

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.20.018

生物滞留设施建设常见问题及解决方案

李澄¹, 何伶俐², 周洁³, 范晓玲³

(1. 江苏龙腾工程设计股份有限公司, 江苏 南京 210000; 2. 江苏省住房和城乡建设厅, 江苏 南京 210000; 3. 昆山市海绵城市建设领导小组办公室, 江苏 昆山 215300)

摘要: 生物滞留技术是海绵城市建设过程中应用最广泛的低影响开发技术之一。在海绵城市建设的快速推进下,生物滞留技术在施工落地过程中往往存在较多问题,如现场施工与图纸不符、排水不畅、景观效果不佳,从而导致海绵城市作用难以发挥。在分析生物滞留池结构构成、建设步骤的基础上,提出施工重点环节的注意事项及易出错步骤的改进措施,从海绵城市建设管理的角度剖析施工问题的成因,并提出相应的建议。

关键词: 海绵城市; 生物滞留; 施工方法

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)20-0105-08

Common Problems and Solutions in Construction of Bioretention Facility

LI Cheng¹, HE Ling-jun², ZHOU Jie³, FAN Xiao-ling³

(1. Jiangsu Long-leaping Engineering Design Co. Ltd., Nanjing 210000, China; 2. Housing and Urban-Rural Construction Department of Jiangsu Province, Nanjing 210000, China; 3. Kunshan Sponge City Construction Leading Group Office, Kunshan 215300, China)

Abstract: Bioretention technology is one of the most widely used low impact development technologies in sponge city construction. With the rapid development of sponge city, there are many problems observed during construction period, such as inconsistency between site construction and designs, poor drainage systems and landscape effects, making it difficult to bring the benefits of sponge city into full play. On the basis of analyzing and introducing the structure and construction steps of bioretention facilities, this paper put forward considerations in key steps and improvement measures for error-prone steps of the construction of bioretention facilities. The paper also analyzed the causes of construction problems from the perspective of sponge city construction management, and brought out corresponding suggestions.

Key words: sponge city; bioretention; construction method

近两年,诸多城市发布全面推进海绵城市建设的文件,地块、道路为载体的海绵城市建设正驶入发展的快车道,由于理念方式的转变、基础研究工作的缺失和工程经验积累不足,落地的海绵城市项目往往存在功能效益欠缺、景观效果欠佳等诸多问题。其中,生物滞留设施作为应用最广泛的海绵城市技术措施之一^[1],在建设过程中出现了雨水排放不畅、景观效果差、海绵城市效益难以发挥等诸多

问题。

昆山市作为江苏省首批海绵城市建设试点城市,在前期“水敏性城市建设”尝试的基础上,于2017年在市域范围内全面推进海绵城市建设,通过近几年的尝试和努力,建成了一批海绵城市项目,建设过程中累积了大量的工程实践经验^[2]。生物滞留设施作为海绵城市建设重要源头控制的绿色技术措施之一,由于其高效的雨水滞蓄能力、径流污染去

除能力以及能与景观有机结合的特点^[2],被广泛运用于昆山市各类型用地的新建、改建、扩建项目的海绵城市建设中。通过对海绵城市建设全过程的梳理和总结,昆山市编制了《昆山市生物滞留池施工指南(试行)》供设计、施工以及管理单位参考。在此基础上提炼、总结了生物滞留设施施工过程中存在的主要问题和解决方案,并根据海绵城市建设落地的实际情况,剖析建设施工过程中常见的问题及其成因,提出了行之有效的建议与对策。

1 生物滞留池的组成及建设步骤

1.1 组成部分

生物滞留设施模拟自然水文过程,对雨水及早进行控制,阻断或减缓地表流动,净化雨水水质,并使雨水成为景观的一部分^[3-4]。生物滞留池主要包括:与周边衔接的护坡(分直立式和自然式)、进水口(防冲刷设施)、溢流井、溢流井盖、检查口、景观植物组团等组成部分,自上而下设置超高层、滞留层、覆盖层、过滤层、过渡层、排水层、防渗层。生物滞留池各层级以及各层级厚度可根据实际的需要进行灵活变化,但同时应该满足过滤、植物生长、结构稳定的要求。生物滞留池透视图见图1。

