

ICS 13. □□

CCS Z□□

# 团 体 标 准

T/ACEF □□—2023

## 火力发电厂高盐废水零排放工程技术指南

Technical Guide for Zero Discharge of High-salinity Wastewater  
from Thermal Power Plant

（征求意见稿）

20□□-□□-□□发布

20□□-□□-□□实施



## 目 次

|                    |    |
|--------------------|----|
| 1 适用范围 .....       | 1  |
| 2 规范性引用文件 .....    | 1  |
| 3 术语和定义 .....      | 2  |
| 4 总体要求 .....       | 2  |
| 5 工艺设计流程 .....     | 3  |
| 6 工艺设备材料 .....     | 4  |
| 7 检测与控制 .....      | 4  |
| 8 主要辅助工程 .....     | 5  |
| 9 劳动安全与职业卫生 .....  | 6  |
| 10 施工与验收 .....     | 6  |
| 11 运行维护与应急处置 ..... | 6  |
| 附录 A（资料性） .....    | 8  |
| 常用浓缩减量技术 .....     | 8  |
| 附录 B（资料性） .....    | 10 |
| 常用废水固化技术 .....     | 10 |



## 前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《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。

本文件由中华环保联合会水环境治理专业委员会提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件主编单位：

本文件参编单位：

本文件主要起草人：





# 火力发电厂高盐废水零排放工程技术指南

## 1 范围

本文件规定了火力发电厂高盐废水零排放工程的基本规定、工艺设计、工艺设备材料、检测与控制、辅助工程、职业健康安全、施工与验收、运行维护与应急处置等。

本文件适用于火力发电厂高盐废水零排放工程的设计、施工和验收。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。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；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改版）适用于本文件。

|            |                           |
|------------|---------------------------|
| GBZ 1      | 工业企业设计卫生标准                |
| GBZ 2.1    | 工作场所有害因素职业接触限值第2部分 化学有害因素 |
| GBZ 2.2    | 工作场所有害因素职业接触限值 第2部分：物理因素  |
| GBJ 22     | 厂矿道路设计规范                  |
| GBZ/T 194  | 工作场所防止职业中毒卫生工程防护措施规范      |
| GB 2893    | 安全色                       |
| GB 2894    | 安全标志及其使用导则                |
| GB/T 4272  | 设备及管道绝热技术通则               |
| GB 5083    | 生产设备安全防护设计总则              |
| GB 7231    | 工业管道的基本识别色、识别符号和安全标识      |
| GB 12801   | 生产过程安全卫生要求总则              |
| GB 12348   | 工业企业厂界环境噪声排放标准            |
| GB/T 13148 | 不锈钢复合钢板焊接技术要求             |
| GB/T 13869 | 用电安全导则                    |
| GB 18241.1 | 橡胶衬里第1部分设备防腐衬里            |
| GB 50009   | 建筑结构荷载规范                  |
| GB 50011   | 建筑抗震设计规范                  |
| GB 50013   | 室外给水设计标准                  |
| GB 50014   | 室外给水设计标准                  |
| GB 50016   | 建筑设计防火规范                  |
| GB 50019   | 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范         |
| GB 50033   | 建筑采光设计标准                  |
| GB 50046   | 工业建筑防腐蚀设计标准               |
| GB 50052   | 供配电系统设计规范                 |
| GB 50054   | 低压配电设计规范                  |
| GB 50087   | 工业企业噪声控制设计规范              |
| GB 50093   | 自动化仪表工程施工及验收规范            |
| GB 50187   | 工业企业总平面设计规范               |
| GB 50194   | 建设工程施工现场供用电安全规范           |
| GB 50204   | 混凝土结构工程施工质量验收规范           |
| GB 50222   | 建筑内部装修设计防火规范              |
| GB 50231   | 机械设备安装工程施工及验收             |
| GB 50254   | 电气装置安装工程施工及验收规范           |
| GB 50259   | 电气照明的施工验收规范               |



