

燃煤电厂脱硫废水零排放工艺路线研究解析

梁大新

(天津国能津能热电有限公司)

摘 要：燃煤电厂脱硫废水是一种间接排放的废水，水质波动大，具有较强的腐蚀性和高盐含量，如何处理脱硫废水成为相关人员需要思考的问题。本文在阐述脱硫废水水质基本特点的基础上，就脱硫废水零排放处理工艺和回收利用问题进行探讨。

关键词：燃煤电厂；脱硫废水；零排放；处理工艺

0 引言

在我国社会发展中，煤炭资源是十分重要的资源，占据火电发电量的七成以上。火电厂煤炭化石燃料在燃烧的时候会诱发比较严重的环境问题。这些环境问题发生会干扰大气的处理。如果废气没有得到及时处理，就会诱发一系列的环境问题。结合大气成分比重，国家制定出了规范化的大气污染排放标准。为了能够挖掘出具有应用前景的脱硫废水零排放技术，本文根据脱硫废水的水质特点、回收途径、工艺技术的特点就几种常见的工艺应用问题予以深入的探讨。

1 脱硫废水水质特征

在烟气脱硫操作过程中会产生杂质比较复杂的废水，而在水污染综合治理过程中，各个技术的使用和工艺的选择都会影响到水体的质量。本文就已经投入运行的电厂进行深入探讨，根据脱硫废水水质的基本情况进行总结，具体如下表所示，结合工程经验和表格中的信息，发现脱硫废水具有水质波动大、重金属超标、盐分及悬浮物含量高的特点。

表 脱硫废水的水质特征表

水质指标	单位	结果	水质指标	单位	结果
K ⁺	mg/L	73.6 ~ 199.9	NO ₃ ⁻	mg/L	0 ~ 38.2
Na ⁺	mg/L	29.6 ~ 658	全硅	mg/L	12.6 ~ 494.41
Ca ⁺	mg/L	476.2 ~ 5206	活性硅	mg/L	4.6 ~ 454.41
Mg ⁺	mg/L	204.7 ~ 9037.7	酸碱值	mg/L	2.9 ~ 6.9
Sr ²	mg/L	0.909 ~ 14.13	氨氮	mg/L	0.3 ~ 45.2
HCO ₃ ⁻	mg/L	1142 ~ 25380	溶固	mg/L	26.7 ~ 708
CO ₃ ⁻	mg/L	0	悬浮物	mg/L	15.4 ~ 315

2 脱硫废水回用途径

第一，冲灰系统。脱硫的废水在不经处理的情况下就可以作为一种冲灰用水来使用。在废水处理工艺深入发展和人们对水资源高效利用重视的背景下，干除灰工艺技术得到广泛的应用。在这个过程中有一部分废水无法重新回到冲灰系统中。第二，干灰调湿。在废水的热度数值满足接收单位对废水重复利用标准的情况下，可以将干灰调湿和房屋建筑物的砌墙、烧结砖的加工使用密切结合在一起。在使用脱硫废水的时候会将一部分的干灰调湿作为消纳脱硫废水的备选途径，但是在此期间会损失一部分的干灰销售效益。第三，湿除渣系统。在废水处理的过程中添加或产生的化合物，一些专业人员会考虑脱硫废水对捞渣机所带来的腐蚀性影响。通过对电厂运行实际情况调查研究之后发现，捞渣机在使用的时候不会出现明显的腐蚀，但是这样检测工作的内容以及结果还需要做出更进一步的检验。第四，煤场喷洒。煤场喷洒用水具有不稳定的特点，在喷洒的时候还会引起物质的密集，为此煤场喷洒不能够作为消耗脱硫废水的一个有效办法。

3 脱硫废水零排放处理工艺概况

(1) 浓缩减量技术

浓缩减量技术是应用先进的技术形式来对需要处理的废水实施浓缩处理，通过浓缩处理能够减少脱硫废水的数量，在废水处理和使用的过程中保证仅仅有一小部分的浓缩水进入到结晶系统中，通过对废水的处理和加工利用会促进浓缩水在水系统中的结晶。浓缩期间所牵扯到的反应有反渗透、正渗透、纳滤和蒸馏。这些反应的基本流程包含脱硫废水、预处理、浓缩、结晶器等，经过脱硫处理的废水会以固体盐的形



