

国家鼓励的工业节水工艺、 技术和装备(2019 年)应用指南及案例

冶金工业规划研究院中国水利水电科学研究院

二〇一九年十一月
前言

为落实《国家节水行动方案》，加快推进高效工业节水工艺、技术和装备的推广应用，引导绿色生产和绿色消费，提升工业用水效率，工业和信息化部、水利部联合组织《国家鼓励的工业节水工艺、技术和装备目录（2019 年）》的征集与筛

选评估工作，经有关单位推荐、专家评审，并于 11 月 13 日正式发布联合公告。具体技术评审工作由冶金工业规划研究院和中国水利水电科学研究院联合开展。

2019 年度新征集并录入的工业节水技术涵盖了钢铁、火电、石化和化工、有色金属、纺织印染、造纸、食品及发酵、煤炭、建材，以及焦化、氮肥、制药、制革、电镀等工业行业的高效循环用水、废水再生回用、废水零排放、海水淡化、供水管网检测漏和智慧水管理等急需推广应用的一系列工业节水技术。

目录评审秘书处按照评审方案，组织各工业行业专家对征集到的 300 余项技术进行了审查评估，筛选出 56 项技术编入目录。同时，在已发布第一、二批《国家鼓励的工业节水工艺、技术和装备目录》中筛选了 72 项技术录入本年度目录。目录包括共性通用技术 32 项、钢铁行业节水技术 6 项、石化化工行业节水技术 33 项、纺织印染行业节水技术 24 项、造纸行业节水技术 13 项、食品行业节水技术 7 项、有色金属行业 3 项、皮革行业 2 项、制药行业节水技术 1 项、电子行业节水技术 1 项、煤炭行业节水技术 1 项、建材行业节水技术 4 项、蓄电池行业 1 项。目录所录入的工业节水技术具备进一步推广应用的前景。

为便于使用者查阅和掌握整体情况，目录评审秘书处组织编制了《国家鼓励的工业节水工艺、技术和装备应用指南及案例》，较详细介绍了各项技术的具体内容、应用的典型案例、技术咨询单位信息等。由于技术众多，行业覆盖广，时间有限，各项技术的技术经济指标和实际运行情况均为技术申报单位提供，尚未进行现场核实。

任何机构使用本应用指南及案例，请认真研究分析该技术在相关应用中的适用性，并根据《合同法》等相关法律法规，与技术拥有或应用方约定双方权利义务，在技术交易和使用中严格履行供需双方的责任与义务。

目 录

(一)	电 化 学 循 环 水 处 理 技 术.....	1
(二)	电 子 除 垢 仪 循 环 水 处 理 技 术.....	6
(三)	无 磷 水 处 理 药 剂 和 电 化 学 循 环 水 处 理 耦 合 技 术.....	8
(四)	生 物 酶 循 环 水 处 理 技 术.....	10
(五)	无 磷/低 磷 水 处 理 药 剂 循 环 冷 却 水 处 理 技 术.....	13
(六)	高 压 静 电 循 环 水 处 理 技 术.....	16
(七)	表 面 蒸 发 空 冷 器.....	18
(八)	水 膜 冷 削 峰 高 效 空 冷 器.....	21
(九)	循 环 冷 却 水 空 冷 节 水 装 置.....	24
(十)	冷 却 塔 水 蒸 气 凝 水 回 收 装 置.....	27
(十一)	机械通风冷却塔除雾技术.....	29
(十二)	膜生物反应器-填料联用的废水处理回用技术.....	31
(十三)	高盐废水资源利用集成技术.....	33
(十四)	均相膜电渗析废水脱盐回用技术.....	35
(十五)	高盐废水深度处理减排技术.....	37
(十六)	反渗透膜浓水臭氧-光电耦合处理技术.....	39

(十七)	废热烟气蒸发处理含盐废水技术.....	41
(十八)	高含盐水淡化管式膜技术.....	43
(十九)	智慧用水管理系统.....	45
(二十)	工业水处理大数据运营管理云平台.....	47
(二十一)	工业供水设施及供水管道漏损报警平台.....	50
(二十二)	智能化供水管网检查机器人装备.....	52
(二十三)	智能全闭式电动蒸汽冷凝水回收设备.....	54
(二十四)	海水循环冷却技术.....	57
(二十五)	非并网风电海水淡化一体化成套装备.....	59
(二十六)	焦化废水的再生回用及近零排放集成技术.....	61
(二十七)	焦化废水高级催化氧化深度处理技术.....	63
(二十八)	电磁强氧化焦化废水深度处理技术.....	65
(二十九)	炼焦煤移动床多效干燥密相连续流装煤技术.....	67
(三十)	大直径、耐污染、高通量陶瓷膜油田回注水处理技术.....	69
(三十一)	炼化企业水平衡测试及优化分析系统软件.....	71
(三十二)	炼油催化剂综合废水处理回用技术.....	73
(三十三)	煤化工废水处理回用技术.....	77
(三十四)	固碱蒸发碱性冷凝水处理技术.....	80
(三十五)	石化高盐有机废水高级氧化与生物耦合处理集成技术.....	82
(三十六)	高温高盐高硬稠油采出水处理回用技术.....	84
(三十七)	高含水油田就地分水技术.....	86
(三十八)	火电脱硫废水与氯碱化工工艺联动耦合处理零排放技术.....	88
(三十九)	海上平台生活污水电催化氧化法处理技术.....	90
(四十)	页岩气井返排液回用处理技术.....	92
(四十一)	喷水织造废水处理回用技术.....	95

（四十二）印染废水膜处理回用技术.....	98
（四十三）分散染料无水连续染色装置.....	100
（四十四）活性染料染色残液三相旋流连续脱色与再生盐水循环技术.....	102
（四十五）高效振荡水洗箱装置.....	105
（四十六）羊绒纤维原位矿化、深度节水减排染色新技术.....	106
（四十七）浆纱机湿分绞用水回收利用技术.....	108
（四十八）铅锌选矿废水处理与回用技术.....	110
（四十九）有色金属冶炼废水资源回收利用技术.....	112
（五十） 锌冶炼烟气净化废水零排放技术.....	115
（五十一）制革浸灰与浸酸铬鞣废液封闭循环技术.....	117
（ 五 十 二 ） 制 药 废 水 处 理 回 用 技 术.....	119
（五十三）研磨切割废水回收利用技术.....	121
（五十四）煤矿矿井水超磁分离技术.....	123
（五十五）废水废渣零排放混凝土搅拌装置.....	125
（五十六）反置式釉面砖抛光节水技术.....	127

（一）电化学循环水处理技术

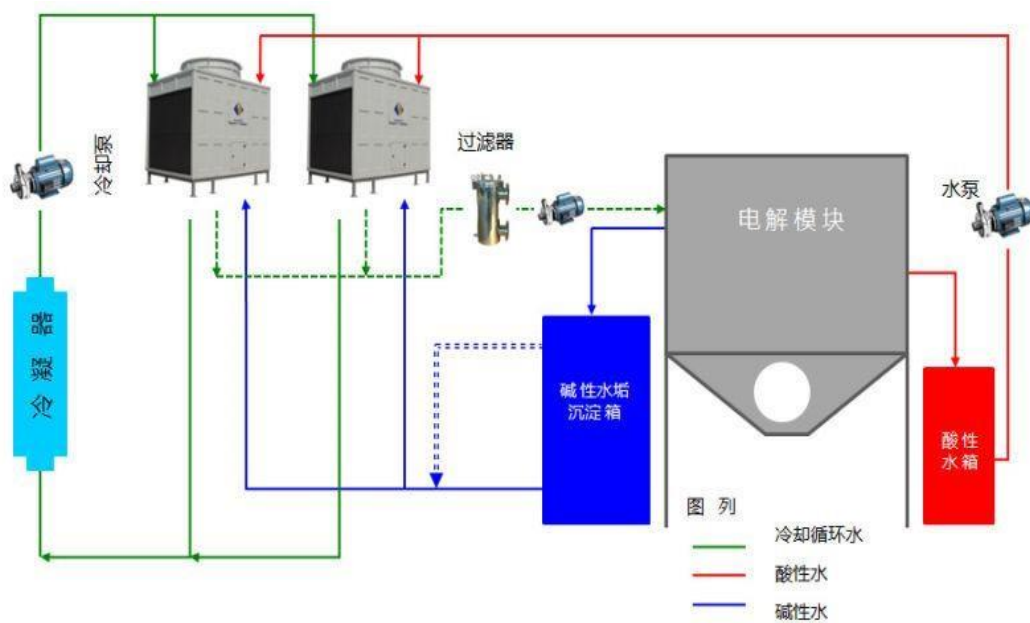
1. 技术所属领域及适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2. 技术原理及工艺

该技术通过电解方式，阴极区形成强碱性环境（ $\text{pH} > 9.5$ ）， Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 形成氢氧化钙、碳酸钙、氢氧化镁；阳极区内形成酸性环境（ $\text{pH} < 3.5$ ），阳极附近反应产生的 Cl_2 、 Cl^- 、 O_3 、 $\text{HO}^\cdot$ 、 H_2O_2 、活性氧原子等强氧化性物质，可产生大量次氯酸，杀灭菌藻有效控制微生物生长。从而实现循环冷却水系统防腐阻垢。还可耦合膜技术、超声波除垢技术和臭氧杀菌技术，强化循环冷却水系统防腐阻垢效果。

该技术可使循环冷却水系统浓缩倍数提高至 4-6，节水 30%左右。工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

该技术可使水体总硬度下降 40%，氯离子去除率近 70%。提高浓缩倍数至 4-6 倍，预计减少新水消耗量 30%，排污水量减少 30%-70%。

4. 技术功能特性

- (1) 提高浓缩倍数，减少补水量和排污量；
- (2) 替代化学药剂，清洁环保；
- (3) 自动化程度高，维护方便简单；
- (4) 提高换热机组的热效率。

5. 应用案例

案例 01

河钢集团承钢公司净环水系统改造项目，技术提供单位为武汉理工大学和河钢集团承钢公司联合开发。

(1) 用户用水情况简单说明

在河北钢铁集团承钢公司净环水系统进行改造，该循环水系统循环水量 1000m³/h，补充水量为 23m³/h。

(2) 实施内容及周期

项目实施采用旁路安装方式，无需停工停产，不需要基建土方。设备占地面积约 10m²，15-20 个工作日完成安装与调试。核心设备为 1 台电化学水质稳定设备。

(3) 节水减排效果及投资回收期

运行一年多以来，浊度、硬度、碱度以及微生物数量都有明显降低且维持在合理范围内，未发现换热器结垢和粘泥附着现象，腐蚀速度远低于行业标准。浓缩倍数由原来的 2.5 倍左右提高到了 4 倍左右。运行中无需投加药剂，年节水量 4.8 万 m³。设备总投资 50 万元，可使用 15-20 年。预计一年可收回投资成本。

案例 02

中国耀华玻璃集团有限公司玻璃炉窑余热发电循环水处理项目，技术提供单位为北京中睿水研环保科技有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

中国耀华玻璃集团有限公司玻璃炉窑余热发电项目，北方厂区装机容量为 4.5MW，弘耀厂区装机容量为 5MW，两个厂区循环量均为 1000m³/h，发电设备未满足负荷运行。电化学设备安装前，长期投加缓释阻垢剂，氧化型非氧化型杀菌灭藻剂，粘泥剥离剂等药剂，并通过测定浓缩倍数指标排水以控制水质参数。厂区用水为市政自来水，具有硬度碱度高等特点，主要矛盾是循环冷却水结垢。补水约 700m³/d，排污 170m³/d。

(2) 实施内容及周期

项目开始建设时间为 2016 年 11 月，2017 年 1 月投入运行。

通过安装电化学水处理设备替代化学加药，达到防垢、除垢、杀菌灭藻的目的。化水车间废水分为多介质反冲洗废水、活性炭反冲洗废水和反渗透浓水，其中多介质反冲洗废水、活性炭反冲洗废水通过管路 Y 型过滤器直接引入凉水池充当循环水补水，反渗透浓水引入电化学水处理设备的沉淀水箱，后进入凉水池充当循环水补水，循环水经过电化学设备析出的水垢进入沉淀水箱，利用螺杆泵输送脱硫塔做为脱硫原料，减少了原材料的采购。

(3) 节水减排效果及投资回收期

电化学设备安装后每天补水约 450m³、排污 6m³，每天可减少补水量 250m³，减少排污量 160m³。化水车间每天产生的 80m³ 废水全部回用。每年可创造节水节药收益 60 万元，预计投资回收期为 3 年。

案例 03

中石化巴陵公司烯烃事业部 442A 循环水处理项目，技术提供单位为湖南中天星成节能减排科技有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

2016 年进行 10 个月的中试，该循环水系统设计能力 $4000\text{m}^3/\text{h}$ ，保有水量 2800m^3 ，旁滤过水量 5%。2018 年在中试装置的基础上，设计了一套与该系统水量对应的综合水处理装置，处理水量为 $4000\text{m}^3/\text{h}$ 。

（2）实施内容及周期

2016 中试期间测定了单位时间内吸附水垢重量、腐蚀性离子去除效率、杀菌灭藻效果以及各种工艺参数，年用水量 44 万 m^3 ，排污量 6.2 万 m^3 ，2018 年设计了一套与该系统水量对应的综合水处理装置。

（3）节水减排效果及投资回收期

经计算，该循环水系统年节约用水 4.8 万 m^3 ，减少排污 5.5 万 m^3/a ，减少化学药剂投放量 48t/a；节约用水费用 19.2 万元/年，节约排污费用 27.5 万元/年，节约药剂费用约 50 万元/年。投资回收期约 24 个月。

案例 04

东平中联美景水泥有限公司余热电厂循环水处理项目，技术提供单位为山东深信节能环保科技有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

东平中联美景水泥有限公司余热电厂循环水系统循环水量为 $3500\text{m}^3/\text{h}$ ，平均排污水量 $200\text{m}^3/\text{h}$ 。

（2）实施内容及周期

在循环水系统中旁路安装 SX-EDE-S-200 设备 2 套，组成 SX-EDE 处理系统，

综合处理水量 $400\text{m}^3/\text{h}$ ，占总循环水水量的 11%；余热发电汽轮机组凝汽器进口及水室内安装 SX-UDE 超声波阻垢设备 8 套，综合阻垢能力 1200m^2 ，在电化学及超声波设备联合作用下，循环水水质逐渐改善，排污量逐渐减少。运行半个月后，循环水系统不需再添加任何化学药剂。

设备供货期 30 天，设备现场安装调试需 5 天。

（3）节水减排效果及投资回收期

在机组相同运行参数条件下，循环水排污量减少 50%以上；设备投运后，第一周需正常投加水处理药剂，一周后循环水系统停止投缓蚀阻垢剂、杀菌剂等水处理化学药剂；维持系统的循环水不结垢，使发电系统换热设备保持清洁、无垢。凝汽器运行参数优于电化系统安装前的运行参数，凝汽器真空不低于-92kPa，端差小于 10℃；设备投入运行后 10 个月收回投资。

1.

（二）电子除垢仪循环水处理技术

技术所属领域及适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2. 技术原理及工艺

该技术通过除垢防垢装置产生变频扫描磁场捕捉氢键的固有振动频率，引发水分子间氢键共振断裂，生成单个的自由水分子。自由水分子体积小、极性极强，能够渗透靠近水垢的离子键，并且破坏其强度，让水垢容易被水流冲刷脱落。通过铜/银合金电极电解出铜离子和银离子杀菌灭藻。包括除垢防垢装置、自动检测装置、杀菌灭藻装置、智能控制等四部分组成。工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

- （1）不使用化学药剂，不污染水质；
- （2）除垢、防垢、杀菌，提高浓缩倍数，节水量 10%-50%；
- （3）运行成本低，一个循环水量 10000m³/h 的水系统，设备功率仅 2-3kW。

4. 技术功能特性

- (1) 功能全面：具有除垢防腐、杀菌灭藻、智能检测等功能。
- (2) 节水省药：提高浓缩倍数，节约用水量；减免化学药剂，避免水体污染。
- (3) 节能减排：节约煤耗，减少碳排。
- (4) 保护设备：减少换热器的化学腐蚀和损害，提高生产设备的使用寿命。

5. 应用案例

中化长山化工有限公司 30 万吨/年合成氨生产线循环水系统改造项目，技术提供单位为毕托巴（上海）科技有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

30 万吨/年合成氨生产线的循环水系统的循环水量为 $30000\text{m}^3/\text{h}$ ，补充水量约 $250\text{m}^3/\text{h}$ 。

(2) 实施内容及周期

设备安装简单，在线安装，不用停产停工，不需要基建土方，设备总占地面积小于 10m^2 ，15 个工作日内完成安装和调试。设备使用寿命 10-15 年，运行成本低，总功率小于 10kW ，运行时免维护。

(3) 节水减排效果及投资回收期

设备安装后可减少补水量 $60\text{m}^3/\text{h}$ ，按照年运行 8000h 计，可节约补水量 48 万 m^3/a ，节水率 25%，降低能耗 10%以上，减少含磷污染物排放 19.2t/a。设备总投资 300 万元，可使用 10-15 年。预计 1 年内可收回投资成本。

（三）无磷水处理药剂和电化学循环水处理耦合技术

技术所属领域及适用范围

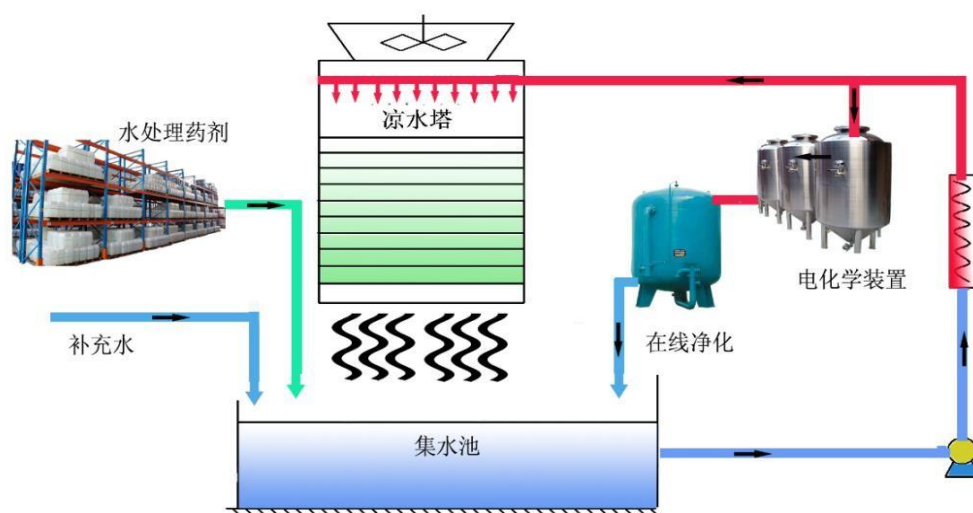
适用于工业循环冷却水系统。

1.

2. 技术原理及工艺

该技术采用“电化学技术+化学药剂+在线净化技术”，结合自动控制技术，实现循环冷却水系统的超高浓缩倍率和超低排放，是一种绿色循环冷却水新技术。

工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

(1) 碳钢腐蚀速率 $\leq 0.075\text{mm/a}$ 、铜腐蚀速率 $\leq 0.005\text{mm/a}$ 、不锈钢腐蚀速率 $\leq 0.005\text{mm/a}$ ；

(2) 污垢沉积速率 $\leq 10\text{mcm}$ ；

(3) 污垢热阻值 $r^* \leq 3.44 \times 10^{-4} \text{m}^3 \cdot \text{K/W}$ ；

(4) 异养菌总数 $\leq 1 \times 10^5$ 个/mL，生物黏泥 $\leq 3\text{mL/m}^3$ 。

4. 技术功能特性

(1) 减少排污 80%以上；

(2) 可减少水质稳定剂用量 20%以上；

(3) 一般 2 年可收回成本。

5. 应用案例

中海油宁波大榭石化有限公司二期循环水系统改造项目，技术提供单位为中海油天津化工研究设计院有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

项目年加工原油 800 万吨，主要包括 225 万吨/年沥青装置和 75 万吨/年沥青装置，主要产品包括化工轻油、低硫工业燃料油、催化原料油、焦化原料油以及沥青等。其二期循环水系统总循环水量 4000m³/h，采用工业水和再生水作为循环水补水。

(2) 实施内容及周期

2016 年 7 月运行中海油天津化工研究设计院有限公司的“无磷水处理药剂+电化学除垢杀菌+智能控制”的一体化技术，对其循环水系统进行水质保运处理，项目运行至今。

(3) 节水减排效果及投资回收期

实现 6 倍以上高浓缩倍率运行，排污口实现零排污，年节水减排量约为 35 万 m³，节约新鲜水量约为 20 万 m³，年 COD 减排量约为 17t，每年节约新鲜水成本和排污费用等直接经济效益 100 万元左右。投资回报周期约 1 年。

(四) 生物酶循环水处理技术

技术所属领域及适用范围

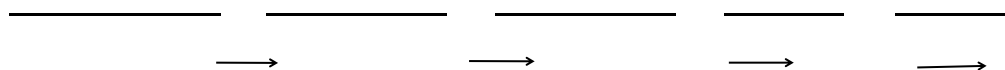
适用于工业循环冷却水系统。

2. 技术原理及工艺

该技术通过投加微生物菌群处理循环冷却水，经人工培养、驯化、筛选等方式，优选适用于循环水水质稳定处理的微生物菌群，可以以碳、氮、硫、磷等作

1.

