

10度电蒸
发一吨水

基于热泵与高级氧化技术的高盐废水/物料深度 脱碳与浓缩一体化技术

目录

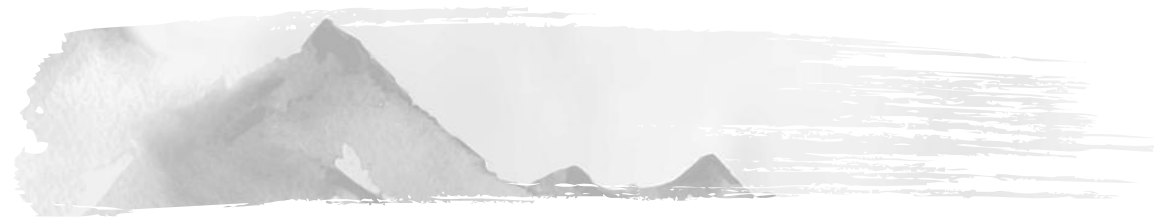
01. 研究背景

02. 解决方案与关键技术

03. 应用方向

04. 合作模式

01 研究背景



高盐物料/废液浓缩与提纯的三个难题

投资高

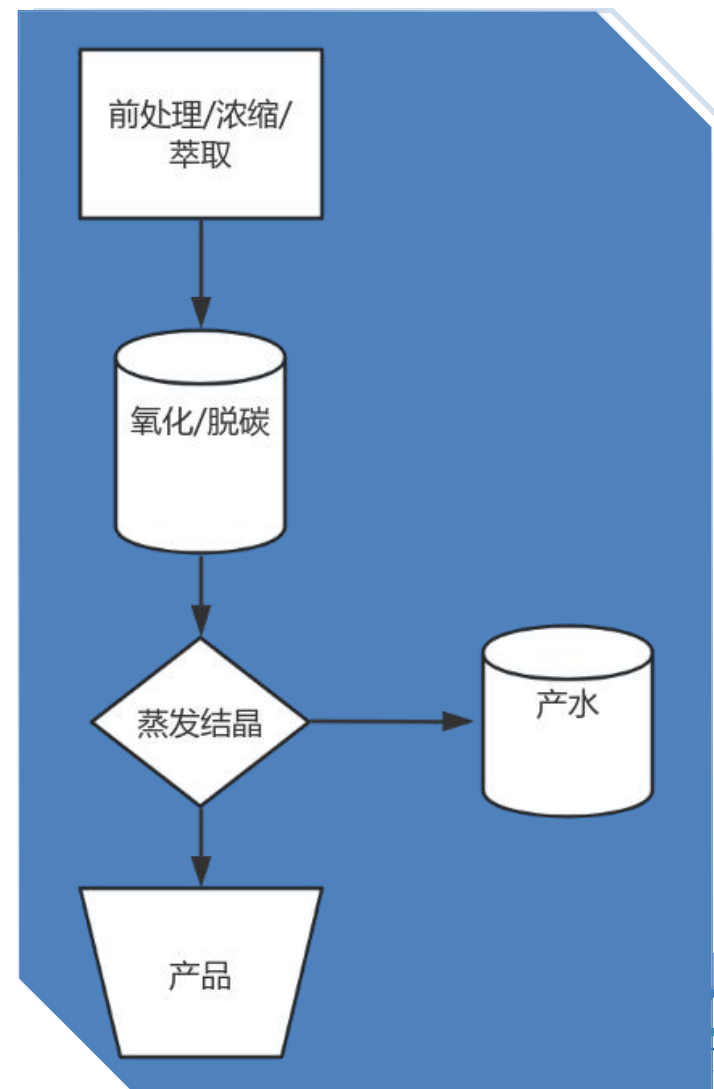
吨水投资>20万元

能耗高

蒸汽与电耗高, 吨水能耗>

杂质多·除碳

COD降解难度大



浓盐水脱色需求与低能耗解决方案

问题



痛点

- 浓盐水处置成本高，无法承受。
- 废盐色度高，量大，处置成本高。

解决方案

- 增加深度脱色系统，降低废盐色度和TOC。
- 寻求PVC产业协同处置。

高TOC浓盐水进入离子膜烧碱工艺面临的问题

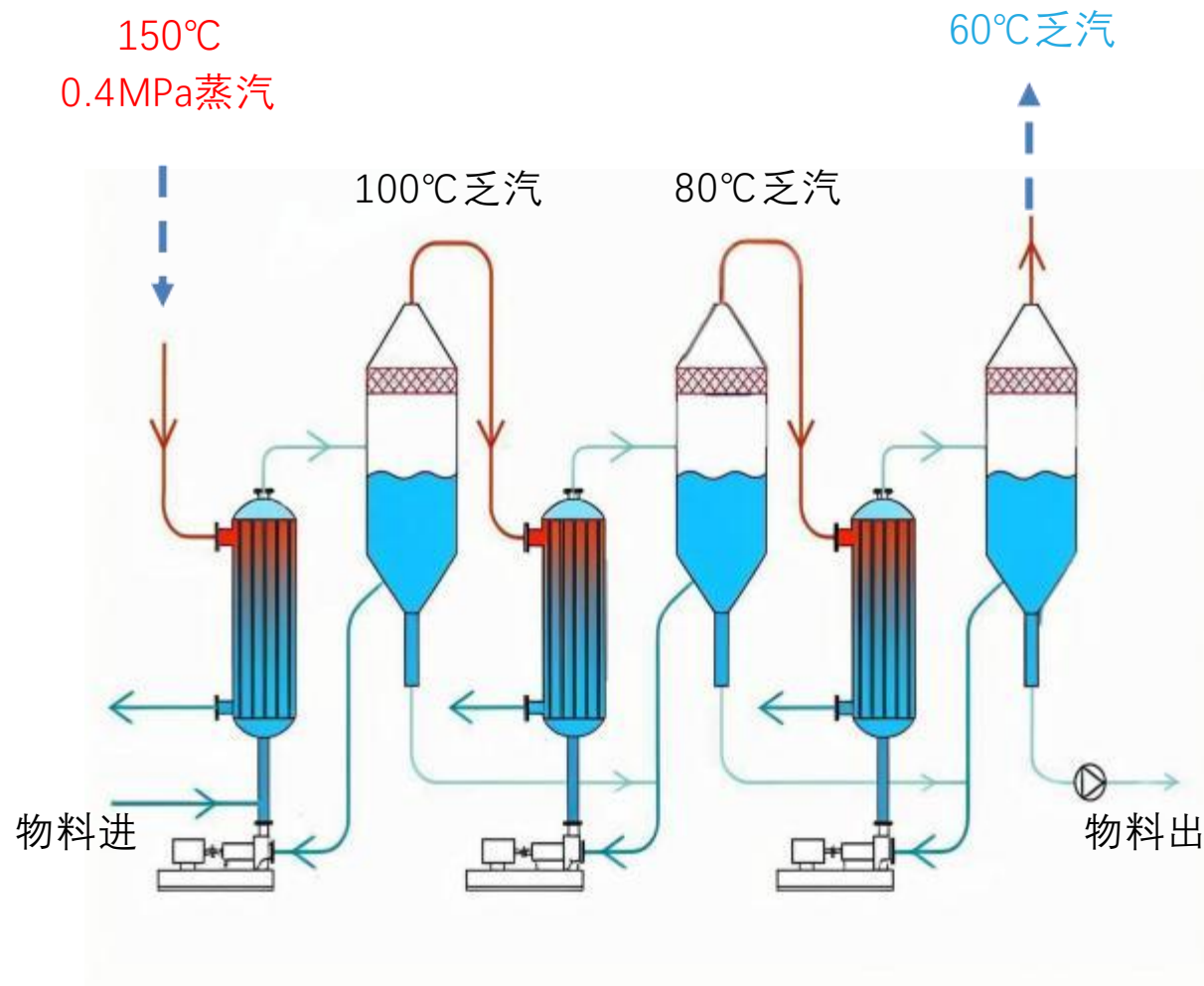
异常现象	核心危害维度	具体影响
电流效率大幅下降	经济成本+设备损耗	生产成本上升；离子膜频繁更换、电解槽拆解/附件损坏率增加；泄漏率上升，作业人员超安全允许人数，安全风险提升
电解槽进料管堵塞	生产运行+安全	单列电解槽频繁停槽，减产、设备受损；存在电解槽断液击穿、漏液着火风险，甚至系统过氯引发爆炸
合成炉清洗灯头堵塞	设备寿命+运维	石墨设备寿命缩短；开停炉频繁，操作/检修强度剧增，制约装置长周期稳定运行
碱中氯酸盐含量高	设备+生产计划	碱镍设备、管道严重腐蚀，寿命骤减；非计划临停频发，复产缓慢，影响产品质量与销售计划

新能源材料TOC标准提升：深度脱碳的特殊意义

随着新能源技术向高能量密度、长寿命、高安全性方向迭代，行业对材料纯度的标准持续收紧。例如，高端动力电池正极材料的 TOC 要求已从早期的 $<500\text{mg/L}$ ，逐步降至如今的 $<100\text{mg/L}$ ，甚至 $<50\text{mg/L}$ ，倒逼上游湿法冶金环节必须减少有机物带入。

有机物残留会直接影响新能源产品的核心性能与安全。以锂电池为例：电解液或正极材料中若含高 TOC，充放电过程中有机物易分解产气，导致电池鼓包、内阻上升，循环寿命缩短（如三元正极材料中 $\text{TOC} > 100\text{mg/L}$ 时，循环 1000 次容量保持率可能下降 15% 以上）。极端情况下，有机物分解产生的可燃气体易引发热失控，增加电池起火、爆炸风险。





