

《国家鼓励的工业节水工艺、技术和装备目录（2025 年版）》

典型案例

工业和信息化部
节能与综合利用司
2025 年 10 月

引 言

为贯彻落实《中华人民共和国水法》《节约用水条例》，加快先进节水工艺、技术、装备研发和应用推广，提升工业用水效率，工业和信息化部联合水利部发布了《国家鼓励的工业节水工艺、技术和装备目录（2025年版）》（以下简称《目录》），共包括共性通用、钢铁、石化化工、纺织印染、食品、有色金属、制药、电子、建材、蓄电池、煤炭、电力等14个行业的节水工艺、技术和装备，涵盖废水循环利用、高耗水生产工艺替代、高效冷却或洗涤、非常规水利用、用水智能管控、节水减污降碳协同等工业节水模式。为发挥好《目录》引导作用，搭建技术装备支撑单位与需求用户的有效对接渠道，我们组织编制了《目录》供需对接指南，列举了各项技术装备的主要支撑单位，梳理了技术适用范围、原理及工艺、技术指标、特点和先进性、应用案例、推广前景等情况，供参考借鉴。

目 录

一、共性通用技术典型案例.....	1
(一) 循环水冷却及回收利用技术.....	2
案例一：零药剂循环冷却水处理系统.....	2
案例二：智能化环保型循环冷却水处理设备.....	5
案例三：高效节能节水蒸发式凝气技术.....	8
案例四：冷凝模块式冷却塔节水消雾技术.....	12
案例五：预冷式工业冷却设备节水消雾技术.....	15
案例六：工业换热装备节水消雾智能控制技术.....	19
案例七：空冷湿冷联合式节水冷却塔.....	23
案例八：高效一体化复合节水型闭式冷却塔.....	27
案例九：高效逆流闭式冷却塔.....	31
案例十：钢结构塔自然通风节能节水型工业循环水系统及装 备.....	34
(二) 循环水处理技术.....	37
案例一：循环水电化学处理技术.....	37
案例二：循环水化学和电化学协同处理技术.....	40
案例三：循环水系统长周期稳定运行水处理技术.....	44
案例四：循环造粒流化床高效固液分离装备.....	47
案例五：工业冷却循环水绿色智能节水处理系统.....	50

案例六：集成式超低能耗循环水系统	54
（三）非常规水利用技术	57
案例一：海水及苦咸水淡化反渗透膜阻垢剂	57
案例二：高通量抗污染海水淡化反渗透膜	60
案例三：高效双膜耦合海水淡化技术	64
案例四：面向工业回用的双膜法城镇污水深度处理技术 ..	68
（四）智能用水管理技术	71
案例一：工业水处理大数据运营管理云平台	71
案例二：基于人工智能、区块链技术的工业互联网智慧水务 综合服务平台	74
案例三：工业动态水平衡测试管理平台	79
案例四：供水管网渗漏报警平台	82
案例五：水深度处理工程产品化及数字化集成装备	86
案例六：带压供水管道漏点声波信号采集内检机器人	90
案例七：物联网智能阀门电动系统	94
（五）高盐废水处理技术	98
案例一：高盐难降解有机废水资源化零排放技术	98
案例二：高盐废水资源利用集成技术	103
（六）节水及水处理材料及装备	106
案例一：高精度抗干扰阀门快速位置检测装备	106
案例二：工业废水高效热法浓缩技术装备	110

案例三：公用工程车间节水装置	113
案例四：高性能水处理纳米反渗透薄膜	116
案例五：高效低耗智慧反渗透装备	119
案例六：锅炉中高温废水余热回收及近零排放技术	123
案例七：变螺距螺杆真空泵	127
案例八：均相膜电渗析器	131
案例九：上流式多级厌氧反应器	135
案例十：上流式多相废水处理氧化塔	139
案例十一：分布式陶瓷膜供水系统	144
案例十二：高性能特种陶瓷硬密封部件及多功能控制阀	148
案例十三：高效饱和碳酸制备和投加系统	153
案例十四：低能耗、高回收率的工业脱盐水制备技术	156
案例十五：高频电磁阻垢仪	159
二、钢铁行业典型案例	162
案例一：高品质钢管多功能高效淬火技术	163
案例二：绿色清洁金属表面无酸处理工艺	167
案例三：耐高温集成化水处理装备	171
案例四：钢铁生产不同工序水质分质供水技术	174
案例五：钢轧浊环水系统设备处理能力提升技术	177
案例六：钢铁循环水水质动态监测与水处理优化技术	182
案例七：转炉钢渣预处理底打水钢渣热焖技术	186

案例八：转炉汽化系统乏汽回收技术	189
案例九：钢铁废水零排放处理和回用技术	192
案例十：全流程硅钢废水零排放技术	195
案例十一：钢铁生产全流程水资源高效利用工艺技术	199
三、石化化工行业典型案例	204
案例一：油气田开发钻试废水处理及资源化利用技术	205
案例二：海上压裂压驱节水工艺技术	209
案例三：改性塑料干式真空节水减污降碳协同处理装备	212
案例四：低排污氯化法钛白粉生产装置	220
案例五：氯碱化工含盐废水零排放技术	225
案例六：煤化工高盐废水零排放与资源化利用成套技术	228
四、纺织印染行业典型案例	231
案例一：高密化纤织物冷轧堆前处理技术	232
案例二：生态型胶状体分散染料印染节水技术	235
案例三：纺织印染高盐高有机物污水源头减量及污水处理技 术	238
案例四：印染综合废水处理及回用技术	241
案例五：纺织印染废水梯级处理回用技术	246
案例六：纺织面料超声波除油水洗技术	250
案例七：织物印花后高温低张力堆置水洗机	253
案例八：单通道超高精度高产能直喷智能数码印花机	255

案例九：高温筒子纱单向外流染色机	259
案例十：节水型丝光机	262
五、食品行业典型案例	264
案例一：玉米半湿脱皮工艺及破胚机关键装备	265
案例二：酿酒冷却水全封闭循环利用工艺	267
案例三：生物发酵行业废水处理回用集成技术	271
案例四：啤酒再生水综合利用技术	276
六、有色金属行业典型案例	279
案例一：多晶硅生产水循环利用系统	280
案例二：铅锌污酸资源化利用技术	283
案例三：铜冶炼烟气制酸系统装置	286
案例四：电解铝厂含氟生产废水及初期雨水处理新工艺	289
案例五：基于热泵精馏的氨氮废水资源化处理技术	292
七、电子行业典型案例	296
案例一：树脂在线中水回用成套装备	297
案例二：电镀镍漂洗废水膜法循环回用处理设备	301
八、建材行业典型案例	304
案例一：预拌混凝土罐车智能化无废干洗技术	305
案例二：低碳节水膨润土流变助剂	308
九、蓄电池行业典型案例	310
案例一：锂电池高盐高有机废水高效资源利用设备	311

十、煤炭行业典型案例	314
案例一：矿井水高效节水零排及资源回收利用成套装备	315
案例二：矿井水一体化正压设备	318
案例三：矿井水深度处理及资源化技术装备	322
案例四：高矿化度矿井水资源化利用技术	324
十一、电力行业典型案例	327
案例一：离子多级筛分精准脱除及废水浓缩减量技术装备	328
案例二：煤矿—电厂废水集约协同处理与资源化成套技术及装备	331
案例三：沙戈荒新能源场站节水增汇生态修复技术	334
案例四：煤电锅炉及炼油工艺余热回收锅炉应用整合型节水技术	339
案例五：火电厂优化用水及废水零排放技术	343
案例六：火电厂空冷机组基于温场变化实现智慧喷淋节水技术	347

一、共性通用技术典型案例

（一）循环水冷却及回收利用技术

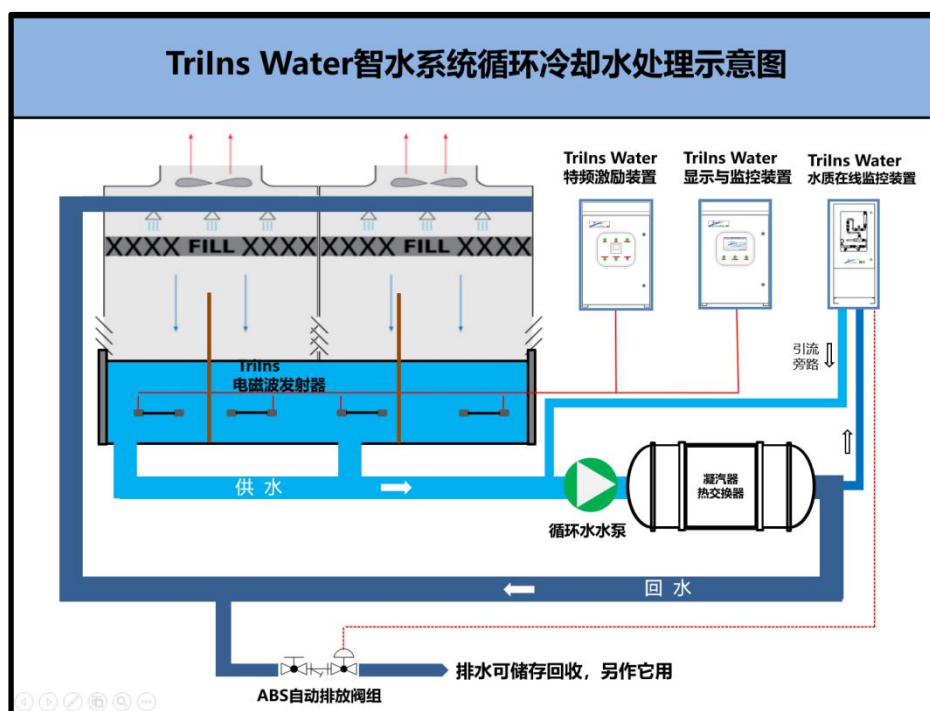
案例一：零药剂循环冷却水处理系统

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该技术运用特定频率范围的交变脉冲电磁波（TriIns 特频）对水进行处理，促使冷却水中形成无附着性的碳酸钙及在钢铁表面形成致密稀薄的磁铁层，解决结垢和腐蚀问题。电磁波处理区域的细菌新陈代谢受到干扰，藻类叶绿素被降解，微生物得到有效控制。成对的 TriIns 电磁波发射器挂靠安装于冷却塔塔盘并浸没于冷却水中，通过信号线缆与塔外的特频激励装置相连，通过极低的电能消耗对循环冷却水反复叠加充能处理，获得符合并优于国家规范要求的循环冷却水处理效果。TriInsWater 水质在线监控系统联动 ABS 自动排污系统，基于关键水质参数限值（如电导率）对冷却水系统进行自动排放控制，各水质检测仪表亦会通过数据采集分析与电磁波激励装置联锁控制，控制水质指标、优化输出。处理工艺流程示意图如下。



工艺流程示意图

3.技术指标

- (1) 结垢控制：换热器冷却水侧无新的碳酸钙硬垢生成；
- (2) 腐蚀控制：循环冷却水中的总铁 $\text{Fe} \leq 1.0\text{mg/L}$ ；
- (3) 微生物控制：循环冷却水系统异养菌总数 $\leq 1.0 \times 10^4 \text{CFU/mL}$ ，冷却塔浸没于冷却水部分的藻类得到有效控制；

(4) 在不添加化学药剂并满足上述处理指标的前提下，提升浓缩倍数，排污量较无处理或化学法处理减少 30%以上，即等量减少所需补充水量；提升系统换热效率，能耗降低 3%~6%。

4.技术特点及先进性

采用安全频段电磁波，零药剂处理循环冷却水，形成了不同于化学药剂法的技术路线，结垢控制、腐蚀控制及微生物控制效果均优于国家标准，无污水及其他有害物质排放，节水节能；循环冷却水水质在线监控，水处理设备智能运行，无人值守，远程代维；挂靠式安装，不破坏循环冷却水系统管路及设备，新建或改建项目均简单易行；运行仅需少量电耗，无其他耗材，设备投入回报周期短。

5.应用案例

项目名称：湖州旺能南太湖垃圾焚烧发电循环冷却水处理

项目概况：湖州旺能南太湖垃圾焚烧发电厂日垃圾焚烧处理量 750 吨/天，配套发电机组额定发电量 18.0MW，配备 1 套 6400m³/h 循环量的机力通风式冷却塔。该系统于 2022 年 1 月投运并停用原化学加药处理，系统浓缩倍数显著提升，年节水 10.9 万立方米/年；系统换热效率大幅提升，发电机组产电出力提升 168 万度/年；零药剂处理，无需化学加药费。

6.推广前景

零药剂循环冷却水处理系统在大型数据中心、火力发电及分布式能源站推广及应用前景广阔。预计未来五年推广比例达到 5%，年节水量 6500 万吨/年。

技术支撑单位：上海莫秋环境技术有限公司

联系人：顾茱萸

联系方式：17269570892

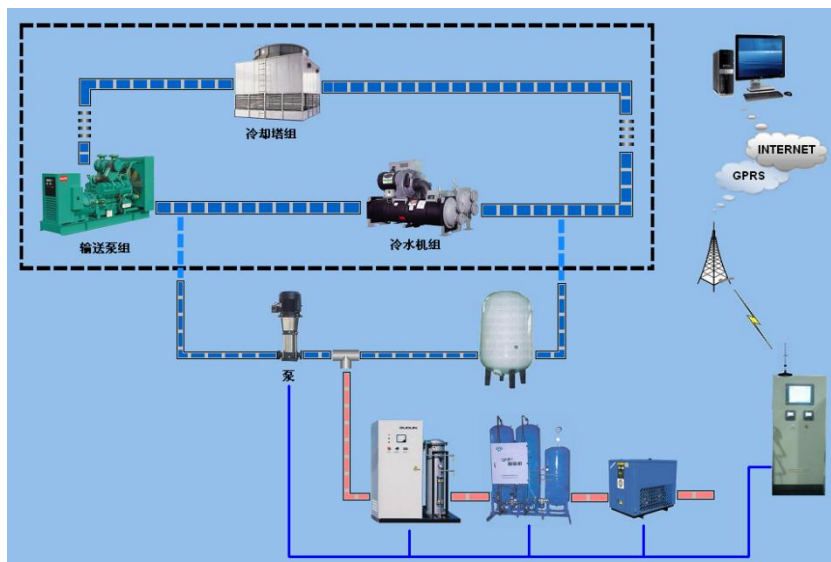
案例二：智能化环保型循环冷却水处理设备

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该技术在应用制氧设备的基础上，产生出臭氧，然后按一定的比例有控制地加入到冷却水中。使用臭氧等强氧化性物质，在水中产生一系列自由基反应的技术，它可使水中有机物与微生物分解与破坏，产生易于生化处理的小分子物质和天然无害的物质，无二次污染且使水质得到消毒。通过实时动态监控，以臭氧为主的高级氧化工艺取得腐蚀和结垢的平衡，杀灭微生物，除垢阻垢，提高热交换效率，同时提高水的利用率。



硬件系统结构图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	指标	参数
1	浊度	$\leq 5\text{NTU}$
2	pH	7.0 ~ 9.2
3	总铁	$\leq 1.0\text{mg/L}$
4	细菌总数	≤ 1000 个/mL
5	生物黏泥	$\leq 3\text{mL/m}^3$
6	腐蚀率	$< 0.075\text{mm/a}$ (碳钢)
7	污垢热阻	$< 3.44 \times 10^{-4}\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$

4.技术特点及先进性

具有显著的阻垢和除垢能力，有效提高热交换设备能效，且无抗药性，杀菌率达到 99.9%；提高循环水利用率，减少污水排放量，节水率高；降低设备腐蚀率，延长设备寿命（挂片试验表明，低碳钢腐蚀率仅为国家设计标准的 30% ~ 50%）；在空调冷却水处理领域，优于传统的化学药剂处理法，大幅减少环境污染。

5.应用案例

项目名称：上海申通轨道交通有限公司冷却系统项目

项目概况：上海申通轨道交通有限公司在 5 个地铁站点应用的冷却系统应用了智能化环保型循环冷却水处理设备，其循环冷却水的平均细菌总数小于 1000 个/毫升，符合国家标准要求；能代替原化学药剂与电子除垢仪结合的处理方法，消除化学品排放对水环境造成的污染，达到减排目的；该技术能有效提高空调系统的热交换效率，降低设备运行能耗。

6.推广前景

智能化环保型循环冷却水处理设备可广泛应用于冷却循环水系统，达到阻垢、杀菌、节能的作用。预计未来五年推广比例达到 1%，年节水量 500 万立方米。

技术支撑单位：上海轻工业研究所有限公司

联系人：方嘉勇 联系方式：13918521984

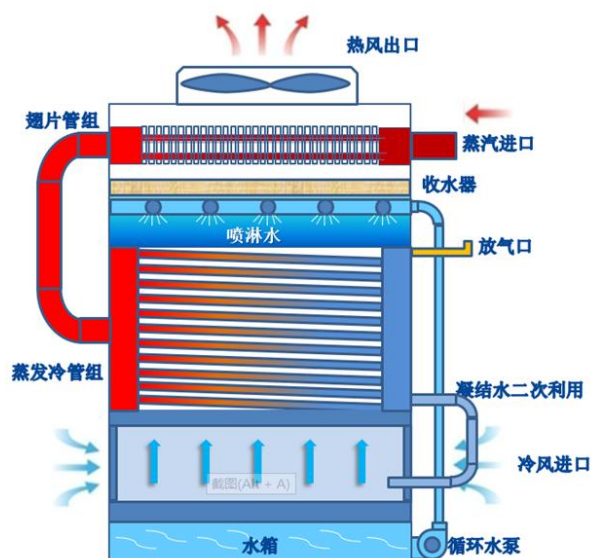
案例三：高效节能节水蒸发式凝气技术

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该技术采用复合式多级冷凝技术，包括蒸汽初步预冷段和蒸发式凝汽段，采用多级换热、实现三种介质循环，可根据环境条件进行多模式运行，系统冷凝水流入水箱，二次利用，实现高效节能。该技术是将水冷与空冷、传热与传质过程融为一体，且兼具二者之长的新型节能、节水型高效冷凝冷却技术。可解决行业耗水量高、换热效率低等重点问题。



结构示意图

3.技术指标

(1)耗水比：所需循环冷却水流量远小于壳管式换热器+开式冷却塔的系统，相对节水量超 90%。

(2) 排热能力：不小于 95%。

(3) 气密性：气密性试验压力不低于设计压力的 1.25 倍。

(4) 漂水比：不超过 2 (mg/s) /kW。

4. 技术特点及先进性

(1) 双级换热。第一级换热，蒸汽进入翅片管组进行初步预冷，翅片管组采用高翅化比，充分增加管外换热面积，有效提高换热效率，利用空气略过翅片管组带走热量，实现蒸汽初步预冷；第二级换热，蒸汽及部分冷凝液从翅片管组出口进入蒸发换热段进行进一步的冷凝，采用外部循环水喷淋和下部进风的逆流式大温差换热。

(2) 三种循环。冷却介质循环，高温高压的介质从散热器的上部首先进入预冷管组，温度降低后再进入下部盘管组换热器中换热，最终达到工艺要求的低温介质由散热器底部的出口排出。采用异滴型换热管束，实现水膜充分包裹，水风充分接触，高效冷凝。风循环，干冷空气在风机的带动下，从下部进风口进入，自下而上地流过盘管组换热器，在其中空气与水充分进行热质交换，带走工艺介质冷却所放出的热量，变成湿热空气，经挡水板过滤液体水滴后，向上经过翅片管组，与高温工艺介质再次换热，温度升高，变成不饱和热湿空气，由引风机排出。水循环，冷却水在水泵的作用下，自盘管组换热器的上部经喷嘴喷向盘管组换热器，一部分水分吸收管内的热量，另一部分蒸发吸收自身

热量，通过传质的方式将热量传递到空气中，随风机带动的空气流而排出。大部分又落回设在散热器底部的水箱中，进入下轮循环。部分水分蒸发，水箱水位下降，通过浮球阀连带蓄水泵进行补水，维持水箱内水位稳定。

（3）多种模式。针对介质循环、空气循环、喷淋水循环三种循环进行最优化系统设计，实现最优换热性能和最低投资成本。同步搭载自动化温控系统，根据环境温度和介质温度自动调节系统运行模块，以实现设备节电节水。

（4）凝水复用。实现了系统循环冷凝水回收做二次喷淋水使用，减少水资源的消耗，减少循环水排污处理，实现节水节能。

5.应用案例

项目名称：新疆氨基酸有限责任公司氨基酸蒸发提纯项目

项目概况：该项目工程实施周期约 1 年，将“壳管式换热器+开式冷却塔”改造为“高效节能蒸发式凝汽系统”，一期工程投入 10 套高效节能蒸发式凝汽器，加装自动化温控系统，应用在氨基酸制备过程中，多段蒸发器出口蒸汽冷凝。技术改造后，换热模块采用高效节能节水蒸发式凝汽技术，经多效蒸发器蒸发出来的水蒸气，先后进入高效节能蒸发式凝汽器的一级换热模块和二级换热模块进行高效换热。经三效蒸发器后，进一步通过离心分离器、离子交换器、结晶槽、晶体分离器、干燥器等步骤实现氨基酸成品的制备。一期工程共改造 10 套冷却系统，全部替

换为高效节能蒸发式凝汽系统，总投资 650 万元，年节水约 70 万立方米，投资回收期约 2 年。该技术实现了系统循环冷凝水回收做二次喷淋水使用，减少水资源的消耗，减少循环水排污处理，实现节水节能。

6.推广前景

高效节能节水蒸发式凝气技术在石化、食品、制药等领域具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 20%，年节水量 640 万立方米。

技术支撑单位：烟台冰轮换热技术有限公司

联系人：张景润 联系方式：15763806729

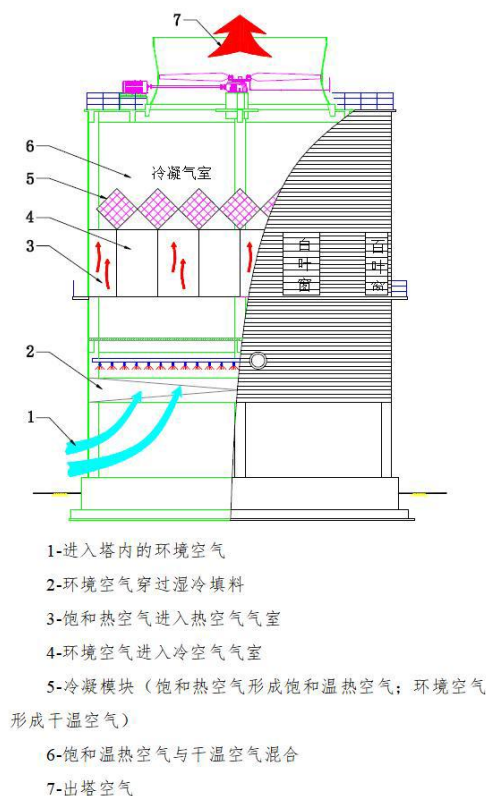
案例四：冷凝模块式冷却塔节水消雾技术

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

冷却塔外干冷空气从底侧进入塔内，向上穿过填料，同喷淋在填料表面上的水膜状冷却循环热水进行水气热交换，温度升高；变湿的空气继续向上进入冷凝气室，通过冷凝模块对水汽进行降温、凝结，并通过百叶窗自动调节，调整进入气室的干冷空气流量，实现对冷凝模块冷凝效果的调节，达到最佳消雾凝水效果，温干空气从塔顶排出。结构及运行示意图如下。



结构示意图

3.技术指标

适用于大温差降温的场景，水和填料接触面积提高 18.5%，增加进水通道，热交换效能提高 21.3%。配水系统在填料表面配水均匀性达到 99.4%，每个喷头的流量偏差均在 5%以内，单个喷头的喷洒效果均匀，喷洒状态完全呈水膜状。节水率达到 35%。

4.技术特点及先进性

消雾节水冷却塔比市面其他节水消雾冷却塔降低干冷空气进塔阻力 20%、能耗 10%，节水率达到 35%。另外，该塔型后期不需维护，维护成本远低于其他节水消雾冷却塔的管件定期疏通清理、部件的更换等。

5.应用案例

项目名称：重庆湘渝盐化股份有限公司消雾节水冷却塔项目

项目概况：该项目位于长江经济带，要求在保护生态的条件下推进项目建设，实现经济发展与资源环境相适应，节水综合效益 150 万元/年。项目总投资 445.68 万元，建设 4 台钢筋混凝土结构消雾节水冷却塔，占地面积 1662 平方米。于 2022 年 4 月开工，施工周期 150 天，2022 年 8 月试车通水运行。该项目单塔使用冷却循环水 3500m³/h，4 台塔使用冷却循环水 14000m³/h，重庆常年平均冷却循环水自然蒸发量为 1%，4 台塔冷却循环水自然蒸发水量 140m³/h，消雾节水冷却塔每小时可节约蒸发水量 35%，每年可节水 39.2 万立方米，节省成本 196 万元。

6.推广前景

冷凝模块式冷却塔节水消雾技术主要应用在工业循环冷却水系统,具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 20%,年节水量 8000 万立方米,石化、化工、纺织、造纸、冶金及火力发电等高耗水行业是主要的应用场景。

技术支撑单位 1: 中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司

联系人: 蕾华

联系方式: 13586506056

技术支撑单位 2: 国能新疆化工有限公司

联系人: 王晓旭

联系方式: 15099155328

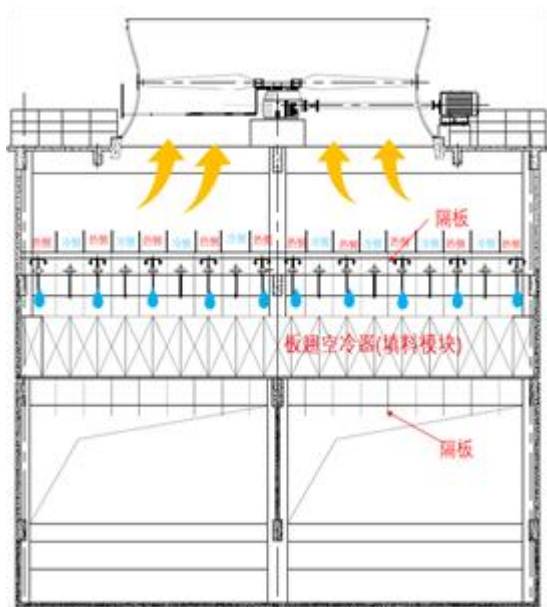
案例五：预冷式工业冷却设备节水消雾技术

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该技术主要解决工业循环水蒸发损失大以及雾羽团影响环境的两大关键问题。板翅空冷器分为冷/热两个通道，在夏季冷却塔运行时通过开启各通道配水管阀门实现冷/热两个通道同时淋水降温，在冬季冷却塔运行时通过开启热通道配水管阀门、关闭冷通道配水管阀门实现热通道淋水降温而冷通道不淋水只通风。板翅空冷器消雾技术路线不需要在冷却塔侧壁安装百叶窗，结构相对简单易安装。



结构示意图



实拍图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	名称	参数
1	干球温度℃	34.9
2	湿球温度℃	24.2
3	大气压 Pa	89800
4	相对湿度%	60
5	进塔水温℃	40
6	出塔水温℃	30
7	进塔水量 m ³ /h	5000
8	淋水密 m ³ /m ² .h	15.4
9	单塔尺寸 m	18×18
10	风机直径 mm	9140
11	电机功率 kW	200
12	电压等级 V	380
13	节水率%	≥20
14	消雾效果	-10℃无雾型, -10℃以下环境温度下实现少雾型

4.技术特点及先进性

(1)板翅式空冷器片间距为 25mm, 具有更大的比表面积和更高的使用率。和常规填料相比换热面积增加 35%~50%, 提高冷却塔的降温效果。

(2) 与传统消雾模块方式相比, 减少一层梁和一层模块所产生的阻力, 不使用百叶窗结构, 阻力降低 40~60Pa, 整体能耗降低。

(3) 具有三种不同运行模式, 空冷模式主要在冬季运行,

节水率高达 100%，运行无雾状态；消雾模式主要在春秋过渡季节运行，此时为少雾或无雾运行状态，节水率约 20%；换热模式在夏季环境温度较高时可实现高效降温作用，板翅空冷器比表面积较常规填料增加 35%~50%，可满足夏季高负荷运行需求。

（4）板翅式空冷器取代常规冷却塔填料，与常规塔高度相当，和消雾模块方式对比，整体高度减少 4~6m，降低冷却塔高度，运行稳定性更可靠。

5.应用案例

项目名称：兖矿鲁南化工有限公司 4500m³/h 循环水冷却塔系统及配套装置 EPC 总承包

项目概况：该项目采用板翅空冷器消雾节水技术，冷却塔单塔设计流量为 4500m³/h，自 2024 年 3 月份投用以来，冷却塔运行效果良好，冷却塔风筒出口区域无可见雾气团，消雾效果明显，节水率明显提高，冷却塔各项运行参数达到设计要求。经消雾性能和冷却性能测试，冷却水量达到设计值的 103.56%，平均全年节水率为 22.76%，均达到设计要求。测试期间在冷却塔风筒出口区域无可见雾气团，消雾效果明显。

6.推广前景

预冷式工业冷却设备节水消雾技术主要应用在工业循环冷却水系统，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 40%，年节水量 3500 万立方米。

技术支撑单位：山东贝诺冷却设备股份有限公司

联系人：李金恒 联系方式：18615342959

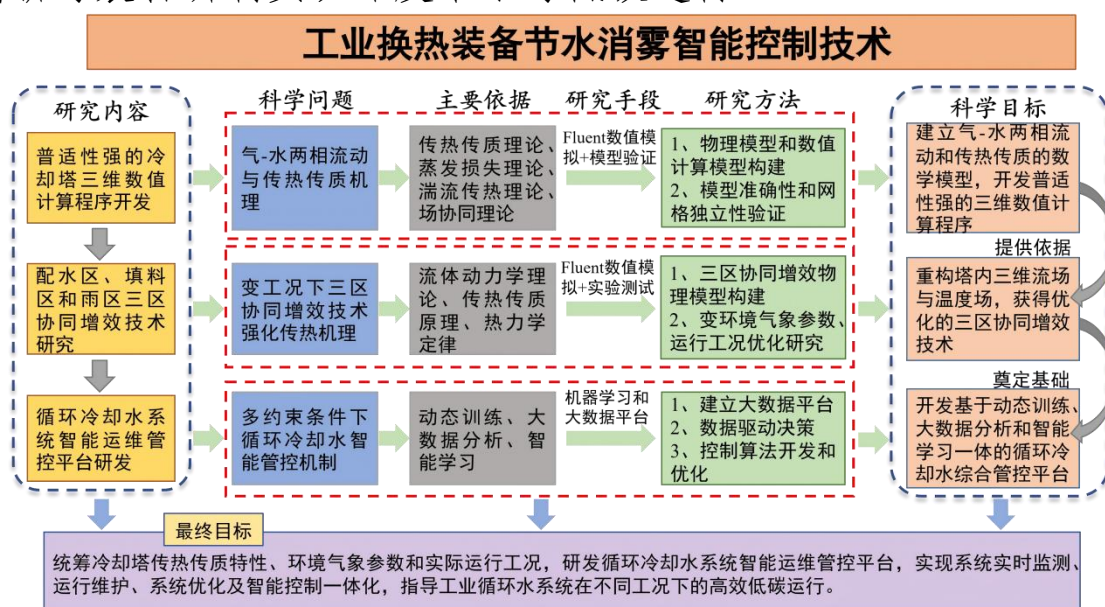
案例六：工业换热装备节水消雾智能控制技术

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该技术集成消雾节水装备与智能运维控制系统，围绕循环冷却系统存在的蒸发水耗大、雨雾污染及高能耗等问题，通过理论创新与装备研制实现深度节水与低碳运行。



技术路线图

在消雾节水方面，基于传热传质、场协同、湍流及蒸发损失等理论，构建三维热力数学模型，形成梯级组合式节水消雾系统及成套装备，包括高效干冷模块、换热元件和通用设计体系。在智能控制方面，通过搭建云平台集成运行数据，建立水务管理模型和参数监测技术，结合不同气象、负荷与水质条件，基于大数

据分析开发智能控制算法及运维管控平台，实现循环水系统的按需供给、能效优化与低碳运行。



系统控制界面

3.技术指标

技术指标一览表

序号	对比内容	本技术
1	技术路线	强化对流冷却，弱化蒸发冷却
2	技术理论	三维技术
3	冷却效率	98%
4	节 水 率	22.5%
5	漂 水 率	0.0001%
6	噪 音	78dB(A)
7	耗 电 比	0.035
8	消雾指数	≥90%

4.技术特点及先进性

（1）设计方法革新：采用全三维热力分析技术构建冷传热传质模型，通过理论推导、物理实验与工程验证，形成三维热力分析方法。相比传统二维设计，该方法更符合实际运行工况。

（2）节水技术升级：采用“预冷节水”技术，通过分层冷却、干式预冷、深度湿冷相结合，实现对循环水温度的精细调节。配上智能控制系统，实时调整运行参数，把节水效果发挥到极致，回收率达 20%。

（3）消雾效果突破：研发竖向菱形凝雾组件与干湿间隔布置结构，竖向组件增大水汽凝结面积，干湿间隔优化气流路径。开发系列湿空气凝雾模块，可适配不同类型冷却塔，实现消除 90%以上的可见雾气。

（4）智能管控创效：利用大数据技术，针对不同行业、天气和工况，建立了实用的数据模型。智能控制系统能根据这些模型，节冷却塔节水率最高可达 70%，节能率达到 20%~40%。

5.应用案例

项目名称：盛虹炼化一体化项目公用工程循环水厂冷却塔

项目概况：该项目消雾节水冷塔全部采用深度凝水除雾回收节能运维技术，外界温度低于 0℃可以消除 98%的白雾，配套电机功率 185kW，不增加电机负荷。按照循环水量为 5000m³/h 计算，每年正常运行产生的蒸发水损失 60 万吨，该装置节水率达

到 20%，每台（套）可节水 12 万吨，总节水 816 万吨/年。节约标准煤 699.31 吨，减少 CO₂排放 1748 吨。年节水效益 4080 万元，该项目总投资 1.4 亿元，3 年可回本。

6.推广前景

工业换热装备节水消雾智能控制技术主要应用在工业循环冷却水系统，可实现循环水场的智慧管控，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 40%，年节水量 3500 万立方米。

技术支撑单位：山东蓝想环境科技股份有限公司

联系人：王佳宁 联系方式：18866755116

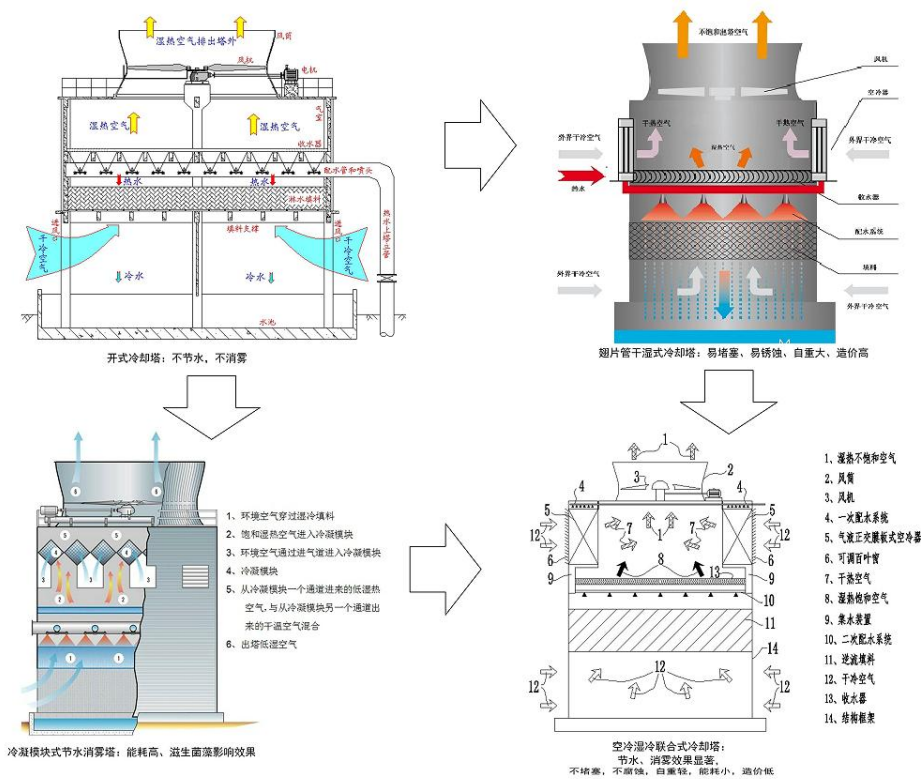
案例七：空冷湿冷联合式节水冷却塔

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该技术在常规冷却塔的基础上，气室两侧增加空冷器。一部分循环水先通过空冷器，经过空冷器进行间壁传热冷却降温后，再进入冷却塔配水系统，在填料表面流动进行蒸发传热和传热，实现传质传热物理过程。第一个过程水与气没有接触，是间壁传热，不存在蒸发损失，通过调节两部分的百叶窗风门，从而控制冷却塔出塔水温 and 可视羽雾的消除。结构示意图如下。



结构示意图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	名称	参数
1	干球温度℃	33.4
2	湿球温度℃	20.4
3	大气压 Pa	93730
4	相对湿度%	76
5	进塔水温℃	38
6	出塔水温℃	28
7	进塔水量 m ³ /h	4700
8	淋水密 m ³ /m ² .h	14.03
9	单塔尺寸 m	18.3×18.3
10	风机直径 mm	9750
11	电机功率 kW	220
12	电压等级 V	6000
13	节水率%	21
14	消雾效果	少雾型

4.技术特点及先进性

新型空冷湿冷节水消雾冷却塔，在实现节水消雾目的的同时，降低能耗和成本，延长使用寿命。与翅片管干湿式冷却塔相比：气液正交膜板式空冷器，采用塑料材质替代金属材料，克服了翅片管的锈蚀问题，同时使冷却塔载荷最小化，消除了水流道泥垢堵塞和空气流道的灰尘丝絮堵塞的问题，冷却塔可以长周期运行，不存在性能衰减问题，传热系数及节水消雾性能，长期保

持不变；与冷凝模块节水消雾技术相比：换热效率更高；节水能力可达 21%，消雾效果可达少雾型，运行可靠稳定。

5.应用案例

项目名称：神华新疆化工有限公司第一循环水场冷却塔节水消雾改造项目

项目概况：神华新疆化工厂位于新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市米东区的甘泉堡经济技术开发区，项目占地面积 1674.45 平方米，主要设备有节水消雾装置、百叶窗、收水器等设备，本项目共投资 1000 万元。项目配置空冷湿冷联合式节水消雾冷却塔，应用开式循环水气液正交膜板式空冷器，在每台塔上塔阀门前增加同管径旁路，将回水引至塔体两侧新增的空分装置，循环水回水在空冷装置中完成一部分冷却后回到原冷却塔布水管，继续执行与改造前一致的接触式水冷换热。通过增加的空冷装置完成一部分换热，减少蒸发冷部分换热，从而实现节水；外界干冷风通过空分装置后变为干热风，与水冷形成的饱和热蒸汽混合，混合气体的饱和阈值提高，从而出塔不易成雾，达到环保目的，可实现年节水量超 56.4 万立方米/年，消雾率达 85%以上。

6.推广前景

空冷湿冷联合式节水消雾冷却塔已取得良好的使用效果及产品的工程化，可降低雾气排放和工业水中药剂对环境污染，实

现循环水冷却塔的节水降碳整体创新。预计未来五年推广比例达到 20%，年节水量 147000 万立方米。

技术支撑单位 1: 中化工程沧州冷却技术有限公司

联系人: 李子龙 联系方式: 15612799768

技术支撑单位 2: 中冷环境科技有限公司

联系人: 王建勋 联系方式: 15503175578

技术支撑单位 3: 江苏海鸥冷却塔股份有限公司

联系人: 曹一 联系方式: 15061975016

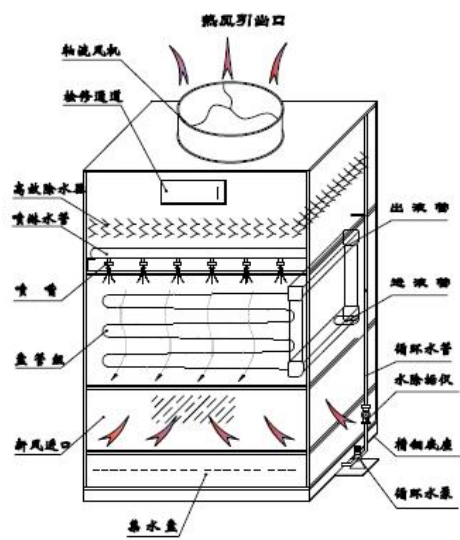
案例八：高效一体化复合节水型闭式冷却塔

1.技术适用范围

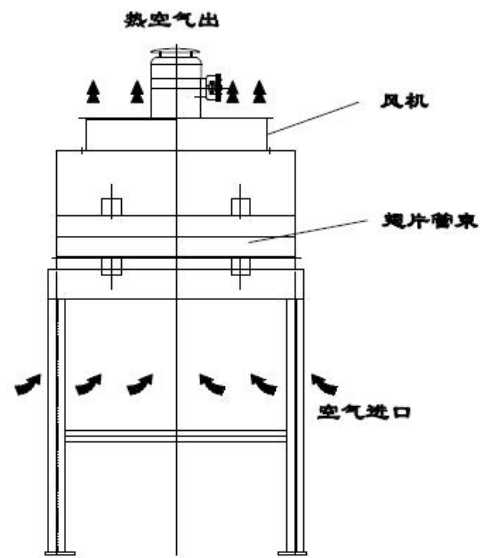
适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

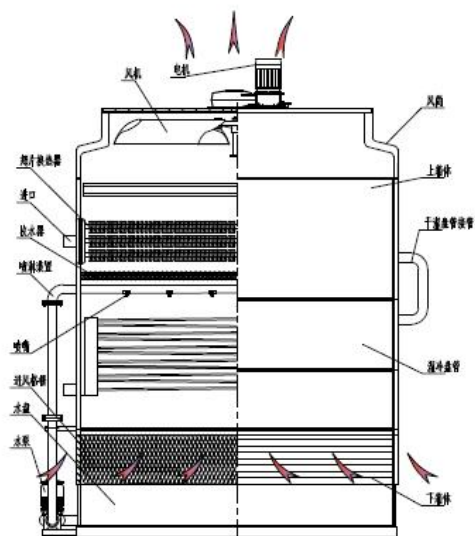
该装备为集装箱式复合冷却系统，通过在冷却塔换热区域增设高效换热器，将收水器安装于湿冷换热管束和空冷换热管束之间。蒸发换热后的空气在向外排出过程中与翅片换热区高效换热，同时翅片管内的热流体被冷却。高度集成复合节水型闭式冷却塔装备设计集成到标准集装箱内，在运输时作为一个集装箱，到现场后通过简单的操作即可直接作为冷却塔使用。



闭式冷却塔



空冷器



结构示意图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	名称		参数
1	冷塔出液温度℃	干冷工况	≤ 36 (干球温度 ≥ 5 , 换热量 1100kw)
		湿冷工况	≤ 36 (干球温度=36, 湿球温度=28, 换热量 1100kw)
2	换热量 kw		≥ 1100
3	设计流量 m ³ /h		100 \pm 3
4	湿球温度℃		28
5	干球温度范围℃		-30~50
6	管道设计压力 MPa		0.9
7	管道流阻 KPa		≤ 160
8	耗水量 t/h		≤ 1.2
9	飘水率 %		≤ 0.01
10	最大噪声 dB		< 85 (测点距冷却塔 15m 处, 1.5m 高)

4.技术特点及先进性

(1) 节水降碳效果明显。通过对收水器、冷凝管等部件进行结构优化, 增强箱体内部空气流通, 使冷凝管均匀散热且增加散热效率, 减少冷却水的消耗, 实现节水率 25%。

(2) 设备高度集成化。通过对冷却塔的优化改进, 将冷却塔设计集成到标准集装箱内, 安装方便快捷, 可方便地搬迁移动使用, 适合数据中心等工程性质的现场应用场景。

5.应用案例

项目名称：AI 算力数据中心液冷集装箱冷却塔项目
(ANTSPACEHK3)

项目概况：作为水冷数据中心的组件，循环冷却系统需要优良的散热性能和系统稳定性，实现高效的算力输出和优化的能效比。封闭式冷却系统能有效抵御环境干扰，保障数据中心运营的稳定性和经济效益，同时低故障率有助于减少长期的运维开支。以 100 吨冷却塔为例，设计环境温度 10℃，温差 9℃，节水约 0.3m³/h，一台冷却塔一年节水 2376m³。按照干湿冷却塔设计方案计算，数据中心占地 20000m²，共计冷却塔 200 台，每年可节水 475200m³。

6.推广前景

高效一体化复合节水型闭式冷却塔在 AI 算力数据中心具有较好的推广前景，可实现数据中心冷却系统的高效节水节电。预计未来五年推广比例达到 20%，年节水量 800 万立方米。

技术支撑单位：浙江万享科技股份有限公司

联系人：周培成 联系方式：15967200179

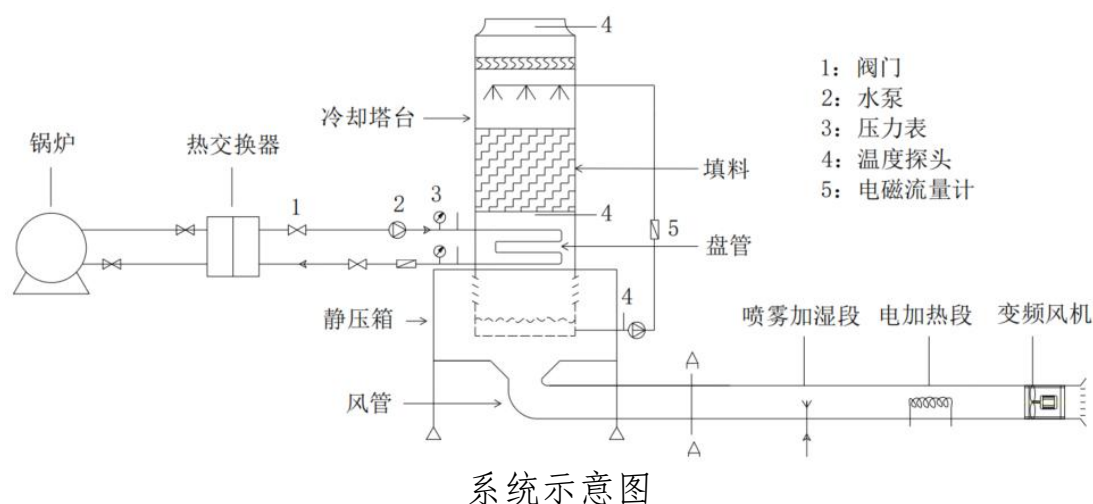
案例九：高效逆流闭式冷却塔

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该装备中的循环冷却水（一次侧）进入闭式冷却塔的冷却盘管内循环，冷却塔具有喷淋水（二次侧）冷却水循环系统，选用低扬程、大流量、功率小的循环喷淋泵。循环冷却水（一次侧）的热量经由喷淋水（二次侧）冷却水吸收后，喷淋水（二次侧）冷却水的热量再由空气吸收带走，达到冷却效果。



3.技术指标

高效逆流闭式冷却塔有较好的冷却效果，同时也保证冷却系统循环水的水质，有效提高工业生产过程中水的循环利用效率。空调系统选用闭式冷却塔，只需对冷却塔本身的喷淋系统进行定期维护，冷却水系统可长期保持高效率运行，水质不受外界影响。对比开式冷却塔，在使用过程中，必须定期对冷却塔、循环水泵、

管路系统等水系统进行清洗及更换，从节水效益来看，高效逆流闭式冷却塔大大减少循环水的损耗，节水率达 10%~15%。

4.技术特点及先进性

（1）塔体结构关键零部件已取得多项专利，该系列产品已获得 CTI 认证、CE 认证，符合 GB/T7190.3 标准。

（2）装备整体结构紧凑，占地小，模块化全钢设计，盘管采用斜置结构设计，具自排功能，减少冬季结冰爆管概率。

（3）可维持长期高效率运行，节省维护费用，提高水利用效率。

5.应用案例

项目名称：安徽某公司新建冷却循环水项目

项目概况：该公司新建的生产设备及机组，对冷却循环水系统的水质要求及节水效益要求较高，选用逆流闭式冷却塔。从 2022 年 3 月投产使用，经过数月制冷周期的验证，闭式冷却塔完全达到各项指标要求，节水量约 2 万立方米/年，节约成本 4 万元/年。

6.推广前景

高效逆流闭式冷却塔主要应用于冷冻空调系统、工业循环冷却水系统，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%，年节水量 500 万立方米。

技术支撑单位：上海良机冷却设备有限公司

联系人：查小欢 联系方式：13916380488

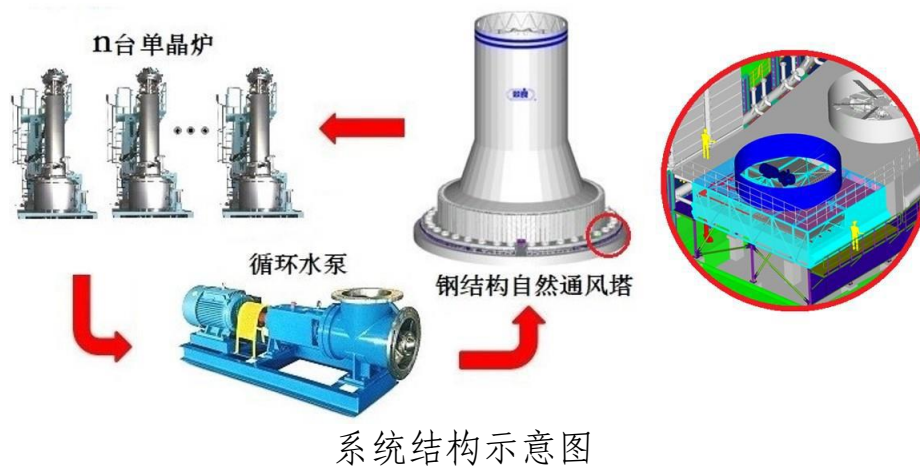
案例十：钢结构塔自然通风节能节水型工业循环水系统及装备

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该装备主要由钢结构自然通风塔、干冷段部分、湿冷段部分、循环水泵、管路系统、电气系统和仪控系统组成。主体结构采用直筒锥段、单层三角型网格、加强环结构型式。干冷段散热器垂直布置，在塔外绕塔一周。湿冷段采用机力通风，布置在干冷段散热器外侧。从塔外工艺设备输出的循环水（热水）先经过干冷段进行一次换热，再进入湿冷段进行二次换热，降至所需要的温度（冷水）后进入下一个热交换循环。



3.技术指标

与机力通风塔相比，换热主要依靠自然通风，耗电少，节水率达到 80%以上。

4.技术特点及先进性

(1) 可节省一次投资约 10%，缩短建设工期 30%。

(2) 自重仅为混凝土塔的 10%，减少地基处理，塔体退役后可实现回收，循环利用。

(3) 采用空冷双层布置扇区的高效传热技术，减少阻力，提高冷却效率。

(4) 将基于阵列光栅光纤技术的智能化监控系统应用于大型工业循环水冷却系统，实现智能化和精确化控制，避免散热器管冬季冻损。

5.应用案例

项目名称：双良硅材料（包头）有限公司单晶硅工业循环水冷却项目

项目概况：该项目建设两台钢结构塔自然通风节能节水型工业循环水系统及装备，用于单晶硅生产中的工业循环水冷却。该系统干点设计温度更高，较常规水冷塔，节水率达到 83.4%；较常规干湿联合机力通风塔，年节约电费 3017 万元，节约水费 305 万元。

6.推广前景

钢结构塔自然通风节能节水型工业循环系统及装备，可广泛应用于光伏、发电等行业。预计未来五年推广比例达到 5%，年节水量 4200 万立方米。

技术支撑单位：双良硅材料（包头）有限公司

联系人：高玉琨 联系方式：18686195194

（二）循环水处理技术

案例一：循环水电化学处理技术

1.技术适用范围

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^- 、 O_3 、 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。实现循环冷却水系统防腐阻垢。该技术还可耦合膜技术、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。

3.技术指标

该技术可提高循环水浓缩倍数至 5 ~ 12 倍，与化学加药相比，可节约 30% ~ 80% 用水量，同时节约水处理药剂，减少循环水排污量。

4.技术特点及先进性

- （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

项目名称：湖南桃江南方水泥有限公司 2×5000 吨/天熟料生产线余热发电配套循环冷却水系统项目

项目概况：对循环冷却水系统实施改造，由化学加药法改为安装高压静电水处理器，系统浓缩倍数由 2 倍提升到 5 倍，年节约新水 67 万立方米，节约成本约 167 万元，同时系统不排放磷等污染物。

项目名称：广汇新能源有限公司电化学水处理项目

项目概况：公司共有 5 套循环水系统，其中醇醚系统循环量为 23886 立方米/小时，浓缩倍数 3 倍~5 倍；煤气净化系统循环量为 41000 立方米/小时，浓缩倍数 4.5 倍；甲烷系统循环量为 35000 立方米/小时，浓缩倍数 4~7 倍；空分系统循环量为 21091 立方米/小时，浓缩倍数 4.5~7 倍；热电系统循环量为 15700 立方米/小时，浓缩倍数 4.5~7 倍。使用药剂进行处理，存在药剂投加量大，浓缩倍数低，排污量大等问题。2020 年~2021 年间，逐步投运 5 套循环水电化学系统，合计处理量 11350 立方米/小时。循环水系统浓缩倍数达到 12 倍，年节约新水用量约 58 万立方米，减少污水排放量；系统指标稳定，不结垢，不腐蚀；全自动运行，无人值守。

6.推广前景

循环水电化学处理技术已广泛推广应用到电力、钢铁、化工等领域。预计未来五年推广比例达到 10% ~ 15%，年节水量 160000 ~ 240000 万立方米。

技术支撑单位：北京京润环保科技股份有限公司

联系人：廖超群 联系方式：18201226851

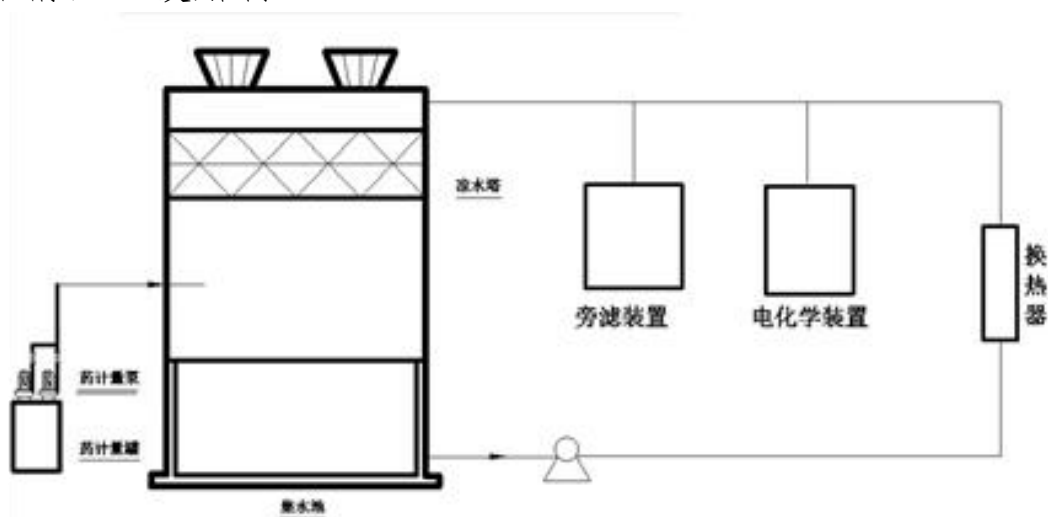
案例二：循环水化学和电化学协同处理技术

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该技术利用电解过程阴极发生析氢反应产生 OH^- ，水在流经阴极板附近时，成垢离子在阴极板上结垢析出。利用化学法调节水中成垢、腐蚀离子的溶解—析出平衡，解决腐蚀结垢问题。该技术工艺流程为：从循环水管道或塔下水池引循环水至电化学电解设备，利用水及水中离子在电场作用下的电化学特性及氧化还原反应，使成垢离子在阴极区域结垢析出，水中的成垢离子逐渐降低，达到除垢的目的，电解设备出水再回到循环水池中；同时向循环水系统投加电化学专用化学品，控制循环水中剩余离子的结垢情况，缓解腐蚀。



工艺流程示意图



装备现场图

3.技术指标

单台处理水量 $60 \sim 100\text{m}^3/\text{h}$ ；输出电压 $5 \sim 30\text{V}$ ；最大输出电流 600A ；运行模式：稳流，电流密度 $30\text{A}/\text{m}^2$ 。极板间距 75mm 。化学品主要参数：三元共聚物，固含量 $\geq 35\%$ 。关键设备参数如下。

技术指标一览表

序号	外形尺寸 (L×W×H) (mm)	1600×1800×2600
1	安装空间及维护空间高度要求 (mm)	2400×3000×3000
2	材质	碳钢
3	箱体设计寿命	8 ~ 10 年
4	电极设计寿命	3 ~ 5 年
5	工作温度 (°C)	3 ~ 50
6	进水口径 (mm)	DN80 ~ 100

4.技术特点及先进性

(1) 使用电化学处理装置降低循环水的部分硬度，提高循环水浓缩倍数至 $8 \sim 10$ 倍，减少循环水补水 20% 以上；电化学装置在保证最高硬度去除效率的同时，运行工耗最低，对化学品的

