

# 团 体 标 准

T/ZJSES 9-2025

## 废弃（退役）石煤矿矿尾水处理设施建设改造和运维管理导则

Guideline for construction, renovation, and operation management of wastewater treatment facilities for abandoned (decommissioned) stone coal mines tailing

2025 - 12 - 26 发布

2026 - 01 - 25 实施

## 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本规定 .....	2
5 选址与规划 .....	3
6 设计 .....	3
7 施工与验收 .....	6
8 运行与维护 .....	8
9 水质监测 .....	8
附 录 A（资料性附录） 矿尾水处理推荐工艺流程 .....	10
附 录 B（资料性附录） 矿尾水常用处理技术 .....	11

## 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。

本文件由浙江省环境科学学会提出并归口。

本文件起草单位：浙江天津环境科技有限公司、浙江省生态环境监测中心、衢州市生态环境局开化分局

本文件主要起草人：林桦、石玲丽、孙晓慧、许明海、朱国平、聂礼宾、谢杰、刘欢、应琦琰、魏童

## 引 言

石煤作为一种特殊的劣质腐泥无烟煤，其开采利用后遗留的废弃（退役）矿区普遍存在酸性强、重金属含量高的矿尾水持续渗漏问题。此类矿尾水若未经妥善处理，将对周边水体、土壤及生态系统构成长期且严重的污染威胁，制约区域生态环境质量改善与可持续发展。

为系统性地指导矿尾水的治理工作，规范矿尾水处理设施在建设、改造及运维管理等环节的技术要求，提升治理工程的有效性、经济性与可持续性，特制定本导则。

本导则立足于我国当前废弃（退役）石煤矿矿区水环境治理的实际需求，明确了从项目选址规划、设计施工、验收到运行维护、水质监测各环节需遵循的基本原则与技术要求。旨在为相关工程设计、施工、运维及管理提供科学、实用的技术依据，推动矿尾水治理工作的规范化与标准化，最终实现矿区生态环境的有效保护与恢复。

# 废弃(退役)石煤矿矿尾水处理设施建设改造和运维管理导则

## 1 范围

本文件提供了矿尾水处理设施在建设、改造与运维管理等方面的基本原则、通用性要求和指导性建议。

本文件适用于废弃(退役)石煤矿矿区中,新建及改造的矿尾水处理设施在设计、施工、验收和运维管理等阶段的工作。

## 2 规范性引用文件

本导则内容引用了下列文件或其中条款,凡是不注明日期的引用文件,其最新版本适用于本导则。

- GB 5085.7 危险废物鉴别标准 通则
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 18597 危险废物贮存污染控制标准
- GB 18598 危险废物填埋污染控制标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- GB 20426 煤炭工业污染物排放标准
- GB 50014 室外排水设计标准
- GB 50141 给水排水构筑物工程施工及验收规范
- GB 50194 建设工程施工现场供用电安全规范
- GB 50268 给水排水管道工程施工及验收规范
- GB 50334 城镇污水处理厂工程质量验收规范
- GB 50810 煤炭工业给水排水设计规范
- GB 50863 尾矿设施设计规范
- GB 51070 煤炭矿井防治水设计规范
- GB 51221 城镇污水处理厂工程施工规范
- GB 55032 建筑与市政工程施工质量控制通用规范
- GB/T 19223 煤矿矿井水分类
- HJ 298 危险废物鉴别技术规范
- HJ 579 膜分离法污水处理工程技术规范
- HJ 2005 人工湿地污水处理工程技术规范
- HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本导则

