ICS 13.020.01

CCS N 771

团体标准

T/WXAEPI0012—2025

多级逆流双极膜电渗析系统

再生酸碱操作规范

Operation Specification for Acid and Alkali Regeneration in Multi-Stage Countercurrent Bipolar Membrane Electrodialysis System

2025年06月15日发布 2025年06月15日实施

 无锡市环境保护产业协会发布

**目 次**

[前言 III](#_Toc198115316)

[1. 范围 1](#_Toc198115318)

[2引用标准 1](#_Toc198115319)

[3. 术语和定义 1](#_Toc198115320)

[4.总体要求 2](#_Toc198115321)

[4.1操作人员要求 2](#_Toc198115322)

[4.2进水水质要求 2](#_Toc198115323)

[4.3膜堆渗漏控制 3](#_Toc198115324)

[5. 操作流程 3](#_Toc198115327)

[5.1准备阶段： 3](#_Toc198115328)

[5.2启动阶段： 3](#_Toc198115329)

[5.3运行阶段 4](#_Toc198115332)

[5.4停机操作 4](#_Toc198115335)

[6性能检测 5](#_Toc198115338)

[6.1 处理量 5](#_Toc198115339)

[6.2产NaOH能耗 5](#_Toc198115343)

[6.3盐转化率检测 6](#_Toc198115347)

[7. 安全管理 7](#_Toc198115351)

[附录A（资料性）推荐应用体系 8](#_Toc198115354)

[附录B（资料性）推荐操作参数 9](#_Toc198115355)

# 前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由无锡市环境保护产业协会提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院过程工程研究所。

本文件主要起草人：林樟楠、丛威、杨鹏波、许欢、赵轩、仝国楠。

多级逆流双极膜电渗析系统再生酸碱操作规范

# 1. 范围

本文件规定了多级逆流双极膜电渗析再生酸碱技术的总体要求、操作流程、性能检测及安全管理。

本文件适用于使用多级逆流双极膜电渗析技术进行酸碱再生处理的设备操作与管理。

# 2引用标准

下列文件中的条款通过本规范的引用而成为本规范的部分内容。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；未注日期的引用文件，其最新版本适用于本规范。

GB/T 45010-2024《均相电渗析膜》。

GB/T 43089-2023《高盐水浓缩电渗析器》

GB 4793-2024《测量、控制和实验室用电气设备安全技术规范》

HJ/T 334-2006《环境保护产品技术要求电渗析装置》

HY/T 034.4-1994《电渗析技术脱盐方法》

# 3. 术语和定义

**3.1 双极膜电渗析Bipolar membrane electrodialysis**

在直流电场的作用下，利用离子交换膜的选择透过性和双极膜能够将水分子离解为氢离子（H+）和氢氧根离子（OH-），将水溶液中的盐转化为对应的酸和碱。

**3.2 膜堆 Membrane stack**

由若干离子交换膜、隔板、配水板通过有序排列组成的双极膜电渗析基本单元。

[来源：GB/T 43089-2023，3.3]

**3.3 双极膜电渗析系统Bipolar membrane electrodialysis system**

由双极膜电渗析器、电源柜和循环辅助设备组成的成套装置。

**3.4 多级逆流双极膜电渗析双极膜系统 Multi-stage counterflow bipolar membrane electrodialysis system**

多台双极膜电渗析器串联在一起，由多台双极膜电渗析器、电源柜和循环辅助设备组成的成套装置，盐室液与酸室液/碱室液流向相反。

**3.5 有效面积 Effective membrane area**

膜元件中具有分离作用的膜面积。

[来源：GB/T 43089-2023，3.5]

**3.6膜堆外漏 Membrane stack leakage**

双极膜电渗析运行时，膜堆内的水渗漏至膜堆外部。

[来源：GB/T 43089-2023，3.6]

**3.7 膜堆内漏 Internal leakage**

在一定压力差下，盐室、酸室、碱室、极室中任意两个或多个隔室之间的料液的渗漏。

[来源：GB/T 43089-2023，3.7，有修改]

