

团 体 标 准

T/CAQI XXX-2024

矿坑疏干水人工湿地处理工程技术规范

Technical Code for Wetland Engineering Construction to Treat Mine Drainage Water

(征求意见稿)

2024 - XX - XX 发布

2024 - XX - XX 实施

中国质量检验协会 发布

目 次

前言.....	2
1 范 围.....	3
2 规范性引用文件.....	3
3 术语和定义.....	4
4 总体设计.....	5
5 预处理工艺.....	6
6 工程设计.....	6
7 主要辅助工程.....	9
8 施工与验收.....	9
9 运行与管理.....	10

前 言

本文件按 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由中国质量检验协会归口。

本文件起草单位：中国水利水电科学研究院、青岛中质脱盐质量检测有限公司等。

本文件起草人：

本文件为首次发布。

矿坑疏干水人工湿地处理工程技术规范

1 范围

本标准规定了矿坑疏干水人工湿地处理工程的总体设计、预处理工艺、工程设计、主要辅助工程、施工与验收、运行与管理。

本标准适用于新建、改建和扩建矿坑疏干水人工湿地处理工程的设计、施工、验收和运行管理。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。

凡是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 18918 城镇污水处理厂污染物排放标准

GB/T 18920 城市污水再生利用 城市杂用水水质

GB/T 18921 城市污水再生利用 景观环境用水水质

GB/T 19772 城市污水再生利用 地下水回灌水质

GB/T 19923 城市污水再生利用 工业用水水质

GB 20922 城市污水再生利用 农田灌溉用水水质

GB/T 25499 城市污水再生利用 绿地灌溉水质

GB 50003 砌体结构设计规范

GB 50010 混凝土结构设计规范

GB 50011 建筑抗震设计规范

GB 50013 室外给水设计标准

GB 50014 室外排水设计规范

GB 50015 建筑给水排水设计标准

GB 50016 建筑设计防火规范

GB 50034 建筑照明设计标准

GB 50052 供配电系统设计规范

GB 50053 20kV 及以下变电所设计规范

GB 50054 低压配电设计规范

GB 50069 给水排水工程构筑物结构设计规范

GB 50140 建筑灭火器配置设计规范
GB 50141 给水排水构筑物工程施工及验收规范
GB 50203 砌体结构工程施工质量验收规范
GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
GB 50231 机械设备安装工程施工及验收通用规范
GB/T 50252 工业安装工程施工质量验收统一标准
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
JGJ 79 建筑地基处理技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 矿坑疏干水

在采煤过程中从煤层中涌出的水，包括矿井开采时产生的地表渗透水及地下含水层的水，含有砂泥颗粒、粉尘、溶解盐、酸和碱、煤炭颗粒、油脂等污染物。

3.2 人工湿地

人为模拟天然湿地系统结构和功能而建造的、可人工控制运行的湿地系统，由围护结构、防渗系统、填料、水生植物及集配水系统等部分构成，利用填料、植物、微生物的三重协同作用对受污染水进行处理的一种工艺。

