

**编者按:**近日,工业和信息化部公布《国家鼓励的工业节水工艺、技术和装备目录(2025年版)》,镇海炼化冷凝模块式冷却塔节水消雾技术、石油化工科学研究院循环水系统长周期稳定运行水处理技术、炼化工程集团节能公司集成式超低能耗循环水系统、中安联合煤化工高盐废水零排放与资源化利用成套技术等4项技术入选。本版推出专题,介绍这4项技术,敬请关注。

# 科技赋能节水 工业向“绿”而行

## 镇海炼化 用冷凝模块实现冷却塔节水消雾

本报记者 卞江岐 通讯员 孙溪悦

初冬的镇海基地,寒风掠过装置区内,数十米高的冷却塔群静静矗立。随着冷却塔百叶窗缓缓打开,不过片刻,水场上方缭绕的浓浓白雾便如同被一道无形的屏障收束,逐渐消散于空中。

这并非气象魔术,而是镇海炼化利用自主研发的冷凝模块式冷却塔节水消雾技术降伏冷却塔白雾的日常一幕。

冷却塔是石化厂区循环水场关键的降温设施,源源不断的冷水从冷却循环水场出发,进入装置与物料完成热量交换后变为热水,返回塔内进行冷却循环。然而,除了夏季,冷却塔顶上方常笼罩着大片白雾。这种景象看似壮观,其实是水场的水正悄然地蒸发流失。尤其在冬季,浙江宁波沿海,寒潮频发,气温过低时,蒸发损失的水量能占到总用水量的48%,如何留住这些逃逸的水分子,成为节水增效的关键。

消除白雾,实则是与水蒸气的一场博弈:要么升温使其变为气体,要

现阶段循环水系统普遍采用开放式冷却。流经冷却塔内的空气与待冷却水经过热质交换后,温度和相对湿度都比较高,排出塔外时被外界冷空气冷却,冷凝而产生水珠,发生白雾,一般称为白烟现象。白烟中含有大量水分,若能回收,节水消雾可同时实现。该技术通过在普通冷却塔上方增设节水消雾模块,使塔内的湿热空气与环境干冷空气在冷凝消雾模块内进行热交换、凝结,而后干、湿空气混合,从而实现水回收及消雾。

么降温使其凝结为水滴。经过多轮技术论证和方案比较,镇海炼化攻关团队在冷却塔内部增设特殊结构的冷凝模块与百叶窗等设备,通过系统远程调节百叶窗开度,引入外部冷空气,模拟强对流天气环境,使升至塔顶的水蒸气迅速凝结成水滴,重新回

【冷凝模块式冷却塔节水消雾技术简介】



安装消雾模块的镇海基地二期循环水池冷却塔群。本报记者 何雯摄

流至循环水系统,就像在冷却塔内制造了一场微型降雨,将原本要蒸发的水资源捕获回用。

2022年,随着镇海基地一期项目投用,配套的2号乙烯3号循环水场成为这项创新技术的首批试点。搭载冷凝模块的冷却塔,即便是在最冷

的三九天,也基本告别了白雾缭绕的景象。经测算,冬季平均节水率超15%,最高可达20%,节水消雾成效显著。

基于试点成功经验,镇海炼化在基地建设中全面推广此项技术,从最初两台消雾冷却塔创新应用,快速扩

展至覆盖5个循环水场总计50台消雾冷却塔的规模布局。如今寒潮再临,塔群上方依旧一片清明,再难寻白雾踪影。

据统计,应用冷凝模块的节水消雾冷却塔,消雾时间按照全年最低温的5个月计算,单塔月均节水2000吨以上。

近年来,镇海炼化始终坚持贯彻绿色发展理念,持续深耕节水技术升级与模式创新,逐步构建多层次节水体系。除成功推广应用冷却塔节水消雾技术外,该公司陆续实施“超滤+反渗透”深度处理、厂区雨水回收、城市再生水替代等一系列节水创新举措,形成了多元化水源利用格局。

