

编者按 近日,工业和信息化部发布《2024年工业废水循环利用典型案例名单》,围绕用水过程循环、区域产城融合、智慧水管控、技术装备创新和减污降碳协同等典型模式,遴选出58家企业和园区案例,为全面提升工业企业、园区用水效率、推动水资源节约集约利用提供了技术路径和方向,引发行业关注。《中国电子报》约请相关科研院所和行业协会专家,就《2024年工业废水循环利用典型案例名单》进行解读。

## 以工业废水循环利用为抓手 推动水资源节约集约利用 深挖节水潜力 推动钢铁行业废水高效循环利用

中国科学院生态环境研究中心 研究员 赵旭

水是事关国计民生的基础性自然资源 and 战略性经济资源。水利部数据显示,2023年,全国用水总量为5906.5亿立方米,工业用水量为970.2亿立方米,约占用水总量的1/6。推进废水循环利用,可以有效缓解水资源短缺、保障水生态安全,是实施全面节约战略的重要举措。近日,工业和信息化部办公厅发布《2024年工业废水循环利用典型案例名单》(以下简称《名单》),分别从用水过程循环、区域产城融合、智慧水管控、技术装备创新、减污降碳协同五个方向遴选出一批工业废水循环利用典型案例,为全面提升工业企业、园区用水效率、推动水资源节约集约利用提供了技术路径和方向。

### 多措并举,推进工业废水循环利用取得积极成效

党的十八大以来,习近平总书记站在实现中华民族伟大复兴的战略高度,提出“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路。2021年,工业和信息化部等六部门联合印发《工业废水循环利用实施方案》(以下简称《实施方案》),明确推进工业废水循环利用重点任务,以及典型行业废水循环利用关键技术、先进工艺和装备,标准制定修订等重点攻关方向,对提升钢铁、石化化工、有色、纺织、造纸等行业工业用水重复利用率具有较强推动作用,有利于带动提升全行业废水循环利用水平。多年来,工业领域加快推动用水方式向节约集约转变,大力推广节水技术装备,优化工业用水结构,加强企业、园区用水管理,推动废水循环利用取得积极进展。据统计,2023年规模以上工业用水重复利用率达到94%,提前完成《实施方案》提出的目标。万元工业增加值用水量为24.3立方米,较2020年下降20%左右,为完成“十四五”全社会用水下降指标提供重要支撑。

**注重实效,进一步提升工业废水循环利用水平**

《名单》遴选出的废水循环利用

**聚焦重点,深入挖掘废水循环利用典型经验**

工业和信息化部以钢铁、石化化工、纺织、造纸、食品等行业为重点遴选出58家企业、园区典型案例。在用水过程循环方面,首钢股份公司迁安钢铁公司实现用水分级串级使用,通过电化学除垢技术替代传统化学药剂法,解决高碱度、高硬度水源用户循环水浓缩困难问题,同时实现药剂零投加。杭州绿能环保发电有限公司将厂区生活污水及部分雨水由管网收集至污水收集池,通过生化、沉淀、消毒处理后作为中水,用作冷却水、渗滤液处理系统的冲洗水和配药用水等。在区域产城融合方面,浙江龙游经济开发区根据居民、企业用水特点,推行分质供水,重点企业开展串联供水、中水回用等节水措施,打造园区“小中大”节水循环模式。在智慧水管控方面,宝钢湛江钢铁有限公司通过建设水系统集控中心,实现厂内独立水系统集中控制、智能化协同、精细化管理,解决用水错配问题。在技术装备创新方面,浙江华康药业股份有限公司针对浓缩低浓度糖浆过程中消耗大量蒸汽和水,采用膜过滤方法将糖浆由浓度3%浓缩到20%,再用机械压缩蒸发器把糖浆浓度浓缩到70%,通过采用新设备、新工艺实现大量节水。在减污降碳协同方面,青岛啤酒股份有限公司研发啤酒高浓废水与市政污水协同处理减污降碳资源化利用技术,筛选出啤酒热凝固物作为生物质碳源替代原有污水处理厂的化学碳源,实现啤酒废水100%资源化利用。