三效蒸发：

优势： 污水浓缩；

劣势： ①驱动热源品质高， 运行费用高；

②乏汽作为废热， 需要冷却；

③换热器容易堵、 腐蚀；

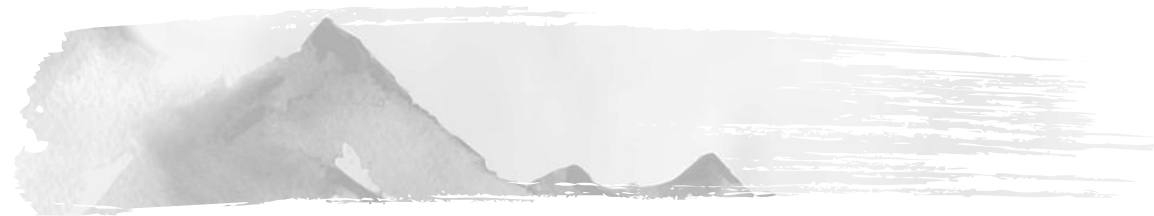


如果： ①利用70~90°C替代蒸汽作为驱动

②浓缩后的乏汽， 还具有70~90°C的可利用品质

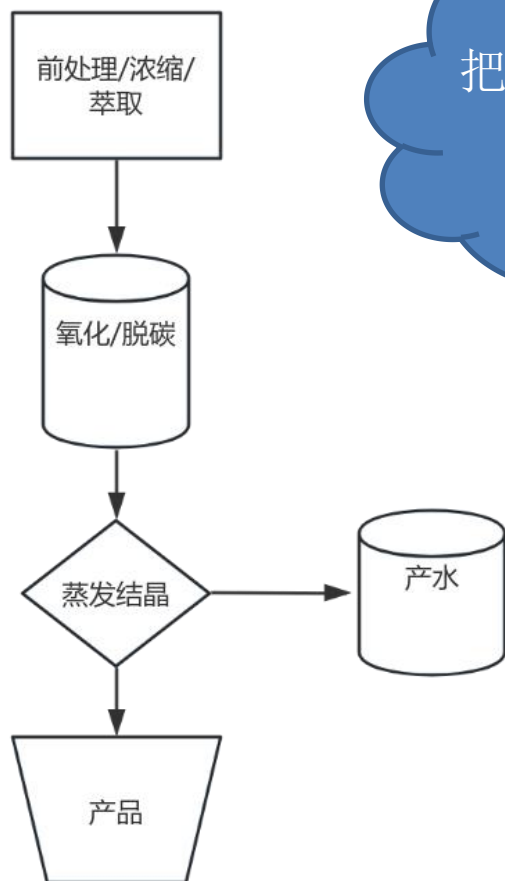
则： 降低90%的运行费用

02 解决方案与关键技术

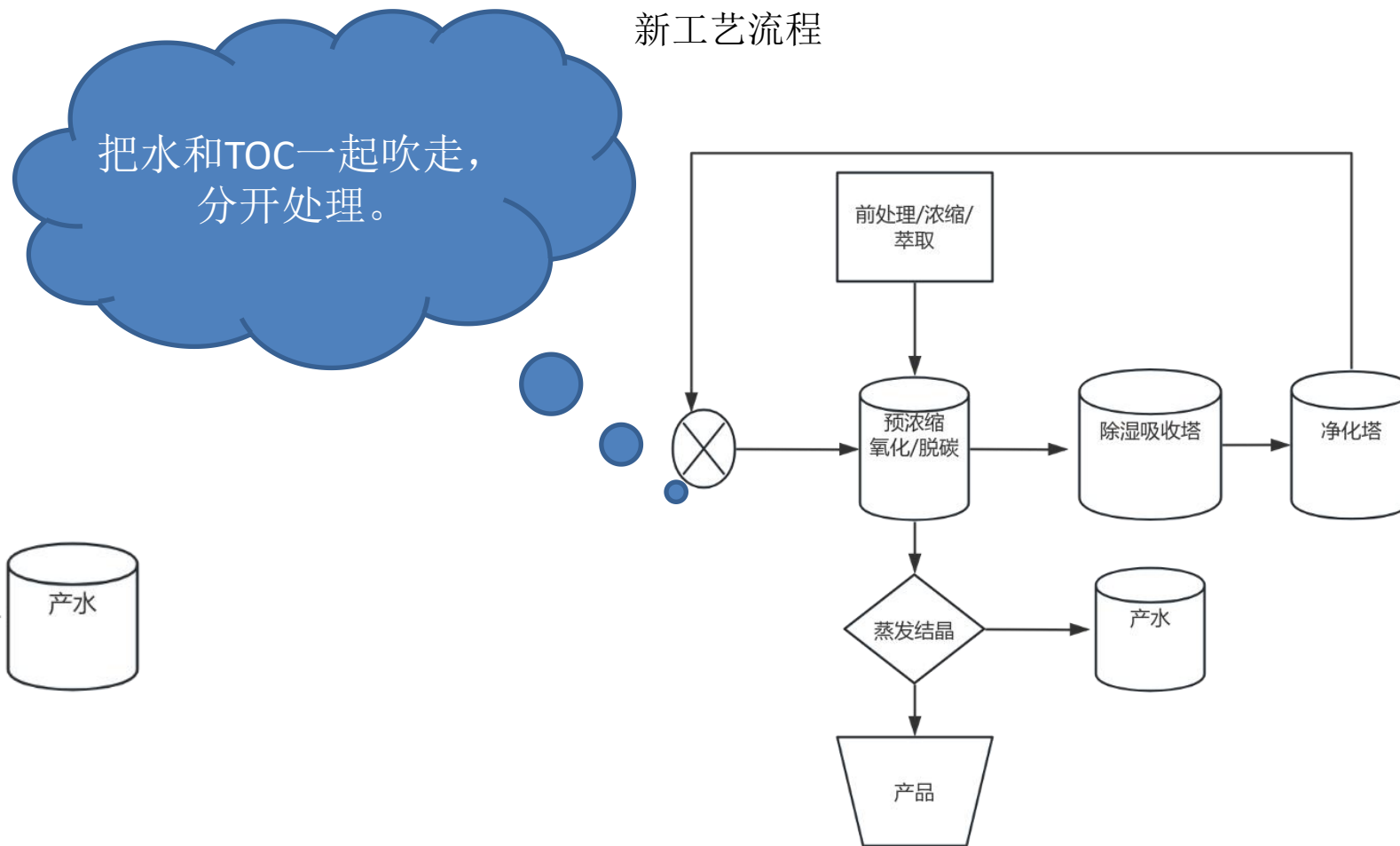


重构工艺流程（预浓缩与循环氧化一体化）

原工艺流程

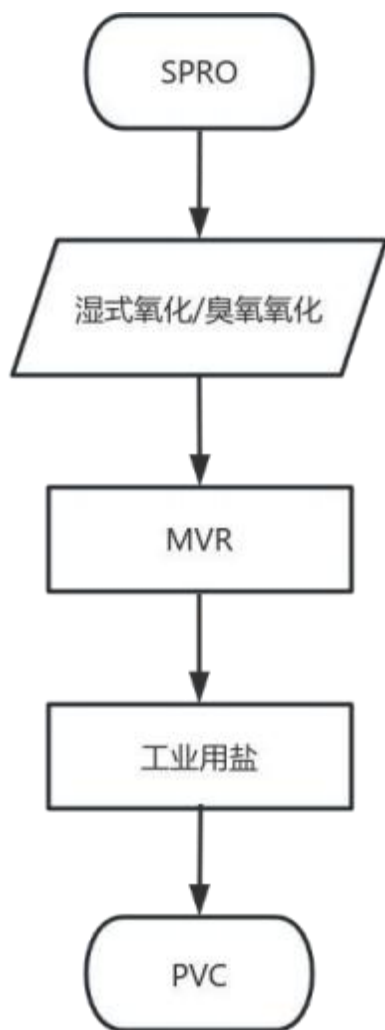


新工艺流程



方案对比

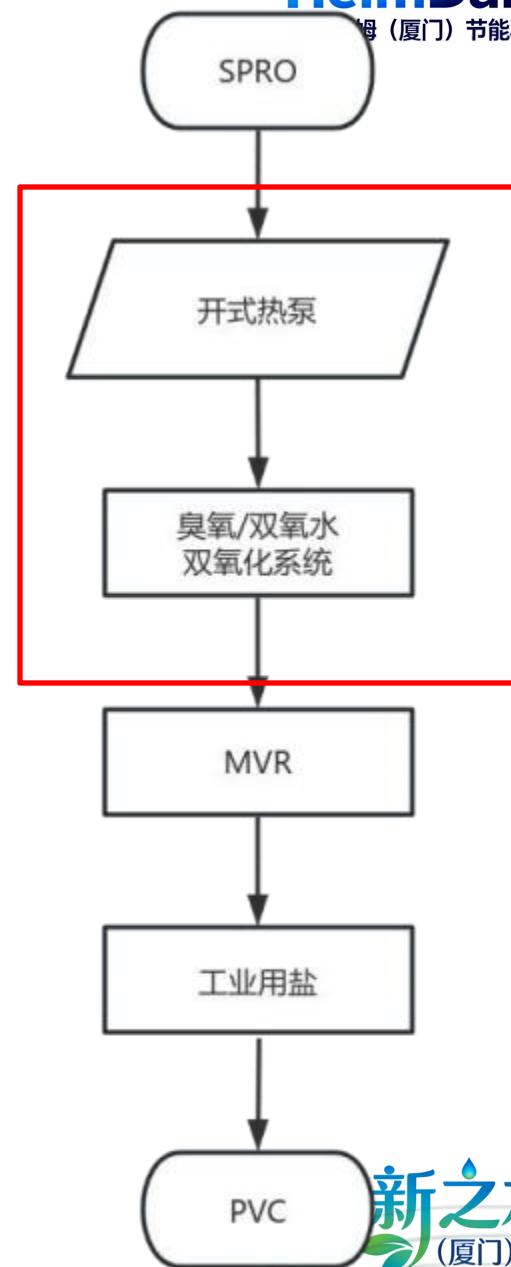
当前方案



我们的方案

方案差异:

- 增加开式热泵再浓缩过程。
- 氧化脱色与MVR系统负荷降低至1/10。



LOADS技术原理

空气载湿

仿生自然界中水汽循环

海水蒸发形成云，进而形成降雨过程

水蒸气直接传递

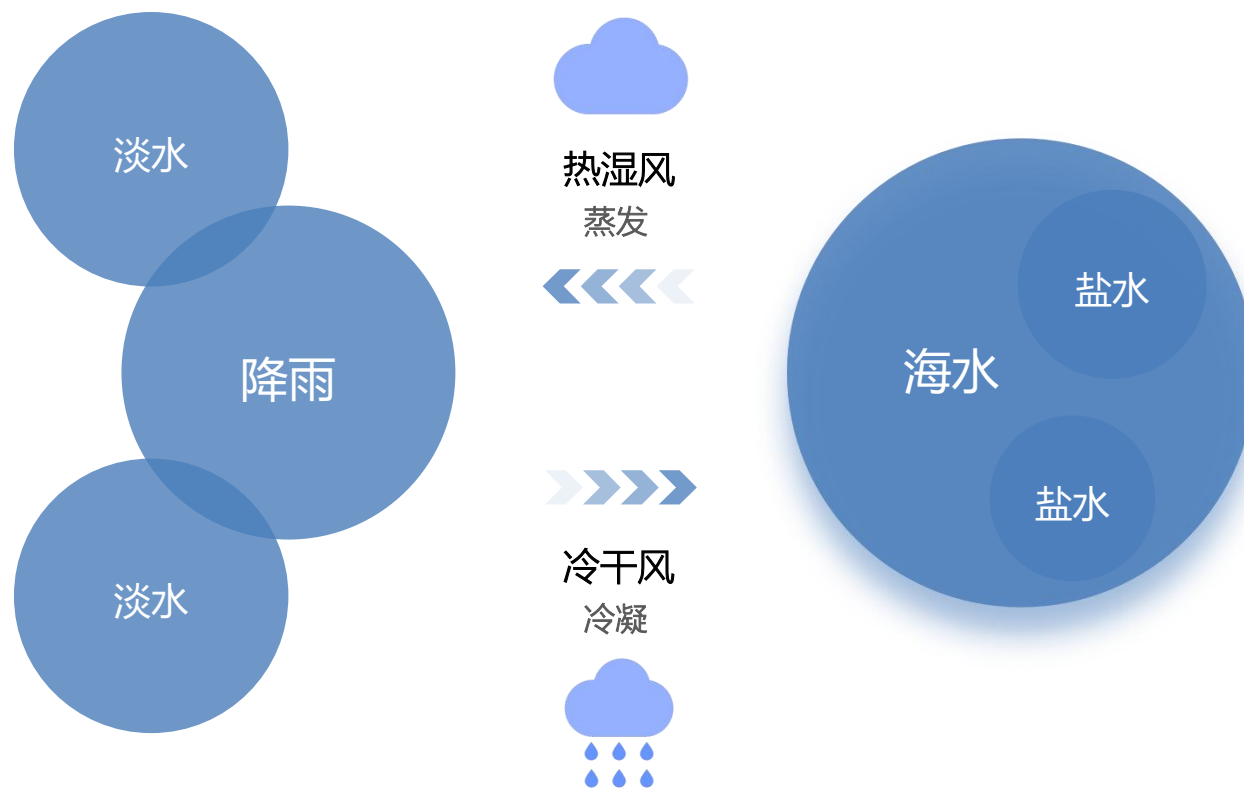
空气直接从料液中吸收水分

浓缩效率提高80%

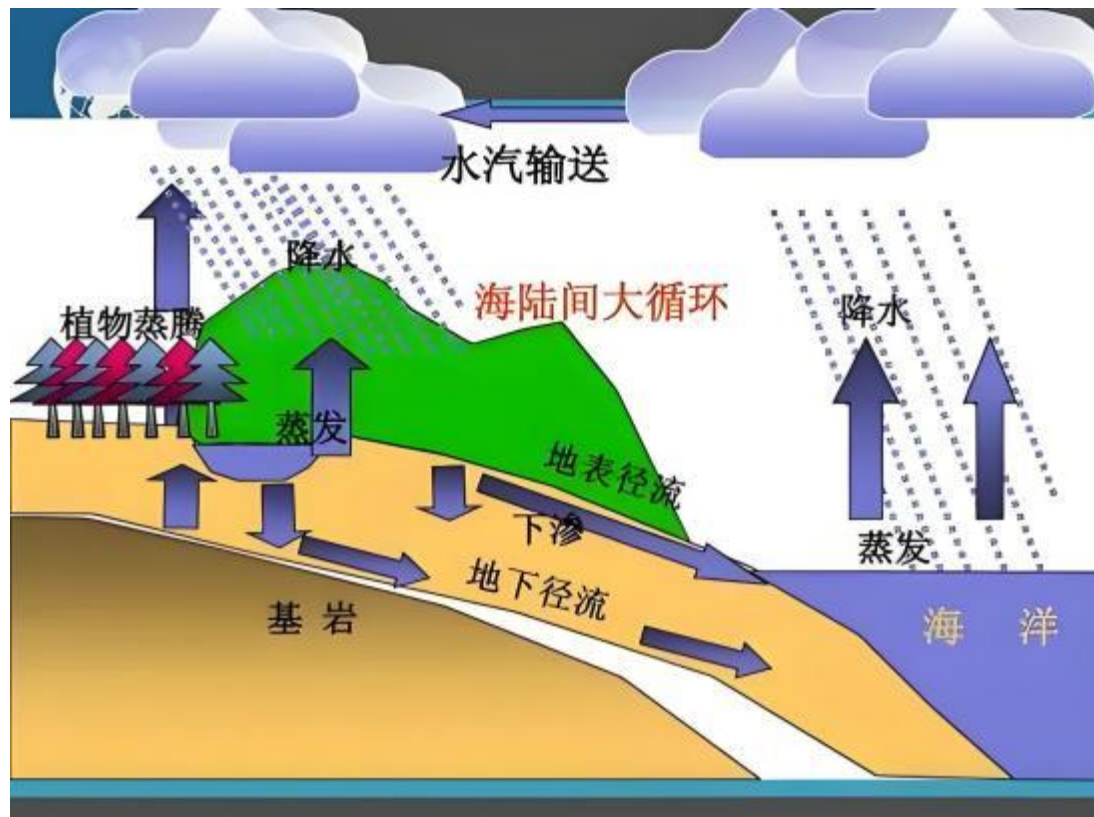
回收蒸馏水

稀料液中分离的水分为蒸馏水水质

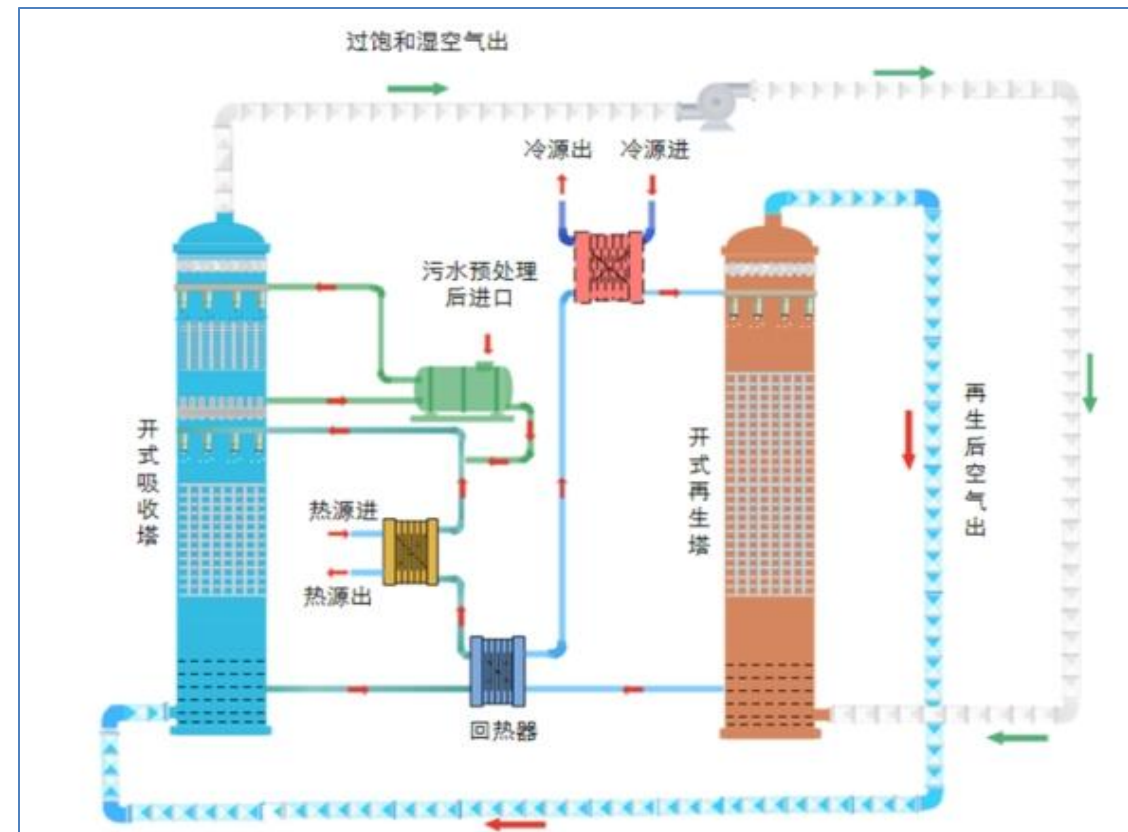
氯离子含量 < 6mg/L



LOADS 系统工作基本原理



自然界的水汽循环



技术原理图

LOADS 开式吸收/发生低能耗污水净化技术特点

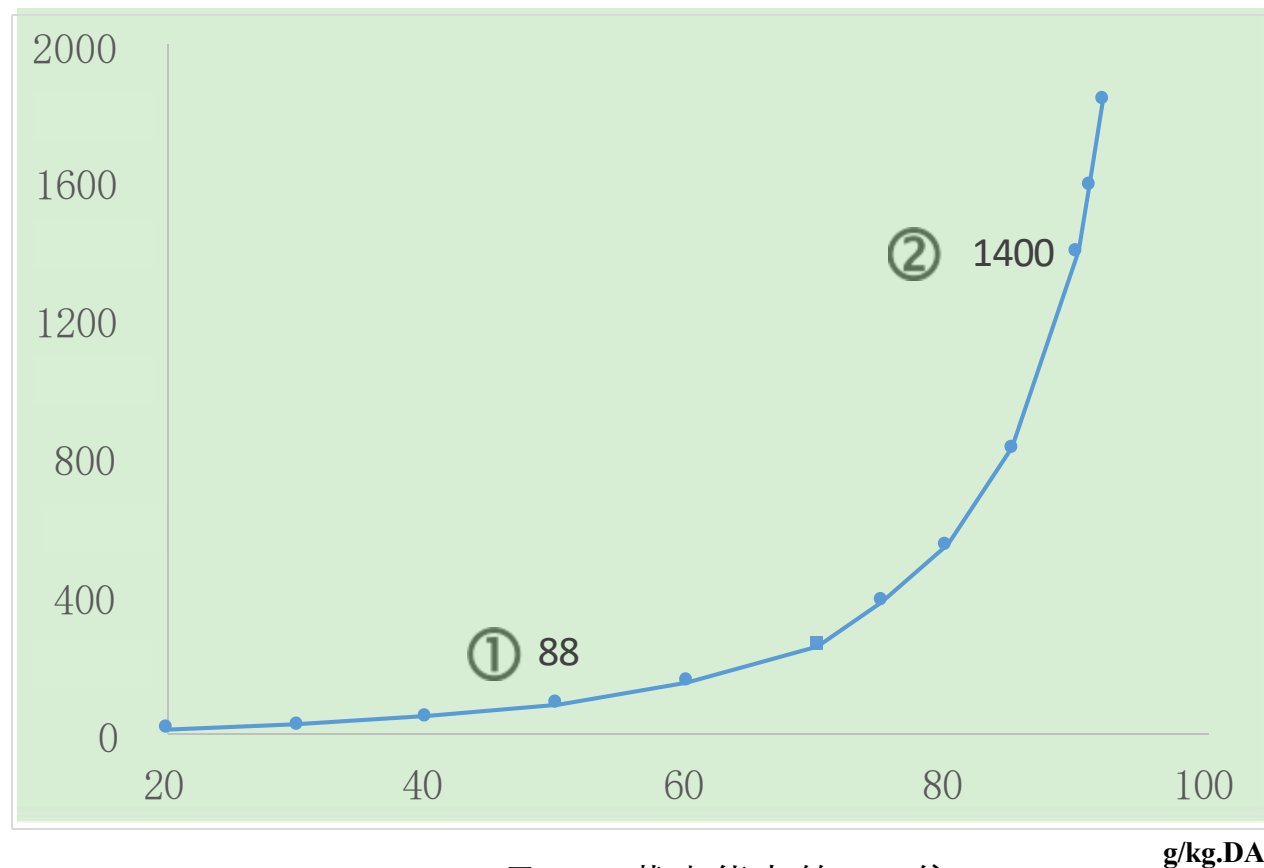
➤ 超低能耗：利用工业余热浓缩料液或污水，水温达到70℃即可。整体运行能耗仅10KWh/吨水左右，运行成本是传统技术的20%~10%；

➤ 回收水份，水质最高；
➤ 料液或污水种类适应性最好；
➤ 料液或污水前处理费用最低，无需大量添加药剂；
➤ 带有氨氮等挥发性物质的料液或污水亦可处理；
➤ 可在系统内部填充氮气/氧气/臭氧等气体，保证蒸发浓缩过程物料的纯度；

