

国内各地区人工湿地相关规范/规程对比分析

常雅婷¹, 卫 婷¹, 嵇 斌¹, 乔尚校¹, 康佩颖¹, 赵亚乾^{1,2}

(1. 西安理工大学 西北旱区生态水利国家重点实验室, 陕西 西安 710048; 2. 爱尔兰都柏林大学土木工程系 Dooge 水研究中心, 爱尔兰)

摘 要: 人工湿地作为一种处理效率高、管理维护简单且具有一定景观价值的污水处理设施,已广泛应用于我国各地污水处理中。为指导并规范不同地区人工湿地设计建设,各级职能部门相继颁布实施了一系列人工湿地规范。概述了我国人工湿地应用和当前指导人工湿地建设相关规范现状,对不同地区人工湿地设计规范中水质水量、基质及工艺选择和设计参数等方面的特点进行了分析总结;同时以气温和进水水质为基准,分类讨论各地区人工湿地设计参数的特点,并探讨各个人工湿地规范条文的合理性,以期为国内各地区人工湿地规范形成及实际建设提供建议。

关键词: 人工湿地; 设计规范; 农村生活污水; 基质堵塞

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)08-0027-07

Comparative Analysis of Design Standards/Regulations of Constructed Wetlands in Different Regions of China

CHANG Ya-ting¹, WEI Ting¹, JI Bin¹, QIAO Shang-xiao¹, KANG Pei-ying¹,
ZHAO Ya-qian^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Dooge Centre for Water Resources Research, School of Civil Engineering, University College Dublin, Ireland)

Abstract: As a kind of sewage treatment facility with high treatment efficiency, simple management and maintenance and certain landscape value, constructed wetlands (CWs) are widely used in various parts of China. In order to guide and standardize the design and construction of CWs in different regions, relevant government departments of national- and provincial-levels have promulgated a series of design standards and regulations. This paper summarized the application status of CWs in China. Focuses were placed on the comparison of these regulations regarding the characteristics of water quality and quantity, substrate, process selection and design parameters in different regions. Meanwhile, based on the temperature and influent quality, the design rationality and parameters determination were discussed. It can provide useful comments and suggestions for a better application of CWs in China.

Key words: constructed wetland; design specifications; rural domestic sewage; clogging

随着海绵城市建设的全面推进和黑臭水体整治力度的加大,人工湿地因具有投资成本低、效率高、生态服务价值高等优点,工程建设数量不断增加。为指导人工湿地设计、施工及运行管理,我国住建部

与原环境保护部相继出台了《人工湿地污水处理技术导则》(RISN—TG 006—2009)与《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010),一些省份在近年也相继颁布了相关省级规程(指南、规范)。

人工湿地处理效果与众多因素有关,我国幅员辽阔,不同地区气候、人文、生活习惯和地理位置等差异性较大,在如此大的地域内很难采用一个统一的设计规范。为此,针对已收集到的国家及各省市规范资料进行分析,通过对不同地区人工湿地工程的总体设计及参数选取进行对比,并探讨各个规范条文的合理性,以期为国内各地区人工湿地的规范形成及实际建设提供建议。

1 国内人工湿地应用现状

人工湿地技术因其日趋成熟的工艺及独特的生态友好型优势,在污水处理领域得到普遍认可与推行。人工湿地依据水流特征可以分为表流和潜流两种,潜流人工湿地依据流向不同进一步分为水平潜流和垂直潜流,垂直流又可分为下流式和上流式,各个类型人工湿地在实际应用中可组合使用。

人工湿地可用于处理农村及城镇生活污水、工业废水、污水厂尾水、河湖水、雨水、垃圾渗滤液及医疗废水等,其中生活污水占比最高,约占50%^[1-2]。在工程地域分布方面,人工湿地已广泛分布于我国各个地区,应用人工湿地数量较多的地区主要为经济发达或注重生态建设地区,如广东省(100~120