这些企业和园区通过节水技术创新应用、改造升级和数字赋能等做法多点发力,不仅大幅提高用水效率,同时显著降低企业用水成本,减少污水排放对环境的负面影响。

**降低化学用品耗用量和耗水量,并在纸机的设计阶段投入了大型纸机封闭白水系统自净化技术,通过分级回收,将其循环应用到打浆、喷淋、润滑等各个环节中,车间通过技术改造将石灰渣洗涤水引入消石灰系统使用,循环使用烟道气洗涤水,并将碳酸钙研磨厂的冷却水循环使用。2023年单位产品用水量将至8.59立方米,水重复利用率达到94.75%以上,达到行业先进水平。**

**一是加强技术研发和推广应用。推动企业技术改造升级,加大废水循环利用先进适用工艺、技术装备推广应用力度。大力推广碱回收及蒸发站污冷凝水的分级及回用、化学机械浆或废纸浆的制浆水循环使用、制浆造纸生产用水梯级利用等工艺,不断降低新水用量,提高废水循环利用水平。**

**二是发挥标准引领作用。加大取水定额、节水型企业等国家标准宣贯力度,按照“急用先行”原则加快制(修)订一批行业节水标准,推动行业加强节水管理,严格把控取水、重复利用、用水漏损、计量等方面要求,提高用水量计量的精度,增强行业整体节水能力。**

**三是提升节水数字化智能化水平。联动企业利用大数据、云计算、互联网等新一代信息技术,建立工业废水循环利用智慧管理平台,形成感知、监测、预警、应急等能力,提升废水循环利用的数字化管理、网络化协同、智能化管控水平。**

**二是深化产城融合,推动解决企业用水难题。亚太森博(山东)浆纸有限公司针对制浆造纸企业生产过程产生的轻度污染废水集中等特点,将轻污染废水通过前絮凝、厌氧好氧(A/O)生物处理、后絮凝、砂滤、双膜法处理技术,实现废水污染物源头减量与深度处理后回用相结合,同时将市政污水处理后的中水与企业内产生的工业污水中水混合后,经超滤+反渗透处理后回用至工厂作为锅炉、循环水补水进行重复利用,水重复利用率达到95.93%,再生水利用量达到666.28万立方米/年。**

**三是强化协同创新,加快节水技术研发推广。金东纸业(江苏)股份有限公司通过推进高得率纸浆,有效**

企业、园区各有特色,且在各行业具有代表性和可复制性,拓宽了废水循环利用的应用场景和实践方式。下一步,推动工业废水循环利用要在精细化、集约化、数智化上协同发力。

一是加快优化工业用水结构。面对日益趋紧的水资源环境约束,需要不断拓宽工业用水来源,精细优化水资源配置。鼓励产城融合,拓展循环利用空间,完善再生水管网,衔接再生水标准。鼓励沿海企业加大海水直接利用及海水淡化技术应用,建立雨水集蓄利用设施。统筹推进市政再生水、海水、雨水等非传统水源用于工业生产,减少对传统水源的依赖,在更大范围内提高水重复利用率。

二是加强节水技术装备创新。积极采用先进节水技术、工艺和设备,推动企业一水多用、梯级利用。通过创新工艺流程与集成适配回用技术及装备等措施,优化废水循环利用方式。加强生产工艺和完善生产管理,减少工业废水产生。加大废水循环利用和零排放技术装备推广力度,实现水资源闭环管理,降低环境影响。

三是提升企业数智化管控水平。推动规模以上用水企业加快对已有数字化管理系统进行升级改造,利用大数据、云计算、AI、互联网等新一代信息技术,建立工业废水循环利用智慧管控平台,提升运营效率。通过数智技术赋能工业水管理绿色转型,实现用水效率的实时监测与优化、预测性维护、应急以及智能调度等,推动精细化治理和能效升级。