|           |                             |
|-----------|-----------------------------|
| GB 50300  | 建筑工程施工质量验收统一标准              |
| GB 50660  | 大中型火力发电厂设计规范                |
| GB 50755  | 钢结构工程施工规范                   |
| GB 51245  | 工业建筑节能设计统一标准                |
| AQ 3009   | 危险场所电气防爆安全规范                |
| AQ/T 3052 | 危险化学品事故应急救援指挥导则             |
| AQ/T 9002 | 生产经营单位安全生产事故应急预案编制导则        |
| DL 5190.6 | 电力建设施工技术规范 第6部分：水处理及制氢设备和系统 |
| DL/T 838  | 燃煤火力发电企业设备检修导则              |
| DL/T 870  | 火力发电企业点检定修管理导则              |
| DL/T 2299 | 火力发电厂设备缺陷管理导则               |
| DL/T 2300 | 火力发电厂设备检修管理导则               |
| DL/T 5046 | 发电厂废水治理设计规范                 |
| DL 5190.6 | 电力建设施工技术规范 第6部分：水处理及制氢设备和系统 |
| HG/T 2640 | 玻璃鳞片衬里施工技术条件                |
| HG/T 2451 | 设备防腐橡胶衬里                    |
| HG/T 2640 | 玻璃鳞片施工技术条件                  |
| SY/T 0326 | 钢制储罐内衬环氧玻璃钢技术标准             |

### 3 术语和定义

#### 3.1

##### **高盐废水 high-salinity wastewater**

火电厂排水系统中经重复使用后产生的不能被其他系统经济利用的废水、含盐量接近或超过 1%的废水。

#### 3.2

##### **废水零排放 zero wastewater discharge**

火电厂排水系统达到无废水外排，水中的盐类和污染物以固体形式排出处置或再利用。

[来源：GB/T 21534-2008，6.21，有修改]

#### 3.3

##### **热法浓缩 thermal concentration**

利用热源加热废水，使水分连续蒸发，废水不断浓缩的技术。包括机械蒸汽再压缩蒸发、多效蒸发、烟气余热蒸发、低温烟气余热蒸发浓缩等。

#### 3.4

##### **膜法浓缩 membrane concentration**

通过反渗透、电渗析、纳滤等膜分离过程，实现水分与溶质的分离，使废水浓缩的技术。

[来源：HJ 579-2010，3.1，有修改]

#### 3.5

##### **烟气蒸发干燥 flue gas evaporation drying**

利用烟气作为热源加热雾化后的废水，使水分完全蒸发为水蒸气，溶解性盐结晶析出后大部分随烟气中的烟尘一起被除尘器捕集。包括旁路烟气蒸发干燥工艺和直接烟道蒸发干燥工艺。

### 4 基本规定

#### 4.1 一般规定

4.1.1 高盐废水零排放工程总体规划应符合 GB 50660 的规定，新建火力发电厂项目的高盐废水处理零排放工程宜与主体工程同时设计、施工、使用。



4.1.2 高盐废水零排放处理设计应在保证发电厂安全、经济运行的前提下，合理利用水资源，节约原水用量，提高水利用率，减少排放对环境影响。

4.1.3 对于高盐废水零排放改造工程，在技术路线确立前，应先对全厂用水系统分项治理，确保用水系统设计合理，运行可靠，出力达设计值；且其改造技术路线应根据国家环评批复要求，并遵循因地制宜、节水优先、梯级利用、经济合理的总体思路，按可靠、方便、先进的工艺设计和设备选型理念确定。

4.1.4 高盐废水零排放工程噪声和振动控制设计应符合GB 50087的规定。施工和运行应采取隔声、消声、绿化等降噪措施。厂界噪声排放应符合GB 12348的规定。

## 4.2 工程构成与平面布置

4.2.1 高盐废水处理工程应包括处理工艺系统、公用系统、辅助系统等。

4.2.2 处理工艺系统宜包括预处理单元、浓缩减量单元、蒸发结晶单元、污泥处置单元等。

4.2.3 公用系统宜包括工艺水及冲洗水系统、压缩空气系统等。

4.2.4 辅助系统宜包括建筑与结构、电气系统、给排水及消防系统、采暖通风、道路与绿化等。

4.2.5 高盐废水总平面布置设计应符合GB 50660的规定。

## 5 工艺设计

### 5.1 预处理单元



5.1.1 预处理单元工艺系统应根据水质条件及后序水处理工艺选择，常规工艺宜选择pH 调节+混凝澄清、石灰/NaOH+混凝澄清、石灰/NaOH+碳酸钠或硫酸钠软化等。

