团体标准《金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术规程》（征求意见稿）编制说明

一、项目来源

根据广西标准化协会《关于下达2022年第十三批团体标准制定项目计划的通知》（桂标协〔2022〕36号）文件精神，由桂林理工大学提出，桂林理工大学、中山大学、广西师范大学、中国有色桂林矿产地质研究院有限公司、桂林嘉华环境科技有限公司、广西鼎联环保科技有限公司、桂林市环境保护科学研究所、桂林市荣嘉环保科技有限公司共同起草的团体标准《金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术规程》。

二、项目背景及目的意义

随着工农业生产的快速发展，废水的大量排放，中国的水污染状况日益严重。对水体造成污染的物质种类繁多，其中重金属对水体的污染及其危害已经引起广泛关注。近年来由于工业废水的大量排放，使得水体重金属污染问题日益严重。据华经市场研究中心发布的《2018-2022年污水处理市场深度解析及市场前景容量评估报告》显示，我国每年产生400 亿吨左右的工业废水，其中重金属废水约占60%。广西矿产资源丰富，素有“有色金属之乡”的美誉，分布着大量的锰矿、铅锌矿及其它有色金属矿。广西矿产资源的开发对广西经济发展起着举足轻重的作用，但由于管理不善和不适当地开发矿产资源等原因，导致重金属对矿区周围的土壤、水体及植被等造成严重污染。尾矿库防渗设计问题或管理问题是导致重金属污染的根源。如选矿后大量的废弃物堆放在尾矿库内，经降水淋溶向地表、地下渗透及周边的土壤、水体和植被中迁移转化，引发重金属污染问题。

废水中的重金属主要有汞、铬、镉、锌、镍、铜、钴、锰、钛、钒和铋等，由于重金属容易积累在排污口下游的底泥中，不能被微生物降解，重金属在土壤和水体中积累，被农作物吸收，通过食物链进入人体，从而严重威胁人类的身体健康。重金属废水来源广泛，种类多，而且很难从环境中消失，如何去除水体中的重金属是环境保护的重要组成部分。中国重金属废水治理技术在政策的驱动下不断进步。迄今，已研发了多种重金属废水处理方法，主要有化学沉淀法、铁氧体法、离子交换法、膜分离、浮选法、电化学方法和吸附法等。尽管处理水体重金属的方法有多种，但人工湿地（Constructed Wetland）在含重金属废水处理中具有明显的优势。

人工湿地由基质、水体、水生植物、好氧或厌氧微生物种群、水生动物等五部分组成，各组成成分分别起着不同的作用，据研究。废水中的重金属得到有效净化的主要机理是共沉淀、化学吸附和植物吸收，因而人工湿地中的填料、植物、微生物在重金属废水处理中具有举足轻重的地位。人工湿地净化生态处理技术是一项利用人工构建的湿地系统去除水体中的污染物的生态技术，该技术具备高效率、低成本、低能耗和生态服务功能等优点。大量研究表明，人工湿地能有效去除水体中氮、磷、COD、BOD和重金属等多种污染物。因此，利用人工湿地系统修复大面积、低浓度的水体重金属污染可能是一条廉价而有效的途径。

三、项目编制过程

**（一）成立标准编制工作组**

团体标准《金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术规程》项目任务下达后，成立了标准编制工作组，制定了标准编写方案，明确任务职责，确定工作技术路线，开展标准研制工作，具体标准编制工作由桂林理工大学、中山大学、广西师范大学、中国有色桂林矿产地质研究院有限公司、桂林嘉华环境科技有限公司、广西鼎联环保科技有限公司、桂林市环境保护科学研究所、桂林市荣嘉环保科技有限公司等单位相关人员配合。

**（二）收集整理文献资料**

标准编制工作组收集了国内有关马尾松人工林近自然化改造的相关技术文献资料。主要有：

HJ 2005-2010人工湿地污水处理工程技术规范

RISN-TG006-2009 人工湿地污水处理技术导则

DB11/T 1376-2016 农村生活污水人工湿地处理工程技术规范

DB13/T 5184-2020 人工湿地水质净化工程技术规范

DB32/T 3405-2018 生态修复型人工湿地中植物配置技术规程

DB37/T 3394-2018 人工湿地水质净化工程技术指南

DB41/T 1947-2020 污水处理厂尾水人工湿地工程技术规范

DB63/T 1350-2015 河湟谷地人工湿地污水处理技术规范

**（三）研讨确定标准主体内容**

标准编制工作组在对收集的资料进行整理研究后，标准编制工作组召开了标准编制会议，对标准的整体框架进行了研究，并对标准的关键性问题进行了初步探讨。经过研究，标准的主体内容包括术语和定义、选址、设计水量和设计水质、净化技术、施工与验收。

**（四）形成文本草案、征求意见稿**

2022年4月，标准起草工作小组进行了广泛实地调研工作，查阅了大量的国内外文献资料，对金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术进行系统总结。经编制组反复讨论，形成了标准的基本构架，对主要内容进行了讨论并对项目的工作进行了部署和安排。在前期工作的基础之上，通过理清逻辑脉络，整合已有的参考资料中有关金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术，并结合实际要求的基础上，按照简化、统一等原则编制完成团体标准《金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术规程》（草案）。