个)、浙江省(180~200个)、江苏省(20~40个)、山东省(80~100个)、云南省(20~40个)等。

2 人工湿地相关规范现状

在国家层面,住建部与原环境保护部分别于2009年、2010年出台了《人工湿地污水处理技术导则》与《人工湿地污水处理工程技术规范》两部规范,内容涉及水量水质、工艺选择、参数设计以及管理维护等各方面,有力推动了人工湿地的应用。但涉及范围及内容较广,参数也未进行地域的划分。此外,住建部于2017年出台了《污水自然处理工程技术规程》(CJJ/T 54—2017,以下简称CJJ/T 54规程),其中包含了湿地与稳定塘设计的内容。在省级层面,收集到的资料显示江苏省、云南省、上海市、浙江省、安徽省、北京市、山东省、天津市已出台各省级人工湿地设计规范。此外河南省已有规范草案,江苏省也在2014年出台了有机填料型人工湿地规范。可以看出,随着湿地技术的不断应用,各省都在积极推进人工湿地设计标准的制定,以促进人工湿地技术的应用。各标准由于所处地区、适用范围的不同,在内容上有各自的侧重点并且在工艺选择及参数选取上也略有差异,具体情况见表1。

表1 我国国家及各省市人工湿地规范概况

Tab.1 General situation of wetland guidelines in different provinces and cities in China

项目	规范名称	发布部门	适用范围	气候
国家层面	《人工湿地污水处理技术导则》(RISN—TG 006—2009)	住房和城乡建设部	适用于人工湿地污水系统的设计、施工和运行管理。污水系统包括生活污水、污水厂二级出水或具有类似性质的污水	国家出台规范未考虑地区性气温差异,CJJ/T 54规程依据年平均气温划分为三区:一区气温<8℃;二区气温为8~16℃;三区气温>16℃
	《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)	原环境保护部	适用于城镇生活污水、城镇污水处理厂出水及类似水质的污水处理工程,是目前最常用参考规范	
	《污水自然处理工程技术规程》(CJJ/T 54—2017)	住房和城乡建设部	适用于规模≤10 000 m ³ /d的城镇污水和农村污水处理工程,适用于规模≤100 000 m ³ /d的城镇污水处理厂出水、受有机物污染的地表水,以及具有类似水质的其他污水处理工程	
华东	《人工湿地污水处理技术规程》(DGJ 32/TJ 112—2010)	江苏省住房和城乡建设厅	适用于规模≤2 000 m ³ /d的生活污水,以及规模≤10 000 m ³ /d的城市污水处理厂尾水处理工程	冬季一月气温为-1~7℃,全年平均气温为13~16℃
	《有机填料型人工湿地生活污水处理技术规程》(DGJ 32/TJ 168—2014)	江苏省住房和城乡建设厅	适用于农村、乡镇等小型、分散的有机填料型人工湿地生活污水处理工程的设计、施工、验收及运行管理	
	《人工湿地污水处理技术规程》(DG/TJ 08—2100—2012)	上海市城乡建设和交通委员会	适用于上海市规划实施服务人口在3万人以下的镇(乡)和村的新建、改建和扩建的生活污水处理工程中人工湿地的设计、施工验收及运行管理	冬季一月气温为1~8℃,全年平均气温为17℃左右

续表 1 (Continued)

项目		规范名称	发布部门	适用范围	气候
华东	安徽	《安徽省污水处理厂尾水湿地处理技术导则(试行)》	安徽省住房和城乡建设厅;安徽省城建设计研究院	适用于安徽省内排入封闭水体的污水厂尾水处理	冬季一月气温为 1~4℃,全年平均气温为 14~17℃
	浙江	《浙江省生活污水人工湿地处理工程技术规程》	浙江省环保产业协会	适用于规模≤10 000 m ³ /d 的采用人工湿地处理生活污水工程	冬季一月气温为 3~9℃,全年平均气温为 15~18℃
	山东	《人工湿地水质净化工程技术指南》(DB 37/T 3394—2018)	山东省质量技术监督局	适用于进水为微污染水体的人工湿地水质净化工程,可作为山东省内新建、改建和扩建人工湿地的设计、施工、运行管理的技术依据	冬季一月气温为 -7~3℃,全年平均气温为 11~14℃
华北	北京	《农村生活污水人工湿地处理工程技术规范》(DB 11/T 1376—2016)	北京市质量技术监督局	适用于农村生活污水或具有类似性质的污水,包括餐饮业生活污水、日常生活污水以及小型污水处理厂尾水处理工程	冬季一月气温为 -8~2℃,全年平均气温在 12℃左右
	天津	《天津市人工湿地污水处理技术规程》(DB/T 29—259—2019)	天津市城乡建设委员会	适用于天津市城镇和农村污水处理(规模≤1 000 m ³ /d)、污水厂出水深度净化、景观水体旁路处理、雨水径流污染处理等人工湿地工程或其他类似水质处理工程	冬季一月气温为 -8~2℃,全年平均气温为 14℃
华中	河南	《污水处理厂外排尾水人工湿地工程技术规范》(2018 草案)	河南省环境保护厅;河南省质量技术监督局	适用于河南省污水处理厂外排尾水人工湿地工程设计、施工、验收和运行管理	冬季一月气温为 -3~3℃,全年平均气温为 12~16℃
西南	云南	《高原湖泊区域人工湿地技术规范》(DB 53/T 306—2010)	云南省质量技术监督局	适用于农田面源污水、径流水和城镇污水处理厂出水等低浓度污水处理工程	冬季一月气温为 2~15℃,全年平均气温为 15℃