5.1.2 混凝澄清投加药剂宜包括聚铁、聚铝混凝剂和聚丙烯酰胺助凝剂。

5.1.3 浓缩减量单元工艺采用“超滤/微滤+反渗透”膜法水处理工艺时，预处理单元宜选用“石灰软化+混凝澄清”工艺；水质硬度、碱度及其他污染物等偏高时，可选择“石灰/氢氧化钠+碳酸钠或硫酸钠软化”等工艺。

5.1.4 结晶固化单元工艺采用“蒸发结晶”热法水处理工艺时，预处理单元宜预处理单元推荐选用“石灰/氢氧化钠+碳酸钠（硫酸钠）软化”工艺

5.1.5 结晶固化单元工艺选用“旁路烟道蒸发”处理工艺的，应采用喷头雾化技术，所采用的雾化技术具有堵塞风险时，宜采用“pH 调节+混凝澄清”、“石灰+碳酸钠（硫酸钠）软化”等合适的预处理工艺。

5.1.6 预处理单元工艺选择应实现剩余污泥无害化。

5.1.7 高盐废水预处理单元对有机物的去除，可采用常规药剂处理工艺，也可选择电催化氧化和低温湿式催化氧化等去除有机物工艺

### 5.2 浓缩减量单元

5.2.1 浓缩减量单元可根据水量、固化或转化处理工艺选用。常用浓缩减量技术见附录A。

5.2.2 浓缩减量单元工艺选择，应根据结晶固化单元废水处理能力和水质条件要求，经技术经济比较确定，浓缩减量前宜进行预处理。

5.2.3 具备下列情况之一时，宜选择浓缩减量工艺：

- a) 300MW 机组末端废水量大于3.5t/h；
- b) 600MW 机组末端废水量大于6t/h；

c) 1000MW 机组末端废水量大于8t/h。

5.2.4 根据同类工程经验,当含盐量1%~4%的废水,可选择“超滤/微滤+海水反渗透”膜法水处理工艺,将含盐量浓缩到5%~8%;对含盐量在5%~8%的废水,可选择电渗析、高压反渗透等膜处理工艺,以及多效蒸发、机械蒸汽再压缩和低温烟气浓缩等工艺,将含盐量进一步浓缩到12%~20%。

### 5.3 结晶固化单元

5.3.1 结晶固化单元工艺应结合前端预处理和浓缩减量单元工艺,选择技术成熟先进、运行可靠经济的蒸发工艺,可采用包括旁路烟道蒸发工艺、双流体雾化蒸发干燥工艺和旋转雾化蒸发干燥工艺等。常用结晶固化技术见附录B。

5.3.2 对于环保有特殊要求,高盐废水结晶固化单元可选择多效蒸发结晶和机械压缩蒸发结晶等蒸发结晶工艺。

5.3.3 高温旁路烟道蒸发工艺,根据同类工程经验,每100MW容量设计蒸发废水不宜超过1t/h;抽取高温烟气总量不宜大于锅炉BMCR 工况烟气量的3%;抽取烟气温度应不小于280℃;蒸发排烟温度(高温旁路烟道出口烟气温度)应高于酸露点10℃以上;喷枪布置及角度设置和蒸发后烟气流速、流场分布不应影响锅炉效率产生不良影响;混入灰中的固化后盐分不应影响粉煤灰综合利用。

5.3.4 结晶固化单元采用分盐处理工艺时,应根据结晶盐资源化利用和环境、经济效益影响等确定。分盐处理宜采用纳滤分盐,结晶盐应至少达二级工业盐标准,不应产生新增固体废物。

### 5.4 其他

5.4.1 采用高温烟气喷雾蒸发干燥工艺时,应评估对机组煤耗的影响。

5.4.2 主烟道烟气余热喷雾蒸发干燥技术工艺,可适用于稳定高负荷率、空预器后烟温适宜、有足够长度主烟道的机组。并应采取防止喷嘴结垢堵塞、粉尘板结挂壁、烟道腐蚀等措施。

5.4.3 高盐废水用于干灰调湿或灰场喷洒,可适用于粉煤灰未完全综合利用且有正式灰场的电厂,采用干灰调湿或灰场喷洒工艺处理时应采取防止与废水接触的设备和管道腐蚀等措施,同时应做好灰场的防渗处理。