➤ 系统不存在堵塞和结垢问题，保证系统安全高效运行；

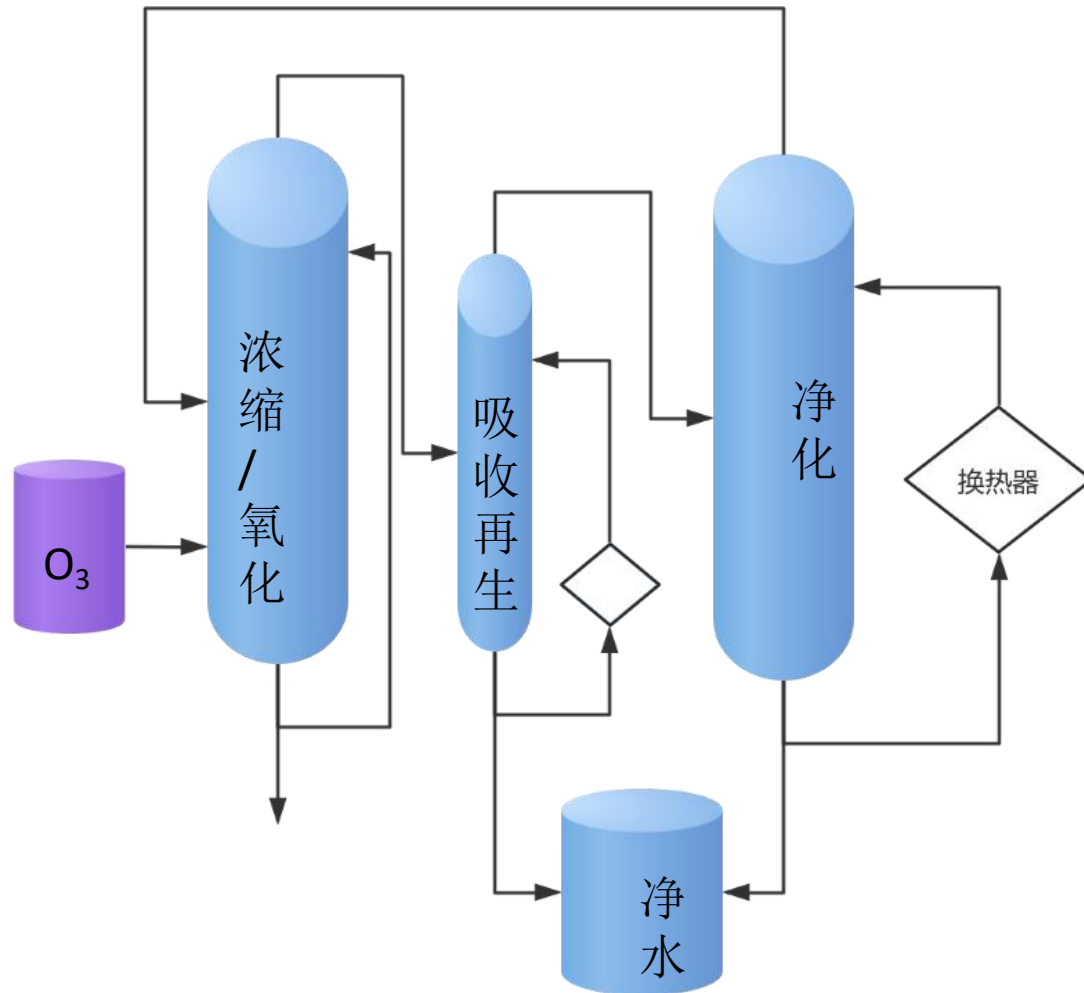
➤ 配合企业冷源需求，可实现“零能耗”污水净化或料液浓缩；

➤ 初投资低，开式系统布置灵活，可根据实际需求，灵活配置。



90℃是50℃载水能力的 16 倍

循环氧化与有机物吹脱



强制氧化

通过增加臭氧，将浆液/高盐废水中的COD氧化，实现有机物矿化或者变成小分子。并通过换热器提升物料温度，进入提升臭氧氧化的化学反应动力与效果。

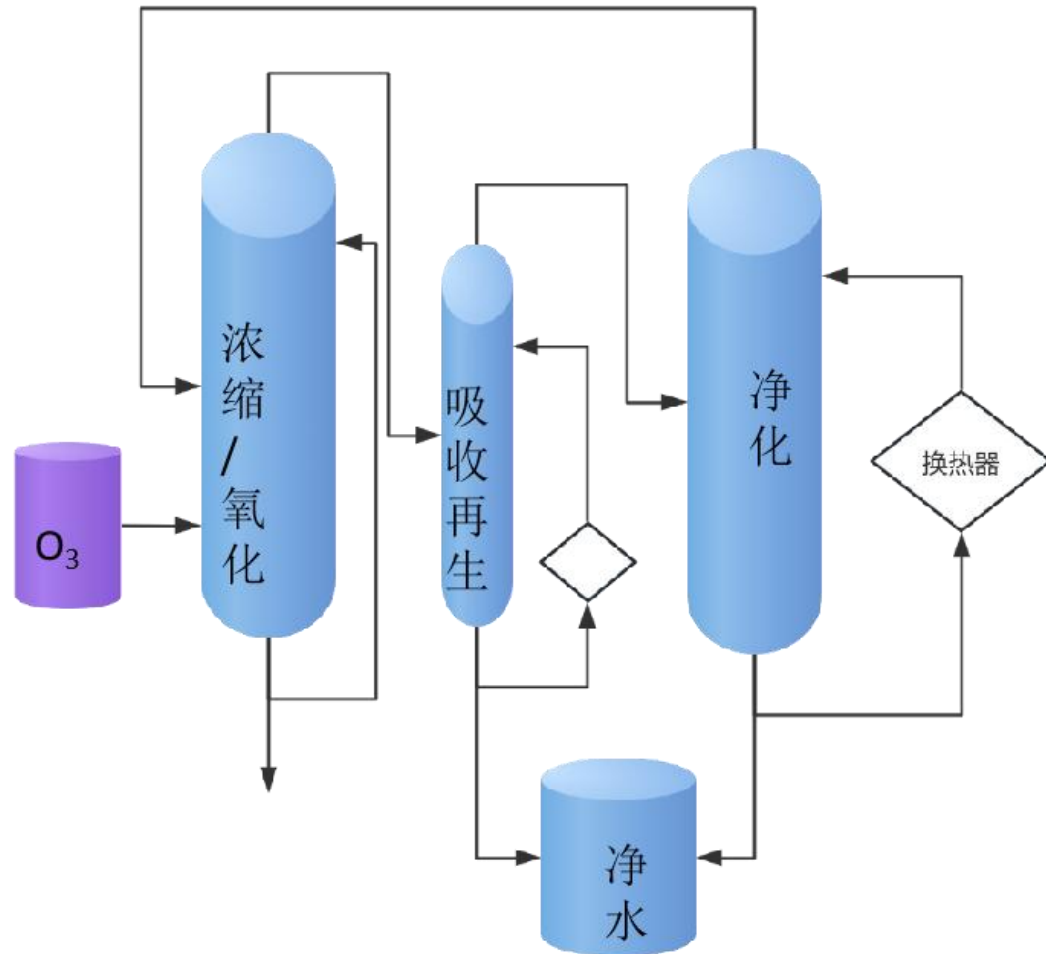
循环氧化

浆液或高盐废水在反应塔内不断循环喷淋，增加氧化反应的传质效果。

吹脱

通过热风吹脱，将水气和可挥发有机物一并迁移到发生塔（净化塔），实现TOC深度脱除。

水资源回收与能源循环利用



冷凝液

氯离子浓度 $\leq 6\text{mg/L}$ ，蒸馏水，可以收集和回用

余热回收

冷凝液余热用于加热除盐水

海宁马桥大都市
热电有限公司
 $1 \times 150\text{t/h} + 2 \times 75\text{t/h}$

应用场景：高盐废水（脱硫废水）处理

工艺路线：

利用余热驱动（90℃）开式吸收/发生高盐污水净化技术，将脱硫废水（氯离子 $>20000\text{mg/L}$ ）净化减排；

实施效果：

- 1、浓缩倍率高：浓缩倍率 6~10倍；
- 2、净水水质好：净水水质优于地表水，氯离子 $<6\text{mg/L}$ ；
- 3、电耗低：回收每吨净水电耗 $6\text{kW}\cdot\text{h}$ ，3元/吨净水；
- 4、热耗低：余热驱动LOADS系统后，继续加热除盐水，基本零热耗；
- 5、降低石膏氯离子含量 $>5\%$ ；



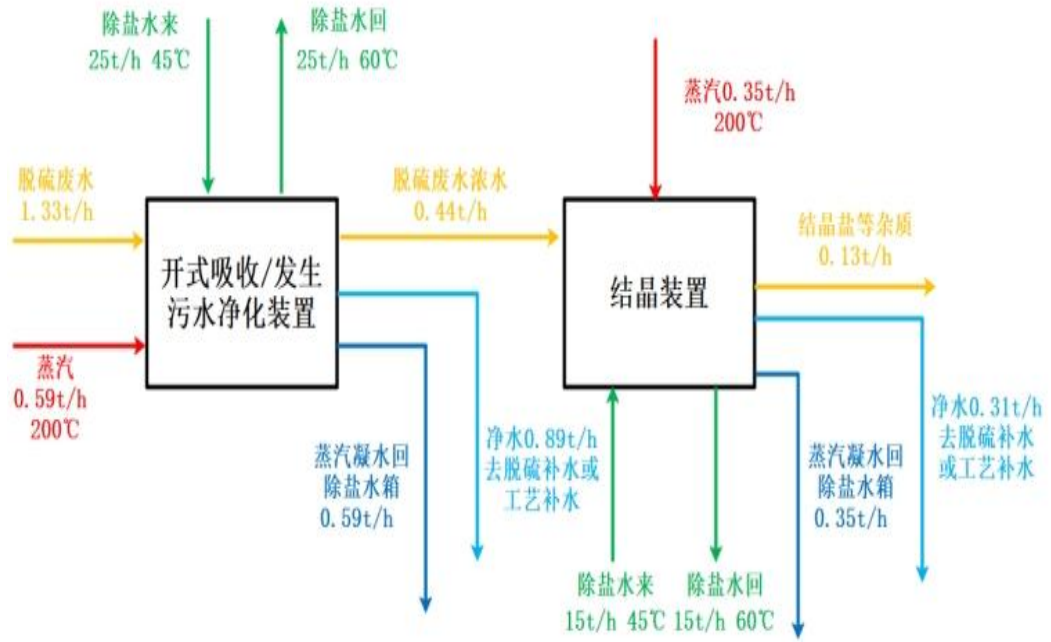
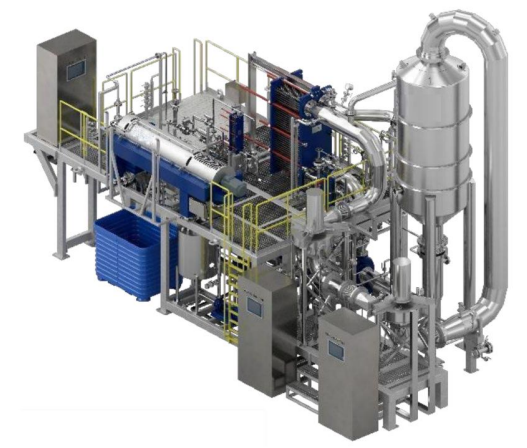
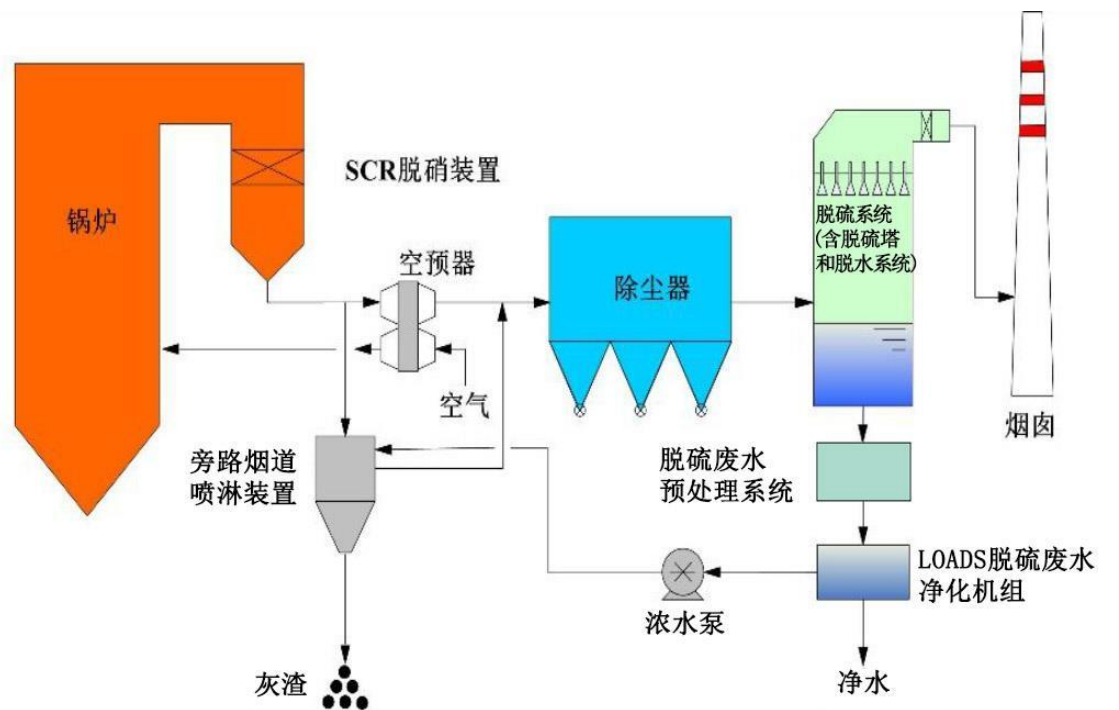


图3.1-1 系统工艺流程图

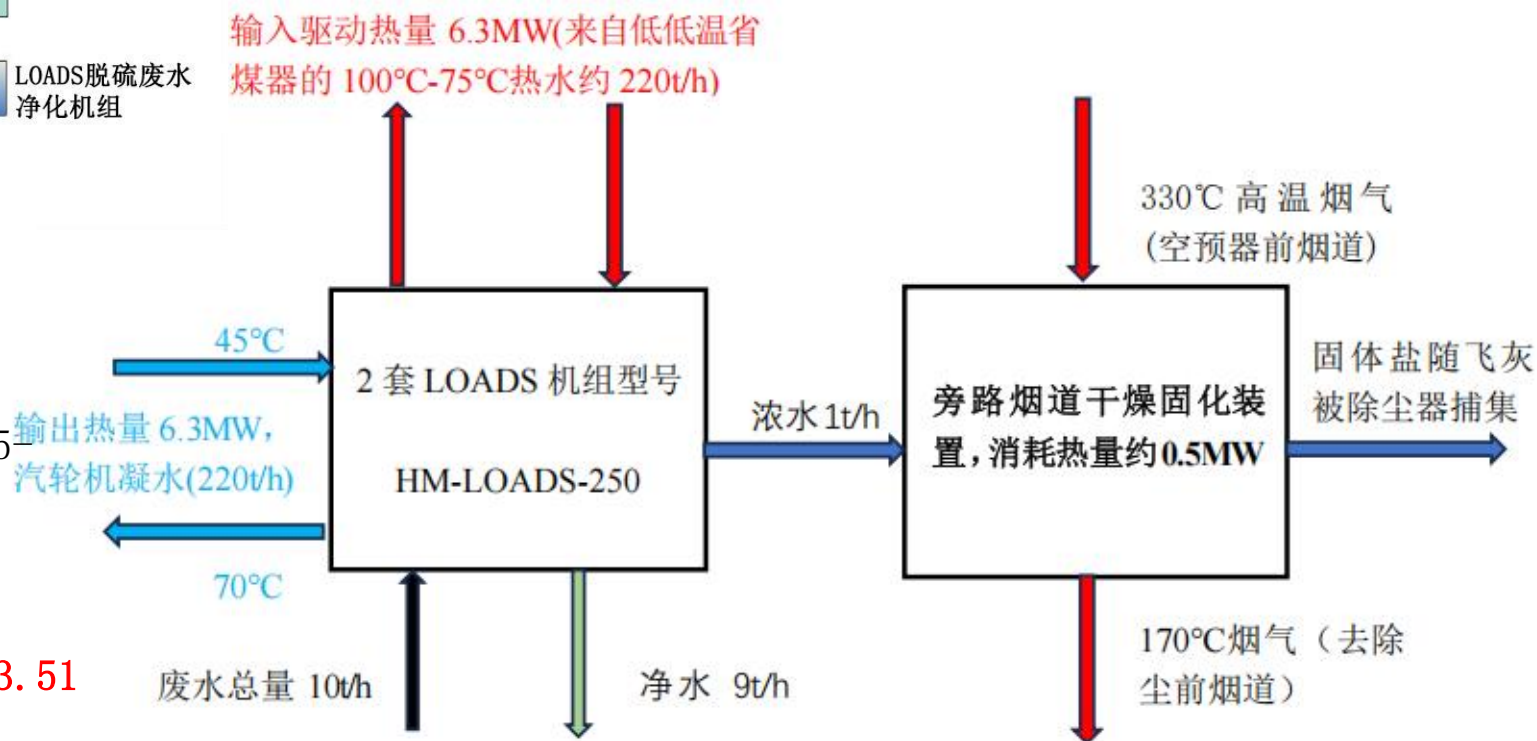


脱硫废水零排放（以2×300MW为例）



- 在空预器入口处引部分高温烟气进入旁路中安装的旁路烟道蒸发装置，将 LOADS系统产生的浓水雾化喷射于旁路烟道蒸发装置内，利用高温烟气余热 将水分蒸发，产生的结晶盐和固体杂质随旁路烟道回到空预器之后的主烟道， 最终进入后续除尘器被捕捉。