为营养源，还可以吞噬其它微生物菌群、消解有机物、溶解垢层。工艺流程如下所示：



3. 技术指标

- (1) 节水：10%-20%；
- (2) 排污：磷消减量 $\geq 90\%$ ，COD 消减量 $\geq 30\%$ ；
- (3) 循环水系统检修时间减少 50%以上；
- (4) 节省运行人工费用（加药人员、管理员）50%以上。

4. 技术功能特性

提高浓缩倍数，减少补充水量，降低运行成本，社会、经济和环境效益明显。

5. 应用案例

案例 01

神华宁煤甲醇厂生物酶循环水处理项目，技术提供单位为重庆融极环保工程有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

甲醇厂循环水系统循环水水塔保有水量 12000m^3 ，循环水量 $25000\text{m}^3/\text{h}$ ，用水量（即补水量） $200\text{m}^3/\text{h}$ ，利用循环水中微生物的降解能力，协同处理甲醇废水，处理量 $7\text{-}12\text{m}^3/\text{h}$ 。

(2) 实施内容及周期

甲醇厂于 2013 年 7 月份开始生物酶循环水处理技术系统改造，在循环水塔池中安放纤维球框共计 20 个；对水塔池出水口进行改造，安装一道污泥阻挡墙；改造污水管道，将甲醇废水引入循环水塔池，所有改造工期共计 10 天。

（3）节水减排效果及投资回收期

生物药剂试用三个月后，节能减排效果及经济效益如下：节电：全部加药泵停用后节电共计 111 kW·h。

节水：节水量约 10 万 m³，节水率约 10%，节水经济效益约 28 万元。

减排：减少排水量约 12 万 m³，减排经济效益约 27 万元。

环保：减少甲醇废水外排量 1.5 万 m³，减少废水处理费用约 3.6 万元。

前期系统改造安放纤维球框架及污泥阻挡墙成本共计 11 万元，当月可收回投资，此后每月投加生物药剂 1.2t，生物药剂成本为 18 万元/月，每月直接经济效益

=节水减排效益+原化学药剂成本-生物药剂成本=12 万元。

案例 02

华能吉林发电有限公司九台电厂火电机组循环水系统改造项目，技术提供单位为辽宁远能循环水生化处理有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

华能九台电厂两台 670MW 火电机组循环水自 2009 年末投产以来，一直采用传统化学法处理，即投加循环水阻垢缓蚀剂及氧化型和非氧化型杀菌灭藻剂处理，循环水浓缩倍率在 4.0-4.5 之间运行，两台机组循环水年补水量约 800 万 m³，循环水年产生污水量约 150 万 m³。2017 年 8 月循环水采用生物法处理技术后，浓缩倍率提高至 8-15 倍，并长周期安全运行，实现了循环水零排放。

（2）实施内容及周期

此技术实施方便，使用前首先停止向循环水中投加阻垢剂、杀菌剂等化学药剂，并停止循环水排水，逐步投加循环水复合生物制剂和营养调节剂，保持循环水在高浓缩倍率下运行，并通过在线监控仪表，实时监测电导率及 pH 值等参数，以控制加入微生物制剂的投加剂量，实施周期约 1 周左右。

（3）节水减排效果及投资回收期

华能九台电厂按年发电 50 亿 kW·h 计算，年节水量约 200 万 m³，水价按 1.34 元/吨计算，年节省水费约 268 万元。此技术不需要改动原设备和系统，两台机组年用微生物制剂、微生物营养剂和监测设备人工维护费用总计约 282 万元。若按照原处理方式，电厂每年循环水缓蚀阻垢剂用量约 130t，循环水非氧化性杀菌剂约 35t、氧化性氯锭 5t，费用合计约 120 万元。因此应用此技术每年可以节约直接费用约 106 万元。

（五）无磷/低磷水处理药剂循环冷却水处理技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2. 技术原理及工艺

该技术采用自然 pH 值运行工艺或加酸调 pH 值碱性运行工艺，制备兼具阻垢和缓蚀功能的无磷聚合物。采用无磷缓蚀剂、无磷聚合物和锌盐等无磷缓蚀阻垢剂配方/低磷缓蚀阻垢剂配方，控制循环冷却水系统腐蚀和结垢。交替使用氧化性杀生剂和非氧化性杀生剂杀菌，控制循环冷却水系统粘泥滋生。提高浓缩倍数至 5-7 倍。

3. 技术指标

（1） 化学药剂带来的磷低于 3mg/L（以磷酸根计）；循环水系统污水回用比大于 50%。

（2） 循环水处理效果满足：碳钢监测试管腐蚀速率小于 0.075mm/a、黄铜和不锈钢监测试管腐蚀速率小于 0.005mm/a，粘附速率小于 15mg/(cm²·月)。

4. 技术功能特性

（1） 本技术根据循环水的具体情况，使用复合无磷或低磷药剂，包含无磷/低磷缓蚀剂、无磷/低磷阻垢分散剂（如聚环氧琥珀酸）、无磷杀菌剂等成分；

（2） 根据补充水和循环水水质采用加酸调 pH 工艺或自然 pH 值运行工艺，

使循环水在高浓缩倍数下运行。

5. 应用案例

案例 01

仪征化纤有限责任公司循环冷却水系统改造项目，技术提供单位为中国石油化工股份有限公司北京化工研究院。

（1）用户用水情况简单说明

仪征化纤有限责任公司进行了无磷/低磷水处理药剂处理循环冷却水的工业应用，循环水 I 区循环水系统循环水量为 $4000\text{m}^3/\text{h}$ ；PTA I 区循环水系统循环水量为 $9000\text{m}^3/\text{h}$ 。

（2）实施内容及周期

循环水 I 区采用自然 pH 值运行工艺，将中水回用比例从先前的 50%以下提高至 100%；PTA I 区采用加酸控制 pH 值运行工艺，标准补新水率连续三个月同比降低 50%以上。

（3）节水减排效果及投资回收期

应用期间水质指标运行良好，有机膦药剂控制稳定，微生物控制较好，异养菌总数 $<1 \times 10^5$ 个/mL，监测换热器碳钢试管的腐蚀速率 $<0.075\text{mm/a}$ 、粘附速率 $<15\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{月})$ 。

案例 02

安庆分公司循环水系统改造项目，技术提供单位为中石化石油化工科学研究院。

（1）用户用水情况简单说明

安庆分公司炼油 II 循循环水系统循环水量为 $7500\text{-}10000\text{ m}^3/\text{h}$ ，腈纶 I 循循环水系统循环水量为 $12000\text{-}15000\text{ m}^3/\text{h}$ ，采用含磷缓蚀阻垢剂控制循环水有机膦 $6\text{-}8\text{mg/L}$ ，循环水浓缩倍数控制为 3.0-5.2 倍。日常氧化型杀生剂控制微生物采用 ECH-99(三氯异氰尿酸)、 ClO_2 、活性溴交替使用的方式，间断式投加 WJP-509、ZC-801 或 1227 等进行黏泥剥离。

（2）实施内容及周期

2017 年 10 月到 2018 年 7 月，安庆分公司在炼油和腈纶两个循环水系统连续应用 9 个月，期间循环水为自然 pH 运行方式，污水回用比例约 50%，采用低磷缓蚀阻垢剂控制循环水有机磷 2.3-2.9mg/L，微生物控制方式不变。

（3）节水减排效果及投资回收期

炼油 II 循异养菌数控制在 1×10^5 个/mL 以下，黏泥量控制在 $1\text{mL}/\text{m}^3$ 以下，碳钢监测试管的腐蚀速率均不大于 0.050mm/a ，粘附速率均不大于 $9\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{月})$ 。腈纶 I 循黏泥量控制在 $0.2\text{mL}/\text{m}^3$ 以下，碳钢监测试管的腐蚀速率均不大于 0.040mm/a ，粘附速率均不大于 $7\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{月})$ ，循环水处理效果优异。

该技术应用期间，处理炼油 II 循循环水量约 6500 万 m^3 ，共回用污水约 49.5 万 m^3 ，节约新水约 49.5 万 m^3 ，减少污水外排量 49.5 万 m^3 。综合考可节约新水水费、污水处理费和循环水化学处理费等因素，共产生经济效益约 20 万元；处理腈纶 I 循循环水量约 820 万 m^3 ，共回用污水约 50 万 m^3 ，节约新水约 50 万 m^3 ，减少排污约 50 万 m^3 ，产生经济效益约为 30 万元。

通过 9 个月的实际运行，共回用污水约 100 万 m^3 ，节约新水约 100 万 m^3 ，减少排污约 100 万 m^3 ，减少 COD 外排量约 32 t，减少磷外排量 0.35t（以磷计）。项目无固定资产投资，且污水回用后循环水的生产成本略有下降。

（六）高压静电循环水处理技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2. 技术原理及工艺

该技术是利用纳米离子棒体及合金复合探头，使水中的棒体周围产生一个高压静电场，以维持对水的连续性处理，达到除垢、杀菌、灭藻、缓蚀、阻垢的作用。

3. 技术指标

在高频高压电场的作用下，晶角面发生变化，形成盐垢的晶体发生畸变，垢形放大 2000 倍，成松散、无规则团状；水体电位的提高，改变了水的物理特性；杀菌能力比氯离子强 600-3000 倍。

4. 技术功能特性

- (1) 投入运行 1-3 个月后，软垢基本清除；
- (2) 投入运行 3-6 个月后，管道及系统内原有硬垢逐渐疏松、脱落；
- (3) 投入使用后，随着软垢硬垢的逐步清除，腐蚀率逐渐降低；
- (4) 系统内不再有藻类生成，原有藻类逐渐死亡，3 个月后系统内灭藻率达到 99%以上，水体无异味，水质清澈，无菌类生长。

5. 应用案例

岳阳巴陵石化化工化纤有限公司高压静电循环水处理项目，技术提供单位为湖南沁涵环境科技有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

岳阳巴陵石化化工化纤有限公司自 2018 年 12 月配套了纳米离子水处理器，系统循环水量为 $500\text{m}^3/\text{h}$ ，补水量 $4\text{m}^3/\text{h}$ ，排水量 $1\text{m}^3/\text{h}$ 。水中钙硬度约 87mg/L ，碱度约 81mg/L 。

(2) 实施内容及周期

在水池里泵的吸水口安装 3 根纳米离子棒体，使进入水泵内所有的水必须经过棒体，而使水中带有足够的电场，电控箱挂在水池墙上，不破坏也不改变任何原有设备，不占用任何地面面积。设备供货期 30 天，设备现场安装调试 5 天。

(3) 节水减排效果及投资回收期

原来补水量为 $3\text{m}^3/\text{h}$ ，排水量为 $2\text{m}^3/\text{h}$ 。按照每年 300 天计算，全年水费约 5.6 万元；排污费约 3.6 万元，药剂费 3 万元，合计 12.2 万元。

采用该技术后补水量为 $2\text{m}^3/\text{h}$ ，节约补水量 33%；废水零排放且无药剂费。每年可节约水费及水处理费 10 万余元。该设备一次性投入 21 万元，投资回收周期约 2 年。

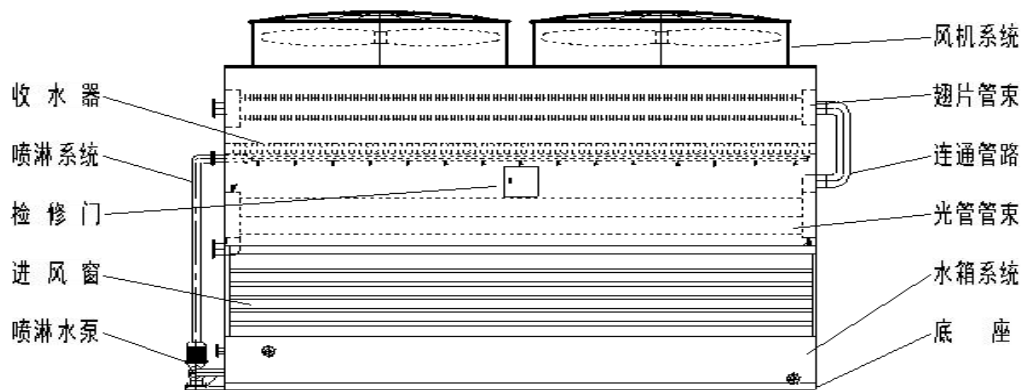
（七）表面蒸发空冷器

1. 技术所属领域及适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2. 技术原理及工艺

干湿结合闭式冷却塔是将空气冷却器和闭式冷却塔完美的结合到一起而产生的一种新产品，即利用了空气冷却器的节水优势又利用了闭式冷却塔的降温效果。通过合理的设计，干湿结合闭式冷却塔可以满足工业循环水系统的节水要求和降温效果。冷却塔结构如下图所示：



3. 技术指标

与开式循环冷却水系统相比，节水型闭式空冷循环冷却水系统节水约 50%-70%，减少排污约 50%-70%。

4. 技术功能特性

（1）节水。节水型闭式循环水系统在气温较低时不需要喷淋水，空冷器干式运行，因此系统也不需要补充水，年补水量大幅降低，闭式空冷循环冷却水系统比传统开式循环冷却水系统可节水 50%-70%。（2）冷却循环水温度稳定。闭式系

统冷却水闭式运行，系统配有温度调节措施，循环冷却水温度稳定，从而使工艺操作稳定。

(3) 稳定工艺换热设备的换热效率，延长换热设备使用寿命。与工艺换热设备换热的是软水，软水硬度低，杂质少，且在系统中闭路循环，不受大气污染，大大地减少工艺换热设备结垢和腐蚀，稳定工艺换热设备传热效率，提高使用寿命。

(4) 减少污水排放，有利环保。以相同浓缩倍率来计算排污量，由于闭式空冷系统蒸发量只为开式系统的 50%-70%，故排污量减少近 50%-70%，可显著减少污水处理费用。

(5) 运行费用低。补水及加药费用仅为开式冷却塔系统的 50%-70%。

5. 应用案例

案例 01

中天合创鄂尔多斯煤炭深加工循环水系统改造项目，技术提供单位为湖北中圣节水股份有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

中天合创鄂尔多斯煤炭深加工项目共设三座循环水厂，为全厂提供循环冷却水。其中第二循环水厂采用节水型闭式空冷循环冷却水系统，主要为净化、合成、硫回收、S-MTO 等装置提供循环冷却用水，设计规模 45000m³/h。

(2) 实施内容及周期

项目总投资额约 15 亿，其中第二循环水场设置 38 台联合空冷器、6 台循环水泵，同时配置一套循环水量为 26600m³/h 的喷淋水系统，节水型闭式空冷循环冷却水系统投资额约 1 亿元。

项目周期：2015 年 5 月至 2016 年 8 月。

(3) 节水减排效果及投资回收期

该系统循环水量 $45000\text{m}^3/\text{h}$ ，按照年运行时间 8000h 计，节水率约 70% ，可比开式循环水系统节水近 $500\text{万 m}^3/\text{a}$ ，采用节水型闭式系统比开式系统多投资近 9000 万元，但年运行费用减少近 4000 万元。预计 2 年左右可以完全回收建设投资。案例 02

陕西未来能源化工有限公司 100 万吨/年煤间接液化冷却塔改造项目，技术提供单位为博天环境集团股份有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

该项目配套多台套 $500\text{m}^3/\text{h}$ 的开式冷却塔进行循环水冷却，每台开式冷却塔年总耗水量（飘逸、排污、蒸发）近 7万 m^3 。

(2) 实施内容及周期

2018 年初开始实施，采用 1 台 $500\text{m}^3/\text{h}$ 的干湿结合闭式冷却塔代替 1 台 $500\text{m}^3/\text{h}$ 开式冷却塔。项目运行周期为 1 年，测算每年干湿结合闭式冷却塔的耗水量。

(3) 节水减排效果及投资回收期

干湿结合闭式冷却塔投入运行后，每天进行四次数据监测，根据实际测量耗水量，及榆林当地气温情况，采用插入法进行全年耗水量统计，干湿结合冷却塔年总耗水量（含飘逸、排污、蒸发）为近 3万 m^3 。对比开式冷却塔，年节约水量近 4万 m^3 ，节水率达 60% 。投资回收期约 3 年。

案例 03

中国石油乌鲁木齐石化公司炼油厂 30 万吨/年气分装置空冷器更换改造项目，技术提供单位为四川简阳空冷器制造有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

改造前，冷却塔每小时耗水 31m^3 。改造后，单台设备夏天每小时节约水 20m^3 ，冬季不喷水每小时节水约 31m^3 。

(2) 实施内容及周期

对中国石油乌鲁木齐石化公司炼油厂 30 万吨/年气分装置空冷器更换改造丙烯塔空气冷却器，项目实施周期 4 个月，表面蒸发空冷器投资 430 万元。

(3) 节水减排效果及投资回收期

表面蒸发空冷器设备总投资 430 万元（共 4 台设备），较改造前，单台设备夏天每小时节水 20m³，冬季不喷水每小时节约水 31m³，通过节水 5 年可收回设备成本。

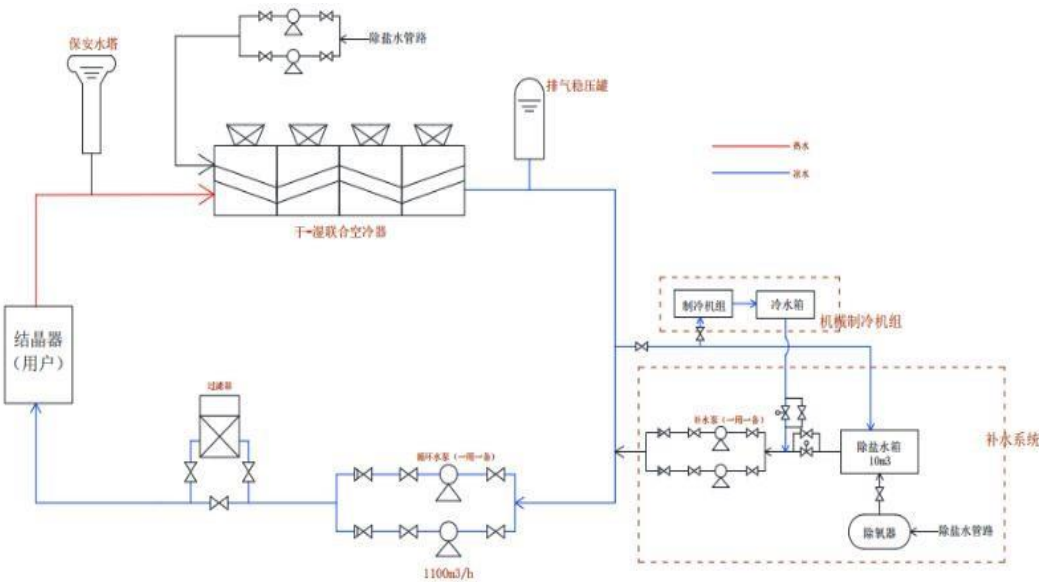
(八) 水膜冷削峰高效空冷器

1. 技术所属领域及适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2. 技术原理及工艺

该技术以水膜冷削峰高效空冷器（高效干-湿联合空冷器）为核心，串接机械制冷用于极端高温天气下的辅助冷却降温，保障系统冷却能力。工艺路线如下图所示：



高效干-湿联合空冷器是整个系统的关键设备，通过密闭循环实现无循环水蒸发损失、通过液膜汽化潜热和亲水翅片强化传热效率，实现无液滴飞溅造成的风吹损失、极低的喷淋水消耗和稳定的冷却效率。独特的 V 型双层管束布置结构，使得设备占地面积小。下层设置有移动布膜装置，使用少量的喷淋水在管束亲水翅片上形成一层薄液膜，可迅速汽化吸收大量热量，进行湿式冷却，同时吸收空气热量使空气降温，降温后的空气与上层管束再次进行换热，进行干式冷却降温，提高传热效率。因此整个空冷器具有节水、高效的特点。针对少见的夏季中午短时段内的极端高温天气，冷却塔可能出现冷却能力不足的问题，开发了机械制冷补充降温的设备和技术。该技术的特点是在循环系统内抽取一部分循环水，利用夜间价格较低的平电和谷电制取一定量的冷水并储存，降低冷水成本。当空冷器的冷却能力不足时，使用存储的冷水补充，同时置换部分循环热水用于冷水制备，形成冷热水循环，保障用户对水温的要求。

该系统通过理论模拟，形成一套最优的控制模型，根据外界气象环境和循环水温度的变化，自动调节风机、喷淋水以及冷水的开闭，做到最大化的节水和节电。

3. 技术指标与现有凉水塔式冷却水系统相比，节水 90%以上。

4. 技术功能特性

该技术应用于钢铁行业，吨钢循环水蒸发损失量降低 0.5m^3 。

5. 应用案例

河钢承钢 100t 转炉 1#铸机结晶器循环冷却水系统改造项目，该项目为 2016 年国家重点研发计划-水资源高效开发利用子课题“冶金行业循环冷却水的气温随动多介质制冷节水技术与示范”（2016YFC0400405）的示范工程项目，技术提供单位为河钢集团有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

应用于河钢承钢 100t 转炉 1#铸机结晶器循环冷却水系统，该系统原采用开放式凉水塔进行冷却，循环水量 $1100\text{m}^3/\text{h}$ ，补充水为软水，补水量约为 $20\text{m}^3/\text{h}$ 。

（2）实施内容及周期

该项目新建循环水量 $1280\text{m}^3/\text{h}$ 的冷却塔，冷却负荷 $43^\circ\text{C}-34.5^\circ\text{C}$ 。主要建设内容包括基础土建、空冷设备安装和调试。基础土建的工期为 1 个月，设备安装和调试周期为 2-3 个月。如在原系统基础上利旧改造，将大幅缩短实施周期。

设备使用后可减少软水补水量平均 $18.5\text{m}^3/\text{h}$ ，折合 16.2 万 m^3/a ，节水率在 90% 以上，同时减排浓盐水 5.4 万 m^3/a 。设备总投资 500 万元，设备寿命预期为 15 年，投资回收期约为 3 年。

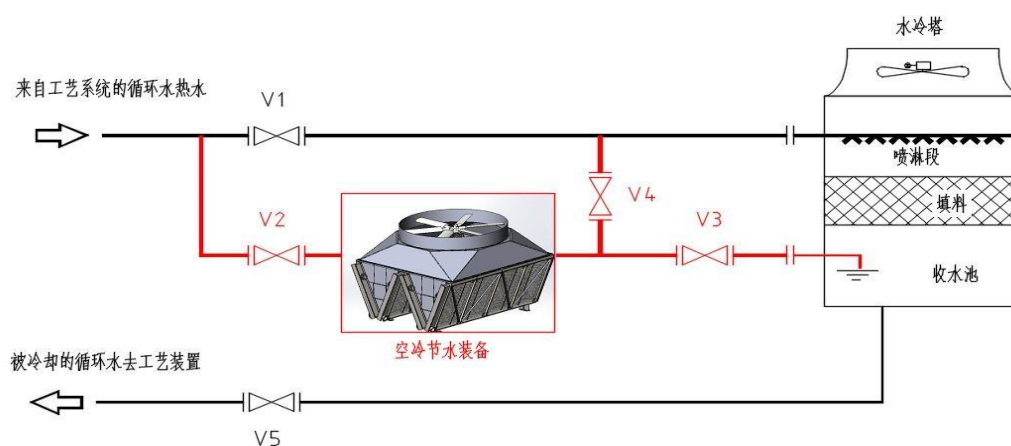
（九）循环冷却水空冷节水装置

1. 技术所属领域及适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2. 技术原理及工艺

该技术采用空冷和水冷干湿联合冷却技术，在开式或闭式循环水冷却系统中增设空冷节水装置。空冷节水装置是一种高效空冷换热设备，具有传热效率高、占地面积小、耐腐蚀性好、成本低的优势。冬季气温低时，开启 V2、V3、V5 阀门，关闭 V1、V4 阀门，循环水通过空冷节水装置被冷却后循环使用，不耗水；春秋季时，开启 V2、V4、V5 阀门，关闭 V1、V3 阀门，循环水通过空冷节水装置冷却后再进入冷却塔冷却，部分耗水；在夏季温度较高时，关闭 V2、V3、V4 阀门，系统湿式冷却运行。实现秋、冬、春三季度节水，全年节水率达 40-65%。工艺流程如下图所示：



该节水技术的关键设备为针对干湿联合运行条件开发的专用 KLV 型空冷节水装备，该装备散热器采用 V 型水平结构布置，翅片为开窗扰流结构，散热片与换热管采用胀接工艺技术，散热器两侧联箱均为可拆卸盖板式联箱。散热器的传热效率较传统的双金属轧制管散热器高 15%，结构布置紧凑，模块化设计（可根据

循环水量多模块组合)，占地小，便于管内清洗。解决了水冷塔节水改造普遍存在的布置空间小、水质差引起的换热管腐蚀等问题；在满足节水要求的同时还达到了冬季冷却塔消雾的目的。

3. 技术指标

- (1) 干工况点温度 $\geq -5^{\circ}\text{C}$ (北方)或者 $\geq 8^{\circ}\text{C}$ （南方），节水率 40%-65%；
- (2) 风机功耗 $\leq 34\text{kW}$ （单模块）；
- (3) 传热系数 $\geq 55\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ，水阻 $\leq 6\text{m}\cdot\text{H}_2\text{O}$ 。

4. 技术功能特性

- (1) 散热器采用不锈钢基管与铝翅片胀接工艺，水平布置，采用可拆卸盖板式管箱，便于管束内部清洗维护；
- (2) 空冷装备散热器采用 V 型布置，自支撑结构、模块化设计，安装简便，快捷，占地小、布置灵活；
- (3) 实现春、秋、冬三季节水，大幅减少了循环水冷却系统的蒸发耗水和排污耗水；
- (4) 节水的同时解决原水冷塔冬季飘雾带来的厂区安全隐患问题；
- (5) 小单元设计，引风式结构，具有更优的防冻性能，冬季运行无需设置百叶窗。

5. 应用案例

新疆心连心能源化工有限公司循环冷却水空冷改造项目，技术提供单位为双良节能系统股份有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

新疆心连心能源化工有限公司 55000m³/h 工业循环水采用 10 台 5500m³/h 的冷却塔冷却，每小时耗水约 950 m³，年运行耗水近 700 万 m³，存在冬季水冷塔

飘雾在邻近高速公路上下雪形成薄冰问题，造成车辆通行中的安全隐患。（2）实施内容及周期

2017 年进行了 1 期节水改造，对 5 台 $5500\text{m}^3/\text{h}$ 的冷却塔进行改造，在原冷却塔前新建 5 组空冷节水装置，每组 6 个模块，改造工作于 2017 年 8 月开始，于 2017 年 10 月完成并投运。

（3）节水减排效果及投资回收期

1 期改造节水装置投资约 1500 万元，2017 年实现节水 215 万 m^3 ，减少排污量约 70 万 m^3 。改造后虽增加电费 800 万元，但减少水费和排污处理费共计 1430 万。

预计投资回收期不超过 3 年。

1.