**3.8 产酸/碱能耗Acid/base production energy consumption**

采用双极膜电渗析技术再生酸/碱，生产单位质量的酸/碱所需的电耗。

**3.9 盐转化率Salt conversion rate**

采用双极膜电渗析技术再生酸/碱，被转化为酸/碱的盐的量与进料中盐量的比率。

# 4.总体要求

## 4.1操作人员要求

操作人员应具备以下基本要求：

（1）熟悉双极膜电渗析设备的工作原理、结构及操作流程。

（2）具备故障排除能力，能够应对常见故障并进行维护。

（3）严格遵守安全操作规程。

## 4.2进水水质要求

进水水质对双极膜电渗析过程中的酸碱生成和分离效果有重要影响，因此需要严格控制进水的各项水质指标。

（1）水温：5℃~40℃。

（2）进水pH值：2~12。

（3）黏度：＜10mPa·s

（4）总悬浮固体：＜1mg/L。

（5）游离氯：＜0.1mg/L

（6）COD：＜20 mg/L

（7）Mg、Ca：＜1mg/L，其他二价重金属离子小于 0.1mg/L

（8）铁＜0.3mg/L、锰＜0.1mg/L；

（9）进水中不应含有难溶于水的油脂、离子型表面活性剂、强极性有机溶剂或有相似特性的有机物。

[来源：GB/T 43089-2023，5.1，有修改]

## 4.3膜堆渗漏控制

### 4.3.1 膜堆外漏

各级双极膜电渗析器逐一检验，双极膜电渗析器盐室液、酸室液、碱室液按额定流量循环时，允许膜堆有少量断续滴水，但滴水不应连成线，单位有效膜面积的外漏水量应小于50mL/(h·m2)

### 4.3.2 膜堆内漏

各级双极膜电渗析器逐一检验，双极膜电渗析器单一隔室进水（盐室/酸室/碱室），膜两侧压差在0.03MPa时，单位有效膜面积的内渗漏水量应小于250mL/(h·m2)

# 5. 操作流程

## 5.1准备阶段：

（1）确保各级双极膜电渗析器完好无损，各部件连接正确且紧固。

（2）检查各级双极膜电渗析器的电气连接，确保电源接通无误、传感器（温度、pH、电导率等）连接及显示无误。

（3）检查进水水质，确保符合双极膜电渗析的进水水质要求。

（4）根据实验或生产需求，配制好所需的电解质溶液，并确保其纯度和浓度满足要求，推荐的应用体系如附录中A.1所示。

## 5.2启动阶段：

### 5.2.1 启动水泵和进水阀门的操作步骤

打开进水阀门，依据双极膜电渗析器说明书，确保进水流量适宜，进水阀门应缓慢开启，避免因水流冲击造成系统波动。

开启进水阀门后，监测进水流量和各级双极膜电渗析器间料液传输流量，确保进水流量和各级双极膜电渗析器间料液传输流量符合设计要求。

进水流量和各级双极膜电渗析器间料液传输流量稳定后，逐级开启多级逆流双极膜电渗析各级膜堆自循环水泵，第一级料液自循环流速稳定后，开启下一级双极膜电渗析器自循环水泵，以此类推直至全部双极膜电渗析器水泵开启。开启水泵时，应缓慢提高水泵流速，避免突然启动高水泵流速造成膜堆内压力迅速变化。

监测液体流量计，确保进水流量和各路料液的膜堆内循环流速符合设计要求。

### 5.2.2开启电源柜的操作步骤

逐级打开各级双极膜电渗析器电源，检查电源柜的显示面板和指示灯是否正常，按照设备说明书或操作手册的指示，通过电源柜的控制面板调节各级双极膜电渗析器所需的电压和电流。