2022年5月，向区内涉及领域的部门及相关专家征求团体标准《金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术规程》（草案）意见。

2022年6月，标准组深入广西各地区有代表性的金属矿区实地调研，并实地征求团体标准《金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术规程》（草案）意见。通过收集反馈了大量意见，标准编制工作组多次召开会议，对标准草案进行了反复修改和研究讨论。最终形成了团体标准《金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术规程》（征求意见稿）和（征求意见稿）编制说明。

四、标准制定原则

**（一）实用性原则**

本文件中有关金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术内容及要求的规定，是在充分收集相关资料和文献，分析金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术现状，调研金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理情况的基础上，进行制定。符合当前金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术发展水平，具有较强的实用性和可操作性。

**（二）协调性原则**

本在标准编写过程中注意了与金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术相关法律法规、标准的协调问题，在内容上与现行法律法规、标准协调一致。

**（三）规范性原则**

本文件严格按照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》的要求和规定编写本文件的内容，保证标准的编写质量。

**（四）前瞻性原则**

本文件在兼顾当前我国金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术的现实情况的同时，还考虑到了其人工湿地净化生态处理行业快速发展的趋势和需要，在标准中体现了净化措施的个别特色性、前瞻性和先进性条款，作为对金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术发展的引导。

五、标准主要章节内容及确定依据

团体标准《金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术规程》主要内容包括术语和定义、选址、设计水量和设计水质、净化技术、施工与验收。

1. **术语和定义**

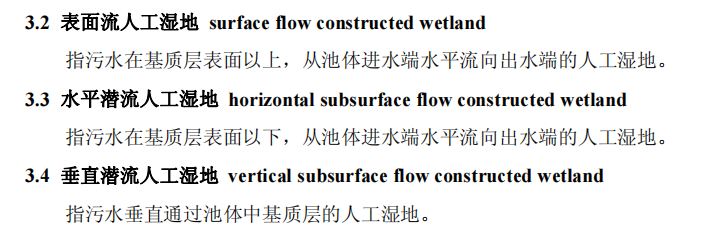
主要依据HJ 2005—2010《人工湿地污水处理工程技术规范》的术语和定义进行确定。

图 1HJ 2005—2010《人工湿地污水处理工程技术规范》术语和定义

1. **选址**

应综合考虑水文水利、再生水回用、地形地貌、土地权属、土地利用现状及对地下水水质与土壤的影响等因素。应不受洪水、潮水或内涝的影响，且不影响行洪安全。宜选择自然坡度0％～3％的洼地或池塘，以及未利用土地。

选址的要求主要从以下方面进行考虑：避免占用耕地，充分利用荒地或绿地；合理处理好与周边环境的关系，避免臭气、蝇虫等影响居民生活。人工湿地的选址，还应考虑当地地质、气象、水文特征等因素，并进行工程地质、水文地质等方面勘察，避免人工湿地的裂损、淹没、倒灌、排水不畅等情况发生。处理设施地点应便于施工、维护和管理等；选择地势稍低处，便于河水通过自流流入水处理设施，同时还要满足处理达标水能自流排出水处理设施。

1. **设计水量和设计水质**
2. 设计水量

设计水量主要依据HJ 2005—2010《人工湿地污水处理工程技术规范》的表述进行界定：设计水量的确定应符合GB 50014中的有关规定。

1. 设计水质

主要结合金属矿山低浓度尾水特点，废水中的重金属主要有汞、铬、镉、锌、镍、铜、钴、锰、钛、钒和铋等，以思的河为例，思的河属于漓江的二级支流，主要污染源为上游的阳朔县铅锌矿。根据2014-2015年桂林理工大学取附近的河水进行调查（表3-1、3-2），结果表明，溪沟水中Pb浓度为0.27-14.4 µg·L-1，Cd浓度为0.01-15.1 µg·L-1，Cr6+浓度为0.11-10.9 µg·L-1，Zn浓度为46-2325 µg·L-1。各样点Pb和Cr6+含量均达到国家《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）Ⅲ类标准和《农田灌溉水水质标准》（GB5084-2005）水作标准，没有出现超标样品。部分样点Cd和Zn含量超过《农田灌溉水质标准》（GB5084-2005）水作标准，存在安全隐患。14%的河水Cd、Zn监测数据超标，表明思的河河水中过量的重金属对当地居民产生一定程度的健康风险。底泥中的总Cr、Pb平均含量分别为30.5 mg/kg、235 mg/kg，在《土壤环境质量标准》（GB15618-1995）二级标准内。部分点底泥中的Cd和Zn含量超过《土壤环境质量标准》（GB15618-1995）二级标准。

