# 《污水处理厂尾水人工湿地净化技术指南》 (征求意见稿)编制说明

《污水处理厂尾水人工湿地净化技术指南》编制组

二〇二〇年十月

项目名称: 2020年中国环境科学学会标准 (第一批)

承担单位: 南京大学

项目联系人: 陈昱 010-62269157

**编制组负责人:** 杨柳燕 13809043751

**编制组联系人:** 高燕 17751029507

## 目录

1.	项目	背景	1
	1.1	任务来源	1
	1.2	研究背景	1
	1.3	工作过程	2
2.	标准	制订的必要性分析	2
	2.1	我国污水处理厂尾水深度处理的需求	2
	2.2	我国人工湿地标准技术体系发展的需求	4
	2.3	尾水人工湿地净化技术发展的需求	5
3.	国内:	外相关标准的比较分析	6
	3.1	国外相关标准情况	6
	3.2	国内相关标准情况	8
4.	尾水.	人工湿地净化技术的研究现状	10
	4.1	国内外人工湿地技术的研究概况	10
	4.2	尾水人工湿地净化技术的现场运行及推广	12
5.	拟制	订标准的基本情况	15
5.		<b>订标准的基本情况</b> 标准的主要内容	
5.	5.1		15
5.	5.1 5.2	标准的主要内容	15
5.	<ul><li>5.1</li><li>5.2</li><li>5.3</li></ul>	标准的主要内容	15 15
5.	<ul><li>5.1</li><li>5.2</li><li>5.3</li><li>5.4</li></ul>	标准的主要内容	15 15 15
5.	<ul><li>5.1</li><li>5.2</li><li>5.3</li><li>5.4</li><li>5.5</li></ul>	标准的主要内容	15 15 16
	5.1 5.2 5.3 5.4 5.5 5.6	标准的主要内容	15151617
	5.1 5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 条文	标准的主要内容	1515161718
	5.1 5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 条文 <sup>2</sup>	标准的主要内容	1516171818
	5.1 5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 条文 <sup>2</sup> 6.1 6.2	标准的主要内容	151516171818
	5.1 5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 条文 6.1 6.2 6.3	标准的主要内容	15151617181818
	5.1 5.2 5.3 5.4 5.5 5.6 条文: 6.1 6.2 6.3 6.4	标准的主要内容	1515161718181819

	6.7	附属建(构)筑物	39
	6.8	施工与验收	39
	6.9	长效运行管理	42
7.	实施	本标准的效益分析	45
	7.1	生态效益	45
	7.2	经济效益	45
	7.3	社会效益	45
8.	实施强	建议	45

### 《污水处理厂尾水人工湿地净化技术指南》(征求意 见稿)编制说明

#### 1. 项目背景

#### 1.1 任务来源

为促进水体污染控制与治理科技重大专项标志性成果三"流域面源污染治理与水体生态修复成套技术"成果凝练,构建河湖生态修复技术标准体系。2019年,中国环境科学学会提出制定河湖生态修复系列团体标准的任务。经申请,南京大学负责承担《污水处理厂尾水人工湿地净化技术指南》的编制工作。

#### 1.2 研究背景

人工湿地技术广泛应用于污水处理厂尾水生态净化工程中,取得了一定的成效,但是由于湿地植物生长易受气候影响、占地规模大、易受堵塞、基质吸附易饱和、缺乏统一的标准和规范等影响,人工湿地净化尾水的效果受到制约。随着人工湿地技术的发展,人工湿地尾水强化净化技术取得了新的成果,但缺乏相应的标准规范进行整理归纳。为避免人工湿地净化新技术与标准制定相脱节的情况,本标准编制组在总结国内外人工湿地新技术的基础上,凝练水体污染控制与治理科技重大专项"十二五"课题《低污染水生态净化技术集成研究与工程示范》课题研发的植物厌氧发酵液补碳技术、电解强化人工湿地技术、冬季低温人工湿地保温措施与运行技术成果;总结在太湖流域建设的漕桥污水处理厂、官林污水处理厂、太湖湾污水处理厂和周铁污水处理厂等尾水处理的现场运行效果和二次污染防治管理经验。分析尾水中氮磷、重金属和难降解有机污染物等污染物的分布特点,比较人工湿地净化技术的优劣势。合理选择人工湿地净化系统、进水方式、植物配置形式和人工基质类型等,提升人工湿地强化净化尾水的效果,实现尾水深度净化目标,削减尾水排入受纳水体的污染物总量。

#### 1.3 工作过程

本标准编制单位成立了标准编制组。编制组召开了多次研讨会,讨论并确定了开展标准编制工作的原则、程序、步骤和方法。标准编制组成员在前期人工湿地技术研究、文献资料分析和基础调研的基础上,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》的编制规则,形成了本标准文本和编制说明。本标准制定工作共分为七个阶段,分别为初步分析、开题论证、全面调研、规范研究、征求意见、规范论证及规范审查。

#### 主要工作过程如下:

- (一) 2019 年 10 月~2019 年 12 月,对标准的编制进行了初步的分析,确定了标准的基本大纲。2019 年 12 月,项目组召开了标准编制工作启动会,进行了团体标准立项情况的汇报,开展了本标准的立项讨论。
- (二) 2020 年 1 月~2020 年 5 月,编制组完成了本标准的开题和立项工作。在开展文献查阅、现场调查和专家咨询的基础上,完成了《污水处理厂尾水人工湿地净化技术指南(初稿)》及编制说明(初稿)。
- (三)2020 年 6 月,中国环境科学学会主持召开《污水处理厂尾水人工湿地净化技术指南》(征求意见稿)召开标准征求意见稿前技术审查会,专家组一致认为本标准的适用范围具体、思路清晰、可操作性强,可为我国污水处理厂尾水水质提升提供支撑。建议按照专家意见进一步修改完善《污水处理厂尾水人工湿地净化技术指南》文本及编制说明;经专家函询同意后,进入公开征求意见阶段。
- (四) 2020年6月~2020年10月,编制组根据标准征求意见稿前技术审查会专家意见,修改完善《污水处理厂尾水人工湿地净化技术指南(征求意见稿)》及编制说明(征求意见稿)。

#### 2. 标准制订的必要性分析

#### 2.1 我国污水处理厂尾水深度处理的需求

我国水资源总量 27960 亿 m³, 人均水资源为 2004 m³/人, 仅为全球平均水平的四分之一, 是人均水资源较为匮乏的国家, 且我国水资源分布不均, 呈现"东丰西乏, 南多北少"的态势。2020 年 1 月底, 全国共有 10113 个污水处理厂核发

了排污许可证,其中 9873 座污水处理厂公布了污染物排放总量或排放浓度的信息,占比 97.6%。从处理水量规模分布来看,1-5 万 t/日污水处理厂占比最多,达 3147 座,占比 34.2%;根据我国《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002),污水处理厂出水标准分为一级 A、一级 B、二级和三级标准。目前,我国污水处理厂出水标准多为一级 A 和一级 B,根据污水处理厂的总氮、COD、氨氮和 BOD 排放标准可以计算得到,目前我国污水处理厂中约 1.9 亿 t/日出水达到一级 A 标准,占比约 83%。

污水处理厂尾水具有两大特点: Φ无法满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)。多数污水处理厂尾水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002),达标后往往排入地表水体,而地表水水质执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)。将两项标准的指标进行比较发现,《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中最严格的一级 A 排放标准劣于 《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的地表水V类水质标准,通俗讲,达标排放的尾水仍是劣V类水; ②不能稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)。由于我国一直以来重厂轻网,导致雨污管网分流不彻底、管道漏损等问题,加上城市管理水平不高等原因,我国城镇污水处理厂进水往往具有有机负荷较低、SS /BOD5 比值高、BOD5 /TN 比值低、重金属难以处理等特点,很大程度上限制了生化反应特别是反硝化过程的进行,从而对出水水质造成不利影响。

此外,在经济发达省份,城镇污水处理厂进水中工业废水的比例较高,以浙江省为例,工业废水水量的占比平均达 30% 以上,使得污水厂进水 BOD5/COD低、可生化性差,工业废水中的油脂等物质会影响生化处理效果和感观效果,难生物降解且具有生物毒性的物质(如重金属)容易对污水处理产生不利影响,导致尾水水质不能稳定达标。污染水处理厂尾水有排放量大且集中的特点,以人工湿地系统为核心的工艺具有处理效果较好、基建投资及运行费用低、运行维护简单和景观性强等优点,得到了日益广泛的应用。尾水人工湿地净化技术是我国污水处理厂尾水处理技术的重要发展方向之一。因此,制定科学规范的尾水人工湿地净化技术是我国污水处理厂尾水处理技术的重要发展方向之一。因此,制定科学规范的尾水人工湿地净化技术是我国地表水环境保护发展的需求。此外,城市污水具有水量大、水质稳定、回用时基建费用低等优点,对其进行深度处理,使之达到相应的水质标

准,可以减少污水排放量,减轻水体污染,有利于我国生态环境的可持续发展,一定程度上可缓解我国水资源和水环境质量面临的危机。

#### 2.2 我国人工湿地标准技术体系发展的需求

2009 年我国颁布了《人工湿地污水处理技术导则》(RISN-TG006—2009),2017 年颁布了《污水自然处理工程技术规程》(CJJ/T54—2017),2010 年又颁布了《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)。这三项国家层面的人工湿地设计规范内容包含了适用范围、水质水量、工艺选择、参数设计及管理维护的各个方面,为各地人工湿地设计、建设及后期管理维护提供了重要的依据。但是该标准主要针对生活污水等净化,比较笼统,实际操作很难实现。其他的地方标准如河南省地方标准《污水处理厂外排尾水人工湿地工程技术规范》(DB41/T 1947—2020)规定了污水处理厂外排尾水人工湿地工程的总体设计、工程设计、主要辅助工程、工程施工与验收、运行与管护等;《安徽省污水处理厂尾水湿地处理技术导则(试行)》地方标准除了规定表面流人工湿地、水平潜流人工湿地、垂直潜流人工湿地技术外,仅添加了湿地辅助技术(稳定塘、跌水复氧技术)来强化尾水中氮磷的去除,缺乏对人工湿地新技术的归纳总结。云南省规定的《高原湖泊区域人工湿地技术规范》(DB53/T306—2010)主要包括农田面源污水、径流水和城镇污水处理厂出水等低浓度污水的处理规范,对污水处理厂尾水处理的针对性不强。

表 2-1 我国人工湿地处理技术相关标准处理参数对比

标准类型	湿地类型	水力负荷	BOD₅负荷	水力停留时
你任 <del>父</del> 至 	<u>極地</u> 英垒	$[\mathbf{m}^3/(\mathbf{m}^2\;\mathbf{d})]$	$[kg/(hm^2 d)]$	间[d]
《人工湿地污水处	表面流人工湿地	<0.1	15-50	4-8
理工程技术规范》	水平潜流人工湿地	<0.5	80-120	1-3
(HJ2005—2010)	垂直潜流人工湿地	<1.0 (建议值:	80-120	1-3
		北方: 0.2-0.5;		
		南方: 0.4-0.8)		
《污水处理厂外排	表面流人工湿地	≤0.2	≤7.5	≤5-8
尾水人工湿地工程	水平潜流人工湿地	≤0.3-0.5	≤30	≤2-4

