环境工程污水处理技术分析

张　蒙

内蒙古自治区环境监测总站鄂尔多斯分站　内蒙古　鄂尔多斯　017000

摘　要：为适配不同场景污水治理需求、提升水环境治理质量，本文系统梳理物理、化学、生物及新型复合污水处理技术的核心原理与工艺特点，对比分析城市、工业、农村三类典型场景的技术应用效果。针对当前污水处理工艺能耗偏高、新兴污染物处理能力不足、资源化利用率低等问题，提出工艺优化、技术耦合、智能管控等改进策略，并预判节能低碳、资源回收、智能一体化是行业未来发展主流趋势。

关键词：环境工程；污水处理技术；优化发展策略

引言：随着城镇化与工业产业快速发展，污水排放量持续攀升，水质成分日趋复杂，水环境污染问题愈发突出，污水处理成为环境工程生态治理的核心环节。传统单一污水处理工艺难以适配差异化污水水质与治理标准，存在处理短板与运行弊端。基于此，本文全面解析各类主流及新型污水处理技术，结合不同应用场景分析工艺适配性，剖析行业现存问题并探索优化路径，为污水高效、低碳、资源化治理提供技术参考。

1 环境工程常见污水处理技术类型及原理

1.1 物理污水处理技术

（1）格栅通过拦截污水中粗大悬浮物和漂浮物实现固液分离，沉淀利用重力沉降去除可沉固体和部分悬浮物，二者作为预处理单元，适用于城市污水及工业废水的一级处理，有效降低后续工艺负荷。（2）过滤借助石英砂、活性炭等滤料截留细小悬浮颗粒与胶体，出水浊度低，广泛用于深度处理；气浮通过溶气释放微气泡吸附油类及轻质悬浮物并上浮去除，适用于含油废水及造纸白水回收，具有处理速度快、占地省的工艺特点。（3）物理法操作简便、运行费用低廉，对悬浮物去除效果良好，但无法去除溶解性污染物，对水质波动适应能力有限，通常需与化学法或生物法联用方能满足排放标准。

1.2 化学污水处理技术

（1）混凝沉淀通过投加铝盐（如聚合氯化铝）或铁盐（如聚合硫酸铁）作为混凝剂，使水中胶体颗粒脱稳并凝聚为粗大絮体，再经沉淀分离去除。关键工艺参数包括混凝剂种类与投加量、混合搅拌强度、反应 pH 值（一般控制在 6.5—8.5）及沉淀时间，需通过烧杯试验确定最优组合。（2）氧化还原技术利用强氧化剂（如臭氧、次氯酸钠）或还原剂改变污染物的化学形态与毒性，将有毒有害物质转化为无毒或低毒形态；中和法通过投加酸或碱调节废水 pH 值至中性，二者适用于含氰废水、含铬废水及酸性碱性废水的处理[1]。（3）化学处理技术反应速度快、去除效率高，对某些难降解物质具有不可替代性，但药剂消耗量大、运行费用较高，且易产生大量化学污泥，增加了污泥处理处置的压力，需配套完善的污泥脱水与安全处置设施。

1.3 生物污水处理技术

（1）活性污泥法利用好氧微生物在曝气条件下代谢分解有机物为 CO_2 和 H_2O，运行流程包括进水、曝气反应、沉淀分离与污泥回流，剩余污泥定期排放，是城市污水处理的主流工艺。（2）生物膜法依靠载体表面附着的生物膜降解污染物，耐冲击负荷、污泥龄长；厌氧法在无氧条件下由产甲烷菌将有机物转化为沼气，适宜高浓度有机废水与剩余污泥处理，可实现能源回收。（3）生物法对可生化溶解性有机物去除效果显著，运行经济、二次污染少，但对毒性物质及低温敏感，适用于城市生活污水及食品、酿造等可生化性良好的工业废水，出水可达到国家排放标准。

1.4 新型复合污水处理技术

（1）物化-生物耦合将物化法的快速分离转化与生物法的深度降解矿化协同组合，先通过高级氧化改善难降解废水可生化性，再经生物段高效去除，实现复杂污染物的梯级净化。（2）膜分离技术利用微滤、超滤、纳滤及反渗透膜的选择透过性实现固液高效分离，出水水质优良稳定，系统占地仅为传统工艺 50% 左右，但膜污染引起的通量衰减需定期清洗维护。（3）新型节能技术聚焦厌氧氨氧化自养脱氮工艺，较传统硝化反硝化节省曝

