



季刊 · 2025年第1期 总第 40 期

宁波环境科学

— NingBo Environmental Science —

主管单位:宁波市生态环境局 / 主办单位:宁波市环境科学学会 / 支持单位:中国环境科学学会





1月17日，宁波市生态环境局召开全市生态环境系统年终大会，回顾总结2024年度主要工作，研究部署2025年重点任务，动员系统上下聚焦生态环境高水平保护支撑经济社会高质量发展。会议由局党组副书记、副局长吕唤春主持，局党组书记、局长林伟明作总结部署。



2月28日，宁波市生态环境局举办今年首场政企恳谈会。14家来自宁波各区（县、市）的企业代表和生态环境相关职能部门负责人面对面，围绕“政企‘零距离’协力推进绿色高质量发展”展开交流。

3月26日，宁波市生态环境局举行与宁波市生态环境保护协会、宁波市环境科学学会、宁波市生态环境保护促进会2025年首次挂联工作会议，明确“三会”重点工作方向。



“生态兴则文明兴。”在迈入全面建设社会主义现代化国家的新征程上，以习近平同志为核心的党中央作出这一关乎中华民族永续发展的重要决断，为我们奋力谱写新时代生态文明建设新篇章提供了根本遵循。

宁波作为依港而兴的滨海名城，近年来坚决贯彻落实习近平生态文明思想，将绿水青山就是金山银山理念镌刻在推动城市高质量发展的基因中，深入打好污染防治攻坚战，全面加紧绿色低碳转型，空气质量连续8年达到国家二级标准，治水工作7年获全省“太禹鼎”，先后创成6个国家级生态文明建设示范区及2个全国“两山”实践创新基地，建成全省首批四星级“无废”城市，全域大美格局加快形成。

此次由宁波市生态环境局举办发起的《宁波环境科学》，旨在深入凝聚全社会各方智慧力量，弘扬践行习近平生态文明思想，广泛普及生态环境科学知识，真实记录宁波生态文明发展进程和工作实践，有力助推我市生态文明建设和生态环境保护工作再上新台阶。

值此刊物付梓之际，在向长期关心支持我市生态文明建设的社会各界致以诚挚问候的同时，也期冀《宁波环境科学》能始终立足政策研究与实践创新的有机统一，促进学术争鸣与科普传播的良性互动，深耕理论知识与科技成果的转化应用，真正构建起一个寓产、学、研深度融合的服务交流平台。

执生态之笔，书大美宁波。希望《宁波环境科学》的印发能持续触发全社会关注生态环境的参与热情，有效营造共建共享美丽宁波的良好氛围，在建设人与自然和谐共生的现代化滨海大都市征程上，书写属于这个时代的生动答卷！

林伟明

目 录

CONTENTS



宁波环境科学

— NingBo Environmental Science —

Vol.12 No.1
2025 年 第 1 期
(总第 40 期)
2025 年 4 月出版

主管单位:宁波市生态环境局
主办单位:宁波市环境科学学会
支持单位:中国环境科学学会

封 一: 东钱湖(刘天甲/摄)
封 四: 杨梅林水库(顾光辉/摄)

中 文 名:《宁波环境科学》
英 文 名: NingBo Environmental Science
编辑单位:《宁波环境科学》编辑部
出版周期: 季 刊
刊 号: (浙)内准字第 B190 号
责任编辑: 韩语笑
地 址: 宁波市海曙区益民街 48 弄 58 号
邮 箱: han.yuxiao012@outlook.com

01 刊首语

政策之窗

- 03 2025 年宁波市生态环境保护工作
07 2025 年度宁波市生态环境系统助企惠企助力经济高质量发展若干举措解读

创新之路

- 09 优化营商环境 提升执法效能 宁波打造预防式执法监管服务体系赋能环境治理现代化
12 精准施策 系统治理 奋力打造全域“无废城市”建设宁波样板
14 打造“设施开放+志愿服务”融合新模式 共绘美丽宁波全民行动新图景
16 破解数据造假困局 提升自动监控质效 镇海有力探索在线智管系统建设

学术园地

- 19 关于城镇污水处理厂深度脱氮的思考——以宁波市为例
24 宁波市海水养殖尾水达标排放的挑战与对策
29 含油污泥处理用超支化响应型纳米乳液清洗剂的研究与应用
35 危险废物焚烧系统控制参数的分析与调节策略研究
39 系统治理+AI 赋能:宁波市水环境持续提升路径研究

科普知识

- 43 碳达峰碳中和
43 碳足迹与碳标签
43 碳交易
44 碳普惠
44 蓝 碳
44 绿 碳

2025 年宁波市生态环境保护工作

2025 年是深入推进生态文明体制改革、全面深化美丽宁波建设的关键一年,是实现“十四五”规划顺利收官、研究谋划“十五五”规划体系的承上启下之年。全市生态环境系统以习近平生态文明思想为指导,深入贯彻落实党的二十大和二十届三中全会精神,践行绿水青山就是金山银山理念,以城市“三化”转型为牵引,以“双争双提创双优”行动为抓手,协同推进降碳、减污、扩绿、增长,健全绿色低碳发展机制,加紧经济社会发展全面绿色转型,加快打造人与自然和谐共生的现代化市域样板。

2025 年生态环境主要目标是:

1. 环境空气质量方面。空气质量优良率达到 93%, PM2.5 年均浓度控制在 22 微克/立方米,不发生重污染天气。

2. 水生态环境质量方面。地表水国控、省控、市控断面 I ~ III 类水质比例达到 100%, 三江干流水质稳定保持在 III 类, 三江一级支流水质优良率在 75% 以上, 县级以上集中式饮用水水源地水质达标率保持 100%。

3. 海洋生态环境质量方面。近岸海域优良水质比率和国控入海河流总氮浓度达到省定考核要求。

4. 土壤环境质量方面。重点建设用地安全利用率保持 100%。

5. 地下水环境质量方面。地下水环境区域点位、风险点位水质达到省定考核要求。

6. 固体废物环境管理方面。一般工业固废综合利用率在 99% 以上, 危险废物填埋率在 5% 以下。

7. 污染减排方面。全面完成“十四五”期间碳排放强度指标, 在已提前完成主要污染物减排基础上持续深入推进减排。

8. 环境安全方面。生态环境安全风险总体可控, 不发生因管理不到位造成的较大及以上突发环境事件或群体性事件。

一、全面推进美丽宁波建设

(一) 完善美丽宁波建设体系。深入贯彻落实美丽中国建设重大战略决策部署, 加强生态文明建设工作组织领导和统筹协调, 全面落实生态文明建设情况报告制度。以绿水青山就是金山银山理念提出 20 周年为契机, 持续推进“811”生态文明先行示范行动, 谋划推进生态文明先行品牌建设, 打造生产集约、生态优美、生活宜居“三生相融”新场景。推进美丽城市、美丽乡村、美丽河湖、美丽海湾等美丽单元建设, 努力打造一批具有影响力的美丽系列建设实践案例。

(二) 加大生态保护修复力度。出台宁波市自然生态监管计划, 扎实推进自然保护地和生态保护红线市级“绿盾”行动。做好雪窦山国家级风景名胜区、鄞州天童国家森林公园、镇海九龙湖省级湿地公园生态保护成效评估。探索生态产品价值实现新路径, 支持推动象山县争创生态系统服务价值试算及结果应用国家试点。加强与检察院、法院协作, 联合共建生态环境修复示范点, 打造 3 个以上集修复示范、法治警示、科普交流等功能为一体的生态环境损害赔偿修复

基地。

(三)强化生物多样性保护。制定出台《宁波市生物多样性保护战略与行动计划》，全面提升生物多样性保护水平。推进生物多样性友好单元和体验地等建设，加快推动海曙生物多样性研学体验基地与生物多样性综合观测站建设项目和宁海绿岛蓝湾生物多样性体验地改造提升项目。积极探索建设宁波市自然博物馆。深化生物多样性保护市域合作，落实《浙东“昆蒙框架”实施联盟章程》，协力推动浙东海洋生物多样性保护。常态化开展 EOD 项目申报、储备和实施，全力谋划实施海曙四明山生物多样性 EOD 项目。

(四)着力提升生态环境满意度。多渠道推进美丽宁波建设宣传教育，充分激发公众参与热情。多维度开展专题宣传教育，展示大美宁波建设成效，开展环境主题宣传活动 3 场以上。积极培育生态文化，持续擦亮“甬有生态”“自然笔记”品牌，市本级开展互动活动 20 场以上，办好全国环保设施向公众开放现场观摩活动，争取全国首个自然笔记创作营地落户宁波。整合搭建全市生态环境志愿者服务平台，做强做大宁波生态环境志愿服务队伍，推动开展生态环境志愿服务活动 500 次以上。

二、健全现代环境治理体系

(五)强化供给支撑能力。结合更加积极有为的宏观政策、更加积极的财政政策和适度宽松的货币政策，推动生态环境保护工作融入经济社会发展大局。聚焦环境质量改善、生态保护修复、环境基础设施建设等 17 个专项领域，谋划一批标志性治理项目。支持企业在污染防治设施改造提升方面每年争取中央生态环境保护资金 1 亿元以上。在环境治理基础设施、生态修复、流域治理等方面用好超长期国债、中央预算、专项债券、金融工具、中长期贷款等有力政策。建立生态环境治理项目库，以项目投资促进环境治理

水平提升，确保生态环保投资年度增长。

(六)推动重点领域改革。印发实施全市生态文明体制改革行动方案，统筹推进重点领域集成改革，着力打造更多生态环境标志性改革项目。加快形成非现场监管执法试点成果，持续加强数据和智能能力底座建设。多层次打造全市环境健康友好体系，指导北仑区做好国家环境健康友好试点建设。制定出台助企纾困政策文件，有效评估涉企政策成效。完善生态环境行政处罚自由裁量制度，探索建立细化减轻处罚事项清单。制定出台生态环境分区管控动态更新指导意见等，有效衔接生态环境分区管控与国土空间规划，持续优化高水平保护格局。深化环评改革，优化项目审批流程，开展环境影响报告书分级审查、归口审批。落实固定污染源监管制度，深入推动排污许可“一证式”管理，持续规范管理流程。

(七)推进监测能力现代化。深化生态环境监测智能化转型，持续构建从山顶到海洋的一体化监测网络。积极参与美丽中国监测评价试点，参与美丽中国、美丽城市考核评价监测体系研究。做好国家生态质量综合站(宁波城市站)建设工作。深化碳监测评估试点，探索开展全市大气污染物与温室气体协同效应关系研究，推进减污降碳协同监测。推进 AI 感知系统建设，综合运用 AI 学习辅助技术提升空气质量预报预警准确率。开展噪声溯源声纹识别研究，实现噪声功能区自动监测站智能化运行。持续完善监测数据质量管理体系建设，强化第三方环保服务机构监管，严格防范人为干扰行为。

三、深入打好污染防治攻坚战

(八)持续改善空气质量。印发《宁波市空气质量持续改善行动计划》，以降低 PM2.5 浓度为主线，重点实施七大攻坚行动，全力推进环境空气质量提质进位。大力推动挥发性有机物、氮氧化物等多污染物协同减排，推进重点治气减排项目 1000 个以上。加快

垃圾焚烧等行业超低排放改造,培育大气污染防治绩效B级及以上企业26家,新增10家石化企业完成创A改造。推进低效失效治理设施整治提升,推动活性炭全流程监管服务体系提质扩面,加快镇海活性炭集中再生中心建设,力争平台纳管企业数超5000家。强化柴油货车和非道路移动机械环境监管,加快推广清洁运输门禁试点,探索研究车辆进出管控方案。实施全市域国三柴油货车限行政策,年内淘汰国四及以下柴油货车7500辆,老旧非道路移动机械2300辆。加强油气回收综合治理,全面推进挥发性有机液体储罐整治提升,完成年销售汽油量5000吨以上加油站的三级油气回收改造。持续强化秸秆露天焚烧管控,深化污染天气应对,完善应急减排清单,强化节庆期间烟花爆竹燃放管控。加强声环境功能区管理,规范和指导属地开展声环境功能区划调整工作,做好2025年市民生实事,年内建成80家“宁静工厂”和70个“宁静小区”。

(九)巩固提升水环境质量。以“治好群众身边水”为抓手,统筹水资源、水环境、水生态,推进全流域、全要素、全过程治理,形成水陆同治、点面结合、干支流协同的水生态环境综合治理模式。深化“一点一策”“一河一策”“一湖一策”,实施100个项目总投资100亿元以上的“双百”工程。持续加强黑臭水体整治,加大卫星遥感筛查力度,强化返黑返臭风险点清单管理。完成入河排污口整治,实现排污口“一张图”全过程动态监督管理。推动污水管网提升改造,新建污水管网30千米,改造雨污合流管网6千米。加快推进工业园区污水治理基础设施建设,加强评估分析18个省级及以上园区污水纳管情况,累计培育打造5个省级星级工业园区“污水零直排区”。强化水生态保护与修复,完成河湖生态缓冲带修复20千米。持续推进美丽河湖保护与建设,培育打造1个以上美丽河湖优秀案例。

(十)加强近岸海域治理。开展全市两湾一港海域综合治理攻坚行动,多措并举稳步提升近岸海域水

质。开展5条入海河流总氮治理、监测与评估,严格落实“一河一策”总氮治理与管控,加强入海排污口动态监督管理。深入调研总氮提标改造技术与应用,逐步推动排奉化江、甬江及杭州湾水域污水处理厂提标改造。创新推动集中连片养殖池塘和高密度设施化海水养殖尾水治理。加快推进“蓝色循环”模式复制推广,推动制定海洋塑料相关标准规范。编制实施《宁波市美丽河湖保护与建设总体方案》,分区分类分梯次推进我市6个美丽海湾保护与建设工作,推动象山港建成浙江省美丽海湾,积极争创全国美丽河湖和国家美丽海湾优秀案例。

(十一)扎实抓好净土清废。加强建设用地土壤污染风险管控与治理,推进优先监管地块土壤污染防治工作,推动建设用地土壤污染风险管控和修复“一件事”改革。强化农用地土壤污染源头防治,全面推进受污染农用地溯源工作,持续做好受污染耕地管控工作成效评估。加快推进地下水污染治理,做好宁波石化经济技术开发区地下水风险管控试点工作。高标准推进全域无废城市建设,拓展无废城市建设新载体,培育150个“无废商业街区(商圈)”“无废集团”等“无废细胞”。深化“无废石化基地”试点建设,推动试点批复项目落地运行。开展危险废物“趋零填埋”攻坚行动,加快推动飞灰、铝灰等危险废物资源化利用能力建设,提升利用能力至20万吨/年。开展铝灰、废酸等危险废物规范化收集处置专项整治行动,实现底数清晰、应管尽管。持续开展危险废物环境管理规范化评估工作,推动危险废物经营单位和自行利用处置企业提档升级。大力推动新污染物治理工作,确保北仑完成新污染物省级试点工作,争取形成试点案例,并积极培育国家级新污染物治理试点。

四、推动经济社会绿色低碳转型

(十二)推动重点领域降碳。严格落实煤炭消费减量替代,基本淘汰2蒸吨/小时以下生物质锅炉等

低效落后设备。加快构建“市—县—园区”多层级多样化的减污降碳协同试点体系，全力推动市本级、北仑区争创国家级减污降碳试点。加快构建系统化减污降碳协同推进体系，建立重点领域评价机制，探索重点行业主要污染物与温室气体排放协同控制研究，形成技术指南试点推广，努力打造一批具有宁波辨识度的减污降碳协同创新典型案例。培育建设减污降碳技术改造重点项目30个以上，打造1个国家级和14个省级试点园区。加强项目环评审批和环境要素保障，加快重点区域、项目规划环评编制、调整，用好“十四五”减排余量，确保“千项万亿”重点项目“应批尽批、应保尽保”。

（十三）完善碳核算评价体系。结合国家“能耗双控”向“碳排放双控”转变要求，进一步完善全市碳核算工作体系，建立碳排放总量和强度管控机制。突出完善绿色低碳评估和督查考核体系，持续优化建设项目碳排放准入管理，强化各类开发建设政策、专项规划的生态环境影响评价。将碳排放管控要求融入排污许可管理，督促企业履行绿色低碳主体责任。培育一批熟悉国际碳交易和碳认证规则的服务机构，在石化等重点行业企业探索开展典型产品的碳足迹评价标准制定、碳标识应用示范。

（十四）加速形成碳普惠市场。全面启动地方性碳普惠创新平台打造工作，积极构建具有宁波特色的碳普惠市场。制定完善宁波市碳普惠管理办法，成立碳普惠专家委员会，形成一批地方性碳汇方法学，实行海洋蓝碳、竹林绿碳、工程减碳和资源循环利用降碳等本地化碳普惠项目开发和交易，协力推进生态损

害赔偿和上市企业ESG报告披露等碳汇交易场景建设，推动碳价值的多元化开发、多层次利用和多环节增值。

五、切实维护生态环境安全

（十五）持续提升生态环境监管执法效能。深化预防式执法监管服务体系建设，深入实施正面清单“152”体系。推进前端感知系统建设，用电工况监控设施安装超过2.2万个点位。在电镀、印染、石化化工等8个重点行业持续实行清单式执法检查，逐步实现“一次查全”落地。深入实施“绿剑”系列专项行动，强化非现场监管，加大新技术新装备应用，着力开展“两打”、移动源执法和新型领域违法犯罪专项打击。推进生态警务建设，持续加强行刑衔接。深入开展信访直通车，修编生态环境信访工作指导手册，加强信访化解能力建设，健全信访执法联动机制，提高信访执法转化率。