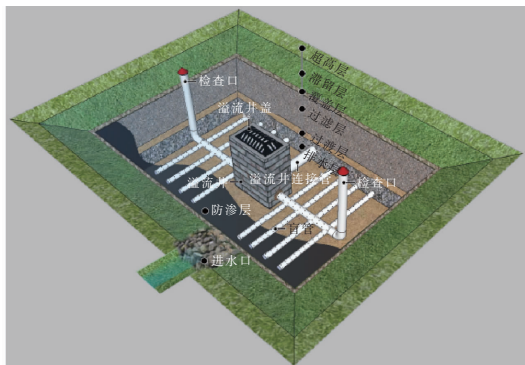


图1 生物滞留池透视图

Fig.1 Perspective of bioretention tank

1.2 建设步骤

从结构层可以看出,生物滞留池结构看似简单,但施工过程相对繁复,加上经验不足且多数施工环节为隐蔽工程,因此在施工中极易出错。

生物滞留池施工可以分为从基坑开挖到覆盖层铺设等12个主步骤,约30项子步骤,每个步骤均容易发生错误,并影响最终效果,所以需要施工单位系统理解、技术贯穿、精工细作。

生物滞留池具体施工过程如图2所示。

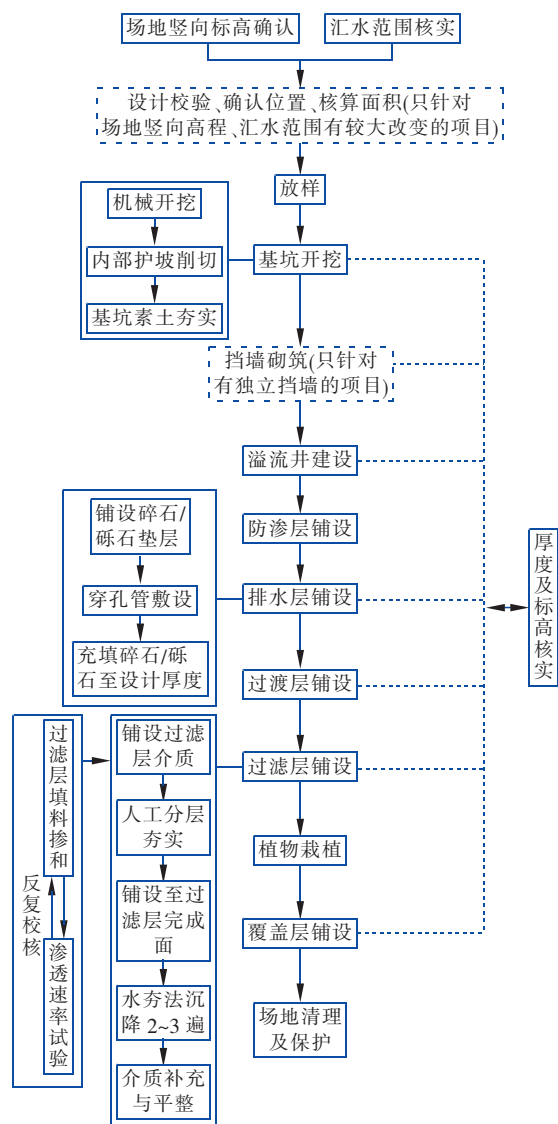


图2 生物滞留池施工过程

Fig.2 Construction process of bioretention tank

2 建设存在的问题与解决方案

2.1 位置确认及场地竖向衔接

2.1.1 存在问题

① 场地铺装、绿化竖向标高、场地排水方向与原有设计不符,导致生物滞留池处于汇水分区之外,雨水难以汇流进入生物滞留池,甚至造成场地积水。

② 植草沟、排水沟等设施距离过长,导致生物滞留池完成面与侧石堆土存在较大高差,与周边衔接突兀。

③ 生物滞留池本身标高处理,生物滞留池完成面不能满足滞留层+超高的要求,溢流井不能满足排水或者超高的要求。

2.1.2 解决方案

① 在建设生物滞留池时,应注重场地及设施的竖向衔接,首先通过专业仪器对场地竖向地形进行确认,确保其位于汇水分区的内低点,确保汇水范围内雨水能够自然地表面汇流或通过导流设施进入生物滞留池。