影响最小。

(2) 电化学专用化学品对电解装置的电解除垢影响小，既不会影响电解能耗，降低电解效率，又有良好的阻垢效果；抗电解能力是传统化学品的 2~3 倍；稳定性好，适应高浓缩倍数条件下对化学品的要求；控制循环水中剩余结垢离子，并起到缓蚀作用。

5.应用案例

项目名称：冀润气体循环冷却水系统节水减排项目

项目概况：项目设计初期采用化学处理方式，投加阻垢缓蚀剂、杀菌剂等水处理化学品，运行过程中控制浓缩倍率小于 3，补排水量、水处理剂使用量都很高。采用循环水化学和电化学协同处理技术，在循环冷却水系统增加两台电化学处理装置，配合该技术专用的水处理化学品。该项目投资 65 万元，于 2021 年 3 月建设，于 2021 年 5 月运行。循环水浓缩倍率显著提升，正常运行浓缩倍率在 8 倍以上，补排水明显减少，补水节约 12 万立方米/年，排水减少 9.5 万立方米/年，减排效益尤其明显，减排率达 80%以上；阻垢缓蚀剂、杀菌灭藻剂用量明显降低，年运行费用减少 50%以上；换热器检修打开后，水侧管壁洁净，无结垢、腐蚀情况，无粘泥类物质沉积。

6.推广前景

循环水化学和电化学协同处理技术可广泛应用于缺水地区

的化工、钢铁、石化等行业，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 30%，年节水量 2000 万立方米。

技术支撑单位：河北利源环保科技有限公司

联系人：张天峰 联系方式：18732171188

案例三：循环水系统长周期稳定运行水处理技术

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该技术针对不同水质（低钙硬碱度到超高钙硬碱度）、高且宽范围污水回用比（0%~100%），采用高效低/无磷阻垢缓蚀剂及处理技术，控制循环水系统的腐蚀与结垢；同时常规杀生外辅以高效生物黏泥剥离降解技术，将生物黏泥从设备表面剥离下来，并进一步降解为水溶性小分子而排出系统，大幅度提高剥离清洗效果。该技术可保障循环水系统在高污水回用比下长周期稳定运行。

3.技术指标

（1）高效低磷阻垢缓蚀剂及处理技术的磷含量（以 PO_4^{3-} 计） $<3\text{mg/L}$ 。

（2）循环水处理效果满足碳钢试管腐蚀速率 $\leq 0.075\text{mm/a}$ 、粘附速率 $\leq 15\text{mg}/(\text{cm}^2\cdot\text{月})$ 。

（3）适用于不同补充水水质特点、高且宽范围污水回用比（0%~100%）要求。

（4）生物黏泥剥离降解剂具有优异的杀菌、剥离和降解效果，剥离率、降解率和杀菌率分别达 80%、80%和 99.9%。

4.技术特点及先进性

克服常规低/无磷阻垢缓蚀剂抗冲击性差、耐受污水回用比低的缺点，在高污水回用比（ $>60\%$ ）的条件下缓蚀、阻垢效果良好；同时，常规杀生外辅以高效生物黏泥剥离降解技术，有效避免黏泥二次沉积而降低循环水系统的换热效率。本技术保障循环水系统长周期稳定运行，并实现源头减磷，吨水处理成本可降低 $20\% \sim 45\%$ 。

5.应用案例

项目名称：某石化企业循环水绿色无磷处理项目

项目概况：某石化企业地处长江经济带中游，2022年5月起至今，无磷缓蚀阻垢技术产品在该企业炼油循环水工业应用。应用期间，平均污水回用比 62.73% （最高月份超过 90% ），平均浓缩倍数 5.41 ，碳钢试管的平均腐蚀速度 0.045mm/a ，平均粘附速率 $5.31\text{mg}/(\text{cm}^2\cdot\text{月})$ 。节约新水 $280\text{万 m}^3/\text{a}$ ，节省成本 497万元/年 ，减少磷排放量 10.89吨/年 。在保障生产装置长周期安全稳定运行的同时，大幅降低循环水厂补新水量及磷排放量。

6.推广前景

循环水系统长周期稳定运行水处理技术已在京津冀、黄河流域、长江经济带等重点区域的炼油、化工及煤化工企业开展工业应用，具有较好的推广前景。预计未来五年节水量超过 2500万立方米/年 。

技术支撑单位：中石化石油化工科学研究院有限公司

联系人：高嵩

联系方式：15210625287

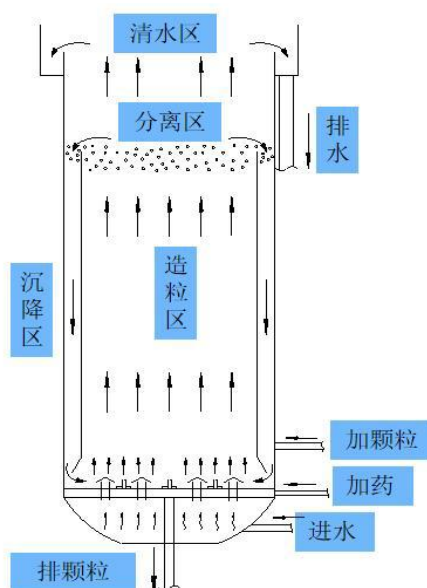
案例四：循环造粒流化床高效固液分离装备

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该技术向水中预先投入一定级配晶种，后在特定位置投入碱性药剂（氢氧化钠、碳酸钠）与水均匀混合，达到碳酸钙的溶度积后，水中的钙离子发生化学反应生成碳酸钙晶体，附着在比表面积较大的晶种表面，随着碳酸钙晶体的不断附着，颗粒慢慢长大，最终形成大颗粒在反应器底部排出。向进入结晶流化床的进水中投加晶核，使水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子发生反应生成 $\text{CaCO}_3/\text{Mg}(\text{OH})_2$ ，附着到晶种表面，进而将水中硬度降低，晶种在上升过程中，经过造粒区和分离区水力筛分作用，清水由上部分离区流出。



结构示意图

3.技术指标

(1) 根据系统处理能力，结晶造粒流化床的运行流量可在设计阶段，根据需要灵活调整。

(2) 经化学结晶造粒处理后的原水 Ca^{2+} 浓度大幅度降低，正常情况下， Ca^{2+} 去除率应达 90% 以上。

(3) 循环冷却水浓缩倍率大幅度提高，在满足阻垢要求情况下，循环冷却水排污量和补充量应同步显著降低。

4.技术特点及先进性

(1) 采用结晶软化流化床处理循环水补充水，将补充水中 90% 以上的钙离子去除，将循环水浓缩倍率提升至 9 倍以上。

(2) 无废水、污泥排放。

(3) 检修维护工作量较小，主要对结晶软化系统内的布水装置进行检修。

(4) 投资成本较低，占地面积小，产生碳酸钙颗粒可以直接回用于脱硫系统，不产生废物。

5.应用案例

项目名称：某 600MW 火力发电厂化学结晶循环造粒流化床项目

项目概况：该项目采用化学结晶循环造粒流化床技术，浓缩倍率达到 9 倍时循环水补充水量可减少 $160\text{m}^3/\text{h}$ ，每年可减少新水约 128.64 万 m^3 ，节省费用 257.28 万元；循环水排污水减少

160m³/h，每年可减少循环水排污量约 128.64 万 m³，节省排污费 64.32 万元。循环补水量下降至 543.6 万 m³/a，处理成本节省 185 万元。该电厂每年可节省运行成本 136.6 万元。

6.推广前景

循环造粒流化床高效固液分离装备可应用于工业循环水、循环水排污水、反渗透浓水、矿井水等多种水质的软化。预计未来五年推广比例达到 5%，年节水量 6000 万立方米。

技术支撑单位：西安唯源环保科技有限公司

联系人：胡瑞柱 联系方式：18710868773

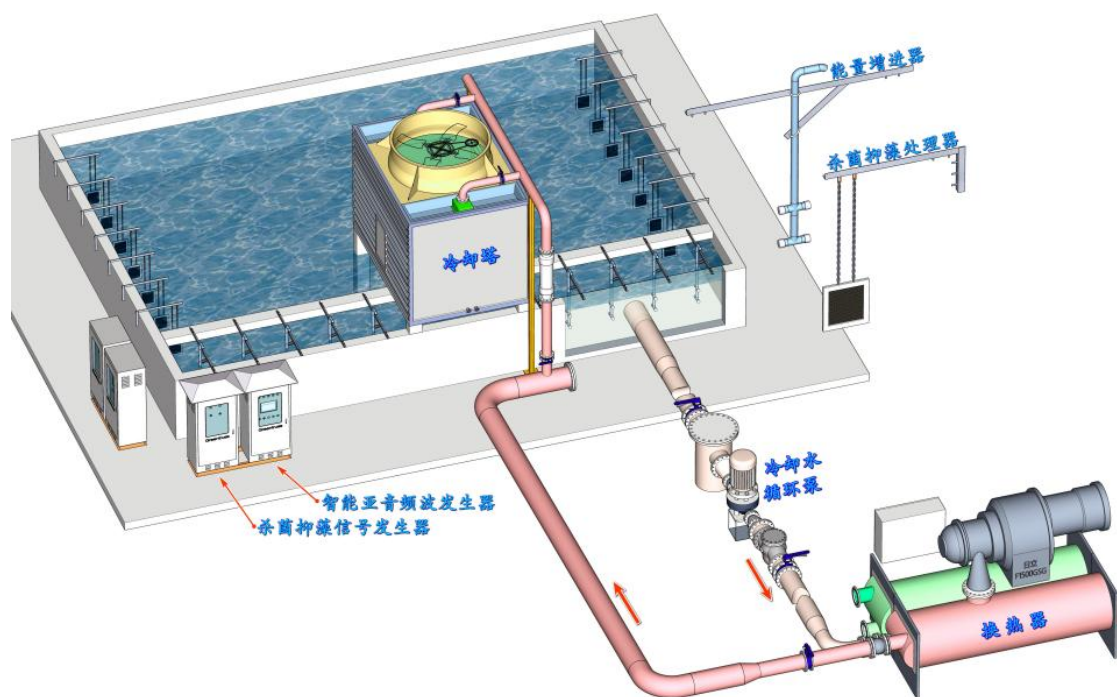
案例五：工业冷却循环水绿色智能节水处理系统

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该系统采用亚音频电磁波复合控制技术,通过低频($<20\text{kHz}$)高电流(20A)电磁波,实现阻垢、防腐、杀菌功能。通过亚音频电磁波增强水分子氢键结构,提升水对成垢离子的溶解能力,阻垢率 $\geq 95\%$;通过向水中输入亚音频波,电磁波能量诱导金属表面形成磁铁矿保护层,缓蚀速率 $\leq 0.07\text{mm/a}$ 。采用自清洁钛基电极结构,通过周期性正负极切换技术,防止电极结垢,电解效率提升3倍,能耗降低60%。采用高浓缩倍数运行工艺,通过离子平衡控制,将循环水浓缩倍数提升至6~10倍,节水率20%~40%。动态调节ORP值至抑菌区间(650mV),杀菌率 $\geq 99\%$,藻类生物粘泥量下降90%。



工艺流程示意图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	指标	本系统参数	国标/传统工艺
1	阻垢率	$\geq 95\%$	化学药剂法: 70% ~ 85%
2	碳钢腐蚀速率	$\leq 0.05\text{mm/a}$	GB50050 要求: $\leq 0.075\text{mm/a}$
3	浓缩倍数	6 ~ 10 倍	传统物理法: 3 倍 ~ 5 倍
4	杀菌率	$\geq 99\%$	臭氧/紫外线法: 90% ~ 95%
5	能耗	$0.05\text{kW} \cdot \text{h/m}^3$	化学药剂法: $0.12 \sim 0.2\text{kW} \cdot \text{h/m}^3$
6	外排水 COD	$\leq 25\text{mg/L}$	化学法排放: 50 ~ 100mg/L

4.技术特点及先进性

(1) 采用低频 ($<20\text{kHz}$) 高电流 (20A) 电磁波技术, 实现阻垢率 $\geq 95\%$ 、碳钢腐蚀速率 $\leq 0.05\text{mm/a}$, 综合性能优于同类电磁/超声波技术和国标水平 (阻垢率 $80\% \sim 90\%$, 国标碳钢腐蚀速率控制 $\leq 0.075\text{mm/a}$)。

(2) 自清洁钛基电极结构通过周期性正负极切换技术解决电极结垢难题, 电解效率大幅提升。

(3) 智能 AI 动态调控系统实时监测电导率、pH、总硬度、总碱度、氯离子、总铁含量、温度等多项水质参数, 并根据水质情况做动态校准。在保证处理效果的情况下, 将黄河流域等高盐地区循环水浓缩倍数提升至 $6 \sim 10$ 倍 (高于传统工艺: $3 \sim 5$ 倍), 完全替代传统阻垢缓蚀剂、杀菌剂, 破解化学污染难题。

5.应用案例

项目名称: 中海油滨州天然气处理厂循环水系统绿色智能节水改造项目

项目概况: 该企业原用水量为循环水系统规模 $12000\text{m}^3/\text{h}$, 年补水量 144 万立方米。主要问题为化学药剂成本高 (115 万元/年)、结垢腐蚀严重、外排水超标 ($\text{COD} \leq 50\text{mg/L}$)。采用工业冷却循环水绿色智能节水处理系统彻底解决循环水高补水、高排污的痛点, 年节水 31 万立方米, 循环水系统处理量 $12000\text{m}^3/\text{h}$, 部署 4 套 GT—3000 型主机 (单机处理量 $3000\text{m}^3/\text{h}$), 年电费约

5 万元，综合成本较药剂法降低 70%，浓缩倍数从 3 倍提升至 7.5 倍，外排水 COD \leq 25mg/L，外排水回用率达 90%。

6.推广前景

工业冷却循环水绿色智能节水处理系统已在电力、石化、冶金等多个行业得到应用，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%，年节水量 1000 万立方米。

技术支撑单位：厦门绿信环保科技股份有限公司

联系人：伍元兰 联系方式：13605056552

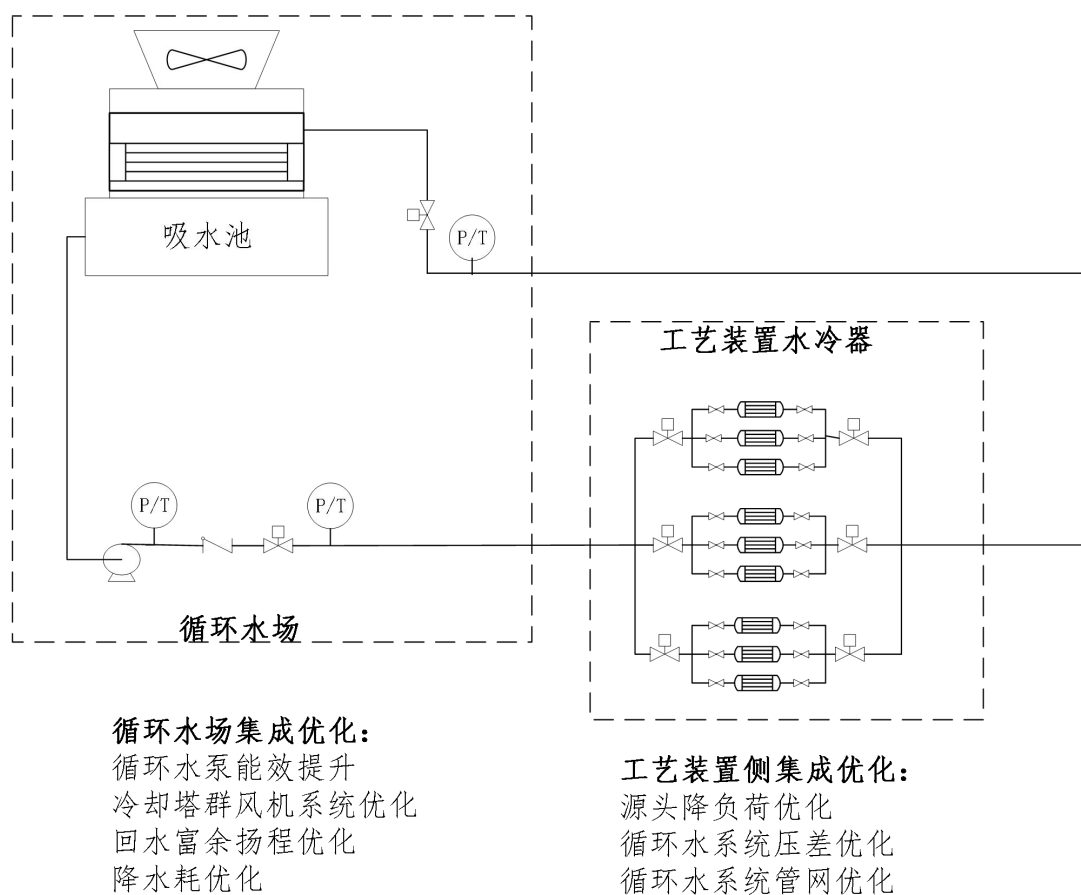
案例六：集成式超低能耗循环水系统

1.技术适用范围

适用于工业循环冷却水系统。

2.技术原理及工艺

该系统根据不同循环水系统的运行工况、装置侧工艺介质冷却需求，以及水冷器条件等，将传统循环水优化方式进行集成式应用，形成一套系统性的集成式循环水系统优化方法，最大程度降低循环水系统能耗。



技术原理图

3.技术指标

该系统形成一套集成式超低能耗循环水解决方案，循环水系统循环水泵和风机的吨水电耗下降至 $0.13\text{kW}\cdot\text{h/t}$ 以下。

4.技术特点及先进性

该技术从工艺侧用能优化出发，利用能量系统“三环节”理论对循环水系统运行参数进行优化，通过工艺装置余热回收等技术避免高温介质直接进入水冷器，同时考虑串联使用不同运行温度的水冷器，提升循环水给回水温差，优化工艺装置侧冷公用工程换热系统，减少水冷器的使用量，降低装置循环水用量。

在满足工艺侧循环水量需求的基础上，通过降低优化循环水系统沿程压降、循环水系统管网优化，设置管道泵消除循环水系统最不利点影响等措施，降低循环水系统循环水泵的扬程，并通过智慧化能源系统及管网模拟模型加以验证和指导进一步优化工作。

在确定循环水系统循环水泵最低扬程后，对循环水泵采用高效水泵、水泵调速等先进设备和技术，实现循环水泵的节电优化。通过循环水回水余压回收以及采用先进的冷却塔技术形成一套完整的集成式超低能耗循环水系统优化的方法。

5.应用案例

项目名称：中科炼化炼油 II 循环水系统优化

项目概况：该项目在对循环水系统工艺参数优化的同时，对能耗主体（循环水泵、冷却塔风机等）进行改造，完成中科炼化

炼油 II 循环水系统改造,达到节水降碳的效果,节能率达到 44%,
节水量达到 1112 万立方米/年。

6.推广前景

集成式超低能耗循环水系统是对传统循环水处理技术的集成和优化,具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%,年节水量 400 万立方米。

技术支撑单位:中石化节能技术服务有限公司

联系人:刘帆 联系方式:15132206009

（三）非常规水利用技术

案例一：海水及苦咸水淡化反渗透膜阻垢剂

1.技术适用范围

适用于非常规水收集利用。

2.技术原理及工艺

反渗透系统的前处理如果未经过软化处理，反渗透膜在使用一段时间后就会出现阻塞的情况，在前处理时须加加药装置，在里面加入反渗透阻垢剂处理原水。出现工艺设计不完善、操作不当或添加的药剂不能与水源兼容等现象，会致使反渗透系统产水数量和质量下降，甚至会导致反渗透膜元件提前报废。反渗透阻垢剂是专门为反渗透系统研制的一种高效阻垢剂。这种阻垢剂能防止水中难溶解物质或盐类在反渗透膜表面结垢，从而保证系统产水量以及产水质量，减少运行费用。

3.技术指标

（1）阻垢性能优异。阻垢性能在 98%以上，高于国外同类产品，可延长设备使用寿命。

（2）降低反渗透运行药剂使用成本。吨水阻垢剂处理成本可降至 0.5 元/吨以下，反渗透膜使用寿命由三年延长到五年。

4.技术特点及先进性

技术特点：

(1) 不与铁铝氧化物及硅化合物凝聚形成不溶解物质，能有效控制铁、铝及重金属污染物。

(2) 适用范围广，可用于超滤膜、纳滤膜等。

(3) pH 值在 5~10 范围内的给水均有效。

(4) 具有较好的溶解性和稳定性，可有效减少水垢阻塞反渗透膜孔径，确保正常的水通量和过滤效果。

技术先进性：

(1) 生产工艺采用绿色化学合成工艺而非复配工艺，无“三废”排放。

(2) 以自主合成的单体物质为基础，复配配方可获得“1+1>2”的环境协同效应，阻垢率>98%。

(3) 以该产品为依托的高效能低成本运行工艺，可使各系统安全运行周期延长一倍以上，运行成本降低 30%以上。

5.应用案例

项目名称：安吉旺能再生资源利用有限公司反渗透系统阻垢剂应用

项目概况：安吉旺能再生资源利用有限公司反渗透系统原来使用进口药剂，约 6 个月化学清洗一次，自 2021 年 5 月使用至今，反渗透化学清洗时间延长一倍，运行费用节约 20%以上，经运行验证，产品性能可靠，质量稳定，设备运行安全稳定。

6.推广前景

海水及苦咸水淡化反渗透膜阻垢剂可广泛应用于水资源再利用过程中设备的保护,提高水资源再利用效率,也可用于石油、化工、电力、钢铁、医药、食品、油田、岛屿、船舰等行业的海水淡化反渗透系统。预计未来五年反渗透阻垢剂市场年复合增长率将达到 8%至 10%。

技术支撑单位: 山东黄三角环保科技产业园有限公司

联系人: 金广见

联系方式: 18611957659

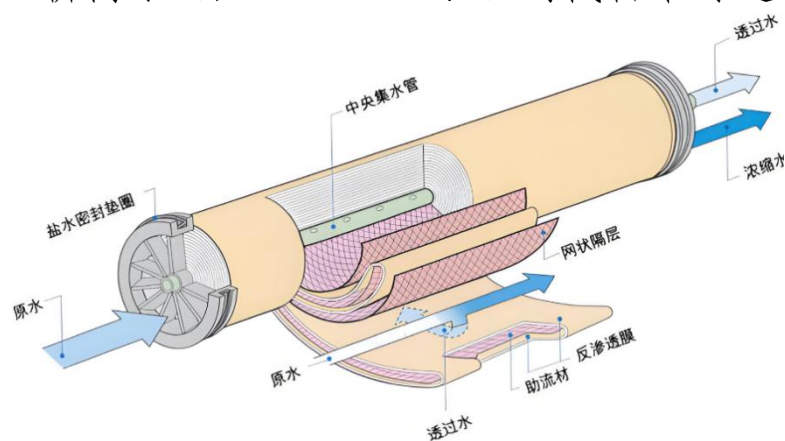
案例二：高通量抗污染海水淡化反渗透膜

1.技术适用范围

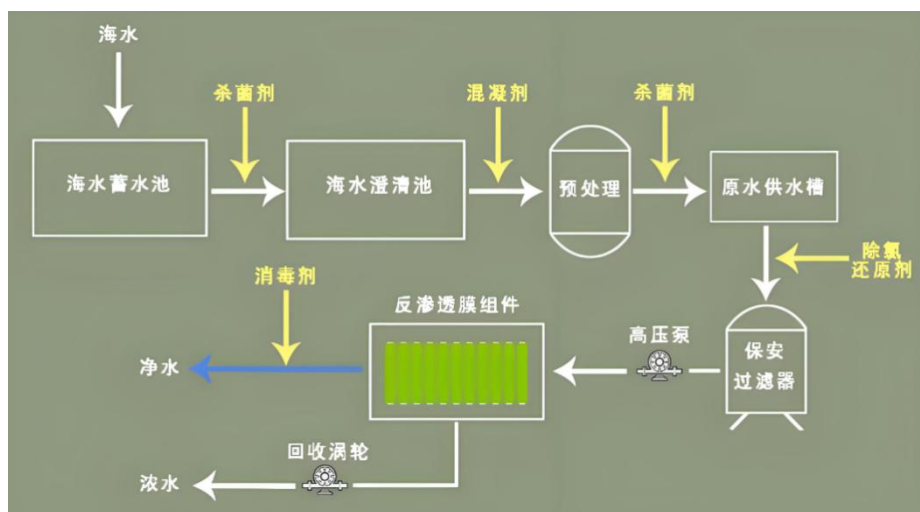
适用于非常规水收集利用。

2.技术原理及工艺

海水淡化反渗透膜为复合结构，由聚酯材料增强无纺布、聚砷材料多孔中间支撑层、聚酰胺材料超薄分离层组成。超薄分离层是反渗透和纳滤过程中真正具有分离作用的功能层，其交联度高决定了它具有极高的物理强度和抗化学生物降解的性能。当海水在高压（通常为 5~10MPa）下通过膜表面时，水分子可通过膜的纳米级孔隙（孔径约 0.1~1nm），而溶解盐类（如 NaCl、MgSO₄）、有机物（如腐殖酸）和微生物（如细菌、病毒）因尺寸较大被截留，从而实现水盐分离。膜元件采用聚酰胺复合膜材料，其表面超薄脱盐层（厚度约 50~100nm）通过界面聚合工艺形成致密的交联网络，对单价离子（如 Na⁺、Cl⁻）的截留率超过 99.5%，对二价离子（如 Ca²⁺、SO₄²⁻）的截留率可达 99.9%。



产品结构图



工艺流程示意图

3.技术指标

在 32g/NaCl、25℃、5.52MPa 的条件下，与市场同类产品主要指标及参数对比如下。

技术指标一览表

参数	本产品	陶氏	海德能	世韩
脱盐率	99.8%（NaCl 溶液）	99.8%	99.8%	99.6%
产水量	36.4m ³ /d（8 英寸）	31m ³ /d	31.4m ³ /d	22.7m ³ /d
操作压力	5.5 ~ 6.0MPa	5.5 ~ 6.0MPa	4.14MPa	5.5MPa
耐氯性	0.1mg/L（连续运行）	0.1mg/L	0.1mg/L	0.1mg/L
抗污染指数	<0.05bar/h	<0.08bar/h	<0.07bar/h	<0.08bar/h
膜寿命	5 年以上（工业场景）	3 ~ 5 年	3 ~ 4 年	3 ~ 5 年

4.技术特点及先进性

（1）聚砒支撑层均匀涂布，采用定量涂布工艺，实现聚砒基膜的性能可调性和稳定性。

（2）有机相均匀涂布，采用 slote—die 涂布工艺，实现有机

相定量和均匀涂布。

(3) 采用界面反应二次交联技术，聚酰胺脱盐层结构更致密、表面缺陷更少，在高盐等严苛使用环境下，具有更好的截留性能以及更强的耐酸碱反复清洗能力。

(4) 膜片后处理过程中采用强化清洗工艺，有效降低膜片内部残留的化学品含量，显著提高膜的水通量，同时有利于膜片的长期存放稳定性。

(5) 海水膜元件自动化卷制技术与设备，根据膜元件卷制工艺和技术的研究，设计并委托加工膜元件自动化卷制设备，提高膜元件卷制成品率，先进膜元件流道设计及自动化卷膜技术，有效增强膜产品抗污染性能，同时保证每支膜元件产水量和脱盐率的均一稳定性。

(6) 结果检测转变为过程监测，通过对关键工艺点在线监测、关键设备自动化控制的研究，实现每个工艺过程和参数在工艺许可的范围之内。

5.应用案例

项目名称：浙江舟山六横海水淡化项目

项目概况：该项目万吨级反渗透海水淡化单机容量为10000m³/d，水质 30000mg/L。通过絮凝沉淀+V 滤+机械过滤+反渗透工艺，一级产水电导达到 220 ~ 320 μ S/cm。该项目采用高通量抗污染海水淡化反渗透膜，总处理水量 50000m³/d，元件通量

36.4m³/d，单吨制水成本降低 30%，脱盐率>99.8%。日供水量稳定在 5 万吨，解决六横岛及周边岛屿 40 万人口的用水缺口，水质满足《生活饮用水卫生标准》，占当地总供水量的 70%。

项目名称：璇膜科技（北京）有限公司氯碱脱硝项目

项目概况：该项目于 2022 年运行，采用高通量抗污染反渗透膜元件，用于含盐废水的脱盐过滤。年节水量 35 万 m³，自运行以来累计节水量 100 万 m³。该项目通过更换高通量抗污染海水淡化反渗透膜，不但减少对传统脱盐工艺的依赖，降低化学药剂的使用量，而且减少新鲜水用量，实现水资源高效利用。

6.推广前景

高通量抗污染海水淡化反渗透膜，在水通量、脱盐率、脱除有机物和抗生物降解方面性能突出，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 60%，年节水量约 35 万立方米。

技术支撑单位：恩泰环保科技（常州）有限公司

联系人：唐薇娜

联系方式：18796921903

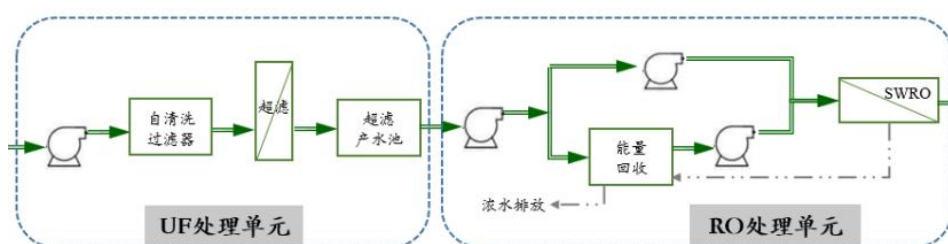
案例三：高效双膜耦合海水淡化技术

1.技术适用范围

适用于非常规水收集利用。

2.技术原理及工艺

该技术主要包括 UF 和 RO 两个处理单元。该技术主要设备包括超滤（UF）、反渗透（RO）和能量回收装置。



工艺流程示意图

超滤（UF）是常用的海水淡化预处理技术，外置式超滤（OWUF）系列超滤膜孔径介于 $0.01 \sim 0.1\mu\text{m}$ ，对浊度的去除率大于 99.9%，可达到产水浊度 <1 ， $\text{SDI} < 3$ ，大幅度拦截悬浮颗粒和胶体，细菌、病毒、藻类及一些有机物也能被截留，降低后续反渗透系统的污染和负荷，降低 RO 设备投资。海水淡化反渗透膜元件标准脱盐率 99.8%。能量回收装置可将 RO 浓水的能量再利用于进水，能量回收效率可达 96%以上。

3.技术指标

RO 回收率：45% ~ 50%;

全厂回收率：40% ~ 45%;

UF 通量：50—80LMH;

一级 RO 通量：13—15LMH;

产水水质：欧盟饮用水，国标饮用水或其他工业用水。

4.技术特点及先进性

（1）高脱盐、抗污染的反渗透膜材料

创新性使用微压涂覆技术和梯度交联技术，构建具有亲水、光滑、电中性特点的抗污染脱盐层，通过化学修饰降低表面粗糙度，抗污染性能提升 20%；卷式元件设计上，优化浓水格网结构与膜袋参数，配套全自动卷制装备使成品率 > 95%，形成高脱盐、强抗污的自主化反渗透膜制备体系。

（2）大型反渗透膜堆的节能配水技术

采用流域边界模型、水化学/水力学物理模型与 CFD 局阻模拟模型的多维耦合方法，突破传统单一模型局限性，实现超大规模（ ≥ 2.2 万 m^3/d ）RO 膜堆水力分布均匀性参数偏差 < 5%；基于双端产水平衡和流量比例动态调控，实现膜堆能耗下降 3% ~ 5%，基于盐温动态特性（5 ~ 35℃），PID 分析调控精准适配运行，解决大型膜堆配水不均和效率衰减难题。

（3）“三位一体”的双膜（UF—RO）耦合协同技术

挖掘降低阻力损耗和污染负荷的空间，减少中间水池（罐）环节，通过动态调控算法实现 UF—RO 双膜直联技术，使系统能耗降低 5% ~ 10%；研究双蜗壳多级高压泵满足单泵流量 $\geq 950\text{m}^3/\text{h}$ ，效率 $\geq 90\%$ ；创新高压泵、能量回收装置与反渗透膜组“一一对应”协同配置模式，组合拳实现国产设备效率 $\geq 90\%$ 双

膜系统，吨水电耗 $\leq 2.2\text{kWh/m}^3$ ，系统回收率 45%~50%，适配盐温范围微污染海水。

5.应用案例

项目名称：青岛董家口经济区海水淡化项目

项目概况：青岛董家口经济区海水淡化项目为 10 万 m^3/d ，总占地 40 亩，项目总投资 4.5 亿元。该项目采用“超滤（UF）+反渗透（RO）”高效双膜耦合海水淡化技术，项目投产以来，出水水质合格，运行稳定，UF+RO 双膜电耗约为 2.2kWh/m^3 ，药耗低于 0.15 元/立方米，均处于全国领先水平。该项目节水量 3650 万 m^3/a ，节水效益 16425 万元/年。

项目名称：山东鲁北高新技术开发区海水淡化工程

项目概况：项目设计规模为 15 万 m^3/d ，已建成运行规模 10 万 m^3/d ，总占地 77 亩，项目总投资 15 亿元，建筑总面积 2 万平方米。该项目分两期建设，一期建设 5 万 m^3/d 。一期工程投资约 5 亿元，二期建设投资约 10 亿元（先建设 5 万 m^3/d ）。项目取水利用大唐电厂冷却排放的升温海水作为原水，大大降低膜系统能耗和制水成本。该项目采用“超滤（UF）+反渗透（RO）”高效双膜耦合海水淡化技术，设备国产化率达到 80%。经过双膜处理后的淡水供应鲁北化工工业园区企业，浓盐水输送至鲁北盐厂进行先提溴、再晒盐的处理后，达到零排放标准。项目投产以来，

出水水质合格，运行稳定，电耗约为 $2.5\sim 3.0\text{kWh/m}^3$ ，节水量 3650 万 m^3/a ，节水效益 20075 万元/年。

6.推广前景

高效双膜耦合海水淡化技术应用规模已超 70 万 m^3/d ，已推广至“一带一路”国家，为国际上缺水地区提供解决方案。预计未来五年推广比例达到 35%，年节水量 38325 万立方米。

技术支撑单位：北京碧水源科技股份有限公司

联系人：温卫民 联系方式：13381182215

案例四：面向工业回用的双膜法城镇污水深度处理技术

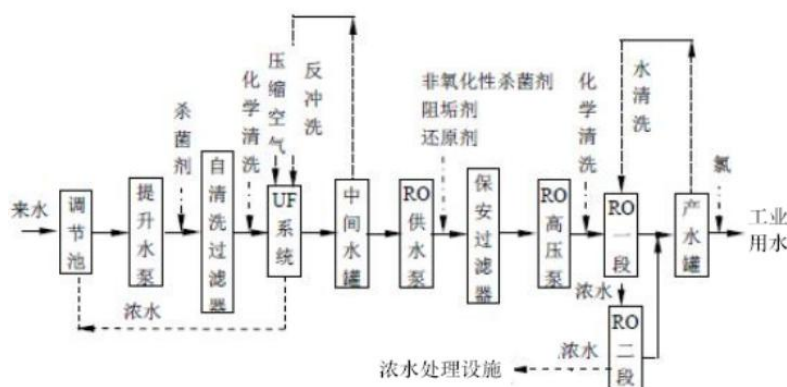
1.技术适用范围

适用于非常规水收集利用。

2.技术原理及工艺

市政污水处理厂出水首先进入调节池，进行水质水量调节，随后经提升泵加压送入自清洗过滤器。过滤后出水进入超滤(UF)系统，超滤产水流入中间水罐。中间水罐出水经 RO 供水泵增压后，通过保安过滤器进一步净化，再经 RO 高压泵加压进入 RO 组件。RO 系统分为两段，一段浓水经段间增压泵进入二段继续处理，两段产水混合后进入产水箱，最终产水经溢流、加氯消毒后，由高品质再生水管道输送至用户。

该技术关键设备包括超滤膜组件和反渗透膜组件，是完全自主知识产权的技术设备。超滤膜处理技术利用滤膜（过滤孔径介于 $0.01\sim 0.1\ \mu\text{m}$ ）两侧的压力差，仅有小分子物质和溶解性固体（无机盐）等可通过，浊度的去除率大于 99.9%，另外对细菌、大肠杆菌等微生物具有较强的截留能力。反渗透技术原理是在高于溶液渗透压的作用下，水分子可以通过 RO 膜，而源水中的无机盐、重金属离子、有机物等杂质无法通过 RO 膜，从而使可以透过的纯水和无法透过的浓缩水严格区分开来，过滤精度可以达到 $0.1\sim 1$ 纳米。



工艺流程示意图

3.技术指标

UF（超滤）系统回收率 $\geq 95\%$;

RO（反渗透）系统回收率 $\geq 75\%$ 。

4.技术特点及先进性

（1）UF（超滤）膜组件

出水水质好：孔径分布窄，过滤精度高，产水浊度小于 0.5NTU;

抗污染性强：元件宽流道结构、脉动式运行，专有均化盘结构设计、组器环形布水布气结构，更加均匀，有效控制污染;

占地面积小：膜堆集成度高，系统占地面积小;

安装维护易：可拆卸式膜组件，结构紧凑，安装方便适用于大中型工程项目;

使用寿命长：采用新型共混配方和“3H”制膜专利技术，使用寿命 5 年以上。

（2）RO（反渗透）膜元件

脱盐率高：采用全新的涂层技术和全自动化卷膜工艺，膜元件标准脱盐率可达 99.5%以上;

产水率高：精准界面反应控制及二次后改性交联技术，使膜

元件的综合脱盐和产水量均达到国际先进水平；

抗污性强：采用短而多膜袋设计及多进水流道，降低膜污染，提高化学清洗效率及抗水力冲击能力；

寿命长：独特元件结构及后处理工序，配合 34mil 进水宽流道，可在更宽泛的 pH（1~13）内达到有效清洗效果，使元件更经久耐用；

能耗低：改进优化芳香族聚酰胺脱盐层、开发更大比表面积，满足在相同产水量要求时，降低运行压力，节约能源。

5.应用案例

项目名称：中芯北方再生水供水保障工程

项目概况：该项目应用面向工业回用的双膜法城镇污水深度处理技术，以小红门污水处理厂的出水作为水源，经净化处理后，为中芯国际芯片制造供给工业超纯水，一期应用规模为 0.5 万 m³/d，年节水量可达 110 万 m³。所在地区工业用纯水价格平均约 10 元/立方米，该项目运营后，再生水售价为 6.9 元/立方米，每吨水可省经济成本约 3.1 元，年节水效益达 300 万元，同时出水水质完全能够满足实施单位芯片制作用水要求。

6.推广前景

面向工业回用的双膜法城镇污水深度处理技术目前主要用于市政污水处理厂出水回用于工业用水，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 1.5%，年节水量 3 亿立方米。

技术支撑单位：北京碧水源科技股份有限公司

联系人：温卫民

联系方式：13381182215

（四）智能用水管理技术

案例一：工业水处理大数据运营管理云平台

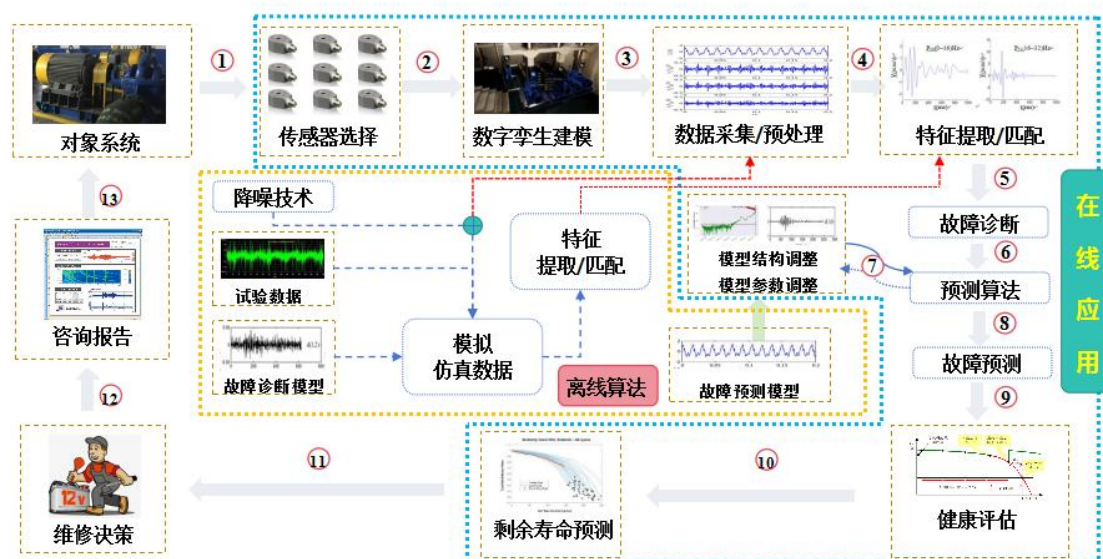
1.技术适用范围

适用于工业用水管理。

2.技术原理及工艺

该平台采用源于 PHM 装备故障预测与健康管理技术，以 PHM 技术为核心，对工业循环冷却水、污水系统的运行情况进行实时监控，利用数字孪生建模技术对采集的运行数据进行预处理，根据算法进行特征提取，对系统进行故障诊断、预测、寿命评估及剩余寿命预测，从而帮助决策者进行决策，提前将问题解决，确保水处理系统及设备的健康运行。

PHM 功能层次架构及关键技术---算法体系



算法体系示意图

3.技术指标

(1) 通过预测装备剩余寿命，及时控制装备使用，实现以最低的费用保持装备可靠性、安全性。

(2) 通过智能化决策支持，使维修的计划性增强，装备利用率和生产效率得到有效提升。

(3) 通过运行 PHM 系统，可总体、定量、直观掌握装备运行状态，大幅提升装备信息化管理水平。

4.技术特点及先进性

通过建立数学模型及水质标准曲线，运用 PHM 技术预测水质变化趋势，水质、水量、限值、目标值等数据综合运算，进行故障诊断、预测、寿命评估及剩余寿命预测，在污水生化处理系统可减少曝气风机的用电量、药剂的投加量，降低故障的发生概率。循环水系统可以根据水质参数的变化控制系统的加药及排补水，做到远程操纵，从而提高设备使用寿命，减少技术人员劳动强度。

5.应用案例

项目名称：宁阳县建制镇分布式污水站云平台

项目概况：宁阳县建制镇生活污水站存在分布较广、各镇自身的专业技术人员缺乏、运行管护人员不足以及污水处理站设备设施不配套且损坏比较严重，无法正常运行，排放水质不达标等问题。将建制镇污水站纳入云平台管理后，通过运行 PHM 系统，可总体、定量、直观掌握装备运行状态，大幅提升装备信息化管

理水平，污水站出水达到排放标准，风机及回流泵等设备启停的自动控制，降低了耗电量，将故障预判处理，保证了系统稳定运行，延长设备使用寿命。

6.推广前景

工业水处理大数据运营管理云平台技术可广泛应用于工业污水处理厂、工业循环水运行、农村生活污水站、农村直饮水站等多个水处理行业，预计未来五年推广比例达到 4%，在循环水处理行业上可达到节水 10%，减少排污 10%~15%。

技术支撑单位：山东大禹水处理有限公司

联系人：刘富珺

联系方式：13053883655

案例二：基于人工智能、区块链技术的工业互联网智慧水务综合服务平台

1.技术适用范围

适用于工业用水管理。

2.技术原理及工艺

该平台通过物联网、各种传感器、仪表和设备能够实现互联互通，形成一套面向“制、输、供、管”全过程的智慧水务解决方案，实时收集和传输供水系统的各种数据。其中，传感器技术用于监测水源水质、水量、水压等参数，并将数据转化为可处理的信息，采集后实时传输至数据处理中心；云计算和大数据技术对海量数据进行存储、处理和分析，挖掘出有价值的信息；人工智能技术进一步实现对水务系统的智能化决策和优化；数字孪生技术可以建立起实际水务设备与虚拟模型的映射关系，实现数字化呈现；区块链技术可以确保水务数据的真实性和不可篡改性，可以确保数据的透明度和可信度，提高数据的使用价值。



“智慧水务综合服务”平台的主体架构

3.技术指标

经试验并在实际泵站场景中应用，提出一种基于“‘两个阶段共识’PBFT算法的‘智慧水务+区块链’技术”，较通用PBFT三阶段共识机制：降低50%的通信开销、减少30%的宽带资源占

用、交互效率提升 20%、共识成功率提高 20%、共识时间缩短 15%、超时概率降低 20%。经过近 3 年的应用，创造 0.09%的管网漏损率最低纪录。

技术指标一览表

序号	单级双吸中开式离心泵	
1	构件 ID	BZ_HR2.13
2	型号	CJ/T219
3	流量	2000m ³ /h
4	额定转速	1480r/min
5	扬程	130m
6	配套功率	1000kW
7	重量	2400kg
8	气蚀余量	7m
9	出厂日期	2021 年 3 月
10	效率	85%
11	叶轮外径	625mm

4.技术特点及先进性

（1）基于“高效蚁群算法模型”驱动的“智慧泵站管理系统”关键技术

该模型结合泵站实时监测数据，精准分析能耗状况，不断迭代、更新、优化泵站各项运行数据。依据国家标准《泵站技术管理规程》（GB/T30948）相关规定，智慧泵站管理系统泵站效率 77.26%(较国家标准规定要求提升 28.77%)、能源单耗 4.39kW·h/(kt·m)、安全运行率（运行保障率）99.91%。

（2）基于工业互联网的工业供水管网水力模型漏损分析关键技术

通过深入剖析管网的复杂结构和水力特性，实现对供水系统的高效精准管理。经实际运行表明，在该技术支撑下已连续 3 年均实现管网漏损率低于 1%，2023 年漏损率为 0.09%。

（3）基于“两个阶段共识” PBFT 算法的“智慧水务+区块链”关键技术

相较于传统的“三个阶段共识”，“两个阶段共识 PBFT 算法”简化供水过程中的数据验证和确认流程，提高效率，减少成本，能够更好地保护数据隐私，确保数据的安全性，实现共识机制的通信开销降低 50%及共识机制确认阶段减少一次对全节点广播，显著减少带宽资源的消耗。

5.应用案例

项目名称：基于人工智能、区块链等技术的工业互联网智慧水务综合服务平台

项目概况：项目位于新疆乌鲁木齐甘泉堡工业园区，实现工业供水系统的关键技术集成与智慧化管理。设计年供水能力 5800 万立方米，泵站主体建筑面积 1500 平方米。系统投运 18 个月来运行稳定（安全运行率 99.91%）。年节约电量约 28 万度，按 0.75 元/度计，节电成本约 21 万元；漏损率由常规水平下降至 0.09%，年节约用水超 26 万立方米，以 2.6 元/立方米计，节水成本约 67.6

万元；平台集中管控与远程运维，年节省人工运维费用约 10 万元；年综合节支总额约 98.6 万元/年。

6.推广前景

基于人工智能、区块链技术的工业互联网智慧水务综合服务平台属于研发类，阶段性成果具备一定节水潜力，可带来较好的社会效益。

技术支撑单位：新疆河润科技股份有限公司

联系人：谢芳 联系方式：18690310119

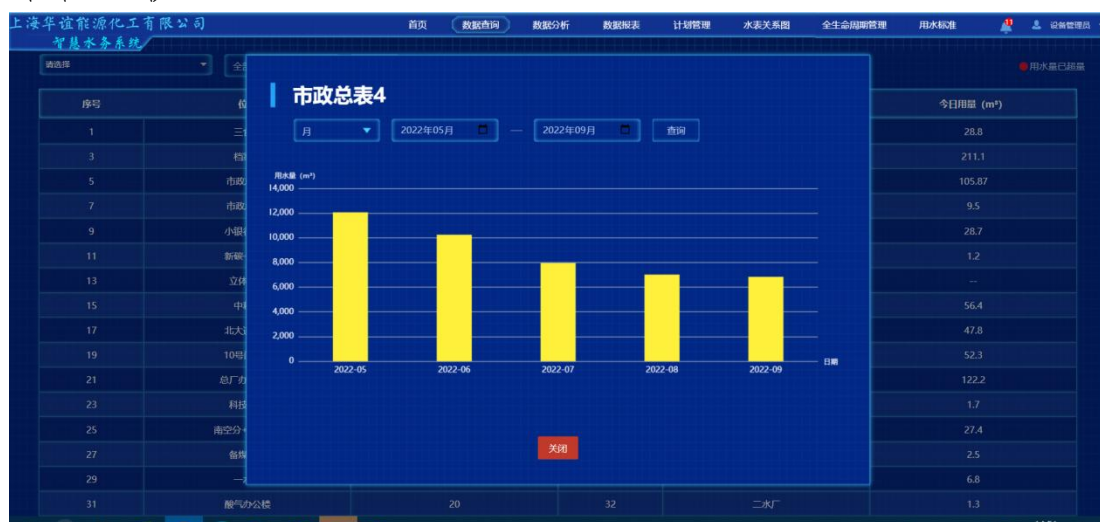
案例三：工业动态水平衡测试管理平台

1.技术适用范围

适用于工业用水管理。

2.技术原理及工艺

该平台由企业的应用层、测试机构的服务层以及管理部门的管理层三层架构所组成。第一层是企业的应用层，应用层分为三部分，一是数据采集部分，二是数据传输部分，三是数据应用部分。第二层是测试机构的服务层，对用水数据进行自动分析与定额对标，自动生成用水数据分析表、用水计量网络图等。第三层是管理部门的管理层，管理部门可通过工业动态水平衡测试管理平台，及时获取到各类型企业的用水信息，进行同类型行业的用水单耗比较。



智慧水务系统展示图

3.技术指标

工业动态水平衡测试管理平台，为测试机构提供便捷的报告编制工具，提升测试机构的工作效率与服务质量。平台以甲骨文的 Java 语言为基础，使用主流的 B/S 框架来搭建。系统主要分为五大模块，为单位管理、报告管理、报告编制、模板管理以及报告生成。

4.技术特点及先进性

工业动态水平衡测试管理平台可将用水数据在同一时间上传至系统，并进行分析对标，一方面可提高用水单位数据的准确性与及时性，便于企业的管理人员更加精准了解每个区域的用水情况，提升企业用水的管理水平；另一方面可避免测试机构人为因素造成的抄表和数据计算误差，更加合理地为用水单位各区域进行合理性分析与提供建议，提升测试机构的服务质量。管理部门可根据企业更加真实准确的用水数据制定更符合行业实际的用水定额标准，为城市整体精细化用水管理提供技术支撑。

5.应用案例

项目名称：上海华谊能源化工有限公司合同节水管理节水效益分享型项目

项目概况：该项目于 2022 年 4 月完成，企业通过建设工业动态水平衡测试管理平台，发现装箱区等区域存在 10 处漏水点。漏水等问题解决后，企业用水量大幅下降，月均用水量 2.8 万 m^3 ，年用水量约 33.6 万 m^3 ，年节水约 43.2 万 m^3 ，节省水费约 258.77

万元。按照约定分成比例，2 年项目期内华谊可减少 310.5 万元的水费支出，第三方节水服务企业可分享节水效益约 207 万元。

6.推广前景

工业动态水平衡测试管理平台目前主要应用于芯片、化工等工业领域，将逐步在煤炭、电力、钢铁、石化化工、纺织染整、造纸、食品、皮革、制药、建材、有色金属、机械等各类工业领域推广应用。预计未来五年推广比例达到 12%，年节水 8500 万立方米。

技术支撑单位：上海济辰数字科技有限公司

联系人：冯高远

联系方式：15026728015

案例四：供水管网渗漏报警平台

1.技术适用范围

适用于工业用水管理。

2.技术原理及工艺

该平台（简称：探漏者）将物联网（IoT）与人工智能（AI）技术深层次结合，利用人耳仿生学原理，通过安装在供水管网上的智能探漏仪收集城市供水管道振动数据，采用无线传输方式将信号传输到漏水数据分析系统进行智能分析，滤除各种干扰信号，挖掘出隐藏在各种复杂信号中的漏水信息，通过 GIS 技术为用户提供直观形象的数据呈现，同时针对各种异常情况为用户提供漏水自动报警服务。



工艺流程示意图

3.技术指标

（1）硬件指标

可探测范围：10 ~ 200 米；

防护等级达到 IP68；

硬件功耗低，电池性能良好，待机时间可达到 8 年及以上；

工作环境要求：地下-40℃到 85℃能正常工作；

探漏仪产品抗腐蚀能力强，通过 48 小时中性盐雾测试；

传感器灵敏度为 147.2pC/(m/S²)；

工作方式：通过后台设定定时自动唤醒进行数据采集，数据采集频率可远程控制。

（2）软件指标

管网漏水报警：发现管网数据非正常情况下，平台上的设备会呈现报警状态并通过短信和邮件的方式通知客户；

漏点记录：记录平台运行的漏点情况，包括当前漏点和已修复漏点，展示了漏点出现时间、地点、漏损情况及修复情况；

兼容性：WindowsServer2008R2 及更高版本+SQLServer2012 及更高版本+.NETFramework4.0 级更高版本。

数据处理平台兼容性：基于 Linux+Docker 的兼容环境+PostgreSQL 数据库。

4.技术特点及先进性

（1）基于人工智能大数据统计的机器学习算法

在“探漏者”的算法模型设计中，主要核心技术来自投票分类器的原理模型，可实现对管网水流振动信号进行快速准确判断的大数据决策系统，探漏精准率达到 98%以上。

（2）高灵敏度物联网传感器

该技术产品核心部件“探漏仪”所采用传感器的灵敏度远高于常规设计，完全适用于监测球墨铸铁、镀锌钢管、PE、PPR、PVC、钢塑复合管等各类型供水管道需求，采集灵敏度高达 $147\text{pC}/(\text{m}/\text{s}^2)$ ，可实现距“探漏仪”250 米左右的监测范围。

（3）低功耗广域蜂窝网技术（LPWAN）

传感器采用无线通信进行数据传输，具有可靠性高、传输距离远、功耗低、成本低的特点。主要采用 NB—IoT、LoRa、LTE—Cat.1 作为探漏者的传输方案，可根据项目现场的情况灵活调整各类传输方案的占比，确保所有传感器传输稳定有效。

（4）地理信息系统（GIS）技术

该技术 GIS 信息平台为用户提供直观形象的数据呈现。地图展示模块中，不仅呈现形象的图形数据，对地下供水管网和探漏者的属性数据也记录齐全，包括管网的类型分类、探漏者的信号频谱曲线图、设备的名称、状态、安装信息和具体位置描述等。

（5）非破坏式高效安装维护技术

通过收集管网水流振动信号判定漏水情况，即相关设备无需内置，安装在管道外壁即可。设备采用吸附式安装方式，在探漏

仪底座配置有高强度磁铁，可直接吸附于铸铁、镀锌等金属管，对于无法吸附的材料如 PE 等，采用加装金属卡箍的方式吸附，无需破开管道安装。过程中无需停水，不影响正常工作。

5.应用案例

项目名称：厦门大学供水管网渗漏报警平台

项目概况：厦门大学供水管网渗漏报警平台（以下简称“平台”）是厦门大学智慧后勤管网、绿色校园建设的重要组成部分。平台是由 289 枚探漏仪、1 套供水管网 GIS 系统软件组成。目前平台架设于阿里云服务器机群并稳定运行，对校内 20400 米地下供水管道进行智能监测，监测范围占思明校区地下供水管道总长的 90.51%。截至目前（2025 年 5 月），累计发现 357 个漏水点，漏水类型包括：PVC 供水管开裂、铸铁管接头松动、铸铁管生锈老化渗漏等，累计节水近 580 万吨，水价按 4 元/吨计算，挽回经济损失约 2320 万元。

6.推广前景

供水管网渗漏报警平台可广泛用于大型工业企业、高校、水务、市政等用水大户，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%，年节水量 300 万立方米。

技术支撑单位：厦门硅创微电子科技有限公司

联系人：吴燕治 联系方式：18060918839

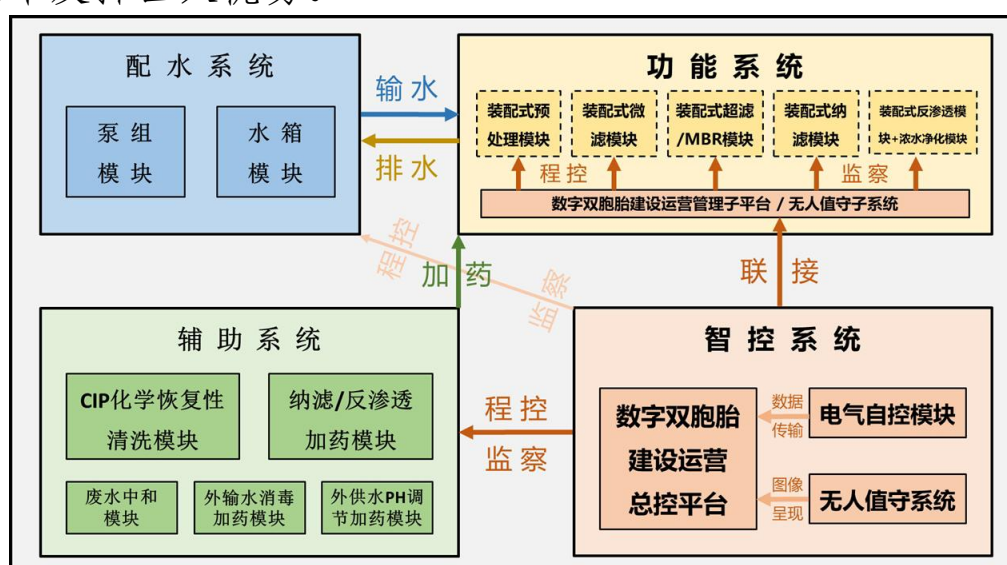
案例五：水深度处理工程产品化及数字化集成装备

1.技术适用范围

适用于工业用水管理。

2.技术原理及工艺

该装备将全水厂的主体设备、配套设备、管道、仪表、建筑物和预留空间等全部集成为一个产品化的综合型撬装智能机组，并在创新型短流程膜组合工艺技术的辅助和“新水岛”数字双胞胎软件的控制下，实现智慧生产、无人值守、降低全生命周期成本、高品质产水的目标。工艺模块可替换增减、可组装拆卸、可吊装搬运，可根据工程项目现场废水进水量和进水水质可能发生的变化进行产水规模的灵活调整以及工艺模块的重组、转换，并在必要时更换项目现场进行重复利用，在工业转产、应急工程等场景中发挥巨大优势。