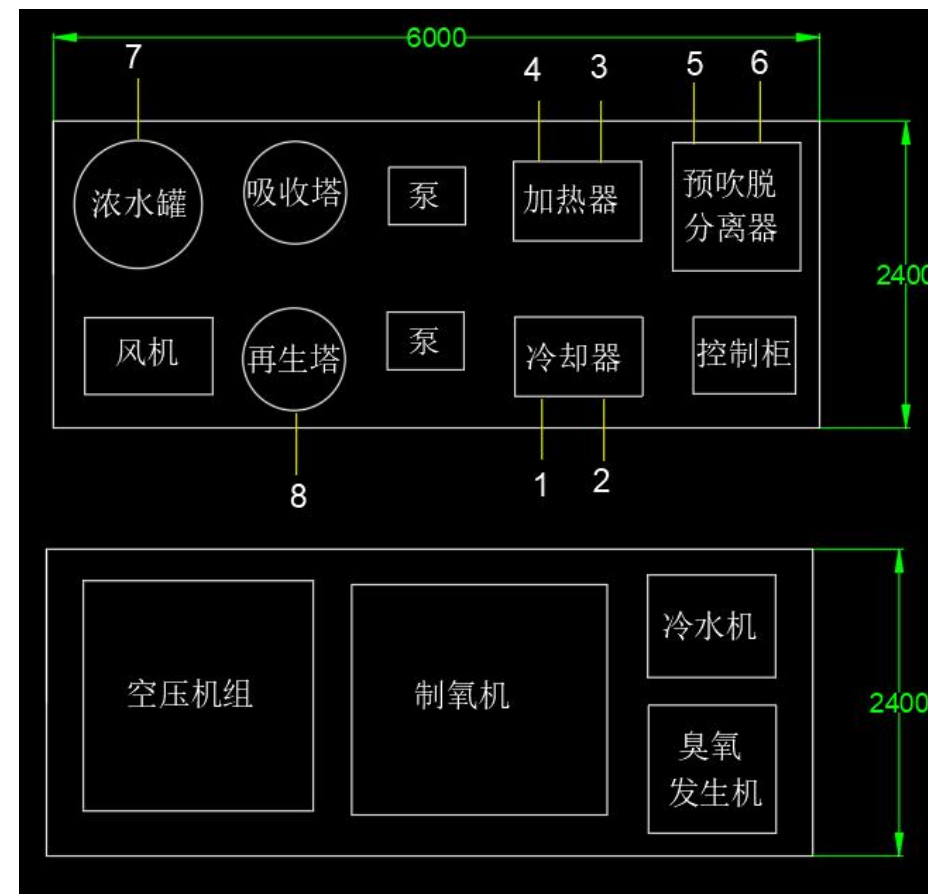
- 本系统单吨水处理成本约为5.04 元/吨。
- LOADS 系统相对旁路烟道蒸发工艺节省 77.75元/吨。
 $5.04 = 72.71 - 77.75$ 元/t。
- LOADS系统年处理废水 7.2 万 t，
- 年节省费用：72.71 元/吨×7.2 万吨/年=523.51 万元/年。



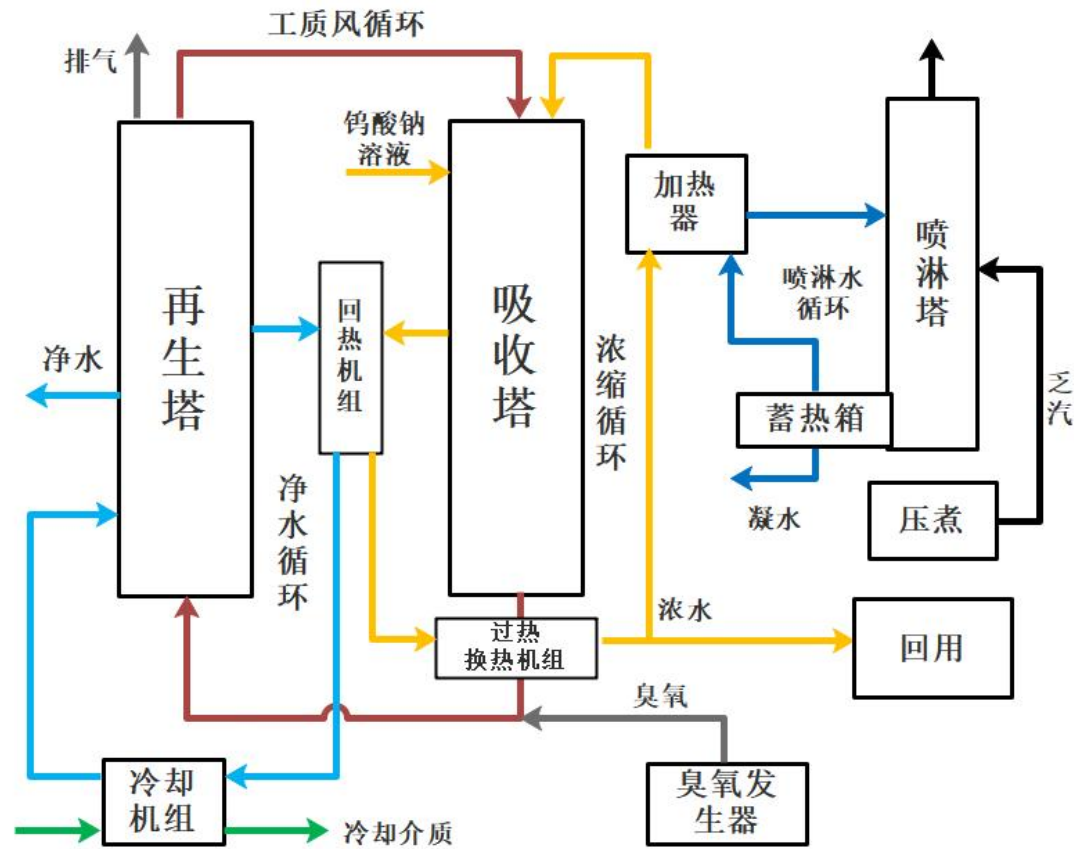
某钨酸钠/硫酸铵/硫酸镍深度脱碳项目中试方案

表3-1系统设计参数表

项目	单位	设计参数	备注
入口溶液	t/h	3	COD10000ppm
出口溶液	t/h	2.5	COD4000ppm
产生净水	t/h	0.5	
驱动蒸汽量	t/h	0.5	
驱动蒸汽压力	kPa.G	100~300	
驱动蒸汽凝水出口温度	℃	70	
冷却水量	t/h	30	可根据实际情况适应
冷却水入口温度	℃	32	可根据实际情况适应
冷却水出口温度	℃	40	
臭氧产生量	kg/h	4	



工艺流程图



浓缩

强制对流蒸发与冷凝

脱碳

循环氧化与吹脱

余热回收

废气余热回收与二次回收利用

节能降碳原理——对比多效浓缩

LOADS电耗降低30%，蒸汽消耗降低100%



节能降碳原理——对比MVR浓缩

LOADS电耗降低80%，蒸汽消耗降低100%



节能降碳原理——经济性对比

以蒸发净水量10t/h机组测算

边界条件			对比三效浓度		对比MVR	
蒸汽	电价	运行	费用 ↓	碳排放 ↓	费用 ↓	碳排放 ↓
200元/吨	0.8元/kWh	7000小时	616万元	8500吨	476万元	4300吨

项目	单位	LOADS	三效浓缩	MVR
蒸发吨水热耗	吨蒸汽/吨水	0	0.4	0.06
蒸发吨水电耗	kWh	10	20	80
年蒸汽费用	万元	0	560	84
年电费	万元	56	112	448
年运行费用总计	万元	56	672	532
节省运行费用	万元	-	616	476

系统构成



系统构成：LOADS+OR=LOADSOR

开式吸收热泵系统+臭氧循环氧化系统=开式低温热泵循环浓缩与氧化脱碳技术系统。



LOADS机组化装备

LOADS机组：开式吸收塔

空气直接吸收料液水分

形成热湿空气

LOADS机组：开式发生塔

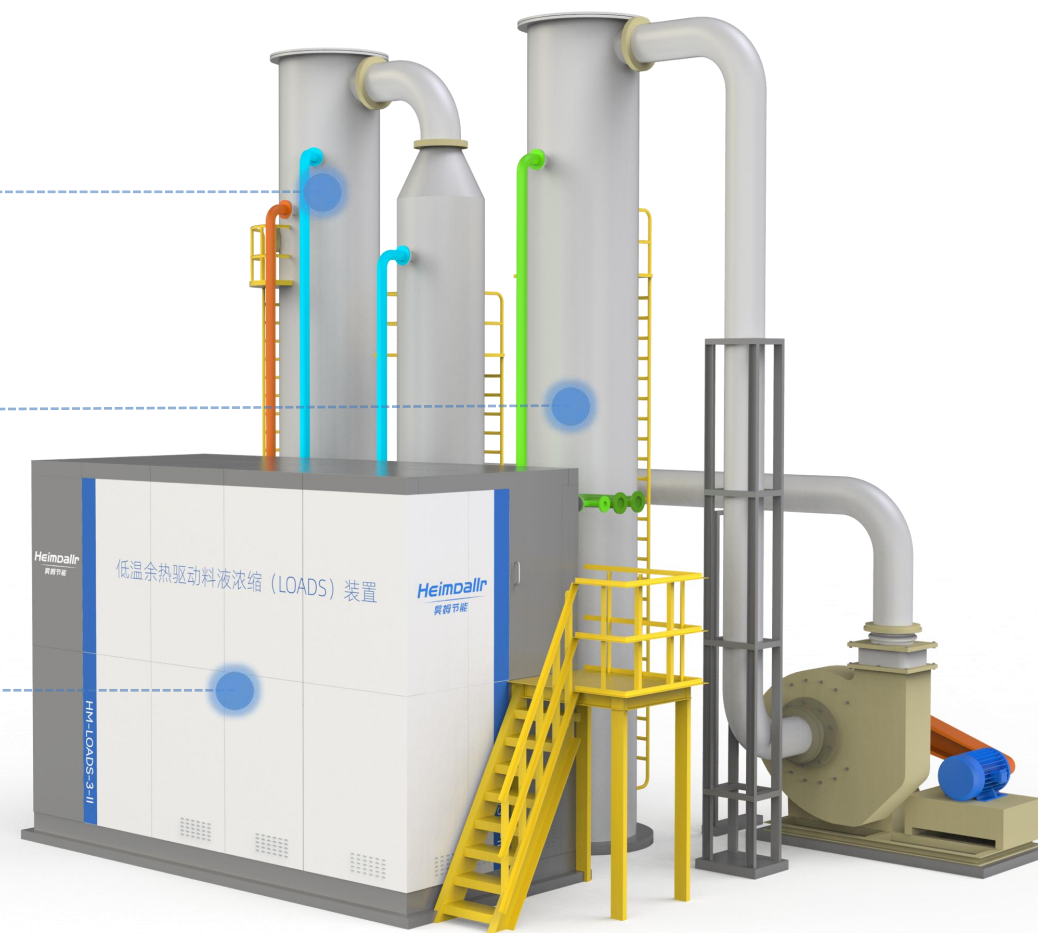
热湿空气脱水，达到冷干状态

重新具备强吸水性

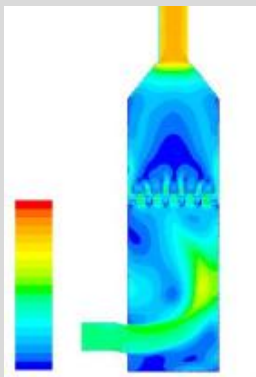
LOADS机组：浓缩机组

防腐、阻垢涂层换热装备

单台机组净水量最大为20t/h



节能降碳技术核心装备



多级能源塔



板式换热、蒸发设备及涂层工艺



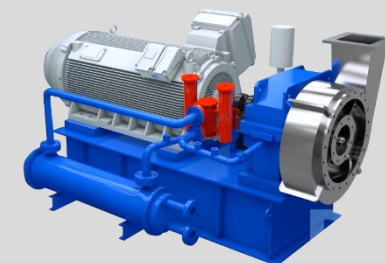
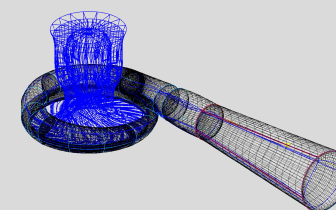
定制化机组



换热机组



发生机组



水蒸气压缩机 (MVR)

典型案例表

序号	行业	项目类型	烟气量Nm³/h	业主单位
1	燃煤供热锅炉	烟气余热回收+环保+耐腐蚀换热器	890000	中国华电集团石家庄热电厂
2	超临界燃煤发电锅炉 (体量世界最大)	烟气余热回收+除湿+耐腐蚀换热器	2100000	国电投吉电股份松花江电厂
3	超临界燃煤发电锅炉 (350MW)	烟气余热回收+除湿+耐腐蚀换热器	1450000	国电投吉电股份长春热电
4	亚临界燃煤发电锅炉 (350MW)	烟气余热回收+除湿+耐腐蚀换热器	1400000	国电投吉电股份四平第一热电
5	氧化铝焙烧炉 (非电行业世界最大案例)	烟气余热回收+环保+耐腐蚀换热器	1260000	国家电投山西原平铝业公司
6	工业煤粉炉	烟气余热回收+除湿+耐腐蚀换热器	--	国家能源集团神东矿区
7	燃煤供热锅炉	烟气余热回收+除湿+耐腐蚀换热器	570000	青岛西海岸公用事业集团
8	湿法冶金溶出乏汽	热湿气余热回收+除湿+耐腐蚀换热器	--	中铝集团呼伦贝尔驰宏矿业
9	煤改气锅炉	烟气余热回收+除湿+耐腐蚀换热器	160000	陕西咸阳市北区热力公司
10	燃气锅炉	烟气余热回收+除湿+耐腐蚀换热器	120800	新疆广汇集团某热力公司
11	垃圾焚烧炉	烟气余热回收+环保+耐腐蚀换热器	120000	浙能集团天津晨兴力克垃圾电厂
12	燃气热风炉	烟气除湿及余热回收	33000	上海恒业化工分子筛公司