(十) 冷却塔水蒸气凝水回收装置

技术所属领域及适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2. 技术原理及工艺

该技术针对工业冷却塔水蒸发损失问题，首次实现从冷却塔排湿热空气中通过冷凝法回收水蒸汽，开发了冷却塔水蒸汽凝水回收装置。装置利于外界新风对湿热空气进行冷却换热，降低出塔湿热空气的饱和温度，饱和空气含湿量降低，水蒸汽凝结析出，实现冷却塔水蒸汽回收。装置关键部件为并联间隔通道(冷空气道和湿热空气道)，间隔通道中间为一间壁，间壁一侧为湿热空气，另一侧为来自外部环境的冷空气。湿热空气被冷空气冷却，随着湿空气温度降低，水蒸汽从湿空气中凝结析出，附着于换热板上，当板上液滴满足临界脱落半径时，液滴从换热板上脱落，凝结水在回收装置下部导出并回收，达到节水目的。

3. 技术指标

- (1) 水蒸气蒸发量年均 1.5%、回收率年均 14.7%;
- (2) 热通道压降 6.9pa;
- (3) 冷却塔压力比 5.9;
- (4) 热冷通道压降比 0.26;
- (5) 冷通道侧压力比 4.6;
- (6) 耗电比 0.037kW/(h/m³)。

4. 技术功能特性

- (1) 该节水装备省去了冷却塔消白雾的额外能耗，不影响循环水的温降，循

环水泵扬程不增加，风机功耗不增加，节水效果明显。(2) 雾气减少，减少了雾霾形成的载体，回收的蒸馏水可循环使用，不污染水质及设备，节水环保。

5. 应用案例

万华化学集团股份有限公司冷却塔改造项目，技术提供单位为山东蓝想环境科技股份有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

1 台 5000m³/h 的冷却塔，循环水蒸发量约为 60 万 m³/a。

(2) 实施内容及周期

采用水蒸气深度凝水回收装置模块，对循环水系统传统冷却塔进行消雾节水改造，实施周期 3 个月。

(3) 节水减排效果及投资回收期

改造后，1 台 5000t/h 的消雾节水塔平均可节水近 10 万 m³/a。投资回收期约 3 年。

1.

(十一) 机械通风冷却塔除雾技术

技术所属领域及适用范围

适用于工业行业北方冬夏季温差较大循环冷却水系统。

2. 技术原理及工艺

该技术增加除雾装置，通过空气冷却装置对循环水系统热回水间接换热，冷却回水温度降低，从而降低循环水塔顶的过饱和热湿空气的温度，减少凝结水雾，实现冷却塔除雾。

3. 技术指标

供、回水温差 4.9°C ，封闭换热器后供、回温差为 5.7°C 。

4. 技术功能特性

冬季回收饱和空气中 80%的水蒸气，减少冬季循环水挂冰、风机检修及清理积雪频次。

5. 应用案例

新疆中泰化学阜康能源有限公司蒸发循环水系统改造项目，技术提供单位为新疆华泰重化工有限责任公司。

(1) 用户用水情况简单说明

新疆中泰化学阜康能源有限公司一期烧碱系统设计循环量为 $25834\text{m}^3/\text{h}$ ，一期聚合系统设计循环量为 $10000\text{m}^3/\text{h}$ ，补水量为 $500\text{m}^3/\text{h}$ 。

(2) 实施内容及周期

设备安装在冷却塔进风口，安装简单，可在线安装，不需要停产停工，30 个工

作日内完成安装和调试。设备使用寿命 10-15 年，运行成本低。（3）节水减排效果及投资回收期

设备安装后可减少补水量 $100\text{m}^3/\text{h}$ ，按照年运行 8000h 计，可节约补水量 80 万 m^3/a ，节水率 20%。设备总投资 1000 万元，可使用 10-15 年。预计 3 年内可收回投资成本。

1.

(十二) 膜生物反应器-填料联用的废水处理回用技术

技术所属领域及适用范围

适用于工业废水处理回用。

2. 技术原理及工艺

该技术通过在膜生物反应器（MBR）中投加一种特殊填料，该填料具有内部孔隙结构发达、比表面积大、吸附能力强的特点，能够作为微生物良好的载体及惰性物质的吸附剂，同时在填料内部形成缺氧、厌氧生化反应的微环境，难降解有机物的去除率大大提高。同时开发出一种适用于该工艺的新型中空纤维 MBR 膜，具有膜丝拉断力高、表面孔径均匀、耐污染性好的特点，通过一种全新的中空纤维膜制备方法，在编织物表面涂覆一层高分子料液，在保持膜分离孔径的基础上突破了高分子材料强度不足的瓶颈，大大提高了膜材料的强度。通过对膜组器布气结构的合理设计，达到对膜丝根部的最大保护的同时具有节能和均匀曝气的效果。

3. 技术指标

（1）处理后出水 COD 浓度小于 50mg/L，去除率可达 87%以上，出水 SS<1mg/L。

（2）膜丝拉断力>300N，适用寿命大于 5 年，适用于恶劣水质环境条件下应用。

4. 技术功能特性

难降解有机物吸附在填料上，延长有机物的停留时间，同时，在填料内部形成缺氧厌氧生化反应的微环境，难降解有机物的去除率大大提高。

5.应用案例

新疆广汇煤炭清洁炼化有限责任公司 1000 万吨/年煤炭分级提质综合利用污水处理项目，技术提供单位为北京新源国能科技股份有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

项目包括新建 1000 万吨/年块煤干馏、13.5 万 Nm^3/h 荒煤气制氢、160 万吨/年粗芳烃加氢联合装置（含 160 万吨/年粗芳烃加氢装置，60 万吨/年 2#精制芳烃改质装置，40 万吨/年沥青成型装置，16 万吨/年提酚装置，1 万吨/年硫磺回收装置）等主体生产装置；配套储运系统、公用工程、辅助系统和环保设施。该项目产生污水为高 COD、高酚、高氨的高污染废水，产生污水量约 $420\text{m}^3/\text{h}$ （折合 $10000\text{m}^3/\text{d}$ ）。

(2) 实施内容及周期

该项目于 2015 年 9 月开工，2018 年 7 月项目已调试合格并实现稳定运行。系统回收率 90%，产生浓水量 $40\text{m}^3/\text{h}$ 。

(3) 节水减排效果及投资回收期

该项目节水效果显著，90%的污水全部回用于企业生产。

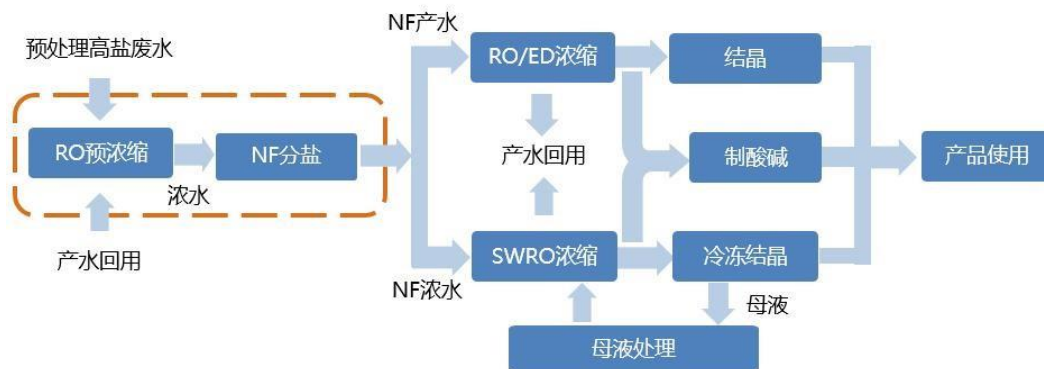
（十三）高盐废水资源利用集成技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于工业行业高盐废水资源化利用。

2. 技术原理及工艺

该技术通过对纳滤、反渗透、均相电驱动膜和双极膜等膜分离及膜浓缩工艺的高效集成，对高盐废水进行分盐、浓缩、制酸碱及结晶等处理，实现废水零排放、水和盐的资源循环利用。膜分离和膜浓缩组合集成技术大幅减少蒸发量和蒸发器投资，同时也大幅降低了结晶分盐的难度，实现氯化钠和硫酸钠等盐分的分别回收利用，结晶盐的品质较好。工艺流程如图所示：



3. 技术指标

- （1）净化水回收率 $\geq 95\%$ ，回用水水质满足企业要求；
- （2）盐回收率（硫酸钠和氯化钠） $\geq 90\%$ ；
- （3）回收盐品质满足精制工业干盐二级标准和工业无水硫酸钠 II 类品标准。

4. 技术功能特性

(1) 水与盐资源化利用。以膜分离浓缩组合技术为核心，结合预处理及结晶技术，使高盐废水中盐和水、硫酸钠和氯化钠较为彻底的分离，实现水的回用、盐的资源化，且回收盐品质较高；外排母液少，结晶盐资源化率高。

(2) 节省外购药剂。系统自产软化再生盐溶液和酸碱药剂，废水资源自身利用，最大程度减少因药剂投加增加废渣（盐）的产生量。

(3) 技术适用性广。根据不同的水质类型，可采用不同的膜组合工艺；利用膜法分盐，对来水的波动适应性高，过程控制比较容易。

5. 应用案例

山东汇丰石化集团有限公司含盐污水零排放项目,技术提供单位为杭州水处理技术研究开发中心有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

企业纯水制备过程及循环水系统中产生反渗透浓水、循环水排污水等含盐废水，废水量约 200 m³/h。实施本项目前，该部分废水经厂区污水处理厂处理达标后排放。

(2) 实施内容及周期

对企业反渗透浓水、循环水排污水以及部分生产污水共 200m³/h 混合废水进行处理、回用，通过膜浓缩、蒸发、结晶的方式达到污水零排放、盐分质结晶。项目实施周期为 9 个月。

(3) 节水减排效果及投资回收期

项目改造实施后，每年减少废水排放约 170 万 m³，回收高品质水约 150 万 m³。

投资回收期 10 年。

(十四) 均相膜电渗析废水脱盐回用技术

技术所属领域及适用范围

适用于工业高盐废水资源化利用。

1.

2. 技术原理及工艺

工业含盐废水主要面临硬度高、含盐量高等问题，工业含盐废水经过均相膜电渗析系统，在外加直流电场力的作用下，阴、阳离子定向迁移透过选择性离子交换膜，从而使电介质离子从溶液中分离出来，达到脱盐除硬的目的，得到的淡水（电导率小于 $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ ）回用，浓水可以进蒸发系统，实现零排放。

3. 技术指标

3.5%的 NaCl 溶液，脱盐至 0.1%，水回收率 40%，淡水脱盐能耗 5 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$ ，脱盐电流效率大于 80%。

4. 技术功能特性

均相膜电渗析处理高盐废水技术可以将含盐废水淡化到 TDS（总溶解固体）小于 $1000\text{mg}/\text{L}$ ，达到国家排放标准，浓水可以浓缩到 TDS 大于 $200000\text{mg}/\text{L}$ ，最后进入 MVR 蒸发实现零排放。具有耗电低、经济效益显著、系统应用灵活、操作维修方便、不污染环境、使用寿命长、原水回收率高等优点。

5. 应用案例

淄博广通化工责任有限公司废水处理回用项目，技术提供单位为山东天维膜技术有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

生产工艺中产生含 3.5%的氯化铵废水，进水氯化铵 $35\text{g}/\text{L}$ ，水量 $600\text{m}^3/\text{d}$ ，直接进蒸发系统浓缩，能耗大成本高。

（2）实施内容及周期

电渗析脱盐工程总投资约 800 万元，占地面积 400m^2 。采用电渗析脱盐回用技术，对水量为 $600\text{m}^3/\text{d}$ 的氯化铵废水进行处理，氯化铵废水初级过滤处理后，加酸调节 pH 值，再进入电渗析浓缩，出水浓水 TDS 在 $150\text{-}160\text{g}/\text{L}$ 范围内，水

量为 $127\text{m}^3/\text{d}$ ，淡水 TDS 约 1.5g/L ，水量为 $473\text{m}^3/\text{d}$ ，80%的淡水回收利用，浓水中氯化铵浓缩至 16%后进入蒸发系统，回收氯化铵固体。

（3）节水减排效果及投资回收期

通过该技术可实现节省成本 24.5 元/吨水（每度电按 0.7 元计算），在进水量 $600\text{m}^3/\text{d}$ ，出水量 $473\text{m}^3/\text{d}$ 条件下，节水率达 79%。投资回收期为 2 年。

1.

（十五）高盐废水深度处理减排技术

技术所属领域及适用范围

技术适用于工业高盐废水处理。

2. 技术原理及工艺

该技术集成高级氧化、高效除硬过滤、膜法分质、膜法浓缩减量、蒸发结晶等工艺，用于高盐废水近零排放处理。其中，高级氧化采用臭氧催化氧化技术；高效除硬过滤采用低压力大通量的膜法除硬过滤一体化工艺去除废水中的硬度、溶硅和少量有机物；膜法分质采用纳滤分盐技术；膜法浓缩减量采用高效电渗析和高压反渗透技术，实现高盐废水浓缩；蒸发结晶采用机械循环蒸发（MVR）和多效蒸发技术，实现盐硝分离。

3. 技术指标

- （1）产出水达到工业新水回用标准；
- （2）浓缩分离结晶产出的氯化钠和硫酸钠可达到工业盐标准。

4. 技术功能特性

基于部分行业和地方污水排放标准对 TDS 和氯离子等的排放浓度要求，通过对含盐污水进行深度处理及零排放，满足行业发展要求。

5. 应用案例

中安联合煤化有限责任公司煤化高盐废水综合利用项目，技术提供单位为中国石油化工股份有限公司北京化工研究院。

（1）用户用水情况简单说明

中安联合煤化有限责任公司根据环评要求，不得外排污水，需要对整个公司的污水进行处理并实现污水回用和产品的综合利用。

（2）实施内容及周期

全厂低浓度含盐污水经高密沉淀-臭氧催化氧化-曝气生物滤池-超滤-反渗透处理后，进一步实现污水的回收利用。针对反渗透浓水，经高效除硬-催化氧化-超滤-纳滤-反渗透，实现含盐污水一、二价离子分离，并对含盐污水进一步浓缩。针对纳滤分质后的一、二价盐溶液，通过多效蒸发实现氯化钠和硝酸盐的分质结晶，达到产品指标，实现综合利用。

（3）节水减排效果及投资回收期

采用该技术后，实现废水分质结晶和资源化利用，年节水量 300 万 m^3 ，并达到污水零排放目标。

1.

(十六) 反渗透膜浓水臭氧-光电耦合处理技术

技术所属领域及适用范围

适用于工业行业高盐浓水处理。

2. 技术原理及工艺

反渗透浓水含盐量高可生化性差，处理难度极大。臭氧与光电催化氧化结合使用，可大大提高处理效率，降低能耗。臭氧在紫外辐射作用下分解产生大量 $\cdot\text{OH}$ ，与光电催化体系产生的活性基团（ $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{HO}_2\cdot$ 等），能有效地将废水中的大分子有机物彻底降解成二氧化碳、水和无机离子。

3. 技术指标

- (1) 处理后水质达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
- (2) COD 去除率高于 80%。

4. 技术功能特性

- (1) 该耦合工艺可产生更多种类的高级氧化基团，效率提高 30%-50%；
- (2) 抗冲击性能大大增强，进水 COD 可提高到 250mg/L；
- (3) 对 COD 和总氮均有良好的去除效果；
- (4) 比使用单一的高级氧化工艺节省能耗。

5. 应用案例

大榭石化污水深度处理项目，技术提供单位为中海油天津化工研究设计院有限公司。

- (1) 用户用水情况简单说明

建立 10m³/h 示范装置，系统进水 COD 到 250mg/L 左右，臭氧催化氧化反应塔出水 COD 170mg/L，光电催化氧化反应器出水 COD 平均值为 47mg/L，达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）一级排放标准要求。

（2）实施内容及周期

2012 年大榭石化公司与天津院合作，采用针对高盐废水开发的电催化氧化处理工艺，在大榭石化现场进行应用试验研究，采用该技术建立了 10m³/h 示范装置，于 2014 年 9 月通过性能标定。

（3）节水减排效果及投资回收期

装置建设投产后，污水回用率由 85%提高到 92%。大榭石化第二污水处理厂污水设计处理能力 50m³/h，每年可以节约新鲜水用量约为 3 万 m³，每年可减少 COD 排放量 10t，为公司的节水减排工作做出重要贡献，节省了排污费用，经济效益和社会效益十分显著。

1.

（十七）废热烟气蒸发处理含盐废水技术

技术所属领域及适用范围

适用于工业高盐废水处理。

2. 技术原理及工艺

热法处理电厂脱硫废水的技术原理及工艺过程是：采用燃煤电厂的废热烟道气作为脱硫废水蒸发的热源，以带有吸附性填料的移动床作为蒸发塔，脱硫废水在蒸发塔内与热烟气直接接触，完成传热传质过程，蒸发后的水分以水蒸汽形式逸出蒸发塔，脱硫废水中高于水沸点的无机盐被吸附在填料中，并随填料一起移动排出蒸发塔。从蒸发塔排出来的残余物，随填料一起进入填料再生器中进行再生，再生后的填料又重新回到蒸发塔中循环使用。工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

- (1) 烟气温度 200℃；
- (2) 出口烟气温度 105℃；
- (3) 吨水耗电量约 6.8 度。

4. 技术功能特性

- (1) 利用废热烟气中的余热将高浓度含盐废水蒸发处理，实现高盐水真正零排放，符合节能环保、低碳经济和循环经济发展要求。
- (2) 采用填料循环移动床蒸发技术，利用可再生、可移动的吸附性填料，吸附和带走蒸发残渣，彻底解决了传统技术中的易于结垢和堵塞等问题，实现了连续稳定生产。

5. 应用案例

杨暴热电粉煤灰综合利用有限公司电厂脱硫废水改造项目，技术提供单位为宁波太极环保设备有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

电厂脱硫废水产生量约 2.5m³/h，含盐量 20%，废烟气温度 160℃，所需烟量为 6000Nm³/h。

(2) 实施内容及周期

实施内容包含项目选址、工艺设计、施工图设计、设备采购、土建施工、设备安装、系统调试和投产，实施周期 6 个月。

(3) 节水减排效果及投资回收期

项目实施后，每年可节水 1.5 万 m³，节约成本 280 万元，项目投资共 460 万元。预计投资回收期为 2 年。

1.

（十八）高含盐水淡化管式膜技术

技术所属领域及适用范围

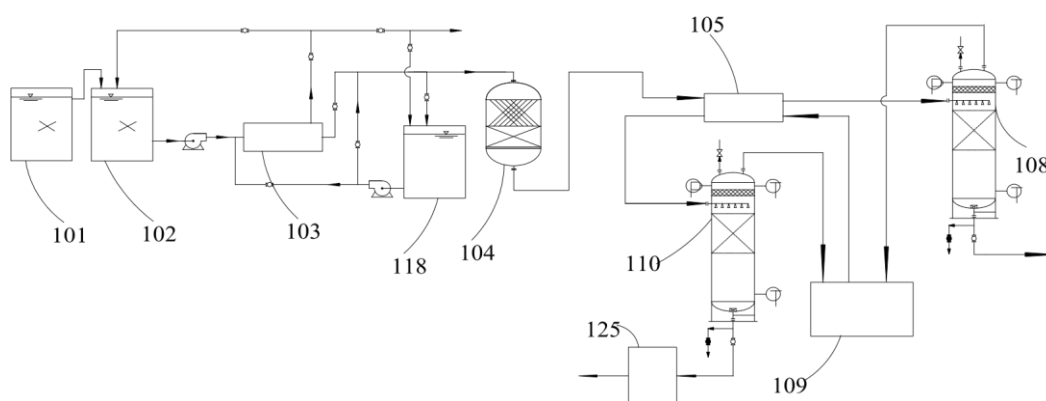
适用于工业行业高盐淡化水处理。

2. 技术原理及工艺

该技术为一种基于管式膜的高含盐水淡化系统，包括依次相连的搅拌箱、循环箱、管式超滤膜系统及离子交换软化系统，离子交换软化系统的出水通过与正渗透膜及反渗透系统相连，将高含盐水的盐分分离浓缩，最终获得大量合格的工业回用水。

工艺路线及流程图如下所示：

管式膜搅拌箱（101）→循环水箱（102）→管式超滤膜系统（103）→中间水箱（118）→离子交换软化系统（104）→正渗透膜系统（105）→浓水氨氮回收系统（108）→汲取液储存箱（109）→汲取液精馏回收系统（110）→反渗透精处理系统（125）



3. 技术指标

- （1）过滤精度为 $0.05\mu\text{m}$ ；
- （2）出水浊度小于 0.5NTU ；
- （3）出水硬度几乎为零。

4. 技术功能特性

传统的利用反渗透进行高含盐水的淡化过程，产水回收率受渗透压的严重制约。在目前膜耐压性能条件下，高含盐水的反渗透淡化水回收率一般小于 40%。本处理技术系统整体回收率可达到 75%，节水能力相比传统反渗透提高 35%。

5. 应用案例

阳煤集团太原化工新材料有限公司锅炉补水浓盐水浓缩处理装置 BOT 项目，技术提供单位为中工沃特尔水技术股份有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

阳煤集团太原化工新材料有限公司生产用水采用黄河水，制取锅炉补给水年用水量约 1700 万 m^3 ，年产生废水约 45 万 m^3 。

（2）实施内容及周期

项目建设规模为 50 m^3/h 锅炉补水浓盐水浓缩处理装置，通过减量化处理，浓缩出小于等于 5 m^3/h 的高浓盐水。工程建设从 2015 年 10 月开始，2016 年 12 月底全部完成，2017 年 3 月末完成系统调试，2017 年 5 月进入生产运营期，目前系统运行良好。

（3）节水减排效果及投资回收期

该项目每年为企业减排浓盐水近 45 万 m^3 ，同时节约淡水资源近 40 万 m^3 ，为

该企业创造了良好的经济效益、环保效益和社会效益。预计投资回收期为 8 年。

（十九）智慧用水管理系统

技术所属领域及适用范围

适用于工业用水管理。

2. 技术原理及工艺

1.

智慧用水管理系统的实现过程主要是通过在水管道上安装用水计量设备，对单位用水数据进行实时计量，并通过数据网关存储并传输数据。云端服务器对数据进行云计算，以结构化形式存储并展示于智慧用水管理平台，为客户提供全方位的精细化用水管理服务。

3. 技术指标

- (1) 可与其他能源监测系统进行兼容；
- (2) 四层架构设计：视图层负责展示界面输出、控制层负责请求控制、业务层负责业务逻辑处理以及持久层负责处理数据存储；
- (3) 统一业务建模及数据访问，能根据终端展现设备差异实现不同的 UI 设计，确保技术平台的可扩展性和开放性，适应未来发展要求。

4. 技术功能特性

(1) 用水的精细化管理。为用水单位提供智能节水管理服务，可将单位的用水大计划划定到各部门的用水小计划，制定各部门的用水 KPI，对用水进行高效率地管理，提升单位用水的精细化管理水平。同时系统的全生命周期管理可记录项目全过程的信息，包括智能水表及数据采集器的基础信息，系统运维与维修记录等，实现项目可持续、可追溯的用水精细化管理。

(2) 实时诊断管网漏损状况。大数据分析技术可实现单位及时、实时的在线水平衡，一旦管网出现异常现象，系统可实现精准定位，并通过移动端向单位工作人员快速反映是哪一段管路出现异常，并根据不同的异常类型，给予管理人员不同的决策建议。

(3) 有效挖掘单位用水潜力。通过大数据分析科学地对单位关键区域的用水进行统计，并应用多维度的用水分析模型来适应各种实际情况，最终可为单位提供用水行为分析报告，辅助管理决策，有效挖掘节水改造的潜力。且随着单位用水数据的不断增加，庞大的数据资源将实现单位在水务工作上量化的预测和管理。

(4) 实现“3A”用水管理。工作人员可在任何时间(Anytime)、任何地点(Anywhere)获取有关单位用水数据的任何事情(Anything)。让工作人员摆脱时间和空间的束缚,随时随地通畅地管理单位用水,快速响应用水的异常问题,使工作变得更加轻松有效,在整体层面上获得更加协调的管理效果。

5. 应用案例

三井高科技(上海)有限公司智慧用水管理系统改造项目,技术提供单位为上海济辰水数字科技有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

三井高科技(上海)有限公司原用水管理存在:①用水报表制作效率低、②用水异常响应时间较长、③低附加值、重复性的劳动的问题。

(2) 实施内容及周期

对该单位 26 块用水计量设备进行改造,同时连接数据采集终端来进行数据采集,并获取实时的用水读数,通过网络进行数据传输,将数据发送到云端,并将云端的用水数据接入智慧用水管理系统,实现该单位用水的在线监测及精细化管理的目的。

该项目从 2017 年 7 月合同签订后开始改造,改造周期为 2 个月,改造效果良好。

(3) 节水减排效果及投资回收期

截至目前,通过对智慧用水管理系统的使用,约提升该单位 10%的用水效率,投资回收期预计在 3 年左右。

(二十) 工业水处理大数据运营管理云平台

技术所属领域及适用范围

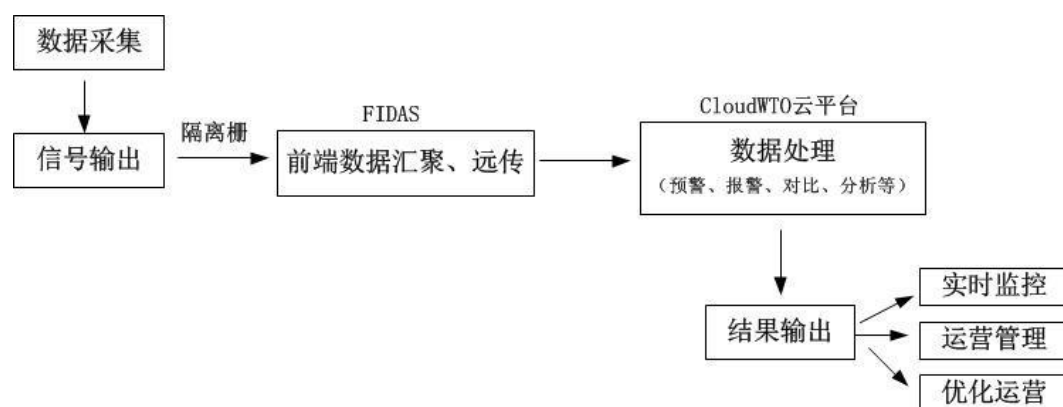
适用于工业用水管理。

2. 技术原理及工艺

1.

