



广东环美  
GUANG DONG HUAN MEI BOT

# 广东环美蒸发器选型

S 选型指南 第十版  
ELECTION GUIDE



# 目录 contents+

一、公司介绍	01
二、广东环美主营业务	03
三、广东环美核心产品	04
①、撬装模块化MVR蒸发器	05
②、MVR蒸发器	06
③、多效蒸发器	07
④、母液干化蒸发器——刮板式蒸发器	08
⑤、母液干化蒸发器——高盐废水全量化处理系统	09
⑥、板式换热器	10
⑦、焊接式板式换热器	11
四、煤化工废水零排放整体解决方案	12
五、页岩气压裂返排液资源化利用整体解决方案	13
六、稀土行业废水资源化利用整体解决方案	15
七、PCB行业高盐废水资源化利用整体解决方案	16
八、光伏废水资源化利用解决方案	18
九、铝灰资源化利用高盐废水处理整体解决方案	19
十、蒸发器常见问题	
1.1、什么是蒸发	20
1.2、浓度	20
1.3、处理量	20
1.4、蒸发量	20
1.5、晶体量	20
1.6、溶解度	20
1.7、结晶方式	20
1.8、沸点及沸点升高	20
1.9、蒸发温度	21
1.10、蒸发浓缩	21
1.11、蒸发母液	21
1.12、预热蒸汽(启动蒸汽)	21
1.13、补充蒸汽	21
1.14、换热器面积	22
1.15、结垢因子	22
1.16、清洗	22
1.17、脱盐	22
1.18、材质	22
1.19、运行费用	22
1.20、造价	23
1.21、压缩机	23
1.22、使用MVR时物料沸点升的极限	23
1.23、水蒸气压缩机的过热解除喷淋量	23
1.24、MVR与多效在电价及蒸汽价格上的平衡点	23
1.25、提高蒸馏水水质的方法	23
1.26、高COD对蒸发的影响	24

1.29、真空度对蒸发的影响·····	24
1.30、MVR蒸汽压缩机的备用及系统的临时运行方案·····	24
1.31、MVR的启动及运行蒸汽的说明·····	24
1.32、MVR关键设备更换周期及系统缓冲量·····	24
1.33、蒸发器中氟离子的要求及材质选择·····	24
1.34、酸蒸发用MVR的可能性·····	24
1.35、MVR蒸发量下降及喘振的原因·····	24
1.36、零排项目中蒸发器如何选择·····	25
<b>十一、 蒸发器的分类</b>	
2.1、按蒸发方式分·····	25
2.2、按加热方式分·····	25
2.3、按操作压力分·····	25
2.4、按效数分·····	25
<b>十二、 蒸发器工艺原理介绍</b>	
3.1、 MVR蒸发器·····	26
3.2、 多效蒸发器·····	26
3.3、 升膜蒸发器·····	27
3.4、 降膜蒸发器·····	27
3.5、 强制循环蒸发器·····	27
3.6、 板式蒸发器·····	27
3.7、 多工艺组合蒸发器·····	27
<b>十三、 常规物料工艺选型及材质选择</b>	
4.1、 常见物料的浓度与沸点数据表·····	28
4.2、 常见蒸发器材质与温度数据表·····	28
4.3、 常见物料的溶解度与温度数据表·····	29
4.4、 氯化钠 NaCl·····	29
4.5、 硫酸钠 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·····	29
4.6、 氯化钙 CaCl <sub>2</sub> ·····	30
4.7、 硫酸镍 NiSO <sub>4</sub> ·····	30
4.8、 硫酸铵 (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·····	30
4.9、 硝酸钠 NaNO <sub>3</sub> ·····	30
4.10、 氯化铵 NH <sub>4</sub> Cl·····	30
4.11、 氢氧化锂 LiOH·····	30
<b>十四、 广东环美蒸发器参数表</b> ·····	31
<b>十五、 危废行业案例分析</b> ·····	32
<b>十六、 资源回收中盐硝分离的案例分析</b> ·····	34
<b>十七、 广东环美蒸发系统精彩案例</b> ·····	36
<b>十八、 广东环美生产车间</b> ·····	38
<b>十九、 广东环美销售及技术服务中心</b> ·····	39

# 公司介绍 About us



研发中心 - 广州番禺



生产基地 - 广东韶关

广东环美是一家专业从事蒸发浓缩（结晶）系统成套设备业务的高新技术企业。始终专注于蒸发产品技术的研发，集设计、制造、安装、调试、售后为一体，具备核心的技术团队。

广东环美以撬装模块化MVR蒸发系统为依托，专注废水近零排放和资源化利用。广东环美聚焦压裂返排液资源化利用、稀土废水资源化利用、煤化工废水近零排放、光伏废水资源化利用、PCB行业废水资源化利用、铝灰高盐废水处置等多个领域，提供从源头减量到资源化回收的整体解决方案。

【核心技术产品】- 撬装模块化MVR蒸发器（0.5T/H、1T/H、2T/H、5T/H、10T/H、12.5T/H六大规格）、MVR蒸发器、多效蒸发器、母液干化蒸发器。【灵活商务模式】MVR蒸发系统「销售 | 租赁 | BOT运营」。

**10** 年+  
工程经验和业绩

**87** 人+  
专业技术团队

**30** 项+  
发明和实用新型专利

**200** 个+  
合作客户

广东环美拥有专业技术团队80余人，超过10年的工程经验和业绩，各类发明和实用新型专利30余项，其中许多技术已达到国内领先水平。广东环美已为宁德时代、赣锋锂业、中国石油、黄冈TCL、广汽集团、景旺电子、东莞米亚精密、广东新盈信、长盈精密、韶关鹏瑞、江门新财富、肇庆新荣昌、陕西新天地、绵阳银河化学、中化环境、蓝思科技、天津海淡所、湖南永清环保、陕西环保产业集团、陕煤集团、久泰集团、成都美富特集团、四川TCL海能、重庆中明、佛山兴发、河源金宇、惠州凯中精密、海天酱油、宁夏泰昌水务、北京中煤环保、深圳清研环境、福建环信集团、江西鑫锐稀土等200+国内事业单位的工业污水提供蒸发浓缩（结晶）系列产品的销售及BOT运营服务。

经过多年的技术迭代及市场验证，广东环美蒸发浓缩（结晶）系统高效节能，运营成本低，产品和服务受到客户的一致好评。

# 荣誉资质和科研成果

HONORARY QUALIFICATIONS AND SCIENTIFIC RESEARCH ACHIEVEMENTS



广东环美拥有蒸发结晶技术专利**30+**项、自主知识产权**10+**项、

已申请专利**20+**项、已授权发明专利**10+**项

广东环美已通过国家级高新企业认证、安全生产许可证、

以及拥有环保工程和机电安装工程专业承包二级资质。



# 主营业务 Main business

## 1 煤化工废水零排放整体解决方案



广东环美 - 煤化工废水零排放整体解决方案是以 MVR 蒸发系统为核心技术，结合预处理、分盐结晶等工艺环节，实现废水全量回收和资源化利用的综合性技术方案。这一方案不仅解决了煤化工行业高盐废水处理难题，还实现了环境效益与经济效益的双赢。

## 2 页岩气压裂返排液资源化利用整体解决方案



广东环美 - 页岩气压裂返排液资源化利用整体解决方案是以 MVR 蒸发系统为核心技术支撑，结合预处理、膜浓缩、分盐结晶等关键工艺环节，实现高盐复杂压裂返排液全量化处理与资源回收的集成化技术方案。该方案不仅解决了页岩气开发中的环保瓶颈问题，更通过价值组分回收创造了循环经济效益。

## 3 稀土行业废水资源化利用整体解决方案



广东环美 - 稀土行业废水资源化利用整体解决方案指通过技术创新，推出集“预处理 - 回收 - 回用”于一体的资源化利用方案，实现废水减量、污染物去除与资源回收的多重目标，推动行业绿色转型。

## 4 PCB行业高盐废水资源化利用整体解决方案



广东环美 - 高盐废水资源化利用整体解决方案针对 PCB 行业这类废水特点，从源头减量、过程控制到末端处理的全流程系统性解决方案，以核心产品撬装模块化 MVR 蒸发系统为依托，实现资源回收利用。

## 5 光伏废水资源化利用整体解决方案



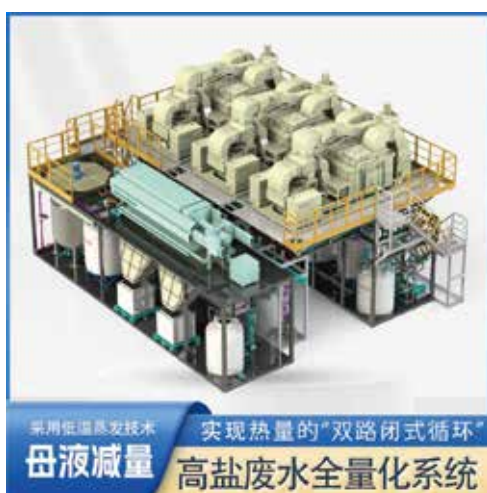
广东环美以撬装模块化 MVR 蒸发系统为依托的光伏废水资源化利用解决方案，通过“预处理 + MVR 高效浓缩 / 结晶分盐 + 冷凝水深度处理回用 + 结晶盐资源化”的技术路线，成功地将光伏行业面临的高难处理废水挑战转化为资源回收的机遇。

## 6 铝灰资源化利用高盐废水处理整体解决方案



广东环美 - 铝灰资源化利用高盐废水处理整体解决方案是以 MVR 蒸发系统为核心处理单元，针对铝加工行业产生的铝灰浸出液、清洗废水等高盐废水，实现有害组分去除、水资源回用和有价值物质回收的三重目标的集成化技术体系。

# 核心产品 Core products



# ① 模块化MVR蒸发器

## 特种高效节能蒸发设备

规格 0.5T/H、1T/H、2T/H、5T/H、10T/H、12.5T/H

### 产品化

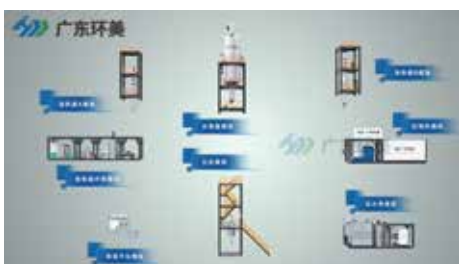
6大规格可选，  
满足用户追求“短平快”工程需求。

### 模块化

由8大模块组成，在厂内完成安装，  
运输方便，高度集成，投资小。

### 智能化

每个模块有独立的PLC控制系统，  
基本可以实现一键启动。



## 撬装模块化MVR蒸发设备 主要型号规格

蒸发量(t/h)	加热方式	蒸发形式	设备型号规格	占地面积 (长宽深/m)	主材	备注
0.5	管式	浓缩	HMKJ-500L-ZF	8.5*2.7*5.7	钛材	可选配 离心机 或 母液干化设备
1	管式	浓缩	HMKJ-1000L-ZF	8.5*2.7*5.7		
2	管式	浓缩	HMKJ-2000L-ZF	12*4.5*7.5		
5	管式	浓缩	HMKJ-5000L-ZF	9*20*16		
10	管式	浓缩	HMKJ-10000L-ZF	12*20*16		
12.5	管式	浓缩	HMKJ-12500L-ZF	12*20*16		

## ②MVR蒸发器

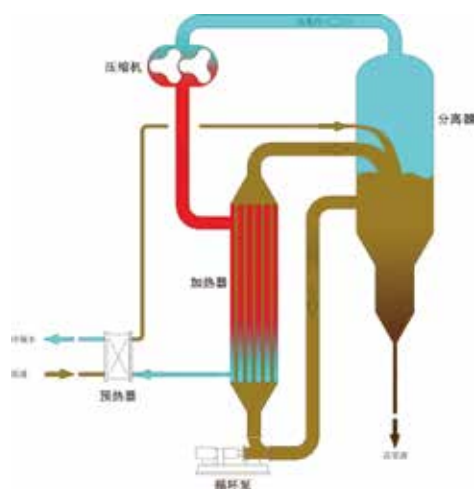
适用于工业废水领域的  
新型高效节能蒸发设备

热效率高 | 运行成本低

结构紧凑 | 占地面积小



### 环美MVR蒸发系统特点



广东环美MVR蒸发技术应用范围包括蒸发浓缩；蒸发结晶；低温蒸发。MVR蒸发系统100%循环利用二次蒸汽的潜热，大大减少能源消耗。取消了循环冷却水系统供应系统，结构紧凑，占地面积小，特别适合于小空间建设。与传统蒸发器性能比较，具有待处理物料的适应范围广，可以连续和间歇出料；体积小移动性强；热效率高，功耗低，无污染；一体多效，节省制造成本；自动化程度高、运行成本低等特点。