四是强化废水循环利用管理。鼓励重点用水行业的头部企业及所在地区建立完善工业废水循环利用地方标准,完善用水审计和评估制度,推动工业废水循环利用全过程管理。统筹现有资金渠道支持工业废水循环利用相关项目,落实节水、资源综合利用等税收优惠政策,降低企业再生水利用成本,推动废水循环利用实现质效提升。

**降低化学用品耗用量和耗水量,并在纸机的设计阶段投入了大型纸机封闭白水系统自净化技术,通过分级回收,将其循环应用到打浆、喷淋、润滑等各个环节中,车间通过技术改造将石灰渣洗涤水引入消石灰系统使用,循环使用烟道气洗涤水,并将碳酸钙研磨厂的冷却水循环使用。2023年单位产品用水量将至8.59立方米,水重复利用率达到94.75%以上,达到行业先进水平。**

**一是加强技术研发和推广应用。推动企业技术改造升级,加大废水循环利用先进适用工艺、技术装备推广应用力度。大力推广碱回收及蒸发站污冷凝水的分级及回用、化学机械浆或废纸浆的制浆水循环使用、制浆造纸生产用水梯级利用等工艺,不断降低新水用量,提高废水循环利用水平。**

**二是发挥标准引领作用。加大取水定额、节水型企业等国家标准宣贯力度,按照“急用先行”原则加快制(修)订一批行业节水标准,推动行业加强节水管理,严格把控取水、重复利用、用水漏损、计量等方面要求,提高用水量计量的精度,增强行业整体节水能力。**

**三是提升节水数字化智能化水平。联动企业利用大数据、云计算、互联网等新一代信息技术,建立工业废水循环利用智慧管理平台,形成感知、监测、预警、应急等能力,提升废水循环利用的数字化管理、网络化协同、智能化管控水平。**

**二是深化产城融合,推动解决企业用水难题。亚太森博(山东)浆纸有限公司针对制浆造纸企业生产过程产生的轻度污染废水集中等特点,将轻污染废水通过前絮凝、厌氧好氧(A/O)生物处理、后絮凝、砂滤、双膜法处理技术,实现废水污染物源头减量与深度处理后回用相结合,同时将市政污水处理后的中水与企业内产生的工业污水中水混合后,经超滤+反渗透处理后回用至工厂作为锅炉、循环水补水进行重复利用,水重复利用率达到95.93%,再生水利用量达到666.28万立方米/年。**

**三是强化协同创新,加快节水技术研发推广。金东纸业(江苏)股份有限公司通过推进高得率纸浆,有效**

**中国钢铁工业协会 陈丽云**

钢铁是国民经济支柱产业,也是重点高用水行业之一。有关数据显示,2023年规模以上钢铁企业用水量32.4亿立方米,约占规模以上工业用水量的7.6%。近年来,钢铁行业严格落实水资源刚性约束制度,建立完善水资源综合利用体系,加强废水循环利用,持续提高用水效率,为行业绿色发展作出了积极贡献。

**钢铁行业废水循环利用取得积极成效**

2021年12月,工业和信息化部、国家发展改革委等六部门联合发布《工业废水循环利用实施方案》,提出“到2025年,钢铁行业规上工业用水重复利用率>97%”。近年来,钢铁行业不断推广废水循环利用新技术、新工艺,加强水系统全过程控制,通过将转炉、高炉、烧结等湿法除尘改为干法、焦炉配套干熄焦工艺、气化冷却等措施,拓展循环水、串级水、回用水利用途径,实现源头节水和减排控制,提升废水循环利用水平。截至2023年年底,重点统计钢铁企业工业废水重复利用率达到98.3%,较2015年提高0.8个百分点。

**废水循环利用典型经验 引领钢铁行业高质量发展**

2024年11月,工业和信息化部发布《2024年工业废水循环利用典型案例名单》,8家钢铁企业入选,包括5家用水过程循环、2家智慧水管控和1家技术装备创新。这些企业废水循环利用效果显著、水效指标先进,对钢铁行业水效提升具有示范带动作用。