吉林松花江热电有限公司 三期烟气余热深度回收项目

国电投吉林松花江热电有限公司三期机组烟气余热回收项目，额定210万Nm³/h，一体化系统装机量等价于660MW机组。是目前世界上最大的烟气深度余热回收、节水示范项目。

项目效果：

- 额定余热回收功率 $\geq 90\text{MW}$ ；
- 可增加供暖能力180万平方米；
- 年回收烟气余热132.1万GJ；
- 节约4.5万吨标煤；
- 减少碳排放量11.8万吨；
- 每小时节水130t/h，全年节水54万吨。



1期未改造与3期改造后排烟效果对比

典型案例-燃煤锅炉



三楼发电机组



一楼动力设备



二楼换热机组

出口烟道

入口烟道

吸收塔

工艺楼



吸收塔及工艺楼

东北某央企铅锌矿选矿余热回收利用项目

三期新建投资



东北某央企铅锌矿选矿余热回收利用项目一二期



典型案例-城市级余热供暖

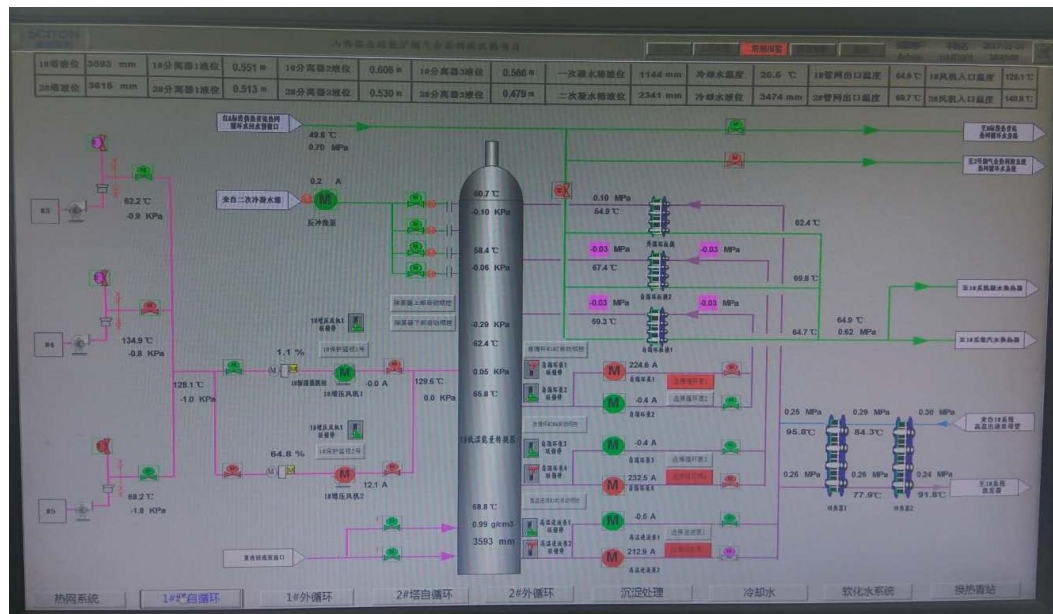
国电投集团 山西铝业烟气深度余热回 收供暖项目

- 该项目是国内最大非电行业单体烟气深度余热回收项目；
烟气量 > 300MW机组；烟气净节能量 > 600MW机组
- 2017年以EPC模式实施一期工程，装机80MW，净回收余热85万GJ，供暖收益2300万；
- 2021年以**EMC模式**实施二期工程，增加装机17MW，增加净回收余热33万GJ，供暖收益900万，项目资本金收益率 > 35%。
- 二期余热回收用于氧化铝母液浓缩



典型案例-城市级余热供暖

国电投集团 山西铝业烟气深度余热回收供暖项目

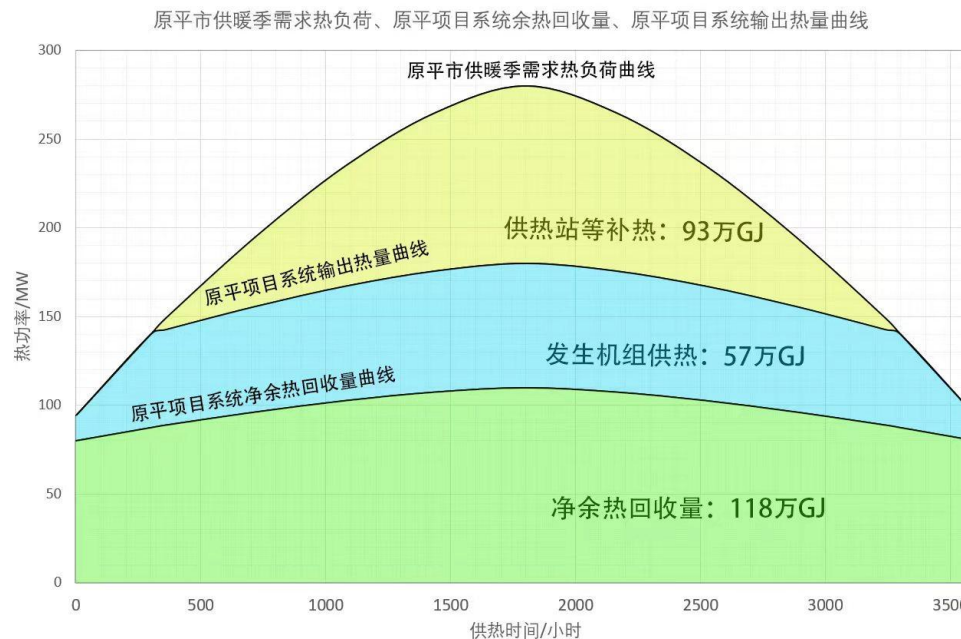


供暖水量：3600~4400m³/h

回水温度：48.9℃

供水温度：90.7℃

驱动蒸汽量：130t/h



总供热功率：175MW

余热回收量：84~97MW

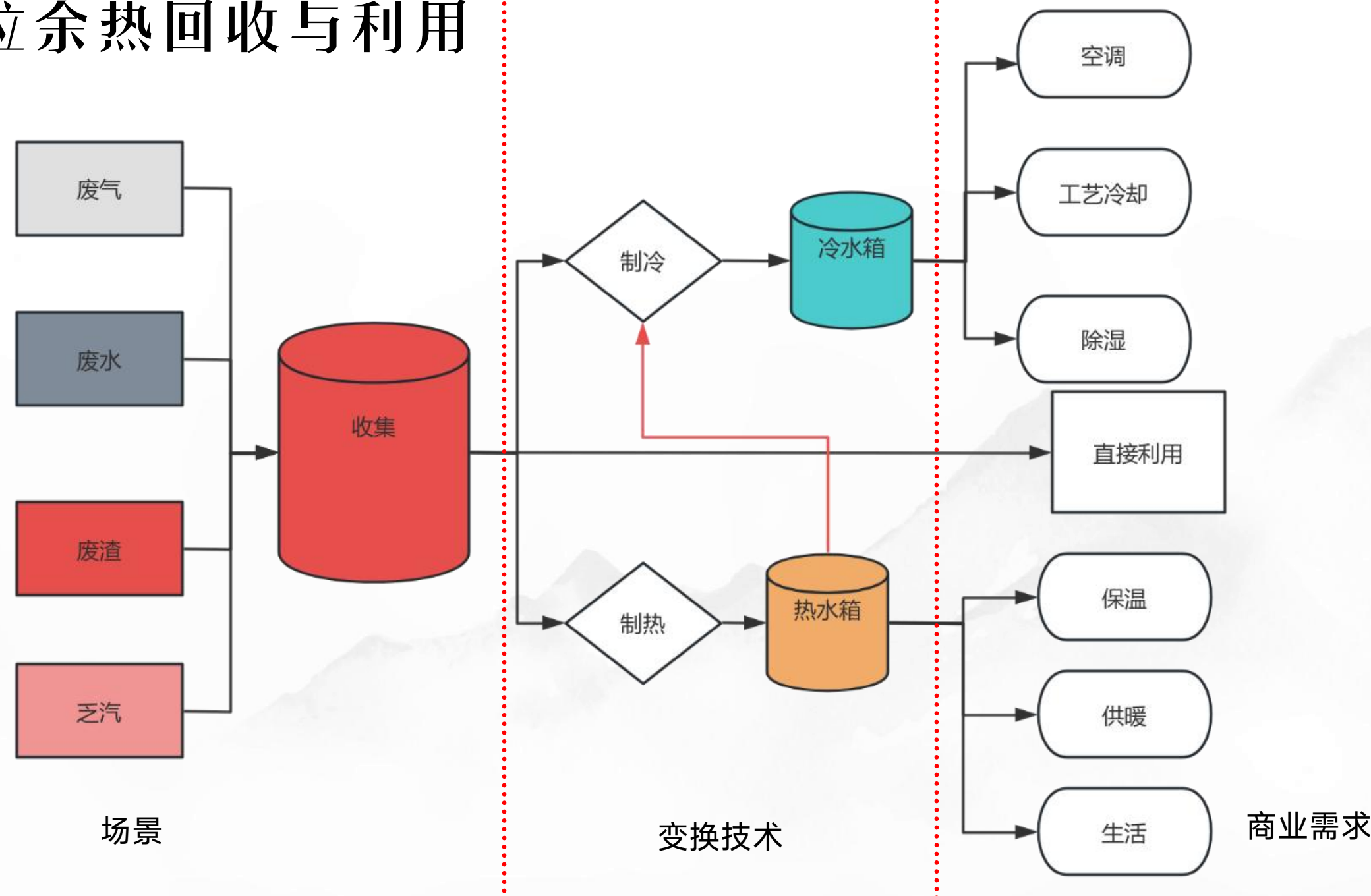
平均COP > 1.9

节能降碳原理——对比多效浓缩

LOADS电耗降低30%，蒸汽消耗降低100%



低品位余热回收与利用



工程级模块化臭氧发生器



- 规格系列： ROZ-2~150kg
- 臭氧产量： 2~150kg
- 臭氧浓度： 150-200mg/L
- 系统配置： 制氧机、臭氧机、冷干机、冷水机、控制系统。
- 适用场景： 污水处理、自来水消毒、废气治理、工业漂白等

新一代智能变频脉冲电源

- ➡ 自适应工况调整，自动寻找系统谐振频率
- ➡ 独特的交流叠加脉冲供电方式，实现高电流、低电压的运行；实现10%以上节能；
- ➡ 全风冷降温模式，有效避免沿海地区及高温环境下电气元器件结露现象；
- ➡ 低噪声运行，运行过程中除了散热风扇的声音外，
无高频电磁声音产生；



臭氧发生系统组成



气源系统



供电电源



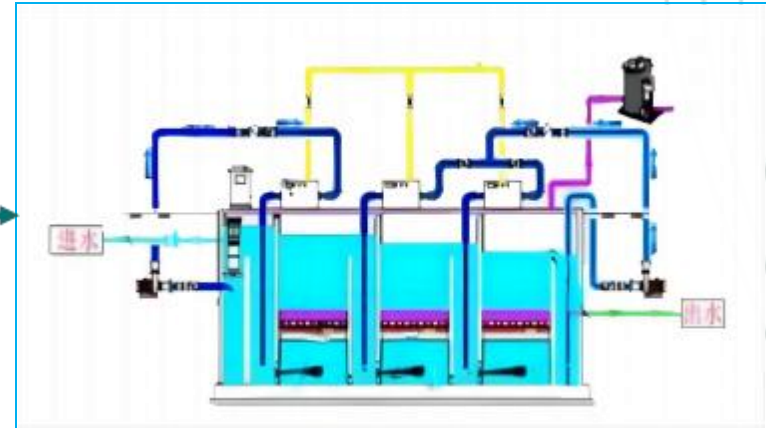
冷却水系统



臭氧发生器



尾气破坏器



臭氧接触池

新一代臭氧发生系统（各项成本减半）

臭氧发生器企业的良心—让用户少用、精准使用臭氧



解决传统臭氧发生器运行浓度年衰减10-20%的情况



1.2倍系数的热备用，1.5倍的单价，摒弃传统的1用1备的冷备用

名 称	传统发生器1用1备冗余	新一代发生器1.2倍冗余
按臭氧发生器实际需求量为10kg/h举例		
配 置	2台20kg/h	1台12kg/h
臭氧发生器初始投资	120万（2套发生器）	55万（1套发生器）
制氧系统初投资	100万（2套）	35万（1套）
系统总投资	220万	90万
运行费用	182万/年	97万/年
占地面积	占地面积大、土建投资大	减少一半