表1 思的河水重金属含量

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 重金属 | 含量(μg·L-1）(n=9) | | | 超标率（%） | 农田灌溉水质 标准（水作）  (μg·L-1） |
| 范围 | 中值 | 算术均值 |
| Cr6+ | 0.11-10.9 | 1.75 | 2.43 | 0 | 100 |
| Pb | 0.27-14.4 | 3.32 | 5.28 | 0 | 200 |
| Cd | 0.01-15.1 | 1.58 | 2.54 | 14.1 | 10 |
| Zn | 46-2325 | 325 | 544 | 14.1 | 2000 |

注：低于检出限的数据按检出限的50%给出。

表2 思的河底泥重金属含量

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 重金属 | 总Cr | Pb | Cd | Zn |
| 含量(mg/kg) | 30.5 | 235 | 0.46 | 325 |
| 《土壤环境质量标准》（GB15618-1995）  二级标准(mg/kg) | 200 | 300 | 0.30 | 250 |
| 超标情况 | —— | —— | 超标 | 超标 |

注：低于检出限的数据按检出限的50%给出。

所以将污染物项目在HJ 2005—2010《人工湿地污水处理工程技术规范》的要求修改为化学需氧量（CODCr）、五日生化需氧量（BOD5）、氨氮（NH3+N）、总磷（TP）、总氮（TN）、Cr6+、Cd、Pb、Zn。人工湿地类型主要依据HJ 2005—2010《人工湿地污水处理工程技术规范》的要求进行确定。

1. **净化技术**
2. **工艺选择**

可根据选址面积、处理水量及原水水质采用表面流人工生态湿地、水平潜流人工生态湿地、垂直潜流人工生态湿地中的一种或几种并联、串联、混合的方式。

**2、工艺流程**

主要依据实际处理流程进行确定，按金属矿山尾水经过预处理后排入人工湿地系统，经人工湿地系统消解后进行排水。

1. **预处理**

JT/T 1147.2—2017《公路服务区污水处理设施技术要求 第 ２ 部分：人工湿地处理系统》预处理要求结合金属矿山低浓度尾水处理要求在人工湿地前设置的处理工艺，如格栅、沉砂、初沉、均质、水质酸化、稳定塘、厌氧、好氧等。主要是为满足人工湿地进水水质要求及减轻湿地污染负荷所以需要设置预处理工序。

1. **人工湿地系统**

（1）基质选择

主要依据HJ 2005—2010《人工湿地污水处理工程技术规范》的要求提出人工湿地基质的选择应根据基质的机械强度、比表面积、稳定性、孔隙率及表面粗糙度等因素确定。同时结合运行实际提出宜选择土壤、砾石、沸石、页岩、陶瓷、石灰石等。

（2）植物选择

针对金属矿山低浓度尾水处理的重金属废水微污染的特征，李氏禾、芦苇、香蒲、凤眼莲、美人蕉和灯心草等植物上对Cr、Cu、Fe、Mn、Pb、Al、Zn、Cd有较高的去除效果，见表3。选取几种当地常见的重金属富集植物（香蒲、菖蒲、风车草和芦苇）进行室内水培实验，观察其生长状况、监测重金属富集量和生物量等指标，以期选择最优湿地种植植物。因相关研究表明李氏禾是一种湿生铬超富集植物，对铬有很强地耐受和富集能力，并在当地很常见，因此为避免跟前人做重复工作量，在此不进行室内水培实验，直接选作室内湿地模拟植物之一。

表3人工湿地中不同植物对重金属的吸收量

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 植物种属 | 吸收重金属量（g/m2） | | | | |
| Fe | Cu | Zn | Ni | Mn |
| 麃草属 | 2.62 | 16.13 | 168.00 | 5.75 | 4032.00 |
| 苔草属 | 10.24 | 15.23 | 171.36 | 6.69 | 2638.4 |
| 鸢尾属 | 3.22 | 14.14 | 120.0 | 4.34 | 947.36 |
| 香蒲属 | 1.58 | 6.77 | 62.92 | 2.68 | 1121.78 |
| 甜茅属 | 2.70 | 11.65 | 151.84 | 4.14 | 1218.88 |
| 芦苇 | 4.12 | 18.82 | 165.76 | 6.85 | 743.88 |
| 菖蒲属 | 1.55 | 6.56 | 60.8 | 1.73 | 612.8 |
| 黑三棱属 | 4.61 | 7.17 | 97.28 | 2.91 | 773.12 |
| 勿忘草属 | 3.26 | 3.90 | 33.28 | 1.02 | 640.0 |
| 薄荷属 | 5.21 | 14.28 | 131.04 | 3.41 | 640.1 |

2.1 材料和方法

2.1.1 模拟废水

配制含重金属元素的植物培养液。用去离子水溶解氯化镉，硝酸铅，硝酸锌、硝酸铜并加入到Hoagland-Amon培养液中，处理为Zn、Pb、Cd、Cu重金属离子含量为Zn 2.0 mg/L、Pb1.0 mg/L、Cd 0.1 mg/L、Cu 0.5 mg/L，pH=6.0的重金属营养液。