技术规范》	垂直潜流人工湿地	≤0.4-0.6	≤30	≤2-4	
( DB41/T					
1947—2020)					
《安徽省污水处理	表面流人工湿地	≤0.1	<i>≤</i> 20*	4-8	
厂尾水湿地处理技	水平潜流人工湿地	≤0.5	≤40*	2.5-5	
术导则(试行)》	垂直潜流人工湿地	0.1-0.3	≤20*	≥1	
备注: *为 COD <sub>Cr</sub> 负荷 g/(m <sup>2</sup> d)					

可见,上述规范为我国人工湿地污水处理工程的建设、运行、维护和管理提供了指导,主要适用于生活污水和尾水的处理,且相应的标准体系主要是从规范的层面上规定了表面流人工湿地、水平潜流人工湿地、垂直潜流人工湿地应用在尾水处理中运行参数,其水力负荷较低,水力停留时间较长。国外的案例表明尾水人工湿地净化技术在世界范围内具有广泛的适用性。大量人工湿地净化技术都已成功得到工程化应用,运行效果也较稳定。随着国内外新型尾水强化人工湿地技术以及组合人工湿地技术的发展,大量新型人工湿地处理技术都已成功得到工程化应用。从技术发展的角度看,我国对尾水净化型人工湿地的设计、运行、施工和二次污染物防止等过程的相关数据和资料缺乏系统的整理和概括,缺少针对污水处理厂尾水中污染物特点的人工湿地强化净化技术工艺流程系统进行总结;从标准体系的发展完整性角度看,我国目前缺少相应的提高尾水净化效果的人工湿地净化技术指南。因此,编写针对尾水的人工湿地净化技术指南有利于扩大人工湿地处理技术在我国尾水处理中的应用,提高人工湿地净化技术的应用效果。

#### 2.3 尾水人工湿地净化技术发展的需求

新型人工湿地技术可强化尾水中氮磷营养盐、部分难分解有机污染物、悬浮 颗粒物和重金属等有毒有害污染物质的深度去除,且占地面积较小,处理效果佳, 因此,受到了广泛的关注,通过国内外文献调研,主要的新型人工湿地技术如下:

(1) 电解耦合人工湿地技术。为了强化人工湿地脱氮除磷的效果,通过该技术与人工湿地工艺耦合,以期提高人工湿地的净化效能。当利用电化学技术进行尾水处理时,污水中氮素可以通过电催化氧化法和电催化还原法得到去除。前者可以直接或间接氧化尾水中氨氮,后者可以高效地去除污水中硝酸盐和亚硝酸

盐。而基于牺牲阳极的电絮凝技术则可以利用铁或铝等阳极材料在电解时产生的金属阳离子生成高活性的多形态聚铁或聚铝絮凝剂,将水中磷酸盐-磷予以去除。

- (2)铁碳微电解技术耦合人工湿地技术。尾水中残留的有机碳源以腐殖酸、富里酸、氨基酸及表面活性剂等为主,这些有机物多含有芳环,可生化性较差。铁碳微电解作为一种难降解污水的预处理工艺较广泛应用于印染、石化、医药、农药等领域,将铁碳微电解基质投放在人工湿地中,主要利用还原反应将尾水中大分子有机物转化为小分子,便于后续微生物降解,同时生成 Fe<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>具有良好的絮凝效果,可以吸附、沉淀部分难降解有机物和磷酸盐-磷。研究还表明,低C/N比下,促进了微生物反硝化脱氮,促进磷酸盐-磷的去除。
- (3)组合或多级人工湿地工艺。不同类型的人工湿地各有其优缺点,适合不同水质的处理。组合人工湿地将不同类型的人工湿地进行组合,充分发挥各类人工湿地的优点,提高人工湿地对污水的净化效率。目前,已有两级水平潜流湿地-一级自由表面流湿地-氧化塘和后水平潜流湿地、垂直流-水平潜流组合湿地、表面流人工湿地与氧化塘、垂直流湿地+生态塘+表面流湿地+水平流湿地组合工艺处理来强化尾水的深度脱氮除磷。

由于污水处理厂尾水具有水量大、集中且水质稳定等特点,因此,为了提高其人工湿地净化效果,不宜单一地使用某种类型的人工湿地技术,而应该联合各种处理效果稳定的新型人工湿地技术来强化尾水中污染物质的去除,同时克服人工湿地易受气温影响、基质易堵塞和占地面积大等问题。但是目前我国污水处理厂尾水人工湿地净化技术标准尚缺乏相应的技术规范,出现了人工湿地技术发展与相关标准规范不相匹配的现象。因此,尾水人工湿地净化技术的发展也有需要制订新的标准规范。

#### 3. 国内外相关标准的比较分析

#### 3.1 国外相关标准情况

人工湿地处理技术已在欧美等发达国家推广应用,人工湿地作为一种有效的污水处理技术,具有完善的技术规范。1988 年美国环保署(EPA)出台人工湿地设计手册 (Design Manual Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment (EPA/625/1-88/022),用于指导并鼓励人工湿

地污水处理技术的应用和推广; 1993 年出台了潜流人工湿地污水处理技术评估手册(Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment: a technology assessment (832-R-93-008)); 美国、澳大利亚及欧洲各国编制的人工湿地设计指南,设计方法多采用一级推流动力学模型,全球目前已拥有英国和北美两大人工湿地数据库,有关于大概 2000 多座人工湿地的设计、运行和建造情况的数据,有较大的参考价值。但由于影响人工湿地设计的因素较复杂,故各国出版的设计指南的相关动力学参数值差异也很大。通过文献调研整理,世界上主要发布的人工湿地标准 18 项,发布国家、时间和标准内容如下:

#### (1) 美国

2000年9月《Constructed Wetlands Treatment of Municipal, Waste waters》

2000 年 10 月 《 Guiding Principles For Constructed Treatment Wetlands:Providing for Water Quality and Wildlife Habitat》

2007 年 8 月《Constructed Wetlands Technology Assessment and Design Guidance》

2010年9月《Guidelines for Constructed Wetlands for Municipal Waste water Facilities》

#### (2) 爱尔兰

2010年《Integrated Constructed Wetlands.Guidance Document for Farmyard Soiled Water and Domestic Waste water Applications》

2008年10月《Constructed Farm Wetlands (CFW) Design Manual for Scotland and Northern Ireland》

#### (3) 德国

2017 年《Principles for Dimensioning, Construction and Operation of Wastewater Treatment Plants with Planted and Unplanted Filters for Treatment of Domestic and Municipal Wastewater》

#### (4) 加拿大

1999 年 11 月《Guidance Manual For The Design, Construction And Operation Of Constructed Wetlands For Rural Applications in Ontario》

2014年3月《Wetland Design Guidelines》

(5) 印度

2019年3月《Constructed wetland as an Alternative Technology for Sweage Management in India》

(6) 澳大利亚

2010年4月《Constructed Wetlands Guidelines》

2010年12月《Constructed Wetlands manual Part A3:design considerations for a constructed wetland》

2010 年 12 月《Water Sensitive Urban Design Technical Manual Greater Adelaide Region》

(7) 尼泊尔

2008年《Constructed Wetlands manual》

(8) 英国

1997年6月《Guidelines for Constructed Wetland Treatment of Farm Dairy Waste waters in New Zealand》

2003年《Guidance Manual for Constructed Wetlands》

(9) 德国

2017年12月《Standard DWA-A 262E DWA》

#### 3.2 国内相关标准情况

随着我国人工湿地技术的发展,到 2020 年,国家及各省级人工湿地设计规范,十二个省市共计十六项规范。这些规范所适用地区不同,气候条件差异较大并且处理水质也不同。国家行业标准主要有: 2009 年住建部颁布了《人工湿地污水处理技术导则》(RISN-TG006—2009),2010 年环保部颁布了《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ2005—2010),该标准主要是针对生活污水的处理来进行的,且其中的 COD<sub>Cr</sub>、氮磷等浓度较高。已经发布的地方标准主要是针对人工湿地工程技术设计和施工的角度进行规范的,如山东省的《人工湿地水质净化工程技术指南》(DB37/T 3394—2018)和《人工湿地水质净化工程竣工环境保护验收技术规范》(DB37/T 3393—2018);以及包括以生态修复为主要导向的江苏省地方标准《生态修复型人工湿地中植物配置技术规程》(DB32/T 3405—2018);以及依据各个地方地理特点的人工湿地规范如青海省公布的《河

湟谷地人工湿地污水处理技术规范》(DB63/T 1350—2015)、云南省公布的《高原湖泊区域人工湿地技术规范》(DB53/T 306—2010)以及具体针对某种污水处理的人工湿地规范,如北京市公布的《农村生活污水人工湿地处理工程技术规范》(DB11/T 1376—2016)、江苏省公布的《水解酸化-人工湿地无动力污水处理工程技术规范》(DB44/T 1995—2017)。目前,和尾水处理相关的地方标准有河南省公布的《污水处理厂外排尾水人工湿地工程技术规范》(DB41/T 1947—2020),该标准主要是从尾水人工湿地工程的总体设计、工程设计、主要辅助工程、工程施工与验收、运行与管护等角度来制定的技术规范。以及安徽省公布的《安徽省污水处理厂尾水湿地处理技术导则(试行)》,该标准除了规定表面流人工湿地、水平潜流人工湿地、垂直潜流人工湿地技术外,仅添加了湿地辅助技术(稳定塘、跌水复氧技术)来强化尾水中氮磷的去除。

表 3-1 我国行业及地方人工湿地标准概况

次 3-1					
标准名称	发布部门	适用对象			
《人工湿地污水处理技术	住房和城	污水系统包括生活污水、污水处理厂二级出水或具			
导 则 》	乡建设部	有类似性质的污水。			
(RISN-TG006—2009)					
《人工湿地污水处理工程	原环境保	适用于城镇生活污水、城镇污水处理厂出水及类似			
技 术 规 范 》	护部	水质的污水处理工程。			
(HJ2005—2010)					
《污水自然处理工程技术	住房和城	适用于规模≤10000m³/d 城镇污水和农村污水,适			
规程》(CJJ/T54—2017)	乡建设部	用于规模≤100000m³/d 城镇污水处理厂出水受有			
		机物污染的地表水,具有类似水质的其他污水。			
《人工湿地污水处理技术	江苏省住	适用于生活污水处理规模≤2000m³/d,处理厂尾水			
规程》	房和城乡	处理时规模≤10000m³/d 处理水量。			
(DGJ32/TJ112—2010)	建设厅				
《有机基质型人工湿地生	江苏省住	适用于农村乡镇等小型、分散的有机基质型人工湿			
活污水处理技术规程》	房和城乡	地生活污水处理工程的设计、施工、验收及运行管			
(DGJ32/TJ168—2014)	建设厅	理。			
《人工湿地污水处理技术	上海市城	适用于本市规划实施服务人口在 3 万人以下的镇			
规程》	乡建设和	(乡)和村的新建、改建和扩建的生活污水处理工			
(DG/TJ08-2100—2012)	交通委员	程中人工湿地的设计、施工验收及运行管理。			
	会				
安徽 《安徽省污水处理厂	安徽省住	适用于安徽省省内排入封闭水体的污水处理厂尾			
尾水湿地处理技术导则 建厅		水处理。			
(试行)》	建设计院				
浙江(2015) 《浙江省生	浙江省环	适用于采用人工湿地处理生活污水,规模			
活污水人工湿地处理工程	保产业协	$\leq 10000 \text{m}^3/\text{d}$			