由表 1 可知,一方面,不同的处理水质影响人工湿地后续处理工艺及参数的选取。在九个地区中,江苏省、上海市、浙江省、天津市、北京市的人工湿地主要处理生活污水及污水厂尾水,而安徽省、山东省、河南省及云南省的人工湿地则主要针对污水厂尾水或低浓度污(废)水。另一方面,地域温度的差异对人工湿地去除效率及保温措施等会产生一定影响。华东、西南地区气温偏高,而华北地区冬季一月温度均在 0℃以下,因此需要重点考虑冬季低温运行效果及相应保温措施。

3 人工湿地相关规范比较:总体设计

3.1 水量

处理水量大小决定着人工湿地建设规模及工艺选择。按污水类型不同其确定方法也有所不同。当湿地水体来源为市政污水厂、工业废水厂尾水时,由于数据易得一般采用实测数据。当处理水为生活污水时,则按用水定额和排水设施水平综合确定。对于湿地接纳生活污水水量的确定,江苏省、天津市给出了人均用水量和污水系数两个指标的参考值,其中人均用水量区分了城镇及农村,但污水排放系数未做区分,分别为 80%~90%、90%。未经区分的

污水系数对于农村污水收集而言是偏大的,天津市 90%的污水系数也仅针对村镇管网延伸工程供水范围内的新农村,适用性较弱。农村生活污水具有水量少、居住人口分散、变化系数大等特征^[3]。因此在考虑平均用水定额的同时,也应实地调查农村地区用水及排水设施情况,考虑是否存在较多生产经营活动等,也可参考相应地区农村生活污水处理指南进行综合确定。除生活污水及尾水处理之外,天津市相关规范指出了人工湿地作为景观水体旁路处理及雨水调蓄池出水时的水量确定方法。

对于水量的确定,不论处理何种类型污水都应综合当地特点,采取历史经验与实际调查相结合的方式因地制宜地进行选择,特别是在农村地区。

3.2 进、出水水质

进、出水水质主要涉及 BOD₅、COD、SS、TN、TP、NH₃-N、pH 值等参数,由于处理污水类型的不同其水质存在较大差异,直接影响了预处理或工艺选择。各省级规范对进水水质指标限值的划分略有不同。例如 CJJ/T 54 规程及浙江省和河南省的规范依据后续处理工艺不同,规定了表流及潜流湿地所要求的进水水质。江苏省区分了住宅、生活污水等五个

不同水质的进水指标。对于出水水质,应根据受纳水体环境容量及各省现行污水排放相关标准确定。

对于农村生活污水,国家目前尚未制定专门的水污染物排放标准。为指导和控制当地农村生活污水的排放,福建省、宁夏回族自治区、山西省、浙江省、河北省、江苏省、重庆市、北京市均制定了农村生活污水排放标准。而其他地区对于农村生活污水排放标准一般按《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)执行,对于农村地区而言,出水中 TN、TP 的限值要求过严。以北京市为例,2018 年北京发布了《农村生活污水处理设施 水污染物排放标准》(征求意见稿),将出水 SS 与 TN 浓度均放宽至 20 mg/L,且二级标准不控制 TN。可以看出,放宽的排放限值与农村适用的处理技术相符合,避免出现制定的标准与现实技术水平脱节、水环境容量与排放标准相互孤立等问题^[4]。并且,水环境中的污染物 N、P,对于农业生产则是必需的营养物质,在处理过程中应考虑 N、P 的资源化。