### 3.1 石煤 stone coal ore

石煤是一种劣质腐泥无烟煤。其生成于古老地层中，由菌藻类等生物遗体在浅海、泻湖、海湾条件下经腐泥化作用和煤化作用转变而成。是一种高灰分深变质的可燃有机矿物。

### 3.2 废弃(退役)石煤矿 abandoned (decommissioned) stone coal mine

指因资源枯竭，或基于经济、社会、环境综合效益评估而终止开采活动，且未进行后续规范化生态修复或治理的石煤矿区。

### 3.3 矿尾水 mine tailwater

本导则中指废弃（退役）石煤矿矿尾水，即在废弃（退役）或已封场的石煤矿区内，由矿坑、巷道、矸石堆场、废石场等受降水淋溶、地下水浸渍或渗滤作用产生的废水。

### 3.4 矿尾水处理设施 mine tailwater treatment facility

用于收集、输送、处理矿尾水的建筑物、构筑物及设备。

## 4 基本规定

4.1 矿尾水处理设施的建设改造和运维管理应遵循“源头控制、综合治理、技术可行、经济合理、达标处理、环境友好、安全第一和持续运行”的原则。

4.2 矿尾水处理设施建设和改造，应以矿尾水水量与水质的全面评估为基础，充分论证处理技术的适用性、经济性与运行稳定性，秉持“一矿一策、因地制宜”的原则。应优先采用技术可靠、经济实用的处理工艺与设施。

4.3 矿尾水治理项目的规划、设计、施工、监理和运维管理单位应具有相应的资质、专业技术人员和行业业绩。

4.4 矿尾水处理设施的建设改造应结合实际，统筹安排，满足水土保持、环境保护、节能降耗、劳动安全等多方面要求。

4.5 矿尾水处理设施在建设、改造前，应对矿区和现有设施开展全面调查与系统性评估诊断。评估诊断工作应符合国家及地方现行相关标准与规范的规定，并基于对进出水水质特征、设施结构质量、处理功能完整性及运维管理状况的综合评估，确定现状问题与改造需求。

4.6 应定期对矿尾水处理设施开展巡检维护、运行监测与参数比对，并制定与实施有效的故障应急措施，确保设施安全、稳定运行，出水水质持续满足回用或排放标准要求。

4.7 矿尾水处理设施的建设改造应采取有效措施控制二次污染，并依据所选污水处理工艺特征，落实废气收集与处理、噪声防治、污泥处理与处置等具体要求。

4.8 矿尾水处理项目的规划、设计、施工、验收和运维管理应符合国家和地方的有关规定，采取有效的应对措施和预防手段，做好安全卫生工作。

## 5 选址与规划

### 5.1 选址原则

5.1.1 矿尾水处理设施场址选择应符合国土空间、区域总体发展、生态环境保护、防灾减灾等相关规划要求，并综合地形地貌、水文地质、气象特征、用地规模等自然条件因素进行确定。

5.1.2 场址应规避山洪、崩塌、泥石流、滑坡等地质灾害易发区，确保设施全生命周期安全稳定运行。

5.1.3 场地应避开生态敏感区，且选址必须符合“三区三线”管控要求。宜优先利用原矿区场地，或选择荒地、盐碱地等未利用土地，以节约有限的土地资源。

5.1.4 在有饮用水源地的地区，场地应选在水源地下游，防止水源的污染。

### 5.2 规划布局

5.2.1 应充分利用自然环境条件，根据构筑物使用功能与工艺流程要求，结合地形、地质条件，并兼顾施工、维护 and 管理的便利性，进行合理紧凑的总体布置。功能单元应清晰划分，核心处理区可包含中和、沉淀、过滤等设施；辅助设施区可包含加药、监测等用房；污泥处置区应独立设置压滤、暂存等设施。应做到总体布局合理，功能单元清晰。

5.2.2 矿尾水处理设施的高程布置需结合原有地形，充分利用原有地形，确保排水通畅、能耗最低且土石方平衡。多单元处理系统宜利用自然坡度设计，采用重力流形式；确需提升时，提升作业宜一次完成，以节约能耗。

5.2.3 处理设施规划布局宜预留备用土地面积，用于工艺升级、扩容和应急处理等。管线布设需预留安全检修通道，通道宽度宜不小于 1.2 米。

5.2.4 加药间、监测间、处理池等需定期进行物料补充的关键构建筑物和节点，须布置在车辆可达区域，避免人力长距离搬运。

## 6 设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 处理系统设计应遵循以下原则：分级控制原则，设置预处理、主处理和深度处理单元；处理达标后优先用于矿区生态补水或工业回用；宜设置应急处理设施和监测预警系统。