式结晶。第一，预处理过程。在对废水过滤处理的时候，为了确保后续浓缩系统的稳定运行，在实施预处理的时候会使用两极全软化工艺，通过在废水中加入一定比例的药剂能够实现对水体污染物的有效处理，经过一系列处理后的水体的硬度会达到 0 的状态。通过在其中加入石灰、碳酸钠、混凝剂、助凝剂等来有效去除水体中的悬浮物、重金属、钙镁，最终确保处理后的水硬度为 0。整个软化操作所产生的出水钙和镁含量越低，在后来的蒸馏系统中可能出现的结垢可能性就会越大。这种处理方式需要一些辅助药剂的使用，无形中会消耗比较多的成本，在推广这样处理方式的时候需要相关人员能够做到具体问题具体分析，因地制宜的综合配比和使用药剂，由此在最大限度上发挥出药剂的重要作用。第二，浓缩处理和结晶工艺。浓缩处理的目的是通过分离工艺来将废水分离转变为浓水或者淡水。在淡水盐度逐渐降低之后，水的质量会达到一个理想的状态。浓缩处理工艺包含有很多种，其中，蒸馏和反渗透是常见的方法，在两种方法的作用下能够顺利完成装置内部水分的交换和处理，经过一系列的加工处理之后会让蒸发的水分在冷凝后被二次回收再利用，最终通过提升废水的盐分含量来达到浓缩的目的。反渗透法的使用离不开半透膜原理的支持，将废水中的水分子经过半透膜来实施处理。在处理这些废水的时候会出现比较多的杂质。其间为了能够提升废水处理的有效性、科学性，需要采取积极的措施将废水离子保留在浓水侧，合理浓缩和净化水气。

(2) 烟道蒸发技术

第一，烟气直接蒸发过程。烟气的直接蒸发是当前烟气处理的常见技术形式，从具体实施和操作流程看，烟气直接蒸发的具体流程如下图所示。在具体实施操作的时候，经过脱硫处理的废水和一部分的浓缩液体会进入到烟道蒸发系统，这个时候借助烟道喷嘴会对气体实施雾化处理。在实施雾化处理的时候，烟道内部多余的烟气会经过层层雾化处理改变状态，形成水蒸气。有一部分的水蒸气会进入到脱硫塔的浆液循环系统中，和脱硫塔中的灰尘共同进入到电除尘器中，经过一系列的处理排放到室外。从以上操作流程总结发现，这样的废水处理方式具有操作方便、简单的特点，且期间所使用的设备较少，能够为废水高效率处理提供必要的支持。该系统在运作的时候也有着自身的缺点，突出表现为：①为了能够防范烟道以及关联设备的腐蚀性影响，需要严格控制锅炉烟气排烟温度，系统不能够设置低温省煤器。②为了确保废水的完全汽化，需要严格按照规范的标准来设定烟道直管段的长度，从而在超洁净排放配置的作用下使得直管段的长度满足规范的要求。③直接蒸发的水量