**行业经验丰富 多种规格可选 工期短交付快**

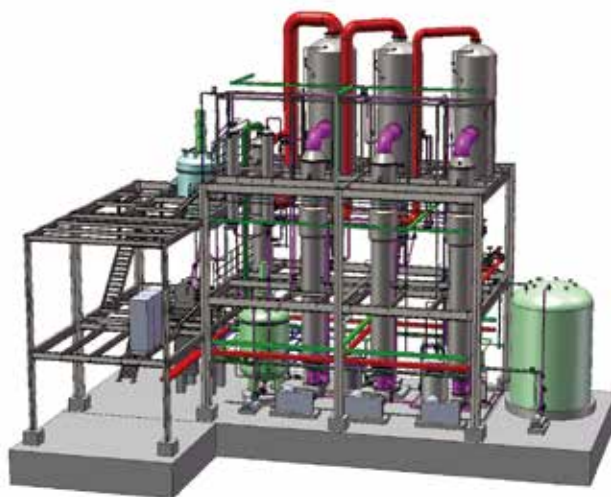


### ③多效蒸发器

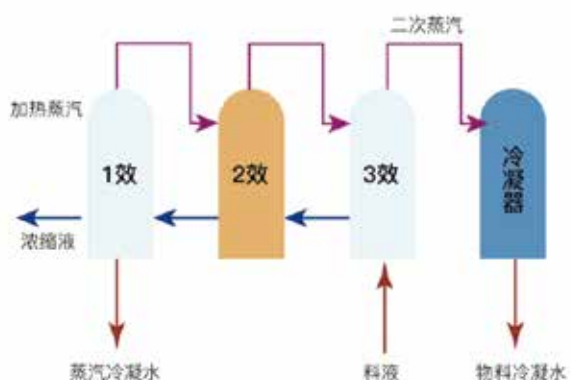
实现能源的多次利用  
提高能源利用率

高效除沫 | 自动控制

强制循环 | 有效分离清浊液



#### 环美多效蒸发系统特点



广东环美多效蒸发系统广泛适合于危废行业、锂电池行业、制药行业、化工行业、食品行业、生物发酵行业等液体物料的蒸发浓缩结晶过程。

多效蒸发器是将前效的二次蒸汽作为下一效的加热蒸汽使用。在蒸发生产中，二次蒸气的产量较大，且含大量的潜热，故应将其回收加以利用，若将二次蒸气通入另一蒸发器的加热室，只要后者的操作压强和溶液沸点低于原蒸发器中的操作压强和沸点，则通入的二次蒸气仍能起到加热作用，这种操作方式即为多效蒸发。多效蒸发中的每一个蒸发器称为一效，凡通入加热蒸汽的蒸发器称为第一效，用第一效的二次蒸气作为加热剂的蒸发器称为第二效，依此类推。

### 节能减耗 自动控制 自循环系统



## ④母液干化蒸发器 ——刮板蒸发器

MVR蒸发器母液处理利器  
运行成本低 | 占地面积小

产品型号	处理量 (L/hr)	尺寸 L*W*H (mm)
GDHM-250	250	1200*3650*3500
GDHM-500	500	2400*3650*3500



### 适用范围

广东环美母液干化蒸发器广泛适用于表面处理含磷废液、膜过滤, 蒸发器母液至结晶、PCB电镀等重金属废液固化、高盐高 COD 废液至结晶、有机溶剂极限浓缩、化工工业酸碱废液盐化结晶、切削液/研磨液/离型剂极限浓缩、油泥/污泥干燥等领域。



采用真空蒸馏技术  
**减量结晶**

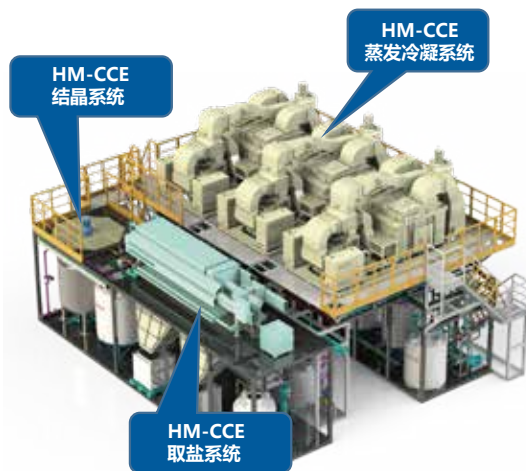
占地面积小, 经济效益高  
**现货租赁OR出售**



## ⑤母液干化蒸发器 ——高盐废水全量化处理系统 (HM-CCE系统)

### 产品规格

产品型号	处理量 (t/d)	尺寸 L*W*H (mm)	产品型号	处理量 (t/d)	尺寸 L*W*H (mm)
HM-CCE 200	3.5	7780x7050x6500 (H)	HM-CCE 800	14	16100x10500x7000 (H)
HM-CCE 400	7	11600x7650x6500 (H)	HM-CCE 1000	17.5	17000x11000x7900 (H)
HM-CCE 600	10.5	13500x10500x7000 (H)	HM-CCE 1200	21	21000x11000x7900 (H)



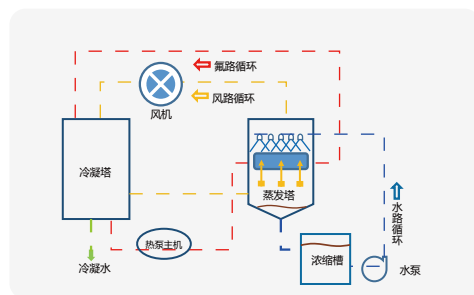
### 创新的蒸发技术——常压低温非沸腾蒸发

高盐废水全量化处理系统(HM-CCE系统)蒸发技术

直接针对饱和浓缩母液、高浓度高盐有机废水、热敏性高毒性高盐废水。

低温蒸发	低温热源	常压蒸发	表面蒸发	薄膜蒸发	稳定蒸发
<ol style="list-style-type: none"> <li>1、蒸发温度：40-60℃；</li> <li>2、热敏性物料低温下不会变性、结晶；</li> <li>3、能够有效减缓结垢速率；减缓高温对腐蚀速率的影响；</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、热源温度≤65℃；</li> <li>2、进一步抑制物质变性；扩大适用水质范围；</li> <li>3、进一步降低腐蚀速率；</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、废水在常压下蒸发和冷凝；</li> <li>2、系统运行安全可靠，维护便捷；</li> <li>3、设备材料选择范围广；</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、非沸腾表面蒸发；</li> <li>2、减少污染物与水分子形成共沸；</li> <li>3、冷端热平衡进一步提高节能效率；</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、废水强制循环形成高速流动的薄膜，提高加热与蒸发效率；</li> <li>2、废水薄膜与风路形成强对流效应；</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、蒸发器具备非机械式智能自清洁能力；</li> <li>2、全系统与废水接触部分无机械运动与带压密封；</li> <li>3、高可靠性长寿命；</li> </ol>

### HM-CCE系统运行原理图



### 典型案例

### 高盐高硬度废水全量化处理—宁东泰畅项目



高盐高硬度废水



管式膜系统



MVR 系统



HM-CCE 系统

	TDS (mg/L)	COD (mg/L)	总硬 (mg/L)	总氮 (mg/L)
原水水质	2万-5万	< 2500	1000-3000	< 5000
管式膜出水	2万-5万	< 2500	< 200	< 5000
MVR产水	< 800	< 500	< 50	< 300
CCE产水	< 500	< 500	< 50	< 300



产水

出盐

## ⑥板式换热器

### 可拆板式热交换器结构特点

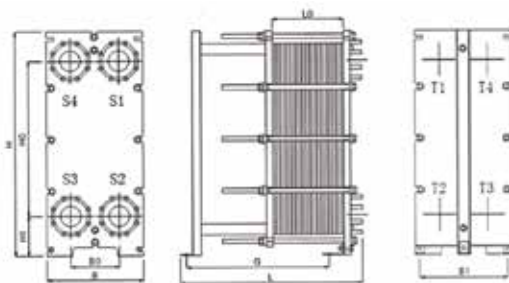
板式热交换器是一组波纹金属板组成，板上有四个角孔，供热交换的两种液(气)体通过。金属板片安装在一个侧面有固定板和活动压紧板的框架内，并用夹紧螺栓夹紧。板片上装有密封垫片，将流体通道密封，并且引导流体交替地流至各自的通道内。波纹板不仅提高了湍流程度，并且形成许多支撑点足以承受介质间的压力差。金属板和活动压紧板悬挂在上导杆，并由下导杆定位，而杆端则固定在支撑柱上。



### 可拆板式热交换器

#### 示意图

接口位置根据流程组合及用户要求而定，  
接口类型大小按常规或用户要求提供。



## ⑦焊接式板式换热器

焊接式板式换热器是一种通过焊接工艺将金属板片永久固定形成的热交换设备。其核心结构与普通板式换热器类似，由多层波纹状金属板片叠加组成，形成交替的冷、热流体通道。与传统可拆卸式板式换热器（依靠橡胶垫片密封）不同，焊接式的板片之间通过激光焊接、钎焊或熔焊等方式直接连接，形成不可拆卸的密封结构。



### 焊接式板式换热器特点：

焊接式板式换热器是一种结合了传统板式换热器高效传热特性和焊接工艺优势的设备，主要特点如下：

#### 1. 结构特点

紧凑设计：采用波纹板片焊接成型，单位体积内传热面积大，体积仅为管壳式换热器的1/3~1/5。

无密封垫片：板片之间通过焊接连接，避免了传统可拆式板换的垫片泄漏风险，适合对密封性要求高的场合。

#### 2. 性能优势

耐高温高压：焊接结构消除了垫片的温度限制（通常垫片耐温 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ ），可承受更高温度（如 $300^{\circ}\text{C}$ 以上）和压力（可达3.0 MPa甚至更高）。

抗腐蚀性强：可选不锈钢、钛、哈氏合金等耐腐蚀材料焊接，适用于强酸、强碱或腐蚀性介质。

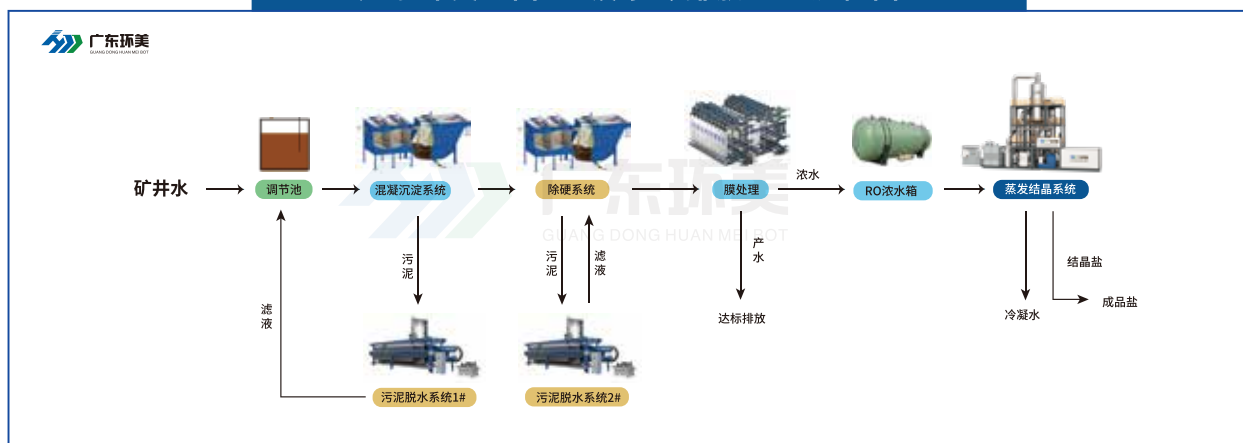
传热效率高：板片波纹设计促进湍流，传热系数可达管壳式的3~5倍，节能效果显著。



## 煤化工废水零排放整体解决方案

广东环美-煤化工废水零排放整体解决方案是以MVR蒸发系统为核心技术，结合预处理、分盐结晶等工艺环节，实现废水全量回收和资源化利用的综合性技术方案。这一方案不仅解决了煤化工行业高盐废水处理难题，还实现了环境效益与经济效益的双赢。

