

ICS XXXXXX
CCS X XXX

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—20XX

火电厂智能节水及废水资源化处理 技术规范

Technical code for intelligent water-saving and wastewater
resource treatment in thermal power plants

（征求意见稿）

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 协 会 发 布

目 次

前言 II

1 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 智能节水架构和功能要求 3

 5.1 总体架构 3

 5.2 建设内容 4

 5.3 功能要求 5

6 废水资源化处理技术要求 6

 6.1 一般要求 6

 6.2 化学废水资源化处理 6

 6.3 循环水资源化处理 6

 6.4 脱硫废水资源化处理 7

 6.5 含煤废水资源化处理 10

 6.6 湿除渣废水资源化处理 11

7 调试和验收要求 12

附录 A（资料性）水质全分析报告格式示例 16

图 1 脱硫废水物化沉淀工艺流程 9

图 2 脱硫废水零排放工艺流程 10

图 3 含煤废水处理闭式循环工艺流程 11

表 1 火电循环水处理技术中的常见方案与技术特点 6

表 2 石灰石-石膏湿法脱硫工艺的废水水质范围 7

表 3 排放限值 12

表 4 湿除渣废水特性参数表 12

表 A.1 水质全分析报告格式示例 16

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：中国大唐集团科学技术研究总院有限公司华北电力试验研究院。

本文件主要起草人：孟凡钦、张真。

火电厂智能节水及废水资源化处理技术规范

1 范围

本文件规定了火电厂智能节水及废水资源化处理的总体要求、智能节水架构和功能要求、废水资源化处理技术要求、调试和验收要求。

本文件适用于火电厂智能节水及废水资源化处理的设计、建设与应用。

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（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 7119 节水型企业评价导则
GB/T 15452 工业循环水冷却水处理效果监测方法
GB/T 21534 工业用水节水 术语
GB/T 25070 信息安全技术 网络安全等级保护安全设计技术要求
GB/T 26719 企业用水统计通则
GB/T 32327 工业废水处理与回用技术导则
GB/T 33007 工业自动化和控制系统网络安全
GB/T 37756 水系统集成优化技术导则
GB/T 37826 智慧水务信息系统建设指南
GB/T 39218 火电厂脱硫废水处理技术规范
GB/T 50050 工业循环冷却水处理设计规范
GB/T 50109 工业用水软化除盐设计规范
GB/T 50335 污水再生利用工程设计规范
GB/T 50619 火力发电厂节水设计规范
GB 8978 污水综合排放标准
DL/T 606 火电厂水平衡试验导则
DL/T 938 火电厂排水水质分析方法
DL/T 997 火电厂石灰石-石膏湿法脱硫废水水质控制指标
DL/T 5046 火力发电厂废水治理设计技术规程
DL/T 5068 火力发电厂化学设计规范
JB/T 11390 火力发电厂化学废水处理设备
JB/T 11887 石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺水系统设计规程
HJ 2029 火电厂污染防治可行技术指南
HJ 2301 火电厂污染防治可行技术指南
HJ 91.1 污水监测技术规范
T/CAEPI 12 工业废水零排放技术规范
T/CAQI 183 燃煤电厂脱硫废水处理技术规范

T/CIECCPA XXX—20XX

T/CEC 5001 智能电厂技术规范

T/CIET 036 智慧水系统建设标准

3 术语和定义

3.1

感知层 Perception Layer

由传感器网络（如流量传感器、水质传感器）和数据采集设备组成，实时监测水资源的消耗、压力、水质等参数，为智能节水系统提供基础数据支持。

3.2

网络层 Network Layer

通过有线或无线通信技术（如 5G、LoRa）及标准化协议（如 MQTT）传输感知层数据，确保数据准确、可靠地传递至上层系统。

3.3

数据处理层 Data Processing Layer

包含数据处理中心与智能控制系统，对采集的数据进行预处理、存储、分析（如机器学习优化用水策略），并自动调度水资源分配。

3.4

应用层 Application Layer

提供可视化用户界面（仪表盘、APP）和功能模块（智能调度、报警处理），支持用户实时监控节水效果并优化决策。

3.5

智能节水架构 Intelligent Water-saving Architecture

通过物联网、大数据和云计算技术构建的节水系统，集成监测、管理、处理与控制功能，实现水资源高效利用。

3.6

循环水系统 Circulating Water System

通过浓缩倍率控制和化学处理减少补水的闭环水循环系统。

3.7

脱硫废水 Desulfurization Wastewater

湿法烟气脱硫（FGD）工艺产生的废水，含高浓度悬浮物（SS）、无机盐（如硫酸盐、氯化物）及重金属（如汞、铅），需通过物化沉淀和零排放工艺处理。

3.8

含煤废水 Coal-containing Wastewater

输煤系统冲洗水及煤场初期雨水，含高浓度煤粉颗粒（SS 200-300 mg/L）、有机物（COD 150-200 mg/L），需通过预沉淀、过滤和闭式循环系统回用。

3.9

湿除渣废水 Wet Slag Removal Wastewater

湿法排渣工艺产生的废水，含重金属、氟化物及高盐分（TDS 3000-5000 mg/L），需经化学沉淀和多层过滤实现分质回用。

3.10

物化沉淀工艺 Physicochemical Precipitation Process

通过调节 pH、投加重金属捕捉剂（如 TMT-15）和混凝剂（如 PAC），使污染物形成沉淀，用于脱硫废水的预处理。

3.11

零排放工艺 Zero Liquid Discharge (ZLD)