2.1.2 实验方法

① 依次用自来水、去离子水将野外采集的四种水生植物的根部洗净，用Hoagland-Amon培养液培养一周后，挑选长势相同的植物，再进行实验。

② 将洗净的四种水生植物分别编号并放入相应编号的500 mL广口瓶中，每个广口瓶中盛有250 mL不同的培养液，广口瓶进行遮光处理，每天观察植物的生长状况，并及时补充培养液，实验过程中每隔一天更换一次培养液。

③ 培养四周后，对植物的生物量进行测定。将用含重金属培养液培养的植物从培养液中取出，用不锈钢刀将根部及地上部分茎、叶分离，用自来水冲洗20 min，之后用去离子水冲洗5次，并用滤纸吸干水分，放入干燥箱内杀青（105℃，0.5 h），然后烘干(80℃，72 h)，称量。

④ 重金属测定。将烘干的植物样品磨碎后，采用电热板消解，利用电感耦合等离子发射光谱仪，测定其中的Zn、Pb、Cd、Cu重金属离子含量（下文的重金属测定均为此方法）。

### 2.2 实验结果

### 2.2.1 四种植物水培生长情况

将四种植物放在对应的培养液中培养，每两天更换一次培养液。每周将水培筛选组与空白对照组比较，观察四种植物的生长状况，四种植物水培生长状况见表4。

香蒲筛选组与对照组老叶在第三周都出现枯死现象，说明香蒲老叶的枯死与重金属的加入无关，可能原因是香蒲须根较少，移栽成活率较低。在老叶枯死的同时，香蒲可以萌发出新芽并正常的生长，未出现中毒的现象。菖蒲、风车草筛选组与对照组在四周的培养中无显著的变化，说明两者对一定浓度的混合重金属溶液有较好的耐受性。芦苇筛选组在三周时老叶出现枯萎现象，空白对照组生长正常，老叶的枯萎与混合重金属的加入有关。因此，菖蒲、风车草易于移植，并且对混合重金属表现出了较好的耐受性。

表4植物水培生长情况

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 品种 | 第一周 | 第二周 | 第三周 | 第四周 |
| 香蒲 | 筛选组与对照组根部都有须根长出，老根部分死亡 | 筛选组与对照组老叶一半枯黄，有新芽长出 | 筛选组与对照组老叶全部枯死，新芽长成新苗 | 筛选组与对照组老叶根部开始死亡，新苗根部根须正常生长 |
| 菖蒲 | 筛选组与对照组生长缓慢，无明显变化 | 筛选组与对照组根部都有须根长出，叶片无明显变化 | 筛选组与对照组无明显差别，两组根部都有侧芽长出，叶片底部有虫卵出现。 | 筛选组与对照组老叶无明显差别，两组根部侧芽生长正常 |
| 芦苇 | 筛选组与对照组根部都有须根长出，筛选组叶尖有发黄现象 | 筛选组叶尖有发黄现象减退，筛选组与对照组都有新叶长出 | 筛选组老叶叶尖有枯萎的现象，新叶也明显变化，对照组生长良好 | 筛选组老叶叶尖有枯萎的现象加重，新叶生长缓慢，对照组生长良好 |
| 风车草 | 筛选组与对照组根部都有须根长出，根部有新芽长出 | 筛选组与对照组新芽生长正常，老叶无异常，新芽长成新苗 | 筛选组与对照组无明显差别，新苗正常生长 | 筛选组与对照组无明显差别，新苗长高。 |

### 2.2.2 四种植物体内重金属富集特征

将四种植物(水培筛选每组3株)从不同处理中的培养液中取出，用不锈钢刀将根部及地上部茎、叶分离，经过清洗，杀青，烘干，称量，研磨，消解后测得生物量及四种不同植物的各个器官的重金属含量见表5，并且计算出各种植物对四种重金属元素的富集以及迁移系数，见图2、图3。

表5 四种植物生物量及器官重金属含量

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 植物器官 | 生物量（g） | Zn(mg/kg) | Pb(mg/kg) | Cd(mg/kg) | Cu(mg/kg) |
| 香蒲叶 | 1.30 | 28.65 | 10.68 | 1.33 | 5.20 |
| 香蒲根 | 0.92 | 378.78 | 572.47 | 28.34 | 154.58 |
| 菖蒲叶 | 1.06 | 116.20 | 25.82 | 4.02 | 16.98 |
| 菖蒲根 | 1.02 | 177.14 | 299.97 | 17.58 | 87.57 |
| 芦苇叶 | 0.86 | 44.76 | 10.78 | 5.87 | 5.48 |
| 芦苇茎 | 1.13 | 57.82 | 7.90 | 6.32 | 5.53 |
| 芦苇根 | 0.97 | 90.23 | 52.89 | 28.73 | 18.78 |
| 风车草叶 | 0.85 | 236.79 | 29.26 | 7.70 | 15.39 |
| 风车草茎 | 0.67 | 145.07 | 44.95 | 5.37 | 11.43 |
| 风车草根 | 0.80 | 451.09 | 1249.36 | 43.15 | 326.49 |

