pH 和密度计、回收设备冷却水重复利用等方面达到 FGD 系统的节能、节水目的,同时提出了实际运行的控制措施,为脱硫系统的经济运行提供可靠保障,在兼顾环保、社会效益的同时,进一步降低脱硫系统运行成本。

关键词: 石灰石-石膏法脱硫;节能;节水;燃煤锅炉

Abstract: To explore the energy saving measures of limestone-gypsum wet flue gas desulfurization system, combined with the heating boiler units limestone-gypsum wet flue gas desulfurization reconstruction project, focus on analysis of adjusting circulating gypsum pump frequency, arrangement of pH and densitometer, recycling cooling water reuse and so on, achieved the aim of energy saving, water saving of FGD system. Provide a reliable guarantee for the economic and quality operation of the desulfurization system, while taking into account environmental and social benefits, is expected to further reduce the cost of heating boiler desulfurization.

Key words: Limestone-gypsum wet flue gas desulfurization; saving electrical energy; saving water; coal-fired boiler

目前全世界降低燃煤锅炉烟气 SO₂ 排放主要采用烟气脱硫 (FGD) 的手段,主要的脱硫技术包括石灰石-石膏法、氨法、氧化镁法、LIFAC、SDA、脉冲电晕法等,其中石灰石-石膏湿法脱硫具有适用煤种硫分范围宽,运行可靠性高、脱硫效率高等特点,技术最成熟,应用也最为广泛,约占全球脱硫装机容量的 85%^[1-7]。石灰石-石膏法脱硫工艺在我国市场占有率大,但存在系统庞大复杂、电耗水耗及石灰石消耗量较大、建设运行成本较高的缺点。据统计,石灰石

-石膏法脱硫系统自身电耗约占电厂发电量的 1%,所以对石灰石-石膏法脱硫系统进行节能降耗意义重大。本文以某供暖热水锅炉厂脱硫改造工程为例,对石灰石-石膏湿法进行研究,通过分析主要能耗指标及控制因素,总结设计过程中的节能降耗设计经验,在达到环保要求的基础上,保障脱硫系统安全、稳定、经济运行。

1 工程设计概况

该工程为燃煤热水锅炉,为满足更高的环保标准,

厂区脱硫除尘进行改造,采用布袋除尘+石灰石-石膏脱硫工艺,本文就该工程的脱硫系统节能措施进行探讨。

本工程系统流程如图1所示,锅炉烟气经布袋除尘器除尘后由引风机送至吸收塔进行脱硫净化处理,再经过除雾器去除细小液滴后由烟囱排放。

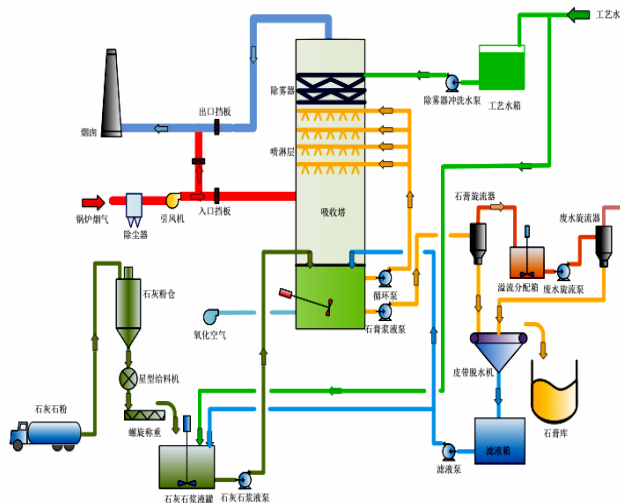


图1 工艺系统流程示意图

每台锅炉排放烟气量为 $200000\text{m}^3/\text{h}$,整个脱硫系统原始烟气 SO_2 浓度 $1800\text{mg}/\text{Nm}^3$,烟气粉尘 $\leq 30\text{mg}/\text{Nm}^3$,环保要求 SO_2 排放浓度 $\leq 35\text{mg}/\text{Nm}^3$,具体设计参数见表1。

表1 系统主要设计参数表

项目	单位	设计值
锅炉出口烟气量	m^3/h	200000
锅炉排烟温度	$^{\circ}\text{C}$	140
烟气入口 SO_2 浓度	mg/Nm^3	1800
烟气出口 SO_2 浓度	mg/Nm^3	≤ 35
脱硫效率	%	≥ 98.05