系统结构示意图

3.技术指标

技术指标一览表

指标	水深度处理工程产品化及数字化集成装备	传统水厂
集成度与占地面积	集成度高，占地面积极小，仅为传统水厂的 1/6，节约占地面积 80%	集成度低，占地面积大
施工周期	≈3 个月	≥6 个月
运营情况	智能巡检，智慧生产，无人值守	人工巡检，人工或自动生产，现场多人值守
运行成本	直接运行成本(能耗和药耗)降低大约 50%	直接运行成本(电耗和药耗)较高
适用场景和可移动度	适用场景多，可移动	适用场景一般，不可移动
再生水回收率	70% ~ 75%	60% ~ 70%

4.技术特点及先进性

(1) 极度集成，占地面积小，工期短，投运快。该装备将全水厂的构筑物、设备、设施的极度集成化设计，同时基于“微滤/超滤/MBR—纳滤/反渗透”双膜法直联耦合技术、短流程中空纤维纳滤技术等，减少中间流程单元，形成高度集成的机组。可实现无人值守、独立运转，节约水处理各个环节的维护管理人力，有效节省厂区办公室等硬件设施，使产品化水厂的占地面积显著缩小。采用工业产品的制造理念，将水厂进行集成化设计、工厂化生产、模块化组装、智慧化运营，大部分组件可在工厂内生产和测试，大幅度减少现场工作量，在保证产品质量的同时缩短施工周期。

（2）无人值守，智慧运行。该装备的数字双胞胎建设运营管理平台具备高度智慧化，实现全量全要素感知设备运行工况，降低水厂生产运营过程中对人工的依赖，从系统自动化运行逐步过渡到自主化运行，以数字巡检和工艺诊断作为功能载体，实现水处理系统的智能巡检，智慧生产，无人值守，降低人力成本，确保系统运行的稳定性和可靠性。

（3）全成本低，先进的膜组合技术确保全生命周期成本下降。该装备以产品交付模式取代传统的土建模式，节省厂区、配套设备、建筑物等投资；智慧生产确保运营成本最优且提升效率；通过“导向清洗”“精确加药”等膜污染防治技术以及“自诱导结晶除硬”“低能耗臭氧氧化及双氧水精准催化”“臭氧回收利用”“臭氧氧化—曝气生物滤池耦合”等反渗透浓水处理技术，有效抑制跨膜压差的增长趋势、降低化学清洗频率、节省纯碱药剂的使用、预防曝气装置堵塞、精准控制曝气量等，从而降低运行能耗并大幅度减少药剂用量，提高膜的使用寿命。

（4）全厂可移动，适用场景多。该装备为模块化产品，所有设备及模块均在工厂生产线上完成组装，可实现快速拆卸，易于搬迁至新的使用场地。应用场景丰富，可广泛应用于煤炭石油、印染纺织、电子配件、食品药物等多种工业产业的污废水深度处理及资源化再生领域，切实解决工业园区的水短缺、环境容量不足、用水成本高、水处理效率低等问题。

5.应用案例

项目名称：无锡锡山日产 1.58 万吨再生水项目

项目概况：该项目水源为锡山电子工业园配套污水处理厂出水，污水处理厂设计处理规模 6 万 m³/d。该项目核心模块为装配式超滤+装配式反渗透组合模块，再生水设计产水规模为 1.58 万吨/天，主要作为园区内 PCB 企业、热电厂类企业的生产用水，年节水约 576.7 万立方米，节约成本约 3460.2 万元。

6.推广前景

水深度处理工程产品化及数字化集成装备既能为煤炭石油、印染纺织、电子配件、食品药物等工业产业提供高品质再生水，解决水短缺、环境容量不足、用水成本高、水处理效率低等一揽子问题，也能为政府应急工程提供良好支持，解放水厂值守人力，颠覆传统水厂的工程模式，创造污废水深度处理及资源化新场景。预计未来五年推广比例达到 30%，年节水量 28000 万立方米。

技术支撑单位：金科环境股份有限公司

联系人：刘牡

联系方式：13426315106

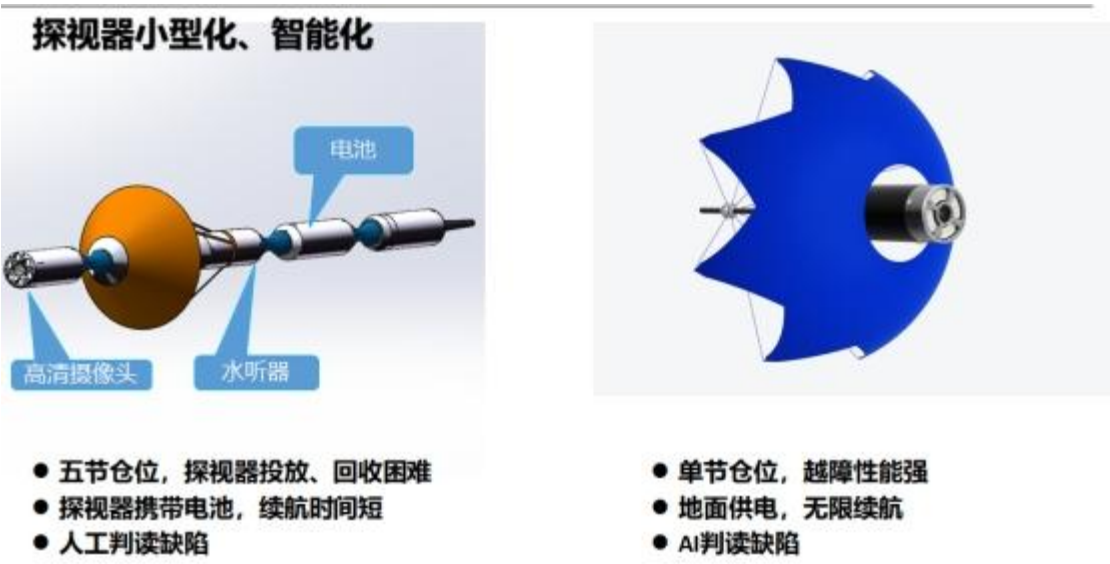
案例六：带压供水管道漏点声波信号采集内检机器人

1.技术适用范围

适用于工业用水管理。

2.技术原理及工艺

该技术采用单节仓设计的供水管道带压内检测机器人，可适配 DN80 及以上规格闸阀投放，该检测机器人采用光、电复合线缆，携带的传感器实现高度集成与小型化设计，且小型化后仍能稳定保持水中悬浮状态。相较于传统五节的设备，单节的检测机器在管道检测过程中，面对阀门、支管、弯头、管瘤等复杂情况时，不限管材、不限埋深，探漏精度相对于传统听音探漏有所提升，增强设备对不同管道场景的适用性。



装备示意图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	名称	参数
1	适用管径	≥DN300
2	适用流速	0.2 ~ 2m/s
3	适用水压	0.1 ~ 1.7Mpa
4	投放用时	10min
5	定位精度	±0.5 米，不超过 6m 埋深
6	探漏精度	0.05L/min
7	通讯距离	2000 米
8	放入条件	DN80 以上闸阀或球阀
9	续航时间	无限续航

4.技术特点及先进性

（1）机器人可携带水听器进入管道内部，准确采集漏点声波信号，不受管材、埋深。控制终端将设备采集的音频信号转换为可视化数据，同时实时将采集音频、视频数据与云端存储的样本数据对比 AI 判读分析。

（2）在带压不停水情况下，将设备投入管道内部，通过设备携带的机芯实时的视频，可以查看管道内部的气囊、锈蚀、沉积、结垢、异物等缺陷，为管内状况评估提供准确数据。

（3）研发新型的插入装置，减小其的重量和尺寸。通过延长装置增加插入装置的行程，解决原有方案行程受限于插入装置长度的难题。新型插入装置具备尺寸小、重量轻、行程不受限的优势，可适用在各种复杂的场景。



管道清洗前后对比图

机器人还可作为检测管道清洗效果的有效手段；可作为供水管道非开挖修复后工程质量验收，通过采集管道修复前后内部影像进行准确评估。

5.应用案例

项目名称：DN500 玻璃钢管中水管道带压检测

项目概况：三亚某地污水处理厂中水管网，全长 1453.5 米的玻璃钢管（DN500）带压运行多年，作为中水回用的“生命线”，管网需在持续供水状态下完成检测。经初步了解发现中水管道水质复杂（含泥沙、絮状物及气泡），浑浊水体易导致传统摄像画面模糊，管道内三通/四通分支要求设备需要具备极强的转向灵活性。博铭维技术 Snake 探视器高集成设计，小巧灵活，凭借惯性导航姿态传感器，终端控制，在湍流环境中稳定推进，最终在第二段发现 3 处气囊隐患。在第三段管道检测中，设备搭载的高灵敏水听器捕捉到异常湍流声，结合高清摄像头，最终在纵向 255 米处精准锁定漏点位置——管壁出现纵向深度 0.1 米裂缝，伴随 40L/min 渗漏。该项目节水量 2.1 万立方米/年。

6.推广前景

带压供水管道漏点声波信号采集内检机器人主要适用于市政管网系统管道检测领域，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 15%，年节水量 10 万立方米。

技术支撑单位：深圳市博铭维技术股份有限公司

联系人：刘淑珍 联系方式：17687927350

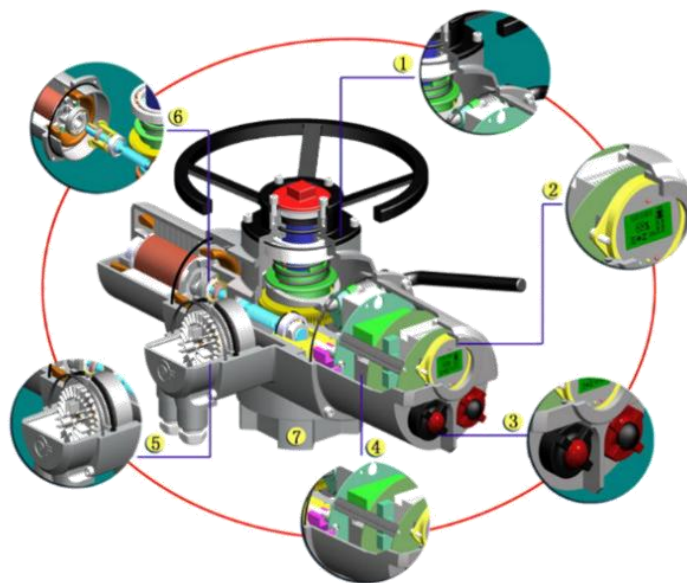
案例七：物联网智能阀门电动系统

1.技术适用范围

适用于工业用水管理。

2.技术原理及工艺

该技术是在现有智能型阀门电动装置的技术基础上，运用“云技术”，通过远程无线通讯的方式（如：4G、5G、NB—IoT等），将执行机构、阀门或就地设备的数据，采集和传送到云端服务器，并进行存储、运算和分析应用的新一代智能阀门电动执行机构。用户可以通过PC端（电脑WEB）或者移动端（手机APP），对“云电装”实现远程监控和远程操作。



产品结构图



产品拓扑图

3.技术指标

转矩覆盖范围：多回转型 $50 \sim 20000\text{N} \cdot \text{m}$ ，部分回转型 $125 \sim 400000\text{N} \cdot \text{m}$ ；

供电电源： $380\text{VAC} \pm 10\%$ ， $220\text{VAC} \pm 10\%$ ， $50\text{Hz} \pm 1\%$ ；

环境温度： $-40 \sim +70^\circ\text{C}$ ；

防护等级：IP68（水下7米72小时）；

防爆标志：存在具有II B级爆炸性可燃气体1区或2区危险场所，温度组别T1~T4组，防爆标志为Exdb II BT4Gb；

网络制式：2G/3G/4G全网通。接口：2*RS485，1*RS232，1*100MB以太网接口，2G/3G/4G无线接口；1*AI模拟量口，2*AO模拟量口，6*DI，9*DO。

4.技术特点及先进性

智能灌溉方面，能够通过集成土壤湿度传感器、结合气象站等设备，实时监测土壤参数，动态调整阀门开度，按需供水，形

成完整物联网络，优化灌溉策略；管网测漏监控方面，物联网电动执行机构通过“感知—分析—控制”闭环，推动水资源管理从“被动应对”转向“主动防控”，为水道管网测漏提供了高效、智能的解决方案；市政供水系统优化方面，通过智能控制阀门开关速度（缓闭），有效降低水锤冲击，减少水头损失。同时，执行器还可通过 Modbus 总线实现水处理工艺的全自动化控制（如水厂滤池的进水阀、排水阀联动），减少人工干预并提升效率。

阀门主要通过控制水流速度、调节流量、平衡与稳定压力和自动控制感应实现节水。与传统的电动执行机构相比，布线成本降低了约 30%~80%，系统集成成本降低了约 25%，操作人员工作量减少了约 50%，节水 10 立方米，另外还提高了整个系统的智能化水平、安全水平、提高了生产效率、降低了劳动强度、降低了系统故障率。

5.应用案例

项目名称：山东某智慧水务系统—物联网云电装

项目概况：该项目实现数据监控和远程控制及对接客户的运营系统。基于智能型电装成熟的技术，采用直流无刷电动机、矢量速度闭环控制，对阀门定位精确控制；应用多种传感器技术和通讯技术，完成执行机构本体和周边设备数据（如：阀位、力矩、流量、压力等）的采集；基于 ARM32 位 CPU 的强劲的算力完成就地数据的边缘计算；集成成熟稳定的物联网通信技术，将现场

的数据源源不断地上传至服务器。采用 48V 直流光伏发电和储能系统，4800Wh 电池组，300W 光伏板，满足能耗需求。该项目布线成本降低了约 30%~80%，系统集成成本降低了约 25%，操作人员工作量减少约 50%，节水 10 立方米。

6.推广前景

物联网智能阀门电动系统已在工业现场有一定数量的应用，形成 20 余个应用场景，该系统属于研发类，阶段性成果具备一定节水潜力，可带来较好的社会经济效益。

技术支撑单位：常州电站辅机股份有限公司

联系人：杨亚东

联系方式：18151988168

（五）高盐废水处理技术

案例一：高盐难降解有机废水资源化零排放技术

1.技术适用范围

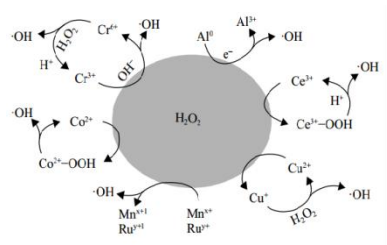
适用于工业高盐废水资源化利用。

2.技术原理及工艺

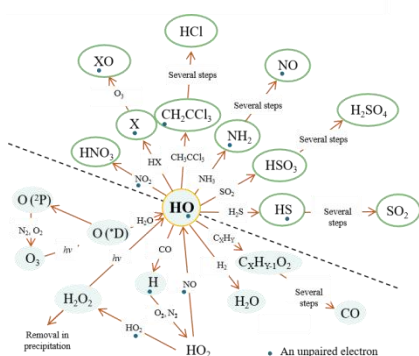
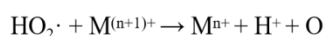
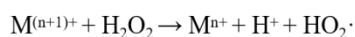
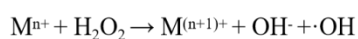
（1）技术原理

①非均相催化氧化技术

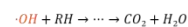
纳米级催化材料和专用配套设备，可确保在不同浓度（5g/L ~ 150g/L）盐水中释放出大量羟基自由基（ $\cdot\text{OH}$ ），利用羟基自由基（ $\cdot\text{OH}$ ）的高活性、高反应性对废水中的分子量大、结构稳定的有机物进行高效降解，实现有机物分解、水体脱色、氨氮脱除等重要水体净化指标。



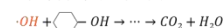
H_2O_2 在催化剂表面分解的自由基机制



有机污染物的液相燃烧



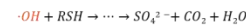
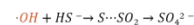
生物难降解有机物的矿化



氨氮脱除



水体除臭



水体脱色



技术示意图

②多相盐分离浓缩结晶净化技术

将膜技术和蒸发结晶技术的应用进行深度开发和融合，建设了膜在不同盐相废水中的应用数据库，结合晶体净化技术，建立一整套多相盐分离浓缩结晶净化技术体系，实现多相盐分离并生产出达到国家副产盐标准的工业盐产品。

（2）工艺说明

经生化处理后焦化废水首先进入调节池，对水质水量进行调节，经泵提升依次进入一级高效沉淀池，水中富集的胶体、悬浮物、碱度、硬度及氟化物等得到去除；沉淀后的出水进入多介质过滤器，对未沉淀去除的细碎沉淀物进行截留；过滤后的出水进入臭氧催化氧化反应装置，将水中的有机物降解至 150mg/L 以后进入一级超滤系统；一级超滤进一步去除水中残留的悬浮物、胶体、黏泥、微生物等细小颗粒杂质。一级超滤出水经泵提升至反渗透进行浓缩处理，产水送至回用水箱，浓水进入后续处理单元。

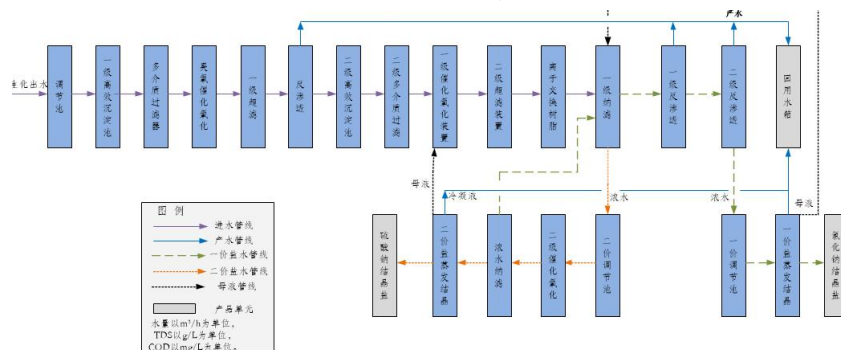
反渗透浓水经泵提升进入二级高效沉淀池、二级多介质过滤器，水中残留的胶体、悬浮物、碱度、硬度及氟化物等得到去除；过滤后出水经泵提升进入一级催化羟基催化氧化反应装置，对水中的有机成分进行降解去除；一级催化羟基催化氧化反应装置出水经泵提升进入二级超滤系统；二级超滤进一步去除水中残留的少量悬浮物、胶体、黏泥、微生物等细小颗粒杂质。二级超滤出水经离子交换树脂将杂质离子进行吸附去除，出水进入后续纳滤分离系统。

离子交换树脂的出水进入一级纳滤装置进行分离纯化处理，对溶解性的有机物和二价离子进行截留分离，一级纳滤产水依次进入一级反渗透、二级反渗透；经反渗透浓缩分离后浓缩液进入一级调节池调节后，最终进入氯化钠蒸发结晶。

一级纳滤的浓水进入二级调节池，经调节后进入二级羟基催化氧化反应装置，将有机物降至 30mg/L 以后，送至浓水纳滤继续浓缩分析处理；浓水纳滤的产水(与一级催化氧化的出水一起)进入一级纳滤继续分离纯化处理，浓水纳滤的浓缩液最终进入硫酸钠蒸发结晶。

蒸发结晶系统采用晶体净化结晶技术，通过控制蒸发结晶装置的温度、蒸发量和母液回流，最终制得硫酸钠满足《煤化工副产硫酸钠》（T/CCT001）中 A 类一等品的理化指标、《煤化工副产氯化钠》（T/CCT002）中工业干盐一级标准的理化指标。而蒸发结晶分离母液回流至前端处理单元继续循环处理。

反渗透产水、一级反渗透产水、二级反渗透产水及蒸发结晶的冷凝液分别送至回用水箱，回用于企业生产。



工艺流程示意图

3.技术指标

对煤化工、焦化、医药、印染等重点行业生产过程中产生的工艺废水中的有机物进行高效降解，将无机污染物全部转化为达到国家标准的化工产品（盐、酸、碱），降低废水综合处理费用40%以上，同时实现水资源全部回用于企业生产，达到废水零排放，水重复利用率达99.9%。

4.技术特点及先进性

核心技术为非均相催化氧化技术及设备，该技术及设备可在常温常压的环境下，在高盐有机废水环境中稳定运行，达到80%以上的有机物降解率，不产生二次污染。

5.应用案例

项目名称：清创人和（襄垣）10000t/a杂盐综合利用示范项目

项目概况：化工企业在生产过程中会产生大量含盐难降解有机废水，其中的有机物污染物高毒有害，对环境危害极大；且有机物种类多、稳定性强、含量高等特性，目前应用的有机物降解方式均无法对其有效降解。清创人和（襄垣）10000t/a杂盐综合利用示范项目运用“高盐难降解有机废水资源化零排放技术及工艺”，将煤化工、焦化、制药等化工行业在废水处理过程中产生的含有有毒有害成分的含盐废液或固体废盐进行资源化处理。项目正式运营后，每年可对10200吨焦化废水处理产生的废盐实现

资源化利用，等同于年处理 200 万吨焦化废水，并全部回用于企业生产，年节水量为 200 万吨，按照目前循环补充水平平均单价 0.9 元/立方米，相当于可实现节水效益 180 万元/年。还可生产高纯度（99%）硫酸钠及氯化钠，达到副产盐国标，形成市场价值。

6.推广前景

高盐难降解有机废水资源化零排放技术，可对有机物进行高效降解，将无机污染物全部转化为达到国家标准的化工产品（盐、酸、碱），降低废水综合处理费用 40%以上，同时实现水资源全部回用于企业生产，达到废水零排放，水重复利用率达 99.9%。具有较好的推广前景，预计未来五年可带来较好的社会经济效益。

技术支撑单位：清创人和生态工程技术有限公司

联系人：郭旭超

联系方式：18634390577

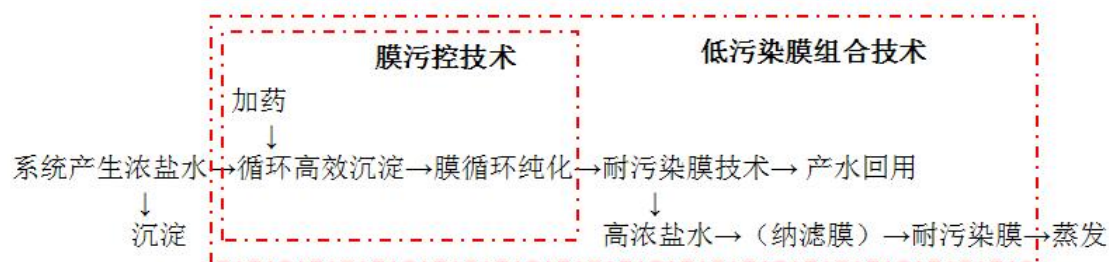
案例二：高盐废水资源化利用集成技术

1.技术适用范围

适用于工业高盐废水资源化利用。

2.技术原理及工艺

废水经调节池均质调节后，采用具有自主专利技术的预处理装置处理，保证水质符合双膜法（UF+RO）净化处理进水的要求，净化产水回收利用，高盐浓水经进一步预处理，采用先进的膜组合技术进一步浓缩，小流量浓盐水采用蒸发工艺实现盐的回收利用。



工艺流程示意图

3.技术指标

在 $\text{COD} > 100\text{mg/L}$ ， $\text{TDS} > 10000\text{mg/L}$ 的进水条件下，反渗透实现夏季清洗频率 1 个月 1 次，耐污染膜大于 3 个月 1 次，运行周期较常规工艺延长 2 倍以上，反渗透浓水含盐量浓缩至 10% 左右。可实现 90% 以上工业废水的回收利用，净化水脱盐率高达 97%，10% 浓水高含量盐分实现回收利用，蒸发水冷凝回收利用，实现废水零排放。

4.技术特点及先进性

(1) 建立高效沉淀与管式膜的耦合工艺，采用低聚合度高分子絮凝剂及利用泥水内外循环多次与污染物接触絮凝，实现了高浓度固液快速分离。

(2) 采用开放式宽流道耐污染膜，优化循环工艺，加大浓水侧流速（0.2m/s），缓解膜污染。

(3) 采用改良的全芳香高聚酰胺配方交联纳米亲水性材料制成膜材料，浓水网格粗细搭配特殊设计和定向卷制方式制成面耐污染膜元件。

5.应用案例

项目名称：中盐昆山迁建年产 60 万吨纯碱项目污水回用及废水零排放项目

项目概况：中盐昆山有限公司主要从事纯碱与氯化铵的生产和销售，其在煤气化、联碱等各生产装置均有污水排出，污水根据生产装置的不同，含有不同浓度的污染物，其中以氨氮、有机物、含盐为主，经污水处理站处理后与循环水排污水、脱盐车站浓水一起进入回用水站。应用案例属于项目的污水回用装置，采用浓水反渗透工艺，污水回用装置处理系统来水包括污水处理站达标废水、循环水站排污水、除盐车站排污水、未预见水量排水，总计 550m³/h。采用废水零排放系统后，TDS 年削减量 4451.2 吨，化学需氧量年削减量约 22.4 吨、氨氮年削减量约 0.32 吨、氯化物 1443.2 吨。污水系统回收率高达 95.04%，同比增加 24.94%。

6.推广前景

高盐废水资源利用集成技术可广泛应用于石化、化工、电厂等领域高盐废水处理。预计未来五年推广比例达到 2.5%，年节水量 1000 万立方米。

技术支撑单位 1: 中电环保股份有限公司

联系人: 张雨轩 联系方式: 18751909170

技术支撑单位 2: 杭州水处理技术研究开发中心有限公司

联系人: 俞海英 联系方式: 0571-88935355

技术支撑单位 3: 江苏久吾高科技股份有限公司

联系人: 寇琴 联系方式: 13770611267

技术支撑单位 4: 安徽同速科技有限公司

联系人: 胡京川 联系方式: 18226603604

（六）节水及水处理材料及装备

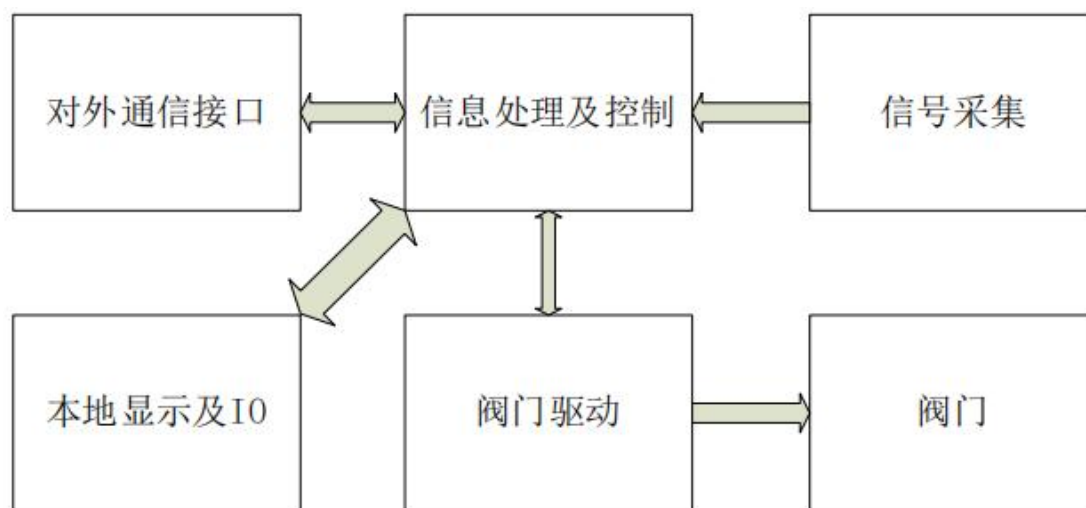
案例一：高精度抗干扰阀门快速位置检测装备

1.技术适用范围

适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

该装备包含对外通信接口模块、本地显示及 IO 模块、信号采集模块、信息处理及控制模块、阀门驱动模块、阀门。采用 GD32F450 微控制器作为控制中心，其内包含 ADC、DAC、IO 等各种输入输出设备。根据上位机发来的阀门开度命令或本机指定的阀门开度，以及阀位传感器发来的当前的阀门位置，控制电机的启停以及比例阀的方向及流量，从而将阀门驱动到指定开度位置。



工作原理示意图

3.技术指标

技术指标一览表

技术参数		参数值
电源		三相五线 380VAC (1±10%)，50Hz (1±1%)，谐波 (≤5%)
通信协议		CAN
输入信号		4 ~ 20mA,24VDC
		14 位 (0—8191) 数字信号，CAN 接口
输入压力		0 ~ 10bar
行程	直行程	10 ~ 150mm
	角行程	0 ~ 90°
阻抗		300Ω ~ 600Ω,4 ~ 20mA,24VDC
压力表接口		PT(NPT)1/8
电源接口		PF1/2(G1/2)
环境温度	工作温度	-30~80°C(-22~176°F)
	防爆温度	-40~60°C(T5)/-40~40°C(T6)
直线性		±0.5%F.S.
滞后度		±0.5%F.S.
灵敏度		±0.2%F.S.
重复性		±0.3%F.S.
定位精度		±1.0%F.S.
输出特性		快开，线性，等百分比，用户自定义 (16 点)
材质		压铸铝、不锈钢
功能		零点行程自整定、启闭时间可小于 10 秒、强制全开全关、PST、指定启闭速度
防爆等级		ExdIICT6/T5
压力传感器		4 个

4.技术特点及先进性

（1）关键技术

高精度快速阀门位置检测技术：阀门位置采用多路多圈高精度电位器采集获取高精度阀门位置信号。根据需要，调整 AD 转换速度，可达到 2M/s。

抗干扰技术：系统从多个方面进行抗干扰设计，包括软件、硬件、机械结构等。

自适应控制技术：采用 PID 算法控制比例阀流量，当设定开度与实际开度差值较大时，不使用 PID 算法中的积分项，并适当增大比例项的系数，达到快速调节的目的，而当差值减小时，启用积分项，达到准确定位的目的。

（2）技术特点

支持多种对外接口，以连接到上位机：如 DCS 系统、SCADA 系统、手机 APP、各种计算机控制系统。

应用广泛：设备运行于 ARM 架构 CPU 之上，即可以使用国外的 STM 系列 CPU，也可使用国产易兆创新 GD32 系列 CPU。

架构合理：系统硬件、软件均采用模块化、标准化结构。

模块齐全：硬件主要分为对外通信接口模块、本地显示及 IO 模块、信号采集模块、信息处理及控制模块、阀门驱动模块、阀门等模块。软件也采用模块化结构，主要为分控模块、信号采集模块、信号处理模块、通信接口模块、LCD 显示模块、本地 IO 模块、驱动模块等。

接口标准化：硬件模块接口标准化，便于硬件互联，易于故障检测、易于维护。软件模块接口标准化，便于开发、调试、维护。

（3）工艺流程

主要有四种应用方式：流量控制、流速控制、出口压力控制、阀位控制。可以在重点区域、重点行业等节水场景下，灵活设置和使用，更加适用于复杂的应用场景，实现节水、控水等目的，具备明显的技术优势和功能特性。

5.应用案例

项目名称：苏南某园区供水管路项目

项目概况：在苏南某园区供水管路的关键监测点，改造增加了五台 ACU8000 系列智能阀门，通过供水监测平台对智能阀门所监测采集到的数据进行处理、统计和大数据分析，找到关键节水点，制定节水方案，通过对智能阀门的自动控制，可以实现节水 30%。

6.推广前景

高精度抗干扰阀门快速位置检测装备具有较好的推广前景，预计未来五年可带来较好的社会效益。

技术支撑单位：上海荟宸信息科技有限公司

联系人：周迁倩

联系方式：13661412718

案例二：工业废水高效热法浓缩技术装备

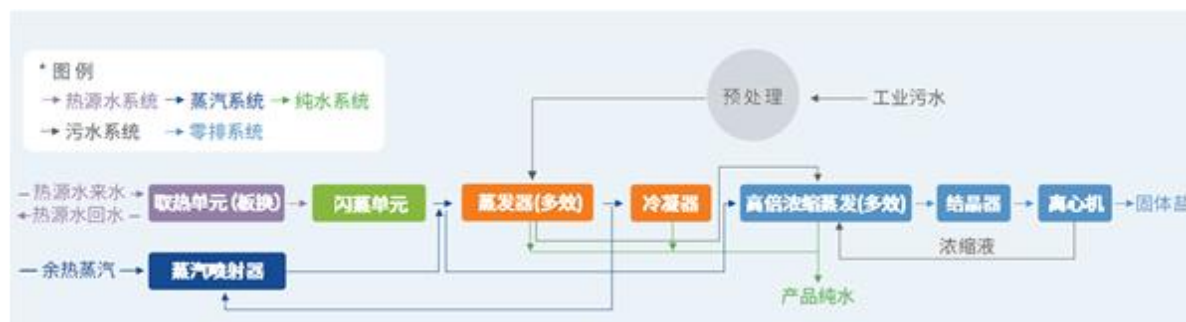
1.技术适用范围

适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

该装备由多个水平管降膜蒸发器与冷凝器串联而成，利用低温多效蒸发工艺，前端蒸发器所生成的二次蒸汽进入下一效蒸发器作为热源并被冷凝为蒸馏水，作为高品质的纯水进行回用，未蒸发的水汇集为浓盐水进行后续工艺处理。

该装备可利用 70°C 及以上的超低品位的工艺余热废热等资源，利用蒸汽喷射器，可大量减少蒸汽热源能耗，高效利用余热资源。该工艺产水为高品质纯水，制水成本较低，前处理工艺简单，投加药剂少，装置检修维护周期长，设备使用寿命长。



工艺原理图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	内容	热法工艺	膜法工艺
1	预处理工艺	混凝、澄清	污水→混凝、澄清→多介质过滤→超（微）滤
2	制纯水成本	<2元/立方米	5~8元/立方米
3	清洗周期	12~18月	1天反洗5~10次， 5~10天拆洗一次

4.技术特点及先进性

通过创新设计的多效蒸发器串联水平管降膜蒸发技术，结合蒸汽喷射器对二次蒸汽压力的提升、真空泵组对系统真空环境的精准控制，构建了高效的热力循环体系。该体系实现余热资源的深度利用与二次蒸汽的梯级回收，大幅降低单位产水能耗，在提升废水处理效率的同时，有效降低运行成本。制取 1m³纯水，该工艺比常规膜法节电不低于 3kWh，可回收或减少 85kg 余热蒸汽，折合减少消耗 0.73kg 标煤，折合减少 1.8kg 碳排放。处理高盐废水，该工艺比常规膜法工艺回用水率高 60%，而且产水回用水水质远高于常规工艺。

5.应用案例

项目名称：中石油兰州石化榆林化工有限公司高盐废水浓缩项目

项目概况：建设一套利用厂区余热蒸汽进行热法浓缩高盐废水装置，处理量按 1×480m³/d 设计，浓缩倍率 20 倍。处理后的产品水送至回用水池，高浓度废水进入后续零排单元处理。凭借

高效节水与节能性能，每年可创造 160 万元显著收益。其中，节水效益达 144 万元/年，通过将工业废水转化为高品质回用水，大幅降低企业新鲜水采购成本；节能效益 16 万元/年，依托余热废热的循环利用，减少传统能源消耗，有效提升企业经济效能。

6.推广前景

工业废水高效热法浓缩技术装备在海水淡化中应用普遍，占海水淡化总量 30%左右，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 50%以上，年节水量 900 亿立方米。

技术支撑单位：山东蓝想环境科技股份有限公司

联系人：王佳宁

联系方式：18866755116

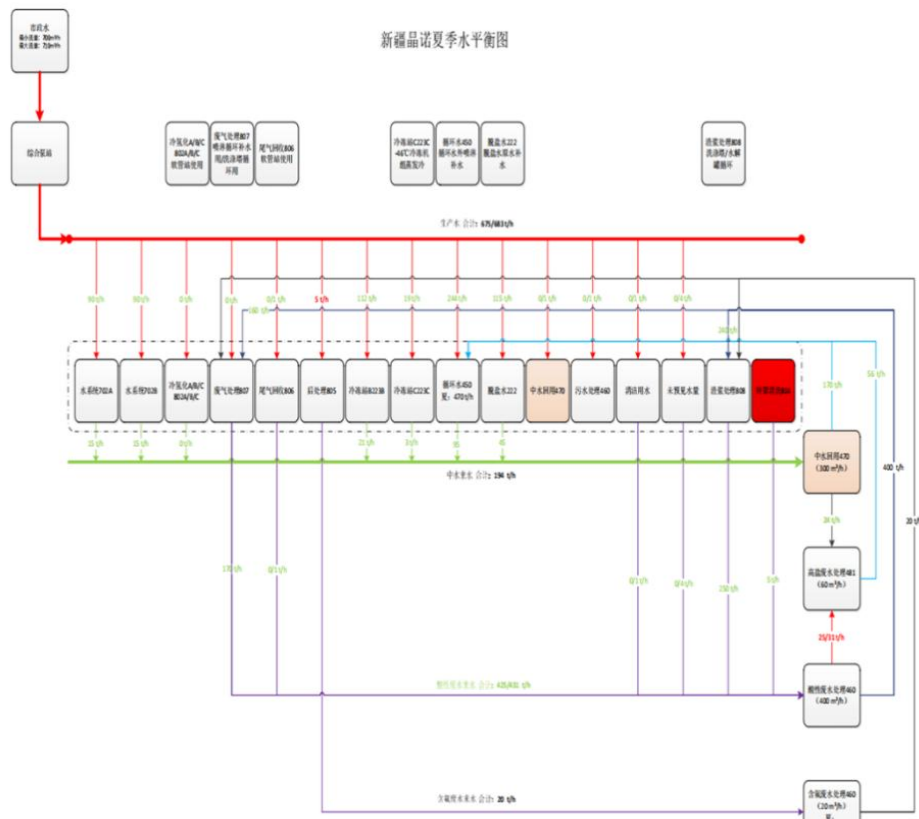
案例三：公用工程车间节水装置

1.技术适用范围

适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

该系统包括多个关键设备和设施，涉及循环水站、给水加压站、纯水站、高盐废水等多个系统。循环水站包含一号和二号内循环系统，并配有空冷塔和湿冷塔。每个系统的循环水量设计分别为 $16000\text{m}^3/\text{h}$ 和 $13000\text{m}^3/\text{h}$ 。给水加压站设有生活水、生产水、消防水系统，分别用于全厂的水供应和消防保障。纯水站包含脱盐水和超纯水系统，主要提供纯净水和脱盐水以满足生产需求。此外，该装置还包括高盐废水系统、酸性废水系统以及生活污水装置等，用于废水的处理与回收。



夏季水平衡图

3.技术指标

单位产品综合电耗为 $60\text{kW} \cdot \text{h/kg}$ ，按年产能 5 万吨/年计算，年节水总量可达到 236 万立方米。

4.技术特点及先进性

循环水站的设计采用空冷塔与湿冷塔的组合，以提升水循环效率并减少能耗。给水加压站采用变频泵技术，能够根据需求调节流量，确保水压稳定供应。纯水站采用现代化反渗透技术、EDI 系统和 UV 杀菌等多项技术，确保水质的纯净度。在高盐废水和酸性废水处理方面，采用 MVR 蒸发系统和三效蒸发系统，高效回收废水中的水分，降低污染物的排放。

5.应用案例

项目名称：新疆晶诺新能源产业发展有限公司年产 2×5 万吨高纯晶硅项目

项目概况：该项目设计能力为年产高纯晶硅 5 万吨（均以年操作时间 8000 小时为基准），空分装置按现有经济规模配套，由多晶硅生产装置公用工程设施、辅助生产设施组成。单位产品综合电耗为 $60\text{kW}\cdot\text{h/kg}$ ，优于国内同行业的单位产品电耗水平（ $80\text{kW}\cdot\text{h/kg}$ ）。项目投资财务内部收益率为 36.30%（所得税前），资本金内部收益 59.62%。投资回收期（含建设期 4.11 年）（所得税前），均高于行业平均指标，经济效益良好。该项目节水量 236 万立方米/年，节水效益 946 万元/年。

6.推广前景

公用工程车间节水装置在多晶硅生产制造以及其他含精馏、冷氢化的化工类装置方面，特别是在水资源紧张或环境保护要求高的地区，具有较好的推广前景，预计未来五年推广比例达到 100%，年节水量 330 万立方米。

技术支撑单位：新疆晶诺新能源产业发展有限公司

联系人：李媛双

联系方式：18699209556

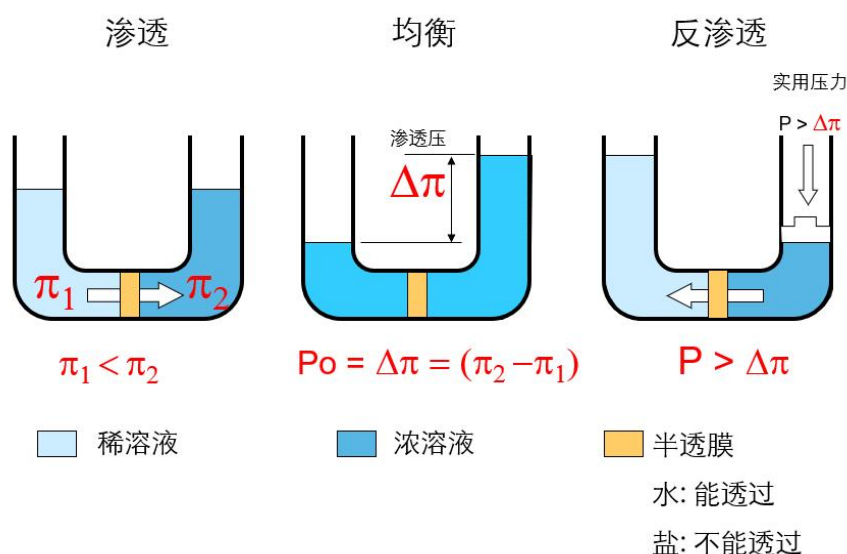
案例四：高性能水处理纳米反渗透薄膜

1.技术适用范围

适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

在浓溶液侧施加大于溶液渗透压的压力，迫使水分子逆向（与自然渗透方向相反）通过半透膜进入稀溶液的过程，由于在反渗透过程中，浓溶液侧的水分子通过半透膜流向稀溶液，而绝大部分溶质（溶解性固体）却无法透过膜，被截留下来。具有节能降耗、抗污染性好、使用寿命长、适应性强及系统操作简单、运行平稳等优点。



系统示意图

3.技术指标

反渗透膜元件过滤精度 0.3 ~ 0.5 纳米，脱盐率可达 99.5%以上；可在更宽泛的 pH 范围（1 ~ 13）内达到有效清洗效果。

4.技术特点及先进性

(1) 将半导体相关模型、品控思路、量产经验成功运用到反渗透膜的生产中,使得每一工艺单元均具有极强的拓展性与可控性,从而提升反应过程的把控程度。

(2) 通过控制反应过程,进一步加深对机理的认知,形成经验参数数据库,从而发展成模型,在模型化技术平台基础上,产品性能快速提升,并持续迭代,促使可持续性发展。

(3) 复合反渗透膜量产线整线采用全狭缝挤出的工艺,与传统浸涂工艺相比,在设备投入、原材料消耗、产品良率、等方面均有优势。

(4) 把新型界面聚合的不同水油相配方组合,并随应用领域的不同而更迭。实现反渗透膜的配方、工艺及设备全环节自主研发与规模制造。

5.应用案例

项目名称: 华星光电中水回用设施反渗透膜项目

项目概况: 项目实施地点位于长江经济带内,选用苏瑞膜SUROBW—8040FR型号抗污染膜中试设备。2021年10月至2022年9月期间,通过对中试膜系统产水流量、脱盐率、压差等数据进行持续监测,苏瑞膜抗污染膜元件运行稳定。该项目处理水全部来自于华星光电的生产废水,整体回用率超过85%。本项目每

小时可以节水 160 吨，年节水 100 万吨，扣除处理成本后，经济效益可达 500 万元/年。

6.推广前景

高性能水处理纳米反渗透薄膜可广泛应用于市政污水处理厂尾水处理回用、生活用自来水净化为纯净饮用水，以及医药、电子、化工、纺织、钢铁等多个行业的废水处理及中水回用。具有较好的推广前景，预计未来五年可带来较好的社会经济效益。

技术支撑单位：苏州苏瑞膜纳米科技有限公司

联系人：蒋文渊

联系方式：17321267180

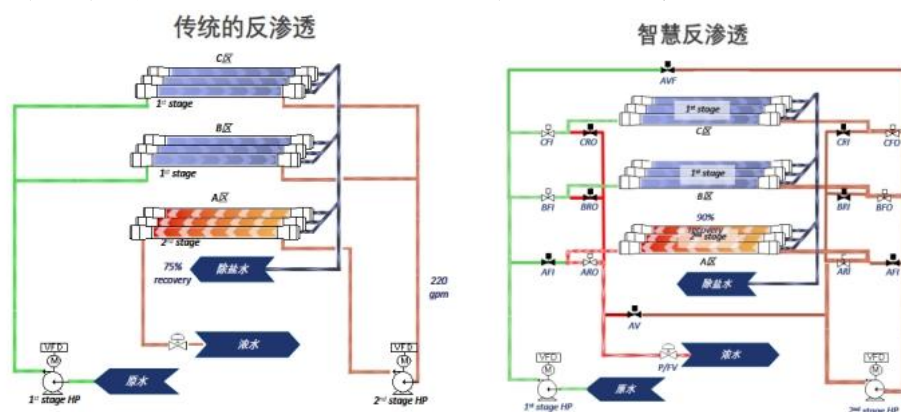
案例五：高效低耗智慧反渗透装备

1.技术适用范围

适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

该装备可在不降低脱盐率的同时，避免产生膜结垢现象，同时延长 CIP（清洗系统）周期，减少阻垢剂投加量。智慧反渗透技术（SSDRO 技术）使反渗透膜在运行过程中可切换水流进水方向，使膜壳内部污堵情况较重的浓水侧因运行模式的转变，随之变为进水侧，降低浓差极化的程度，从而使得结垢趋势得到缓解，结垢时间得以延长，可应用于地表水脱盐、污废水回用工况。



反渗透系统示意图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	性能目录	顺水达公司 SSDRO 技术
1	段间配置	一级两段或一级三段
2	预处理设置	常规设置：MMF+UF
3	适用领域	除盐水、中水回用、海水淡化等
4	进水水质	TDS \leq 4500mg/L, SDI \leq 5
5	膜元件配置	低压抗污染膜
6	高压泵扬程配置	低
7	功率配置情况	低
8	化学清洗周期情况	长
9	段间压差	0.1~0.3Mpa
10	启动方式	一键启动
11	回收率%	85%~95%
12	非氧化杀菌剂 投加情况	投加 3~5mg/L
13	还原剂投加情况	投加 2~8mg/L
14	阻垢剂投加情况	投加 1~2mg/L
15	氢氧化钠投加情况	/
16	综合脱盐率	\geq 97%
17	投资建设情况	低
18	运行成本情况	低

4.技术特点及先进性

- (1) 高回收率（最高可达 96%，高难工况可达 85%以上），自由可调，实现节能减排、降本增效目的；
- (2) 低能耗运行，杜绝水泵无效运行，降低电耗；

- (3) 多模式自由切换，在线消解浓差极化，延长 CIP 周期；
- (4) 减少药品消耗，无需投加阻垢剂、杀菌剂，减少运营成本；
- (5) 智慧化运行，一键启动，实现无人值守的长周期稳定运行。

5.应用案例

项目名称：合盛电业（鄞善）有限公司化水车间二期
3×150m³/h 扩建 EPC 项目

项目概况：该项目采用原水预处理+智慧反渗透+离子交换工艺；智慧反渗透系统水回收率稳定达到≥90%，项目的高回收率工艺获中国化工学会 2023 年度优秀应用项目三等奖，验证了智慧反渗透技术的可靠性与经济性。



案例现场图

6.推广前景

高效低耗智慧反渗透装备在已在多个工业化项目中成功应用，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%，年节水量 2000 万立方米。

技术支撑单位：南京顺水达环保科技有限公司

联系人：刘林 联系方式：15366192277

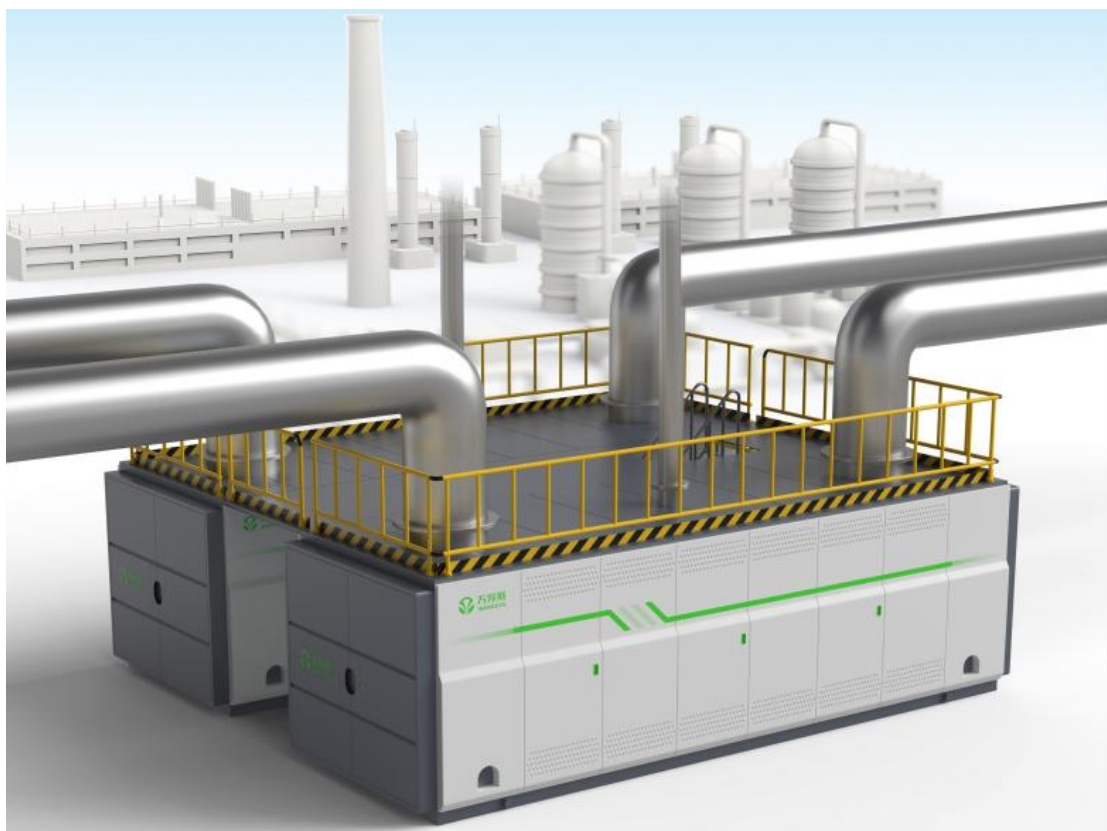
案例六：锅炉中高温废水余热回收及近零排放技术

1.技术适用范围

适用于工业节水装备。

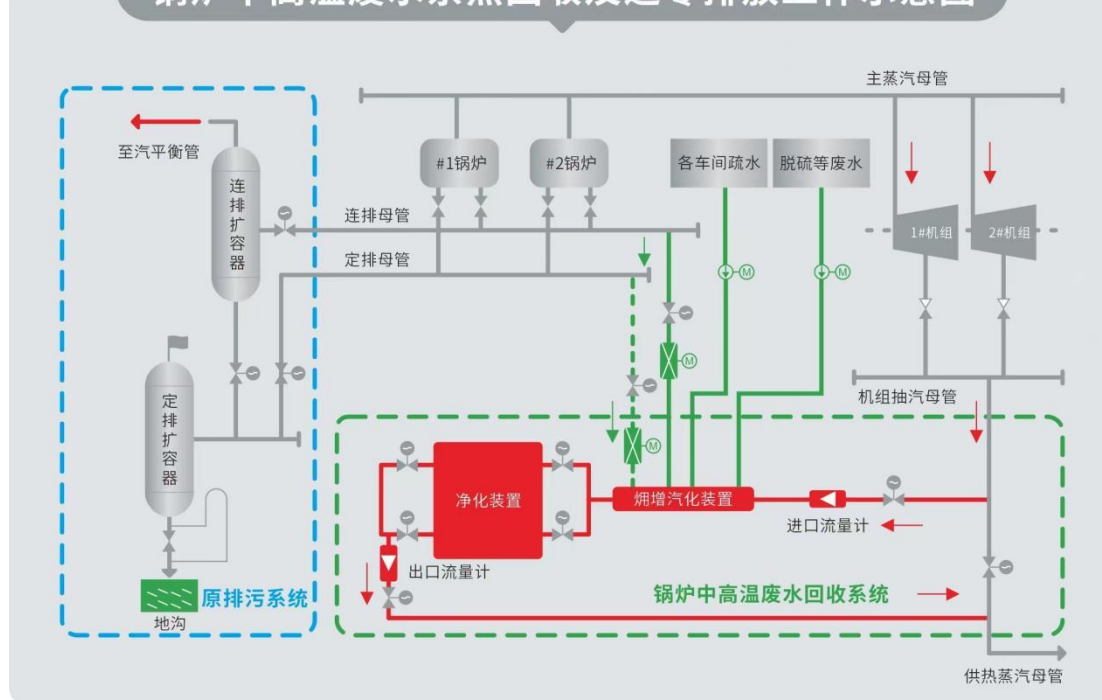
2.技术原理及工艺

该技术利用蒸汽供给侧对锅炉中高温废水排污废水进行焓增补偿、经节能回收装置汽化、净化后转化为用户所需求的高品质蒸汽后送回供热管网。净化装置实现远程智能化在线监控操作，即根据压差实行在线切换，反吹再生。



设备示意图

锅炉中高温废水余热回收及近零排放工作示意图



工艺流程示意图

3.技术指标

(1) 装置进口

连排废水：压力（5MPa～20MPa）；温度（180℃～400℃）；
电导率/含盐率（100～300uS/cm）；

供热蒸汽：压力（0.5MPa～4MPa）；温度（150℃～350℃）；
电导率（5uS/cm）。

(2) 装置出口

蒸汽：压力（0.5MPa～4MPa）；温度（150℃～350℃）；
出口蒸汽钠离子、二氧化硅、pH值、电导率（uS/cm）、总
硬度（mg/L）均小于进口蒸汽指标。

4.技术特点及先进性

该技术采用“烟增补偿汽化+吸附净化”集成工艺，实现废水 100%汽化及蒸汽品质净化。经检测出口蒸汽指标均优于进口蒸汽，余热回收利用率达 95%以上，水资源回收利用率超 99%，突破传统技术“热回收与水处理不协同”的技术瓶颈。采用石墨烯钛基纳米复合材料滤芯，解决高温高压下盐分吸附与抗腐蚀难题，其比表面积大、传输阻力小，可通过反吹再生循环使用，使用寿命较传统材料提升 3 倍以上。采用撬装式一体化设计，可在不影响锅炉运行的前提下灵活接入，安装周期缩短至一个月内，且形成模块化规格体系，适配电力、化工、冶金等多行业不同工况需求。研发的融合智能控制系统将运行参数（压力、温度、流量等）通过云服务器实时传输至中控平台，实现系统的在线调试、远程诊断及自动切换功能。

5.应用案例

项目名称：江西永冠科技发展有限公司锅炉排污水回收净化项目

项目概况：江西永冠科技发展有限公司现有 3 台 65t/h 循环流化床锅炉，锅炉使用状态为 2 用 1 备。锅炉中高温废水回收系统按全年 300 天、每天 24 小时连续运行，水量 7t/h 为基准进行计算，该系统回收锅炉连排水（约 3t/h）的同时回收生产厂区疏水及乏汽（约 4t/h）。系统投运后，节约水资源 24.7 万吨/年，

节约标煤 2078 吨/年。该项目于 2022 年 10 月投入使用，至 2025 年 4 月已回收 80402 吨排污水，产生直接经济效益 2300 多万元。

6.推广前景

锅炉中高温废水余热回收及近零排放技术在有色金属冶炼、精细化工、热电联产、造纸制浆、钢铁轧制等五大高耗能领域具有较好的推广前景。预计未来五年在工业蒸汽锅炉市场的推广比例达到 5%，年节水量 2 亿立方米。

