ICS XXXXXX
CCS X XXX

团　　体　　标　　准

T/CIECCPA XXX-XXXX

含硫气田采出水资源化关键技术规范

Key Technical Specifications for Water Resource Utilization in Sulfur-Containing Gas Field Production

（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

1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 总体要求 2
5 处理工艺与技术 2
5.1 一般要求 2
5.2 预处理技术 2
5.3 膜处理技术 4
5.4 工业盐资源化利用技术 ..... **错误！未定义书签。**
5.5 有价元素提取利用技术 6
6 职业健康、安全与环保管理 8
7 运行和维护 8

图 1　推荐提锂工艺流程图 6
图 2　推荐提溴工艺流程图 7

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本规范起草单位：中石化石油工程设计有限公司、中国石油化工股份有限公司西南油气分公司、成都硕特科技股份有限公司、四川兴澳环境技术服务有限公司、自贡市轻工业设计研究院有限责任公司、中蓝长化工程科技有限公司

本文件主要起草人：***

含硫气田采出水资源化关键技术规范

1 范围

本文件规定了含硫气田采出水资源化关键技术的总体要求，以及工艺技术、控制参数、主要设备和材料、劳动安全与职业卫生等要求。

本文件适用于陆上石油天然气开采含硫气田采出水及该气田配套净化装置产生的含硫废水的资源化利用处理。

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 5462 工业盐

GB/T 11075 碳酸锂

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB 18613 电动机能效限定值及能效等级

GB/T 23853 卤水碳酸锂

GB/T 25283 矿产资源综合勘查评价规范

GB 39728 陆上石油天然气开采工业大气污染物排放标准

GB 39800 个体防护装备配备规范

GB/T 45386.1 工业废水电化学处理技术规范

GB 50050 工业循环冷却水处理设计规范

GB 50183 石油天然气工程设计防火规范

GB 50428 油田采出水处理设计规范

GB/T 50934 石油化工工程防渗技术规范

CJ/T 43 水处理用滤料

HJ 1095 芬顿氧化法废水处理工程技术规范

HJ 579 膜分离法污水处理工程技术规范

HG/T 3809 工业溴化钠

QB/T 3678 结晶罐技术条件

3 术语和定义

3.1

含硫气田采出水 process water separated from highly hydrogen sulfide gas field

从地层气体中硫化氢含量大于或者等于 75mg/m^3（50 ppm）的天然气田采出的地层水，以及该气田配套净化装置产生的含硫废水，以下简称气田采出水或采出水。

3.2

蒸发母液 evaporated mother liquor

蒸发结晶过程中，为保证盐的纯度而排出的饱和盐溶液。从溶液中结晶出来的晶体和剩余的溶液所构成的混合物称为晶浆，去除晶体后所剩的溶液称为母液。

3.3

预处理 primary treatment

为确保后续深度处理工艺的稳定运行，采用闪蒸、气提、气浮、混凝沉降、软化、过滤等方法，去除水中硫化氢、悬浮物、钙、镁、石油类、铁、硅等污染物的前置处理工序。

3.4

资源化处理 resource treatment

对预处理后的采出水进行深度处理，使其满足生产用水指标或者从水中提取资源化产品（如工业盐、碳酸锂和溴化钠等）的过程。

3.5

产品水 product water

经过预处理、资源化处理后，采出水各项指标达到回用要求，可回用于生产、循环水补水的产出水。

3.6

分盐 salt fractionation

对水中的一价盐和二价及以上盐进行分离的过程。

4 总体要求

4.1 含硫气田采出水资源化工程实施前，应开展水质分析，明确特征污染物、资源化物质种类及含量水平；明确产品水和资源化产品的市场需求、质量标准及消纳能力，并进行技术经济比选，确定资源化目标和主体工艺路线。