【留言板】

镇海炼化机动部工业水技术岗 雷华:

节水消雾冷凝模块的研发与应用,实现了循环水系统水雾的消减和水雾中水资源的回收,达到节能环保的目的,从根本上解决了因冷却塔带雾带来的人员巡检及设备腐蚀的安全问题,同时有效提升了企业形象。

## 石油化工科学研究院

## 创新处理技术助循环水系统运行

本报记者 陈子佩 通讯员 高嵩

循环水系统的用水量占企业总用水量的50%~90%。为提高节水效率,石化企业持续提高循环水系统的污水回用比和浓缩倍数,但加剧了循环水运行中存在的3个问题——腐蚀、结垢、生物黏泥。

其中,腐蚀、结垢问题会减薄管道壁厚,引发点蚀穿孔,导致设备穿孔泄漏,同时降低换热效率,导致装置能耗增加,需由阻垢缓蚀剂及处理技术解决。微生物及其引起的生物黏泥会造成换热管与填料塔堵塞,使换热效率下降,增加电耗、水耗和药剂消耗,加剧腐蚀甚至引起非计划停车,需由生物黏泥剥离降解技术解决。

为解决这3个问题,石油化工科学研究院自主研发出循环水系统长周期稳定运行水处理技术,包含系列高效无磷/低磷阻垢缓蚀剂及处理技术和高效黏泥剥离降解技术。

研发团队通过官能团构效关系分析等先进技术手段及上百次动态模拟试验筛选验证,成功开发出包括RP系

该技术包含系列高效无磷/低磷阻垢缓蚀剂及处理技术和高效黏泥剥离降解技术。其中,前者可以针对不同水质及污水回用比配置适用的高效无磷/低磷阻垢缓蚀剂及处理技术,能有效解决循环水系统的腐蚀与结垢问题。后者能够有效避免黏泥二次沉积而降低循环水系统的换热效率,剥离率、降解率和杀菌率分别达80%、80%和99.9%,保证石化企业在高污水回用比下实现循环水系统长周期稳定运行及污水源头减磷。

列、ZH系列循环水处理剂在内的系列高效无磷/低磷阻垢缓蚀剂及处理技术。“含磷化合物是优异的缓蚀阻垢剂,但也会引起水体富营养化,存在环保隐患。我们这项技术以无磷聚合物为核心剂,与使用含磷化合物作为缓

【循环水系统长周期稳定运行水处理技术简介】



石油化工科学研究院科研人员开展污水生化试验。常成摄

蚀阻垢剂的传统技术相比,可以实现源头降磷,最大降幅可达70%。”石科院第二十五研究室副主任王辉介绍。

同时,石科院还开发了高效黏泥剥离降解技术,既可高效将生物黏泥从设备表面剥离下来,还可将生物黏

泥降解为水溶性小分子并随水排出系统,大幅度增强了生物黏泥的剥离清洗效果,剥离率、降解率和杀菌率分别达到80%、80%和99.9%。

目前,石科院循环水系统长周期稳定运行水处理技术已累计获得国

家知识产权局专利授权50余件,在沧州炼化、中科炼化、九江石化、长城能化、茂名石化、中韩石化、湖南石化、上海石化、塔河炼化等地处长江经济带、黄河流域、京津冀、沿海等不同区域的20余套循环水系统开展工业试验和应用,为石化企业节水减排提供了重要技术支撑。

“企业的实际应用证明,我们的技术实现了两个全覆盖:补水水质从低钙硬碱度到超高钙硬碱度全覆盖,污水回用比从0到100%全覆盖,甚至可以应对超标劣质回用水。”王辉说。

【留言板】

石油化工科学研究院第二十五研究室副主任 王辉:

作为从事水处理技术研发的科研工作者,最快乐的事情莫过于我们的技术从实验室里孤独的涸辙变成石化企业循环水系统千万道水流中的一脉,奔赴更广阔的江河。下一步,我们将依托中石化水质技术服务中心,进一步加快先进水处理技术推广应用,为企业提供更多源头活水。

