



# 破译石化行业水处理“创新密码”

——中石化水质技术服务中心围绕石化生产链构建绿色低碳水处理技术创新链

本版文字由本报记者 陈子佩 通讯员 高嵩安一鸣 杨春鹏 王辉 赵锐 陈长顺 刘庆洁 刘文彬提供

为强化水处理领域产学研用一体化协同,推动水处理领域科技创新,服务石化企业水处理需求,中国石化于2024年7月成立中石化水质技术服务中心(以下简称“中心”)。该中心由集团公司化工事业部归口指导,中石化石油化工科学研究院(以下简称“石科院”)承担日常工作。

中心由集团公司高级专家领衔,现有研发人员50余名,技术研发和服务团队以80后、90后为主体。该中心自成立后,依托石科院在水处理技术方面数十年的深厚技术积淀,围绕石化生产链构建绿色低碳水处理技术创新链,构建起“药剂研发、药剂评价、交流服务、中试装备、智慧水务、环境分析”六大平台。

未来,该中心将在水处理的技术研发、专业服务、技术交流等领域发挥智库作用,以科技创新助力石化行业节水降耗增效。

## 1. 药剂研发平台

### 主要功能

药剂研发平台主要承担水处理新技术和新产品研发工作,拥有药剂合成、表征及模拟计算等完备的研发设备。

依托集成在线红外光谱、核磁共振碳谱/氢谱、高分辨质谱等先进分析设备,平台可以实现反应路径快速追踪和分子结构精准解析,同时可以结合电化学工作站及药剂评价装置,实现关键官能团的优选。此外,依托纳米粒度分析、Zeta电位及表面张力测定等物理表征手段及分子模拟技术,平台可以明晰药剂作用机制及构效关系。

此外,该平台还具备中试及工业放大装置,具备“分子设计-定向合成-工业放大”的水处理剂研发全流程能力。

### 实践应用

面对循环水系统腐蚀结垢风险和水处理剂磷含量限制双重挑战,该中心通过官能团效关系分析等手段,创新设计合成出兼具缓蚀、阻垢的多功能无磷聚合物。在放大中,解决了药剂生产过程中反应剧烈、易暴聚的技术难题,实现了温和条件下合成,且水处理剂生产过程中不产生“三废”,满足绿色安全环保要求。他们基于自主研发的多功能无磷聚合物成功开发出了无磷/低磷阻垢缓蚀技术,可以根据不同新鲜水和污水水质,量体裁衣,在保证循环水系统长周期稳定运行的同时实现高比例污水回用。目前,围绕性能优异的多功能无磷聚合物和无磷/低磷阻垢缓蚀剂,该平台已累计获得国家授权专利50余件,为炼化企业节水减排提供了重要技术支持。