4.2 资源化处理工艺宜选用成熟可靠、绿色高效、经济合理的处理技术；引入的新技术，应经过中试验证，并开展安全环保评估。

4.3 处理后的产品水和资源化产品应满足相关质量标准要求，相关废物处置满足安全环保法规要求。

4.4 资源化处理站平面布置应参照 GB 50183 的要求，各处理单元宜采用集约化设计，按照协同处理原则，选用合理的处理设施。

5 处理工艺与技术

5.1 一般要求

采出水宜先预处理再进行深度处理，以延长设备寿命，减少安全环保风险，降低处理成本和能耗；预处理后采出水需要脱盐处理时，宜先采用膜过滤浓缩后再蒸发处理。

5.2 预处理技术

5.2.1 脱硫工艺

5.2.1.1 采出水脱硫优先采用气提工艺，当采用药剂氧化、沉淀等其他工艺时，不应影响后续资源化物质的提取，脱硫后采出水硫化物宜小于 10mg/L。

5.2.1.2 气提脱硫工艺运行宜满足以下要求：

a）气提宜采用净化天然气、氮气等不影响采出水处理或资源化利用的气体，在弱酸性环境下气提。

b）进入气提塔的水量波动较大时，宜在气提塔前设置调储设施，以稳定进水流量，并保证出水压力高于后端接收储罐的密闭压力。

c）采出水在进入气提塔前，宜根据水质情况，设置预处理设施去除油泥等可能影响气提塔正常运行的污染物。

d）气提尾气宜采取增压后进入管网等方式回收利用，不能回收利用的应通过除硫装置脱除污染物，满足 GB 16297 等标准要求后排放。

e）气提塔及进、出管线和阀门，应根据不同部位的腐蚀机理进行防腐处理或材料选择。

f）气提塔应设置 pH、温度、压力和液位检测，以及相应数据远程传输、自动控制系统。

5.2.1.3 其他脱硫工艺

宜选用不产生二次污染及对资源化物质提取影响较小的工艺。采用催化氧化工艺时进水硫化物含量宜为 50mg/L～100mg/L，采用空气氧化工艺时宜小于 5mg/L。

5.2.2 除油工艺

5.2.2.1 采出水除油宜优先选用重力沉降分离工艺，可采用调节罐或重力沉降罐（立式除油罐、斜板隔油池等）进行初步分离，去除浮油及大部分分散油。进水含油量宜控制在 1000mg/L 以下，出水含油量应不超过 300mg/L。

5.2.2.2 针对乳化油，在不影响资源物质提取的前提下，可采用化学破乳、物理破乳及组合破乳方法。应通过试验确定化学破乳剂的种类及投加量，并配套设置药剂配制与投加系统，除油率应大于 70%。

5.2.2.3 经破乳及初步分离后，出水应进入气浮选、旋流分离等强化除油单元，进一步去除微细油滴，出水含油量<30mg/L。

5.2.2.4 可在上述工艺后设置过滤单元（如核桃壳过滤器、纤维球过滤器或多介质过滤器等）作为工艺保障措施。

5.2.3 混凝沉降

5.2.3.1 混凝沉降工艺优先选择重力沉降分离工艺。应选用不影响资源物质提取的水质净化药剂，悬浮物去除率不宜低于 70%。

5.2.3.2 药剂混合方式宜采用水泵混合或管道混合。为保证药剂混合效果，采用水泵混合时，水在管道停留时间不宜超过 60s；采用管道混合时，水在管道中水头损失不应小于 0.3m。