3.3 基质要求

基质为人工湿地中的水生植物提供载体和营养物质,为微生物的生长提供稳定的依附场所,在污水的净化过程中起到重要作用^[5]。在设计过程中,需要考虑基质种类及粒径两个问题。

基质选择采取就近原则,可选用建筑市场的砾石,也可选用石灰石、火山岩、沸石、页岩、陶粒、炉渣以及加工筛选后的混凝土块等。需注意石灰石、碱性矿渣、钢渣会提高出水碱度,应考虑植物的耐受性及在填料中的比例。对于粒径的选择,各省市规范均给出了参考值,大致趋势为水平潜流湿地进出水区略大于主体区,垂直潜流湿地自上而下依次增大。粒径的选择与进水水质有关。以云南省为例,进水 BOD₅、COD 浓度不高,但 SS 接近 400 mg/L。因此云南省在垂直潜流中选择了反粒径的铺设方式,减轻表层负荷,可有效缓解系统堵塞。

当对于磷去除有较高要求时,CJJ/T 54 规程及江苏省、浙江省、北京市的规范指出可选择在湿地主体填料前后端铺设具有吸磷功能的填料。选择此种方式而不是直接将吸磷填料与基质混合可能是考虑了成本问题,并且置于前后端更便于吸附饱和之后填料的更换。

在基质部分需要特别指出两点:一是覆土层的取舍。CJJ/T 54 规程及上海市、浙江省、河南省规范

在条文中指出“在填料上层铺设适宜植物生长的土壤或砂石覆盖层”。这种规定/建议是不可取的,湿地中植物可以直接生长在基质中,无需外填土壤。天津市规范中解释了湿地中由于水的存在,植物根系会向下生长从而吸收养分和水分,有无土壤层覆盖意义不大。覆盖土壤层还会堵塞上层基质,可能降低湿地渗透系数。二是基质堵塞处理方式。人工湿地运行中易出现堵塞问题,可采取一些措施,例如前期控制进水悬浮物浓度、强化预处理及运行中停床轮休或局部更换基质等,但有些地区规范对此规定不够合理,山东省及河南省规范提到通过反冲洗冲刷填料使生物膜脱落以及投加蚯蚓进行疏通,这两种方式中反冲洗仅在实验室模型中将人工湿地看作“滤池”进行论证^[6],目前实际工程中反冲洗是极难以实现的;而蚯蚓疏通或其他后期修复措施对于缓解堵塞效果较差,在实际应用中运用较少。

3.4 工艺选择

人工湿地工艺选择应综合考虑处理水量、原水水质、占地面积、建设投资、运行成本、排放标准、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,因地制宜地选择合适的处理工艺。

综合所有规范提及的工艺,可大致分为三类,分别为结合预处理、运行方式组合及复合型湿地。具体如图 1 所示。人工湿地工艺灵活多变,可并联、串联或组合使用,也可将每分项设计为多级、多类型等。在实际应用时,应因地制宜地进行综合考虑,进一步保障及提高人工湿地的运行及处理效果。

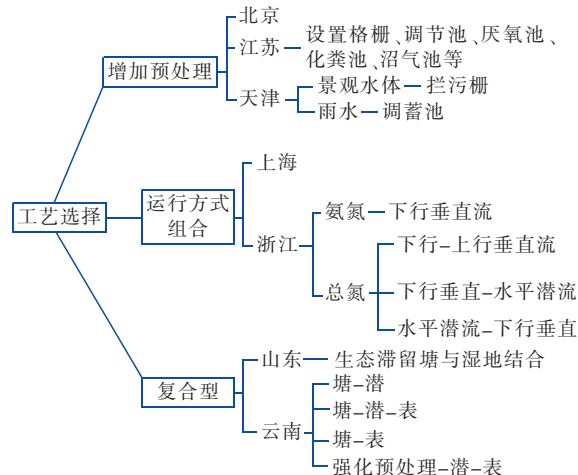


图1 各省市规范工艺选择

Fig. 1 Treatment process selection of guidelines in different provinces

3.5 植物选择

在人工湿地污水处理中,植物的功能主要为吸收净化、维持湿地环境、传输氧气分泌化感物质以及美观价值^[7],选取基本原则为耐污能力强、根系发达、具有抗冻及抗病虫害能力,具有一定经济价值、容易管理的本土植物。各规范对其种植密度、移栽方式及时间等内容均有规定,但未明确植物收割问题。当植物在冬季进入休眠或枯萎期时,合理收割可以避免二次污染且去除湿地中氮磷等营养物^[8],收割后植物进行湿地表面覆盖具有冬季保温的作用。因此在规范中应结合实际情况,指出收割时间、次数以及收割具体方式等。在此部分需注意两点:①当直接排入河流、湖泊时谨慎选择“凤眼莲”等外来入侵物种。②在生长初期需保持池内一定水深,避免杂草与湿地植物竞生,且为减少植物坏死需逐渐增大污水负荷使其驯化。图 2 给出了常见湿地植物种类。