四种植物各器官富集重金属的能力为：根＞叶、茎（表4.3），其中，风车草中的根部Zn、Pb、Cu的含量最高，其Pb的含量高达1249.36 mg/kg，芦苇和菖蒲的根部Cd的含量较高。

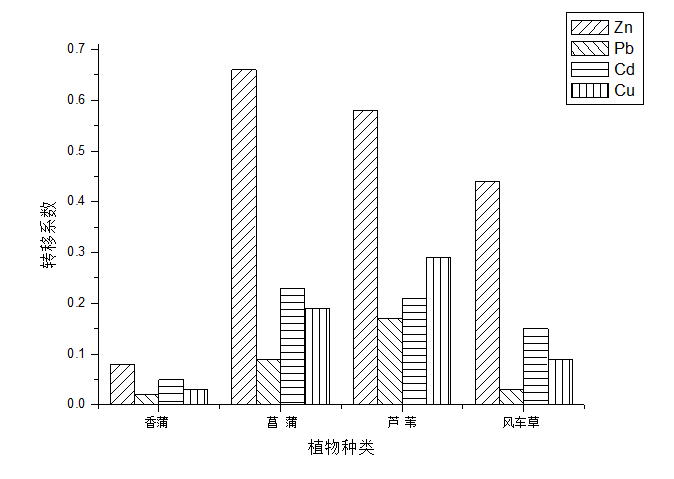
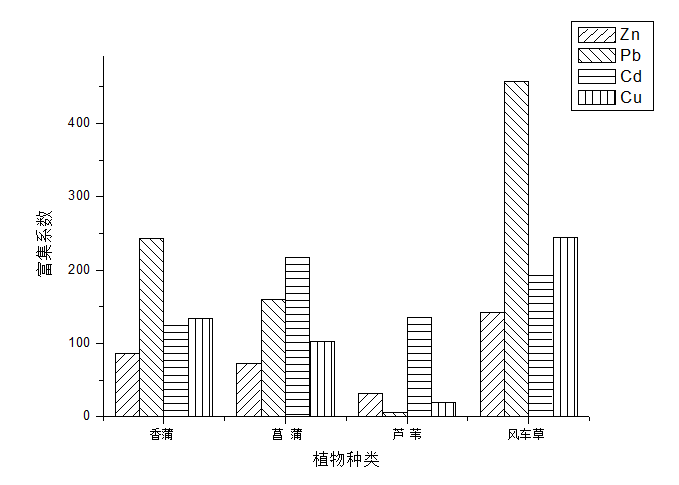


图 2四种植物对重金属的富集特征

图 3四种植物对重金属的转移特征

在低浓度下混合重金属的培养下，风车草对Zn、Pb、Cu的富集效果最好（图4.1），其对Pb的富集系数高达456.78；菖蒲对Cd的富集系数最高，为217.42，风车草排在第二。四种重金属在菖蒲、芦苇中的迁移能力强于风车草和香蒲（图4.2），而重金属Zn的迁移能力在这几种植物中都要高于其他三种重金属元素。

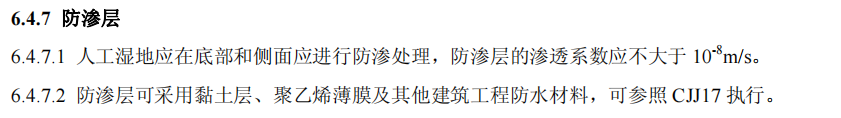
## 2.3 小结

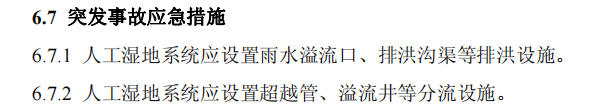
香蒲、菖蒲、芦苇和风车草对四种重金属元素的富集与迁移有着各自的特点，但是风车草和菖蒲相比于其他两种植物有更好的重金属富集能力和迁移能力。另相关研究表明李氏禾是一种湿生铬超富集植物，对铬有很强地耐受和富集能力，并在当地很常见，避免跟前人重复的工作量，不作水培实验，直接选作室内湿地模拟植物之一，因此最终确定的湿地净化植物为：风车草、菖蒲和李氏禾。

所以在选择风车草、菖蒲和李氏禾的基础上，结合HJ 2005—2010《人工湿地污水处理工程技术规范》的要求上界定为：表面流人工湿地可选菖蒲、灯芯草、浮萍、睡莲等植物，潜流人工湿地可选择芦苇、水芹、风车草、香蒲等植物。