5.2.3.3 混凝沉降设施不宜少于 2 座，同时应设排泥设施。

5.2.4 过滤工艺

5.2.4.1 过滤器类型应根据进水水质及出水要求进行选择。滤料选型可参考 CJ/T 43。强碱性水质不宜选用石英砂滤料。

5.2.4.2 过滤器的台数，应根据过滤器型式、设计水量、操作运行和维护检修等条件通过技术经济比较确定，但不应少于 2 台。

5.2.4.3 过滤器的选用除应符合本规范外，可参考 GB 50428 有关规定。

5.2.5 软化工艺

5.2.5.1 软化工艺应根据采出水中硬度值和资源物质提取工艺要求进行选择，当采用药剂软化时，应评估软化药剂对资源物质的影响。

5.2.5.2 软化工艺应根据水质特点，采取有效防结垢、防污染的措施，装置应预留清洗接口。

5.2.5.3 当原水总硬度大于 300mg/L 时，宜采用化学药剂软化法，出水总硬度宜控制在 100mg/L 以内。

5.2.5.4 当原水总硬度小于 300mg/L 时，可采用离子交换软化法，出水硬度宜控制在 1.5mg/L 以内（以 $CaCO_3$ 计），运行温度不宜大于 45℃。

5.2.5.5 当原水总硬度高于 5000mg/L 或沉降分离时间较长时，经技术经济比较后，可采用流化床结晶造粒工艺、管式膜分离工艺等。

5.2.6 氨氮及有机物脱除工艺

5.2.6.1 气田采出水中氨氮、有机污染物脱除技术的选择一般应遵循以下原则：

a）优先考虑生化工艺。生化工艺参数应根据中试确定；

b）采出水含盐量大于 20000mg/L 时，可采用电解氧化工艺去除氨氮和有机污染物；

c）当上一级处理单元出水有机物指标不满足要求时，可选用臭氧氧化工艺或芬顿氧化工艺。

5.2.6.2 电解氧化装置的设置应符合下列要求：

a）电解氧化装置宜用于处理化学需氧量（CODcr）小于 2000mg/L 的采出水；出水氨氮指标<5mg/L，CODcr 去除率＞40%。

b）电解氧化装置前端应设置水质软化和过滤装置，进水水质宜控制在悬浮物＜15mg/L、硬度＜100mg/L。

c）电解氧化装置电压、电流密度、反应时间宜根据水质情况并结合试验结果确定；

d）电解氧化装置应设置电解尾气处理系统，符合 GB 16297 及相关排放要求。

5.2.6.3 臭氧催化氧化装置的设置应符合下列要求：

a）臭氧催化氧化装置宜用于处理 CODcr 小于 200mg/L 的有机污染物废水；

b）臭氧催化氧化装置进水溶解性总固体（TDS）宜不大于 20000mg/L；

c）臭氧催化氧化装置宜设置在沉降、过滤工艺后；

d）臭氧投加浓度宜根据待处理水质情况并结合试验结果确定；

e）臭氧催化氧化系统应设置臭氧尾气消除装置。

5.2.6.4 芬顿氧化装置的设置应符合下列要求：

a）进水悬浮物含量宜小于 200mg/L；

b）采出水在进入芬顿氧化装置前应除硬、除硫；

c）芬顿氧化工艺技术要求应符合 HJ 1095 的有关规定。

5.3 膜处理技术

5.3.1 一般要求

5.3.1.1 膜处理工艺包括超滤、纳滤及反渗透（含碟管式高压反渗透 DTRO 和卷式反渗透 RO）。悬浮物大于 5mg/L 时，宜增设超滤膜，使其出水满足纳滤或反渗透的进水要求。为提高氯化钠结晶盐品质，宜设置纳滤工序分离二价及以上离子。浓缩处理时，Cl^-＞20000mg/L 或 COD＞300mg/L 宜选用 DTRO；Cl^-≤20000mg/L 且 COD≤300mg/L 可选用 RO。