（十六）切实加强环境应急能力建设。强化核与辐射安全隐患排查，健全完善辐射环境监测和评价体系。健全分级负责，属地为主，部门协同的环境应急处突责任体系。完善“一地事发、多地响应”联动制度，增强全市环境应急处置队伍实战能力。谋划开展甬江流域“一河一策一图”环境应急响应方案编制工作。指导镇海石化区争创国家环境应急救援基地，推进全市3个园区外危废处置企业多级防控体系建设，全面提升宁波环境应急救援“三库一队”保障能力，打造具有宁波辨识度的环境应急救援体系。

2025 年度宁波市生态环境系统助企惠企 助力经济高质量发展若干举措解读

宁波市生态环境局始终将优化提升营商环境作为“一号改革工程”，连续 3 年出台助企纾困政策，为市场主体发展破除障碍、保驾护航，取得了积极成效：项目审批时限有效缩短，预防式执法监管服务得到企业认可，审慎包容监管，仅 2024 年就为企业减免处罚 3200 多万元。现将《2025 年度宁波市生态环境系统助企惠企助力经济高质量发展若干举措》重点条款解读如下：

1. 实施环评评估工作机制改革。全面推广“评估小程序”应用。将项目评估进展情况对业主单位和环评单位“双告知”，将项目环评编制、评估进展、时间节点及关键信息及时推送，实时了解环评编制、评估和审查等信息，避免信息不对称导致环评编制进度拖延问题。环评评估修改意见“一次反馈、一次到位”，一次性向编制单位反馈修改要求，避免意见分批提出、多次返工而延长编制周期，同时通过明确修改时限，倒逼评估质量提升，助推项目快速落地。

2. 开展“两证合发”缩短投产周期。对工艺相对单一、环境影响较小、建设周期短且按规定编制环境影响报告表的 12 类建设项目（农副食品加工业，食品制造业，酒、饮料制造业，纺织服装、服饰业，制鞋业，印刷业，通用设备制造业，专用设备制造业，加油、加气站，汽车、摩托车等修理与维护业，自来水生产和供应业，天然气锅炉），在企业自愿原则下，实施

“两证合发”，即在项目开工建设前，接续办理环评与排污许可手续，缩短项目建成到调试时间，推动建设项目及时落地投产。

3. 实施小微企业新建项目豁免总量。在“区域环评 + 环境标准”改革区域内，建设项目氮氧化物、化学需氧量、挥发性有机物的单项新增年排放量 <0.1 吨，氨氮 <0.01 吨的企业，免于提交污染物总量替代来源说明，由属地生态环境部门统筹来源，助力企业项目快速落地。

4. 深化危废“点对点”定向利用。将全市危险废物产生情况进行定期发布，方便相关企业查找“点对点”利用的信息。

5. 支持企业开展自行监测降低企业成本。对建有符合要求的实验室且有完善质量管理体系的企业，市生态环境部门将根据企业申请，支持并帮扶其利用自有人员、场所和仪器设备，自行开展本单位污染物排放状况监测并用于公开。当然，对于暂时无法达到要求的企业，仍需委托第三方服务机构进行监测。

6. 规范第三方服务营造良好市场环境。根据环保第三方服务机构的不同特点，试点发布行业企业白名单，将服务质量好、能力强的第三方服务机构纳入白名单，并向社会公布，引导企业选择白名单内的服务机构，进一步维护企业合法权益。

7. 优化执法方式减少对正常生产秩序的非必要

干扰。持续完善,开展“预约点单”和“有需必应”式帮扶,按照企业需求实施个性化、预约式服务,避免服务形式化,以及服务频次过多对企业正常生产秩序的影响。同时,加大检查统筹力度,坚持“无事不扰”,实施非现场监管,做到“不在现场感知现场、不在现场裁定现场、不在现场整改现场”。

8. 优化环境违法减免罚制度。近年来,我市持续开展包容审慎监管模式,制定出台了初次轻微违法行为不予处罚和从轻、减轻处罚清单,最大程度体现“过罚相当”,在维护生态环境质量基础上,减少企业损失,得到了企业一致好评。2025年,市生态环境部门将持续抓好政策执行,对符合条件的22种初次轻微违法行为不予处罚、对18种违法行为从轻减轻处罚。

9. 优化报表填报为企业减负。目前生态环境领域的报表,大部分是国家和省级层面要求,市生态环境部门将积极向上反映并做好落实工作(国家已在

电力行业试点报表填报合并工作)。我市自行要求的报表,通过数据整合和抓取,将取消3个平台填报要求(“市企业信息自行公开平台”“重点污染源监测数据管理系统”和“宁波市环保税涉税信息交换系统”),削减60%,减少企业报表填报压力。

10. 强化环境意识能力培训。2023年以来,围绕企业所需,市生态环境部门已组织900多人的企业负责人培训,获得了广大企业的好评。2025年将持续开展相关培训工作,继续举办2期300人左右的培训,提升企业发展内在动力。

11. 加大政策宣贯力度。进一步拓展生态环境政策的宣传途径,通过畅通政企交流协商途径,印发相关政策解读手册入企,利用生态环境部门官网、官方微信公众号等线上平台,以及市生态环境保护协会等宣传网站,多层次、多领域开展政策的推送和解读,提升企业对生态环境政策认知度,确保优惠政策企业应享尽享、国家和地方法律法规应知尽知。



优化营商环境 提升执法效能

宁波打造预防式执法监管服务体系赋能环境治理现代化

宁波市作为中国制造业的先行城市、长江三角洲南翼经济中心，现有各类工业企业 13.5 万家，全国工业增加值 15 强城市位居第 6，形成 1 个八千亿级、3 个五千亿级、4 个超千亿产业集群，国家级制造业单项冠军、专精特新“小巨人”企业数量位居全国前列。近年来，宁波主动顺应经济发展形势，在生态环境政策支撑、科技赋能、法治建设等方面持续改革创新，系统构建生态环境预防式执法监管服务体系。通过指导基层以理念提升带动工作跃升，用好“加大服务企业力度、精减检查事项，乘以科技手段、破除刚性困局”的执法监管“加减乘除”法，在帮助市场主体稳预期、强信心、增活力的同时，精准发现环境问题、严厉打击违法行为，不断提升高水平保护能力、激活高质量发展动力，助力打造营商环境最优市。

一、强化服务先导，推动事后监管向事前预防转变

宁波市坚持以正面清单建设为引领，整合“绿色保险”“生态环境议事厅”以及“绿岛”模式等服务企业品牌，做到服务在先、保障在前。首创正面清单“152”管理体系，由财政出资组建帮扶队伍，帮助上市和拟



图 1 召开预防式体系座谈会

上市、单项冠军、专精特新等优质企业查找问题、指导整改。首推“保险 + 服务 + 补偿”的绿色保险制度，由第三方专业机构对重污染企业开展绿色体检，并提供“尽职免责”保障。全省首发“环保管家”地方标准，进一步规范服务行为，为中小企业提供个性化问题解决方案。探索实施“绿岛”模式，系统性推动园区企业合法合规、政策简化优化、治污工程共建共享、环保监管统合统一。融合生态环境保护协会等社会团体力量，建立助企服企专家库，举办生态环境议事厅，共议生态环境热点、共破绿色发展难题。目前，全市 1002 家企业纳入正面清单管理，2023 年工业产值占全市 35%，数量居浙江省第一，累计投保绿色保险企业 2700 余家次，建成“绿岛”园区 48 个，组织第三方及



图2 对正面清单企业开展现场帮扶

专家队伍指导服务企业 2 万余家次，发现并整改各类环境问题 7000 余个。

二、强化数字预警，推动精细监管向精准预防转变

宁波市按照“环境监测市域覆盖、环境监管重点覆盖”的原则丰富前端感知体系建设，开发智能算法与应用场景，着力构建高效灵敏的环境问题预警体系。

系。已建成 754 个环境质量自动监测站点，2 万余套污染源自动监控、用电监控、高空瞭望等设备，建成全省唯一的卫星遥感应应用基地，并综合运用无人机、走航监测等手段，基本建立覆盖全域的“空天地海”监测监控体系，推动环境问题及时感知、实时预警。结合地区产业特点，紧盯监管执法所需，建成石化化工全流程监管、活性炭一件事、水污染溯源等近 20 个应用场景，开发机动车排放检验 4 大模型，以场景的高频应用强化问题发现，并通过预警信息推送，督促企业做好问题的闭环整改工作。截至目前，宁波已形成自动监控数值异常波动、标记弄虚作假等预警算法规则 30 条，累计识别并分类推送环境问题 3.2 万余个。

三、强化无事不扰，推动高频监管向高效预防转变

宁波市顺应“大综合一体化”行政执法改革要求，借助科技与数字化改革成效，通过非现场执法、清单式执法、统筹执法，提高执法效能。组建全省首个实



图3 开发生态环境数字化指挥中心

体化运行的生态环境数字化指挥中心,建立问题线上交办、企业自行整改、结果远程反馈的非现场问题处置机制,系统推送问题闭环整改率超过 99%,自动监控和用电工况监控系统问题处置时间分别缩短至 1 个工作日和 90 分钟,进一步降低执法人员到现场检查频次,减少对企业生产经营干扰。试点开展排污许可清单式执法,分类制定电镀、印染、化工石化等 8 个重点行业清单式执法检查记录单,实现“只查一次、一次查全”。以执法监管“一件事”为牵引,深化生态环境领域“双随机、一公开”跨部门监管,通过编制统筹检查计划,部门间共享共用检查结果,实现“进一次门、查多项事”。2023 年以来,全市已建立跨部门双随机检查任务 308 个,实施跨部门联合检查 2321 家次,联合监管率达 47%,减少重复扰企执法 4000 余家次。

四、强化刚柔并济,推动有力监管向有感预防转变

宁波市聚焦市场主体发展需求,推行差异化监管,充分融合法律的“权威力度”和执法的“人性温度”。联合公检法司四部门在省内率先出台《关于加强生态环境行政执法司法保障的实施意见》,连续制定相关配套制度,形成“一份指引、一项制度、十个共识、十大案例”。持续强化“两打”等重大案件查处力度,坚持“打源头”“端窝点”“破链条”,构建“五步法”“五精准”等执法模式,查处了一批严重污染环境案件。在全省率先制定实施轻微环境违法行为从轻减轻、免于处罚事项清单,积极推进企业学法积分抵扣行政处罚

款举措,在帮助企业纠正违法行为、减轻经济压力的同时,促进懂法、知法、守法,从源头上提高企业法治意识。2023 年以来,移送行政刑事案件 90 余件,打击力度位居全省前列。实施免于处罚、从轻减轻处罚案件 312 起,减免金额近 3000 万元。

预防式执法监管服务体系突出预警预防在先,推动了执法关口前移,是执法理念的创新与模式的重塑,实现了生态环境与营商环境的“双优化”,群众满意度和企业安全感的“双提升”。在 2023 年度营商环境全国城市排名中,宁波市位列省会及副省级城市前 10,连续 5 年稳居全国各大城市第一方阵。全市生态环境满意度 12 年连续提升,企业环境违法行为 5 年下降 55%,执法队伍 5 次获评全国生态环境保护执法大练兵表现突出集体。

下一步,宁波市将以习近平生态文明思想为指引,深入学习贯彻党的二十届三中全会精神,以非现场监管执法国家试点为契机,以提质扩面为导向,提升服务效能;以环境安全为底线,增强监管能力,进一步深化预防式执法监管服务体系建设,做到“助力发展不缺位、守住底线不偏航”。

(宁波市生态环境保护行政执法队)



图 4 召开生态环境、公安、司法、检察院、法院五部门联席会议

精准施策 系统治理

奋力打造全域“无废城市”建设宁波样板

宁波地处我国东海之滨，长三角南翼，是世界著名港口城市和全球制造创新中心城市，宁波舟山港货物吞吐量连续 16 年位居全球第 1，我市二产发达，年规上工业总产值达 2.56 万亿元，大港口、大工业、大石化、大物流等工业城市特征突出，危固废产生强度高，无废城市建设压力大。

近年来，宁波深入贯彻落实国家和浙江省全域无废城市建设的决策部署，完整准确全面贯彻新发展理念，加快构建新发展格局，紧紧围绕“减量化、资源化、无害化”要求，不断强化各类危固废全生命周期管理，扎实推动无废城市建设工作。2022 年，宁波入选国家“十四五”无废城市建设试点城市，市本级获评省首批四星级“无废城市”，10 个区（县、市）中 7 个获评省三星级及以上“无废城市”。

一、聚力绿色转型，全方位推动固体废物源头有效减量

一是产业端促结构优化。着重布局以“大优强、

绿新高”为导向的“361”万千亿级产业集群，分行业开展产业集群绿色化诊断，大力推动减污降碳、安全生产等技术改造，实现年固废减量超 40 万吨，绿色石化产业获评国家先进制造业集群。

二是企业端强示范创建。加强绿色制造示范培育，累计获评国家级绿色工厂 121 家，绿色供应链管理企业 16 家，均居全国前列。着力打造无废产业链，镇海炼化“集团内部共享危险废物利用处置设施”模式成功获生态环境部批复。宁波石化经济技术开发区“无废园区”建设入选工信部典型案例。

三是生活端重精准分类。夯实工作基础，以宁波市城镇生活废弃物收集循环利用示范项目为载体，全面形成“政府主导、企业运作、全民参与”的工作格局。强化提质攻坚，实现“全程分类、回收网络、资源利用、数字监管、城乡统筹”五个全覆盖，全市垃圾分类覆盖面、资源化利用率、无害化处理率均达到 100%。在全市人口持续增长的背景下，生活垃圾总量连续三年下降，生活垃圾分类总体成效位列全国大城市首位。



二、聚力关键环节,多领域拓宽固体废物利用处置途径

一是体系化推进收集转运。推动一般工业固废和小微危废两个收运体系提质扩面,累计建成收运点38个,覆盖企业总数近7万家,一般工业固体废物“一站式”收运模式入选省委改革竞跑者。推广生活源可回收物“全品类、全区域、一体化+公共服务”回收模式,全域投用智能回收箱3272个,实现全域覆盖,成功入选首批国家废旧物资循环利用体系建设重点城市。完善农业废弃物回收处置体系,建成秸秆标准化收储中心28个,农业大县、重点乡镇和重点乡村配套建成收储网点。



图2 全品类智能垃圾分类回收箱

二是多元化落实综合利用。大力发展循环产业链,完善以电厂粉煤灰、钢厂冶炼废渣等大宗固废综合利用为重点的循环型产业链,年产1400万吨的大宗固废实现全量利用。打造前湾新区汽车拆解循环经济示范园区,推动车用动力电池等重要零部件梯次利用。破解钛白粉行业循环利用难题,年产40万吨的钛石膏副产品实现全量利用。推广农作物秸秆“五化”综合利用,秸秆综合利用率达98%。通过海涂围垦、基坑回填、再生建材、绿化覆土等途径,推动建筑垃圾综合利用,年产1.2亿吨建筑垃圾,综合利用率达99.5%。

三是系统化完善末端处置。危险废物2005年实现利用处置率100%,目前全市危险废物年利用处置

总能力374万吨,居全省首位。医疗废物自2003年实现无害化处理率100%,目前全市医疗废物年处置能力2.7万吨。病死动物自2013年实现无害化处理率100%,目前病死动物均统一收集、密闭转运和集中处理。生活垃圾自2021年实现零填埋,目前全市垃圾年处理能力550万吨,并协同处置一般工业固废20万吨。

三、聚力多重变革,深层次筑牢“无废城市”建设保障体系

一是高标准重塑制度体系。市政府成立以市领导为组长、市级各有关部门共同参与的工作专班,建立调度通报等8项工作推进机制。健全法规体系,颁布实施生活垃圾、建筑垃圾、再生资源3部地方性法规。激发建设动能,在全省率先发布区县级“无废指数”,按季度发布排名。加大激励举措,每年安排2300万“无废城市”建设奖补资金,对获评星级或提星的区(县、市)进行奖补。

二是全领域推行数字监管。建成“无废城市”建设集成场景综合平台,上线9大类核心业务应用,实现固废全流程监管。开发应用建筑垃圾监管信息系统,打造“一屏观全域、一网管全程、一舱点到底”的监管机制,全面实现建筑垃圾监管智能化。

三是多维度开展立体宣传。通过“无废城市”市长访谈、新闻发布会、国际无废日、“无废城市”宣传月等多元化方式,加大宣传力度。加强与宣传部门、工青妇、媒体及社会组织等“无废”联动,营造共创氛围。推动“无废细胞”建设,累计建成27类2100个“无废细胞”,培育公众“无废”理念。

宁波无废城市建设虽已取得一定成效,但由于我市能耗总量大、产业结构重,仍存在固废产生强度高、危废综合利用率低等问题。下步,宁波将坚持以问题为导向,着力拉长板、补短板、锻新板,继续谱写“无废城市”建设宁波新篇章!