技术支撑单位：杭州万得斯环保科技有限公司

联系人：顾春肖

联系方式：18989460868

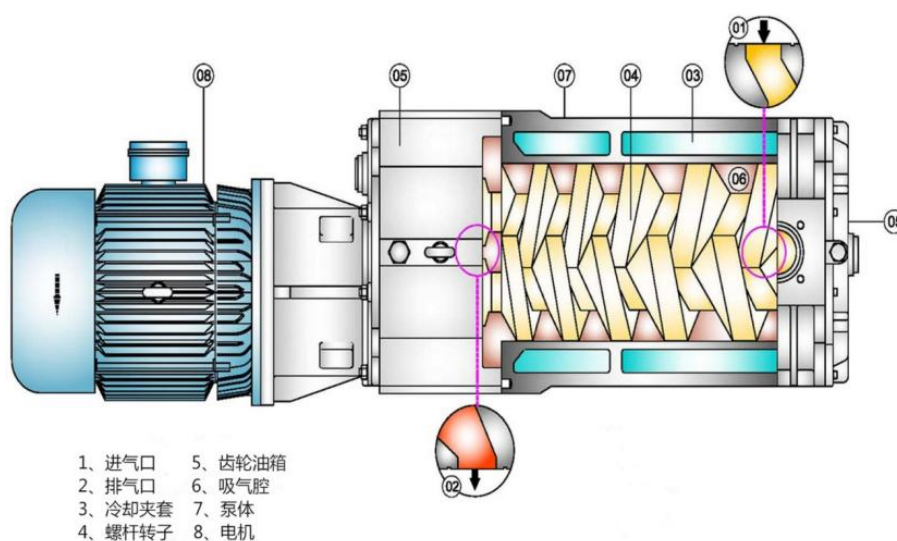
案例七：变螺距螺杆真空泵

1.技术适用范围

适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

该装备是由一对相互平行的螺旋状转子与泵体组成的一个工作室，转子与泵体之间没有摩擦且保持一定的间隙，两个转子与泵体之间形成了密封腔，转子在泵壳中做同步反向高速旋转，产生吸气与排气作用的抽气设备，工作过程中无水、无油，可获得洁净真空。



装备示意图

3.技术指标

按照抽气速率（ m^3/h ）分别研究开发 VDP-200、VDP-320、VDP-430、VDP-650、VDP-900、VDP-1200、VDP-1500、VDP-1800、VDP-3000 九种规格型号的变螺距螺杆真空泵，极限真空可达 1.33Pa。

技术指标一览表

描述	单位	VDP-200 VDP-200J	VDP-320 VDP-320J	VDP-430 VDP-430J	VDP-650 VDP-650J	VDP-900 VDP-900J	VDP-1200	VDP-1500	VDP-1800	VDP-3000
抽气速率	m³/h	165	260	360	540	750	1080	1250	1500	2700
极限压力	Pa	1 ~ 10	1 ~ 10	1 ~ 10	1 ~ 10	1 ~ 10	1 ~ 10	1 ~ 10	1 ~ 10	1 ~ 10
功率	kW	4/5.5	5.5/7.5	7.5/11	11/15	15/18.5	22	30	37	55/75
转速	r.p.m	2900	2900	2900	2930	2930	2940	2950	2950	2970
进气口径	mm	50	50	65	80	100	100	100	125	200
排气口径	mm	40	40	50	65	80	80	80	80	125
冷却水量	L/min	10	12	12	12	20	25	30	35	50
氮气耗量	m³/h	1.5	1.5	2	2	2	2.5	4	4	4
噪声	dB	76	78	78	80	80	82	82	83	83
重量	kg (泵头)	250	320	380	450	580	800	950	980	1904

4.技术特点及先进性

（1）螺旋转子型线设计方法。采用最先进的自平衡转子型线设计，理论状态下精加工完成后无需去重可实现自平衡状态，实际动平衡仅需微量去重即可达到G1级平衡精度，彻底解决传统型线需通过大量去重孔来实现转子平衡的状况，提高转子防腐涂层的难度及防腐效果，增加转子外圆密封面积，设备真空度高、运行稳定可靠、泵腔温升低，高效节能。

（2）螺杆转子加工技术。螺杆转子是多段复杂型线旋转形成的复杂曲面，加工方法、工艺影响最终性能和生产效率，更影响使用效果。采用九轴五联动车铣复合加工中心，对变螺距螺杆进行制造加工，螺杆加工精度可达微米级。

（3）过流表面材料耐腐蚀的处理方案，实现对复杂化学气体的抽除处理。

（4）泵腔密封结构的优化设计。优化解决泵体组件、密封结构设计、密封耐磨轴套设计、设备防腐解决方案、过滤冷凝辅助装置设计，最终实现变螺距螺杆真空泵的全自主知识产权的系列化、规模化生产，替代进口产品。

5.应用案例

项目名称：威海迪素制药有限公司新建原料药合成 A3、A5 车间

项目概况：威海迪素药业新建原料药合成 A3、A5 车间主要工艺为浓缩和真空干燥，投资 407.8 万元，建设项目真空干燥系统采用山真空变螺距螺杆真空泵共计 26 套，设备长期稳定使用过程中，运行状态良好，节水、节能效果明显。节水量 31 万立方米/年，节水效益 127 万元/年。

6.推广前景

变螺距螺杆真空泵在制药和化工行业具有较好的推广前景，预计未来五年推广比例达到 70%，年节水量 2880 万立方米。

技术支撑单位：山东博科真空科技有限公司

联系人：孙猛

联系方式：13181923959

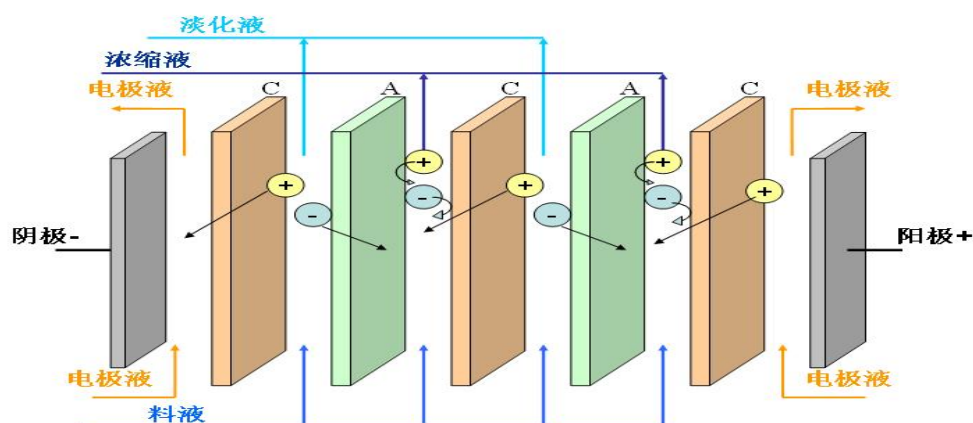
案例八：均相膜电渗析器

1.技术适用范围

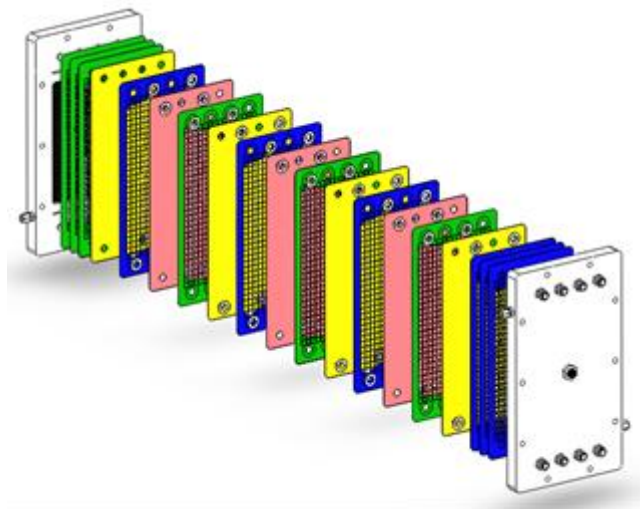
适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

该装备是利用均相离子交换膜的选择透过性，在直流电场的作用下，使溶液中的阴阳离子分别通过阳离子交换膜和阴离子交换膜，从而实现溶液的浓缩、淡化、精制及回收，也可将电解质与非电解质进行分离。均相膜电渗析器的主要部件为均相阴、阳离子交换膜，隔板与电极三部分。隔板构成的隔室为液流经过的通道。结构示意图如下。



结构原理图



内部结构图

3.技术指标

技术指标一览表

型号		产品型 TWED-60-200
膜堆参数	膜片尺寸 (cm)	55×110
	膜片有效尺寸 (cm)	48×99
	膜片有效面积 (cm ²)	4752
	膜对数	200
	阴/阳膜总面积 (m ²)	242
	隔板厚度 (mm)	0.70
尺寸重量	设备尺寸 (cm, 不含管件)	65W×130H×52T
	设备尺寸 (cm, 含管件)	65W×130H×86T
	设备重量 (kg, 含水)	640
管件接口	淡化液/浓缩液	DN32PVC
	阴极液/阳极液	Rc3/4
	淡化液/浓缩液	10m ³ /hr
流量参数	阴极液/阳极液	2.5m ³ /hr
	电流 (A)	190
脱盐量	电流密度 (A/m ²)	400
	脱盐量 (kg/hr)	58.0

4.技术特点及先进性

均相膜电渗析器可将高盐废水中的淡水部分（ $\text{TDS} < 1 \text{ g/L}$ ）回收再利用，回用率可达 80%以上，广泛用于工艺用水、冷却水等。浓缩液中的盐分可进一步进蒸发结晶回收，形成工业级盐或其他化工原料，实现“废物变资源”。均相膜电渗析技术凭借其高效脱盐、低能耗、资源回收、系统灵活等优势，已成为工业废水处理和水资源循环利用领域的重要手段。

5.应用案例

项目名称：陕西福天宝环保科技有限公司均相膜电渗析器电镀废水零排放项目

项目概况：项目一共有三期，分别位于浙江玉环沙门镇、陕西西安鄠邑区和东莞市长安镇，项目总占地面积 3600 平方米，该电镀废水处理工程合计采用液压型电渗析器 76 台，相当于 TWED-60-200 设备 232 台（装载电渗析膜约 6 万平方米），项目总投资 3739.44 万元，该项目包含一级电渗析系统和二级电渗析系统，电镀废水先进入一级均相膜电渗析得到淡水，达标后回收利用，一级浓水再进入二级均相膜电渗析器得到二级浓水，二级浓水进蒸发。

该电镀废水处理工程采用液压型电渗析器 68 台，相当于 TWED-60-200 设备 220 台（装载电渗析膜 6 万平方米），设备稳定运行至今，技术先进可靠，效果显著，每年可处理含盐废水 300

余万吨，淡水回用率达到 90%以上，每年可降低蒸发费用 8000 余万元，回收工业用水近 300 万吨，经济效益和环境效益显著。

6.推广前景

均相膜电渗析器主要适用于处理高盐废水和实现水资源循环利用方面，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 50%，年节水量 6000 万立方米。

技术支撑单位：山东天维膜技术有限公司

联系人：李晓玉

联系方式：15853653182

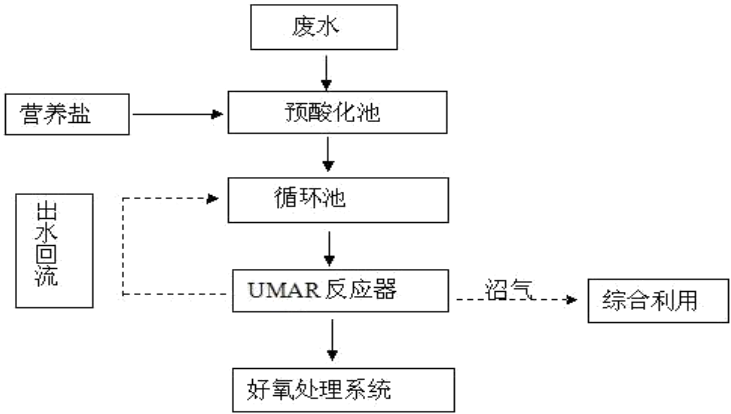
案例九：上流式多级厌氧反应器

1.技术适用范围

适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

该装备的核心技术在于三相分离器（PP板）的模块化设计与制造，通过电脑程序雕刻、一次性折弯成型和自动化焊接工艺确保气槽精度与气密性，并经专用检测平台严格校验。该反应器直径依据污水处理负荷确定，例如直径15米的装置需配置上下两层共24个模块，以兼顾生产效率、运输及现场安装需求。废水处理工艺上，预处理后的废水依次进入预酸化池（进行有机物酸化、pH调节及营养盐投加）和循环池（与反应器出水混合），随后泵入上流式多级厌氧反应器（UMAR）进行厌氧降解，产生的沼气可回收利用，出水自流进入好氧系统。



工艺流程示意图

3.技术指标

该反应器能在 $10\text{kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 以下、 $30 \sim 45\text{kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 之间的极端负荷下正常运行，该反应器较高的 COD 去除率和良好的气体收集装置可得到较高的沼气产量，每去除 1kgCOD 可获得约 0.46m^3 沼气能源，具有很好的经济效益。

技术指标一览表

主要技术/服务指标	本技术水平	同行业水平	国际先进水平
颗粒化时间 (d)	30~60	60~120	30~60
甲烷产率 $\text{m}^3 \cdot (\text{kgCOD})^{-1}$	0.28~0.33	0.25~0.3	0.25~0.33
污泥沉降速率 ($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	80~100	50~80	50~80
颗粒污泥产率 $\text{kg} (\text{kgCOD})^{-1}$	0.018~0.02	0.015~0.018	0.018~0.02
本技术显著缩短厌氧反应器的颗粒化时间，提高污泥沉降速率，总体技术达到甚至部分超越国际先进水平。			

4. 技术特点及先进性

(1) 基建投资省，占地面积少。反应器为立式结构，高度很高，占地很小，节省了基建投资。

(2) 有机负荷高，水力停留时间短。反应器既能滞留污泥，又能强化传质过程，使反应器的有机负荷远远高于其他的反应器。

(3) 节约能耗。依靠沼气的提升产生循环，不需外部动力进行搅拌混合使污泥回流，节约能耗。

(4) UMAR 反应器同样适合于处理浓度较低和温度较低的有机废水。反应器具有的产气负荷和水力负荷是 UASB 的 $2 \sim 5$ 倍，传质过程较 UASB 好得多。适合于处理浓度较低和温度较低的有机废水。

(5) 具有缓冲 pH 的能力。反应器内循环流量相当于第一级厌氧出水的回流，可利用 COD 转化的碱度，对 pH 起缓冲作用，使反应器内的 pH 保持稳定。

(6) 抗冲击负荷能力强。反应器实现内循环，处理低浓度废水时，循环流量可达进水流量的 2~3 倍。处理高浓度废水时，循环流量可达进水流量的 10~20 倍。大大降低有害物质对微生物的抑制程度，从而提高了反应器的耐冲击负荷的能力。

(7) 运行稳定性好。厌氧反应器相当于上下两个 UASB 反应器的串联运行。两级处理比单级处理的稳定性好，出水水质较为稳定。

(8) 产出的颗粒污泥特性好。剩余污泥为颗粒污泥，干度非常高，自然沉淀后的干度可达 8%~12%，无需进行处理。

5.应用案例

项目名称：广西博冠纸业有限公司年产 5 万吨漂白蔗渣浆项目污水处理工程

项目概况：该工程设计日处理水量 4500m³/d。根据检测一年的实际运行情况，年处理水量 164 万吨，运行成本 59.4 万元/年，吨水运行费用为 0.36 元。中水回用率达到 70%，项目节水量为 114.8 万立方米/年。项目主要处理蔗渣堆场喷淋水、制浆黑液、漂白废水、碱回收车间废水、白泥填埋渗滤液及生活污水等混合废水。该项目采用博世科自主研发的上流式多级厌氧反应器

(UMAR) 技术, 该技术集成分级处理、高效布水、内循环、流化床和污泥颗粒化五大核心技术, 可在 $5 \sim 35\text{kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的高负荷下稳定运行, COD 去除率 $>85\%$, BOD 去除率 $>90\%$, 显著优于传统厌氧工艺。

该处理系统颗粒污泥产量 $0.02\text{kg}/\text{kgCOD}$ 以上, 沼气产量 $0.35\text{m}^3/\text{kgCOD}$ 以上。COD 消解 1 万吨, 产沼气 353 万立方米(折合标煤 0.25 万吨), 产颗粒污泥 201 吨。副产品沼气折合经济效益 252 万元, 颗粒污泥折合经济效益 32 万元, 合计新增经济效益 285 万元。

6.推广前景

上流式多级厌氧反应器在工业废水处理领域有较好的推广前景, 预计未来五年推广比例达到 20%, 年节水量 3776 万立方米。

技术支撑单位: 广西博世科环保科技股份有限公司

联系人: 朱琦

联系方式: 13077774500

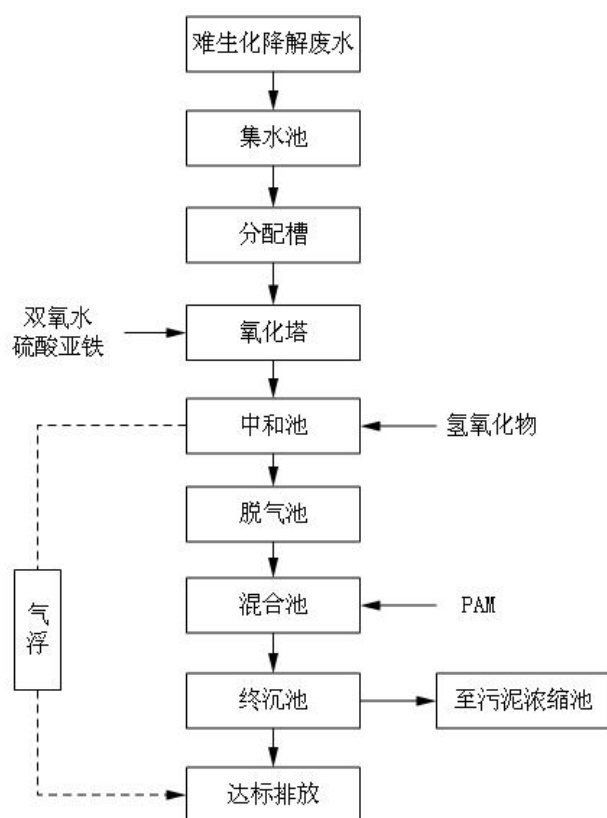
案例十：上流式多相废水处理氧化塔

1.技术适用范围

适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

该装备配套废水处理工艺主要由上流式多相废水处理氧化塔 UHOFe 和固液分离系统（沉淀或气浮）组成。难生化降解废水收集至集水池，集水池中废水由泵送至 UHOFe 中，同时由计量泵将芬顿试剂（双氧水和硫酸亚铁）加入 UHOFe 中，在芬顿试剂的作用下将废水中的污染物深度氧化降解，处理后废水自流至中和池，在中和池中加入液碱将废水调至中性范围，然后送固液分离系统，将芬顿氧化反应过程中产生的铁泥絮凝去除，分离后的净水可满足环境排放要求。



工艺流程示意图

3.技术指标

技术指标一览表

主要技术/服务指标	本技术水平	同行业水平	国际先进水平
反应时间 (min)	20 ~ 60	30 ~ 90	20 ~ 60
FeSO ₄ 用量 (kg · (kgCOD) ⁻¹)	2.5~3.4	3.5~5.0	2.5~3.0
H ₂ O ₂ 用量 (kg · (kgCOD) ⁻¹)	2.1~2.6	3.0~4.0	2.1~2.5
适用 pH 范围	2 ~ 11	2 ~ 6	2 ~ 11
本产品与传统技术相比，氧化反应时间显著降低，适用 pH 值范围拓宽至 2 ~ 11，芬顿试剂的投加量大幅减少、实现超低排放同时，使运行成本降低 40%以上。总体技术达到国际先进水平。			

4.技术特点及先进性

(1) 羟基氧化铁 (FeOOH) 覆膜异相催化氧化技术

FeOOH 覆膜异相催化氧化技术在复合铁离子溶液中，以石英载体为基质，形成了 FeOOH 晶体覆膜层，利用其对过氧化氢较好的催化效果，减少了过氧化氢与亚铁试剂的用量，并通过动力学研究其水力作用下的覆膜体流化态，有效解决亚铁催化剂流失和过氧化氢利用率低的技术难题。

(2) H₂O₂ 缓释技术

该系统研发了过渡金属离子（如 Mn²⁺、Fe³⁺、Cu²⁺等）、亚铁试剂与螯合剂构成多金属配体缓释剂，这种配体可协同调控 H₂O₂ 催化活化速率，减少羟基自由基（•OH）淬灭，提高羟基自由基（•OH）的有效利用率。

(3) UHOFe 旋流布水技术

为提高 FeOOH 覆膜催化效率，实现旋流布水器产生强的剪切力使分散体系中散、聚流态化并存的微物理流化态环境，设计特殊物理结构的布水板和补水管，强化流体传质效率，为 FeOOH 覆膜催化剂表面的高效催化作用提供良好的物理环境。本布水系统可根据实际工程项目参数，调整 UHOFe 旋流布水系统数量和尺寸大小。

该技术可实现氧化反应时间由 30 ~ 90 分钟缩短至 20 ~ 60 分钟，处理废水量达到 4396 万 m³/a，减少水资源的使用量为 3164

万 m³/a，减少 COD 排放量 8901 吨/年。帮助企业提升年度生产能力 26.53%，单位产品新水耗量降低 59.67%，单位产品的废水产量降低 22.37%，成本降低 30%以上，实现废水深度处理及超低排放。

5.应用案例

项目名称：南宁金浪浆业有限公司 9000m³/d 制浆废水深度处理系统项目

项目概况：该项目设计日处理规模 9000m³/d。根据一年的实际运行情况，年处理污水 297 万吨，年运行费用 739.2 万元，吨水运行费用为 2.5 元。中水回用率达到 70%，项目节水量为 207.9 万立方米/年。该项目针对化机浆废水高色度（32 倍以上）、高钙离子、难生化降解的特性，采用博世科自主研发的“上流式多相废水处理氧化塔（UHOFe）”为核心技术，构建“厌氧预处理+UHOFe 深度氧化”组合工艺，实现废水稳定达标排放与资源回用。污水经处理后，污水外排废水中的 COD、BOD₅、SS、pH 值、总氮、总磷、氨氮、色度等主要指标均符合《制浆造纸工业水污染物排放标准》（GB3544）的要求。年削减 COD_{Cr} 总量 71.28 万吨，年削减 SS 总量 17.82 万吨。经测试计算得出 COD_{Cr} 的合格率为 92.24%、SS 的合格率为 96.43%、色度的合格率为 97.62%。符合合同约定指标要求。芬顿深度处理系统实际吨水处理成本为

2.496 元，比合同约定的吨水处理成本 2.51 元略低。节水量 208 万立方米/年，节水效益 1185 万元/年。

6.推广前景

上流式多相废水处理氧化塔主要应用于造纸、化工、医药、制革、印染等领域，对难生化降解工业废水进行深度处理，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 60%，年节水量 200 万立方米。

技术支撑单位：广西博世科环保科技股份有限公司

联系人：朱琦 联系方式：13077774500

案例十一：分布式陶瓷膜供水系统

1.技术适用范围

适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

该装置包括臭氧发生器、气浮池、现代化陶瓷膜分布式供水装置、次氯酸钠发生器。在气浮前先经过臭氧氧化，去除水中有机物、异味及藻类等；然后经过气浮，去除水中部分悬浮物、胶体、有机物、藻类；最后气浮出水进入陶瓷膜分布式供水装置，进一步去除水中悬浮物、胶体、大部分有机物及微生物等。本技术中臭氧、气浮与陶瓷膜过滤串联的水处理工艺能够在原水进入陶瓷膜前去除其中易阻塞陶瓷膜过滤孔的污染物，降低陶瓷膜反洗维护频率，延长陶瓷膜使用寿命；次氯酸钠发生器产生次氯酸钠用于出水消毒之外，也可用于陶瓷膜的清洗。与此同时，通过对气浮和陶瓷超滤膜技术相结合的使用，达到两次分离，实现了对水中 NOMs 含量的有效降低，从而达到减少消毒副产物的目的。气浮设备去除一部分 NOMs，减轻了陶瓷膜的过滤压力，减少能耗，减少原水损失。



工艺流程示意图

3.技术指标

陶瓷膜过滤器为管式陶瓷膜，内压型孔径为 30nm，外径 246mm，长度 2000mm，内径 2.5mm，膜面积 25m²。目标污染物为悬浮物、胶体、天然有机物，包括细菌和原虫。陶瓷膜系统运行中，水回收率可达 98%。经气浮陶瓷膜组合工艺处理后产水经次氯酸钠消毒，产水氯酸盐、三氯甲烷等消毒副产物均远低于《生活饮用水卫生标准》要求。

4.技术特点及先进性

(1) 高性能陶瓷膜材料的突破

陶瓷膜相较于传统聚合物膜，具有更高的机械强度、耐化学腐蚀性和热稳定性。

(2) 智能化分布式控制系统

现代化陶瓷膜供水系统采用物联网（IoT）和人工智能（AI）技术，实现远程监控、自适应调节和预测性维护。例如：AI 优化运行参数：基于大数据分析，动态调整膜通量、反冲洗频率，降

低能耗 10%~20%。区块链水质溯源：结合区块链技术，确保供水水质全程可追溯，符合国际高标准（如 WHO、EPA）。

（3）低能耗集成工艺

臭氧+陶瓷膜组合工艺，实现污染物降解与膜过滤同步进行，减少化学药剂使用。低能耗反冲洗技术：采用气水脉冲反冲，比传统水反冲节能 30%以上。

5.应用案例

项目名称：义乌市第三自来水有限公司水厂改扩建工程（一期）

项目概况：该工程设计规模为 10 万 m^3/d ，工程总占地面积约 5.5 亩，采用浮滤池+陶瓷超滤膜处理工艺。陶瓷超滤膜采用罐式安装，减少建设用地，膜车间仅 500 多平方米，具有处理能力大、占地面积小、工艺过程及设备构造简单，便于使用、维护等优点。陶瓷超滤膜可有效去除水中的颗粒状物质，能几乎将细菌、病毒、蚊虫、藻类及水生生物全部去除，可减少消毒剂的投加，降低消毒副产物生成。处理后水浊度低，可以稳定地控制在 0.05NTU 以下，是保障饮用水安全最有效的技术之一，是国家《生活饮用水卫生标准》（GB5749）标准下优选的水处理工艺和方式。

6.推广前景

分布式陶瓷膜供水系统主要应用在市政供水、工业供水、农村供水领域，具有较好的推广前景，预计未来五年推广比例可分别提升至 20%、30%、15%。

技术支撑单位：浙江天行健水务有限公司

联系人：陈锋

联系方式：13588866928

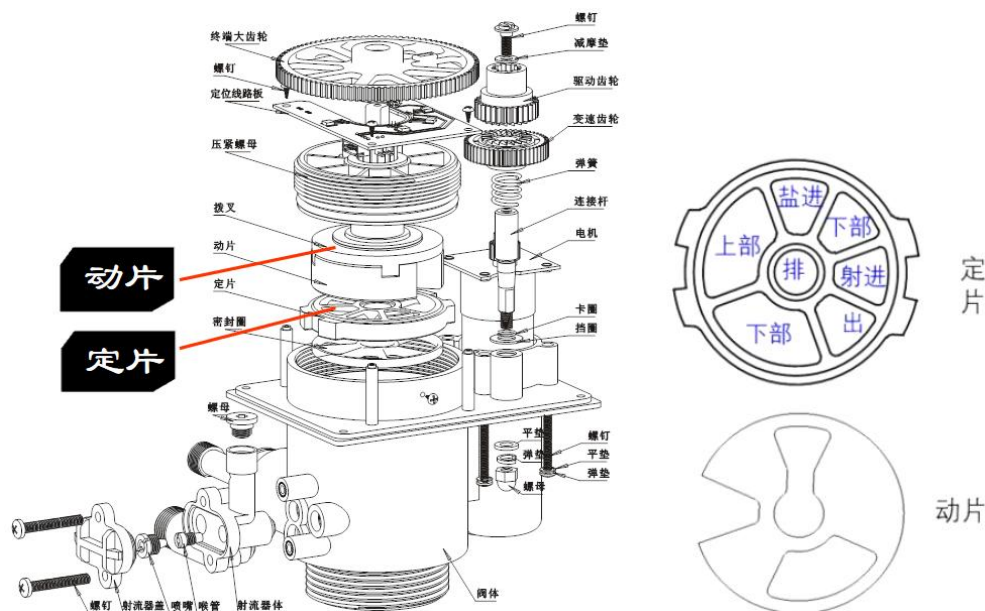
案例十二：高性能特种陶瓷硬密封部件及多功能控制阀

1.技术适用范围

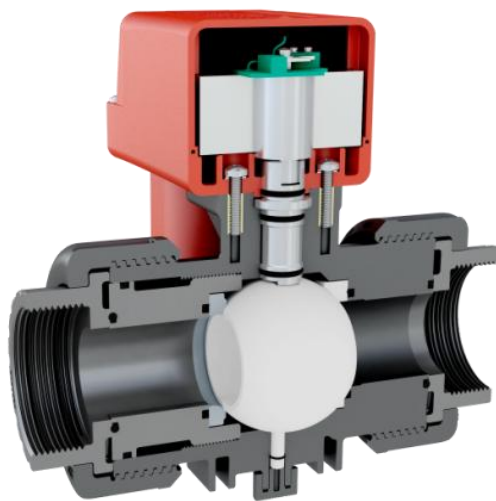
适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

陶瓷平面阀的阀芯、陶瓷硬密封球阀的阀芯与阀座均采用刚玉陶瓷或碳化硅材料，经 1680℃ 或 2200℃ 超高温烧结、精密加工而成，同时具有轻扭矩、耐磨损、耐腐蚀、耐久用等特点，易于实现数字化、智能化、高效节水。陶瓷平面阀由两片（或两片以上）带有多个通孔或盲孔具有高平面度的平面相互贴合，进行同一中心的旋转，定片对应阀体的相对通道，产生事先设计所需的多条流体通道，从而实现控制的功能。



特种陶瓷平面阀结构



陶瓷硬密封球阀结构

3.技术指标

特种陶瓷材料（氧化铝 Al_2O_3 和碳化硅 SiC ）硬度极高，洛氏硬度 $\text{HRA} \geq 85$ ，是钢硬度的 7~9 倍，与钨钴合金车刀等同，表现出优异的耐磨性。润景 DN32 不锈钢球阀经过国家阀门质量监督检验中心（浙江）检测，0.6MPa 压力下，开启 1 秒、关闭 3 秒，100 万次启闭后，持续 1 分钟无泄漏。特种陶瓷材料在化学稳定性方面表现出色，能够在强酸、强碱等腐蚀性介质中保持稳定，具有优异的耐腐蚀性能。

技术指标一览表

介质	温度 /℃	ZrO ₂	95Al ₂ O ₃	SiC	Si ₃ N ₄	SS304	SS316
20%HCl	60	A	A	A	B	C	C
	95	A	A	A	C	—	—
90%H ₂ SO ₄	60	A	A	A	A	C	C
90%H ₂ SO ₄	95	A	A	A	B	C	C
60%H ₃ PO ₄	60	A	A	A	C	C	C
	95	A	A	A	C	C	C
10%HF	60	C	B	A	A	C	C
46%HF	95	C	C	A	C	—	—
60%HNO ₃	60	A	B	A	C	A	A
	95	A	C	A	C	B	B
30%NaOH	60	A	C	A	B	A	A
	95	B	C	A	C	A	B

A: 表示材料在介质中，无腐蚀或可以忽略，推荐使用；

B: 表示材料在介质中，轻微腐蚀或较少腐蚀，适合使用；

C: 表示材料在介质中，腐蚀中等或较大腐蚀，不推荐使用。

4.技术特点及先进性

通过对陶瓷烧结工艺及结构的持续优化，不断突破陶瓷密封片的加工直径极限，平面直径已达到 150mm 以上；陶瓷密封片经抛光后的密封面平面度可达到 0.3 微米，能够实现对气体与液体的密封；高圆度的球阀阀芯和阀座配对研磨，经精密加工后几

乎完全真空贴合在一起实现密封，目前陶瓷球芯可加工最大口径可延伸至 DN200。

特种陶瓷具有高强度、高弹性模量、耐高温、耐磨损、耐腐蚀、抗氧化、抗热震等特性，应用于阀门启闭密封件，其耐磨性、耐腐蚀性、密封性和使用寿命更为出色，能够很好解决传统阀门过流部件橡胶易老化、不耐杂质、易泄漏、不耐用等通病。通过旋转动片或陶瓷球，可以实现快速切换功能，响应速度快，节水效果显著，相关产品通过节水产品认证，综合节水率达 30%，寿命长运行可靠。

5.应用案例

项目名称：丛台酒业陶瓷硬密封多功能控制阀应用项目

项目概况：丛台酒业是一家大型酿酒厂，位于邯郸市肥乡经济开发区，项目主要采用润新陶瓷硬密封多功能控制阀组成的软水器来制取软水，供酿酒过程使用，需要流量达 200m³/h。主要设备有八套润新控制阀，与八只直径 1.5 米高 2.4 米的树脂罐及相配套的盐箱组成，共投资 100 万元。项目采用每两套互锁并联的方式软化供水，由于原水硬度高达 400ppm，周期制水量小，基本需要每天再生一次。项目在控制阀的出水口设置高精度流量计，当检测到出水流量达到程序设定的流量时，控制系统控制陶瓷硬密封多功能控制阀及时再生。多功能控制阀切换速度相较于于

传统的阀门更快，从而达到节水的目的，可实现年节水量 10000 立方米。

6.推广前景

高性能特种陶瓷硬密封部件及多功能控制阀覆盖工业锅炉、反渗透预处理、市政水处理、民用净水、污废水处理、化工、印染、金属冶炼、农业灌溉多个领域，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 50%，年节水量 10000 万立方米。

技术支撑单位：温州市润新机械制造有限公司

联系人：王少伟 联系方式：15988710154

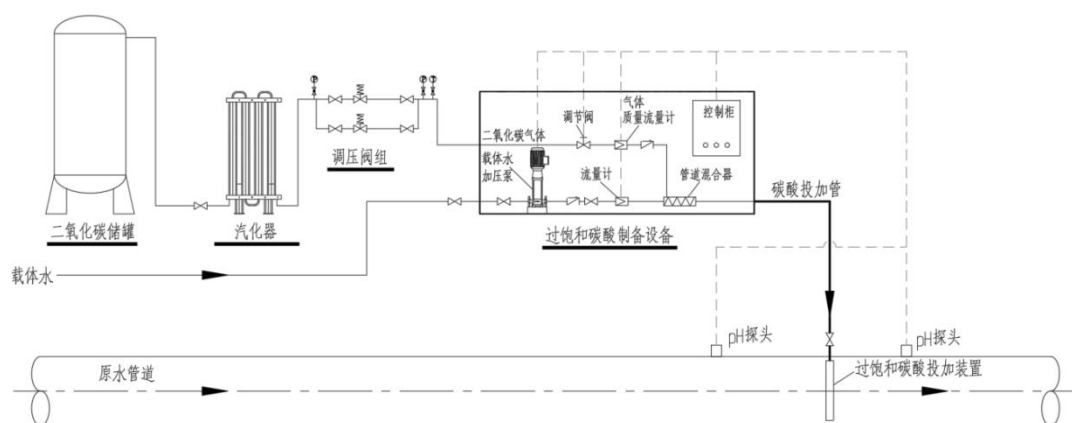
案例十三：高效饱和碳酸制备和投加系统

1.技术适用范围

适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

该系统高度集成二氧化碳投加系统、载体水加压系统及 PLC 控制系统。高效饱和碳酸制备设备与 pH 探头协同工作,采用 PLC 进行二氧化碳流量控制,通过调整二氧化碳流量控制阀的开度来实现 pH 值的精确调节。主要工艺流程:在原水管道中高效饱和碳酸投加点的下游设置 pH 探头与信号接收器, pH 探头的检测信号经信号接收器传送至 PLC 控制器的输入端, PLC 控制器的输出端与控制阀连接,信号经过 PLC 处理后控制控制阀的开启大小,以控制碳酸溶液的投放量,从而调节 pH 值至目标值。主要设备由二氧化碳储罐系统(含汽化器及减压装置)、高效饱和碳酸制备设备、投加装置及智能自控系统组成。



技术原理示意图

3.技术指标

高效饱和碳酸制备和投加系统通过精准 pH 调控技术实现显著节水效益，从源头削减水资源处理负荷。

技术指标一览表

序号	名称	参数
1	投加方式	“液—液”投加
2	二氧化碳投加范围	0 ~ 1250kg/h
3	二氧化碳转化利用率	≥ 98%
4	pH 值调控精度	0.01~0.1
5	电源	380V ± 10%， 50Hz ± 5%
6	单位产饱和碳酸电耗	≤ 0.4kWh/m ³
7	工作温度	4~40℃
8	输入/输出信号	4 ~ 20mA/250Ω

4.技术特点及先进性

高效饱和碳酸制备和投加系统相较于二氧化碳气体投加系统，二氧化碳药剂转化利用率可提高至 97%以上，可节约 30%二氧化碳药使用量，节约 25%混凝剂用量，同时减少 20%污泥产生量。药剂费用减少约 0.005 元/吨水（液体 PAC 单价按 1100 元/吨计，液体二氧化碳单价按 1200 元/吨），污泥处置费减少约 0.008 元/吨水（污泥处置费按 600 元/吨计算）。

5.应用案例

项目名称：广州某 95 万 m³/d 市政水厂二氧化碳投加项目

项目概况：该项目设置 280kg/h 高效饱和碳酸制备和投加系统用于强化混凝和出水铝含量控制，系统运行稳定。二氧化碳转

化利用率大于 97%，pH 调控精度优于 ± 0.1 ，实现自来水厂“绿色、低碳、精准”的 pH 调节。相较于二氧化碳气体投加系统，二氧化碳药剂转化利用率可提高至 97%以上，可节约 30%二氧化碳药使用量；节约 20%以上混凝剂用量，同时减少污泥产生量。运营费用减少约 0.005 元/吨水。

6.推广前景

高效饱和碳酸制备和投加系统应用于市政供水、工业水处理、水环境综合整治等领域，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%，年节水量 1.8 万吨。

技术支撑单位：哈尔滨工业大学水资源国家工程研究中心有限公司

联系人：房睿

联系方式：15846530112

案例十四：低能耗、高回收率的工业脱盐水制备技术

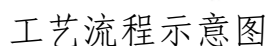
1.技术适用范围

适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

该技术开发亲水性抗污染含氟材料超滤膜制备技术和耐污染的超滤膜组件，通过优化组件的流道设计，提升纳污能力、加强气擦强度，提高物理清洗效果。利用超滤膜的优越性能，把浓缩约 20 倍的自清洗过滤器反洗水、UF 正反洗水等高浊度水简单过滤后回用至原水箱，利用砂滤的反洗水把原水中被截留浓缩的悬浮物排放。使高速砂滤回用单元的回收率做到 97%以上。

采用化学除硬高密池处理浓缩 4~5 倍的 RO 浓水等高盐高硬水，通过优化池体结构、改良运行方式、摸索出最佳的混合反应沉降状态，使产水硬度 $<0.3\text{mmol/L}$ ，再经浓水 RO 的脱盐回用。浓水 RO 通过优化其管路配水、改善水流状态、控制膜面结垢和流道污堵，回收率达 85%，开发高利用率脱盐水生产系统技术、高效二级反渗透装置技术、反渗透浓水回收系统技术等，实现对脱盐水系统中各种污染物包括常规污染物、复杂的有机污染物和新型污染物等物质的协同去除，使脱盐水系统整体水回收率达到 92%以上。



(1) 脱盐水系统水利用率 $\geq 92\%$ 。

(2) 脱盐水系统浓盐水利利用率 $\geq 80\%$ 。

(3) 脱盐水浓水段高效低能耦合工艺出水硬度 $\leq 0.3\text{mmol/L}$ 。

(1) 采用双膜法+混床的传统工艺进行技术路线设计, 主工艺产生中高浊废水和高盐废水, 经高速过滤器除浊后采用高回收率的超滤工艺包回用做原水, 使得超滤系统水的回收率由 90% 提高到 95% 以上。

(2) 开发高盐废水的回用减排工艺, 反渗透排放的高盐高硬废水经“低污泥除硬处理装置”化学软化沉淀除硬和“高效浓

水 RO 装置”脱盐后，回用进混床做深度脱盐处理，同步实现系统深度脱盐除硬和提高水回收率的功能。

5.应用案例

项目名称：浙江嘉化能源股份有限公司兴港热电 1000t/h 脱盐水项目

项目概况：项目于 2021 年开工，2022 年 3 月投产运行。建设规模：脱盐水生产 1000t/h；总投资 7000 万元；占地面积主厂房 1260m²、辅助占地 300m²，总计 2000m²。该项目通过连续稳定运行 18 个月的数据分析，每年向用户连续供应合格的除盐水约 800 万吨，系统水的利用率由常规的 70%左右提高到 92%以上，电耗由常规的 2.4 度/吨除盐水下降到 1.28 度/吨除盐水。实现年节水 270 万吨，年减排污水量 48 万吨的节水效果。

6.推广前景

低能耗、高回收率的工业脱盐水制备技术主要应用在化工、电力、印染、钢铁、冶金等诸多领域的工业脱盐水制备生产过程中，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%，年节水量 1300 万立方米。

技术支撑单位：汇信盈（嘉兴）环保技术有限公司

联系人：李建华

联系方式：15620697189

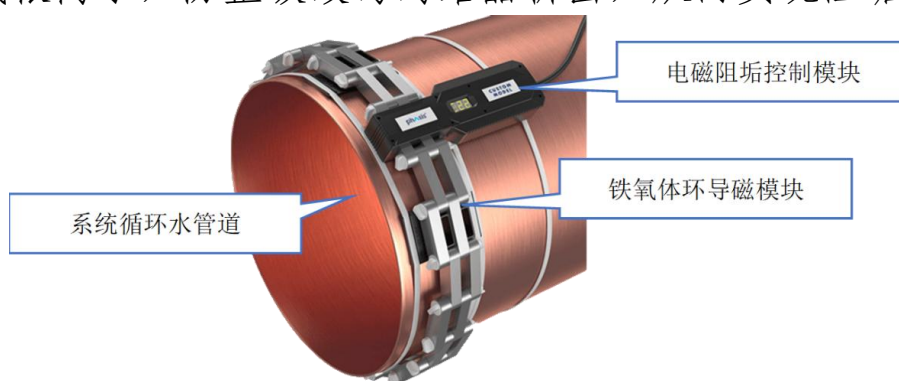
案例十五：高频电磁阻垢仪

1.技术适用范围

适用于工业节水装备。

2.技术原理及工艺

该仪器由发射控制模块、电磁传导模块、磁性材料铁氧体环及特制紧固螺栓等附件组成。工作时由发射控制模块控制感应线圈产生高频可变电磁脉冲，经过 IGBT 调制放大后，形成高功率可变电磁脉冲，再经过电磁传导模块将产生的电磁场传导到磁性感应材料铁氧体环，最后经过铁氧体环形成交变感应磁场及感应电场，当水流经过铁氧体形成的磁场和电场区域后，破坏水分子团簇间的氢键，改变水分子极化特性，使水分子由较大的缔合体转变为较小的缔合体或单体水分子，包裹循环水中游离的钙和碳酸氢根离子，防止碳酸钙的结晶析出，从而实现阻垢目的。



结构示意图

3.技术指标

该技术循环冷却水系统浓缩倍数提高到 5 倍以上，相对化学药剂法，减少循环冷却水系统排污水量 60%以上。以 10000t/h 的

循环水量为例，在浓缩倍数为 2 时，其排污水量约 150t/h，浓缩倍数为 5 倍时，排污水量降低至 25t/h，节水量为 125t/h，节水率 80%以上。

4.技术特点及先进性

（1）可实现循环冷却系统在 4.5 倍以上高浓缩倍数下安全运行，无结垢产生。

（2）采用电磁技术替代传统药剂，实现高效阻垢，可实现系统运行倍数由 2~3 倍提高至 4.5 倍以上，无二次污染。

（3）可实现宽频电磁波簇组合自反馈调节，对不同水质特性具有更好的适应性。

（4）相对传统线圈单点电磁阻垢设备作用范围提升 80%，且不受流速、流量限制；采用仿真 IGBT 模式提升发射功率，突破性实现超大管径（DN2200 以上）的稳定应用。

5.应用案例

项目名称：河钢集团承德钒钛公司电磁阻垢技术应用示范项目

项目概况：该项目应用于河钢集团承德钒钛公司，在三个代表性系统上使用该技术，循环水量 4000t/h，设备采用非介入式安装，无需土建，无需拆改管网，对安装环境要求低，占用空间小，将设备安装固定于管道外壁，接通电源即可运行使用。

2021 年 11 月 30 日高频电磁阻垢仪设备陆续开始通电运行，机组的冷凝器真空度、端差运行状态比安装之前明显好转，电磁除垢器有溶解原垢的效果明显，溶解原垢效果显著。转炉除尘喷枪处喷嘴清洗频次由一月一次，提高到两月一次。减少补水和排水数量；降低端差，提升真空度，提升发电效率。

6.推广前景

高频电磁阻垢仪具备低能耗、高效率阻垢、除垢及杀菌灭藻等特点，主要应用在工业循环水系统，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 30%，年节水量 70000 万立方米。

技术支撑单位：河钢集团有限公司

联系人：王凡

联系方式：18503230387

二、钢铁行业典型案例

案例一：高品质钢管多功能高效淬火技术

1.技术适用范围

适用于钢管热处理。

2.技术原理及工艺

该技术采用“外淋+内喷+槽浴+旋转”工艺，可提高钢管的综合性能，一是调整其化学成分，二是进行热处理。在钢管化学成分不改变的情况下，采用热处理方式是提高性能的必要方法，其中淬火是热处理调质的关键工艺。钢管淬火的技术原理是将奥氏体化的钢管以大于“淬火临界冷速”的速度进行冷却，以最大限度地获得马氏体，然后再配以回火处理，最终得到最佳的综合性能。

3.技术指标

技术指标一览表

序号	名称	参数
1	工艺特征	外淋+内喷+槽浴+旋转工艺
2	淬火钢管管径规格 (mm)	60.3~127
3	淬火钢管壁厚规格 (mm)	4~32
4	淬火钢管长度规格 (m)	6~12.5
5	最大生产效率 (根/小时)	138
6	外淋水量 (m ³ /h)	1800
7	内喷水量 (m ³ /h)	480
8	最大浸入深度 (mm)	65mm
9	马氏体含量	>95%
10	硬度差	≤2HRC
11	成品合格率	>96%
12	淬火后钢管直线度	≤2mm/m
13	淬火后钢管椭圆度	<1.5%
Φ127x16 淬火产品单根用水指标对比		
14	淬火时间 (s)	15
15	非淬火时间 (s)	15
16	淬火用水 (m ³)	6.39
17	非淬火用水 (m ³)	2.49
18	节水量 (m ³)	9.44
19	相对节水率	51.52%
20	每小时相对节水量 (m ³ /h)	1132.80

4.技术特点及先进性

(1) 适合于高品质钢管的“外淋+内喷+槽浴+旋转”四种复合的淬火工艺、薄壁管的“内喷”工艺、结构钢管材的“外淋+内喷+旋转”工艺。

(2) 在淬火钢管温度降至马氏体转变终了温度时，自动控制关闭外淋内喷淬火水，利用淬火浴槽的淬火水代替原有工艺的外淋内喷淬火水继续进行冷却。

(3) 淬火供水系统设计外淋内喷变频供水，外淋淬火水设计全长挡水板，内喷淬火水设计液动三通阀控制系统。

5.应用案例

项目名称：衡阳华菱钢管有限公司 89 分厂 2#热处理线淬火机组项目

项目概况：衡阳华菱钢管有限公司实施建设 2#钢管热处理线，建设所在地为湖南省衡阳市蒸湘区大栗新村 10 号衡阳华菱钢管有限公司 89 分厂。生产车间采用三班连续工作制，年有效工作时间 6500 小时，年产量 6 万吨/年，生产线总占地面积约 3600m²，其中淬火项目占地面积约 360m²。

衡阳华菱钢管有限公司 89 分厂 2#热处理线淬火机组外淋水量 1800m³/h，内喷水量 480m³/h，平均每小时生产 120 根，平均淬火水流量为 2000m³/h。

每根钢管的平均工艺周期时间 30s，淬火时间 15s，非淬火时间 15s。淬火时间用水量 6.39m³，节约水量 1.94m³；非淬火时间

用水量 2.50m^3 ，节约水量 5.83m^3 。每一次淬火周期节约水量 7.77m^3 ，每小时节约水量 933m^3 ，节水率 46.67%。年有效工作时间 6500 小时，可实现节水总量 606.45 万吨。

6.推广前景

高品质钢管多功能高效淬火技术可用于高品质钢管热处理，达到淬火周期的高效节水，具有较好的推广前景。

技术支撑单位：中国重型机械研究院股份公司

联系人：马辉

联系方式：15891398670

案例二：绿色清洁金属表面无酸处理工艺

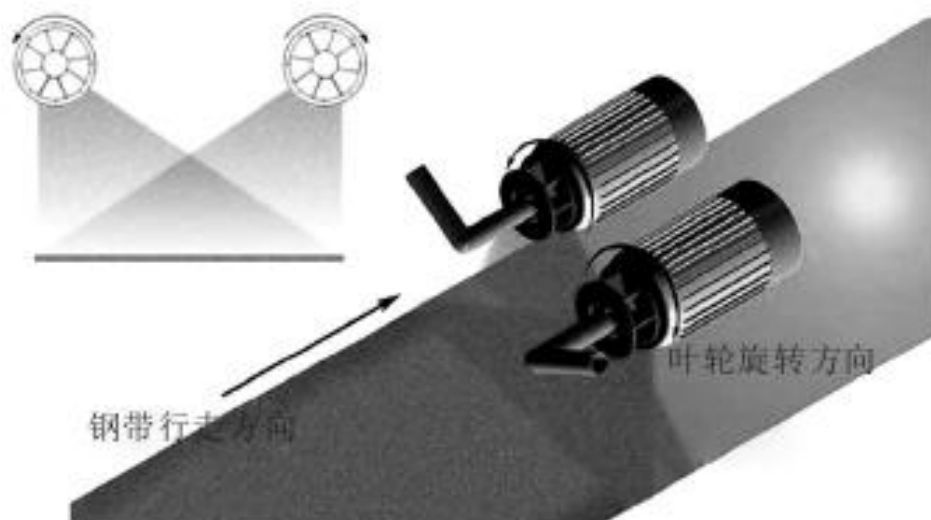
1.技术适用范围

适用于钢铁行业表面处理。

2.技术原理及工艺

该技术将可循环使用的水和带棱角的钢砂混合体，通过高速旋转涡轮壳内的叶轮和叶片，连续不断地高速喷射到行进中钢板上下表面，以达到去除钢板表面氧化铁皮的目的同时，生产线终点无污水排放。

主要设备由入口运卷小车运入开卷机，通过剪板、矫直后，以客户需求的形态进行 **EPS** 表面处理。将工业用水和特供钢砂的混合体，通过高速旋转涡轮壳内的叶轮和叶片连续不断地高速喷射到行进中钢板上下表面，去除钢板表面氧化铁皮，使钢板表面光滑、清洁，通过气刀、张力夹送辊和卷取机的后道传送进出口运卷小车，进行最后的打捆、称重、产品喷印，最终通过防水包装线进入成品区。



工作原理示意图

3.技术指标

该技术具有可处理金属材料种类和材料规格多样化、处理介质所需的水和砂混合物可循环使用，处理后的金属表面氧化皮残留等同或优于普通酸洗（ $\leq 2\text{wt}\%$ ），处理后表面粗糙度可根据不同客户需求调整（ $1 \sim 5\mu\text{m}$ ），处理过程无污水、固废、废气排放，可实现国内钢材表面无酸化、无尘化清洁生产，设备智能化程度高等特点，生产线寿命一般可达 20 年以上。

以平板线为例，单台设备的生产废水两年排放一次，排水量约 70 吨，水循环再利用率达 100%。所排放的生产废水经化粪池处理后纳管排放，不会对周边水体产生影响。

4.技术特点及先进性

该技术的主要特点是从生产源头实现节水、在工艺末尾不产生废水废气排放，做到减污降碳协同。以绿色环保水循环系统设计为核心，通过重力过滤和沉淀工艺，来净化工作液中的氧化皮

等杂质，在实现水循环利用的同时能够极大减少水的消耗，并直接避免污水排放。EPS 机组所使用的钢砂、水基防锈工作液和生产用水，均可以循环使用，因此技术也具备完善的过滤系统，分别对钢砂、氧化皮和工作液进行过滤和回收利用。钢砂主要通过沉淀回收，后再把余下未沉淀部分进行旋转分离，从中筛选出有用的钢砂，剩下的细钢砂和工作液会进入过滤系统，作为固体废料进行过滤收集。EPS 系统唯一外排的物质可归结为经滤布收集后的氧化皮，以及破损的钢砂颗粒，这些固体废料含铁量高，密度较大，可作为炼铁的原料。

5.应用案例

项目名称：鞍钢股份年产 30 万吨热轧带钢厂 EPS 生产线项目

项目概况：该项目建设一条年产 30 万吨零污染零排放绿色清洁金属表面 EPS 生产线，占地面积约 2000 平方米，设备建设周期约 4 个月，已经稳定运行近 4 年，月产量最高可达 1.5 万吨。相比传统酸洗工艺，酸洗线吨钢每年产生 0.16 吨废水排放量，合计 4.8 万吨/年废水量，而使用绿色清洁金属表面无酸处理新工艺的鞍钢股份单条年产 30 万吨生产线，经 EPS 技术处理后的吨钢每年仅产生 0.02 吨废水，且避免了后道排放前处理成本和处理时所排放的二氧化碳，相对可以减少 4.2 万吨/年废水排放量，减少生产用水成本 21 万元，节省污水处理成本 70 万元，水中有害污

染物含量少，氨氮含量 ≤ 1 毫克/升，且水重复利用率达到 100%。该案例每年总用水量低于 1.5 万吨，总体设备用水成本和项目成本投资明显降低，大气、水资源保护得到极大改善，实现减污降碳协同处理。

6.推广前景

绿色清洁金属表面无酸处理工艺主要应用于汽车零部件、普碳钢冷轧、不锈钢、硅钢表面处理等钢铁制品行业，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 50%，单个领域内的生产用水年节水量 275 万立方米。

技术支撑单位：杭州金固环保设备科技有限公司

联系人：于阳琳

联系方式：15700158796

案例三：耐高温集成化水处理装备

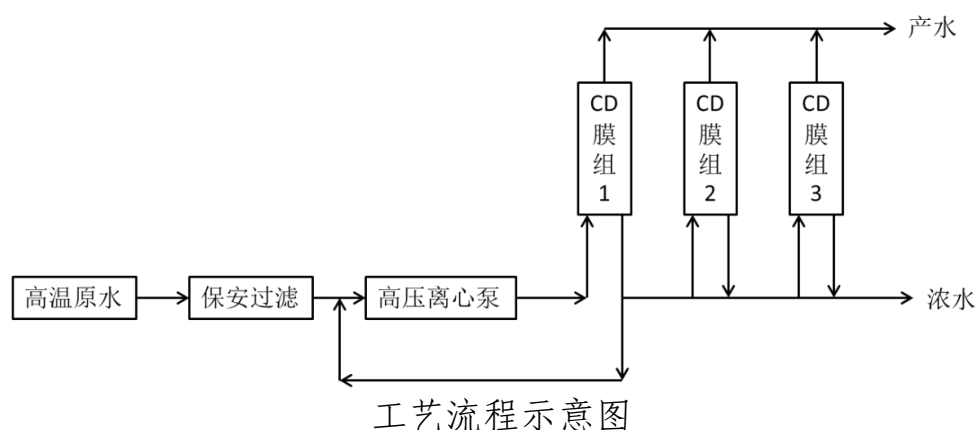
1.技术适用范围

适用于石油采出水处理。

2.技术原理及工艺

该装备采用三段设计，温度可耐受至 80℃；系统管道、高低压部分均选用金属保温管；所有泵、仪器仪表、阀门等均满足耐高温要求；充分考虑设备在高温高盐条件下与水接触时的耐腐蚀性。

采用的耐高温碟管式反渗透膜元件与传统卷式膜元件不同，利用全自动化生产线生产的碟管式反渗透膜元件为核心分离部件。碟管式反渗透采用开放式投币式切口设计，料液通过进料口进入膜元件中，从导流盘与外壳之间的环形通道到达元件顶端后，通过上法兰布水口进入导流盘中，并以雷达扫描式错流过滤到下一个导流盘，最后从浓缩液口流出。相邻两导流盘之间的距离为 4mm，表面分布有特殊排列的凸点，使处理液流经滤膜表面时形成湍流，有效减小浓度极化效应。相比卷式膜技术，涡流旋转流道，压降小、流速快，避免流道堵塞，减少污堵倾向，延长膜元件的使用寿命，降低运行费用。



3.技术指标

耐高温膜组件：长期使用温度 $\leq 80^{\circ}\text{C}$ ；测试压力 55bar 条件下，膜组件稳定脱盐率 $\geq 95\%$ 。

4.技术特点及先进性

核心部件采用耐高温反渗透碟管式膜组件，设备集成度高、可移动性强、占地面积小；能够耐受高达 80°C 的高温，工艺流程简单、处理量大、浓缩倍数高、回收率高、耐污染、运营成本低；自动化控制、智能化运维，具有显著的节能、节材和环保特点。该装备能够处理最高温度达 80°C 的高温废水，打破传统工艺必须走“降温+膜技术+升温蒸发”的路线限制，克服传统反渗透膜工艺只能处理 45°C 以下废水的缺点，省去降温和升温两个过程，避免热能的双重浪费。