② 施工单位最好根据场地竖向、汇水条件重新核算汇水分区,核实生物滞留池面积是否与汇水面积匹配。如项目整体施工过程中存在竖向标高的改变,生物滞留池的位置应根据实际情况进行调整,并履行相应变更手续。

③ 应按照施工图纸核算开挖深度,核对完成面标高、溢流口标高在竖向上能否与汇水分区内的道路、铺装、绿地顺利衔接。

④ 生物滞留池开挖、整坡、介质回填、压实等各环节,均应满足场地坡度、坡向以及生物滞留池整体的深度,以及排水层、过渡层、过滤层、滞留层、超高层等各层级厚度设计要求;生物滞留池深度应包括所对应的厚度。

2.2 形式的选择

2.2.1 存在问题

生物滞留池选型错误,不仅影响景观效果,还会造成边坡稳定性较差。例如在场地条件允许的情况下,采用了直壁砌筑挡墙型生物滞留池,如图3(a)所示;生物滞留池位于面积较小的绿化带时,采用了“大池中套小池”,如图3(b)所示。



a. 直壁砌筑挡墙型
(空间充足)

b. 大池中套小池
(空间有限)

图3 生物滞留池的错误选型

Fig. 3 False form of bioretention tank

2.2.2 解决方案

场地条件允许的情况下,例如小区绿地、公园等,生物滞留池建议采用自然缓坡型,如图4(a)所示。在场地条件有限的情况下,例如道路、停车场的绿化带,侧石所对应的边缘可直接作为生物滞留池

的硬质护坡,放样时生物滞留池边界以道路、铺装边线为界,如图4(b)所示。



a. 自然缓坡型(空间充足) b. 直壁砌筑挡墙型(空间有限)

图4 生物滞留池的合理选型

Fig. 4 Reasonable form of bioretention tank

对于车行速度慢、车流量小的支路、停车场、广场等用地,生物滞留池边缘可不设侧石,但应设置警示牌,防止行人或车辆跌入。对于快速路、主干道、机动车流量相对较大、限速较高的道路,生物滞留池边缘建议保留侧石。

2.3 自然缓坡型放样

2.3.1 存在问题

在生物滞留池设计时,往往仅按照容积法计算出的面积,设计生物滞留池线型。因此,在施工中放样仅仅放一根线,根据该线再进行相应开挖或者放坡,按照放线开挖出来的生物滞留池面积偏大或者偏小。

2.3.2 解决方案

采用自然放坡形式的,平面设计时应通过多线方式反映不同截面坡度,应表达上口线(与场地衔接线)、完成面对应的线、开挖面底部对应的线,如图5所示。自然缓坡型的生物滞留池应按施工图采用3条线放样,如图6所示。从上到下分别是上口线(与场地衔接线、1号线)、完成面对应的线(2号线)、开挖面底部对应的线(3号线)。为了便于开挖坡度的准确性,在放线时应放出底面(3号线)及完成面(2号线)两条线。

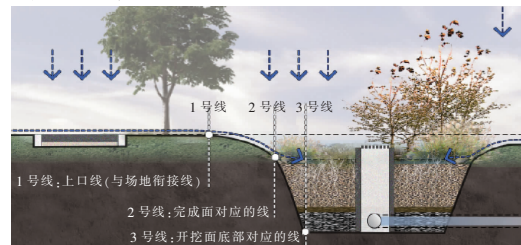


图5 生物滞留池开挖控制线

Fig. 5 Excavation control line of bioretention tank

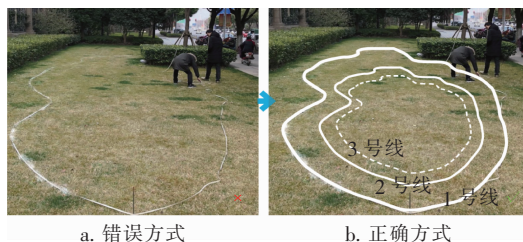


图6 生物滞留池施工放线

Fig. 6 Construction setting-out of bioretention tank

2.4 溢流井砌筑

2.4.1 存在问题

生物滞留池位于场地低点,因此设置溢流井尤为重要,但现场施工中经常有不设置溢流井或者采用 de110 ~ 160 mm 排水管代替溢流井的方式,除此之外还经常出现溢流井井面标高与设计不符的现象,如图7所示。



