

来源摸得清 污染减到位 排放管得住

——水专项为环太湖工业聚集区污染控制与尾水水质提升开出组合“药方”



课题骨干成员

位于西太湖上游的江苏省常州市武进区的发展模式是环太湖流域中典型的“苏南模式”。悠久发达的民营经济和传统工业在推动经济社会持续繁荣的同时,也给当地生态环境带来持续压力。特别是区域内呈现出典型的工业聚集区一城一区一体化特征,印染、电镀、化工等重污染企业数量众多、规模偏小、布局分散,面临污染源复杂、污染负荷强度高、水质达标任务重的严峻挑战。

作为太湖上游重点污染控制区,武进当地政府近年来开展了一系列针对“散乱污”的治理专项行动,对重污染企业集中整治、转型升级,改善了流域水环境质量。但与此同时,重点行业、重点企业一些排放指标不稳定的情况依然存在,系统诊断、精准治污、常态达标还缺乏明确长效的手段与支撑。

为此,“十三五”水专项“重污染区(武进)水环境整治技术集成与综

合示范”项目在武进南片(武南区域)设立了“工业聚集区污染控制与尾水水质提升技术集成与应用”课题,以“精准、长效、系统、科学”的治理思路,突出源头减排、资源回收和回用、污水高标准排放,形成企业节水回用、园区产业回用、流域安全消纳的三级循环机制,提出了工业聚集区一城一区一体化区域水污染控制与综合调控技术及方案。通过对工业聚集区工业企业污染排放总量评估、重污染企业远程监控系统、主要污染物深度去除与资源化利用技术与集成、污水收集管网优化与厂网联动、污水处理厂高标准排放以及尾水安全消纳等关键技术的研发和应用,课题的实施有力促进了区域印染和电镀等企业污染物排放量的逐年减少,污水处理厂运行水平的逐年提升与稳定达标,推动了武进区水环境质量和入太湖河流水质的明显改善,也为区域可持续发展拓展了广阔空间。

中碱度可达250~300g/L,获得了可回用于丝光生产工艺的高纯高浓碱,碱液回收率大于90%。

2.为达到印染废水低成本高品质稳定回用的目的,集成开发了“铁盐混凝沉淀—水解酸化—磁性填料好氧生物强化净化—双膜法”工艺,实现厂内废水深度净化和废水高品质回用。

印染废水有机物难降解、胶体多、色度高,膜法再生时易造成膜严重污染,产水量快速衰减。针对上述问题,课题研制了磁性填料和二元复配催化剂,集成了铁盐混凝和双膜工艺,突破了有机物深度生物净化的技术瓶颈,建立了印染废水高品质再生回用稳定运行工艺,获得可回用于生产的高纯水。经过处理后的印染废水,COD负荷削减较2016年接管排水水质标准提高了40%,氮磷负荷削减提高30%,处理成本从2.6元/吨降低至1.8元/吨,废水利用效率明显提升。

上述两项技术应用于江苏伍佰纺织染整有限公司的印染废水资源化示范工程,丝光液碱废水处理量为30吨/天,废水回



印染废水资源化示范工程

用处理量2000吨/天。

3.针对典型印染行业污水处理厂的稳定高标准排放需求,提出生物吸附—生化强化—自养脱氮—活性炭吸附集成技术工艺,去除难降解COD及高关注特征污染物。

针对武进区印染行业废水集中处理设施的运行难点与提标改造现实需求,课题开展了印染废水提标排放集成技术示范。通过规模为200吨/天的中试工程连续100天的运行,获得关键运行参数,出水COD浓度低于30mg/L,氨氮浓度低于0.5mg/L,硝态氮浓度低于3mg/L,总磷低于0.2mg/L。各项指标优于一级A标准和《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放标准》(DB32/1072-2018)标准。高效排放的同时,活性焦强化生物技术相比于传统活性炭吸附技术成本降低60%以上,硫自养技术相比于传统投加碳源消除硝态氮(按5mg/L计)的方法成本降低50%以上。

二、电镀企业和电镀污水厂资源化

1.针对电镀工艺漂洗废水,集成臭氧催化氧化+膜分离在线回收技术,实现电镀企业在线重金属资源化及废水微排放。针对硫酸盐镍镀工艺漂洗废水处理费用高、重金属资源浪费问题,课题研发了硫酸盐镍漂洗废水及重金属资源化回用微排放技术。这项技术利用膜浓缩技术对污染物进行拦截及浓缩,并在硫酸盐镍漂洗废水及重金属回用的基础上,通过臭氧催化氧化技术对槽液累积性物质进行去除,以此从生产线源头稳定减少废水排放量,实现水及硫酸镍的资源化回用。通过膜分离组合工艺和槽液除杂工艺,将电镀漂洗废水中的重金属、助剂等污染物与水进行分离,其中淡水作为漂洗水循环回用,浓水经进一步浓缩后,作为电镀槽补水循环使用,

