

燃煤发电厂脱硫废水零排放处理技术探究

于凤娇 徐俊 杜喜玉

青岛达能环保设备股份有限公司 山东青岛 266300

摘要: 在全球环境保护意识不断提高的背景下,燃煤发电厂环保处理问题已经成为了人们关注的重点。尤其在燃煤发电厂脱硫废水中,其中所含重金属,硫酸盐及其他有害物质给环境及人体健康带来了严重威胁。所以实现脱硫废水零排放对促进燃煤发电行业绿色发展、可持续发展有着重大意义。近年来脱硫废水零排放处理技术被广泛地研究与应用,目的在于彻底清除污水中有害物质,满足污水零排放要求,以保护环境并高效地利用资源。文章将对燃煤发电厂脱硫污水零排放治理技术进行深入探讨,希望能够对相关方面的实践与研究起到有益的借鉴与参考作用。

关键词: 燃煤发电厂; 脱硫废水; 排放处理技术

引言

社会在不断进步,人们对于环境品质追求越来越高,城市空气质量也成了大众所关注的重点。尤其是火力发电厂释放的二氧化硫,这对人们的健康带来了巨大的风险。为迎接这一挑战各种烟气脱硫技术相继出现。其中石灰石-石膏湿法脱硫工艺由于具有高效率,低成本,设备运行平稳可靠等特点,且适应煤种广,它很快成为市场的主流之选,占国内火电发电厂脱硫机组总量的近9成。然而,这一流程在操作过程中却面临着这样或那样的问题。飞灰中颗粒物、重金属、氯离子和其他污染物将逐步累积于脱硫浆液。这样的累积不仅会造成浆液中中毒,而且会对设备造成腐蚀甚至使脱硫效率下降。所以,为了保证脱硫系统能够平稳运行,就需要对这些高浓度脱硫废水进行定期排放和治理。其目的是为了保持整个脱硫系统性能良好,使用寿命较长,但又要负责任地保护环境。

一、燃煤发电厂脱硫废水的特性

1. 脱硫废水的来源和成分

燃煤发电厂在烟气脱硫过程中产生的废水被称为脱硫废水,这类废水主要来自湿法烟气脱硫系统(FGD)。在脱硫塔内,通过使用石灰石浆液或其他碱性物质来吸收烟气中的二氧化硫,从而生成硫酸盐,以及未经反应吸收剂和飞灰及其他杂质掺混生成废水。脱硫废水主要组成是高浓度悬浮物,重金属元素,硫酸盐和一些溶解固体等。在这其中,硫酸盐作为主要的化学成分,其浓度通常会在2000至20000 mg/L的范围内波动;悬浮物的

浓度一般在1000到5000 mg/L之间,主要成分包括石膏、石灰石微粒和碳粒等。汞、砷、铅、镉等重金属含量虽不高,却由于高毒性而潜在危害巨大。另外,脱硫废水中可能会含有一定数量的有机物及氯离子,氯离子浓度可达数百至数千个 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。这些组分的出现严重加剧了脱硫废水治理的复杂性和挑战。

2. 各主要污染物

脱硫废水主要污染物为重金属,悬浮物和盐分,给环境及生态系统带来多重威胁。汞、砷、铅、镉等重金属毒性较强,可通过生物富集作用带入食物链中,使毒性物质在生物体中累积。汞或其化合物不但伤害人的神经系统而且还会伤害生殖及免疫系统,而砷则会对肝、肾、皮肤及消化系统造成致命的伤害,而铅及镉则会造成高浓度时神经及肾脏的伤害。悬浮物含大量石膏微粒,碳粉和未经反应石灰石浆液等,这些物质可造成水生生物呼吸系统物理堵塞,降低光合作用效率,从而打破水生生态平衡。高浓度盐分尤其是硫酸盐、氯离子可诱发土壤盐碱化、抑制植物生长、而使淡水生物失水。另外,盐分还会使水体物理和化学性质发生变化,腐蚀性增强,水生生态系统稳定性受到破坏。从整体上看,这些脱硫废水污染物对自然环境以及人类健康都将产生严重直接以及间接的影响,所以必须要进行严格的管理以及有效的治理。