根据水的流态，分为表面流人工湿地和潜流人工湿地，潜流人工湿地进一步分为水平潜流人工湿地和垂直潜流人工湿地。

3.3 表面流人工湿地

水在填料表层以上，从池体进水端水平流向出水端的人工湿地。

3.4 潜流人工湿地

水在填料中流动，从湿地池体一端进入，沿填料孔隙流向出水端，经填料表面吸附阻截、植物同化吸收以及系统中微生物的降解等作用，使水质得以净化的人工湿地。

3.5 水平潜流人工湿地

水在人工湿地填料层表面以下流动，从池体进水端水平流向出水端的人工湿地。

3.6 垂直潜流人工湿地

水以垂直流方式通过池体中填料层的人工湿地。水流方向可以从填料顶部流至底部（垂直下行流）或者从底部流至顶部（垂直上行流）。

3.7 填料

为人工湿地植物与微生物提供生长环境并对污染物起过滤、阻截、吸附等作用的填充材料，如除磷填料、生物填料、砂砾、沸石、石灰石、页岩、陶粒等。

3.8 水力坡度

水在人工湿地内沿水流方向单位渗流路程长度上的水位下降值。

4 总体设计

4.1 基础资料调查收集

4.1.1 调查收集满足人工湿地工程设计要求的气象、水文、地质等基础资料和地形图、排水管网或排水管道图等图纸及测量资料。

4.1.2 收集人工湿地工程所在矿区总体发展规划及现状资料，矿坑疏干水水质、水量和排放资料，人工湿地出水接纳水体的水文、水质资料等。

4.2 场址选择

4.2.1 应符合矿区总体发展规划和生态环境保护规划的要求，并综合考虑交通、土地权属、土地利用现状、发展扩建、再生水回用等因素。

4.2.2 应选择离矿坑疏干水排放口较近或便于回用的地点。

4.2.3 应优先考虑自然坡度为 0~3.0%的洼地、荒地或坑塘等经济价值较低、便于利用的土地进行建设，并充分利用原有地形，高程设计应与建造地点的地势相一致。

4.2.4 考虑洪水、内涝的威胁，人工湿地设计应满足相应的防洪标准、除涝标准。

4.3 总平面布置

4.3.1 充分利用场地环境条件，按照使用功能和流程要求，构筑物的布置应紧凑、合理，构筑物间距应满足施工、设备安装、填料装填及日常管理的要求。

4.3.2 应满足排水通畅、降低能耗的要求，系统内水流应优先采用重力流，需提升时，宜一次提升。

4.3.3 应结合湿地植物配置、景观设施建设，形成与周围环境协调、自然的湿地风貌。

4.3.4 总平面布置应考虑近远期结合，有条件的地方可按远期规划水量布置，分期建设。人工湿地系统内道路可建在单体与单体之间的堤坝上，各单体间应通过道路连通。

4.3.5 办公室、化验室、管理房等附属构筑物，应布置在夏季主导风向的上风向。

5 预处理工艺

5.1 矿井疏干水分类及特征

矿坑疏干水基本水质与当地地下水水质类似，在煤炭开采过程中，与煤层、岩层接触，加上人类活动的影响，混入了煤粉、岩屑、机械油污、生活垃圾等使得矿坑疏干水发生了一系列物理、化学和生化反应，其水质发生变化。通常根据矿坑疏干水所含污染物的特征，将矿坑疏干水分为洁净矿坑疏干水、高悬浮物矿坑疏干水、酸性矿坑疏干水、高矿物矿坑疏干水和含特殊污染物矿坑疏干水等。

5.2 含悬浮物矿坑疏干水处理

含悬浮物矿坑疏干水中悬浮物成分主要是煤粉，根据悬浮物的特性，常用的处理工艺有混凝、沉淀、过滤的方法。

5.3 酸性矿坑疏干水处理

酸性矿坑疏干水处理方法主要由中和法、生物化学法、稀释法。其中，中和法常用的中和剂有碱石灰、消石灰、白云石、高炉渣、烧碱等。生物化学方法是利用氧化亚铁硫杆菌将二价的铁离子转化为三价铁离子，再加入碱性物质将三价铁离子转换成氢氧化三铁沉淀。稀释法是将非酸性水冲淡酸性矿石水达到稀释其酸性的作用。

5.4 高矿物矿坑疏干水处理

高矿物矿坑疏干水处理关键是脱盐。常用的方法是膜处理法。膜处理法又包括电渗析法和反渗透法。电渗析脱盐是以直流电场为动力，利用离子交换膜的选择透过性，将含盐水中的溶质和溶剂分离的一种物理化学处理过程。

5.5 含特殊污染物矿坑疏干水处理

含氟矿坑疏干水处理方法主要有氧化铝吸附法、膜分离法、絮凝沉淀法等。对含重金属离子矿坑疏干水的处理主要采用化学方法将重金属离子转变成难溶解的化合物程度，或者通过膜法或蒸发浓缩法施行重金属离子和水分子的分离。

6 工程设计

6.1 设计水量和水质

6.1.1 人工湿地设计水量应根据矿坑疏干水的实际外排水量确定，应结合可利用土地面积，考虑处理规模的近、远期变化。

6.1.2 人工湿地出水用作再生回用水时，出水水质应符合 GB 20922、GB/T 19923、GB/T 18920、

GB/T 18921、GB/T 19772、GB/T 25499 等相关要求。

6.2 工艺选择

6.2.1 人工湿地工艺选型应根据进、出水水质和处理水量，综合考虑各类型人工湿地的特点、工程用地和投资等因素，通过技术经济比选确定最佳方案。

6.2.2 根据预处理工艺后进入湿地的水质情况和出水水质要求，应在人工湿地系统前端设置水质调节池、生物氧化池、生态滞留塘、挺水植物过滤区等预处理设施，在人工湿地系统后端设置强化除磷、消毒等后处理设施。