5.应用案例

项目名称：春风油田采出水资源化处理站项目

项目概况：该项目位于新疆维吾尔自治区克拉玛依市，项目总处理规模 $10000\text{m}^3/\text{d}$ ，占地面积 6458.5m^2 ，总投资 11028 万元。

以油田高温含油采出污水为原水，经除油等预处理后进入耐高温反渗透系统进行深度资源化处理，得到回用水和回用油。回用水除硬后直接用于注气锅炉，节约注气锅炉所需的水资源，回用油富集后可作为原油，提高采油产量。以油田热采水为例，按 10000 立方米/天处理量计算，可节水 146 万~292 万立方米/年，节水率（回用率）40%~60%，经过处理后的产水水质满足注气锅炉要求，循环回用至前端注气开采环节，降低油田热采水资源消耗和污水排放。

6.推广前景

耐高温集成化水处理装备可广泛应用于油田采出水、石化、钢铁、冶金等高温工业废水，以及食品发酵工业废水、热法海淡浓水等非常规水源的回用及资源化，具有较好的推广前景。

技术支撑单位：烟台金正环保科技有限公司

联系人：张晶

联系方式：15563861659

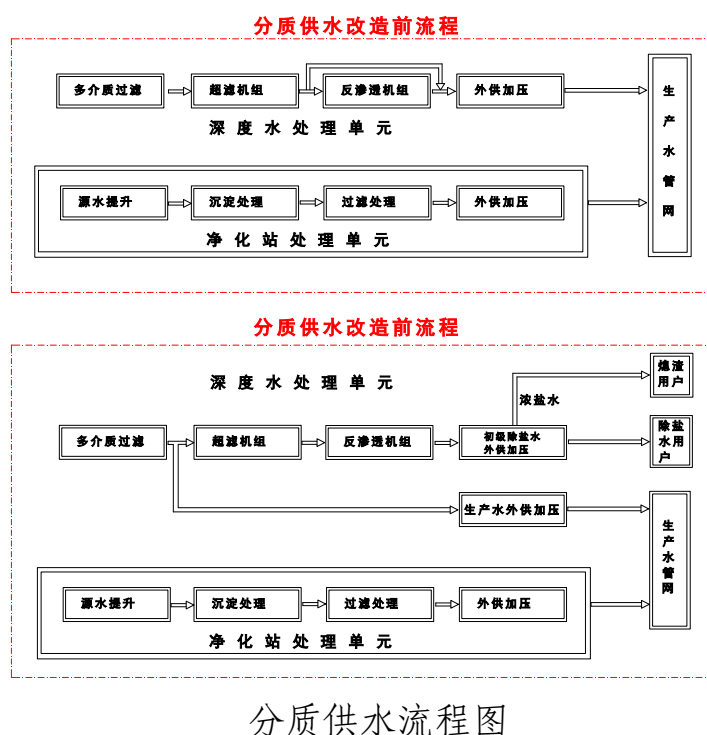
案例四：钢铁生产不同工序水质分质供水技术

1.技术适用范围

适用于钢铁行业废水处理回用。

2.技术原理及工艺

经污水处理后所产出的中水，通过多介质过滤器和双膜处理后所产单一水质供生产用户使用，该工艺结构为串联工艺。分质供水为并联工艺技术，依据不同用户的生产需求，生产不同水质供用户使用。中水经多介质过滤器处理后部分产水作为生产水供低端用户使用，其余产水经双膜进一步处理后产出初级除盐水供高端用户使用，处理环节产生的高盐水供高炉或浇渣，实现处理环节简约化、产水水质细化的目标。



3.技术指标

技术指标一览表

水质指标	电导率 Us/cm	浊度 NTU	铁离子 mg/L	氯离子 mg/L
反渗透机组	≤100	≤0.1	≤0.1	≤10
生产水	≤1600	≤3	≤0.3	≤250

4.技术特点及先进性

分质供水工艺最大程度地实现资源充分利用，减少处理环节的损失，达到节水降耗的效果。

5.应用案例

项目名称：天津钢管制造有限公司分质供水改造项目

项目概况：该项目总投资 340 万元，2022 年 4 月投入使用。主要对中水处理系统进行改造，产出水质包括除盐水、生产水和高离子水。将初级除盐水供应给一炼钢水处理除盐水处理站、二炼钢水处理除盐水处理站、热力站除盐水处理站、海绵铁厂离子交换间等 4 个区域；将中水处理反渗透高离子水供应至炼铁厂用于高炉冲渣；生产水保持原有供应模式。主要改造包括：中水处理局部工艺管道改造，新建供水泵房及配套设施建设、初级除盐水和高离子水公辅管道铺设，水处理一站和炼铁厂等初级除盐水用户等内部优化改造。

6.推广前景

不同工序水质分质供水技术可广泛应用于有不同水质要求的钢铁、化工、污水处理等行业，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 30%，年节水量 18000 万立方米。

技术支撑单位：天津钢管制造有限公司

联系人：赵海亮

联系方式：18920145993

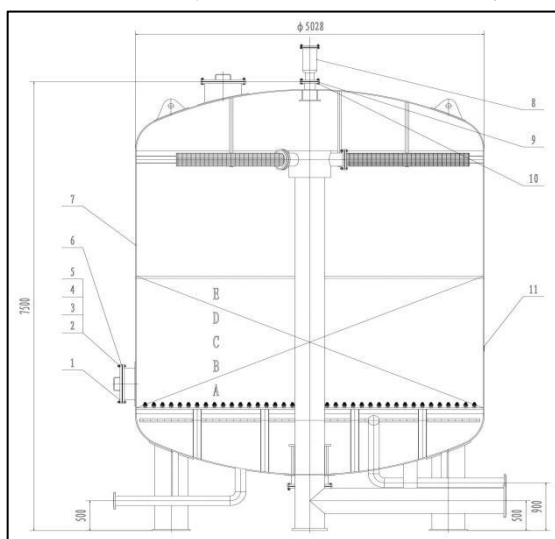
案例五：钢轧浊环水系统设备处理能力提升技术

1.技术适用范围

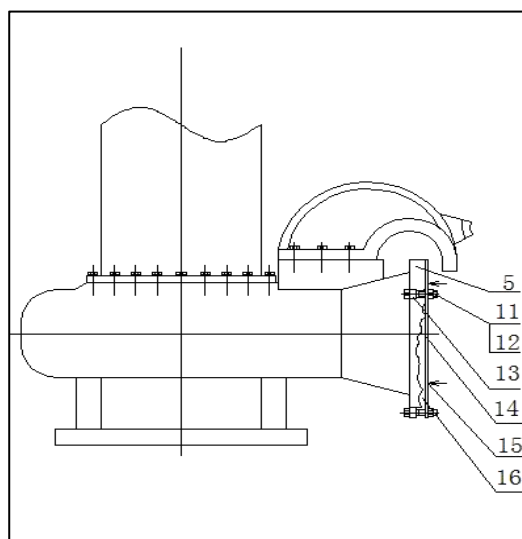
适用于钢铁行业循环水处理系统。

2.技术原理及工艺

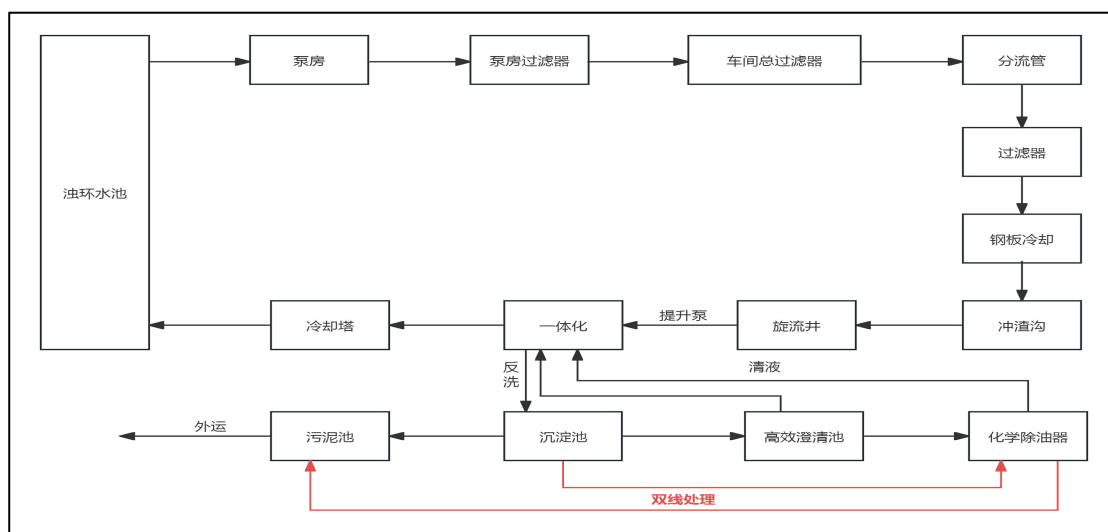
基于各工序循环水处理工艺共性，研发以“旋流沉淀—除油—过滤—固液分离—水质稳定循环”为路径的循环水设备处理能力提升技术。旋流井通过优化提升组运行模式、密封基座和修复提升泵端面实现节能节水；稀土磁盘经提升精度和吸附性能，高效去除悬浮物和悬浮油；斜板沉淀池、污泥浓缩脱水、旁通过滤器等关键设备也完成技术升级，如优化斜板沉淀池结构增强沉淀效果。该技术应用成效显著，循环水二次利用率提升至 30% 以上，系统综合电耗降低 25%~30%，输水流量与水质指标得到优化，提升循环水系统整体运行效率。



陶瓷膜过滤器改造示意图



旋流井提升泵端面修复示意图



化学除油器双线并行协同处理示意图

3.技术指标

通过构建水质串级利用网络，使除盐水和净环水外排水利用率均达 100%，油环水补充水量减少 20%。污泥浓缩输送阶段冲洗用水量降低 60%，反洗排污水回收系统使反洗水回收率提升至 100%。与 2023 年相比，炼钢水耗降低 $0.03\text{m}^3/\text{t}$ ，热轧降低 $0.02\text{m}^3/\text{t}$ ，厚板降低 $0.01\text{m}^3/\text{t}$ ，年节约新水 35 万 m^3 。油环水二次利用率提升至 30% 以上，稀土磁盘设备运行改善后，油环水的循环利用率提高 20%。

技术指标一览表

主要设备名称	参数名称	主要参数
旋流井提升泵	流量	1730m³/h
	扬程	H=28m
	电机功率	250kW, 380V
稀土磁盘	处理水量	≥1200m³/h/套
	悬浮物去除率	≥80% (不投加药剂)
		≥93% (投加药剂★)
	出口油含量	≤5mg/L
	分离后泥渣含水率	约 90%
化学除油器	进水悬浮物	≤60mg/L
	出水悬浮物	≤30mg/L
	进水含油	≤20mg/L
	出水含油	≤2mg/L
	处理水量	900m³/h/台
高速过滤器 (陶瓷膜改造)	处理水量:	≥785m³/h
	进水悬浮物含量	< 20mg/L
	进水油含量	< 5mg/L
	出水悬浮物含量	≤10mg/L
	出水油含量	≤2mg/L
	工作压差	0.02 ~ 0.06MPa

4.技术特点及先进性

(1) 通过优化旋流井提升泵组运行模式, 计算冲渣沟供水所需压力与流量, 将系统余压转化为冲渣动力, 显著减少冲渣泵运行时长; 开发基座密封改善和提升泵端面修复技术, 解决漏水

问题；研制进水管长距离漏点防护装置及方法，实现漏点的快速定位与自动修复。

（2）稀土磁盘方面，通过提高整体设备运维精度，提升整体浊环水水质，增加浊环水的循环利用率，节水率提高 20 %。

（3）构建绿色高效反洗水处理模型。对陶瓷膜过滤器进行结构与材料双重改造，提升反洗水的处理效果；建立离心机绿色高效运行模式，通过优化运行转频等参数，增加泥处理溢流管路，降低污泥含水率至 15%，减少排污，实现水资源重复利用。

（4）开发化学除油器双线并行协同处理技术。通过优化内部反洗水与外部循环水处理通道，使处理效率提高 80 %，增强浊环水净化效果，延长回用周期、增加回用次数，降低新水补充量；优化化学除油器结构，实现快速排水清理，提高清理效率，减少清理时水资源损耗。

（5）开发水质调控与水资源梯级利用技术。通过向系统投加一级除盐水，建立氯离子稀释与平衡模型，控制氯离子浓度，提升水质；构建净化及除盐水系统排水的多级回用体系，实现排水的循环再利用。

5.应用案例

项目名称：钢轧浊环水处理系统协同高效运维项目

项目概况：针对山钢集团日照有限公司炼钢厂、热轧厂、中厚板厂的浊环水处理系统设备老化运行效率降低、进口设备难以

维修、水质不佳影响产品生产稳定等问题，基于炼钢、热轧、厚板区域的浊环水运行特点，构建“循环水与反洗水”双向处理模型，实现浊环水系统绿色高效运行，聚焦“双线处理、反洗水回收、旋流井提升、轧线泥处理”四个关键环节的关键技术，利用浊环水相似属性找到不同系统的提升方法，解决影响浊环水处理的问题，实现钢轧区域浊环水处理系统高效运维。该项目实现设备精度提升、能耗降低、处理能力增强等方面运行提升，各产线水耗对标国内先进，达到领先水平，年节约新水 35 万 m³，累计直接创效 2053 万元，具有良好的环境效益与推广价值。

6.推广前景

钢轧浊环水系统设备处理能力提升技术主要应用于钢铁冶金生产线，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 12%，年节水量 175 万吨。

技术支撑单位：山东钢铁集团日照有限公司

联系人：孙鸣

联系方式：13606333794

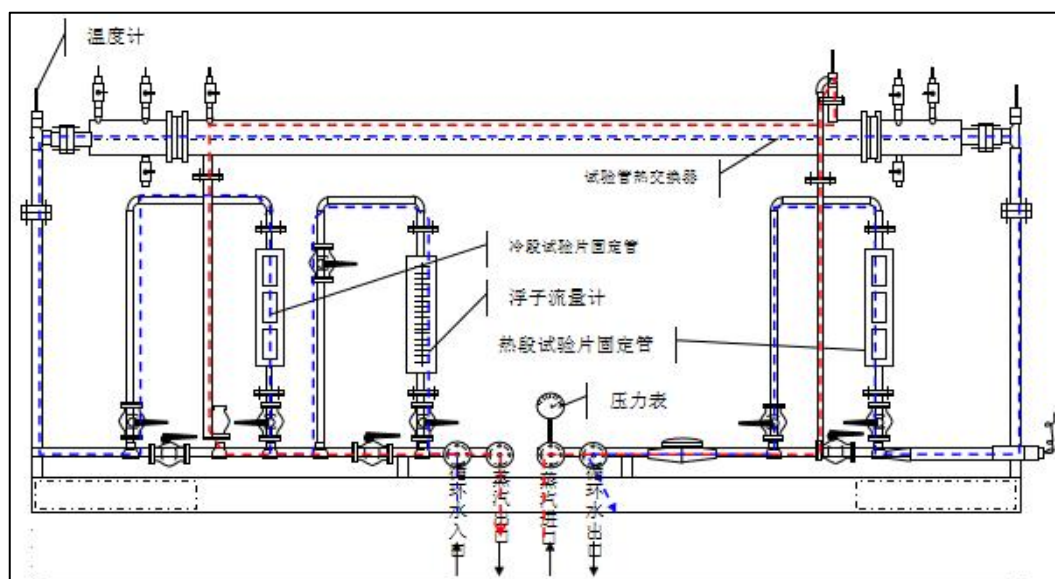
案例六：钢铁循环水水质动态监测与水处理优化技术

1.技术适用范围

适用于钢铁行业循环水处理系统。

2.技术原理及工艺

水质动态监测装置配有金属转子流量计、电子式温度控制系统和蒸汽调节阀等控制元件，不仅可以观察循环水流量和连续记录循环水流量变化，而且还可根据温度控制装置，自动调节蒸汽阀门开度，实现循环水进出口水温差维持在一个恒定范围，提高自动控制精度。在不影响循环水正常使用的条件下，利用通过旁路的循环水量监测来验证循环水系统水处理效果，在所设定的高温升、低流速的极端工况条件下，模拟监测循环水系统的腐蚀速率、粘附速率和粘附物成分，通过精细调整水处理药剂投加量，实现与系统水质精准匹配，提升系统水处理效果。同时，结合所在区域的原水水质特点及各循环水系统运行工况负荷和设备材质，优化系统水质控制标准及水处理方案，提高循环水系统浓缩倍数，降低系统新水消耗和排污量，减少系统药剂消耗。



工艺流程示意图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	项目	参数
1	蒸汽源蒸汽压力	2.5 ~ 5.0kg/cm ²
2	装置循环水量、流速	0.95m ³ /h、0.5m/s
3	进出口水温温差	△T=20℃
4	设计热交换量	50700kcal/m ² h
5	试验周期	21 天
6	汽包	设计压力 1.60MPa，容积 0.3m ³

4.技术特点及先进性

碳钢挂片腐蚀速率小于 0.015mm/a，黄铜腐蚀速率小于 0.0025mm/a，远低于国家标准；试验管平均粘附速率小于 10mg/（cm²·月），最末端粘附速率小于 15mg/（cm²·月），满足国家标准。该装置能确保 21 天连续稳定监测的需求，进出口水温温

差不仅能稳定控制在 $20\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的范围内，还能模拟循环水在换热器设计流速（ $0.3\sim 2.0\text{m/s}$ ）下的水处理效果。

5.应用案例

项目名称：宝钢湛江钢铁循环水系统水质动态监测项目

项目概况：宝钢湛江钢铁有限公司建设有炼铁、炼钢、热轧、厚板、冷轧及配套公辅设施等一整套现代化全流程钢铁生产工艺设备。常年受地理位置、气候及地质的影响，工业原水水质氯化物偏高且波动幅度大（平均值 92.18mg/L ，最大值 149mg/L ），而前期系统氯化物标准控制偏低，当工业原水氯化物处于高位时，会导致全厂循环水系统浓缩倍数偏低，使得取用水总量和排污总量的显著增加。自 2020 年起，湛江钢铁借助水质动态装置，对全厂各循环水系统水质控制标准和水处理方案进行不断优化调整，通过水质动态装置验证不同水质条件下，采用恰当的水质稳定处理方案，确保生产主线各换热设备的换热效率不下降，最终实现把循环水氯化物控制上限由 300mg/L 提升至 500mg/L ，实现全厂清循环系统平均浓缩倍数由 2020 年 2.81 上升至 2022 年 3.78，年节水和减排量约 92.58 万立方米。

6.推广前景

钢铁循环水水质动态监测与水处理优化技术，精准模拟循环水系统日常运行控制中的腐蚀、结垢和微生物生长情况，可结合区域水质的特点，制定符合系统本身的水处理方案和水质控制标

准，以确保系统日常控制处于安全、稳定、经济运行的状态，实现废水源头减量和资源化利用，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 5%，年节水量 100 万立方米。

技术支撑单位：宝钢湛江钢铁有限公司

联系人：靳创杰

联系方式：13729093105

案例七：转炉钢渣预处理底打水钢渣热焖技术

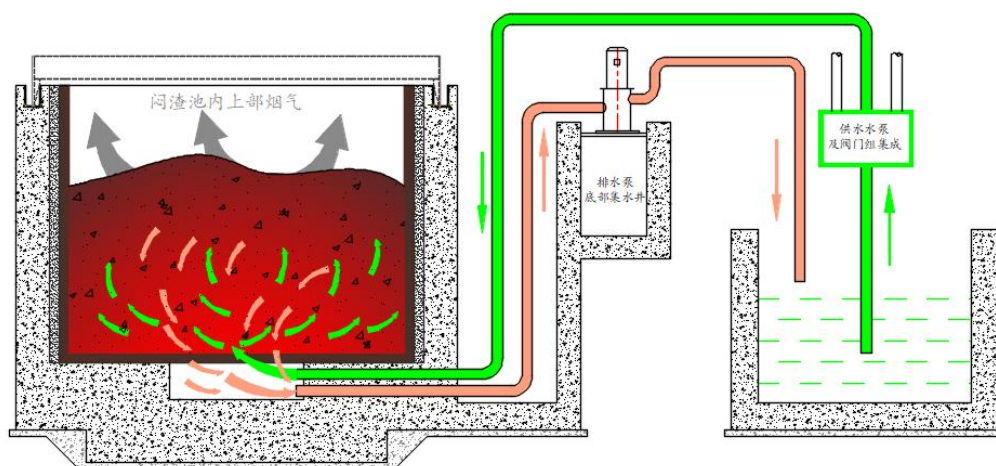
1.技术适用范围

适用于钢铁行业循环水处理系统。

2.技术原理及工艺

该技术是一项通过从焖渣池底部缓慢注水来处理钢渣的工艺。其过程主要分为汽蒸、浸泡和煮渣三个阶段：注水初期，水被高温钢渣汽化成饱和水蒸气(后期形成 $350 \sim 450^{\circ}\text{C}$ 的过饱和蒸气)，其上升过程对渣层进行均匀的“汽蒸”，实现快速降温并初步促进游离氧化钙 (f-CaO) 和游离氧化镁 (f-MgO) 的消解；中期钢渣逐渐被浸没；后期则完全浸泡在水中进行“煮渣”，使 f-CaO 和 f-MgO 充分与水反应生成 Ca(OH)_2 和 Mg(OH)_2 ，利用反应中的体积膨胀效应促使钢渣剧烈破裂和粉化，从而将金属铁有效剥离以便于磁选回收。

该工艺的核心优势在于彻底解决了安全隐患：可燃气体在渣池顶部即刻燃烧，避免了聚集和爆燃。最终处理后钢渣粒度 $\leq 20\text{mm}$ 的比例不低于 70%，极大提高了金属铁的收得率，且尾渣中的 f-CaO 和 f-MgO 基本被完全消解，稳定性强，非常利于后续综合利用。



工艺原理图

3.技术指标

注水初期产生的过饱和蒸汽温度范围为 $350 \sim 450^{\circ}\text{C}$ 。处理后的钢渣粉化效果显著，粒度 $\leq 20\text{mm}$ 的颗粒占比不低于 70%。尾渣中的游离氧化钙（f-CaO）和游离氧化镁（f-MgO）基本达到完全消解，稳定性强。该工艺能有效剥离金属铁，使后续磁选过程的金属铁收得率更高。

4.技术特点及先进性

每吨钢渣循环水给水量由 $3.5\text{m}^3/\text{h}$ 下降到 $0.5\text{m}^3/\text{h}$ ；每吨钢渣预处理循环水蒸发消耗量由 $400\text{L}/\text{吨渣}$ 下降到 $260\text{L}/\text{吨渣}$ ；底部给水钢渣热焖技术改造完成后可以改善焖渣效果，提高金属铁回收率。

5.应用案例

项目名称：渣处理车间改造底部给水钢渣热焖技术项目

项目概况：在原有焖渣池基础上，改造打水工艺，由上打水改为底部打水（反向注水），对焖渣池主体设备进行改造，配套烟气收集和净化设备，给水量根据工况自动调整，降低钢渣预处理循环水给水量、降低钢渣预处理循环水蒸发消耗量。该项目年处理 100 万吨钢渣减少循环水蒸发 14 万 m^3/a ；减少用电量 110 万 kwh ；底部给水钢渣热焖技术改造完成后可以改善焖渣效果，提高金属铁回收率。经济效益也十分可观，该项目节水量 14 万立方米/年，节水效益 68.6 万元/年。

6.推广前景

转炉钢渣预处理底打水钢渣热焖技术主要应用于钢铁企业改造或者新建的焖渣池，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%，年节水量 14 万立方米。

技术支撑单位 1：唐山东华钢铁企业集团有限公司

联系人：雷明志 联系方式：15176520063

技术支撑单位 2：北京合壹北科环保科技有限公司

联系人：冯建华 联系方式：13601150493

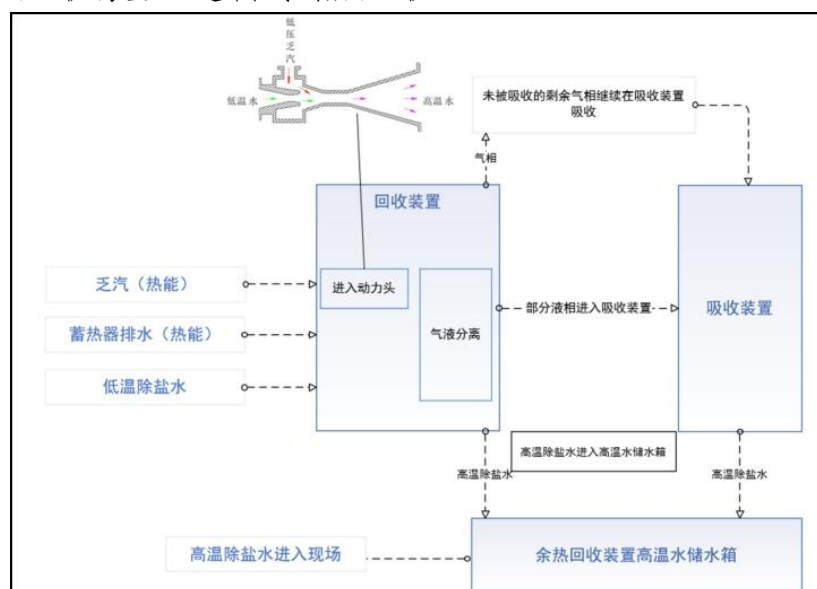
案例八：转炉汽化系统乏汽回收技术

1.技术适用范围

适用于钢铁行业乏汽回收利用。

2.技术原理及工艺

该技术利用动态两相流原理，在装置内部设计使低温水与低压乏汽在吸收器内形成良好的接触条件，实现汽—液两相之间的高效传热传质过程。在吸收动力头前设置汽水分离装置，分离出的乏汽经过吸收动力头被低温水吸收后进入余热回收装置，高温直排水直接进入余热回收装置。利用伯努利（文丘里管）原理，通过调节吸收动力头进口管径，使吸收动力头进口形成负压环境，在负压条件下，实现管道内部直排水与乏汽的长距离输送和100%进入回收装置进行余热回收。



乏汽回收流程简图

3.技术指标

该技术利用闭式凝结水回收装置对排水及乏汽进行回收，同时根据回收水的品质，进行分类利用，含盐水需要做除盐水软化后进行利用；通过热能回收等装置将乏汽的汽化潜热加热低温水，将 10~20℃ 的低温水加热到 70~85℃ 的高温水，进入低压除氧器，减少除氧器蒸汽消耗量。

4. 技术特点及先进性

（1）回收方式：吸收式乏汽回收主要采用直接回收和间接回收两种方式。对于水冷机组，间接回收更为合适，因为系统改造较为困难；而对于空冷机组，直接回收更为合理。

（2）技术原理：吸收式热泵利用少量的高温热源驱动，将低温热源的热能提升到中温，从而提高热能的利用效率。其性能系数大于 1，通常在 1.5~2.5 之间。

（3）应用场景：吸收式热泵适用于各种厂矿企业的外排低压乏汽或锅炉定连排的高温低压乏汽的回收，特别适用于冶金、石化、机械等行业。其输出热水的温度在 70~90℃ 左右。

（4）经济性和环保性：吸收式乏汽回收设备在效率、经济性和环保性方面具有明显优势。通过有效回收低品位热量，提升能效并减少环境污染。

5. 应用案例

项目名称：炼钢厂 150 吨转炉汽化系统直排水、乏汽回收利用 EMC 节能项目

项目概况：包钢钢联股份有限公司炼钢厂 150 吨转炉汽化系统之排水和乏汽回收利用 EMC 节能项目 2023 年 9 月 5 日正式投产运行，截至 2025 年 3 月水量回收 15.8 万 m³、热量回收 6.88 万 GJ，回收效益总计 420.89 万元。按照包钢集团能源介质价格明细表，全资子公司除盐水交易价格为 15.927 元/立方米，热水价格为 25.3 元/吉焦，电价为 0.38 元/度，根据核算结果，截至 2025 年 3 月折算除盐水回收水量 15.8 万 m³，热水热量回收 6.88GJ，电量使用量 12.79 万 kWh，该项目预计年总收益为 288.01 万元。

6.推广前景

转炉汽化系统乏汽回收技术主要在钢铁行业炼钢厂转炉汽化系统直排水和乏汽项目中应用，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 15%，年节水量 61 万立方米。

技术支撑单位：包钢集团节能环保科技产业有限责任公司

联系人：胡峰

联系方式：13347180919

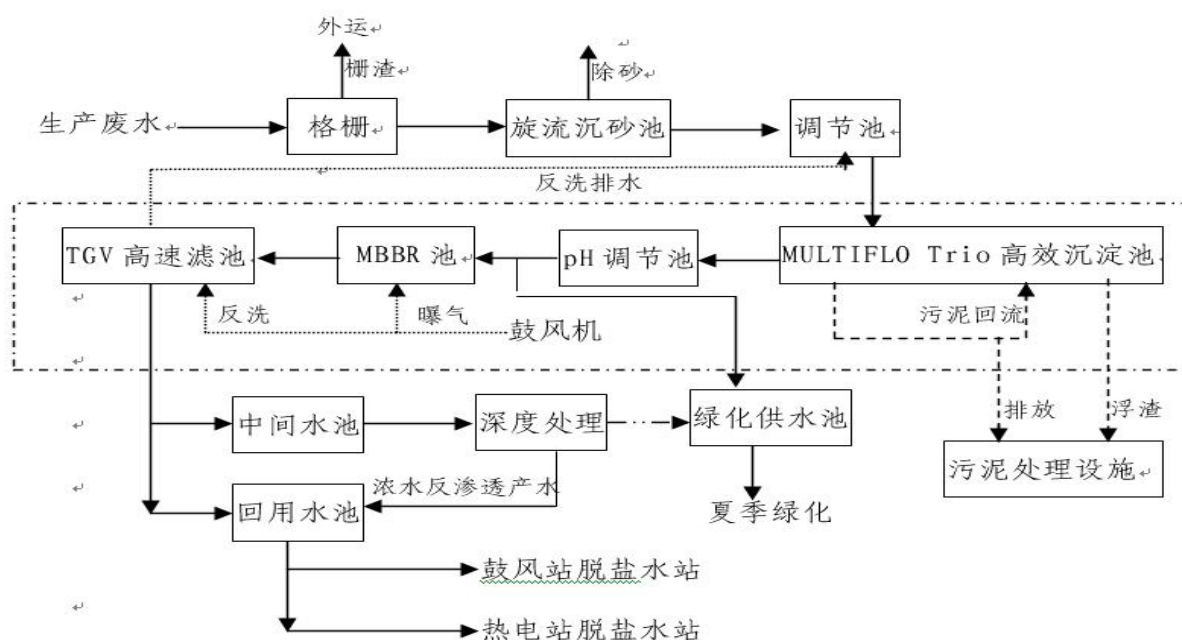
案例九：钢铁废水零排放处理和回用技术

1.技术适用范围

适用于钢铁行业废水处理回用。

2.技术原理及工艺

在钢铁企业采用区域废水处理和全厂废水集中处理相结合的方式，使全厂排放的生产废水和生活污水全部得到处理。根据用户对水质的不同需求，分别生产三种产品水，一级水为绿化用水；二级水为预处理产水和反渗透产水的勾兑，送至脱盐水处理站，作为其原水及循环水系统补水使用；三级水为软化水，供给软水用户。深度处理产生的浓盐水外供冲渣、热焖渣和烧结拌料，达到全厂零排放。焦化废水处理系统采用“预处理+超滤+反渗透”的双膜法工艺流程。厂区集中污水处理站工艺如下。



工艺流程示意图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	项目	单位	参数
1	pH	/	7~9
2	悬浮物	mg/L	<5
3	化学需氧量	mg/L	≤30
4	油类	mg/L	<1
5	暂时硬度	mg/L (以 CaCO ₃ 计)	<100
6	钙硬度	mg/L (以 CaCO ₃ 计)	<250
7	碱度	mg/L	<100
8	浊度	NTU	≤3
9	氨氮	mg/L	≤5
10	生化需氧量	mg/L	≤10

4.技术特点及先进性

全厂废水 100%回用，达到全厂零排放，提高水资源的利用率。

5.应用案例

项目名称：宝钢集团八钢公司工业废水深度处理及综合利用工程

项目概况：八钢公司全年取水量约 3278 万立方米。该项目针对八一钢铁全厂废水，建设规模为 60000 立方米/天的处理设施，包括 MULTIFLO Trio 高效沉淀池，MBBR 移动床膜生物反应器、TGV 高效过滤、超滤系统、反渗透装置、浓水反渗透装置、

钠离子交换系统等，投资 19900 万元，占地面积 38000 平方米。
能够实现 100%废水回用，年节约新水 1275 万立方米。

6.推广前景

废水零排放处理和回用技术可广泛应用于钢铁行业，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%，年节水量 12750 万立方米。

技术支撑单位：宝钢集团新疆八一钢铁有限公司

联系人：范新兵 联系方式：13579874242

案例十：全流程硅钢废水零排放技术

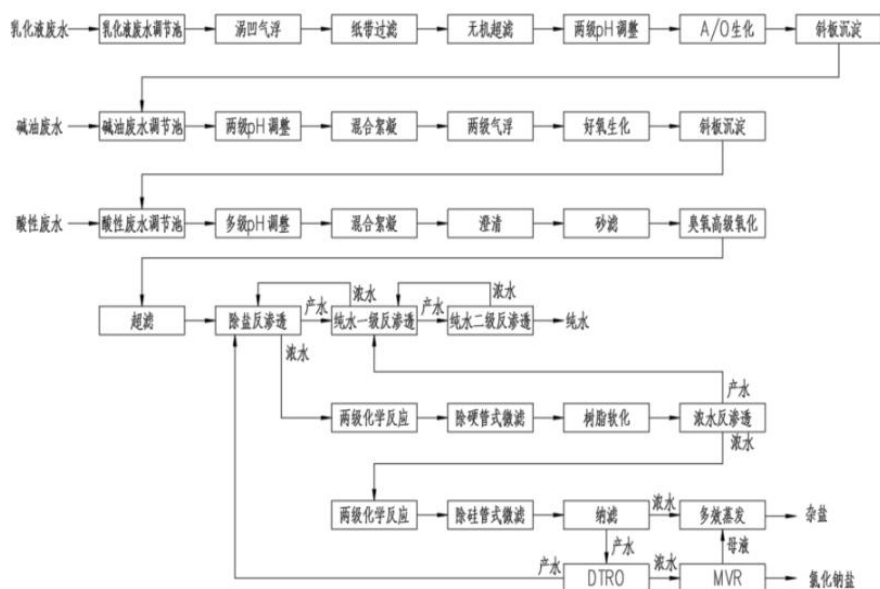
1.技术适用范围

适用于钢铁行业废水循环利用。

2.技术原理及工艺

该技术主要针对钢铁联合企业硅钢工序的生产废水，通过一系列如化学软化、高级氧化、反渗透、电渗析、纳滤、蒸发结晶、双极膜等技术，对废水进行深度处理，产出纯水，深度处理产生的浓盐水产出工业氯化钠产品。

该技术工艺流程：硅钢机组废水经中和、生化、混凝沉淀、高级氧化处理后，产水通过超滤+三级反渗透工艺制备纯水回用于机组，反渗透浓水通过除硬除硅、反渗透浓缩、纳滤分盐预处理后蒸发结晶，实现机组废水的零排放。



技术路线图



技术装备实拍图

3.技术指标

该技术产出的纯水电导率 $\leq 10 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，氯化物 $\leq 1\text{mg}/\text{L}$ ，综合产水率大于 92%。

产出的工业氯化钠达到《工业盐》（GB/T5462）标准中精制工业盐中工业干盐二级标准。

纯水技术指标一览表

序号	水质项目	单位	纯水水质标准
1	pH	/	6.5 ~ 9
2	SS	mg/L	未检出
3	全硬度	mg/L (以 CaCO_3 计)	微量
4	Ca 硬度	mg/L (以 CaCO_3 计)	微量
5	M ⁻ 碱度	mg/L (以 CaCO_3 计)	未检出
6	氯离子	mg/L (以 Cl^- 计)	<1
7	硫酸根离子	mg/L (以 SO_4^{2-} 计)	未检出
8	可溶性 SiO_2	mg/L (SiO_2 计)	<0.1
9	全铁	mg/L (以 Fe 计)	微量
10	蒸发残渣 (溶解)	mg/L	/
11	电导率	$\mu\text{S}/\text{cm}$	≤ 10

工业干盐技术指标一览表

指标	氯化钠 (%)	水分 (%)	水不溶物 (%)	钙镁离子 (%)	硫酸根离子 (%)
参数	≥ 97.5	≤ 0.8	≤ 0.2	≤ 0.6	≤ 0.9

4.技术特点及先进性

通过混凝+管式微滤预处理高效除硅除硬技术，预处理系统降低 30%的加药量，钙镁离子去除率均超过 99%，硅去除率达到 76%，产水浊度 $\leq 1\text{NTU}$ 。同时使用管式膜进行预处理大大缩短了工艺流程，与传统预处理工艺相比减少占地面积 50%。

通过多级膜系统耦合深度处理高盐浓水高效回收技术，RO+NF+DTRO 联用集成系统资源化高盐浓水高效处理技术，经

过多膜耦合系统实现产水回用和盐分资源回收，硅钢废水处理后综合产水率可达到 92%以上。

5.应用案例

项目名称：宝山钢铁股份有限公司无取向硅钢产品结构优化配套废水处理站

项目概况：宝钢股份宝山基地全年取水量约 7000 万吨，所取水制成工业新水，用于焦化、炼铁、炼钢等生产单元。该项目废水处理设计规模为 78.84 万吨/年，主要针对宝山钢铁股份有限公司无取向硅钢产品废水进行处理，通过生化处理、化学软化、高级氧化、膜浓缩、分盐和 MVR 蒸发工艺，将废水处理成为纯水以及工业氯化钠，纯水回用于宝钢股份宝山基地，减少了取新水量，实现了无取向硅钢产品废水的资源化利用，2023 年和 2024 年回用水量分别为 50.2 万 m³和 47.14 万 m³，项目的实施具有较好的经济、环境和社会效益。

6.推广前景

全流程硅钢废水零排放技术主要应用于钢铁行业硅钢产品工序废水处理领域，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 50%，年节水量 700 万立方米。

技术支撑单位：宝武水务科技有限公司

联系人：朱筱滢

联系方式：18019301628

案例十一：钢铁生产全流程水资源高效利用工艺技术

1.技术适用范围

适用于钢铁行业废水循环利用。

2.技术原理及工艺

该技术采用的主要工艺有：冷轧废水酸洗含磺酸基团的两性水溶性高分子聚合物添加剂；物化—生化—膜高效集成冷轧废水零排放技术工艺；氨、氮、氟、重金属协同治理技术工艺；废水两级脱盐工艺及技术，丙烯酸三元共聚物为主成分的膜阻垢剂、在线杀菌技术和硫酸钙结垢清洗技术；耐硅酸盐、超高硬度、高含盐量的阻垢缓蚀技术。

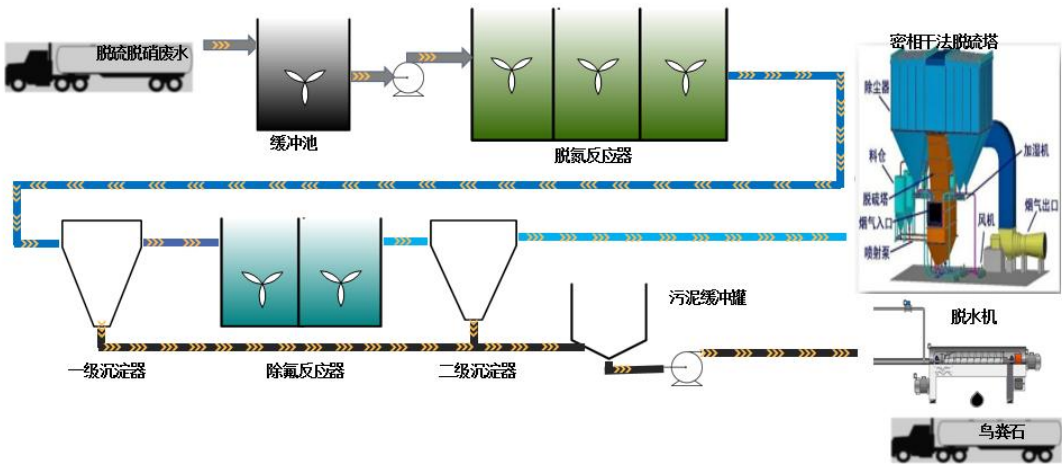
3.技术指标

钢铁废水脱盐反渗透膜寿命可达 11 年，高盐水反渗透膜寿命可达 8 年。水循环利用率达到 98%以上，吨钢外排水量低至 0.03m^3 。实现废水处理成本不足 10 元/吨，低于国内同行业的 15 元/吨。

4.技术特点及先进性

（1）开发钢铁企业高难废水系统关键处理技术及零排放技术。针对冷轧废水首次开发了酸洗含磺酸基团的两性水溶性高分子聚合物添加剂，从源头上减少了废酸、酸性废水量。从源头增加废酸、酸性漂洗水、酸性废水进入酸再生的处理量，减少氯离子进入冷轧废水的总量。研发物化—生化—膜高效集成冷轧废水

零排放技术；针对高炉煤气喷碱洗涤水氨氮、总氮的高效去除，开发了分子筛、电氧化还原耦合脱氮技术；针对脱硫脱硝制酸废水开发了氨、氮、氟、重金属协同治理技术。最终实现冷轧废水零排放和脱硫脱硝无害化处理。

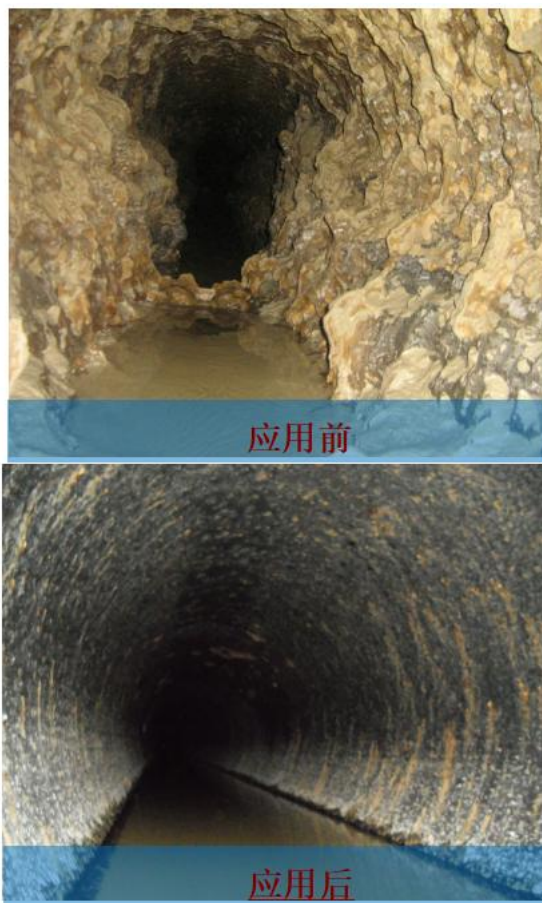


氨、氮、氟、重金属协同治理技术

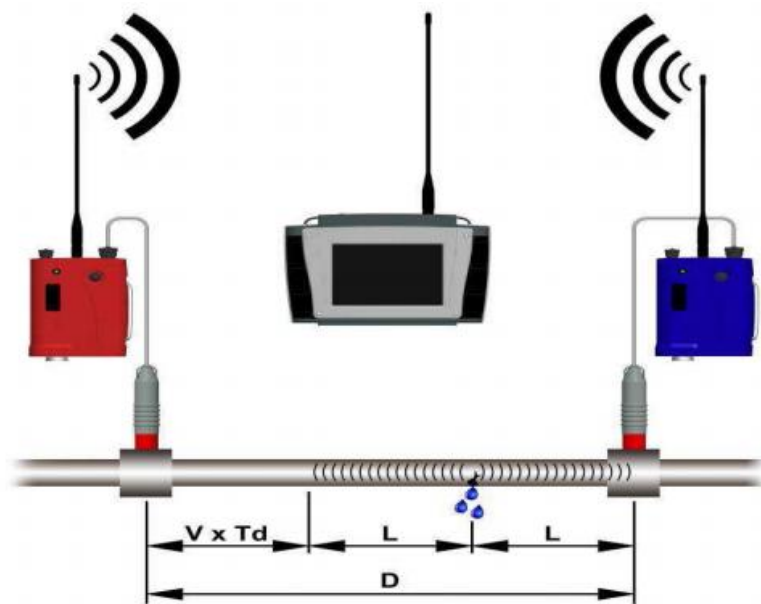
（2）研究废水两级脱盐工艺及技术，开发丙烯酸三元共聚物为主成分的膜阻垢剂、在线杀菌技术和硫酸钙结垢清洗技术，解决了废水脱盐膜污堵和膜寿命短的问题，实现了钢铁废水脱盐反渗透膜寿命达 11 年，高盐水反渗透膜寿命达 8 年。

（3）开发耐硅酸盐、超高硬度、高含盐量的阻垢缓蚀技术，研究了高盐水低成本资源化、零排放的处理技术，即全部用于高炉冲渣，盐和水渣经细磨后全部用于建材，实现高盐废水处理及资源化利用。

以 PCA、HEDP、AA/AMPS、硫酸锌、PAC、PAM 为对象开发药剂，阻垢率 98%以上，腐蚀速率 0.02mm/a 以下。



(4) 结合单项节水技术，开发钢铁企业水系统内部以及各个水系统之间相辅相成的集成水资源高效梯级利用技术及数字化在线检漏技术，实现了大型钢铁联合企业全流程用水高效利用，循环率达到 98%以上，吨钢外排水量低至 0.03m³，管网漏损率低至 2%。



管网检漏技术

5.应用案例

项目名称：钢铁生产全流程水资源高效利用工艺项目

项目概况：开展钢铁生产全流程水资源高效利用关键技术研究及应用项目，实现水重复利用率达 98% 以上，外排水实现 $0.03\text{m}^3/\text{t}$ 钢排放，该项目成果整体达到国际先进水平，其中延长反渗透膜使用寿命相关技术达到国际领先水平。项目实施后，大幅减少外排废水量和污染物总量，实现钢铁企业与自然环境和谐发展。突破瓶颈，为水资源高效利用提供有力支撑，解决核心问题，引领行业发展；首钢股份用水效率提升明显，水重复利用率达到 98.68%，提升工艺水平，适应时代发展；首钢股份减少外排废水量 1008 万 m^3/a ，践行绿色发展。

6.推广前景

钢铁生产全流程水资源高效利用工艺技术主要应用于钢铁行业高难度废水的无害化处理和“零排放”，有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 50%，年节水量 1000 万立方米。

技术支撑单位：首钢股份公司迁安钢铁公司

联系人：王旭旦

联系方式：17731590920

三、石化化工行业典型案例

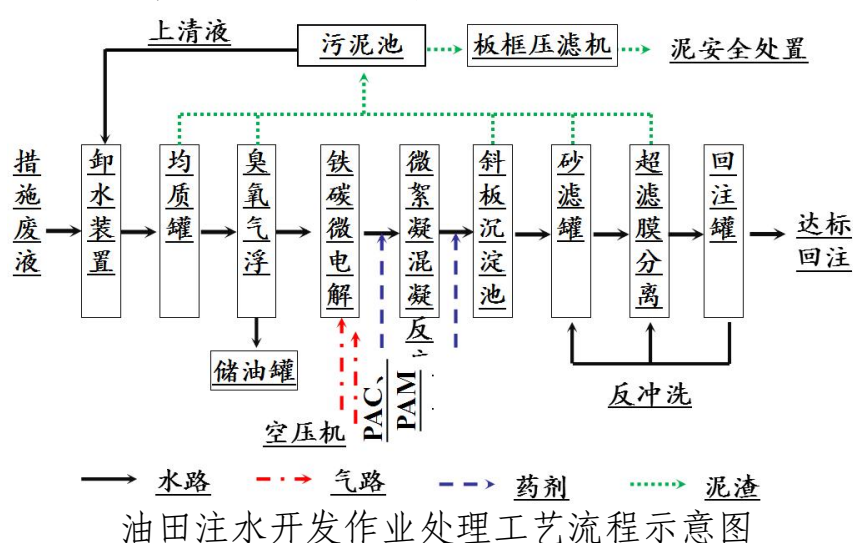
案例一：油气田开发钻试废水处理及资源化利用技术

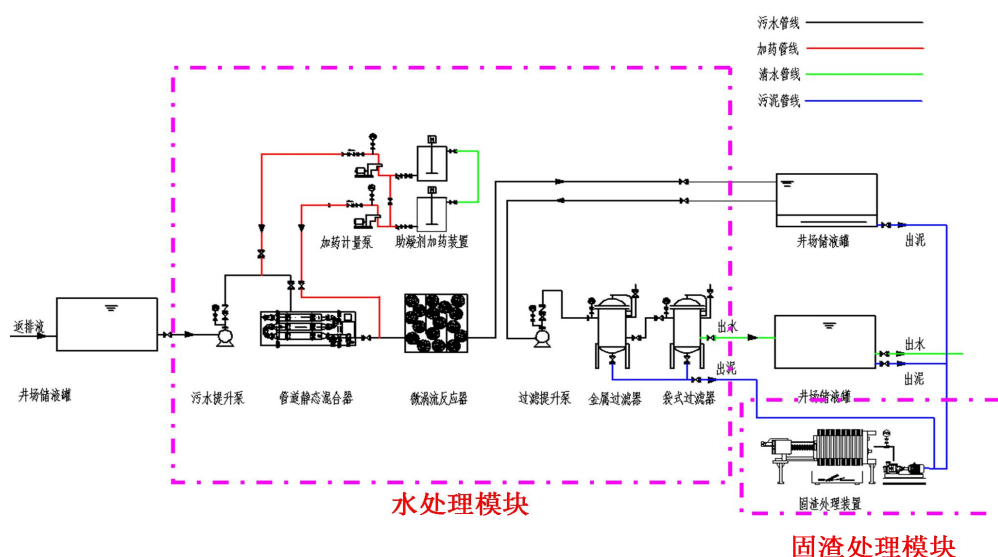
1.技术适用范围

适用于石油开采业废水循环利用。

2.技术原理及工艺

针对油田开发井场废水高含聚丙烯酰胺或胍胶高分子聚合物、高含乳化油、富含小粒径悬浮物且含高价金属离子的特点，综合运用臭氧气浮催化氧化、“合金凝聚”造粒混凝、“化学螯合一树脂交换”离子控制等多种工艺技术进行处理，攻关研究聚合物胶体破胶破乳、小粒径悬浮物固液分离、金属离子屏蔽等技术难点，有效提高油田废水的处理利用率。针对油田和气田分别形成了2种处理工艺。油田采用“臭氧气浮降粘除油—铁碳微电解改性—絮体回流混凝反应—斜板沉淀—超滤膜分离”为主体的工艺流程。气田采用“沉降除砂—絮体回流混凝—金属网过滤—袋式过滤—清污掺混—离子屏蔽”工艺。





气田井场处理回用于配制工作液工艺流程示意图

3.技术指标

降粘：黏度在 60min 内由 15mPa.s 降至 3mPa.s 以下；

破胶：聚合物分子量由最高 850 万单位降至 23 万单位；

除油：含油从 150mg/L 减少至 10mg/L；

除悬浮物：实现小粒径颗粒捕集，处理后絮体沉降速度由 0.5mm/s 提高至 1.2mm/s，悬浮物粒径中值 $\leq 1\mu\text{m}$ ；

离子去除：水总硬度由 1600mg/L 降至 450mg/L，铁离子由 55mg/L 降至 5mg/L，硼离子由 25mg/L 降至 4mg/L。

4.技术特点及先进性

该技术实现多项突破，如研发的臭氧气浮催化氧化联合处理技术、“絮体回流”混凝技术、基于化学螯合一树脂交换的离子屏蔽与去除技术。节水效益显著，2017 年至今，在长庆油田建立 7 座压裂废水集中处理场站，累计实现 36 万立方米废水达标处理后回注油层或再利用，处理后油气田井场作业废水再生利用为油

田注水作业和再用于配置压裂、洗井等工作液，“单位水价”为 30 元/立方米左右，共完成销售额 1080 万元，利润 6840 万元。减少油田污水排放，污染物减排 5.27 万吨，其中 COD 减排 4.8 万吨、悬浮物减排 0.27 万吨，有效缓解区域水环境污染问题。

5.应用案例

项目名称：油田废水微电解处理技术应用项目

项目概况：长庆油田水资源匮乏，而压裂、酸化、老井措施作为油田开发主体技术，且废水存在油水难分离、小粒径颗粒物难去除等问题无法再利用等问题，油田面临“生产无水可用、废水无处可排”的难题。该项目突破“聚合物胶体破胶破乳、小粒径悬浮物固液分离、金属离子屏蔽”三大关键技术瓶颈，形成微电解催化氧化、微界面凝聚、离子控制、陶瓷膜过滤四项废水处理关键技术。该技术的规模化应用，年处理和再生利用废水 300 余万 m³，节约第三方处理费用和清水费约 57000 万元，减少油田污水排放，有力地促进长庆油田绿色、可持续发展。

6.推广前景

油气田开发钻试废水处理及资源化利用技术主要应用于油气田行业及相关领域。目前处于研发阶段，阶段性成果具备一定节水潜力，可带来较好的社会经济效益，年节水量 300 万立方米。

技术支撑单位：中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院

联系人：范婧

联系方式：18629193592

案例二：海上压裂压驱节水工艺技术

1.技术适用范围

适用于石油开采业废水循环利用。

2.技术原理及工艺

该技术采用过滤海水来配制压裂液、压驱液（即海水基压裂液、压驱液体系），配合增产作业支持船和连续混配装置，实现压裂液实时配注，减少液体存储所需的空間，并且可以大大提高作业时效。海水基压裂液、压驱液由耐盐稠化剂、抗盐交联剂、胶液保护剂、耐盐驱油剂等添加剂组成，可以用过滤海水直接配制。海水基压裂液具有抗盐能力强、耐高温、悬砂能力好、储层保护性能优异、可连续混配等特点。海水基压驱液具备低摩阻、耐盐和高洗油效率等优点。现场作业采用海水基压裂液+连续混配装置+增产船模式实现海上大规模压裂压驱。

3.技术指标

耐温 180℃ 的海水基聚合物压裂液体系在海水中具有速溶性（溶胀 8min 后的溶液黏度达到最终黏度的 84.3%）、耐高温（在 180℃ 下剪切 90min 后的黏度大于 60mPa·s）、高黏弹性、低残渣（残渣含量 45mg/L）的特点。

耐温 180℃ 的海水基植物胶压裂液体系可以用矿化度 40000mg/L 以内的过滤海水直接配制，耐温达 180℃，抗盐植物胶速溶 5min 内黏度可达到最终黏度的 80%。

海水基压驱液体系可用海水或纳滤海水直接配制，界面张力可达 10^{-3}mN/m 数量级，降阻率达 80% 以上，实现降阻造缝、补充地层能量、扩大波及体积、提高洗油能力的复合效应。

4. 技术特点及先进性

(1) 通过疏水抗盐聚合物增稠剂、物理可逆交联剂、高温稳定剂、高效螯合剂研制，开发了一套耐温 180°C 的海水基聚合物压裂液体系，该体系在海水中具有速溶、耐高温、高黏弹性、低伤害的特点；

(2) 通过抗盐植物胶增稠剂、高温交联剂、螯合调节剂研制，开发了一套耐温 180°C 的海水基植物胶压裂液体系，该体系在海水中具有速溶、耐高温、携砂能力强、螯合能力强的特点；

(3) 通过耐盐稠化剂、高效驱油剂研制，形成了一套可海水或纳滤海水配制的水基压驱液体系，该体系具有低摩阻（降阻率 $\geq 80\%$ ）、高洗油效率、超低界面张力（ 10^{-3}mN/m ）的特点；

(4) 海水基压裂液可用过滤海水连续混配，满足深层高温储层大规模压裂作业需求，解决了海上压裂淡水资源运输、储存困难的难题，大幅提高了海上压裂作业时效。

5. 应用案例

项目名称：高温海水基压裂液、压驱液应用项目

项目概况：通过胍胶改性合成速溶型抗盐胍胶，并辅助螯合调节剂、高温交联剂、温度稳定剂等添加剂，开发耐高温（ 180°C ）、

抗盐（矿化度 30000 ~ 40000mg/L）、速溶的海水基压裂液体系。通过引入耐盐单体，合成耐盐稠化剂和高效驱油剂，形成高洗油效率、低摩阻、耐盐的海水基压驱液体系。传统压裂液主要依赖淡水资源，单口低渗井压裂压驱开发平均耗水量高达 1.5 万 ~ 2.5 万立方米，采用淡水配液不适用于海上大规模开发。海水基压裂液通过直接利用海水或经简单处理的海水替代淡水，依据目前海上低渗储层改造进展，预计未来 5 年可应用超 230 井次，节约淡水超 235 万吨，预计可间接创造经济效益超 85 亿元，直接经济效益 3.9 亿元。