5.4.4 高盐废水蒸发结晶处理工艺也可根据环评等要求采用蒸发塘等处理工艺。

## 6 工艺设备材料

6.1 材料选择应满足高盐废水处理工程工艺要求,选择经济、适用、使用寿命长的材料。

6.2 管道材料应满足管道介质要求。对于腐蚀性浆液介质管道,宜选用碳钢衬陶瓷管道、碳钢衬胶管道或玻璃钢管道。

6.3 对金属材料表面可能接触腐蚀性介质的区域,应根据高盐废水处理工艺,采用衬抗腐蚀性和磨损性强的金属材料或非金属材料,金属材料可选择双相不锈钢2205、2507及以上。

6.4 当以金属材料作为承压部件、衬非金属材料作为防腐部件时,应分析非金属材料与金属材料之间的粘结强度。承压部件设计应确保非金属材料长期稳定附着在承压部件上。

## 7 检测与控制

### 7.1 检测

7.1.1 运行过程应定期取样分析,常规指标检测应包括 pH、浊度、电导率、TDS、Cl<sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>等,采用在线监测系统时,也应定期取样,与人工监测比对,手动取样比对每日采样次数不应少于1次。

7.1.2 在线仪表配置可参照 DLT 5046 执行。

7.1.3 日常分析检测项目宜参照表1的规定。

表1 日常分析检测项目

| 编号 | 系统       | 主要测试项目                                                                                     |
|----|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 混凝澄清装置   | 水温、pH、悬浮物、浊度                                                                               |
| 2  | 电催化氧化    | pH、电导率、TDS、Cl <sup>-</sup> 、Ca <sup>2+</sup> 、Mg <sup>2+</sup>                             |
| 3  | 低温湿式催化氧化 | pH、电导率、TDS、Cl <sup>-</sup> 、Ca <sup>2+</sup> 、Mg <sup>2+</sup>                             |
| 4  | 膜法浓缩装置   | pH、SDI、电导率、TDS、COD、ORP、Ca <sup>2+</sup>                                                    |
| 5  | 热法浓缩装置   | pH、浊度、电导率、TDS、Cl <sup>-</sup> 、Ca <sup>2+</sup>                                            |
| 6  | 蒸发结晶装置   | 水温、pH、电导率、TDS、Cl <sup>-</sup> 、Ca <sup>2+</sup>                                            |
| 7  | 烟气干燥蒸发装置 | 水温、pH、电导率、TDS、Cl <sup>-</sup> 、Ca <sup>2+</sup>                                            |
| 8  | 结晶盐      | 水分、Cl <sup>-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、Ca <sup>2+</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、不溶物 |
| 9  | 粉煤灰      | 含湿量、Cl <sup>-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、                                       |