调节电流、电压等参数时，应缓慢调节，避免电流突变使电子元件受到损坏。

电源启动后，检查各级双极膜电渗析器的电压、电流是否稳定，确保处于正常工作范围。

## 5.3运行阶段

### 5.3.1监控及调节

在多级逆流双极膜电渗析系统运行期间，操作人员应实时监控各级双极膜电渗析器的电流、电压、流量、温度、膜堆压力及料液浓度。

推荐的操作参数，如附录中表B.1所示。

出口料液浓度应维持在要求范围内，通过调节双极膜电渗析器的电流、电压、流量控制出口料液浓度。

各级双极膜电渗析器的料液温度应维持在40℃以下，温度超过40℃时应启动控温系统。

各级双极膜电渗析器的膜堆压力应维持在要求范围内，通过调节进料流速和膜堆内料液自循环流速控制膜堆压力。

### 5.3.2异常或故障

如发现设备出现异常或故障，应立即停机并联系专业人员检修。

## 5.4停机操作

### 5.4.1开关电源柜的操作方法

在关闭电源之前，应首先调降各级双极膜电渗析器的电流，避免突然断电使电子元件受到损坏。

逐级关闭各级双极膜电渗析器的电源。

### 5.4.2关闭阀门和停止水泵的操作步骤

关闭进水阀门：逐级关闭各级双极膜电渗析器的进水阀门；应缓慢关闭阀门，以免管道内压力迅速变化。

停止自循环水泵：逐级关闭各级双极膜电渗析器的膜堆自循环水泵；应缓慢降低水泵的转速，避免突然停机造成膜堆内压力迅速变化。

# 6性能检测

## 6.1 处理量

### 6.1.1 仪器设备和试剂

以氯化钠溶液为例，检测多级逆流双极膜电渗析系统的处理量。

测试所需仪器设备和试剂如下：

料液箱：设备自带，可读取体积；

比重计：0.001g等级；

氯化钠溶液：分析纯，配制为1mol/kg水溶液。

### 6.1.2 测试步骤

处理量指单位时间内处理氯化钠料液的量。多级逆流双极膜电渗析系统进料料液（盐室液）为氯化钠溶液，从料液箱中取样，测量料液比重$ρ$（g/mL，比重计检测）；启动多级逆流双极膜电渗析系统，开始运行，读取设备运行开始时与运行结束时料液箱的液位，记录进料体积$V\_{1}$（m3），记录测试时间内双极膜电渗析系统处理的氯化钠料液的量。

### 6.1.3 结果计算

处理量$Q$（t/h）按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$Q=\frac{V\_{1∙}ρ}{t}$$ | (1) |

式中：

$t$-检测时间（h）；

$V\_{1}$-进料体积（m3）

$ρ$-料液比重（g/mL）

## 6.2产NaOH能耗

### 6.2.1 仪器设备和试剂

以氯化钠溶液为例，检测多级逆流双极膜电渗析系统产NaOH能耗。

测试所需仪器设备和试剂如下：

料液箱：设备自带，可读取体积；

电压表：设备自带，准确度等级1.0级；

电流表：设备自带，准确度等级1.0级；

氯化钠溶液：分析纯，配制为1mol/kg水溶液。

### 6.2.2 测试步骤

产NaOH能耗指产单位质量NaOH所消耗的电量。双极膜电渗析将氯化钠转化为盐酸和氢氧化钠，采用酸碱滴定法检测产NaOH浓度，设备运行稳定后开始记录。从多级逆流双极膜电渗析器碱室液的进料口和出料口取样，依据标准《工业用氢氧化钠碳酸盐含量的测定滴定法》（GB/T 7698-2014）测定样品的NaOH浓度，记录测试阶段碱室液的进料体积和出料体积，计算得到产NaOH的量。读取各级双极膜电渗析器的电流和电压，记录运行时间，记录测试时间内产NaOH的耗电量，由此得到产NaOH的能耗。