6.1.2 矿尾水处理设施的设计，宜考虑融合自动化监控与智慧管理平台，提升设施运行效能、可靠性与管理智能化水平。

### 6.2 设计水量

6.2.1 设计前应对所处理的废弃（退役）石煤矿矿区及周边开展现状调查和勘查，并根据已有的水文地质资料等，初步确定矿尾水水量的测算方法；在勘查过程中，应随着对废弃（退役）石煤矿矿区水文地质条件认识的深化逐步进行修正和完善。

6.2.2 矿尾水水量的测算应结合废弃（退役）石煤矿的地质、水文、排放方式等具体条件，选择合适方法。实际应用中宜采用多种方法结合、相互校核的方式，以提高测算结果的准确性与可靠性。

常用测算方法包括：

a) 直接测量法：在矿尾水集中排放口或污水汇集处安装流量计进行直接测量。该方法精度高，适用于有稳定、集中排放点的情形。

b) 间接计算法：通过分析矿区水文地质条件，计算降雨入渗量、地下水补给量、蒸发量等，结合排水系统数据进行估算。适用于排放点分散或无法直接安装测量设备的情形。

c) 经验估算法：参考地质条件、开采历史相似的废弃石煤矿排水量数据，结合本矿山实际情况进行测算与调整。可在前期评估或数据缺失时作为参考。

6.2.3 设计水量应依据实地测算数据，并结合可行性研究报告、环境影响评价报告等文件综合确定。若无明确数据时，可在分析废弃（退役）石煤矿区水文地质条件变化特征的基础上，参照《煤炭工业给水排水设计规范》（GB 50810）、《煤炭矿井防治水设计规范》（GB 51070）等规范中关于涌水量计算的相关原则与方法，通过参数修正确定设计水量。

6.2.4 设计水量应考虑雨季水量波动的影响，宜按测算最大日污水量 $\times 1.2$ 安全系数确定，同时应结合当地水文地质条件、历史降雨数据和工程经验等进行综合评估。

### 6.3 设计水质

6.3.1 矿尾水水质因矿区地质条件、水文条件不同而有较大的区别，具体水质宜实地监测确定，监测宜按《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T 91）等规定执行。

6.3.2 设计进水水质应依据实地监测数据，并结合可行性研究报告、环境影响评价报告等文件综合确定。无明确数据时宜按照《煤炭工业给水排水设计规范》（GB 50810）、《煤炭矿井防治水设计规范》（GB 51070）等的相关规定确定；若无条件实地监测，可参考同类地区的矿尾水监测数据或按下表（常规污染物）取值。

表1 设计进水水质参考浓度（日均值） 单位：mg/L

序号	项目	参考值
1	pH(无量纲)	2~5
2	COD <sub>cr</sub>	10~180
3	氨氮	1~20
4	总磷	0.02~2.0
5	总铁	3~80
6	总镉	0.04~1.0
7	总铜	0.05~5
8	总锰	0.05~5
9	总锌	0.8~20
10	SS	10~200
11	总砷	0.3~5

12	总镍	0.05~5
13	氟化物	0.2~15

#### 6.4 排放标准

6.4.1 处理后尾水宜优先资源化利用，其水质应满足工业中水回用、农田灌溉、道路喷洒等相应途径的水质标准要求。

6.4.2 处理后尾水向地表水体直接排放的，应满足国家和本地区污染物排放标准的限值要求，并符合受纳水体的水环境功能区划管理目标。具体应按《污水综合排放标准》（GB 8978）和《煤炭工业污染物排放标准》（GB 20426）等现行标准要求执行，其中污染物常规检测项目及限值可参考下表执行：

表2 污染物常规检测项目最高允许排放浓度（日均值） 单位：mg/L

序号	项目	排放限值
1	pH(无量纲)	6~9
2	COD <sub>cr</sub>	≤100
3	氨氮	≤15.0
4	总磷	≤0.5
5	总铁	≤7.0
6	总镉	≤0.1
7	总铜	≤0.5
8	总锰	≤2.0
9	总锌	≤2.0
10	SS	≤70
11	总砷	≤0.5
12	总镍	≤1.0
13	氟化物	≤10

