

# 电厂脱硫废水零排放系统技术研究

## Research on the Zero Discharge System of Desulfurization Wastewater in Power Plant

姜超

Chao Jiang

山东电力工程咨询院有限公司  
中国·山东 济南 250013  
Shandong Electric Power Engineering Consulting  
Institute Corp., Ltd.,  
Ji'nan, Shandong, 250013, China

**【摘要】**近年来,中国环保排放标准日趋严格,火电工程废水排放日益受到重视,废水零排放逐渐提上议事日程。传统的脱硫废水或者在煤场进行喷洒,或者利用灰渣进行调湿处理,不能真正实现脱硫废水成分的固态环保排放。论文介绍了几种主流废水零排放技术方案。

**【Abstract】**In recent years, China's environmental protection emission standards have become increasingly strict, and waste water discharge from thermal power projects has received increasing attention. The traditional desulfurization wastewater can be sprayed in coal yard or treated with ash residue for moisture control, which can not really realize the solid environmental protection discharge of desulfurization wastewater composition. This paper introduces several mainstream technologies of zero discharge of wastewater.

**【关键词】**零排放;正渗透;电渗析;蒸发结晶;烟道喷射雾化技术

**【Keywords】**zero emissions; penetration; electrodialysis; evaporative crystallization; flue spray atomization technology

**【DOI】**10.36012/etr.v1i1.70

## 1 引言

脱硫废水零排放系统作为新兴技术,各厂家技术方案不同,中国电厂运行业绩较少。随着中国环保要求的提高,电厂零排放系统越来越受到重视与推广。为深入了解中国各技术流派及设备特点,做此课题研究。

根据各单元工艺不同,结合系统稳定运行时间长、运行费用尽量低、投资尽量低的设计原则,目前,中国零排放主要有以下技术流派:正渗透+蒸发结晶、电渗析+蒸发结晶、反渗透膜分离+蒸发结晶、烟道喷射雾化蒸发技术等。根据《VGB POWER TECH》杂志 2012 意大利国家电力公司工程师的文章介绍,世界范围内的脱硫废水零排放机组及处理工艺主要以化学预处理+蒸发+结晶工艺为主。下面分别对各技术展开论述。

## 2 正渗透技术

正渗透技术来源于美国耶鲁大学,2011 年第一套正渗透浓缩系统商业化投入运行,2013 年正渗透技术进入中国。2014 年 6 月沃特水处理公司签中国第一个正渗透技术脱

硫废水零排放项目——华能长兴电厂脱硫废水零排放项目。目前已投入使用,长兴电厂零排放采用的工艺流程为:原脱硫废水三联箱工艺系统来水经过预处理系统除硬度后,产水进入双级过滤和离子交换系统进行过滤和进一步软化后,通过双级反渗透、正渗透进行浓缩,最终的浓缩液进入结晶器进行蒸发结晶。该技术特点是投资费用较低,自动化程度高,回收率高,但主要存在问题是,正渗透技术未成熟,正渗透膜的价格高。

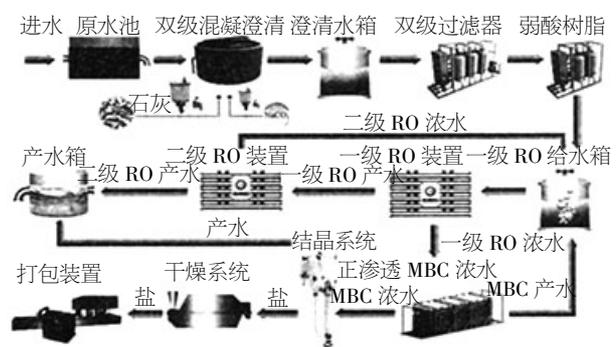


图 1 长兴电厂零排放工艺流程

正渗透技术特点在于利用自然界的天然渗透原理:以膜

两侧溶液的渗透压差作为驱动力,使得水自发地从原料液一侧透过选择透过性膜到达驱动液一侧。其主工艺系统包括:FO膜装置、产水汲取液回收装置、浓盐水汲取液回收装置等。正渗透最大的优点是它在运行时,不需要高压泵,系统能耗低。同时,也使得正渗透膜不易污染,系统更加安全可靠。