**强化技术引领 探索推动印染行业废水循环利用新路径**

**中国印染行业协会会长 林琳**

印染是纺织产业链的重要环节,也是纺织工业节水减排的重点方向。据测算,2023年规模以上印染企业用水量7.8亿立方米,约占规模以上工业用水量的1.8%。近年来,印染行业积极践行绿色发展理念,经过多年的努力,在水资源节约、废水循环利用和污染防治方面取得了明显成效。

**政策带动,印染行业废水循环利用取得积极进展**

“十四五”以来,工业和信息化部深入实施工业水效提升行动计划,相继印发《工业废水循环利用实施方案》《工业水效提升行动计划》,持续优化工业用水结构和管理方式,完善节水标准体系,发布《国家鼓励的工业节水工艺、技术和装备目录(2023年)》,推广包括12项纺织印染在内的节水先进技术装备,培育福建福田纺织印染科技有限公司等工业废水循环利用试点企业,遴选一批重点用水企业、园区水效领跑者,带动印染企业提高节水意识、强化用水管理,通过产业结构调整、生产装备及废水处理设施升级、清洁生产技术推广、污染物治理等手段和措施,不断减少废水排放量和污染物排放量,废水循环利用水平持续提升。据测算,2015—2023年,印染行业单位产品水耗下降20%左右,水重复利用率由30%提高到40%以上。

**标杆引领,推动印染行业废水循环利用提质增效**

2024年11月,工业和信息化部

一是系统集成先进工艺技术提升用水循环水平。陕钢集团汉中钢铁有限责任公司对原有废水处理系统进行提标改造,新建超滤、反渗透等深度处理系统,浓盐水用于高炉冲渣、炼钢焖渣、焦化熄焦等,采用分质供水、串级补水、梯级排水等先进管理模式,将生产新水作为各生产单元净循环水补水,净循环水排水作为各生产单元浊循环水补水,浊循环水排水进入污水处理系统进行处理后,按照水质分级利用原则返回生产系统。首钢股份公司迁安钢铁公司通过使用电化学除垢技术替代传统化学药剂法,解决高碱度、高硬度水源用户企业循环水浓缩困难问题,使浓缩倍数从2.5提高至4.0~5.0,用水量降低20%~25%,实现水处理药剂零投加,2023年吨钢取水量达到2.87立方米/吨,水重复利用率达到98.89%,达到行业领先水平。

二是推行智慧水务提升用水管控水平。沙钢集团建设的智慧管理平台,通过现场部署的厂级工程师站定期采集循环水运行数据,采取数字化、智能化技术解决循环水站问题,实现循环水智慧化、自动化运行,降低运行成本,2023年水重复利用率达到98.32%,再生水利用量达到300万立方米以上。湛江钢铁通过建设水系统集控中心,实现厂内独立水系统集中控制、智能化协同、精细化管理,做到“全厂水量一张表、生成监控一幅图”,实时监控单元用水情况,实现远程控制,水量平衡,消除多系统数据独立、多部门信息壁垒,解决用水错配,2023年水重复利用率达到99.4%,单位产品用水量达到1.31立方米/吨钢,再生水利用量超过2000万立方米。

三是强化创新驱动提升技术装备水平。针对高炉煤气冷凝水未经处理直接利用、循环水浓缩倍数低、雨污分流不彻底、道路

湿式清扫造成废水漫流散排等问题,普阳钢铁通过创新软水密闭循环冷却、循环水电化学处理等技术,大幅改善内部梯级利用水的水质,减少污水处理站的运行负荷,提高用水效率,年节约用水90万立方米,单位产品用水量下降0.13立方米/吨钢。