图7 溢流井建设常见错误

Fig. 7 Common mistakes in overflow well construction

2.4.2 改善措施

① 溢流井盖应该满足汇水范围内设计暴雨排放要求,且应简洁、美观、尺寸适合,并具有防堵塞的能力。

② 由于生物滞留池溢流口设置于绿地中,应采用棱台形或穹型等立面式防堵塞溢流井盖,以保证在异物堵塞时仍具备雨水排放能力。

生物滞留池内的溢流井形式见图8。



图8 生物滞留池内的溢流井

Fig. 8 Overflow wells in bioretention tank

2.5 结构层稳定

过滤层、过渡层、排水层铺设均属于基坑的回填工作,回填介质的粒径级配、盲管铺设直接关系到生

物滞留池的结构稳固性和性能。

2.5.1 存在问题

现场施工后经常出现降雨,由于排水盲管孔径大、结构层粒径匹配不够,回填介质层的流失会在生物滞留池表面留下“凹陷”,并堵塞盲管。

2.5.2 解决方案

生物滞留池过滤层、过渡层、排水层一般由粉砂粒、中粗砂、圆砾或角砾等回填介质分层回填组成。各层材料的颗粒粒径不宜超过邻层较小颗粒的6~8倍。在没有地方生物滞留池建设指南时,施工前应进行结构安全性小试,保证结构稳固。

2.6 排水盲管敷设

2.6.1 存在问题

现有国内规范对盲管开孔率、开孔孔径、开孔间距、开孔方式鲜有规定,仅有《城市道路与开发空间低影响开发雨水设施》(15 MR 105)要求穿孔收集管开孔率控制在1%~3%,《城镇雨水调蓄工程技术规范》(GB 51174—2017)要求开孔孔径不得大于排水层砾石粒径。

假设在单位面积(1 m²)生物滞留池内设置1根1 m的 de110 mm 盲管,土壤渗透系数为100 mm/h。在极端降雨的情况下,生物滞留池形成滞留层,按照孔口出流公式计算孔口面积:

$$Q = \mu A \sqrt{2gH_0} \quad (1)$$

式中 Q ——孔口出流量, m³/s

H_0 ——作用水头, m

μ ——淹没孔口的流量系数, $\mu = 0.62$

A ——孔口的面积, m²

按照土壤渗透系数计,单位面积渗透流量为0.1 m³/h,约 2.78×10^{-5} m³/s; H_0 取0.8 m(溢流井深0.2 m,过滤层厚0.5 m,盲管孔口在排水层平均深0.1 m);孔口堵塞率按照50%计,经计算得 $A = 5.6 \times 10^{-5}$ m²。

开孔率计算公式如下:

$$\Phi = A/S \quad (2)$$

式中 Φ ——开孔率, %

S ——管道表面积, m²

单位长度(1 m) de110 mm 盲管的面积 $S = 2\pi rL = 0.3454$ m²。经计算开孔率仅为0.016%,与图集15 MR 105、GB 51174—2017要求的穿孔收集管开孔率(1%~3%)相差较大。盲管开孔率与盲管的开孔孔径成正比,与开孔间距成反比。开孔

率越大,要求开孔孔径越大、开孔间距越小,开孔孔径越大越容易导致介质层的流失;开孔间距越小,管道开孔过于密集容易破坏管线的环刚度,埋设在排水层中,承压能力受影响。

昆山生物滞留池在建设过程中参考了澳大利亚的经验,澳大利亚生物滞留设施指南建议开孔孔径尽量小,推荐孔径为2 mm^[5];在实际操作中如开孔孔径为2 mm,在满足最低限为1%的开孔率时,1 m的de110 mm 管线需要开孔数量超过1 000个,按照六边形对称开孔,盲管上纵向间距仅为6 mm,开孔难以操作,且开孔过于密集会破坏管道的环刚度。