6.推广前景

海上压裂压驱节水工艺技术可应用于海上低渗储层改造作业，目前处于研发阶段，阶段性成果具备一定节水潜力，可带来较好的社会效益。

技术支撑单位：中海油田服务股份有限公司

联系人：潘江浩

联系方式：18511318399

案例三：改性塑料干式真空节水减污降碳协同处理装备

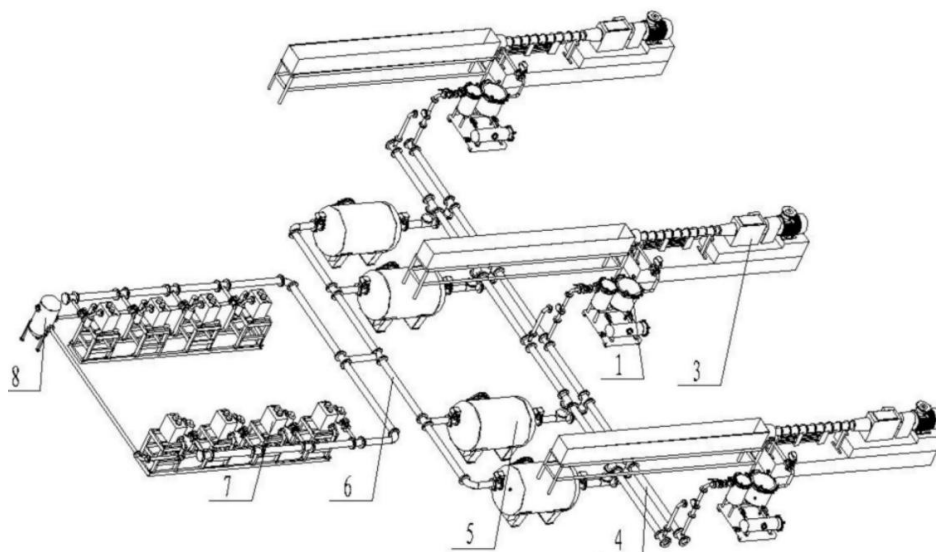
1.技术适用范围

适用于塑料行业水循环系统改造。

2.技术原理及工艺

该装备基于多级废气物理分离与智能控制技术，通过干式真空技术实现高效除废气和节水。系统由预处理单元、干式真空装备组及智能化控制模块构成，预处理单元分为一级处理器和二级处理器：一级处理器采用动能捕集技术，利用交错排列的动能捕集板和导流板，使含挥发性有机物（VOCs）、小分子物质及水分的废气以 S 型路径流动，气体与捕集板高速碰撞后，70%以上杂质因动能衰减被截留在捕集板表面并沉降到底部排液管；剩余气体进入二级处理器，通过螺旋导板引导气体沿桶体切线方向旋转，借助滤筒外侧的滤布进行气固分离，洁净气体经缓冲罐进入真空装备组。真空装备组采用并联爪型干式真空装备，替代现有的水环真空工艺，由 PLC 控制器实时监测压力传感器数据，动态调节真空装备启停数量及频率，维持系统真空度 $\leq 200\text{Pa}$ 。

针对高凝固点物料，通过导热油控温的列管式换热器将气相 VOCs 冷凝为液相，经收集装置定期回收，实现不停机连续作业。突破传统水环装备依赖水膜阻力的局限，以干式无油无水工艺消除废水排放，VOCs 处理后浓度 $\leq 50\text{mg/m}^3$ 并符合国家标准。



装备原理图

3.技术指标

技术指标一览表

指标	改性塑料干式真空节水减污降碳协同处理装备	水环装备中央真空站	对比优势
VOCs 排放浓度	$\leq 4.0\text{mg/m}^3$	无组织排放	环境友好，满足国家标准
废水排放	零排放	3 吨废水/吨塑料 或无组织排放	环境友好
脱挥效率	$\geq 95\%$	$\leq 60\%$	确保产品高纯度与稳定性
设计寿命	≥ 30000 小时	≤ 10000 小时	寿命延长，维护成本降低
极限真空度	$\leq 200\text{Pa}$	$\geq 2000\text{Pa}$	适应高粘度物料深度脱挥
温度控制精度	$\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 10^\circ\text{C}$	精准控温减少热敏物料降解风险
智能化水平	集成故障预警系统、远程运维	人工巡检	运维效率提升，降低成本
适用物料黏度范围	支持多种高粘聚合物	适用范围小	解决行业共性技术瓶颈

4.技术特点及先进性

(1) 多级爪型干式真空技术：开发新式多级爪型干式真空装备，无水做功，解决水污染问题。采用创新型的结构和材料设计，用来获取更高的极限压力（极限真空度 $\leq 200\text{Pa}$ ）解决高粘度物料脱挥效率骤降问题，填补高粘度聚合物的深度脱挥技术空白，产生更好的节能效果。

(2) 废气多级处理技术：挥发性有机物（VOCs）、小分子物质及水分的废气通过多级过滤，压力分区优化建立起 200 ~ 1000Pa 可调真空梯度，以适配不同黏度物料。

(3) 智能化运维技术：集成 PLC 系统，通过传感器实时监测装备的工作状态与环境参数，显著提升装备的适应性和能效；通过远程监控，使得装备的运行状态可随时查看，实现故障预警与远程诊断，实现装备的智能化管理。

(4) 建立模块化工艺数据库：收录各类工况下的真空数据参数模型，建设数据库反哺研发，并且支持同生产线迅速切换不同产品，并缩短安装调试周期。

5.应用案例

项目名称：改性塑料绿色生产技术改造项目

项目概况：该项目位于青岛胶州市，青岛海纳新材料有限公司建有 48 条改性塑料生产线，年产能 20 万吨/年。2023 年 1 月，计划总投资 2000 万元，就污水排放和 VOCS 无组织排放进行技

术改造，主要建设任务是建立干式真空中央处理系统，替代现有水环真空工艺，彻底解决污水排放和温室气体无组织排放问题。主要设备选型包括一级处理器、二级处理器、爪型干式真空装备组及智能化控制系统。项目于 2023 年 8 月竣工投运，生产运行平稳，充分验证本装备技术成熟、性能稳定，实现污水零排放，温室气体有组织集中回收。该项目节水量 60 万立方米/年，节水效益 300 万元/年。

6.推广前景

改性塑料干式真空节水减污降碳协同处理装备主要应用于聚合物等重点行业，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 60%，年节水量 1 亿立方米。

技术支撑单位：山东亿宁环保科技有限公司

联系人：姜宁

联系方式：18560268060

案例四：制气增量水处理及回用技术（对应目录 75 号）

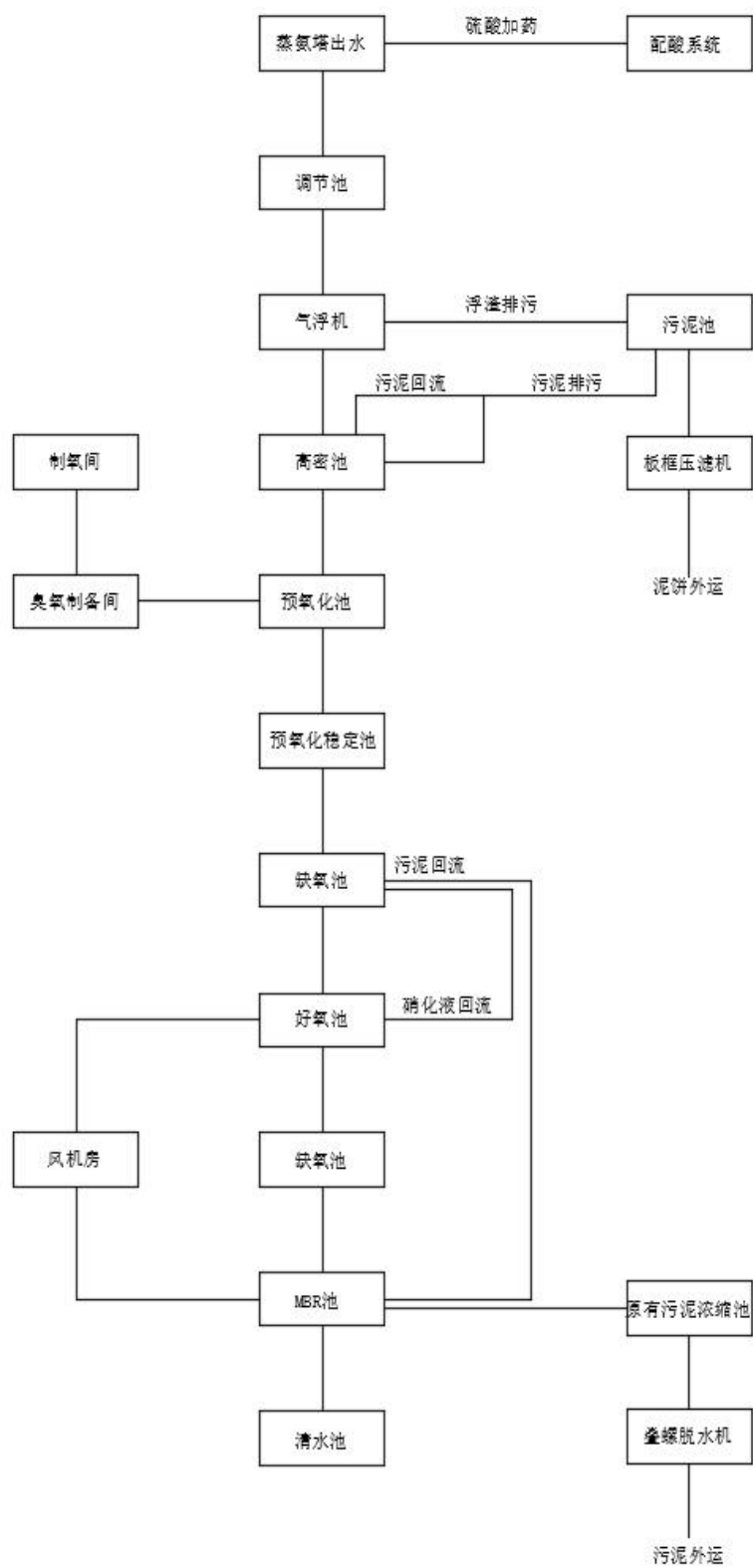
1.技术适用范围

适用于化工行业废水处理回用。

2.技术原理及工艺

该技术包括汽提工段、预处理及生化处理、中水回用等环节。

（1）汽提工段：来自氨合成工艺制气工段产生的工艺冷凝水（增量水）经过汽提脱氨将其中含有的氨氮进行分离，分离后的脱氨水进行后续处理，氨气进入氨水回收系统，制成 15%左右的氨水用于锅炉烟气脱硫、脱硝使用。（2）预处理及生化处理：污水经前端工艺蒸氨塔出水进入调节池，投加硫酸进行 pH 值调节，经泵提升进入气浮沉淀池，气浮预处理后进入高密度沉淀池（进入前投加 CaCl_2 溶液），通过生成 CaF_2 沉淀去除水中的 F 离子后进入臭氧预氧化单元，再进入主生化处理单元。。生化池出水进入 MBR 膜池，MBR 实现泥水分离，分离后的水送中水回用装置或达标排放。预处理污泥进入污泥浓缩池后通过板框压滤机降低含水率后集中处置，生化污泥也同样进入污泥浓缩池后，进入改造后叠螺污泥脱水机，达到含水率 85%后集中外运至三废炉与煤渣掺调焚烧。（3）中水回用：生化处理出水达标后，进入砂滤器和保安过滤器进行预处理，出水进入反渗透膜，回用淡水补入循环水补水系统，浓水达标排放。



工艺流程示意图 1

3.技术指标

技术指标一览表

序号	项目	单位	参数
1	pH	/	6.5 ~ 8.0
2	电导率	μs/cm	≤600
3	浊度	NTU	≤10
4	悬浮物	mg/L	≤15
5	全硬度	mg/L (以 CaCO ₃ 计)	≤50
6	氨氮	mg/L	≤30
7	COD	mg/L	≤150
8	总氮	mg/L	≤50
9	总磷	mg/L	≤1.5

4.技术特点及先进性

(1) 消除造气循环水与半水煤气的直接接触,使造气循环水变为洁净水,杜绝造气污水扩散到大气中对环境的污染。

(2) 增加回用水,节水效果明显,提高水的循环利用率。

(3) 蒸氨回收氨水,既减少氨氮污染又解决锅炉烟气脱硫脱硝的氨水。

5.应用案例

项目名称: 河北省东光化工有限责任公司制气增量水处理及回用项目

项目概况: 该项目 2020 年 4 月份进行中试成功,2020 年 8 月份开工建设。总投资 3000 万元,对合成氨生产过程中产生的

工艺废水处理及回用，装置设计处理增量水能力 $150\text{m}^3/\text{h}$ ，中水回用装置设计为 $200\text{m}^3/\text{h}$ ，回用率为 75%。自 2021 年 4 月份投入运行以来，装置运行稳定可靠。

6.推广前景

制气增量水处理及回用技术属于研发类，装置推广应用后，可以解决固定床制气工艺制气污水处理问题，可带来较好的社会经济效益。

技术支撑单位：河北省东光化工有限责任公司

联系人：周灿青

联系方式：15931732804

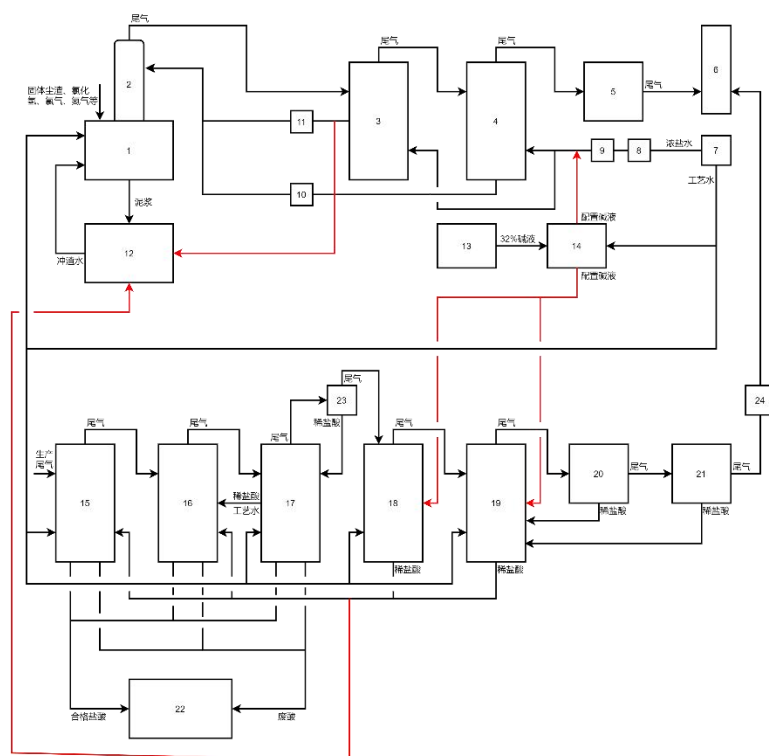
案例四：低排污氯化法钛白粉生产装置

1.技术适用范围

适用于钛白粉行业废水循环利用。

2.技术原理及工艺

该产品主要包括氯化车间、污水车间、水制备车间和综合存储罐区，核心部分涉及氯化车间的溶解槽系统、酸洗系统、生产尾气系统及事故放气系统。该系统将溶解槽系统尾气由生产尾气系统转入事故尾气系统，在确保事故系统应急功能正常的前提下，利用浓盐水（来自水制备车间副产物）作为洗涤介质，对含尘尾气进行洗涤。洗涤液通过事故塔循环泵输送至溶解槽，替代新鲜工艺水用于氯化尘渣的溶解制浆，所产生的渣浆送污水车间无害化处理。生产尾气系统以工艺水洗涤尾气，酸洗系统则利用其产生的稀酸进一步洗涤酸性物质，生成副产盐酸。因溶解槽尾气改道后无尘渣污染，副产盐酸品质提高，浓度达标后可送至综合罐区盐酸储罐作为副产品销售，无需再送污水处理。



整体工艺流程示意图

注：1－溶解槽；2－溶解槽吸收塔；3－一级事故尾气塔；4－二级事故尾气塔；5－事故风机；6－烟囱；7－水站；8－浓盐水流量计；9－浓盐水流量调节阀；10－二级事故尾气塔液位调节阀；11－一级事故尾气塔液位调节阀；12－污水车间；13－碱液储罐；14－碱液配置罐；15－一级酸洗塔；16－二级酸洗塔；17－三级酸洗塔；18－一级生产尾气塔；19－二级生产尾气塔；20－生产尾气分离器；21-盐酸除雾器；22-盐酸存储罐区；23-气液分离器；24－生产风机

3.技术指标

(1) 正常生产控制

事故塔控制：通过动态调节淋洗量，将洗涤液 pH 值稳定控制在 >5 ，固含量 $<5\%$ ，同步控制溶解槽渣浆 $\text{pH} \geq 2$ ，固含量 $\leq 30\%$ 。

尾气系统控制：精准调节新鲜工艺水进水量与盐酸排放量，

保持外排盐酸浓度 30%~31%，确保产品澄清透亮。

压力梯度控制：联动调节事故风机与生产风机，建立槽罐压力前高后低的稳定梯度，保障尾气流向可控。

（2）应急状态控制

在维持系统压力稳定的前提下，实施碱液进料量与废碱液排放量的双调控制，确保事故塔及尾气洗涤塔 $\text{pH} > 9$ 。

4. 技术特点及先进性

该技术突破传统尾气处理模式，实现应急功能与节水减排协同优化。通过工艺设备功能挖潜，在保证应急响应能力的同时，降低水耗 80% 以上，减少污水排放 20%~25%，提升副产品品质。较新增专用设备方案节省投资 60%~70%，仅通过对必要工艺设备的适应性改造实现目标，投资回收期 < 1 个月。系统稳定性提升 30%，吨产品水耗降至行业先进水平，副产品合格率提升至 99.2%。

技术指标一览表

序号	名称	参数
1	溶解槽温度℃	≤60
2	溶解槽压力 Kpa	≤10
3	事故塔压力 Kpa	-2
4	事故塔进水量 m³/h	20
5	事故塔尺寸 m	3×16
6	水洗塔尺寸 m	3×16
7	酸洗塔尺寸 m	2×12
8	风机风量 m³/h	25000
9	电机功率 kW	120
10	事故塔循环泵流量 m³/h	80
11	水洗塔循环泵流量 m³/h	80
12	酸洗塔循环泵流量 m³/h	100
13	溶解槽泵流量 m³/h	80
14	副产盐酸浓度%	≥30

5.应用案例

项目名称：山东祥海钛资源科技有限公司“基于产业共生的氯化法钛白粉自主创新核心技术与产业化”项目

项目概况：山东祥海钛资源科技有限公司满负荷正常生产情况下，年耗水量 135.63 万吨，其中氯化尾气处理工序年耗水量 13.86 万吨。项目已连续运行 3 年，运行稳定，年节水 11.16 万吨，减少污水排放 12.06 万吨。相较于原尾气处理工艺，未增加运行成本，具体运行成本方面，除设备运行老化外，仅有机泵电力消

耗，月运行耗电量 14.58 万 kwh，运行成本约 14.58 万元。尾气实现酸性气体去除率 $\geq 98\%$ ，减少酸性气体（HCl、Cl₂）排放，尾气达标排放（符合国家《大气污染物综合排放标准》）。年减少污水排放 12.06 万吨。盐酸回收率达工艺要求，减少废酸处理压力。年节水量 11.16 万吨，实现经济性与环保性平衡。

6.推广前景

低排污氯化法钛白粉生产装置主要应用于钛白粉行业，具有较好的推广前景，预计未来五年在国内氯化法钛白生产企业得到广泛普及，年节水量 120 万立方米。

技术支撑单位：山东祥海钛资源科技有限公司

联系人：吴治国

联系方式：17754306813

案例五：氯碱化工含盐废水零排放技术

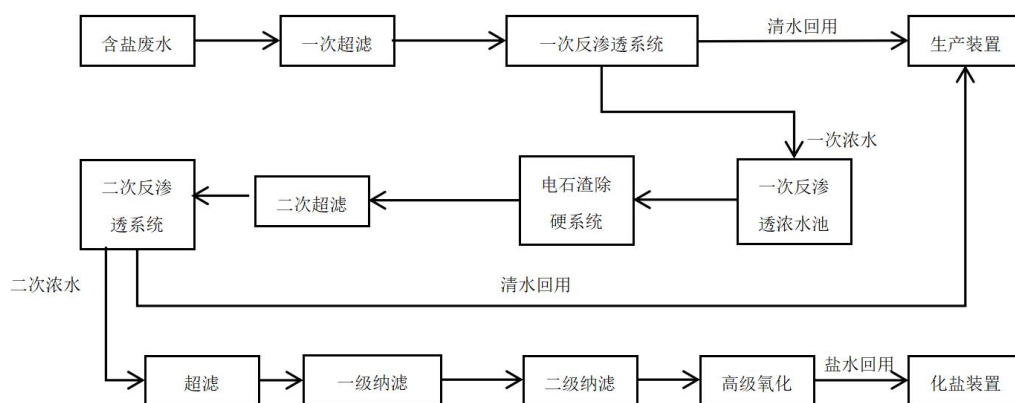
1.技术适用范围

适用于氯碱行业废水处理回用。

2.技术原理及工艺

氯碱化工产生的含盐废水主要为：循环水超浓缩倍率的排水、制纯水的废水等经超滤、反渗透处理后的含盐废水等。

工艺流程如下：含盐废水经过一次双膜处理后，清水用于生产去离子水，对产生的含盐一次浓水进入二次双膜处理；利用含盐一次浓水中富含的碳酸氢根，采用固废电石渣+烧碱进行除硬，再经二次双膜处理，清水也用于生产去离子水，对产生的含盐二次浓水进入纳滤、除 TOC 处理，然后用于生产系统化盐。



工艺流程示意图

3.技术指标

一次反渗透系统水回收率 $\geq 60\%$ ，电导率 $\leq 300\mu\text{S}/\text{cm}$ ；二次反渗透系统水回收率 $\geq 90\%$ ，电导率 $\leq 300\mu\text{S}/\text{cm}$ ；纳滤系统水回收率 $\geq 90\%$ ；高级氧化产水 $\text{COD} \leq 20\text{mg}/\text{L}$ ， $\text{TOC} \leq 10\text{mg}/\text{L}$ 。

4.技术特点及先进性

(1) 以乙炔生产中的废弃物 - 电石废渣作为含盐废水的除硬剂，减轻环境污染；以氢氧化钠作为 pH 值调节剂，降低经济成本。

(2) 以暂时硬度和永久硬度比值作为化学除硬的判断指标，采用不同工艺方案和控制指标进行化学除硬。当暂时硬度大于永久硬度时，仅采用氢氧化钠溶液调整含盐废水的 pH 值，使电石渣浆液与废水中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 发生反应，快速沉淀。

(3) 采用分质收集、分质处理、分质回用措施，实现废水零排放，且无二次污染。以“液-液”高效分离方式，分出的清水回收率 $\geq 80\%$ ，分出的二次钙镁离子浓水 $\leq 20\%$ ，直接用于化盐，再进入烧碱系统，实现分质回用和零排放。

(4) 突破采用固液分离来实现零液排放的传统思维，创新、整合一种新的系统性技术。通过碱性废渣处理、化学除硬、沉降分离、双膜浓缩和分质回用 5 个工艺过程实现零排放。

5.应用案例

项目名称：陕西金泰氯碱化工有限公司氯碱化工含盐废水零排放技术应用项目

项目概况：陕西金泰氯碱化工有限公司氯碱化工项目主要建设 60 万吨/年高性能树脂、60 万吨/年离子膜烧碱、2×45MW 背压式发电机组、110 万吨/年电石渣制活性氧化钙，配套建设“氯

碱化工含盐废水深度处理及零排放装置”，装置处理能力 800m³/h 含盐废水，通过碱性废渣处理、化学除硬、沉降分离、双膜浓缩和分质回用等 5 个工艺过程，实现含盐废水全回用，为生产系统实现年节水 128 万立方米。

6.推广前景

氯碱化工含盐废水零排放技术为氯碱行业废水处理提供科学、高效的示范性技术路线，解决电石法聚氯乙烯生产工艺过程中废水排放控制瓶颈问题，使电石法聚氯乙烯清洁生产技术得到突破，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 50%，年节水量 3000 万立方米。

技术支撑单位：陕西金泰化学神木氯碱有限公司

联系人：李超帅

联系方式：15829325902

案例六：煤化工高盐废水零排放与资源化利用成套技术

1.技术适用范围

适用于煤化工行业废水处理回用。

2.技术原理及工艺

煤化工废水经常规生化处理去除 COD、氨氮等污染物后，进入回用水单元，经双膜系统产出合格回用水，浓缩产出的高盐废水通过以预处理为核心的高盐废水零排放成套技术，最终分别产出硫酸钠和氯化钠产品，实现盐的资源化利用。

高盐水预处理及减量化段，利用反渗透膜的脱盐和浓缩性能，提高盐浓度，减少进入后续分盐和蒸发结晶单元的水量，预处理及减量化段包括“高密度澄清池+臭氧催化氧化+曝气生物滤池（BAF 池）+流砂过滤器+浸没式超滤+离子交换树脂+反渗透”。纳滤预处理及分盐段，通过“高效除硬过滤（NMF）-高级氧化—超滤—纳滤”，得到纳滤浓水和纳滤淡水，分别经盐硝五效蒸发结晶分盐获得氯化钠、硫酸钠，少量母液干燥生成杂盐外运。

5.应用案例

项目名称：中安联合高盐废水零排放项目

项目概况：主要建设内容为煤制 170 万吨/年甲醇、MTO（含 OCC）、35 万吨/年聚乙烯、35 万吨/年聚丙烯装置和公辅设施。污水处理场高盐废水零排放设计规模 360m³/h，2019 年 12 月底打通高盐废水全流程，产出合格盐硝。高盐水回收率保持在 97%~98%，约 228m³/h 回用于生产，产品氯化钠和硫酸钠实现外销，直接效益 741.7 万元/年。同时，项目也避免企业支出额外的混盐处理费用，从混盐到资源化产品，中安高盐废水零排放系统产生的间接经济效益 8952 万元/年。

6.推广前景

该成套技术或单项技术可推广应用于高盐环境下废水零排放及资源化利用，为沿江沿黄炼化行业高盐废水处理、节水减排提供技术支撑，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%，年节水量 280 万立方米。

技术支撑单位：中安联合煤化有限责任公司

联系人：何成江

联系方式：13355543737

四、纺织印染行业典型案例

案例一：高密化纤织物冷轧堆前处理技术

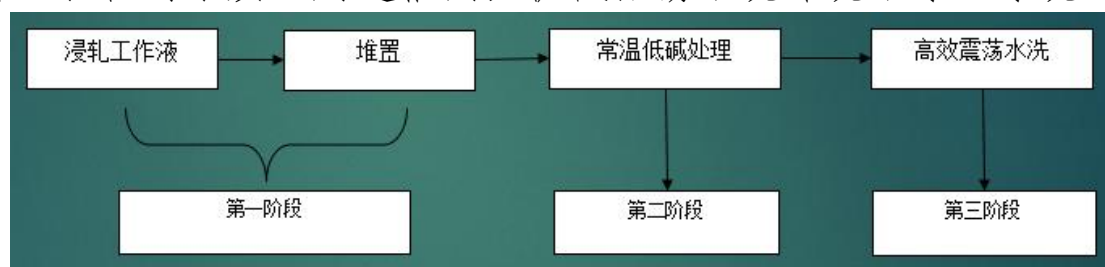
1.技术适用范围

适用于锦纶、涤纶织物前处理。

2.技术原理及工艺

该技术采用“冷轧堆+平幅退浆+高效水洗”的方式对以锦纶、涤纶为主要成分的高密化纤织物进行前处理加工。无需高温碱煮，在室温或常温的条件下就能完成对织物的退浆去油与开纤。缩短生产加工时间，提高生产效率，能源消耗及污水治理成本大幅降低。建立一套包括工作液自动配置补充系统、安全均匀浸轧单元、冷堆环境温湿度控制系统、碱液在线监测滴定补充系统等自动化程度高的智能前处理系统，提高纺织品前处理过程自动化水平。

该工艺可分为两步三阶段：冷轧堆→常温低碱处理→高效震荡水洗。第一阶段使助剂渗透，对织物氧化产物化学降解和乳化（退浆、去油、开纤）；第二阶段加速水解、乳化、分散和增溶等物理化学反应（精练，即二次退浆）；第三阶段已降解、碱水解、乳化的杂质，用逐格倒流机械振荡水洗冲洗干净（净洗）。



工艺流程示意图

3.技术指标

经该技术加工的纺织品 pH 值 7~8，白度 ≥ 75 ；符合国家标准规定的内在质量和外观要求，达到优等品水平。

4.技术特点及先进性

(1) 针对化纤织物浆料的特点，设计冷轧堆—平幅复炼—机械震荡水洗联合前处理工艺路线。开发品种适应性广、条件温和、织物损伤小的前处理加工技术，解决化纤织物前处理加工过程中纤维性能和织物风格的恶化问题。

(2) 采用冷轧堆专用退浆、去油助剂，提高高密化纤织物冷轧堆前处理效果，确保半漂布质量和后道染色、后整理等工序的顺利进行。

(3) 采用助剂自动配置、监测、输送系统、细分压力表、双头计量泵、小容量轧槽液位控制器和低张力传送工艺，保证工作液的稳定和前处理效果的均匀性。

5.应用案例

项目名称：苏州新民印染高密化纤织物冷轧堆前处理项目

项目概况：苏州新民印染有限公司于 2022 年建成一套高密化纤织物冷轧堆前处理系统。该系统分为两步三阶段：冷轧堆→常温低碱处理→高效震荡水洗。与现有浸渍式机缸热碱前处理方式相比，年可节水 150.10 万吨，减少排污 135.09 万吨，节电 2.55

元/百米，节约蒸汽 4.63 元/百米，节约液碱 0.95 元/百米，实现经济效益 2319.08 万元。

6.推广前景

该技术适用于高密化纤织物前处理，具有较高的普适性。预计未来五年推广比例达到 5%，年节水量 17000 万立方米。

技术支撑单位：盛虹集团有限公司

联系人：朱冬兰

联系方式：13912700895

案例二：生态型胶状体分散染料印染节水技术

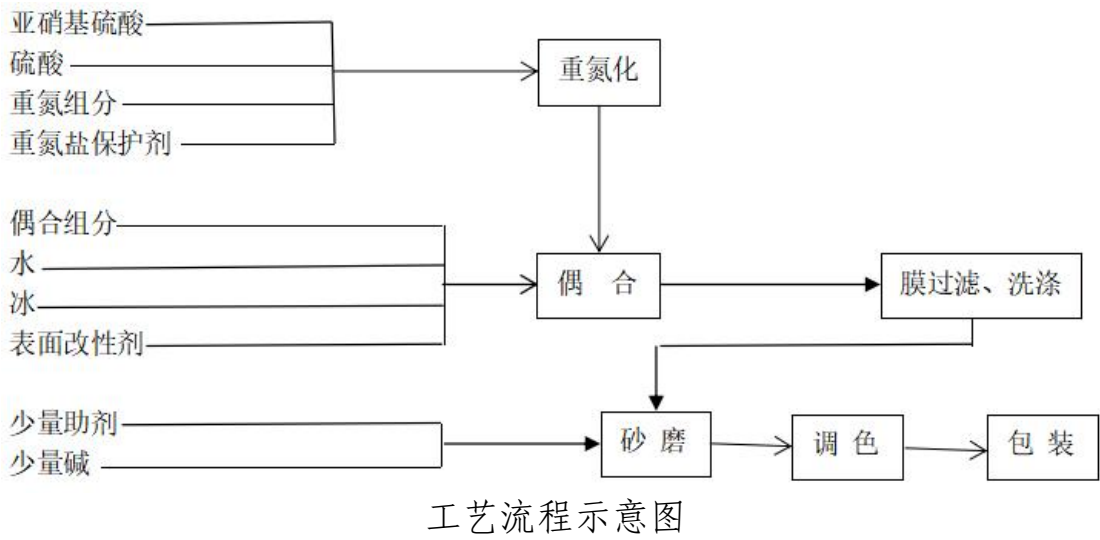
1.技术适用范围

适用于印染工艺节水。

2.技术原理及工艺

该技术通过调整分散染料合成工艺参数，控制染料粒径，在合成过程中加入高分子表面活性剂用于染料表面改性，省去预分散过程，减少砂磨时间，实现节水节能。采用膜分离和特殊洗涤技术，提高洗涤效率，洗涤水用量下降 80%。染料不需要喷雾干燥，可节省能源和减少 VOCs 排放，降低加工成本 70%，降低综合成本 15%。

生态型胶状体分散染料生产过程如下：



3.技术指标

各项性能指标达到相同强度的固体染料水平，助剂使用量比固体染料下降 80%以上。

4.技术特点及先进性

(1) 在合成过程控制粒径的同时对染料颗粒进行表面改性，使染料颗粒具有亲水性，可在水中形成稳定的分散体系，省去传统工艺的滤饼预分散，缩短砂磨时间，节省能源。

(2) 采用无机离子膜设备进行物料分离，首先滤出高浓度硫酸，在下次投料时循环套用，再将洗涤染料的酸性液体用液氨中和，中和后的水用 MVR 蒸发循环利用，制得的硫酸铵可用于工业用途。

(3) 胶状体染料中助剂含量低、纯度高，染色后布面干净，可减少一道水洗，染色 1 吨布可节水 8 吨，中水回用率比使用粉状染料产品提高 15%~25%。

5.应用案例

项目名称：浙江博澳新材料股份有限公司生态型胶状体分散染料项目

项目概况：浙江博澳新材料股份有限公司建成一条年产 2 万吨生态型胶状体分散染料生产线。绍兴市质量技术监督检测院对胶状体分散染料的检测报告表明，与固体分散染料相比，染料中喹啉含量下降 90%、甲醛含量下降 50%，染色残液 COD 大幅降低，其他各项性能均达到固体分散染料水平。

6.推广前景

生态型胶状体分散染料印染节水技术适用于智能印染的配料系统, 具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 25%, 年节水量 2720 万立方米。

技术支撑单位: 浙江博澳新材料股份有限公司

联系人: 温卫东 联系方式: 13732487688

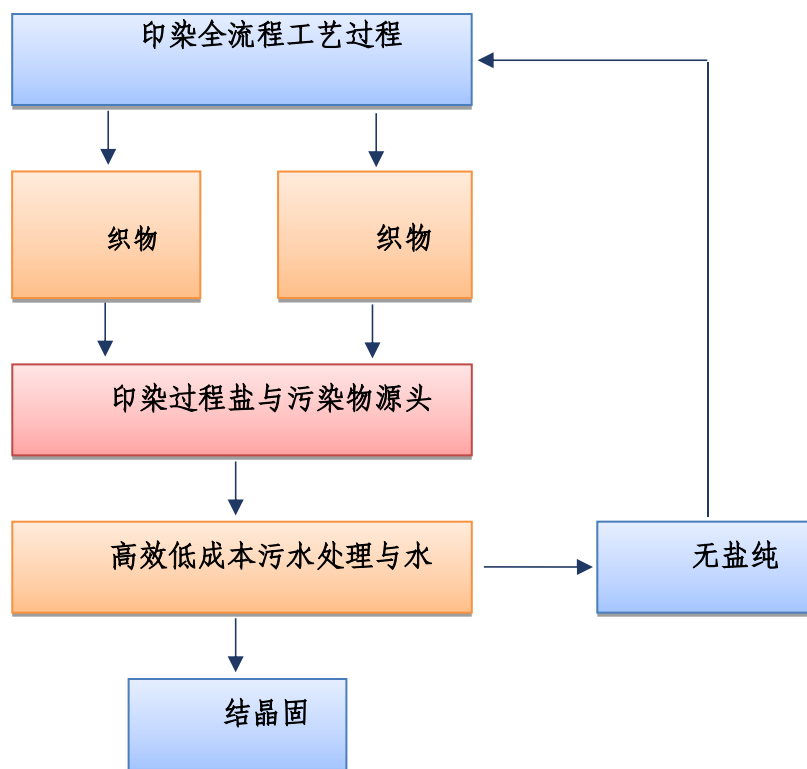
案例三：纺织印染高盐高有机物污水源头减量及污水处理技术

1.技术适用范围

适用于印染废水处理回用。

2.技术原理及工艺

该技术集成棉印染前处理、活性染料无盐染色、印花和印染废水深度处理技术，通过酶退浆助剂和工艺替代传统的碱退浆工艺，采用高效无盐染色、印染成套工艺装备，降低染色和印花废水中有机物污染物含量，再通过膜法再生技术和丝光强碱废水纯化等技术进行印染废水深度处理，化学需氧量综合去除率 95%左右，废水回用率达到 85%以上。



工艺流程示意图

3.技术指标

技术指标一览表

技术参数	本项目	国内主流	国外先进	效果对比
盐用量 (g/L)	0	100	100	100%↓
废水减排	≥30%	0	20%	50%↑
污染物减排	减少 60%	0	减少 50%	20%↑
水再生回用率 (%)	90	30	70	20%↑

4.技术特点及先进性

该技术将印染全流程污水减量化（前端控制）和污水深度处理与回用（末端处理）有机结合起来，为纺织印染行业提供一套系统可行的污水治理解决方案。

5.应用案例

项目名称：愉悦家纺有限公司棉印染废水深度处理与再生利用项目

项目概况：愉悦家纺有限公司棉印染废水深度处理与再生利用项目，采用“MBR+NF+RO+DTRO+多效蒸发”和盐再生利用技术，建成处理能力 15000m³/d 印染废水资源化再利用示范线，处理能力 600m³/d 印染浓盐水多效蒸发示范线，水重复利用率达到 90%，废水无害化回用 8800m³/d。

6.推广前景

纺织印染高盐高有机物污水源头减量及污水处理技术可广泛应用于纺织印染行业，有效减少资源能源消耗和污染物排放，

具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 30%，年节水量 170 万立方米。

技术支撑单位：愉悦家纺有限公司

联系人：王立强

联系方式：13905430761

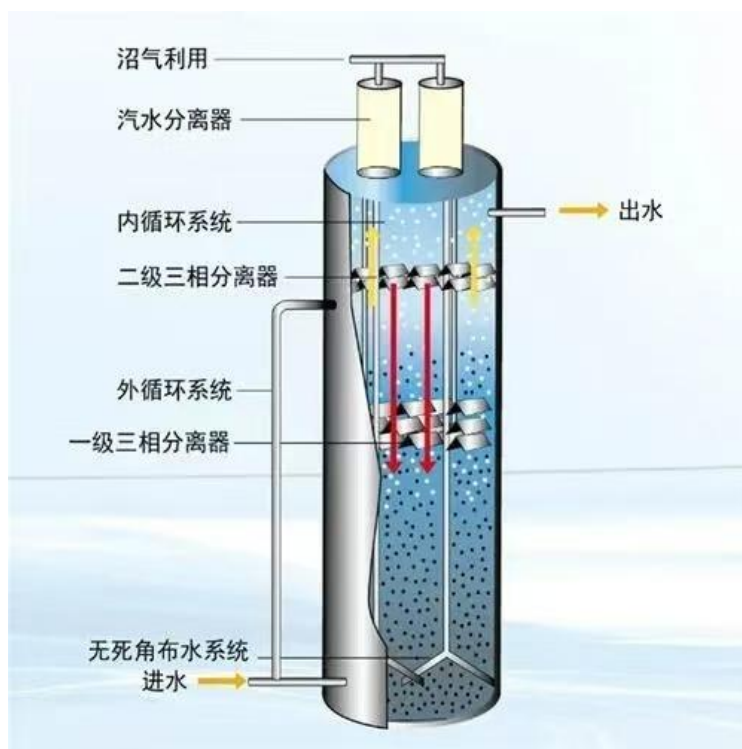
案例四：印染综合废水处理及回用技术

1.技术适用范围

适用于印染行业废水循环利用。

2.技术原理及工艺

该技术预处理单元采用混凝沉淀或气浮方式，达标排放单元采用 DC 厌氧反应器或高效脉冲式水解酸化法、活性污泥法、生物接触氧化法、MBR 法为主的组合工艺，回用水单元采用砂滤、臭氧氧化、超滤、反渗透、纳滤的膜法组合工艺。经该系统处理后的出水满足且优于《纺织染整工业回用水水质》（FZ/T01107）的要求，可直接回用于生产。根据企业生产用水要求，系统可分质回用，水回用率高，可达到 60%~90%。该技术专门针对印染行业废水水质特点及回用水水质要求，及不同细分产品的生产废水水质差别，开发并优化了工艺组合和工艺参数，可对不同印染企业量身定制水处理及节水工艺。该技术对处理水量无限制，适用于几百到数万立方每天的处理规模单项工程。



DC 反应器的构造原理图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	工艺单元	水质(mg/L)						
		COD	BOD ₅	SS	氨氮	总氮	色度(倍)	TDS
1	沉淀或气浮	20%~25%	15%~20%	60%~85%	/	/	25%~35%	/
2	DC 厌氧	50%~80%	40%~80%	/	/	/	35%~50%	/
3	水解酸化	20%~30%	15%~30%	/	/	/	20%~40%	/
4	A/O 系统	80%~95%	80%~95%	15%~25%	80%~99%	50%~95%	15%~40%	/
5	臭氧氧化	25%~65%	20%~60%	15%~25%	/	/	80%~98%	/
6	介质过滤/超滤	5%~15%	3%~10%	99%	/	/	3%~5%	/
7	反渗透	80%~95%	80%~95%	100%	85%~96%	85%~96%	100%	95%~99%

4.技术特点及先进性

(1) 高效脉冲布水的水解酸化系统。

采用高效脉冲布水的专利技术，通过高效脉冲布水器 and 特殊设计的均匀布水系统，使进水均匀分配于整个池底面，最大程度避免死角和短流现象；池内装填高效生物组合填料，其上附着生化污泥用以降解有机污染物。水解酸化系统的污泥相对稳定。较常规工艺污泥量可减少 15%~30%，整个系统的剩余污泥最终从水解酸化池排出。

（2）成熟可靠的生化组合处理技术

采用 A/O 处理工艺，将缺氧段和好氧段组合在一起。根据项目情况，好氧段可以使用 MBR 工艺，大大提高了系统固液分离的能力。系统自动化程度高，可全自动运行。MBR 出水水质良好、稳定，悬浮物和浊度接近于零，可完全满足反渗透对进水水质的要求，将 MBR 作为反渗透的预处理工艺，可有效保证反渗透的稳定运行，获得高质量的再生水。

（3）臭氧氧化工艺

臭氧氧化技术具有以下特点：脱色、除臭效率接近 100%，同时去除部分 COD；无污泥产生；臭氧为绿色氧化剂，无二次污染；设备操作方便，自动化程度高，运行管理简单，随开随用。

（4）高回收率的膜法组合工艺

该膜法采用多段式膜工艺设计，水回收率高，最大程度减少浓水量；强化膜系统的预处理措施，通过脱色、过滤，降低 Fe、Al 含量和 SDI 值，控制影响膜系统运行稳定性的不利因素；选用抗污染膜元件，强化系统的抗污染性能；通过对膜装置的工艺优化设计，平衡各段的产水通量，控制膜表面的浓差极化，克服高含盐量带来的浓差极化影响和膜污染风险，提高膜装置的运行可靠性；反渗透装置的特殊工艺设计，使其具有高错流速率和高回收率的特点。

5.应用案例

项目名称：山东凯泰超细纤维有限公司 3000m³/d 综合废水处理及回用工程

项目概况：该公司所排放的综合废水共有四部分：分别为碱减量废水、染色废水、DMF 废水、企业员工生活污水。其中先将碱减量废水和 DMF 废水进行预处理，以降低废水的毒性、提高废水的可生化性。预处理后的废水一同汇入综合调节池，进行后续处理。将该企业每天产生的约 3000m³/d 综合废水进行科学有效地治理并实现最大程度的回用，回用水量平均约为 2000m³/d。本项目一期投资为 20000 万元，其中环保投资为 1550 万元。现该项目已验收完成，已投入运行五年。该项目回用水量约 2000m³/d，年生产按 300 天计，每年节约新鲜水 60 万吨，按当地工业园区水费 4 元/吨计算，可节约新鲜水用水成本 240 万元/年；按当地工业园区排污费 7.5 元/吨计算，可节约排污成本 450 万元/年。两项合计的节水效益共计 450 万元/年。

6.推广前景

印染综合废水处理及回用技术主要应用于印染行业，具有较好的推广前景。预计未来五年行业推广比例达到 40%，年节水量 50000 万立方米。

技术支撑单位：山东中科恒源环境工程有限公司

联系人：冯雷

联系方式：13853313640

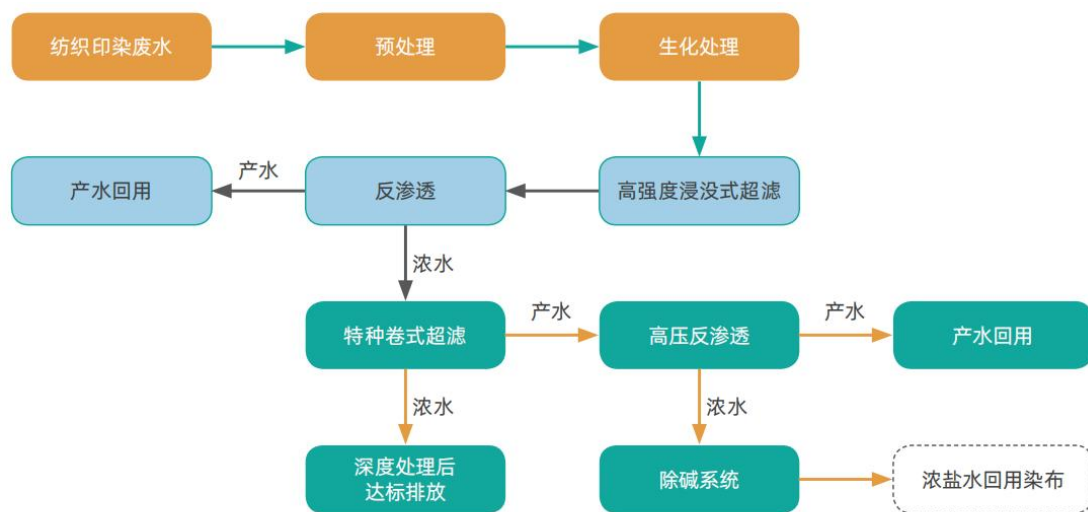
案例五：纺织印染废水梯级处理回用技术

1.技术适用范围

适用于印染行业废水循环利用。

2.技术原理及工艺

该技术针对纺织印染行业废水处理水回用率低及盐资源化利用难等问题，通过水处理膜材料开发、多级膜工艺耦合，创新性地开发出纺织印染废水梯级循环节水集成技术，集成“双膜法前处理—卷式超滤膜脱色—反渗透膜浓缩—浓缩液脱碱”等技术。该技术通过双膜法前处理工艺达到 65% 水回用率；采用特种卷式超滤膜实现大分子有机物高效截留和色度的有效去除，再经反渗透膜浓缩结合脱碱系统实现水和盐资源的最大回收利用。该技术整体水回用率最终提升至 90%，回用水水质符合《纺织染整工业回用水水质》（FZ/T 01107）要求，回用浓盐水电导率达到 70000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，色度 ≤ 50 倍，浓盐水水质符合《印染废水膜法集成装备》（GB/T 43359），最终达到纺织印染废水循环节水和回收利用目标。



工艺流程示意图

3.技术指标

(1) 高强度、抗污染纤维织物增强中空纤维超滤膜，膜丝断裂拉伸强力 $\geq 300\text{N}$ ，纯水通量 $2000\sim 4000\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 范围内可控，膜使用寿命在 5 年以上。

(2) 高稳定抗污染反渗透膜，平均通量 $\geq 45\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，对 NaCl 脱盐率 3 年内保持在 97% 以上，较传统膜污染速率降低 20% 以上。

(3) 高强度浸没式膜过滤技术，HMF 工艺实现吨水运行能耗从目前 $0.6\text{kWh}/\text{m}^3$ 降低到 $0.45\text{kWh}/\text{m}^3$ 。

(4) 低能耗高回用率“HMF+RO”双膜法中水回用工艺，中水回用系统水回用率从 40% 提高至 65%。

(5) 纺织印染废水梯级循环节水集成技术，最终浓盐水电导率达到 $70000\mu\text{S}/\text{cm}$ ，色度 ≤ 50 倍，整体盐回用率 $\geq 75\%$ ，最终水回用率从 65% 提高至 90%。

4.技术特点及先进性

该技术针对印染行业废水水回用率低、盐资源化利用难问题，集成“双膜法中水回用一卷式超滤脱色一反渗透浓缩一盐溶液脱碱”工艺，实现循环节水与资源回收，降低运营成本且回用水质达标；与常规膜法水处理结合电渗析浓缩相比：保持高水回用率，易污染程度低、工艺稳定性高，最终水回用率达 90%；与常规膜法水处理结合蒸发结晶相比：提升回用盐的纯度，降低色度累积，无机盐溶液可回用于染色；与萃取分离相比：工艺稳定性高，减少药剂污染、无需复杂萃取药剂，降低能耗及药剂费用。

5.应用案例

项目名称：绍兴海通印染有限公司处理水量 8000 立方米/天
印染废水中水回用系统项目

项目概况：项目设计处理规模 8000m³/d，含印花废水、染色废水及丝光废水等印染废水，8000m³/d 综合废水经处理后全部进入膜回用，产水 5200m³/d 用于车间，其余 2800m³/d 浓水进入浓水处理系统经处理后达标排放，排放水达到污水处理厂集中处理纳管要求。年节水量为 171.6 万立方米，年节约费用为 219.12 万元，每年减少污染物排放量约 39.6 万立方米。

6.推广前景

纺织印染废水梯级处理回用技术主要应用于印染行业，具有较好的推广前景。预计未来五年行业推广比例达到 35%，年减少纺织印染废水排放量约为 7000 万立方米。

技术支撑单位：浙江津膜环境科技有限公司

联系人：阿如汗 联系方式：18258532001

案例六：纺织面料超声波除油水洗技术

1.技术适用范围

适用于纺织面料前处理节水。

2.技术原理及工艺

该技术在水洗槽安装超声波发生器，利用超声波发生器产生的“空化效应”，对织物上的杂质、油渍进行物理除油。通过在振荡水洗槽底侧安装有超声波发生器，利用超声波发生器产生的超声波空化作用，对浸在水介质中的化纤面料进行物理除油，在剧烈的空化效应作用下坯布上的纺织油渍剥落、分散，形成水包油型乳化状态的很小的颗粒，然后经过溢流水洗作用和轧水轧车，除掉一部分纺织油剂，坯布上另一部分水包油型乳化状态的纺织油剂颗粒则经高温定型被蒸发，达到进一步除油的目的。超声波除油技术的工艺流程：坯布→一槽 85℃清水+超声波→二槽 60℃清水+超声波→轧水→高温初定型。



水洗除油烘干一体机

3.技术指标

技术指标一览表

序号	名称	参数
1	超声波频率	20 ~ 40kHz
2	超声波功率密度	0.3 ~ 1.0W/cm ²
3	水洗温度	15 ~ 40℃
4	初定型工艺	车速按坯布的原初定型工艺车速； 初定型温度 195 ~ 198℃。
5	轧水轧车压力	0.3 ~ 0.5MPa

4.技术特点及先进性

（1）空化效应高效除油：超声波通过高频振动（20kHz–100kHz）在液体中产生微米级空化气泡，瞬间破裂释放冲击波（局部压力达 1000atm），直接剥离纤维深层油剂，解决传统工艺对化纤（尤其是超细旦、高密结构）除油不彻底的问题。

（2）低温节能环保：工作温度可降至 40 ~ 60℃，能耗降低 30%以上，减少蒸汽消耗；同时减少化学助剂用量。

（3）面料保护性提升：避免机械摩擦导致的针织面料勾丝、变形，尤其适用于弹力氨纶混纺面料。

由于其物理除油、低水耗、无助剂（或仅添加少量助剂）的优势，此技术属于国际先进水平。

5.应用案例

项目名称：超声波除油水洗线试制

项目概况：以广东德润纺织有限公司的生产线来计算，以每吨布节约动力和染辅料成本约 520 元，2020 年的染色布产量约 4052 吨，其中 30%的产量用超声波除油机来生产，即 1216 吨产量，可以节省费用 63.2 万元。2021 年的染色布产量约 5795 吨，其中 30%的产量用超声波除油机来生产计，即 1739 吨产量，节省费用 90.4 万元。

6.推广前景

纺织面料超声波除油水洗技术主要用于纺织面料前处理领域，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 15%，年节水量 200 万吨。

技术支撑单位：广东德润纺织有限公司

联系人：肖广智

联系方式：13923220639

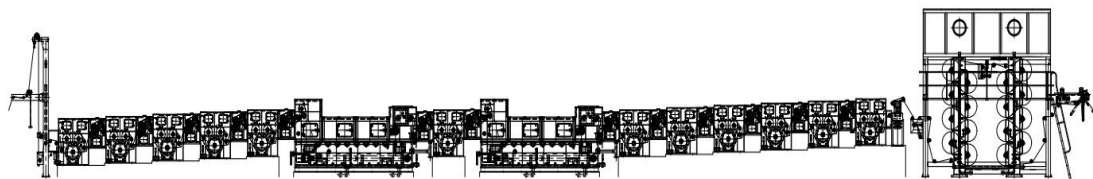
案例七：织物印花后高温低张力堆置水洗机

1.技术适用范围

适用于印花工艺节水。

2.技术原理及工艺

该技术采用全流程沸水工艺加速搅拌，强化水与织物表面的机械作用力，提高和延长水与织物的作用时间，使机台的清洗能力大幅度提高。经过高温皂洗、清水洗作用后，达到去除浮色、提高染料水洗牢度的目的。在提高生产效率的同时降低单位产品用水量。



工艺流程示意图

3.技术指标

具有适应性广（针织物、机织物、化纤织物、纯棉及混纺织物），运行无张力，洗涤强度大，浸洗时间长等特点。经过一次洗涤中、深色印花后织物的颜料洗涤牢度达到标准要求。

4.技术特点及先进性

采用堆置，大流量、长时间喷淋方式，保证 10~12 分钟液下强交换的洗涤方式。在减少 65%水流量的情况下达到皂洗牢度的要求。

5.应用案例

项目名称：杭州集美印染有限公司低张力多用途印花后水洗项目

项目概况：2019 年，杭州集美印染有限公司实施低张力多用途印花后水洗项目，采用堆置皂洗工艺和设备，保证皂洗时间在 10~12 分钟，皂洗时间是原有设备的 15~20 倍，极大提高皂洗强度，保证一次水洗后的牢度指标。耗水量在同样生产速度下降低 65%，单台水洗机节水 9~10 吨/时，实现经济效益 180 万/年。

6.推广前景

织物印花后高温低张力堆置水洗机可广泛应用于印染后整理工序，如丝光水洗、退煮漂水洗、印花后水洗、染色后水洗、化纤去油水洗、化纤染后平幅连续水洗，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 30%，年节水量 5000 万立方米。

技术支撑单位：江苏红旗印染机械有限公司

联系人：王建平

联系方式：13706188691

案例八：单通道超高精度高产能直喷智能数码印花机

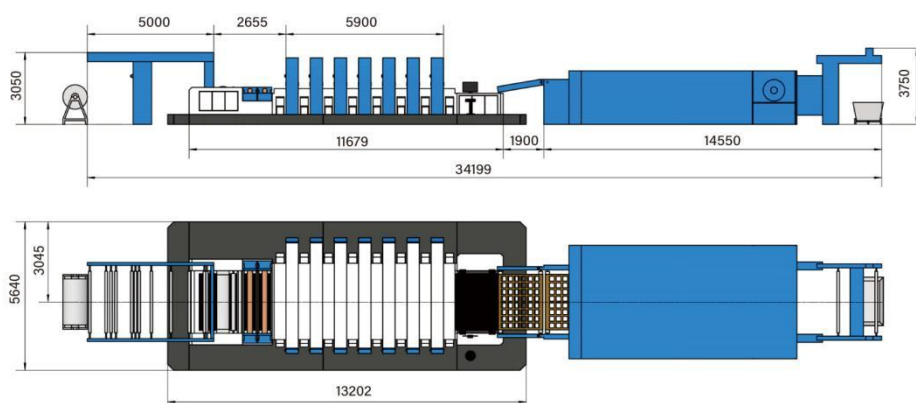
1.技术适用范围

适用于印染行业印花节水。

2.技术原理及工艺

该装备基于压电式喷墨技术，通过 RIP（光栅图像处理器）将矢量或位图数字图像数据进行色彩分离、网点化处理，生成与喷头排列对应的打印数据流。系统采用多色道工业级喷头阵列，在精密伺服驱动系统控制下，实现承印介质与喷头相对运动。

其核心工作机制在于墨水通过恒压供墨系统输送至喷头腔体，在压电陶瓷驱动器的作用下，墨滴按照预设频率和体积从喷嘴精确射出，在织物表面形成像素点阵。通过控制各色道喷头的开启时序、墨滴大小和喷射频率，实现色彩的精确还原和渐变过渡。



机器示意图

3.技术指标

印花速度：40 ~ 80 米/分钟；

喷印宽度：1540 ~ 1730mm；

最高印刷精度：1200 × 2400dpi；

色彩：最高 8 色（C/M/Y/K+专色）；

走料形式：连续；

墨水：活性、分散、酸性、涂料；

输入支持：PDF，Tiff，Jpeg 等印花常用格式。

4.技术特点及先进性

（1）突破高速高精喷印技术短板：单 pass 机型通过自主研发的“多喷头协同控制技术”和“动态墨滴调节系统”，实现 80 米/分钟超高速喷印和 1200 × 2400dpi 超高精度，性能指标超越国内同类产品 50%以上，达到国际先进水平。