## 7.2 控制

7.2.1 控制方式应根据工程规模、工艺流程和运行管理要求选择。

7.2.2 高盐废水处理工程应设置检测仪表，仪表参数宜包括工艺系统正常运行、启停、异常及事故工况下运行的参数。

7.2.3 运行中需要监控的参数应设置远传仪表，流量、pH值、温度、水位、氧化还原电位(ORP)等指标宜采用在线监测数据。

7.2.4 热工自动化控制水平宜与脱硫工程的自动化控制水平相一致。

## 8 辅助工程

### 8.1 建筑与结构

#### 8.1.1 建筑

8.1.1.1 建筑物室内天然采光照度应符合GB 50033的规定。

8.1.1.2 建筑物热工与节能设计应符合GB 51245的规定。

8.1.1.3 建筑防腐蚀设计应符合GB 50046的规定。

8.1.1.4 建筑室内装修设计应符合GB 50222的规定。

8.1.1.5 建筑物防火设计应符合GB 50016的规定。

#### 8.1.2 结构

8.1.2.1 土建结构设计应符合GB 50009的规定。

8.1.2.2 建筑机构抗震设计应符合GB 50011的规定。

### 8.2 电气系统

8.2.1 电气系统工作电源引接和操作室设置应与生产过程统筹确定，高低电压等级及用电？中性接地方式应与生产设备一致。

8.2.2 电气系统供配电设计应符合 GB 50052 的规定。

8.2.3 低压配电设计应符合 GB 50054 的规定。

8.2.4 施工现场用电安全应符合 GB 50194 规定。



### 8.3 给排水及消防系统

8.3.1 室外给水设计应符合GB 50013的规定，室外排水设计应符合GB 50014的规定。

8.3.2 排水系统和消防给水系统应依托主厂区设计。

8.3.3 消防系统设计应符合GB 50016的规定。

### 8.4 暖通系统

8.4.1 采暖系统设计应与生产系统统一规划，热源宜由厂区供热系统提供。

8.4.2 供暖通风与空气调节系统设计应符合GB 50019和GB 50243的规定。

### 8.5 道路与绿化

8.5.1 区域内道路设计应符合GBJ 22的规定。

8.5.2 区域内绿化应符合GB 50187的规定。

## 9 职业健康安全

### 9.1 职业卫生

9.1.1 职业卫生应符合GBZ 1、GBZ 2.1、GBZ 2.2的规定。

9.1.2 工作场所卫生工程防护措施应符合GBZ/T 194的规定。

9.1.3 易发生粉尘飞扬或洒落的区域应设置除尘设备或清扫措施。

9.1.4 设备应采用低噪声、低振动设备，噪声和振动较高的设备应采取减振消声等措施。

### 9.2 劳动安全

9.2.2 安全和卫生设施应与高盐废水处理工程同时建成运行，并制订操作规程。

9.2.3 劳动安全管理应符合GB 12801、GB 5083的规定。

9.2.4 用电安全应符合GB/T 13869的规定。

9.2.5 安全标志设计应符合GB 2894、GB 2893、GB 7231的规定。

## 10 施工与验收

### 10.1 施工

10.1.1 水处理设备施工应符合DL 5190.6的规定。

10.1.2 钢结构施工应符合GB 50755的规定。

10.1.3 设备及管道保温施工应符合GB/T 4272的规定。

10.1.4 玻璃鳞片衬里施工宜符合HG/T 2640的规定，钢质储罐内衬环氧玻璃钢施工宜符合SY/T 0326的规定。

10.1.5 混凝土结构工程施工应符合GB 50204的规定。

### 10.2 验收

10.2.2 土建施工质量验收应符合GB 50300的规定。

10.2.3 机械设备安装质量验收应符合GB 50231的规定。

10.2.4 电气装置验收应符合GB 50254、GB 50259的规定。

10.2.5 热工仪表及控制装置验收应符合GB 50093的规定。

10.2.6 焊接质量验收宜符合GB/T 13148的规定。

10.2.7 设备和管道保温施工验收应符合GB/T 4272的规定。

10.2.8 玻璃鳞片防腐衬里和橡胶防腐衬里质量标准应符合GB 18241.1、HG/T 2451、HG/T 2640的规定，玻璃钢防腐衬里工程验收可参照SY/T 0326执行。

## 11 运行维护与应急处置

### 11.1 运行管理

11.1.1 高盐废水处理工程运行应建立维护管理制度，以及运行、操作和维护规程；应建立主要设备运行状况台帐。

11.1.2 运行人员应熟悉工艺技术指标和设施、设备运行要求；并应定期进行技术培训，经考核合格后方可上岗。

### 11.2 维护与检修

11.2.1 检修维护宜纳入全场废水检修统筹确定，检修周期和工期宜与脱硫工程同步。

11.2.2 设备、电气、自控仪表及建（构）筑物应根据工艺要求定期检查维护。

11.2.3 废水治理装置检修维护应纳入全厂检修计划中，检修时间应与相关工艺设施同步。

11.2.4 废水处理工程设备检修可参照DL/T 2300执行。

11.2.5 废水处理工程设备缺陷管理可参照DL/T 2299执行。

11.2.6 废水处理设备定期检修时间、内容以及相应管理要求等可参照 DL/T 838执行。

### 11.3 事故应急预案

11.3.1 高盐废水处理工程应制定事故应急预案，储备应急物资，并定期组织演习。

11.3.2 工程事故应急处置预案应根据有关法律、法规、规章和相关标准，结合本单位组织管理体系、生产规模和可能发生的事故特点编制，现场处置方案应规定应急工作职责、应急处置措施和注意事项等，并应体现自救互救和先期处置等特点。