(宁波市生态环境局土壤和固体废物化学品处)

打造“设施开放 + 志愿服务”融合新模式 共绘美丽宁波全民行动新图景

近年来,宁波市深入践行习近平生态文明思想,以环保设施开放为切入点,以志愿服务为纽带,创新构建“制度引领、阵地支撑、场景多元、数字融通”美丽宁波全民行动体系。全市累计设立环保设施开放单位 61 家,覆盖“新老四类”全行业,数量居全国前列,连续五年培育“生态环境议事厅”“绿满港城行动”“宁钢体验之旅”等典型入选“美丽中国 我是行动者”十佳公众参与案例,《离岛归客——守护中华凤头燕鸥》《生死时速——象山人拯救抹香鲸的故事》等志愿事迹在 COP 系列会议上向全球展示,在奋力建设美丽中国先行示范区的过程中,绘就生态环境保护“同心圆”。

一、以制度建设为根基,构建公众参与新格局

聚力美丽宁波建设总目标,形成“规划引领 + 标准导入 + 政策保障”推进路线图。一是统筹谋划。将深化环保设施开放、志愿服务行动写入《新时代美丽宁波建设规划纲要》《宁波市市民生态环境行为准则》等全市规划文件,并制定实施公众开放活动总体方案,有效形成政府主导、企业主体、公众参与的联动工作机制。二是细化标准。主动参与国家危险废物、废弃电器电子产品处理等行业设施开放指南编制,形成本地设施开放“六个一”(一张总览图、一个工作专班、一条开放路线、一个展示场所、一套解说词和一名解说员)运行



图 1 “全国百名最美生态环境志愿者”张继勋作讲解

机制,构建开放单位“预约 — 参观 — 反馈 — 改进”闭环管理流程。三是强化保障。整合经信、社工、教育等部门资源,支持环保设施智能化改造及平台建设,在中心城区建成首家生态环境志愿服务之家,将设施开放纳入“绿色工厂”评价体系。通过一系列机制完善,全面构建生态环境公众参与新格局。

二、以阵地建设为载体,打造公众参与新场景

把环保设施开放和志愿服务阵地建设作为推动美丽宁波全民行动的关键着力点,做到建设拓面、资源整合、力量集成。一是示范促动。发挥宁波临港产业大优势,在深化城市污水、垃圾处理等“老四类”设施开放基础上,加快北仑等临港重点区域钢铁、石化“新四类”设施开放,推动设施开放从“应开尽开”迈向“全域领



图2 宁波钢铁有限公司观摩活动现场

跑”，入选国家设施开放单位 35 家，北仑成为唯一“八类设施全品类”开放区域。二是阵地联动。以设施开放单位为牵引，集成全市 82 家生态文明教育基地、29 家生物多样性体验地，打造全市宣教阵地大集群，连续多年开展环境日、低碳日、生物多样性日等主题宣传活动，多地互动，串点成线，营造人与自然和谐共生的浓厚氛围。三是融合带动。聚焦“开放 + 研学”“志愿 + 服务”等重点领域，统筹用好各个阵地研学项目、设施设备优质资源，创新推出“水滴之旅”“‘纸’想遇见你”等体验场景，形成一批“甬有生态”亲子课堂、青少年自然笔记等全民参与标识性阵地。

三、以队伍建设为核心，培育公众参与新力量

依托宁波志愿服务之城主基座，健全生态环境“志愿骨干 + 企业专员 + 专家智库”队伍人才体系。一是健全组织。设立全市生态环境志愿服务总队，下设 2 支分队、6 支特色志愿服务队以及 3 支专业服务团队，整合形成覆盖市、区（县、市）的重点企业及专业机构的志愿服务力量，全市生态环境志愿服务注册团队达 41 家。二是培育骨干。依托宁波市志愿者学院培训志愿服务骨干 3500 人次，实施全市生态环境志愿服务专项培育行动，先后开发“环境守护”“绿色生活”“生物多样性保护”等培训及研学课程 21 项，有效提升志愿服务团队专业化水平，涌现出“全国百名最美生态

环境志愿者”张继勋工作站，“神话之鸟”守护者丁鹏等志愿典型。三是孵化项目。紧扣生态环境志愿服务新热点，引导志愿者团队申报“青山公益”“美丽浙江你我同行”等国、省项目 15 个，凝聚队伍力量，打响服务品牌，有力支撑超万名志愿者投入各类“护山”“治水”“净滩”活动，其中“中华凤头燕鸥志愿者行动”荣获第二届浙江省志愿服务项目大赛金奖。

四、以数字建设为纽带，赋能公众参与新通道

抓住城市数智化转型新机遇，探索运用大数据、5G、AI 等前沿技术，贯通线上线下，实现公众参与和服务保障双提升。一是用好新媒体。充分运用 VR 展示、视频、直播等新媒体技术，在宁波市生态环境局官网上线“VR 云展厅”，打破设施开放时空限制，打造全省首个生态类慢直播矩阵，累计观看人数超 3000 万，镇海炼化“白鹭全景式慢直播”等 2 个项目入选全国优秀环境公共关系示范案例。二是推进数智化。基于“1+X+N”绿满港城公众参与新模式，政企联动建设“绿满港城在线”数字化应用场景，实时显示开放单位在线监测数据、定期发布志愿活动、生态课堂等内容，为公众参访提供云服务，有力推动各环保设施开放单位之间的联动。三是贯通线上线下。开发“美丽指引”小程序，以地图形式展示生态建设示范点位，为公众提供预约参观、知识竞答、志愿服务报名等多样化功能，注册用户 3 万人，每年线上线下开展活动 500 余次，让公众共享大美宁波建设成果。

下步，宁波市将继续锚定建设美丽中国先行示范区这一战略目标，持续探索“全民参与、科技赋能、开放共享”绿色发展新路径，不断深化环保设施开放和志愿服务体制机制改革创新，打造更多融合发展标志性成果，推动更多公众从“旁观者”向“共治者”转变，奋力谱写“港通天下”与“绿满甬城”交相辉映的生态文明建设新篇章。

（宁波市生态环境宣传教育信息中心）

破解数据造假困局 提升自动监控质效

镇海有力探索在线智管系统建设

污染源自动监控是排污单位监测日常污染物浓度排放是否达标、排放量是否符合排污许可要求的重要数据依据，已成为新时期工业污染源管理的重要手段。以烟气排放口监管为例，截至 2024 年底，浙江省 1500 多家排污单位的 2800 余个烟气排放口安装了污染源自动监控设备，业已成为一个个不知疲倦的 24 小时实时在线的“环保卫士”。然而，由于污染企业担心超标排放被环保处罚、在线仪器产品质量参差不齐以及运维人员素质能力不足等原因，在线数据质量难以满足污染源管理精细化、精准化的需求。近 5 年省级专项检查结果显示，标准物质核查和执法监测比对的合格率分别为 75% 和 80% 左右。更为严重的是，数据弄虚作假行为频发，手段层出不穷。近 5 年，浙江省在线造假被查处的案件年均超过 10 件，这不仅严重影响了自动监测数据的可信度，还对环境监管工作造成了极大的干扰。如何利用智慧化的手段动态破解污染源在线监控数据造假，成为一个技术难题。

一、梳理在线监控问题源头，确立数据造假破题思路

镇海区现有 64 家重点排污单位，共建设有 281 个废气在线监控点位。污染源在线监控系统作为企业污染治理设施的组成部分，其主要由安装在固定污

染源的自动监测监控现场端、数据传输网络和生态环境部门的监控中心组成。涉及区生态环境分局、排污企业、系统原设备厂家、运维单位和其他如监理单位、第三方检测机构等，在数字赋能整体智治的新形势要求下，如何对污染源在线监控系统进行动态监管，提出了新的需求。然而，目前的中心端平台仅仅获取了前端的在线监测数据，诸如表征采样、分析和传输环节的状态参数缺失，导致了在线数据造假，存在了诸多可能。

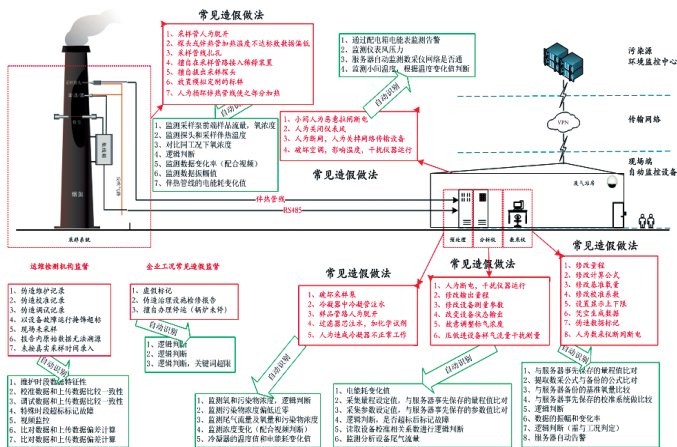


图 1 在线数据造假常见做法图

按照国家相关规范标准，小时均值是废气监控的基准。从全国查处的在线监控弄虚作假案例来看，大部分不法分子会利用这一小时的时间漏洞，在分钟值超标时，通过切断进气或破坏在线监控采样系

统等手段来掩盖超标排放的事实。因此，镇海的破题思路就是：通过利用物联网（IoT）、人工智能（AI）和云计算等先进技术，深度融合在线监测系统运维的相关规范和技术标准，在自动监控现场端增设温、压、流以及能耗等物联网测点，并对接数采仪各测项的量程、配置参系数、计算公式、日志等多种参数变

量，同时，结合全国各地已发生的在线弄虚作假案例形成 AI 模型算法，将多参数变量与中心端在线分钟数据进行分析比对，一旦发现异常，系统会按照管理类和执法类两个类别分别推送报警线索，企业、运维人员和执法人员各司其职，共同做好预警线索的闭环处理工作。

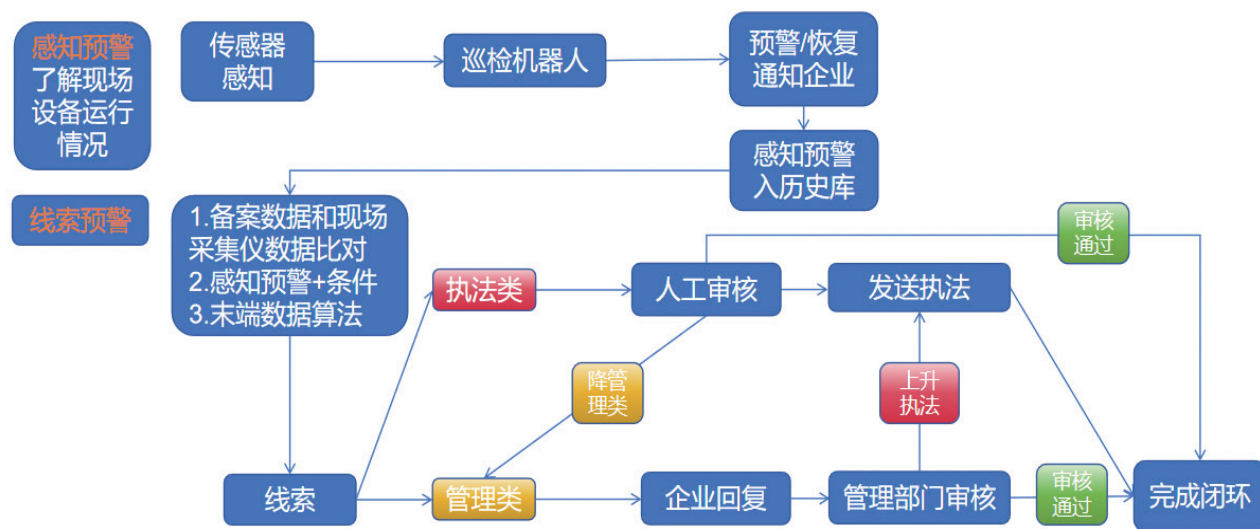


图2 在线智管系统业务流程图

二、建设在线智能管理系统，提升自动监控数据质效

镇海区投资 110 余万元建设了在线智管系统。其主要由感知层、边缘计算层、网络及云平台层、数据支撑层、应用层、用户层构成。

在感知层中，分别在前端分析小屋、采样平台、分析设备、数采网络新增若干物联网（IoT）测点，用于监测设备用电量、环境温度、湿度、样气流量等在线监测正常运行的关键参数，为系统提供全面、准确的多变量参数支持。边缘计算层主要由物联网智慧巡检机器人构成。这是一种高效、智能的数据采集与分析设备，能够在不同场景下实现精准、实时的监测数据采

集和分析。它可以针对管路压力、设备用电能耗、不同种类分析仪表关键参数等多种关键指标进行精确测量和数据采集，确保数据的准确性和可靠性。同时，该机器人具备强大的数据分析能力，能够根据预设的规则和算法，对采集到的数据进行实时分析，判断数据是否异常，并在发现异常情况时及时发出报警信息，以便相关人员迅速响应并处理问题。数据支撑层中的核心 AI 规则模型库包含 31 种线索算法（3 种联网备案信息变更、19 种系统运行异常、4 种末端监测数据异常、5 种运维异常），能够对导入的数据进行全面、细致地实时分析，将异常线索以图文并茂的形式通过可视化平台展示出来，并可通过码上环保平台进行分类推送闭环。



图3 在线智管系统架构图

三、统筹政企运维多方力量，合力打击弄虚作假行为

国家大力推进在线监测第三方运维，我区的污染源在线监控基本由第三方运维，运维费用由排污单位出资。这一模式会导致第三方运维单位地位偏低，话语权偏弱。同时因为在线运维行业几乎没有行业准入门槛，导致第三方运维单位众多，“劣币驱除良币”的情况时有发生。当第三方运维的管理考核制度未健全，发生在线监测问题或者事故时，排污单位和第三方运维单位会出现相互推诿，更有甚者，企业会暗示第三方运维单位进行数据造假以规避超标排放被处罚风险。在线智管系统的建设，把环保局监管人员、企业、第三方运维、第三方检测都纳入进来进行了统

一关联管理。把在线仪器质控校准的频次和要求进行了量化比对，可以倒逼第三方运维保质保量提供运维服务，并建立自己的内控管理制度。

该系统自2025年3月试运行以来，已发现在线问题线索141条。诸如运维企业全过程标定不规范、企业烟道截面积设置值与到监管部门备案值不一致、在线仪器故障未及时修复、利用在线数据标记规则逃避监管、废气收集环节使用临时软联结、用仪器质控替代系统全过程标定等，均已发送企业第一时间进行了整改，完成了预警线索的闭环处理。

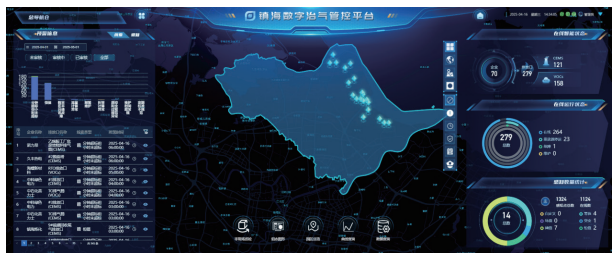


图4 在线智管系统首页

污染源在线监控系统是排污企业污染防治设施的“最后一公里”，其运行的稳定性和监测数据的准确性与企业生产经营活动密切相关。镇海区通过在线智管系统的建设，实现了对污染源在线监控系统隐患和故障的及时发现，是创新在线监控监管工作的数字化方式，也是加快数字化改革的有益尝试。该系统的成功应用，为解决在线监控数据造假问题、提升数据质量提供了有效的解决方案，对于推动智慧环保体系建设和生态环境治理能力现代化具有重要意义。

（宁波市生态环境局镇海分局）

关于城镇污水处理厂深度脱氮的思考 ——以宁波市为例

■ 岑 森¹ 朱震杰² 魏天琦² 陈新春² 董静杰² ■

(1. 宁波市生态环境科学研究院, 浙江省宁波市 315000
2. 宁波市甬环苑环保工程科技有限公司, 浙江省宁波市 315000)

摘 要 为响应杭州湾海域水环境改善需求, 本文以宁波市为例聚焦城镇污水处理厂深度脱氮工作。在城镇污水处理厂总氮输出过量、进水碳氮比失衡等问题上, 通过对比异养反硝化、硫自养反硝化等技术, 发现硫自养反硝化在脱氮效能、运维成本及低碳优势上表现突出, 是当前的优先选择, 镇海污水处理厂工程验证了该技术在宁波应用的可行性, 希望为滨海城市削减陆源氮通量、改善近岸海域水质提供参考。

关键词 宁波市 城镇污水处理厂 深度脱氮 硫自养反硝化

Reflections on Deep Nitrogen Removal in Urban Sewage Treatment Plants: the case of Ningbo

CEN Sen¹, ZHU Zhen-jie², WEI Tian-qi², CHEN Xin-chun², DONG Jing-jie²

1. Ningbo Research Institute of Ecological and Environmental Sciences, Ningbo 315000, China;

2. Ningbo Yonghuanyuan Environmental Engineering and Technology Co., Ltd, Ningbo 315000, China

Abstract: In response to the water environment improvement requirements of Hangzhou Bay, this paper examines the deep nitrogen removal practices of urban wastewater treatment plants using Ningbo City as a case study. Faced with challenges such as excessive total nitrogen discharge and an imbalanced carbon-to-nitrogen ratio in influent water, the paper compares heterotrophic denitrification and sulfur autotrophic denitrification technologies. The findings indicate that sulfur autotrophic denitrification demonstrates superior performance in terms of nitrogen removal efficiency, operational and maintenance costs, and its low-carbon advantages, making it the preferred choice for current applications. The Zhenhai Wastewater Treatment Plant project has successfully validated the feasibility of implementing this technology in Ningbo. This study aims to provide valuable insights for reducing land-based nitrogen fluxes in coastal cities and enhancing water quality in coastal areas.

