

T/SDEPI

团 体 标 准

T/SDEPI XXX—2022

高负荷潜流人工湿地水质净化技术规范

Technical specification of high load subsurface flow constructed wetlands for water purification

(征求意见稿)

2022 - XX - XX 发布

2022 - XX - XX 实施

山东省环境保护产业协会 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..... | 1 |
| 3.1 垂直潜流人工湿地..... | 1 |
| 3.2 水平潜流人工湿地..... | 1 |
| 3.3 高负荷潜流人工湿地..... | 1 |
| 3.4 微生物净化技术..... | 1 |
| 3.5 微污染水体..... | 2 |
| 3.6 填料..... | 2 |
| 3.7 孔隙率..... | 2 |
| 3.8 水力坡度..... | 2 |
| 3.9 水力停留时间..... | 2 |
| 3.10 表面水力负荷..... | 2 |
| 3.11 表面污染负荷..... | 2 |
| 4 工程设计..... | 2 |
| 4.1 一般规定..... | 2 |
| 4.2 设计水量和水质..... | 3 |
| 4.3 参数设计..... | 4 |
| 4.4 微生物发生器设计..... | 4 |
| 4.5 填料设计..... | 5 |
| 4.6 结构设计..... | 5 |
| 4.7 防渗设计..... | 6 |
| 4.8 植物选配..... | 6 |
| 5 施工管理..... | 6 |
| 6 运行管理..... | 7 |

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。

本文件由山东省环境保护产业协会提出并归口。

本文件起草单位：山东华特环保科技有限公司、山东省环境保护产业协会。

本文件主要起草人：姜延鹏、李依韩、戴振国、邓徐帧、王炳富、杨继建、任静、刘建威。

高负荷潜流人工湿地水质净化工程技术规范

1 范围

本标准规定了高负荷潜流人工湿地设计、施工及运行管理的技术要求。

本标准适用于高负荷潜流人工湿地进水为低污染浓度或微污染水体的深度净化工程。

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。

| | |
|------------------|--------------------------|
| GB3838-2002 | 地表水环境质量标准 |
| GB8978-1996 | 污水综合排放标准 |
| GB18918-2002 | 城镇污水处理厂污水排放标准 |
| DB37-3693-2019 | 山东省农村生活污水处理处置设施水污染物排放标准 |
| DB37/T 3394-2018 | 人工湿地水质净化工程技术指南 |
| DB13/T 5184-2020 | 人工湿地水质净化工程技术规范 |
| HJ 2005-2010 | 人工湿地污水处理工程技术规范 |
| GB20287-2006 | 农用微生物菌剂 |
| NY/T883-2004 | 农用微生物菌剂生产技术规程 |
| HJ/T415-2008 | 环保用微生物菌剂环境安全评价导则 |
| | 人工湿地水质净化技术指南（2021，生态环境部） |

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 垂直潜流人工湿地 Vertical subsurface flow constructed wetlands

水从湿地表面垂直流过填料从底部排出，或从湿地底部进入垂直流向填料表面并排出，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，使污水得以净化的人工湿地。

3.2 水平潜流人工湿地 Horizontal subsurface flow constructed wetlands

水在土壤/填料表面以下流动，从湿地池体一端进入，沿填料孔隙水平流向出水端，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，使污水得以净化的人工湿地。

3.3 高负荷潜流人工湿地 High load subsurface flow constructed wetland

与传统设计水力负荷相比，在较小占地面积和水力停留时间下能够实现相同处理效率的潜流人工湿地。

3.4 微生物净化技术 Microbial purification technology

利用微生物的生命代谢活动来降低存在于环境中有害物质的浓度或使其完全无害化，从而使受到污染的生态环境能够部分或完全恢复到原初状态的过程。

它包括利用微生物吸收、降解、转化水体和底泥中的污染物，使污染物的浓度降低到可接受的水平，

或将有毒有害的污染物转化为无害的物质，或将污染物稳定化，以减少其向周边环境的扩散。

3.5 微污染水体 Micro-polluted water

受到有机物污染，部分水质指标浓度超过《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)IV类水质标准限值但不高于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)二级标准限值的水体，其中 $\text{COD}_{\text{Cr}} \leq 100\text{mg/L}$ ， $\text{NH}_3\text{-N} \leq 25\text{mg/L}$ ， $\text{TP} \leq 3\text{mg/L}$ ， $\text{BOD}_5 \leq 30\text{mg/L}$ ， $\text{SS} \leq 30\text{mg/L}$ ， $\text{TN} \leq 25\text{mg/L}$ 。