结合膜法（反渗透、电渗析）或热法（MVR、MED）浓缩废水，最终通过蒸发结晶（如分盐结晶器）实现无液态外排。

3.12

膜法浓缩 Membrane Concentration

利用纳滤（NF）、反渗透（RO）等膜技术分离废水中的盐分和污染物，适用于低硬度废水，回收率 $\geq 75\%$ 。

3.13

热法浓缩 Thermal Concentration

采用多效蒸馏（MED）或机械蒸汽再压缩（MVR）蒸发水分，MVR 通过循环蒸汽潜热降低能耗，适用于高盐废水（TDS $> 50,000$ mg/L）。

3.14

浓缩倍率 Cycles of Concentration (COC)

循环水含盐量与补充水含盐量的比值，反映节水效率（如 COC ≥ 5.8 ），高倍率需控制结垢风险。

3.15

化学需氧量 Chemical Oxygen Demand (COD)

衡量水中有机物氧化所需氧量（单位 mg/L），脱硫废水典型 COD 为 100-400mg/L，需处理至 ≤ 50 mg/L 排放。

3.16

总溶解固体 Total Dissolved Solids (TDS)

水中溶解的无机盐和有机物总量（单位 mg/L），脱硫废水 TDS 可达 60,000mg/L，需浓缩至 ≤ 130 mg/L 回用。

3.17

微波高效沉淀系统 Wastout Microwave-enhanced Precipitation System

利用微波加速絮凝反应，缩短沉淀时间，适用于高悬浮物废水（SS $> 10,000$ mg/L）。

3.18

极限分离系统 Neterfo High-Efficiency Separation System

结合超滤（UF）和反渗透（RO）处理高盐废水（TDS $> 100,000$ mg/L），实现盐分极限分离。

3.19

蒸发系统 Mechanical Vapor Recompression Evaporator

通过机械压缩回收蒸汽潜热，能耗低（ ≤ 30 kWh/t 水），结晶盐纯度 $\geq 95\%$ 。

4 智能节水架构和功能要求

4.1 总体架构

4.1.1 智能节水架构主要由智能化监测系统、水资源管理系统、废水资源化处理系统组成。利用物联网、大数据、云计算等技术，组建智慧水网和智能节水系统应运而生，为火电厂提供了全新的解决方案。

4.2 智能节水架构的层次

4.2.1 感知层

- a) 传感器网络：部署各种传感器，如流量传感器、水质传感器、压力传感器等，用于实时监测水资源的消耗和水质情况。
- b) 数据采集设备：这些设备负责收集传感器数据，并将其传输到上层的智能控制系统。

4.2.2 网络层

- a) 通信基础设施：包括有线和无线通信技术，用于在感知层和控制层之间传输数据。
- b) 数据传输协议：采用标准化的数据传输协议，确保数据的准确、及时和可靠传输。

4.2.3 数据处理层

- a) 数据处理与分析中心：接收来自感知层的数据，进行预处理、存储和分析。
- b) 智能控制系统：基于数据分析结果，对水资源进行智能调度和优化管理。

4.2.4 应用层

- a) 用户界面：提供友好的人机交互界面，方便用户查看节水效果、报警信息和系统状态。
- b) 节水应用模块：包括智能调度、节水优化、报警处理等功能模块，实现节水目标。

4.3 建设内容

4.3.1 循环水系统

通过优化循环水量和冷却倍率，采用加酸、加阻垢剂联合处理，提高循环水的浓缩倍率，减少补给水量。循环水泵电机和上部轴承冷却采用泵出口压力水，冷却后直接回流回收利用。

4.3.2 主厂房辅机系统

采用闭式循环冷却水系统，减少耗水量。脱硫用水由冷却塔排水补给，脱硫废水经处理后再利用。凝结水精处理系统配置前置过滤器，缩短冲洗时间，减少排放。锅炉排烟和输煤系统除尘采用低水耗设备，减少冲洗用水。主厂房洁净回收水经处理后再利用。