Keywords: Ningbo City; Urban wastewater treatment plant; Deep nitrogen removal; Sulfur autotrophic denitrification

为深入打好污染防治攻坚战、推动保护蔚蓝大海,生态环境部等七部门共同发布《重点海域综合治理攻坚战行动方案》^[1],要求实施长江口-杭州湾、珠江口邻近海域污染防治行动。宁波市管理海域位于杭州湾范围内,是打好重点海域综合治理攻坚战标志性战役的重点区域。截至2023年底,宁波市近岸海域水质优良比例(一类、二类比例)为52.9%,较“十三五”均值提升28.4%,海洋生态环境保护工作成效显著,但仍有约32.6%海域面积的水质类别为四类与劣四类海水^[2],无机氮是其中主要超标因子之一^[3,4]。

陆源总氮是海洋无机氮的主要来源^[5,6],总体上受农业种植、生活生产的影响较大^[7-10]。污水处理厂作为重要传输节点,通过污水处理厂进入海洋的氮量不容小觑^[11]。根据2015年全球尺度下的相关研究,污水排放对海洋氮的贡献量为6.2 Tg-N,其中63%来自污水处理厂出水^[12]。相较于污染排放涉及面广、管控难度大、尚无有效解决措施的农业面源氮排放,通过削减污水处理厂的点源总氮排放更为可控、有效^[13]。

1 宁波市城镇污水处理厂脱氮工作基础

目前宁波市列入浙江省建设系统的城镇污水处理厂共33家,总处理规模为301.5万吨/日,其中19家城镇污水处理厂出水最终排入杭州湾,9家排入象山港,2家排入象山东部海域,3家排入三门湾。生物处理结合深度处理的组合工艺是污水处理厂强化污染物包括总氮去除的主要方式之一^[14]。生物处理是其中的核心环节,通过控制溶解氧浓度形成缺氧环境,利用反硝化细菌将硝态氮转化为氮气^[15]。宁波市城镇污水处理厂主要利用反硝化深床滤池或高效沉淀滤池对生物处理后的残余污染物进行深度处理,确保出水水质达标,根据滤池形式和碳源投加量的不同,能去除0~5 mg/L总氮。

宁波市在2019年前全面执行国家一级A排放标准,总氮浓度控制在15(冬季18)mg/L以下。从2020年开始,宁波市开展新一轮污水处理厂能力提升和清洁排放提标改造,至2022年底实现所有生活污水厂出水水质均达到省清洁排放标准,总氮控制在新建厂10(冬季12)mg/L以下、现有厂12(冬季15)mg/L以下。目前全市33家城镇污水处理厂的夏季(4月1日至10月31日)总氮出水浓度约9 mg/L,冬季(11月1日至次年3月31日)总氮出水浓度约11 mg/L。

为充分响应环杭州湾区域水环境质量改善需求,宁波市积极开展污水处理厂深度脱氮探索工作。镇海污水处理厂应用硫自养反硝化技术实现深度处理,出水总氮可低于4(冬季9)mg/L,极限值可达到1.5 mg/L。由于硫氧化细菌以单质硫等物质为电子供体将硝酸盐还原为氮气,总氮削减的同时能够减少现有污水处理厂碳源投加,实现降碳提效。

2 宁波市城镇污水处理厂现状问题

(1)总氮输出过量。地表河流是总氮入海的主要途径之一^[5,16,17],除尾水直排河道外,宁波作为典型滨海缺水城市和再生水利用配置试点城市,再生水用于生态补水已成一定规模^[18],可以预见未来将有更多污水处理厂出水通过地表河流进入海洋,但宁波市现有城镇污水处理厂出水总氮浓度远高于地表水环境浓度(普遍<5 mg/L),输出过量的总氮在进入海洋之前会先对地表水环境造成影响。

(2)进水浓度偏低。污水处理中,在厌氧条件下,反硝化细菌能利用污水中的碳源作为氢供体,以硝酸盐作为电子受体消除污水中的氮^[19],但南方地区由于管网破损、雨污混流等原因,污水处理厂实际进水浓度普遍低于设计进水浓度^[20],导致反硝化细菌缺少适宜环境和电子供体。为保证出水达标,现有污水处理厂均在生化处理环节或者深度处理环节额外投加乙酸钠、甲醇等碳源进行强化,但该措施在增加运行成

本的同时还可能造成 COD 穿透^[21]。

(3) 土地存量不足。出水水质优化的实质是处理工艺的优化、升级或处理设施的新建、扩容,而这些改进多数需要土地空间的支撑,这在土地资源有限的城市中与既有土地之间产生了必然矛盾。宁波市在 2020~2022 年开展的污水处理厂能力提升和清洁排放提标改造工作中已经消耗了大量预留土地,现有污水处理厂的土地存量已不能满足以新增设施等方式实现总氮提标。

3 深度脱氮技术发展现状

3.1 国内外研究方向

异养反硝化是利用反硝化细菌在缺氧条件下,以有机物作为电子供体,将硝酸盐还原为氮气的处理技术^[19]。但因需外加碳源,且多数碳源用于微生物生长,导致产泥量较大、滤池反冲洗频率较高,同时可能存在出水 COD 超标的风险。

硫自养反硝化是在缺氧或厌氧条件下利用还原态硫(S^{2-} 、S、 SO_3^{2-} 等)作为电子供体,通过氧化还原态硫获取能量,同时以硝酸盐为电子受体,将其还原为氮气的处理技术^[22]。由于自养细菌无须外加碳源且生长缓慢,工艺运维成本较低,但存在运行可调控性较差,出水硫酸根增加,可能产生硫歧化反应影响出水^[23]等问题。

膜生物反应器是一种结合生物处理和膜分离技术的处理器,通过保持高生物活性提高处理效率进而减少占地面积和污泥产生量^[24]。膜生物反应器同样需外加碳源,能够实现出水总氮浓度在 5 mg/L 左右^[25]。但因膜组件造价较高、需提供动力、易受污染等特性,导致该技术成本较高、管理维护复杂。

人工湿地技术利用植物、动物、微生物的协同作用,通过吸附、微生物同化分解和植物吸收等途径去除水中氮、磷等污染物^[26]。人工湿地有着运行维护简单、缓冲容量大、生态景观价值高等优势,但土地占用面

积较大、对恶劣气候条件抵御能力弱、处理能力受作物长势影响。

3.2 优秀工程实例

东阳第一污水处理厂通过精准投加碳源、应用硫自养反硝化技术实现提标,可削减 5~6 mg/L 总氮,深度脱氮后的出水浓度为 5~6 (冬季 7~8) mg/L。

嵊新首创污水处理厂已通过加大碳源投加量、精准曝气进行控制,出水总氮浓度下降约 2 mg/L。计划通过应用硫自养反硝化技术进一步控制,深度脱氮后的出水浓度为 2~3 mg/L。

宜兴城市污水资源概念厂通过多段生化处理工艺、硫自养反硝化技术实现低氮出水,可削减 5~9 mg/L 总氮,深度脱氮后的出水浓度为 3~4 (冬季 4~5) mg/L。

4 深度脱氮技术比较与宁波应用

4.1 技术比较

土地需求。上述技术中膜生物反应器的土地需求最低(50~100 m²/万吨水),异养反硝化和硫自养反硝化的土地需求接近(约 200 m²/万吨水),相对较高,人工湿地的土地需求极高(≥ 6000 m²/万吨水)。土地是深度脱氮技术应用的限制性因素之一,根据城镇污水处理厂实际,可能存在部分技术无法适用的情况。

投资运维。工程建设成本方面,人工湿地、膜生物反应器一般无法通过现有设施改造,新建成本为 1200~3000 元/吨水;硫自养反硝化和异养反硝化可利用现有滤池进行改造,改造成本在 225 元/吨水左右,两者的新建成本也相对较低,约 475 元/吨水。运维成本方面,人工湿地最低(约 0.03 元/吨水),硫自养反硝化(约 0.11 元/吨水)和异养反硝化(约 0.17 元/吨水)其次,膜生物反应器最高(约 0.52 元/吨水)。

环境效应。深度脱氮均能通过有效减少排入水环境中的氮元素降低水体富营养化风险,在夏季上述

技术均能实现较低的出水浓度,但在冬季人工湿地削减效果较差。人工湿地在削减污染物的同时也能提供一定的景观和生态价值。异养反硝化和膜生物反应器需外加碳源,会增加整体碳排放;硫自养反硝化由于无须外加碳源^[22],可间接实现碳减排,但在过程中产生的硫酸根可能会影响地表水环境。

4.2 应用结论

宁波市多数城镇污水处理厂面临土地不足的情况,且尾水总氮需稳定达标,人工湿地由于土地需求极高、冬季脱氮能力较差,技术受限明显。膜生物反应器的设施结构与污水处理厂现有滤池有较大差异,应用技术需新建设施,整体性价比较低。

宁波市城镇污水处理厂进水 COD 浓度偏低,相比异养反硝化,硫自养反硝化的应用能够削减污水处理厂碳源投加量,能为践行绿色发展理念、落实节能减排责任提供助力。硫自养反硝化主要不足为反应过程中会生成硫酸根,但鉴于宁波市城镇污水处理厂出水最终汇入东海,且海洋硫酸根的本底浓度远高于污水处理厂硫酸根出水浓度,其相关影响可忽略不计。

综合比较来看,宁波市城镇污水处理厂深度脱氮改造可优先采用硫自养反硝化技术。

5 工作建议

1. 分步推进。结合城镇污水处理厂现状,分三个阶段推进尾水总氮提标工作。第一阶段,对市本级水务集团管辖的 6 家城镇污水处理厂根据现有条件先行先试;第二阶段,结合区(县、市)各城镇污水处理厂新改扩建计划,同步实施深度脱氮改造;第三阶段,对土地需求大、技改难度高的城镇污水处理厂实施深度脱氮改造。

2. 资金保障。积极争取中央预算内资金、中央污染防治资金、超长期特别国债等中央资金支持,同时充分发挥“两重两新”、ROT 等政策途径和融资模式

解决城镇污水处理厂改造资金。统筹市、区两级财政资金安排,保障污水处理运营。

3. 政策支持。加快水务一体化、管网建管养制度建设,推进城镇污水处理厂进水浓度与设计进水水质匹配。推行优质优价,实施污水处理服务费与污水处理厂总氮出水浓度的按效付费机制。

参考文献

- [1] 生态环境部 发展改革委 自然资源部 住房和城乡建设部 交通运输部 农业农村部 中国海警局. 关于印发《重点海域综合治理攻坚战行动方案》的通知:环海洋〔2022〕11 号 [EB/OL].2022-01-29 [2025-03-03]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-02/17/content_5674362.htm.
- [2] 宁波市生态环境局. 市生态环境局发布 2023 年宁波市生态环境状况公报 [EB/OL].2024-06-14 [2025-03-03].http://sthjj.ningbo.gov.cn/art/2024/6/14/art_1229051372_58910493.html.
- [3] 王姮,张玉荣,李子孟,等. 宁波杭州湾新区海域环境质量现状评价 [J]. 安徽农业科学,2020,48(21): 59-62.
- [4] 史凯文. 南方典型近岸海域无机氮与金属来源分析与评价 [D]. 厦门大学,2020.
- [5] 张晓丽,姚瑞华,严冬. 关于“十四五”海洋生态环境保护的几点思考 [J]. 世界环境,2020,(04): 16-18.
- [6] 戴爱泉,郝菁,陈亚男,等. 环胶州湾流域总氮总量控制指标体系研究 [J]. 海洋科学进展,2019,37(02): 342-354.
- [7] 董斯齐,黄翀. 粤港澳大湾区陆源氮污染来源结构与空间分布 [J]. 环境科学,2021,42(11): 5384-5393.
- [8] 程鹏,李明远,楼凯,等. 深圳河湾流域溢流污染规律及其对海湾水质的影响 [J]. 北京大学学报(自然科学版)

学版),2021,57(01):132-142.

[9] 徐媛,汤振怡,刁维强,等.渤海入海河流总氮污染根源分析及管控经验探索[J].环境保护,2024,52(Z2):30-35.

[10] 禹妹含,张熙堂,张宇轩,等.莱州湾入海河流总氮来源及季节性变化成因解析:以弥河为例[J].环境科学研究,2024,37(07):1423-1434.

[11] 周泉,王文静,任秀文,等.入海河流总氮污染溯源与综合管控对策研究——以东莞市为例[J].环境保护,2023,51(19):43-47.

[12] Tuholske C, Halpern B S, Blasco G, et al. Mapping global inputs and impacts from of human sewage in coastal ecosystems[J]. PloS one, 2021, 16(11): e0258898.

[13] 罗涛,常舰,李欲如.典型入海河流总氮污染控制对策研究——以临海市灵江为例[J].环境科学与管理,2023,48(06):43-48.

[14] 周爱军,王晓敏,梅荣武.浙江标准下的城镇污水处理厂提标改造工艺研究[J].环境污染与防治,2021,43(10):1316-1320.

[15] 聂海伦.城市污水处理厂总氮处理效能的提升[J].中国资源综合利用,2019,37(11):47-49.

[16] 张鹏,魏良如,赖进余,等.湛江湾夏季陆源入海氮磷污染物浓度、组成和通量[J].广东海洋大学学报,2019,39(04):63-72.

[17] 李志伟,崔力拓.秦皇岛主要入海河流污染及其对近岸海域影响研究[J].生态环境学报,2012,21(07):

1285-1288.

[18] 虞静静,王颖,季树勋,等.宁波市推进城市再生水利用的对策建议[J].浙江水利科技,2023,51(03):1-3+8.

[19] 辛明秀,赵颖,周军,等.反硝化细菌在污水脱氮中的作用[J].微生物学通报,2007,(04):773-776.

[20] 樊玲凤,胡家忠,欧亮.城市污水处理厂进水浓度偏低原因分析及对策研究[J].环境科学与管理,2016,41(03):132-135.

[21] 郑俊,程洛闻,张德伟,等.低滤层下不同C/N和碳源对反硝化生物滤池脱氮性能的中试研究[J].水处理技术,2022,48(10):92-97+103.

[22] 邓旭亮,王爱杰,荣丽丽,等.硫自养反硝化技术研究现状与发展趋势[J].工业水处理,2008,(03):13-16.

[23] 王鸿博,郑晓英,王慰,等.基于硫自养反硝化填料对城市污水厂二沉水的脱氮性能研究[J].水处理技术,2024,50(09):91-97.

[24] 周顺利,李敏,黄校春.MBR膜生物技术在生活污水处理中的运用探究[J].黑龙江环境通报,2023,36(05):147-150.

[25] 刘咪咪.膜生物反应器脱氮除磷工艺在城镇污水处理中的应用研究[D].兰州大学,2020.

[26] 王翔,朱召军,尹敏敏,等.组合人工湿地用于城市污水处理厂尾水深度处理[J].中国给水排水,2020,36(06):97-101.

宁波市海水养殖尾水达标排放的挑战与对策

■ 程冰凌 朱震杰(通讯作者) 李 俊 董静杰 陈新春 ■

(宁波市甬环苑环保工程科技有限公司,浙江省宁波市 315000)

摘 要 海水养殖业是宁波市农业经济体系中不可或缺的重要支撑,而养殖尾水达标排放是落实近岸海域生态环境质量与海水养殖产业竞争力“双提升”的重要指标之一。本文聚焦宁波市海水养殖尾水稳定达标排放这一目标,整合资料整理、现场调研、部门交流等方法手段,系统分析了我市海水养殖业与尾水治理工作基础,归纳总结了制约海水养殖尾水达标排放的主要因素,并从监管机制等方面针对性地提出了对策建议,旨在为我市海水养殖尾水治理与海水养殖业的绿色发展提供借鉴与参考。

关键词 海水养殖 尾水排放 监测监管体系 海洋生态环境

Challenges and countermeasures of tail water discharge for marine aquaculture in Ningbo

Bingling Cheng; Zhenjie Zhu (corresponding author); Jun Li; Jingjie Dong; Xinchun Chen

Ningbo Yonghuanyuan Environmental Protection Engineering Technology Co., Ltd.

Abstract: Marine aquaculture is an indispensable and important support for the agricultural economic system of Ningbo, and the discharge of aquaculture tailwater up to standard is one of the important indicators for implementing the "double improvement" of the ecological environment quality of coastal waters and the competitiveness of the marine aquaculture industry. This article focuses on the goal of stabilizing and meeting the discharge standards for marine aquaculture tailwater in Ningbo City. By integrating methods such as data compilation, field research, and departmental communication, it systematically analyzes the foundation of marine aquaculture and tailwater management in our city. It summarizes the main factors that restrict the discharge of marine aquaculture tailwater, and proposes targeted countermeasures and suggestions from the perspective of regulatory mechanisms. The purpose is to provide reference for the green development of marine aquaculture tailwater management and marine aquaculture industry in our city.