2 改造节能及运行成本优化措施

石灰石-石膏法脱硫系统的运行既需要满足锅炉安全,又需要 SO_2 排放达标,同时考虑尽可能内部挖潜降低运行成本。燃煤锅炉厂烟气脱硫成本具体包括石灰石粉耗、水耗、电耗、人工成本、设备维修费用、折旧及其他费用,其中电耗、水耗是进行节能分析的重点。

2.1 循环泵电耗分析

影响石灰石-石膏湿法脱硫性能的主要技术参数有烟气量、液气比、原烟气 SO_2 浓度、脱硫循环浆液pH、循环浆液固体物浓度和固体物停留时间。为了满足排放达标,液气比的选择极为重要,因此循

环泵的电耗比例是最大的,其电耗约占脱硫系统的65%~76%^[8]。

循环泵是根据工艺严格计算得出的液气比确定设计流量,无出口门及止回阀门,因此目前循环泵的运行流量固定,不可节流调节,在锅炉负荷较低的情况下,一般停运1台循环泵,降低循环泵能耗,但为了保证脱硫系统安全,仍必须保留两台循环泵运行,因此循环泵的仍有节能空间。

本项目共设计四层喷淋,对应四台循环泵。第一、二层循环泵电机采用变频控制,通过调节电机运行频率来达到调节第一、二层循环泵流量的目的。由于频率下降,循环泵流量下降,扬程也下降,影响到吸收塔喷嘴雾化效果及塔内的覆盖面积,这对脱硫效率影响都较大。在实际运行时,循环泵的电机频率都限制在40Hz以上。具体调试运行数据如表2所示。

表2 调试运行数据表

序号	循环泵频率 (Hz)			进口浓度 mg/Nm^3	出口浓度 mg/Nm^3	脱硫效率 %
	A	B	C			
1	/	50	50	952.38	25.74	97.3
		45		970.1	31.46	96.7
		40		967.5	48.62	94.9
		35		954.2	82.94	91.3
		30		958.3	128.7	86.5
2	/	50	50	1311	42.9	96.7
		45		1247	62.92	94.9
		40		1289	74.36	94.2
		35		1302	128.7	90.1
		30		1293	165.88	87.1
3	/	50	/	772.2	14.3	98.1
		50		765.1	22.88	97.0
		45		781	37.18	95.2
		40		799	68.64	91.4

由表2可知,在 SO_2 浓度较低的情况下,开启第一、二层两台循环泵,在频率为45Hz的情况下,脱硫效率可以达到95.2%,达标排放,节能效果良好,可以降低一定运行成本;但两台循环泵频率均为40Hz的情况下,脱硫效率下降到91.4%,排放浓度显著上升。此外当脱硫系统入口烟气 SO_2 浓度达到设计点时,变频泵的频率仍需达到50Hz才能满足排放要求。

2.2 测量仪表装设位置优化

pH计和吸收塔浆液密度计是脱硫系统中最重要的两个监测数据,主流系统设计将这两个仪表设置在石膏浆液泵出口至石膏旋流站管路上,这种设置就要求石膏浆液泵一直处于运行状态,而石膏脱水一般是间歇性的,因此这种布置方式既加大了石膏浆液泵和管路的磨损,也增加了电耗。此处工程设计进行优化,

将 pH 计和密度计设置在循环泵 A、B 的出口管支路上, 由循环泵提供检测仪表所需的浆液循环动力, 这样石膏排出泵仅在石膏脱水时启动, 一个供暖季按满负荷运行 3200h 计算, 能够节省电耗 44.35 万度, 约 22.18 万元。

2.3 节水优化

湿法脱硫工艺的缺点是耗水量相对较大, 尤其是在北方缺水地区, 成为制约电厂建设规模的主要因素之一。因此减少新鲜工艺水补水, 最大程度的实现水往复循环显得愈发重要。

FGD 系统的用水分工艺水和工业水两个部分。其中工艺水主要用途包括各塔罐箱补水、除雾器冲洗和管道冲洗以及泵的机封润滑油, 在除雾器压差允许的情况下, 吸收塔液位控制尽量采用滤液水。

