

火力发电厂的废水处理技术及节水技术探究

赵铭英

云南华电昆明发电有限公司 云南 昆明 650000

摘要: 火力发电厂废水来源多样,包括燃料燃烧、水处理、脱硫等系统。本文阐述了各类废水处理技术,如冲灰废水沉淀、脱硫废水深度处理等,还介绍了冷却系统、生产废水回用等节水技术。探讨了废水处理与节水技术的协同应用,包括技术集成优化及其经济性与环境效益,为火力发电厂实现水资源高效利用与绿色发展提供参考。

关键词: 火力发电厂;废水处理技术;节水技术;协同应用

引言:火力发电作为重要的能源供应方式,在生产过程中消耗大量水资源并产生大量废水。随着水资源日益紧张和环保要求提高,火力发电厂废水处理与节水成为关键问题。合理处理废水、提高水资源利用效率,不仅能降低生产成本,还能减少对环境的影响。深入研究相关技术,对火力发电厂实现可持续发展、保障能源供应稳定具有重要意义。

1 火力发电厂废水来源与分类

1.1 废水来源

燃料燃烧过程产生的废水,源于煤炭等燃料燃烧后灰渣的冲洗与输送环节,燃烧产物与水接触过程中形成含污染物的水体。一般每处理1000吨煤炭,会产生约50-80吨含污染物的水体。水处理系统产生的废水来自锅炉补给水处理、凝结水精处理等工艺,包括过滤反洗水、树脂再生排水等,这类废水产生与水处理工艺的再生和清洗操作直接相关。以一个装机容量为600MW的火力发电厂为例,其水处理系统每天产生的废水约为200-300吨。脱硫系统产生的废水是烟气脱硫过程的伴生水体,脱硫剂与烟气中硫化物反应后,经水洗涤和固液分离形成,含有较高浓度的悬浮物和盐分^[1]。一个中等规模的火力发电厂,脱硫系统每天产生的废水量约为100-150吨。冷却系统产生的废水主要来自循环冷却水系统的排污水,由于冷却水在循环过程中不断蒸发浓缩,水质指标超出运行要求时需排出部分水体以维持系统稳定。在夏季高温时段,一个大型火力发电厂循环冷却水系统每天的排污水可达500-800吨。其他辅助系统产生的废水涵盖输煤系统冲洗水、粉煤灰储存设施淋溶水等,这类废水产生与电厂辅助生产环节的物料输送和储存过程密切相关。输煤系统冲洗水每天的产生量约为50-100吨,粉煤灰储存设施淋溶水每天约为30-60吨。

1.2 废水分类

冲灰废水来自锅炉燃烧后灰渣的水力输送和冲洗过

程,含有大量悬浮物和灰渣颗粒,水质受燃料种类和冲灰工艺影响较大。冲灰废水中悬浮物含量通常在1000-3000mg/L。脱硫废水属于烟气脱硫工艺的特征废水,水质复杂且污染物浓度较高,含有重金属和硫酸盐等成分。脱硫废水中硫酸盐含量一般在5000-10000mg/L,重金属如汞含量约为0.01-0.05mg/L。含油废水主要来自电厂设备检修维护过程中的润滑油泄漏、燃油系统清洗等作业,油分以浮油、分散油等形式存在于水体中。含油废水中油含量通常在50-200mg/L。化学废水包括酸碱废水,产生于水处理系统的树脂再生、锅炉化学清洗以及水质调节等工艺,水质呈现酸性或碱性特征,且含有一定量的化学药剂残留。化学废水中酸碱度波动较大,pH值可能在2-12之间,化学药剂残留量约为100-500mg/L。生活污水来自电厂工作人员的日常生活活动,水质成分相对稳定,含有有机物和氮磷等营养物质。生活污水中COD含量一般在200-400mg/L,氮含量约为20-50mg/L,磷含量约为5-10mg/L。循环冷却水排污水是循环冷却水系统运行过程中的常规排水,因水体循环浓缩导致盐分、硬度等指标升高,排出后需经过处理方可达标排放或回用。循环冷却水排污水中盐分含量一般在1000-2000mg/L,硬度约为300-600mg/L。

2 火力发电厂废水处理技术

2.1 冲灰废水处理技术

冲灰废水因含有大量悬浮物,处理时沉淀处理是基础环节。自然沉淀是让废水在沉淀池中静置,依靠重力作用使悬浮物逐渐沉降,这种方式操作简单、成本较低,但沉淀速度慢、处理效率不高。机械加速沉淀则借助机械设备,如搅拌装置增强水流稳定性,加速悬浮物沉降,能显著提高沉淀效率,缩短处理时间。浓缩处理可进一步减少废水体积,重力浓缩利用重力使悬浮物在浓缩池底部沉积,实现固液分离,适用于处理量较大的情况。机械浓缩通过机械挤压等方式,强化浓缩效果,