Keywords: Marine aquaculture; Tailwater discharge; Monitoring and supervision system; marine ecological environment

基金项目：国家自然科学基金青年科学基金项目 (No.42407495)

海水养殖能为人类提供高价值海产品,既减少了对陆地和淡水资源的需求,又可以充分保护和利用海洋生态系统,对推动区域经济社会可持续发展具有积极意义。根据《2024 年世界渔业和水产养殖状况:蓝色转型在行动》,2022 年全球海水养殖产量达到创纪录的 3530 万吨,生产区域主要集中在中国、印尼、印度等 10 个国家^[1]。我国是海水养殖第一大国,产量占全球 60% 以上,养殖区主要集中在山东、福建、广东等 10 个沿海省份^[2],养殖方式包括浅海、滩涂、池塘和工厂化养殖 4 种,且整体向池塘多营养层次化、智慧工厂化、深水网箱等方向发展。

海水养殖尾水中含有营养盐、有机质等物质,伴随着池塘养殖规模化和设施化的快速发展,尾水产生量迅速增加。由于海域开发布局未充分考虑养殖尾水排放需求、尾水排污不规范、处理设施运维不到位、处理技术储备不充分等原因,使得未处理或处理不当的海水养殖尾水直接进入海洋,导致我国部分近岸海域海水中营养盐含量升高、水质恶化^[3]。对此,我国已发布 1 项海水养殖尾水排放国家标准和 10 项地方标准,对总氮、总磷、悬浮物、pH 和化学需氧量 5 项指标的浓度做出限定^[4]。宁波拥有广阔的海域面积和丰富的海洋资源,一直以来都是海水养殖的重要基地^[5]。近年来,我市深入推进绿色健康养殖技术推广“五大行动”,努力探索助推浙江省《海水养殖尾水排放标准》宁波落地的具体举措,在取得积极成效的同时,也面临一些困难与挑战。文中主要根据调查结果分析宁波市海水养殖发展现状、存在问题,并针对性提出对策建议。

1. 现 状

1.1 宁波市海水养殖发展现状

宁波市海水养殖整体呈现空间跨度广、区域差异大的特点。截至 2024 年底,我市海水养殖总面积约 48.1 万亩,养殖年产量约 47.6 万吨,主要集中在象山县、宁海县、慈溪市、奉化区、鄞州区,养殖面积分别

为 17.9 万亩、17.8 万亩、8.8 万亩、1.9 万亩、1.6 万亩,养殖面积占比分别为 37%、37%、18%、4%、3%。养殖方式主要包括滩涂、池塘、浅海养殖,养殖面积分别为 21.7 万亩、16.1 万亩、10.4 万亩,养殖面积占比分别为 45%、34%、21%。宁海县海水养殖以滩涂养殖和池塘养殖为主,养殖面积占比分别为 47%、46%。象山县浅海、池塘、滩涂养殖面积占比分别为 45%、32%、23%,慈溪市滩涂养殖面积占比 100%。奉化区和鄞州区以池塘养殖为主,面积占比分别为 49%、70%。

宁波市海水养殖呈现出养殖方式多元、养殖品种多样、养殖过程各异的特点。其中,筏式养殖主养品种包括紫菜、海带、贝类等,滩涂养殖工具主养品种包括缢蛏、泥蚶等贝类。筏式和滩涂养殖基本不投饲料和药物,主要依靠海水中营养物质养成,能较充分地利用海洋资源、且兼具固碳功能^[6]。除象山县“东海 1 号”深远海养殖平台外,我市网箱养殖工具主要为普通网箱,主养品种为大黄鱼、鲈鱼、黑鲷、美国红鱼^[7]。由于网箱养殖投喂冰鲜杂鱼现象仍然存在,这对渔业资源和海洋环境造成一定影响。池塘养殖分为连片池塘和设施化养殖 2 种,需要人工投加饲料,尾水中携带的营养盐、有机物等物质,直排入海或处理不到位会影响近岸海域水质。其中,50 亩以上规模化连片养殖厂 241 家,占池塘总面积的 80%,养殖模式以虾、蟹、贝混养为主;设施化养殖厂 78 家,占池塘养殖总面积的 13%,主养品种为南美白对虾。工厂化循环水养殖 4 家,如象山县诺帝克水产有限公司,养殖种类为三文鱼,尾水经过处理能够重复使用,尾水排放量和环境风险较小。

1.2 宁波市海水养殖尾水治理基础

宁波市持续推进海水养殖尾水污染治理工作,从市级和区(县、市)级层面印发系列规划方案。其中,市级层面相继印发《宁波市水产养殖尾水治理方案(2018-2022)》《关于加强宁波市水产养殖尾水处理设施运维长效管理工作的指导意见》《宁波市水产养殖尾水处理能力评估方案》《宁波市水产绿色健康

养殖技术推广“五大行动”工作实施方案》《海水池塘养殖尾水“藻贝植”处理技术规范》等尾水治理方案,从落实养殖尾水设施建设、强化管理维护及提升尾水处理能力、加强水质监测等方面全力推进养殖尾水治理,海水养殖尾水排放在《海水养殖尾水排放标准》(DB33/1384—2024)实施前(2025年10月15日)执行《中华人民共和国水产行业标准》(SC/T 9103—2007)。区(县、市)级层面先后印发《水产养殖尾水全域治理实施方案》《规模化水产养殖户尾水治理技术方案》《水产养殖尾水处理设施运行管理办法》等尾水治理实施方案,有力推动了养殖尾水治理和资源化利用。

按照“试点推广、点面结合”的治理方式,宁波推动30亩以上规模海水养殖尾水治理全覆盖。2018年至2022年,农业农村部门按照“一模式一方案、一场一策”的技术要求,市级开展海水养殖尾水治理示范建设,区(县、市)级落实规模以上海水养殖尾水设施全覆盖工作。五年内市级累计投入资金3800余万元,建成156个养殖尾水治理示范点,尾水治理面积14.3万亩,基本实现了全市30亩以上规模池塘养殖尾水治理全覆盖的目标。同时,持续推进养殖尾水跟踪监测和尾水设施处理能力评估,监测评估点位从2018年的61个增长至2024年的610个,监测评估范围由养殖尾水治理示范点扩面至集中养殖区、重点养殖企业不同养殖期的进水、池塘水、排水口,为尾水处理能力持续提升提供数据支撑。

调查结果显示,宁波市海水养殖尾水处理工艺包括生态浮床(浮岛)、三池两坝、藻-贝-植、移动床生物膜工艺(MBBR)等。其中,连片养殖采用生态浮岛、生态滤床等异位生态方式处理尾水,主要通过海马齿、红树秋茄等水生植物吸收和微生物代谢去除尾水中氮、磷等污染物。受到尾水处理场地和经济成本限制,约90%的设施化养殖池塘采用“三池两坝”技术处理尾水,即通过沉淀池、曝气池、生态净化池与两道过滤坝的有机结合去除尾水中的污染物^[8],尾水处理设施面积约占养殖总面积的10%;其余10%的设施化养殖厂采用“藻-贝-植”技术处理尾水,即在“三池两坝”

工艺的基础上,利用曝气池在藻类增殖后进行贝类培育,然后利用生态净化池中的海马齿等水生植物进一步吸收尾水中的营养物质^[9],高密度养殖中尾水处理设施面积需占养殖总面积的40%。工厂化养殖主要采用移动床生物膜工艺,即主要通过曝气器和生物填料形成由微生物构成的生物膜^[10],从而降解有机物和营养盐等污染物,实现尾水循环利用和达标排放。

2. 存在问题

2.1 产业规划设计韧性差

一是生产集聚程度较低。宁波市海水养殖整体上呈狭长带状分布,1000亩以上养殖主体数量占比不足10%,90家50亩以下养殖主体分散在裘村镇、石浦镇、咸祥镇、一市镇等30个镇乡(街道),导致产业规模化、集约化发展,系统化管理受到限制。二是工厂化养殖占比小。目前宁波市陆基海水养殖以连片池塘混养为主,工厂化循环水养殖厂仅有诺帝克水产有限公司等4家,养殖面积占比不足1%,使得海水养殖智慧化、数字化水平不足。三是进排水沟渠未区分。池塘建设初期受工程建设成本、水系结构等因素影响,宁波市绝大部分连片养殖塘的进水和排水同用一条沟渠,造成沟渠蓄水量有限、换水频次受潮汐影响大、尾水中悬浮物等物质的沉淀时间短。

2.2 尾水稳定达标排放难

一是底泥污染物释放减量难。养殖过程中未被吸收的养分会沉积至底泥中,宁波市海水养殖底泥资源化利用率低、部分养殖池塘清淤不及时,使得底泥中所储存的大量颗粒物、氮、磷、有机物会重新释放至水体,导致换水环节尤其是清塘期间悬浮物等超标。二是尾水处理设施轻管养。目前30亩以上海水养殖场均已完成尾水处理设施建设,但由于进口水产品冲击导致农户养殖利润大幅度下降,经济成本成为养殖户首要考虑的问题,故而不重视尾水治理。所以,部

分区域池塘养殖仍存在尾水处理设施损坏或长期闲置未运行的现象,导致尾水处理效果大打折扣。三是尾水治理工艺待提升。池塘养殖尤其是设施化养殖的现有尾水处理空间不足,使得产品收获、清塘等尾水集中排放期污染物的排放量超出设施的最大处理负荷,导致尾水水质超标。

2.3 养殖监测监管有短板

一是尾水监测体系不够健全。现有海水养殖尾水排放口标志牌设置率较低,尾水监测点位或频次覆盖率不够,设施化养殖厂尾水自动监测能力不足,导致尾水排放超标主体动态清单不够完整。二是尾水处理监管不够有力。各区(县、市)均已出台《水产养殖尾水处理设施运维管理办法》,但市、县、乡三级对尾水处理设施运维联动监管机制不够健全,乡镇基层尚未形成网格化管理,专人监护责任未得到有效落实,导致尾水治理监管合力不足。三是责任认定链路不够畅通。按照《海水养殖尾水排放监测技术指南》,围塘连片养殖尾水监测点须设置在治理设施末端,结合我市尾水治理设施实际安放位置,监测点一般设在入海河流闸口(内侧)。由于一个监测点往往涉及上游多个养殖片区,而每个养殖片区又覆盖多个养殖主体,导致超标点位整改责任主体的认定难度较大。

3. 建议与对策

3.1 构建分类别全环节技术优化机制

一是梳理优化主体基础清单。结合《海水养殖尾水排放标准》与海水养殖尾水监测数据,系统分析全市50亩以上连片池塘和设施化养殖主体尾水超标情况,并依据总氮等5项水质指标的浓度超标程度和超标频率等因素,科学划定超标养殖主体的整改优先级别,形成全市海水养殖重点优化主体和一般优化主体清单。二是建立全环节技术资料台账。聚焦基础清单中的优化主体,全面摸清各超标主体养殖全流程底数资料,

形成各超标主体清塘、肥水调控、苗种培育、饲料投喂、收获清塘、尾水治理等全部养殖环节的电子台账,摸清污染物来源。三是落实主体分类优化整改举措。对照海水养殖技术指南和各主体资料台账,研判识别各优化主体养殖环节中存在的技术短板,并分别对重点优化主体和一般优化主体的处理技术短板进行重塑和微调,现有技术手段难以达到经济可行的部分可适当采取退养等方式进行合理取缔。同时围绕养殖密度、投饵换水、池塘清淤、尾水处理等方面制定落实“一主体一对策”优化整改方案,助力养殖尾水达标排放。

3.2 健全养殖尾水监测监管工作体系

一是建立标准化尾水监测方法。围绕《海水养殖尾水排放标准》适用范围的海水养殖主体,在尾水处理设施末端设置监测点位,并根据养殖品种及生产模式特点确定监测频率,尾水监测须覆盖清塘期、收获期等主要排水环节、每年采样频次不少于3次,监测项目包括总氮、总磷、高锰酸盐指数、pH、悬浮物5项指标,编制形成监测数据报表和分析报告。推动在线监测、大数据监管等技术应用,鼓励开展进水水质监测和污染物排放总量监测,逐步实现工厂化和设施化养殖厂尾水自动监测。二是创新竖牌式养殖监管模式。结合《关于印发排放口标志牌技术规格的通知》的相关规定,在尾水监测点树立排放口标志牌,内容包括养殖片区责任主体、上次监测时间及达标状况、尾水处理方式、养殖基本情况(规模、品种、模式、周期等)、排放口编号5大信息板块。全面推行“一口一责任人”机制,对于单一养殖主体的排放口,责任人由该主体担任;对于涉及多个养殖主体的排放口,责任人由属地政府与养殖主体协商确定。实行标志牌绿、红两色管理,分别对应尾水达标和超标排放,由责任人落实红色标志牌片区尾水达标整改,对于反复优化整改后仍不达标的,采取关停整治措施。整合排放口位置、排水水沟渠、尾水监测结果、检查执法记录表等资料数据,以数赋能推进海水养殖数字化监管平台建

设,做到排放口尾水达标情况、排放口对应养殖片区发展、片区养殖主体工作台账等信息“一键可查、一屏掌握”。三是构建常态化联动工作机制。突出主管部门联动,对尾水处理排放等环节进行联合检查,合力推进监测点位筛选、养殖工艺优化、责任主体确定、数据共享等工作,实现闭环式全周期管理。实施条线上下联动,由县级部门对所有排放口开展月度监测和数据上报,市级部门对同批样品的监测结果进行抽查核验,提升尾水监测结果准确性。注重群众政府联动,持续深化专题培训、宣传活动、环保信访等机制的桥梁纽带作用,形成多元主体参与的共建共治共享格局,努力实现生态环境治理与关联产业融合发展。

3.3 培育海水养殖综合整治试点项目

一是多角度论证综合整治试点可行区块。聚焦宁海县旗门塘、蛇蟠涂与高湖塘片区,象山县环石浦港与西沪港斑斓海岸片区,奉化区渔光互补片区等重点养殖区域,从池塘连片程度、取水方便程度等自然地理条件以及土地流转难度、地方财政额度等经济社会条件综合研判各片区作为综合整治试点的可行性,形成我市试点项目储备库。二是多主体编制综合整治试点项目规划。结合《海水养殖尾水排放标准》等文件要求,在试点区块养殖主体、行业主管部门以及属地政府充分协商达成一致的基础上,委托专业机构围绕空间布局、养殖模式、尾水处理工艺、全周期数字化管理、自动监测体系等方面编制片区养殖规划书,全方位体现试点片区在我市海水养殖业中的示范引领作用。三是多渠道落实综合整治试点资金保障。基于试点片区项目规划书和片区条件,针对性地申报中央生态环境资金项目、生态环境导向的开发项目(EOD)、地方政府专项债券项目等各类资金支持的项目,充分释放我市包括尾水处理设施升级改造在内的海水养殖绿色发展相关扶持政策红利,探索“地方政府建+养殖主体租”等运营模式,发挥国资引领撬动作用,多措并举做好试点项目建设和运营的资金保障。

4. 结 语

作为海水养殖的大市,尾水治理是海水养殖业绿色发展绕不开的课题。文中针对海水养殖过程中遇到的困难,提出解决建议,旨在助力海水养殖业高质量绿色发展。

参考文献

- [1] 联合国粮食及农业组织.《2024年世界渔业和水产养殖状况:蓝色转型在行动》[R]. 罗马, 2024.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会.《2024年中国渔业统计年鉴》[M]. 中国农业出版社,北京,2024.
- [3] 李晓光,吕旭波,王艳,等.我国海水养殖现状及生态环境监管分析[J]. 环境保护, 2022, 50(13): 46-49.
- [4] 马晓娜,翟堂芳,吴子恒,等.国外养殖尾水排放要求对中国水产养殖业绿色发展的启示[J], 2024, 39(02): 337-348.
- [5] 金信飞,刘红丹,刘又毓,等.宁波市水产养殖现状及发展思路[J]. 现代农业科技, 2018, (24): 230-231.
- [6] 焦琦斐,李鹏,吴昕浩,等.海洋渔业碳汇估算方法与应用研究——以环渤海地区为例[J]. 地理研究, 2024, 43(06): 1611-1626.
- [7] 游宇,李水根,廖碧钗,等.福建配合饲料替代幼杂鱼现状分析与对策建议[J]. 中国水产, 2023, (11): 48-51.
- [8] 王磊,张哲,王文君,等.“三池两坝”多级池塘对凡纳滨对虾工厂化海水养殖尾水的处理效果研究[J]. 海洋环境科学, 2023, 42(05): 720-728.
- [9] 王海航,沈亦军,黄呈炜,等.海水养殖尾水资源化利用模式初探[J]. 中国水产, 2024, (01): 93-95.
- [10] 李月,张宇雷,吴凡,等.移动床生物膜反应器处理低浓度氨氮养殖废水试验[J]. 渔业现代化, 2014, 41(04): 11-16.