广东环美-煤化工废水零排放工艺流程图



### 典型案例

#### ①榆林煤化工废水零排放项目

模块化MVR蒸发结晶（10t/h）+母液干化系统



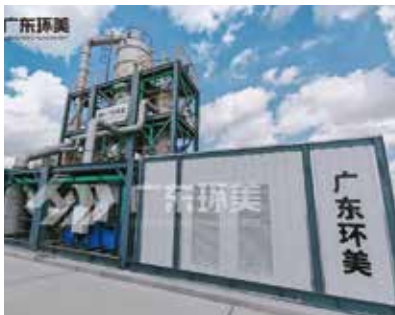
#### ③宁东基地现代煤化工高浓度废水处理

模块化MVR设备 2套（7t/h）



#### ②内蒙古陶忽图煤化工废水资源化项目

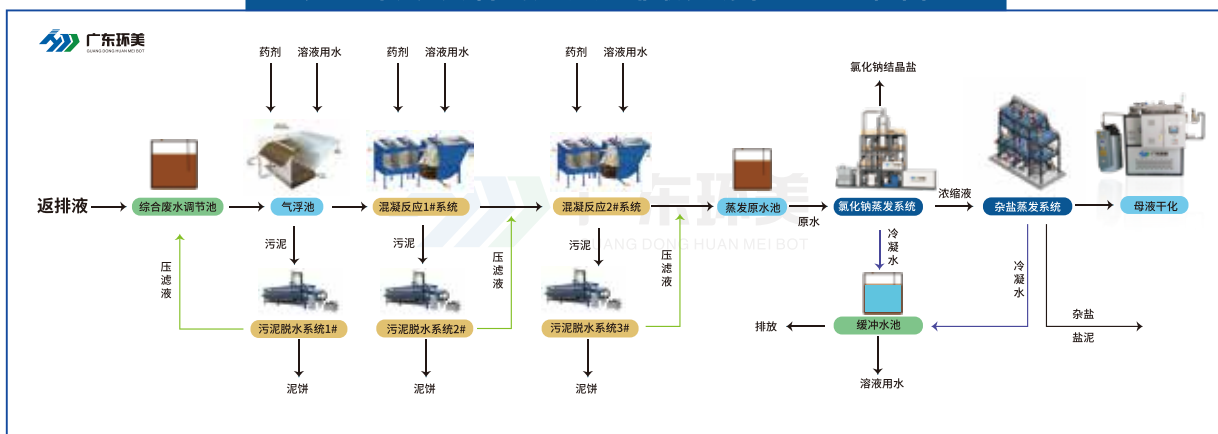
10t/h 模块MVR蒸发结晶系统+母液干化系统+结晶盐干燥系统



## 页岩气压裂返排液资源化利用整体解决方案

广东环美-页岩气压裂返排液资源化利用整体解决方案是以MVR蒸发系统为核心技术支撑，结合预处理、膜浓缩、分盐结晶等关键工艺环节，实现高盐复杂压裂返排液全量化处理与资源回收的集成化技术方案。该方案不仅解决了页岩气开发中的环保瓶颈问题，更通过价值组分回收创造了循环经济效益。

广东环美-页岩气压裂返排液资源化工艺流程图



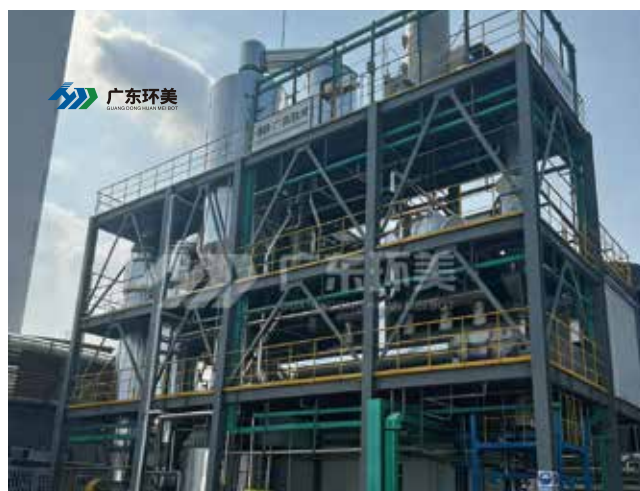
### 典型案例

#### ①四川宜宾某中石油压裂返排液项目

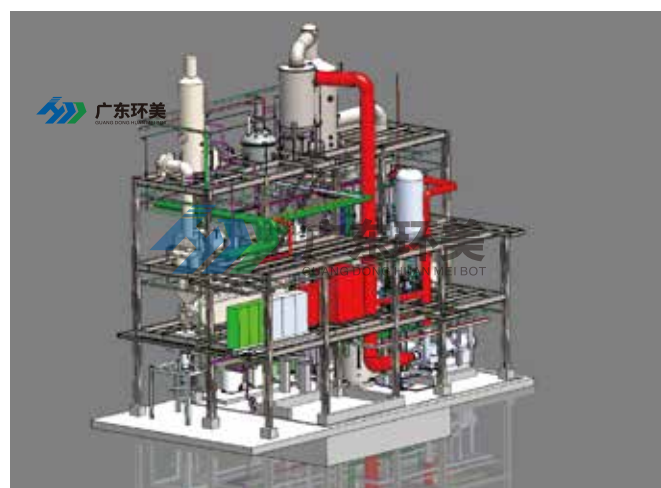
2500t/d (包含3套15t/h的MVR蒸发系统)



**②自贡正鼎环保科技有限公司压裂返排液项目** 2000t/d (包含2套15t/h 的MVR蒸发系统)



**③四川绵阳某某科技公司压裂返排液项目** 1500t/d (包含2套35t/h 的MVR蒸发系统及配套工程)



**④四川内江某某环境科技有限公司** 1000t/d (包含2套15t/h 的MVR蒸发系统)



## 稀土行业废水资源化利用整体解决方案

广东环美-稀土行业废水资源化利用整体解决方案指通过技术创新，推出集“预处理-回收-回用”于一体的资源化利用方案，实现废水减量、污染物去除与资源回收的多重目标，推动行业绿色转型。

广东环美-稀土行业废水资源化工艺流程图



### 典型案例

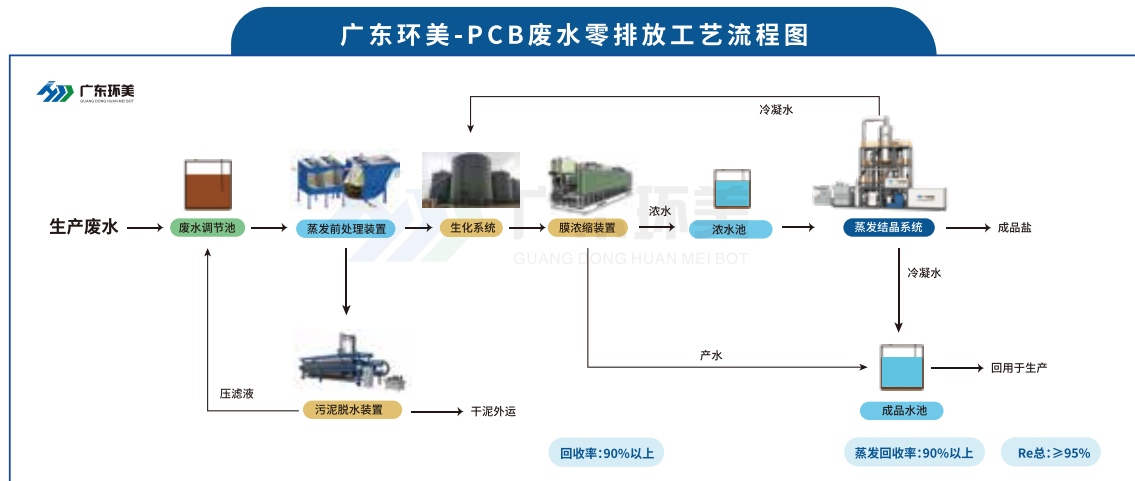
#### 江西某某再生资源公司稀土项目

1套1t/h 的撬装模块化MVR蒸发系统



# PCB行业废水资源化利用整体解决方案

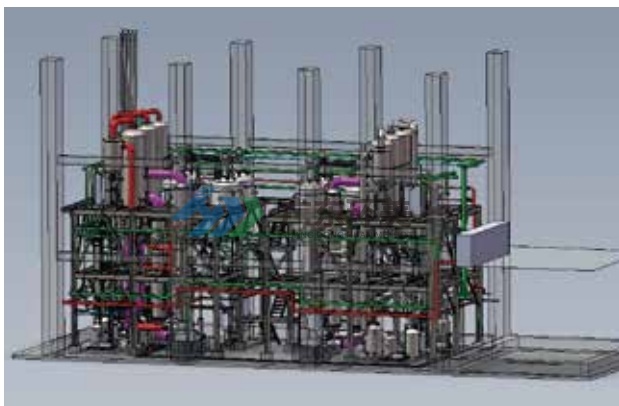
广东环美-高盐废水资源化利用整体解决方案针对PCB行业这类废水特点,从源头减量、过程控制到末端处理的全流程系统性解决方案,以核心产品撬装模块化MVR蒸发系统为依托,实现资源回收利用。



## 典型案例

### ①江西吉安景旺

5t/h MVR+双效组合蒸发系统



### ②龙川景旺项目

3t/h MVR+双效组合蒸发系统

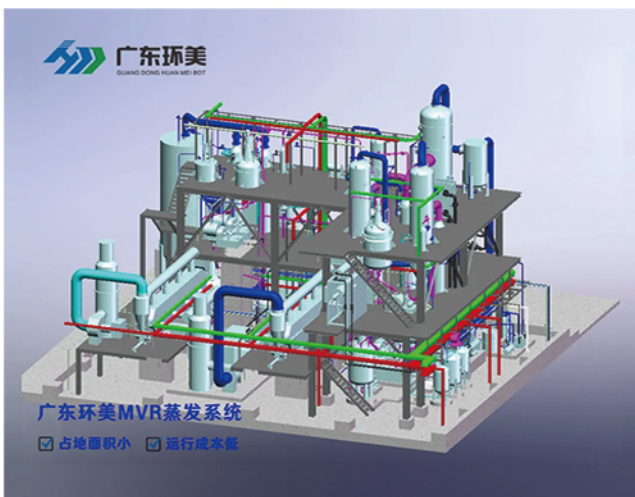


# 工业园区废水零排放案例

## 宁夏平罗工业园区精细化工基地废水零排放分盐项目

德渊红崖子园污水处理有限公司

处理水量：10000T/D的工业废水零排放项目（三套广东环美蒸发系统）



## 光伏废水资源化利用整体解决方案

广东环美-光伏废水资源化利用解决方案,通过“预处理+MVR高效浓缩/结晶分盐+冷凝水深度处理回用+结晶盐资源化”的技术路线,成功地将光伏行业面临的高难处理废水挑战转化为资源回收的机遇。

广东环美-光伏废水资源化工艺流程图



### 典型案例

#### 绵阳某某光伏废水资源化利用项目(处理氨氮废水工程项目)

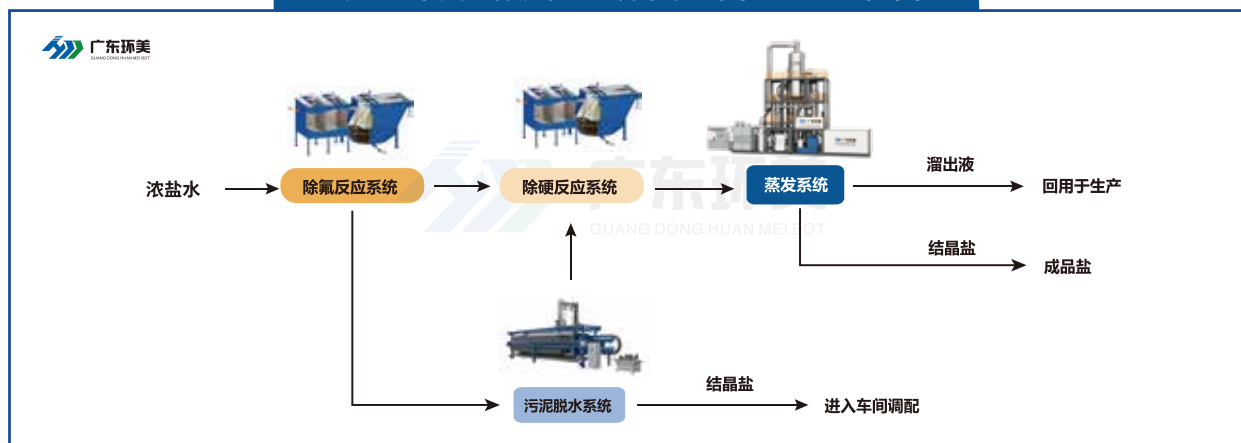
1套2t/h 的撬装模块化MVR蒸发系统



## 铝灰资源化利用高盐废水处理整体解决方案

广东环美-铝灰资源化利用高盐废水处理整体解决方案是以MVR蒸发系统为核心处理单元，针对铝加工行业产生的铝灰浸出液、清洗废水等高盐废水，实现有害组分去除、水资源回用和有价值物质回收的三重目标的集成化技术体系。

广东环美-铝灰高盐废水资源化工艺流程图



### 典型案例

#### 四川TCL海能铝业有限公司

年产10万吨铝灰全量化资源综合利用项目  
480t/d(包含1套15t/h的三效蒸发器)



#### 重庆中明硕清有限公司

年产6万吨铝灰铝渣无害化处置及利用项目  
300t/d(包含1套5t/hMVR蒸发器、1套7t/hMVR蒸发器)



## 蒸发器常见问题 Common Problems of evaporator

### 1.1、什么是蒸发

物质从液态转化为气态的相变过程，发生在液体表面的汽化叫蒸发。也就是将溶液中的溶剂通过升温的方式让溶剂脱离溶质的过程，使得溶液由稀变浓，达到提高浓度的效果，继续蒸发，溶质呈晶体析出，从而实现溶质溶剂分离，达到盐和水的分离目的，这个就是蒸发。