可大幅提升重金属、助剂、水等生产原料利用率,降低污染物排放量。

2.针对化学镍等络合废槽液盐分高、重金属含量高、有机物浓度高、络合稳定等特点,以及传统处理工艺运行费用高、处理效果不佳的缺点,开发高效协同电解破络重金属资源化回收技术。

这项技术的创新性在于脉冲电解破络协同电还原技术的开发,可同步降解化学镍废液中的络合剂并回收镍合金,利用金属氧化物复合阳极破络废液中镍离子的络合状态,利用复合阴极电还原回收镍离子,提高物质选择性传输扩散,有效缓解了电催化体系浓差极化明显的问题。利用这项技术建立的工程示范,减少了废水中污泥的产生量,相对于此前的废水预处理+回用技术,可节约废水处理成本,并回用重金属。

上述两项技术应用于常州市洪庄电镀有限公司,这家企业此前在废水处理过程中,长期面临装备落后老化、一类污染物分质分流困难、废槽液减量化处理费用高、废水及重金属在线资源化比例低等问题。针对此现状,课题建设了处理规模为50吨/天的硫酸盐镍或镀铜废水及重金属在线回用微排放技术示范工程,工程示范规模为12吨/天的络合镍废槽液重金属资源化回收示范工程。建成后,硫酸盐镍或镀铜漂洗水回用率大于90%,铜或镍回用率提高至90%;而在络合镍废槽液重金属资源化回收示范工程中,重金属回收率也达到90%,典型重金属铜和镍去除率95%以上,废水处理稳定达标。经济效益方面,在50吨/天的运行规模下,运行费用约2000元/天,节省五水硫酸镍900元/天和污水处理费7500元/天,收益可达6000元/天。

3.针对电镀废水中高价值的重金属镍和铜回收、废水处理成本高等问题,在电镀污水处理厂开展基于吸附—电沉积技术的电镀废水资源化的工程示范。

电镀废水通常采用加碱沉淀进行处理,但处理费用高、污泥量大,特别是高价值重金属难以回收利用。针对这些问题,课题集成了树脂吸附和电化学沉积技术,突破了树脂再生得到高浓度含镍含铜离子再生液,以及电化学高效沉积得到高纯度镍板和铜板的技术瓶颈,形成了回收镍和铜的树脂吸附—电沉积关键技术,进而形成了原水除杂—二级离子交换树脂—一级整合树脂—再生液除杂—电沉积回收镍和铜的工艺。回收镍和铜的树脂吸附—电沉积技术使含镍和含铜废水处理成本大于30元/吨。

树脂吸附—电沉积技术应用于武进洛阳第二电镀有限公司的电镀废水资源化示范工程中,建立了处理能力为100吨/天的含镍和含铜废水资源化装置,是我国第一个采用这项技术处理实际含镍含铜电镀废水的重金属资源化工程。工程示范运行结果表明,这项技术将电镀污水中重金属镍和铜的回收率提高至85%以上,处理后废水稳定达标,电沉积得到的镍板纯度大于99%,铜板纯度大于93%,经济效益显著。当含镍和含铜废水的镍和铜含量在200~800mg/L范围内时,处理一吨含镍和含铜废水总收益分别为5.6元~34.9元和0.6元~14.4元。



基于吸附—电沉积技术的电镀废水资源化示范工程及得到的高纯度镍板和铜板

形成工业聚集区污水处理从源头排放监控、收集过程管控、污水深度处理到尾水安全消纳的综合管理治理技术体系,以及涵盖“企业排口—管网—泵站—污水处理厂”的全流程管控体系。

“企业排口—管网—泵站—污水处理厂”是工业聚集区水污染物排放管控的四个主要关口,只有每个关口得到有效控制,整体得到系统优化,才能共同实现污染物的有效削减,保障流域水环境安全。针对武南工业聚集区进水来源复杂、工业废水占比高、水质波动大的特点,课题集成了工业聚集区污水处理从源头排放监控、收集过程管控、污水深度处理到尾水安全消纳的综合管理治理技术体系,有效形成了涵盖“企业排口—管网—泵站—污水处理厂”的全流程管控体系。