含油污泥处理用超支化响应型纳米乳液 清洗剂的研究与应用

■ 吴文炜^{1,3} 单文逾³ 郭晓培² 赵 聪² 王耀国² 陶 震^{2,3} 周树杨³ 任 赞³ ■

(1. 宁波锋成先进能源材料研究院有限公司, 浙江省宁波市 315000

2. 宁波锋成纳米科技有限公司, 浙江省宁波市 315000

3. Kazakhstan British University of Technology, Almaty 050000, Kazakhstan)

摘 要 针对目前含有界面活性沥青的含油污泥热化学清洗中存在的乳化除油困难、原油和药剂无法回收导致成本高的问题,制备了以多臂型高活性超支化纳米 POSS 材料为主剂,助表面活性剂等为辅助成分形成的超支化响应型纳米乳液。该纳米乳液具有良好的 pH 响应性能,原油乳化率大于 80%,改变 pH 后乳液可自动破乳且破乳率大于 90%。超支化响应型纳米乳液清洗大港某地区的 2 种油泥底泥含油均小于 2%,循环次数均大于 20 次,效果优于竞品,超支化响应型纳米乳液多次响应后再清洗大港 2 种油泥效果依旧良好。该清洗剂清洗油泥处理工艺简单、高效、安全,现场应用效果良好。

关键词 纳米 POSS 材料 超支化 响应型乳液 含油污泥

1. 背 景

我国每年油田产生含油污泥 5×10^6 t, 炼油厂产生含油污泥 3×10^5 t, 每年新增含油污泥处理市场空间 5 亿元左右,同时历史遗留的含油污泥处理问题也占有很大一部分的市场空间^[1]。含油污泥是石油生产加工过程中产生的主要污染物质之一,且成分复杂、毒性较高、污染程度大。随着新环保法和绿水青山就是金山银山理念的提出,我国对环保的整治力度正逐步加大,对含油污泥的高效处理提出了更严格的要求。为了减少含油污泥对环境的污染和对人类健康的影响,含油污泥的高效处理方法已成为整个石油

行业重点突破对象。国内外对含油污泥的处理技术已开展了大量研究,主要可分为热处理法、物理化学法、生物法以及新型处理技术等^[2-5]。目前常见的含油污泥处理技术有热洗法、溶剂萃取法、热解法等。

热洗法通常以一定比例的热水和化学药剂混合作为化学清洗剂,通过搅拌、加热,使化学清洗剂发挥作用^[6],从而破坏含油污泥的油相和油泥界面,使其黏度降低,实现含油污泥中有机物质的分离。美国环保局最先采用热洗法处理含油污泥,我国后续也接连展开了对该方法的研究和探索。赵旂楠^[7]等采用热洗法对西部某油田含油污泥进行了更为深入的研究,通过改变化学清洗剂浓度、反应温度、搅拌时间、搅拌

强度等实验条件参数,得到了较好的处理结果。处理后的污泥含油率显著降低,达到了我国炼油厂回收利用的标准,并且具有较高的价值和收益。梁宏宝等^[8]利用吉林油田含油污泥筛选出有利于三相分离的阴离子表面活性剂、非离子型表面活性剂及无机絮凝剂进行复配,在最佳工况条件下,含油污泥的脱油率达96.75%。王银生^[9]采用化学热洗法处理长庆油田第二采油厂的含油污泥,研究发现当热洗时间为40 min时,石油烃去除率有85%以上,随着热洗时间增加,去除率趋于平缓。Chen等^[10]研究了塔河油田含油污泥在不同液固比条件下的清洗效果影响,发现当液固比为3:1时,残油率最低且低于2%。

油泥难以清洗的主要原因是其表面附着有一种界面活性高、吸附性强的界面活性沥青 IAA, 其会与泥土颗粒形成多层吸附界面膜, 这样导致泥中油污难以被去除, 普通的热化学清洗法乳化原油后无法破乳回收药剂与原油, 而溶剂萃取法和热解法都存在着成本高、操作复杂的缺点。因此寻找一种既能高效乳化原油又能破乳回收药剂和原油的药剂是有必要的。

Lu^[11]等人提出了一种二氧化碳响应型表面活性剂,能有效洗除固体表面油污,同时在“OFF”状态后快速破乳,应用于加拿大油砂中的原油采集。但是,二氧化碳响应用于油泥处理,成本太高,而且工艺无法实现,因为油泥处理过程无法形成密闭系统,而pH响应型材料更加符合实际应用的条件。同时,纳米颗粒可附着在油水界面形成立体屏障,从而乳化稳定油水乳液微纳固体颗粒形成稳定油水乳液。当油水界面张力降低、接触角 $90^\circ < \theta < 180^\circ$, 在水力冲击下油污被完全卷缩带走(图1),另外需要乳化除油的时候,如果药剂本身就有纳米颗粒的存在,将会使沥青质不易聚并,从而更好地乳化除油,而需要油水分离时,又可以通过其他手段将纳米颗粒失活,从而使原油重新聚并,实现破乳收油。超支化聚合物是一类高度支化的三维大分子,超支化聚合物支化点多,分子链不易缠结,黏度不随着分子量的增加而改变,

且具有丰富的末端官能团,易对其进行修饰改性,有利于合成多样的功能性材料^[12]。因此,超支化pH响应型纳米乳液的研发对于含油污泥清洗行业有重大意义。

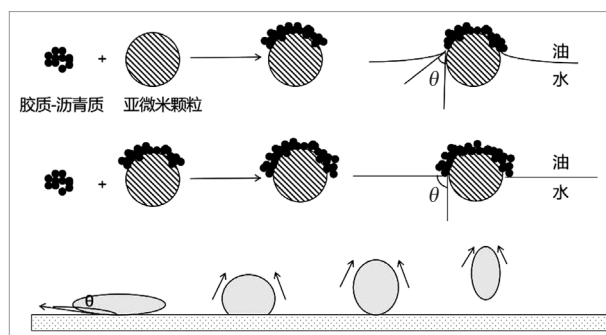


图1 油污去除机理图

2. 实验部分

2.1 材料与仪器

2.1.1 材料

多臂型高活性超支化纳米 POSS 材料 HNS (来自锋成先进能源材料研究院有限公司)、一乙醇胺、十二烷基苯磺酸钠(SDBS)、马来酸酐,以上均为AR,去离子水,实验室自制。

2.1.2 仪器

LT-21A 红外测油仪,北京晨欣慧创环保科技有限公司; PHS-3EpH 计,上海仪分科学仪器有限公司。

2.2 乳液制备

取7.6g一乙醇胺,2.3g十二烷基苯磺酸钠,2.4g马来酸酐溶于80.4g去离子水,再加入7.3g多臂型高活性超支化纳米POSS材料HNS,超声10min后即得到超支化响应型纳米乳液NM-02。

2.3 响应性实验

2.3.1 响应特性测试方法

向NM-02中加入草酸或氢氧化钠来调节乳液的pH值,通过观察乳液的状态来判断是否存在响应

特性。

2.3.2 原油乳化率测试

在 50mL 离心管中分别加入一定质量的原油和超支化响应型纳米乳液(以下统称 NM-02),将离心管放入振荡器中振荡 30min,再以 3000r/min 的速度离心 3min,记录乳化层的体积,取下层乳化层通过红外测油仪测试乳液中的含油率。按式(1)计算原油乳化率:

$$\eta = \frac{w \times m_1}{m_2} \quad (1)$$

式中:

η ——原油乳化率, %

m_1 ——超支化响应型纳米乳液质量, g

m_2 ——原油质量, g

w ——含油率, %

2.3.3 原油破乳率测试

在 50mL 离心管中分别加入一定量的原油和 30g NM-02,将离心管放入振荡器中振荡 30min,再以 3000r/min 的速度离心 3min,记录乳化层的体积,取下层乳化层通过红外测油仪测试乳液中的含油率 w_1 。将乳化层分离出来,加入 0.6g 氢氧化钠,搅拌至固体完全溶解,以 3000r/min 的速度离心 3min,取下层清液通过红外测油仪测试乳液中的含油率 w_2 。按式(2)计算原油破乳率:

$$\alpha = (1 - \frac{w_1}{w_2}) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

α ——原油破乳率, %

w_1 ——破乳后含油率, %

w_2 ——破乳前含油率, %

2.4 大港不同区块油泥循环清洗实验

2.4.1 大港 1 号油泥循环清洗实验

称取 10g 大港 1 号油泥于 100mL 烧杯中,按固液比 1:3 加入 30g NM-02,在温度 50℃、转速 300r/min

下搅拌清洗 30min,将清洗结束后的油、泥、药剂转移到 50mL 离心管中,在转速 3000r/min 下用离心机离心 3min,收集上层液相,底泥用砂芯漏斗进行抽滤,合并所有液相用于下一次循环清洗,分离出的底泥根据 HJ 1051 2019 标准,通过红外测油仪测试烘干底泥含油率,循环清洗 20 次。

2.4.2 大港 2 号油泥循环清洗实验

称取 10g 大港 2 号油泥于 100mL 烧杯中,按固液比 1:3 加入 30g NM-02,在温度 50℃、转速 300r/min 下搅拌清洗 30min,将清洗结束后的油、泥、药剂转移到 50mL 离心管中,在转速 3000r/min 下用离心机离心 3min,收集上层液相,底泥用砂芯漏斗进行抽滤,合并所有液相用于下一次循环清洗,分离出的底泥根据 HJ 1051 2019 标准,通过红外测油仪测试烘干底泥含油率,循环清洗 20 次。

2.5 循环响应清洗实验

2.5.1 大港 1 号油泥循环响应清洗实验

称取 10g 大港 1 号油泥于 100mL 烧杯中,按固液比 1:3 加入 30g NM-02,在温度 50℃、转速 300r/min 下搅拌清洗 30min,将清洗结束后的油、泥、药剂转移到 50mL 离心管中,在转速 3000r/min 下用离心机离心 3min,收集上层液相,底泥用砂芯漏斗进行抽滤,分离出的底泥根据 HJ 1051 2019 标准,通过红外测油仪测试烘干底泥含油率。合并所有液相,向液相中加入 0.6g 氢氧化钠,搅拌至固体完全溶解后将液相转移至 50mL 离心管中,在转速 3000r/min 下用离心机离心 3min,将离心后的液相倒入 50mL 分液漏斗中,分离纳米乳液与原油,向纳米乳液中加入 0.68g 草酸,搅拌至固体完全溶解后用于下一次油泥清洗,循环清洗 20 次。

2.5.2 大港 2 号油泥循环响应清洗实验

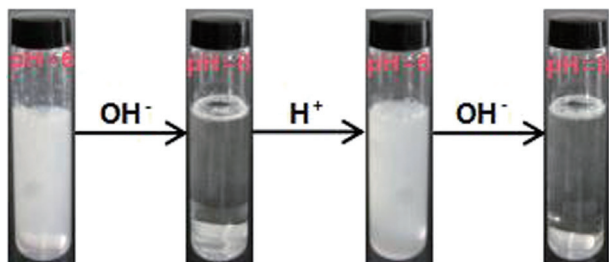
称取 10g 大港 2 号油泥于 100mL 烧杯中,按固液比 1:3 加入 30g NM-02,在温度 50℃、转速 300r/min 下搅拌清洗 30min,将清洗结束后的油、泥、药剂转移

到 50mL 离心管中,在转速 3000r/min 下用离心机离心 3min,收集上层液相,底泥用砂芯漏斗进行抽滤,分离出的底泥根据 HJ 1051 2019 标准,通过红外测油仪测试烘干底泥含油率。合并所有液相,向液相中加入 0.6g 氢氧化钠,搅拌至固体完全溶解后将液相转移至 50mL 离心管中,在转速 3000r/min 下用离心机离心 3min,将离心后的液相倒入 50mL 分液漏斗中,分离纳米乳液与原油,向纳米乳液中加入 0.68g 草酸,搅拌至固体完全溶解后用于下一次油泥清洗,循环清洗 20 次。

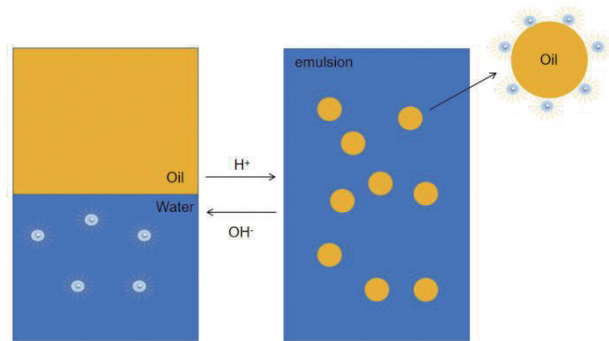
3. 结 果

3.1 响应性实验结果

3.1.1 响应特性测试结果



(a) NM-02 pH 响应现象



(b) 响应性机理

图 2 NM-02 响应性实验和机理

由图 2(a) 可以看到,通过加入氢氧化钠使乳液 pH 增加至 8 时, NM-02 从乳液状态变为澄清状态,

加入草酸使乳液 pH 降低至 6 时, NM-02 再次变为乳液状态。这是由于 NM-02 中羧基在 pH 变化时质子化或去质子化,从而影响了乳液的稳定性,使之产生 pH 响应特性(图 2)。

3.1.2 乳化增溶能力测试结果

当 NM-02 体系 pH 为酸性时,加入不同比例的原油并振荡 30min,离心分液后通过红外测油仪测试乳液中的含油率,由图 3 可以看到,当原油在纳米乳液中的占比小于 5% 时, NM-02 对原油的增溶率都大于 80%,这证明了 NM-02 具有良好的乳化增溶能力;当原油在纳米乳液中的占比大于 10% 时,增溶率开始下降,这也说明 NM-02 的乳化增溶能力受到原油量的影响。

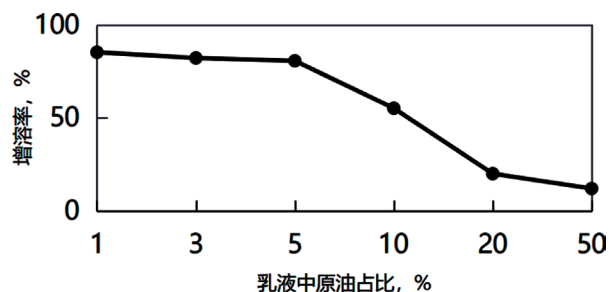


图 3 酸性条件下 NM-02 对原油的乳化增溶效果

3.1.3 破乳能力测试结果

向上述乳化了原油的乳液中加入氢氧化钠使之呈碱性即可实现破乳,离心分液后通过红外测油仪测试乳液中的含油率,由图 4 可以得知,破乳后下层清

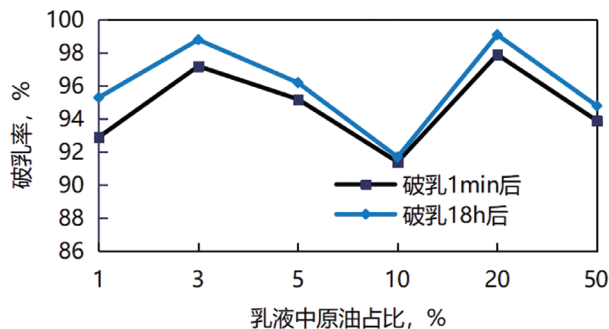


图 4 偏碱性条件下 NM-02 对原油的破乳率

液中基本没有原油,破乳率都在 90% 以上。同时,破乳 1min 后的破乳率与破乳 18h 后的破乳率相差不大,证明破乳过程能在短时间内就迅速完成,这也证明了 NM-02 优秀的响应性能。

3.1.4 pH 循环响应测试结果

为了进一步验证纳米乳液的 pH 响应可循环性,考虑到原油占比 > 5% 时, NM-02 对原油的增溶能力受限,因此确定原油占比 5%,开展了 6 次 pH 响应实验,即初始偏酸性条件下纳米乳液可与原油形成较好的乳状液(①),通过加碱后使纳米乳液与原油破乳(②),再通过加酸继续形成乳化状态(③),以此类推,循环调控,经过 6 次仍可保证乳液破乳率在 80% 以上,如图 5 所示,证明了乳液具有乳化与破乳可逆性,为含油污泥热化学清洗提供了循环回用的可能,可大幅降低药剂使用成本。

