【专题：海绵城市 / Sponge City】

·特邀专题策划：刘建，任欣欣·

深圳地铁长圳车辆段海绵城市设施设计与施工

刘建¹，刘派¹，王晓雷²，刘少然²，王刚³，吴爽⁴，龚小强¹，吴凌壹¹

1) 深圳大学建设工程生态技术研究所，广东深圳 518060；2) 深圳地铁集团有限公司，广东深圳 518040；

3) 中建南方投资有限公司，广东深圳 518001；4) 中铁二院工程集团有限责任公司，四川成都 610031

摘要：针对中国深圳市地铁长圳车辆段可渗透下垫面少、不渗透下垫面多的实际情况，对其海绵城市设施进行优化布置和设计。除设计雨水花园、植草沟和地下蓄水模块等传统设施外，还设计了生态屋顶、高位雨水花坛和多功能蓄水池等新型海绵城市设施。采用容积法和暴雨洪水管理模型(storm water management model, SWMM)对3种设计方案的滞留能力和效果进行计算和模拟分析。结果表明，在年径流总量控制率为70%情况下，3种海绵城市设施设计方案都可以满足降雨径流不外排的设计要求。SWMM模拟结果表明，海绵城市设施可以减少长圳车辆段的径流量、径流峰值和径流系数，但随着降雨重现期的增大，海绵城市设施的削减效果逐渐降低。当降雨重现期大于等于50 a时，海绵城市设施几乎没有消减作用。综合考虑技术和经济因素，选择方案2作为长圳车辆段海绵城市实施方案。按照CJJ 82—2012《园林绿化工程施工及验收规范》和GB/T 50905—2014《建筑工程绿色施工规范》等要求，对海绵城市设施进行绿色施工。深圳市长圳车辆段海绵城市设施是目前世界上首个已建成的具有海绵型设施的地铁项目，为海绵城市理念在城市轨道交通项目中的推广应用奠定了基础。

关键词：海绵城市；地铁；车辆段；生态屋顶；高位雨水花坛；多功能蓄水池

中图分类号：TV512 **文献标志码：**A **doi：**10.3724/SP.J.1249.2021.01020

Design and construction of sponge city facilities in Changzhen depot of Shenzhen metro

LIU Jian¹, LIU Pai¹, WANG Xiaolei², LIU Shaoran², WANG Gang³,
WU Shuang⁴, GONG Xiaoqiang¹, and WU Lingyi¹

1) Ecological Technology Institute of Construction Engineering, Shenzhen University,
Shenzhen 518060, Guangdong Province, P. R. China

2) Shenzhen Metro Group Co. Ltd., Shenzhen 518040, Guangdong Province, P. R. China

3) China Construction South Investment Co. Ltd., Shenzhen 518001, Guangdong Province, P. R. China

4) China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd., Chengdu 610031, Sichuan Province, P. R. China

Abstract: The sponge city facilities are optimized and designed in consideration of less permeable underlying surface and more impermeable underlying surface of Changzhen depot of Shenzhen metro. In addition to the traditional sponge city facilities such as raingarden, grass planting ditch and underground water storage modules, innovative sponge city facilities such as ecological roof, bioretention parterre and multifunctional pond are designed. The retention capacity and effect of the sponge city facilities of three design schemes are calculated and simulated by volumetric method and storm water management model (SWMM). The results show that the sponge city facilities of

Received: 2020-07-06; **Accepted:** 2020-08-01

Foundation: National Key R & D Program of China (2018YFB2100901)

Corresponding author: Experimentalist WU Lingyi. E-mail: szuly@szu.edu.cn

Citation: LIU Jian, LIU Pai, WANG Xiaolei, et al. Design and construction of sponge city facilities in Changzhen depot of Shenzhen metro [J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2021, 38(1): 20-26. (in Chinese)

three design schemes can meet the design requirements of zero runoff under annual runoff control rate of 70%. The results of SWMM simulation show that sponge city facilities can reduce the runoff volume, runoff peak and runoff coefficient of Changzhen depot; however, the reduction effect of sponge city facilities gradually decreases with the increase of rainfall return period, and sponge city facilities almost have no reduction effect when the rainfall return period is more than or equal to 50 years. Considering the technical and economic factors, the second design scheme is selected as the sponge city implementation scheme of Changzhen depot. According to the requirements of the code for construction and acceptance of urban landscaping projects (CTJ/T 82—2012) and the code for green construction of building (GB/T 50905—2014), the sponge city facilities of Changzhen depot as a green construction have finished and have become the first metrosponge city project in the world, which lays a foundation for the promotion and application of sponge city concept in urban rail transit projects.