### 1.2、浓度

在蒸发中，用的是质量百分比浓度，因为设计过程中的物料平衡以及其它计算过程中，用的都是质量浓度。在这个行业中，我们常见的浓度单位有g/l，ppm，us/cm，在蒸发器中，需要将这些含量转换成百分比质量浓度来使用。

### 1.3、处理量

处理量一般是指蒸发器每小时的进水量，若是每天的水量，则除以24小时即可得到每小时的处理量；若是年处理水量，一般蒸发器年运行时间330天，那么蒸发器的进水量为年处理水量除以330天再除以24小时即得到处理量。处理量往往不能准确反应蒸发系统的处理能力，因为同样的处理量，但进水的浓度不同，那么蒸发系统的蒸发量是不一样的，蒸发系统的设计都是以蒸发能力来进行设计的。

### 1.4、蒸发量

蒸发量是衡量蒸发系统能力最重要的一个指标，蒸发器的设计就是以蒸发能力来进行展开设计的。那么蒸发量如何计算出来的。蒸发量=处理量\*（1-浓度）；举例说明，假如某废水的处理量是20t/h，质量浓度是10%，那么蒸发量=20\*（1-10%）=18t/h。

### 1.5、晶体量

在蒸发中，蒸发结晶是最常见的应用场景，在初步的估算中，晶体量=处理量\*浓度；举例说明，假如某废水的处理量是20t/h，质量浓度是10%，那么晶体量=20\*10%=2t/h。

### 1.6、溶解度

溶解度是指达到（化学）平衡的溶液便不能容纳更多的溶质，是指物质在特定溶剂里溶解的最大限度。而溶解度又和温度相关，同一种物质在不同的温度下溶解度是不相同的，有些物料的溶解度随温度变化而变化的幅度不大（比如氯化钠、硫酸钠），有些物料的溶解度随温度变化很大（比如氯化铵，氯化钙等）。在蒸发器选型中，要根据物料的溶解度情况选择结晶方式。

### 1.7、结晶方式

在蒸发行业中，有热结晶（在蒸发系统中物料达到过饱和析出大量晶体）和冷却结晶（物料在蒸发系统中处于稍微过饱和、饱和或者接近饱和的状态，出料至冷却结晶罐进行冷却结晶析出大量晶体）两种结晶方式。根据物料的溶解度情况来进行选择，溶解度随温度变化很大的选择冷却结晶（氯化铵、氯化钙等）；溶解度随温度变化不大的要选择热结晶（氯化钠、硫酸钠）等。

### 1.8、沸点及沸点升高

沸点是指物料沸腾时候的温度，比如常压下，水沸腾时候的温度是100℃，水的沸点是100℃；沸点升高是指物料沸腾时候的温度与水的沸点差值，比如说常压下，氯化钠饱和溶液的沸点是108.5℃，那么氯化钠的沸点是8.5℃。在蒸发器设计选型中，

## 蒸发器常见问题

物料的沸点是重要的参数，涉及到换热器面积的计算以及能否使用MVR技术。若使用MVR技术，物料的沸点越高，压缩机的能耗是越高的。因为高沸点物料需要压缩机提供高温升，温升越高、压缩机轴功率越大，电耗就越高。

### 1.9、蒸发温度

在蒸发器选型中，蒸发温度可以进行设计的，并不是蒸发温度越低越节能，这个说法很多时候并不成立。因为蒸发系统消耗最大热量的是水变成气发生相变时消耗的热量，利用的最大热量也是气变成水发生相变时候的热量。蒸发温度的高低仅在预热时候有区别，预热部分消耗的热量占比很小，而且，蒸发系统都配有热量回收系统，因蒸发温度高低对能耗产生的影响几乎忽略不计，特别是浓度相对较低时，不需要补充预热蒸汽时，蒸发温度的高低对能耗几乎没有影响，在这种情况下，选择低温蒸发，往往得不偿失，因为低温情况下，分离器的规格要做大，压缩机的轴功率相对也多一些，那么这种工况下选择了一个非常低的蒸发温度，能耗不仅没降低，而且大幅度增加了投资成本。在蒸发温度的选择时，一定要根据物料实际情况进行综合考量，不要盲目选择低温，要选择合适的蒸发温度。

### 1.10、蒸发浓缩

蒸发浓缩是指仅需要将某些物料浓度提高，并不需要结晶。在食品饮料、果汁、中药提取液等等很多行业都是蒸发浓缩。

蒸发结晶是指将低浓度的物料通过蒸发来提浓，直至饱和或过饱和，将物料中的盐成分结晶分离出来，此种工况就是蒸发结晶。

### 1.11、蒸发母液

在蒸发结晶的实际使用场景中，废水成分往往非常复杂，有些成分在蒸发系统中富集到一定程度时会影响蒸发系统。比如有些有机物料富集到一定程度后物料特别粘稠，甚至结焦析出絮状物等，出现这种情况就会堵塞蒸发系统；有些物料富集到一定程度后沸点升高特别高，MVR蒸发的蒸发量就会大幅度下降，甚至不能正常蒸发。那么在蒸发器的实际运营中，就需要将此物料在影响蒸发系统正常运行前，排出蒸发系统外，这些排出的物料就叫蒸发母液。这部分母液需要单独处理或者直接委外处理。

### 1.12、预热蒸汽（启动蒸汽）

进入蒸发系统前的物料绝大多数情况下都处于常温状态，因此在蒸发系统进入蒸发状态前，就需要锅炉蒸汽，辅助蒸发系统进入蒸发状态，此种蒸汽就预热蒸汽或叫启动蒸汽。很多没有蒸汽的使用方，使用一些小型和撬装一体化的蒸发器时，可以使用电蒸汽发生器来产生预热蒸汽。预热蒸汽在系统刚启动时需要，系统进入蒸发状态后就不需要预热蒸汽。

### 1.13、补充蒸汽

除了预热蒸汽外，蒸发系统有时候也需要补充蒸汽，比如离心式的压缩机的密封需要持续的蒸汽供应；还有蒸发的冷凝水不足以让进料液预热到蒸发温度时，也需要补充蒸汽将进料液预热到蒸发温度，只是相对多效蒸发器而言，依赖的程度大幅度降低。

## 蒸发器常见问题

### 1.14、换热器面积

不同的处理量，不同的工况，进行热交换的能力是不同的，而热交换往往是在换热器中进行，换热器能力的大小用换热面积的大小来衡量。换热面积小了，往往达不到设计的蒸发量，换热器面积大了，投资又会增加。因此，在换热器换热面积的选择时，要结合物料的情况、设备的使用年限、余量等等综合考虑。

### 1.15、结垢因子

蒸发是一个热交换的过程，是在高温情况下进行的，那么除了常见的钙镁硅等结垢因子外，一些药剂、有机物富集后析出胶状物、絮状物等等这些因素我们统称为结垢因子。因此，物料在进入蒸发器之前，因尽可能降低这些结垢因子的含量，这些结垢因子含量越多，蒸发器清洗就越频繁。

### 1.16、清洗

在蒸发过程中，因为有结垢因子的存在，蒸发器需要清洗。清洗分正常停机清洗，停机清洗时用清水清洗即可。若是因结垢因子结垢需要清洗，一般用化学清洗或机械清洗。能够用加酸、加碱或络合剂等药剂将结垢清洗掉，则采用药剂清洗比较容易，将药剂通过进料系统加入蒸发系统，然后进行循环清洗即可。若药剂不能将结垢清洗掉，那么往往采用机械清洗，拆开换热器的管箱，用高压水枪对每根换热器进行冲洗。因高压水枪的压力特别高，一般由专业的清洗公司进行。

### 1.17、脱盐

在蒸发结晶中，析出的结晶要进行固液分离，而固液分离的设备常见的有离心机、抽滤槽、压滤机等。抽滤槽适合晶体量非常少、甚至没有晶体的工况，比如每小时晶体量可能仅有几公斤、一二十公斤等等，此种工况就可以选

择抽滤槽进行离心脱盐。压滤机占地比较大，适合物料比较粘稠的工况。在蒸发结晶中的脱盐设备中，离心机使用的频率最大，离心机一般分自动离心机和手动离心机，自动离心机不用人工铲盐，在离心机的料斗下放置吨袋等装袋即可。而手动离心机需要人工将晶体从离心机内拿出来，因而劳动强度较大。若晶体量较少，则可选择手动离心机，手动离心机的造价相对较低；若晶体量较多，则一定要选择自动离心机，尽管自动离心机的造价较高。

### 1.18、材质

蒸发器常用的材质有304、316L，2205，TA1，TA2，TA10，PVC，PPR，Q235等；蒸发器的材质一般分为物料高温接触部分的材质（2205，TA2常用），物料非高温接触部分的材质（PVC、PPR、PE）；非物料高温接触部分材质（304、316L），以及非物料非高温接触部分材质（PVC、PPR、PE），蒸汽（Q235用的较多）、循环水（Q235、PVC等），材质的选择要根据腐蚀情况以及温度情况综合考量选择。

### 1.19、运行费用

蒸发器的运行费用一般由电费、蒸汽费、循环水等三部分组成，根据相应的单价计算总运行费用，再根据蒸发量计算吨水（按蒸发量计算）费用；有些需要添加药剂运行的工况时，则药剂费单独计算，人工费用一般不计算在运行费用内。举例说明，4吨/小时的MVR蒸发器，装机功率在285kw左右，运行功率245kw；运行时补充蒸汽40kg/h，循环水35t/h，当地电价为0.8元/kwh，蒸汽费用为200元/吨，循环水按电价折算为每吨水0.2元。那么此套蒸发器每小时运行费用为 $245 \times 0.8 + 40/1000 \times 200 + 35 \times 0.2 = 211$ 元，蒸发每吨水的运行费用则为 $211/4 = 52.75$ 元。

我们在选型时不能光凭蒸发器的类型来判定运行费用的高低，一定要根据能源的单价进行计算进行综合选择。MVR比多效蒸发器节能，是相对、是大多数情况，并不绝

## 蒸发器常见问题

对。比如一些危废中心，焚烧产生的蒸汽用不完，不用也完全浪费掉了，那么类似这种工况，运行费用计算时，多效的运行一定是比MVR低的，所以在选型决策时要进行计算综合考量。

### 1.20、造价

一般同等工况、同等品牌条件下，MVR的造价比多效蒸发器高，但并不是绝对情况。一些小的蒸发器（一般2吨及2吨以下的蒸发器），两种蒸发器的造价可能持平，或者差价几乎可以忽略。一些特别小的蒸发器（1吨及1吨以下的蒸发器），多效蒸发器的造价往往比MVR的还高。所以在蒸发器的选用中，不能武断的判定多效蒸发器的造价低，MVR蒸发器的造价高，特别是小的蒸发器。

### 1.21、压缩机

**压缩机一般用罗茨压缩机和离心机压缩机。**

**罗茨压缩机：**小蒸发量的 MVR 蒸发器，一般使用罗茨压缩机，特别是蒸发量 1 吨以下的 MVR 蒸发器，都采用罗茨压缩机。蒸发量 1-2 吨的 MVR 蒸发器大多数情况下也都采用罗茨压缩机。

**离心压缩机：**一般 2 吨及 2 吨以上的 MVR 蒸发器采用离心式压缩机。离心压缩机又分为单级高速离心机、高速直驱离心压缩机、磁悬浮压缩机。

**高速直驱离心压缩机（也称为油膜高速直驱压缩机）：**采用永磁电机直接驱动压缩机叶轮，将齿轮箱的能耗节省，因此高速直驱离心压缩机比单级高速离心压缩机更节能。

**磁悬浮压缩机：**近年来，磁悬浮压缩机也开始在 MVR 蒸发上得到了应用。磁悬浮压缩机也是采用永磁电机高速直驱技术，比高速直驱离心压缩机（也称为油膜高速直驱压缩机）少了油膜结构，因此磁悬浮压缩机的体积、噪音更小。

高速直驱离心压缩机以及磁悬浮压缩机的实际应用场景较少，蒸发量往往在 10 吨以下。

### 1.22、使用MVR时物料沸点升的极限

沸点升高最好都不要超过 10-12℃，我们希望有效的蒸发温差尽可能会大一点，7-8℃会比较好，压缩机的总温升是 20-22℃。如果沸点升高超过 15℃，再考虑 1℃-2℃温差损失，压缩机选型会很不好，可能要使用多台串联或分压法。是否适用 MVR 第一要素是材质能够接受，即能够用到 2205、316 和钛，不需要更多材质且对压缩机无腐蚀；第二要素是物料最终的沸点升高不会超过 12℃，12℃也可做，但压缩机能耗会大些，蒸发面积会大。

### 1.23、水蒸气压缩机的过热解除喷淋量

蒸汽压缩机都需要注水，因为压缩机在压缩二次蒸汽时会有一个过热过程，需要将过热变成饱和；一般来说一吨蒸汽蒸汽会补充 50 公斤左右的水，但国产压缩机和进口压缩机会有异。