#### 6.5 尾水收集

6.5.1 矿尾水的收集系统宜采用雨污分流制，雨水排放口与矿尾水分流设施应设置明显标识。

6.5.2 现有处理设施采用合流制污水收集系统的，有条件的宜改造为雨污分流制收集系统；暂时不具备雨污分流条件的，应采取截流、调蓄和预处理相结合的措施。

6.5.3 矿尾水收集管道（沟渠）的设计、建设除应符合《室外排水设计标准》（GB 50014）的有关规定外，还应符合《尾矿设施设计规范》（GB 50863）中防渗、抗腐蚀及抗震等相关要求。

6.5.4 矿硐、矿井等矿尾水集中产生处的污水收集，可通过管道（沟渠）集中引至矿尾水终端处理设施内。管道（沟渠）按规范要求设置一定的坡度，并宜每隔一定距离设清淤检查井防止淤积；高悬浮物矿尾水需在硐口、井口收集处设置格栅、沉砂池等预处理设施；

6.5.5 裸露开采区、矸石堆场等封场区域的散排污水，可采用盲沟或盲管与明沟相结合的方式进行全面收集，同步落实雨污分流措施，宜采用防渗膜等覆盖封场、径流截导与控制等工程措施。

6.5.6 矿尾水输送沟渠宜采用耐酸混凝土、HDPE（高密度聚乙烯）衬砌或其他有效的防腐措施；输送管道宜采用 HDPE 等耐腐蚀材质，特殊管段需采用金属管道的须内衬环氧树脂或采用 316L 不锈钢等耐酸合金材质，防止酸性矿尾水腐蚀。

## 6.6 尾水处理

6.6.1 矿尾水处理工艺的选择应因地制宜，综合考虑处理水量水质、地理条件、经济水平、污水去向、土地资源和自然气候条件等因素，应优先选择经济实用的处理技术，确保技术上可行、运行上稳定、管理上简便。

6.6.2 矿尾水处理工艺的选择主要根据水质特性与现场条件，高污染废水及场地条件受限的宜采用高效稳定的化学药剂中和法等处理方法；对出水水质要求高且管理技术条件成熟的可采用硫化物沉淀法等处理方法；对于水量小、酸性弱的废水，且有充足土地，可适用天然碱性滤料中和法等处理方法。

6.6.3 各项技术实施前需开展技术适用性和经济可行性分析，需充分考虑建设改造和后期运维成本。处理工艺的选择可参照附录 A 推荐的流程，其技术细节可参见附录 B。

## 6.7 污泥处理处置

6.7.1 污泥处理与处置应遵循减量化、稳定化、无害化、资源化的原则，根据当地条件选择适宜的污泥处理设施与处置方法。

6.7.2 矿尾水处理设施所产生的污泥应先按《危险废物鉴别技术规范》（HJ 298）、《危险废物鉴别标准 通则》（GB 5085.7）鉴别属性后再按《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597）、《危险废物填埋污染控制标准》（GB 18598）和《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599）的相关规定，合理利用或安全处置。对于无法立即鉴别的，应按疑似危险废物进行管理。

6.7.3 污泥脱水方式应根据矿尾水处理工艺类型、设施产泥方式、劳动定员等因素，经比选后选取。当采用天然碱性滤料中和氧化沟、人工湿地等生态处理工艺，且经评估当地降雨量、蒸发量等气候条件适宜时，宜采用干化床干化方式。采用该方式必须同步做好防雨、防渗处理，并设置渗滤液收集与有效处理设施，防止污染土壤和地下水。

6.7.4 在污泥运输过程中，应保证安全，严禁造成二次污染。

## 7 施工与验收

### 7.1 一般规定

7.1.1 项目施工前需完成地质勘察与水质检测，明确矿山尾水特性及处理需求。

7.1.2 矿尾水处理设施的建设改造施工，应严格遵守国家及地方有关建设工程法律法规。符合法定招标条件的项目，应依法履行招投标程序，并办理施工许可等必备手续。所有建设活动均应落实环境保护、安全生产与工程质量控制要求。