气能耗约 60%，同时推广微生物燃料电池及人工湿地等生态低耗路径，借助自然能源驱动和生态自净机制，体现绿色可持续发展方向。

2 环境工程不同场景下污水处理技术应用效果分析

2.1 城市生活污水处理技术应用

（1）城市生活污水以有机污染物和悬浮物为主要成分，水质水量相对稳定，碳氮比适宜生化处理，但随居民生活习惯和管网收集状况不同存在一定波动。处理要求为出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准，重点控制 COD、氨氮、总磷和悬浮物等指标，同时兼顾脱氮除磷的协同需求[2]。（2）以 AAO 及其改良工艺为主流，厌氧-缺氧-好氧交替运行实现碳、氮、磷的同步去除，COD 去除率稳定在 90%以上，氨氮去除率达 95%以上，总磷去除率约 85%。MBR 工艺凭借膜分离替代二沉池，出水 SS 和浊度极低，可直接用于城市杂用水回用，占地较传统工艺节省 30%—50%，但膜组件更换成本较高，吨水处理电耗约 0.3—0.6 千瓦时，运行效率整体良好。（3）工艺运行中常见问题包括碳源不足导致脱氮效率下降、污泥膨胀引起沉降性能恶化、冬季低温抑制硝化菌活性以及除磷药剂投加量控制不精准等。优化方案采取多点进水分配碳源、投加外部碳源（乙酸钠）、实施精确曝气与智能加药系统、增设保温措施或延展污泥龄，结合在线监测与自控系统提升运行稳定性与处理效能，部分污水厂通过提标改造实现出水水质从一级 B 向一级 A 的稳定跨越。

2.2 工业生产污水处理技术应用

（1）工业废水来源广泛，涵盖造纸、印染、制药、化工、电镀等行业，具有污染物浓度高、成分复杂、毒性大、可生化性差及水质水量波动剧烈等特征，COD 浓度常达数千至数万毫克每升，且含有重金属、难降解有机物及高盐分等抑制性物质，对处理工艺的抗冲击能力和针对性要求极高。（2）技术选型遵循分类收集、分质处理原则，对高浓度有机废水优先采用厌氧消化（UASB、EGSB）降低有机负荷，再串联好氧工艺确保出水达标；对含重金属废水采用化学沉淀或离子交换法进行预处理；对高盐废水采用蒸发结晶或电渗析进行脱盐。应用实践表明，物化预处理与生化处理组合工艺对 COD 总去除率可达 95%以上，但进水水质波动较大时出水稳定性仍需加强[3]。（3）达标处理方面，通过末端深度处理（芬顿氧化、臭氧催化氧化、活性炭吸附）可进一步去除残余难降解有机物，确保出水满足行业排放标准或间接纳管要求。资源化利用效果体现在清污分流后清净下水回用于冷却循环，浓水经膜浓缩与蒸发结晶实现盐分资源化，部分行业回收废水中的有用物料（如印染行业的碱回收、造纸行业的纤维回收），既降低了排污总量又产生了经济效益，但资源化率受水质波动和投资成本制约，目前仍以达标排放为主要目标，资源化方向正在稳步推进。

2.3 农村分散式污水处理技术应用

（1）农村污水呈现点多面广、水量小且时段性强、碳氮比偏低、水质波动大等排放特点，处理难点在于管网收集困难、缺乏专业运维人员、冬季低温影响生化效率、资金投入有限以及排放标准不统一，难以照搬城市集中式处理模式，需因地制宜选择适用工艺。（2）小型化、低成本处理技术应用案例表明，厌氧 + 人工湿地组合工艺对 COD 和氨氮去除率可达 70%—80%，建设成本约 2000—4000 元/吨水，运行费用不足 0.2 元/吨水，适宜有闲置土地的村庄；一体化 AAO 设备出水可达一级 B 标准，占地小但电耗较高，适用经济较发达地区；土壤渗滤系统和生态塘工艺维护简便，在南方地区应用效果良好，部分示范项目实现了尾水灌溉回用[4]。（3）农村污水处理技术的适配性要求综合考虑当地地形地貌、人口规模、经济水平和排放去向，小型生态处理技术具有投资省、运行费用低、维护简单的优势，推广价值较高，但北方寒冷地区需解决保温措施并筛选耐低温菌种。目前治理模式正从单村治理向连片整治转变，通过标准化设计、模块化建设和专业化运维提升系统可靠性，同时鼓励采用太阳能驱动和物联网远程监控等智能化手段降低人工依赖，使农村污水处理逐步走向低成本、低能耗和易维护的可持续发展路径。

3 环境工程污水处理技术现存问题与优化发展策略

3.1 当前污水处理技术应用现存问题

（1）传统活性污泥法等常规工艺对溶解性难降解有机物及总氮的去除能力已达到技术瓶颈，处理效率难以进一步提升。与此同时，曝气系统设备老化、供氧效率偏低，加之水泵与搅拌设备常年高负荷运转，导致吨水电耗普遍偏高。据统计，电费成本约占污水厂运行总成本的 40%—60%，而能量转化利用率仅为 30%左右，高能耗与低能效之间的矛盾在中小型污水厂中尤为突出，严重制约了行业运行的绿色化水平。（2）针对抗生素、内分泌干扰物、微塑料及全氟化合物等新兴特征污染物，常规处理工艺缺乏专项去除技术储备，生物降解路径不清晰、物化去除成本高昂，致使该类污染物在水处理流程中穿透性极强，易在出水及受纳水体中持续残留。目前相应的监测标准与去除技术规范尚不完善，针对性技术体系存在明显短板，潜在生态健康风险亟待重