（2）解决墨水适应性短板：针对国产设备在化纤等难印面料上表现不佳的问题，创新研发墨水系统，使设备可适配棉、丝、涤纶等 95%以上面料，墨水利用率提升至 98%（行业平均 90%），填补了国产设备在多材质应用上的技术空白。同时，在线上浆技术促进墨水深度渗透，有效解决了印花浮色、成衣缝线露白、浅色麻点等问题。

（3）补足智能化短板：通过集成 AI 智能校准系统和工业互联网平台，实现全自动色彩管理和数字运维，将传统印花机的人工调试时间从 2 小时缩短至 15 分钟，智能化水平达到国际领先。

其“自适应喷印补偿技术”可在喷嘴异常时动态调整相邻喷嘴的墨滴参数，缺陷修复率高达 97%，极大提升了生产连续性和产品质量稳定性。

（4）节水效益：本项目设备在百米织物印制过程中，相比圆网印花工艺节水 46.66%。基于精确控墨的按需喷印机制，染料着色效率大幅提升，织物表面浮色现象显著减少，使得后处理废水排放量仅为传统印花工艺的 1/15。

5.应用案例

项目名称：单 Pass 超高精度高产能直喷智能数码印花机

项目概况：绍兴市北海印染有限公司 2019 年 3 月开始使用该设备，设备实现稳定生产，速度为 60 米每分钟，最高可达 80 米每分钟；日工作时间超过 20 小时，日产量 7 万米；采用富士 Samba 喷头，分辨率最高可达 1200dpix2400dpi；无缝打印批量作业，作业提交与打印并行，提升效率。生产的花型颜色深度高，色彩丰富，系统运行稳定，没有出现质量事故，2024 年全年产量 5045 万米，截至 2025 年 5 月已累计装机 4 台。节水达 5.045 万立方米，运行成本减少 2018 万。

6.推广前景

单通道超高精度高产能直喷智能数码印花机主要应用于印染行业，具有较好的推广前景。预计未来五年在数码印花领域推广比例达到 45%，年节水量 315 万立方米。

技术支撑单位：浙江海印数码科技有限公司

联系人：吴冬霞

联系方式：13676856215

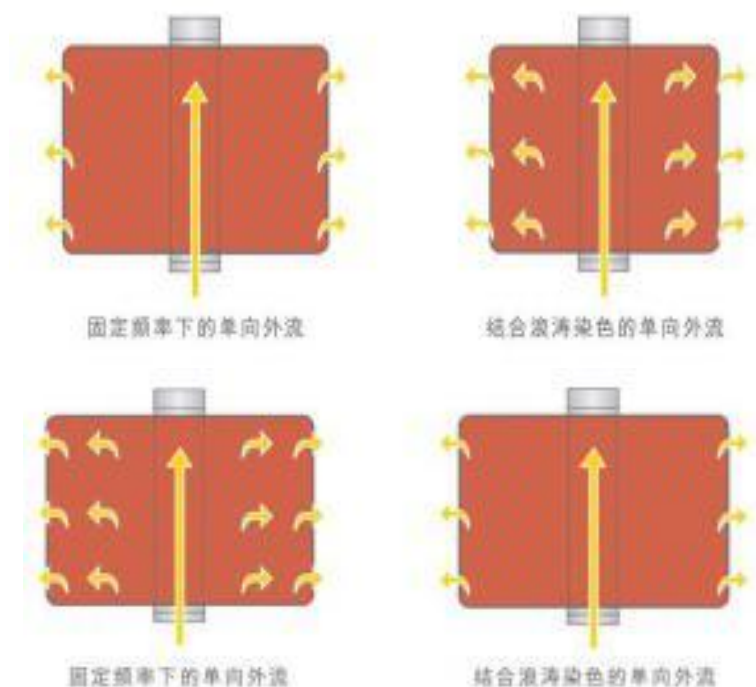
案例九：高温筒子纱单向外流染色机

1.技术适用范围

适用于纱线染色工艺节水。

2.技术原理及工艺

将原有浴比 1:10 降至 1:3，配合主泵浪涛染色功能和脉冲控制技术，染色时水流高低起伏，染液能够均匀渗透于筒子纱的内外层。在满足筒子纱染色要求下，保留换向器全面的双向染色工艺，省去染液内流条件，降低染缸操作压力，染液在缸身内只需要一个方向流动，无需考虑染液换向时的对流转换。染色占用空间及用料成本均比传统双向染色机低，单向外流时，只需缸底维持一定水量，即可保持主泵压力稳定，实现更低的浴比。



结构示意图

3.技术指标

浴比降低至 1:3。只需确定一个合理的单外流主泵转速，不需考虑改变内流及外流的时间及泵速组合。不存在染液对筒子纱的挤压，可防止筒子纱重复挤缩、扩张变形，提高纱线蓬松。变频功能增加筒子纱均匀染色，变频模式超强省电。采用缸底盘管换热器替代外置式列管换热器，降低系统阻力、循环主泵用电量。

4.技术特点及先进性

采用单向外流染色技术，除节省不少染液用量之外，操作压力更减低至 4.8bar，节省主缸材料，降低成本。浪涛染色技术使染色机耗电量比原机型减少约 35%。

5.应用案例

项目名称：江西京东实业有限公司高温筒子纱单外流染色机项目

项目概况：江西京东实业有限公司引进高温筒子纱单外流染色机，采用单向染色替代双向染色，使换热系统更简化、压差及流量更稳定、浴比更低，降低材料和人工成本。采用 FC-30 控制系统，全程按照浴比来进行行机，操作使用更加简单化、合理化，提高产品的正品率及染色的重现性。有效节省蒸汽使用量，实现节水效果 60%左右，节省染料助剂 40%左右。

6.推广前景

高温筒子纱单向外流染色机可广泛应用于纱线染色工艺节水，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%，年节水量 125 万立方米。

技术支撑单位：立信染整机械（广东）有限公司

联系人：欧阳威 联系方式：13510009934

案例十：节水型丝光机

1.技术适用范围

适用于纺织工艺节水。

2.技术原理及工艺

该装备优化蒸洗箱结构，减少水洗槽容量，促进洗液快速交换，减少洗液升温、保温所需能耗。优化挡板和溢流口高度，促使洗液保持低水位、快交换的流动状态。采用平衡式松紧架，织物运行张力感应和调节更加灵敏，确保织物在低张力、高速度条件下稳定运行。改进水洗方式和路线，将循环过滤和强力喷淋与挡板分隔，蛇形逆流，逐格倒流的水洗方式相结合，充分发挥挡板和微弧杆的作用，提高水洗去碱效率。计量、定量单点给水自动化控制，避免人为浪费。

3.技术指标

生产效率较同类机器提高 33.3%，单机日产量增加约 2.4 万米，时均耗水量减少 1.92 吨，时均耗汽量节约 0.23 吨，日均污水排放量减少 38.4 吨。

4.技术特点及先进性

关注水、布接触的每一个细节，提高水资源利用效率，从粗放型用水转向精细化控制水量；通过提高整机的生产效率，实现少用水、多产出的目的。

5.应用案例

项目名称：浙江盛发纺织印染有限公司节水丝光机应用项目

项目概况：浙江盛发纺织印染有限公司引进 LMH201 型节水丝光机，优化蒸洗箱结构、减少水洗槽容量，降低洗液快速交换和升温、保温所需的能耗，生产效率较以往同类机型提高 33.3%，单机日产量增加约 2.4 万米，时均耗水量减少 1.92 吨，时均耗汽量节约 0.23 吨，日均污水排放量减少约 38.4 吨，预计年节约生产成本 34.09 万元。

6.推广前景

节水型丝光机可广泛应用于纺织行业工艺节水，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 40%，年节水量 8000 万立方米。

技术支撑单位：江苏赛格纺织机械有限公司

联系人：包德全

联系方式：0514-83626555

五、食品行业典型案例

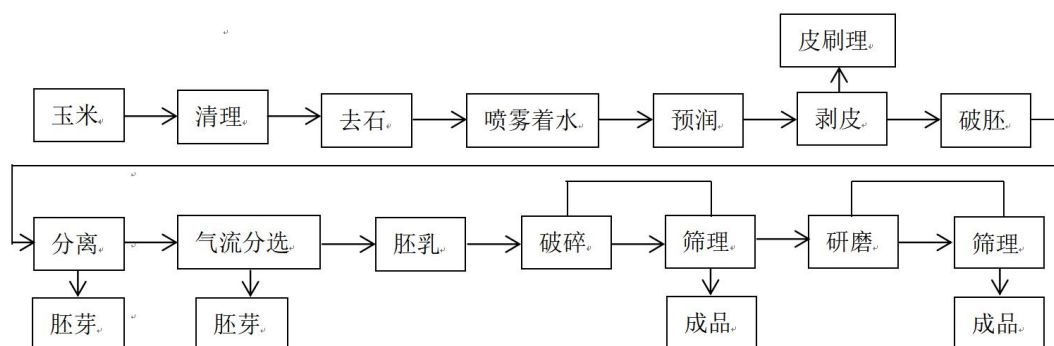
案例一：玉米半湿脱皮工艺及破胚机关键装备

1.技术适用范围

适用于玉米行业工艺节水。

2.技术原理及工艺

该装备根据玉米皮层、胚乳、胚芽细胞组织对水分吸水率和膨胀速度不同，形成相互组织结构发生位移而破坏相互组织结构平衡，利用“多元渐压旋剥”原理，对微量着水预润后的玉米籽粒进行脉冲式正旋波形柔性搓剥，使玉米皮层较完整从胚乳上分离，再通过渐压式挤压，使胚芽完整与胚乳分离，通过比重分离和气流分选原理，将胚芽与胚乳分离，达到玉米皮、胚芽与胚乳分离目的。



工艺流程示意图

3.技术指标

耗水量 30 ~ 40kg/t 玉米，大气粉尘排放 $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ ，电耗 25 ~ 30kwh/t，皮出率 7% ~ 11%，胚芽出率 7% ~ 9%，胚芽完整率 $\geq 95\%$ ，成品出率 79% ~ 82%，节水率 $\geq 90\%$ ，废水零排放。

4.技术特点及先进性

在“多元减压旋剥”原理基础上，对玉米籽粒进行脉冲式正弦波柔性搓剥和渐压式挤压，使玉米皮层较完整地从小乳上剥离，同时在破胚过程中最大幅度减少玉米胚芽破损度，为后期胚芽分离提供可靠基础。该技术对玉米发酵行业，玉米酒精行业减少前期用水量 95%以上，解决玉米湿法工艺的高污染物排放、高能耗问题。

5.应用案例

项目名称：某生物科技有限公司日处理 500 吨玉米淀粉糖发酵项目

项目概况：该项目采用玉米半湿法脱皮破胚提纯分离制粉新工艺对现有生产线改造后，用水量降低至 15 ~ 20t/d, 无废水排放，实现节水 97.7%，吨玉米电耗降低至 26kwh/t，成品出率 78% ~ 81%，节电 16%，节气 99%，节煤 98%。

6.推广前景

玉米半湿脱皮工艺及破胚机关键装备在玉米行业具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%，年节水量 400 万立方米。

技术支撑单位：汉中三益科技有限责任公司

联系人：杨文

联系方式：18609160683

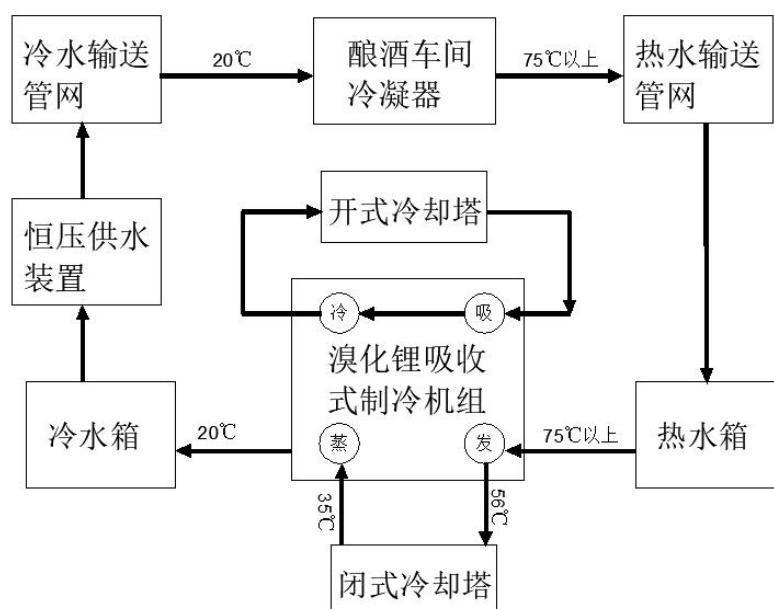
案例二：酿酒冷却水全封闭循环利用工艺

1.技术适用范围

适用于酿酒行业冷却水循环利用。

2.技术原理及工艺

该技术利用酿酒工艺本身产生的废热作为驱动能源，通过回收各酿酒车间密闭式冷凝器排出热水（75℃以上）储存在热水箱中，热水箱中的热水首先进入热水型溴化锂制冷机发生器进行一级冷却，降温至 56℃ 左右，然后再送入闭式冷却塔进行二级冷却，降温至 35℃ 左右，最后再将冷却水送回至溴化锂制冷机组蒸发器进行三级冷却，最后制取夏季 20℃ 以下、其他季节低于 16℃ 的冷水供酿酒车间循环使用。



工艺流程示意



工艺现场设备图

3.技术指标

酿酒车间的高温热水回水温度高于 75°C ；酿酒冷却水全封闭式循环利用系统向酿酒车间输送的冷却循环水温度在夏季低于 20°C 、其他季节低于 16°C ；冷却水全封闭循环使用，无排放。这种绿色节能生产新模式，节水率可达 85% 以上，减排率达到 99.9% 以上。

采用酿酒冷却水全封闭式循环利用系统工艺生产 1 吨循环水耗电量约 1.85kWh ；而采用传统的电制冷系统生产 1 吨循环水耗电量约 7kWh ，可见该工艺系统节电量显著。

4.技术特点及先进性

（1）对酿酒冷却水多环节协同优化，建立了一个“热水收集系统+余热利用系统+冷水输送系统”全封闭的循环系统，实现酿酒冷却水的“零补水、零排放”。

(2) 对酿酒冷凝器结构进行优化，提高系统换热效率实现了冷凝器的闭式循环。

(3) 采用“余热驱动+闭塔分级制冷”技术，突破传统电制冷高能耗瓶颈。采用三级冷却对车间热水进行逐级降温冷却，并确定了三级制冷段的取热温度和不同制冷设备的运行模式，确定了酿酒车间冷凝器的最低回水温度为 75℃、冷却水的制冷出水温度（夏季在 20℃ 以下、其他季节在 16℃ 以下），保障了整个冷却水循环系统运行和酿酒车间的用水需求。

(4) 在整个系统中均采用钙镁离子浓度低的除盐水代替自来水，避免因自来水中存在的各种矿物质、离子和杂质等造成设备腐蚀、结垢、传热效率低等问题，从而减少了设备维护成本。

(5) 开发多变量智能化调控系统，采集冷却水系统全维度运行数据，并基于酿酒生产负荷变化、控制策略自动调节各设备的运行模式，实现冷却水循环利用的自动化和精准化控制，提高了系统的运行稳定性和可靠性。

5.应用案例

项目名称：泸州老窖酿酒冷却水全封闭循环利用项目

项目概况：该项目建设在长江流域经济带的重点区域，建设地点为泸州老窖酿酒园区。整个项目按照试点、推广、覆盖分阶段实施，项目总投资 12134.77 万元。项目主要利用酿酒工艺本身产生的高温废热作为驱动能源，通过热水型溴化锂吸收式制冷机

回收酿酒车间热水的热能进行制冷和节水，实现了冷却水在密闭式冷凝器、热水型溴化锂制冷机、闭式塔之间进行全封闭式循环使用。工艺系统中包含的设备主要有热水型溴化锂吸收式制冷机组、闭式冷却塔、开式冷却塔、闭式冷凝器。节水量 241.51 万立方米/年，节水效益 337.7 万元/年。

6.推广前景

酿酒冷却水全封闭循环利用工艺主要应用于白酒行业，具有较好的推广前景。预计未来五年在行业广泛普及，年节水量 4500 万吨。

技术支撑单位：泸州老窖股份有限公司

联系人：李峰

联系方式：13550881118

案例三：生物发酵行业废水处理回用集成技术

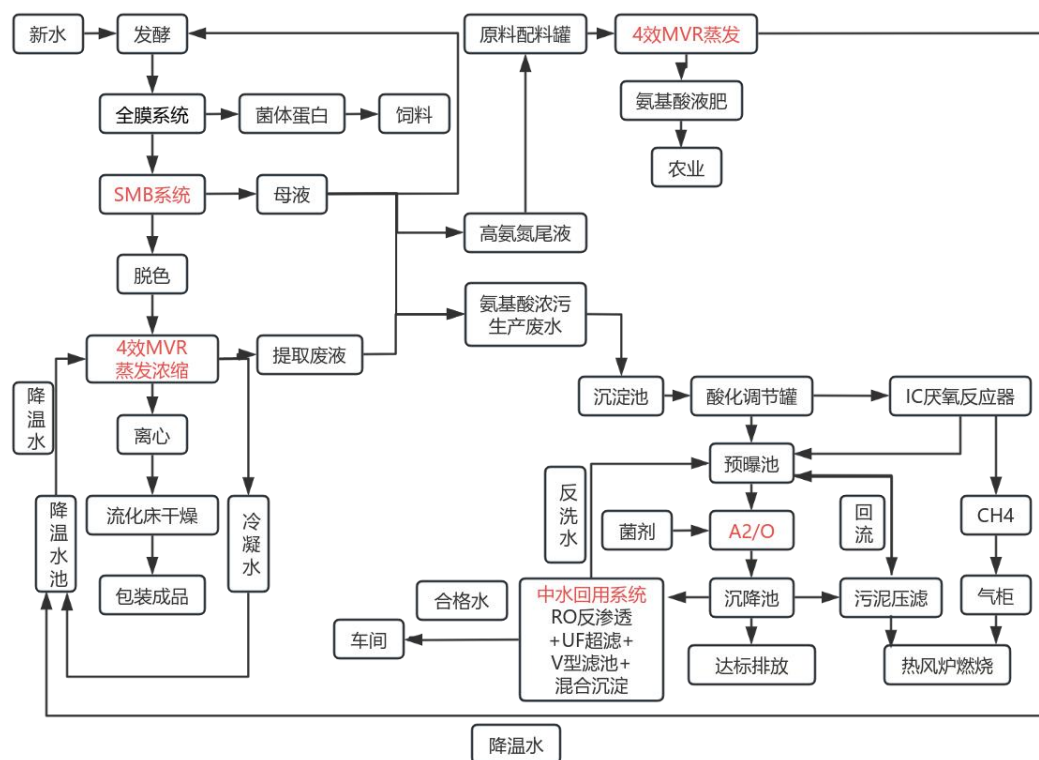
1.技术适用范围

适用于生物发酵行业废水循环利用。

2.技术原理及工艺

该技术通过耦合模拟移动床色谱（SSMB）数字化高效分离→四效 MVR 蒸发浓缩（梯度回收）→A2/O 生物脱氮（低碳降污）→中水回用与闭路循环（冷凝水/RO 产水分级回用），构建“分离—提纯—净化—近零排”全链条体系。

生产废水经两级沉降+复合菌剂 A2/O 生物处理分级净化后，进入中水回用系统（IC 厌氧产沼气供热+膜技术深度脱盐），实现 85%以上废水回用于设备冲洗及发酵补料；发酵高氨氮尾液直接提纯为液态肥替代化肥，减少农田灌溉需求；固废 100%转化为建材和土壤调理剂，阻断填埋对地下水的污染风险，形成水耗闭环，新鲜水消耗整体降低 30%以上。SSMB 精准回收氨基酸、膜法与蒸发技术分级提纯盐分、A2/O 工艺强化碳氮协同去除，实现水、盐、氨基酸的全组分回收，综合水耗降低。



工艺流程示意图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	名称	参数
1	水质标准 mg/L	出水 COD ≤ 30、TN ≤ 15、TP ≤ 0.5
2	膜系统产水回收率%	≥ 75
3	总氮去除率%	> 80
4	压缩机温升℃	≥ 25
5	余热回收温度℃	120
6	UF 膜通量 LMH	≥ 50
7	RO 膜脱盐率%	≥ 99.5
8	纳滤膜分盐率%	98
9	压缩机温升℃	≥ 25
10	余热回收温度℃	120
11	UF 膜通量 LMH	≥ 50
12	压缩机温升℃	≥ 25
13	节水率%	70.82

4.技术特点及先进性

（1）高浓度 COD 废水高效处理与能源回收

新型 IC 厌氧反应器通过内循环上升流速与多级三相分离器设计，提升抗冲击负荷能力及能源自给率、稳定 COD 去除率；A2/O+数字化调控基于在线传感器的动态反馈，实现曝气量、污泥回流比的毫秒级优化，碳源投加量减少、污泥产率降低。

（2）高盐废水回用与盐分闭环控制

SSMB 色谱分离+全膜法分级提纯技术通过 SSMB 色谱分离预处理—微滤（MF）—超滤（UF）—反渗透（RO）组合工艺，

实现盐分定向分离与浓缩液闭环回用，产水率>75%（传统工艺<60%）；抗污染膜改性技术 PVDF 超滤膜表面接枝亲水基团，通量衰减率降低，延长了化学清洗周期及膜寿命。

（3）难降解有机物协同处理技术

耐盐复合菌剂强化降解，使难降解有机物去除率提升，同步实现脱氮与 COD 深度降解；V 型滤池协同预处理，多层滤料截留胶体与悬浮物，降低膜污染负荷，延长系统稳定性。

（4）节能低碳与资源化路径

四效 MVR 蒸发系统采用机械蒸汽再压缩技术，提升了综合能效比，浓缩液固含量直接用于水溶肥生产，降低了危废处置成本；污泥流化床干燥使污泥含水率降低，可作为燃料或有机肥原料，提升资源化率。

5.应用案例

项目名称：20000m³/d 污水处理技术改造及水资源综合利用项目

项目概况：该项目为改扩建工程，通过引入顺序式模拟移动床色谱 SSMB 数字化控制系统、连续离交等技术优化氨基酸生产工艺。同步新建好氧池系统及配套处理设施（含曝气池、沉淀池等 A2/O 工艺单元），年处理污染物 COD 24T、氨氮 4T、总氮 4T、总磷 0.4T。三条中水回用线采用混凝沉淀池+V 型滤池+超滤+反渗透工艺，实现年回收水量 300 万 m³。生产废水遵循“清

污分流、污污分治”的治理原则，重污染工艺废水包括发酵残液及浓缩污凝水，经浓缩蒸发低温喷雾干燥生产化肥；清洗水为轻污染废水，进入厂内污水处理站处理，经工艺沉淀后回用或达标排放。该节水改造项目通过“生物强化预处理—物化深度净化—闭路再生回用”技术路径，年节水量达 549 万 m³，年节水效益 3843 万元，投资回收期 4.8 年。该节水改造项目通过“生物强化预处理—物化深度净化—闭路再生回用”技术路径，年节水量达 549 万 m³，年节水效益 3843 万元，显著缓解区域水资源供需矛盾。

6.推广前景

生物发酵行业废水处理回用集成技术主要应用于氨基酸行业、生物制药行业，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 30%，年节水量 19400 万立方米。

技术支撑单位：新疆阜丰生物科技有限公司

联系人：赵杰

联系方式：18690130911

3.技术指标

(1) MBR 池采取碳钢内壁环氧防腐，外壁环保漆防锈；

(2) MBR 膜采用高抗污染的聚偏氟乙烯 (PVDF) 膜材料，抗氧化、耐污染、易清洗，平均孔径 $0.03\mu\text{m}$ 。

4.技术特点及先进性

将膜分离技术与传统污水生物处理工艺有机结合，提高泥水分离效率，通过 MBR 生化池中活性污泥浓度的增大和污泥中优势菌的出现，提高生化反应速率。该技术可减少剩余污泥产量，具有出水水质好、占地面积省、运行效率高的特点。

5.应用案例

项目名称：新疆乌苏啤酒有限责任公司中水回收利用项目

项目概况：新疆乌苏啤酒有限责任公司年产啤酒 20 万吨，2022 年水耗 $2.58\text{m}^3/\text{kL}$ （折 11°P），废水排放量约 $1000\text{m}^3/\text{d}$ ，中水回收利用项目实施后，处理量约 $150\text{m}^3/\text{d}$ ，水重复利用率提高 11%。该项目的建设不仅使废水得到充分利用，且减少城市污水厂负荷，提高水资源利用效率。

6.推广前景

啤酒再生水综合利用技术可广泛用于啤酒等食品行业的废水处理回用，具有较好的推广前景。

技术支撑单位 1：百威牡丹江啤酒有限公司

联系人：兰波

联系方式：15604835204

技术支撑单位 2: 新疆乌苏啤酒有限责任公司

联系人: 郑辉

联系方式: 15699180588

六、有色金属行业典型案例

案例一：多晶硅生产水循环利用系统

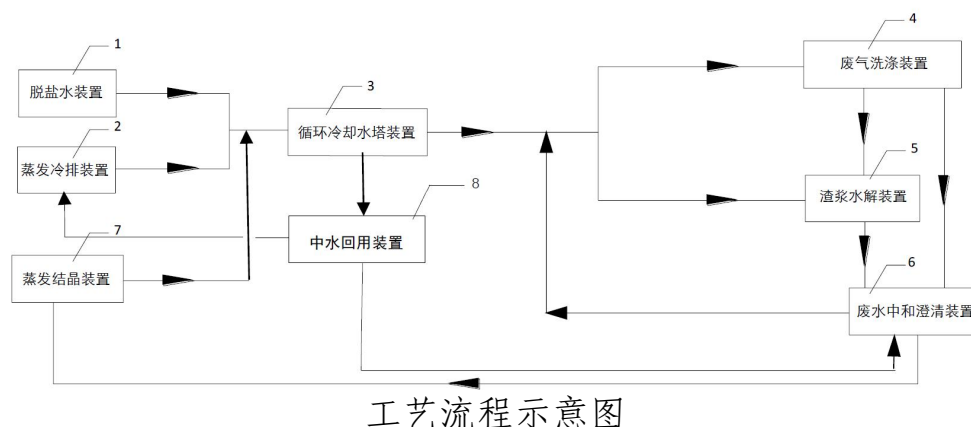
1.技术适用范围

适用于多晶硅循环水处理系统。

2.技术原理及工艺

该系统包括脱盐水装置、蒸发冷排装置、循环冷却水塔装置、废气洗涤装置、渣浆水解装置、废水中和澄清装置、蒸发结晶装置、中水回用装置。脱盐水装置、蒸发冷排装置的出水水质满足循环水水质要求，直接排至循环冷却水塔装置继续使用；循环冷却水塔装置排水可满足环保装置要求，废气洗涤装置、渣浆水解装置使用循环冷却水塔装置的排水；废气洗涤装置、渣浆水解装置的排水进入废水中和澄清装置进行中和、沉淀处理，废水中和澄清装置的排水继续到渣浆水解装置、废气洗涤装置回用，多余废水经蒸发结晶装置蒸发生产氯化钙，蒸发冷凝水至循环冷却水装置使用。中水回用装置对循环水处理后到蒸发冷排装置使用，中水回用装置排水至废水中和澄清装置处理。

具体流程如下：



3.技术指标

单位多晶硅取水量 $77.44\text{m}^3/\text{t}$ ，水重复利用率 99.29%，用水综合漏失率 0.8%，单位多晶硅排水量 $30.1\text{m}^3/\text{t}$ 。

4.技术特点及先进性

对多晶硅生产各用水系统的水质、水量、水温等进行精确分析，将各点位排水直接回用或经过处理后再次回用，通过各装置用水点位的串联改造，增加梯级用水、循环用水次数，大幅降低多晶硅生产用水量。

5.应用案例

项目名称：四川永祥新能源有限公司光伏硅材料项目

项目概况：该项目于 2021 年建成投产，项目生产用水主要为循环冷却，通过冷却带走生产工艺中的热量；其他用水包括生活用水、绿化用水、地面冲洗用水、环保设施用水、多晶硅清洗用水等。项目每小时循环水喷淋量 9.6 万 m^3 ，蒸发量较大，循环水经蒸发浓缩后，钙、镁等离子浓度较高，在设备表面易形成水垢。通过增加中水回用装置，去除钙、镁离子，将循环水处理后继续回用，大幅降低循环水补水量。废水蒸发结晶装置蒸发冷凝水水质较好，由直接外排改至回收用于循环冷却水塔补水。废气洗涤、渣浆水解装置增加废水回用比例、减小循环水使用量。通过改造，项目单位产品取水量下降至 $77.44\text{m}^3/\text{t}$ ，水重复利用率达到 99.29%。

6.推广前景

该技术可广泛用于多晶硅行业循环水系统，具有较好的推广前景。

技术支撑单位：四川永祥新能源有限公司

联系人：袁思见 联系方式：17781239131

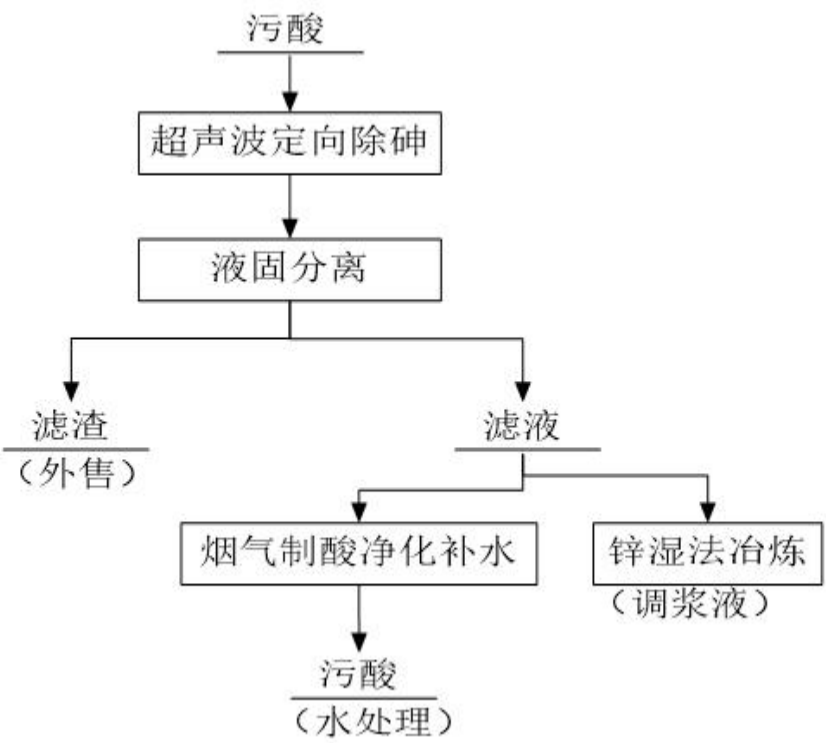
案例二：铅锌污酸资源化利用技术

1.技术适用范围

适用于铅锌冶炼行业废水处理回用。

2.技术原理及工艺

该技术针对铅锌冶炼行业烟气制酸污酸排放量大、砷杂质含量高、末端治理困难、处理成本高、资源化利用率低等特性，采用超声波强化污酸定向除杂与回用技术，污酸中的亚硫酸根离子（ SO_3^{2-} ）被还原为负二价硫离子（ S^{2-} ），并与污酸中的砷结合，生成三硫化二砷沉淀被去除。处理后污酸含砷降低至 2mg/L 以内，可直接代替生产水回用至冶炼系统。



工艺流程示意图

3.技术指标

- (1) 污酸 As 脱除率大于 98%;
- (2) 污酸处理成本降低 50%以上;
- (3) 年回用污酸量 50000m³。

4.技术特点及先进性

技术特点：在不添加任何除砷试剂条件下，通过超声波作用获得强还原性的 $\bullet\text{H}$ ，将污酸中的 SO_3^{2-} 还原为 S^{2-} 和 S ， S^{2-} 与污酸中的砷生成 As_2S_3 沉淀，通过除砷后污酸含砷可由 300mg/L 降低至 2mg/L 以内。

先进性：相比传统方法，该技术工艺流程简单，除砷过程无需添加使用药剂，除砷率可达 99%以上，污酸处理成本降低约 90%，除砷后污酸不经过水处理系统直接回用于生产系统。

5.应用案例

项目名称：云南驰宏锌锗股份有限公司超声波外场强化处理污酸示范项目

项目概况：云南驰宏锌锗股份有限公司会泽冶炼分公司熔化炉制酸系统，于 2022 年建成 50000m³/a 铅锌污酸超声波定向除杂装置。采用超声波强化污酸定向除杂与回用技术，砷含量降低至 2mg/L 以下，污酸砷脱除率大于 99%。污酸处理成本降低 178 元，较现行石灰中和铁盐法除砷成本降低 93%。

6.推广前景

铅锌污酸资源化利用技术采用超声波强化污酸定向除杂工艺，适用于铅锌行业污酸处理，具有较好的推广前景。

技术支撑单位：云南驰宏锌锗股份有限公司会泽冶炼分公司

联系人：曾国礼

联系方式：15825070656

案例三：铜冶炼烟气制酸系统装置

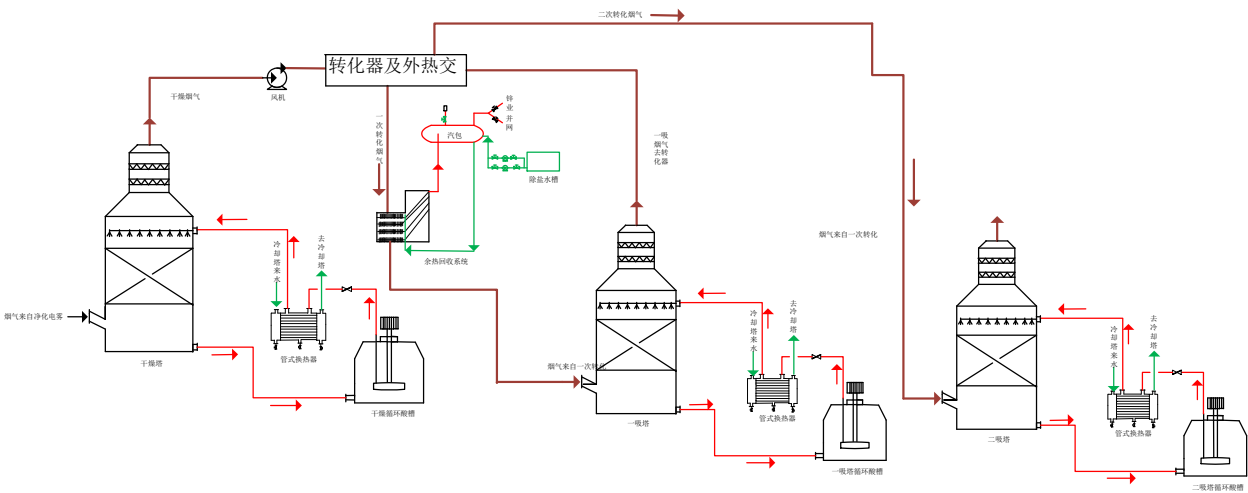
1.技术适应范围

适用于铜冶炼行业水质回用。

2.技术原理及工艺

该装置主要包括电除尘器、动力波烟气洗涤器、静电除雾器、循环水凉水塔、三氧化硫吸收塔、管壳式冷却器、尾气脱硫塔、硫酸铵多效蒸发结晶系统等。针对烟气制取硫酸过程中水耗高、难处理问题，采用卧式循环装置，实现系统内各环节排放水的梯级使用。

干吸转化流程基于双膜理论，气体在干燥过程中，水蒸气通过气相主体以对流的形式扩散到气膜，然后以分子扩散的形式通过液膜，再以对流扩散的形式传递到液相主体，从而使气体得以干燥。



制酸干吸转化流程图

3.技术指标

干燥酸浓度 93.0% ~ 96.0%；入口酸温 $< 48^{\circ}\text{C}$ ；出口酸温 $< 65^{\circ}\text{C}$ ；压差 $< 2800\text{Pa}$ ；换热器 m20-MFM， $F = 235.5\text{m}^2$ 。

4. 技术特点及先进性

(1) 干吸转化流程双膜理论，安全性高，热量充分利用，减少循环补水量，提高设备稳定性。

(2) 干吸凉水塔补充水由生活水改为库水与中水混合使用；干吸凉水塔排放水作为烟气净化系统凉水塔补充水；净化系统凉水塔的排水作为静电除雾器的冲洗水；转换器锅炉顶排废水作为烟气脱硫系统补加水；澡堂水作为净化凉水塔的补充水；实现系统内各环节排放水的梯级使用。

(3) 硫酸铵多效蒸发结晶系统产生的蒸汽冷却水补充至干吸凉水塔及风机冷却水凉水塔。系统母液蒸发的冷凝液作为脱硫系统和液氨配置氨水的补充水。

(4) 雨水回收处理系统采用磁絮凝技术，出水 $\text{SS} \leq 5\text{mg/L}$ ，净化过程用时 ≤ 20 分钟。具有占地少、处理量大、见效快、能耗低、易维护等特点。

5. 应用案例

项目名称：云铜股份西南铜业分公司废水综合利用项目

项目概况：云铜股份西南铜业分公司采用分级处理、分类梯级利用的方式，对厂区生产废水、雨水、生活污水进行分级处理，处理后按不同用水需要，分类梯级利用。干吸凉水塔补充水由生

活水改为库水与中水混合使用；干吸凉水塔排放水作为烟气净化系统凉水塔补充水；净化系统凉水塔的排水作为静电除雾器的冲洗水；转换器锅炉顶排废水作为烟气脱硫系统补加水；澡堂水作为净化凉水塔的补充水；实现系统内各环节排放水的梯级使用。废水回用率达 85%以上，年节水量约 10 万吨。

6.推广前景

铜冶炼烟气制酸系统装置配套废水分级处理、分类回用系统，可广泛用于铜冶炼行业废水回收利用。预计未来五年推广比例达到 15%，年节水 2000 万立方米。

技术支撑单位：云南铜业股份有限公司西南铜业分公司

联系人：刘娇

联系方式：18669021158

案例四：电解铝厂含氟生产废水及初期雨水处理新工艺

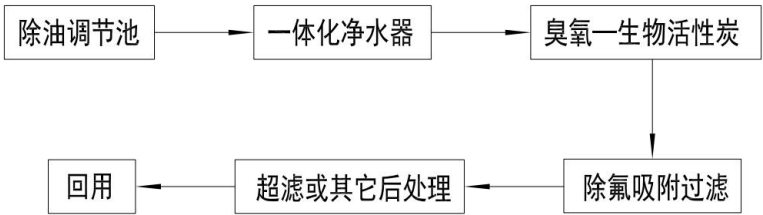
1.技术适用范围

适用于电解铝行业废水处理回用。

2.技术原理及工艺

该技术采用调节—除油—去浊（一体化设备）—臭氧氧化—生物活性炭—去除氟化物—超滤的组合工艺，处理并回用电解铝厂生产废水、初期雨水。

调节池用于均衡水质、水量。采用管式除油机去除废水中少量浮油，采用一体化净水器去除水中的悬浮物，采用臭氧氧化—生物活性炭深度处理工艺，去除废水中色度、COD 及氨氮。采用活性氧化铝对水中的氟进行置换过滤，活性氧化铝是白色颗粒状多孔吸附剂，有较大的比表面积，是除氟比较经济有效的方法。在酸性溶液中活性氧化铝为阴离子交换剂，对氟有极大选择性。滤装置采用加压膜分离技术，在外界推动力作用下载留水中胶体、颗粒和分子量相对较高的物质。



工艺流程示意图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	名称	进水 (mg/L)	出水 (mg/L)
1	石油类	8	<1
2	SS	190	<1
3	COD	120	5
4	BOD5	40	1
5	色度	80	10
6	氟	8.5	<1
7	氨氮	5	<0.5

4.技术特点及先进性

(1) 每段工艺均发挥各自特长, 达到较好的综合效果, 整体工艺可根据具体进水参数进行适当调整。

(2) 运行费用低, 管理方便, 工艺适用性强。

(3) 实现电解铝厂废水零排放, 处理后的中水可供电厂锅炉反渗透作为水源、可作为循环水补水等生产用水及日常杂用水。

5.应用案例

项目名称: 中国铝业股份有限公司兰州分公司中水深度处理项目

项目概况: 中国铝业股份有限公司兰州分公司二厂于 2018 年实施中水深度处理项目, 处理规模 3000m³/d。采用调节—除油—去浊 (一体化设备) —臭氧氧化—生物活性炭—去除氟化物—

超滤的组合工艺，处理后中水作为电厂反渗透水源和厂内其他生产用水再次利用，实现年节水量 100 万立方米。

6.推广前景

该技术可广泛用于电解铝行业废水处理回用，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 30%，年节水量 4600 万立方米。

技术支撑单位：沈阳铝镁设计研究院有限公司

联系人：刘伟 联系方式：17740070535

案例五：基于热泵精馏的氨氮废水资源化处理技术

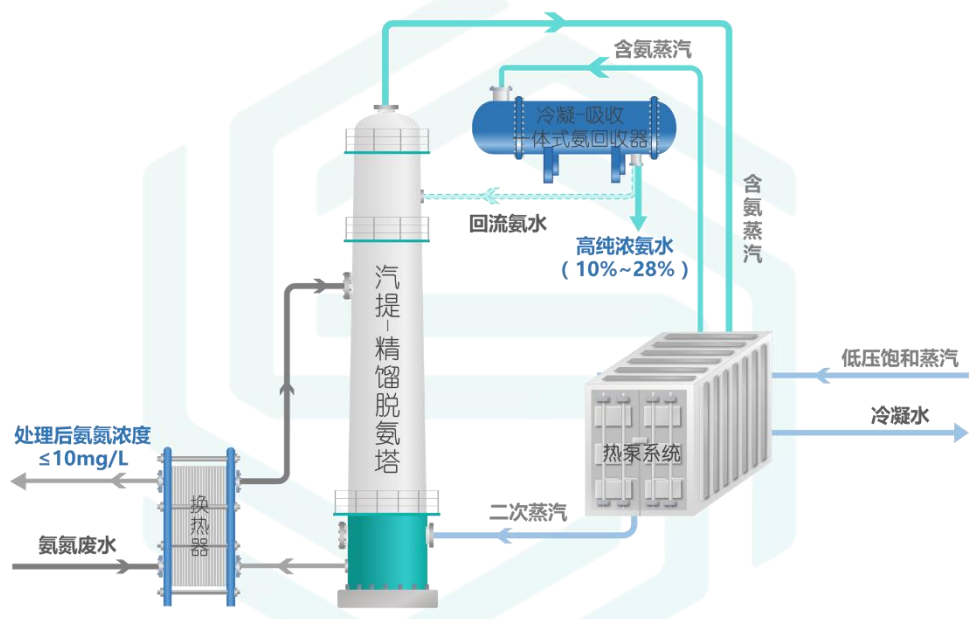
1.技术适用范围

适用于含氨废水资源化利用。

2.技术原理及工艺

该技术基于氨与水分子相对挥发度的差异，将废水引入热泵—精馏脱氨塔，废水在精馏脱氨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，通过氨—水的气液平衡、金属—氨的络合—解络合反应平衡、金属氢氧化物的沉淀溶解平衡的热力学计算，使难分离的重金属—氨络合物被充分解络合（解络合率 98%），废水中氨氮以分子氨的形式从水中分离，然后以氨水或液氨的形式从塔顶排出，并被冷凝器冷却为高纯氨水产品，可回用于生产或直接销售；脱氨后废水的氨氮浓度降至 10mg/L 以下，可直接排放或回用于生产。同时采用热泵节能技术，将塔顶的含氨蒸汽引入回热蒸发器回收热量，经升温升压提高品位后，再次作为热源为塔底再沸器供热，实现系统热量循环利用。

该技术在深度脱除氨氮污染物的同时，有效回收废水中的重金属、盐、水资源，可实现复杂高氨氮废水的零排放处理。工艺流程如下图所示：



工艺流程示意图

3.技术指标

序号	名称	参数
1	处理能力	50 ~ 5000 吨/天
2	蒸汽压力	0.3 ~ 1.0MPa
3	蒸汽流量	30 ~ 60kg/m ³
4	反应温度	90 ~ 110℃
5	反应压力	常压
6	冷却温度	25 ~ 40℃
7	进水氨氮	1 ~ 70g/L
8	出水氨氮	<10mg/L (最低可低于 5mg/L)
9	回收氨水浓度	10% ~ 28%
10	氨资源回收率	大于 99%
11	节水率	可实现废水零排放
12	清塔周期	大于 6 个月
13	操作弹性	20% ~ 140%

14	节能降碳效果	与传统精馏技术相比，蒸汽耗量减少 50% ~ 70%，碳排放量减少 30%以上。
----	--------	--

4.技术特点及先进性

采用药剂强化热解络合一分子精馏技术，能将废水中高浓度氨氮一步处理至满足国家《污水综合排放标准》（GB8978）一级排放标准要求。废水经后续精密过滤、pH 调节后，可返回生产工艺，实现废水零排放；氨氮被资源化回收为高纯氨水产品，可回用于生产或销售。运行时设备抗堵阻垢能力强，避免因结垢造成脱氨塔维护频繁和设备处理效率下降的问题，能在较长运行周期内仍保持良好的处理性能。通过耦合 MVR 热泵节能技术，降低脱氨过程的能耗、碱耗以及蒸汽消耗量。全过程无废水、废气、废渣等二次污染产生，克服传统处理技术成本高、污染转移等缺点。

5.应用案例

项目名称：厦门某新能源企业 1200m³/d 三元前驱体废水热泵精馏脱氨项目

项目概况：厦门某新能源企业在三元锂电池前驱体材料生产过程中会产生大量氨氮废水，具有氨氮浓度高、含重金属、高盐分的特点。该脱氨项目于 2017 年 10 月开工建设，于 2018 年 1 月正式投运，处理后出水氨氮指标 ≤15mg/L，精滤后废水中离子态重金属含量：Co ≤1mg/L，Ni ≤0.5mg/L，Mn ≤1mg/L，稳定达标可回用。同时资源化回收浓度不低于 15%的氨水，氨氮脱除率和

氨资源回收率>99%，过程无二次污染物产生。为进一步实现节能降碳，该新能源公司于 2023 年启动氨氮废水处理系统的热泵节能改造，建设 1200m³/d 三元前驱体废水热泵精馏脱氨项目，热泵系统投资金额 672 万元。于 2024 年 7 月正式投运，改造后系统蒸汽耗量为 38kg/m³、用电量为 5.5kW.h/m³，出水稳定达标。与传统汽提脱氨工艺相比，热泵工艺的吨水蒸气消耗降低了 62%，吨水碳排放量减少了 46%，过程无二次污染产生。该项目实现氨氮减排 1900 吨/年，重金属减排 39.6 吨/年；回收浓氨水 15387 吨/年，回收金属氢氧化物 62.4 吨/年。项目总投资 1472 万元，通过回收氨水、节约生产用水、节约排污费等为企业带来经济效益 1354 万元/年。

6.推广前景

基于热泵精馏的氨氮废水资源化处理技术主要适用于三元锂电池、镍钴、钨钼等行业，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 30%，年减排氨氮废水 3600 万立方米。

技术支撑单位：北京中科康仑环境科技研究院有限公司

联系人：潘经理

联系方式：13311270945

七、电子行业典型案例

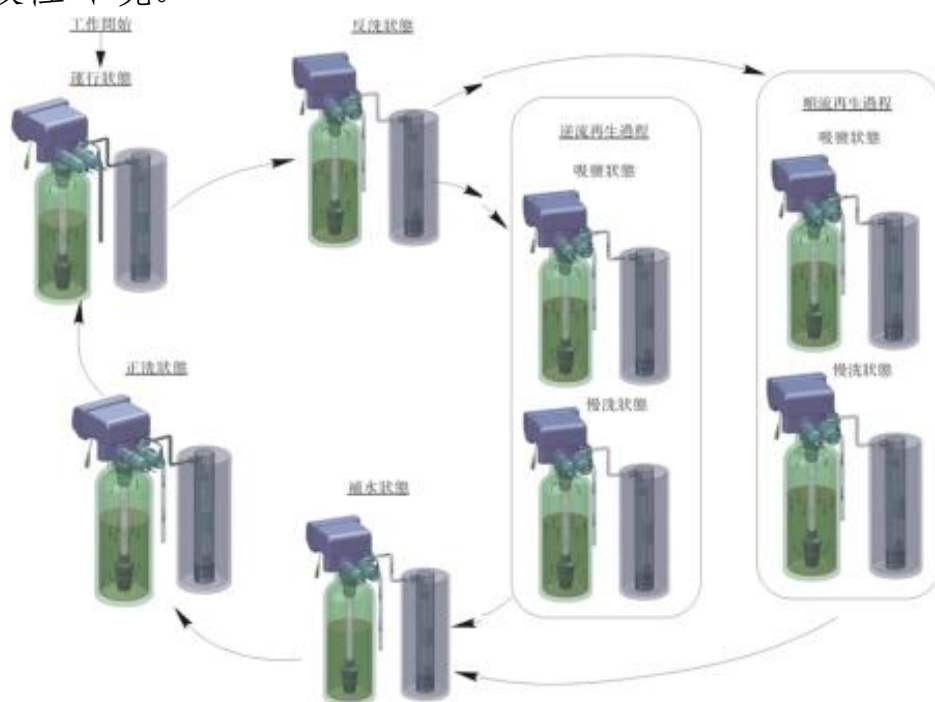
案例一：树脂在线中水回用成套装备

1.技术适用范围

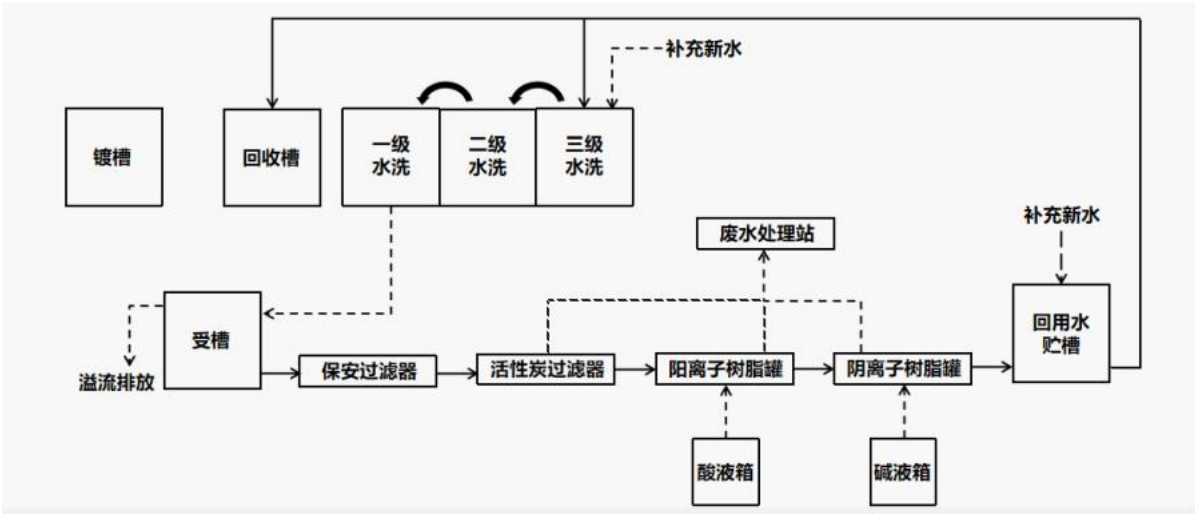
适用于电镀行业废水循环利用。

2.技术原理及工艺

该装备采用阳树脂（如漂莱特 C160）专攻重金属离子，阴树脂（如杜笙 A-21）去除阴离子污染物，混床树脂实现深度脱盐，吸附效率 > 90%。通过 PLC 控制吸附流速（2–4BV/h）和再生触发点（如 15BV 穿透），结合逆流再生工艺，提升再生剂利用率 30% 以上。实时监测电导率、pH、ORP 等参数，AI 预测树脂饱和度并自动切换工段，减少无效再生次数 20%。一体化撬装结构集成前处理（精密过滤+pH 调节），占地 < 5 立方米/吨水，适应高盐酸性环境。



离子交换树脂运行与再生流程图



工艺流程示意图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	检验项目名称	技术要求
1	水质稳定性	参数采集应通过在线仪表实时精准采集电导率（±0.5%误差）、pH 等水质参数并输出至 PLC 和触摸屏。电导率：≤10 μS/cm（混床工艺出水）；离子去除率：重金属（Cu ²⁺ 、Ni ²⁺ 等）≥90%，阴离子（CrO ₄ ²⁻ 、SO ₄ ²⁻ 等）≥85%；pH 范围：出水 6.5–8.5（符合回用标准）。
2	运行稳定性	7×24 小时连续运行，故障率≤0.5%/年，MTBF（平均无故障时间）≥10 万小时。
3	运行控制	吸附流速：2–4BV/h（床体积/小时）；再生周期：阳树脂 15–20BV，阴树脂 12–15BV（基于离子浓度）；再生剂耗量：HCl≤120g/L 树脂，NaOH≤100g/L 树脂。
4	通讯协议	兼容 RS485、Modbus、OPCUA 等工业协议，支持 GPRS/Wi-Fi/LAN 远程监控。
5	系统能效	回用率不低于 85%，能耗：≤5 度/吨水（含泵、控制系统），减少用水成本；同时减少后续水处理设备投资和运行成本。

4.技术特点及先进性

树脂在线中水回用成套装备通过精密过滤、活性炭吸附、阳离子树脂与阴离子树脂的连续处理，实现电镀废水的高效净化与回用。树脂在线中水回用成套装备的主要应用于新材料、半导体、PCB、化工、电镀、冶金等行业。具体技术优势有：

（1）精细化分级回用：采用“同质化处理一点对点回用”模式，针对不同水质定制处理路径，实现分类回用率 $\geq 85\%$ 。创新多级树脂床串联工艺，将电导率从 $2000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 降至 $\leq 10\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 。

（2）资源化协同增效：贵金属离子（如 Ag^+ 、 Pd^{2+} ）通过选择性树脂富集后，再生浓液可作为槽液补充液回用生产线（节省30%原料成本）；电解提纯回收金属（纯度 $\geq 99.5\%$ ），实现“废水—资源”转化。

（3）智能化集成设计：撬装式结构集成吸附、再生、控制三大模块，占地面积小，支持快速部署与产能扩展。外表防腐蚀框架适应 pH 为1~14的极端环境，寿命提升至10年。

规模化（ $100\text{m}^3/\text{d}$ ）设备投资约200万元，含树脂填充、自动化控制系统及前处理单元（ pH 调节+精密过滤），占地 50m^2 ，能耗 $< 5\text{kWh}/\text{m}^3$ 废水。系统可实现废水回用率85%以上，年回用水量约3万吨，减少新鲜水取用85%，降低排污费30万元/年；相较于传统反渗透工艺，节省能耗40%。

5.应用案例

项目名称：电镀废水专用离子交换树脂筛选与性能优化

项目概况：通过实验室及中试验证，筛选出适用于电镀漂洗废水（含 Cu^{2+} 、 Ni^{2+} 、 CrO_4^{2-} 等）的高效树脂组合：阳树脂采用漂莱特 C160（ H^+ 型），对重金属离子吸附容量达 1.8mmol/g ，再生效率 $\geq 95\%$ （ $5\%\text{HCl}$ 再生）；阴树脂选用杜笙 A-21（ OH^- 型），对 CrO_4^{2-} 吸附效率 $> 90\%$ ， NaOH 再生周期 20BV；混合床树脂（争光 MB-50）实现深度脱盐，出水电导率 $\leq 10\mu\text{S/cm}$ ；建立树脂吸附动力学模型，确定吸附周期（阳树脂 15BV、阴树脂 12BV）及再生参数（ $\text{HCl}120\text{g/L}$ 、 $\text{NaOH}100\text{g/L}$ ），形成树脂体积计算体系。完成 $1\text{m}^3/\text{h}$ 中试设备 PID 图与机械图纸，集成电动阀自动切换与 PLC 控制逻辑，为规模化应用奠定基础。

6.推广前景

树脂在线中水回用成套装备主要应用于半导体、电镀、PCB 等领域，可同时实现废水的回用和贵金属的回收，亦可以高浓度化合物补充至镀液，该装备目前处于研发阶段，阶段性成果具备一定节水潜力，可带来较好的社会效益。