技术规程》	会	
《人工湿地水质净化工程	山东省质	适用于进水为微污染水体的人工湿地水质净化工
技 术 指 南 》	量技术监	程。
(DB37/T3394—2018)	督局	
《农村生活污水人工湿地	北京市质	适用于农村生活污水或具有类似性质的污水,餐饮
处理工程技术规范》	量技术监	业生活污水、日常生活污水以及小型污水处理厂尾
(DB11/T1376—2016)	督局	水。
《天津市人工湿地污水处	天津市城	适用于天津市市域范围内城镇和农村污水处理(规
理技术规程》	乡建设委	模≤1000m³/d)、污水厂出水深度净化、景观水体
(DB/T29-259—2019)	员会	旁路处理、雨水径流污染处理等人工湿地工程或其
		他类似水质处理
《河北省人工湿地污水处	河北省住	本规程处理对象为生活污水、初期降雨或具有类似
理技术规程》(征求意见	房和城乡	性质的污废水。包括城市生活污水、农村生活污水、
稿)	建设厅	学校生活污水、住宅小区生活污水、宾馆污水、机
		关事业单位污水等。
《水解酸化-人工湿地无	广东省质	主要用于治理农村生活污水,改善农村生活环境污
动力污水处理工程技术规	监局	水处理的工程技术规范。
范》(DB44/T 1995—2017)		
《污水处理厂外排尾水人	河南省环	适用于河南省污水处理厂外排尾水人工湿地工程
工湿地工程技术规范》	保厅及质	设计、施工、验收和运行管理。
(DB41/T 1947—2020)	监局	
《高原湖泊区域人工湿地	云南省质	主要包括农田面源排水、径流水和城镇污水处理厂
技 术 规 范 》	量技术监	出水等低浓度污水等人工湿地净化。
(DB53/T306—2010)	督局	
《河湟谷地人工湿地污水	青海省环	主要针对城镇污水处理厂尾水、经适当预处理的生
处理技术规范》(DB63/T	保厅及质	活污水或其他性质类似的低浓度污废水,也可用于
1350—2015)	监局	农田面源排水净化、受污染地表水治理等借鉴。

#### 4. 尾水人工湿地净化技术的研究现状

#### 4.1 国内外人工湿地技术的研究概况

人工湿地是指模拟自然湿地结构与功能,人工建造的利用植物、基质、微生物的物理、化学、生物三者协同作用净化污水的一种生态处理技术,通过基质吸附、植物吸收和微生物分解等作用实现对污水的高效净化。世界上公认的第一处用于污水处理的人工湿地是 1903 年建在英国约克郡 Earby 州建立的湿地系统。德国 Max Planck 研究所的 Dr.Kathe Seidel 发现芦苇可以去除污水中有机物和无机物,并开发了"Max-Planck institute process"系统。1967 年,荷兰开发了现在称为 Lelysttad Process 的污水处理系统,该系统是一个星形自由水面流湿地,占地为 1 公顷,水深为 0.4 m。20 世纪 60 年代中期,Seidel 与 Kickuth 合作开

发了"根区法"这一概念,从此标志着人工湿地机理研究初步阶段的开始。至 60 年代末,美国国家空间技术实验室开发了一种"厌氧微生物和芦苇处理污水"的复合系统。1986 年,湿地污水处理方面的九大商务集团制定了欧洲芦苇床处理系统设计和运行管理规范,之后在 1995 年由 Cooper 和 Green 进行了修订。20 世纪 80、90 年代,人工湿地在欧洲、美国、加拿大和日本等地广泛应用。我国在人工湿地领域起步较晚,首例采用人工湿地处理污水的工作开始于 1987 年,由天津市环境保护研究所建成占地 6 hm²,处理规模为 1400 m³/d 的芦苇湿地工程。1989 年建成了北京昌平自由表面流人工湿地,处理量为 500 t/d,处理效果优于传统的二级处理工艺。1990 年国家环保局华南环保所在深圳建立了白泥坑人工湿地示范工程,并以此为基础开展了湿地内部生物降解动力学、水力学等相关研究,深圳"洪湖公园"中兴建了一处"人工湿地"是中国首次在城市绿地中应用。

人工湿地作为一种生态友好型污水处理技术,以其投资成本低、效率高、生态服务比高,氮磷去除能力强、对负荷变化适应性强,以及兼具美学价值等优点吸引了人们的关注,在近年快速发展,国际及国内建设数量也不断增长。目前,美国有 600 多处人工湿地工程用于处理市政、工业和农业污废水(400 多处用于处理煤矿废水,50 多处用于处理生物污泥,近 40 处用于处理暴雨径流,超过 30 处用于处理奶产品加工废水)。丹麦、德国、英国各国至少有 200 处人工湿地(主要为地下潜流湿地)系统在运行。新西兰也有 80 多处人工湿地系统被投入使用。2012 年我国建成人工湿地工程 425 座,李小艳等通过文献调研方法整理发现 2015 年我国有 791 座湿地工程。

由于其投资少且易于维护,加上良好的处理效果及生态特性,人工湿地逐步推广被用于各类污水处理中。早期的人工湿地多用来处理生活污水或二级污水处理厂的出水,后经过改进逐步应用于农业污水、城市或公路径流、工业废水、垃圾渗滤液、重金属、高盐废水以及一些新型有机污染物如个人护理用品(PPCPs)的处理。近年来,国内许多学者也在积极开展新型人工湿地技术的研究工作,不再局限于以前单一的研究内容,研究方向更为复杂化并与热点问题结合紧密。人工湿地技术可与其他工艺进行耦合强化脱氮除磷,组合湿地污染物去除效果明显优于单一湿地。目前,人工增氧技术、电解技术、微生物燃料电池技术、潮汐流技术、固定化微生物技术、组合人工湿地技术等新型人工湿地强化技术可以用来

进一步提高污水中氮磷去除。

同时,在应用过程中人工湿地也出现了包括易受气温影响、基质易堵塞和占地面积大、缺乏统一规范和标准等问题,这些问题对人工湿地的应用造成了一定的负面影响。其中气温的影响比较大,直接影响了湿地的净化效果;而基质堵塞会缩短湿地的使用寿命,同时影响处理效果的可靠性;占地面积大则会影响土地的批复使用。因此,今后的研究和应用需注重人工湿地处理能力的长期维持及稳定。同时人工湿地处理低污染水的技术有待进一步的深入研究,尤其在机理方面,这些问题影响和阻碍着人工湿地技术的开发和利用。

#### 4.2 尾水人工湿地净化技术的现场运行及推广

在"十二五"期间,结合水专项《低污染水生态净化技术集成与工程示范》课题的科研成果,已经完成武进太湖湾污水处理厂、武进漕桥污水处理厂、新龙生态林综合利用工程等尾水人工湿地净化工程,同时在常州地区完成了技术推广。

武进太湖湾污水处理厂和漕桥污水处理厂尾水人工湿地生态净化工程处理规模分别为 2000 t/d 和 6000 t/d,采用光伏电解人工湿地处理系统可有效地去除水中的氮、磷、COD 等污染物,出水氨氮和总磷达到地面水环境质量标准的 V 类水质标准。另外,水生植物生产有机酸,实现资源化。





图 4-1 武进太湖湾污水处理厂尾水生态净化工程与光电湿地处理系统





图 4-2 武进漕桥污水处理厂尾水生态净化工程与光电湿地处理系统

宜兴官林污水处理厂尾水人工湿地生态净化工程处理水量 10000 t/d,采用了添加水生植物生物质炭-发酵液的人工湿地强化净化技术、生态净化技术模块组装技术和资源化技术,有效削减尾水中氮磷污染物。





图 4-3 宜兴官林污水处理厂尾水生态净化工程

常州新龙生态林湿地尾水净化与中水回用工程和武进水产养殖水生态净化与循环养殖工程处理设计规模分别为80000 t/d和5000 t/d,在比选不同水生植物、不同流态、不同人工湿地处理效率的基础上,采用模块化技术分析不同生态单元的净化能力和对水质特征的响应,开发生态净化的模块化技术和组合运行方法,以满足不同水质的变化特征对净化的需求,有效削减低污染水氮磷物质,形成低污染水深度生态处理技术体系,有效削减入河COD、氮磷污染负荷。





图 4-4 常州武进水产养殖水生态净化与循环养殖工程





图 4-5 常州新龙生态林湿地尾水净化与中水回用工程

宜兴周铁污水处理厂尾水生态净化工程处理规模 5000 t/d,采用浅滩人工湿地强化净化技术,经表面流湿地处理,结合生态沟渠与生态浮床-仿生材料强化净化,生态净化后出水优于地表水 V 类水质标准。





图 4-6 宜兴周铁污水处理厂尾水生态净化工程

#### 5. 拟制订标准的基本情况

#### 5.1 标准的主要内容

本文件规定了污水处理厂尾水人工湿地净化技术总体要求、尾水人工湿地净化系统、施工和验收、二次污染防治和长效运行管理技术的要求。本文件适用于污水处理厂尾水人工湿地净化系统,可作为污水处理厂尾水污染物人工湿地深度去除的技术选择、设计、施工、验收及其建成后运行管理的技术依据。

#### 5.2 标准的法律地位与作用

为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国水污染防治法》和《中华人民共和国河道管理条例》等法律,规范我国污水处理厂尾水人工湿地净化技术工艺流程,促进尾水深度净化,制定本指南。从人工湿地技术标准体系发展的完整性角度看,本指南有利于完善我国尾水人工湿地净化技术标准,有利于扩大尾水人工湿地处理技术在我国尾水处理中的应用,提高人工湿地技术的应用领域。制定《污水处理厂尾水人工湿地净化技术指南》,从政策上和技术上推荐先进的人工湿地净化技术工艺,提高污水处理厂尾水的污染控制水平,促进我国生态环境质量持续稳定改善,提升流域水污染治理水平,保护和改善我国流域水环境质量。

#### 5.3 编制标准的基本原则

#### 5.3.1 科学性原则

污水处理厂尾水人工湿地净化技术应根据尾水中污染物的类型和人工湿地 净化技术的特色来确定,人工湿地净化技术既要体现尾水处理技术的共性,又要 体现人工湿地技术强化去除不同污染物的特殊性。

#### 5.3.2 针对性原则

针对我国污水处理厂尾水污染及人工湿地处理的实际情况,正确反映污水处理厂尾水人工湿地净化技术的核心目标及主要问题,针对尾水提标改造工作的主要问题,构建具有较强重要性及代表性的人工湿地净化技术体系,确定技术方案及污染物去除能力的阶段性目标。

#### 5.3.3 可操作性原则

人工湿地净化技术体系应充分考虑我国地域的特点、技术的可操作性及经济 性,以及为生态环境相关管理机构和检测机构提供相关数据的可行性。

#### 5.4 拟采用的方法

#### 5.4.1 文献调研

通过广泛的文献和资料查询,对国内外污水处理厂尾水人工湿地净化技术的发展方向和标准规范情况进行调研,对污水处理厂尾水处理现状进行详细的综合调研,把握国内外人工湿地处理污水处理厂尾水处理的发展方向,明确编制《污水处理厂尾水人工湿地净化技术指南》的技术特色和适用对象。

#### 5.4.2 实地调研

依据指南确定的工艺设计流程,在我国选择典型江苏省苏南地区开展污水处理厂尾水的治理效果调研,同时对我们设计实施的污水处理厂尾水人工湿地净化工程长期运行效果进行分析,充分验证并调整技术指南,使所制定的污水处理厂尾水人工湿地净化技术指南满足我国污水处理厂尾水中氮磷、难降解有机污染物、重金属等污染物的削减要求。