提升处理能力。混凝沉淀是向废水中投加混凝剂，混凝剂水解后产生的正电荷能中和悬浮物表面负电荷，促使悬浮物凝聚成较大颗粒，加快沉降速度。过滤处理作为后续环节，砂滤利用砂层截留悬浮物，活性炭过滤则凭借活性炭的吸附作用，去除水中微小颗粒和部分溶解性污染物，提升水质。

2.2 脱硫废水处理技术

脱硫废水成分复杂，pH调节是首要步骤，通过添加酸或碱中和废水中的酸碱物质，使pH值达到适宜后续处理的范围。沉淀处理针对废水中的重金属离子，加入沉淀剂使重金属生成难溶沉淀物而分离。软化处理采用石灰-碳酸钠软化法，石灰与废水中的镁离子反应生成氢氧化镁沉淀，碳酸钠与钙离子反应生成碳酸钙沉淀，有效去除钙镁离子，降低水的硬度。深度处理是实现废水达标排放或回用的关键，反渗透利用半透膜原理，在压力作用下使水分子通过膜，而盐分等杂质被截留，实现固液分离。蒸发结晶则通过加热使废水蒸发，盐分结晶析出，得到纯净水和固体盐，实现资源回收。

2.3 含油废水处理技术

隔油处理利用油水密度差，使油滴自然上浮至水面，通过收集装置将油分离，这种方法适用于含油量较高且油滴较大的废水。隔油处理可使含油量降低至50-100mg/L。气浮处理向废水中投加气泡，气泡与油滴附着，使油滴随气泡上浮至水面，实现油水分离，处理效率较高。气浮处理可使含油量进一步降低至10-20mg/L。药剂浮选通过投加浮选药剂，改变油粒表面的亲水性，增强油粒与气泡的附着能力，提高除油效果。药剂浮选可使含油量降低至5-10mg/L。生物处理利用微生物的代谢作用，将油类物质分解为二氧化碳和水等无害物质，具有处理效果好、无二次污染等优点。生物处理可使含油量降低至1-5mg/L。

2.4 化学废水处理技术

化学废水中酸碱成分波动大，中和处理可通过酸碱废水自行中和，若酸碱不平衡则投加中和药剂调节pH值。中和处理后，化学废水pH值可稳定在6-9。弱酸型阳树脂处理是让废水交替通过弱酸性阳离子交换树脂，树脂上的氢离子与废水中的阳离子交换，达到调节pH和去除部分离子的目的。弱酸型阳树脂处理可使水中部分阳离子去除率达到50%-70%。混凝沉淀可去除废水中的悬浮物和有机物，投加混凝剂使胶体颗粒脱稳凝聚，形成较大颗粒沉降。混凝沉淀可使悬浮物去除率达到80%-90%，COD去除率达到30%-50%。过滤与吸附作为后续处理，进一步去除水中残留的污染物，提升水质。过滤

与吸附可使水中悬浮物含量降低至10-20mg/L，COD降低至50-100mg/L。

2.5 生活污水处理技术

生活污水处理是火力发电厂废水处理的重要环节，其核心在于生物处理环节。活性污泥法通过向废水中曝气，使活性污泥中的微生物大量繁殖，这些微生物会吸附并分解污水中的有机物，将其转化为二氧化碳和水等无害物质。生物膜法则是利用生物膜附着在填料表面，微生物在生物膜上生长繁殖，污水流经填料时，有机物被生物膜上的微生物降解。经过生物处理后，污水中的有机物含量大幅降低。消毒处理采用紫外线、二氧化氯、臭氧等方式杀灭水中的微生物，防止疾病传播，保障出水水质安全。深度处理根据废水回用需求，进一步去除水中的杂质和有害物质，如采用过滤、吸附等方法，使处理后的水满足不同用水标准，可用于厂区绿化、冲厕等非饮用水用途。

2.6 循环冷却水排污水处理技术

循环冷却水排污水处理对于火力发电厂水资源循环利用至关重要。混凝澄清是首要步骤，向废水中投加混凝剂和助凝剂，使悬浮物和部分总磷凝聚成较大颗粒并沉降，实现初步净化，降低水中悬浮物和总磷含量。过滤处理通过滤料截留水中微小颗粒，进一步提高水质的透明度，去除水中残留的细小悬浮物。脱盐处理采用反渗透等技术，利用半透膜的选择透过性，去除水中的盐分，使处理后的水达到回用或排放标准^[2]。经过这一系列处理后，循环冷却水排污水可实现循环利用，减少新鲜水的取用量，降低发电厂的用水成本，同时减少对环境的污染。