6.2.3 人工湿地去除有机物时，应根据进水水质特征、出水水质要求和实际用地状况，合理选择组合表面流人工湿地、水平潜流人工湿地或垂直潜流人工湿地；人工湿地去除氨氮（ $\text{NH}_3\text{-N}$ ）时，应采用垂直下行流人工湿地；人工湿地去除总磷（TP）时，应选择垂直上行流人工湿地，也可在人工湿地后端设置 TP 强化处理设施。

6.2.4 人工湿地出水消毒方式应根据出水排放去向或回用途径确定。

6.3 工艺设计

6.3.1 主要工艺设计参数应根据试验资料确定。

6.3.2 应根据处理水量的大小合理确定处理单元数，一般不应少于平行两组。

6.4 集配水方式

6.4.1 表面流人工湿地

6.4.1.1 人工湿地单元进水口应根据湿地形状合理选择布水方式，应采用多点进水或溢流堰进水，如穿孔管、穿孔墙、配水堰等装置，保证配水均匀。

6.4.1.2 穿孔管的长度应与人工湿地单元的宽度一致，管孔密度应均匀，相邻孔距应按湿地宽度的 10% 确定，不应大于 1 m，且孔径应为 2 cm~3 cm。

6.4.1.3 穿孔墙应设置于床面以下，长度略小于人工湿地单元的宽度，开孔率应为 30%，孔径和间距取决于水的流量、流速及进水的水力学特性。

6.4.1.4 配水堰应采用三角堰、梯形堰及矩形堰，配水堰的形式和尺寸应根据进水的流量及水力学特性进行选择。

6.4.1.5 人工湿地集水应均匀，宜采用穿孔管，出水宜设置可旋转弯头或其他水位调节装置。

6.4.1.6 人工湿地出水应设置排空阀等排空设施。

6.4.2 潜流人工湿地

6.4.2.1 人工湿地进出水系统应设置进出水闸、阀、堰进行流量控制，保证配水和集水的均匀性、可调控。

6.4.2.2 应根据植物生长需要、水力停留时间和湿地单元的维护等因素确定湿地水位，在出水

处设置旋转弯头、控制阀门等装置以确保水位可调。

6.4.2.3 人工湿地应采用多点配水，可采用穿孔花墙、并联管道、穿孔管等方式均匀配水。

6.4.2.4 穿孔花墙的开口比应为 30%，孔口流速不应大于 0.2 m/s。

6.4.2.5 人工湿地集水应均匀，宜采用穿孔管，集水管流速不应小于 0.8 m/s，集水孔宜斜向下 45°交错布置，孔口直径宜为 2cm~3cm。

6.4.2.6 穿孔管周围填料的粒径应大于穿孔管孔径。

6.4.2.7 人工湿地各单元应设置排空阀等排空设施。

6.5 填料设计

6.5.1 人工湿地填料应选择机械强度高、比表面积大、稳定性好、具有合适孔隙率及粗糙度、取材方便、价格低廉的材料，兼顾当地资源条件，选用石灰石、砾石、矿渣、蛭石、沸石、砂石等。

6.5.2 人工湿地填料应达到设计要求的粒径范围，有效粒径比例不宜小于 80%。

6.5.3 人工湿地填料应选用多种材料不同配比、填料粒径大小及正反级配组合，增强净化效果，减缓堵塞。

6.5.4 人工湿地填料应根据污染物处理要求的不同，选择使用功能性填料。湿地出水水质对 TP 要求较高时，应使用含钙、镁较为丰富的高炉渣、粉煤灰、聚合氯化铝残渣、陶粒等具有吸磷功能的材料强化除磷，也可使用包裹铁粉、麦饭石、膨润土、骨料等的填料强化除磷；出水水质对 NH₃-N 要求较高时，应使用沸石、硅石、陶粒、粉煤灰、钢渣、附载复合微生物菌剂的陶粒、沸石、硅石等材料强化除氮；出水水质考虑总氮（TN）时，应填充缓释碳源填料或自养反硝化填料。

