

2×1 050 MW 机组火电厂脱硫废水深度处理工艺分析

王华阳¹,汪勇建¹,戴雅欣¹,王梦勤²,朱 鸿²

(1.国能神福(石狮)发电有限公司,福建 泉州 362712;

2. 国电环境保护研究院有限公司,南京 210031)

摘要:为实现某2×1 050 MW 机组燃煤电厂的全厂废水零排放,文章对脱硫废水深度处理工艺进行了研究,首先详细对比了“离子置换浓缩处理+高温烟气喷雾干燥”和“低温闪蒸浓缩+旋转雾化旁路蒸发干燥”处理工艺,其次结合工业应用实例比较了二者的优缺点及技术经济性。比对结果表明,这2种技术路线均具有可行性。其中,“离子置换浓缩处理+高温烟气喷雾干燥”工艺的投资成本约为6 168万元,吨水运行成本为56.97元;“低温闪蒸浓缩+旋转雾化旁路蒸发干燥”的投资成本约为6 481万元;热源采用余热的吨水运行成本为41.79元,采用蒸汽的吨水运行成本则为77.07元。如拟作为科技创新项目,推荐采用“离子置换浓缩处理+高温烟气喷雾干燥”工艺;如拟作为技改项目,则推荐“低温闪蒸浓缩+旋转雾化旁路蒸发干燥”工艺。

关键词: 火电厂;脱硫废水;零排放;浓缩减量;工艺路线

中图分类号: X773 **文献标识码:** A

Analysis of advanced treatment technology of desulfurization wastewater from 2×1 050 MW thermal power plant

WANG Huayang¹, WANG Yongjian¹, DAI Yaxin¹, WANG Mengqin², ZHU Hong²

(1.National Energy Shenfu (Shishi) Power Generation Co., Ltd., Quanzhou, Fujian 362712, China;

2.National Environmental Protection Research Institute for Electric Power, Nanjing 210031, China)

Abstract: In order to achieve zero discharge of waste water from a 2×1 050 MW coal-fired power plant, the advanced treatment process of desulfurization waste water is studied in this paper. First, the treatment processes of “ion exchange concentration treatment+high-temperature flue gas spray drying” and “low-temperature flash concentration+rotary atomization bypass evaporation drying” are compared in detail. Second, the advantages and disadvantages and technical economy of the two processes are compared with industrial application examples. The comparison results indicate that both technological routes are feasible. Among them, the investment cost of “ion exchange concentration treatment+high-temperature flue gas spray drying” process is about 61.68 million yuan, and the operating cost per ton of water is 56.97 yuan. The investment cost of “low-temperature flash evaporation concentration+rotary atomization bypass evaporation drying” is about 64.81 million yuan. The operating cost per ton of water using waste heat as the heat source is 41.79 yuan, while the operating cost per ton of water using steam is 77.07 yuan. If it is intended to be a scientific and technological innovation project, the process of “ion exchange concentration+high-temperature flue gas spray drying” is recommended. If it is intended as a technical renovation project, the recommended process is “low-temperature flash evaporation concentration+rotary atomization bypass evaporation drying”.

Key words: thermal power plant, desulfurization wastewater, zero emissions, concentration reduction, process route

近年来,《水污染防治行动计划》《中华人民共和国节约能源法》《中华人民共和国环境保护法》等法律法规的颁布对火电厂用水、排水量和水质提出了严格的控制要求,电厂废水零排放成为必然趋势^[1-3]。然而,脱硫废水的成分复杂多变,具有高含盐、高浊度、高硬度等特

点,是电厂废水处理中最复杂、难度最大的一类^[4]。因此,脱硫废水零排放是电厂废水零排放的关键。

某电厂装机容量为2×1 050 MW,采用循环水直流冷却。根据环评要求,生产废水及生活污水应在处理后回用,不向外排放。同时,《发电厂废水治理设计规范》

(DL/T 5046-2018)对于脱硫废水的治理规定提出了“经处理合格后的脱硫废水可用于干灰调湿或灰场喷洒以及湿除渣系统”等要求。由于电厂渣系统为干渣装置,粉煤灰全部外售综合利用,现有装置脱硫废水无法消纳,必须进行脱硫废水零排放处理。