相关工程示范位于常州市经开区横林污水处理厂,这家厂服务企业40

余家,进水中的工业废水占比高达40%以上,难降解污染物较多,对污水处理厂形成了一定的冲击,也随之造成污水处理厂出水总氮偏高和COD超标严重等问题。为此,工程示范运用基于特征风险因子原位管控的污染源远程监控技术,结合污水逐级调蓄、收集管网优化和厂网联动运行等措施,保证了污水处理厂进水的

水质和水量稳定,避免了冲击破坏。对污水处理厂生物处理单元,工程示范采取基于功能菌强化和新型填料强化的高标准排放技术,实现对有机物和氨氮的生物强化去除效果,使区域综合污水处理厂出水水质稳定达到一级A,为断面水质达标提供技术支持,处理成本增幅也控制在15%以内。

一、基于特征风险因子原位管控的污染源远程监控技术,是避免污水处理厂受冲击和保障稳定达标的有效手段

这一技术通过对区域内接管排污企业的长期调研和评估,在识别典型行业的废水易测特征风险因子的基础上,在企业接管排口构建在线监测和泵阀设备,形成原位管控系统,并通过无线远程数据传输实现对重点企业污染源的远程监控。

这项技术针对横林污水处理厂服务区域内工业接管排口水、泵站、雨水口、污水处理厂出口、关键河道断面等54个关键点进行在线监测,实现了对重点企业超排事件的在线预警,并通过接管排口泵阀系统的远程控制对超排事件及时处置,减少了工业废水对综合污水处理厂的冲击,降低了运行成本和管网维护成本。

同时,针对硬件设备难点和实际需求,课题重点开发了集成式易测指标智能在线监测设备,COD、浊度等

重要指标低值实时连续监测设备以及污染源智慧远程在线监测终端;通过集成智慧监测终端、接管排水流量控制站和信息管理云平台等,形成了基于特征风险因子原位管控的污染源远程监控技术。

二、基于污水收集系统优化与厂网联动管控的污水智能调度系统

受排水管网内收集的工业排水影响,污水处理厂开展厂网联动管控运行是保障水环境安全的重要举措。课题基于Infoworks ICM管网水力模型,针对横林污



污染源远程监控及高标准处理集成技术工程示范

水处理厂上游污水收集管网,构建了系统仿真模型。模型涉及50公里管网,1181个检查井,7座泵站和9座调蓄池。采用仿真模拟的研究方法,对污水管网输送能力、高比例工业纳管排水对污水系统的影响等进行评价,提出污水溢流风险降低策略、污水泵站和管网调蓄设施的调度运行策略等,为管网在线监测站的布设提供了最优方案。

三、基于“纳米晶吸附+生物强化+生态强化”的污水处理厂高标准排放技术集成

为解决常州地区的工业聚集区工业废水占比相对较高、水质波动较大、处理效果不稳定、出水排放标准高的问题,课题对污水处理厂的生物处理单元采取基于功能菌强化和新型填料强化的高标准排放技术,实现对有机物和氨氮的生物强化去除效果,保证污水处理厂出水长期稳定达标。

针对工业废水占比高、出水标准严格的要求,为进一步降低出水超标风险,在经过常规处理工艺后,课题构建了微生物燃料电池耦合的生态浮床、复合填料生态净化带和生态透水坝等为一体的立体生态净化体系,为残存污染物的深度降解、出水达标构建二次屏障。

实施成效显著,为典型工业聚集区水环境治理提供可复制、可推广的实践框架。

为响应《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中明确提出“重视新污染物治理”的要求,课题在按照有标准进行常规污染物监测评估治污成效的同时,对全氟和多氟烷基物质(PFAS)、药物和个人护理品(PPCPs)等新污染物的去除情况进行了深入研究。研制了集成式被动采样装置,构建了排水成组毒性测试方法,并引入基于高分辨质谱的非目标物筛查手段,对工程示范进出水及接纳水体进行了系统监测。结果表明,工业废水和生活废水处理达标的情况下,排水的生物毒性及高关注新污染物仍具有一定风险。通过生物强化、物化强化以及生态强化手段,提高微量有毒有害污染物的去除效率,可以进一步提高排水安全性。