5.3.1.2 膜处理工艺产水水质满足产品水使用要求后进行回用或进入后续处理工艺流程。膜处理工艺浓水宜根据浓水水质特征进行蒸发结晶资源化利用或干化处理。

5.3.2 超滤工艺

超滤工艺应符合下列要求：

a）超滤出水悬浮物宜不高于 5mg/L，产水浊度宜小于 0.2NTU；

b）超滤运行压力宜不超过 0.3MPa；

c）其他工艺参数应符合 HJ 579 的规定。

5.3.3 纳滤工艺

纳滤工艺的设置应符合下列要求：

a）纳滤进水悬浮物宜不高于 5mg/L；

b）ORP 宜小于 200mV，余氯宜小于 0.1mg/L；

c）温度宜为（15～35）℃；

d）pH 宜为 5.0～9.0；

e）纳滤系统对 SO_4^{2-}截留率宜不低于 95%；

f）纳滤系统产水回收率宜不低于 50%；

g）运行压力不宜大于 9MPa；

h）其他要求应符合 HJ 579 的规定。

5.3.4 反渗透工艺

5.3.4.1 碟管式高压反渗透（DTRO）工艺的设置应符合下列要求：

a）DTRO 进水电导率宜不高于 60000μS/cm（20℃），ORP 宜小于 200mV，余氯宜小于 0.1mg/L；

b）温度宜为（15～35）℃；

c）pH 宜为 5.0～9.0；

d）脱盐率宜不低于 95%，水回收率宜不低于 50%；

e）运行压力不宜大于 12MPa；

f）DTRO 膜系统元件的型号和数量应根据进水水质、水温等，通过优化计算确定；

g）其他要求应符合 HJ 579 的规定。

5.3.4.2 反渗透（RO）工艺的设置应符合下列要求：

a）RO 系统进水 ORP 宜小于 200mV，余氯宜小于 0.1mg/L；

b）温度宜为（15～35）℃；

c）pH 宜为 5.0～9.0；

d）脱盐率宜不低于 90%，水回收率宜不低于 60%；

e）运行压力不宜大于 4MPa；

f）其他要求应符合 HJ 579 的规定。

5.4 工业盐资源化利用技术

5.4.1 工艺选择

5.4.1.1 工业盐资源化利用技术宜选用蒸发结晶工艺技术，主要工艺流程为原水预热、加热蒸发、冷凝水排放、结晶盐分离、脱水干燥等。

5.4.1.2 蒸发结晶工艺可采用多效真空蒸发（MEE）、机械蒸汽再压缩蒸发（MVR）、热力蒸汽再压缩蒸发（TVR）、膜蒸馏等。

5.4.1.3 MEE 适用于有剩余蒸汽或蒸汽价格便宜的工况，MVR 适用于电力价格便宜或蒸汽获取较难的工况，TVR 适用于对蒸发器投资有限制的工况，膜蒸馏适用于分离难度较大的水质条件。

5.4.1.4 蒸发结晶工艺设计应以能源结构、进水水质以及处理规模为依据，选择技术可靠、经济合理、运行稳定的单一蒸发结晶工艺或组合处理工艺。能源结构相当时，宜选择机械蒸汽再压缩蒸发（MVR）工艺。