该技术实时采集工业水处理运行参数，并将数据实时传输至云端服务器和运营管理平台。根据水处理工艺设置采集指标限值及超标处理方案，当指标超过限值时，平台系统将自动报警并远程推送处理方案，操作人员通过企业客户端和手机 APP 端查看数据、预警报警及处理方案，现场管控工况，过程纠偏，实现线上对线下运行设备过程实时管控。

云平台系统内设各专业模型，对数据分类、聚类、比较、分析，根据客户的工艺状况，自动输出分析结果。指导用户对系统进行优化调整，最大限度提升水的综合利用率，从而达到使用原水最少化和废水排放最小化的目的。工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

(1) 反渗透系统的回收率；(2) 节水率；(3) 减排率；(4) 整体水利用率。

4. 技术功能特性

(1) 建立以工艺流程为核心的全过程信息采集，将现场实时运行数据通过专业数据传感收集并整理上传；

(2) 通过专利技术的数据隔离传输，保证数据安全上传；

(3) 上传数据进行前端现场的汇聚、整理，通过互联网远传至 CloudWTO 平台；

(4) 平台设置各专业模型，对系统的运行数据进行实时的分析、对比、计算；

(5) 分析结果（系统的运行状况、污染趋势等曲线、报表、预警报警情况、处理措施方案等）职能化的展现在平台及客户端，指导工业客户水处理系统运行管理。

5. 应用案例

河南龙宇煤化工有限公司一期脱盐水系统整体提效项目，技术提供单位为河南大河水处理有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

该项目水处理系统采用煤矿矿井水为水源，原水电导率 4700-5000 μ S/cm，悬浮物及 COD 浓度较高。

(2) 实施内容及周期

根据改造的反渗透系统实际运行工况，进行详细的设备摸底勘察，并对需检修、改造内容进行统计。

对选定接入云平台系统的装置设备所属的在线仪表进行校准、配套安装（在线压力表、在线电导率表、在线流量计等），以期获取真实有效的在线实时显示数据，对云平台后台数据的监控和推送提供真实可靠的依据。

该项目实施为期 30 天。

(3) 节水减排效果及投资回收期

反渗透设备水回收率从 63%提升到 78%，在制水成本不变的情况下产水量增加 24%，原水利用效率提升 15%，浓（废）水排放较原来减少 40%，节水减排效

果显著。

设备硬件一次性投入人民币 60 万元。合同期产生的经济效益共为 420 万元。

1.

(二十一) 工业供水设施及供水管道漏损报警平台

技术所属领域及适用范围

适用于工业供水管网检测漏。

2. 技术原理及工艺

该平台通过对管道水流的声音信号的获取和分析来确定地下管道漏水情况。通过研究管道渗漏的声音特征出发，包括信号的产生机理、幅度范围、频率特性、传播特性、噪声和干扰特性等，比较已有的漏点数据模型，排除影响漏点的噪声干扰信号。在此分析的基础之上，根据泄漏信号特征制定信号调理方案，提高采集信号的信噪比，并且采用高效的、基于大数据的、机器学习的判别方法来完成漏点的发现工作。

3. 技术指标

(1) 硬件技术指标：工作温度范围在-15-70℃、通信方式未无线传输、电池寿命大于 5 年；

(2) 软件技术指标：报警平台兼容性 Windows Server 2008R2 及更高版本、

SQL Server 2012 及更高版本、NET Framework 4.0 级更高版本。

4. 技术功能特性

(1) 前沿的传感技术，灵敏度高，大数据与人工智能结合，预测速度快、预测准确性高、效率高；

(2) 强大的通信技术整合能力，适应各类复杂环境；

(3) 简化施工，快速上线；

(4) 超长寿命，维护便捷，无有害物质；

(5) 界面友好，使用便捷，助力高效管理。

5. 应用案例

南京理工大学工业供水设施及供水管道漏损报警平台建设项目，技术提供单位为厦门矽创微电子科技有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

南京理工大学 2017 年用水量约为 300 万 m^3 ，人均用水量 100 m^3 。

（2）实施内容及周期

本项目在南京理工大学的建设分三期，一期于 2016 年 12 月竣工运行，二期于 2017 年 8 月竣工，三期于 2018 年 10 月份开始施工，合同总金额约 310 万元。

（3）节水减排效果及投资回收期

2018 年度为南京理工大学累计节水量约 52 万 m^3 ，按当地水价 3.2 元/ m^3 计算，

减少用水成本约 165 万元。投资回收期约 2 年。

1.

(二十二) 智能化供水管网检查机器人装备

技术所属领域及适用范围

适用于工业供水管网检测漏。

2. 技术原理及工艺

该装备采用二次锂电池供电和智能辅助控制系统，配有进口星光级低照度摄像头，可以实现原地平移、原地旋转、在乱流中自动调整姿态。以 ROV 直接对管道内壁进行带水探测，分析是否发生腐蚀、破损，直观准确，可搭载不同的水下传感器或作业工具，取得各种不同的数据和水下样本。

3. 技术指标

- (1) 尺寸：457×338×254 mm；
- (2) 作业水深：标配 100m；
- (3) 自重：9-11kg；
- (4) 电缆：标配 100m（可延长至 400m）；
- (5) 垂直推进器：2 个 350W，垂直推力：10kg；
- (6) 水平推进器：4×350W，矢量分布水平推力：全方向 14kg；
- (7) 航速：4 节（2m/s）。

4. 技术功能特性

- (1) 可带水操作，避免了停水操作对生产带来的不利影响、风险及损失；
- (2) 动力大，标准产品抗流能力大于 2m/s，适应更多高流速环境，比如冷却水管道、自来水管等；
- (3) 体积小，可以深入直径最小为 500mm 的孔内检查；

(4) 信号传输距离大，可以定制 20km 的远程传输，适合现场管道的远程检

查；

(5) 根据客户需求描述和现场勘察结果，可以联合开发搭载各种复杂高精度传感器的行业产品；

(6) 可选配件丰富，根据客户需求可以搭载高清摄像头、图像声呐、机械手、水下定位系统、激光测距仪等先进的水下传感器，提供更高等级的检测。

5. 应用案例

台积电（中国）有限公司设备和水罐检查项目，技术提供单位为上海查湃智能科技有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

2017 年 3 月采用该技术为台积电（中国）有限公司供水设备和两大水罐进行检查。

(2) 实施内容及周期

实施内容为带水作业检查，把数十米高的水罐分为若干个层级，每一米为一层，按照每一层高度一米的单位划分来进行环壁地毯式检查。实施周期 2 天。

(3) 节水减排效果及投资回收期

对水罐进行的带水全方位的检测，发现了管汇的锈蚀等隐患，为这家企业跟进、整修提供了决策依据，及时采取措施，避免了风险损失。

采购设备总投资 4 万元/台，运行成本为一位操作工工资。企业按年检修一次计，每家年节水量 2 万 m^3 。工业水费按 4 元/ m^3 计算平均检修一次即可收回成本。

(二十三) 智能全闭式电动蒸汽冷凝水回收设备

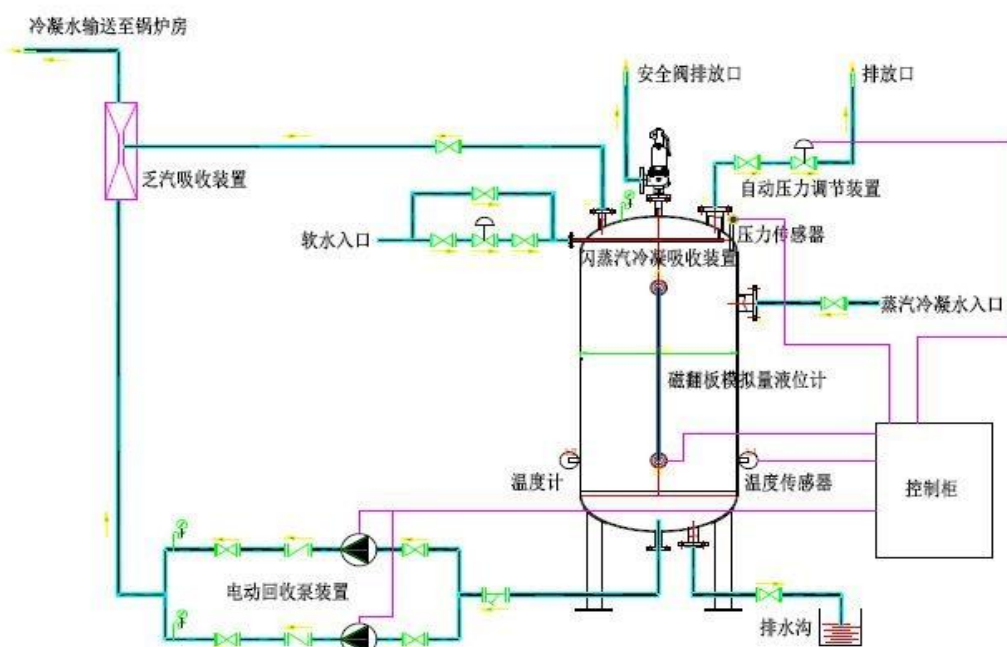
技术所属领域及适用范围

1.

适用于工业锅炉冷凝水回收。

2. 技术原理及工艺

该设备使蒸汽经换热后产生的冷凝水自行回流至冷凝水回收缓冲罐（微负压）内，进行汽水分离、引流。分离后的冷凝水加压输送至锅炉房，闪蒸汽通过吸气定压装置（即射流装置）引射至冷凝水回收管网一并送至锅炉房。设备采用自动化控制，具备自诊断功能，可精准查找故障点，对设备进行远程无线管理监控。其工艺流程如下所示：



3. 技术指标

(1) 消除系统背压，无闪蒸汽外排，冷凝水回收率 100%，热能回收率 $\geq 95\%$ ；

(2) 回收水温 $\geq 100^{\circ}\text{C}$ ，冷凝水溶解氧浓度达标，无须除铁除氧，可直接进锅炉做补充用水。

4. 技术功能特性

(1) 实现气液分流，冷凝水可快速从起始端输送至冷凝水回收装置，缩短回收时间，提高工作效率；解决冷凝水回收系统管网因背压过高导致生产设备换热效率低、温度上升难的问题。设计的智能双重降温恒压装置阻止闪蒸汽排放，实现全闭式回收；

(2) 短时间内快速吸收闪蒸汽，使之变成水，阻止闪蒸汽排放，有效防止管道积水、水锤现象的发生，实现全闭式回收；

(3) 提高泵体的入口水压，巧妙而有效地防止泵体汽蚀现象的发生；

(4) 疏水系统蒸汽泄漏的在线检测与诊断；

(5) 水泵采用热备用模式，可故障报警、诊断与应急处理；

(6) 通过设计闪蒸引射器及三通阀，从处理腔内抽取冷凝水为工作介质，通过闪蒸引射器引射二次闪蒸汽，使回收腔内形成微负压，有利于用汽设备冷凝水的顺利快速进入回收腔，有效防止管道积水、水锤现象的发生；

(7) 实现远程计算机及远程终端设备实时与设备进行通信，查询运行状态及历史数据，远程终端设备可以为手机、IPAD 等。

5. 应用案例

红塔烟草（集团）有限责任公司玉溪卷烟厂智能全闭式电动蒸汽冷凝水回收项目，技术提供单位为湖南柯林瀚特环保科技有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

红塔烟草（集团）有限责任公司玉溪卷烟厂现有 20 吨锅炉 3 台（2 用 1 备），

用汽车间有制丝一车间、制丝二车间、膨胀烟丝车间、中试车间，总冷凝水量约

30m³/h。使用智能全闭式电动蒸汽冷凝水回收设备前，总回收水量仅为 11m³/h，回收率低。

（2）实施内容及周期

玉溪卷烟厂使用 2 台智能全闭式电动蒸汽冷凝水回收设备。建设时间为 2015 年 6 月-2015 年 10 月，实施周期 5 个月。

（3）节水减排效果及投资回收期

该设备运行稳定、回收效果良好，排放管无闪蒸汽排放，全部回收至锅炉房除氧器内，热能回收充分，提高冷凝水水质、水温，降低了锅炉的能耗，总回收水量近 28 m³/h。折合年冷凝水回收量约 14 万 m³，较使用前年节水约 8.5 万 m³。

项目投资约 365 万元。经计算，静态投资回收期约 8.6 个月。

1.

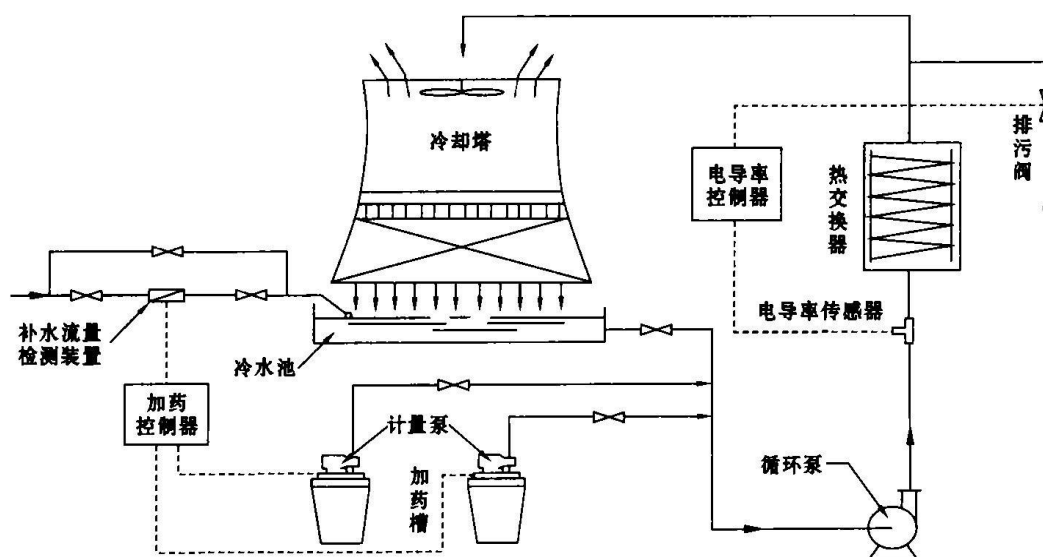
（二十四）海水循环冷却技术

技术所属领域及适用范围

适用于沿海工业企业循环冷却水系统。

2. 技术原理及工艺

该技术以原海水为冷却介质，经换热设备完成一次冷却后，再经冷却塔冷却，并循环使用的冷却水处理技术。技术关键为海水循环冷却系统的污垢控制、污损生物控制、腐蚀控制和海水冷却塔技术，其核心技术是“三剂一塔”——海水缓蚀剂、阻垢分散剂、菌藻抑制剂和海水冷却塔。工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

- (1) 海水循环量达到 10000m³/h;
- (2) 海水浓缩倍率达到 1.8 以上。

4. 技术功能特性

采用海水替代淡水作为循环冷却水，较海水直流冷却减少 98%以上的海水排放量。

5. 应用案例

浙江国华浙能发电有限公司宁海电厂二期 2×1000MW 超临界火电机组配套 2×10 万吨级海水循环冷却项目，技术提供单位为国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所。

（1）用户用水情况简单说明

2 套装置海水循环量为 200000m³/h，浓缩倍率控制在 2.0±0.2 倍，按年运行时间 7800 小时计算，取排海水量分别为 4680 万 m³/a 和 2340 万 m³/a。

（2）实施内容及周期

该工程于 2009 年建成，使用周期 40 年。建设内容主要包括：补水取水站、净化站、循环水泵、冷却塔、加药装置、循环水管路及其配套设备，通过投加海水处理药剂解决系统结垢、污损生物附着等问题，至今运行状况良好。

（3）节水减排效果及投资回收期

与同等循环冷却规模、浓缩倍率为 5 的淡水循环冷却系统相比，实现年替代淡水 3000 万 m³。与同等冷却规模的海水直流冷却系统相比，年取、排海水量分别降低 97%和 98.5%，减少取排海水量分别约 7.6 亿 m³和 7.7 亿 m³。

单套 100000m³/h 海水循环冷却系统，投资约 2.2 亿元，较淡水循环冷却系统投资高约 6000 万元，年运行成本（水费、电费、药剂费、工资福利费、修理费等）较淡水循环冷却系统节省约 2500 万元。预计 3 年收回设备投资。

（二十五）非并网风电海水淡化一体化成套装备

技术所属领域及适用范围

适用于海水淡化、苦咸水淡化。

1.

2. 技术原理及工艺

通过自主创新研发，用一支数字液压柱塞泵替代海水淡化三个传统核心机械装备（高压泵、能量回收器、增压泵），集海水加压、能量回收、增压于一体，达到节能、节材、减排效果。

液压柱塞泵工作时，一个缸向下运动（推水加压过程），推水加压过程中，液压油腔里的高压液压油压力和浓海水腔里的高压浓海水压力共同作用在活塞上，推动活塞向下运动，将海水腔里的海水加压并且推动高压海水进入到反渗透膜中，仅此活塞运动过程完成海水加压和高压浓海水的压力能回收利用。排水过程中，来自外部提升泵的海水从低压海水进水口处进入到海水腔中推动活塞向上运动，活塞向上运动的同时，将浓海水腔中的浓海水从低压浓海水排水口处排出。系统两个加压缸交替工作，完成不间断连续产水。

可将海水淡化与风力发电设备完全耦合于一体化，海水淡化系统全部集成风机塔筒内，通过智能（AI）控制系统，100%利用风电直接驱动海水淡化机械装备进行海水淡化。

3. 技术指标

- （1）吨水耗电 2.1 度；
- （2）100%利用风电进行淡化海水。

4. 技术功能特性

（1）用数字液压柱塞泵代替国外三个核心装备（高压泵、能量回收器、增压泵），节省贵金属材料 50%以上，吨水耗电 2.1 度，制造成本降低 35%。；（2）直接利用风能淡化海水，解决大量消耗化石能源淡化海水导致的高成本和二次污染难题，实现海水淡化能源费用为“零”，以及零污染、零排放；

(3) 非并网风机与海水淡化装备融合一体化。将数字液压柱塞泵、反渗透 RO 膜等海水淡化装置集成于风机塔筒中，实现海水淡化装置不再占用土地，比传统海水淡化工程节约土地 60%以上；

(4) 采用电网多能源协通耦合（AI）控制技术，可根据用户需要选择风网互补和风电独立两种运行模式。

5. 应用案例

珠海市外伶仃岛 1.5MW1000 吨/日非并网风电海水淡化项目，技术提供单位为青岛风生海水淡化研究院有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

珠海市外伶仃岛现有总人口 2236 人，年用水量约 16 万 m^3 。岛上淡水资源十分紧张，且无大型储水设施，枯水季或高峰用水季需从陆地船运供水。

(2) 实施内容及周期

在珠海市外伶仃岛建设 1.5MW1000 吨/日非并网风电海水淡化一体化成套装置，建设周期 300 天。

(3) 节水减排效果及投资回收期

就地取材，利用取之不尽的海水，用之不竭的风能，源源不断的为岛上居民每天提供 1000 m^3 淡水，属于额外增加淡水资源，节水 100%。

同时，1.5MW 风机年供电量 315 万度，海水淡化年用电量 76 万度，其中多余的 239 万度电并网，为岛上居民供电。风力发电机零排放，零污染，按一度电减排 0.977kg 二氧化碳计，可实现年减排 307 万 kg 二氧化碳，减排效果明显。该项目投资回收期为 6 年。

(二十六) 焦化废水的再生回用及近零排放集成技术

技术所属领域及适用范围

适用于焦化废水处理回用。

1.

2. 技术原理及工艺

该技术通过蒸氨预处理去除焦化废水中的挥发性氨，使水质指标达到生化处理进水水质要求；采用高效脱硫脱氰药剂，将煤气净化真空碳酸钾脱硫废液中的硫化物和氰化物浓度降至生化处理单元水平；通过碳生物氧化-沉淀耦合及强化硝化-沉淀耦合，强化难降解有机污染物的去除；采用混凝沉淀技术，加入高效混凝剂，有效提高生化出水中 COD、色度、氰化物的去除效果；采用臭氧催化氧化，将混凝出水中的难降解有机物深度氧化分解；通过多膜组合脱盐技术，实现焦化废水的资源化回用及近零排放，产水率可稳定达到 80%以上。

3. 技术指标

(1) 进水水质：COD 4000-30000mg/L，氨氮 1000-8000 mg/L，总氰 10-60mg/L，苯并芘 1000μg/L，电导率 1000-4000μs/cm；

(2) 出水水质：COD≤50 mg/L，氨氮≤5 mg/L，总氰≤0.2 mg/L，苯并芘≤0.03μg/L，电导率≤100μs/cm。膜脱盐淡水产率≥85%。

4. 技术功能特性

(1) 研发高效脱硫脱氰药剂，开发脱硫废液解毒工艺，实现脱硫废液的解毒预处理，出水水质稳定，抗水量冲击负荷大，无废气、废液、固体废弃物污染。

(2) 碳生物氧化-沉淀耦合及强化硝化-沉淀耦合过程，提升生化处理单元对有机物的降解能力，解决传统生物脱氮工艺抗冲击能力差、处理成本高、处理效果差等问题。(3) 研发适合难降解有机废水处理的专用高效絮凝剂，通过添加高效脱氰混凝药剂，COD 去除率可达 50%以上，出水总氰化物浓度低于 0.2mg/L，色度去除效果明显。

(4) 采用臭氧作为氧化剂，使用高效催化剂能够有效去除水中难降解有机物，

显著提高臭氧利用率至 90%以上，处理后的废水 COD、色度、苯并芘等指标均达到国家新标准直排要求。

(5) 通过超滤、低压反渗透、电渗析，淡水回收率大于 80%，浓水中的盐含量提高到 12%-15%，解决了工业废水“零排放”问题。

5. 应用案例

鞍山盛盟煤气化有限公司焦化废水处理项目，技术提供单位为北京赛科康仑环保科技有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

在焦化废水处理项目中使用该技术后，系统运行稳定性好，在氰化物、COD、氨氮、苯并芘、硫化物及色度的去除难点问题的解决上达到了预期目标，技术具有显著先进性。

(2) 实施内容及周期

针对煤气净化过程产生的含高浓度氰化物的脱硫废液，通过投加脱硫剂和脱氰剂，进行脱硫废液预处理；通过水解酸化—强化短程硝化反硝化（缺氧反硝化+碳氧化+短程硝化+完全硝化），优化生物处理，强化难降解有机物的去除；通过混凝沉淀—纤维过滤—催化氧化—膜脱盐，优化深度处理，出水并入锅炉补水系统，浓盐水熄焦或冲渣。自 2013 年投入运行，至今仍稳定运营。

(3) 节水减排效果及投资回收期

使用该技术后，每年可减排 COD 约 3700 t、氨氮 1500 t、氰化物 155 t、苯并芘 3 kg，每年节约排污费 1300 万元以上，实现年回用水量 58 万 m³ 以上，节约生产成本 187 万元以上，产生经济效益 1487 万元/年，投资回收年限 14 年。

(二十七) 焦化废水高级催化氧化深度处理技术

技术所属领域及适用范围

适用于焦化废水处理回用。

1.