图 2 湿地常见植物种类

Fig. 2 Common plant species in wetlands

3.6 运行及管理维护

科学的运行管理模式是维持人工湿地处理能力和生态修复效果的重要保障。虽然与传统污水处理技术相比,人工湿地系统的运行管理更为简单,但不能因此忽视运行管理给人工湿地处理系统带来的影响^[9]。随着人工湿地建成运行数量的不断增加,运行管理方面的问题也逐渐突出。一方面是运行过程中所面临的冬季结冰、基质堵塞、植物收割等问题。对此各省规范均提出了一些解决方法,例如针对冬季低温提出冰层覆盖、地膜覆盖等,针对基质堵塞提出间歇运行、局部更换机制等。另一方面则是管理机构设置不完善,管理投资不足或缺少专业性管理人员等,均直接或间接影响湿地处理效果并减少湿地使用年限。

对于运行管理内容,各规范都有提及。应在遵循基本管理条文之外,根据实际湿地运行效果进行合理调整,才能充分发挥湿地水质净化与环境美化的双重作用。

4 人工湿地相关规范比较:设计参数

由于各地区规范各有侧重,不同湿地类型对于参数选择具有一定差异,主要涉及污染物表面负荷、水力负荷、水力停留时间等。因此选择江苏省、北京市、山东省、浙江省四个地区规范,以潜流人工湿地为例进行对比,重点考虑气温、水质两个因素对参数选择产生的影响。四个地区人工湿地的主要设计参数如表 2 所示。

表 2 江苏、北京、山东、浙江人工湿地设计参数

Tab. 2 Design parameters of constructed wetlands in Jiangsu, Beijing, Shandong and Zhejiang

项目		COD 表面负荷/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	BOD ₅ 表面负荷/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	TN 表面负荷/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	TP 表面负荷/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	NH ₄ ⁺ - N 表面负荷/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	水力负 荷/($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	HRT/ d	池底 坡度/%	长宽比
浙江省	HF	6 ~ 10	—	—	0.3 ~ 0.5	3.0 ~ 4.0	≤ 0.4	≥ 3.5	0.5 ~ 1.0	3 : 1 ~ 5 : 1
	VF	10 ~ 12	—	—	0.3 ~ 0.5	3.5 ~ 4.5	≤ 0.6	≥ 1.6		1 : 1 ~ 3 : 1
北京市	HF	—	≤ 8	—	0.2 ~ 0.6	2.0 ~ 5.0	≤ 0.2	≥ 3	—	1 : 1 ~ 3 : 1
	VF	—	≤ 8	—	0.2 ~ 0.6	2.5 ~ 8.0	≤ 0.2	≥ 2	—	—
江苏省	HF	≤ 16	—	2.5 ~ 8.0	0.3 ~ 0.5	2.0 ~ 5.0	≤ 0.04	≥ 3	≥ 0.5	3 : 1 ~ 10 : 1
	VF	≤ 20	—	3.0 ~ 10.0	0.3 ~ 0.5	2.0 ~ 5.0	≤ 0.08	≥ 2	≥ 0.5	1 : 1 ~ 3 : 1
山东省		0.5 ~ 10.0	—	1.5 ~ 5.0	0.2 ~ 0.5	0.1 ~ 3.0	0.2 ~ 1.0	0.2 ~ 3.0	0.5 ~ 1.0	< 3 : 1

注: HF 为水平流湿地, VF 为垂直流湿地。

4.1 气温差异性对比

为比较气温对人工湿地设计参数的影响,选择处理水为生活污水时,对冬季气温差异较大的浙江

省(1月平均气温为 3 ~ 9℃)与北京市(1月平均气温为 - 8 ~ 2℃)规范进行对比。由表 2 可知,北京市规范与浙江省相比,TP、NH₄⁺ - N 的表面负荷范