3.6 填料 Filler

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、吸收等作用的填充材料，如土壤、砂砾、沸石、石灰石、页岩、陶粒、塑料等。

3.7 孔隙率 Porosity

人工湿地填料层中，存在于填料间的孔隙体积占全部体积的百分比，%。

3.8 水力坡度 Hydraulic slope

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，%。

3.9 水力停留时间 Hydraulic retention time

水在人工湿地内的平均停留时间，d。

3.10 表面水力负荷 Hydraulic surface loading

单位面积人工湿地单位时间内所能接纳的污水体积，m³/d。

3.11 表面污染负荷 Organic surface loading

单位面积单位时间内人工湿地去除或降解的污染物的质量，g/(m²·d)。

3.12 微生物发生器 Microbial generator

装有培养基和复合微生物菌剂，能够缓释微生物长效保持水体中微生物数量的一种发生装置。

4 工程设计

4.1 一般规定

4.1.1 工程设计应包括潜流人工湿地类型选择、池体结构选择、微生物发生系统设计、平面布置设计、集配水系统设计、填料选择、植物配置、防渗设计和附属设施设计。

4.1.2 高负荷潜流人工湿地的表面积设计应考虑最大污染负荷和水力负荷，可按 COD_{Cr} 表面负荷、水力负荷、TN表面负荷、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 表面负荷、TP表面负荷进行计算，应取设计计算结果中的最大值，并校核水力停留时间是否满足设计要求。

4.1.3 高负荷潜流人工湿地的预处理程度应根据具体水质情况与污水处理技术政策，选择一级处理、强化一级处理和二级处理等适宜工艺，其设计必须符合GB50014中的有关规定。

4.1.4 高负荷潜流人工湿地类型选型应根据进水水质、处理水量和出水水质要求，综合考虑各类型人工湿地的特点、工程用地及经济技术等因素，确定潜流湿地的类型。同时，设计中考虑构筑物布设间距应紧凑、合理，尽量做到土方平衡，减少土方运输量，降低土方工程费用。

4.1.5 工程选址应符合当地总体规划和专项规划的要求，综合考虑水文水利、再生水回用、地形地貌、土地权属及利用现状等因素，宜优先选择盐碱地、贫瘠地、塌陷地、沼泽、滩涂、废弃河道等经济价值低、便于利用的土地进行建设。

4.1.6 高负荷潜流人工湿地系统可由单一或多个类型人工湿地采用并联式、串联式等组合方式组成。当进水污染物浓度较高且可利用土地面积受限时，一般应建设潜流人工湿地以保证水质净化效果。当人工湿地进水中悬浮物浓度较高时，潜流人工湿地前端宜设置生态滞留塘。

4.2 设计水量和水质

4.2.1 生活污水水量宜根据当地实际用水量经调查后确定，或根据当地用水定额，结合建筑内部给排水设施水平和排水系统普及程度等因素确定。可按当地相关用水定额的80%-90%采用，采用埋地塑料管或地下水位较高时取高值。居民生活用水量可参考下表1。

表1 居民生活用水量参考取值(升/人·日)

| 卫生设施类型 | 农村居民用水量 | 城镇居民用水量 |
|------------------------|---------|---------|
| 经济条件好，室内卫生设施齐全 | 90~150 | 150~180 |
| 经济条件较好，室内卫生设施较齐全 | 60~120 | 120~150 |
| 经济条件一般，有简单的室内卫生设施 | 50~100 | 90~120 |
| 无卫生间和沐浴设备，主要利用地表水、井水洗涤 | 30~90 | - |