2. 技术原理及工艺

采用“初级电催化氧化+中和曝气池+强化沉淀池+二级电催化氧化+电絮凝+电气浮+超滤系统+反渗透系统”组合工艺，其中“初级电催化氧化+中和曝气池+强化沉淀池+二级电催化氧化+电絮凝+电气浮”是预处理系统，“超滤系统+反渗透系统”是深度处理系统。

电催化氧化废水处理是电化学阳极发生氧化的过程，使得强氧化性中间产物能够无差别的氧化各类有机物，大大提高降解有机污染物的能力。

关键设备包括：初级电催化氧化装置、二级电催化氧化装置、超滤装置、反渗透装置等。

3. 技术指标

吨焦耗水量降低 0.30m³。

4. 技术功能特性

(1) 采用国内首次利用的电化学催化氧化工艺，对焦化废水中难降解有机物进行降解和分解，而非简单的分离与富集，符合国家日益严苛的环保政策和节能减排的产业发展趋势；

(2) 电催化氧化深度处理技术对 COD 处理效率高，对于生化处理出水指标适应范围广，具有一定的抗负荷冲击能力，在原水进水水质波动时，通过工艺参数的调整，可适应焦化废水水质在一定范围内波动；

(3) 降低和控制工程规模及投资；不增加浓水排放量，减小浓水处理规模与处理难度；(4) 在已有工程项目稳定运行基础上，可通过延伸开发纳滤分盐技术，进一步废水实现完全零排放。

5. 应用案例

唐山首钢京唐西山焦化有限责任公司 100m³/h 酚氰废水深度处理及回用项目，技术提供单位为唐山首钢京唐西山焦化有限责任公司。

（1）用户用水情况简单说明

唐山首钢京唐西山焦化有限责任公司在一期焦化废水生化处理基础上建设一套 100 m³/h 的深度处理及回用装置，用于处理生化后焦化废水。

（2）实施内容及周期

该装置于 2011 年 11 月建设，2012 年 9 月投入运行，总投资约 4700 万元，占地面积 7000m²。生化废水经过电催化氧化及超滤、反渗透装置处理，处理能力 100m³/h，产水率在 70%以上。处理后出水 COD 浓度 13mg/L，氨氮浓度 0.31 mg/L，挥发酚浓度小于 0.03 mg/L，氰化物浓度小于 0.03 mg/L，总硬度 5.2 mg/L，总铁 0.02 mg/L，浊度 0.13 NTU，电导率 183μs/cm，氯离子浓度 69 mg/L，达到循环水补充水标准，浓水送往炼钢进行冲渣。

（3）节水减排效果及投资回收期

通过该装置的安装，年节约工业新水用量约 52 万 m³，吨焦耗水降低 0.15 m³。深度处理后焦化废水 COD 浓度降到 20mg/L 以下，其他污染物质可降至检测限以下，大大减小了对环境的危害。年可减排 COD 近 50t，氰化物 276kg，挥发酚 276kg。

该技术运行效果较好，目前已在二期焦化完成建设并投运。

（二十八）电磁强氧化焦化废水深度处理技术

技术所属领域及适用范围

适用于焦化废水深度处理回用。

2. 技术原理及工艺

该技术应用电磁场、电磁力、特定介质及药剂的相互协同作用，发生电磁热

1.

效应、非热效应及热电效应，使污染物化学键减弱，从而降低氧化反应的活化能，同时反应生成羟基自由基，提高氧化还原反应态势，对溶解于水中的难降解有机、无机物质有很好的去除效果。

在特定氧化剂和特定介质存在的条件下，使废水中有害物质在电磁场中发生主动或被动的分子裂解、氧化分解反应，反应生成物为无害气体或固体沉淀物，无二次污染物产生。在电磁能的作用下，特定能量转化物质表面连续产生局部微点瞬时的高温高压及羟基自由基，使水体中带电粒子连续产生电子跃迁，水体中污染物与药剂发生综合剧烈反应，将有机物氧化为二氧化碳和水，无机物质聚合固化与水分离；难降解物质化学键发生剧烈的震荡、转动或扭曲，导致其化学键减弱，降低其反应的活化能，使反应速度大幅提高；有效杀灭细菌、藻类等微生物，有效阻止生物污垢生成。

3. 技术指标

(1) 出水可稳定达到《炼焦化学工业污染物排放标准》(GB 16171-2012) 特别排放限值直接排放标准要求；

(2) 出水经膜系统除盐处理，达到《工业循环冷却水处理设计规范》(GB/T 50050-2017) 规定的再生水水质要求；

(3) 采用一级 RO，回用率 $\geq 75\%$ ，同时所产浓水可达到《炼焦化学工业污染
物排放标准》(GB 16171-2012) 规定的洗煤、熄焦水质标准要求。

4. 技术功能特性

(1) 不产生污染物的转移及二次污染；

(2) 氧化反应速度远高于常规工艺；

(3) 有效杀灭水体中的细菌、藻类等微生物，有效的阻止生物污垢的生成；

(4) 工艺流程短、占地面积小，适合老厂升级改造及新建；

- (5) 技术设备模块化，节能、节水、减排效果明显；
- (6) 工艺投资合理，运行成本经济；
- (7) 操作简单灵活、运行稳定、可控性好；
- (8) 自动化程度高，应急处理简单快捷。

5. 应用案例

技术提供单位为北京启元汇通水务科技股份有限公司。

2013 年山东东药集团首次尝试采用本技术进行工程实践获得成功。

2017 年 5 月 18 日至 6 月 17 日在河北中煤旭阳煤化工有限公司进行 $1\text{m}^3/\text{h}$ 工业化中试，取得理想效果，获得焦化、环保等行业专家的好评，具备技术经济可行性。

2018 年 10 月 8 日至 11 月 19 日与中科院环境研究中心联合在内蒙古乌海市源通煤化集团焦化厂进行 $1\text{m}^3/\text{h}$ 工业化运行受控验证工作，成功验证了该技术的先进性、可行性及经济性，该技术已具备产业化推广应用的良好基础。

（二十九）炼焦煤移动床多效干燥密相连续流装煤技术

技术所属领域及适用范围

适用于焦化行业。

2. 技术原理及工艺

炼焦煤在移动床中依靠重力从上到下移动过程中与内部通入热源的加热板接触并不断进行加热面更新，蒸发蒸汽及时导出，煤料被热源高效率地间接干燥，水分降到 3% 以下，达到干燥的目的；干燥过程产生的蒸发蒸汽用于煤料的二次加热，被二次利用，实现了多效蒸发，提高了热源的使用效率。通过可伸缩套筒将干燥后的炼焦煤料以密相连续流的流动形态装入焦炉炭化室，从装煤方法方面彻底解决了低水分煤料装煤起尘的问题，实现了低水分炼焦煤的无尘装煤，从而降低优质粘结

1.

煤的配比、减少荒煤气冷却耗水和剩余氨水蒸氨冷凝耗水、实现节水、节能、增效。

3. 技术指标

煤料水分从 11%降到 3%以下，抑制干煤起尘，实现对初冷系统无影响的低水分装煤炼焦。

4. 技术功能特性

(1) 移动床干燥器采用间接干燥具有干燥均匀、过程基本不带尘的特点，解决了气流直接干燥、小颗粒过度干燥、大颗粒干燥不足和带尘量大、除尘设备庞大的问题；

(2) 煤料与加热面间相对运动速度小，磨损腐蚀小，设备无转动，避免了回转式干燥装置成本高的问题；

(3) 蒸发蒸汽冷凝过程在低压条件下进行，大幅提高了水分蒸发速率与干燥效率。

5. 应用案例

旭阳中煤有限公司焦炉移动床干燥器及可伸缩套筒顶装项目，技术提供单位为河钢集团有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

焦化工业中，炼焦荒煤气由 750℃冷却到 30℃，需要采用冷却水进行冷却；冷却过程中产生的剩余氨水经过蒸氨，蒸氨塔顶部蒸汽也需要经过冷却水冷却实现冷凝。这些冷却水需要经冷却塔降温后循环使用，而冷却塔的水分蒸发消耗大量的水。煤干燥的水蒸气直接排入大气也消耗水。

(2) 实施内容及周期

焦化的备煤粉碎煤料用蒸汽或导热油通过移动床干燥器进行干燥，将水分降到所要求的水分，再通过可伸缩套筒装入焦炉炭化室，进行干燥煤炼焦。设备制作与安装调试约需要 10-12 个月。

（3）节水减排效果及投资回收期

本项目通过密相连续流套筒装煤实现了水分 3%以下的无尘装煤，并采用移动床两效蒸发，节水率达 57%，实现了焦化行业的节水、节能、增效。预计投资回收期为 1 年。

（三十）大直径、耐污染、高通量陶瓷膜油田回注水处理技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于油田回注水处理。

2. 技术原理及工艺

采用大直径、通道密集型结构的整体设计，有效地提高膜组件的空间利用率，提高膜面积/体积比，从而提高了过滤效率。通过对膜层进行亲水疏油改性，使其对油水具有更强的耐受能力。

工艺采用重力沉降罐出水（含油 50mg/L 悬浮物 50mg/L）经过简单的预处理（例如气浮，絮凝，电化学等），最后通过陶瓷膜超滤膜进行处理，配合专用药剂，

3 个月至半年后对污染严重的膜管进行亲水疏油性能的恢复，以达到长期稳定运行。

3. 技术指标

- （1）陶瓷膜具有亲水疏油的特性，直径 140mm，单只膜面积达 10m²；
- （2）运行压力低于 0.2MPa，能耗低；
- （3）吨水电耗低于 1 度，吨水药剂消耗低于 0.5 元，系统回收率 95% 以上；
- （4）采出水处理后完全达标，即含油≤5mg/L、悬浮物≤1mg/L、粒径中值≤1μm，取代清水，并用于油田采出水的回注。

4. 技术功能特性

（1）耐油污染。陶瓷膜对油水具有更强的耐受能力。耐油污染大直径陶瓷膜是目前几乎唯一可以在油田回注水处理中长期使用的超滤膜。

(2) 能耗低。该膜单体直径达到 140mm，单只膜面积达到 10m²，具有耐污染的特性，使其在应用中具有更高的集成度，阻力更小，无需高流速运行，综合能耗低，综合成本低于 2 元。吨水耗电 1 度。

(3) 精度高。满足石油行业 A1 标准，满足全国任何区块油田回注标准。

5.应用案例

华北油田采油三厂西 47 站回注水处理项目，技术提供单位为河南方周瓷业有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

华北油田采油三厂西 47 站是集供热、拉油、采油、注水于一体的小型接转站，站内有独立的热力系统，拉油系统、注水系统。日产液 190t，日产油 43.6t，含水 77%，日注水 240m³。

(2) 实施内容及周期

2016 年 3 月，在西 47 站试验应用大直径、耐污染、高通量陶瓷膜油田回注水处理技术，实现采出水就地处理回注，低含水油外运，减少清水资源浪费，减轻地层伤害。

(3) 节水减排效果及投资回收期

项目完成后，该站日拉运液量由 210t 降至 70t，年运费减少 90 万左右，注水系统注入处理合格的地下采出水，年节省清水费用约 50 万元，总投资回收期在 3-5 年。

(三十一) 炼化企业水平衡测试及优化分析系统软件

1. 技术所属领域及适用范围

适用于炼化企业水平衡测试及优化。

2. 技术原理及工艺

该软件主要包括业务数据维护、水平衡测试、水网络优化、节水知识库和系统管理五大功能。

业务数据维护：包括水平衡测试业务中水平衡测试项目上一级层次的基础数据。包括：车间类别定义、机构管理、用水种类定义、水用途定义、指标维护、同类企业维护、水量查询和种类设置。

水平衡测试：通过项目方式进行管理，一次测试项目要经过一般 3 天的测试数据。包括：测试点数据的收集和整理、水平衡图的绘制、水平衡报表的汇总、企业用水指标的计算。系统中提供了水平衡测试项目的创建、复制、修改和删除功能。

水网络优化：利用水夹点方法和数学规划法，在水量数据和水质数据基础上，集成、优化水网络结构，减少新鲜水使用量。

节水知识库：节水知识库为节水知识、水平衡测试知识提供一个共享平台。包括：知识类别、知识管理和知识查询功能。

系统管理：系统管理可以为各级机构添加、修改和删除用户，并进行角色管理、角色授权和角色分配，具有备份水平衡测试项目的数据库的功能。

3. 技术指标

规范企业水平衡测试及系统节水业务，提升系统节水管理水平。能够更加及时有效地为各级领导及管理人员提供水平衡测试业务的准确信息，为优化工作提供可靠数据基础。

4. 技术功能特性

该系统数据处理过程中的误差为零，指标计算和报表统计自动更新，自动审核数据平衡状态并可以自动校正；可导出 Word 版本的水平衡图和 Excel 版本的各种统计报表，并可以自动生成水平衡测试报告；企业的公用工程和工艺技术管理干部可以对公用工程装置运行状态进行计算、评价，对企业用水、用汽等存在的问题进行分析和研究。

5. 应用案例

中国石油抚顺石化分公司水平衡测试及系统优化项目，技术提供单位为北京圣金桥信息技术有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

该技术成功应用于中国石油抚顺石化分公司的水平衡测试及系统优化项目中。涵盖抚顺石化的 11 个分厂 120 套主要生产装置、辅助生产装置及各分厂内的办公附属单位、外供单位等。用水范围包括：生产水、生活水、除盐水、除氧水、循环冷却水、蒸汽及冷凝水、汽提净化水、中水等；排水范围包括：循环水系统排污水、化学水装置排污水，以及其他生产装置排放的生产污水、生活污水。

（2）实施内容及周期

该项目自 2017 年 8 月项目启动，至 2018 年 10 月验收完成。在该软件中共绘制水平衡网络图 785 幅，各装置计量仪表信息统计表 120 个，制定水平衡测试方案测试记录表格 131 个，计算并对比分析用水技术经济指标 73 项，辅助得出 20 项节水优化技改项目建议。

（3）节水减排效果及投资回收期

项目提出的优化建议总投资额约 1.6 亿元，可实现年节新鲜水量约 1200 万 m^3 ，
每年产生理论效益近 6000 万元，预计节水改造项目整体投资回收期为 2.7 年。

（三十二）炼油催化剂综合废水处理回用技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于炼油含氨、高盐废水处理。

2. 技术原理及工艺

该技术分为预处理单元、膜浓缩单元及蒸发结晶单元等三个单元。

预处理单元采用高效沉淀+介质过滤+超滤+离子交换工艺，对进水进行预处理，

去除来水中的悬浮物、胶体和硬度，使其达到进入后续膜浓缩单元的进水水质要求。

膜浓缩单元将预处理出水进行特种纳滤分盐浓缩，浓缩后浓水输送至后续的高压特种纳滤继续浓缩，实现串联分段纳滤减量化，提高系统的回收率，特种纳滤浓水作为硫酸钠结晶器进水；特种纳滤产水与高压特种纳滤产水合并收集，进入两级反渗透进一步脱除杂质，制取高品质的回用水。二级反渗透浓水返回一级反渗透进水，以便提高整体回收率，一级反渗透浓水通过电渗析装置进一步浓缩，作为氯化钠结晶器进水。

蒸发结晶单元选用 MVR 技术对膜浓缩液进行蒸发结晶。上游膜浓缩单元中特种纳滤浓水首先进硝盐联产单元蒸发浓缩，电渗析浓水进氯化钠蒸发结晶单元。纳滤浓水中大约含有 5%左右的氯化钠盐，经过硝盐联产单元中 MVR 蒸发浓缩和两级闪蒸浓缩后，硫酸钠盐浆进入离心机脱水后进入硝干燥包装，含氯化钠母液离心后进入氯化钠蒸发结晶单元，与电渗析浓水一同蒸发浓缩。电渗析浓水中硫酸钠盐含量不大于 5%，经过 MVR 蒸发浓缩后，盐浆进入离心机脱水后进入盐干燥包装，最终蒸发结晶装置生产的结晶盐作为产品对外销售，产生的凝液与反渗透产水混合后作为回用水，供业主生产使用。

3. 技术指标

（1）预处理单元性能指标

名 称	控制项目	单 位	保证值	期望值	备 注
工序产水	浊度	NTU	1	<1	
	硬度	mg/L	1	<1	以碳酸钙计
	二氧化硅	mg/L	30	<30	
	SDI		<4	<3	
超滤装置	回收率	%	90-95	97	

（2）膜浓缩单元性能指标

名 称	控制项目	单 位	保证值	期望值
特种纳滤装置	回收率	%	80-85	≥88
特种纳滤装置	SO ₄₂ -截留率	%	≥92	≥95
高压特种纳滤装置	回收率	%	48-52	≥55
高压特种纳滤装置	SO ₄₂ -截留率	%	≥92	≥95
一级反渗透过滤器	回收率	%	48-55	≥60
一级反渗透过滤器	脱盐率	%	≥95	≥97
二级反渗透过滤器	回收率	%	85~90	≥92
二级反渗透过滤器	脱盐率	%	≥90	≥92
氯化钠结晶器进水	TDS	×10 ⁵ mg/L	1.5-2.0	1.8-2.0
硫酸钠结晶器进水	TDS	×10 ⁵ mg/L	0.8-1.6	1.6-1.8
二级反渗透产水	TDS	mg/L	≤45	≤40
二级反渗透产水	钠离子	mg/L	≤18	≤15

(3) 蒸发结晶单元性能指标

名 称	控制项目	单 位	保证值	期望值
工序产水	TDS	mg/L	≤45	≤40
	钠离子	mg/L	≤18	≤15
氯化钠结晶盐	NaCl	g/100g	≥94.8	≥97
	水分	g/100g	≤3.8	≤1.5
	水不溶物	g/100g	≤0.3	≤0.1
	钙镁离子	g/100g	≤0.4	≤0.1
	硫酸根离子	g/100g	≤0.7	≤0.3
硫酸钠结晶盐	Na ₂ SO ₄	w/%	≥95.0	≥97.0

	水分 (w/%)	w/%	≤1.5	≤0.5
	钙镁离子总量	w/%	≤0.6	≤0.2
	氯化物 (以 Cl ⁻ 计)	w/%	≤2.0	≤1.0
硫铵	浓度	%	8~18	20

4. 技术功能特性

(1) 处理效果好。通过预处理工艺及后续一价与二价离子分离浓缩，能有效缓解水质、水量波动对处理装置的冲击，提高系统稳定性，保证最终结晶盐品质，实现综合污水资源化。

(2) 经济性好。采用膜法进行浓缩和分盐，在保证结晶盐品质的前提下，有效减少设备投资，降低设备能耗，大幅节省处理装置运行成本；利用传统膜技术部分替代电法膜浓缩技术，大大降低系统的建设投资。

(3) 节能降耗。采用蒸汽机械压缩循环蒸发 (MVR) 技术，仅需要消耗少量的电能供给压缩机以提高二次蒸汽的压力和温度。

5. 应用案例

中石化齐鲁分公司综合污水近零排放项目，技术提供单位为天华化工机械及自动化研究设计院有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

中石化齐鲁分公司每天产生综合污水水量为 3600-4000m³/d，冬季综合污水水量为 4800m³/d。齐鲁分公司催化剂产能增加导致夏季综合污水水量为 5000-5500m³/d，冬季综合污水量为 6000-6200 m³/d。

(2) 实施内容及周期

该项目分两期进行实施：构建筑物按照处理规模 260m³/h 设计，第一期，设备安装规模 200m³/h；第二期，设备安装规模 60m³/h。2018 年 3 月-2018 年 11 月，进行设备和材料订货及安装土建施工，2018 年 12 月至今正式投入使用，项目实施周期 9 个月。

（3）节水减排效果及投资回收期

与国内目前采用预处理+浓缩+蒸发结晶工艺处理炼油催化剂废水相比较，该工艺基本不产杂盐，产生的氯化钠、硫酸钠及氨水全部能够资源化回收利用。采用该工艺后，齐鲁分公司每年可节省近 6 万 t 杂盐处理费用，按照国内杂盐处理费用计算，每年为公司节省杂盐处理费用约为 1.8 亿元，投资回收期 3 年。

（三十三）煤化工废水处理回用技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于煤化工废水处理回用。

2. 技术原理及工艺

该工艺流程为：高密度澄清池+臭氧催化氧化+曝气生物滤池+砂滤器+浸没式超滤+弱酸阳床+一级膜装置+二级膜装置+深度软化+高级氧化+纳滤分盐+浓缩结晶。

利用高密度澄清池作为载体，通过石灰、聚铁、纯碱及烧碱等药剂的耦合作用，有效去除高盐水中的大部分硬度。利用催化臭氧氧化+曝气生物滤池去除有机物，减缓对后续膜浓缩单元的污染。利用砂滤器+浸没式超滤去除废水中的悬浮物。废水通过弱酸阳床进一步软化后，利用一级膜装置和二级膜装置实现浓缩。废水经膜浓缩装置后，硬度和有机物浓度提高，利用深度软化和高级氧化装置进一步去除。纳滤分盐系统实现氯化钠和硫酸钠的初步分离，通过分步结晶得到氯化钠和硫酸钠产品，母液干燥外运，产水回用。

3. 技术指标

（1）产水水质优于《工业循环冷却水处理设计规范》（GB50050-2007）中再生水水质指标要求；

（2）分质结晶产生的硫酸钠品质优于《工业无水硫酸钠》（GB/T 6009-2014）

中 I 类优等品标准；氯化钠品质优于《工业盐》（GB/T 5462-2016）中精制工业盐优级标准；硝酸钠品质优于《工业硝酸钠》（GB/T 4553-2016）中一般工业型合格品标准；杂盐量小于总产盐量的 1%。

4. 技术功能特性

(1) 催化氧化单元填装专利催化剂，进入床层的臭氧在催化剂作用下形成羟基自由基，与高盐废水中的有机污染物发生强氧化反应，实现废水中有机物的深度处理，并提高废水的可生化性。

(2) 弱酸阳床中装填有大孔型弱酸阳离子树脂，利用其工作交换容量大的特性，能够有效的脱除废水中的残留硬度，减少后续膜装置的结垢与污堵，保证膜装置长期稳定运行。

(3) 一级膜装置和二级膜装置采用宽流道、耐污堵的高压反渗透膜，可在高污染、高浓缩倍率下稳定运行，清洗频率低。

(4) 纳滤单元通过采用合适的纳滤膜和纳滤系统的优化设计，可将水中硫酸根离子的截留率提高至 98%以上。

5. 应用案例

案例 01

中安联合煤化高盐废水零排放项目，技术提供单位为大连（抚顺）石油化工研究院。

(1) 用户用水情况简单说明

高盐废水零排放处理规模为 $500\text{m}^3/\text{h}$ ，依托于中安联合煤化一期煤制 170 万吨/年甲醇及转化烯烃工程。反渗透浓水经膜浓缩、蒸发、结晶分盐处理回收大部分水后，获得氯化钠、硫酸钠，母液干燥外运。产水回用作化学水站原水补给水或循环水补充水。

(2) 实施内容及周期

实施内容为基于“高密度澄清池+臭氧催化氧化+曝气生物滤池（BAF 池）+砂滤器+浸没式超滤+弱酸阳床+一级膜装置+二级膜装置+深度软化+高级氧化+纳滤分盐+浓缩结晶”工艺技术路线，项目实施周期为 9 个月。(3) 节水减排效果及投资回收期

立足煤化工行业的废水零排放需求，主要用于处理生产废水、清净废水等污水产生的反渗透浓水和其它高盐废水，在客观上起到节水减排的效果。废水总量约为 2000m³/h，以新鲜水取水价格 2.5 元/m³ 计，不计运行成本，投资回收期约为 5 年。

案例 02

新疆新业能源化工有限公司废水零排放项目，技术提供单位为美景（北京）环保科技有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

该项目原水为煤制甲醇废水经生化处理及回用后的浓盐水，水量 100m³/h，TDS 约 25000-30000mg/L，COD 浓度约 1000mg/L。项目实施之前，这些浓盐水直接进入蒸发塘，自然蒸发处理，但由于蒸发能力不足无法满足需要，通过该工程建设，解决了蒸发塘能力不足的瓶颈，减少全厂新鲜水的补充，降低污染物的排放，改善生态环境。

（2）实施内容及周期

项目分两期实施，一期于 2018 年 5 月底投入运行，将浓盐水浓缩减量 67%，已稳定运行一年，系统对水质变化的适应性强、易于操作、管理方便。优化的工艺配置防止了硬度、COD、重金属、浊度等杂质的波动和累积对装置长期稳定运行的影响；二期正在实施过程中，预计 2019 年底建成。