7.1.3 施工单位应按照设计文件和施工组织设计进行施工，对必要的工程变更应取得设计单位出具的有效变更文件后，再行施工。

7.1.4 设施的施工应遵守国家有关建设工程安全生产管理的法律法规，并应符合《建设工程施工现场供用电安全规范》（GB 50194）等国家现行有关标准的规定。

7.1.5 施工过程中应落实安全文明施工措施，遵守环境保护法律法规，采取有效降尘、降噪及废弃物管理手段，减少对环境的影响。

7.1.6 对于改造项目应合理安排施工顺序，结合即有和新增污水处理工艺、设施等，保证现有设施安全运行和达标处理，不能正常运行和处理的，应采取备用（临时）设施等措施，保证矿尾水处理设施不停产或出水水质标准不降低。

## 7.2 施工

7.2.1 构筑物的施工应符合现行国家标准《给排水构筑物工程施工及验收规范》（GB 50141）的相关规定。

7.2.2 工程所用主要原材料、半成品、构配件及设备应符合设计及国家、行业相关标准要求，进场后须按规定抽样检验，报验合格后方可使用。

7.2.3 施工过程中，应做好设备、材料、隐蔽工程和分项工程等中间环节的质量验收，隐蔽工程应经过中间验收合格后，方可进行下一道工序施工。

7.2.4 污水处理池体和设备等应严格按设计标高和规范施工。机械设备等需做水平校准，药剂投加系统需联动调试。金属部件需防腐处理，验收时进行 72 小时负荷试运行。

7.2.5 矿尾水处理构筑物、混凝土结构工程、管道工程的施工，以及设备安装等均应符合相关技术规范与规定。

## 7.3 验收

7.3.1 施工单位按照设计文件和合同约定的内容及施工图纸的要求，完成全部项目建设内容，并在设备、工艺调试完成后，方可提出竣工验收申请。

7.3.2 矿尾水处理设施应进行整体运行验收。验收前，设施应已完成连续稳定试运行，且试运行期不宜少于 30 天。稳定试运行应满足以下条件：

- a) 处理水量达到设计规模的75%及以上；
- b) 进水水质主要指标在设计范围内波动；
- c) 出水水质持续满足设计及排放标准要求。

7.3.3 验收需提交运行日志、药剂消耗记录、性能考核合格文件及 CMA 认证的水质检测报告。

7.3.4 矿尾水处理设施工程的施工与验收应遵守《建筑与市政工程施工质量控制通用规范》(GB 55032)有关规定。构筑物的施工与验收应执行《给水排水构筑物工程施工及验收规范》(GB 50141)有关内容。管道的施工与验收应执行《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268)有关内容。设备的安装施工应执行《城镇污水处理厂工程施工规范》(GB 51221)有关内容,其验收应执行《城镇污水处理厂工程质量验收规范》(GB 50334)有关内容。

## 8 运行与维护

- 8.1 有条件的地区宜将矿尾水处理设施委托第三方单位进行专业化运维管理。
- 8.2 运维管理人员应通过相关业务培训,熟悉矿山尾水处理工艺流程、相关设施运行操作的基本要求。
- 8.3 应建立健全运维台账规章制度,资料应包括设施基础资料和运行管理资料,资料应完整、准确、客观并有专人负责保管。
- 8.4 运维管理人员应遵守岗位职责,如实填写运行记录、交接班记录,主要包括:
  - a) 设备启动、运行时间;
  - b) 运行工艺控制参数;
  - c) 药剂的投加情况;
  - d) 主要设备运行及维修情况。
- 8.5 矿尾水处理设施运行过程中,应对各处理单元的关键控制参数进行定期监控与记录,以确保工艺稳定、高效运行。
- 8.6 运维管理人员应定期对相关设备进行保养、检查和清扫,预防设施、设备发生功能障碍和故障。
- 8.7 运维管理人员应加强运行巡视,及时处理运行过程中出现的各种故障与技术问题。
- 8.8 非操作人员不得擅自启动、关闭处理设备。
- 8.9 需定期对矿尾水各处理构筑物进行检修维护、对构件进行防腐处理等。
- 8.10 对各类设备、电气及仪表等应定期进行检查和维护。
- 8.11 应编制事故应急预案,包括环境风险突发事故应急预案,配备应急处置所需的人力、设备等资源。
- 8.12 矿尾水处理设施出现异常情况时,需及时分析,构成重大事故时,须启动应急预案,并按应急预案中规定向有关部门报告。
- 8.13 日常运维产生的污泥应进行脱水处理。宜优先采用机械脱水,当不具备条件时,可采用干化床等自然脱水方式。脱水后污泥含水率应满足后续运输、处置等要求。脱水后的污泥应进行重量或体积计量,并做好记录,作为转运处置的依据。