常规计算公式为：压缩机轴功率 \* 1.2 倍 = 注水量

### 1.24、MVR与多效在电价及蒸汽价格上的平衡点

所谓经济最重要的是考虑电耗及蒸汽的投资费用，如果蒸汽价格超过 150 元，电价在一元以内，MVR 系统较为划算。

### 1.25、提高蒸馏水水质的方法

MVR 和多效蒸发都只是一种蒸发的方式，很难保证水质，但要尽可能的判断和预防。例如进料 COD1000mg/L，冷凝水可保证在 500-800mg/L，如何做：一是会有除沫器，二是蒸发温度会比较低，让水中轻组分不会全部蒸出。

## 蒸发器常见问题

### 1.26、高COD对蒸发的影响

有机物高的会不好结晶，影响结晶质量。对于高COD的水可以浓缩，但最后出现稀糊状物质不可能有很好结晶。所以一是通过实验来判断能否结晶，二是要记录在结晶过程中发现的一些情况，如起沫、起泡、沸点多少、结晶情况如何等，通过这些方式才能真正判断是否适合MVR，能否结晶，用什么材质。一般来说COD1万以内mg/L出盐会比较好，COD3-5万mg/L出盐可能会发黄发黑，具体的还需通过实验室水样的测试来确定。

### 1.27、蒸发冷凝水的排放判断

处理后的水是否可以排放要看蒸发冷凝水的COD及氨氮是否在排放的限度范围内，若低于排放值，则可以排放，若高于排放值，则需要进一步进行生化处理或膜处理或树脂吸附处理。

### 1.28、物料选择MVR的基本条件

第一要素是材质能够接受，即能够用到2205、316和钛，不需要更多材质且对压缩机无腐蚀；第二要素是物料最终的沸点升高不会超过13℃，13℃也可做，但压缩机能耗会大些，蒸发面积会大。

### 1.29、真空度对蒸发的影响

系统的真空不是由于真空泵抽真空来造成，系统的真空是由于二次蒸汽都被冷凝掉带来的真空，如果二次蒸汽不能被冷凝掉而是通过真空泵，系统是热量不平衡的。

### 1.30、MVR蒸汽压缩机的备用及系统的临时运行方案

MVR系统一般没有考虑压缩机备用，因为压缩机价格太贵，占MVR系统价格的20-35%左右；如果想采用临时蒸汽备用，要考虑压力承受问题，MVR属于负压容器，除非有减压阀减到一公斤以下，否则属于压力容器不允许。这种情况下，在设计时就需要考虑压力容器设计。

### 1.31、MVR的启动及运行蒸汽的说明

MVR启动时是需要蒸汽的。综合的前提一是尽量使用系统的冷凝水，因为冷凝水出来为80℃，尽可能消耗冷凝水的温度使其降到30℃，二是冷凝水不足以使所有进料升高到85℃，需要生蒸汽补充热量，使进料温度保证是85℃。所以蒸汽发生器配比是算出来的，根据进料量、温度提升，计算出冷凝水吨数及生蒸汽需求量。

### 1.32、MVR关键设备更换周期及系统缓冲量

MVR如果出现事故，一般会停机较久，尤其是国外进口设备（进口piller压缩机一般故障率小于1%）。MVR设置事故池（5-10天存量）要与MVR的检修周期相匹配，所有泵的密封要做备件。正常情况下，压缩机出现的问题不是很大，一般一年检修一次；非正常情况损坏，维修时间会比较长。

### 1.33、蒸发器中氟离子的要求及材质选择

有氟离子的时候建议不要用钛材，钛材对氟离子的耐腐蚀程度较差，可以考虑调节碱性，80℃左右用2205来蒸发，避免氟离子和氯离子的双重腐蚀。

### 1.34、酸蒸发用MVR的可能性

常见的稀硫酸、稀盐酸、磷酸、硝酸都不宜采用MVR蒸发方式进行浓缩，原因为：1、很难找到在沸腾酸液情况下耐蚀很好的金属来做设备。2、大部分的酸在中等浓度情况下的沸点已经超出压缩机使用范围。

### 1.35、MVR蒸发量下降及喘振的原因

高沸点的有机物、无机盐类会一直存在于循环液内，让循环液的沸点超过压缩机的温升，从而导致蒸发难以持续。发生喘振是因转速和过气量（设计额定量）不匹配，这时就需迅速调整蒸发量来使转速和过气量、进料量来达到平衡。这也需要根据工程现场情况来进行判断。

### 1.36、零排项目中蒸发器如何选择

#### 1、首先选蒸发器形式：

- a、首先根据物料的特性选择 MVR 蒸发器还是多效蒸发器；
- b、若根据水质情况，MVR 蒸发器和多效蒸发器都能处理，则根据处理量、电价、蒸汽价格折算一下吨水成本，选择运行成本低的蒸发器。

#### 2、处理量选择：

选定蒸发器形式后，再选择处理量，也可同时确定。在零排放项目中，蒸发器的处理量一定要留有一定安全余量，确保蒸发器系统能抵扣水量变化的冲击。若对系统运行时间要求特别高，建议将蒸发器做成 2 套来抵抗风险。

#### 3、母液：

在零排放项目中，高沸点的物料、有机物、结垢的因素等等都会在蒸发器系统中富集，若没有外排口，则富集到一定程度后，蒸发器的性能就会下降，所以在零排放项目中，根据水质情况，一定要预留母液处理。外排的母液可增加母液干化蒸发器进行处理，也可委外处理，无论哪种处理方式，都建议充分考虑母液的处理问题。

## 九 蒸发器的分类

### Classification of evaporators

按照不同的分类方式，蒸发器的叫法也不同，此指南仅对常用蒸发器进行分类，没有对小众蒸发器进行分类。

一般来说，按能源利用的方式不同分为MVR蒸发器以及多效蒸发器（单效、双效、三效等），按换热器的形式又大致分为管式蒸发器和板式蒸发器；按物料在换热器内的流动形式又分为膜式蒸发器（升膜蒸发器、降膜蒸发器）和强制循环蒸发器等。

蒸发量比较大的蒸发器，往往会多工艺多形式组合起来使用，我司称为多工艺组合蒸发器。近年来，针对蒸发器外排母液的处理，有母液干化蒸发器，刮板蒸发器等。

#### 2.1、按蒸发方式分：

**自然蒸发：**即溶液在低于沸点温度下蒸发，如海水晒盐，这种情况下，因溶剂仅在溶液表面汽化，溶剂汽化速率低。

**沸腾蒸发：**将溶液加热至沸点，使之在沸腾状态下蒸发。工业上的蒸发操作基本上皆是此类。

#### 2.2、按加热方式分：

**直接热源加热：**它是将燃料与空气混合，使其燃烧产生的高温火焰和烟气经喷嘴直接喷入被蒸发的溶液中来加热溶液、使溶剂汽化的蒸发过程，例如喷雾干燥焚烧等是进行直接加热进行处理高盐废水的方式。

**间接热源加热：**容器间壁传给被蒸发的溶液。即在间壁式换热器中进行的传热过程，目前大多数蒸发都采用简介热源加热方式进行。

#### 2.3、按操作压力分：

可分为常压、加压和减压（真空）蒸发操作。很显然，对于热敏性物料，如抗生素溶液、果汁等应在减压下进行。而高粘度物料就应采用加压高温热源加热（如导热油、熔盐等）进行蒸发。

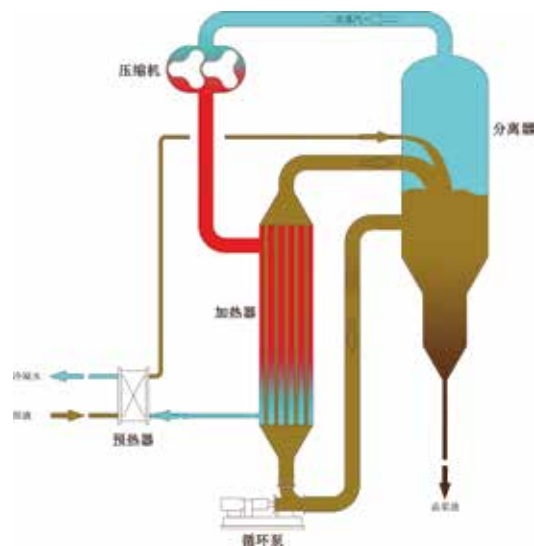
#### 2.4、按效数分：

可分为单效与多效蒸发。若蒸发产生的二次蒸汽直接冷凝不再利用，称为单效蒸发。若将二次蒸汽作为下一效加热蒸汽，并将多个蒸发器串联，此蒸发过程即为多效蒸发。

## 蒸发器工艺原理介绍 Introduction to evaporator process principle

### 3.1、MVR蒸发器

MVR是机械式蒸汽再压缩技术（mechanical vapor recompression）的简称，是利用蒸发系统自身产生的二次蒸汽及其能量，通过压缩机将二次蒸汽温度和压力升高后回收利用，如此循环向蒸发系统提供热能，从而减少对外界能源的需求的一项节能技术。MVR蒸发器可大幅度降低蒸汽的使用，没有蒸汽以及蒸汽费用较高的场景，最适用MVR技术。



### 3.2、多效蒸发器

多效蒸发是由单效蒸发组成的系统。将前一效蒸发器产生的二次蒸汽引入下一蒸发器作为加热蒸汽使用，因此，仅在一效引入锅炉蒸汽，后续蒸发利用的都是前效蒸发器产生的二次蒸汽，从而使得能源得到重复利用，每利用一次称为一个效体。一般将利用锅炉蒸汽的那个效体称为一效蒸发器，后续的依次称为二效、三效，依次类推。最后，二次蒸汽温度和压力较低不能再利用时，则利用冷凝器将其冷凝成水。

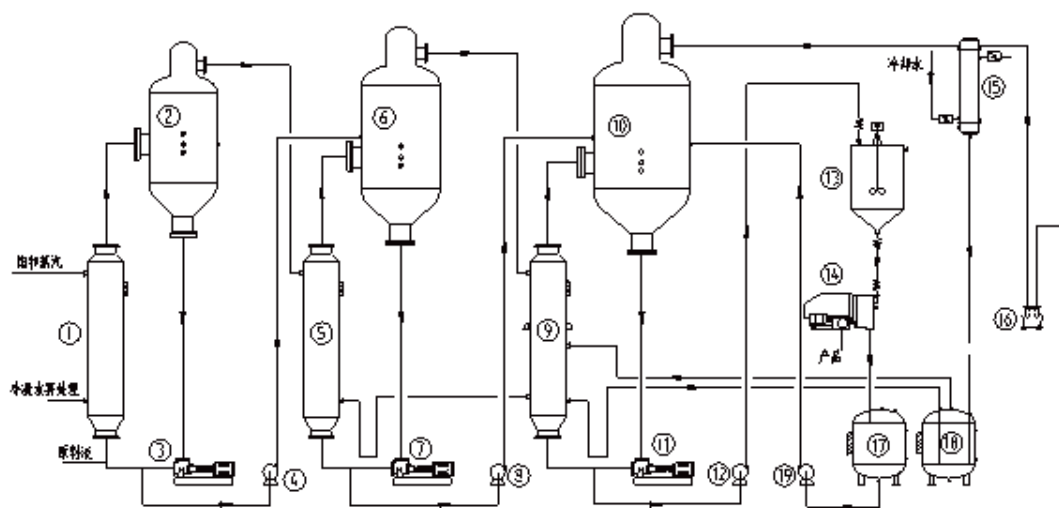


图 1 工艺流程图

①一效加热室②一效分离室③一效轴流泵④一效出料泵⑤二效加热室⑥二效分离室⑦二效轴流泵⑧二效出料泵⑨三效加热室⑩三效分离室⑪三效轴流泵⑫三效出料泵⑬稠厚器⑭离心机⑮冷凝器⑯真空泵⑰母液罐⑱冷凝液罐⑲母液循环泵

## 蒸发器工艺原理介绍

### 3.3、升膜蒸发器

需处理的料液从底部加入开始沸腾，料液中产生气泡产生二次蒸汽，继而形成气液混合物，产生的二次蒸汽夹带着液滴在管中心以极高的速度旋转地向上运行，而把未蒸发的料液，拉曳成薄膜沿管壁上升，称之为升膜式蒸发器。蒸发后料液与二次蒸汽从蒸发器顶部进入分离器，实现蒸发后料液与二次蒸汽的分离，浓缩液从底部排出。

升膜蒸发器适用于中药提取行业、制酒行业、饮料行业、生物发酵行业、废液提取等行业。

### 3.4、降膜蒸发器

料液由加热室顶部加入，经液体分布器分布后，在重力和真空诱导及气流作用下呈膜状向下流动。在管内被加热汽化，被汽化的蒸汽与液体一起由加热管下端引出，经气液分离后即得到浓缩液。料液蒸发出的二次蒸汽被压缩机增压、升温，提高二次蒸汽热焓后，进入加热室释放潜热后凝结为冷凝水。