Key words: sponge city; metro; depot; ecological roof; bioretention parterre; multifunctional pond

目前,中国很多城市雨季“看海”现象时有发生.原因之一是城市下垫面多为渗透性差的硬质铺装路面、混凝土、玻璃或钢结构建筑.导致城市生态本底遭到破坏,宝贵的雨水资源白白流失,并造成城市面源污染.

2013年12月,习近平总书记在中央城镇化工作会议上发表了“优先考虑更多利用自然力量排水,建设自然积存、自然渗透、自然净化的海绵城市”的重要讲话^[1].2015年10月,国务院办公厅发布了《关于推进海绵城市建设的指导意见》,要求通过建设海绵城市,综合采取渗、滞、蓄、净、用、排等措施,最大限度地减少城市开发建设对生态环境的影响,将70%的降雨就地消纳和利用,具体为:截至2020年,城市建成区20%以上的面积达到此目标要求;到2030年,城市建成区80%以上的面积达到此目标要求^[2].

自2015年国家开展海绵城市建设试点城市以来,海绵城市建设在建筑与小区、公园绿地和城市道路等工程领域得到广泛应用,但是由于技术和安全原因,截至2019年年底,在地铁、轻轨和高铁等轨道交通领域尚未有案例.

2018年,深圳大学和深圳市地铁集团有限公司合作,尝试将海绵城市理念应用于深圳地铁长圳车辆段建设中.针对长圳车辆段汇水面积大、硬化下垫面多及屋面排水为虹吸排水系统等特点,创新性地提出了生态屋顶、高位雨水花坛、多功能蓄水池等新型海绵城市设施^[3].

1 项目概述

长圳车辆段是深圳地铁6号线一期工程的组成部分,位于科裕路以西、东长路以东、光侨路以

北、十七号路以南的围合地块,同观路和鹅颈水河道东西向横穿地块中部,地块西南角有条鹅颈水南支流穿过,如图1所示.长圳车辆段海绵城市设施由深圳大学建设工程生态技术研究所提供设计方案和技术指导,中铁二院工程集团有限责任公司负责设计,中国建筑股份有限公司第四工程局负责工程施工,于2019年12月开工建设,2020年5月底竣工.

图1 长圳车辆段海绵城市研究范围

Fig.1 Scope of sponge city in Changzhen depot

2 海绵城市设施设计

2.1 设计思路及汇水分区

2.1.1 设计条件

海绵城市设施的布置和选择主要考虑以下条件:①长圳车辆段建设对原有地形地貌改变较大,原有的透水性下垫面被改变;②长圳车辆段盖体

和基础为大面积不透水混凝土结构,需要处理大量的雨水径流,包括流量和水质,但是长圳车辆段周围能用于自然滞蓄净化雨水的绿地很少;③ 未经处理的雨水不得外排,处理后的雨水能够回收利用;④ 利用场地空间构造,因地制宜地布置和选择海绵城市设施。

2.1.2 海绵城市建设目标的选定

1) 根据 GB/T 51345—2018《海绵城市建设评价标准》^[4],参照深圳市及光明区的各类海绵城市建设标准,将海绵城市设施年径流总量控制率设定为 70%,对应的设计降雨量为 31.3 mm;

2) 针对长圳车辆段渗透下垫面少、不渗透下垫面多的实际情况,采用生态屋顶、高位雨水花坛和多功能蓄水池等创新性海绵城市设施;

3) 建成后的海绵城市设施应具有示范效果。

2.1.3 汇水区域的划分

根据用地功能、周边地形和排水情况,将长圳车辆段划分为 6 个子汇水分区,如图 2 所示。汇水分区 S1 为车辆段出入段,汇水分区 S2 为生产仓储区,汇水分区 S3、S4 和 S5 为车辆段运行库,汇水分区 S6 为宿舍办公区。

2.2 方案布置

根据长圳车辆段区域特点,结合下垫面分析结果以及上盖平台规划的生态屋顶,设计了以下 3 种海绵型设施布置方案:

方案 1: 考虑后期车辆段上盖平台修建生态屋

图 2 长圳车辆段汇水区域分区

Fig. 2 Schematic diagram of depot drainage system

顶(即考虑蓄水功能的绿色屋顶);

方案 2: 鉴于上盖建筑物与目前的车辆段工程建设不同步,对混凝土结构周边的绿地功能进行优化,取消方案 1 中设置在 S4 的生态屋顶,将其承担雨水消纳的功能分散到地表 S3、S4 和 S5 汇水分区地表绿地中的生态滞留带(植草沟);

方案 3: 在方案 1 的基础上增加方案 2 中的生态滞留带。

采用容积法计算可得,3 种方案海绵城市设施年径流总量控制率分别为 70.8%、72.1% 和 77.2%,均能满足年径流总量控制率 70% 的要求,实现径流不外排。3 种方案中的海绵型设施规模和年径流总量控制率如表 1 所示。因为方案 2 充分利用了地表的海绵城市设施,减少了生态屋顶的面积,便于维护管理,所以技术方案 2 较优。