4.3.3 输煤除灰渣用水系统

冲洗和喷雾抑尘用水的排水经处理后再作为煤场喷淋及输煤构筑物冲洗水源重复利用。

4.3.4 原水预处理系统

通过设计合理分析，尽量减少原水预处理站出力，从而降低工程投资和自用水消耗。

4.3.5 脱硫废水处理系统

采用近零排放处理工艺，包括Wastout微波高效沉淀系统、预处理以及Neterfo极限分离系统和MVR蒸发系统，有效实现废水近零排放。

4.3.6 智能型节水控制系统

由天津市节约用水事务管理中心完成的科技成果，能够实现节水过程的自动化和智能化管理。

4.3.7 废水回收利用系统

回收利用冷却塔排污水、其他工业废水或生活污水作为冷却塔循环水的补充水，提高水的回用率。

4.3.8 空冷技术

在严重缺水地区，经过经济技术比较后可采用空冷技术，显著减少耗水量。

4.3.9 干式除灰、渣系统

采用干式除灰、除渣系统可以完全不用水，这种技术产生的粉煤灰和炉渣均可回收利用。

4.4 功能要求

4.4.1 实时监测与数据采集

能够实时监测水资源的消耗情况，包括流量、压力、水质等参数。数据采集应准确、及时，并具备数据校验和异常检测功能。

4.4.2 智能调度与优化

根据实时监测数据，智能调度水资源的分配和使用，避免浪费。通过算法优化，实现节水效果的最大化，提高水资源的利用效率。

4.4.3 报警与故障处理

当系统检测到异常情况（如流量异常、水质超标等）时，能够自动发出报警信息。提供故障处理建议或方案，帮助用户快速定位和解决问题。

4.4.4 数据分析与可视化

对采集的数据进行深度分析，挖掘节水潜力和优化空间。提供可视化报表和图表，方便用户直观了解节水效果和历史数据。

4.4.5 系统扩展与兼容性

智能节水系统应具备良好的扩展性，能够方便地增加新的传感器和功能模块。系统应兼容不同的硬件和软件平台，确保与现有系统的无缝集成。

4.4.6 安全与可靠性

系统应采用先进的安全技术和防护措施，确保数据的安全性和系统的可靠性。具备冗余备份和故障恢复能力，确保在异常情况下的稳定运行。

4.4.7 用户管理与权限控制

提供用户管理功能，允许创建、删除和修改用户账户。权限控制功能确保不同用户只能访问其权限范围内的数据和功能。

4.4.8 远程监控与维护

提供远程监控功能，允许用户远程查看系统状态和节水效果。远程维护功能方便用户对系统进行升级、配置和故障排除。

综上所述，智能节水架构和功能要求的设计应充分考虑节水目标、用户需求和技术可行性，确保系统的实用性和有效性。通过智能节水系统的实施，可以显著提高水资源的利用效率，降低水资源的消耗和浪费。

5 废水资源化处理技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 废水资源化处理应遵循分类收集、分级分质处理和分质回用的原则，废水处理后应优先自用。废水应依据水质、水量、回用要求、排放标准和企业节水目标等，选择技术经济合理的废水处理与回用技术，并应符合 GB/T 32327 的规定，必要时可通过试验确定处理工艺。

5.1.2 当废水水质不符合废水处理系统的进水指标要求时，进行装置预处理达到要求后方可排入。

5.1.3 废水分级分质处理工艺，应在取得水源水和废水的水量、水质，以及回用水水质要求等资料后，经水（盐）平衡计算后确定，水源水质全分析报告见附录 A。

5.2 化学废水资源化处理

5.2.1 火电厂化学废水的含义

火力发电厂在其运营过程中会产生各种来源的化学废水，主要来源于以下几方面：

- a) 烟气脱硫系统：FGD 系统用于去除燃烧过程产生的烟气中的二氧化硫，这些系统产生含有硫化物和其他污染物的废水。
- b) 锅炉排污：为了保持锅炉用水的质量，必须进行排污以去除杂质并防止结垢，该过程产生含有高浓度溶解固体和化学品的废水。
- c) 冷却塔：发电厂使用冷却水系统来散热，这些系统通常需要进行化学处理以防止结垢、腐蚀和微生物生长，从而产生含有各种化学物质的废水。
- d) 灰处理：发电厂产生煤灰，包括飞灰及底灰。灰烬的处理和处置会产生被重金属、有机化合物和其他污染物污染的废水。
- e) 燃料储存和处理：煤炭和石油等燃料的储存和处理可能导致溢出和泄漏，从而产生含有碳氢化合物和其他污染物的化学废水。

5.2.2 火电厂化学废水资源化处理的技术要求

- a) 预处理工艺：筛选和除砂、沉淀。
- b) 深度处理工艺：混凝与絮凝、生物处理、膜过滤、吸附和离子交换。

5.3 循环水资源化处理

在火电厂生产实践中，循环水是水资源消耗的重点领域，而减少循环水消耗的主要措施就是进一步提高循环水的浓缩倍率。为了实现这一目的，就要进一步提高循环水处理技术水平，从而实现结余水资源，提高整体经济效益的目的。

表 1 火电循环水处理技术中的常见方案与技术特点

处理方案	浓缩倍率	技术特点
硫酸+有机膦	2-3	系统相对简单，呈现出的浓缩倍率处于中等水平，但是如果对于运行过程控制的不够好，将会对钢管带来腐蚀性危害。
硫酸+复合型阻垢缓蚀剂	2-4	系统相对简单，呈现出的浓缩倍率相对较高，在运行控制方面比较简单容易操作，如今被火电厂广泛利用。
石灰处理技术+复合型阻垢材料	3-5	系统比较复杂，尤其是石灰处理过程中的系统稳定性与可靠性相对不足，运维工作过程中的工作量比较大，所以投入成本相对较高；基于

		上述特点，该处理方案比较适用于那些城市废水作为补充水的电厂中，可以除去其中所包含的大量有机物。
弱酸补充水软化处理技术+阻垢剂处理	4-8	系统相对复杂，系统建设过程中的成本消耗比较多，由于系统自身的复杂程度较高，所以在运行维护过程中的工作量比较大；但是该方案的稳定性程度比较高，在实际应用过程中的可靠性比较强。

5.4 脱硫废水资源化处理

5.4.1 脱硫废水定义

湿法脱硫过程中排放的废水。废水中含有的杂质主要包括悬浮物、高浓度的无机盐及重金属。

5.4.2 总体要求

- 5.4.2.1 应对脱硫废水的产生、处理和排放进行全过程控制，利用成熟的专有技术实现脱硫废水的减量化、无害化和资源化，提高废水回用率，减少二次污染。
- 5.4.2.2 新建燃煤电厂的脱硫废水处理工程应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。
- 5.4.2.3 脱硫废水处理装置应单独设置，并按连续运行方式设计。脱硫废水处理系统设计容量应不少于正常运行处理量的 125%，或按废水储存系统调节能力确定。
- 5.4.2.4 脱硫废水处理中产生的泥浆应进行脱水处理。未经处理的脱硫废水不应排放或回用，经脱硫废水处理系统处理后的排水应符合 GB 8978、DLT 4.6997 的规定以及工程环境影响评价的要求。
- 5.4.2.5 当处理后的废水回用时，应满足用水系统的进水水质要求。且应考虑脱硫废水的回用给用水系统带来的潜在影响，严格控制运行条件。