降膜蒸发器适用于化工、油田、制药、生物工程、食品、葡萄糖、淀粉、废液回收等行业进行连续式蒸发浓缩工况。

### 3.5、强制循环蒸发器

强制循环蒸发结晶器是一种晶浆循环式连续结晶器。操作时，料液通过循环管下部加入，与离开结晶室底部的晶浆上清液混合后，由强制循环泵送往加热室。料液在加热室内升温，但不发生蒸发，而后进入分离器内进行闪蒸。闪蒸后的二次蒸汽被吸入压缩机升压、增温，提高二次蒸汽热焓后，进入加热室冷凝释放潜热，从而凝结为冷凝水。强制循环蒸发器是依靠外加力 -- 循环泵使液体进行强制循环。它的加热室有卧式和立式两种结构，液体循环速度大小由强制循环泵调节。卧式和立式两种结构，液体循环速度大小由强制循环泵调节。

强制循环蒸发器主要应用于需要结晶的领域，高浓度无机盐废水处理行业，冶金行业以及环保行业废水“零排放”等行业。

### 3.6、板式蒸发器

板式蒸发器的蒸发原理与列管式的蒸发原理相同，区别就是利用传热效率更高、热损失小的板式换热器代替列管式换热器。

**板式换热器的特点：**

✓ **传热效率高，换热面积减少，投资成本低**

板式换热器具有较高的传热系数，一般约为管壳式换热器的3-5倍。板片的波纹能使流体在较小的流速下产生高度湍流，湍流效果明显故能获得较高的传热系数。

✓ **热损失小、能耗低**

板式换热器的结构更加紧凑，蒸发器连接的管路大幅度缩短，系统的热损失小；强制循环泵的功率又比管式的小；蒸发系统的运行能耗更低。

✓ **灵活的处理量、易维修**

传热元件板片是可以拆卸组合，可根据工况需求增减蒸发面积，灵活的调整处理量。维修时，只需要松开夹紧螺栓即可卸下板片，进行机械清洗，也不需要像管式换热器那样要预留抽出管束的检修场地。

因以上特点，板式蒸发器越来越受到欢迎，流动性差、容易析出胶状物、絮状物的物料不适合用板式蒸发器。

### 3.7、多工艺组合蒸发器

蒸发量的不同、物料的成分不同，往往需要多工艺组合在一起使用，才能性能最佳。

这种综合运用降膜、升膜(管式或板式)、强制循环(管式或板式)、刮板、结晶，物料流向采用顺流、逆流、并流或混流，多效、MVR等技术结合使用的方式称为多工艺组合蒸发器。比如降膜+强制循环MVR蒸发器，MVR蒸发+三效蒸发器，MVR+三效+刮板蒸发器，MVR+三效+单效蒸发器，MVR+三效+单效+母液干化蒸发器等。多工艺组要结合物料的情况、处理量的情况以及使用方现有的条件等等多因素全方位综合考虑，使得蒸发器的性能、运行费用、投资等达到平衡。因此，对蒸发器供应商技术经验、工程经验的积累要求较高。

# 常规物料工艺选型及材质选择

Conventional material process selection and material selection

## 4.1、常见物料的浓度与沸点数据表

盐类水溶解沸点：(固含量)																				
盐类名称	101℃	102℃	103℃	104℃	105℃	107℃	110℃	115℃	120℃	125℃	140℃	160℃	180℃	200℃	220℃	240℃	260℃	280℃	300℃	340℃
	质量分数 / %																			
CaCl <sub>2</sub>	5.66	10.31	14.16	17.36	20	24.24	29.33	35.68	40.83	54.8	57.89	68.94	75.85	64.91	68.73	72.64	75.76	78.95	81.63	86.18
KOH	4.49	8.51	11.96	14.82	17.01	20.88	25.65	31.97	36.51	40.23	48.05	54.89	60.41							
KCl	8.42	14.31	18.96	23.02	26.57	32.62	36.47	(近于108.5°)												
K <sub>2</sub> SO4	9.1	20																		
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	10.31	18.37	24.24	28.57	32.24	37.69	43.97	50.58	56.04	60.4	66.94	(近于133.5°)								
KNO <sub>3</sub>	13.19	23.66	32.23	39.2	45.1	54.65	65.34	79.53												
MgCl <sub>2</sub>	4.67	8.42	11.66	14.31	16.59	20.23	24.41	29.48	33.07	36.02	38.61									
MgSO <sub>4</sub>	14.31	22.78	28.31	32.23	35.32	42.86	(近于108°)													
NaOH	4.12	7.4	10.15	12.51	14.53	18.32	23.08	26.21	33.77	37.58	48.32	60.13	69.97	77.53	84.03	88.89	93.02	9.92	98.47	近于314°
NaCl	6.19	11.03	14.67	17.69	20.32	25.09	28.92	(近于108°)												
NaNO <sub>3</sub>	8.26	15.61	21.87	27.53	32.43	40.47	49.87	60.94	68.94											
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15.26	24.81	30.73	31.83	(近于104.2°)															
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9.42	17.22	23.72	29.18	33.86															
CuSO <sub>4</sub>	26.95	39.98	40.83	44.47	45.12	(近于104.2°)														
ZnSO <sub>4</sub>	20	31.22	37.89	42.92	46.15															
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	9.09	16.66	23.08	29.08	34.21	42.52	51.92	63.24	71.26	77.11	87.09	93.2	69	97.61						
NH <sub>4</sub> Cl	6.1	11.35	15.96	19.8	22.89	28.37	35.98	46.94												
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	13.34	23.41	30.65	36.71	41.79	49.73	49.77	53.55	(近于108.2°)											

## 4.2、常见蒸发器材质与温度数据表

最高温度 (°C) \ 氯离子含量 (mg/l)	25	50	60	75	80	100	120	130
10	304	304	304	304	304	304	304	316
25	304	304	304	304	304	316	316	304
40	304	304	304	304	316	316	316	904L
50	304	304	304	316	316	316	316	904L
75	304	304	316	316	316	316	316	904L
80	304	316	316	316	316	316	316	904L
100	304	316	316	316	316	316	904L	254
120	316	316	316	316	316	904L	904L	254
130	316	316	316	316	316	904L	254	254
150	316	316	316	316	316	254	254	254
180	316	316	316	316	904L	254	254	TAI
250	316	316	316	904L	254	254	254	TAI
300	316	316	904L	254	254	254	254	TAI
400	316	904L	254	254	254	254	TAI	TAI
500	904L	904L	254	254	254	TAI	TAI	TAI
750	904L	254	254	254	TAI	TAI	TAI	TAI
1000	904L	254	254	TAI	TAI	TAI	TAI	TAI
1800	254	254	TAI	TAI	TAI	TAI	TAI	TAI
5000	254	TAI	TAI	TAI	TAI	TAI	TAI	TAI
7300	TAI	TAI	TAI	TAI	TAI	TAI	TAI	TAI

## 常规物料工艺选型及材质选择

### 4.3、常见物料的溶解度与温度数据表

常见饱和溶液质量分数										
物质	化学式	0℃	10℃	20℃	30℃	40℃	60℃	80℃	90℃	100℃
硫酸钾	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6.9%	8.5%	10.0%	11.5%	12.9%	15.4%	17.6%	18.6%	19.4%
硫酸铜	CuSO <sub>4</sub>	18.8%	21.6%	24.2%	27.4%	30.8%	38.2%	45.6%		53.3%
硫酸镁	MgSO <sub>4</sub>	18.0%	22.0%	25.2%	28.0%	30.8%	35.3%	35.8%	34.6%	33.5%
硫酸钠	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.7%	8.3%	16.3%	29.0%	32.8%	31.2%	30.4%	29.9%	29.8%
硫酸锌	ZnSO <sub>4</sub>	29.4%	32.1%	35.0%	38.0%	41.3%	43.0%	41.6%		37.7%
硫酸铵	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	41.4%	42.2%	43.0%	43.8%	44.8%	46.8%	48.7%		50.7%
氯化钙	CaCl <sub>2</sub>	37.3%	39.3%	42.7%	50.0%	56.1%	57.8%	59.5%	60.6%	61.4%
氯化钾	KCl	21.9%	23.8%	25.5%	27.1%	28.6%	31.4%	33.9%	35.0%	36.0%
氯化镁	MgCl <sub>2</sub>	34.6%	34.9%	35.3%	35.8%	36.5%	37.9%	39.8%	41.0%	42.3%
氯化钠	NaCl	26.3%	26.4%	26.4%	26.5%	26.7%	27.1%	27.5%	27.8%	28.2%
氯化锌	ZnCl <sub>2</sub>	77.4%	77.9%	79.8%	81.4%	81.9%	83.0%	84.4%		86.0%
氯化铜	CuCl <sub>2</sub>	40.7%	41.5%	42.2%	43.6%	46.7%	49.1%	51.0%	51.9%	54.5%
氯化铵	NH <sub>4</sub> Cl	22.7%	24.9%	27.1%	29.3%	31.4%	35.6%	39.6%	41.6%	43.6%
氢氧化钠	NaOH	29.6%	33.8%	52.2%	54.3%	56.3%	63.5%	75.8%	76.7%	77.6%
碳酸钾	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	51.2%	52.2%	52.6%	53.3%	53.9%	55.9%	58.3%	59.7%	60.9%
碳酸钠	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	6.5%	11.1%	17.7%	28.4%	32.9%	31.5%	31.2%	31.2%	31.1%
硝酸铵	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	54.1%	60.0%	65.8%	70.8%	74.8%	80.8%	85.3%	88.1%	89.7%
硝酸钾	KNO <sub>3</sub>	12.2%	18.0%	24.0%	31.2%	38.0%	51.5%	62.5%	67.0%	71.0%
硝酸钠	NaNO <sub>3</sub>	42.2%	44.7%	46.7%	48.7%	50.5%	55.0%	59.7%		64.3%
硝酸铜	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	45.5%	50.0%	55.6%	60.9%	62.0%	64.5%	67.5%		71.2%

### 4.4、氯化钠 NaCl

此物质沸点升数据按资料查询为8℃，实际上，废水溶液中常检测得沸点升达到11℃；此物料的处理常规为钛材，只浓缩不结晶状态可在85℃以下，选用2205或2507材质；常用的处理工艺为热结晶：预浓缩+强制循环结晶蒸发；压缩机选型常在17-20℃。

### 4.5、硫酸钠 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

此物料沸点升数据按4.2℃，处理物料可使用304或316L材质，此物料有冷冻结晶及蒸发结晶两种工艺，冷冻结晶产品为十水硫酸钠，简称芒硝，蒸发结晶产品为无水硫酸钠，简称元明粉。冷冻结晶温度常控制在-5—5℃，使用奥斯陆结晶器，换热器需要一备一用，定时切换清洗。蒸发结晶选择高温结晶，蒸发温度控制在90-100℃，使用强制循环结晶蒸发器，压缩机温升选择13-14℃。

## 常规物料工艺选型及材质选择

### 4.6、氯化钙 $\text{CaCl}_2$

此物料沸点升数据按240℃，处理物料使用TA2+TA10材质，此物料使用蒸发浓缩冷却制片结晶工艺，蒸发温度为80-100℃，常见工艺方式为先MVR或三效预浓缩（40-50%），再用单效浓缩到60-70%的浓度，此时的沸点升高约60℃，与蒸汽换热的温差已经很小，然后采用冷却制片工艺，得到二水氯化钙颗粒或片剂。

### 4.7、硫酸镍 $\text{NiSO}_4$

此物料沸点升数据按6℃，处理物料使用TA2材质，此物料使用蒸发浓缩+冷却结晶工艺，蒸发温度为80-95℃，冷却温度控制在40-50℃，循环冷却水进行冷却。使用强制循环结晶蒸发器，单台压缩机温升选择16-18℃。

### 4.8、硫酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

此物质沸点升数据按资料查询为8.2℃；此物料的处理常规为316L，可以使用蒸发冷却结晶或蒸发热结晶，使用强制循环蒸发器进行。

### 4.9、硝酸钠 $\text{NaNO}_3$

此物料沸点升数据按20℃，处理物料可使用304或316L材质，此物料使用蒸发浓缩+单效蒸发+冷却结晶工艺。蒸发结晶选择高温结晶，蒸发温度控制在90-100℃，使用强制循环结晶蒸发器，压缩机温升选择20℃。

### 4.10、氯化铵 $\text{NH}_4\text{Cl}$

此物料沸点升数据按15℃，处理物料使用TA2材质，此物料使用蒸发浓缩冷却结晶工艺，蒸发温度为80℃，控制物料温度不高于100℃，避免物料在高温分解，冷却温度控制在40℃，使用离心母液及循环冷却水进行冷却，回收部分热量。使用强制循环结晶蒸发器，单台压缩机温升选择20-22℃，沸点控制在13-14℃；多台压缩机使用可选择14+12或8+8+8。目前使用较多还是三效错流蒸发。

### 4.11、氢氧化锂 $\text{LiOH}$

此物料沸点升数据按4-6℃，处理物料可使用304或316L材质，此物料有蒸发结晶工艺。蒸发结晶选择高温结晶，蒸发温度控制在90-100℃，使用强制循环结晶蒸发器，压缩机温升选择13-14℃。