3 火力发电厂节水技术

3.1 冷却系统节水技术

在火力发电厂中，冷却系统用水量占比大，空冷技术是重要的节水手段。该技术以空气作为冷却介质，替代传统的水冷却方式，大幅减少了冷却水的使用量。闭式循环系统通过封闭的循环管路，使冷却水在系统内循环使用，有效避免了冷却水与外界环境的直接接触，从而降低了冷却水的蒸发损失，提高了水资源的利用效率。提升循环水浓缩倍率也是关键措施，通过合理控制循环水中化学物质的浓度，减少因浓缩而产生的排污水量，在保证系统正常运行的前提下，实现水资源的节约。余热回收技术同样不容忽视，利用余热回收装置将冷却水中的余热进行回收利用，不仅降低了冷却水的温度，减少了蒸发损失，还减少了因排放高温冷却水而产生的排污损失，进一步提升了节水效果。

3.2 生产废水回用技术

生产废水回用是火力发电厂节水的重要途径。分质回用根据不同生产环节对水质的要求,将处理后的废水有针对性地回用到相应环节,避免了水资源的浪费。梯级利用则按照水质从高到低的顺序,将废水依次用于不同需求的生产过程,实现了水资源的最大化利用。末端结晶技术通过蒸发结晶等方式,将废水中的水分蒸发,盐分结晶析出,实现废水的零排放,彻底解决了废水排放问题,同时回收的盐分还可进行综合利用。

3.3 辅助系统节水技术

辅助系统的节水也不容忽视。对辅机冷却水系统进行优化,采用高效的冷却设备,提高冷却效率,减少冷却水的用量。除灰系统通过优化冲灰方式,如采用高压水枪定点冲洗等,降低冲灰水的使用量。输煤系统采用干式除灰和输煤技术,避免了传统湿式除灰和输煤过程中大量水资源的消耗,从源头上减少了用水量。

3.4 管理节水技术

科学的管理是节水工作的重要保障。建立完善的水务管理制度,明确各部门在水资源管理中的职责和任务,规范用水行为。制定详细的用水计划和考核指标,将节水目标分解到各个部门和生产环节,加强对用水情况的监督和考核。定期进行水量平衡测试,准确掌握发电厂各环节的用水情况,找出用水漏洞和节水潜力^[3]。通过安装水表等计量设备,对各用水点的用水量进行实时监测和分析,根据测试结果优化用水方案,提高水资源的利用效率。加强节水宣传教育,提高员工的节水意识,使员工在日常工作中自觉养成节约用水的习惯,形成全员参与节水的良好氛围。通过开展节水培训、宣传活动等方式,增强员工对水资源重要性的认识,鼓励员工提出节水建议和措施。

4 废水处理与节水技术的协同应用

4.1 技术集成与优化

废水处理与节水技术的综合应用方案以水质梯级利用为核心,整合预处理、深度处理及回用技术模块,构

建分质供水与循环回用体系。方案需结合电厂各工序水质需求差异,实现处理后废水在不同生产环节的精准匹配,通过工艺串联与参数耦合提升系统适配性。技术集成对提高水资源利用效率的作用体现在多维度,通过减少新鲜水取用量降低水资源消耗,依托处理后废水的循环复用减少末端排水量,借助工艺协同降低水处理过程中的能源与药剂损耗,形成水资源高效循环的闭环模式,契合火力发电厂水资源集约化管理要求。

4.2 经济性与环境效益分析

技术应用的经济成本涵盖前期设备购置与工程建设投入、运行过程中的能源消耗、药剂消耗及设备维护费用,同时需纳入水资源节约带来的取水成本降低、排污费减免等收益项。长期运行视角下,技术集成可通过资源回收与循环利用摊薄单位水处理成本,提升项目整体经济效益。技术应用对环境保护的贡献体现在多个方面,减少新鲜水资源开采缓解区域水资源供需矛盾,降低末端废水排放负荷减少对受纳水体的污染,通过污染物资源化利用降低固体废弃物处置压力,助力电厂实现绿色低碳发展目标。

结束语

火力发电厂废水处理与节水技术的协同应用,是实现水资源高效利用和绿色发展的有效途径。通过合理运用各类废水处理技术,结合有效的节水措施,并进行技术集成优化,可降低经济成本,减少对环境的影响。电厂应持续探索创新,不断提升废水处理与节水水平,推动行业向更加环保、高效的方向发展,为能源与环境协调共进贡献力量。

参考文献

- [1]李海渊.火力发电厂的废水处理技术及节水技术探究[J].节能与环保,2023(9):65-67.
- [2]李美珍,文慧峰.基于系统优化的火力发电厂废水准零排放技术[J].清洗世界,2025,41(9):22-24.
- [3]刁敏师,汪小峰.火力发电厂水系统深度优化技术的实践[J].上海节能,2022(8):954-962.