#### 5.4.3 公众参与

环境标准是科学管理环境的技术基础,也是经济效益、环境效益和社会效益 最直接的体现。在形成环境标准时,既要依靠技术专家的意见,提出环境标准体 系的整体框架,同时也要广泛向社会各界征集所需要的环境标准,纳入到环境标 准体系中去,通过社会的力量和积极性,使环境标准尽可能完善,达到更广的覆 盖面,能够符合和满足社会不同领域的需求。

#### 5.4.4 专家咨询

公开征求意见及标准文本完善修改,撰写标准草案,并征询主管单位、各级 政府、相关部门、研究机构和专家等对草案的意见和建议,对草案进行修改和完 善,形成正式稿。

#### 5.5 技术路线

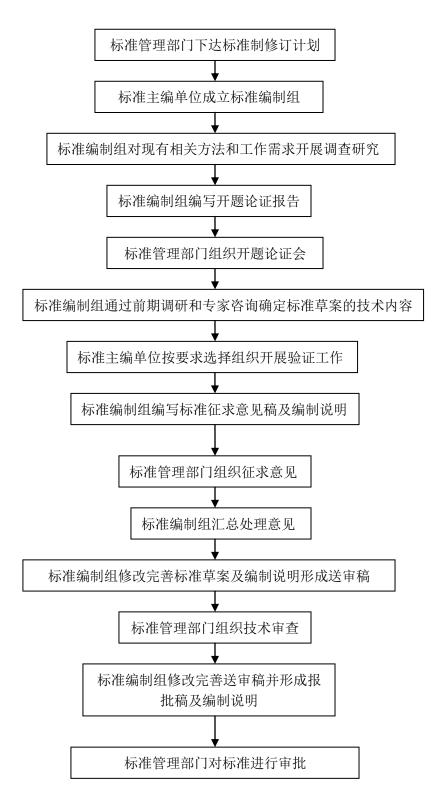


图 5-1 标准制订的技术路线

#### 5.6 标准框架结构

- 1. 适用范围:本标准的主题内容与适用范围。
- 2. 规范性引用文件: 本标准中引用的标准、规范等。
- 3. 术语与定义: 本标准中关键词语的解释。
- 4. 尾水收集: 污水处理厂尾水收集要求、收集原则、水量和水质、尾水水质现状分析与调查四个方面进行了相关说明。
- 5. 总体要求: 尾水人工湿地净化系统实施流程、净化目标、基本原则、建设规模、场址选择、总体布局等方面进行了说明。
- 6. 尾水人工湿地净化系统:包括了一般规定、工艺流程、设计参数、工艺要求、 基质选择、大型水生植物选择、集、配水及出水、人工湿地植物厌氧发酵液 补碳、后处理和二次污染防治等方面进行了说明。
- 7. 附属建(构)筑物:泵站、检查井和出水口。
- 8. 施工和验收:一般规定、工程施工和工程验收。
- 9. 长效运行管理:规定了运行管理的一般要求、长期运行保障机制、运行监测和持续改进。

#### 6. 条文说明

#### 6.1 适用范围

本文件规定了污水处理厂尾水人工湿地净化技术总体要求、尾水人工湿地净化系统、施工和验收、二次污染防治和长效运行管理技术要求。

本文件适用于污水处理厂尾水人工湿地净化系统,可作为污水处理厂尾水污染物人工湿地深度去除的技术选择、设计、施工、验收及其建成后运行管理的技术依据。

#### 6.2 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,仅所注 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 3838 地表水环境质量标准

- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB 14554 恶臭污染物排放标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
- GB 18918 城镇污水处理厂污染物排放标准
- GB 34330 固体废物鉴别标准通则
- GB 50014 室外排水设计规范
- GB 50052 供配电系统设计规范
- GB 50054 低压配电设计规范
- GB 50069 给排水工程结构设计规范
- GB 50093 自动化仪表工程施工及质量验收规范
- GB 50141 给水排水构筑物工程施工及验收规范
- 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 50254 电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范
- GB 50268 给水排水管道工程施工及验收规范
- GB 50334 城市污水处理厂工程质量验收规范
- GB 50335 城镇污水再生利用工程设计规范
- GB/T 18921 城市污水再生利用景观环境用水水质
- GB/T 37655 光伏与建筑一体化发电系统验收规范
- CJJ/T 54 污水自然处理工程技术规范
- HJ 588 农业固体废物污染控制技术导则
- HJ 2005 人工湿地污水处理工程技术规范
- HJ 91.1-2019 污水监测技术规范
- RISN-TG 006 人工湿地污水处理技术导则

《地表水环境质量评价办法(试行)》(环办〔2011〕22号)

《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国规环评〔2017〕4号)

#### 6.3 术语和定义

下述术语和定义适用于本标准。

#### **6.3.1** 尾水 effluent

本文件定义为:"污水经污水处理厂处理后排放的出水"。参考 DB41/T 1947-2020 对尾水的定义"污水经污水处理厂处理后的出水";参考 GB 18918-2002"出水为污水处理厂工艺末端排放口"。

#### **6.3.2** 人工湿地 constructed wetland

本文件定义为: "人工建造和长期管理的具有湿地性质的尾水生态处理系统,主要通过湿地床层中物理、化学和生物的组合作用净化尾水。人工湿地一般由透水的基质、水生植物、微生物及水体等部分组成,各部分相互协作,构成一个复杂的生态系统,通过过滤、吸附、沉淀、植物吸收和微生物降解等途径高效分解与净化污染物"。参考 HJ 2005-2010 对人工湿地的定义"人工湿地指用人工筑成水池或沟槽,底面铺设防渗漏隔水层,充填一定深度的基质层,种植水生植物,利用基质、植物、微生物的物理、化学、生物三重协同作用使污水得到净化。按照污水流动方式,分为表面流人工湿地、水平潜流人工湿地和垂直潜流人工湿地"。综合分析得出本文件中人工湿地的定义。6.3.3 表面流人工湿地 surface flow constructed wetland

本文件定义为:"表面流人工湿地属于人工湿地的一种,基质滤料位于下层, 尾水自由流过基质层表面,从进水端水平流向出水端,依靠表层介质、植物根系 及其上生物膜的物理、化学及生物作用,使尾水得以净化的人工湿地"。参考 HJ 2005-2010 对表面流人工湿地的定义"指污水在基质表面以上,从池体进水端水平 流向出水端的人工湿地";参考 DGJ32/TJ112-2010 对表面流人工湿地的定义"指 水在人工湿地介质层表面流动,依靠表层介质、植物根茎的拦截及其上的生物膜 降解作用,使水净化的人工湿地"。综合分析得出本文件中表面流人工湿地的定 义。

#### **6.3.4** 水平潜流人工湿地 horizontal subsurface flow constructed wetland

本文件定义为:"水平潜流人工湿地属于潜流湿地的一种,基质滤料填满床层,尾水水平流经基质滤料层,通过基质滤料的过滤和截留去除污水中污染物,并在人工湿地基质好氧和缺氧环境中,利用附着在基质滤料上的微生物去除有机物和氮磷等污染物"。参考 HJ 2005-2010 对水平潜流人工湿地的定义"指污水在基质层表面以下,从池体进水端水平流向出水端的人工湿地"和 DB41/T 1947-2020的定义"水流由进水口一端沿水平方向流过湿地基质基质床,依次经过砂石、介

质、植物根系,流向出水口一端"。本文件的定义强调了污水的流向和污染物的 去除过程与机理。

#### 6.3.5 垂直潜流人工湿地 vertical subsurface flow constructed wetland

本文件定义为:"垂直潜流人工湿地属于潜流湿地一种。当采用尾水垂直下向流时,进水可通过间歇布水与空气直接接触并得到高效复氧,然后进入滤床与基质滤料上的微生物接触,发生硝化和有机物降解作用;当采用垂直上向流时,进水与基质滤料上的微生物接触,发生反硝化和有机物降解作用"。参考 HJ 2005-2010 对垂直潜流人工湿地的定义"指污水垂直通过池体基质层的人工湿地"和 DB41/T 1947-2020 的定义"水流在基质层中由表面纵向流至床底,依次经过不同的介质层、植物根系"。本文件中的定义参考了以上定义中的基本内涵,并增加了氮、有机物的去除过程。

#### 6.3.6 电解-水平潜流人工湿地 electrolysis-subsurface flow constructed wetland

本文件定义为"电解-水平潜流人工湿地属于强化型人工湿地的一种,基质由生物质炭、砾石、生物陶粒和沸石等组成,基质层内垂直布置铁阴极、铁阳极电极,在光伏电池或电网联合供电下进行电解反应,同时基质中生长大型水生植物,当尾水流经电解-水平潜流人工湿地时,发生有机物氧化、脱氮除磷和重金属沉淀去除的作用"。参考 HJ 2005-2010 对水平潜流人工湿地的定义"指污水在基质层表面以下,从池体进水端水平流向出水端的人工湿地",同时参考了"Intensified nitrate and phosphorus removal in an electrolysis-integrated horizontal subsurface-flow constructed wetland"文章对电解-水平潜流人工湿地强化去除氮磷污染物能力的评价。

#### **6.3.7** 铁碳微电解人工湿地 iron carbon micro-electrolysis constructed wetland

本文件定义为: "在潜流人工湿地的基质滤料中添加一定数量的纳米铁颗粒和活性炭,形成铁碳微电解人工湿地,有效削减有机污染,同时实现脱氮除磷"。铁碳微电解又名内电解法,参考《水处理电化学原理与技术》(曲久辉、刘会娟等著)对内电解技术的定义: "是废水处理中一种重要的预处理方法。其基本原理是,两种电位不同的物质在电解质溶液中接触浸泡就会形成原电池,并在周围空间形成电场,在电场的作用下,水中带电的污染物分子移向相反电极,并吸附在电极表面上发生氧化还原反应,降解成小分子物质。同时,电极反应生成的产

物也能与溶液中的污染物发生氧化还原反应,产生吸附、絮凝沉淀等,达到进一步去除污染物的目的"。本文件的定义的微电解基质是以纳米铁和活性炭为基质的人工湿地。

#### 6.3.8 稳定塘 stabilization pond

本文件定义为:"稳定塘是一种尾水的生态处理措施,又称氧化塘、生物塘。稳定塘净化尾水的原理与自然水域的自净机理十分相似,尾水在塘内滞留的过程中,水中有机物通过好氧微生物氧化分解或厌氧微生物的分解而得到去除。好氧微生物代谢所需的溶解氧由塘表面大气复氧或菌藻类微生物光合作用提供"。参考《水污染控制工程》对稳定塘的定义:"稳定塘,又称好氧塘,是一种天然的或经一定人工构筑的污(高廷耀、顾国维、周琪主编)水处理系统。污水在塘内经较长时间的停留、储存,通过微生物(细菌、真菌、藻类、原生动物等)的代谢活动,以及相伴随的物理的、化学的、物理化学的过程,使污水中的有机污染物、营养素和其他污染物质进行多级转换、降解和去除,从而实现污水的无害化、资源化和再利用"。

#### **6.3.9** 基质 substrate

本文件定义为: "提供人工湿地植物与微生物生长并对污染物起过滤、吸附作用的填充材料,包括土壤、砂、砾石、沸石、石灰石、页岩、火山岩、塑料、生物质炭、陶粒和其它可去除特定污染物的新型环保材料等"。参考了 HJ 2005-2010 对基质的定义"基质指提供人工湿地植物与微生物生长并对污染物起过滤、吸收作用的填充材料,包括土壤、砂、砾石、沸石、石灰石、页岩、塑料、陶瓷等"。在此基础上,本定义添加了基质的种类。