5.4.3 特点

脱硫废水具有含盐量高、硬度高、重金属浓度高、腐蚀性强、成分复杂、水质波动大等特点，高效稳定的预处理单元对后续减量浓缩和蒸发结晶起到至关重要的作用。

5.4.4 水量与水质

5.4.4.1 废水水量

- a) 燃煤电厂应按脱硫废水排放处设置的计量仪表实测数据确定脱硫废水水量；
- b) 当无实测数据时，可按烟气脱硫系统的物料平衡计算确定脱硫废水水量。

5.4.4.2 废水水质

- a) 脱硫废水水质应以实际监测数据为准。水样的采集与保存方法应符合 DL/T 938 的有关规定，水样中污染物的测定方法应符合 GB 8978 的有关规定。
- b) 当无实测数据及同类电厂参考资料时，可参考表 2。

表 2 石灰石-石膏湿法脱硫工艺的废水水质范围

序号	指标	单位	数值
1	温度	℃	40~50
2	pH	无量纲	5~8
3	化学需氧量（COD _{cr} ）	mg/L	100~400
4	悬浮物（SS）	mg/L	10000~50000

5	氨氮（以 N 计）	mg/L	40~800
6	总溶解性固体（TDS）	mg/L	10000~60000
7	总硬度	mmol/L	20~500
8	钾离子（K ⁺ ）	mg/L	10~200
9	钠离子（Na ⁺ ）	mg/L	200~2000
10	钙离子（Ca ²⁺ ）	mg/L	400~5000
11	镁离子（Mg ²⁺ ）	mg/L	200~9000
12	硫酸根离子（SO ₄ ²⁻ ）	mg/L	3000~30000
13	氯离子（Cl ⁻ ）	mg/L	5000~20000
14	氟离子（F ⁻ ）	mg/L	50~100
15	硅（以 SiO ₂ 计）	mg/L	10~500
16	重金属	mg/L	10~80

5.4.5 工艺设计

5.4.5.1 脱硫废水处理工艺的选择应结合全厂水务管理要求、回用点用水要求、脱硫系统的运行工况、废水水量水质、政策环保要求等综合因素，经技术经济比选后确定。

5.4.5.2 对于未实施“近零排放或零排放”的燃煤电厂，其脱硫废水处理系统应包括物化沉淀处理系统及其配套设施。

5.4.5.3 对于有“近零排放或零排放”要求的燃煤电厂，其脱硫废水处理系统应根据实际情况进行设计。通常包括物化沉淀等预处理系统、热法/膜法浓缩处理系统、固化处理系统、资源回收系统以及各系统配套设施。

5.4.5.4 应根据处理水量水质、锅炉热效率影响等综合因素考虑是否在脱硫废水固化单元前设置浓缩减量单元。

5.4.5.5 脱硫废水处理系统的设计应符合 DL/T 5046 中的防腐规定。

5.4.5.6 当燃煤电厂所在地有特殊环保要求时，电厂产生的其他高盐废水可与脱硫废水进行统一规划设施。

5.4.5.7 在实际运行中，脱硫废水可在废水贮存设备中稳定水量水质后，小流量输送至冲灰系统或冲渣系统，同时按相应要求做好防渗防腐处理。具体运行条件应根据除灰渣系统的运行工况及脱硫废水的水质条件，经试验确定。

5.4.6 处理工艺

5.4.6.1 物化沉淀工艺

5.4.6.1.1 一般规定

脱硫废水的物化沉淀工艺包括废水缓冲、pH 调节、重金属沉降、混凝与絮凝、澄清/污泥浓缩最终中和/氧化和污泥处置等单元。系统设计时应充分满足各项功能所要求的化学反应条件，计算各处理设备的处理能力和容量，确定设备的选型及辅助系统的配置，各处理设备的技术要求应符合 JB/T 11392 的有关规定。物化沉淀工艺的出水排放时，应符合 GB 8978 与 DL/T 997 的相关要求。物化沉淀工艺作为零排放工艺的预处理工艺时，其出水应满足后续工艺单元进水水质要求。

5.4.6.1.2 典型的物化沉淀工艺流程

脱硫废水的 pH 调节、重金属沉降、混凝与絮凝，可采用三联箱型式或一体化处理装置：应遵循“一厂一策”设计原则，根据需求增加或减少处理单元；当处理单元的一级反应无法满足处理要求时，应增加二级反应。

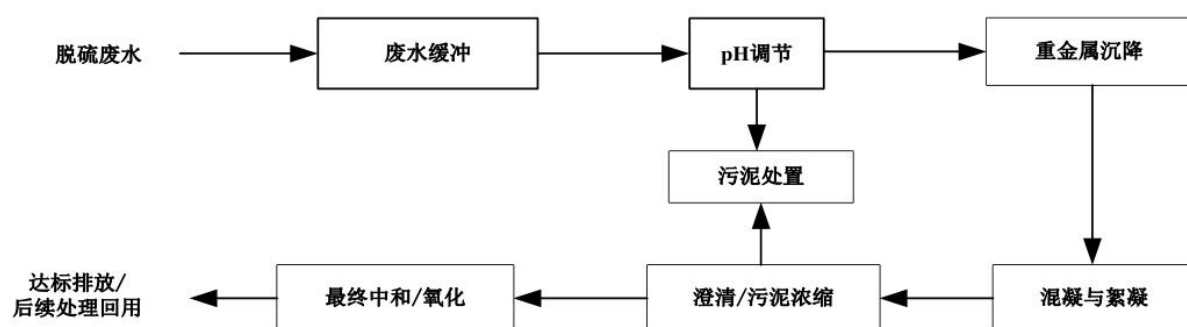


图 1 脱硫废水物化沉淀工艺流程

5.4.6.1.3 废水缓冲

废水缓冲池/箱的总容量宜按脱硫系统1日以上的设计废水产生量设置，宜设分格，并设有搅拌装置。搅拌装置可选用水力搅拌装置或曝气搅拌装置。废水缓冲池/箱、废水输送泵材质应耐腐蚀和耐磨损。

