

浅议污水处理现状及污水处理发展趋势

李赛超

中冶华天南京工程技术有限公司 江苏 南京 210004

摘要：随着全球水资源短缺与水污染问题的加剧，污水处理已成为环境保护与可持续发展的关键环节。本文从污水处理的重要性出发，系统梳理了物理、化学、生化及深度处理等技术类型，剖析了当前设施建设滞后、技术水平不足、运营管理薄弱等现实困境。结合行业发展动态，指出未来污水处理将向智能化监控、资源能源化利用、新型材料应用及多领域交叉融合等方向演进，旨在为优化污水处理体系、推动水环境保护提供理论参考与实践路径。

关键词：污水处理；现状；污水处理；发展趋势

引言：水是生命之源、生产之要、生态之基，然而工业废水、生活污水的肆意排放正严重威胁全球水环境安全。据世界卫生组织数据显示，全球约70%的河流湖泊受到不同程度污染，每年因水污染导致的疾病死亡人数超百万人。污水处理作为破解水环境污染的核心手段，不仅是保护生态系统平衡、保障人类健康的必要举措，更是缓解水资源危机、实现循环经济的重要途径。当前，我国污水处理虽取得一定进展，但在设施覆盖、技术创新、管理效能等方面仍存在显著短板。在此背景下，深入分析污水处理现状、探讨未来发展趋势，对提升污水处理效能、推动绿色低碳发展具有重要的现实意义。

1 污水处理的重要性

1.1 保护生态环境

水生态系统是地球生物多样性的载体，而未经处理的污水排放会对其造成毁灭性打击。大量生活污水与工业废水中含有的氮、磷等营养物质，一旦排入江河湖海，极易引发水体富营养化，导致藻类疯狂生长，形成赤潮、水华等灾害。以太湖蓝藻爆发事件为例，因周边城市污水排放超标，藻类大量繁殖致使水体缺氧，鱼类等水生生物大量死亡，破坏了食物链结构，造成生态系统紊乱。同时，污水中的重金属和有毒化学物质会在土壤和水体中不断积累，威胁周边植被与野生动物生存，打破生态平衡。污水处理通过去除污染物，可有效遏制这些危害，维系水生态系统的健康与稳定，保护生物多样性^[1]。

1.2 保障人类健康

被污染的水源若未经有效处理进入生活供水系统，将直接威胁人类健康。污水中存在的大肠杆菌、沙门氏菌等致病微生物，以及重金属、有机污染物等有害物质，一旦被人体摄入，可能引发腹泻、呕吐、中毒甚至癌症等严重疾病。据世界卫生组织统计，全球每年约有

502000人因饮用受污染的水死于腹泻病。此外，长期接触受污染的水源，还会通过皮肤接触、呼吸等途径对人体健康造成慢性损害。污水处理能够高效杀灭致病微生物，去除有害化学物质，保障饮用水的安全卫生，避免因水污染导致的疾病传播，为人类的生命健康构筑坚实防线。

1.3 促进水资源的可持续利用

在全球水资源日益紧缺的背景下，污水处理是实现水资源可持续利用的核心途径。地球上淡水资源有限，而污水经过处理后可实现再生回用，用于工业冷却、城市绿化、道路清洗等非饮用水领域，极大地缓解水资源供需矛盾。例如，新加坡通过先进的污水处理技术，将生活污水转化为高品质的新生水，满足了该国约40%的用水需求，有效减少了对进口水源的依赖。此外，农业灌溉用水量巨大，处理后的污水可作为农业灌溉水源，既能节约淡水资源，又能通过合理处理去除污水中的有害物质，避免土壤污染，保障农产品安全。污水处理助力水资源循环利用，为人类社会的可持续发展提供有力支撑。

2 污水处理技术

2.1 物理处理技术

物理处理技术作为污水处理的前置工序，依靠物理作用力实现污染物的分离与去除。格栅作为第一道防线，通过金属栅条组成的筛网，拦截污水中树枝、塑料瓶等大体积杂物，保障后续设备正常运行。沉砂池则利用砂粒与水的密度差，使无机颗粒在重力作用下沉降至池底，有效去除易磨损设备的硬质杂质。沉淀池通过延长污水停留时间，让悬浮物自然沉降，斜板（管）沉淀池利用增加的沉淀面积，显著提升固液分离效率。气浮工艺常用于处理含油废水，通过溶气系统释放微小气泡，使油滴、纤维等疏水性污染物附着其上，随气泡上浮至水面后刮除。这些技术操作简单、维护成本低，在