1. 防渗层、突发事故应急措施

主要依据HJ 2005—2010《人工湿地污水处理工程技术规范》的要求。



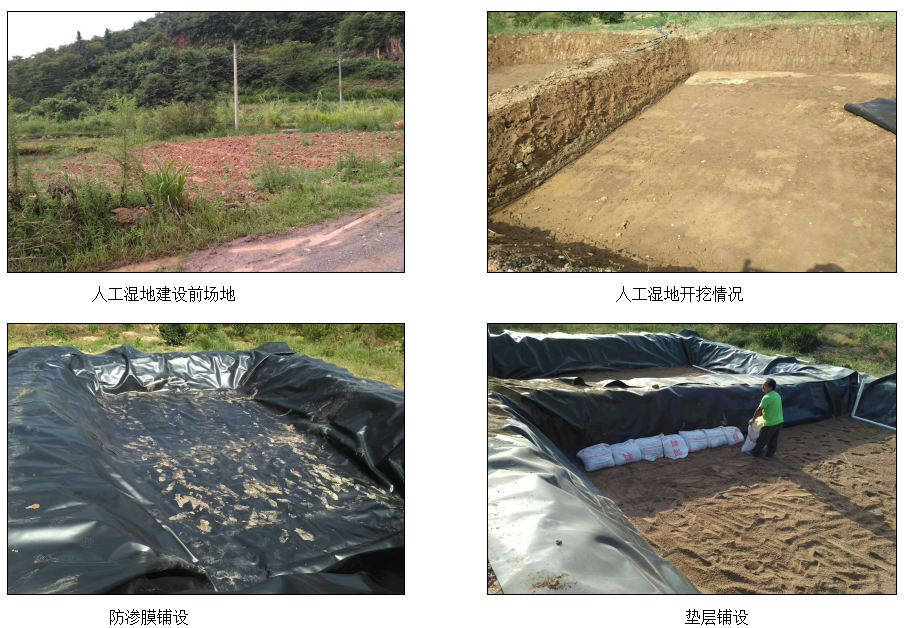


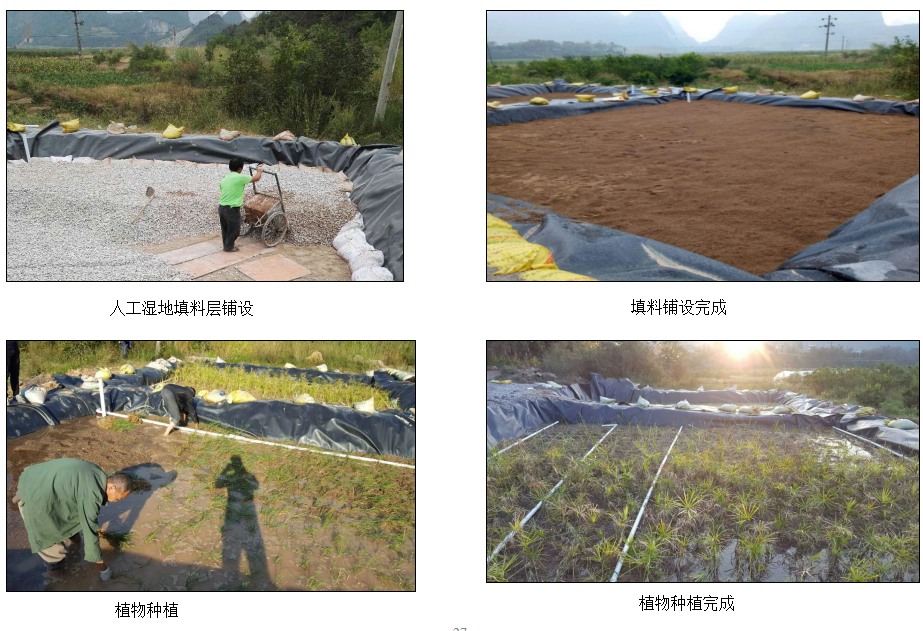
**（五）施工与验收**

主要依据HJ 2005—2010《人工湿地污水处理工程技术规范》的要求进行确定，结合项目实际提出坡度宜为0.5°～1°，可以防止湿‎地内部发生‎回水，进水产生滞‎留阻塞等问‎题。

**（六）项目运行情况**

在桂林市阳朔县铅锌矿下游的思的村建设人工湿地示范基地，主要治理含Pb、Zn、Cd等离子的重金属微污染废水。示范工程面积100m3，日处理100m3，基质以土壤为主，以及河沙，石灰石级配碎石。在池底和池壁铺10 cm的细沙保护高密度聚乙烯膜（HDPE膜），中间铺设40 cm的石灰石级配碎石，上层铺设20 cm的细沙和土壤的混合料。





**1、基地运行效果**

示范基地于2016年9中旬建成，于9月20日开始进水，进水水质为思的河河水，开始进水流量为50 m3/d，当湿地连续稳定运行两个月后，自11月底进水水量调至100m3/d。

