

火电厂废水分级回收利用探索与实践

汪標

福建华电可门发电有限公司, 福建省福州市, 350012;

摘要: 伴随着社会经济的迅速发展, 电力需求越来越大, 火电厂作为重要的电力供应者, 其废水排放问题也越来越引起人们的重视。火电厂在发电时会排出大量的废水, 如果直接排放会造成严重的环境污染, 也会造成极大的水资源浪费。因此开展火电厂分等级回收利用的探索和实践有重大的现实意义。对火电厂的废水进行分级回收利用, 可以有效地减少废水对环境造成的污染, 并且提高水资源的利用率, 促进火电厂的可持续发展。

关键词: 火电厂; 废水分级; 回收利用; 实践

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.075

引言

火电厂属于传统的能源生产企业, 它的生产过程比较复杂, 涉及到许多用水环节, 产生出来的废水成分也比较复杂。不同的环节产生出的废水, 在水质、水量等各方面都有较大的差别, 给废水分级回收利用留下了空间。对火电厂废水做科学合理的分级, 可以针对不同的等级废水采取相应的处理技术以及回收利用的方式。

1 废水分级回收的原理与方法

废水分级回收的基本原理就是根据火电厂不同种类废水的水质差别以及回用场合对废水水质的要求, 建立分类收集、分级处理、梯级回用的闭环系统, 实现水资源的最大化利用和污染物的精准控制。其主要逻辑就是打破传统的混合收集、统一处理的方式, 对废水进行分类分流, 按照污染物浓度由低到高的顺序进行分级处理, 然后与不同的级别回用要求相匹配, 防止低污染废水因为混入高污染废水而增加处理成本, 同时也保证高污染废水得到有效处理, 达标后才予以利用。废水分级回收方法主要有分类收集系统建立、水质分级评价和梯级回用匹配这三个主要部分。分类收集系统建立为前提, 根据火电厂生产工艺布置情况, 合理设置废水收集管网, 将不同的来源废水分路收集起来, 主要分为低污染废水管网(循环冷却水排污水、凝结水精处理再生废水)、中污染废水管网(锅炉排污水、化学水处理废水)和高污染废水管网(脱硫废水、冲灰水、生活污水), 在管网节点处设水质监测点, 实时监测水质的变化。水质分级评价要建立一个科学的水质评价指标体系, 包括pH值、悬浮物、溶解盐、有机物、重金属等主要指标, 对不同的管网废水做定期检测并分等级, 确定各个层次废水的处理目标和回用方向。梯级回用匹配根据水质分级

的结果, 把处理好的废水准确地分配到不同的回用场合中去, 一级回用是低污染废水经过简单的处理之后用于厂区绿化、道路冲洗、煤场洒水等对水质要求不高的地方, 二级回用是中污染废水经过深度处理之后用于循环冷却水补水、输煤系统冲洗等工业辅助用水的地方, 三级回用是高污染废水经过特种处理之后用于锅炉补给水、工业生产核心用水等对水质要求很高的地方, 实现水资源的梯级高效利用。

2 火电厂废水预处理技术

2.1 物理处理技术

物理处理技术是火电厂废水预处理的基础部分, 主要是利用物理方式去除废水中的悬浮物、胶体颗粒等不溶性污染物, 不改变污染物的化学性质, 具有操作简单、成本低、无二次污染等特点, 常用的有格栅、筛网、调节池、沉淀、过滤等。格栅和筛网主要用来除去废水中的大颗粒杂质, 例如输煤废水中的煤渣、生活污水中的漂浮物等, 按栅条间距不同分为粗格栅、中格栅和细格栅, 粗格栅用来清除直径大于10mm的杂物, 保证后面处理设备正常运转; 细格栅可以清除直径大于1mm的细小杂物, 提高后面的处理效率。调节池用来调节废水的水量和水质, 防止废水水量突然变化、水质发生突变给后面处理工艺带来冲击, 火电厂调节池一般呈矩形或者圆形, 设有搅拌装置及水质监测设备, 根据废水水质的变化来改变停留时间, 保证后面处理工艺的正常运行。沉淀技术除了前面所提到的高效沉淀技术之外, 还有平流式沉淀池、竖流式沉淀池等传统的沉淀技术, 适合于处理悬浮物含量高的废水, 比如冲灰水经过沉淀处理之后, 悬浮物含量可以降低60%-80%。过滤技术是利用过滤介质拦截废水中的细小悬浮物和胶体颗粒, 常用的过

滤介质有石英砂、活性炭、滤布等，其中石英砂过滤适合于去除水中的细小悬浮物，活性炭过滤可以同时去除部分有机物和异味，在火电厂废水预处理中，过滤技术常常被用作沉淀技术的后一工序，提高废水水质，为深度处理打下基础。