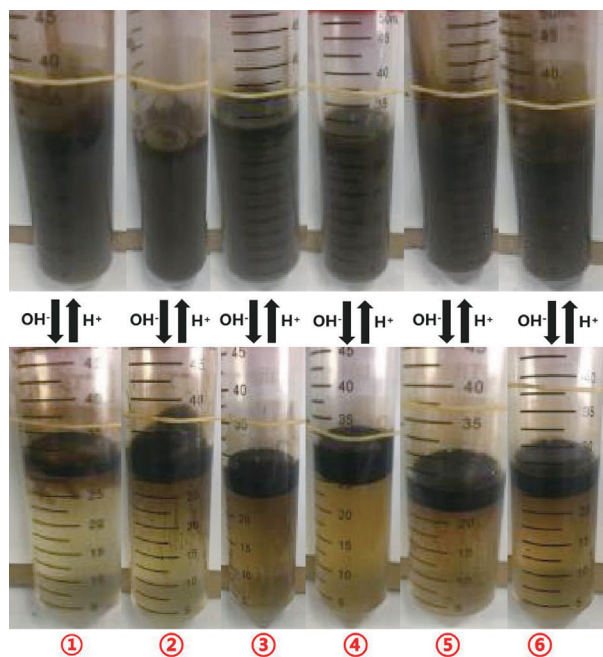
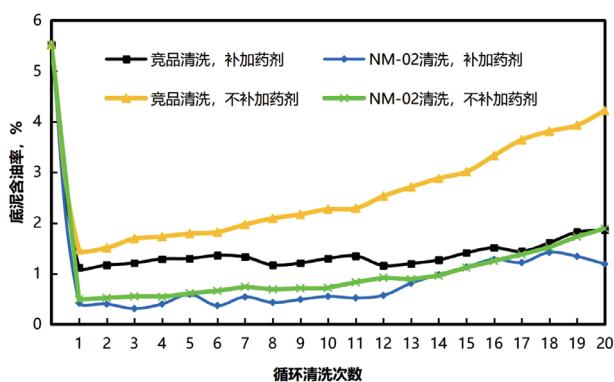


图 5 NM-02 对原油的破乳与乳化 pH 循环响应过程

3.2 中国东部某油田含油污泥循环清洗现场应用

由图 6 可以得到,在补加药剂至固定比例的条件下, NM-02 循环清洗中国东部某油田含油污泥能够

多次稳定地使底泥的含油率小于 1.5%, 多次使底泥含油率小于 1%, 而竞品清洗后底泥含油率都在 1%~2%。同时,在不补加药剂的情况下 NM-02 清洗后依旧使底泥含油率稳定小于 2%, 而竞品循环清洗后底泥含油率均大于 2%, 这证明了 NM-02 优秀的清洗性能。另外,考虑到 NM-02 可以利用响应性破乳出原油,重新使药剂具有洗油性能,所以 NM-02 具有更大的性价比优势。相关药剂目前已在该油田应用处理上万吨,现场应用效果良好,其中现场工艺流程如图 7 所示。



(a) NM-02 和竞品循环清洗效果



(左:原始油泥;中:竞品清洗后油泥;右: NM-02 清洗后油泥)
(b) 大港 1 号油泥清洗后效果

图 6 NM-02 和竞品清洗大港 1 号油泥结果

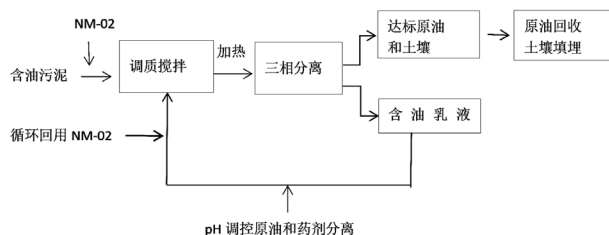


图 7 NM-02 现场应用工艺

4. 结 论

本文以多臂型高活性超支化纳米 POSS 材料,与表面活性剂、无机盐等制备成了超支化响应型纳米乳液 NM-02, NM-02 可以通过 pH 调节控制乳液的状态, pH 为酸性时乳化增溶率为 80% 以上,调节 pH 为碱性后破乳率为 90% 以上,且具有循环响应性,多次循环回用后仍具有良好的清洗效果。

NM-02 循环清洗 20 次中国东部某油田含油污泥均能使底泥含油率小于 1.5%, 相比于竞品具有明显优势, 且现场应用效果显著, 该技术在大规模含油污泥处理以及提高地层原油采收率方面具有巨大的应用潜力。

NM-02 因其独特的循环响应性能和优异的循环清洗效果, 大幅提高了含油污泥处理效果并节约了成本, 产生的废油、废水、废土等都严格按照环保标准进行达标处理并回用, 实现了危险废物安全、合理、达标的资源回收利用, 具有显著的环保、经济和社会意义。

参考文献

- [1] 陈忠喜. 含油污泥处理工艺技术现状及其展望 [J]. 油气田地面工程, 2020, 39 (10): 1-7.
- [2] LÜ Q W, LIN S H, BAI J S, et al. Thermogravimetric-infrared combined (TG-FTIR) analysis of mixed pyrolysis characteristics of oily sludge-waste tires[J], Chemical Industry and Engineering Progress, 2017, 36 (12): 4692-4699.
- [3] ZUBAIDY E A H, ABOUELNASR D M. Fuel recovery from waste oily sludge using solvent extraction[J]. Process Safety & Environmental Protection, 2010, 88 (5): 318-326.
- [4] BAO M T, WANG B, LI X M, et al. Study on biological treatment technology of oily sludge[J]. Journal of Natural Resources, 2007 (6): 865-871.
- [5] ZHAO X F, ZHANG X Y, LIU L X, et al. Prospect of new sludge treatment technology[J], Chemical Industry and Engineering Progress, 2016, 35 (s1): 276-280.
- [6] 侯影飞, 黄朝琦, 秦志文, 等. 含油污泥处理技术研究进展 [J]. 当代化工, 2020, 49 (3): 631-637.
- [7] 赵旂楠, 姚远. 落地油泥热化学清洗研究 [J]. 矿冶, 2018, 27 (6): 78-81.
- [8] 梁宏宝, 刘福生, 陈博, 等. 含油污泥热化学清洗剂的研制与清洗效果实验分析 [J]. 环境工程学报, 2017, 11 (11): 6117-6123.
- [9] 王银生. 长庆油田第二采油厂含油污泥处理技术研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2017.
- [10] Chen G, Cheng C, Zjamg J, et al. Synergistic effect of surfactant and alkali on the treatment of oil sludge[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2019, 183 : 106420.
- [11] Lu, Yi, et al. "Advanced Switchable Molecules and Materials for Oil Recovery and Oily Waste Cleanup." Advanced Science, 2021, 2004082.
- [12] 秦笑梅, 陈亚培. 超支化聚合物的合成及应用研究进展 [J]. 化工新型材料, 2020, 48 (7): 6-10.

危险废物焚烧系统控制参数的分析与调节策略研究

■ 蒋奇军 胡德龙 陈旭东 ■

(宁波大地化工环保有限公司,浙江省宁波市 315000)

摘 要 为实现回转窑焚烧系统的高效稳定运行,本文着重探究关键控制参数对系统性能的影响,通过构建三维响应面模型,直观展现最佳焚烧区域。研究表明,当系统温度严格控制在 $950\sim 1050^{\circ}\text{C}$,氧含量保持在 $9\%\sim 11\%$,负压稳定于 $-100\sim -80\text{Pa}$,转速精准调节至 $1.8\sim 2.2\text{rpm}$,且各参数波动范围严格控制在 $\pm 10\%$ 以内时,焚烧系统运行达标率可稳定保持在 99% 以上。这些关键控制参数相互协同,构成了保障系统高效稳定运行的核心要素,为回转窑焚烧系统的优化调控与精细化管理提供了重要的理论支撑和实践指导。

关键词 危险废物 三维响应面模型图 回转窑 控制参数

Abstract: To achieve the efficient and stable operation of the rotary kiln incineration system, this article focuses on exploring the influence of key control parameters on the system's performance. By constructing a three-dimensional response surface model, the characteristics of the optimal incineration area are intuitively presented. Research shows that when the system temperature is strictly controlled within the range of $950\sim 1050^{\circ}\text{C}$, the oxygen content is maintained at $9\%\sim 11\%$, the negative pressure is stabilized between -100 and -80Pa , the rotational speed is precisely adjusted to $1.8\sim 2.2\text{rpm}$, and the fluctuation range of each parameter is strictly controlled within $\pm 10\%$, the operation compliance rate of the incineration system can be stably maintained above 99% . These key control parameters work in coordination with each other, forming the core elements to ensure the efficient and stable operation of the system. They provide important theoretical support and practical guidance for the optimization, regulation, and refined management of the rotary kiln incineration system.

Keywords: Hazardous waste; Three-dimensional response surface model; Rotary kiln; Control parameters

凡是列入国家危险废物名录或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有危险特性的固体废物统称为危险废物^[1]。危险废物(含医

疗废物)具有腐蚀性、毒性、易燃性等多种危险特性,我国危险废物产量大、种类多、涉及行业广。处置不当会污染环境、危害健康,已成为重大环境与社会问

题。焚烧是危险废物核心处置技术,通过高温处理实现无害化、减量化与资源化。本研究聚焦焚烧系统关键控制参数分析与调节策略,通过优化焚烧过程,提高焚毁效率,减少污染物排放,为危险废物安全处置提供技术支撑与实践指导,助力实现可持续发展。

1. 焚烧法概述

焚烧法是一种高温热处理技术,即以一定的过剩空气量与被处理的有机废物在焚烧炉内进行氧化燃烧反应,废物中的有害有毒物质在高温下氧化、热解而被破坏,是一种可同时实现废物无害化、减量化、资源化的处理技术^[2]。回转窑焚烧炉宛如危废处理领域的“全能战士”,凭借强大的适应性、卓越的处理能力与稳定的运行表现脱颖而出。它能轻松接纳固态、液态等多样形态,粉状、块状等各异形状的可燃性废物,特别擅长攻克含水量高、处理棘手的工业及危险废物难题。在我国危废处理的当下,回转窑焚烧技术正受政府大力推崇,成为守护生态环境的有力武器。

2. 焚烧系统

回转窑焚烧系统包括预处理系统、进料系统、焚烧系统、余热利用系统和尾气净化系统。尾气净化采用急冷、脱酸、吸附、除尘、洗涤工艺^[3]。

危险废物在回转窑内焚烧,烟气经二燃室高温处理后,通过余热利用系统降温回收热能,再经急冷、脱酸、吸附、除尘、洗涤,最终达标排放。

3. 焚烧过程的主要控制参数

焚烧过程是在高温和充足氧气条件下,通过燃烧处理可燃性废物。危险废物焚烧需调节空气输入和维持适当高温,以实现高焚毁率和低污染排放。控制焚烧过程对废物无害化、减量化和资源化至关重要^[4]。

焚烧过程复杂,主要控制参数包括焚烧温度、混合程度、停留时间和过量空气。焚烧温度是确保废物彻底焚毁的关键,混合程度影响燃烧效率,停留时间保证有害物质被有效破坏,过量空气确保完全燃烧。

在工程实际中,焚烧系统的实际控制参数主要包括系统的温度、转速、压力、氧含量等,依据安装在设备上的仪器仪表来测量和显示^[5]。焚烧温度由热电偶测量,回转窑温度调节在 850~1050℃,二燃室温度调节在 1100~1200℃。混合程度通过回转窑转动和二燃室空气供给调节^[6]。停留时间根据回转窑出口压力调节引风机频率。焚烧系统在微负压下运行,引风机频率越大,负压越大,停留时间越短。压力变送器实时测量回转窑进口和二燃室出口压力。回转窑进口压强控制在 -100~-30Pa^[7]。过量空气量由鼓风机提供,根据烟气氧含量调节。氧含量测量仪安装在余热锅炉出口和烟囱进口。锅炉出口烟气氧含量控制在 6%~12%。回转窑焚烧系统控制参数与焚毁率关系为:温度越高,焚毁率越高;氧含量适中时焚毁率最高;系统负压适中时焚毁率最高;回转窑转速适中时焚毁率最高。最佳焚烧区域为系统保持较低负压,回转窑转速适当,氧含量适中,以实现最高焚毁率。

3.1 控制参数与焚毁率的定量关系分析

为验证理论模型并优化工程实践,本研究团队通过实验与工程数据采集,建立了焚烧系统关键参数与焚烧残渣热灼减率的量化关系模型。

热灼减率:焚烧残渣经灼烧减少的质量与原焚烧残渣质量的百分比。根据公式(1)计算:

$$P = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中:

P —热灼减率, %;

A —(105±25)℃干燥 1h 后的原始焚烧残渣在室温下的质量, g;

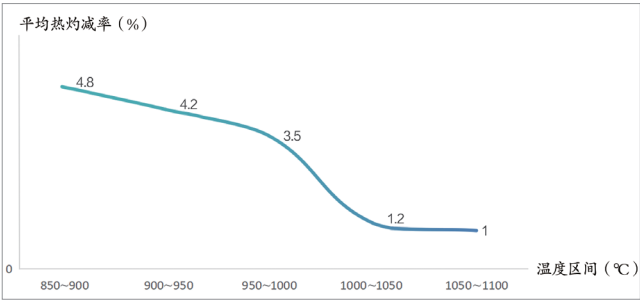
B —焚烧残渣经(600±25)℃灼烧 3h 后冷却至

室温的质量, g。

实验选取典型危险废物 (HW12 染料涂料废物、HW49 其他废物) 进行焚烧测试, 焚烧系统配置为回转窑 + 二燃室 + 余热锅炉标准工艺, 数据采集周期为 15 天, 测试结果如下:

(1) 温度对热灼减率的影响通过调节一、二次风配比维持氧含量 $10\% \pm 0.5\%$, 测试不同焚烧温度下的平均热灼减率:

温度区间 (°C)	850~900	900~950	950~1000	1000~1050	1050~1100
平均热灼减率 (%)	4.8	4.2	3.5	1.2	1.0

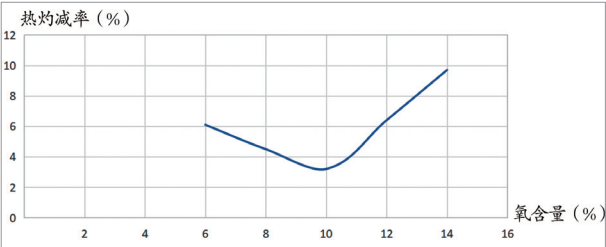


可见当回转窑温度 $> 1000^{\circ}\text{C}$ 时, 热灼减率 $< 5\%$ 。

(2) 氧含量对热灼减率的响应

在温度 $1000 \pm 50^{\circ}\text{C}$ 条件下, 改变鼓风机频率调节氧含量:

氧含量 (%)	6	8	10	12	14
热灼减率 (%)	6.1	4.5	3.2	6.4	9.7



阈值效应: 氧含量存在最佳窗口期 (8%~11%), 超出此范围会导致热灼减率异常。

(3) 窑头负压 – 热灼减率效应

通过变频调节引风机, 测试不同负压下的热灼减率与窑头负压的关系:

窑头负压 (Pa)	-30	-50	-80	-100	-120
热灼减率 (%)	3.4	3.7	4.3	3.9	4.5

窑头负压的波动对热灼减率 (%) 的影响微乎其微, 然而, 维持负压在 -100 至 -80Pa , 对控制窑头冒黑烟是有益的。

(4) 转速 – 混合强度关联分析

监测不同转速下的筒体填充率与湍流强度热灼减率:

转速 (rpm)	1	1.5	2	2.5	3
填充率 (%)	38	32	28	25	22
热灼减率 (%)	2.9	3.2	3.7	5.3	13.4

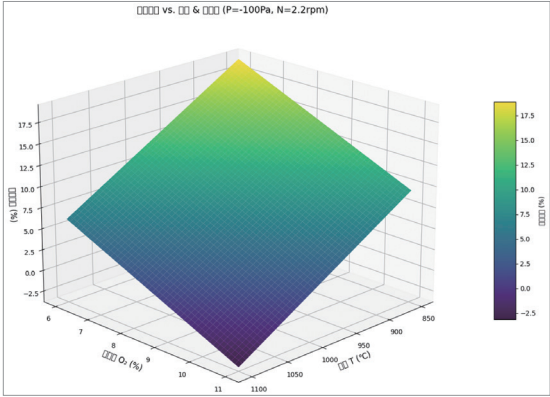
临界转速: 当转速 $> 2.5\text{rpm}$ 时, 物料抛洒过度导致燃烧不完全。

3.2 最佳焚烧区域的构建

基于多因素交互作用分析, 建立三维响应面模型如图 (以 HW12 染料涂料废物为例):

热灼减率 $\% = 63.9 - 0.0517T - 1.9051O_2 - 0.2072P - 4.6143N$

(T: 温度 $^{\circ}\text{C}$, O_2 : 氧含量 %, P: 负压 Pa, N: 转速 rpm)



据图分析最佳区域判定:

- 温度: 950~1050℃
- 氧含量: 9%~11%
- 负压: -100~-80Pa
- 转速: 1.8~2.2rpm

在此区域内, DRE $\geq$ 99.99%, 热灼减率 $<$ 3%, 烟气二噁英浓度 $<$ 0.1ng TEQ/m³。

3.3 工程验证案例

选取某危废处置中心 2024 年运行数据(日均处理量 100t):

月份	回转窑平均温度(℃)	锅炉出口平均氧含量(%)	窑头平均负压(Pa)	平均转速(rpm)	平均热灼减率(%)
1	982	10.2	-92	2	3.7
2	1015	9.8	-85	1.9	2.2
3	1043	10.5	-98	2.1	0.9
4	965	10.3	-90	2.1	3.7
5	1003	9.8	-90	2	2.2
6	1019	10.5	-89	2.2	0.5

统计结果: 参数波动范围: 温度 $\pm$ 50℃, 氧含量 $\pm$ 1.5%, 负压 $\pm$ 15Pa, 转速 $\pm$ 0.3rpm, 达标率与参数偏离度呈强负相关。验证了三维响应面模型对最佳区域判定的正确性。

4. 结 论

危险废物回转窑焚烧技术因其处理范围广泛、处理量大、焚毁率高、安全性高和稳定性强而被普遍应

用。该技术的控制过程十分复杂, 需要处理多个参数之间的相互影响。通过构建一个多参数的三维模型并进行验证, 我们已经证实了这些参数与焚毁率之间的量化关系。最佳区域判定: 温度: 950~1050℃, 氧含量: 9%~11%, 负压: -100~-80Pa, 转速: 1.8~2.2rpm, 数据表明, 参数波动控制在 $\pm$ 10% 内, 热灼减率达标率稳定在 99% 以上, 验证了模型的科学性和适用性。调节系统是实现废物无害化、减量化、资源化和节能环保的关键。

参考文献

- [1] GB 18484-2020, 危险废物焚烧污染控制标准 [S]. 北京: 生态环境部, 2020.
- [2] 赵由才, 牛冬杰, 柴晓利. 《固体废物处理与资源化》(第三版) [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2019.
- [3] 《危险废物集中焚烧处置工程技术规范》(HJ/T 176-2005)
- [4] 聂永丰主编. 《固体废物处理工程技术手册》[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [5] European Commission. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment [R]. 2018.
- [6] 王孝红, 房喜明, 于宏亮. 基于专家系统的回转窑窑头工况识别 [J]. 控制工程, 2010, 17 (3): 309-312.
- [7] 王卓, 王天然, 苑明哲. 基于多重分形的水泥回转窑工况识别研究 [J]. 仪器仪表学报, 2009, 30 (4): 711-716.