## **6.3.10** 湿地植物厌氧发酵液补碳 carbon supplied by anaerobic fermentation liquid from wetland plant

本文件定义为: "将一些湿地植物初步粉碎处理,进行厌氧发酵后形成含有各种有机酸等发酵液,当尾水中缺乏碳源或冬季脱氮微生物活性低导致脱氮效率下降时,在潜流人工湿地前端可外加湿地植物厌氧发酵液,提高人工湿地系统的反硝化脱氮能力"。本定义参考了人工湿地常用外加碳源包括低分子碳水化合物为主的易生物降解碳源、以污水和污泥为主的碳源和固体有机物碳源(黄杉,怀静,吴娟,钟非,成水平.碳源补充促进人工湿地脱氮研究进展[J].水处理技

术,2018,44(01):13-16.)。参考郭琼等对厌氧发酵产酸是指在兼性厌氧菌和专性厌氧菌的作用下,水生植物中所含的糖类、蛋白质、脂质等大分子物质被分解为小分子有机酸和醇类等有机物,根据末端产物不同,可分为乙醇型发酵、丙酸型发酵、丁酸型发酵和混合酸发酵。发酵产酸就是利用厌氧发酵的水解和酸化阶段,抑制产甲烷过程,将产生的挥发性脂肪酸作为能源物质加以利用,这是实现水生植物减量化和资源化的新途径(郭琼. 大型水生植物发酵液用于硫酸盐还原菌去除重金属研究[D].南京大学,2017)。

#### **6.3.11** 生物残体 biological residue

本文件定义是:"人工湿地和稳定塘等生态净化系统产生的生物体、收割物、废弃物,以及老化的生物膜和生物污泥等物质"。湿地生物残体是湿地生物-水体-土壤之间物质联系的纽带其分解过程和分解速率直接影响湿地生物地球化学循环过程和湿地生态系统的生物与环境健康。本文件中人工湿地净化系统的生物体主要包括:湿地植物、湿地动物、生物膜、生物污泥等,因此,参考其生物体类型来定义生物残体。

#### 6.3.12 电解-生物滤床 electrolysis-biofilter

本文件定义为:"电解-生物滤床吸收处理含致臭物质的尾气,属于强化生态滤床的一种,基质由生物质炭、生物陶粒、石子和沸石等组成,基质层内垂直布置铁阳极和铁阴极,在光伏电池或电网联合供电进行电解反应,当发酵池或发酵罐恶臭气体流经电解-生态滤床时,发生硫化物的沉淀反应、氨氧化作用等,有效去除发酵池或发酵罐的恶臭气体等污染物质,特别是致臭物质"。参考了《水污染控制工程》(高廷耀、顾国维、周琪主编)对生物滤池的阐述:生物滤池,由碎石或塑料制品基质构成的生物处理构筑物,污水与基质表面上生长的微生物膜间隙接触,使污水得到净化。滤料的基质主要有碎石、卵石、炉渣和焦炭等小比表面积和低孔隙率实心滤料,发展到如今使用的高强度、轻质、比表面积大、孔隙率高的各种滤料滤料。并参考了对"High performance of nitrogen and phosphorus removal in an electrolysis-integrated biofilter"电解-生物滤床构建、处理过程和效果描述。

#### 6.4 尾水收集

本条规定了污水处理厂尾水收集要求、收集原则、收集水量和水质、尾水水

质现状分析与调查四个方面进行了尾水收集的条文说明。

#### 6.4.1 污水处理厂尾水收集要求

依据国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的规定,污水处理厂水质取样在污水处理厂处理工艺末端排放口。尾水的水质要求主要按照基本控制项目最高允许排放浓度(日均值)来、部分一类污染物最高允许排放浓度(日均值)以及选择控制项目最高允许排放污染物浓度(日均值)来进行规定尾水排放要求。

#### 6.4.2 污水处理厂尾水收集原则

本条文规定了污水处理厂尾水收集的原则。

- (1)污水处理厂尾水收集按照沟渠优先、管道为辅原则进行收集,可根据 当地的自然、地形、地貌和经济水平等条件通过沟渠或管道进行收集。
- (2) 当污水处理厂处于环境敏感区域或受纳水体对水质要求较高时,沟渠 需进行必要的防渗设计。

编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题的尾水人工湿地建设经验、《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ2005—2010)和《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)对尾水排放标准分级的要求及人工湿地建设的总体要求进行规定。

#### 6.4.3 污水处理厂尾水收集水量和水质

本条文规定了污水处理厂尾水收集水量和水质要求的基本原则,同时对于接纳工业废水的污水处理厂尾水,其选择的控制项目的要求也进行了说明。

- (1) 污水处理厂尾水收集水量由人工湿地实际处理规模决定。
- (2)进入人工湿地的尾水进水水质主要指标宜优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准(表 6-1),包括 pH 6~9,化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>) $\leq$ 50 mg/L,生化需氧量(BOD<sub>5</sub>) $\leq$ 20 mg/L,悬浮物(SS) $\leq$ 20 mg/L,氨氮(NH<sub>3</sub>-N) $\leq$ 8.0 mg/L,总磷(TP) $\leq$ 1 mg/L,总氮(TN) $\leq$ 20 mg/L。冬季水温 $\leq$ 12°C时,氨氮(NH<sub>3</sub>-N) $\leq$ 15 mg/L。部分一类污染物最高允许排放浓度(日均值)按照《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)标准执行(表 6-2)。

(3)对于接纳工业废水的污水处理厂尾水,其选择的控制项目由地方环境保护行政主管部门根据城镇污水处理厂接纳的工业污染物的类别和水环境质量要求决定,可参考《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)标准执行。

表 6-1 基本控制项目最高允许排放浓度(日均值) 单位 mg/L

H	基本控制项目		一级标准		— /ar 1 → v/A-	/ I WA
序号			A 标准	B标准	二级标准	三级标准
1	化学需氧量	量(COD)	50	60	100	120 <sup>ð</sup>
2	生化需氧量	量(BOD <sub>5</sub> )	10	20	30	60 <sup>b</sup>
3	悬浮物(S	SS)	10	20	30	50
4	动植物油		1	3	5	20
5	石油类		1	3	5	15
6	阴离子表面	面活性剂	0.5	1	2	5
7	总氮 (以)	N 计)	15	20	-	-
8	氨氮 (以)	N 计) <sup>含</sup>	5 (8)	8 (15)	25 (30)	-
9	总磷 (以	2005 年	1	1.5	3	5
	P 计)	12月31				
		日前建				
		设的				
		2006年1	0.5	1	3	5
		月1日起				
		建设的				
10	色度 (稀释倍数)		30	30	40	50
11	pН		6-9			
12	粪大肠菌群数 (个		$10^{3}$	$10^{4}$	10 <sup>4</sup>	-
	/L)					

注:  $\Phi$ 下列情况下按去除率指标执行: 当进水 COD 大于 350 mg/L 时,去除率应大于 60%; BOD 大于 160 mg/L 时,去除率应大于 50%。

2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。

表 6-2 部分一类污染物最高允许排放浓度(日均值) 单位 mg/L

序号	项目	标准值
1	总汞	0.001
2	烷基汞	不得检出
3	总镉	0.01
4	总铬	0.1
5	六价铬	0.05
6	总砷	0.1
7	总铅	0.1

#### 6.4.4 尾水水质现状分析与调查

本条文规定了尾水水质现状分析与调查。

- (1) 尾水人工湿地与污水处理厂同步设计施工的,按照污水处理厂尾水排放浓度最高的污染物指标作为尾水人工湿地的进水设计指标;对于已经运行的污水处理厂,应收集近期三年内尾水水质检测资料,检测数据不足三年时应以近期水质检测数据为准。对于污水处理厂近三年水量变化较大的,应同步收集尾水水量的数据。
- (2) 尾水水质按照 HJ 91.1 进行检测与分析,采样点数量、采样位置和采样频率应根据具体情况增减。
- (3)污水处理厂尾水可采用《地表水环境质量评价办法(试行)》评价水质。

依据《污水监测技术规范》(HJ 91.1—2019)对尾水水质进行检测与分析,采样点数量、采样位置和采样频率应根据具体情况增减。依据《地表水环境质量标准》(GB 3838)和《地表水环境质量评价办法(试行)》地表水水质评价指标为: 《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)表 1 中除水温、总氮、粪大肠菌群以外的 21 项指标。水温、总氮、粪大肠菌群作为参考指标单独评价。

#### 6.5 总体要求

本条文规定了尾水人工湿地净化系统实施流程。

尾水人工湿地净化工艺实施流程一般包括: (1) 尾水水质现状调查; (2) 问题分析诊断; (3) 净化目标确定; (4) 方案比选与设计; (5) 工程施工与验收; (6) 长效运行管理。

本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题的尾水人工湿地建设经验、《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中人工湿地污水处理工程的建设、运行、维护和管理的规定来制定尾水人工湿地净化工艺实施流程。

#### 6.5.2 净化目标

本条文规定了尾水人工湿地净化系统的净化目标。

(1) 人工湿地净化之后排放水的主要水质指标包括: pH 6~9, COD<sub>Cr</sub>≤40 mg/L, NH<sub>3</sub>-N≤2.0 mg/L, TN≤2.0 mg/L, TP≤0.4 mg/L, DO≥2 mg/L。部分一类污

染物按照地表水环境质量标注 V 类水要求执行。

- (2) 尾水人工湿地净化处理效率要求 COD<sub>Cr</sub> 去除率不低于 20%, NH<sub>3</sub>-N 去除率不低于 75%, TN 去除率不低于 90%, TP 去除率不低于 60%。
- (3)各地可根据尾水处理之后受纳水体功能的需求制订严于或宽于上述人工湿地净化后出水排放限值或处理效率的标准。

尾水人工湿地净化系统的净化目标按照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中 表 1 地表水质量标准基本项目标准限值中 V 类水的要求进行规定。

#### 6.5.3 基本原则

本条文规定了尾水人工湿地净化系统的基本原则。

- (1) 尾水人工湿地净化系统应因地制宜地选择费用投入省、运行成本低、 处理效果好、操作简便易行和维护管理方便的人工湿地技术。
- (2)以生态安全、节能减排、资源化和景观化为基本原则,实现保护环境、 节约土地、经济合理和运行稳定可靠的有机统一。

本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题的尾水人工湿地建设经验、《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中人工湿地污水处理工程的建设、运行、维护和管理的规定来制定尾水人工湿地净化的基本原则。

#### 6.5.4 建设规模

本条文规定了尾水人工湿地净化系统的建设规模。

- (1) 小型人工湿地工程的日处理能力 $<3\,000\,\text{m}^3/\text{d};$
- (2) 中型人工湿地工程的日处理能力 3 000~10 000 m³/d:
- (3) 大型人工湿地工程的日处理能力>10 000 m³/d。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中

人工湿地污水处理工程的建设规模为: a) 小型人工湿地工程的日处理能力<3000  $m^3/d$ ; b) 中型人工湿地工程的日处理能力 3000~10000  $m^3/d$ ; c) 大型人工湿地工程的日处理能力>10000  $m^3/d$ 。