## 9 水质监测

- 9.1 矿尾水处理工程宜按尾水资源利用方式、排放去向，以及工艺设计和运行管理等要求设置相应的监测系统。
- 9.2 需定期对矿尾水处理设施进、出口定期进行水质监测，每季度至少监测 1 次，并宜符合国家和地方有关政策和要求。当进水水质或水量发生显著变化或工艺进行调整时，应增加监测频次。
- 9.3 矿尾水处理设施排放水污染物监测分析方法参照《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T 91）等规定执行。

附录 A  
(资料性附录)

矿尾水处理推荐工艺流程

表 A.1 矿尾水处理推荐工艺流程

处理技术	典型工艺流程	技术特点和适用条件
天然碱性滤料中和+人工湿地	废水→沉砂→碱性滤料中和(中和氧化沟)→沉淀→人工湿地→出水	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 该方法操作简便,易于管理;</li> <li>2. 中和氧化沟法动力损耗小,处理成本低廉;</li> <li>3. 废水流量较大时会出现石灰石溶解速率过慢,容易钝化等</li> <li>4. 氧化沟和人工湿地土地占用面积相对较大;</li> <li>5. 适用于地形有一定坡度,土地面积宽裕,可依地势建设,水量相对稳定的矿尾水。</li> </ol>
化学药剂中和法	废水→沉砂→一级中和(粗调)→沉淀→二级中和(精调)→沉淀→出水	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 对水质水量适应性强,对重金属离子去除率高、适用范围广;</li> <li>2. 工艺流程短、设施设备简单、占地面积较省,但药剂价格高运行成本高;</li> <li>3. 处理后出水浊度较高,污泥量大,污泥综合回用和处置难度大;</li> <li>4. 适用于处理酸性较强、高铁高锰废水。</li> </ol>
硫化物沉淀法	废水→沉砂→除酸除铁(可选)→硫化→沉淀→中和→沉淀→出水	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 该技术方法沉渣量少含水率低,可回收有价金属;</li> <li>2. 当废水 pH 过低或铁浓度过高时,应在硫化前先进进行除酸除铁;</li> <li>3. 硫化法生成的金属硫化物溶解度小处理效果较好;</li> <li>4. 反应过程会产生有毒气体硫化氢,需进行收集并处理。</li> </ol>
物化+膜处理法	废水→沉砂→中和→沉淀→出水预处理→多介质过滤→超滤→反渗透或纳滤→出水	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 该工艺处理出水水质好,能达到工业循环水水质标准;</li> <li>2. 对浓水须另行采用中和、重金属吸附等处理,设施复杂,处理成本高;</li> <li>3. 具有分离效率高等优点</li> <li>4. 适用于严格控制重金属废水外排或对回用水质要求较高的矿区</li> </ol>

**附录 B**  
**(资料性附录)**  
**矿尾水常用处理技术**

### B.1 天然碱性滤料中和法

B.1.1 天然碱性滤料中和法的基本原理是向酸性矿尾水中投入石灰石、白云石或贝壳类等天然碱性物质，通过酸碱中和反应以降低废水的酸度，同时使金属离子在碱性条件下生成氢氧化物沉淀得以去除。该方法是目前最常用的一种酸性矿山废水处理技术。

B.1.2 天然碱性滤料中和法多采用无动力自流型工艺，该工艺相对反应速率较慢，受滤料表面积、水流接触时间和 pH 条件等限制，其成运行本低，适用于酸度较低（pH 通常  $>3.0$ ）、重金属浓度中等（总铁宜  $<200$  mg/L）、流量稳定或较小的场景。