围略大,水力负荷偏小。低温对 COD、BOD₅、SS 的去除率影响不大,主要影响 N、P 的去除^[10]。因此在寒冷地区湿地表面积计算时需要考虑偏低的 TP 及 NH₄⁺-N 表面负荷参数,并且冬季运行效果较差,应采取较小水力负荷以减少湿地所接纳的污水量。除参数之外,在保温措施上也略有不同。两地区均提出了冰层覆盖及地膜覆盖等方法,但北京由于冬季气温可低至 -10℃ 左右,因此需额外对集配水及进出水管等采取必要的防冻措施。

我国地域广阔,在寒冷高纬度地区进行湿地应用推广时,设计中需考虑低温对 N、P 处理效率的影响,在运行中可参考其他相似环境下实际案例的运行参数,有针对性地提出适于冬季运行的水力负荷及 HRT,并且可视情况采取一定程度的冬季保温措施来提高处理效果。

4.2 水质差异性对比

人工湿地主要处理生活污水和市政污水厂尾水,两种水质区别很大,在主要污染物表面负荷及水力负荷两个参数选择上也存在较大差异。以山东省规范为例,与浙江省、北京市、江苏省规范进行对比。可以看出,除 TP 表面负荷以外,山东省其余污染物负荷偏小而水力负荷偏大。这可能是由于其为微污染水,污染物浓度低,在高水力负荷下仍可取得设计出水效果。

当人工湿地主要处理农村生活污水时,由于农村生活污水不直接排入河流,而涉及回用、灌溉等其他用途,因此北京市针对于农村污水处理设施的规范中其 TN、TP 的表面负荷偏低。

4.3 气候、水质差异性较小地区对比

浙江省和江苏省在地理位置上临近,气候条件相似且同为处理生活污水,通过参数比较可以看出,江苏省 COD 表面负荷略大于浙江省,水力负荷差距较大,其余参数差别不大。参考其余规范可以发现,即使所处地区、处理水质均相似,COD 表面负荷与水力负荷两个参数仍可能存在一定差异。原因可能为人工湿地进行表面积设计时,一般选择 COD 污染物表面负荷进行计算,不同经济发展下的城市存在可利用占地面积不同的情况,造成经济实力较强地区 COD 污染物表面负荷偏大的趋势。而水力负荷参数与处理水质、出水要求、当地气温、经济发展等各种因素均有一定关系,影响因素较多导致该参数在相似外部条件下仍会存在一定差异。

5 展望

① 我国人工湿地发展程度存在地域性差异。截止到 2015 年,我国人工湿地工程在华东地区应用最多,比例为 47.73%,在西北地区最少,占比仅为 2.78%^[2],而西北、东北地区至今未颁布相关设计规范。在人工湿地的应用方面,我国西北地区与其他地区存在一定差距。而西北地区因水资源短缺、经济发展偏慢、土地资源丰富的现状更需要一项投资少、生态效益好的技术。因此,在未来应加速西北地区人工湿地规范的出台,影响和推动人工湿地技术的建设和应用。

② 农村生活污水在水量、出水水质及设施水平方面均与城镇生活污水有一定差异,而现行规范未对此进行区分。目前,我国尚未出台针对农村生活污水的排放标准,而在人工湿地处理生活污水时,对于一些指标特别是 N、P 等采用同一数据不够准确。因此,需加快农村生活污水排放标准或农村生活污水处理指南的制定,将更具有针对性和合理性的参数用于人工湿地设计中。

③ 由参数对比可以看出,COD 表面负荷及水力负荷两个参数的确定在实际设计中值得商榷。其与工程所处地区经济、气候等均存在一定联系,建议进行人工湿地设计规范的制定时,可会同相关部门领域专家,结合大量当地实际情况及参考已建成运行案例参数进行讨论确定。

④ 在人工湿地防堵塞方面,某些规范认识不够全面,主要体现在两个条文上,即反冲洗和投加蚯蚓。如何认识到根本性的缓解措施,充分发挥人工湿地处理效果是一个需要重点关注的问题。可以分别针对湿地运行的不同阶段,特别是前期及中期提出经大量实际工程证明的有效措施,如停床轮休、反粒径等,从而延长湿地使用年限,保障人工湿地水质净化工程发挥长效稳定的处理效率。