5.4.6.1.4 pH 调节

应向脱硫废水中投加碱性药品，调节pH值至 9.0~9.5；碱性药品可选择氢氧化钙或氢氧化钠；pH调节箱的水力停留时间应不少于 30min。应设有机械搅拌装置、pH 计、污泥回流口和底部排泥口。

5.4.6.1.5 重金属沉降

宜投加重金属捕获剂。常用的重金属捕获剂为有机硫化物 TMT-15，参考加药量为3mg/L~7mg/L(浓度15%，密度1.12g/cm)，实际加药量应根据水质确定；沉降单元的水力停留时间应不少于30min。

5.4.6.1.6 混凝与絮凝

混凝与絮凝反应单元的设计要求应符合 HJ 2006的有关规定；混凝剂可选择硫酸铝、硫酸铝钾、聚合氯化铝等铝盐，硫酸亚铁、氯化铁和聚合硫酸铁等铁盐常用的混凝剂参考加药量为5mg/L~10mg/L；混凝与絮凝反应的水力停留时间应不少于 30min；投药设备及药剂混合设备应靠近混凝工艺设施。

5.4.6.1.7 澄清/污泥浓缩

澄清/污泥浓缩池的型式、表面负荷和废水的停留时间可根据进水水质与出水水质要求，经技术经济比较后确定。型式可选用机械搅拌澄清池、水力循环澄清池、泥渣悬浮澄清池。废水停留时间宜不少于6 h；澄清/污泥浓缩池沉淀部分水面面积应按最大设计流量计算。污泥部分的容积应按最大脱硫废水量和最大悬浮物含量设计；澄清/污泥浓缩池应设置刮泥机。池底部应设置锥斗型泥斗。

5.4.6.1.8 最终中和/氧化

对脱硫废水进行中和处理，使排水pH值符合GB 8978的有关规定。投加的酸性药剂可采用盐酸或硫酸；根据脱硫废水水质、脱硫废水处理工艺要求综合考虑设置最终中和单元与氧化单元；工艺单元的相应水力停留时间按中和反应和COD氧化分解所需时间计算，应通过试验确定。

5.4.6.1.9 污泥处置

脱硫废水的污泥处置设备一般包括污泥浓缩池、污泥脱水机、污泥斗和污泥泵；污泥泵应防腐耐磨，宜采用离心式渣浆泵或螺杆泵，宜设置变频调节；脱水机出力应按日污泥量的小时平均值选型。污泥脱水后的含固率应大于20%；污泥脱水机的型式和容量应根据污泥量、污泥性质、对泥饼含水率的要求和场地情况等因素，经技术经济比较后确定，可采用板框式压滤机、箱式压滤机或卧式螺旋卸料沉降离心机；脱水泥斗应采用自动卸料泥斗，容积应结合脱水机容量、现场布置情况和运输条件确定，宜采用室内布置。

5.4.6.2 零排放工艺

5.4.6.2.1 典型的零排放工艺流程

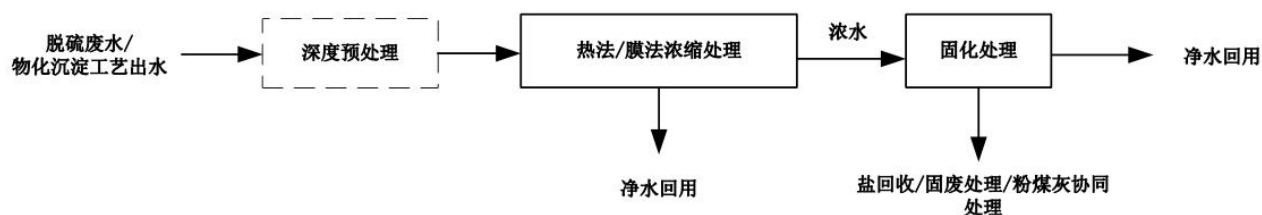


图 2 脱硫废水零排放工艺流程

5.4.6.2.2 深度预处理

当脱硫废水或物化沉淀工艺出水无法满足浓缩处理工艺的进水水质要求时，应进行深度预处理；深度预处理主要包括废水均量均质、软化和过滤；软化技术可选择化学加药软化、离子树脂软化等；过滤技术可选择多介质过滤、超滤和微滤等。