二、脱硫废水零排放的技术现状

1. 现有的脱硫废水处理方法及其应用情况

已有脱硫废水处理方法有化学沉淀,膜分离,蒸发结晶及生物处理,它们一般结合起来才能发挥最佳作用。

化学沉淀技术是通过使用碱性化学试剂，例如石灰或氢氧化钠，将重金属和其他有害物质转化为不易溶解的化合物，特别适用于去除高浓度的重金属。通常，化学反应的方程式是 $M^{2+} + Ca(OH)_2 \rightarrow M(OH)_2 + Ca^{2+}$ ，其中M是金属离子的代表。该技术通过调节pH值来创造最佳的沉淀环境，在处理重金属浓度较高的脱硫废水时得到了广泛应用，但这可能导致大量的含水污泥生成。

膜分离技术主要包括超滤（UF）和反渗透（RO）两种方法，这两种技术通过半透膜技术将悬浮的粒子、溶解的固体和有机物质有效地分离出来。反渗透可以去除废水中高达99%的溶解固体成分，将TDS（总溶解固体）降低至500 mg/L以下，但其处理成本较高，且需要解决膜污染问题。常用的分离效率公式是

$$\eta = (1 - C_p / C_r) * 100\%$$

其中 η 代表去除效率，而 C_p 和 C_r 分别代表渗透侧和进料侧的污染物浓度。

蒸发结晶方法是将废水经加热后蒸发掉，把溶解性固体变成可循环使用的结晶。此法在处理高盐分及高TDS废水时效果特别好，通过相图来控制结晶过程并沉淀硫酸钙和氯化钠结晶物。尽管这种方法可以使废水零排放，但是高能耗、设备成本等问题制约着它的广泛使用。

生物处理技术依赖于微生物降解有机物，从而减少废水中的COD、氮、磷等有害物质的浓度。硫酸盐还原菌和其他厌氧微生物有能力将硫酸盐转变为硫化氢气体，从而降低硫酸盐的浓度。然而，这些微生物在生物处理方面的效率相对较低，通常作为其他物理或化学处理手段的有效补充。

每一种处理方法均有其特有的适用范围及局限性，在实际处理时一般是以废水COD，TDS，重金属含量为指标来组合设计，利用各种工艺协同处理达到最优处理效果。

2. 目前技术在效率、成本和可持续性方面的优缺点

现有脱硫废水处理技术无论从效率，成本还是可持续性来看，都存在优势与不足。化学沉淀法去除重金属具有高效的特点，可显著减少废水中汞，镉，铅等离子含量，但是因其产生的污泥量大，处理处置费用昂贵，存在二次污染的风险。反渗透，超滤等膜分离技术对悬浮物，溶解性固体以及微量污染物的去除有着高效性，特别是对降低TDS的效果更为凸显，但是其早期的设备投资以及后期的维护费用都比较昂贵，同时膜污染以及能耗等问题给可持续性带来了挑战。蒸发结晶法能使废

水富集成固体结晶而真正达到零排放、资源回收的目的，但是因加热过程耗能大、经济可行性受限而适合高盐度的废水处理。生物处理技术是靠微生物来降解有机物的技术，它对于降低COD及某些重金属的浓度有很好的效果，但是它的反应速度慢，效率受到温度，pH值等因素的影响，为了满足脱硫废水复杂处理的需求，必须将其与其他的物理或化学处理手段相融合。

总体上看，已有技术在效率，成本及可持续性上表现出多样性，需根据不同废水特性加以组合优化设计。该综合技术策略采用化学沉淀预处理，膜分离有效脱除悬浮物，蒸发结晶达到零排放和生物降解补充等技术措施，可在兼顾效率，成本和可持续性等方面达到最优处理效果。

三、脱硫废水零排放处理技术的应用

1. 物理吸附法

物理吸附法在废水处理中应用非常广泛，它的基本原理就是用多孔性固体吸附剂表面对污水中污染物进行吸附。该吸附作用在很大程度上取决于吸附剂表面张力及范德华力的大小，可以有效脱除废水中有害物质。处理脱硫废水时，活性炭由于比表面积高、微孔结构丰富而常常作为吸附剂使用。活性炭在吸附废水重金属离子的同时，也可以除去一些有机物及悬浮物，使废水水质明显改善。除活性炭之外，沸石、硅胶等其他吸附材料在处理脱硫废水时也起到了不可或缺的角色。这类吸附剂由于具有特殊的结构与性能，可以对废水进行高效净化并降低污染物浓度。但物理吸附法具有吸附剂饱和问题，再生难度大，处理成本高等局限性。所以选择采用物理吸附法需考虑废水水质，处理效果和经济成本等诸多因素。尽管如此，物理吸附法在处理特定类型的污染物时仍具有显著优势，特别是在去除重金属和难降解有机物方面表现出色。因此，在实际操作中，物理吸附技术经常被视为废水处理过程的核心部分，并与其他技术相融合，以实现最优的处理成果。