4.2.2 市政污水处理厂、工业污水处理厂尾水水量，按实际处理量确定。

4.2.3 设计污水水质应经实地监测资料确定，或参照相同性质居住区、污水处理厂或乡镇污BOD₅水的水质确定。如缺乏相关资料时，可根据下表2的数据确定。

表2 污水水质参考一览表(mg/L)

| 指 标 | BOD ₅ | COD | SS | NH ₃ -N | TN | TP |
|--------|------------------|---------|---------|--------------------|-------|-----|
| 住宅 | 230-300 | 455-600 | 155-180 | 20-50 | 25-70 | 3-6 |
| 宾馆饭店 | 140-175 | 295-380 | 95-120 | 20-40 | 25-60 | 2-5 |
| 办公教学楼 | 195-260 | 260-340 | 195-260 | 25-50 | 30-70 | 3-5 |
| 公共浴室 | 50-65 | 115-135 | 40-165 | 10-30 | 15-50 | 1-3 |
| 城市生活污水 | 100-400 | 250-700 | 100-300 | 20-50 | 20-80 | 2-6 |

注：1.括号外数值为水温>12℃时的控制指标，括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。
2.高负荷潜流人工湿地进水，宜控制COD≤200mg/L，SS≤80mg/L，若指标高于此值，需增设预处理。

4.2.4 高负荷潜流人工湿地出水根据排入国家和省确定的流域及湖泊、水库等封闭、半封闭水域的排放标准或进入下一级处理系统，响应执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准、一级B标准二级标准以及《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III、IV、V类标准；作为中水回用的出水水质应达中水回用水质指标。各水质指标如表3。

表3 各标准水质一览表(mg/L)

| 指 标 | BOD ₅ | COD | SS | NH ₃ -N | TN | TP |
|---------|------------------|------|-----|--------------------|-----|------|
| 一级 A 标准 | ≤10 | ≤50 | ≤10 | ≤5 | ≤15 | ≤0.5 |
| 一级 B 标准 | ≤20 | ≤60 | ≤20 | ≤15 | ≤20 | ≤1.0 |
| 二级标准 | ≤30 | ≤100 | ≤30 | ≤30 | — | ≤3.0 |

| | | | | | | |
|--------|--------|-----|--------|--------|-----|--------|
| III类标准 | ≤4 | ≤20 | - | ≤1 | ≤1 | ≤0.2 |
| IV类标准 | ≤6 | ≤30 | - | ≤1.5 | ≤15 | ≤0.3 |
| V类标准 | ≤10 | ≤40 | - | ≤2 | ≤2 | ≤0.4 |
| 城市杂用水 | ≤10~20 | - | - | ≤10-20 | - | - |
| 景观用水 | ≤6~10 | - | ≤10~20 | ≤5 | ≤15 | ≤0.5~1 |

4.3 参数设计

4.3.1 高负荷水平潜流人工湿地主要设计参数

村镇生活污水、污水处理厂出水或具有类似性质的污水，经过一级处理和二级处理后可直接采用水平潜流人工湿地进行处理，相应的人工湿地作为二级处理和深度处理设施，其主要设计参数如表4所示。

表4 水平潜流人工湿地主要设计参数

| 设计参数 | 二级处理 | 深度处理 |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| COD 表面负荷 N_{COD} | ≤40g/m ² ·d | ≤40g/m ² ·d |
| TN 表面负荷 N_{TN} | 1.5-12g/m ² ·d | 1.5-12g/m ² ·d |
| NH ₄ ⁺ -N 表面负荷 N_{NH} | 0.5-12g/m ² ·d | 0.5-12g/m ² ·d |
| TP 表面负荷 N_{TP} | 0.1-1.0 g/m ² ·d | 0.1-1.0 g/m ² ·d |
| 水力负荷 N_q | ≤1500L/m ² ·d | ≤1000L /m ² ·d |
| 停留时间 T | ≥0.3d | ≥0.5d |
| 池底坡度 i | ≥0.3% | ≥0.3% |
| 填料深度 h | 500-1600mm | 500-1600mm |

4.3.2 高负荷垂直潜流人工湿地主要设计参数

村镇生活污水、污水处理厂出水或具有类似性质的污水，经过一级处理和二级处理后可直接采用垂直潜流人工湿地进行处理，相应的人工湿地作为二级处理和深度处理设施，其主要设计参数如表5所示。