市政污水处理厂和工业废水预处理中广泛应用。

2.2 化学处理技术

化学处理技术通过化学反应改变污染物的性质和形态,实现针对性去除。混凝处理时,向污水中投加聚合氯化铝(PAC)、聚丙烯酰胺(PAM)等药剂,使水中胶体颗粒脱稳凝聚,形成大絮体后沉淀分离,有效去除悬浮物、色度及部分有机物,是给水厂和污水处理厂预处理的关键环节。中和法针对酸性或碱性废水,添加石灰、硫酸等酸碱调节剂,将pH值调节至排放标准。化学沉淀技术利用金属盐与重金属离子的反应,如投加硫化钠去除汞、镉离子,生成难溶性沉淀物。氧化技术采用臭氧、次氯酸钠等强氧化剂,破坏有机物分子结构,提升污水的可生化性,适用于处理印染、制药等行业的高浓度难降解废水。

2.3 生化处理技术

生化处理技术借助微生物的代谢活动,将污水中的有机物转化为无害物质,是污水处理的核心工艺。活性污泥法是最常见的好氧处理技术,污水与活性污泥在曝气池中充分混合,微生物分解有机物为二氧化碳和水,经二沉池实现泥水分离。 A^2/O 工艺在活性污泥法基础上,增设厌氧、缺氧段,通过厌氧释磷、缺氧反硝化、好氧硝化的交替运行,实现同步脱氮除磷。生物膜法利用微生物附着在填料表面形成生物膜,如生物滤池、生物转盘,污水流经时污染物被吸附降解。厌氧处理工艺适用于高浓度有机废水,如食品加工、酿酒废水,在无氧条件下微生物将有机物分解为沼气,实现能源回收与污染治理双赢。

2.4 深度处理技术

深度处理技术用于进一步提升污水水质,满足回用或高标准排放要求。膜分离技术凭借精准的截留能力成为主流,超滤膜可去除细菌、胶体等大分子物质,反渗透膜能截留溶解性盐类和小分子有机物,常用于工业纯水制备和中水回用。高级氧化技术如芬顿氧化、臭氧-活性炭联用工艺,通过产生强氧化性自由基,降解抗生素、农药残留等难降解有机物,再结合活性炭吸附实现深度净化。离子交换树脂能选择性去除污水中的特定离子,如去除钙、镁离子实现软化水制备。这些技术的灵活组合,使处理后的污水可用于景观补水、工业循环冷却等领域,助力水资源的可持续利用^[2]。

2.5 低碳污水处理技术

低碳污水处理技术以降低能耗、减少碳排放和资源回收为目标,推动行业绿色转型。厌氧氨氧化(Anammox)技术打破传统脱氮路径,在厌氧条件下直

接将氨氮和亚硝酸盐转化为氮气,减少曝气能耗和碳源投加,相比传统工艺节能50%以上。MBR(膜生物反应器)将膜分离与生物处理结合,提高污泥浓度和处理效率,缩短水力停留时间,降低运行能耗。污泥厌氧消化产生的沼气可作为清洁能源,用于厂区供热或发电。人工湿地通过植物根系吸收、微生物分解和基质过滤协同作用净化污水,无需机械动力,兼具生态修复与景观美化功能。智能化控制系统通过实时监测水质水量,动态调节设备运行,实现精准节能降耗。

3 污水处理现状

3.1 设施建设滞后

当前污水处理设施建设与快速增长的污水排放量存在显著矛盾。一方面,部分城市尤其是中小城市及农村地区,污水处理厂建设覆盖率低,管网铺设不健全,大量生活污水直排河道,成为水体污染的主要源头。例如,在一些偏远农村,由于缺乏集中式污水处理设施,生活污水多通过简易沟渠排放,导致周边水体黑臭现象频发。另一方面,已建成的污水处理厂也存在处理能力不足的问题,随着城市规模扩大和人口增加,污水量远超设计处理负荷,部分设施长期处于超负荷运行状态,处理效果大打折扣。同时,污水处理设施建设周期长、资金投入大,部分地区受限于财政压力,难以快速推进设施建设与升级,加剧了设施供需失衡的局面。

3.2 技术水平相对落后

在污水处理技术应用上,我国与发达国家仍存在较大差距。多数污水处理厂仍以传统的活性污泥法等基础工艺为主,对于新兴高效处理技术的应用比例较低。例如,在处理高浓度有机废水和难降解工业废水时,传统技术难以满足严格的排放标准,而诸如高级氧化、膜生物反应器等先进技术推广应用缓慢,受制于技术成本高、操作复杂等因素。此外,污水处理技术研发能力不足,自主创新技术较少,关键设备和核心材料依赖进口,导致技术升级换代困难。同时,技术应用缺乏针对性,未充分考虑不同地区污水水质差异,存在“一刀切”现象,降低了处理效率和效果。