课题实施后,武进区印染和电

镀等行业的污染负荷削减50%以上,地表劣V类水质被全面消除,入湖污染负荷大幅削减,流域生态功能显著改善,为“十三五”期间水质全面达标、满足“水十条”考核要求等工作提供了重要技术支持,也为当地在“十四五”期间持续开展水环境治理提供了参考思路。课题总结技术研发和工程实践经验,形成了以“系统诊断、综合施策、精准治污、精细管理”为特色的《工业聚集区一城一区一体化区域水污染控制与综合调控技术及方案》,为典型工业聚集区的水环境治理提供了可复制、可推广的实践框架。

太湖的美,在于人居的和谐,在于自然的交融。随着课题关键技术集成和工程示范成果的转化推广,以往困扰太湖流域治理的工业水污染技术难题有望得到持续性优化解决,“湖面风收云影散,水天交照碧琉璃”的诗意美景也将指日可待。

本版供稿

“工业聚集区污染控制与尾水水质提升技术集成与应用”课题组

开展区域污染物总量评价与总量控制策略研究,为精准治污构建基础、提供工具、明晰策略。

与传统仅从技术角度进行水污染控制的思路不同,解决工业聚集区的水污染问题,需从管理视角量化区域水污染特征,明晰污染源,识别水污染的主要问题,进而提出区域整体性水污染精准系统管控策略。基于此,课题从以下三个方面开展了工业聚集区污染物总量控制评价方法和管控策略研究。

一、污染源排放调查与取样分析

课题对典型工业聚集区常州经开区307家主要企业、4家污水处理厂、居民生活、农业面源等不同污染源的主要污染物COD、氨氮和总磷进行了污水排放调查和取样分析。

二、构建基于灰水足迹的工业聚集区污染物总量评估模型

课题基于灰水足迹方法将不同污染物污染水平转换为同一量纲的优势,构建了基于灰水足迹的工业聚集区污染物总量评估模型,实现了不同类型污染物、不同监控断面

水质控制标准、不同排放浓度的整合与综合管理调控。这个模型涵盖多种排放源,包括未接管企业、接管企业、污水处理厂、城镇居民生活、农村居民生活和农业面源污染等。

三、识别特征污染物,制定关键调控措施

课题将构建的灰水足迹模型应用于常州经开区主要水环境污染物的总量评估中,识别出其特征污染物为氨氮和总磷,未接管企业是主要污染源。确定了关键调控行业和企业,课题根据灰水足迹评估结果提出核心企业排污调控,强化企业接管率、污水处理厂中水回用、污水处理厂提标改造和河道清淤等优化措施,预测强化企业接管率对水污染总量控制可贡献61%。最后,课题将灰水足迹与水环境承载力结合,确定经开区主要水体的环境承载力及关键排放源(污水处理厂和企业),并提出关键污染源排放控制阈值和控制策略。

突破印染和电镀等重点行业资源回用和污染物深度去除技术,实现高价值资源回收、污染源头减量和排水安全,助废水处理产生正效益。

电镀和印染是当地传统产业,也是污染量和负荷比较重的行业,经历多年整治,结构不断调整,污染逐渐改善。但对于日益提高的污染排放控制要求,行业在达标排放方面还普遍存在技术难度大、经济成本高的挑战。为此,课题从资源回收、促进回用、污染物深度去除出发,取得多项关键技术突破和集成应用,从工业污染源头显著提高重点污染物深度去除、资源化利用水平,结合武进区“263”专项行动调整产业结构及关停部分重污染企业的措施,实现印染和电镀行业集中污水处理厂的排水水质稳定达标,使电镀等行业污染负荷整体削减50%以上。

一、印染行业资源回收和污水深度处理

针对印染行业用水量和废水量大、水资源利用率不高、丝光液碱废水难以高品质回用的问题,课题重

点突破了丝光液碱废水回收和印染厂内废水分质回用关键技术,在武进区纺织印染园区内江苏伍佰纺织染整有限公司开展工程示范,使碳氮磷污染负荷大幅削减、水资源利用率显著提升。

1.针对印染丝光液碱废水回收的问题,集成开发了“混气气浮—耐碱膜分离—蒸发浓缩”工艺。采用混气气浮去除悬浮物,耐碱膜进一步去除色度和有机物,并通过蒸发浓缩获得高纯高浓碱液,可回用于丝光生产工艺。

印染丝光液碱废水通常加酸中和和处理,不但浪费碱、处理费用高,且中和后的高盐度使后续生物处理难度加大。针对这一问题,课题突破了高浓液下高效除杂纯化和低能耗高倍浓缩碱液的技术瓶颈,建立了液碱废水资源化工艺,丝光液碱废水悬浮物去除95%以上,浓缩液