11.3.3 事故应急预案编制应符合AQ/T 9002的规定。

## 附录A（资料性）

## 常用浓缩减量技术

| 处理工艺  | 技术特点                                                                                                     | 优点                                                                                    | 缺点                                                                                        |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 纳滤    | 纳滤是指截留纳米级尺寸颗粒物的一种膜工艺，对高价离子去除率为 90%~98% 单价离子去除率为 20%~80%，其运行压力略低于反渗透。该工艺通常用于分出一价离子、后续可制取较高品质的产品，并实现废水的减量。 | 1.运行压力低于常规反渗透。<br>2.高效截留高价离子，获得较高品质的一价盐产品                                             | 浓水侧易结垢，需进行较严格的预处理及投加阻垢剂等                                                                  |
| 海水反渗透 | 海水反渗透膜进水含盐量为 8000 ~ 50000mg/L，其工作压力可达到 6.9MPa                                                            | 1.膜元件为标准化产品。<br>2.技术成熟                                                                | 1.浓水侧易结垢，需进行较严格的预处理及投加阻垢剂等。<br>2.工作压力高、能耗较高                                               |
| 高压反渗透 | 高压反渗透膜进水含盐量通常为 10000~50000mg/L 的废水，其工作压力可达 10MPa                                                         | 膜元件为标准化产品                                                                             | 1. 浓水侧易结垢，需进行较严格的预处理及投加阻垢剂等。<br>2.工作压力高、能耗较高                                              |
| 碟管反渗透 | 碟管反渗透是专门用来处理高含盐量、高有机物废水的膜组件，其核心是蝶管式膜片膜柱                                                                  | 1.与常规反渗透膜相比，其对进水要求较低，对水质的适应能力强，工作压力高，浓缩倍数高。<br>2.与蒸发工艺相比其能耗低                          | 1.与蒸发技术相比，易结垢，预处理要求高。<br>2.运行压力高。<br>3.碟管膜元件的膜片主要依赖进口                                     |
| 电渗析   | 电渗析是在直流电场作用下，利用阴、阳离子交换膜对溶液中阴、阳离子的选择透过性，使溶液中呈离子状态的溶质和溶剂分离的一种物理化学过程，从而实现水与其中离子的分离，获淡水和减量的浓水。               | 1.工作压力低于反渗透。<br>2.对进水水质的要求略低于反渗透，其预处理简单。<br>3.可对常规反渗透浓缩后的废水继续浓缩减量。<br>4.可倒极运行，有助于避免结垢 | 1.浓水与淡水的浓度比显著增加时，膜选择透过性下降、漏电增加、电流效率明显下降、电耗显著上升。<br>2.浓差极化时易引起结垢。<br>3.产生的淡水品质差，通常需再经处理后回用 |
| 正渗透   | 正渗透是指一种依靠渗透压驱动的膜分离工艺，即水通过选择性半透膜从较水化学势区域（低渗透压侧）自发地散到较低水化学势区域（高渗透压侧）从而实现水与其中的                              | 1.与蒸发工艺相比，没有相变、能耗低。<br>2.可对常规反渗透浓缩后的废水继续                                              | 驱动液的分离不彻底，驱动液残留影响产水品质                                                                     |