表5 垂直流人工湿地主要设计参数

| 设计参数 | 二级处理 | 深度处理 |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| COD 表面负荷 N_A | ≤35g/m ² ·d | ≤35g/m ² ·d |
| 水力负荷 N_q | ≤1200L/m ² ·d | ≤800L /m ² ·d |
| TN 表面负荷 N_{TN} | 2-15g/m ² ·d | 2-15g/m ² ·d |
| NH ₄ ⁺ -N 表面负荷 N_{NH} | 0.5-12g/m ² ·d | 0.5-12g/m ² ·d |
| TP 表面负荷 N_{TP} | 0.1-1.0 g/m ² ·d | 0.1-1.0 g/m ² ·d |
| 停留时间 T | ≥0.3d | ≥0.5d |
| 池底坡度 i | ≥0.3% | ≥0.3% |
| 填料深度 h | 800~1800mm | 800~1800mm |

4.4 微生物发生器设计

4.4.1 微生物发生器组成

微生物发生器是由特制微孔陶瓷管、培养基、复合微生物菌种及封口件组成。

4.4.2 微生物菌种类

微生物发生器内配置的微生物菌剂共152种菌种，使用频率大的微生物菌种类有：酵母菌、乳酸菌、纳豆芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、光合菌、硝化菌、蛭弧菌、放线菌、反硝化细菌、沼泽红假单胞菌、环境微生物及多种生物酶。

4.4.3 微生物菌种和数量

根据高负荷潜流人工湿地的进水的来源、水质、污染物种类和浓度、周边环境等因素综合考虑，选择微生物菌种组成功能性复合微生物菌种。

复合微生物菌种数量要求：功能菌含量 ≥ 20 亿/克或 20 亿/mL。

4.4.4 微生物发生器的布置

微生物发生器在高负荷潜流湿地中的布置根据进出水水质、污染物浓度和降解难以程度等条件，确定微生物发生器布置密度为：1根/(1-5) m^2 。

4.5 填料设计

4.5.1 人工湿地填料应选择具有一定机械强度、比表面积较大、稳定性良好、并具有合适的孔隙率及表面粗糙度的填充物。

4.5.2 高负荷潜流人工湿地填料应能为植物和微生物提供良好的生长环境，并具有良好的透水性。填料安装后湿地孔隙率宜在0.35-0.50。

4.5.3 高负荷潜流人工湿地常用的填料有石灰石、矿渣、蛭石、沸石、砂石、高炉渣、页岩等，碎砖瓦、混凝土块经过加工、筛选后也可作为填料使用，并按照设计确定的级配要求充填。

4.5.4 为提高高负荷潜流人工湿地对磷的去除率，可在湿地进口、出口等适当位置布置具有吸磷功能的填料，强化除磷。

4.5.5 在水平潜流人工湿地的进水区，人工湿地填料层的结构设置，应沿着水流方向铺设粒径从大到小的填料，颗粒粒径宜为30~80mm，在出水区，应沿着水流方向铺设粒径从小到大的填料，颗粒粒径宜为20-100mm。

4.5.6 人工湿地填料层的结构设置，垂直流人工湿地一般从下到上分为滤料层、过渡层和排水层，滤料层一般由粒径为3~10mm之间的粗砂构成，厚度为300-800mm左右；过渡层由10~25mm的填料构成，厚度为200-600mm左右；排水层一般由粒径为25~40mm的填料构成，厚度为300-500mm左右。

4.5.7 为避免布水对滤料层的冲蚀，可在布水系统喷流范围内局部铺设50mm的覆盖层，粒径范围为8~16mm的砾石。

4.6 结构设计

4.6.1 潜流人工湿地池体可采用混凝土、砖、毛石或黏土结构，采用混凝土和砖砌结构时池底需要设置不低于100mm厚的C10混凝土垫层，采用黏土结构时，防渗要求需要符合5.5规定。

4.6.2 水平潜流人工湿地的单元长宽比宜控制在2:1-6:1之间，垂直流人工湿地长宽比宜控制在1:1- 3:1之间。对于长宽比小于1或不规则的潜流人工湿地，应考虑人工湿地均匀布水和集水的问题。