5.4.6.2.3 浓缩处理

- a) 工艺选择：浓缩处理工艺的选择应根据脱硫废水经预处理后的出水水质和处理需求，综合比选各浓缩工艺的经济性、运行稳定性以及浓缩倍率等，并结合电厂实际情况进行浓缩工艺的选择；浓缩处理工艺可采用反渗透和电渗析等膜法浓缩工艺，也可采用 MED、MVR、烟气余热蒸发浓缩等热法浓缩工艺；当脱硫废水水质硬度高，软化预处理计算运行成本较高时，可选择无需软化预处理的热法浓缩工艺。
- b) 膜法浓缩：膜法浓缩工艺包括纳滤、反渗透和电渗析等工艺；宜选择组合工艺进行膜法浓缩，如多段反渗透工艺，纳滤/反渗透组合工艺，反渗透/电渗析组合工艺等；膜法浓缩工艺的进水水质要求、膜处理装置技术要求应符合 GB/T 50109 的有关规定；膜法浓缩处理后的出水回用作脱硫系统工艺用水时，应符合 JB/T 11887 的有关规定；回用作循环冷却水时，应符合 HG/T 3923 的有关规定。

5.4.6.2.4 热法浓缩

热法浓缩工艺主要包括MED、MVR、烟气余热蒸发浓缩，MED系统宜采用2~4效串联蒸发器进行设计。MVR系统由预热器、蒸发器、压缩机、分离器等组成。蒸发器的技术要求应符合HG/T 5224的有关规定。压缩机可选择高速离心压缩机、离心鼓风机、罗茨压缩机等。MED和MVR系统增设结晶器后即蒸汽蒸发结晶系统。

5.4.6.2.5 固化处理

- a) 工艺选择：固化处理包括烟道蒸发干燥和蒸汽蒸发结晶技术；固化工艺宜根据技术先进性、成本经济性、运行稳定性、电厂自身条件、现场布置空间、结晶盐处置方式等因素进行综合比选。
- b) 蒸汽蒸发结晶：蒸汽蒸发结晶技术可选用带有结晶器的 MED 或 MVR。MED 和 MVR 系统中结晶器的设计运行负荷应控制在 80%~120%，且应符合 JB/T 20068 的有关规定。根据处理方式不同，结晶产物可分为混盐、分盐和固体废弃物。
- c) 烟道蒸发干燥：烟道蒸发干燥处理包括旁路烟道蒸发干燥和主烟道蒸发干燥。烟道蒸发干燥采用喷雾蒸发技术，脱硫废水的雾化设备可选用双流体喷枪和旋转雾化器等。采用旋转雾化蒸发器干燥时，需技术比选是否设置旁路烟气除尘器与增压风机。旁路烟道蒸发干燥后设备出口烟气温度宜控制在 140℃ 以上。烟道蒸发干燥宜在蒸发段内设置贴壁风和吹灰装置。烟道蒸发干燥后的盐类与粉煤灰掺混物可资源回收利用。

5.5 含煤废水资源化处理

5.5.1 含煤废水：火力发电厂的输煤系统、栈桥、地面、输煤皮带机头部的喷水抑尘设施和除尘器等设备均需要用到大量冲洗水，从而产生大量含煤废水。

5.5.2 含煤废水中含有大量的煤粉颗粒和尘土引入的悬浮物，有时在收集过程中会漏入一些废油。一般经过预沉池的沉淀后，直径较大的煤粉颗粒由于重力作用能够沉淀下来，而直径小于 0.1 mm 的煤粉颗粒则可以在水中保持稳定的分散状态，难以自然沉降。

5.5.3 含煤废水的浊度和色度较高，且 COD、电导率、总硬度均较高，并且水质变化大，不宜与其他废水混合处理。一般经过预沉池后，含煤废水中悬浮物的质量浓度可达 200-300mg/L，COD 为 150-200mg/L，浊度 150-300NTU。悬浮物和色度的去除是含煤废水处理最主要的目的。由于废水中煤粉颗粒粒度较小，形成的煤泥粒度较高，过滤阻力较大，因此一般不能直接通过压滤脱水的方式处理。

5.5.4 火力发电厂的含煤废水主要是指输煤系统(输煤栈桥、卸煤沟、转运站、混煤仓、筒仓、主厂房输煤皮带层等)的冲洗水和煤场的初期污染雨水。含煤废水中含大量的煤粉颗粒，废水中悬浮物浓度、色度均较高，根据《火力发电厂废水治理设计技术规程》(DL/T 5046)的要求，经初沉淀后不合格的煤场、输煤系统排水(即含煤废水)需集中收集和处理。

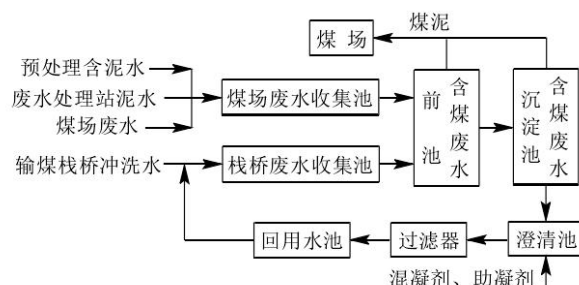


图3 含煤废水处理闭式循环工艺流程

5.6 湿除渣废水资源化处理

湿除渣废水：湿法排渣工艺产生的含悬浮物（SS）、重金属、氟化物、氯离子等的废水。

5.6.1 处理流程标准化

5.6.1.1 预处理阶段

格栅与调节池：设置机械格栅拦截大块杂质，调节池容量≥日废水量的50%，配备pH自动调节系统（控制范围6.5-7.5）。沉淀池设计：采用斜板沉淀池，停留时间≥4h，斜板间距≤5cm，底部安装自动刮泥机（每小时运行1次）。

5.6.1.2 核心处理环节

- 多层滤料过滤：第一层：鹅卵石（粒径 2-5cm），拦截≥2mm 颗粒；第二层：石英砂（粒径 0.5-1mm），过滤细小悬浮物；第三层：活性炭（厚度≥30cm），吸附溶解性污染物；反冲洗周期：每周至少 1 次，压差≥0.2MPa 时立即更换滤料；
- 絮凝沉淀：投加聚丙烯酰胺（PAM）浓度 0.05%-0.1%，悬浮物去除率≥95%；沉淀污泥含水率≤80%，输送至压滤机处理。