3.3 运营管理不善

污水处理运营管理环节存在诸多漏洞,严重影响设施正常运行和处理效果。首先,专业技术人员短缺问题突出,部分运营人员缺乏系统培训,操作不规范,难以应对复杂的污水处理工艺和设备故障,导致处理流程运行不稳定。其次,资金保障不足,污水处理厂运行成本高,部分地区财政补贴不到位,收费机制不完善,使得设备维护、药剂采购等工作难以正常开展,设备老化、

损坏现象普遍。再者,监管体系不健全,缺乏有效的实时监测和动态评估机制,部分污水处理厂存在偷排、超标排放等违规行为,且缺乏严格的问责制度,无法形成有力的监管威慑力,导致污水处理效果无法得到有效保障。

4 污水处理发展趋势

4.1 智能化发展趋势

智能化技术正成为提升污水处理效率与管理水平的核心驱动力。通过物联网(IoT)传感器、大数据分析和人工智能(AI)算法,可构建全流程智能监控系统,实时采集水质参数(如COD、氨氮浓度)、设备运行状态等数据,实现对污水处理工艺的动态优化。例如,基于AI的预测模型能提前预警设备故障,减少停机时间;智能控制系统可根据进水负荷自动调节曝气量、药剂投加量,降低能耗30%以上。在管理层面,数字化平台整合多厂区数据,支持远程运维与决策,解决传统人工巡检效率低、响应滞后的问题。丹麦哥本哈根某污水处理厂通过部署智能系统,将污泥处理能耗降低40%,同时实现碳排放实时监测。

4.2 资源回收与能源化利用趋势

污水处理正从“污染物处理”向“资源循环中心”转型,通过技术创新实现污水中能量、物质的高效回收。在能源领域,厌氧消化技术将污泥中的有机物转化为沼气,用于发电或供热,瑞典某污水厂通过该技术实现150%的能源自给率,多余电能并入电网。新兴的微生物燃料电池(MFC)技术则直接利用微生物代谢产电,虽处于实验室阶段,但未来有望为小型处理设施提供分布式能源。物质回收方面,磷回收技术从污泥中提取磷酸铵镁(鸟粪石),作为高效缓释肥料;膜分离技术截留的高分子有机物可加工为生物基材料。新加坡“新生水”项目不仅实现污水再生回用,还通过紫外光催化技术回收水中微量元素。

4.3 新型材料应用趋势

高性能材料的突破正在革新污水处理技术路径。纳米材料因其高比表面积和吸附特性,成为重金属去除与有机物降解的新利器。例如,磁性纳米颗粒可快速吸附污水中的铅、汞离子,通过磁场分离实现循环利用;石墨烯基复合材料的催化活性是传统催化剂的3-5倍,显

著提升高级氧化反应效率。生物基材料则在降低二次污染方面展现潜力,天然高分子絮凝剂(如壳聚糖)替代传统化学药剂,可减少污泥产量并提升可降解性。陶瓷膜、金属有机框架(MOFs)等新型分离材料,兼具高强度与选择性,耐受极端pH和高温环境,延长设备使用寿命的同时提高出水水质。此外,光催化材料(如改性TiO₂)在太阳能驱动下实现污染物分解,为低能耗处理提供新思路。

4.4 多领域交叉融合趋势

污水处理的未来发展依赖跨学科技术的深度融合。生物技术与材料科学的结合催生了生物电化学系统(BES),通过微生物与电极的协同作用,同步实现有机物降解与能源生产。环境科学与信息技术的交叉则孕育了“数字孪生”污水处理厂,通过虚拟模型模拟不同工况下的处理效果,优化工艺参数并预测环境影响。在应用场景上,污水处理与城市规划的融合推动“海绵城市”建设,将分散式处理设施与雨水花园、生态湿地结合,实现源头减排与末端治理的协同。此外,航天技术中的紧凑型膜处理单元、应急水处理装备,正逐步向民用领域渗透,提升特殊场景下的处理能力^[1]。

结束语

污水处理事关生态保护、资源循环与人类健康,是可持续发展的关键命题。尽管当前面临设施滞后、技术短板和管理不足等挑战,但智能化、资源化、材料创新与多领域融合的发展趋势,正为行业带来新的突破机遇。未来,随着技术迭代与跨学科协同,污水处理将从末端治理转向源头防控与资源再生并重,成为推动绿色转型的核心力量。期待更多创新实践与政策支持,助力构建高效、低碳、循环的污水处理体系,守护地球水资源命脉。

参考文献

- [1]宋国君,韩冬梅.中国城市生活污水处理管理绩效评估研究[J].中国软科学,2012,08:75-83.
- [2]李艳丽,张光玉,曹宏梅.城市污水处理现状及可持续发展[J].天津科技,2011,04:26-27.
- [3]王丽娟.浅议污水处理厂技术工艺的发展现状及未来趋势[J].科技致富向导.2014(11):32-32.