2. 化学氧化法

化学氧化法是一种利用化学反应将废水中的有机或其他污染物氧化分解为无害或低毒物质的处理方法。原理是通过强氧化剂和污染物进行氧化还原反应来破坏污染物结构以实现污染物去除。处理脱硫废水时经常使用的化学氧化剂主要有臭氧，高锰酸钾和次氯酸钠。这类氧化剂氧化性很强，能很快地与废水中有机物、无机物反应并转化成无害物质。

以臭氧为例,其用于水处理时可快速分解有机物并产生易生物降解中间产物,从而改善废水可生化性。高锰酸钾是一种常用的化学物质,用于清除废水中的铁、锰等有害物质,其相应的反应方程可以描述为: $MnO_4^- + Fe^{2+} \rightarrow Mn^{2+} + Fe^{3+} + H_2O$,通过该反应高锰酸钾使污水中二价铁氧化成三价铁而本身还原成锰离子。次氯酸钠还是常用氧化剂,能有效地杀死废水中细菌、病毒等,还能使某些有机物氧化。

化学氧化法对脱硫废水处理效果显著,可迅速降低污水中污染物浓度并改善水质。但该法的稳定性受很多因素影响,例如废水水质,温度,pH值。另外,化学氧化法所需费用也是一个必须考虑的问题。氧化剂价格,贮存及运输成本以及加工过程中副产物的处理成本将提高总体处理成本。所以,实际工作中需对各方面因素进行全面考虑,并选择合适的氧化剂及工艺条件才能实现经济有效的处理。

整体来看,化学氧化法对脱硫废水的治理效果较好,但是还需结合具体情况不断优化调整才能达到最佳治理效果及经济效益。

3.生物法

生物法治理污水的基本原理就是通过微生物新陈代谢作用使污水中有机物分解成单纯无机物或者转化成微生物本身细胞物质来净化污水。处理脱硫废水时,微生物经过降解作用后,可有效去除污水中硫化物和硫酸盐,达到净化污水目的。

生物处理脱硫废水时,具体微生物菌种至关重要。这类微生物能以废水中硫化物为电子供体进行氧化,还原和其他一系列生化反应使有害物质变成无害或者毒性较小的物质。例如,硫酸盐还原菌有能力将硫酸盐转化为硫化氢,并在其他微生物的影响下进一步将其转化为单一硫或其他无害成分。微生物在这一进程中起着关键作用。

在评估生物法能耗,费用和环境影响时需考虑很多因素。在能耗方面,由于生物法主要依靠微生物自然生长代谢过程且不需要增加能源消耗,所以比其它处理方

法能耗更少。从费用上看,生物法前期投入可能较大,需构建生物反应器和培养微生物,但是由于加工过程中微生物不断滋生而不需连续投加化学药剂,所以长期运行费用比较低廉。另外,生物法几乎不受环境影响,所处理污水中有害物质在微生物作用下分解成无害物质而不二次污染环境。

总之,生物法对脱硫废水处理有显著优点。利用生物法微生物降解作用可对废水污染物进行高效去除,达到废水净化资源化利用目的。同时生物法以其低能耗,低成本和环境友好等优点成为今后废水处理领域中最主要的发展方向。

结束语

在全球环境保护意识不断提高的今天,燃煤发电厂废水处理越来越受到人们的重视。脱硫废水零排放技术研究的不断深入与广泛运用,既关系着发电厂环保责任的承担,也是为地球生态环境的保护与贡献。今后,在科学技术不断进步,环保法规越来越严的情况下,相信还会出现更多的创新高效废水处理技术,一起帮助燃煤发电厂真正做到废水零排放,守护好地球上共有的家园。

参考文献

- [1]王敏琪.火电厂湿式烟气脱硫废水特性及处理系统研究[D].浙江工业大学,2013.
- [2]刘艇安,许勇毅,郭磊,等.火电厂湿法脱硫废水零排技术研究进展[J].应用化工,2021,50(08):2313-2316.
- [3]孙振宇,沈明忠.燃煤电厂脱硫废水零排放工程案例研究[J].工业水处理,2018,38(10):102-105.
- [4]杨跃伞,苑志华,张净瑞,等.燃煤电厂脱硫废水零排技术研究进展[J].水处理技术,2017,43(06):29-33.
- [5]徐志清,赵焰,陆梦楠,等.基于膜法的火电厂废水零排放技术研究及应用[J].中国电机工程学报,2019,39(S1):148-154.