B.1.3 天然碱性滤料粒径的选用应根据处理系统类型进行选择。对于无动力自流型工艺，代表性工艺包括石灰石氧化沟、渗滤床等，宜采用 20~50mm 的粗颗粒滤料，其特点为中和反应稳定，无需持续人工干预和外部能源输入，但中和效率相对较低。对于动力驱动型工艺，典型如流化床反应器等，宜采用粒径小于 3mm 的细颗粒或粉末滤料，其特点为反应速度快，但存在易板结、能耗高及技术要求复杂等问题。

B.1.4 当选用无动力自流型工艺时，宜采用两级中和工艺（一级粗调 pH 至 4~5，二级精调至 6~7），中和工艺段应配套清泥排泥设施。

B.1.5 天然碱性滤料中和法宜控制适当的溶解氧（DO）浓度和停留时间（HRT）。低氧环境会抑制  $Fe^{2+}$  氧化为  $Fe^{3+}$ ，减少氢氧化铁沉淀对滤料的包裹。水力停留时间通常需 12~48 小时，需根据矿尾水酸度进行调整。

B.1.6 中和处理过程中产生的硫酸钙（ $CaSO_4$ ）和金属沉淀物（ $Fe(OH)_3$ ）等易在石灰石等碱性滤料表面形成结垢，需定期进行反冲洗或机械清理。废水处理中产生的金属氢氧化物沉淀物会生成胶体沉淀，会对中和滤料造成堵塞等，应增设沉淀池等进行预处理。

B.1.7 天然滤料中和处理后出水 pH 通常在 6~7，若需更高碱性和处理效果，后续工序需增设补充石灰或液碱（氢氧化钠）等，推荐采用“石灰石预处理+液碱等精调”的阶梯工艺，兼顾成本与效果。

B.1.8 需定期检测天然碱性滤料的消耗，当滤料厚度减少超过 30%时，必须及时进行补充。对失效滤料应定期清理出系统，并采取安全填埋等处置措施。

### B.2 化学药剂中和法

B.2.1 化学药剂中和法通常是向矿尾水中投加碱（如  $NaOH$ 、 $Ca(OH)_2$ ）等直接快速中和酸性矿尾水，反应可瞬时完成，但需精确控制投加量。

B.2.2 本工艺对水质范围适应性较广，尤其适用于高酸度（pH 可  $<2.0$ ）、高重金属浓度、大流量或水质波动大的矿尾水应急与主体处理。

B.2.3 中和反应单元宜设置机械搅拌等装置，确保药剂与污水充分接触，避免局部过碱生成沉淀堵塞设备或未反应区域残留酸性。中和反应时间宜不小于 1h。

B. 2.4 宜优先选用氢氧化钠（液碱）作为中和药剂，浓度应根据 pH 自动调节系统精准投加，避免过量或不足破坏后续处理工艺或超标排放。

B. 2.5 中和产生的金属氢氧化物污泥需及时分离脱水，明确危废属性并合规处置，防止重金属二次污染。

### B. 3 硫化物沉淀法

B. 3.1 硫化物沉淀法通过投加硫化剂（如  $\text{Na}_2\text{S}$ ），使酸性矿尾水中的铁离子和重金属离子（ $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$  等）生成难溶性硫化物（ $\text{FeS}$ 、 $\text{CuS}$ 、 $\text{PbS}$ ）沉淀去除。

B. 3.2 本工艺适用于需选择性深度去除或回收特定重金属离子（如  $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$  等）的场合，对低浓度（0.1~100 mg/L 级）处理尤为有效。

B. 3.3 该法常用硫化剂有硫化钠（ $\text{Na}_2\text{S}$ ，溶解快）、硫化氢钠（ $\text{NaHS}$ ，高效）、硫化亚铁（ $\text{FeS}$ ，温和）和硫化钙（ $\text{CaS}$ ，经济）等，具体需根据水质特性进行选择。

B. 3.4 硫化剂投加量需根据酸性矿尾水中重金属离子浓度按化学计量比计算（如  $\text{Cu}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{CuS}$ ），投加用量宜为理论值的 1.0~1.4 倍，宜采用氧化还原电位（ORP）进行在线监测控制和精准投加以确保反应完全，同时避免过量投加导致残余硫超标。