技术支撑单位：安徽新宇环保科技股份有限公司

联系人：尹星

联系方式：18355118436

案例二：电镀镍漂洗废水膜法循环回用处理设备

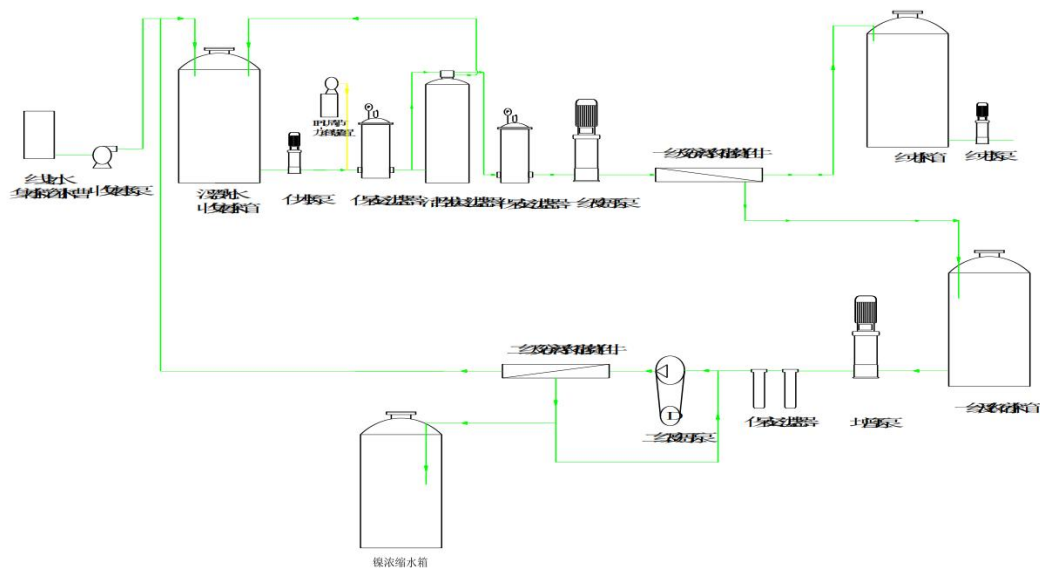
1.技术适用范围

适用于电镀行业废水处理回用。

2.技术原理及工艺

该设备为 JHH-RO 一体化整机，其中活性炭、精密过滤器膜作为 RO 的预处理，能截留住废水中的悬浮物及有机物，为后道 RO 膜降低胶体污染负荷。RO 主机系统主要对废水中镍离子浓缩和透过液脱盐，对废水中回用镍（钯）离子的截留率在 98%以上。废水经过 RO 膜后，透过液收集到纯水收集桶以作生产回用纯水，不达标浓缩水回收到浓缩箱进一步循环浓缩，有效、快速达到较大浓缩倍数，适用于各种大、中、小型不同规格生产线。

第一级：将漂洗废液进行收集和初级处理，对漂洗废水中的颗粒进行初级去除。第二级：将初级处理后的漂洗废液导入漂洗废水分离纯化装置，对漂洗废水中的纯水和有价值物质进行二级分离，分离后的纯水返回漂洗槽再用，含有有价值物质的浓水导入下一级。第三级：控制浓缩装置按照电镀槽的槽液浓度和成分，进行控制式浓缩。第四级：将浓缩液进行成分分析、调配，调配好的浓缩液补入电镀槽中，实现电镀废水零排放目标。



工艺流程示意图

3.技术指标

采用分离装置对镀镍漂洗水进行分离，分离出的漂洗浓缩液回用到镀镍槽中，分离出的透过液回用于前级漂洗水槽。一级进水 $6.4\text{m}^3/\text{h}$ ，一级产水 $1.6\text{m}^3/\text{h}$ ，一级回收率 25%；二级进水 $2.52\text{m}^3/\text{h}$ ，二级产水 $0.63\text{m}^3/\text{h}$ ，二级回收率 25%。

4.技术特点及先进性

设备运行可自动在线监控，无需专人值守操作；可回收 90% 以上的漂洗水；可完全分离漂洗水中的贵金属离子；设备体积小，轻便简捷，占地面积小，适合电镀业工况条件。

5.应用案例

项目名称：佛山顺德电镀镍漂洗废水零排放回用处理项目

项目概况：该项目于 2019 年建成一套电镀镍漂洗废水回用处理装置，系统运行压力 $\leq 6\text{MPa}$ ，运行温度 $5 \sim 45^\circ\text{C}$ ；产纯水

≤500PPM，镍浓缩液≥50000PPM，纯水回收率≥98%。实现节水量约 5475m³/d，年经济效益 50 万元。

6.推广前景

该装备适用于电镀产业漂洗废水处理回用，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 50%，年节水量 400 万立方米。

技术支撑单位：珠海市江河海水处理科技股份有限公司

联系人：刘湉湉

联系方式：13392960426

八、建材行业典型案例

案例一：预拌混凝土罐车智能化无废干洗技术

1.技术适用范围

适用于建材行业工艺节水。

2.技术原理及工艺

该技术采用混凝土搅拌站级配物料，根据混凝土罐车内壁剩余浆料的重量，采用物料荷重传感器与自动给料机按量投加进预拌混凝土罐车内，通过罐车自身运转一定时间，将罐内物料与内壁剩余浆料层互相研磨，使物料搓洗内壁，破坏黏附在罐车内壁的浆层，将罐车内壁剩余浆料清洗干净的作用；同时针对物料传输途径配备密闭的收尘除尘系统，做到环保无尘。

该技术包含智能称重子系统、清洗骨料配送卸料子系统、智能干洗子系统、润料子系统、数据分析中心五部分。



工艺流程示意图

3.技术指标

(1) 通过对预拌混凝土罐车进、出站罐车重量 (kg) 采集与门禁车牌识别关联，明确罐内剩余残料；

(2) 根据称重结果, 加入干洗骨料(级配碎石骨料粒径 20~50mm 均可), 加入清洗骨料量(kg)为罐车内残余浆料重量(kg)的 3~7 倍;

(3) 若罐车进出站时间小于 3 小时, 则干洗时不加水; 若进出站时间大于 3 小时, 则干洗时加水量(kg)为加入干洗骨料重量(kg)的 5%~8%;

(4) 若室外气温 $>9^{\circ}\text{C}$, 则不需考虑气温的影响, 若 $25^{\circ}\text{C} \geq$ 室外气温 $<9^{\circ}\text{C}$, 则干洗时应加入水, 加水量(kg)为干洗骨料(级配碎石骨料)重量(kg)的 6%~10%;

(5) 干洗时间: 5~8 分钟(包含设备配料, 皮带输送, 罐体搅拌, 出料等工序干洗系统全流程的工作时间);

(6) 裹浆骨料吸水率 $\leq 5.0\%$, 针片状含量 $\leq 8.0\%$, 孔隙率 $\leq 47.0\%$;

(7) 裹浆骨料取代天然骨料在泵送混凝土使用中达 50%以上。

4. 应用案例

项目名称: 预拌混凝土罐车智能化无废干洗技术

项目概况: 该技术应用在产能 80 万 m^3/a 预拌混凝土企业, 采用的 ZH-C-2000 型预拌混凝土罐车干洗整机设备, 运转效率 95%, 占地面积 40m^2 , 年生产 330 天, 原有高压水洗砂石分离设备每天运转 18 小时。节水量 $24000\text{m}^3/\text{a}$, 节约用电 19.602 万元/

年，节约用水 10.8 万元/年，节约原料 288 万元/年，节约药剂 4.7 万元/年，节约转运物料铲车油耗 0.25 万元/年，人员工资 3 万元/年。

5.推广前景

预拌混凝土罐车智能化无废干洗技术主要用于建材行业，目前处于研发阶段，阶段性成果具备一定节水潜力，可带来较好的社会经济效益。

技术支撑单位：河南格林同创绿色科技发展研究院有限公司

联系人：王国峰

联系方式：15538102225

案例二：低碳节水膨润土流变助剂

1.技术适用范围

适用于建材行业节水材料。

2.技术原理及工艺

膨润土经过-15℃~-30℃低温冷冻处理 1 个月以上；在低温冷冻处理过程，膨润土层间的水，形成结晶，体积膨胀，破坏膨润土层间结合，使其更容易剥离。接着经过自然风化、陈化，使膨润土层间结构进一步解离。在加工过程中，完全剥离成片层结构。制备高分散性膨润土流变剂。

应用于涂料，在相同固含量下，涂料的黏度大幅降低。涂料固含量从 40%~50%提高到 60%以上，节水 10%~20%。在施工端，涂料无需加水稀释即可直接施工，节水 5%~20%。适合智能机器喷涂作业，提高工作效率 10~16 倍。

3.技术指标

无机膨润土指标一览表

外观	白度	水分 %	胶质价 ml/5g	膨胀率	细度 (44um 筛通过率%)	表观粘度 mpa.s
米白色	≥70	≤12	≥98	>30	>98	≥500

有机膨润土指标一览表

产品组成	有机改性膨润土
颜色	白色
比重	0.73g/cm ³
过筛率（325 目）	≥99%
含水量	2%~4%

4.技术特点及先进性

提高涂料固含、降低黏度；无溶剂化，用活性材料取代原有材料；水性化，拓展油改水，改善终端应用设备和环境；原材料取代，取代纤维素、淀粉醚和气硅等。

5.应用案例

项目名称：三棵树涂料股份有限公司绿色环保且耐擦洗高固含量乳胶漆项目

项目概况：三棵树涂料股份有限公司将膨润土流变剂应用于开发绿色环保且耐擦洗高固含量乳胶漆，固含量达到 70%，黏度低，稳定性强，保持热储 14 天后，无明显沉淀、无明显浮色。涂布后耐擦洗 ≥ 6000 次，达到国家标准“优等品”要求，新水用量节省 20%，施工时不需加水稀释，还可节水 15%。

6.推广前景

低碳节水膨润土流变助剂可有效提高涂料的固含量，降低涂料粘度，无需加水稀释即可直接施工。该材料目前处于研发阶段，阶段性成果具备一定节水潜力，可带来较好的社会效益。

技术支撑单位：浙江长安仁恒科技股份有限公司

联系人：俞铁明

联系方式：15868163878

九、蓄电池行业典型案例

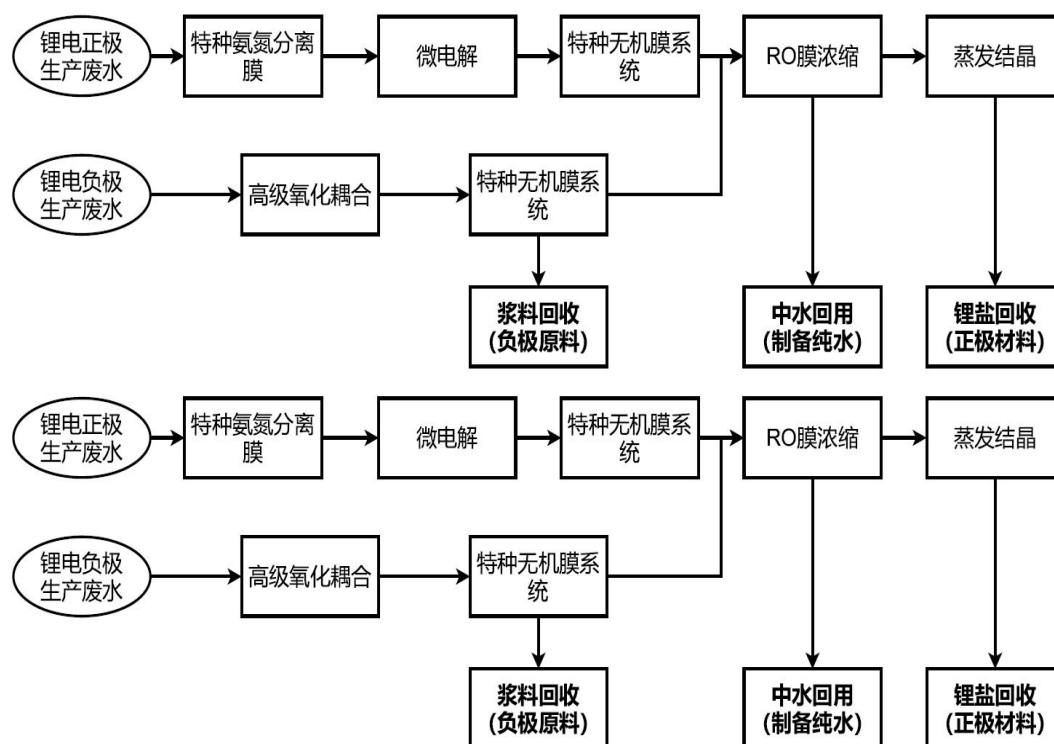
案例一：锂电池高盐高有机废水高效资源利用设备

1.技术适用范围

适用于锂电池高盐废水处理回用。

2.技术原理及工艺

锂电池正极材料生产废水通过特种氨氮分离膜，进行氨氮回收、脱出氨氮后，通过微电解去除大部分有机物；然后进入膜浓缩单元进行浓缩，浓缩液通过蒸发结晶，分离出锂盐进行资源化回收；锂电负极材料生产废水通过高级氧化耦合单元，去除大部分有机物后进入特种无机膜系统，进行浆料回收。中水回用至超纯水的制备单元，全流程实现资源化零排放。



工艺流程示意图

3.技术指标

COD 去除率 $\geq 99\%$ ；氨氮去除率 $\geq 99\%$ ；TDS $< 5\text{mg/L}$ ；水回用率 $\geq 95\%$ ；锂回收率 $\geq 95\%$ 。

4.技术特点及先进性

一体式催化氧化与电催化氧化耦合单元、PTFE 中空纤维跨膜分相脱氨单元，结合废水浓缩特种无机膜组件、高效蒸发单元及集成技术，实现锂电废水资源化处理，出水 COD $< 10\text{mg/L}$ 、氨氮 $< 5\text{mg/L}$ 、TDS $< 5\text{mg/L}$ ，水回用率 95%、锂回收率达 95%；具有节水强、成本低、能耗低等特点。

5.应用案例

项目名称：常州市贝特瑞新材料公司锂电池高镍三元正极材料废水资源化项目

项目概况：常州市贝特瑞新材料公司年产 5 万吨的三元锂电池，生产过程产生部分高浓度废水。该项目建成 720m³/d 废水预处理系统，216m³/d 的 MVR 蒸发系统。前段预处理采用混凝沉淀法，废水在碱性条件下形成氢氧化物沉淀，再通过投入 PAM 进行混凝沉淀。各种废水经过预处理后进入调节池，后续采用生化处理将废水中的有机物等污染物进行去除。生化处理采用“UASB+A/O 池+二沉池”工艺，通过微生物作用将废水中的污染物去除，然后进行蒸发浓缩处理，实现年节水 17.1 万立方米。

6.推广前景

该装置可应用于锂电池废水等工业高盐高有机废水领域，目前处于研发阶段，阶段性成果具备一定节水潜力，可带来较好的社会效益。

技术支撑单位：苏州新能环境技术股份有限公司

联系人：王延宗 联系方式：13962117150

十、煤炭行业典型案例

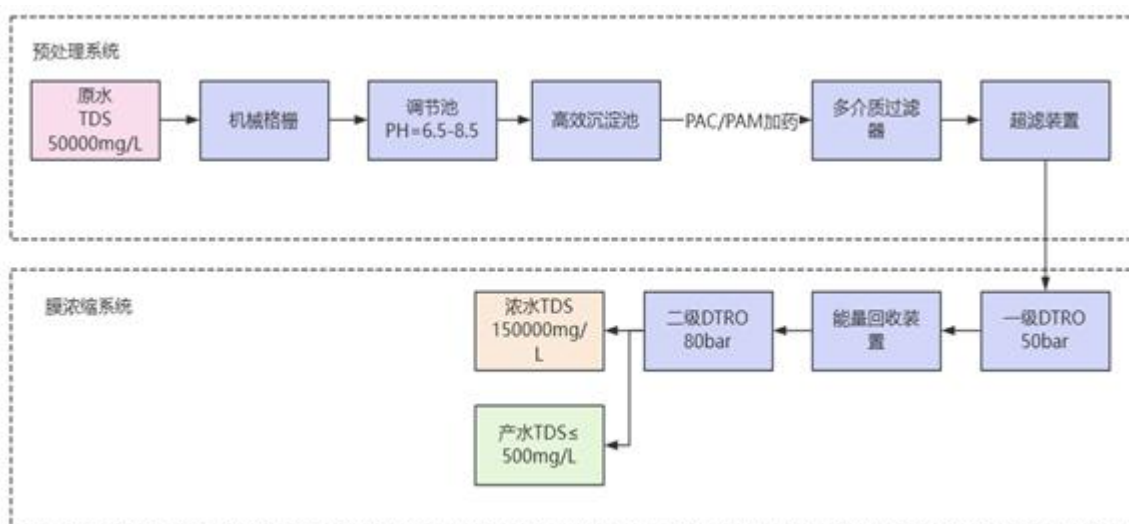
案例一：矿井水高效节水零排及资源回收利用成套装备

1.技术适用范围

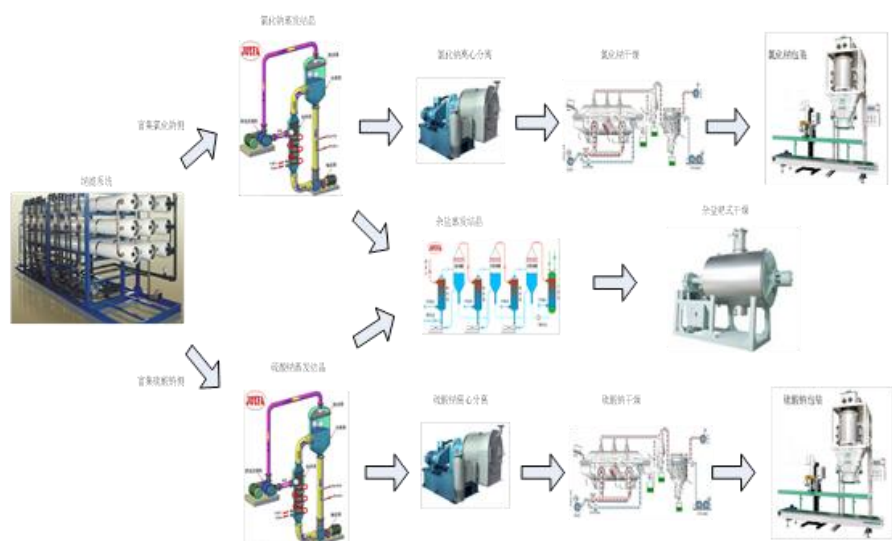
适用于矿井水循环利用。

2.技术原理及工艺

该装备分为预处理+膜浓缩和蒸发结晶两个工艺单元，矿井水经过絮凝、反应、沉淀、过滤后，自流进入净化水池，经过预处理+膜浓缩处理后，淡水进入成品水外送水池。膜浓缩产生的浓水，进入蒸发结晶单元，最终得到无水硫酸钠产品，实现结晶分盐，产出工业级的氯化钠和硫酸钠。



预处理+膜浓缩工艺流程示意图



蒸发结晶分盐工艺流程示意图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	指标类别	本装备参数	检测标准
1	处理能力	单套 5000m ³ /d（模块化扩展）	GB/T 50109
2	水回用率	≥ 99.5%	GB/T 19923
3	脱盐率	≥ 99.5%（DTRO 膜）	HG/T 5116
4	结晶盐纯度	NaCl ≥ 98.5% Na ₂ SO ₄ ≥ 99%	GB/T 5462
5	吨水综合能耗	≤ 20kWh	GB 30252
6	自动化率	≥ 95%	GB/T 34036

4.技术特点及先进性

采用“膜预分离—蒸发结晶”双效分离机制，攻克高盐矿井水中 Na⁺/Cl⁻/SO₄²⁻的选择性分离难题，TDS 去除率突破性达到 ≥ 99%。实现了一套设备单盐提取到复盐提取的突破。副产品盐提取技术可实现白度 ≥ 90%、纯度为 99.2%，NaCl 纯度 ≥ 98.5%、Na₂SO₄ 纯度 ≥ 98%。结合 AI 动态加药、余热回收，降低吨水处

理能耗，ZLD 系统能耗 $\leq 20\text{kWh/m}^3$ ，节能 35%以上，余热回收效率达 85%。

5.应用案例

项目名称：基于 MVR—膜集成的矿井水零排放与高纯盐资源化协同处理系统

项目概况：该项目处理的原水为高盐矿井水，水质具有 TDS 高、硬度大、氯离子和硫酸根含量高等特征。传统采用混凝沉淀+反渗透工艺，存在回用率低（ $\leq 60\%$ ）、年浪费水资源超 100 万 m^3 、浓水排放不达标等问题。采用的核心工艺包括“预处理（混凝沉淀+超滤）+DTRO 膜浓缩+MVR 蒸发结晶+分盐资源化”全流程，预处理单元将进水 SS 降至 10mg/L 以下，膜浓缩段将 TDS 从 50000mg/L 浓缩至 150000mg/L ，蒸发结晶单元通过 MVR 技术实现 NaCl 和 Na_2SO_4 的分质结晶（纯度分别 $\geq 98.5\%$ 和 98% ）。单套系统（ $5,000\text{m}^3/\text{d}$ ）年节水 180 万 m^3 。

6.推广前景

矿井水高效节水零排及资源回收利用成套装备主要应用于矿井水处理领域，目前处于研发阶段，阶段性成果具备一定节水潜力，可带来较好的社会经济效益。

技术支撑单位：苏州乔发环保科技股份有限公司

联系人：丁挺

联系方式：13372178448

案例二：矿井水一体化正压设备

1.技术适用范围

适用于矿井水循环利用。

2.技术原理及工艺

该设备的核心技术有：（1）溶解空气浮和平板膜融合模块技术：溶解空气气浮（DAF）利用微气泡浮选絮凝物，并通过油水界面自动排渣，最终经平板膜正压过滤处理矿井水，通量可超300LMH。（2）正压碳化硅平板膜设计技术：污水经絮凝加药后，通过旋流离心分离重污染物，纳米气泡上浮分离轻物质（自动排渣），再经微泡二次处理，最终由平板膜过滤产出低浊度水。（3）超细气泡生成技术：向系统引入直径在100~1000nm的超细气泡后，在给水流速中产生湍流，渗透进入膜表面的污染层，从而增加给水通量。（4）高效混合器原始流体动力反应技术：双流体经导流翼板形成高速螺旋流，利用密度差离心分层；界面湍流与翼形分离器多级切割促发微粒剧烈碰撞反应，直至出口完成混合。



装备现场图 1



装备现场图 2

3.技术指标

技术指标一览表

序号	指标	坚膜科技
		75 矿井 75m ³ /hr 矿井水一体化正压设备
1	纯水通量	1500L/h
2	过滤效果	99%
3	节能降耗	40%以上
4	过滤精度	20nm

4.技术特点及先进性

该技术主要核心材料是高纯度碳化硅陶瓷膜，可承受 800℃ 以上高温，在 pH 值 0~14 之间损耗波动极低，过滤精度高，纯水通量大，在 20℃ 条件下纯水通量最高 2500L/(m²·h·bar)，孔隙率高。采用溶解空气微泡气浮与碳化硅平板膜融合技术的 75m³/h 矿井水一体化正压设备，在实际矿井水处理应用中表现出优异的稳定性与可靠性。

5.应用案例

项目名称：兖矿能源集团济宁三号煤矿矿井水综合处理项目

项目概况：该系统过滤精度可达 20nm，纯水通量高达 1500L/(m²·h·bar)，过滤效率超过 99%，远超同类产品。此外，系统节能表现突出，相较传统系统降低能耗超过 40%。设备融合了两级溶解空气气浮与碳化硅平板膜一体化设计，通过微气泡与絮凝剂协同作用实现高效悬浮物去除，并利用膜产水在系统内循环使用微泡水，进一步降低运行成本。正压碳化硅膜结构结合旋流与气泡处理机制，显著降低膜污染、提升膜使用寿命。

6.推广前景

矿井水一体化正压设备主要应用于高矿化度、高氟化物及复杂有机污染等特征水质的矿井水深度处理，具有较好的推广前景，预计未来五年推广比例达到 55%。

技术支撑单位：浙江坚膜科技有限公司

联系人：张珺

联系方式：13454010798

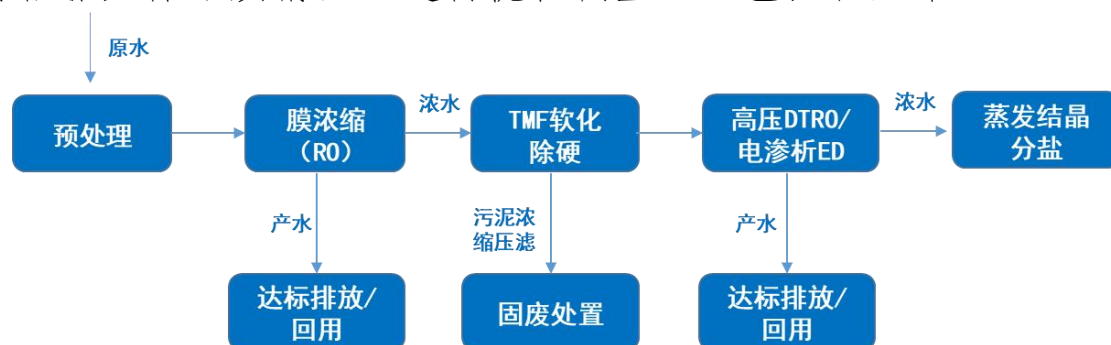
案例三：矿井水深度处理及资源化技术装备

1.技术适用范围

适用于矿井水处理回用。

2.技术原理及工艺

该装备采用“预处理+多级膜高效浓缩+多效强制蒸发结晶+分盐”工艺，一级浓缩采用“超滤+BW 反渗透”工艺，二级浓缩采用 BW 反渗透工艺，三级浓缩采用 DTRO 反渗透工艺，系统中除硬采用“药剂软化+管式微滤膜”工艺，浓盐水处理采用“多效蒸发+分盐结晶”工艺，生产硫酸钠和氯化钠。技术工艺可根据具体水质情况，进行优化调整。工艺流程如下。



工艺流程示意图

3.技术指标

TDS < 500mg/L，硫酸盐 < 250mg/L，氯化物 < 250mg/L，废水回用率 ≥ 96%。硫酸钠含量 ≥ 98%（wt），含水率 ≤ 0.5%；氯化钠含量 ≥ 92%（wt），含水率 ≤ 6%；杂盐量不超过总盐量的 5%，含水率 ≤ 8%。

4.技术特点及先进性

采用高效膜浓缩技术及装备，浓缩后浓盐水 TDS 达 110000mg/L 以上，解决浓液减量化的难题。采用化学除氧，避免结垢，采用多效强制蒸发结晶技术，利用热能减少蒸汽消耗，解决结晶盐纯度较低、难以资源化利用的难题。

5.应用案例

项目名称：营盘壕煤矿矿井水深度处理工程项目

项目概况：该项目采用“预处理+多级膜高效浓缩+多效强制蒸发结晶+分盐”的处理工艺，处理规模 3000m³/h，项目实施后每年可减少盐排放量约 7.8 万吨，每天可提供 70000m³以上的可利用水源，减少地下水取水量，实现水资源节约及循环利用。

6.推广前景

该技术可广泛应用于高含盐矿井水回收利用，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%，年节水量 4500 万立方米。

技术支撑单位：南京万德斯环保科技股份有限公司

联系人：沈妍

联系方式：18061627258

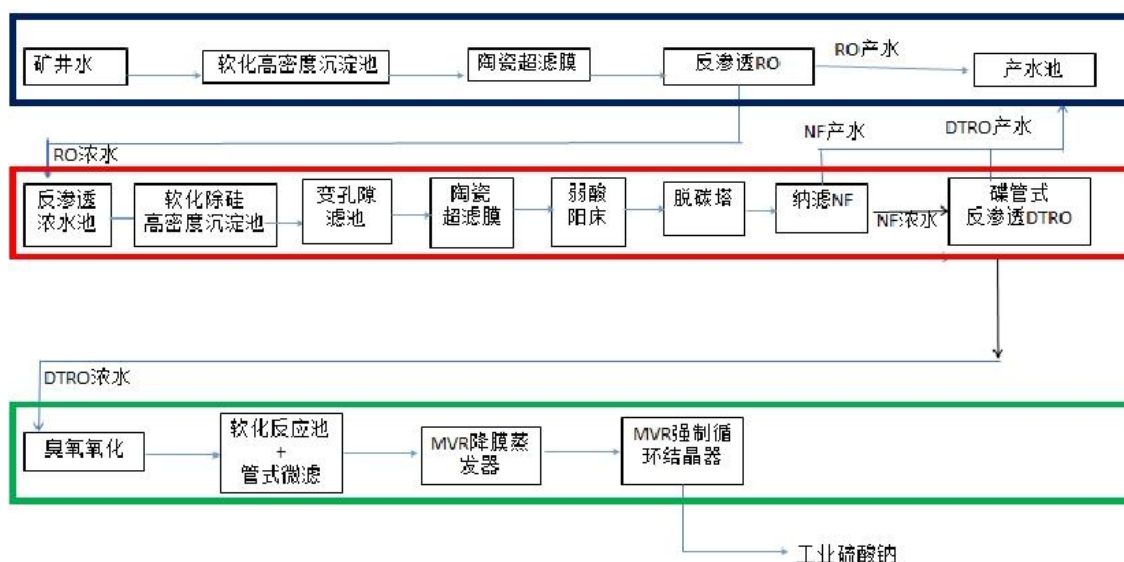
案例四：高矿化度矿井水资源化利用技术

1.技术适用范围

适用于矿井水处理回用。

2.技术原理及工艺

该技术分为三个处理单元：软化预处理脱盐单元、浓缩减量单元和蒸发结晶单元。废水经过“高效澄清池（碳酸钠+氢氧化钠药剂软化）+陶瓷超滤+反渗透”处理后，产水回收利用，浓水进入浓缩减量单元。经“浓水高效澄清池（软化及除硅）+滤池+超滤+弱酸阳离子交换树脂+脱碳塔+纳滤（NF）+碟管式反渗透（DTRO）”处理后，产水回收利用，浓水进入蒸发结晶单元。经“管式微滤+MVR 强制循环蒸发器+强制循环结晶器”处理后，冷凝水回收利用，结晶盐硫酸钠外售。



工艺流程示意图

3.技术指标

矿井排水经过资源化处理后，淡水回收利用于灌溉农田、工业用水、生活用水、生态补水等领域。产水指标 $\text{TDS} \leq 1000 \text{mg/L}$ ，满足国家回用水标准。生产的硫酸钠符合国家标准一等品要求。

4. 技术特点及先进性

该技术集成化学软化、预脱盐、浓缩减量、蒸发结晶工艺；采用高密度沉淀池与大通量陶瓷膜短流程预处理技术，高效截留矿井水中悬浮物和难溶无机盐，通过一级三段纳滤分盐装置，利用二段增压、三段浓水循环回流技术，保证纳滤高回收率和硫酸钠品质；通过强制循环蒸发结晶工艺，提升蒸汽压缩比，在结晶器设置淘析腿装置增大硫酸钠结晶粒径，保证产品硫酸钠纯度。解决高矿化度矿井水排水资源化问题。

5. 应用案例

项目名称：小纪汗矿井及选煤厂矿井水综合利用项目

项目概况：小纪汗矿井排水为煤矿矿井排水，含盐量在 3000mg/L 左右，设计规模 1900 立方米/小时 ，矿井排水经过化学软化－预脱盐－浓缩减量－蒸发结晶处理工艺单元处理后，实现资源化利用，淡水（ $\text{TDS} \leq 1000 \text{mg/L}$ ）回收利用于灌溉农田、工业用水、生活用水、生态补水等领域；产品无水硫酸钠作为工业生产的原料。年产淡水 1500 万吨 、工业无水硫酸钠 4.6 万吨 。年减少外排高盐矿井水约 1500 多万吨 ，年回收煤泥 2.5 万吨 。

6. 推广前景

该技术可广泛应用于高矿化度矿井水回收利用，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 10%，年节水量 3000 万立方米。

技术支撑单位：华电水务工程有限公司

联系人：秦树篷 联系方式：13911552792

十一、电力行业典型案例

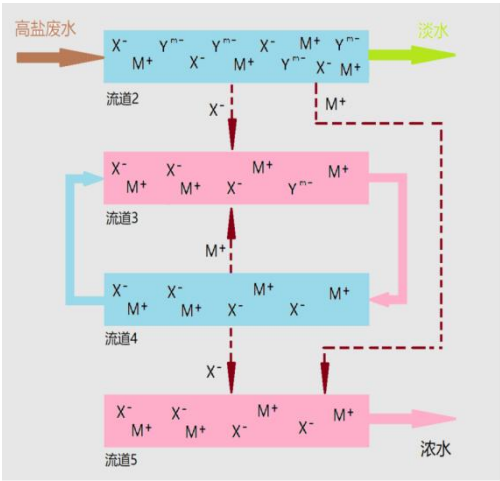
案例一：离子多级筛分精准脱除及废水浓缩减量技术装备

1.技术适用范围

适用于燃煤电厂烟气处理废水循环利用。

2.技术原理及工艺

该装备是一种基于离子置换浓缩技术（IRCT）自主研发的一种全新的国产化六通道电渗析脱盐浓缩装置，可用于高含盐、高硬度废水的离子精准筛分脱除和浓缩减量。以多级筛分离子置换浓缩设备为核心装备的脱硫浆液离子脱除工艺，在直流电场驱动下实现 Cl^- 、 Mg^{2+} 等目标离子的靶向分离，通过多级筛分限制无害离子的迁移浓缩，使浆液中的 Cl^- 、 Mg^{2+} 等有害离子型污染物浓度控制在较低范围内，同步实现水资源高效回用与废水浓缩减量目标。系统离子置换过程中所需的氯化钠，通过分盐技术的应用从工艺系统中分离获得，无需额外投加。



工艺原理图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	名称	参数
1	进水水温 °C	≤40
2	进水 NTU	≤1
3	浓缩液含盐量 TDS	≥14%
4	浓缩液 Cl ⁻ mg/L	≥55000
5	浓缩液 SO ₄ ²⁻ mg/L	≤500
6	电压等级 V	110DC
7	节水率 %	≥85%
8	吨水运行成本 元	≈12
9	吨水电耗 kW·h	≤14kW·h
10	国产化 %	100

4.技术特点及先进性

与现有热法、膜法脱硫废水零排放技术相比，离子置换浓缩技术具有稳定性高、淡水回用率高、技术自主性高和技术适用性广等核心竞争优势。与目前主流的低温多效+蒸干技术路线和烟气余热浓缩+蒸干技术路线相比，离子置换浓缩技术零排放系统无软化药剂，全寿命周期成本降低 40%以上。易于实现资源化，浓缩液 TDS 可达 14%以上。国产化率高，离子置换浓缩技术核心设备国产化率 100%。本技术最大的优势在于无需投加药剂，这意味着 100%节省了药剂费和污泥处置费。此外，通过先进的处理工艺，实现了 85%的水资源回收利用

5.应用案例

项目名称：基于离子置换浓缩技术的脱硫浆液离子脱除和资源化处理工艺研究及工程示范

项目概况：国电铜陵发电有限公司一期工程（ $2 \times 630\text{MW}$ 超临界燃煤发电机组）位于铜陵市东北的铜陵县永丰乡境内，距市区约 19 公里。铜陵示范工程将脱硫废水零排放处理吨水运行费用降至 11 元左右，与现有主要工艺相比降幅超过 80%。以 $20\text{m}^3/\text{h}$ 废水处理量为例，运行费用节省 600 万元/年，年运行费用降低 80%。全寿命周期按 30 年计算成本降低 45% 以上，示范工程项目产生经济效益 1.8 亿元。从成本构成看，无需投加药剂节省了药剂费和污泥处置费 100%，通过先进处理工艺实现水资源回收利用，进一步降低了企业用水成本。

6.推广前景

离子多级筛分精准脱除及废水浓缩减量技术装备无须添加任何软化药剂即实现高悬浮物废水的澄清处理，目前处于研发阶段，阶段性成果具备一定节水潜力，可带来较好的社会效益。

技术支撑单位：国能水务环保有限公司

联系人：陈雪

联系方式：15201358503

案例二：煤矿—电厂废水集约协同处理与资源化成套技术及装备

1.技术适用范围

适用于煤矿—电厂废水协同处理回用。

2.技术原理及工艺

该技术创建基于煤矿—电厂区域水—盐代谢路径三重约束的分析方法。在此基础上，开发“自由离子辅助软化协同处理+高盐浓缩+降膜蒸发结晶”的废水资源化处理主工艺，并配套“碱度离子协同软化+耐垢膜材料+结垢倾向预测+Na⁺浓缩液树脂软化”的高效防垢浓缩减量系统，构建从废水产出、处理、回用到浓水处置及副产品资源化的全链条技术模式。开发基于化学诱导结晶原理的矿井水与脱硫废水协同处理技术，可同步去除钙、氟、硅等多重致垢因子，利用废水中碱度离子转化为软化药剂“以废治废”，采用综合废水并联处理工艺生成高含固率（95%）的无水碳酸盐晶体副产品。开发以膜系统全生命周期运行优化为核心的智慧水务平台。

5.应用案例

项目名称：煤矿—电厂废水集约协同处理与资源化关键技术

项目概况：该项目针对黄河流域非常规水资源利用量不足总供水量的 6%、资源化不足、盐度/碱度高、智能化程度低等问题制约矿井水在煤电行业的再利用等问题，采用煤矿—电厂废水集约协同处理与资源化关键技术，提出非常规水资源“水源替代—高效复用—无废处置”的新模式，实现黄河流域煤矿—电厂节水减污降耗协同增效的目标。矿井高盐水与脱硫废水协同处理系统每年可节省氢氧化钙 824t/年，碳酸钠 3087t/年，节约药剂费 1025 万元；精制两种盐，产生经济效益 3392 万元；节约水资源费 301 万元；节约排污水 564 万元。

6.推广前景

煤矿—电厂废水集约协同处理与资源化关键技术主要应用于煤电等高耗水行业，目前处于研发阶段，阶段性成果具备一定节水潜力，可带来较好的社会经济效益。

技术支撑单位：国能水务环保有限公司

联系人：陈雪

联系方式：15201358503

案例三：沙戈荒新能源场站节水增汇生态修复技术

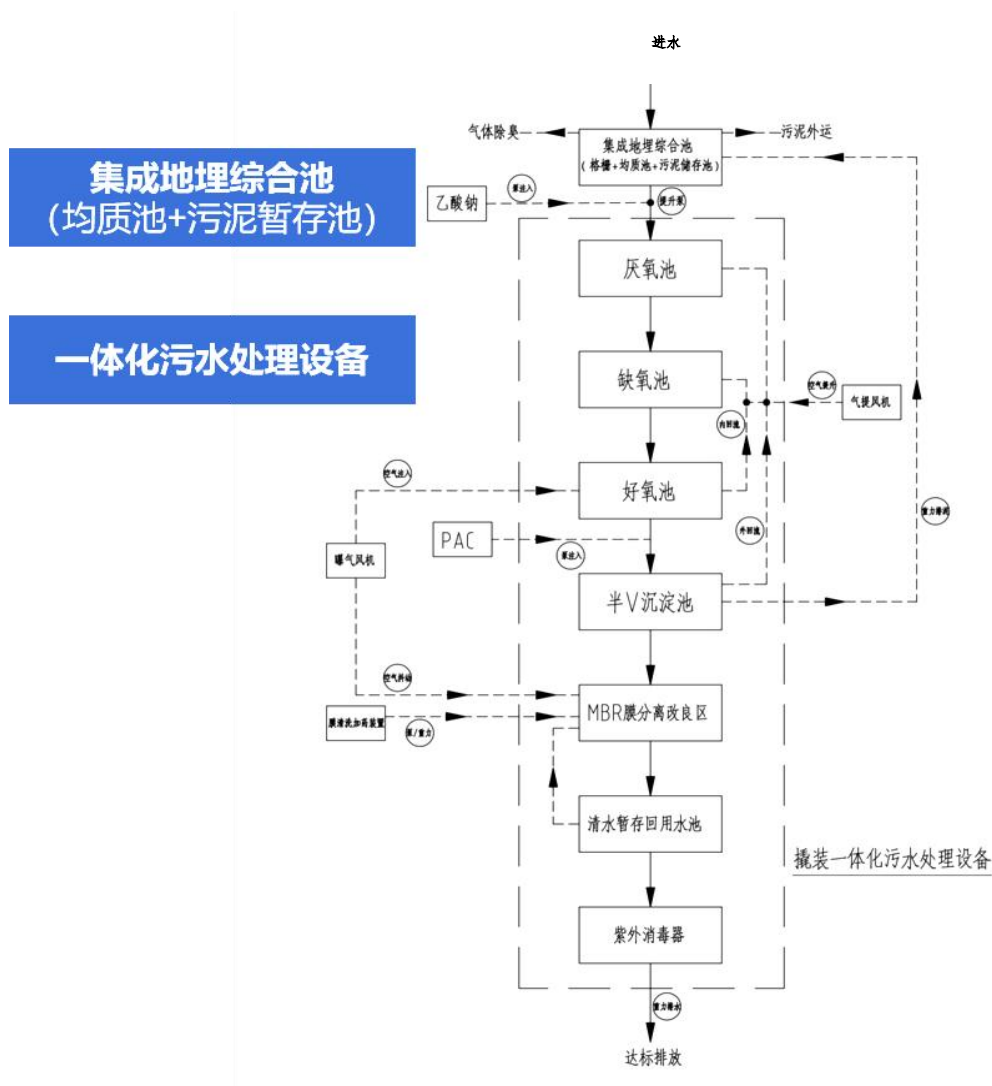
1.技术适用范围

适用于新能源电厂水循环利用。

2.技术原理及工艺

该技术根据沙戈荒地区气象特征与水资源分布，优化新能源场站供排水策略，提出“收集净化—高效处理—原位回用”水资源循环机制。研制“泥膜复合 A²/O”“A²/O+MBR”系列智能型分散式污水处理装置，出水水质满足原位循环回用要求。监测土壤、气象、植物生理数据，基于蒸散发灌溉决策模型，根据作物需水量、降水量、土壤含水变化，实时预测灌溉需水量，构建“感知—预测—决策”智能灌溉系统。

筛选优势乡土植物，在施工扰动场地开发生态毯植被定植技术，建立“机械覆土+滴灌补墒+人工补播”的修复流程，通过“复合改良剂—生物有机肥—微生物菌剂”的土壤改良模式协同增效，植被覆盖率提升至 15%。构建绿色生态农牧业综合发展体系，建立“农—牧—光互补”循环农业模式，推动农牧业生产与能源产业发展深度融合，为持续增收奠定坚实基础。



工艺流程示意图

3.技术指标

该技术基于机器学习及物理过程模型，以耗定需“精准灌溉”，节水率达 40%。开发多段式膜生物反应器，促进水资源 100% 高效利用的良性循环。在生态修复方面，突破土壤改良与生境适配修复关键技术，土壤有机质含量提升 10%，植被覆盖率提升 10%；开展风沙防治工程实践，输沙率降低 60%；提出固碳

评估计算方法，系统固碳量提升 20%；建立“农—牧—光互补”的循环农业模式，实现“经济—环境—社会”效益融合。

技术指标一览表

序号	技术维度	核心技术/措施	关键指标与成效
1	智能节水与水循环	基于机器学习及物理过程模型，实现“以耗定需”的精准灌溉。	节水率达 40%。
		开发多段式膜生物反应器，促进水资源循环利用。	实现水资源 100% 高效利用的良性循环。
2	生态修复与环境治理	突破土壤改良与生境适配修复关键技术。	土壤有机质含量提升 10%。
		开展风沙防治工程实践。	植被覆盖率提升 10%。 输沙率降低 60%。
3	碳汇管理与生态效益	提出固碳评估计算方法。	系统固碳量提升 20%。
4	循环农业与综合效益	建立“农—牧—光互补”的循环农业模式。	实现“经济—环境—社会”效益融合。

4.技术特点及先进性

该技术通过闭环水循环与智能灌溉实现显著节水与综合效益。以场站人员生活用水计（按 80L/人·天，30–100 人规模），可年节水量 876~2920 吨，水资源 100% 循环回用，彻底替代外部取水，降低高成本外运供水依赖。智能灌溉系统较传统灌溉方式节水 40% 以上，支撑植被成活率>80%。固沙植被降低风蚀输沙率 60%，减少光伏板清洗频次及设备磨损维护成本；系统固碳能力提升 20%，按全国 4.55 亿千瓦新能源基地规划，25 年运营期

可新增固碳 921~2456 万吨；衍生“光伏+农牧”产业增值，实现生态修复与经济效益深度融合。

5.应用案例

项目名称：青海华电海西德令哈 100 万千瓦光储及 3 兆瓦光伏制氢项目

项目概况：该项目研制的系列智能型分散式污水处理装置，具有智能化、模块化、集成化的特点，出水水质满足原位循环回用要求。构建的“感知—预测—决策”智能灌溉系统，实时预测灌溉需水量，动态调整灌溉策略，实现水资源 100%高效利用的良性循环。项目构建“土壤质量改良—生长层重构—植被快速恢复”技术系统，提出“复合改良剂+生物质有机肥+菌剂修复”协同方案，开发基于环境友好型生态材料的土壤修复技术，筛选出高羊茅、早熟禾等抗寒耐旱植物进行生态区地表覆盖修复。该技术在厂区顺利实施后，生态修复区土壤有机质含量提升 10%，植物成活率 > 80%，植被覆盖率从不足 5%增至 15%，碳汇能力提高 20%。

6.推广前景

沙戈荒新能源场站节水增汇生态修复技术主要应用于沙戈荒地区新能源基地的可持续发展，目前处于研发阶段，阶段性成果具备一定节水潜力，可带来较好的社会经济效益。

技术支撑单位：华电水务科技股份有限公司

联系人：陈北洋

联系方式：18622319166

案例四：煤电锅炉及炼油工艺余热回收锅炉应用螯合型节水技术

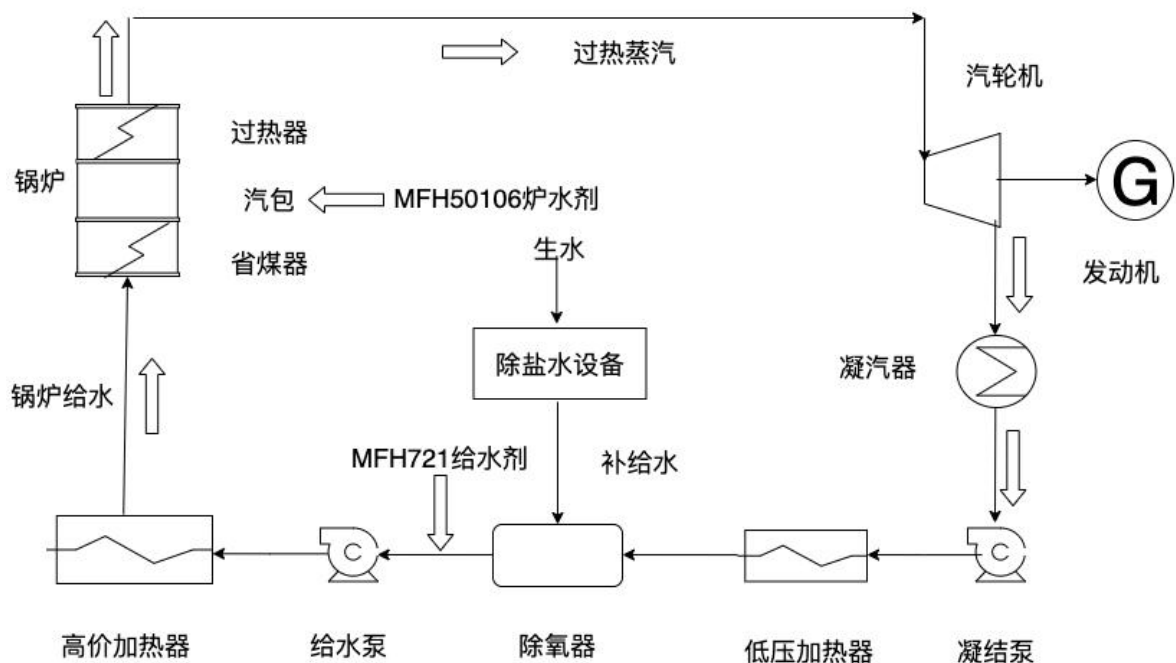
1.技术适用范围

适用于燃煤电厂余热锅炉循环水处理系统。

2.技术原理及工艺

（1）采用 MFH721 给水剂和 MFH50106 炉水剂。在给水系统中，MFH721 给水剂通过在给水系统中中和水中的酸性物质（如碳酸）并去除溶解氧，抑制金属表面腐蚀电池的阴极区，同时可将水中 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} ，促进金属表面形成致密的磁性氧化铁（ Fe_3O_4 ）保护膜，有效阻隔氧气渗透，从而实现金属的钝化与长期防腐。

（2）MFH50106 炉水剂在高倍浓缩工况下，通过多配位键吸附并包裹钙、镁、硅等杂质离子，螯合生成低溶解度络合物，沉淀后形成可流动的共沉积物，通过排污排出系统，提升炉水品质。



工艺流程示意图

3.技术指标

技术指标一览表

序号	种类	名称	参数
1	MFH721 给水处理剂	外观	液态
2		密度 g/mL (25℃)	0.9 ~ 1.0(±0.07)
3		P-碱度 mg/kg	≥300ppm, 1%w/v; 以 CaCO ₃ 计算。
4		pH 值 (25℃)	12.0±2.0
5	MFH50106 炉水处理剂	外观	液态
6		密度 g/mL (25℃)	1.01g/mL+/-0.02
7		P-碱度 mg/kg	15 ~ 300ppm, 1%w/v; 以 CaCO ₃ 计
8		pH 值 (25℃)	12.0+/-2.0
9	排污率		3‰ ~ 8‰

4.技术特点及先进性

该技术可改善锅炉水源状态，在 100 ~ 300 倍的超高浓缩倍率下，实现超低排污率低至 3‰ ~ 8‰。MFH721 给水剂消除溶解氧、中和碳酸，消除电位差，同时对给水系统、蒸汽系统和凝结水系统金属受热面提供镀膜；MFH50106 炉水剂可高效螯合钙、镁、铁、硅、钠等离子，使螯合物悬浮分散可流动，保证锅炉水侧趋于 0 结垢，溶解清除原结垢物，提升锅炉传热效率。

5.应用案例

项目名称：华锦集团盘锦辽河富腾热电有限公司锅炉节水改造项目

项目概况：华锦集团盘锦辽河富腾热电有限公司锅炉水、汽指标长期以来一直处于不稳定状态，主要表现为炉水 PH、给水溶解氧、主蒸汽钠和电导率超标。通过对锅炉水质和脱盐水来源进行检测、分析，发现基本原因是化肥反渗透水的碳有机物（TOC）含量严重超标（1000 ~ 1600ppb，标准为 400ppb），以及乙烯制备脱盐水中碳有机物（TOC）含量时有超标（500 ~ 1500ppb）。项目采用螯合型节水技术进行改造，在锅炉给水系统中，添加 MFH721，调节 pH 值，消除溶解氧；在炉水系统中添加 MFH50106 炉水剂螯合钙、镁、铁、硅、钠等离子。改造后，污水排放指标远超国家排放标准，锅炉热效率提高 1%，可实现年节水量 15.88 万立方米，节约原药剂费用 24.88 万元/年，年减

少 CO₂ 排放 2.37 万吨，并降低硫化物、氮氧化物等污染物排放量。

6.推广前景

煤电锅炉及炼油工艺余热回收锅炉应用螯合型节水技术主要应用于工业锅炉领域，具有较好的推广前景。预计未来五年在高耗水工业领域推广比例达到 10%，年节水量约 3300 万立方米。

技术支撑单位 1：北方华锦化学工业集团有限公司

联系人：杜金龙 联系方式：18642718226

技术支撑单位 2：北京麦夫华节能科技有限公司

联系人：马中伟 联系方式：15081688099

案例五：火电厂优化用水及废水零排放技术

1.技术适用范围

适用于燃煤电厂废水循环利用。

2.技术原理及工艺

针对火电厂循环水排污水、含煤废水、生活污水、含油废水及渣水等多种外排废水，分别采用软化与膜组合工艺、电子絮凝、A/O 生物接触氧化、吸附式一体化除油等关键技术，实现各类废水的梯级利用。在高盐废水处理中采用纳滤分盐结合电渗析浓缩的膜法工艺，进一步浓缩纳滤产水，纳滤浓水中 SO_4^{2-} 可促进脱硫浆液中的固硫反应（生成 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ），进而转化为石膏产品，实现资源化利用。开发两种浓缩技术：一为管式膜软化+纳滤分盐+电渗析浓缩工艺，二为低温烟气余热浓缩技术，大幅实现废水减量。开发高盐废水末端固化技术，包括高温旁路烟道蒸发系统（采用三流体雾化喷头）和主烟道低温烟气余热蒸发系统。

同时，构建以三维可视化平台为基础的全厂智慧水务管控系统，集成管理分析、关系型数据库及多种信息与通信技术，实现对全厂水系统数据的深度采集与监视。依托大数据分析生成时序演化图表，为节水管理与决策提供支持，推动企业智能节水发展。



智能水务管理平台三维可视化系统

3.技术指标

2021 年初示范项目实施后，电渗析系统高盐浓水溶解性总固体达到 210000mg/L 以上，低温烟气余热浓缩系统高盐浓水溶解性总固体达到 240000mg/L。纳滤浓水中硫酸根含量 37.09g/L，四台机组满负荷同时运行，纳滤浓水 15m³/h 返回脱硫系统，按设计煤质增加钙硫比 1.63%。创新设计的三流体雾化喷头雾化粒径 45 ~ 60 μm。

4.技术特点及先进性

（1）开发梯级优化节水技术及水务智能监控系统平台，实现动态水平衡管理，示范工程单位发电取水量由 1.92m³/(MW · h) 降至 1.79m³/(MW · h)，减少外排水量 162 万吨/年；纳滤浓水作为脱硫吸收塔除雾器冲洗水，可将硫酸根转化为石膏，实现资源化利用。

(2) 发明加盐电渗析浓缩和低温烟气余热浓缩技术，浓缩液浓度达到 21 万~24 万 mg/L，设备模块化布置，节约占地。

(3) 研制新型高温烟气雾化干燥技术，明晰高温烟气氯挥发机理与控制对策；开发三流体喷嘴，解决了喷嘴堵塞问题；干燥塔底部的杂盐与粉煤灰混合实现资源化利用。

5.应用案例

项目名称：华电章丘发电有限公司深度优化用水及水污染防治改造项目

项目概况：章丘公司采用地表水与中水作为电厂生产用水，水源替换改造工程实施后，按机组年利用小时数 5000h 计算，电厂年用水量为 $1250 \times 10^4 \text{m}^3$ ，其中由杜张水库地表水年供水量为 $350 \times 10^4 \text{m}^3$ ，朱各务水库地表水年供水量为 $400 \times 10^4 \text{m}^3$ ，章丘第一污水处理厂再生水年供水量为 $500 \times 10^4 \text{m}^3$ 。章丘公司优化用水及废水零排放技术改造实施前，水源供水比例再生水：地表水为 1:1.5，优化用水及废水零排放技术改造实施后，章丘公司年节约取水量约为 $162 \times 10^4 \text{m}^3$ ，电厂年用水量 $1000 \times 10^4 \text{m}^3$ ，章丘第一污水处理厂再生水与地表水各取 $500 \times 10^4 \text{m}^3$ 。优化用水及废水零排放技术改造实施前，章丘公司年外排水量为 $177 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

6.推广前景

火电厂优化用水及废水零排放技术主要应用于火电机组节水减排, 具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 20%, 年节水量 7500 万立方米。

技术支撑单位: 华电水务科技股份有限公司

联系人: 崔德圣

联系方式: 18911052968

案例六：火电厂空冷机组基于湿场变化实现智慧喷淋节水技术

1.技术适用范围

适用于电力行业节水工艺。

2.技术原理及工艺

该技术将雾化喷嘴合理布置在空冷岛风机和散热翅片之间，喷嘴喷出的雾化水与空气充分接触组合成气水混合物，降低周围局部空间的环境温度和湿度，再由散热风机将加湿降温后的气水混合物带到并附着在散热器管束表面，通过附着水雾的迅速蒸发带走散热器表面的热量，快速降低空气温度和管束表面温度。系统包括：集控室远程控制终端、现场控制器、管道和水泵，阀体、传感器、雾化喷嘴。

控制系统设计智慧全喷节水模式和智慧半喷节水模式，分别适用于不同环境温度、负荷、背压条件下投运，节水切换时间可以自由设定。



工艺流程示意图

3.技术指标

降低除盐水耗量 50%。

4.技术特点及先进性

(1) 采用 3D 建模技术，建立直接空冷动态 3D 模型实现完全可视化，直观动态展示空冷岛结构、设备信息、运行参数进行检视。

(2) 利用布置在空冷岛关键位置处的空冷温度场监测系统，实时监测各换热单元的实时换热量，根据换热器脏污状态与换热系数的关系，构建空冷单元脏污指标体系，建立空冷岛脏污预测模型。

(3) 在每个空冷风机单元内安装 60 只高效雾化空心锥形喷嘴，单喷嘴流量 0.7L/min。每只喷嘴可实现 2000mm×2000mm 的喷雾面积。风机单元每侧布置 5 根 DN20 喷雾管，每根喷雾管上安装 6 个雾化喷嘴，单台机组共 1800 只雾化喷嘴。水流经过喷嘴后，在喷嘴特殊结构及空冷风机的作用下实现完全雾化。

5.应用案例

项目名称：内蒙古京科电厂空冷机组基于温场变化实现智慧喷淋项目

项目概况：内蒙古京科电厂 330MW 火力发电空冷机组汽轮机排汽冷凝系统，采用机械通风直接空冷系统，于 2022 年实施智慧喷淋节水技术项目，单台机组喷雾系统设计除盐水总量约为 60t/h ~ 65t/h。采用专用高效精细雾化喷嘴，颗粒平均直径小于 50 微米，喷雾角度 120°，每个空冷风机单元内安装 60 个高效精细雾化喷射空心锥形喷嘴。喷雾系统投运时空冷岛下无滴水现象，除盐水利用率提高。喷雾系统正常运行后，在高温及满负荷条件下使背压继续降低 0.2Kpa。喷雾系统实行风机单元制、变频恒压控制。年节约除盐水 50%，节新水 3.15 万吨，实现经济效益 172.5 万元。

6.推广前景

该技术可广泛应用于火电厂直接空冷机组冷却循环水系统，具有较好的推广前景。预计未来五年推广比例达到 40%，年节水量 400 万立方米。

技术支撑单位：内蒙古京科发电有限公司

联系人：金剑 联系方式：15024818913