2.6.2 解决方案

考虑到排水层采用圆砾、角砾石进行铺设,排水层介质粒径控制在10~20 mm,要求排水层最小粒径不得小于排水盲管开孔孔径的1.5倍,开孔率调整至0.5%~1%,采用圆形开孔时,开孔孔径4~6 mm,详见图9(a);采用槽状开口时,槽宽2~3 mm,槽长20~30 mm,详见图9(b),间距按照流量要求、开孔(槽)尺寸、横截面孔(槽)口数量计算确定。

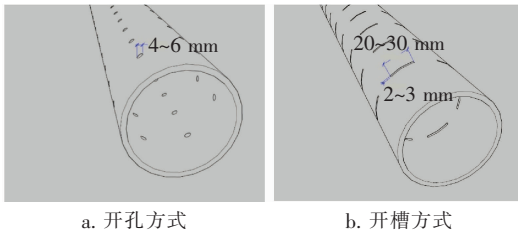


图9 盲管开口方式

Fig. 9 Opening method of blind canal

2.7 与各类管线的关系

2.7.1 雨水管线埋深

① 存在问题

《室外排水设计规范》(GB 50014—2006, 2016年版)规定排水管道管顶最小覆土:人行道下0.6 m,车行道下0.7 m。生物滞留池布置在地块起始部位,按照起始管线覆土为0.6 m计,生物滞留池排出管(雨水管连接管)与雨水管线无法做到管顶平接,会导致生物滞留池过渡层下一直存水,停留时间超过5 h对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 等污染物去除并没有太大帮助^[6],并且时间过长,会引起厌氧区扩大,同样影响处理效果^[7],停留的雨水含有较高污染物随下一次降雨排出,同时会产生臭味、滋生蚊蝇。

此外,在降雨初期,雨水管线内的雨水可能很快达到满管流,这时生物滞留池内部水位会上升到与

检查井水位相同,浸入过滤层,离完成面仅仅0.3 m,详见图10。降雨结束后,在下次降雨前,水面下降至与下游雨水管线顶面平行的位置,排水层一直存有雨水,详见图11。因此,内部蓄水空间在降雨时、降雨后均不能完全释放出来,实际调蓄容积要低于理论计算值^[2]。

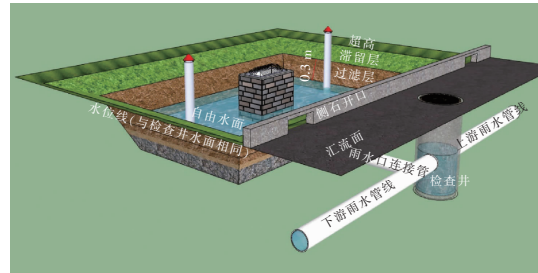


图10 降雨时雨水管线起端生物滞留池内水位情况

Fig. 10 Water level in bioretention tank at the beginning of rainwater pipeline during rainfall

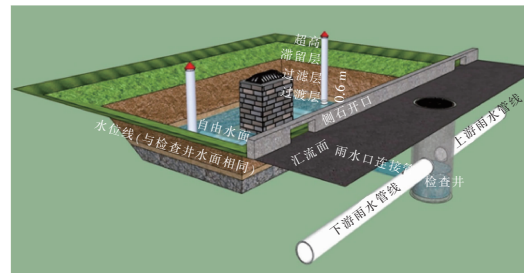


图11 非降雨时雨水管线起端生物滞留池内水位情况

Fig. 11 Water level in bioretention tank at the beginning of rainwater pipeline under non-rainfall condition

② 解决方案

建议在地块雨水管线的起端尽量不采用生物滞留池,可以采用下凹式绿地或者简易型生物滞留设施替代。如果一定要采用生物滞留池时,首先应该尽量降低过滤层的厚度,降低生物滞留池深度,保证雨水口连接管与下游雨水管能够实现管顶平接,其次在指标核算时,应该按照实际能够排空的部分重新核算设计调蓄容积。