1.2倍冗余

VS



+

N+N备用



低运行维护费用



每个模块，实现精准放电、自动启停、自动调节；



极致的安全保护，实现每个电极对应单独的超快速保护器精准熔断保护；

名称	传统臭氧发生器	新一代臭氧发生器
故障点	玻璃放电管容易击穿	无 保险丝快速熔断保护
更换成本	500-1000元/根玻璃管 大额的人工现场服务费用	简单的保险丝更换 只有放电模块物流运输返厂费用
检修	系统整机停机检修，停机时间长	单模块停机，快速更换保险丝



VS



河南某污水处理厂提标改造项目

处理规模：30000m³/d

发生器产量：2x30kg/h

最大投加量：30mg/L

深度处理工艺：高效沉淀池+V型滤池+臭氧氧化

排放标准：地表水环境质量标准Ⅲ类

臭氧接触池进出水水质：COD:进水≤45，出水≤20

BOD₅:进水≤10，出水≤10

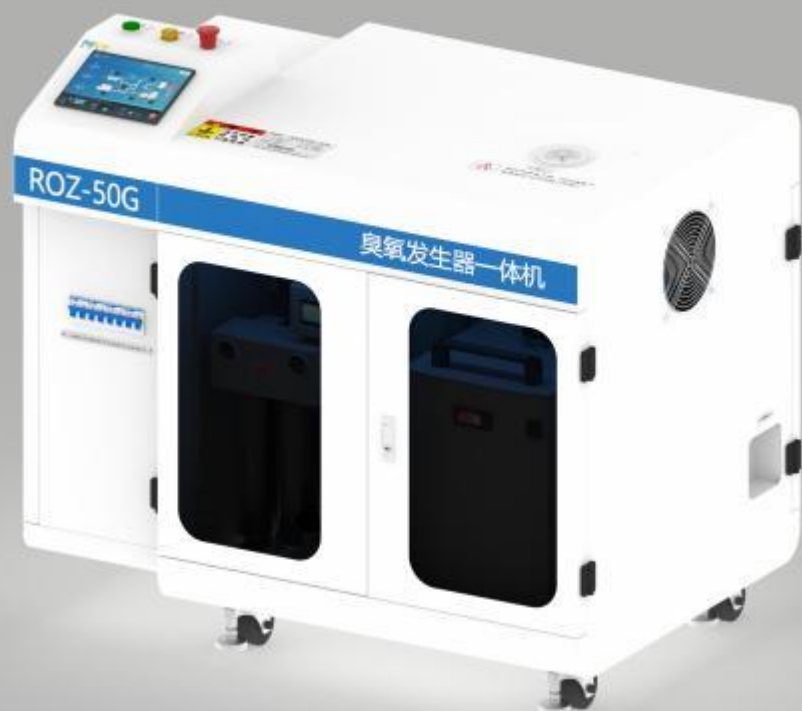
氨氮:进水≤5（8），出水≤1





- 规格系列： ROZ-2-15kg
- 臭氧产量： 2~150kg
- 臭氧浓度： 150-200mg/L
- 配置： 制氧机、臭氧机、冷干机、冷水机、混合投加系统、控制系统。
- 适用场景： 污水处理、自来水消毒、废气治理、工业漂白等

科研级多功能一体机 (O_2/O_3)



- 规格系列: ROZ-20/50/100G
- 臭氧产量: 20/50/100g/h
- 臭氧浓度: 150-300mg/L
- 系统配置: 制氧机、臭氧机、冷干机、冷水机、控制系统。
- 适用场景: 室内小型实验或中型试验、室内消毒

低碳约束下沿长江制药化工园区废水近零排放技术与示范项目



- 合作单位：中国化学·东华工程科技股份有限公司
- 项目类型：国家重点研发计划
- 参与内容：高浓度臭氧发生器和催化氧化工艺段技术开发

国家重点研发计划（国际合作专项）



课题：气候变化对古巴哈瓦那水源水和饮用水健康风险因子的影响及控制对策

时间：2023年-2025年

联合单位：厦门锐传科技股份有限公司、厦门理工学院



技术优势



利用低温位余热

70-90℃低温位余热。



电耗低，造水比高

1吨蒸汽（等价热量）可净化3-6吨污水；每净化1吨污水消耗6-8度电。



设备占地小

实现10t/h(240t/d)以下系列，机组化，工厂预制，模块化、集成化；占地面积小；



近零能耗

再生塔放热可用于加热冬季供暖回水或除盐补水、原水等，实现近零热耗



产品品质高

实现净水 达到蒸馏水品质。（氯离子平均值 $\leq 6\text{mg/L}$ （最低 $< 1\text{mg/L}$ ）。TOC浓度 $\leq 100\text{mg/L}$

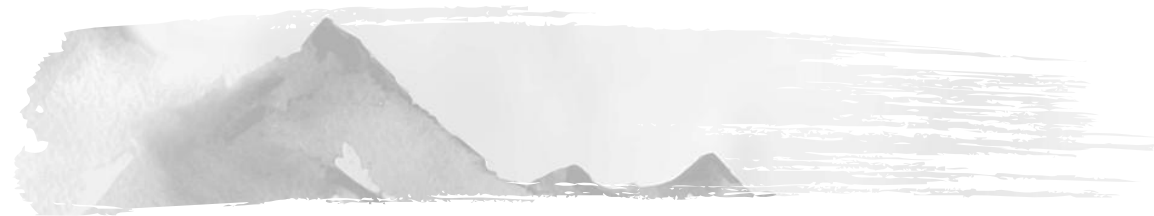


运行稳定性高

采用常压循环，通过自动控制，实现变负荷适应性，稳定性更高。

用“废热”解决“废水”！

02 应用方向



应用拓展

湿法冶金

贵金属选矿 · 新能源材料

医药与精细化工

物料浓缩与提纯

水处理

废水零排放 · 海水淡化

10度电料液浓缩 市场领域

浓盐水 浓缩

脱硫废水浓缩
反渗透废水浓缩
煤化工浓盐水浓缩
造纸黑液浓缩
等。。。

工艺料液 浓缩

氧化铝母液浓缩
钛白粉废酸浓缩
医药中间体料液浓缩
等。。。

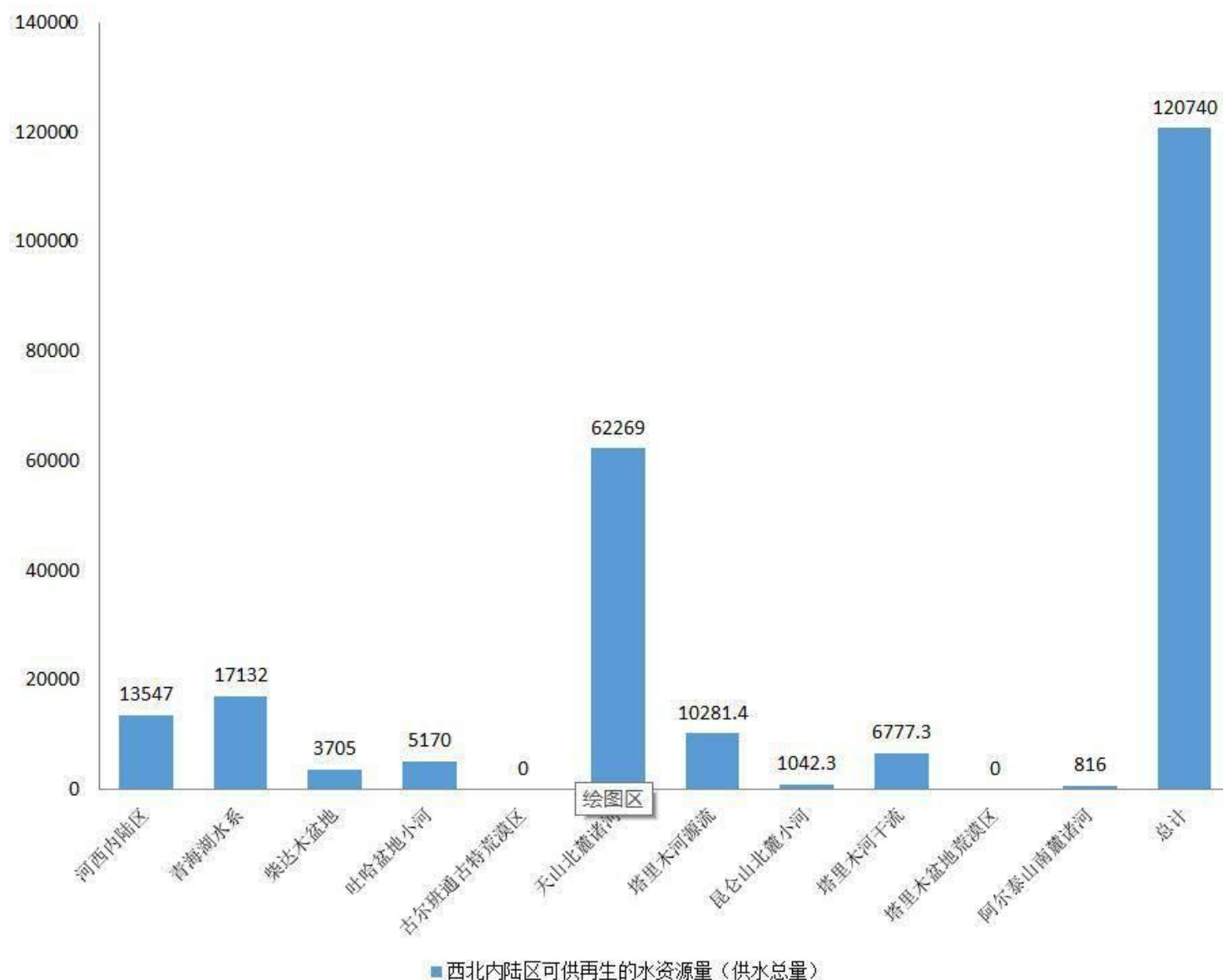
适用 能源条件

蒸汽价格
> 150元/吨
多效浓缩/MVR装机量
> 3t/h

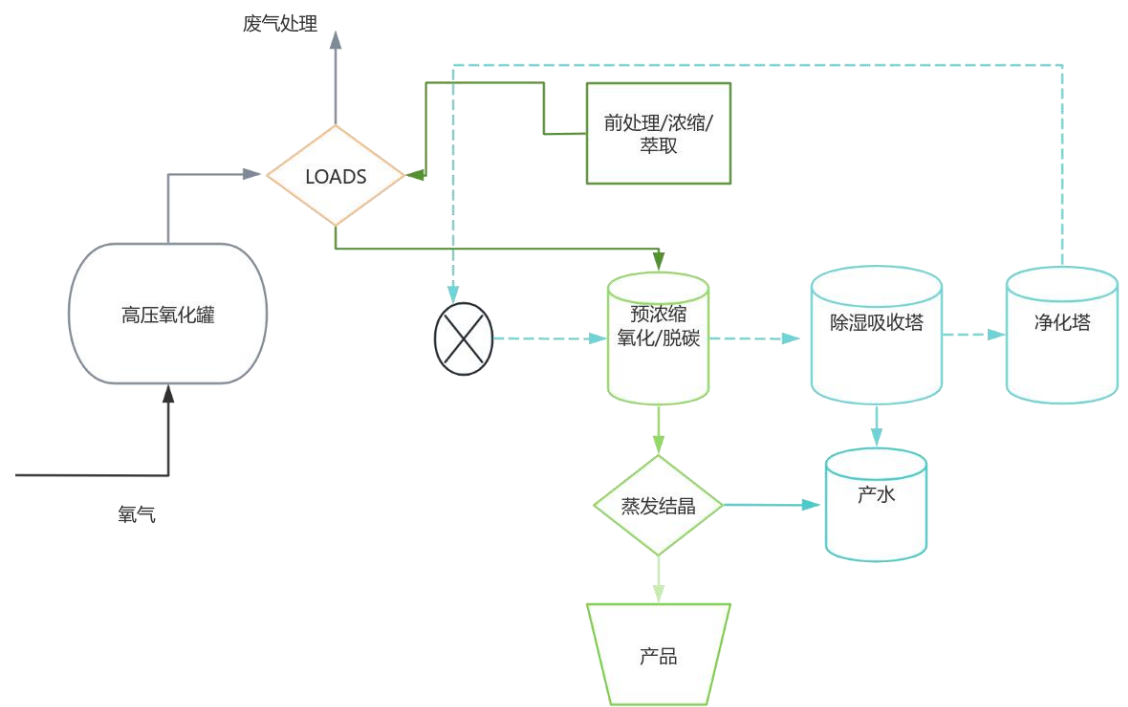
背景：再生水市场巨大

2035年新疆、青海、甘肃和内蒙再生水供水潜力分别为62885万m³, 13753m³, 11428万m³, 1205万m³; 2050年新疆、青海、甘肃和内蒙再生水供水潜力分别为76562万m³, 19604m³, 18230万m³, 1572万m³。2035年新疆、青海、河西内陆区污水排放量预测值分别为64515.45万m³, 16450.8m³, 13215.48万m³;