## 2. 药剂评价平台

### 主要功能

药剂评价平台通过构建标准化评价体系与装置,具备覆盖药剂性能检测、工况适应性评价分析及企业应用指导的全链条评价服务能力。

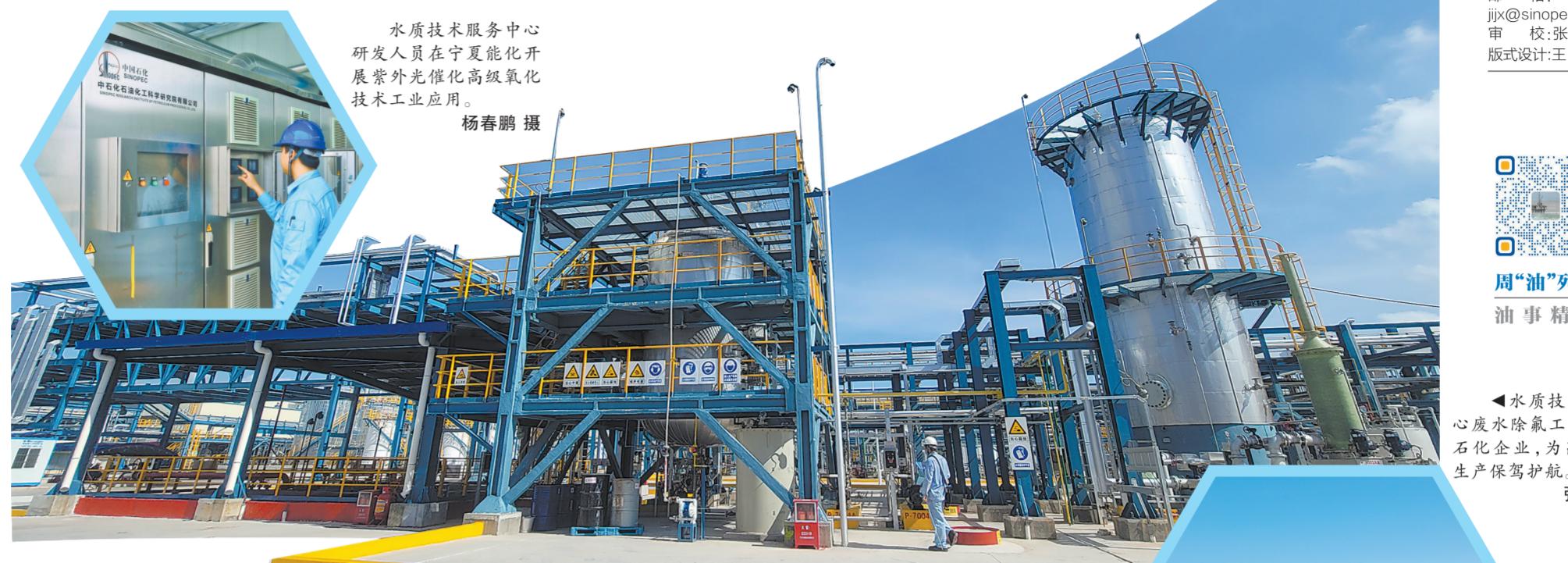
该平台配备了多套旋转挂片仪、电化学工作站、高压反应釜、阻垢试验装置、超净工作台等专业设备,可针对不同工况开展阻垢、缓蚀及杀生等专项评价;4套标准循环水动态模拟装置和两套微型动态模拟装置,可实现多个循环水处理药剂并行评定。

作为中国石化循环水企业标准主要参编单位,该平台创新建立水冷器生命周期管理系统,通过药剂性能评估、水冷器的状态识别、垢样垢型评价,为炼化企业循环水运行优化提供数据支撑。

### 实践应用

该平台采用动态模拟试验装置每年为数十家企业的循环水药剂进行评定,严把处理效果关,规避药剂不适用风险,协助企业评估特殊水质对药剂的影响并提供应对措施。

针对某企业高硅水质特性,团队评估硅对药剂缓蚀性能及稳定钙、磷及锌等离子性能的影响,对高硅条件下药剂的选择提出指导建议。



## 4. 中试装备研发平台

### 主要功能

中试装备研发平台以橇装式“高级氧化+生化”水处理装置为核心,通过整合预处理、高级氧化、生化处理与深度净化四大单元,构建覆盖石化废水全流程处理的技术验证体系。

该平台水处理装置采用可编程逻辑控制器智能管理系统,可实现工艺参数动态调控、设备运行实时监控及多基地数据互联功能,为技术中试验证与产业化推广提供智能化支撑。

此外,各工艺段可拆卸为单独工艺段进行使用,模块化设计赋予了装置灵活重组能力,可快速适配炼化废水、煤化工浓盐水等复杂体系处理需求,其标准化控制体系可无缝对接工业化应用场景,为石化废水处理技术从实验室到产业化跨越提供装备保障和技术范式。

在技术架构上,预处理单元采用聚结除油与絮凝沉降组合工艺,通过物理化学双重作用实现油类物质与悬浮物的高效截留,为后续处理创造稳定进水环境;高级氧化单元作为核心技术模块,集成了石科院自主研发的均相/非均相催化体系紫外高级氧化体系,可用于去除废水中溶解态难降解有机物;生化处理单元采用流化复合载体生物膜(FCBR)与厌氧氨氧化耦合工艺,构建了完整的脱附脱氮技术链;深度净化单元集成陶瓷膜催化臭氧与反渗透双膜联用工艺,进一步提高和保证出水水质。