系统治理 + AI 赋能： 宁波市水环境持续提升路径研究

■ 聂正斌 吴应兵 周亚光 ■

(宁波欣智信息科技有限公司, 浙江省宁波市 315000)

摘 要 随着城镇化进程加快,宁波市传统排水系统在效率、处理能力及运维管理方面的问题逐渐显现。本文基于系统治理与 AI 赋能的双重视角,分析了宁波市城镇污水排水设施的现状及存在问题,从优化排水体系、源头分质分流、精准系统诊断、构建智慧平台等方面提出对策建议,旨在通过“集中 + 分布式”协同处理、资源化利用及技术民主化路径,推动水环境治理从末端管控向全过程智慧化转型,为超大城市水环境治理提供“韧性发展”的实践参考。

关键词 系统治理 AI 赋能 水环境治理 分布式处理 智慧平台

1. 引 言

水环境治理是城市可持续发展的重要基石,也是生态文明建设的核心命题。在几十年的城镇化过程中,宁波市污水处理设施和处理能力得到了持续提高,城市排水系统在不断完善,城市的水环境有了明显的提升。但随着城镇规模的不断扩大,人们对水环境质量需求的逐步提升,原有排水系统的一些问题也开始逐渐显露。传统治理模式难以满足精细化、动态化治理需求,亟须以系统思维统筹治理路径,充分发挥 AI 技术在智能决策中的优势,构建“全域协同、智慧管控”的现代化治水体系。

2. 城镇污水排水设施概况

目前宁波市建成污水管道长度约 2875 千米,

已建成城镇污水处理厂共 16 座,其中原宁波中心城区共计 12 座(不包括柴桥净化水厂),奉化区 4 座;其中,1 万 t/d 及以上规模的城镇污水处理厂共 13 座,1 万 t/d 以下的污水处理厂(站)3 座。

3. 当前排水体系存在问题

3.1 排水系统效率偏低

①部分不合理的截流以及地块源头雨污混接现象一直存在,导致雨天时污水管网系统负荷率较高。

②受地质沉降和管网材质影响,管网结构性缺陷普遍存在,导致局部区域地下水进入污水管网。

③宁波市污水处理厂建设主要为集中式大型处理厂为主,服务范围偏大,管网输送距离过长,污水的收集和输送效率较低。

3.2 污水处理厂规模有待提升

随着城市化进程加速和人口规模持续扩大,部分区域污水处理设施已显现出明显的能力缺口。以鄞州区福明净化水厂为例,该厂虽维持 24 小时满负荷运转,其处理能力仍滞后于实际污水产生量。这种供需失衡直接导致服务片区污水管网长期处于高水位运行状态,主要体现为几大系统性风险:

①主干管网输水效能衰减。持续高压运行严重制约污水输送效率,致使上游区域出现排水不畅现象,部分地段甚至面临污水反流风险。

②管网安全运行隐患加剧。长期高位液面不仅显著提升管道淤积概率,更易引发污水渗漏事故,造成地下水土污染,而污染区域的扩大又反向加剧管网运行压力,形成“处理能力不足—管网超载—环境污染”的恶性循环。

③汛期雨污叠加效应。据《2023 年宁波市水资源公报》显示,2023 年宁波市年平均降水量 1341 毫米(折合降水总量 131.64 亿立方米)。当雨季来临时,管网系统在承接日常污水的同时还需消纳大量雨水径流,双重压力下极易发生溢流污染事件,对区域水环境安全构成严重威胁。

3.3 运维管理不到位

由于污水管网分布广泛,存在维护管理未能到位、清淤疏通不及时等问题,且部分企业和个体对排水许可制度认识不足,违规排放屡禁不止。

4. 优化必要性分析

4.1 保证污水管网健康运行:破解城市“地下代谢失衡”的生存命题

①“城市静脉血栓”的经济代价:当前管网渗漏每年造成污水处理无效能耗超千万元。若将渗漏管网视为“负资产”,其隐性运维成本已超过新建管网的 30%。管网健康度每下降 10%,城市水环境恢复成本

将呈指数级增长。

②“数字孪生动脉”的战略价值:在智慧城市 3.0 时代,7653 千米排水管网不应仅是物理管道,还应成为数字城市的“液体神经网络”。健康运行的管网体系可实时生成水质、流量、压力等多维数据流,为城市运行提供“液态数字底座”,其数据资产估值潜力高达亿元。

③“环境多米诺效应”的系统风险:单点管网缺陷可能触发“渗漏—沉降—污染”链式反应。以镇海老城区为例,地下水土污染导致地铁施工成本增加 42%,工程延期风险提升 65%。管网健康本质上是城市地下空间安全的第一道防线。

4.2 提升水环境质量需求:激活“蓝色 GDP”的生态杠杆

①“生物多样性银行”的资本积累:三江口湿地生态修复案例显示,水质等级的提升,可新增水生生物,并形成具有科研价值的“基因库”。未来可通过生态补偿机制,将生物多样性增量转化为碳汇交易资本。

②“城市液态 IP”的品牌赋能:慈城古县城水系活化使文旅收入有了大幅度的增长,也进一步证明了优质水环境已成为城市超级 IP 的核心组件。城市可通过打造“东亚文化之都水脉”品牌,创造文化衍生价值,重构城市竞争力维度。

4.3 保障城市发展需求:构建“气候适应型城市”的底层操作系统

①“海绵城市 2.0”的进化需求:在极端天气常态化背景下,传统雨水管网过流能力已无法满足“50 年一遇”暴雨新标准。需通过 AI 动态调控系统,使排水效率匹配城市扩张速度。

②“人口质量引力场”的重构逻辑:长三角人才迁徙数据显示,滨水住区对高端人才吸引力高出普通区域 27%。奉化江两岸科创走廊建设证明,每增加 1 千米亲水岸线可增加 800 个知识密集型岗位,水质成

为人才竞争的“隐形筹码”。

5. 对策措施与建议

针对宁波市水环境现状及污水排水体系存在的问题,除摸清管网底数、系统推进管网数字化建设,系统推进城镇污水管网提升和改造,完善监测体系、系统推进管网智慧化管理外,提出以下几点建议:

5.1 优化排水体系——污水“分布式”处理

在农村或小型社区,在原有的“集中式”污水处理厂的布局下,根据污水产生的源头和排放区域,灵活选择建设地点,建设“分布式”小微污水处理站,便于污水的就近收集和处理,减少污水输送的距离和成本,有效解决污水直排问题;降低污水渗漏给环境带来的危害,改善农村和小型社区的水环境质量,提升居民的生活品质。

5.2 源头管控——分质分流构建资源回用系统

调查数据显示,住宅小区阳台洗衣废水排放量约占居民生活用水总量的25%,而当前此类区域普遍存在的洗涤废水与雨水管网混接问题,进一步加剧了水资源浪费及环境污染。

在现有污水零直排改造中,常规做法是将阳台立管直接接入污水管网,虽形式上实现雨污分流,却导致两个显著问题:一是大量低浓度洗涤废水进入污水管网稀释污水浓度,造成污水处理厂进水BOD5普遍低于100mg/L,显著影响处理效能;二是错失约30%的优质杂排水资源,日均浪费量达0.15m³/户。

基于无磷洗涤剂普及(总磷含量≤1.1%)的技术前景,建议构建分布式洗涤废水处理系统:

采用下沉式生态处理设施(规模50~100m³/d),集成“格栅预过滤+絮凝沉淀+生物滤池”三级工艺(如有条件的),收集并处理洗衣废水达到资源回用,处理后的洗衣废水可用于小区绿化浇灌、道路冲洗、景观

补水等。

5.3 系统诊断、精准治理

①内外环境协同分析:结合小区在排水体系中的区位(上游/中游/下游)、周边泵站容量等外部因素,统筹制定改造方案,避免“头痛医头”。

②建立评估模型:引入生态健康评估流程,模拟医院“初诊—检查—治疗”机制,通过数字化平台进行系统性诊断,识别渗漏、淤堵等问题的优先级。

③管理流程优化:完善监管标准与验收机制,实施全过程数字化跟踪,确保施工方、监理方责任可追溯,破解改不彻底难题。

5.4 构建“AI+全民治水”智慧平台,创新公众参与模式

通过AI技术降低专业门槛,以趣味化、可视化手段提升参与黏性,构建全民共建共享的幸福河湖治理新生态。

①开发河湖健康AI智能互动平台,集成语音交互、图像识别功能,公众随手拍排污,漂浮物可自动定位并生成治理工单,处置进度实时推送。

②运用AR河道实景导航,植入虚拟水精灵讲解水文知识,结合VR模拟治理成效对比,给公众带来沉浸式体验,增强参与获得感。

③在AI智能互动平台中开放各种河湖情况的实时数据接口,支持公众创建个性化河湖健康指数模型,提升公众的参与感和获得感。

④引入区块链技术,形成社群激励机制,将巡河、节水行为转化为数字积分,可兑换生态公园体验项目,形成“参与—获益—传播”良性循环。

6. 总结与展望

宁波市水环境治理已从基础设施扩张迈向系统化、智慧化升级的新阶段。面对管网效能不足、处理

能力滞后及运维管理粗放等问题,通过“集中+分布式”污水协同处理、源头资源化利用、AI智慧平台构建等创新举措,不仅可破解传统治理瓶颈,还将重塑水环境治理范式。“分布式”处理模式与洗衣废水回用技术,兼顾效率与低碳,推动治水从末端管控向全过程循环转型;AI赋能的全民治水平台,则以技术民主化激活公众生态意识,实现治理主体从“政府主导”到“社会共治”的跃迁。

未来,宁波需深化数字孪生管网、动态预警模型等技术应用,构建更精准的“水系统神经网络”,同步探索生态价值转化路径,将水质提升与碳汇交易、滨水经济深度融合。通过“治理智能化、资源资产化、参与社会化”的多维创新,打造长三角“气候适应型治水”样板,为超大城市水环境治理提供“韧性发展”的中国方案,最终实现生态效益、经济效益与社会效益的协同共振。

参考文献

- [1] 宁波市水利局. 2023年宁波市水资源公报[R]. 宁波:宁波市水利局,2024.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇污水处理厂污染物排放标准(GB 18918—2002)[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
- [3] 王浩,周祖昊. 中国水资源与水安全:问题与对策[J]. 水利学报,2020, 51(1): 1-11.
- [4] 陈吉宁. 生态文明建设与环境治理现代化[J]. 中国环境科学,2021, 41(1): 1-8.
- [5] 李圭白,马放. 城市水系统健康循环理论与实践[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [6] 赵英民,杨金田. 生态产品价值实现的理论与实践路径[J]. 环境保护,2022, 50(15): 18-23.



科普知识

碳达峰碳中和

碳达峰是指温室气体(我国专指二氧化碳)排放量在一段时间内达到历史最高值,之后进入平台期并可能在一定范围内波动,然后进入持续缓慢或快速下降阶段,是温室气体排放量由增转降的拐点。碳中和是指企业、团体或个人在一定时间内直接或间接产生的温室气体排放总量,然后通过植树造林、节能减排等形式,抵消自身产生的二氧化碳排放量,实现二氧化碳“零排放”。



碳足迹指从产品的原材料开采到生产加工、运输、消费使用以及最终废弃物处置整个生命周期过程所排放的温室气体总量。碳标签是将产品的碳足迹以标签形式公开,通常标注在包装上,方便消费者了解其环境成本。碳标签是产品碳足迹的量化标识,是产品在全球贸易的“绿色身份证”,体现产品生产全过程的全链条碳排放管理水平。碳标签通过透明化碳排放数据,引导消费者选择低碳产品,同时激励企业优化供应链、减少排放,两者共同推动低碳消费与生产,助力全球碳中和目标。

碳足迹与碳标签

碳交易

碳交易是一种基于市场机制的环境政策工具,旨在通过经济手段减少温室气体排放。其核心原理是“限额与交易”。政府或国际机构设定排放总量上限,并将排放权以配额形式分配给企业。企业若实际排放低于配额,可将剩余配额出售;若超额排放,则需购买额外配额或碳抵消项目(如植树、可再生能源)的信用额。全球典型碳交易系统包括欧盟碳排放交易体系和中国全国碳市场。





碳普惠是一项创新性自愿减排机制，利用“互联网 + 大数据 + 碳金融”的方式，通过构建一套公民碳减排“可记录、可衡量、有收益、被认同”的机制，对小微企业、社区家庭和个人的节能减碳行为进行具体量化并赋予一定价值，给予其相应的碳币。公众用碳币可在碳普惠平台上换取商业优惠、兑换公共服务，也可进行碳抵消或进入碳交易市场抵消控排企业碳排放配额，从而建立起以商业激励、政策鼓励 and 核证减排量交易相结合的正向引导机制，积极调动社会各方力量加入全民减排行动。

碳普惠

蓝碳

海洋是除地质碳库外最大的活跃碳库，储碳量达到陆地的近 20 倍，大气的近 50 倍，在调解全球气候变化，特别是吸收二氧化碳等温室气体方面作用巨大。蓝碳是利用海洋活动及海洋生物吸收大气中的二氧化碳，并将其固定、储存在海洋中的过程、活动和机制。海洋固碳方式包括海洋物理固碳、深海封储固碳、海洋生物固碳、滨海湿地固碳等。红树林、海草床和滨海盐沼是三个重要的海岸带蓝碳生态系统。据测算，海洋生态系统的单位固碳效率是陆地生态系统的 10 倍以上，是目前地球上最大碳储库。



绿碳是指通过森林、湿地、草原等自然生态系统的固碳能力，吸收大气中的二氧化碳，从而减缓温室效应和气候变化的过程。树木的叶子、树干、树枝和根部都含有的碳，是陆地碳储量的重要组成部分。土壤是另一个重要的碳库，占陆地碳总储量的近 50%。森林碳汇是最常见的绿碳形式，通过植树造林、森林管理和保护，增加森林面积和蓄积量，提升其固碳能力。草原和湿地将碳储存在土壤中，湿地得益于其淤积土壤的特点，发挥着减缓有机物的分解的作用。绿碳不仅有助于实现碳中和目标，还发挥着保护生物多样性、改善生态环境的关键作用。通过加强生态保护修复、扩大绿化行动，绿碳成为应对气候变化的重要自然解决方案。

绿碳



3月17日上午，2025年全国生态环境宣传教育工作会议在宁波召开，生态环境部党组成员、副部长郭芳出席会议并讲话，浙江省副省长胡伟到会并致辞。



3月17日下午，来自全国各地的生态环境系统专家、领导齐聚宁波，参加环保设施开放及志愿服务现场观摩活动。活动中举行了2025年环保设施向公众开放启动仪式，公布了首批“新四类”开放单位名单及第五批“老四类”开放单位名单，宁波30家企业上榜，数量全省第一、全国领先。

3月29日，浙江省“国际无废日”主题活动在宁波举行。活动由联合国环境规划署、浙江省生态环境厅、宁波市人民政府、巴塞尔公约亚太区域中心联合主办，中国工程院院士陈勇、生态环境部固体司副司长温雪峰、联合国环境规划署驻华代表处代办/项目主任王茜等领导、专家出席。





《宁波市市民生态环境行为准则》

绿色消费齐倡导,节约资源护环境。
及时关水关电器,走骑公交低碳行。

积极响应限塑令,生活优选耐用品。
闲置物品来捐赠,光盘公筷显文明。

生活垃圾分类放,少用药肥土地净。
噪音扰民不可为,油烟少排气清新。

珍惜野生动植物,爱护山水田湖林。
志愿服务多参与,举报污染留美名。

您参与了上述任一保护环境行为,
就是参与美丽宁波建设。



甬小环