5.4.1.5 蒸发结晶系统应根据进水水质选择蒸发器形式，进水 TDS 较低宜采用降膜蒸发器与强制循环蒸发器组合，进水 TDS 较高时应采用强制循环蒸发器。

5.4.1.6 采用 MEE 时，系统效数应根据处理规模和能源结构确定。

5.4.2 工艺控制参数

5.4.2.1 蒸发系统设计参数控制应根据进出水水质、盐产品品质等因素确定。

5.4.2.2 蒸发进水水质总硬度宜控制在 150mg/L 以下，悬浮物宜控制在 100mg/L 以下。

5.4.2.3 采用 MVR 工艺时，蒸发温度宜控制在 110℃以下。

5.4.2.4 出水 TDS 宜控制在 300mg/L 以下。

5.4.2.5 结晶盐应满足 GB/T 5462 中相应等级的要求。

5.4.2.6 冷凝水排出系统温度宜低于 60℃。

5.4.3 主要设备

5.4.3.1 蒸发结晶系统主要设备包含加热室、分离室、循环泵、盐脚、离心机、干燥床等。

5.4.3.2 加热室宜采用列管式换热器，材质应根据介质成分及工作温度，结合实验室挂片试验结果确定。

5.4.3.3 分离室宜配套设置除沫器。罐内除沫器宜采用丝网式，罐外除沫器宜采用折流板式。

5.4.3.4 循环泵宜采用轴流式循环泵，采用降膜蒸发器时可选用其他形式循环泵。

5.4.3.5 盐脚宜采用具备罐内淘洗功能的型式。

5.4.3.6 离心机的选型应根据处理规模、物料特性以及产品质量要求确定，通常选用双级活塞推料离心机，进料浓度较低时可选用卧螺离心机或组合式离心机。

5.4.3.7 干燥床选型时，处理规模较小宜采用振动流化床，规模较大宜采用固定流化床。

5.4.3.8 其他设备应根据运行工况进行选型并确定材质。

5.5 有价元素提取利用技术

5.5.1 一般要求

5.5.1.1 含硫气田采出水属于高盐复杂卤水体系，水中普遍伴生锂、溴等多种有价元素，可根据水质检测结果、元素含量、市场需求及技术经济性，开展单一元素或多元素协同提取资源化利用。

5.5.1.2 有价元素提取工艺选择应结合元素种类、目标元素浓度、现场能源条件、占地规模综合确定，优先选用工艺成熟、分离效率高、运行成本低、二次污染小的工艺；提取过程产生的尾水、废渣、母液处理处置应满足相关规定要求。

5.5.1.3 参照 GB/T 25283 油田（卤）水伴生矿产评价参考指标，结合工程实践经验，确定气田水有价元素可回收控制浓度：气田原水中锂质量浓度不低于 80 mg/L 时，具备回收利用价值；

5.5.1.4 GB/T 25283 规范规定的溴质量浓度 50～60 mg/L 为地质勘查基础筛选指标，结合气田水水质特征、能耗及运行经济性，划定气田原水溴初选控制浓度为 300 mg/L；气田水经浓缩富集处理后，母液溴质量浓度达到 4 g/L 时，满足溴资源工业化提取要求。

5.5.2 锂元素提取技术

5.5.2.1 由于含硫气田采出水高盐、复杂卤水体系特征，锂提取宜采用吸附法工艺。吸附法主要工艺流程包括预处理、吸附-解吸、除杂、膜浓缩、蒸发浓缩、沉锂、纯化与干燥。具体工艺流程如图 1 所示。