是十分有限的。基于以上技术特点分析，烟道直接蒸发技术会被人们广泛应用在旧机组改造中，很少会被人们应用到超洁净排放要求的机组中。第二，旁路烟气余热蒸发结晶技术。旁路烟气余热蒸发结晶技术的操作流程体现在废水脱硫处理、旁路蒸发结晶处理、旁路烟气余热处理等。在处理气体的时候会使用到双流方向的雾化处理设施，被蒸发的结晶体会从预约器械的一端进入到另外一端，在温度环境中烟气会进一步得到处理，伴随产生了水蒸气、结晶盐，这些物质会随着烟气一同进入到空预器和低温省煤器之间的烟道中。旁路烟气余热蒸发结晶技术工艺的应用特点具体表现如下：①借助这个工艺技术形式能够实现脱硫废水的完全蒸发结晶，也就是说电厂在低温、低负荷的环境下，整个系统能够实现废水的低碳、环保、稳定排放。②蒸发结晶器是一个独立的运行机制，即使是锅炉处于运行的状态，结晶器也能够单独进行维护和检修，其间废水在结晶器的内部能够达到完全结晶的状态。③水蒸气会随着烟气一起进入到脱硫系统中。在脱硫系统喷淋作用下，水蒸气会被二次处理。这个流程的一系列操作都不需要提前进行预处理，操作流程简单，所需要使用的辅助化学药剂数量比较少，和其他工艺相比，显示出了良好的经济效益和社会效益，可以在大范围内广泛推广。

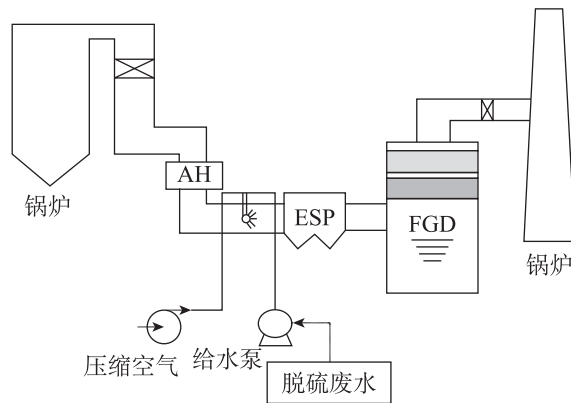


图 烟气直接蒸发流程

4 脱硫废水零排放处理工艺技术经济比较

将三种废水排放技术进行比较分析发现，旁路烟气余热蒸发浓缩技术和反渗透浓缩结晶以及旁路烟气余热蒸发结晶废水处理工艺相比，这类技术在使用的时候不需要提前进行预处理，投资消耗和运营维护较少，其间所产生的污泥含量较少，综合效益好，是应用前景最为广阔的脱硫废水零排放技术。旁路烟气余热蒸发浓缩技术处置浓缩塔的材质是玻璃钢+耐高温涂层，烟管的材质是碳钢。在使用旁路烟气余热蒸发浓缩技术的时候不需要提前进行预处理，加工操作设

(下转第 141 页)



助桩，以基础外围为基点，保留好中心桩原始记录，以便基础浇筑施工结束后，能够迅速将中心桩恢复。基坑开挖施工过程中，严格按照土层地质条件，精准计算施工所需的放坡系数，综合地理环境勘察资料应用挖掘机完成机械开挖处理。面对开挖施工中地下水位高的情况，制定合理的降水方案，此次施工项目主要选择井点排水方法。此外还需注意，项目所有基础浇筑都必须以无水施工技术完成。基坑开挖必须同步完成浇筑处理，对于特殊性地质，如湿陷性黄土与泥水坑，地基处理比较复杂，需增设垫层环节，要求钢筋绑扎、模板支设等必须符合施工规定。混凝土模板浇筑，接缝严密基础上，表面必须平整，并且保证脱模剂涂抹均匀到位。全面清理钢筋、地脚螺栓等材料，地脚螺栓的间距必须多次复核，基础根开、立柱标高等严格按照施工设计标准完成。机械搅拌是混凝土浇筑的主要方法，机械振捣速度严格按照“快插慢拔”原则进行。

3.4 多联导线耐张绝缘子串安装

金具、绝缘子安装前应检查，不合格严禁使用，并进行试组装。对绝缘子串应逐个进行检查，绝缘子表面要擦洗干净，避免损伤。按设计要求加装异色绝缘子。金具串连接要注意检查碗口球头与弹簧销子是否匹配。绝缘子、碗头挂板开口及金具螺栓、销钉穿向应符合要求。金具上所用开口销和闭口销的直径必须与孔径相配合，且弹力适度，开口销和闭口销不应