1 脱硫深度处理工艺

1.1 离子置换浓缩处理(IRCT技术)结合高温烟气喷雾干燥

离子置换浓缩处理^[5]是一种基于新型双极膜电渗析系统的新型处理技术,能够实现脱硫废水的离子置换浓缩处理,将高结垢风险脱硫废水中的钠离子、钙离子、镁离子、氯离子、硫酸根离子等污染物体系分离为无结垢风险的高浓度钠盐(氯化钠、硫酸钠等)溶液和氯化物(氯化钙、氯化镁、氯化钠等)溶液。该工艺技术路线的优点主要如下:(1)适用于高含盐、高硬度废水的脱盐和减量处理,无需软化,减少了药剂的使用和固废产量,运行费用低;(2)可直接将废水浓缩至含盐量7%以上,减少了诸多分级浓缩环节;(3)模块化设计,一组出现故障不会影响其他组运行,且占地少;(4)系统各环节无结垢风险,整体可靠性高;(5)引入“透析”思路,筛选脱硫浆液中影响脱硫系统运行的特定离子型污染物(氯离子)以进行选择性脱盐处理,无影响的离子返回脱硫系统,脱硫废水中的硫酸根、钠离子等离子回到脱硫浆液系统形成石膏副产品,能提高石膏产出量^[6]。然而,该工艺的进水要求较高,具体如下。(1)脱硫废水的含盐量越高则IRCT脱盐效率越高,IRCT对脱硫废水的含盐量有下限要求,电导率最低应大于等于25 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。(2)IRCT技术为膜处理设备,其进水悬浮物指标要求小于等于2 mg/L。

1.2 低温闪蒸浓缩结合高温旁路烟道干燥

脱硫废水直接取自脱硫石膏旋流器溢流,经澄清后进入脱硫废水储存箱。在现有脱硫入口烟道上装设烟道换热器,利用脱硫入口烟气将热水加热以作为三效热

源,或直接采用蒸汽。经过三效闪蒸浓缩后,废水浓缩率最高可达90%,同时在线浓缩率可实现50%~90%区间的自动调节,浓缩后的浓液将分别进入喷雾干燥器或旋转喷雾器(干燥器的热源来自脱硝后、空预器前的350 $^{\circ}\text{C}$ 的热烟气),产生的粉尘及水蒸气随烟气引入电除尘前烟道,利用电除尘捕捉氯离子和其他固态颗粒及金属元素,蒸发的水蒸气则进入脱硫塔。在闪蒸浓缩过程中,所产生的水蒸气在凝结后可回收用作脱硫工艺水或其他补水^[7]。该工艺的主要缺点是来水水质不稳定及系统出口浓度控制不佳,易出现堵塞现象。其主要优点如下。

(1)无需软化,运行费用低。基于晶种法原理,采用独特的大流量浆液强制循环措施以保证加热器表面不结垢。采用闪蒸浓缩,不需要三联箱、软化等预处理系统,直接将脱硫废水中过饱和的硫酸钙作为晶种。这一方面减少了高昂的药剂费用及运营费用,另一方面则避免了高盐泥饼的产生,降低了加药对废水的再污染概率。同时,闪蒸浓缩技术的系统构造简单,自动化程度高,不需要增加运行维护人员;投运后无需再次加药;除电费消耗外,无需其他消耗性材料。

(2)节能降耗,采用三效闪蒸技术实现了能源再利用,提高了能源利用率。利用脱硫入口余热加热脱硫废水,实现了低能源消耗。

(3)废水回收率高、回收水质优。经过低温闪蒸处理后,脱硫废水的回收率最大可达90%,蒸发冷凝后的水电导率在140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右,可以用于锅炉补给水处理系统的进水或脱硫工艺的补水,实现废水再利用。

(4)系统结构简单,维护量小,自动化程度高。脱硫废水闪蒸浓缩系统通过控制泵与阀门的运行来调整容器内的液位、浓度及温度,可实现远程监控、一键启动、无人值守。

2 2种脱硫深度处理工艺技术的经济对比

2种脱硫深度处理工艺技术的经济对比如表1所列。

表1 2种脱硫深度处理工艺技术的经济对比

序号	对比内容	(方案一)离子置换浓缩处理+高温烟气喷雾干燥	(方案二)低温闪蒸浓缩+旋转雾化旁路蒸发干燥
1	技术原理	采用一体化预处理后,浓缩段采用双极膜电渗析系统实现脱硫废水的离子置换浓缩,浓缩后的氯盐用高温热烟气干燥,利用电除尘收集产生的固体盐	利用引风机后的烟气余热对脱硫废水进行多效闪蒸浓缩,浓缩后的脱硫废水经高温热烟气干燥,产水固体杂盐利用电除尘收集至粉煤灰中
2	系统形式	以统筹全厂共设1套离子置换浓缩装置为宜,干燥按锅炉单元制设计为宜	全厂统筹共设1套
3	工程投资	6 168万元	6 481万元
4	运行费用:药剂费+电费+煤耗费等(元/吨水)	约56.97元	约41.79元(余热)/77.07元(蒸汽)
5	浓缩方式	电渗析浓缩	利用脱硫后烟气余热多效闪蒸
6	浓缩倍率	3.5倍	5~10倍
7	浓缩液处理方式	高温热烟气干燥后,利用电除尘收集	高温热烟气干燥后,利用电除尘收集