# 广东环美蒸发器参数表

Guangdong Huanmei evaporator  
parameter table

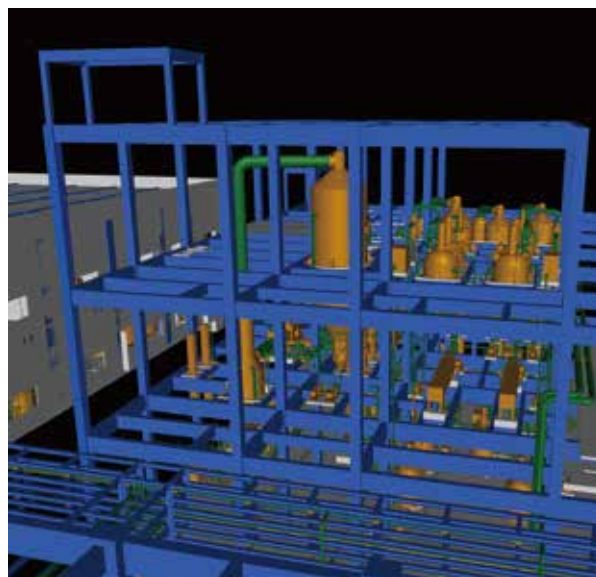
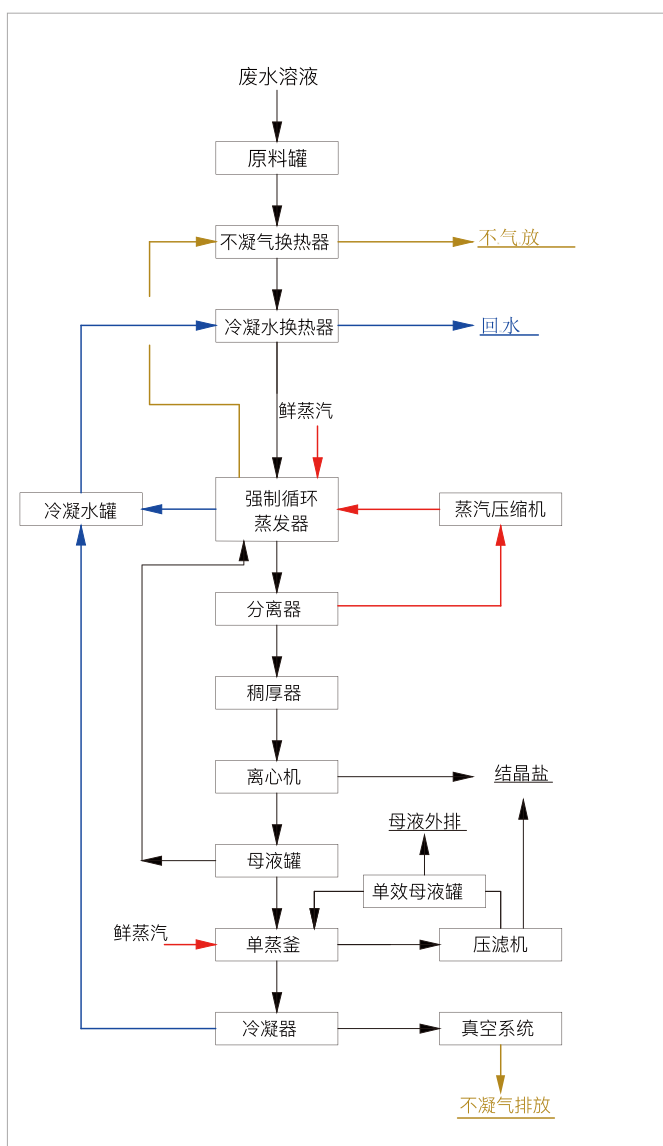
蒸发量 (t/h)	蒸发器形式	总功率 (kw/h)	蒸汽消耗 (t/h)	循环水消耗 (t/h)	占地面积 (长宽/m)
3 t/h	MVR蒸发器	250	0-0.1	50	8*8*15
	三效蒸发器	130	1.35	140	10*8*15
5 t/h	MVR蒸发器	400	0-0.2	50	8*8*15
	三效蒸发器	150	2.2	220	10*8*15
8 t/h	MVR蒸发器	600	0-0.3	70	10*10*15
	三效蒸发器	180	3.6	360	12*8*15
10 t/h	MVR蒸发器	800	0-0.3	70	10*10*15
	三效蒸发器	200	4.5	450	12*8*15
15 t/h	MVR蒸发器	1100	0-0.45	100	12*10*18
	三效蒸发器	235	6.7	600	12*12*16
20 t/h	MVR蒸发器	1280	0-0.6	100	12*10*18
	三效蒸发器	280	9	850	12*12*16
25 t/h	MVR蒸发器	1600	0-0.8	120	15*10*20
	三效蒸发器	350	11.25	950	15*12*18
30 t/h	MVR蒸发器	2000	0-0.9	150	15*10*20
	三效蒸发器	450	13.5	1200	15*12*18
35 t/h	MVR蒸发器	2300	0-1.1	150	18*15*20
	三效蒸发器	500	15.8	1400	16*13*18
40 t/h	MVR蒸发器	2600	0-1.2	180	18*15*20
	三效蒸发器	700	18	1600	16*13*18
45 t/h	MVR蒸发器	2900	0-1.4	200	20*15*25
	三效蒸发器	800	20	1700	22*15*20
50 t/h	MVR蒸发器	3200	0-1.5	200	25*15*25
	三效蒸发器	900	22	1900	22*15*20
60 t/h	MVR蒸发器	5500	0-1.5	250	25*15*30
	三效蒸发器	1050	27	2000	22*15*20
80 t/h	MVR蒸发器	6850	0-1.5	350	30*20*30
	三效蒸发器	1150	36	2200	25*20*25
100 t/h	MVR蒸发器	8550	0-2	450	35*25*30
	三效蒸发器	1250	45	2500	30*25*25

# 危废行业案例分析 Case study of hazardous waste industry

## 项目简介

项目名称	广州市废弃物安全处置中心二期项目 15万吨/年物化项目蒸发装置
用户单位	广州市环境保护技术有限公司
总包单位	中化环境科技工程有限公司
设计单位	广东环美环保产业发展有限公司

## MVR工艺流程简图



## MVR进水水质

名称	单位	指标
COD	mg/L	~2800
重金属	mg/L	< 5
氨氮	mg/L	500~800
总磷	mg/L	≤60
SS	mg/L	≤10
盐含量(盐类为氯化钠和硫酸钠盐为主)	mg/L	66000
硬度 (以碳酸钙计)	mg/L	100~150
氟离子	mg/L	≤5
PH	-	5~6
SiO <sub>2</sub>	mg/L	≤50
总水量	t/d	330

## MVR运行能耗

名称	主要规格	单位	每吨产品消耗定额	小时消耗量	年消耗量 t/a	物料单价	总价 (万元)	单位运行费用 (元/吨)	备注
电耗	处理量 13t/h	kw.h	60	780	5616000	0.8	449.3	48	按 m³/h 计算
蒸汽		t	0.05	0.6	4320	180	77.8	9	
药剂		kg	0.1	1.25	9000	10	9	1	



# 资源回收中盐硝分离的案例分析

Case study of salt and nitrate separation in resource recovery

## 项目简介

项目名称	宁夏平罗工业园区精细化工园再生水资源化利用项目(零排放项目 (10m <sup>3</sup> /h, 分盐))		
处理规模	10000m <sup>3</sup> /d	结晶进水	200m <sup>3</sup> /d
处理要求	出水水质达到《石油化工给水排水水质指标》(SH3099-2000)规定的生产给谁水质指标。Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 达到GB/T 6009-2014《工业无水硫酸钠》标准中Ⅱ类盐合格品标准。纯度>97%蒸发结晶副产氯化钠满足GB/T 5462-2015《工业盐》工业干盐二级标准。纯度>97.5%		

## 水质情况表

处理单元	水量 (m <sup>3</sup> /h)	COD (mg/l)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	氨氮 (mg/l)	总氮 (mg/l)	总磷 (mg/l)	SS (mg/l)	TDS (mg/l)	总碱度 (mg/l)	总硬度 (mg/l)	硫酸根 (mg/l)	氯离子 (mg/l)
出水	41.67	259.50	51.90	25.95	129.75	0.65	0.00	19450.29	78.56	98.20	5892.00	5784.00
II-砂滤器	41.67	259.50	51.90	25.95	129.75	0.65	0.00	19450.29	78.56	98.20	5892.00	5784.00
去除率/回收率	90%	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
产水	41.67	260	52	26	130	0.65	0	19450	79	98	5892	5784
III-CDRO系统	41.67	259.50	51.90	25.95	129.75	0.65	0.00	19450.29	78.56	98.20	5892.00	5784.00
去除率/回收率	75%	80%	80%	80%	80%	80%	0%	97%	98%	98%	98%	96%
产水	31.25	51.90	10.38	5.19	25.95	0.13	0.00	592	2	2	118	231
浓水	10.42	882.30	176.46	88.23	441.15	2.21	0.00	76025	310	387	23214	22442
IV-高密池	10.42	882	176	88	441	2	0	76025	310	387	23214	22442
去除率	/	/	/	/	/	75%	/	/	75%	75%	/	/
出水	10.42	882.30	176.46	88.23	441.15	0.55	0.00	76324.53	77.38	96.73	23414.48	22441.92
进水	10.42	882	176	88	441	1	0	76325	77	97	23414	22442
III-砂滤器	10.42	882.30	176.46	88.23	441.15	0.55	0.00	76324.53	77.38	96.73	23414.48	22441.92
去除率/回收率	/	/	/	/	/	99.9%	/	/	/	/	/	/
产水	10.42	882.30	176.46	88.23	441.15	0.55	0.00	76324.53	77.38	96.73	23414.48	22441.92
III-离子交换+脱硝系统	10.42	882.30	176.46	88.23	441.15	0.55	0.00	76324.53	77.38	96.73	23414.48	22441.92
去除率/回收率	/	0%	0%	0%	0%	/	0%	/	/	90%	/	/
产水	10.42	882.30	176.46	88.23	441.15	0.55	0.00	76325	77.38	9.67	23414	22442
回流母液	1.50	882.30	176.46	88.23	441.15	0.55	0.00	185000.00	77.38	9.67	50000.00	50000.00
IV-CDRO系统	11.92	882.30	176.46	88.23	441.15	0.55	0.00	90003.00	77.38	9.67	26760.68	25910.53
去除率/回收率	64%	80%	80%	80%	80%	80%	0%	51%	98%	98%	96%	10%
产水	7.63	176.46	35.29	17.65	88.23	0.11	0.00	43766	2	0	1070	23319
浓水	4.29	2137.13	427.43	213.71	1068.56	1.34	0.00	172202	212	27	72432	30517
V-CDRO系统	8	176	35	18	88	0	0	43766	2	0	1070	23319
去除率/回收率	64%	80%	80%	80%	80%	80%	0%	96%	98%	98%	98%	96%
产水	5	35.29	7.06	3.53	17.65	0.02	0.00	1716	0.0	0.0	21	933
浓水	3	427.43	85.49	42.74	213.71	0.27	0.00	118522	4.2	0.5	2935	63118
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 蒸发系统	4	2137.13	427.43	213.71	1068.56	1.34	0.00	172201.84	212.20	26.52	72432.23	30516.84
去除率/回收率	95%	90.0%	90.0%	90.0%	98.0%	99.5%	99.5%	99.7%	99%	99%	99.0%	99.0%
冷凝水	4	213.71	42.74	21.37	21.37	0.01	0.00	516.61	2.12	0.27	724.32	305.17
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 结晶体	0.44	td										
NaCl蒸发系统	3	427.43	85.49	42.74	213.71	0.27	0.00	118521.97	4.24	0.53	2935.35	63118.04
去除率/回收率	95.0%	90.0%	90.0%	90.0%	98.0%	99.5%	99.5%	99.7%	99.5%	99.7%	99.0%	99.0%
冷凝水	3	43	9	4	4	0	0	356	0	0	29	631
NaCl结晶体	0.26	td										
进水	0.35											