### 实践应用

目前,中试装置已在荆门石化、湖南石化、中科炼化等十余家单位开展现场侧线验证试验。其中,荆门石化采用聚结预处理装置处理电脱盐切

水,实现出水含油量稳定低于50毫克/升;湖南石化应用预处理-紫外高级氧化装置处理含苯并菲焦化冷焦水,污染物去除率超99.5%;中科炼化基于FC-BR侧线试验装备建成处理量100立方米/小时的工业化装置,出水COD和总氮等参数稳定达标;燕山石化通过预处理-厌氧氨氧化装备处理有机胺废水,实现氨氮去除率91.5%、总氮去除率78.5%的双重突破;北海炼化采用“膜催化臭氧+高效生化”深度处理装置使含盐生化出水COD降至20毫克/升,反渗透淡水达循环水标准。系列侧线试验的成功实施,为自主技术工业化转化奠定了坚实的工程实践基础。

## 5. 智慧水务平台

### 主要功能

智慧水务平台作为石化行业数字化升级的核心载体,深度融合污水、循环水与新鲜水系统的智能化管理。通过实时监测进水水质及运行参数,构建全流程污水处理动态模型,可精准预测各单元出水水质及未来变化趋势,提前预警超标风险并生成应急方案,确保水质稳定达标的同时,显著降低能耗耗水;循环水系统创新融合指纹溯源技术与AI评估算法,既能对有机物泄漏快速定位,又能通过“腐蚀-结垢-微生物”三维分级评级模型对水冷器全生命周期进行多维评价,同步优化加药策略;依托浊度预测模型,建立新鲜水的精细管控体系,通过多参数耦合分析实现水质风险预判与调度优化。三大系统协同构建起“监测-预测-预警-优化”的智慧化水务管理闭环。

### 实践应用

目前,智慧水务平台已在扬子石化、天津石化、洛阳石化等多家企业上线应用,推动水务管理全面智能化升级。扬子石化通过部署智慧污水系统,实时采集工艺参数精准预测出水COD值,结合全流程工艺参数优化算法将计算效率提升50%,成功破解企业稳定控污难题;天津石化80%以上水冷器接入智慧循环水溯源系统,在2小时内可实现油料泄漏溯源和上报;通过优化构建的新鲜水浊度预测模型,在洛阳石化应用的准确率可达到90%。当前,该平台正加速推动石化水务系统向绿色低碳转型,通过智能化手段系统性解决能耗优化、风险防控等难题,为行业高质量发展提供创新范式。