正渗透系统主要由塑料材料管接件和设备组成,不需要昂贵的合金材料。MBC系统比蒸发器节省30%的投资成本。MBC系统为模块化组装,占地更小。除了经济成本的优势以外,MBC系统仍有几个额外的优势。包括与蒸发器相比较,显著降低由于错误的选择制造材料或运行中发生的材料腐蚀所导致的项目灾难性失败的风险,以及更高的系统利用率,更短的建设周期和项目交付时间。

### 3 电渗析 ED+ 蒸发结晶

电渗析是利用直流电场作用,使溶液中离子定向迁移而实现分盐,降低溶液浓度的分离方法。电渗析所用的膜材料具有电阻低、交换容量高的优点。同时,它具有良好的自清洗效果,跟一般脱盐技术相比,显著减少了化学药剂的消耗,又可以避免或减少向废水中加酸或阻垢剂等药剂。中国江苏海容热能环境工程有限公司在中国江苏南通电厂采用该系统,实现了12t/h示范工程。其处理工艺流程为:预沉池—双碱反应池—中和池—多介质过滤器—超滤装置—纳滤装置—离子交换吸附塔—二级电渗析浓缩装置—离心喷雾氯化钠结晶装置。在中国山东电力工程咨询院总包的板集电厂,脱硫废水零排放也采用该工艺系统,处理流程为:调质池—除镁结晶反应器—除硫反应器—除钙反应沉淀池—中和池—pH调节池—精密过滤器—自清洗过滤器—超滤装置—纳滤装置—ED装置—海水反渗透装置—离子交换吸附系统装置—MVR装置—结晶盐烘干装置—自动计量打包码垛装置,该系统处理力30m<sup>3</sup>/h。

### 4 反渗透 (DTRO)+ 蒸发结晶

反渗透是以压力差为推动力,从而实现从溶液中分离出溶剂。DTRO反渗透又叫碟管式反渗透,它是利用压力使水分子渗透液透过反渗透膜,把污染物(大于1nm)的分子截留,从而达到出力渗透液的目的。它是由美国Pall公司首先提出的碟管式反渗透技术。碟管式膜组件主要由RO膜片、导流盘、中心拉杆、外壳、两端法兰各种密封件及联接螺栓等部件组成。DTRO解决了膜片污染及堵塞问题,是种高效的滤液处理技术。适用于工业园区尤其是缺水地区高盐废水浓缩减量;发

电厂脱硫废水处理及全厂废水零排放;煤化工、制药、印染、电镀等用水量大,污染严重行业的排放工艺;垃圾渗滤液的高效处理等。

中国山东电力工程咨询院内蒙古盛鲁电厂采用DTRO浓缩技术。脱硫废水首先经过预处理后去除悬浮物,通过中和沉降软化处理后去除重金属、硬度及部分COD,然后经过管式微滤膜过滤去除悬浮物后,进入纳滤膜分盐系统,本方案不考虑采用钠型树脂软化床,通过控制进水的硫酸根、钙离子等结垢离子、调整pH,以及加药阻垢的方式,保证不结垢。一二价盐分离,分离后产水采用抗污染海水反渗透膜系统进行预浓缩,浓水进入高压碟管式反渗透系统进行深度浓缩,海水反渗透产水及DTRO产水进入二级反渗透系统进行再处理,处理后的水需满足工业水回用要求。盛鲁电厂零排放DTRO系统最高运行压力需要达到160bar(1600kPa),采用二级DTRO结构,在进水较高浓度时,以获得较高的浓缩倍率。