表6湿地基地运行结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间  （月/日） | Zn | | | Pb | | | Cd | | | Cr6+ | | |
| 进水浓度 | 出水浓度 | 去除率 | 进水浓度 | 出水浓度 | 去除率 | 进水浓度 | 出水浓度 | 去除率 | 进水浓度 | 出水浓度 | 去除率 |
| µg·L-1 | | % | µg·L-1 | | % | µg·L-1 | | % | µg·L-1 | | % |
| 9.21 | 416 | 28 | 93 | 3.46 | 0.27 | 92 | 2.98 | 0.21 | 93 | 2.49 | 0.78 | 69 |
| 9.25 | 435 | 37 | 91 | 2.98 | 0.35 | 88 | 3.01 | 0.22 | 93 | 2.18 | 0.62 | 72 |
| 9.29 | 464 | 34 | 93 | 4.67 | 0.52 | 89 | 4.31 | 0.35 | 92 | 1.97 | 0.53 | 73 |
| 10.3 | 574 | 46 | 92 | 5.21 | 0.67 | 87 | 2.19 | 0.11 | 95 | 2.04 | 0.66 | 68 |
| 10.7 | 476 | 35 | 93 | 4.76 | 0.48 | 90 | 3.14 | 0.09 | 97 | 1.86 | 0.69 | 63 |
| 10.11 | 601 | 48 | 92 | 3.21 | 0.37 | 88 | 2.96 | 0.09 | 97 | 5.01 | 1.14 | 77 |
| 10.15 | 679 | 49 | 93 | 4.36 | 0.46 | 89 | 3.43 | 0.12 | 97 | 2.36 | 0.96 | 59 |
| 10.19 | 734 | 59 | 92 | 5.28 | 0.48 | 91 | 2.79 | 0.09 | 97 | 5.12 | 2.17 | 58 |
| 10.23 | 1279 | 100 | 92 | 4.52 | 0.44 | 90 | 3.75 | 0.17 | 95 | 6.17 | 1.83 | 70 |
| 10.26 | 826 | 74 | 91 | 4.67 | 0.42 | 91 | 5.61 | 0.16 | 97 | 2.39 | 0.71 | 70 |
| 10.29 | 976 | 76 | 92 | 4.89 | 0.51 | 90 | 4.76 | 0.19 | 96 | 6.04 | 1.48 | 75 |
| 11.2 | 901 | 89 | 90 | 5.01 | 0.67 | 87 | 6.11 | 0.11 | 98 | 5.39 | 1.95 | 64 |
| 11.5 | 1047 | 100 | 90 | 4.67 | 0.49 | 90 | 6.47 | 0.18 | 97 | 6.18 | 2.16 | 65 |
| 11.9 | 921 | 76.7 | 92 | 5.21 | 0.55 | 89 | 6.77 | 0.25 | 96 | 5.87 | 2.37 | 60 |
| 11.12 | 1532 | 121 | 92 | 5.13 | 0.56 | 89 | 8.12 | 0.31 | 96 | 8.46 | 2.02 | 76 |
| 11.15 | 2010 | 118 | 94 | 5.46 | 0.53 | 90 | 10.15 | 0.37 | 96 | 12.02 | 5.39 | 55 |
| 11.18 | 897 | 84 | 91 | 5.37 | 0.64 | 88 | 9.87 | 0.25 | 97 | 8.97 | 5.06 | 44 |
| 11.21 | 1792 | 121 | 93 | 6.09 | 0.48 | 92 | 9.76 | 0.26 | 97 | 9.76 | 5.16 | 47 |
| 11.24 | 2103 | 168 | 92 | 5.63 | 0.68 | 88 | 10.12 | 0.24 | 98 | 11.86 | 5.02 | 58 |
| 11.27 | 1520 | 143 | 91 | 6.14 | 0.94 | 85 | 8.76 | 0.31 | 96 | 5.87 | 2.15 | 63 |
| 11.30 | 2009 | 144 | 93 | 6.27 | 0.71 | 89 | 10.41 | 0.37 | 96 | 5.49 | 2.16 | 61 |
| 12.3 | 2213 | 186 | 92 | 7.38 | 0.81 | 89 | 8.73 | 0.29 | 97 | 6.58 | 2.16 | 67 |
| 12.7 | 1916 | 171 | 91 | 6.41 | 0.79 | 88 | 7.83 | 0.26 | 97 | 8.09 | 2.48 | 69 |
| 12.1 | 1437 | 109 | 92 | 10.09 | 1.12 | 89 | 12.34 | 0.3 | 98 | 9.18 | 5.01 | 45 |
| 12.13 | 2379 | 142 | 94 | 7.01 | 1.04 | 85 | 10.21 | 0.48 | 95 | 5.06 | 2.31 | 54 |
| 12.16 | 1726 | 130 | 92 | 7.06 | 0.64 | 91 | 8.95 | 0.31 | 97 | 10.17 | 5.11 | 50 |
| 12.19 | 2409 | 192 | 92 | 8.47 | 0.66 | 92 | 14.26 | 0.46 | 97 | 5.14 | 1.29 | 75 |
| 12.23 | 1479 | 154 | 90 | 7.41 | 0.71 | 90 | 15.79 | 0.56 | 96 | 11.36 | 5.13 | 55 |
| 12.26 | 2326 | 162 | 93 | 15.01 | 1.65 | 89 | 10.34 | 0.43 | 96 | 7.79 | 2.35 | 70 |
| 12.30 | 2741 | 171 | 94 | 7.18 | 0.77 | 89 | 7.99 | 0.25 | 97 | 5.24 | 1.37 | 74 |
| 1.3 | 1674 | 109 | 93 | 10.24 | 0.85 | 92 | 8.69 | 0.36 | 96 | 6.97 | 2.29 | 67 |
| 1.5 | 2107 | 155 | 93 | 7.61 | 1.02 | 87 | 12.67 | 0.48 | 96 | 8.79 | 2.42 | 72 |
| 1.8 | 1576 | 126 | 92 | 7.12 | 1.07 | 85 | 11.05 | 0.51 | 95 | 11.89 | 5.08 | 57 |
| 1.11 | 2571 | 169 | 93 | 10.11 | 1.16 | 89 | 7.65 | 0.23 | 97 | 8.19 | 2.43 | 70 |
| 1.15 | 2004 | 167 | 92 | 12.1 | 1.34 | 89 | 10.01 | 0.26 | 97 | 10.67 | 5.16 | 52 |
| 1.18 | 1236 | 127 | 90 | 8.97 | 1.07 | 88 | 11.99 | 0.43 | 96 | 9.11 | 5.05 | 45 |
| 1.21 | 2320 | 180 | 92 | 13.04 | 1.21 | 91 | 9.79 | 0.32 | 97 | 8.79 | 2.37 | 73 |
| 1.25 | 1760 | 128 | 93 | 9.18 | 1.08 | 88 | 15.81 | 0.43 | 97 | 12.01 | 5.43 | 55 |
| 1.28 | 2011 | 207 | 90 | 9.76 | 1.15 | 88 | 10.12 | 0.41 | 96 | 7.29 | 2.31 | 68 |