## 分盐技术概述

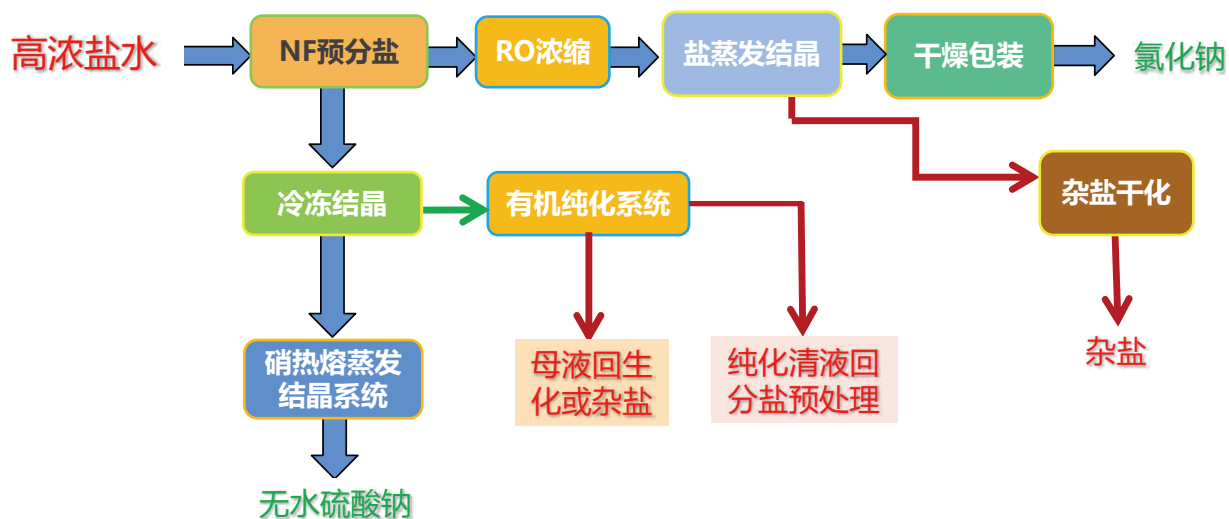
蒸发结晶分盐总体上分为纳滤分盐、热法分盐和冷法分盐

	纳滤分盐	热法分盐 (盐硝联产)	冷法分盐
原理	纳滤膜对二价盐的选择性分离	高温析硝、低温析盐、热母液循环	高温析盐、低温析硝、冷母液循环
优点	对水质波动的适应性很强	工艺紧凑, 能耗低, 投资相对低	工艺范围较宽, 便于控制
缺点	投资略高	对水质稳定性要求很高	能耗高。特别是硫酸钠含量较低时。一般适合于硫酸根明显高于氯离子。收率受氯离子影响较大。

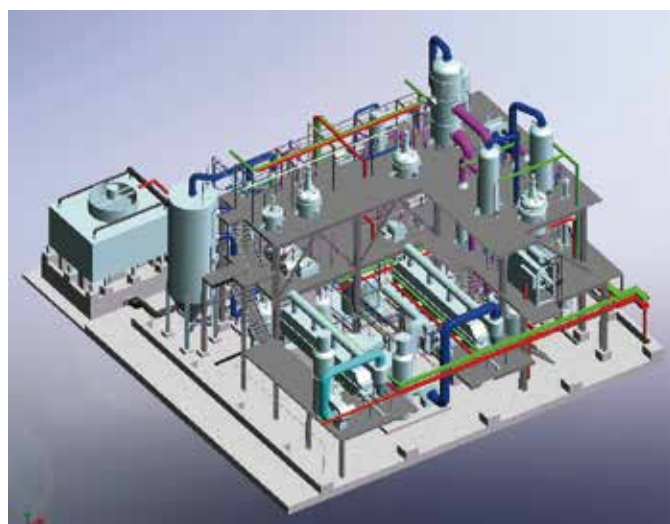
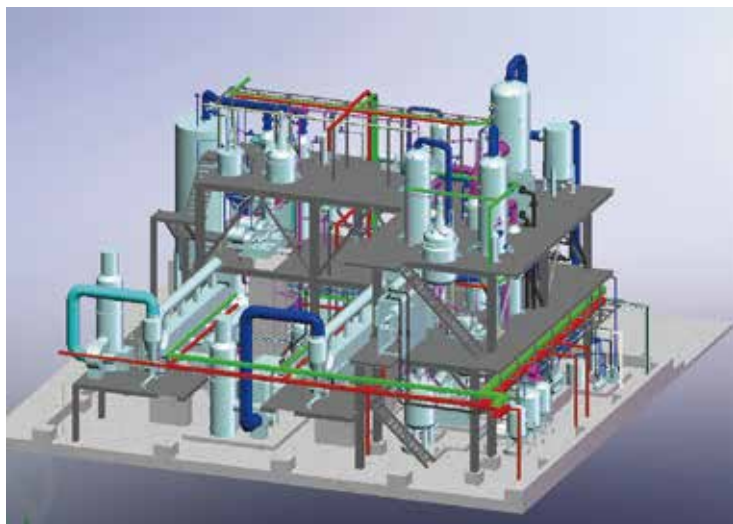
## 资源回收中盐硝分离的案例分析

### 分盐技术

#### 分盐结晶工艺-纳滤+冷冻结晶两步分盐技术



### 项目图片





**广东金宇环境科技股份有限公司**  
铷稀有金属资源化项目：  
4t/h MVR蒸发器+单釜(1套)



**黄冈TCL环境科技有限公司**  
物化废水：  
4t/h三效蒸发器 (2套)



**韶关鹏瑞环保科技有限公司**  
氯化铵废水：6t/h 三效蒸发器(1套)+  
10t/h三效蒸发器(1套)+15t/h三效蒸发器(1套)



**江苏友富薄板科技有限公司**  
料液蒸发浓缩系统处理项目  
0.6t/h 低温蒸发器 (1套))



**广州市环境技术设备有限公司 (广汽集团)**  
物化废水、焚烧废水  
12t/h MVR 蒸发器 (1套) +12t/h三效蒸发器 (1套)



**时代思康新材料有限公司**  
氟化锂浓缩项目  
12t/h MVR 蒸发器 (2套)



**广东长盈精密技术有限公司**  
阳极氧化废水  
6t/h三效蒸发器 (1套)



**东莞蓝思科技有限公司**  
阳极氧化废水  
4t/h三效蒸发器 (1套)



**江西新余木林森光电科技有限公司**  
电镀废水  
1t/h MVR 蒸发器 (1套)



**广东农海科技有限公司**  
海水淡化项目  
3t/h MVR 蒸发器 (1套)



**肇庆市新荣昌环保股份有限公司**  
焚烧废水/氯化铵废水  
10t/h三效蒸发器 (2套)



**萍乡塑业科技有限公司**  
工业废水  
2t/h MVR 蒸发器 (1套)



**四川某石油压裂返排液项目**  
13t/h的MVR蒸发系统（2套）+配套5t的双效+母液干化蒸发系统



**惠州湘澧化工有限公司**  
氯化铵废水  
4t/h三效蒸发器（1套）



**中化环境科技工程有限公司**  
物化废水，焚烧废水  
15t/h MVR 蒸发器(1套)+15t/h 三效蒸发器(1套)



**英德市茂鑫生物环能科技实业有限公司**  
物化废水  
2t/h三效蒸发器（1套）



**深圳冠融辰环保科技有限公司**  
硝酸钠/磷酸钠废水  
4t/h三效蒸发器(1套)+6t/h三效蒸发器(1套)



**梅州侨韵环保科技有限公司**  
氯化铵蒸发结晶  
6t/h MVR 蒸发器(1套)+3.5t/h双效蒸发器(1套)



**广东新盈信环保科技有限公司**  
催化剂再生利用废水处理  
2t/h MVR 蒸发器（1套）



**江门市崖门新财富环保工业有限公司**  
物化废水，焚烧废水  
6t/h三效蒸发器（2套）+ 6t/h双效蒸发器（1套）



**广东海天集团股份有限公司**  
食品和调味品溶液浓缩项目  
2t/h MVR蒸发系统（1套）



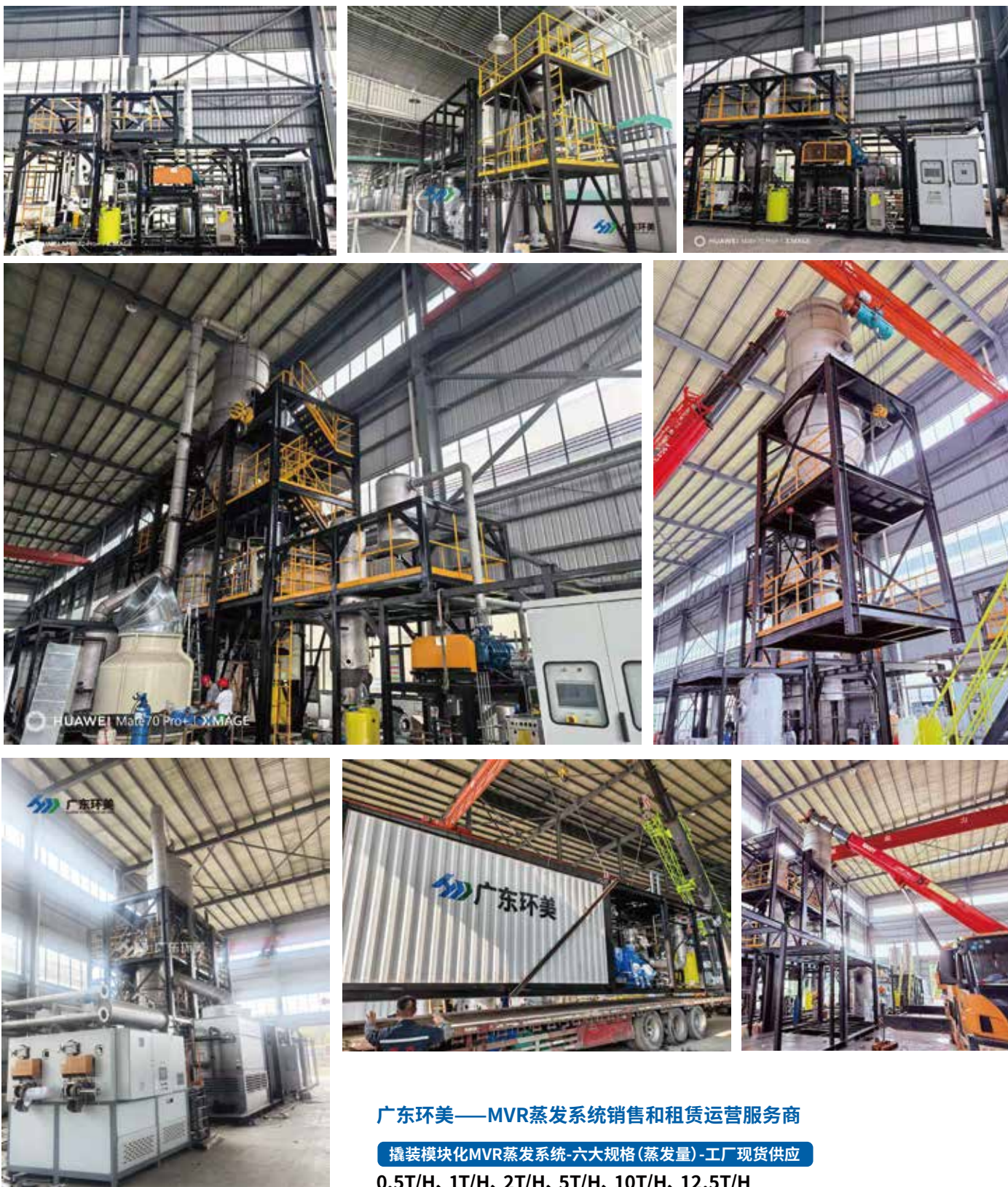
**广州国宏新材料有限公司（久泰集团）**  
合成纤维单体/聚合体制造  
30t/h 三效+单效蒸发系统



**清远甲乙新材料有限公司**  
硫酸钠废水处理  
6t/h MVR蒸发系统



**励福（江门）环保科技股份有限公司**  
含盐废水MVR蒸发处理项目  
1.3t/h MVR蒸发系统



广东环美——MVR蒸发系统销售和租赁运营服务商

撬装模块化MVR蒸发系统-六大规格(蒸发量)-工厂现货供应

0.5T/H、1T/H、2T/H、5T/H、10T/H、12.5T/H

# 广东环美MVR蒸发系统 销售及技术服务中心



**凡有人想象之事  
必有人将之实现**

Anything that anyone imagines  
Someone must implement it



# 企业文化

## 公司愿景

以**水盐资源化**为核心，创极致价值，护**环境美好**

## 公司使命

深耕蒸发技术，服务废水零排与**资源化**  
助力双碳，领航蒸发系统**模块化**及**租赁**运营

## 公司经营理念

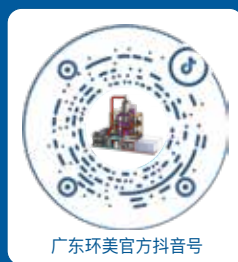
以客为先，利他共生

## 公司价值观

感恩，诚信，利他



广东环美官方公众号



广东环美官方抖音号

# 广东环美环保产业发展有限公司 广东环美科技产业控股有限公司

以客为先 利他共生

- ✉ 企业邮箱: [market@gdhuanmei.com](mailto:market@gdhuanmei.com)
- 🌐 企业官网: [www.gdhuanmei.com](http://www.gdhuanmei.com)
- 📍 研发中心: 广州市番禺区天安科技园总部1号楼9层
- 📍 生产基地: 广东省韶关市浈江区狮塘路39号

咨询热线: (周生)  
**136-3006-2387**  
**199-2439-0438**