6.6 植物选配

6.6.1 人工湿地应选用移栽后成活率高、根系发达、耐污去污能力强、抗冻及抗病虫害能力强、综合效益高、容易管理的本土植被，谨慎选择外来入侵物种。

6.6.2 人工湿地的植物应根据植物的去污特性、生长周期、景观效果等由一种或几种植物搭配构成。

6.6.3 应根据人工湿地水深和湿地类型合理配置植物，表面流人工湿地可选择芦苇、菖蒲、水葱等挺水植物；潜流人工湿地应选择芦苇、水芹、水葱、香蒲、千屈菜、菖蒲、风车草、鸢尾等挺水植物。

6.6.4 人工湿地植物的种植应包括根幼苗移植、种子繁殖、收割植物的移植及盆栽移植等，植物栽种初期要保证其成活率，应根据植物生长特性确定种植时间，宜为春季；为提高低温季节净化效果，人工湿地植物应采取一定的轮作方式，秋冬季节可种植黄花鸢尾、水葱、水芹、西伯利亚鸢尾等具有耐低温性能的植物。

6.6.5 人工湿地植物的种植密度应根据植物种类与工程要求进行调节，挺水植物宜为 10 株

/m²~25 株/m²，浮水植物宜为 3 丛/m²~9 丛/m²，沉水植物宜为 9 丛/m²~25 丛/m²。

6.6.6 人工湿地植物种植时应保持介质湿润，生长初期池内应保持一定水深，逐步增大水力负荷使其驯化以适应处理水质的需要。

6.7 防渗设计

6.7.1 人工湿地应在底部和侧面进行防渗处理，防渗层的渗透系数应不大于 8-10m/s。

6.7.2 当原有土层渗透系数大于 8-10m/s 时应构建防渗层，防渗材料应根据当地的实际情况选取，优先选取复合土工膜（两布一膜）。

6.7.3 人工湿地内穿墙管、穿孔管、穿孔墙等处应作防渗局部处理。

6.7.4 人工湿地应根据进水水质和土壤渗透系数进行防渗设计。

6.7.5 在施工时应尽量保持原土层，在原土层上采取防渗措施。

6.7.6 防渗层完工后应进行渗透试验。

7 主要辅助工程

7.1 电气系统

7.1.1 供电方式应根据用电要求，与当地电力部门协商确定。

7.1.2 供配电设计应符合 GB 50052 和 GB 50053 相关要求。

7.1.3 低压配电设计应符合 GB 50054 相关要求。

7.1.4 照明设计应符合 GB 50034 相关要求。

7.2 给水、排水和消防

7.2.1 应有可靠的供水水源和完善的供水设施，给水设计应符合 GB 50013 和 GB 50015 相关要求。

7.2.2 排水设计应符合 GB 50014 相关要求。

7.2.3 消防设施设计应符合 GB 50016 和 GB 50140 相关要求。

7.3 土建与结构

7.3.1 围护应采用土堤、钢筋混凝土挡墙或砌筑挡墙结构，条件允许时应优先选用土堤。

7.3.2 人工湿地池体采用原土结构时应根据土质确定放坡坡度，且不得陡于 45°。

7.3.3 建（构）筑物结构设计应符合 GB 50003、GB 50010 和 GB 50069 等相关要求。

7.3.4 建筑物抗震等设计应符合 GB 50011 等相关要求。

8 施工与验收

8.1 工程施工

8.1.1 施工单位应具有相应的施工资质，施工过程应符合国家及地方有关标准和规范要求。

8.1.2 施工单位应采取有效的污染控制措施及安全技术措施。

8.1.3 施工中使用的设备、材料、器件等应有产品合格证，设备与器材在安装前应进行完好性和完整性检验。

8.1.4 管道工程、混凝土结构工程、砌体结构工程、构筑物工程的施工，应符合 GB 50268、GB 50204、GB 50203 和 GB 50141 等相关标准要求。

8.1.5 施工前期准备应清除场地内的障碍物，平整场地。

8.1.6 开挖基坑应按照一定的角度放坡，采用机械开挖与人工修整相结合的施工方法，基坑上平面周边布设草坪稳定基坑周边土方。潜流人工湿地周边护坡应采用夯实的土壤构建，夯实过程应满足 JGJ 79 相关要求。