#### 6.5.5 场址选择

本条文规定了尾水人工湿地净化系统的场址选择。

- (1) 应符合当地总体发展规划和环保规划的要求,以及综合考虑交通、土 地权属、土地利用现状、发展扩建和再生水回用等因素。
- (2)应考虑自然背景条件,包括土地面积、地形、气象、水文以及动植物生态因素等,并进行工程地质和水文地质等方面的勘察。避免人工湿地池体裂损、淹没、受纳水体水倒灌、排水不畅等情况发生。
- (3) 尾水人工湿地处理设施位置的选择应符合居住区、城镇或厂区总体规划及环境影响评价的要求,避让征用基本农田和规划林地。
  - (4) 宜靠近污水处理厂尾水的排放点、监控点或处理后回用的地点。
- (5) 尾水人工湿地净化系统宜建在城镇夏季主导风向的下风侧,应与建筑保持一定距离,并用绿化带与建筑物隔开。
  - (6) 宜选择自然坡度为0%~3%的洼地或塘,以及未利用土地。
- (7)场址应考虑防洪排涝,不宜设计布置在洪水淹没区,必要时采取适宜的防洪措施,人工湿地应符合该地区防洪保准的规定,不受洪水、潮水或内涝的威胁,且不影响行洪安全。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中人工湿地污水处理工程的场址选择,以及本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题的尾水人工湿地建设经验确定场址选择。

#### 6.5.6 总体布置

本条文规定了尾水人工湿地净化系统的总体布置。主要考虑了建(构)筑物、 生产管理建筑物、生活设施、人工湿地、出水水质、防洪要求等进行了考虑。

- (1) 应充分利用自然环境的有利条件,按建(构)筑物使用功能和流程要求,结合地形、气候和地质条件,便于工程施工、运行维护和日常管理等因素,合理安排,紧凑布置。尾水人工湿地净化应设置通向各构筑物和附属建筑物的必要通道。
- (2) 生产管理建筑物和生活设施宜集中布置,其位置和朝向应力求合理, 并应与人工湿地保持一定距离。
  - (3) 对并行运行的人工湿地应设均匀配水装置及配套构筑物,各人工湿地

系统间官设可切换的连通管渠或超越管渠。

- (4) 多单元人工湿地净化系统高程设计应尽量结合自然坡度,采用重力流形式,需提升时,宜一次提升。高程计算时,以最终出水设计标高为基准从后向前推算。
- (5) 应综合考虑不同类型人工湿地单元的搭配、水生植物的配置、污染物的去除和景观效果,使工程达到污染物去除效果的同时实现景观质量的提升。
- (6)人工湿地净化系统最终出水的设计高程一般高于最高洪水位,以免受 洪水的顶托。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中人工湿地污水处理工程的场址选择,满足《中华人民共和国防洪法》的要求,以及本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题的尾水人工湿地建设经验确定场址选择。

#### 6.6 尾水人工湿地净化系统

#### 6.6.1 一般规定

本条文规定了尾水人工湿地净化系统的一般规定。

- (1)尾水人工湿地净化系统工艺设计应综合考虑处理尾水水量、尾水水质、 净化目标、占地面积、建设投资、运行成本、排放标准和稳定性,以及不同地区 的气候条件、植被类型和地理条件等因素,并应通过技术经济比选确定适宜的方 案。
- (2) 尾水人工湿地净化系统由多个相同类型或不同类型的人工湿地净化单元构成时,可分为并联式、串联式、复合式等组合方式。
- (3) 尾水人工湿地净化工程的景观建设应遵循和谐、自然、均衡的原则, 并考虑人工湿地净化系统、植物的高度与工程各工艺单元的景观协调。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中人工湿地工艺设计的一般规定,同时考虑了尾水人工湿地净化工程的景观协调。6.6.2 工艺流程

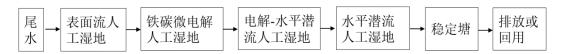
本条文规定了尾水人工湿地净化系统工艺流程的一般规定,主要考虑了当强化去除尾水中氨氮、硝态氮、总磷、难降解的有机污染物如持久性有机污染物为

主要目标物时人工湿地的工艺流程;以及人工湿地接纳的尾水为以处理工业废水、生活污水、含重金属废水为主的污水处理厂尾水的工艺流程。

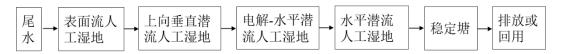
- (1) 尾水人工湿地净化系统工艺应根据处理尾水种类、进出水水质要求、 处理水量、气候条件、场地条件、景观要求、建设投资和运行成本等多种因素确 定净化系统人工湿地的类型。
- (2) 尾水人工湿地净化工艺流程应在综合比选各种生态人工湿地净化技术 的基础上进行集成、组合,宜采取模块化组合方法,建议在尾水人工湿地净化系 统中尾水人工湿地前添加强化脱氮除磷单元及设施,以达到高效净化尾水的目的。
- (3) 尾水人工湿地净化系统可由一个处理单元构成,也可由多个同类处理单元并联、串联或不同类型人工湿地和稳定塘串联构成。
- (4)用于去除尾水中氨氮为主要目标污染物时,宜采用下向垂直潜流人工湿地和稳定塘组合工艺,当溶解氧不足时,宜在下向垂直潜流人工湿地中设置曝气措施。
- (5)以去除尾水中硝态氮为主要目标污染物时,宜采用上向垂直潜流人工湿地。如果对硝态氮去除率要求高可补充碳源(湿地植物厌氧发酵液碳源或其他碳源)。
- (6)以去除尾水中总磷为主要目标污染物时,宜采用电解-水平潜流人工湿地,或添加具有除磷能力的基质。
- (7)以去除尾水中难降解的有机污染物如持久性有机污染物为主要目标污染物时,宜采用铁碳微电解人工湿地或电解-水平潜流人工湿地。
- (8)以去除尾水中重金属离子为主要目标污染物时,宜采用上向垂直潜流人工湿地,配合电解-水平潜流人工湿地进行强化去除重金属离子,后段结合稳定塘,在稳定塘中种植吸收重金属离子能力强的大型水生植物,富集重金属的大型水生植物应进行焚烧减容之后安全处置。
- (9)人工湿地进水污染物浓度较高且可利用土地面积受限时,宜采用垂直潜流人工湿地、电解-水平潜流人工湿地等人工湿地类型,同时宜增加出水回流措施。
- (10) 当人工湿地接纳生活污水占总处理污水量≥80%或接纳工业废水占总处理污水量<20%的污水处理厂尾水时,推荐的基本工艺流程 A 为:



(11)当人工湿地接纳工业废水占总处理污水量≥80%的污水处理厂尾水时,推荐的基本工艺流程 B 为:



(12) 当人工湿地接纳以处理含重金属废水为主的污水处理厂尾水时,推荐的基本工艺流程 C 为:



本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中人工湿地污水处理工程的工艺流程,以及本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题的尾水人工湿地建设经验设计尾水人工湿地净化系统,其中强化型的电解水平潜流人工湿地强化对磷酸盐-磷和硝态氮的去除(见图 6-1);铁碳微电解人工湿地可强化尾水中难降解有机污染物如持久性有机污染物的去除(见图 6-2)。

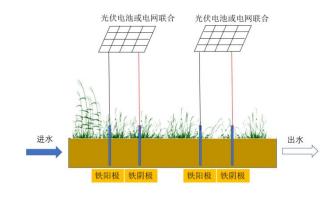


图 6-1 电解-水平潜流人工湿地



图 6-2 铁碳微电解人工湿地示意图

6.6.3 设计参数

本条文规定了尾水人工湿地净化系统的设计参数,人工湿地面积的计算主要考虑了表面 COD<sub>Cr</sub>负荷、水力负荷、极端天气情况(如暴雨、洪水和干旱等)、污染物去除量(氮磷污染物、有机污染物、重金属等)、水力停留时间、湿地的有效深度等来进行考虑。

- (1) 净化尾水的人工湿地面积应接表面  $COD_{Cr}$  负荷确定,同时应满足水力负荷的要求。
- (2)人工湿地净化系统设计尾水进水水量必须考虑各种极限情况,如暴雨、洪水、干旱等,同时应具备 10%~20%的超负荷能力,进水量应可调节。
- (3) 以去除尾水中氮、磷等污染物为主的人工湿地面积宜根据氨态氮、硝态氮、总氮或总磷负荷进行校核;以去除有机污染为主的生态净化系统面积宜按 COD<sub>Cr</sub>负荷和水力负荷进行计算,并应取其设计计算结果中的最大值,同时应满足水力停留时间的要求。
- (4)人工湿地涉及的主要设计参数,宜根据试验资料确定;无试验资料时,可参考经验数据或是根据表 1 的数据进行酌情取值。
- (5)人工湿地和稳定塘主要设计参数应通过试验或按相似条件下人工湿地和稳定塘的运行经验确定。建议参照 CJJ/T 54、HJ 2005 和 RISN-TG 006 标准中的相关规定。

人工湿地类型	COD <sub>Cr</sub> 负荷	水力负荷	水力停留时间	湿地有效深度
	$(g/(m^2d))$	$(\mathbf{m}^3/(\mathbf{m}^2\mathbf{d}))$	(d)	(m)
表面流人工湿地	30~90	1.0~1.5	1.0	1.0~1.5
水平潜流人工湿地	30~180	1.0~3.0	0.5~1.0	1.0~1.5
垂直潜流人工湿地	90~180	1.5~3.0	0.5~1.0	1.5
电解-水平潜流人工湿	120~180	2.0~3.0	0.5	1.0~1.5
地		2.0~3.0	0.3	1.0~1.3
铁碳微电解人工湿地	60~90	1.5~1.5	1.0	1.0~1.5
稳定塘	90~300	1.5~5.0	1.0~2.0	1.5~2.5

表 6-1 尾水人工湿地强化净化推荐工艺流程相关设计参数

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中人工湿地污水处理工程的工艺流程,《污水自然处理工程技术规范》(CJJ/T 54)对稳定塘的工艺设计参数以及本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题的尾水人工湿地建设经验设计表面流人工湿地、水平潜流人工湿地、垂直潜流人工湿

地、电解-水平潜流人工湿地、铁碳微电解人工湿地、稳定塘净化尾水的经验数据,以及根据我国南北方地域的不同特点来确定了相关参数。

## 6.6.4 工艺要求

本条文规定了尾水人工湿地净化系统中表面流人工湿地、潜流人工湿地、电解-水平潜流人工湿地、稳定塘的工艺要求,主要考虑了湿地面积、长宽比、坡度、进出水、布水和集水方式。