2.2 化学处理技术

化学处理技术就是向废水中加入化学药剂，利用化学反应来去除废水中的溶解性污染物、重金属离子以及一部分有机物，适合于处理物理处理不能完全去除的污染物，是火电厂废水预处理的一种补充手段，常用的有混凝、絮凝、中和、氧化还原等。混凝和絮凝技术是利用投加混凝剂（明矾、聚合氯化铝）、絮凝剂（聚丙烯酰胺）来使废水中的胶体颗粒和溶解性污染物聚集成絮团，然后用沉淀或者过滤的方法去除，该技术在火电厂各种废水的预处理中有广泛的应用，尤其适合于处理含有油类废水、印染废水等，可以有效地降低废水的浊度和COD（化学需氧量）。中技术用来调节废水的pH值，火电厂部分废水如脱硫废水为强酸性，锅炉排污水为强碱性，需要加入酸碱药剂来中和处理，使废水pH值达到后续处理工艺要求，常用的酸性中和药剂有盐酸、硫酸，碱性中和药剂有氢氧化钠、石灰乳，在实际使用时要按照废水的酸碱度精确控制药剂的投加量，防止过多投加造成二次污染。氧化还原技术是利用投加氧化剂或者还原剂，使废水中的有毒有害污染物发生化学反应而被转化成无害或者低毒的物质，比如用臭氧氧化法来去除废水中的有机物和异味，用还原铁粉来去除废水中的重金属离子（铬、汞）等，该技术适合于处理高浓度有机废水以及重金属废水，火电厂含铬废水经过还原处理之后，铬离子浓度可以降到排放标准以下。化学处理技术的核心就是药剂的选择和投加量的精确控制，需要根据废水的水质特点和处理目的来选取合适的药剂，并依据实验结果确定最佳的药剂种类及投加量，保证处理效果的同时降低运行成本。

2.3 生物处理技术

生物处理技术依靠微生物的代谢作用来分解废水中的有机物、氨氮等污染物，适合于处理火电厂的生活污水、食堂废水以及部分工业有机废水，具有处理效果好、运行费用低、环保等特点，常用的有活性污泥法、生物膜法、厌氧生物处理法等。活性污泥法是通过曝气装置向废水中加入空气，培养大量的活性污泥微生物，

依靠微生物的吸附和代谢作用来降解污染物，适合于处理水量大、有机物浓度高的废水，火电厂生活污水经过活性污泥法处理之后，COD去除率可以达到70%-80%，BOD₅（五日生化需氧量）去除率可以达到80%-90%。生物膜法除前文所提到的生物膜反应器技术之外，还有生物接触氧化池、生物流化床等，其中生物接触氧化池是在池体内设填料，使微生物附着在填料上形成生物膜，废水流经填料层与生物膜充分接触，达到污染物降解的目的，该技术具有抗冲击负荷强、污泥量少等特点，适合于处理中小型火电厂的有机废水。厌氧生物处理法是在无氧条件下依靠厌氧微生物的代谢作用来降解污染物，产生沼气等可再生能源，适合于处理高浓度的有机废水，比如火电厂豆制品加工废水、屠宰废水等，该技术可以去除污染物并产生能源，具有较好的经济效益。在火电厂的废水预处理中，生物处理技术和物理、化学处理技术一起应用，形成物理预处理、化学处理和生物处理三者结合的组合工艺，保证废水水质达到要求。

3 废水深度处理技术

废水深度处理技术是实现火电厂废水回用至生产核心环节的关键，旨在进一步去除预处理后废水中的残留污染物，提升出水水质，满足更高标准的回用要求，常用技术包括膜分离技术、高级氧化技术、离子交换技术等。膜分离技术如前文所述的超滤、纳滤、反渗透技术，是废水深度处理的核心技术，可精准去除废水中的溶解盐、有机物、重金属等污染物，其中反渗透技术是实现废水回用至锅炉补给水的关键，预处理后的废水经反渗透处理后，电导率可降至 $10\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下，满足锅炉补给水的水质要求。高级氧化技术通过产生具有强氧化性的自由基（如羟基自由基），快速降解废水中的难降解有机物，常用技术包括芬顿氧化、光催化氧化、电催化氧化等，芬顿氧化技术通过投加硫酸亚铁与过氧化氢，产生羟基自由基降解有机物，适用于处理高浓度难降解有机废水，如火电厂含酚废水；光催化氧化技术利用半导体材料（如二氧化钛）在光照条件下催化氧化有机物，具备处理效果好、无二次污染等优势，适用于处理低浓度有机废水。离子交换技术利用离子交换树脂的选择透过性，去除废水中的特定离子，如采用阳离子交换树脂去除废水中的重金属离子，采用阴离子交换树脂去除废水中的硫酸盐、硝酸盐等，该技术适用于处理低浓度重金属废水与高盐废水，可作为反渗透技术的预处理环节，降低废水的硬度与盐浓度，延长反渗透膜的使用