## 炼化工程集团节能公司

## 中安联合

## 系统优化整合解循环水能耗难题

## 回收利用高盐废水促效益双收

徐祖伟

传统循环水系统长期面临运行效率低、能耗高、水力热力耦合失调等系统性问题,亟须系统性节能技术路径。

“为解决行业难题,我们基于多年的节能降碳服务经验,开展了系统性攻关,通过全局优化实现能效全面提升,破解了这些难题。”炼化工程集团节能公司总经理谢艳丽说。

节能公司研发的集成式超低能耗循环水系统,以全局优化为核心,基于不同循环水系统的运行工况、装置工艺介质的冷却需求及水冷器条件,将传统循环水优化手段进行系统性整合,构建了涵盖工艺热能回收、输配系统水力优化与智能调控3个维度的技术体系。

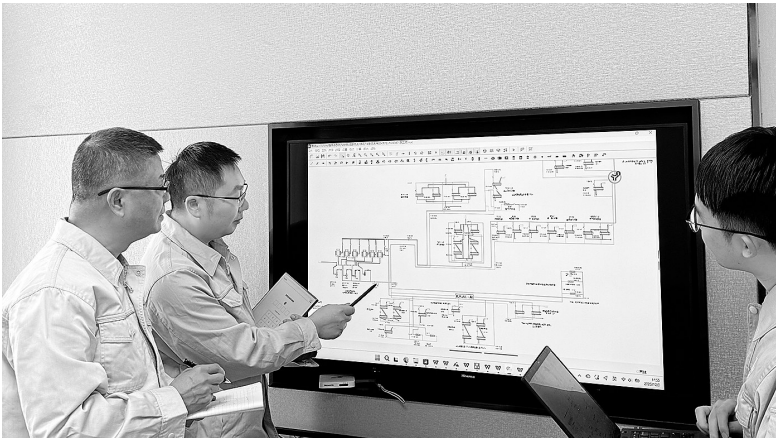
目前,该技术已在中科炼化循环水系统改造项目等多个项目中成功应用。节能公司技术团队在优化系统工艺参数的同时,对循环水泵、冷却塔风机等关键能耗设备实施综合改造,使系统节能率达到20%以上,节能与节水效益显著。

在工艺热能优化方面,该技术实现了从被动冷却到主动回收的范式转变,通过引入高效余热回收装置,在工艺介质进入冷却单元前有效提取中低温余热,回用于工艺预热等场景,显著降低外部冷源负荷;同时采用多温级水冷器串联架构,依据介质冷却特性匹配温度区间,实现传热温差的精准控制与系统焓损降低,在保证工艺需求的同时提高了循环水给回水温差。这一创新不仅降低了冷却系统的能耗,更实现了工艺余热的高效回收,使系统整体能效得到本质提升。

在输配系统方面,该技术实现了输配系统从粗放输送向精准适配的改

【集成式超低能耗循环水系统简介】

该技术适用于工业循环冷却水系统,通过对用户端和循环水系统整体进行适配性优化,在满足用户端冷却需求的基础上,使得循环水系统低能耗运行,同时具备调节灵活和平稳的特点。该技术解决了工业循环水系统运行存在的循环水消耗量大、水力热力耦合失调和能耗较高的问题,能够保障循环水系统高效和低能耗运行,目前已在多家炼化企业实现改造应用,效果良好,为工业循环水的高效平稳运行提供技术支撑。



炼化工程集团节能公司循环水优化小组运用水力学模型进行管网分析。胡胜威摄

变,通过精细化流程模拟与管径优化,显著降低系统沿程压降与局部阻力;针对最不利回路引发的扬程冗余问题,采用分布式管道泵技术,在特定支路设置低压头辅助泵,有效消除因个别高压点导致的系统压力抬升,实现管网压力的分区平衡与精准供给,从根源上解决了大马拉小车的问题。