|                | 离子分离的工艺                                                                                                       | 浓缩减量                                                        |                                                                               |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 振动膜            | 振动膜是指在振动器的作用下通过膜片的自身震动产生强大的剪切力，将料中的固体和膜污染物从膜表面上浮起有助于减少污堵，与传统的过滤方式不同。                                          | 1.模块化，易于组装，占地面积小。<br>2.可对常规反渗透浓缩后的废水继续浓缩减量。<br>3.不需进行除硬等预处理 | 1.噪音大，维护工作量大。<br>2.投资费用比碟管反渗透工艺高。<br>3.膜片易磨损，使用寿命短（一般 1-3 年左右）。               |
| 压缩蒸汽加热蒸发       | 压缩蒸汽加热蒸发是指把二次蒸汽压缩作为热源的蒸发，利用蒸汽冷凝释放潜热，使得部分废水蒸发汽化，实现水的浓缩减量。主要包括机械蒸汽压缩（MVR）、热力蒸汽再压缩（TVR）式，其换热面为金属或 PFET 等高分子聚合物材质 | 通过电源或外部蒸汽实现蒸汽压缩，加热蒸发废水，处理水量不受机组负荷影响                         | 1.如选择的工艺形式要求避免结垢，需要适当的预处理，药耗、电耗较高。<br>2.与膜法相比，运行费用较高                          |
| 多效蒸发           | 多效蒸发技术是指将前一效蒸发器的蒸汽作为后效的加热介质，利用二次蒸凝结放出的热加热蒸发器中的水，使水流过各效蒸发器的过程中被不断蒸、浓缩，分成淡水和浓水。通常第一需要消耗外部蒸汽或烟气的热量               | 1.通过外部蒸汽热源加热蒸发废水，处理水量不受机组负荷影响。<br>2.热源采用烟气余热时，运行费用低         | 1.如选择的工艺形式要求避免结垢，需要适当的预处理，药耗、电耗较高。<br>2.若采用蒸汽作为蒸发热源时，运行费用高。<br>3.有真空设备，运行维护复杂 |
| 烟气蒸发<br>(间接换热) | 烟气蒸发（间接换热）是指通过烟气的热量把水加热成蒸汽，然后把蒸汽送多效蒸发器内作为热源，将水蒸发分，实现废水的浓缩减量。                                                  | 1. 利用烟气余热。<br>2. 可回收高品质的冷凝水                                 | 1.蒸发效率低，占地面积较大。<br>2.蒸发浓缩减量受机组负荷影响。<br>3.有真空设备，运行维护复杂                         |
| 烟气蒸发<br>(直接换热) | 烟气蒸发（直接换热）指利用烟气在专门的蒸发器内与（循环）喷淋的废水行传质传热，水蒸汽与浓水分离，从而实现浓缩减量。                                                     | 1.利用烟气余热，能源消耗小                                              | 1.蒸发效率低。<br>2.蒸发浓缩减量受机组负荷影响                                                   |

## 附录B（资料性）

## 常用结晶固化技术

| 处理工艺        | 技术特点                                                                                                          | 优点                                                                      | 缺点                                                                                         |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 旁路烟气蒸发干燥技术  | 旁路蒸发器烟气喷雾蒸发干燥技术是通过雾化喷嘴或旋转雾化盘将（浓缩后的）末端废水喷入气预热器旁路的蒸发干燥塔内，雾化后废水经过高温烟气（通常为 300℃以上）热迅速蒸发汽化干燥，固形物随烟气中烟尘一起被除尘器捕集     | 1.系统较简单。<br>2.不需要额外的能量输入。<br>3.处理能力不受机组负荷变动影响,适应能力强、易于控制                | 消耗了空预器前的部分热烟气,对机组煤耗有一定程度的影响                                                                |
| 惰性床二次风干燥技术  | 自空预器引出一路二次风,通入由惰性颗粒（如氧化锆）维持流化床层的干燥器,将预处理后的高盐尾水经过喷口喷洒在惰性床层上,在二次风加热的惰性颗粒表面完成废水彻底干燥,干燥产生的固体随风道进入电除尘器,与烟尘一起被除尘器捕集 | 1. 系统简单。<br>2. 设备体积小, 占地面积小。                                            | 消耗了锅炉的部分二次风,对机组煤耗一定影响                                                                      |
| 主烟道烟气蒸发干燥技术 | 主烟道烟气蒸发干燥技术是通过雾化喷嘴将（浓缩后的）末端废水喷入空预后烟道内,经过烟气（通常为 120℃~140）加热后迅速蒸发干燥,随烟气中的烟一起被除尘器捕集。                             | 1.系统简单。<br>2.不需要额外的能量输入。                                                | 1.喷嘴易结垢堵塞、烟尘易挂壁、存在烟道腐蚀结垢现象。<br>2.处理能力受机组负荷变动影响较大。<br>3.蒸干不充分时,对下游设备影响大。<br>4.检修维护不便（受机组影响） |
| 蒸发结晶        | 蒸发结晶是通过利用烟气、蒸汽或热水等热源蒸发废水,废水中的溶解盐结晶干燥后装袋外运、综合利用或处置,蒸发产生的水蒸汽可冷凝成水用于冷却塔补水、锅炉补给水等                                 | 1.固液分离彻底,可获得较高纯度的结晶盐。<br>2.处理水量不受机组负荷影响,可处理较大水量。<br>3.技术成熟,适用范围广,应用业绩多。 | 1.如选择的工艺形式要求避免结垢,需进行较严格的预处理。<br>2.运行操作的技术要求较高。<br>3.需同步考虑结晶盐处置去向。                          |