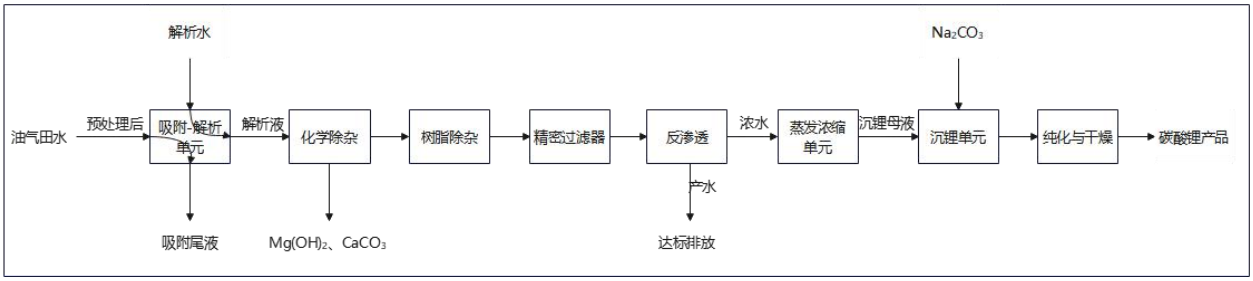


图 1 推荐提锂工艺流程图

5.5.2.2 锂提取各关键单元的工艺控制参数宜为：

a） 吸附进水水质应满足：悬浮物≤5mg/L，石油类≤5mg/L，硫化物≤5mg/L，pH 控制在 4~8，温度控制在 20~40℃。

b） 树脂除杂单元出水应控制 Ca^{2+}、Mg^{2+}、B^{3+}、Ba^{2+}和 Sr^{2+}等主要杂质离子含量均不超过 1.0mg/L。

c） 蒸发浓缩单元出水应控制 Ca^{2+}、Mg^{2+}、B^{3+}的含量均不超过 50mg/L，Li^{+}浓度宜富集至 20g/L 以上。

d） 碳酸锂产品符合 GB/T 11075 或 GB/T 23853 中碳酸锂相关指标要求。

5.5.2.3 锂提取主要设备的选型、材质、自动化控制及运行条件主要要求为：

a） 吸附与解吸系统宜采用连续移动床或固定床自动化运行模式，通过 PLC/DCS 系统实现时序、流量、液位、温度的精准控制与工艺步骤自动切换。系统应保证锂吸附率不低于 50%，解吸率不低于 80%，具体指标可随吸附剂类型与进水锂浓度适当调整。

b） 吸附塔内件、输送管道、阀门等接触物料部件应选用不锈钢或玻璃钢、衬塑等非金属防腐材质，满足高盐、弱酸性工况下长期稳定运行要求。

c） 精密过滤器过滤孔径为 5μm。

d） 蒸发设备应选用强制循环型蒸发器，具备良好的耐蚀性与稳定的蒸发能力，可实现自动排盐、防结垢，并具备液位、温度、真空度的闭环控制功能，保证富锂液的稳定浓缩。

e） 沉锂反应釜应具备精准控温与稳定搅拌功能，控制反应温度 80~90℃、搅拌转速 60~100r/min，并配套 pH、温度在线监测与自动调节系统。

f） 离心机应兼顾分离效率与晶体形貌保护，减少碳酸锂颗粒破损。碳化精制装置应全自动运行，保证产品稳定达到电池级指标。

g） 干燥设备宜选用真空干燥机或盘式干燥机。出料温度应控制在 60℃以下，防止局部过热导致热敏性物料变质。设备整体应采取防腐措施，以适应高盐、碱性工况。

5.5.3 溴元素提取技术

5.5.3.1 溴元素提取方法有空气吹出法、水蒸气蒸馏法、电氧化法等，其中电氧化法不使用氯气等危险化学品，安全环保风险低，适用于气田水中低浓度溴元素的提取，主要工艺流程包括：酸化、电氧化、吹出、尿素-碱液吸收、蒸发、结晶、离心、精制，具体工艺流程如图 2 所示。

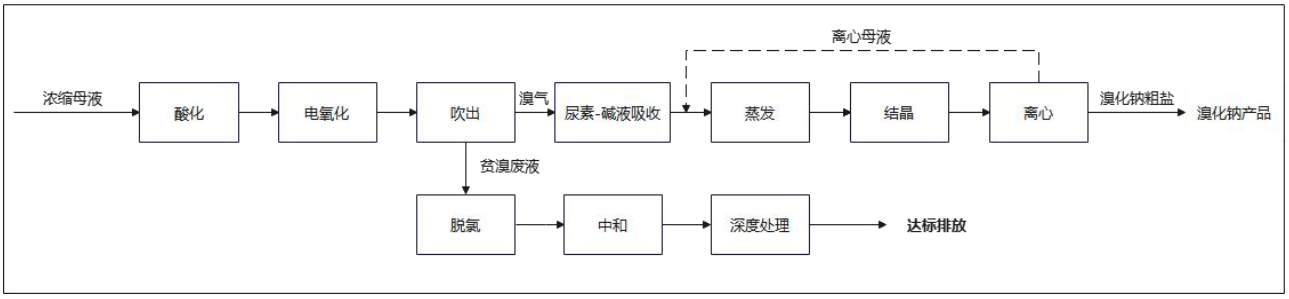


图 2 推荐提溴工艺流程图

5.5.3.2 浓缩母液中溴元素含量、酸化剂选择及 pH、搅拌条件、电氧化电极电位、吹出过程气液比与温度、吸收液配比等参数对溴元素提取效果有较大影响，推荐的控制参数为：