建设内容包括：高效澄清软化、膜浓缩、MJ-EMOP 臭氧氧化工艺、MJ-DF 除氟工艺和 MJ-HESC 分盐结晶工艺等单元。

（3）节水减排效果及投资回收期

一期节水 1600m³/d，二期完成后节水 2400m³/d。

（三十四）固碱蒸发碱性冷凝水处理技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于氯碱行业固碱蒸发碱性冷凝水处理。

2. 技术原理及工艺

该技术将处理二价离子的螯合树脂转换型后，增加了其分子结构稳定性，在处理固碱蒸发冷凝水中二价、三价离子时，不改变其水质 pH 值，能很好的应用于工业生产。处理后的冷凝水应用于电解离子膜生产，这种低成本、低能耗、高效的水处理技术，具有很好地推广应用价值。

3. 技术指标

其分子结构稳定性增加，处理固碱蒸发冷凝水中二价、三价离子时，不改变其水质 pH。

4. 技术功能特性

- (1) 分子结构稳定；
- (2) 成本低、能耗低、水处理效率高。

5. 应用案例

新疆圣雄能源股份有限公司固碱蒸发碱性冷凝水处理与回用项目，技术提供单位为新疆华泰重化工有限责任公司。

(1) 用户用水情况简单说明

该项目在新疆圣雄能源股份有限公司推广应用，40 万吨/年烧碱生产线产生冷凝水量为 54m³/h。

(2) 实施内容及周期

处理蒸发碱性冷凝水工艺简单，设备使用周期长，树脂再生步骤少，设备总占地面积 200m²，30 个工作日内完成安装和调试。设备使用寿命 10-15 年，运行成本低，总功率小于 30kW。

(3) 节水减排效果及投资回收期

设备安装后可减少工艺纯水用量 $54\text{m}^3/\text{h}$ ，按照年运行 8000h 计，可节约补纯水量 43.2 万 m^3/a 。设备总投资 300 万元，可使用 $10-15$ 年，预计 2 年内可收回投资成本。

（三十五）石化高盐有机废水高级氧化与生物耦合处理集成技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于石化行业高盐废水处理。

2. 技术原理及工艺

该技术通过催化剂和生物填料等附属材料的开发，及催化氧化装置和生物巢反应器的开发，对现有常规高级氧化装置从投资、运行成本、运行稳定等方面进行对比，选择适合的高级氧化工艺，并进行氧化装置和配套催化剂等研究和开发。同时针对废水中有机物和氨氮等指标开发生物巢反应器和配套的填料，并将高级氧化与生物巢反应器进行耦合集成。

3. 技术指标处理后出水 COD 浓度 $\leq 50\text{mg/L}$ ，氨氮浓度 $\leq 8\text{mg/L}$ 。

4. 技术功能特性

（1） 高级氧化与生物反应有机结合处理外排高盐废水，处理后水质可满足外排要求或深度处理回用的要求；

（2） 经高级氧化处理后废水的可生化性得到提升，在生物处理氨氮过程中，减少碳源等营养源的投加量，节约资源和水处理效率。

5. 应用案例

中国石油克拉玛依石化有限责任公司污水提标改造项目，技术提供单位为德蓝水技术股份有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

中国石油克拉玛依石化有限责任公司污水排放提标改造项目处理规模为 $200\text{m}^3/\text{h}$ 。具体水质指标见下表：

指 标	单 位	进水水质	出水水质
pH	-	6-9	6-9
COD	mg/L	250	50
BOD	mg/L	20	10
TOC	mg/L	160	15
SS	mg/L	30	50
总氮	mg/L	40	30
氨氮	mg/L	15	5
矿化度	mg/L	4500	4500

(2) 实施内容及周期

项目主要建设内容分为三部分：第一增加高浓度污水预处理设施，采用“破乳+高效气浮+水解酸化”处理工艺，建设规模为 200m³/h；第二增加高浓污水收集系统，主要包括：缓冲罐、除油罐、收油罐、溶气罐、水解酸化罐、气浮池、提升水池、浮渣池、气浮泵房及各种泵和配套设施；第三增加回用水装置浓水处理设施，采用“絮凝沉淀+活性砂过滤+两级臭氧催化氧化+BAF”处理工艺，建设规模为 200m³/h。项目建设周期为 1.5 年。

(3) 节水减排效果及投资回收期

项目改造完成后，污水实现达标排放，可节约水资源约 180 万 m³/a，减少 COD 排放量约 350t/a，减少氨氮排放量近 45t/a。项目总投资约 1 亿元，按回用水 4 元/m³ 计，每年可产生节水效益 700 万元，投资回收期约为 14 年。

(三十六) 高温高盐高硬稠油采出水处理回用技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于稠油采出水处理回用。

2. 技术原理及工艺

该技术通过 MBF 微气泡气浮、核桃壳除油除悬浮物，高密度悬浮泥床除硅器（SBC）除硅，低温多效机械蒸汽压缩蒸发装置（MVC）蒸发脱盐，树脂软化，最后得到高品质产品水应用于注汽锅炉。

稠油热采污水进入除油罐调储、均质后，经提升泵打入 MBF 气浮装置，去除水中大部分悬浮物及原油，气浮出水进入核桃壳过滤器进一步除油、去除悬浮物，过滤后水进入 SBC 进行除硅，而后进入后过滤器进一步去除悬浮物，完成预处理流程。预处理出水进入 MVC 进行脱盐、除硬处理，脱盐水进入离子交换器进一步软化，以保证产品水水质达标，产品水经产品水罐供给油田注汽锅炉。

3. 技术指标

产品水水质指标：总硬度 0；TSS≤2.0 mg/L；总铁≤0.05 mg/L；矿化度＜50mg/L；总碱度＜30mg/L；含油＜1mg/L；SiO₂＜10mg/L；pH7.5-11.0。

4. 技术功能特性

（1） 该技术针对高温高盐高硬稠油采出水的水质特点，以"MBF 气浮+SBC 除硅+MVC 蒸发"三大技术为核心实现资源化处理；

（2） MBF 气浮技术，可增大微气泡与颗粒接触面积，保证滞留时间，提高分离效率；专有的可变浮油脱除系统，实现污水精细化物理除油和原油原品位回收，减少含油污泥产出和废气排放；

（3） SBC 除硅效率大于 90%，突破了传统化学方法除硅技术低限；

（4） MVC 技术是在稠油采出水处理中的首次应用，有效减小了蒸发过程中水的扰动，大大降低了成垢风险，蒸发段吨水能耗低于 10 kW·h。

5. 应用案例

春风油田含油污水资源化处理项目，技术提供单位为新疆宝莫环境工程有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

春风油田含油污水资源化处理项目（BOO）由新疆宝莫环境工程有限公司投资、建设、运营和拥有，是中石化新疆新春石油开发有限责任公司春风油田配套工程。春风油田为稠油热采区块，年注汽用水约 400 万 m^3 。

（2）实施内容及周期

该项目建设一座产水规模 5000 m^3/d 的稠油热采污水的资源化处理站，以春风油田稠油采出含油污水做为原水，经深度处理达到注汽锅炉用水标准后，产品水全部回用油田开发注汽。

项目占地 40 亩，由工艺生产设施、辅助生产设施及配套工程设施组成。工艺生产设施主要包括：预处理设施、深度脱盐设施和其他配套设施，建设内容有 1 组 MVC 处理设施、2 个罐区（接收/外输罐区和工艺处理罐区）、3 个轻钢结构厂房（预处理厂房、离子交换厂房和空压机房）、4 个混凝土结构（综合楼、辅助生产用房、压滤机房和计量间）以及加药系统、污泥处理系统等配套设施。

项目建设周期 2 年，BOO 服务周期 15 年。

（3）节水减排效果及投资回收期

项目实施后，处理后的稠油采出污水（即产品水）替代地下淡水用作注汽锅炉用水。项目年运行时间按 350 天计，产品水规模为 5000 m^3/d ，每年可实现节水近 200 万 m^3 。

由于产品水温度（67℃）高于水源井水的温度（全年平均温度 20℃），注汽锅炉采用温度相对较高的产品水后，可减少注汽锅炉的耗煤量，节省燃煤约 2.11 万 t/a，减少 CO_2 排放量 5.5 万 t/a、减少 SO_2 排放量近 180t/a、减少 NO_x 排放量近 160t/a。

项目总投资 1.8 亿元，投资回收期 10 年（含建设期）。

（三十七）高含水油田就地分水技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于油田回注水处理。

2. 技术原理及工艺

通过对具备应用就地分水技术条件的区块进行“就地分水、就地处理、就地回注”，避免污水长距离的往返输送，节能降耗，提高区域间输水干线的调峰能力，减少污水倒运量，合理利用水资源，避免因采注不平衡而大量开采其他水资源，节水效果显著。

3. 技术指标

出水水质：油 $\leq 15\text{mg/L}$ ，SS $\leq 10\text{mg/L}$ ，粒径中值 $\leq 10\mu\text{m}$ 。

4. 技术功能特性

（1） 实现就地分水、就地处理、就近回注，避免了大量污水无效加热与长距离往返输送，实现节能降耗；

（2） 污水处理可在零加药的情况下实现出水水质达标，既环保又降低了生产运行成本；

（3） 提高区域间输水干线的调峰能力，各区块实现采注平衡，避免从其他地方开采水资源，节水效果显著；

（4） 具有流程短、效率高、节能降耗与建设周期短等特点。

5. 应用案例

塔河油田高含水油田就地分水改造项目，技术提供单位为中石化中原石油工程设计有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

塔河油田进入高含水开发期，污水往返输送距离长，且各区块采注不平衡，一号联水量较富裕，二号联水量不足，需通过输水干线进行调节或车倒水，通过对四

区（位于一号联、二号联中间位置）进行就地分水、就地处理、就近回注后，提高了输水干线的调峰能力。

（2）实施内容及周期

通过对四区进行就地分水技术改造，将采出液中游离水进行分离，处理达标后就近回注。油系统处理规模为 2000m³/d，污水处理系统规模为 1000m³/d。新建预分水装置 1 套、多介质过滤装置 1 套，配套加药装置、污水提升泵、过滤反洗泵、污水外输泵、净化水罐等。

项目于 2017 年 9 月开始施工，2017 年 12 月投运，实施周期 3-4 个月。

（3）节水减排效果及投资回收期

该项目实施后，经济效益非常显著，在节约水耗能耗方面可节省 118 万元/年，

车倒车方面节省 340 万元/年。实现了污水处理零加药的情况下出水水质达标，处理成本比联合站节省 49 万元/年，年节水量约 25 万 m³，效益显著。投资回收期（税后）约 4 年。

（三十八）火电脱硫废水与氯碱化工工艺联动耦合处理零排放技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于火电、钢铁脱硫废水和氯碱化工工艺耦合处理。

2. 技术原理及工艺

该技术是一种低成本、低能耗、废水回收利用率高、零排放的脱硫废水处理与氯碱化工工艺联动的水处理技术。通过基本处理，有效利用次氯酸钠生产装置，生产部分成品，并应用乙炔清净装置，实现废水处理与生产装置的进一步耦合，实现废水回收利用。

3. 技术指标

- (1) 处理后出水硬度小于 100mg/L，重金属在 0.1mg/L 以下；
- (2) 氨氮和 COD 均在次氯酸钠生产过程中反应完全；
- (3) 成品次氯酸钠符合《次氯酸钠》(GB19106-2013) 要求。

4. 技术功能特性

成本低、能耗低、废水回收利用率高、可实现零排放。

5. 应用案例

中泰化学阜康能源有限公司脱硫废水处理项目，技术提供单位为新疆华泰重化工有限责任公司。

(1) 用户用水情况简单说明

中泰化学阜康能源有限公司 80 万吨/年聚氯乙烯树脂配套 2×150MW 热电联产装置，排水量为 15m³/h。

(2) 实施内容及周期

该技术工艺路线短，主要为处理废水中重金属和硬度，主要实施内容有反应池、沉淀池和清液池，设备总占地面积 500m²。可在 60-90 个工作日内完成安装和调试。设备使用寿命 10-15 年，运行成本主要为药剂，总功率小于 30kW。

(3) 节水减排效果及投资回收期

该技术投入运行后，可减少污水排放量 15m³/h，按照年运行 8000h 计，可节约补水量 12 万 m³/a，同时减少废水排放 12 万 m³/a，年减少污染物 COD 排放 18t，年减少氨氮排放 3t。设备总投资 500 万元，可使用 10-15 年。预计 5 年内可收回投资成本。

（三十九）海上平台生活污水电催化氧化法处理技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于海上石油平台和浮式生产储油轮生活污水的处理。

2. 技术原理及工艺

该技术基于电化学技术原理，利用电催化氧化反应过程中生成的自由基、强氧化离子，与生活污水中的有机污染物无选择的快速降解发生链式反应，进行氧化降解，将难生化降解的高分子有机物转化为二氧化碳和水等简单的无机小分子，达到降解 COD 的目的，同时产生的强氧化剂也会杀灭水体中的大肠杆菌等细菌，将生活污水处理至达到国际标准要求。

该技术装备主要由缓冲罐、粉碎泵、电催化氧化反应器、清水罐、风机、电控柜等组成。生活污水（黑水和灰水）混合进入缓冲罐进行水质、水量调节，缓冲罐外接粉碎泵，将水中大颗粒固体物质粉碎为粒径不大于 1mm 的小颗粒物质，然后通过电催化氧化反应器对有机物充分降解，反应完成后，合格出水进入清水罐并达标排放，所产气体由排气系统排出。

3. 技术指标排放指标：国际标准 IMO MEPC. 227(64)。

4. 技术功能特性

（1） 专有的电催化氧化反应器在反应过程中通过协同作用产生氧化能力极强的羟基自由基，提高有机物降解效率。

（2） 特种材料混合高温烧结得到催化极板，维持较高的 COD 去除率。

（3） 通过极板污染控制技术，实现装备的长周期稳定运行。

5. 应用案例

流花 LH11-1 平台生活污水电催化氧化处理项目，技术提供单位为中海油天津化工研究设计院有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

流花 LH11-1 平台原有生活污水处理系统为生化处理工艺，存在处理规模明显偏小、受冲击影响大，出水水质不能稳定达标的问题，同时原装置仅对黑水部分进行了处理。

（2）实施内容及周期

新建处理规模为 $72\text{m}^3/\text{d}$ 的生活污水处理装置，占地面积为 35m^2 ，自 2015 年 6 月安装至今运行良好。

（3）节水减排效果及投资回收期

该项目于 2015 年在流花 11-1 平台应用，设备年开工时间按 8400 小时计算，每年可以达标排放废水 25200m^3 ，为公司的节水减排工作做出了重要贡献，节省了排污费用，消除了对周边环境的影响，经济效益和社会效益十分显著。

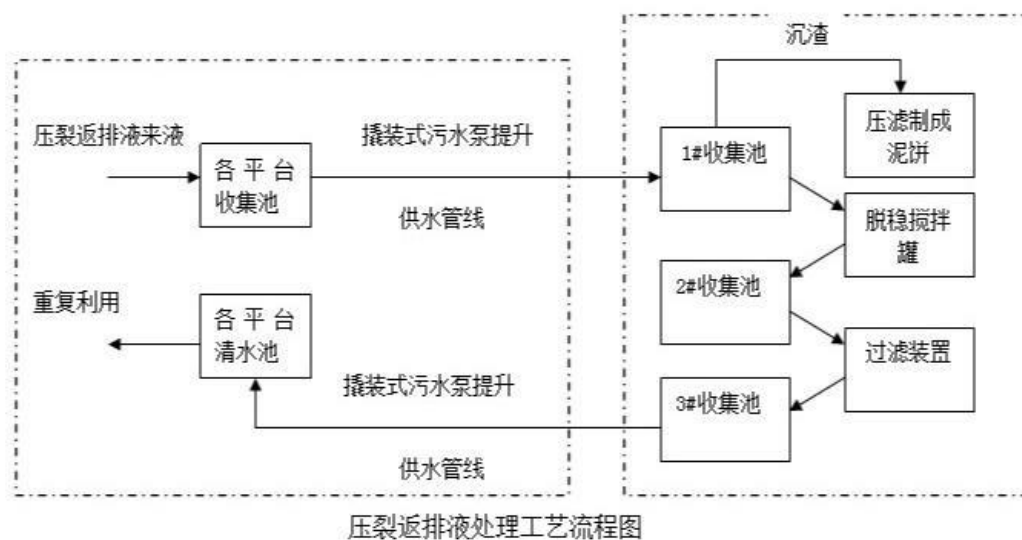
（四十）页岩气井返排液回用处理技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于页岩气井返排液回用处理。

2. 技术原理及工艺

该技术通过统一建设供水管线将各平台井压裂返排液集中收集处理，加入絮凝剂聚合氯化铝、助凝剂聚丙烯酰胺，搅拌混合后能够去除原液中 50% 的悬浮物和 30% 的 COD 含量，混凝后的压裂返排液进入另一个收集池内，利用提升泵将上清液打入过滤装置收集罐内，调节 pH 值至中性，并通过过滤装置进行过滤，去除液体中悬浮物，通过供水管线输送清液至有需要压裂配液的平台重复利用。处理工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

处理回用指标为：

序号	污染物种类	指标（mg/l）
1	pH	5.5-7.5
2	颜色	无色或淡黄色
3	悬浮固体	≤25
4	Ca ²⁺ 、Mg ²⁺	≤1800
5	矿化度	≤30000
6	硫酸盐杆菌 SRB	≤10 个/L
7	腐生菌 TGB	≤25 个/L
8	铁菌 FB	≤25 个/L
9	配伍性	与压裂用液体系配伍性好

4. 技术功能特性

- （1） 各平台页岩气井压裂返排液可实现动态管理，实现“早处理，全回用，零外排”；
- （2） 处理后的压裂返排液与压裂用液体系配伍性好，益于环境保护，而且节水效果明显。

5. 应用案例

平桥南工区页岩气井压裂返排液处理项目，技术提供单位为中国石化华东油气分公司。

（1）用户用水情况简单说明

平桥南工区页岩气井压裂返排液处理项目占地面积约 37 亩，总投资约 180 余万元，运行成本约 40 元/m³。

（2）实施内容及周期

平桥南工区页岩气井压裂返排液处理站于 2016 年 11 月开始建设，12 月建成投入使用，建设周期 1 个月，配套建设连通各平台的集输管网约 12.6km。

（3）节水减排效果及投资回收期

通过该技术，采出水可得到重复利用，实现“以污代清”，单位产品水耗由 20.6m³下降至 16.7m³，降低率为 18.7%，预计单井节约清水量可达 4000m³。单井可减少 COD 排放量 400kg、减少氨氮排放量 60kg。

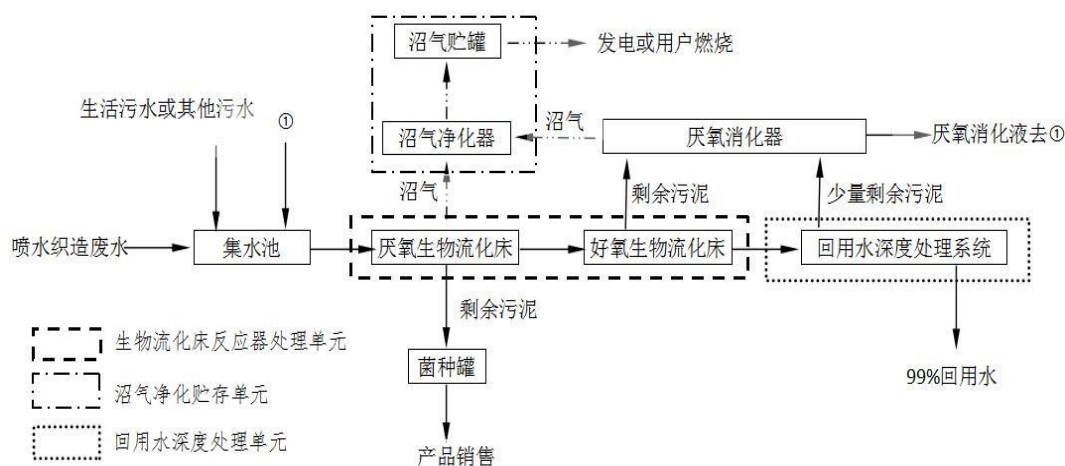
（四十一）喷水织造废水处理回用技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于喷水织造废水处理回用。

2. 技术原理及工艺

该技术包括：生物流化床反应器处理单元、沼气净化贮存单元和回用水深度处理单元。生物流化床反应器处理单元主要采用螺旋对称流厌氧反应器在厌氧微生物的作用下将难降解高分子有机物转化为易降解低分子有机物，该低分子有机物在好氧生物流化床反应器中好氧微生物的作用下被转化为 CO_2 和氮气等，进一步降低出水 COD 和氨氮；沼气净化贮存单元主要采用一种沼气脱硫干燥贮存一体式装置进行沼气干法脱硫，回收工艺过程产生的沼气资源；回用水深度处理单元主要采用膜生物反应器与传统深度处理相结合的方法，极大地降低传统深度处理负荷，最大限度地降低工艺运行费用。该技术处理喷水织造废水，回用率达到 90%，起到很好的节水效果。工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

(1) 该工艺核心反应器装备螺旋对称流厌氧反应器最高容积负荷可达 $361.5 \text{ kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ，工程容积负荷高达 $20\text{-}30 \text{ kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ；

(2) 中水回用率达 99%，实现近零排放。

4. 技术功能特性

(1) 该技术采用共消化理念，引入厂区生活污水等其他废水后，即可将其稀释以降低毒性，又可提供其被代谢所需的营养成份，实现营养平衡，而且实现“以废治废”。

(2) 上浆废水经螺旋对称流厌氧生物反应器处理后，可生化性极大提升（BOD/COD 由 0.086 提升至 0.312），经好氧生物流化床反应器处理，COD 去除率可达 92%以上，中水回用率可达 99%，实现“近零排放”。

(3) 无需投加药剂、所产生的沼气和厌氧颗粒污泥还可产生可观的经济效益，实现“低运行费用”。

5. 应用案例

山东富嘉化纤织造有限公司年产 1 亿米化纤长丝织物喷水织造废水处理改造项目，技术提供单位为岒山集团有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

该项目装备 1000 台日本津田驹喷水织机，年取新水量为 31.5 万 m^3 ，使用原来的喷水织造废水回用技术，织机废水回用率为 75%。为节约用水、降低成本，采用岒山集团有限公司创新的喷水织造废水处理技术对现有织机进行改造。

(2) 实施内容及周期

采用“厌氧生物流化床+好氧生物流化床+膜生物反应器+传统深度处理”为主体的新型工艺，核心反应器装备为螺旋对称流厌氧反应器和好氧生物流化床反应器等，均为标准化、模块化产品，直接物流至现场安装。实施周期为 50 个工作日，即可以完成安装和调试。

(3) 节水减排效果及投资回收期

采用该工艺后，织造废水回用率由 75%提升至 99%，废水排放低于 1.1 万 m^3/a ,

废水减排 26.9 万 m³/a，COD 减排 210t/a，年节省费用近 229 万元。该项目总投资

200 万元，预计 1 年即可收回投资成本。

（四十二）印染废水膜处理回用技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于印染、电镀废水处理回用。

2. 技术原理及工艺

开发“SMF+HAPRO”浓水循环中水回用技术，即双膜法回用技术，利用 RO/NF 膜前处理系统—超滤膜系统（SMF 或外置式柱状超滤系统）过滤掉含有微米级/亚微米级颗粒，使出水 SDI 小于 3，采用“错流过滤”与“死端过滤”的交替运行方式，并采用抗腐蚀的 PVDF 材质，处理后的滤过液流入高抗污染的 RO/NF 系统，实现浓水内循环。

3. 技术指标

- （1）中水回用率（废水回收率）达 75%以上；
- （2）化学清洗周期 3 至 9 个月。

4. 技术功能特性

- （1）周期性大流量进水，冲刷浓水侧膜表面，降低膜表面的浓差极化，延长化学清洗周期；
- （2）采用浓水在线增压内循环技术使流程变短至单段；
- （3）预处理采用 SMF 膜-U 型 MBR 膜或外置式柱状超滤膜系统，可使预处理系统出水的 SDI 小于 3；
- （4）耐化学性较强，适用范围非常广泛。

5. 应用案例

盛虹集团有限公司印染废水膜处理循环回用项目，技术提供单位为威士邦（厦

门) 环境科技有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

盛虹集团有限公司印染用水量为 $28000\text{m}^3/\text{d}$ ，产生废水量 $20000\text{m}^3/\text{d}$ ，拟回用的废水量 $8000\text{m}^3/\text{d}$ 。

