

东阳市江滨景观带湿地公园人工湿地填料的设计与施工

魏俊, 赵梦飞, 韩万玉, 刘伟荣, 宋凯宇

(中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122)

摘要: 填料是人工湿地系统组成中不可取代的部分,对人工湿地去污效果起到关键作用。填料的设计与施工直接关系到工程的质量与运行效果。东阳市江滨景观带湿地公园在设计环节采用了8种规格的砾石,通过试验确定在工程中掺加了11%左右的粒径为4~6 mm的沸石填料,强化尾水脱氮效果,并在设计中通过设置交替运行的湿地单元实现沸石的生物再生。在施工环节,针对常规料场生产工序,优先选择振动筛,并优化了设备运行参数,同时,加强清洗环节,确保提供洁净度更高的不同级配要求的填料。在铺设环节,优化了设备选择和工序组合,提高了摊铺效率。该项目在填料设计与施工方面的经验,为大型潜流人工湿地工程提供了重要的案例参考。

关键词: 人工湿地; 填料; 砾石; 沸石; 再生

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)04-0012-04

Design and Construction of Filler in Constructed Wetland Park in Jiangbin Landscape Belt of Dongyang

WEI Jun, ZHAO Meng-fei, HAN Wan-yu, LIU Wei-rong, SONG Kai-yu

(PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China)

Abstract: Filler is one of the important parts in constructed wetlands, which plays a significant role in wastewater treatment. The design and construction processes have a direct bearing on the quality and operation effect of the overall project. In the design of Jiangbin Wetland Park in Dongyang City, 8 kinds of gravel were used in the design process. The test results showed that about 11% zeolite filler with diameter of 4-6 mm was added to the project to enhance the effect of denitrification in tail water. In the design, the biological regeneration of zeolite was realized by setting alternate wetland units. In the construction process, the vibrating screen was selected first for the production process of the conventional material yard, and the operation parameters of the equipment were optimized. At the same time, the cleaning procedure was strengthened to ensure that the fillers with higher cleanliness and different grade requirements were provided. In the laying process, the equipment selection and working procedure combination were optimized, and the spreading efficiency was improved. The experience in filler design and construction provided an important case reference for large subsurface flow constructed wetland project.

Key words: constructed wetland; filler; gravel; zeolite; regeneration

人工湿地是填料、植物和微生物三个要素相互依存构成的有机组合系统。作为人工湿地的重要组成部分,填料的作用不可替代。研究表明,依附于填

料生存的微生物在人工湿地系统污染物去除中起主导作用。填料的设计以及施工已成为人工湿地工程应用中需要解决的最为关键的问题之一。

填料在人工湿地中有五大功能:一是为植物生长提供营养床体;二是为微生物繁殖代谢提供场所;三是为气体扩散提供通道;四是为湿地系统的正常运行提供机械强度;五是通过过滤、吸附、络合、沉淀、离子交换等作用去除水中污染物^[1]。不同类型的填料能够为植物、微生物提供不同的生存环境,对湿地的处理效率产生直接影响。

根据填料类型和应用场景的不同,人工湿地填料可以分为天然材料、工业副产品和人造产品三大类。天然材料主要有砂、石灰石、蛭石、沸石、蒙脱石、页岩、硅藻土、膨润土、贝壳、伊利石、高岭石、白云石、粘土、草炭、钙化海藻等;工业副产品主要有钢渣、粉煤灰、煤渣、炉渣、废砖块、三次化学污泥、硅灰石尾矿、油棕壳等;人造产品主要有活性炭、堆肥、硅酸钙水合物、陶粒、改良材料等^[2-3]。

1 工程概况

东阳市江滨景观带湿地公园工程于 2013 年立项,2014 年实施,2015 年投入运行。该工程主要是进一步处理东阳市第一污水处理厂的尾水,确保尾水排入口下游 600 m 处东阳市与义乌市的水质交界考核断面水质。工程处理规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设计进水水质为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准,设计出水水质为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的 V 类水标准。在项目实施过程中,由于污水厂又进行了提标改造,设计进水水质提高为《城镇污水处理厂污染物排放标准》的一级 A 标准,设计出水水质也相应提高为准 IV 类水标准。