(续表1)

序号	对比内容	(方案一)离子置换浓缩处理+高温烟气喷雾干燥	(方案二)低温闪蒸浓缩+旋转雾化旁路蒸发干燥
8	系统耗源	电/高温热二次风	低温烟气+高温烟气
9	是否加药	预处理加絮凝剂等,电渗析加阻垢剂	/
10	对锅炉的影响	浓盐水蒸发会影响锅炉的热效率	烟气余热利用会增加烟道阻力,蒸发会影响锅炉的热效率
11	对除尘系统的影响	降低烟温,提高收尘效率	降低烟温,提高收尘效率
12	对脱硫系统的影响	硫酸盐浓水返回脱硫,会给脱硫水平衡带来影响,减少脱硫系统补水	降低脱硫入口烟温,有利于提高脱硫效率
13	对灰的影响	废水中的氯盐被电除尘收集,存在降低灰品质的风险	废水中的盐被电除尘收集,存在降低灰品质的风险
14	是否产生固体废物	无	无
15	运行管理	较复杂	较简单
16	燃煤电厂应用业绩	安徽铜陵电厂、安庆电厂	大港电厂、九江电厂、恒丰电厂、上海庙电厂、衡山电厂、定州电厂等
17	处理系统存在不确定的风险	来水COD高,易导致膜发生污堵,影响装置运行,浓缩装置无法有效去除COD,返回吸收塔会导致COD富集,对脱硫效率产生影响	来水水质不稳定及闪蒸系统出口浓度控制不佳,易出现堵塞现象
18	工期	8~9个月(需要停炉1~2周)	7~8个月(需要停炉2周左右)

3 结论

结合表1可知,方案一和方案二均能满足要求,其中方案一采用的IRCT属于新技术,当前仅在铜陵电厂、安庆电厂投运,其预处理要求高且运行过程较为复杂,但投资费用较低;方案二采用的低温闪蒸热法应用实例较多,约有10余个电厂在脱硫废水系统中采用此工艺,其中大港电厂已运行约5年,具有技术成熟、运行简单的优势,但投资成本略高,同时若低温闪蒸浓缩段采用蒸汽加热,会导致运行成本偏高。

本项目拟作为科技创新示范项目。综合上述分析,同时考虑到系统运行的稳定性与可靠性、现场施工场地、一次性投资费用、运行成本等因素,故推荐采用方案一“离子置换浓缩处理+高温烟气喷雾干燥”,方案二“低温闪蒸浓缩+旋转雾化旁路蒸发干燥”则作为备选方案;如拟作为技改项目,推荐采用方案二“低温闪蒸浓缩+旋转雾化旁路蒸发干燥”。

参考文献:

[1] 韦飞,刘景龙,王特,等.燃煤电厂脱硫废水零排放技术探

究[J].水处理技术,2017,43(6):34-36.

[2] 李亚娟,刘勇,刘贵栋,等.某电厂脱硫废水零排放处理系统运行性能分析[J].工业水处理,2022,42(1):175-178+186.

[3] 陈丽娜,尤良洲,韩倩倩,等.燃煤电厂全厂废水零排放改造工程设计及运行效果[J].中国给水排水,2023,39(20):132-137.

[4] 王靖宇,陈成,高志刚,等.燃煤电厂脱硫废水处理技术路线选择分析[J].现代化工,2023,43(7):44-49.

[5] 胡珺,贾本康,高扬,等.离子置换浓缩技术在脱硫废水资源化利用中的应用研究[J].中国资源综合利用,2020,38(10):193-196.

[6] 安文浩.离子置换电渗析技术处理脱硫废水的研究[D].南京:南京信息工程大学,2023.

[7] 王晋权,赵周明,张志华.低温余热闪蒸脱硫废水处理系统设计及应用[J].中国电力,2020,53(8):151-157+181.

作者简介:

王华阳(1979—),大专,工程师,研究方向:电厂水处理。