使用寿命。在火电厂废水深度处理实践中,常采用“膜分离技术+高级氧化技术”的组合工艺,例如预处理后的废水经超滤+反渗透处理后,再通过臭氧氧化去除残留有机物,确保出水水质稳定达标,实现废水的高效回用。

4 废水回用技术

4.1 重复用水

重复用水为火电厂废水回用的主要方式,即把处理过的废水重新用于生产工艺原来的工序中,达到水资源的循环使用,减少新鲜水的消耗量,常用的重复用水场景有循环冷却水补水、锅炉补给水、输煤系统冲洗水等。循环冷却水系统属于用水量较大的环节,其排污水经过超滤+反渗透深度处理之后可以用来做为循环冷却水的补充水,处理后的废水要控制硬度、碱度和氯离子含量,防止对循环冷却系统造成结垢和腐蚀,重复使用过的水可以减少循环冷却系统的新鲜水量30%-50%。锅炉补给水对水质要求很高,必须经过深度处理后的废水达到超纯水的标准,预处理后的废水通过反渗透加离子交换的方式得到净化之后,可以作为锅炉补给水的水源,从而实现锅炉用水的循环使用,减少新水量和降低水处理费用。输煤系统冲洗水水质要求不高,可以使用经过物理处理过的冲灰水或者生活污水,重复用于输煤皮带、煤场的冲洗,既可以节约新水量,又能实现废水的资源化利用。重复使用要依靠建立完善水质监测和循环净化系统,实时观测回用废水的水质指标,依据水质变化即时调节处理工艺参数,保证回用废水不会对生产装置以及产品品质产生危害,并且改善水循环系统的结构设计,减小水资源的消耗。

4.2 回灌技术

回灌技术就是把处理达标后的火电厂废水回灌到地下含水层里,达到地下水的存储和补充的目的,适合于水资源缺乏地区火电厂,可以有效地缓解区域水资源紧张的局面,又不会造成废水直接排放对地表水体的污染。火电厂的废水回灌要符合严格的水质要求,回灌废水需要经过深度处理,保证各项污染物指标达到地下水质量标准,特别是重金属离子、有机物等有毒有害污染物要严格控制,防止污染地下水源。回灌技术主要有管井回灌、渠系回灌和渗坑回灌三种,管井回灌是通过在地下打井把废水打入到含水层中,适合于深层地下水回灌,渠系回灌是修建回灌渠道使废水慢慢渗入地下,适合于浅层地下水回灌,渗坑回灌则是开挖渗坑依靠土壤

的渗透作用将废水渗入地下,适合于土壤渗透性好的地方。在实际的应用当中,需要对回灌区的地质条件以及地下水环境做详细的勘察,选取合适的回灌方式和回灌位置,同时建立起一套完整的地下水监测系统,随时地观测到地下水位、水质的变化情况,防止出现地下水污染的风险。回灌技术的优点是能够实现水资源的长期存储,在用水高峰期抽取使用,具有较好的水资源调控能力,但是必须严格遵守环保法规,保证回灌过程安全、合规。

4.3 工业用水

工业用水是指对处理过的火电厂废水再次利用,实现水资源的跨行业利用,开辟出废水回用的新途径。常见的工业用水场景有钢铁厂冷却水、化工厂生产用水、建材厂搅拌用水等。经过处理后火电厂废水可以作为钢铁厂循环冷却水补充水源,因为其水质要求同火电厂一样,不需要另外加钱来处理,实现水资源互相利用;深度处理后的废水可以作为化工厂生产用水,用于化工原料稀释、设备清洗等,需要符合化工生产特殊的水质要求;含有少量矿物质的废水可以作为建材厂搅拌用水,用于混凝土搅拌、砖瓦生产等,矿物质可以提高建材的强度和耐久性。工业用水的关键就是建立跨行业的水资源协同利用机制,火电厂要同周边的企业开展合作,依照企业的废水需求改良处理技术,保证出水水质达标,商量定下回用的价格以及计量的方式,达成双赢的目的。另外还要建立水质监测追溯制度,保证回用废水的安全使用,防止对产品、设备产生不良影响。工业用水拓宽了火电厂废水回用的途径,有利于区域水资源的合理调配,有良好的经济效益和社会效益。

5 结语

火电厂废水的分级回收利用属于复杂的系统工程,包含预处理、深度处理以及不同层次的回用等几方面的工作。经过物理、化学和生物处理等预处理工艺可以有效地去除废水中的各种污染物,为后面深度处理及回用打下基础。深度处理技术比如膜分离、高级氧化和离子交换等,使废水水质更加优良,可以达到更高的回用标准。

参考文献

- [1]王和平.火电厂废水分级治理与回收利用[J].中国资源综合利用,2025,43(08):268-270.
- [2]杨圣月,秦永忠.火电厂废水分级回收利用探索与实践[J].中国新技术新产品,2021,(23):125-127.