4.6.3 潜流人工湿地设计中如采用多个人工湿地单元时，独立单元面积不宜大于1000 m^2 。多个人工湿地并联时，根据各单元面积应分布水量，保证配水均匀。

4.6.4 潜流人工湿地的应保持一定深度，以保证湿地单元中植物的生长及必要的好氧条件。在设计人工湿地时，应考虑雨季暴雨径流带来的超高水位，此时淹没的最大深度应保证大部分植物能够生存并发挥功能，淹没深度宜控制在200mm以下。

4.6.5 在冬季易发生冻害的地区，人工湿地设计时应考虑以下两种保温防冻措施：

(1) 低温环境时将人工湿地水位上升至人工湿地表面上 ≥ 50 mm位置，形成表面冰层对人工湿地填料区及水生植物根系进行保温。

(2) 在人工湿地表面覆盖树叶、树枝或农用塑料薄膜进行隔离,减少人工湿地热量散失。

4.6.6 人工湿地防堵塞设计时,应综合考虑污水的悬浮物浓度、有机负荷、投配方式、基质粒径、植物、微生物、运行周期等因素。可采用以下方法降低堵塞的几率:

(1) 高负荷潜流人工湿地采用多个单元并联运行时,可以考虑每隔5-7d对部分人工湿地停止进水1-2d,采取间歇运行的方式。

(2) 可对污水进行预曝气,提高人工湿地基质中的溶解氧,更好地发挥微生物的分解作用,防止土壤中胞外聚合物的蓄积。

(3) 选择合适的基质粒径及级配,基质粒径及级配的选择应综合考虑净化效果和防止堵塞因素。

4.6.7 潜流人工湿地,水位控制应保证其接纳最大设计流量时,进水端不能出现雍水现象,防止发生表面流。

4.6.8 潜流人工湿地出水排放应按照当地有关部门要求设置排放口,排放口应采取防冲刷、消能、加固等措施。

4.7 防渗设计

4.7.1 人工湿地建设时,应在底部和侧面进行防渗处理。

4.7.2 当原有土层渗透系数大于 10^{-8}m/s 时,应构建防渗层,一般采取下列措施:

(1) 水泥砂浆或混凝土防渗:砖砌或毛石砌底面和侧壁用防水水泥砂浆防渗处理,或采用混凝土底面和侧壁,按相应的建筑工程施工要求进行建造。

(2) 塑料薄膜防渗:薄膜厚度宜大于1.0mm,两边衬垫土工布,以降低植物根系和紫外线对薄膜的影响。宜优选PE膜,敷设要求应满足《聚乙烯(PE)土工膜防渗工程技术规范》等专业规范要求。

(3) 黏土防渗:采用黏土防渗时,黏土厚度应不小于60cm,并进行分层压实。亦可采取将黏土与膨润土相混合制成混合材料,敷设不小于60cm的防渗层,以改善原有土层的防渗能力。

4.7.3 对于渗透系数小于 10^{-8}m/s ,且有厚度大于60cm的土壤或致密岩层时,可不需采取其他防渗措施。工程建设中,应对湿地底部和侧壁60cm厚度范围进行渗透性测定。

4.8 植物选配

4.8.1 高负荷潜流人工湿地植物的选择宜符合下列要求:

- (1) 根系发达,输氧能力强;
- (2) 适合当地气候环境,优先选择本土植物;
- (3) 耐污能力强、去污效果好;
- (4) 具有抗冻、抗病害能力;
- (5) 具有一定经济价值;
- (6) 容易管理;
- (7) 有一定的景观效应。

4.8.2 高负荷潜流人工湿地常用的植物有芦苇、千屈菜、茭白、香蒲、菖蒲、鸢尾、美人蕉等。

4.8.3 植物种植时间宜选择在春季。

4.8.4 植物种植密度可根据植物种类与工程的要求调整,挺水植物的种植密度宜为9株/ m^2 ~25株/ m^2 。

4.8.5 植物种植时,应保持池内一定水深,植物种植完成后,逐步增大水力负荷使其驯化适应处理水质;

4.8.6 同一批种植的植物植株大小应均匀,不宜选用苗龄过小的植物。

5 施工管理

本技术规范的施工管理遵照《山东省人工湿地水质净化工程技术指南》（DB37/T3394-2018）中第5部分执行。

6 运行管理

本技术规范的运行管理遵照《山东省人工湿地水质净化工程技术指南》（DB37/T3394-2018）中第6部分执行。