2050年新疆、青海、河西内陆区污水排放量预测值分别为77244.95万m³, 19991.2m³, 20068.1万m³。



高压氧化浸出工艺余热利用与废水零排放/物料干燥



有色金属高效提取

铜、镍、钴、铀、锌、金、银、钨、锡

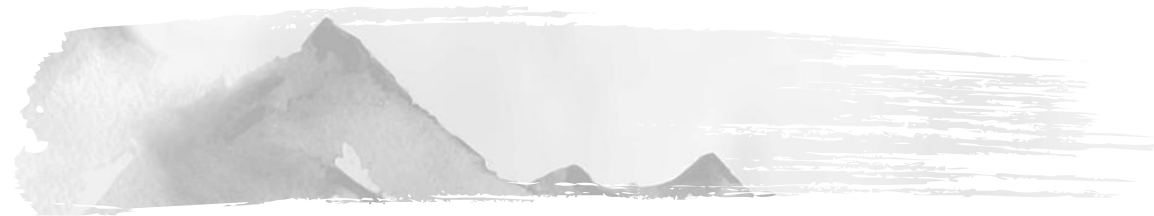
稀有金属与功能材料制备

锆、钛、催化剂材料（铁系、钴系等催化剂）

二次资源循环利用

锂离子电池回收、复杂矿石、冶金废渣

04 合作模式



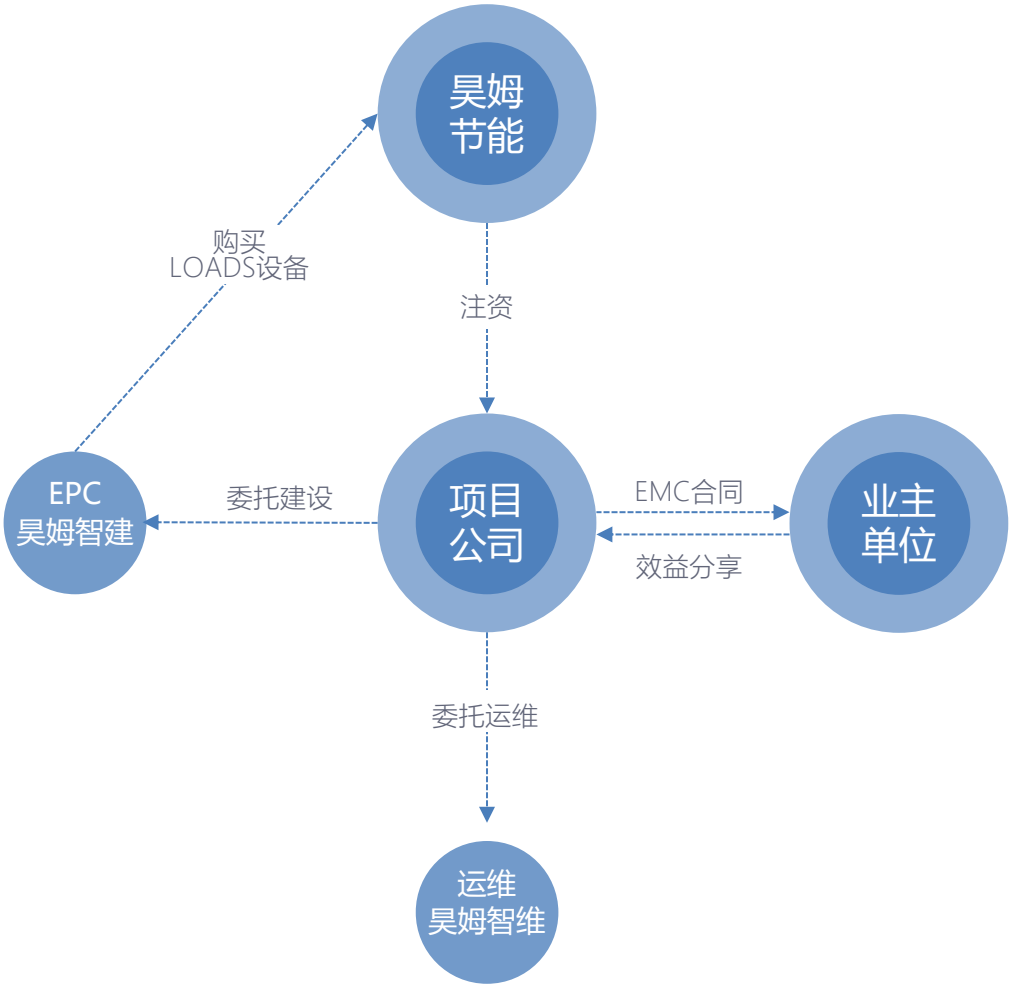
业务模式

昊姆节能出资

建设余热驱动的料液蒸发浓缩机组
(LOADS)

业主无需投入

即可享有LOADS机组带来的料液浓缩
成本降低收益，降碳收益



EMC合同能源管理模型

收益来源

节蒸汽、节省电收益
碳减排收益

业主方收益

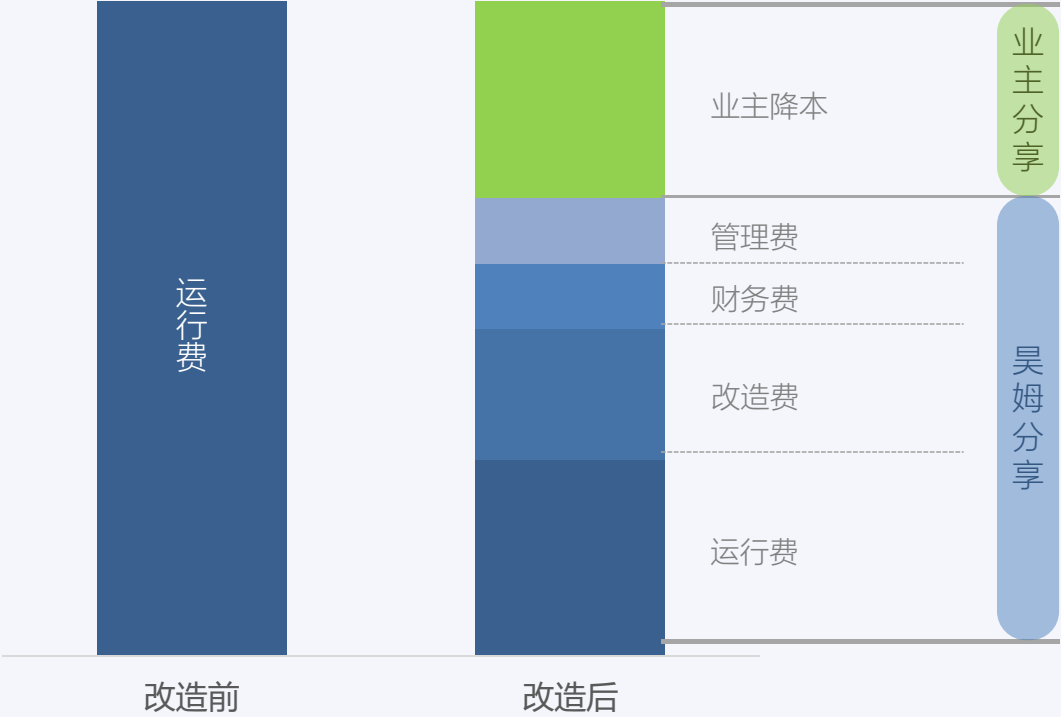
分享节能降碳收益

投资方收益

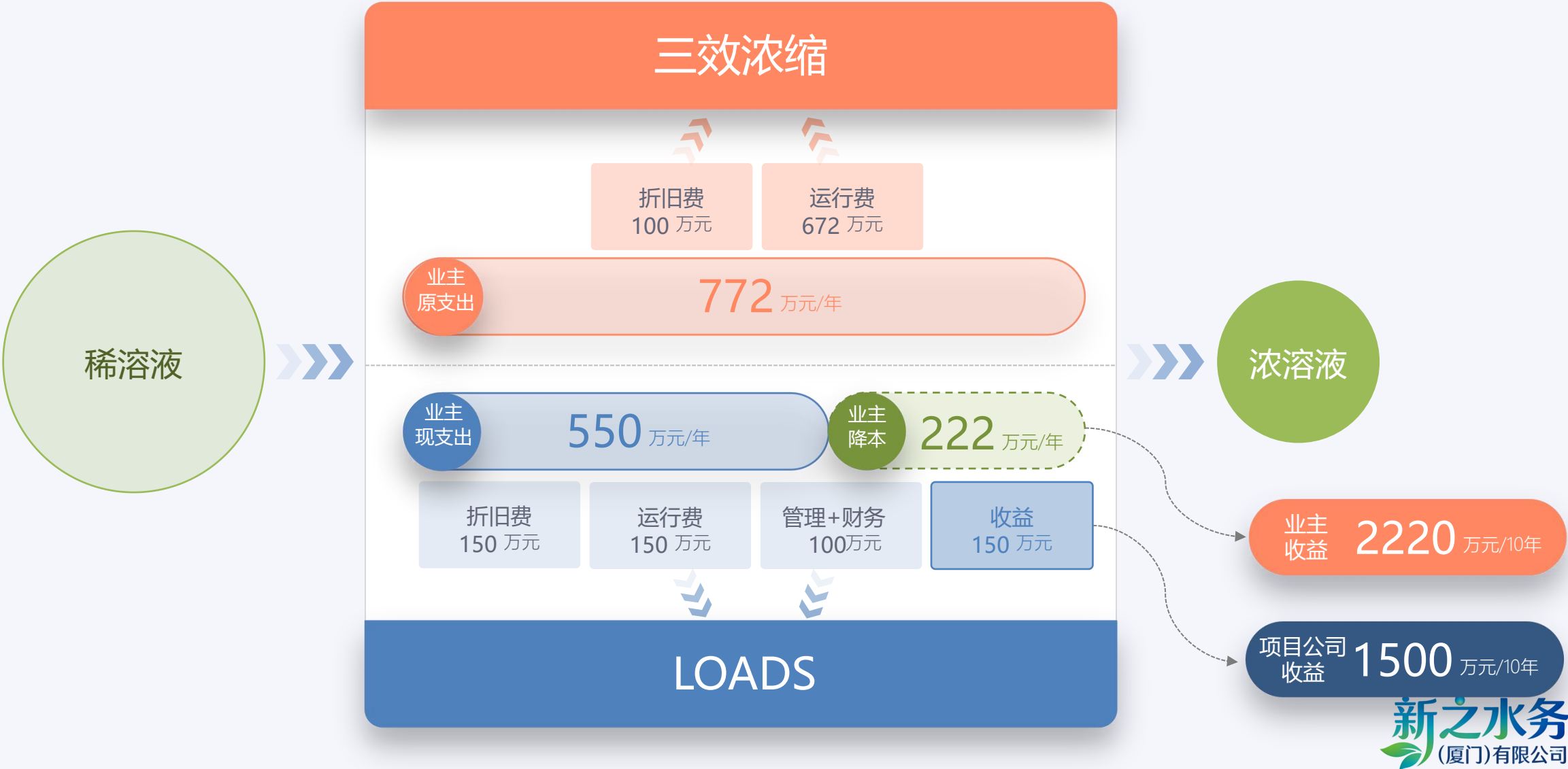
昊姆分享节能降碳收益覆盖投资、运行费用
剩余部分为投资收益

合同期结束

昊姆将设备移交给业主



EMC合同能源管理收益模型



10度电料液浓缩 运营/合作模式



产学研合作

合作模式

共同申报
共同投资
成果共享

合作方向

湿法冶金
循环经济
余热回收

科研资源

中科院
浙江大学
厦门大学
华侨大学
厦门理工大学

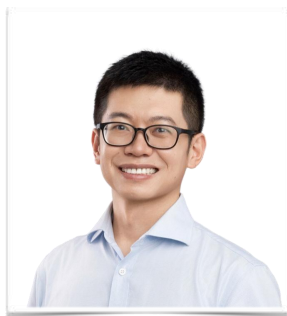
客户群体

有色冶金
新能源材料
能源化工

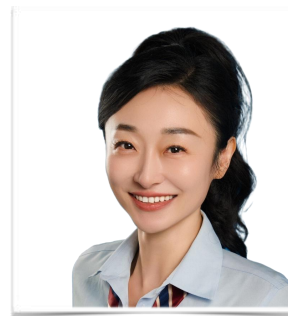
核心研发团队（高级氧化部分）



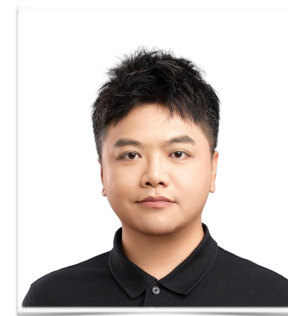
于鑫 博士
新之首席科学家
厦门大学环生学院教授
国家百千万人才工程入选者
国务院特殊津贴专家，全球2%顶尖科学家



冯明宝 博士
新之公司董事
厦门大学环生学院副教授
厦大南强青年拔尖人才
全球2%顶尖科学家



王蕾 博士
新之公司总工程师
厦门理工学院环境学院教授
环境生态工程系主任



叶成松 博士
新之公司副总工程师
厦门理工学院环境学院副教授
高廷耀基金会杰出青年博士生奖得主

水气共治，节能节水