脱硫系统设备冷却水大都直接排至地坑, 再由地坑泵送至吸收塔消化, 但是这部分容易导致系统水平衡被破坏。本期工程将设备冷却水集中回用到工艺水箱, 作为除雾器冲洗水利用。

通过以上措施, 一个供暖季按满负荷计算 (运行 3200h), 能够节水 16000t, 约 7.68 万元 (水费按 4.8 元/t 计)。

2.4 运行控制优化建议

石灰石-石膏法作为一个集成系统, 锅炉与脱硫系统、脱硫各子系统都密切相关, 需要对 FGD 系统运行过程中锅炉负荷、燃煤硫含量、出入口烟气流量和 SO₂ 浓度、脱硫效率、石膏品质、设备电耗、用水量、石灰石粉品质和用量等监测, 根据不同锅炉负荷及时响应, 调整运行。

石灰石粉作为脱硫吸收剂, 其粒度对其的溶解性能有决定性影响, 为保证脱硫效率和提高利用率, 应控制购买的石灰石粉粒度和纯度, 这样一方面可以降低石灰石浆液泵和循环泵的磨损, 另一方面也可以增加石灰石粉的利用效率, 降低石灰石浆液泵的电耗。

保持适当的吸收塔内浆液密度和液位高度。吸收塔内浆液密度越大, 循环泵电流越大, 相应的循环泵电耗也会上升。此外, 由于氧化风机电流与吸收塔液位、浆液密度成正比, 应保持合理的吸收塔液位、浆液密度, 以促进氧化风机节电运行。当吸收塔浆液密度过高时, 首先进行石膏浆液脱水, 降低吸收塔内石膏浆液密度, 另外通过除雾器补水或者滤液补水。

加强对运行人员的培训, 通过对脱硫运行规程和其他 FGD 系统技术资料的组织学习, 不断提高运行人

员岗位技能。建立班组之间学习交流机制, 分享 FGD 系统调整优化技术经验。

3 结论

石灰石-石膏湿法脱硫系统复杂, 既有为实现锅炉烟气 SO₂ 达标排放的大量机械设备, 又有为提高自动化程度的大量在线监控仪表, 运行过程中电耗、水耗较大, 后期设备维护也繁杂, 因此脱硫系统的运行成本一直是偏高。本此石灰石-石膏法脱硫改造工程综合利用各项措施, 着重阐述循环泵变频控制、优化 pH 计和密度计布置、设备冷却用水回收等方面的节能降耗措施, 进行系统设计优化, 同时运行、管理优化, 进一步促进脱硫装置的可靠、经济运行, 在兼顾环保、社会效益的同时, 有效地降低电厂的脱硫成本, 也达到了节能减排目的。

参考文献:

- [1] 马双忱, 熊远南, 吴国栋, 等. 湿式石灰石烟气脱硫循环系统减阻剂配方研究 [J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(02): 240-246.
- [2] 于清航, 徐振刚, 纪任山等. 灰钙循环烟气脱硫技术工业试验及机理分析 [J]. 中国煤炭, 2018, 44(3): 147-152.
- [3] Nygaard H G, Kiil S, Johnsson J E, et al. Full-scale measurements of SO₂ gas phase concentrations and slurry compositions in a wet flue gas desulphurisation spray absorber [J]. 2004, 83(09): 1151-1164.
- [4] Frandsen B W, Jan, Kiil Shren. Optimisation of a wet FGD pilotplant using fine limestone and organic acids [J]. Chemical Engineering Science, 2001(56): 3275-3287.
- [5] Kikkawa H, Nakamoto T, Morishita M, et al. New wet FGD process using granular limestone [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2002(41): 3028-3036.
- [6] 赵鹏高. 我国燃煤电厂烟气脱硫技术与设备国产化进展情况、问题及建议 [J]. 电力环境保护, 2004, 20(02): 1-10.
- [7] 郝文阁, 赵光玲, 王东鹏, 等. 石灰石湿法脱硫过程中 SO₂ 吸收数学模型 [J]. 环境工程学报, 2008, 2(07): 969-972.
- [8] 李峻, 廖国权, 马殿学. 石灰石-石膏湿法脱硫系统节能降耗探讨 [J]. 电力科技与环保, 2014, 3(3): 51-52.

作者简介:

杨超英 (1988-), 男, 陕西澄城人, 本科, 工程师, 从事燃煤锅炉脱硫脱硝烟气处理设计研究工作。