5.6.1.3 循环监控与药剂管理

水浊度≤50NTU，超标时自动切换备用水源；每月清洗喷头，供水压力稳定在0.3-0.5MPa；建立水质检测台账，记录pH、浊度、悬浮物（SS）、化学需氧量（COD）等数据。

5.6.2 资源化处理技术集成

化学沉淀法：硫化沉淀法处理含汞、铅废水，泥渣含水率≤60%；中和沉淀法控制pH=9-10，生成氢氧化物沉淀。

5.6.3 环保标准合规性

5.6.3.1 排放限值

表 3 排放限值

指标	COD	BOD ₅	悬浮物	总氮（TN）	总磷（TP）
标准限值（mg/L）	≤50	≤10	≤30	≤15	≤0.5

5.6.3.2 污泥处置

脱水后含水率≤60%；危险废物（如含重金属污泥）交由资质单位处理。

5.6.3.3 全过程监控

在线监测设备（浊度仪、pH计）每半年校准1次；设备检修执行上锁挂牌制度，记录维护台账；突发泄漏或超标排放时，启动应急预案并上报环保部门。

5.6.4 附录

5.6.4.1 湿除渣废水特性参数表

表 4 湿除渣废水特性参数表

参数	典型值	处理要求
悬浮物（SS）	3g/L~10g/L	去除率≥98%
总溶解固体（TDS）	3000mg/L~5000mg/L	分质结晶后TDS≤130mg/L
pH	4~9	自动调节至6.5~7.5

5.6.4.2 资源化产物质量标准

结晶盐：符合《工业盐》（GB/T 5462）；沼气：甲烷含量≥55%，硫化氢≤200mg/m³；腐殖酸：有机质含量≥40%，重金属（Pb、Cd）≤5mg/kg。

6 调试和验收要求

6.1 调式要求

6.1.1 系统功能验证

6.1.1.1 设备联调与参数优化

验证水处理设备（如反渗透、超滤、电渗析等）的联动运行效果，确保循环水浓缩倍率、悬浮物控制等参数符合设计要求。

6.1.1.2 智能化监控功能测试

需验证在线监测系统（如水质、水量、水温传感器）的实时数据采集与分析能力。

6.1.2 技术性能验收

6.1.2.1 节水指标

火电厂的用水指标应符合相关标准要求，包括 DL/T 783《火力发电厂节水导则》中规定的各项耗水、排水指标等。

循环水系统：浓缩倍率需达到设计值（如地表水≥5.8，再生水≥3.0），排污水回用率≥90%。

全厂复用水率：125MW 及以上机组≥95%，缺水地区≥98%。

6.1.2.2 智能控制功能

智能控制系统应能实现对全厂用水、节水及废水处理的实时监控、数据采集与分析、远程控制等功能。远程监控中心可随时查看各用水点、排水点的流量、压力、水质等数据，根据数据分析结果自动调整设备运行参数，实现优化调度。

6.1.3 环保指标达标验证

6.1.3.1 废水处理效果

- a) 调试期间需确保处理后水质满足《农田灌溉水质标准》（GB 5084）、《地面水环境质量标准》（GB 3838）等要求，实现分质回用或资源化利用。
- b) 高盐废水处理量需满足设计负荷，热法浓缩能耗 $\leq 30\text{kW} \cdot \text{h/t}$ 水，膜法浓缩回收率 $\geq 75\%$ 。
- c) 结晶盐产量与理论值偏差 $\leq 5\%$ ，重金属含量需符合 GB/T 5462 标准。

6.1.4 零排放系统稳定性

6.1.4.1 脱硫废水处理技术

需采用蒸发浓缩、固液分离等技术，确保无外排。测试空冷系统、干式除渣装置、高浓度水力输灰系统等节水设备的协同运行能力，确保在极端工况（如高温、低水源水质）下仍能稳定节水。

6.1.4.2 冗余设计验证

关键设备（如循环水泵、膜组件）需具备在线切换功能，故障切换时间 ≤ 5 秒。

6.1.4.3 抗干扰能力

模拟水质突变（如 Cl^- 浓度突增 50%）、电网波动（ $\pm 10\%$ 电压波动），系统需在 30 分钟内恢复稳定运行。

6.1.5 工程质量和安全验收

设备安装应牢固、平稳，设备的水平度、垂直度应符合安装要求；管道连接应牢固，无渗漏，管道的支架、吊架安装应牢固可靠，间距符合规定；电气设备的安装应符合电气安装规范，布线整齐、美观，接地可靠。同时，应对系统进行全面的安全检查，确保不存在安全隐患，如设备的防护装置齐全有效，危险区域有明显的警示标志。