- (1) 表面流人工湿地应符合下列要求:
- a.表面流人工湿地单元的长宽比宜控制在3:1~5:1。
- b.表面流人工湿地的水力坡度官小于 0.5%。
- (2) 潜流人工湿地应符合下列要求:
- a.水平潜流人工湿地单元面积宜小于 2000  $m^2$ ; 垂直潜流人工湿地面积宜小于 3000  $m^2$ 。
  - b.潜流人工湿地单元沿水流方向的长宽比宜控制在2:1~3:1以下。
- c.潜流人工湿地单元宜采用规则的几何形状,长度宜为50 m~100 m;采用不规则形状的潜流人工湿地单元,应特别考虑均匀布水和集水系统。
  - d.潜流人工湿地的水力坡度宜为 0.5%~1%。
  - (3) 电解-水平潜流人工湿地应符合下列要求:
- a.电解-水平潜流人工湿地基质由生物质炭、砾石、生物陶粒和沸石等组成, 基质层内设有铁阴极和铁阳极电极。
- b.电解-水平潜流人工湿地中供电解反应的光伏电池电压宜为 24 V~35 V,电极间距宜为 50 cm~80 cm。可搭配蓄电池或电网实现持续供电。其配电系统应符合 GB 50052 和 GB 50054 的相关规定。
  - c.电解-水平潜流人工湿地基质的深度官为 1.1 m~1.6 m。
  - d.电解-水平潜流人工湿地铁电极的更换时间为 6~8 个月。
  - e.电解-水平潜流人工湿地的水力坡度宜小于 1%。
  - (4) 稳定塘应符合下列要求:
- a.稳定塘宜利用自然地形的高差进行进水和出水布置。进水口和出水口处应 设置单独的闸门,并宜采用对角线布置。
  - b.稳定塘总进水口处,应采用溢流形式进水,并应设置浮渣挡板。

c.稳定塘与稳定塘之间的过水方式宜采用溢流坝、堰、涵洞或管道。进水口 官采用扩散或多点进水方式,出水口应有调整塘内水深的功能。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)、《污水自然处理工程技术规范》(CJJ/T 54)中对人工湿地和稳定塘的工艺设计参数以及本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题的尾水人工湿地建设经验设计表面流人工湿地、水平潜流人工湿地、垂直潜流人工湿地、电解-水平潜流人工湿地、稳定塘净化尾水的经验数据。

#### 6.6.5 基质选择

本条文规定了尾水人工湿地净化系统中人工湿地中常见的人工湿地基质,主要从污染物去除效率、植物生长、经济环保等角度进行了考虑。

- (1)基质选择应本着就近取材的原则,并且所选基质应达到设计要求的粒径范围;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基质种类和规格。
- (2) 潜流人工湿地基质层的初始孔隙率宜控制在 35%~50%。潜流人工湿地基质层的厚度应有利于植物生长。
- (3)人工湿地常用的基质有土壤、细砂、砾石、灰渣、火山岩、陶粒、沸石、砂石、页岩、高炉渣和褐铁矿等。
- (4)人工湿地基质可根据污染物处理要求的不同,选择使用功能性基质。 对人工湿地出水尾水中氮磷去除要求较高时,可提高基质中含钙、镁、铁和铝金 属元素较为丰富的高炉渣、铁镁改性生物质炭、石灰石、膨润土、铝矾土、页岩、 粉煤灰、高炉渣和陶粒等基质的比例,实现尾水氨氮和氮磷的强化去除。
- (5) 电解-水平潜流人工湿地基质宜选择生物质炭、砾石、陶粒和沸石等, 基质层内垂直布置电解反应的铁阴极和铁阳极。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)、对人工湿地和稳定塘的工艺设计参数以及本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题中尾水人工湿地建设经验设计经验整理人工湿地的基质选择。

# 6.6.6 大型水生植物选择

本条文规定了尾水人工湿地净化系统中人工湿地大型水生植物的选择,主要从湿地植物生存能力、污染物去除效率、经济价值、是否为入侵物种、南北方地域的差异、湿地生态系统的完整性等角度进行了考虑,从而规范了大型水生植物选择的科学性。

- (1)人工湿地宜选用耐污能力强、根系发达、去污效果好、具有抗冻及抗 病虫害能力、有一定经济价值、容易管理的本土大型水生植物。
- (2) 尾水人工湿地净化后出水直接排入河流、湖泊时,应谨慎选择凤眼莲等外来入侵物种。
- (3)人工湿地可选择一种或多种大型水生植物作为优势种搭配栽种,增加 大型水生植物的多样性并提升景观效果。
- (4)应根据我国南北方地域特点不同选择与种植人工湿地植物,实现人工湿地一年四季的稳定运行,维持尾水生态净化效果的长期稳定。
- (5)应根据我国南北方特点不同选择适宜电解-水平潜流人工湿地的挺水植物,如芦苇、香蒲、蒲苇、菖蒲、千屈菜、西伯利亚鸢尾和旱伞草等。
- (6)潜流人工湿地可选择芦苇、蒲草、水葱、香蒲、千屈菜、菖蒲、水麦 冬、风车草和灯芯草等挺水植物。
- (7) 表面流人工湿地可选择菖蒲、灯芯草等挺水植物,睡莲等浮叶植物,以及菹草、苦草、茨藻、金鱼藻、狐尾藻和黑藻等沉水植物。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)、《水生植物图鉴》(赵家荣、刘艳玲主编)对人工湿地植物选择与种植的规定,以及本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题中尾水人工湿地建设经验设计经验整理人工湿地。

### 6.6.7 集、配水及出水

本条文规定了尾水人工湿地净化系统集配水及尾水处理后的出水,主要从人工湿地集、地形地势、排水去向、排水规划、防冻措施、通气、排淤等选择和设置配水及进出水管的选择。

(1)人工湿地单元宜采用穿孔管、配(集)水管、配(集)水堰、配水井、槽等装置来实现集配水的均匀。

- (2) 穿孔管、配(集)水管、配(集)水堰等装置应选择不易变形耐腐蚀、 抗老化的材料;穿孔管的长度应与人工湿地单元的宽度大致相等。管孔密度应均 匀,管孔的尺寸和间距取决于污水流量和进出水的水力条件,管孔间距不宜大于 人工湿地单元宽度的 10%。
  - (3) 穿孔管周围官选用粒径较大的基质,其粒径应大于管孔孔径。
  - (4) 在寒冷地区,人工湿地集、配水及进出水管的设置应考虑防冻措施。
- (5)根据地形地势、排水去向、排水规划等条件合理规划设置尾水管网收集系统,并根据收集规模、设计坡度、设计充满度等确定沟渠及管道规格,一般应按重力流方式进行排水沟渠及管道规划设计。人工湿地出水可采用沟排、管排和并排等方式,并设溢流堰、可调管道及闸门等具有水位调节功能的设施。
  - (6) 人工湿地出水量较大且跌落较高时,应设置消能设施。
  - (7) 人工湿地出水应设置排空阀等排空设施。
- (8) 排水管材选取应遵循性能可靠、工程造价合理、便于施工和维护的原则,并充分考虑管道沿线的地质条件。
- (9)中小型尾水人工湿地净化系统的收集管道可采用排水塑料管(包括UPVC 管、PVC 管、HDPE 管和 PE 管等)。
- (10) 大型尾水人工湿地净化工程的收集管道可采用 HDPE 管、钢筋混凝土管或钢管。
- (11) 管道的最大设计充满度、最小管径和最小设计坡度可按 GB 50014 取值。
  - (12)管道坡度不能满足设计要求时,可酌情减小,但应有防淤、清淤措施。
- (13)垂直潜流人工湿地内可设置通气管,同人工湿地底部的排水管相连接, 并且与排水管管径相同。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中

集、配水、管材选择进行了规定。同时本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题中尾水人工湿地建设经验设计经验整理人工湿地。

# 6.6.8 湿地植物厌氧发酵液补碳

本条文规定了尾水人工湿地净化系统中湿地植物厌氧发酵液补碳的基本要求,主要从发酵植物、制作方法、发酵液组分比例等进行了考虑,尽量提高湿地植物中总有机碳和有机酸的含量。

- (1) 当尾水中碳源缺乏和冬季脱氮微生物活性低导致脱氮效率下降时,在 人工湿地中添加碳源提高人工湿地的脱氮效果。
- (2)湿地植物厌氧发酵液的制作流程是将人工湿地植物收割并粉碎后,以一定的体积比引入尾水并接种适量污水处理厂的厌氧污泥,厌氧发酵后可制得湿地植物厌氧发酵液。
- (3) 宜选择菹草、苦草等沉水植物作为发酵产酸的湿地植物,也可以采用 挺水植物等大型水生植物作为发酵产酸的湿地植物。
- (4)分析人工湿地植物厌氧发酵液中的总有机碳、有机酸、氮和磷含量,碳:氮:磷的含量比为 200~300:5:1。
  - (5) 人工湿地外加碳源的添加量以使尾水中碳:氮达到 3~5 为官。

本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题中湿地植物厌氧发酵液补碳的成果进行了总结。

#### 6.6.9 后处理

本条文规定了尾水人工湿地净化系统出水的后处理。

尾水人工湿地净化后出水作为再生水回用时,应符合 GB 50335、GB/T 18921 中的相关规定。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中出水进行了规定。如果出水作为再生水回用时,符合《城镇污水再生利用工程设计规范》(GB 50335)、《城市污水再生利用景观环境用水水质》(GB/T 18921)规定尾水的水质要求。

### 6.6.10 二次污染的防治

本条文规定了尾水人工湿地净化系统过程中二次污染的防治。主要考虑了尾水人工湿地系统运行过程中产生的清淤、恶臭、噪声、厌氧发酵液恶臭的防治、湿地植物废弃物、基质更换、防洪等角度进行了考虑。

(1) 定期对表流人工湿地和稳定塘进行清淤排泥。污泥的处理与处置应符

合 GB 50014 的要求。

- (2)人工湿地净化系统应采取措施防止恶臭、噪声的产生,减少固废的产生量,日常运行过程中应加强人工湿地净化系统大型水生植物的病虫害防治。
- (3) 在湿地植物厌氧发酵液制备过程中,应防止发酵池或发酵罐恶臭气体的产生,可采用电解-生态滤床吸收处理。恶臭气体排放应符合 GB 14554 中的有关规定。

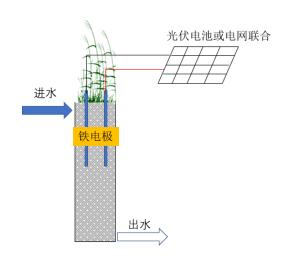


图 6-3 电解-生态滤床示意图

为强化对发酵池或发酵罐恶臭气的去除,可设计电解-生态滤床,运行 HRT 一般为 0.5 d~1 d,光伏电池或电网联合供电电压为 15 V~30 V,电极一般选择 铁电极、钛铱钌电极等,可为圆柱体,其直径为 10 mm~30 mm,垂直布置在滤床中,长度和参考滤床基质的厚度,一般为基质厚度的 30%~50%;或电极形状选择为圆形,电极为水平布置在滤床中,电极更换时间一般为 6~12 个月。

- (4)人工湿地净化系统采用的鼓风机、曝气机、水泵等应选择低噪声设备, 必要时应采取隔声、消声、绿化等降低噪音的措施。
  - (5) 厂界噪声应达到 GB 12348 中有关规定。
- (6)人工湿地和稳定塘等产生的收割物和废弃物等生物残体应进行资源化利用或妥善处理,符合 GB 50014 中的有关规定。
- (7) 生物基质和基质等需定期更换的废弃物,应按 GB 34330、GB 18599 和 HJ 588 进行处理和处置。
  - (8) 人工湿地系统应设置雨水溢流口和排洪沟渠等排洪设施。
  - (9) 人工湿地系统应设置超越管和溢流井等分流设施。本标准编制组根据

《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)、《室外排水设计规范》(GB 50014)、《恶臭污染物排放标准》(GB 14554)、《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348)、《固体废物鉴别标准通则》(GB 34330)、《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599)、《农业固体废物污染控制技术导则》(HJ 588)标准中二次污染的防治。同时,本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题中的成果进行了总结。