a）浓缩母液中溴元素含量宜控制在 4 g/L 以上。

b）选用盐酸、硫酸为酸化剂，控制 pH=2.0～3.5；搅拌速率 60～120 r/min，保证酸碱混合均匀。

c）电氧化设备电极电位严格控制在 1.10 V～1.35 V（避免氯离子被氧化）；阳极选用石墨电极，阴极选用铂电极；配套尾气处理系统。

d）空气与氧化卤水的气液比宜控制在 50-150:1；卤水温度、空气温度控制在 20 ℃左右为宜。

e）推荐采用尿素-氢氧化钠水溶液作为吸收液，尿素与氢氧化钠摩尔比宜为（1-1.05）：6。

f）粗盐经重结晶、洗涤、过滤、干燥后，溴化钠质量分数≥98%，满足 HG/T 3809 I类合格品要求。

5.5.3.3 溴提取主要设备的材质、结构、选型及安全环保配套提出要求为：

a）接触溴蒸气、酸碱介质的设备、管道、阀门、电极，选用玻璃钢、钢衬四氟等耐腐材质，整体保证密封性。

b）吹出塔、吸收塔需优化气液分布与传质结构，保障气液充分接触。

c）电氧化装置执行 GB/T 45386.1，配套有毒气体在线监测、尾气净化装置。

d）蒸发、结晶、离心设备按工况选型，结晶罐符合 QB/T 3678 的要求。

6 职业健康、安全与环保管理

6.1 站内工作人员个人防护用品配备应满足 GB 39800 要求。

6.2 站内应根据功能区不同配置有毒气体、可燃气体检测设施，同时配备空气呼吸器、便携硫化氢检测仪、防静电工作服等，并满足相关安全生产建设标准。

6.3 站内应根据处理装置各个单元的特点和所处的区域及部位，按照 GB/T 50934 中防渗区域划分要求，对站内各个处理单元采取相应的防渗措施。

6.4 酸碱等药剂贮存、配制设备区，应设置防护围堤，堤内设备基础、地面、排水沟等应设置防腐、防渗处理措施。盐储存间内起重设备、电气设备、门窗、墙面、地面等均应采取耐高盐度的防腐措施。

6.5 站内所有工频电机在额定输出功率下的效率应不低于 GB 18613 表 1 中 2 级能效等级要求。

6.6 含硫气田采出水处理装置（含管线、塔器、储罐等）在首次投运、检修后复产、动火作业前，以及长期停运后重新启用时，应进行氮气置换，以尽可能地去除管道、容器中的氧气。置换前应将被置换系统与上下游工艺段进行有效隔离，并放空泄压至微正压状态，置换的氮气纯度应不低于 99.5%（体积分数），置换过程中，系统内压力应保持 0.1 MPa ~ 0.3 MPa（微正压），严禁系统出现负压，防止空气吸入，置换结束应以排放口连续两次取样检测（间隔不少于 15 分钟）结果为准，氧气（O_2）含量≤0.5%，可燃气体含量≤0.5%（或≤爆炸下限（LEL）的 20%），硫化氢（H_2S）含量≤10 ppm（约 15 mg/m^3）。

6.7 气田采出水预处理系统中产生的废气、VOCs 等应设置无害化处理装置，处置应符合 GB 39728 的要求。

7 运行和维护

7.1 气田采出水处理站建设应实现生产过程数据可视化、生产环境实时监控、生产过程远程控制等功能，满足站场少人（无人）值守控制模式的要求。

7.2 站场的自动化控制应满足工艺过程操作安全、稳定、经济运行的要求，具备参数精准调节、异常联锁保护、故障预警停机的功能。

7.3 各岗位分工明确，操作人员须经专门的培训，考核合格后上岗。

7.4 严格按照操作规程操作，保持各类设备安全稳定运行，杜绝违章操作，发现违章及时制止。

7.5 气田采出水处理站应制定完善的安全环保应急措施，强化日常应急演练并持续改进。