该工程场地位于东阳江南侧,呈长条形,长为 1 100 m,平均宽为 160 m,占地面积为 15.16 hm^2 。具体工艺流程为“进水→流量计井→生态氧化池→生态砾石床→复合人工湿地→景观塘→出水”。复合人工湿地的设计理念为“模拟自然的河流”,通过模拟降雨先垂直入渗河岸,再水平流动,最后汇集到河道的自然净化过程,耦合串联了垂直潜流、水平潜流、表面流三级湿地。

2 填料的设计

如何选择填料的类型,确定填料的粒径和级配,是确保人工湿地污染物去除功能和长效稳定运行的关键。

该项目填料的选择主要考虑了以下几个原则:一是具有一定的比表面积,孔隙率高;二是生态安

全,有利于微生物生长,化学性质稳定;三是质量轻、松散、容量小,有足够的机械强度;四是水头损失小,吸附能力较强,形状系数好;五是容易获取的本地材料,有利于加快工程进度、降低工程造价;六是针对尾水深度处理氮磷去除要求高的特点,适当添加功能性填料。

填料粒径的大小与分布对潜流湿地单元的空隙体积和水流方式具有决定性影响。根据《人工湿地污水处理技术导则》(RISN—TG 006—2009)的规定,对于垂直潜流湿地,填料粒径一般选择 8~16 mm;对于水平潜流湿地,进水区应沿水流方向从大到小铺设填料,粒径宜为 16~6 mm,出水区应沿水流方向从小到大铺设填料,粒径宜为 8~16 mm。粒径较小的填料易发生堵塞等情况,粒径较大的填料可以有效防止堵塞的发生,但粒径过大会缩短水力停留时间,影响净化效果,所以需要在保证净化效果和防止堵塞之间选择一个最佳平衡点。在填料铺设过程中应力求铺设均匀,若掺杂不同粒径的填料会降低湿地系统的空隙率,进而影响水流分布,降低填料的渗透性能。

该项目中,总填料用量为 $10.3 \times 10^4 \text{ m}^3$,涉及生态砾石床、垂直潜流湿地、水平潜流湿地等多个单元。其中,生态砾石床 1 座,面积为 1 600 m^2 ,床体深度为 3.5 m;垂直潜流湿地面积为 4.48 hm^2 ,划分为 16 个单元,床体深度为 1.2 m;水平潜流湿地面积为 4.28 hm^2 ,划分为 9 个单元,床体深度为 1 m;采用的填料主要有砾石、沸石和瓜子石等,填料设计的具体参数如表 1 所示。

表 1 填料设计参数

Tab. 1 Design parameters of fillers used in constructed wetland

项目	粒径/mm	用量/ 10^4 m^3	材料	功能
垂直潜流湿地	8~16	0.9	砾石	排水层
	5~10	3.6	砾石+沸石	滤料层
	8~16	0.9	砾石	覆盖层
水平潜流湿地	3~5	0.9	瓜子石	覆盖层
	40~80	0.006	砾石	进水区、出水区
	20~30	3.6	砾石	中间区域
砾石床	120	0.094	砾石	防浮泥、过滤
	80	0.094	砾石	
	60	0.094	砾石	
	40	0.094	砾石	
合计		10.3		

3 填料的清洗和分选

砾石作为水处理填料使用,与普通建筑砂石相比,品质要求更高。砾石一般来自于河道天然水流冲击后的河床,但当时浙江省河道采砂场在“五水共治”的大背景下纷纷关闭,要在预算范围内找到合格的供应商难度非常大,只有退而求其次,采用干河床、河岸带、废弃荒滩等含砾夹砂层的土进行分选,而这种砂场在“质”方面恰恰都存在问题,由于来料泥沙含量比较大,必须多次清洗后才能确保洁净度,同时需要按照设计要求进行分选,以满足不同粒径要求。为此,项目成立了水环境 QC 小组,开展了“提高东阳湿地公园工程砾石填料品质”的 QC 活动。