2.7.2 管线综合

① 存在问题

地块内部存在大量管线,很多管线埋设在绿化中,生物滞留池的建设经常内有多种管线穿越,影响生物滞留池渗透、滞蓄效果,管线穿越未加设加固措施,易破损导致安全隐患。

② 解决方案

设计过程中,应将海绵设施布置图与含出户管的管线综合图叠加,避免生物滞留池位于管线密集处、检查井设置处,核对燃气、电力等存在安全隐患的管线是否穿越生物滞留池,并及时做出调整。

在现场施工时,如遇到管线密集处,应根据管线位置、竖向条件进行调整避让,并进行变更。穿越生物滞留池的管线覆土应满足相应规范要求,不满足覆土要求的应该进行加固处理。

2.8 景观打造

2.8.1 边界处理

① 存在问题

周边绿地空间充足,采用了混凝土砌筑硬质护坡,未进行抹面或遮挡,破坏了整个场地的景观效果。在绿化不足的情况下,采用传统的侧石,由于生物滞留池在传统绿化整体上进行了下凹,因此圪塔裸露难以处理。

② 解决方案

当生物滞留池周边具有充足的绿地空间时,应采用自然放坡的方式处理生物滞留池与周边场地的竖向衔接问题。生物滞留池自然放坡不应大于1:3,以保证边坡稳固,并与周边场地顺利衔接。

生物滞留池周边无充足绿地空间、放坡空间不足时,可采用钢板护坡方式。使用3 mm以上厚度的不锈钢板或锈钢板作为护坡,应保证其作为边坡的结构稳定性,宜将其插入土壤或过滤层介质中15 cm以上或进行锚固、焊接处理,钢板顶端应与周边高度一致。

采用石笼护坡时,截面形式可采用长方形、梯形等多种形式。石笼顶面高度应与周边高度一致,顶面宽度宜为15~20 cm。

采用直径为5~10 cm的杉木桩作为护坡,杉木桩应插入土壤或过滤层介质中15 cm以上,并应成排进行固定,其顶端高度应与周边高度一致。

当生物滞留池与周边存在一定绿地时,可采用草石隔离带作为自然缓坡土壤与过滤层介质之间的格挡。

若通过侧石对生物滞留池进行衔接,宜改变传统侧石做法,可采用砌筑挡墙或者厚度较宽的侧石来替代原有的侧石形式,避免基础裸露。砌筑挡墙必须满足道路侧石建设要求。

生物滞留池与周边场地竖向衔接及边界处理方式见图12~14。



a. 错误方式

b. 正确方式

图12 空间充足时生物滞留池的竖向衔接方式

Fig. 12 Vertical connection way of bioretention tank with the adequate space



a. 错误方式

b. 正确方式

图13 空间不足时生物滞留池的竖向衔接方式

Fig. 13 Vertical connection way of bioretention tank with insufficient space



a. 不锈钢板

b. 杉木桩

c. 草石隔离带

d. 石笼网

图14 边界处理方式

Fig. 14 Boundary processing of bioretention tank

2.8.2 植物选择及种植

① 存在问题

部分植物选型缺乏因地制宜的筛选过程,刚开始以湿生植物为主,推荐的植物在现有填料里也难以保证旺盛的生长力^[6];大部分种植植物均属于落叶性,并不常绿,所以大部分设施在冬季景观效果较差;选择的植物植株较小,或者大量的低矮地被植物,由于场地下沉,影响最终景观效果呈现。

② 解决方案

选择长期耐干旱、短期耐涝的植物,根据苏州地区的气候特征,对植物进行了推荐,详见表1。增加

常绿植物比例,保证冬季景观效果,点缀开花植物或色叶植物。多选用植株高度较高、观赏性好的草本类及灌木类植物,避免大面积种植低矮地被植物。

表1 生物滞留池植物推荐

Tab.1 Plant recommendations for bioretention tank

植物类型	推荐植物	过滤层厚度/mm
草本类	花叶芦竹、花叶芦、细叶芒、旱伞草、葱兰、美人蕉、鸢尾、乱子草、苔草、画眉草、千屈菜、拂子茅、狼尾草、玉带草、马鞭草、大花金鸡菊、再力花、马蔺、蛇鞭菊、蓍草	≥200
灌木类	海桐、杜鹃、南天竹、大叶黄杨、无刺枸骨、黄金香柳、火棘、夹竹桃、洒金桃叶珊瑚、山麻杆、紫穗槐、栀子花、红叶石楠、红花檵木、桉柳	≥300
亚乔木类	木槿、石榴树、桔子树、栎树、巨紫荆、大叶冬青、流苏树、接骨木、枇杷树	≥500