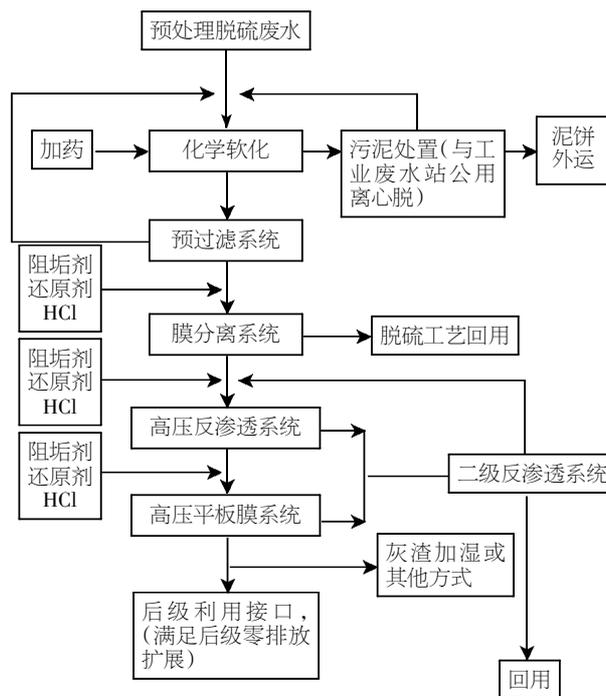


图2 盛鲁电厂零排放工艺流程

### 5 烟道喷射雾化蒸发技术

烟道喷射雾化蒸发技术是将脱硫废水雾化后喷入烟道,利用锅炉烟气的余热使之瞬间蒸发。废水所含盐分结晶后附着在粉煤灰上随灰一起外排,废水蒸发产生的蒸气进入脱硫吸收塔冷凝后回用,从而实现脱硫废水的零排放。这一技术的最大特点是系统简单、造价和能耗均较低,效益十分明显。烟道喷雾结晶工艺是利用锅炉尾气的热量将废水直接蒸干,蒸发生成的固体颗粒物由除尘器捕集并随烟灰排放,

无额外废弃物产生,且随喷雾进入烟气的水份提高了烟气的含水率,可减少后继湿法脱硫系统的烟气蒸发水量,减小脱硫系统水耗。

在中国,脱硫废水烟道喷雾蒸发结晶技术的研发应用还处于起步阶段,中国目前有不少设备厂家和电厂正在开始研究该项技术的应用。基本研究思路是:首先,根据实际工程,进行烟道蒸发结晶系统废水雾滴运动学分析,确定脱硫废水零排放系统设计需要落实的全部外部条件接口及参数,具体如接口烟道需要提供的相关参数,如某位置的烟温、烟气量等。其次,研究脱硫废水量、水质等参数对烟道腐蚀及结垢的影响、对烟气余热利用及能耗的影响。最后,根据热平衡计算该工艺的经济性,从而确定烟道蒸发零排放系统可以消耗的最佳废水量等等。

目前,投入实际运行的电厂中,上都电厂4号机采用脱硫废水烟道蒸发系统,在试运行期间达到了预期的蒸发效果,后期因为结垢问题,停止运行;焦作万方铝业热电厂采用脱硫废水烟气余热蒸发零排放技术工艺,于2015年9月完成调试,常熟发电有限公司4#机组(300MW)废水烟气蒸发示范应用标明蒸发处理效果良好。随着废水零排放的要求日益严格,烟道喷雾蒸发结晶技术已成为一个重要的研究方向。

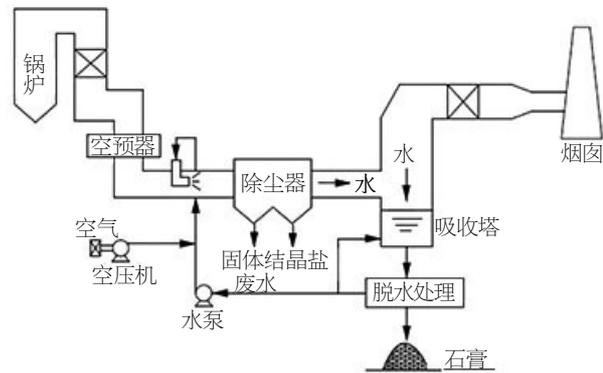


图3 烟道喷射雾化蒸发技术流程

## 6 综述

目前,中国电厂脱硫废水零排放系统工艺各有不同,除预处理单元外,结合上述几种工艺类型,零排放系统大致方案如下:①浓缩单元:超滤单元、反渗透单元、正渗透单元、电渗析单元、MVC 浓缩单元等;②蒸发结晶单元:多效蒸发结晶、MVC 蒸发结晶等。当然,脱硫废水零排放工艺的选取需要结合各项目废水的水质、水量、业主对固体物质的处理方式、现场的气象条件、资金状况等综合决定。相信随着科技的发展与技术的成熟,电厂定会实现真正意义上的“零排放”,实现真正的“节水减排”和可持续发展!