视。（3）污水处理系统运维涉及药剂投加、设备维修、污泥外运处置及人工管理等多项费用，综合运维成本逐年攀升，多数中小型污水厂面临财政补贴依赖性强的困境。另一方面，污水中蕴含的有机碳源、磷酸盐、热能及再生水资源等潜在价值未得到充分回收，国内资源化利用率不足 20%，大量可利用资源随处理过程流失，造成资源浪费与经济效益低下并存的不利局面。

3.2 污水处理技术工艺优化措施

（1）传统处理工艺的参数优化通过对污泥龄、溶解氧梯度分布、混合液回流比及水力停留时间等关键变量进行精细化调控，配合鼓风曝气系统升级为高效磁悬浮或空气悬浮风机，沉淀单元改造为斜管（板）沉淀或高效气浮装置。实践表明，上述设备升级与参数协同优化可使系统整体能效提升 15%—25%，在确保出水稳定达标的前提下有效减少无效供氧与过量回流造成的能源消耗[5]。（2）多技术耦合联用方案将厌氧消化与多级好氧工艺、臭氧催化氧化与生物滤池、电化学氧化与膜分离等技术按照“预处理—主处理—深度处理”梯级架构进行优化组合，针对不同污染区间发挥各技术单元的效能优势，有效突破单一工艺对难降解物质和总氮去除的瓶颈，使 COD 综合去除率较单一工艺提升 10%以上，同时削减药剂投加频次，降低次生污染风险。（3）智能化控制系统通过集成在线水质监测仪表（COD、氨氮、总磷、溶解氧及 ORP 等）实时采集运行数据，结合模糊逻辑、神经网络等人工智能算法建立精准曝气、智能加药与回流比动态调控模型，实现全流程自动化闭环控制与异常预警。实际工程应用显示，智能控制系统可节约曝气能耗 10%—20%，减少碳源及除磷药剂投加量约 15%，显著减轻人工调控负荷与滞后性风险，系统运行稳定性与抗冲击能力同步增强。

3.3 污水处理技术未来发展趋势

（1）节能化、低碳化方向重点推动短程硝化反硝化、厌氧氨氧化等新型生物脱氮工艺的工程化应用，该技术路径可节省约 60%的曝气能耗并完全无需外投碳源。同时配套厂区光伏发电并网、高效低能耗膜组件及余热回收系统的集成部署，推进污水处理全过程碳足迹持续削减，逐步向近零能耗运营与碳中和目标趋近。（2）污水资源化领域重点发展鸟粪石结晶法回收磷肥、胞外聚合物提取、厌氧消化产甲烷化学能回收及水源热泵热能利用等关键技术，推动污染物治理向多资源联产转型。污泥方面着力推进热水解预处理与高效厌氧消化组合工艺，使污泥体积减少 70%以上，沼气产率提升约 50%，实现减量化与能源化的协同增益。（3）智能化、一体化设备将物联网远程监控、GIS 地理信息定位与自动控制模块高度集成于集装箱式或地埋式紧凑型装备，可实现无人值守与远程运维，尤其契合村镇分散点源、应急处理及工业园区的治理需求。随着制造成本持续下降和标准化程度不断提高，预计未来五年一体化智能装备在中小规模市场的渗透率将大幅跃升，成为行业装备升级的主流趋势。

结束语

综上所述，各类污水处理技术各有优劣与适用场景，单一工艺已无法满足现代化水环境治理的多元需求。当前污水处理行业仍面临能效不足、新兴污染治理薄弱、资源浪费等诸多难题。未来需依托技术耦合、智能管控与工艺革新，推进污水处理向低碳节能、资源循环、智能高效方向升级，因地制宜优化治理方案，切实提升污水治理实效，助力生态环境可持续发展。

参考文献

[1] 李萌, 赵景涛. 城镇污水处理厂提标改造关键技术与工艺对比分析 [J]. 环境工程,2022,50(08):112-117.

[2] 陈雨桐. 环境工程中工业污水处理关键技术及优化策略 [J]. 水处理技术,2025,51(04):89-93.

[3] 周浩, 吴佳琦. 低碳理念下城镇污水处理技术节能降耗优化研究 [J]. 环境科学与技术,2024,47(09):188-193.

[4] 林俊辉. 环境工程污水处理工艺常见问题及技术改进措施 [J]. 工业水处理,2023,43(11):156-160.

[5] 黄泽宇. 智能化技术在环境工程污水处理中的应用探析 [J]. 环境保护科学,2024,50(03):76-81.