在智慧化运行管理方面,该技术实现了对系统运行状态的预测与动态优化,通过构建管网模拟模型,根据实际工艺需求调节循环水泵运行参数,结合高效泵系与调速技术的协同控

制,确保系统持续处于最优工况运行。

【留言板】

炼化工程集团节能公司总助理助理 叶剑云:

目前,我们正加快这项技术的标准化应用和现场推广,帮助更多企业将循环水系统从耗能点变为节能点。依托园区级推广、设备更新政策支持及技术持续升级,该技术有望在未来5年内实现规模化应用,为石化等行业实现“双碳”目标提供经济可行的技术路径。

本报记者 赵天奇

冬日清晨的户外寒意未消,中安联合污水处理装置现场一派繁忙景象:叉车来回穿梭,一袋袋洁白纯净的工业盐被整齐码放至货车车厢。12月1日9时许,满载工业盐的大货车缓缓驶出厂区大门。这些工业盐是该公司处理煤化工高盐废水的副产品,将作为优质化工原料供应下游企业生产,实现了污染物的资源化利用。

从黑黢黢的煤化工生产污水,到清亮亮可回用的生产用水与白花花工业盐,这一令人奇崛的蜕变,源于中安联合在高盐废水处理领域的技术突破。煤化工高盐废水因盐分浓度高、污染物成分复杂、可生化性差等特点,处理难度极大,而要实现污水全回用,并从中提取符合工业标准的硫酸钠、氯化钠等产品,更是长期困扰行业的技术难题。

作为地处淮河之滨的大型煤化工企业,中安联合始终将保护淮河生态安全、不向淮河排放一滴污水作为郑重承诺与社会责任。为攻克高盐废水零排放难题,中国石化将该技术研究列入“十条龙”科技攻关项目,组织长城能化、中安联合、工程建设公司、北京化工研究院、大连石油化工研究院等单位组建联合攻关团队,协同发力破解技术瓶颈。针对中安联合煤化工高盐水的水质特征,攻关团队历经反复试验与优化,成功研发出“预处理—减量化—深度浓缩—分质盐结晶”高盐废水零排放成套技术,并于2019年12月在中安联合污水处理装置成功落地应用。

该技术具有回收率高、能耗低、集成化程度高、模块化设计等显著优势,为煤化工行业高盐废水零排放提供了可复制、可推广的解决方案。凭借突

【煤化工高盐废水零排放与资源化利用成套技术简介】

该技术通过对煤化工高盐废水进行“预处理(高密度沉淀池+催化臭氧氧化+曝气生物滤池+浸没式超滤)—减量化(中、高压反渗透)—深度浓缩(高效除硬过滤+催化臭氧氧化+纳滤+反渗透)—分质盐结晶(多效蒸发)”,可分别产出硫酸钠和氯化钠产品,实现盐的资源化利用。该技术可为炼化行业高盐废水处理、节水减排提供技术支撑,社会效益与经济效益显著,具有较好的推广前景。



中安联合污水处理装置员工在装置巡检。本报记者 赵天奇摄

出的技术创新与应用价值,该技术获2021年度中国石化科学技术进步奖一等奖。

几年来,中安联合污水处理高盐水系统保持平稳运行,高盐水回收率稳定保持在97%~98%,每小时有220多立方米回用水重新投入生产,替代新鲜水资源;产出的工业盐产品持续外销,不仅避免了传统混盐处理的额外支出,更为企业每年创造间接经济效益近9000万元。

此项技术实现了高盐废水零排放与氯化钠、硫酸钠的分质结晶资源化利用,成功破解了煤化工行业水耗高、

水污染的共性难题,为守护绿水青山提供了坚实技术支撑,具有显著的社会效益与经济效益。

【留言板】

中安联合污水处理装置副主任 沈阳:

中安联合以技术创新为抓手,持续优化污水装置运行。2025年,围绕提升副产品品质、延长装置运行周期、压缩运营成本三大目标,实施3项技改,取得积极成效;同时联合科研单位攻关高含盐纳滤浓水有机物去除难题,为进一步优化零排放技术夯实基础。