### 6.2.3 结果计算

产NaOH能耗$E$（kWh/t-NaOH）的计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$E=\frac{\sum\_{t=0}^{t}U∙I∙ t}{\left(V\_{out}∙C\_{out}-V\_{in}∙C\_{in}\right)∙M\_{NaOH}}$$ | (2) |

式中，

$U$：双极膜电渗析器电压（V）；

$I$：双极膜电渗析器电流（A）；

$t$：检测时间（h）；

$V\_{in}$和$V\_{out}$：分别为碱室进料体积和出料体积（m3）；

$C\_{in}$和$C\_{out}$：分别为碱室进料氢氧化钠浓度和出料氢氧化钠浓度（mol/L）；

$M\_{NaOH}$：氢氧化钠摩尔质量（g/mol）。

## 6.3盐转化率检测

### 6.3.1 仪器设备和试剂

以氯化钠溶液为例，检测多级逆流双极膜电渗析系统盐转化率。

测试所需仪器设备和试剂如下：

料液箱：设备自带，可读取体积；

氯化钠溶液：分析纯，配制为1mol/kg水溶液；

离子色谱仪。

### 6.3.2 测试步骤

双极膜电渗析将氯化钠转化为盐酸和氢氧化钠，盐转化率是指转化为氢氧化钠的量与进料中氯化钠的量的比率。从多级逆流双极膜电渗析器盐室液的进料口和出料口取样，以钠离子浓度代表氯化钠浓度，依据标准《工业循环冷却水中钠、铵、钾、镁和钙离子的测定离子色谱法》（GB/T 15454-2009），采用离子色谱法检测钠离子浓度，记录测试阶段盐室液的进料体积和出料体积，计算盐室减少的氯化钠的量。双极膜电渗析器盐室出料料液相对于进料料液中氯化钠的减少量即为氯化钠转化率。

### 6.3.3 结果计算

氯化钠转化率的计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | $$R=\frac{C\_{in}∙V\_{in}-C\_{out}∙V\_{out}}{C\_{in}∙V\_{in}}$$ |

式中：

$V\_{in}$和$V\_{out}$：分别为盐室进料体积和出料体积（m3）；

$C\_{in}$和$C\_{out}$：分别为盐室进料氯化钠浓度和出料氯化钠浓度（mol/L）；

# 7. 安全管理

## 7.1 电气安全

（1）运行中禁止碰触设备，以避免发生触电事故。

（2）在进行设备查漏、维修等操作之前，务必切断电源。

## 7.2操作安全

（1）操作人员应佩戴防护眼镜、耐酸碱手套和防护服等，避免直接接触酸碱液体和化学品。

（2）在压力测试和电源调节过程中，避免过度加压或电压过高，以防设备损坏。

# 附 录 A

**（资料性）**

**推荐应用体系**

A.1多级逆流双极膜电渗析系统推荐应用体系

1.无机体系（无机盐制备对应的酸和碱）：硫酸钠、氯化钠、硫酸锂、硝酸钠、氯化铵等；

2.有机系统（有机酸盐制备对应的有机酸和碱，有机碱盐与之类似）：酒石酸、葡萄糖酸、柠檬酸、四甲基氢氧化铵、四丙基氢氧化铵等；

# 附 录 B

**（资料性）**

**推荐操作参数**

B.1多级逆流双极膜电渗析系统推荐操作参数见表B.1。

表B.1多级逆流双极膜电渗析系统推荐操作参数

|  |  |
| --- | --- |
| 参数 | 推荐范围 |
| 盐浓度(mol/L)a | 0.5~3.0 |
| 再生酸碱浓度(mol/L)b | 0.5~3.0 |
| 电流密度(A/m²) | 200~700 |
| 单位处理能力(mol/(m2·h))c | 2~10 |
| 进出口压降(mPa) | ≤0.05 |
| 备注：具体操作参数需结合双极膜电渗析器说明书。a 以氯化钠为例。b 以氯化钠再生盐酸和氢氧化钠为例。b 以处理氯化钠再生为盐酸和氢氧化钠为例。 |