通过调查类似人工湿地工程和采用砾石作填料的类似市政工程如垃圾填埋场等,从砾石含泥量、粒径、硬度三方面评判砾石填料品质,并制定了砾石填料品质合格的标准和检测方法。尤其是对于含泥量,目前人工湿地国家规范中只有定性描述,本工程提出含泥量合格标准为 2% 以下;并确定 QC 小组本次活动的主要目标是将砾石含泥量由现状的 5% ~ 8% 降低到 2% 以下。

一般来说,砾石从料源到工程现场,需要经过料场供料→料场生产(清洗分选)→转运到场→现场施工四个环节,其中,料场生产一般的工艺流程为:料堆→铲车→料斗→皮带输送机→振动筛或滚筒筛分离(同步喷洗或淋洗)→皮带输送机形成不同粒径料堆→铲车→成品外运,清洗产生的清洗水一般经过沉淀分离后回用,沉砂则通过链斗式输送机回收后作建筑材料。

QC 小组通过头脑风暴法从这四个环节找出九个原因,辨别出两个要因,分别是设备选型不合理和清洗环节不合理。为此,采取了以下主要措施:

① 优化设备选型。现场试验性生产发现,功率接近情况下振动筛筛分效果优于滚筒筛,设备尺寸及角度接近情况下振动筛停留时间长于滚筒筛,因此,综合比较来看,应优选振动筛。

② 优化设备运行参数。在喷淋清洗强度一致的情况下,振动筛筛网的角度和振动频率对出料含泥量有较大影响,通过试验确定了最优的筛网角度为 22°,振动频率为 140 次/min。

③ 优化清洗环节。在振动筛前,增加一根直喷管,并将喷头设计为鸭嘴形式,以冲散料源,提高

分选效果;经振动筛分离后,砾石进入皮带机二次输送时,在皮带输送机起端增加穿孔配水管,对砾石进行二次清洗。同时,取消清洗水经二次沉淀后回用的工序。

④ 优化喷头形式。在常规工艺中,振动筛存在清洗水量不均匀的问题。因此,通过增加穿孔管道长度和管道开孔数量的方式来解决。

⑤ 加强泥水分离。清洗后砾石易挟带泥水进入砾石料堆,对于粒径较小的砾石尤为显著,因此,在小料皮带机末端增加筛网来强化泥水分离效果。

对其他非要因,相应采取了如下措施:①控制料源。在工程施工场地周边,对嵊州、仙居等地共六个料场进行了现场调研,从料堆总量、原料含泥量、现状最大供应能力、运输距离四个方面对料场进行综合比较,控制料源。②形成作业规程。全面规范装车、卸料等环节,避免二次污染,铲车铲斗不贴地作业,避免铲入泥土;运输环节采用专车专用,避免车辆混装煤炭等带入杂质;铺设环节及时清洗作业机械轮胎等。

4 填料的铺设

人工湿地的设备安装主要包括管道阀门安装、水泵安装、风机安装、土工膜铺设、砾石摊铺和植物种植等环节,其中填料的铺设是人工湿地施工过程中的关键环节,对决定施工的质量和进度具有决定性影响。砾石摊铺工期一般占人工湿地设备安装周期的 60% 以上,是影响设备安装效率的主要原因。东阳项目填料铺设量大,级配多,加之工期紧(工期倒排情况下只有三个月时间),采用传统的人工摊铺不仅效率低,更无法满足施工进度要求,因此,必须采用机械化铺装,提高填料摊铺效率。

为此,水环境 QC 小组又开展了“提高东阳湿地公园工程设备安装效率”的 QC 活动。活动的主要目标是填料的铺设效率提高 1 倍以上。

一般而言,填料铺设的作业流程为“卸料→机械二次搬运→机械三次搬运→人工摊铺”,其中垂直潜流湿地的每层滤料需要单独施工。QC 小组通过头脑风暴法共找出 13 个影响填料铺装效率的原因,判别出两个要因,分别是设备选项和工序组合不合理以及滤料堆放位置不合理。为此,采取以下两项措施:

① 调整机械选项和工序组合。综合比选了挖掘机、起重机和装载机三种常用机械设备,确定最合

适的机械组合为“挖掘机+装载车”,并确定最优工序为“装载车二次搬运+挖掘机三次搬运+人工平整”,为了避免对已经铺设的填料形成碾压,采用“固定运输通道+铺设钢板+小型挖机配合”的优化作业方法。

② 选择合适的填料堆放点。工程实施中发现二次搬运耗时率明显高于其他类似工程,分析其原因是砾石堆放点选择不当,造成二次搬运距离过长,降低了砾石摊铺效率。因此,优化调整了填料搬运路线以及堆放点位置。

5 特殊填料的应用

我国沸石资源极为丰富,缙云的斜发沸石 Na、Ca 含量较高,属我国少见的钠钙型或钠型斜发沸石,实际离子交换容量(以 NH_4^+ 计)在 $0.10 \sim 0.15 \text{ mol}/100 \text{ g}$ 之间,是比较优质的人工湿地功能型填料。东阳距离缙云仅 1 h 车程,故该项目选用了沸石填料。

通过现场试验,综合防堵塞能力与吸附性能,选择 $4.0 \sim 6.0 \text{ mm}$ 粒径的沸石作为项目用填料,并确定了其总速率常数、吸附速率常数。根据进、出水条件和处理规模,得出本工程年需要沸石用量 1400 t ,工程生命周期按照 20 年计算,共需要沸石 $2.8 \times 10^4 \text{ t}$ ($1.1 \times 10^4 \text{ m}^3$),约占总填料量的 11%。

沸石主要通过吊机吊装的方式,铺设于垂直潜流人工湿地的滤料层。通过设置 16 个垂直潜流湿地单元,交替运行,使湿地单元处于周期性的淹水-落干-淹水的状态,从而使得沸石填料吸附能力通过生物作用再生。湿地在淹水状态时,沸石快速吸附氨氮;湿地在落干状态时,沸石上形成的生物膜会降解前期吸附的污染物,并恢复吸附能力,进入下一个循环处理周期。

6 结论

填料在人工湿地水质净化过程中发挥着不可替代的作用。随着新型投融资建设模式如 EPC、PPP 等在水环境治理项目中的应用,填料的关注点已经不仅仅是粒径、级配等设计参数,还包括在建设过程中如何保证填料质量、施工进度,以及在工程运行过程中持续发挥功效,减小堵塞风险。

东阳市江滨景观带湿地公园工程自 2015 年建

成运行以来,处理效果良好,出水主要指标均优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类标准,各湿地单元未出现短流和堵塞的情况。本项目在填料设计与施工方面的经验,为大型潜流人工湿地工程提供了参考。

参考文献:

- [1] 马超. 人工湿地填料基质筛选[D]. 天津:天津大学, 2012.
Ma Chao. Research on Substrates Selection for Constructed Wetlands[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012(in Chinese).
- [2] 刘俊良,王琴,李君敬. 水处理填料与滤料[M]. 北京:化学工业出版社,2015.
Liu Junliang, Wang Qin, Li Junjing. Water Treatment Filler and Filter Material[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2015(in Chinese).
- [3] 冀泽华,冯冲凌,吴晓芙,等. 人工湿地污水处理系统填料及其净化机理研究进展[J]. 生态学杂志, 2016, 35(8): 2234 - 2243.
Ji Zehua, Feng Chongling, Wu Xiaofu, et al. Research progress on filler application and purification mechanisms in constructed wetland wastewater treatment system[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(8): 2234 - 2243(in Chinese).



作者简介:魏俊(1982—),男,江西萍乡人,硕士,高级工程师,主要研究方向为水环境治理。

E-mail: wei_j@ecidi.com

收稿日期:2018-11-26