B. 3.5 反应的最佳 pH 范围通常控制在 6.0~9.0，过低（ $\text{pH} < 4$ ）易产生  $\text{H}_2\text{S}$  气体，过高（ $\text{pH} > 9$ ）可能导致氢氧化物共沉淀。各操作工序应做好相关安全防护措施。

B. 3.6 硫化物沉淀法处理后的矿尾水中残留的总硫应达到相应的排放标准或回用水质标准。

### B. 4 人工湿地法

B. 4.1 人工湿地可通过过滤、吸附等作用将矿尾水中的悬浮物截留并沉积在基质中，通过水解、氧化、离子交换和微生物分解等作用使金属离子形成沉淀等而得到去除。

B. 4.2 人工湿地通常不单独使用，宜作为二级处理后的补充或深度处理工艺，可进一步去除污染物并提升出水水质。若因特殊工况需单独使用，必须进行专项论证。设计时需结合场地条件，综合评估土地面积等因素，确保设计科学合理。

B. 4.3 人工湿地进水宜控制在：pH 宜长期稳定在 5.5~8.0，瞬时冲击亦不得超过此范围；重金属浓度宜低， $\text{Fe} < 10 \text{ mg/L}$ ， $\text{Mn} < 2 \text{ mg/L}$ ， $\text{Al} < 5 \text{ mg/L}$  等，过高会直接毒害植物根系与微生物群落。

B. 4.4 人工湿地进水悬浮物不宜超过 60mg/L。当进水悬浮物  $> 60 \text{ mg/L}$  时，应在进入湿地前设置沉淀池去除悬浮物。

B. 4.5 人工湿地的设计应执行《人工湿地污水处理工程技术规范》（HJ2005）的规定，并根据实际情况因地制宜进行设计和运行。设计时应首先确定待处理矿尾水的水量和水质，根据实际的地质、地貌、气候等自然条件选择合适的人工湿地类型，然后根据相应的湿地类型进行设计。

B. 4.6 表面流人工湿地的水力负荷宜  $< 0.2 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，潜流人工湿地宜  $< 0.5 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，垂直流人工湿地宜  $< 1.0 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

B. 4.7 人工湿地设计时应尽量采用重力流布水方式，以保证排水顺畅，节省能耗。

B.4.8 人工湿地填料宜为石灰石、砾石、碎石等。人工湿地水生植物宜采用香蒲、芦苇、灯心草等耐酸性植物。

## B.5 膜处理法

B.5.1 膜法处理适用于对出水水质要求高、需回用或实现超低排放的情形。工艺选择前必须进行详尽的水质检测与膜兼容性试验，评估结垢、污染与化学耐受等风险。具体设计选用等可参考《膜分离法污水处理工程技术规范》（HJ 579）的规定。

B.5.2 膜法处理系统一般宜作为深度处理单元，置于沉淀、过滤等常规预处理工艺之后，以确保进水水质满足膜元件要求，有效保障膜寿命与运行稳定性。

B.5.3 一般宜选用耐污染、抗酸碱性强的膜材料，如聚偏氟乙烯（PVDF）。根据去除目标和出水水质要求可选择微滤（MF）、超滤（UF）、纳滤（NF）或反渗透（RO）等不同精度的膜工艺及其组合。

B.5.4 进入膜处理系统的进水指标一般需要严格控制，超滤系统浊度应小于 5 NTU，反渗透系统浊度应小于 1 NTU，并根据水质投加适量阻垢剂、消毒剂或还原剂，防止膜表面结垢、生物污染与氧化损伤。

B.5.5 设计和选用膜处理技术时宜留有一定的膜通量安全余量、自动化化学清洗装置与产水回收率调节功能等。回收率设定需通过试验确定，避免浓缩液结垢。

B.5.6 必须同步设计和配置膜浓缩液的安全处置设施，浓缩液需处理至达标排放或返回矿区回用等水质标准要求，防止二次污染。

B.5.7 日常运行需定期监控跨膜压差、产水量与脱盐率等变化情况，定期进行化学清洗，建立膜元件性能档案，根据性能衰减情况及时更换膜组件。

B.5.8 膜系统化学清洗单元应设置安全防护措施，操作人员须经过培训，规范使用酸、碱等化学品，并应做好个人防护与应急处理。