8.1.7 防渗层下方的基础层应平整、压实、无裂缝、无松土，表面应无积水、石块、树根和尖锐杂物。

8.1.8 填料铺设过程中应从选料、洗料、堆放、撒料四个方面加以控制，对填料进行级配、清洁，保证填筑材料的含泥（砂）量和填料粉末含量符合设计要求值。

8.1.9 采用穿孔管进行集配水时，在施工中应注意对穿孔管的保护，不应损坏穿孔管。

8.2 工程验收

8.2.1 人工湿地工程验收应按建筑工程质量验收、设备安装工程单机及联动试运转验收、植物栽种验收、环保验收、竣工验收的程序进行。

8.2.2 土建工程质量验收应符合 GB 50334、GB 50268、GB 50141 相关要求。

8.2.3 设备安装工程质量验收应符合 GB/T 50252、GB 50231、GB 50334 相关要求。

8.2.4 植物栽种验收内容应包括植物种类、规格、栽种量、栽种密度、生长情况和养护情况等，并填写植物生长状况表。

8.2.5 环保验收在试运行结束之后进行，试运行时间 6 个月以上，环保验收应执行《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的规定。

8.2.6 在各单项验收后进行人工湿地工程竣工验收，工程竣工验收由建设单位负责组织实施，由参与工程建设的勘察、设计、施工、监理等单位共同参与。

8.2.7 工程竣工验收合格后，人工湿地方可投入正式使用。建设单位应在规定期限内，将项目前期、勘察、设计、竣工验收报告和有关技术资料文件立卷归档，向建设行政主管部门备案。

9 运行与管理

9.1 一般规定

9.1.1 应根据当地实际情况选择适宜的人工湿地管理模式，应委托第三方运营。

9.1.2 人工湿地运营单位应定期对人工湿地运行状况进行检测，并负责对植物、布水管道、填料、附属设施等进行管理和维护，保证人工湿地正常运行。

9.1.3 运行人员、技术人员及管理人员应进行相关法律法规、专业技术、安全防护、应急处理等理论知识和操作技能的培训。

9.1.4 运行管理人员应熟悉处理工艺和设施、设备的运行要求、技术指标以及安全操作规程。

9.1.5 应按照人工湿地系统运行维护手册进行后期维护和管理。

9.1.6 工程在运行前应制定设备台账、运行记录、定期巡视、交接班、安全检查、应急预案等管理制度。

9.1.7 工艺设施和主要设备应编入台账，定期对各类设备、电器、自控仪表及建（构）筑物进行检修维护。

9.1.8 工艺流程图、操作和维护规程等应示于明显部位。

9.2 水质水量监测

9.2.1 人工湿地进、出水口应根据实际需要安装水质在线监测设备。未安装水质在线监测设备的人工湿地，日常运行中应定期对湿地进、出水口流量、COD、NH₃-N、TP 等主要监测项目进行监测。

9.2.2 人工湿地运营单位应定期委托有资质单位对湿地进、出水口流量、水位、水温、溶解氧、pH 值、悬浮物、BOD₅、COD、NH₃-N、TN、TP 等项目进行监测，并出具监测报告，存档备案。

9.3 植物管理

9.3.1 人工湿地在种植植物后应充水，初期应进行水位调节。

9.3.2 植物系统建立后，应连续进水，保证水生植物的密度并良性生长。

9.3.3 应根据植物生长情况，进行分苗、缺苗补种、杂草清除等管理，不宜使用大量除草剂、杀虫剂等。

9.3.4 结合人工湿地内植物的生长特点，适时定期收割植物，按当地要求妥善处理，不应随意堆放。

9.4 低温运行管理

9.4.1 应采取预处理、人工曝气、延长水力停留时间等工艺强化措施，提高冬季湿地运行效果。

9.4.2 应通过植物优选、填料组配，增强冬季湿地净化效果。

9.4.3 低温运行时应对进、出水管采取防冻保温措施。可选择植物覆盖保温、温室大棚保温、塑料薄膜保温等保温措施；持续低温时也可降低运行水位，在冰层和水面间形成空气隔绝层，提高保温效果。

9.5 湿地防堵运行维护

9.5.1 控制进水中悬浮物的浓度，减轻人工湿地运行负荷，防止堵塞。

9.5.2 选择合适的配水及排水系统，设置人工湿地运行间歇期，促进湿地复氧，防止填料堵塞。

9.5.3 人工湿地单元应适当进行停床轮休、增加湿地复氧及微生物内源呼吸消耗。

9.5.4 应根据人工湿地实际运行情况，堵塞严重的处理单元可挖掘清洗局部填料或更换新填料。