种植不同于普通绿化,宜采用长势较好、规格较高的全株苗(容器苗),同时应避免过度修剪;生物滞留池应适当提高植物的种植密度,建议在常规种植密度基础上提高20%,保证不露土。丰富植物品种,采用组团式种植方式,避免散种造成池内植物散乱。采用片植、群植、丛植、孤植相结合的布局形式,疏密结合,兼顾观赏和休憩功能,避免散种造成池内植物散乱。夏季种植完毕每日均需要进行浇灌,保证植物成活。

注重植物的搭配与层次,局部可选用灌木球、亚乔木、景石等进行点缀。

3 建设过程存在的其他问题

3.1 设计支撑不足

目前现有规范对生物滞留设施所提及的要点较少,现行规范文件中仅《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》做了2页的描述介绍,规范《城镇内涝防治技术规范》(GB 51222—2017)、《城镇雨水调蓄工程技术规范》(GB 51174—2017)分别进行了6条、1条的介绍,《城市道路与开放空间低影响开发雨水设施》(15 MR 105)仅仅有1页说明。

除此之外,海绵城市设计与景观设计及排水设计未充分协调,难以做到海绵城市效益、景观效果与排水安全相匹配,加之传统的设计院对海绵城市理解不足,将海绵城市单列设计,依然存在海绵城市排水图纸与常规排水图纸相冲突的现象。

3.2 设计施工脱节

施工、监理、建设单位对海绵城市理解不透彻,难以从平面、竖向、植物配置上完全按图纸施工,不少施工单位简化生物滞留设施隐蔽工程,植物种植完全不按图纸进行选配。

现有的土建、景观工程在施工过程中的“走样”极为严重,从场地竖向、排水管网敷设、场地竖向布置、绿化景观均存在不按图纸施工的问题,而海绵城市以上述工程为载体,到海绵设施建设阶段,原有汇水分区、场地竖向已经有较大的改变,按照设计位置、标高、深度进行施工往往难以与现场实际情况相衔接、匹配。

3.3 缺乏施工经验

施工中景观、市政施工各自为政,造成注重排水而忽视景观效果,注重景观的又忽视排水系统性。

缺乏经验的总结和优势资源延续,建设至今,很少有团队完成2项以上的工程项目,刚积累的工程经验难以在下一个工程项目中发挥作用。

3.4 施工工期紧张

海绵城市建设往往处于绿化景观阶段,同时也属于项目整体的收尾阶段,因此对于很多项目在工期有限的情况下,在项目后期通常压缩海绵城市建设工期,导致海绵设施建设标准低、建成效果粗糙。

3.5 投资估计不足

由于最初对海绵城市的理解,认为海绵城市建设不但不增加建设费用,还在施工时减少土方,导致大部分建设单位压缩海绵城市部分的建设资金,难以高标准进行建设。

3.6 全程监管困难

由于目前海绵办的重点工作集中在图审方面,难以做到海绵城市施工阶段的全过程、全周期指导和监管,加上监理单位对于海绵城市的理解和把控能力有限,因此出现大量海绵城市设计、施工脱节,园林与市政施工割裂的现象。

4 结论与建议

海绵城市在多年试点推进过程中,由于难以一次理解到位,在建设过程中总是或多或少存在问题,生物滞留设施在海绵城市的建设过程中被大量使用,看似简单但施工过程环环相扣,加之设计、施工等建设环节不到位,出现了各种问题,让海绵城市的初衷没有得到落实,导致群众的接受程度不高,妨碍了海绵城市的推广。