## 6. 环境分析平台

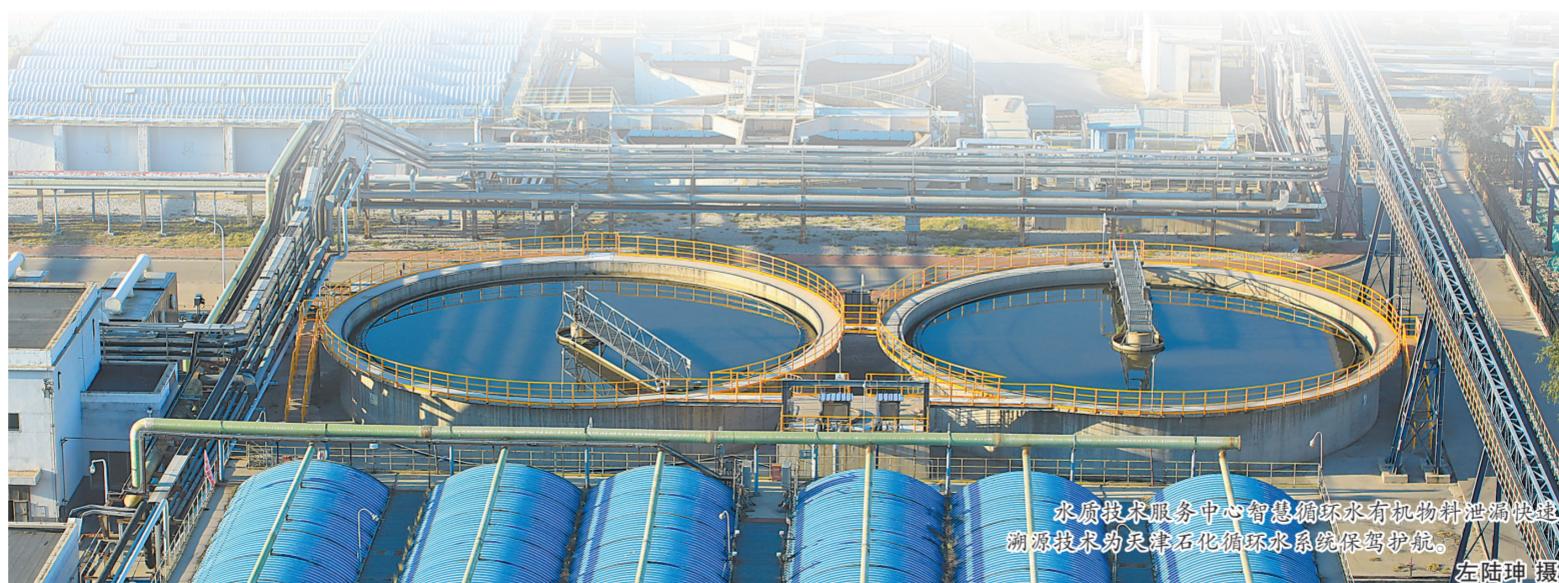
### 主要功能

环境分析平台基于气相色谱-质谱联用仪、电感耦合等离子体质谱仪、液相色谱仪、总有机碳分析仪等先进分析设备集群,构建涵盖有机物检测、无机离子分析及痕量污染物识别的多维度检测体系。该平台具备工业废水全谱检测能力,可实施常规水质参数检测与特种污染物精准分析,检测灵敏度达痕量级。

依托CMA(中国计量认证)和CNAS(中国合格评定国家认可委员会)双认证资质,平台出具的检测报告具有司法采信效力及国际实验室互认资质,为环境执法监督、企业排污合规及环保技术研发提供权威数据支撑。

### 实践应用

在科研与工程化应用领域,平台深度服务于国家级、省部级环境治理项目的纵向课题,以及与企业技术攻关合作的横向课题,重点支持水质参数检测、污染物分析、材料研发及水处理技术创新。平台建立了“科研-开发-验证”三位一体服务体系,紧密衔接水处理新技术和新工艺开发全流程。此外,在中试放大阶段,平台提供从动态水质测试到长期运行效能分析的全周期数据支持,为工艺可行性验证、运行稳定性评估及技术转化决策提供科学依据。



## 天津石化：“指纹神探”常驻循环水系统

物料泄漏是石化企业循环水系统的大敌,每家企业有数百台水冷器,想要揪出导致泄漏的“元凶”,就需要对企业的所有水冷器开展地毯式人工搜索排查,耗时长、效率低、效果差。

为解决这一难题,中石化水质技术服务中心自主研发出智慧循环水有机物泄漏快速溯源技术,这项技术就好比为企业派驻了一名“指纹神探”,这位“神探”不仅有“火眼金睛”,可以识别出水中泄漏的百万分之一级的有机物料,而且见多识广,可识别出超过300种有机物料,几乎涵盖我国全部种类的原油及炼制油品。通过识别、对比泄漏有机物料的特征指纹峰,这位“指纹神探”可以快速定位出企业发生泄漏的水冷器,帮助企业精准定位并定向“抓捕”泄漏点,实现快速检修。该技术应用后,溯源时间比传统人工排查泄漏所需时间缩短80%以上,显著降低了企业因物料泄漏导致的水质污染、能耗激增及设备损坏

风险。

天津石化与该中心密切配合,将企业80%以上的水冷器接入智慧循环水有机物料泄漏溯源系统,通过溯源分析算法、在线仪表、离线检测数据相结合的方式实现泄漏点及时预警和快速定位。

“嘀、嘀、嘀……”某日夜里,“神探”发出警报:循环水系统内游离氯、化学需氧量等水质指标持续超标,判断发生油料泄漏。很快,“指纹神探”就精准定位到发生泄漏的E105、E201WX和E225柴油水冷器,值班人员快速处置,隐患被第一时间消除。