(2) 实施内容及周期

该项目实施时间为 6 个月。处理印染废水量 $20000\text{m}^3/\text{d}$ ，实施内容包含：处理规模为 $20000\text{m}^3/\text{d}$ 的生化处理系统， $10000\text{m}^3/\text{d}$ 的膜系统，回收水量为 $8000\text{m}^3/\text{d}$ ，总投资 3630 万元，工程总占地面积 2 万 m^2 。出水水质优良而稳定，工程质量良好，投运至今各处理设施均正常运行。

(3) 节水减排效果及投资回收期

该项目每年可节约用水近 300 万 m^3 。整个工程的年运行费用为 1100 万元。该项目每年节省的废水处理费用、自来水费用和电费近 1500 万元，扣除成本费用后，项目每年还可产生 230 万元的经济效益，整个工程的投资回收期约 16 年。

（四十三）分散染料无水连续染色装置

1. 技术所属领域及适用范围

适用于针织印染行业涤纶织物的染色。

2. 技术原理及工艺

该技术通过助剂、染料研发、创新，配合特别研制的机械装置，使染料的上染率大幅提升，实现纺织品的无水连续清洁染色生产。通过循环喷淋均匀给液、针板送布、红外线预烘、封闭式高温固色等流程，开发出适用于分散染料无水连续染色技术的设备，显著降低了用水量。

3. 技术指标

- （1）产能： 3000t/a 印染布生产（每年按 300 天计算）；
- （2）用电量：1800kW/d；
- （3）天然气消耗量：600Nm³/d；
- （4）新水消耗量：5m³/d；
- （5）产生污水量：0 m³。

4. 技术功能特性

- （1）无废水、固废逸散或排放；
- （2）节约用地、设备材料和能源消耗；
- （3）可连续化生产；
- （4）纺织品染色后的产品质量达到传统工艺要求。

5. 应用案例

广东智创无水染坊科技有限公司分散染料无水连续染色项目，技术提供单位为金银丰机械实业有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

广东智创无水染坊科技有限公司经营范围有塔夫绸类、超柔绒毛类、春亚纺类、牛津布类、斜纹类等各种布料的染色加工，未采用分散染料无水连续染色技术前，取新水量约 $1000\text{m}^3/\text{d}$ ，其中染色和水洗过程新水取用量约为 $700\text{m}^3/\text{d}$ 。

（2）实施内容及周期

采用该技术主要装备有专用轧车和焙蒸固色装置等，均为标准化、模块化产品，直接物流至现场安装。设备制造周期 2 个月，安装周期约为 15 天。

（3）节水减排效果及投资回收期

采用该技术后，染色后无需水洗过程，染色及水洗过程用水降低 99%，前处理和后整理过程用水量与传统工艺相同，染色和水洗过程无废水排放，该工艺投资为 500 万元，预计投资回收期约为 2 年。

（四十四）活性染料染色残液三相旋流连续脱色与再生盐水循环技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于棉纺织活性染料染色。

2. 技术原理及工艺

（1）技术原理

该技术是一种基于可逆反应的极性有机物化学分离装置，对染色残液的处理过程形成水+盐和复合分离药剂两个体系的闭环循环，在三相旋流混合分离装置中相互作用，连续地将染色残液中的水解染料提取出来，从而使高含盐的残液得以循环使用，分离出来的水解染料浓缩液经强化生化处理后，进入常规污水处理系统，提高用水效率。

（2）工艺技术

收集过程：仅将染色过程中染色步骤（以及染后第一次洗涤）的残液收集于活性染料染色废水盐回用系统的染色残液储池中。

脱色过程：将收集到的残液利用络合萃取技术将水解染料从废水中去除，脱色后转变为高盐度水溶液，调节至一定的含盐率和 pH 值，储于盐液池回用于下一次的染色。

染色过程：按染色处方的加盐量，加入相应量的回用盐液，然后补加所需的水至浴比所需的水量，然后按常规染色过程进行染色。

3. 技术指标

- （1）收集的染色残液含盐量在 30g/L 以上；
- （2）络合萃取前，染色残液须调酸至 pH 2.5-3；
- （3）络合萃取过程的染色残液与萃取剂的比例为 10-30:1；（4）萃取后脱色水溶液的色度 ≤ 100 ，pH 调至 6.5-7，盐度调到 130-160g/L，以备回用；

(5) 含色萃取剂须经反萃过程脱色后回用于萃取过程，反萃过程为含色萃取剂与碱性水的比例 1:0.3-1，碱性水的 pH 为 11.5-12。

4. 技术功能特性

(1) 可低成本地实现遏制 60%-80%的盐排放，印染排放废水的含盐量稳定控制在 3500mg/L 以下；同时分离出 60%-80%的水解燃料，向染色机提供 pH6-7、色度低于 100、确定盐浓度（如 130g/L）的盐溶液，若收集了染后第一道洗水，则需再增加一套浓缩设备来提高所收集溶液的盐浓度，如此可实现活性染料染色用盐接近 100%回用；

(2) 实现资源循环利用，变废为宝，节水环保效果良好，具有良好的经济及社会效益；

(3) 排入污水处理厂的废水中最难处理的盐和染料等含污负载显著降低，使中水回用率达到 50%以上。

5. 应用案例

新疆如意纺织服装有限公司活性染料染色残液三相旋流连续脱色与再生盐水循环利用项目，技术提供单位为新疆神邦环境工程有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

新疆如意纺织服装有限公司筒纱染色车间和散棉染色车间分别安装了活性染料染色残液三相旋流连续脱色与再生盐水循环应用的设备，以染棉量 20t/d 计，原消耗盐 16t/d，耗水 2000m³/d；应用盐回用技术后，盐回用量为 11 t/d，消耗盐 5 t/d；使用回用的中水 1000 m³/d，消耗水 1000 m³/d。

(2) 实施内容及周期

技术实施内容主要包括：染色残液收集池和回用盐水储备池、调酸系统、萃取装置、盐液精制与调节系统、辅助系统、管路输送系统、控制系统、浓缩设备等。实施周期为 2 个月。

(3) 节水减排效果及投资回收期

经本技术处理后中水回用率达到 50%以上，预计投资回收期为 3 年。

（四十五）高效振荡水洗箱装置

1. 技术所属领域及适用范围

适用于纺织印染行业印染水洗。

2. 技术原理及工艺

该装置通过辊筒转动将水洗机的静态水通过网孔辊冲击织物表面，变死水泡洗为活水冲洗，使得需要多次泡洗的织物仅需一次冲洗即可达到工艺要求，同时 U 型槽结构可以减少箱内水体的污染，加强洗涤用水的使用效率，再有 S 型流通槽，增加箱体水的使用次数，可大幅提升用水效率。

3. 技术指标

该装置的主要指标包括工作门幅、单位时间的耗水量、耗气量。

4. 应用案例

愉悦家纺有限公司高效振荡水洗箱改造项目，技术提供单位为泰州印染机械有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

印染企业是用水大户，愉悦家纺生产过程中耗水量以及污水排放成本较高。

（2）实施内容及周期

愉悦家纺有限公司于 2018 年 4 月合计改造完成 11 台高效振荡水洗箱，更换了原有的 13 个水箱。设备从 2018 年 4 月开始顺利工作，截至 2018 年 11 月，每天开车稳定在 18 个小时，周期内共顺利运行 4300 小时。

（3）节水减排效果及投资回收期

通过设备一个周期的运行，高效振荡水洗箱单月节约用水量 1656m^3 ，节约用气约 230 吨。按照相应地能源价格以及排污费用，设备可以在 1-1.5 年内收回投资成本。

（四十六）羊绒纤维原位矿化、深度节水减排染色新技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于羊毛纤维染色。

2. 技术原理及工艺

该技术由微悬浮体染色和原位矿化两部分核心内容组成。通过所发明的微悬浮体染色技术，使毛用活性染料分子在染浴正常循环的情况下形成粒径微小的染料颗粒，增强染料与纤维间的吸附性，显著提高活性染料对山羊绒纤维的上染百分率和固色百分率。

染色结束之后，被染纤维上的废弃染料通过充分分离进入染色残浴，在被染纤维与染色残浴共存的情况下，对包括废弃染料和废弃助剂在内的有机污染物进行所谓的“原位矿化”加工，使上述有机污染物分解为无机物、CO₂和水。通过上述加工，染品包括染色牢度在内的各项理化指标得以保证，从而免除传统染色工艺中的多道碱洗和水洗环节，原位矿化结束后的残浴可多次重复用于后续的染色加工，从而实现深度节水、深度减排、深度节能和显著提高生产效率。

3. 技术指标

- （1） 染色用水总量减少 60%左右；
- （2） 染色废水 COD_{Cr} 总量降低 60%以上；
- （3） 染色废水 BOD₅ 总量降低 50%以上；
- （4） 染色废水总氮排放量降低 50%以上；
- （5） 染色废水色度值降低 50%以上；
- （6） 染品的各项色牢度及其它理化指标与传统染品一致；
- （7） 排放废水满足《毛纺工业水污染排放标准》（GB28937-2012）规定。

4. 技术功能特性

- (1) 染色废水的污染负荷大幅降低;
- (2) 免去传统染色过程的碱洗和水洗环节, 亦可使矿化残浴用于纤维的后续染色。

5. 应用案例

江苏申洲毛纺有限公司活性染料原位矿化染色改造项目, 技术提供单位为新疆天山纺织服装有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

江苏申洲毛纺有限公司染色车间平均每天加工羊毛、羊绒毛条 4t 左右, 用水量约为 256m³/d。

(2) 实施内容及周期

该技术是在染色加工过程中将染色废弃染料等有机污染物于染缸中进行矿化处理, 分解成二氧化碳和水, 简化染色后的洗涤处理, 达到深度节水、深度减排以及深度节能的目的。技术应用简单, 无需改变企业现有加工设备, 且无需增加设备与新增基建。

(3) 节水减排效果及投资回收期

项目实施后, 节水率为 55%以上, 排放废水色度降低 50%以上, COD_{Cr} 总量减排 50%以上, 节约工业蒸汽 30%左右。该项目总投资 200 万元, 预计 1 年收回投资成本。

(四十七) 浆纱机湿分绞用水回收利用技术

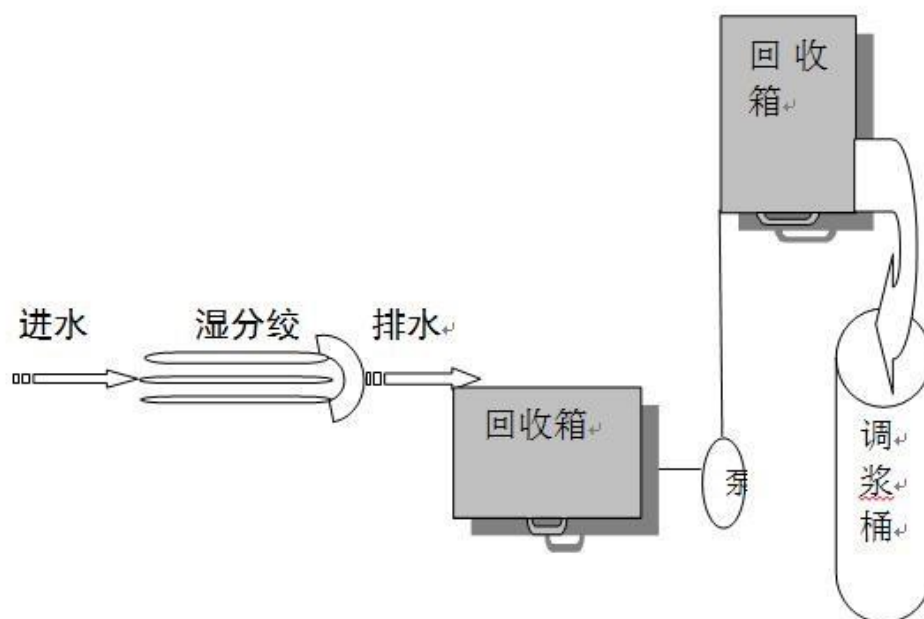
1. 技术所属领域及适用范围

适用于浆纱机湿分绞用水的回收利用。

2. 技术原理及工艺

浆纱湿分绞用水主要起冷却降温与降低毛羽的作用, 满足工艺过程后没有得到回收, 通过加装循环泵与水箱, 实现了回收利用。

该技术对浆纱机设备的每个浆槽与烘房之间配置一根湿分绞机构，湿分绞棒由烘筒链条传动，分绞棒的转动与主机同步，在分绞棒内通入冷水，由于冷水和环境温度的差异，从而使分绞棒外表面处在一种水雾状的工作状态下，这样既利于分绞，避免湿分绞棒表面粘浆、起皮，又能保持纱线表面浆膜完整、光滑。工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

- (1) 每根湿分绞每分钟流量为 12.5 kg；
- (2) 每台单浆槽浆纱机标准配备一般为 3 根；
- (3) 外排水满足《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T 31962-2015）。

4. 技术功能特性

通过加装循环泵与水箱，实现湿分绞工艺用水的回收再利用。

5. 应用案例

山东宏儒纺织科技有限公司浆纱机设备改造项目，技术提供单位为魏桥纺织股份有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

浆纱湿分绞用水主要起冷却降温与降低毛羽的作用，满足工艺过程后没有得到回收，通过加装循环泵与水箱，实现回收利用。

（2）实施内容及周期

设备安装简单，只需加装循环泵与水箱即可，不用停产停工，不需要基建土方，单台投资在 1000 元左右。

（3）节水减排效果及投资回收期

每台单浆槽浆纱机按照 24 小时不间断运转，可实现回收水量近 20 万 m^3/a 。节水效果显著，当月即可收回投资成本。

（四十八）铅锌选矿废水处理与回用技术

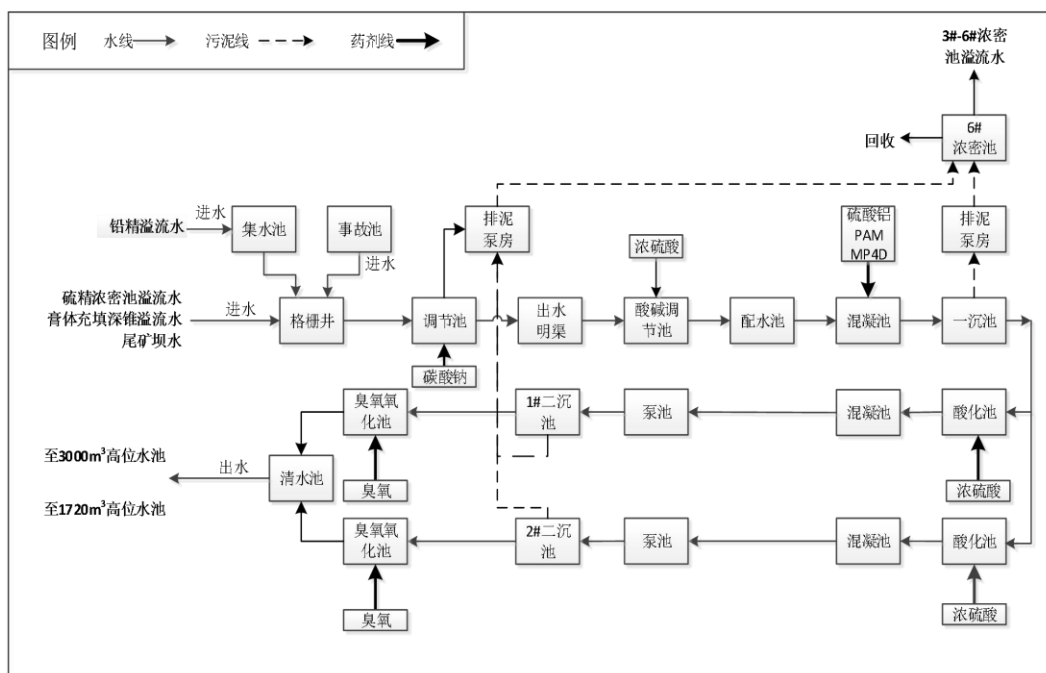
1. 技术所属领域及适用范围

适用于铅锌选矿废水处理与回用。

2. 技术原理及工艺

该技术通过对铅锌选矿废水进行部分分质回用、预处理软化、反调酸作业、混凝沉降及臭氧曝气处理，使处理后水体符合铅锌选矿浮选用水要求，实现选矿废水的全流程回用选矿。

选矿废水处理技术流程经过不断摸索改进，同时对粉末活性炭添加工艺的淘汰，系统再次缩减为“调节—混凝沉淀—臭氧氧化”的废水处理工艺，工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

选矿废水 pH 从 13 降至 6-8，悬浮物从 600mg/L 降至 200mg/L 以内，总硬度从 1200mg/L 降至 400mg/L 以内，化学需氧量从 1800mg/L 降至 700mg/L 以内，铅及其化合物(按 Pb 计) 从 100mg/L 降至 3mg/L 以内，锌及其化合物(按 Zn 计) 从 10mg/L 降至 2mg/L 以内，铜及其化合物（按 Cu 计）从 0.6mg/L 降至 0.1mg/L 以内，各项指标均满足选矿回用技术要求。

4. 技术功能特性

- (1) 铅锌选矿废水处理与回用技术水平达到国内领先，达到国际先进水平。
- (2) 应用此技术可实现选矿废水的全流程回用，零排放。

5. 应用案例

彝良驰宏矿业有限公司铅锌选矿废水处理与回用改造项目，技术提供单位为云南驰宏锌锗股份有限公司。

- (1) 用户用水情况简单说明

彝良驰宏选矿厂年处理铅锌矿 60 万 t，选矿作业综合水耗 $4.1\text{m}^3/\text{t}$ ，产生废水 29 万 m^3 。

（2）实施内容及周期

2015 年，彝良驰宏在原有回水处理站基础上开展升级改造，共投资 1830 万元，建设 4000m^3 调节池，增设高密度澄清池、二次沉淀池、臭氧氧化反应池及活性炭滤池等设施，健全选矿系统废水回用系统，设计使用年限 15 年，全系统可实现无人值守。

（3）节水减排效果及投资回收期

该项目改造完成后，选矿废水 100%回用到选矿生产流程，实现了选矿废水零排放。选矿作业新水消耗从 $4.1\text{m}^3/\text{t}$ 降至 $0.27\text{m}^3/\text{t}$ ，年节约用水 229.8 万 m^3 ，可节省新水水费 919.2 万元，扣除每年 400 万的成本费用，每年可实现收益 519.2 万元。

预计 4 年内可收回投资成本。

（四十九）有色金属冶炼废水资源回收利用技术

1. 技术所属领域及适用范围

适用于有色金属冶炼废水处理回用。

2. 技术原理及工艺

该技术针对水排放量大、处理困难、资源化技术缺乏的有色冶金等行业，研发突破了新型 ORZ 微球吸附深度除油、药剂强化热解络合-分子精馏脱氨、树脂吸附深度除重金属、膜技术联合蒸发结晶除盐等关键技术，技术原理及工艺如下：

ORZ 微球吸附深度除油：废水除油处理工艺不仅包括吸附除油系统，同时配套了吸附微球解析再生系统、解析溶剂回收系统等。采用自主研发的 ORZ 吸附微球，当含油废水流经吸附微球时，利用微球与油类有机物间范德华力和自身具备的分子筛选功能，将大分子有机物聚集到吸附微球上，实现水中溶解油的深度吸附脱

除：负载油的微球利用解析剂进行解析再生，再生后的材料性能与新鲜微球相当，重复使用寿命可达 5 年；再生液经精馏工艺分离解析剂与油类物质，实现油和解析剂的回收利用，回收率>99%。

药剂强化热解络合-分子精馏脱氨：利用氨与水分子相对挥发度的差异，废水在汽提精馏塔内一定温度分布和溶液 pH 条件下进行充分的传热和传质作用，经过多次氨-水气液平衡、重金属-氨的络合-解络合平衡、重金属氢氧化物的沉淀-溶解平衡后，难分离的重金属-氨络合物被充分解络（解络合率>98%），最终氨氮在塔顶经冷凝吸收后回收得到浓度>16%的高纯氨水，处理后塔底出水氨氮浓度<10mg/L。

树脂吸附深度除重金属：主要包括树脂活化、废水水质调节、重金属深度吸附脱除、精密过滤分离等单元。采用专门研制的具有极高孔隙率和比表面积 of 的活性树脂吸附剂，通过活性位点吸附、共沉淀等作用去除废水中的重金属污染物。带有活性位点的树脂表面不易发生钝化，可源源不断产生新的活性位点，显著提高了树脂吸附容量，能对水中重金属进行持续、高效地吸附和脱除，并降低处理成本。

膜技术联合蒸发结晶除盐：将反渗透、电渗析等膜技术与 MVR、多效蒸发等结晶技术结合应用，针对不同性质的含盐废水开发出不同的集成工艺。将洗水等低浓度废水通过膜技术进行浓缩，淡水进行回用，浓水与高浓度废水混合后采用 MVR 多效蒸发等工艺蒸发结晶，回收结晶盐产品，同时冷凝水回收进行水资源的循环利用。

3. 技术指标

（1）除油工艺技术指标：处理后水中油含量<5mg/L，最低可至<1mg/L；除油材料吸附容量为 3.2g/g；除油材料寿命>3 年；再生药剂循环回收率≥99%；油回收率≥95%。

（2）脱氨工艺技术指标：氨氮脱除率>99%，处理后水中氨氮含量<8mg/L，

最低可至 $<5\text{mg/L}$ ；氨资源回收率 $>99\%$ ，回收氨水浓度为 10%-20%之间可调；主体设备寿命 >10 年；满足国家、地方及相关行业排放标准中氨氮限值。

（3）除重金属工艺技术指标：同时脱除废水中的 As、Cd、Ni、Se、Pb、Cr、

Cu、Zn、Hg、Sb 等多种金属，重金属去除率大于 99%；处理后出水中重金属含量满足相关标准要求。

（4）膜+蒸发工艺技术指标：水资源回用率 $>90\%$ ；回收结晶盐类产品符合相关工业盐标准。

4. 技术功能特性

深度脱除废水中的油、氨氮、重金属、盐等污染物，同时回收氨水、盐等资源，回收的资源及处理后的水可回用于生产工艺，实现废水零排放、资源的界内循环、水的闭路循环，节约大量生产原料及水资源，环境、经济效益显著。

5. 应用案例

杉杉能源（宁夏）有限公司废水资源回收利用改造项目，技术提供单位为北京赛科康仑环保科技有限公司。

（1）用户用水情况简单说明杉杉能源（宁夏）有限公司主要生产锂离子电池三元前驱体产品，其用水量约为 $420\text{m}^3/\text{d}$ ，废水产生量为 $400\text{m}^3/\text{d}$ 。

（2）实施内容及周期

该项目主要工艺单元包括脱氨脱重金属系统、蒸发回收盐及水资源回用系统。工程规模为 $400\text{m}^3/\text{d}$ ，建设周期 9 个月，项目总投资 920 万元，总占地面积约 1800m^2 。

（3）节水减排效果及投资回收期

该项技术改造后可实现节约生产用水约 9.6 万 m^3/a ，回收氨水产品约 0.55t/a，回收硫酸钠约 2.2 万 t/a，减排氨氮 720 t/a。通过节水、节能、减排为企

业带来经济效益超过 830 万元/年，工程直接运行成本为 540 万元/年，投资总额为 920 万元，项目投资回收期约为 3 个月。

1.