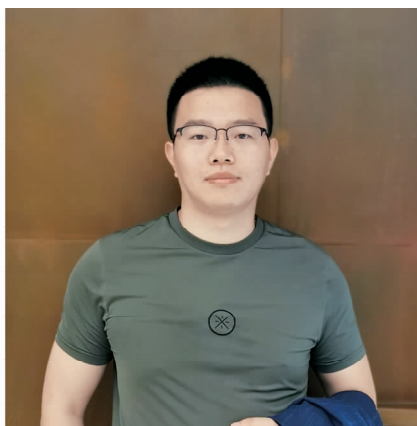
海绵城市的建设,应该是“两分设计、六分施工、两分前期维护”,生物滞留设施的建设管控应在合理化设计的基础上,严格把控建筑雨落管排水、室外管线、场地竖向、绿化造坡等外部条件的施工质量及精准化程度,以在竖向、平面、构造上准确落地。

由于目前对海绵城市理解透彻的施工单位较少,设计单位应该在施工过程中,做到全过程现场指导,并及时按照现场条件变更图纸。此外,海绵城市的建设不能简单理解为绿化施工,应将市政管线施工与园林绿化施工技术相结合,给予足够的工程预算,并尽早介入项目施工,融入雨落管、室外管道、室外铺装、绿化等各个施工环节。海绵技术措施建设完成后,应防止施工期污染物进入,前期的维护管养也是海绵城市建设效益能否发挥的关键,施工完成后应采用高频率、精细化的管养维护方式。

海绵城市试点需要有一定的容错机制,海绵城市建设更是“边实践、边总结、边改进,再实践、再总结、再改进”的螺旋上升过程,试点推进是为了发现问题、解决问题,应结合出现的问题尽快形成各个地方的设计、施工、管养维护的技术指南,构建有序的监管流程和体系,并纳入到现有施工质量管理程序,确保生物滞留设施等海绵技术措施切实、有效落地。

参考文献:

- [1] 车伍,赵杨,李俊奇,等. 海绵城市建设指南解读之基本概念与综合目标[J]. 中国给水排水,2015,31(8):1-5.
- Che Wu, Zhao Yang, Li Junqi, *et al.* Explanation of sponge city development technical guide: Basic concepts and comprehensive goals [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(8): 1-5 (in Chinese).
- [2] 李澄,谭晓莲. 过滤层填料对南方地区生物滞留设施建设的影响[J]. 中国给水排水,2019,35(15):128-133.
- Li Cheng, Tan Xiaolian. Influence of filter media on the construction of bioretention applications in typical regions of southern China[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(15): 128-133 (in Chinese).
- [3] 刘家琳,张建林. 雨水径流控制的景观设计途径及在公园绿地中的应用分析[J]. 西南大学学报:自然科学版,2015,37(11):183-189.
- Liu Jialin, Zhang Jianlin. Landscape design approach to stormwater runoff control and a case study of urban park [J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2015, 37(11): 183-189 (in Chinese).
- [4] 李平,王晟. 生物滞留技术控制城市面源污染的作用与机理[J]. 环境工程,2014,32(3):75-79.
- Li Ping, Wang Sheng. Effect and mechanism of bioretention technology for urban non-point source pollutions control [J]. Environmental Engineering, 2014, 18(3): 75-79 (in Chinese).
- [5] Hatt B, Morison P, Fletcher T D, *et al.* Adoption Guidelines for Stormwater Biofiltration Systems [M]. Melbourne: Facility for Advancing Water Biofiltration, Monash University, 2009.
- [6] 仇付国,王珂,李林彬,等. 滞留时间和进水有机物对生物滞留系统除氮的影响[J]. 科学技术与工程,2018,18(4):197-202.
- Qiu Fuguo, Wang Ke, Li Linbin, *et al.* Effect of retention time and organic matter on the nitrogen removal by bioretention [J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(4): 197-202 (in Chinese).
- [7] 王庆元,曹振华. 人工湿地处理初期雨水技术的探讨[J]. 中国资源综合利用,2017,35(3):44-47.
- Wang Qingyuan, Cao Zhenhua. Explore of constructed wetland technology in initial rainwater treatment [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2017, 35(3): 44-47 (in Chinese).



作者简介:李澄(1986-),男,江苏南通人,硕士,高级工程师,主要从事市政工程规划设计、海绵城市建设等方面的相关工作。

E-mail: lichengseu@126.com

收稿日期:2019-09-25