在该中心的帮助下,天津石化已形成“监测-溯源-调控”闭环管理模式,重点节水指标处于行业领先水平,入选国家智能制造试点示范工厂揭榜单位、中国石油和化学工业联合会水效领跑者标杆企业,为建设沿海城市型炼厂打造了样板。

## 催化剂长岭分公司：“以废治废”守护长江碧水

催化裂化催化剂是石油炼制过程中的核心催化剂之一,其生产过程产生的含氟含磷废水必须进行除氟除磷处理才能排放。但是,催化剂生产过程中会产生高浓度硫酸盐,传统的钙盐沉淀法除氟除磷工艺对此束手无策,这一难题困扰着催化裂化生产企业。

为此,中石化水质技术服务中心自主研发高含氟含磷废水深度脱氟除磷技术,不使用传统的钙离子作为沉淀阳离子,通过原始创新的“一级同步除氟除磷+二级深度除氟”技术路线,利用废水中其他污染物作为反应原料“以废治废”,除氟除磷效果显著,可确保外排水中氟和磷含量满足国家排放标准。

近年来,催化剂长岭分公司积极践行“守护好一江碧水”的使命任务,与该中心合作,针对自身催化剂生产废水氟离子、磷酸根离子和硫酸根离子含量高的特点,通过该中心自主研发的高含氟含磷废水深度脱氟除磷技术对废水开展专项治理,每套装置处理能力达16万吨/年,处理后废水氟含量稳定低于0.1毫克/升、磷含量低于0.5毫克/升,均达到或者优于国家排放限值。

滨长江、环洞庭,作为亚洲最大的综合性炼油及化工催化剂供应商,催化剂长岭分公司通过与该中心产学研密切合作实现了生产创效和绿色环保两手抓、两手硬,不让一滴超标污水流入长江,以实际行动助力岳阳市破解“化工围江”难题,为长江地区生态环境保护作出积极贡献。

## 企业实践

### 沧州炼化：打造循环水系统“最强大脑”

循环冷却水系统是保障石化装置在高温、高压、高腐蚀环境下长周期稳定运行的关键之一,其运行状态直接决定了装置换热效率、能耗水平与生产安全。含磷水处理剂是优异的缓蚀阻垢剂,但磷却是水资源的“敌人”,会引起水体富营养化,导致鱼类及其他生物大量死亡。

面对循环水系统运行安全和水资源保护两大难题,中石化水质技术服务中心自主研发出系列高效低/无磷阻垢缓蚀剂及处理技术。该技术采用无磷聚合物为核心剂,可以实现源头降磷,最大降幅超七成。通过原始创新,该技术解决了常规无磷/低磷阻垢缓蚀剂抗冲击性差、耐受污水回用比例低的问题,碳钢管材腐蚀速率≤0.075毫米/年,黏附速率≤15毫克/平方厘米·月,阻垢缓蚀效果突出。同时,通过应用智能化监控设备,该技术还可以自动监测并精准投放阻垢缓蚀剂,

有效解决了人工投放导致的药剂投加量不准、剂量调整不及时的难题,实现“监测-反馈-加药”一体化智能闭环控制。

沧州炼化地处沿海盐碱地,其地城性缺水问题较为严重。该公司精打细算,在4套循环水系统中应用了该中心自主研发的低/无磷阻垢缓蚀技术,并在第一循环水场投用首套在线监控加药装备,为循环水系统插上智能化翅膀。

通过应用该技术,沧州炼化各套循环水系统的腐蚀速率和黏附速率长期保持在较低水平,处理效果显著,装置运行平稳高效,装置水冷器的泄漏频率大幅降低。吨水处理药剂费用较应用前减少约50%,循环水平均总磷质量浓度较应用前降低了70%以上,每年减少排污水中总磷量约1.6吨,有效减轻了污水场的磷负荷,守护了华北地区水资源安全。

## 装备制造

责任编辑:季佳欣  
电 话:59963261  
邮 箱:jjx@sinopec.com  
审 校:张春燕  
版式设计:王强



◆水质技术服务中心废水除氟工艺应用于石化企业,为高端油品生产保驾护航。  
张亚培 摄

天津石化员工巡查污水处理系统运行情况。  
左陆坤 摄