(五十) 锌冶炼烟气净化废水零排放技术

技术所属领域及适用范围

适用于锌冶炼烟气净化废水处理与回用。

2. 技术原理及工艺

该技术集成硫化沉砷、中和、软化、反渗透、螯合树脂软化、电渗析处理等技术。硫化氢与锌冶炼烟气净化废水中的砷、铜、镉等重金属反应生成硫化物沉淀，经自然沉降进行固液分离，硫化渣送入危废渣库，硫化后液送废水中和系统。采用石灰乳将硫化后溶液中和至 pH 值 3 左右，生成高品质石膏；中和后的废水加入硫酸亚铁、用石灰乳调节 pH 值 7-8，并用压缩空气曝气氧化，将废水中的三价砷氧化成五价砷、亚铁氧化成三价铁，然后加入石灰乳调节 pH 值至 9-11，加入 PAM 絮凝后进入中和浓密机，废水中残余的砷等重金属生成沉淀并被氢氧化铁胶体吸附进入底泥中形成中和渣；废水再加入碳酸钠与其中的钙反应生成碳酸钙以脱除的钙。软化后废水经稀硫酸调节 pH 值至 7 左右后进入多介质过滤器，降低废水的浊度后进入螯合树脂交换器中进一步脱除废水的钙镁，然后进入超滤装置，去除废水中的大分子物质和颗粒物杂质，再进入反渗透膜装置脱除废水的盐分，产出淡水回用于生产，产出的浓水最后经电渗析装置再次浓缩盐分后，产出淡水重新返回反渗透膜装置，产出浓水送去火法冲渣，最终实现锌冶炼烟气净化废水的再生回用与零排放。

3. 技术指标

- (1) 硫化后液主要成分： $As < 30\text{mg/L}$ ， $Hg < 0.2\text{mg/L}$ ， $H_2S \leq 1\text{mg/L}$ ；
- (2) 反渗透淡水产水率 $\geq 60\%$ ，产水脱盐率 $\geq 97\%$ ，电渗析产水率 $\geq 90\%$ ；
- (3) 电渗析浓水 100%回用至渣处理系统。

4. 技术功能特性

(1) 以硫化氢气体作为硫化剂，采用三级逆流式动态硫化，提高了硫化氢的利用率，冶炼烟气净化污水中的砷和重金属离子可充分脱出，脱除率 $\geq 99\%$ ；解决了其他硫化法金属离子在体系内生产不便于溶液循环利用的难题。

(2) 硫化后酸性废水采用中和-软化处理，有效去除溶液中的硫酸和氟，副产高品质石膏，中和、软化后溶液具备了深度处理的条件。

(3) 集成“超滤-反渗透-电渗析”深度处理技术，反渗透淡水产水率 $\geq 60\%$ ，产水脱盐率 $\geq 97\%$ ，电渗析产水率 $\geq 90\%$ 。

5. 应用案例

云锡文山锌铟冶炼有限公司冶炼烟气净化废水零排放改造项目，技术提供单位为株洲三特环保节能股份有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

云锡文山锌铟冶炼有限公司总用水量约为 16 万 m^3/d ，其中循环水量 15.2 万 m^3/d ，新水用量 0.5 万 m^3/d ，回用水量 0.3 万 m^3/d 。

(2) 实施内容及周期

该项目建设内容包括：硫化沉砷系统、环集系统、石膏系统、中、软化系统及深度处理系统。项目土建工程与冶炼系统同步开工建设，设备安装主要包括非标设备安装与成套设备安装，安装简单，半年内可完成安装与调试。设备使用寿命 30 年以上，自动化水平高，人员配置少，运行成本低，维护方便。

(3) 节水减排效果及投资回收期

该技术投入使用后，锌冶炼烟气净化废水可全部处理为符合生产要求的用水，并全部回用于生产，实现零排放。每天处理废水约 550m^3 ，按照年运行 330d 计，全部回用于生产后可节约补水量约 18.2 万 m^3/a ，减少新水用量 12%，可随冶炼系统使用 30 年以上。预计投资回收期为 7 年。

(五十一) 制革浸灰与浸酸铬鞣废液封闭循环技术

技术所属领域及适用范围

1.

该技术适用于制革浸灰与浸酸铬鞣废液处理利用。

2. 技术原理及工艺

该技术将浸灰和浸酸铬鞣工段的废液分别独立收集，针对各废液中可有效再使用物质（例如石灰、硫化物、酶类、铬等）的含量和特点，补充加入相应的制剂，直接代替新水反复用于生产。实现浸灰工序和浸酸铬鞣工序的废液循环利用。

3. 技术指标

（1）浸灰工序：浸灰过程中分三次加入 20%-90%浸灰废液，废液搅拌均匀，视毛根脱落程度及时利用滤毛机滤毛；

（2）浸酸铬鞣工序：用酸调节铬鞣废液的 pH 值到 0.2-1.2，搅拌均匀，以灰皮的重量计，加 20%-100%铬鞣废液，循环应用。

4. 技术功能特性

（1）废液循环次数增加，解决废液逐渐变稠问题；

（2）受季节性变化影响小；

（3）产生废固体量小。

5. 应用案例

福建兴业皮革科技股份有限公司浸灰和鞣制工序废液循环改造项目。技术提供单位为宝斯卡（商丘）化工有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

福建兴业皮革科技股份有限公司每天生产牛皮 80 吨，需用水约 25 万 m^3/a ，排水量约 20 万 m^3/a 。

（2）实施内容及周期

浸灰和鞣制工序废液循环改造项目于 2012 年 7 月投运，投运至今运行近 7 年时间，废液循环技术运行良好，运行过程中收集相应工序的废液，然后再回用于该工序，每天循环一次，废液不足时添加新水，不向环境排放废液。项目总投资约 200 万元，包含收集废液不锈钢罐、滤毛机、抽水耐酸碱泵、输水用管道等设备，设备占地面积约 300m²。

（3）节水减排效果及投资回收期

该项目的投运大大降低了兴业皮革公司的环保压力，在节水 80%以上的基础上，基本实现零排放。铬鞣废液中铬盐的回用率可以达到 99%以上，扣除处理过程中的损耗，铬鞣废液的循环利用率可以到达 95%以上。投资改造共 200 万元，去除各种经费支出后，约 60 天收回投资。

1.

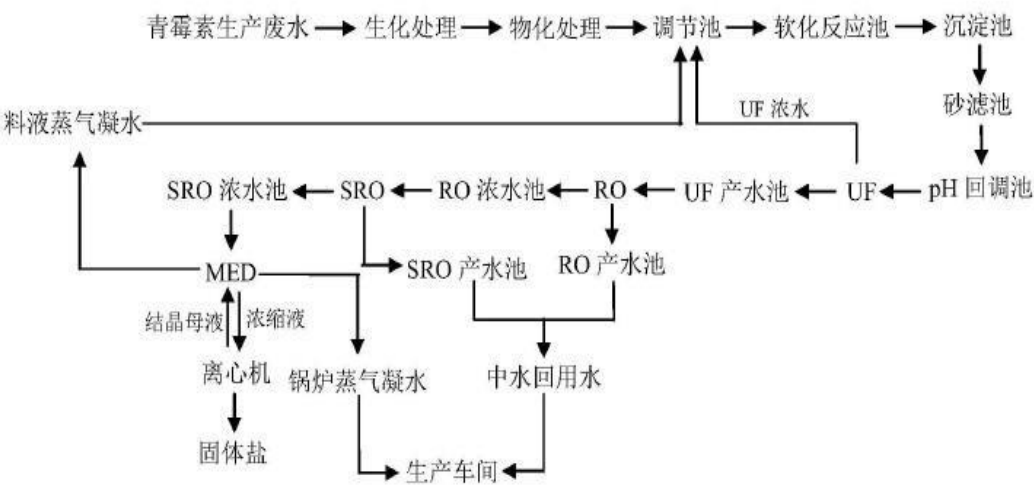
（五十二）制药废水处理回用技术

技术所属领域及适用范围

适用于制药行业废水处理回用。

2. 技术原理及工艺

该技术主要由预处理系统、超滤（UF）处理系统、反渗透（RO）处理系统、超级反渗透（SRO）处理系统、多效蒸发（MED）处理系统组成。废水首先经过生化、物化等处理后进行软化、沉淀和 pH 回调等一系列的物理预处理，降低废水中的 COD、硬度、重碳酸盐碱度，保证超滤膜和反渗透膜的稳定运行和使用寿命；然后利用超滤进一步去除悬浮物、胶体、黏泥、微生物、大分子有机物等，实现对原液的净化、分离和浓缩，超滤产水进入反渗透系统，超滤的浓水回到现有生化系统或前端物化系统循环处理；反渗透系统对超滤产水进行脱盐及污染物截留处理，产水收集回用，反渗透浓水进入超级反渗透系统进行再浓缩；利用超级反渗透可对反渗透浓水做进一步浓缩；后利用多效蒸发结晶系统对超级反渗透浓缩液进行固化结晶处理。工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

（1） 工艺产水的 COD 浓度小于 50mg/L；

(2) 氨氮、pH、电导率等主要指标达到《工业回用水标准》(GB-T19923-2005)城市污水再生利用工业水水质。

4. 技术功能特性

对于制药行业成分复杂、含有大量难以降解污染物的生产废水处理效果佳，可实现废水减量化与废盐再生利用。

5. 应用案例

内蒙古中诺药业有限公司年产 1000 吨 7-ACA 废水处理回用项目，技术提供单位为内蒙古常盛制药有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

与项目生产主体配套建设年产 1000 吨 7-ACA 废水处理回用项目，主要用水为循环水、发酵补水、过滤补水，日补水量 3000m³。

(2) 实施内容及周期

该项目将循环水、过程排水全部收集回收，通过生化、物化等手段，将废水处理到一定程度后，通过膜系统将水回收。回收率达到 90%以上。项目建设期为 2 年。

(3) 节水减排效果及投资回收期

该项目实施后可减少补水量 3000m³/d，按照年运行 300 天计，年可节约补水量 90 万 m³，节水率 85%，设备总投资 4000 万元，预期投资回收周期 5-8 年。

(五十三) 研磨切割废水回收利用技术

技术所属领域及适用范围

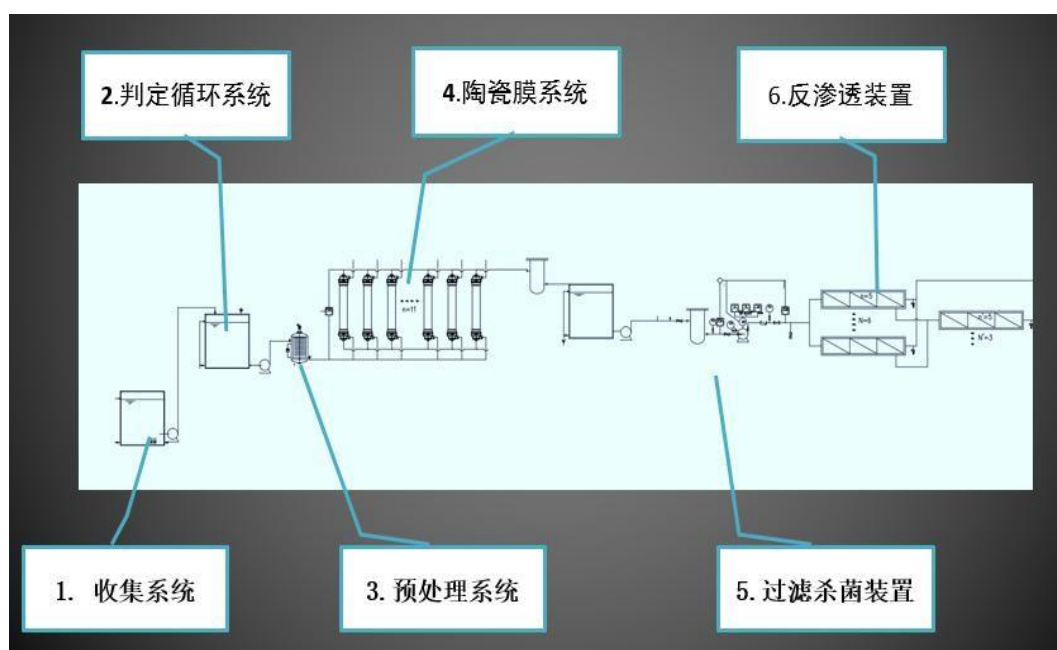
适用于电子行业研磨切割废水处理回用。

2. 技术原理及工艺

该技术采用自清洗过滤器、陶瓷膜、反渗透等过滤装备，研磨切割废水经收

1.

集输送至循环判定调节系统，判定调节合格的废水进入辅助式自清洗精密过滤器，然后进入陶瓷膜设备过滤，当被处理水借助外界压力作用以一定的流速通过陶瓷膜表面时，水分子和分子量小于 300-500 的溶质透过膜，而大于膜孔的微粒、大分子等由于筛分作用被截留，从而使水得到净化，过滤后的产水经反渗透装置处理后回用至超纯水制备流程，浓水回用至洗涤塔等系统。工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

- (1) 过滤精度为 30nm;
- (2) 产水浊度 $\leq 0.1\text{NTU}$;
- (3) 产水电导率 $\leq 15\mu\text{s}/\text{cm}$;
- (4) 系统回收率 $\geq 90\%$ 。

4. 技术功能特性

- (1) 实现研磨切割废水 90%以上的回收率，比传统回收工艺回收率高 20%以上；

(2) 通过判定调节系统，产水水质更稳定，回用性可靠，不会影响超纯水制程系统；

(3) 陶瓷膜相对于有机膜纳污量更高，化学清洗频率更低，减少化学品使用量。

5. 应用案例

晟碟半导体（上海）有限公司研磨废水回收项目，技术提供单位为上海天霖水处理技术有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

晟碟半导体（上海）有限公司产生研磨废水 50m³/h，高浓度研磨废水经化学沉淀后达标排放。

(2) 实施内容及周期

该项目建设内容包含：收集预沉系统、循环判定调节系统、过滤系统、反渗透装及配套水箱等设施。项目实施周期为 90 天。

(3) 节水减排效果及投资回收期

通过 EMS 能源监控系统显示，节水量 38 万 m³/a 以上，运行成本 1.8 元/吨。

预计投资回收期为 14 个月。

（五十四）煤矿矿井水超磁分离技术

技术所属领域及适用范围

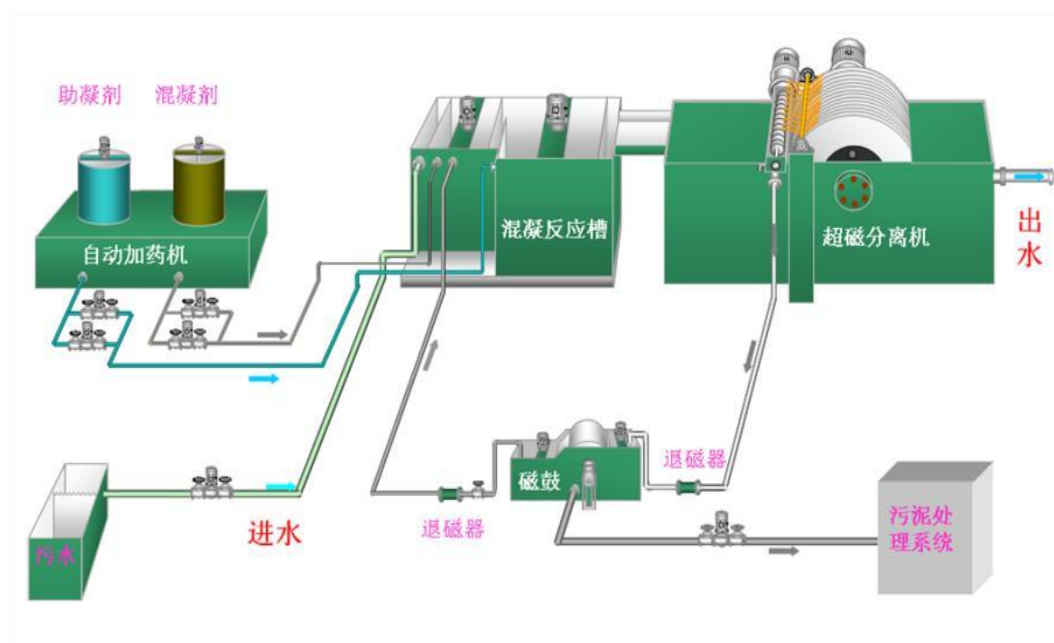
适用于煤矿矿井水处理利用。

2. 技术原理及工艺

该技术是将不带磁性的水体悬浮物赋予磁性，然后通过超磁分离机进行固液

1.

分离，使水体得到净化并充分利用。水体中分离出来的泥渣经磁种回收系统分散、脱磁后实现磁种与泥渣的分离，磁种进入下一个循环过程使用。工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

- (1) 出水总磷浓度 $\leq 0.5\text{mg/l}$;
- (2) 进水 SS 浓度在 $300\text{--}400\text{mg/l}$ 的情况下，出水 SS 浓度 $\leq 10\text{mg/l}$;
- (3) 进水油浓度 $\leq 50\text{mg/l}$ 的情况下，出水油浓度 $\leq 5\text{mg/l}$;
- (4) 非溶解性 COD 去除率 $>80\%$ 。

4. 技术功能特性

- (1) 去除悬浮物的同时去除 COD;
- (2) 磁种的选择及生产实现了较强磁性、合适粒度、抗氧化以及低价格;
- (3) 在少量药剂及磁种的作用下，实现良好的絮凝效果，易于磁分离;

(4) 通过改善磁体的布置情况、流道结构等方式，实现了优异的分离效果及设备小型化；

(5) 药剂投加量较常规混凝沉淀加药少，絮凝时间短，絮体密实，粒径适宜，

能将水中的非磁性颗粒和乳化油等与磁性颗粒絮凝在一起，不在管道和设备中沉淀，絮体粒度适合磁分离技术的要求；

(6) 磁种回收率在 99%以上。

5. 应用案例

协庄煤矿井下水处理（超磁分离技术）项目，技术提供单位为环能科技股份有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

协庄煤矿井下水处理（超磁分离技术）项目设计矿井水处理能力为 432 万 m^3/a ，实际运行处理污水量超过 350 万 m^3/a 。

(2) 实施内容及周期

该项目由环能科技股份有限公司提供磁分离水处理成套工艺设备。项目实施时间为 6 个月。

(3) 节水减排效果及投资回收期

该项目处理水量达到 360 万 m^3/a ，按一年运行 300 天计算，可实现节约水量 360 万 m^3/a ，处理后的出水回用或达标排放。

项目一次性投资 480 万，其中设备投资 450 万，直接经济效益近 900 万/年，

预计投资回收期为 8 个月。

(五十五) 废水废渣零排放混凝土搅拌装置

技术所属领域

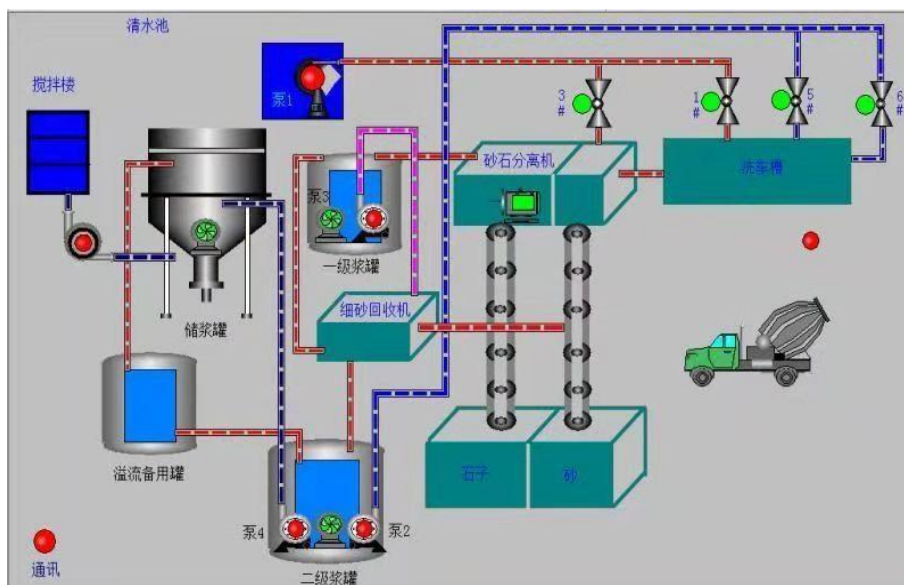
适用于建材行业混凝土、湿拌砂浆。

1.

2. 技术原理及工艺

该系统通过砂石分离机、细砂旋流分离器、一级浆罐、二级浆罐、储浆均衡罐、管路、阀门、PLC 控制系统等设备，将多种工艺优化组合，实现设备分工协作，形成一套混凝土搅拌站废水废渣综合利用体系。

该工艺流程为：搅拌车倒入洗车位，红外线被切断，信号传递到 PLC 控制系统，气动阀门自动开启，清、污两路同时向车内加水 90 秒后停止，搅拌车即可返转放水进入分离机完成洗车程序。分离出的砂、石由皮带机运入临时储存区回收利用，细砂随浆水流入一级浆罐，浆水达到设定水位时，浆水泵启动，通过旋流除砂器进行砂、浆分离，细砂滴入螺旋脱水机，无砂浆水流入二级浆罐，浆水达到上水位时，提升泵启动将无砂浆水提至储浆均衡罐，供搅拌楼按配合比使用。其间各罐搅拌器、喷淋器、细砂脱水机等设备按 PLC 设定程序自行起、闭，整个流程均为全自动化程序控制，无需人为操作。工艺流程如下图所示：



3. 技术指标

- (1) 混凝土抗压强度指标满足《普通混凝土力学性能试验方法标准》（GB/T50081-2002）要求；
- (2) 回收水指标满足《混凝土用水标准》（JGJ 63-2006）要求。

4. 技术功能特性

(1) 该系统通过将多种工艺优化组合，实现设备分工协作，形成一套混凝土搅拌站废水废渣综合利用体系；

(2) 系统性研究了废水废渣用于 C15-C55 混凝土的技术性能，和易性、凝结时间、抗压强度及碳化深度等指标满足标准要求，实现废水废渣零排放。

5. 应用案例

安徽三辰建材科技发展有限公司废水废渣零排放项目，技术提供单位为淮北砟友乐环保设备有限公司。

(1) 用户用水情况简单说明

安徽三辰建材科技发展有限公司为混凝土公司，用水量 5.4 万 m³/a，该项目实施前采用传统沉淀池工艺对生产废水、废渣进行处理。

(2) 实施内容及周期

项目实施内容包括：砂石分离机、细砂旋流分离器、一级浆罐、二级浆罐、储浆均衡灌、管路、阀门、PLC 控制系统等设备。建设安装周期 5-7 天。

(3) 节水减排效果及投资回收期

通过实施该项目后，节约新水量约 50%左右，且无废渣排出。废水、废渣直接用于混凝土搅拌机生产使用，即充分利用了废水、废渣，同时满足生态环保、节能增效、绿色发展要求。预计投资回收期为 5 个月。

(五十六) 反置式釉面砖抛光节水技术

技术所属领域及适用范围

适用于建材行业陶瓷砖抛光。

2. 技术原理及工艺

1.

该技术采用高压水对磨削区域进行冷却及冲洗，充分提高水的利用率，最大程度地降低抛光磨削过程中的耗水量。该技术改变目前瓷砖抛光面朝上的抛光模式，使瓷砖抛光面朝下与抛光磨具接触，只需抛光面与水刚好接触，瓷砖不需浸泡在水中，减少瓷砖吸水的面积，因利用了重力原理，砖底、砖面实现零积水，抛光后的瓷砖也省去了烘干工序，即可达到干燥包装的要求。

通过对传统抛光机抛光磨头内部结构进行改造，改进其内部结构，同时改变磨头内部的润滑方式及润滑介质，提高抛光磨具的磨削线速度，增加磨头的使用寿命，减小磨头内部运转阻力，降低内耗，有效提升单个磨头的磨削效率并降低其驱动功率，降低能源消耗。

3. 技术指标

- (1) 工作规格(mm)为 300×600、400×800、600×600、800×800;
- (2) 总功率 100 kW;
- (3) 单个磨头耗水量≤6L/min;
- (4) 压缩空气压力≥0.6 Mpa;
- (5) 通过线速度 15-30 m/min;
- (6) 抛光后瓷砖含水量≤1%。

4. 技术功能特性

- (1) 采用高压水定点喷撒方式，使用少量的水达到抛光磨削冷却及清渣效果;
- (2) 开发独有的瓷砖抛光面朝下的抛光方式，杜绝瓷砖非抛光面与水接触;
- (3) 开发独有的瓷砖输送支撑机构，实现连续稳定生产。

5. 应用案例

广东华陶建材有限公司反置式釉面砖抛光项目，技术提供单位为广东一鼎科技有限公司。

（1）用户用水情况简单说明

广东华陶建材有限公司生产产品主要有全瓷质抛光砖、3D 喷墨全抛釉以及 3D 喷墨微晶石等配套系列。在进行技术改造前，使用传统抛光技术，每个磨头用水量为 35L/min。

（2）实施内容及周期

采用“反置式釉面砖抛光节水技术”为主体的新型工艺，核心机构为抛磨盘、配备翻转机等，均为标准模块化产品。建设实施周期与传统工艺相同。

（3）节水减排效果及投资回收期

项目实施后，每个磨头用水量为 1L/min，较传统工艺降低 97%以上，同时，该工艺不产生需要处理的废水，免去废水处理工艺和烘干设备。预计投资回收期为 2 年。