6 结论

目前,我国已有两部国家级人工湿地规范及九个省市级规程,其中包括征求意见稿及草案,主要涉及人工湿地处理生活污水及尾水过程中所面临的设计和运行管理等内容。按各省地区划分,华东地区出台数最多,包括江苏省、安徽省、浙江省、山东省、上海市五个地区,而我国西北及东北地区尚未有相应规范出台。同时也可看出,这些已出台及即将出台的人工湿地指导规范在一定程度上均会促进人工

湿地的实际应用,但仍在某些方面存在一定的缺陷,例如未进行农村生活污水区分、未分析气候经济等因素的影响及采取有效运行管理措施等。

参考文献:

- [1] Zhang T, Xu Dong, Zhang Y, *et al.* Application of constructed wetland for water pollution control in China during 1990–2010[J]. *Ecol Eng*, 2012, 47: 189–197.
- [2] 李小艳,丁爱中,郑蕾,等. 1990—2015年人工湿地在我国污水处理中的应用分析[J]. *环境工程*, 2018, 36(4): 11–17, 5.
- Li Xiaoyan, Ding Aizhong, Zheng Lei, *et al.* Application of constructed wetlands for water pollution treatment in China during 1990–2015 [J]. *Environmental Engineering*, 2018, 36(4): 11–17, 5 (in Chinese).
- [3] 刘晓璐,牛宏斌,闫海,等. 农村生活污水生态处理工艺研究与应用[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(9): 184–191.
- Liu Xiaolu, Niu Hongbin, Yan Hai, *et al.* Research and application of high-efficiency eco-engineering rural sewage treatment system [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(9): 184–191 (in Chinese).
- [4] 丁绍兰,刘泽航,郭雪松,等. 关于中国农村生活污水排放标准制定的探讨[J]. *环境污染与防治*, 2012, 34(6): 82–85.
- Ding Shaolan, Liu Zehang, Guo Xuesong, *et al.* Discussion on the formulation of domestic sewage discharge standards in China [J]. *Environmental Pollution and Control*, 2012, 34(6): 82–85 (in Chinese).
- [5] 阮晶晶,高德,洪剑明. 人工湿地基质研究进展[J]. *首都师范大学学报:自然科学版*, 2009, 30(6): 85–90.
- Ruan Jingjing, Gao De, Hong Jianming. Research development of substrates in constructed wetland [J]. *Journal of Capital Normal University: Natural Science Edition*, 2009, 30(6): 85–90 (in Chinese).
- [6] 马飞,蒋莉,熊洁羽,等. 反冲洗措施改善垂直潜流人工湿地水力特性的研究[J]. *环境科学与技术*, 2011, 34(7): 46–49.
- Ma Fei, Jiang Li, Xiong Jieyu, *et al.* Changes of hydraulics of constructed wetlands after backwashing [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 34(7): 46–49 (in Chinese).
- [7] 梁雪,贺锋,徐栋,等. 人工湿地植物的功能与选择[J]. *水生态学杂志*, 2012, 33(1): 131–138.
- Liang Xue, He Feng, Xu Dong, *et al.* Plant function and selection for constructed wetlands [J]. *Journal of Hydroecology*, 2012, 33(1): 131–138 (in Chinese).
- [8] 鲁静,周虹霞,田广宇,等. 洱海流域44种湿地植物的氮磷含量特征[J]. *生态学报*, 2011, 31(3): 709–715.
- Lu Jing, Zhou Hongxia, Tian Guangyu, *et al.* Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin [J]. *Acta oecologica Sinica*, 2011, 31(3): 709–715 (in Chinese).
- [9] 姚枝良,闻岳,李剑波,等. 人工湿地处理系统的运行管理与维护[J]. *四川环境*, 2006(5): 41–44.
- Yao Zhiliang, Wen Yue, Li Jianbo, *et al.* Operation management and maintenance of constructed wetland treatment system [J]. *Sichuan Environment*, 2006(5): 41–44 (in Chinese).
- [10] Wang M, Zhang D Q, Dong J W, *et al.* Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climate—A review [J]. *J Environ Sci*, 2017, 57(7): 293–311.



作者简介:常雅婷(1995–),女,陕西西安人,硕士研究生,研究方向为人工湿地污水处理。

E-mail: yating950928@163.com

收稿日期:2018–12–11