有折断和裂纹等现象，当采用开口销时应对称开口，开口角度应为 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ，不得用线材和其他材料代替开口销和闭口销。锁紧销的装配应使用专用工具，以免损坏金属附件的镀锌层。调整好各绝缘子串的补偿距离。瓷绝缘子重点做好运输、组装、起吊过程的防护。多串耐张串同时起吊时，应做好平衡措施，保证绝缘子及金具在安装过程受力均衡。

4 结束语

综上所述，通过对 35kV 输电线路设计可以发现，输电线路对电力系统的重要性及本身复杂性，输电线路设计必须做到全面、科学、细致，在此基础上，还要着重分析输电线路施工技术，尤其是关键技术的施工处理，保证所有施工方案有序完成，在此基础上，达到提高 35kV 输电线路施工质量的目的。

参考文献

- [1] 张全超. 分析 35kV 输电线路设计与施工方案 [J]. 科技创新导报, 2019, 16 (28): 20-22.
- [2] 祝坤. 35kV 新建变电站和输电线路工程施工组织设计方案 [J]. 低碳世界, 2017 (3): 46-47.
- [3] 郭海涛. 浅谈 35kV 输电线路的设计及施工方案 [J]. 中国新技术新产品, 2015 (16): 54.

(收稿日期: 2022-09-19)

(上接第 132 页)

备的占地面积较小，建设成本低廉。烟气管道、浓缩塔可以在现场进行安装，不需要额外使用预处理设备。

5 结束语

综上所述，脱硫废水浓缩减量技术对比结果表明，蒸馏法、正渗透、反渗透法技术都可以用来处理废水，每个污水处理技术在使用的时候都显示出了自身的优势作用。在综合比较多个渗透方式方法的基础上进一步了解到反渗透技术方法的优势作用，这种作用突出体现在技术层面、成本消耗层面、设备安装层面。将反渗透技术和一些添加剂技术结合在一起使用会进一步提升污水处理成效，最终使得污水处理技术迎来广泛的应用场景和空间。综合分析当前的脱硫废水零排放处理工艺，总结出反渗透浓缩结晶技术、旁路烟气余热蒸发结晶技术、旁路烟气余热蒸发浓缩技术是当前应用前景十分广阔的工艺技术，在对这三种技术的经济性能对比分析发现，旁路烟气余热蒸发浓缩技术在使用的时候不需要提前进行预处理、投资以及年运行成本较少、设备占地较小、运行维护工作量较少、设备应用所产生的污泥含量较少、综合效益良好，

是当前社会范围内应用前景最为广阔的脱硫废水零排放技术形式，值得在社会范围内广泛推广。

参考文献

- [1] 叶紫青, 郭士义, 姜正雄, 等. 燃煤电厂脱硫废水零排放工艺系统性能研究 [J]. 水处理技术, 2022, 48 (5): 4.
- [2] 李飞. 燃煤电厂脱硫废水零排放技术应用与研究进展 [J]. 水处理技术, 2020, 46 (12): 8.
- [3] 黄晓亮, 蔡斌, 刘威, 等. 燃煤电厂脱硫废水零排放现场中试研究 [J]. 工业水处理, 2020, 40 (6): 4.
- [4] 华玉龙, 孙红丽, 吴士定, 等. 浅谈燃煤电厂脱硫废水零排放工艺 [J]. 广州化工, 2020, 48 (19): 3.
- [5] 李城孝. 关于燃煤火力发电厂脱硫废水零排放处理工艺的探讨 [J]. 中国设备工程, 2022 (12): 3.
- [6] 申健. 关于燃煤电厂脱硫废水零排放处理技术的探讨 [J]. 科学大众: 科技创新, 2020 (2): 1.
- [7] 焦灵燕, 吉威宁. 小型火电厂热机系统相关电气设计的节能措施探析 [J]. 电气技术与经济, 2021 (5): 3.
- [8] 王宝英. 110kV 变电站电气设计及其防雷保护 [J]. 电气技术与经济, 2021 (1): 2.

(收稿日期: 2022-08-30)