6.2 调试内容

调试过程中需要确保所有设备运行稳定，无异常振动、噪音或泄漏现象

6.2.1 系统完整性检查

所有设备、管道、阀门、仪表等应安装完毕，且符合设计要求，无遗漏、无损坏。电气系统、控制系统线路连接正确，接地良好，设备绝缘电阻符合规定。

6.2.2 单机调试

6.2.2.1 设备调试

对系统中的每一台设备进行单独调试，如泵、风机、搅拌器等，检查其运转方向、转速、震动、温度、压力等参数是否正常，设备的保护装置是否动作灵敏可靠。

6.2.2.2 预处理单元

验证混凝澄清、过滤装置对悬浮物、浊度的去除效率，确保出水水质满足后续处理要求。

6.2.2.3 浓缩减量单元

膜法浓缩需测试膜通量、脱盐率；热法浓缩需验证蒸汽消耗量与浓缩倍率的关系。

6.2.2.4 结晶固化单元

检测结晶盐纯度($\geq 95\%$)、冷凝水回用率($\geq 90\%$)，确保烟气蒸发干燥后粉煤灰含氯量符合环保标准。

6.2.3 仪表调试

检查各类仪表的准确性、灵敏度和可靠性，包括流量计、液位计、压力表、水质在线监测仪表等。仪表的量程应与被测参数的范围相匹配，其精度等级应符合设计要求。

6.2.4 连锁与保护调试

对系统的连锁和保护装置进行模拟试验，确保其动作准确、可靠。如当水泵的电机过载时，过载保护装置应能及时动作，切断电源，保护电机不受损坏；当液位超过设定的上限或下限值时，相应的液位连锁装置应能自动启动或停止设备运行。

6.2.5 自动化控制系统

智能节水及废水资源化处理系统通常配备自动化控制系统，调试时需要确保控制系统的准确性和可靠性。这包括传感器的校准、控制器的逻辑测试等。安全性能：调试过程中需要确保系统的安全性能，包括设备的安全防护装置、电气系统的接地保护等。

6.2.6 水压试验

对系统的管道、容器等进行水压试验，以检查其承压能力及密封性。试验压力一般为工作压力的1.25-1.5倍，稳压时间不少于30分钟，在此期间压力应保持稳定，无渗漏现象。

6.2.7 灌水试验

对于有防水要求的构筑物，如污水处理池、雨水收集池等，应进行灌水试验，检查其防渗漏性能。灌水高度一般为设计水位，观察24小时，水位下降不超过规定值为合格。

6.2.8 模拟运行调试

6.2.8.1 调试要求

在系统具备一定的进水条件下，进行模拟运行调试，观察各设备、各处理单元的运行情况，检查工艺参数是否达到设计要求，如废水的处理量、水质指标等。同时，对智能控制系统进行调试，使其能根据各监测点的数据自动调整设备的运行状态，实现优化运行。

6.2.8.2 水质达标

处理后的水质需要达到国家或地方规定的排放标准。对于废水资源化处理系统，产出的淡水应符合工业新水回用标准，浓水的处理也应符合相应的环保要求。处理效率：调试过程中需要测试系统的处理效率，确保其能够满足设计要求。

6.3 验收要求

6.3.1 技术性能验收

需覆盖水处理设备（如过滤器、离子交换器）的材质、防腐工艺、安装质量，处理水量达标性、水质指标（如COD、氨氮、悬浮物）检测、系统运行稳定性等核心指标。验收报告需包含关键参数记录表及运行效能分析。

6.3.2 智能化与自动化要求

智能节水系统具备数据集成、预测性维护及优化调度功能。在线监测系统需验证监测数据与人工检测的一致性，确保浊度、COD 等指标检测误差 ≤ 5 。

6.3.3 环保与安全合规性

6.3.3.1 排放口规范

环评允许设置排放口的企业需安装自动监测设施，并定期上报运行率、处理效率等数据。

6.3.3.2 危险化学品管理

化学水处理作业人员需持证上岗，危化品使用及废水处理需符合安全规范。

6.3.4 文档与记录完整性

6.3.4.1 验收资料

需包括系统设计图纸、调试数据、设备清单、水质检测报告、系统整体调试报告、设备维护记录等。

6.3.4.2 设计图纸

审查系统的设计文件，确保设计方案符合国家和地方的相关标准和规范。

6.3.4.3 设备清单

验收时需要核对设备清单，确保所有设备按照设计要求安装到位，并且设备的型号、规格等参数与设计文件一致。

6.3.4.4 水质检测报告

包括对废水排放口、回用水口等位置的水质监测。

6.3.4.5 系统整体调试报告

包括处理效率评估、自动化控制系统功能评价、安全设施性能、运行成本评估、环保合规性报告。

附 录 A
(资料性)
水质全分析报告格式示例

水质全分析报告示例见表 A。

表 A 水质全分析报告格式示例

名 称:				化验编号:		
取水地点:				取水日期:		
水样种类:				分析日期:		
取水部位:						
项 目		mg/L	mmol/L	项 目	mg/L	mmol/L
阳离子	K ⁺			总硬度（以 CaCO ₃ 计）		
	Na ⁺			非碳酸盐硬度（以 CaCO ₃ 计）		
	Ca ²⁺			碳酸盐硬度（以 CaCO ₃ 计）		
	Mg ²⁺			负硬度（以 CaCO ₃ 计）		
	Fe ³⁺			甲基橙碱度（以 CaCO ₃ 计）		
	Ba ²⁺			酚酞碱度（以 CaCO ₃ 计）		
	Sr ²⁺			氨氮（以 N 计）		
	NH ₄ ⁺			总氮（以 N 计）		
	合计			COD _{cr}		
阴离子	Cl ⁻			BOD ₅		
	SO ₄ ²⁻			总溶解固体		
	HCO ₃ ⁻			悬浮物		
	CO ₃ ²⁻			活性硅（以 SiO ₂ 计）		
	NO ₃ ⁻			全硅（以 SiO ₂ 计）		
	NO ₂ ⁻			其他项目		
	OH ⁻			pH（25℃）		
	F ⁻			电导率（μS/cm）		
	合计					
	偏差分析					
注：表中分析项目根据实际项目酌情增减。						