**进一步提升钢铁行业废水循环利用水平**

一是加强废水循环利用技术创新和推广应用。突破焦化废水深度处理回用、冷轧废水深度处理回用、循环水高效冷却、高浓缩倍数循环水处理、循环水系统水质稳定在线监控、脱硫废水深度处理回用等关键核心技术。实施排水管网雨污分流技术改造,推广应用高效循环水处理、生产工艺干法半干法冷却或洗涤、高浓度有机废水回用、高盐废水减量、智慧用水等废水循环利用先进装备技术工艺。

二是建立健全废水循环利用标准体系。制定完善钢铁企业废水深度处理回用实施指南、钢铁企业综合废水回用水质技术要求,烧结脱硫废水循环系统、焦化酚氰废水处理回用系统、冷轧废水处理回用系统、钢铁企业综合废水回用设施运行技术要求等标准。推动实施烧结烟气湿法脱硫废水处理回用技术规范、钢铁工业浓盐水处理回用技术规范、钢铁企业综合废水深度处理回用技术规范等标准。

三是提升废水循环利用智能化管理水平。利用大数据、云计算、互联网等新一代信息技术,加强水耗指标及全工序水平衡精细化管理,强化感知、监测、预警、应急等能力,促进数字化、信息化与水系统深度耦合,实现对工业水效快速、精准、智能化管控,不断提升用水效率。

区域产城融合。余姚大发化纤有限公司针对化纤废水中有机物难以生物降解、难以回用的问题,通过分质分流预处理,采用非均相催化臭氧氧化、反渗透等技术,实现废水回用,采用城市污水厂的再生水代替常规水资源,节约优质水资源,实现区域产城融合,再生水使用量占比58.4%,单位产品用水量达到0.65立方米/吨,水重复利用率达到98.3%。

**多措并举,探索印染行业废水循环利用新路径**

一是加大节水减污技术研发应用。进一步推广印染行业废水分质处理分质回用、高级氧化和膜分离等废水深度处理及回用技术,突破低成本高回用率废水深度处理技术,提高废水循环利用水平。发挥废水循环利用典型案例示范作用,开展企业节水诊断、水平衡测试等,严格用水定额管理。

二是推动印染园区循环化改造。加快对现有印染园区的循环化改造升级,加强污染集中治理设施建设,提高园区用水效率,推进园区用水系统集成优化,实现串联用水、分质用水、一水多用、梯级利用和再生利用,构建园区再生水循环利用体系,最大程度降低污染物排放量。

三是完善工业废水循环利用绿色化标准体系。适时制(修)订取水定额及污染物排放相关标准,进一步完善(修)订行业清洁生产评价体系。制(修)订一批低碳、节能、节水、废水循环利用等关键工艺技术装备标准。加快编制印染行业废水深度处理与回用技术指南。

## 以废水循环利用促进造纸行业绿色发展

**北京市科学技术研究院 正高级工程师 张亮**

造纸工艺包含制浆、漂白、洗涤和抄纸等,水量和废水产生量大。有关数据统计,2023年规模以上造纸企业用水量16.2亿立方米,约占规模以上工业用水量的3.8%。近年来,造纸行业通过先进设备应用、过程管理优化、废水循环再生使用,用水效率得到较大提升。

### 多点发力,造纸行业废水循环利用取得积极成效

造纸行业通过新建和改扩建大、中型项目,采用国际和国内先进成熟的技术装备,产业规模、技术装备水平、节能环保能力等快速提升,万元产值取水量和单位产品取水量呈大幅下降趋势,多数产品单位取水量已接近国际先进水平。

通过技术的迭代升级,废水及主要污染物的处理量不断下降。2022年,造纸与纸制品业废水处理量为16.89亿吨,占全国工业废水处理总量的5.6%,废水处理量同比降幅达30.37%。造纸与纸制品业化学需氧量、氨氮排放量分别为5.23万吨和0.13万吨,较2020年减少3.8%和10.9%。按纸及纸板产量折算,吨产品化学需氧量、氨氮排放量较2015年分别降低86.6%和90.9%。

### 变废为宝,打造造纸行业废水循环利用新样本

2024年11月,工业和信息化部