## 6.7 附属建(构)筑物

本条文规定了尾水人工湿地净化系统过程中附属建(构)筑物的一般要求。

- (1) 泵站。在收集接纳尾水确实需要进行提升处,设置尾水提升泵站,泵站设置宜参照 GB 50014 相关标准执行。
- (2)检查井。检查井的位置,应设在管道交汇处、转弯处、管径或坡度改变处、跌水处以及直线管段上每隔一定距离处。检查井在直线管段的最大间距根据疏通方法等具体情况确定,并参考 GB 50069 及相关标准取值。
- (3)出水口。排水管渠出水口位置、型式和出口流速,应根据受纳水体的水质要求、水体的流量、水位变化幅度、水流方向、波浪状况、自净能力、地形变迁和气候特征等因素确定。其余辅助设施按照 GB 50014 及相关标准执行。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)、《室外排水设计规范》(GB 50014)、《给排水工程结构设计规范》(GB 50069)对泵站、检查井和出水口设计的要求进行了规定。本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题中的成果规定了附属建(构)筑物。

#### 6.8 施工与验收

#### 6.8.1 一般规定

本条文规定了尾水人工湿地净化系统施工与验收的一般规定。

- (1)施工单位应具有国家相应的施工资质,除遵循相关的施工技术规范之外,还应遵循国家有关部门颁发的劳动安全及卫生、消防等强制性标准。
  - (2) 施工中使用的设备、材料和器件等应符合相关标准,并应取得供货商

的产品合格证后方可使用。

- (3)施工单位应严格按设计文件和施工组织设计施工,工程变更应在取得主管部门对设计变更的批复后进行。
- (4)施工单位应做好文明施工,遵守有关环境保护的法律、法规,采取有效措施控制施工现场的各种粉尘、废气、废弃物以及噪声、振动等对环境造成的污染和危害。
- (5)构筑物的施工和验收应符合 GB 50141 的有关规定;混凝土结构工程的施工和验收应符合 GB 50204 的有关规定;设备安装和验收应符合 GB 50231 的有关规定;管道工程的施工和验收应符合 GB 50268 的有关规定。安装光伏电池验收应符合 GB/T 37655 的有关规定。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010) 中

施工与验收部分的规定,本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题中的成果规定了施工与验收的一般规定。

#### 6.8.2 工程施工

本条文规定了尾水人工湿地净化系统施工与验收的工程施工。

- (1)施工前期准备的主要任务是清除和平整场地。清除工程应包括运走场 地内的垃圾以及其他障碍物等。
- (2) 开挖人工湿地基坑按一定的角度放坡,采用机械开挖与人工修整相结合的施工技术方法,基坑上平面周边布设草坪稳定基坑周边土方。
- (3) 潜流人工湿地周边护坡宜采用夯实的土壤, 坡度宜为 4:1~2:1。夯实过程应满足 JGJ 79 相关要求。
- (4)人工湿地可进行适当的防渗处理。由于尾水已经直排受纳水体,因此不考虑尾水对地下水水质的影响。如果人工湿地的水渗漏量大,需用防渗处理。
- (5)基质铺设过程中应从选料、洗料、堆放和撒料四个方面加以控制,对基质进行级配、清洁,保证填筑材料的含泥(砂)量和基质粉末含量小于设计要求值。
  - (6)人工湿地植物种植时应有专业人员指导,保持人工湿地内的一定水位。

人工湿地大型水生植物种植的时间应根据流域的气候特点和大型水生植物的生 长特性来确定, 官为春季或初夏。

- (7) 同批次种植的大型水生植物植株大小应尽量均匀,不宜选用苗龄过小或过大的植物;在表面流人工湿地进行沉水植物种植时应保持一定的水深,之后逐步提高水位,提高沉水植物的存活率。
- (8)人工湿地大型水生植物种植密度可根据植物种类与工程的要求调整, 具体密度依据大型水生植物品种确定。
- (9)人工湿地高程、底坡、管道的管底标高应满足设计要求,进行高程校核后方可进行下一步施工。
  - (10) 人工湿地排水管管道安装后,须做闭水试验。
- (11)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。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中

施工与验收部分的规定,本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题中的成果规定了施工与验收的一般规定。

#### 6.8.3 工程验收

本条文规定了尾水人工湿地净化系统施工与验收的工程验收。

- (1)人工湿地工程的环境保护验收应按 GB 50334、《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》等相关专业验收的规范规定进行组织环境保护验收。
- (2)人工湿地工程相关专业验收的程序和内容应符合 GB 50093、GB 50141、GB 50204、GB 50231、GB 50254 和 GB 50268 等标准的规定。
  - (3) 经竣工环境保护验收合格后,工程方可正式投入使用运行。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中

施工与验收部分的规定,本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题中的成果规定了施工与验收的一般规定。

## 6.9 长效运行管理

# 6.9.1 运行管理

本条文规定了尾水人工湿地净化系统的运行管理。

- (1)人工湿地处理项目宜委托具有相关资质或管理经验的第三方运营公司运行管理,或由当地污水处理厂专职人员维护管理,维护管理人员均应经技术培训后方可上岗。
- (2)运行管理人员应定期对相关设备进行检查、和清扫保养,预防设备发生功能障碍和故障,保证人工湿地出水水质达标。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中

运行与维护部分的规定,本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题中尾水人工湿地长效管理的经验进行了规定。

## 6.9.2 长期运行保障机制

本条文规定了尾水人工湿地净化系统的长期运行保障机制,主要从运行经费保障、人工湿地大型水生植物的管理、人工湿地设施的运行管理三个方面进行了规定。

- (1) 运行经费保障
- a.污水处理厂尾水人工湿地净化工程应由相应单位提供建设资金。
- b.人工湿地净化系统宜从当地污水处理费用中拨付运行费用以满足运行需要。
- c.人工湿地净化系统应充分考虑湿地大型水生植物的资源化利用,条件许可时可栽种具有一定经济价值的大型水生植物,以补偿湿地维护管理费用。
  - (2) 人工湿地大型水生植物的管理
  - a.根据大型水生植物不同生长期进行管理,补种缺苗和勤除杂草。
- b.调节人工湿地水位,优化人工湿地大型水生植物的处理负荷,保障人工湿地系统大型水生植物的生长良好。
- c.对人工湿地大型水生植物植物进行合理收割,及时清理枯枝败叶,挺水植物收割次数官为每年 1~2 次,并注意收割季节和收割植物的留存量,不得影响大

型水生植物的正常生长和安全越冬。收割宜在生长后期,可以提高氮和磷的去除率。

- d.冬季宜采取大型水生植物覆盖、空气加冰层、增加滤层厚度、提高人工湿地池体超高等方法,防止大型水生植物冻伤。
- e.加强人工湿地大型水生植物的病虫害防治,不宜大规模使用杀虫剂,防止引入新的污染物。
- f.夏季大型水生植物移栽期间,可加大人工湿地的水力负荷,防止温度过高 对植物产生的危害。
- j.大型水生植物残体污染物含量不超过有关规定,可作为肥料或饲料,作为生物质能源燃料,或作为编织物、造纸、调制香水等原料,宜厌氧发酵生产有机酸或制备生物质炭等。
  - (3) 人工湿地设施的运行管理
- a.进出水装置的维护管理,人工湿地单元进水后,应检查配水效果,配水应均匀,不得有侵蚀和短流现象。
- b.结合日常监测,注意观察人工湿地进水的处理情况,严格控制进水的悬浮物浓度,避免人工湿地基质床堵塞,必要时局部更换人工湿地基质或排空轮休等。
  - c.人工湿地进水量应控制在设计允许范围内,不得长时间断流。
- d.优化控制人工湿地的运行水位,促进大型水生植物生长。对于表面流人工湿地,启动期间,应逐步提高人工湿地水位;正常运行后,可在春季适当降低水位,促进新芽生长。对于潜流人工湿地,可间歇性放空人工湿地,改善人工湿地处理性能。
- e.对尾水输送管道、沟渠、集水和排水装置进行定期清淤维护与处理单元的维护。
  - f.冬季应防止布水、通气管道冻结或破裂。
- j.人工湿地运行所需的水泵、鼓风机、管道、阀门和闸门等设备及器材应经 常维护,定期保养,保证开启正常,若发现异常情况,应及时维修或更换。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)中

运行与维护部分的规定,本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低

污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题中尾水人工湿地长效管理的经验进行了规定。

#### 6.9.3 运行监测

本条文规定了尾水人工湿地净化系统的运行监测。

- (1)水质应急监测系统。应加强对系统各单元的进水、出水水质进行监测,监测项目主要包括水位、pH、悬浮物、COD<sub>Cr</sub>、氨氮、总氮、总磷、透明度、叶绿素 a、电导率和大肠菌群等,监测频次宜为每周一次。有条件的可设置在线监测系统。
- (2)对于采用潜流人工湿地的项目,应加大悬浮物的监测频次,不宜低于每周一次。
- (3) 当接纳以工业废水为主的污水处理厂排放的尾水时,应加大 pH 和电导率等项目的监测频次。
- (4)在日常进、出水水质管理的基础上采取例行监测制度,可委托当地专业环境检测机构定期(以季度或月为单位)或不定期进行水样监测,并据此评估处理设施的处理效果。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)、《地表水环境质量评价办法(试行)》(环办〔2011〕22 号)对出水的水质检测进行规定。本标准编制组根据水体污染控制与治理科技重大专项低污染水生态净化技术集成研究与工程示范(2012ZX07101006)课题中尾水人工湿地长效管理的经验进行了规定。

### 6.9.4 持续改进

本条文规定了尾水人工湿地净化系统的持续改进。

应对尾水人工湿地净化系统长期运行管理过程中逐渐显露的问题采取持续 改进措施,以保障其出水水质稳定达标。

本标准编制组根据《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)的运行与维护部分,对尾水人工湿地长期运行管理过程中逐渐显露的问题采取持续改进措施,以保障其出水水质稳定达标。

## 7. 实施本标准的效益分析

## 7.1 生态效益

尾水人工湿地湿地生态系统建成后起到净化低污染水的作用,能有效降低尾水中污染物排入受纳水体中数量,从而改善水环境质量,使环境得到了保护;也可以减少尾水中污染物对地下水的污染,使尾水得到无害化、稳定化,能够极大改善和保护水环境。同时,人工湿地生态系统是一个较大的蓄水库,发挥水资源供应的功能。

## 7.2 经济效益

人工湿地是经济成本较低的尾水提标技术,本指南提供占地面积小、经济成本低、处理效率高、管理成本低的尾水净化人工湿地技术,避免了单一人工湿地技术建设成本高、运行效果差的问题。同时,尾水经过人工湿地净化后,有利于降低污水处理厂深度脱氮除磷、难降解有机污染物、重金属等有毒有害物质去除所要投入的费用,具有较好的经济效益。

# 7.3 社会效益

构建污水处理厂尾水人工湿地净化技术,促进污水处理厂尾水生态环境质量持续稳定改善,在提升尾水水质的同时,深度净化后的尾水可作为再生水、灌溉水等进行二次利用。因此,本文件的制定是落实我国水污染治理的战略决策需求,为尾水水质提标提供指导性规范,本文件的实施将有效地降低尾水中排入受纳水体的污染物数量,从而改善水环境质量,美化生态环境,改善人居环境。

#### 8. 实施建议

本文件是贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国水污染防治法》等法律法规,落实《中华人民共和国水法》、《中华人民共和国河道管理条例》,提升污水处理厂尾水水质的重要手段。规定了尾水人工湿地净化系统、施工和验收、二次污染防治和长效运行管理技术要求。适用于污水处理厂尾水人工湿地净化系统,可作为污水处理厂尾水污染物人工湿地深度去除的技术选择、设计、施工、建设项目竣工环境保护验收及其建成后运行管理的技术依据,应政策上给予支持,加强推广,提升执行力度。