由表9-1可知，思的河河水中重金属离子的浓度受季节影响，平水期（9月至11月）水中的重金属离子浓度低于枯水期（12月至次年1月）水中的重金属浓度。野外湿地工程经过连续运行，结果表明湿地模型对重金属Zn、Pb、Cd、Cr6+均具有较好的处理效果，且能保持稳定运行，其中对Cd的处理效果最好，其次为Zn、Pb和Cr6+。Zn、Pb、Cd三种重金属的去除率维持在85%以上；Cr6+的去除率（44.77%）存在较大波动，这与Cr6+的检出限有关（检出限为0.004mg/L,低于检出限按0.002 mg/L给出数据）。但经过湿地模型处理之后，四种重金属的出水浓度均低于GB 5084-2005《农田灌溉水质标准》水作标准限值，达到目标要求。

第三方检测结果：2017年2月，委托有监测资质的广西中品质环境监测有限公司对出水进行检测，监测结果见表7。

表7 监测结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 监测项目 | Cr6+  （mg/L） | Cd  （mg/L） | Pb  （mg/L） | Zn  （mg/L） |
| 进水 | 0.013 | 0.01596 | 0.01677 | 2.318 |
| 出水 | 0.005 | 0.00047 | 0.00036 | 0.188 |
| 标准值\* | 0.1 | 0.005 | 0.1 | 2.0 |
| 达标情况 | 达标 | 达标 | 达标 | 达标 |

**注：采用《农田灌溉水质标准》（GB 5084-2005）水作标准限值**

**2、运行条件及控制参数**

根据实验室试验和工程示范运行结果，对矿区重金属微污染水源湿地系统净化工艺进行总结：

运行条件：（1）Cr6+≤7.5 mg/L，Zn2 +≤4 mg/L、Pb2 +≤1mg/L、 Cd2+ ≤0.05mg/L的矿区微污染水源；（2）采用风车草、李氏禾、菖蒲作为植物，河沙与红壤作为填料基质的人工湿地工艺

控制参数：在进水负荷3.13cm/d、气温≥10℃的运行参数条件下，出水的水质可以达到GB 5084-2005《农田灌溉水质标准》水作标准限值以下。

六、国内外同类标准制修订情况及与法律法规、强制性标准关系

经查阅，与人工湿地净化生态处理技术相关的国家标准、行业标准以及地方标准有HJ 2005-2010《人工湿地污水处理工程技术规范 》、RISN-TG006-2009 《人工湿地污水处理技术导则》《DB11/T 1376-2016 农村生活污水人工湿地处理工程技术规范》《DB13/T 5184-2020 人工湿地水质净化工程技术规范》《DB32/T 3405-2018 生态修复型人工湿地中植物配置技术规程》《DB37/T 3394-2018 人工湿地水质净化工程技术指南》《DB41/T 1947-2020 污水处理厂尾水人工湿地工程技术规范》《DB63/T 1350-2015 河湟谷地人工湿地污水处理技术规范》。以上标准主要针对城市和农村污水处理，与本标准针对金属矿山低浓度尾水处理有技术上的差别，可供参考。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

本文件研制过程中无重大分歧意见。

八、自我声明

本标准内容与各项指标不低于国家强制性标准、推荐性国家标准和行业标准。

团体标准

《金属矿山低浓度尾水人工湿地净化生态处理技术规程》

标准编制工作组

2022年6月21日