表 1 三种方案海绵型设施规模和年径流总量控制率

Table 1 Scales and annual runoff control rates of sponge city facilities of three schemes

方案	生态停车场面积/m ²	生态滞留带面积/m ²	雨水花园面积/m ²	生态屋顶面积/m ²	高位雨水花坛体积/m ³	多功能蓄水池、景观喷泉体积/m ³	雨水箱体积/m ³	地下蓄水池体积/m ³	年径流总量控制率/%
1	1 400	0	1 500	19 600	20	316	5	200	70.8
2	1 400	2 070	1 500	14 600	20	316	5	200	72.1
3	1 400	2 070	1 500	19 600	20	316	5	200	77.2

根据《关于市财政支持海绵城市建设实施方案(试行)》^[5](深财居[2018]7 号)提供的海绵型设施价格,计算 3 种方案的工程造价,结果如表 2。其中,近期指建设透水铺装、下沉式绿地和雨水花园等海绵设施的工程造价,仅在 6 号汇水分区内建设 400 m² 生态屋顶,其他库盖顶未布置生态屋顶;远期指在车辆段运用库盖顶以上建设生态屋顶,即在近期工程造价的基础上增加生态屋顶造价。根据表 2 所示,从近期和远期考虑,方案 2 的总造价低

于其他 2 个方案。

表 2 三种方案海绵型设施工程造价

Table 2 Costs of sponge city facilities of three schemes

方案	成本估算/万元	
	近期	远期
1	341.6	1 301.6
2	465.8	1 175.8
3	465.8	1 425.8

综合以上分析, 方案 2 的海绵型设施设计理念先进, 在技术和经济方面均是最优, 海绵型设施齐全且有创新, 可以推广应用于轨道交通项目. 因此, 选取方案 2 作为长圳车辆段海绵型设施建设方案.

2.3 海绵型设施效果分析

2.3.1 设计降雨径流分析

为了解不同重现期降雨情况下的海绵城市设施的削减效果, 采用美国环保署开发的暴雨洪水管理模型(storm water management model, SWMM)对 3 种布置方案进行模拟分析^[5-6].

根据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》^[7], 计算过程中不考虑透水铺装的调蓄功能. 由于本研究采用具有蓄水功能的生态屋顶替代传统的绿色屋顶, 所以计算过程中考虑了生态屋顶的蓄水功能.

深圳市年径流总量控制率 70% 对应的设计降雨

量为 31.3 mm. 该条件下 3 种海绵城市布置方案的径流量、流量峰值及径流系数如表 3. 由表 3 可见, 相对于无海绵城市设施传统设计(SWMM 模拟结果分别为径流量 3 800 m³, 流量峰值 0.33 m³/s, 径流系数 0.55), 3 种方案下径流量、流量峰值和径流系数均大幅减少. 海绵型设施方案的径流量+蓄水量小于海绵城市设施的蓄水能力, 这种布置方案理论上可实现《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》要求的径流不外排, 从而满足 70% 的年径流总量控制率的目标. 这也说明, 利用容积法确定的海绵城市设施规模和蓄水能力是合理的. 需要说明的是, 由于海绵城市设施的排水花管位于砾石层底部, 只要径流渗透至排水花管, 就会产生雨水径流; 在计算过程中, 如果添加虚拟的溢流控制设施, 则 SWMM 模型也可以模拟径流不外排的现象^[3].

表 3 三种方案在设计降雨条件下径流参数对比分析
Table 3 Runoff parameters under design rainfall of three schemes

方案	蓄水 容积/m ³	实际 蓄水量/m ³	径流 量/m ³	径流量 削减率/%	流量峰值/ (m ³ ·s ⁻¹)	流量峰值 削减率/%	径流 系数	径流系数 削减率/%
1	4 873	3 517	1 025	73.03	0.13	60.61	0.23	58.18
2	5 215	3 726	1 009	73.45	0.14	57.58	0.23	58.18
3	6 115	4 219	851	77.61	0.12	64.64	0.17	69.09

2.3.2 大降雨事件海绵城市设施滞留效果分析

为验证海绵城市设施大降雨事件的滞留效果, 利用 SWMM 模拟 3 种海绵城市设施布置方案在不同降雨重现期(P)下 24 h 的滞留暴雨情景^[8]. P 为 5、10、25、50 和 100 a 时, 对应 24 h 的降雨量分别为 217.6、286.0、386.3、471.4 和 565.8 mm.

表 4 为不同降雨重现期降雨情况下 3 种方案径

流量对比分析结果. P 为 5、10、25、50 和 100 a 时, 无海绵城市设施径流量依次为 3.90、5.25、7.31、9.06 和 11.04 万 m³. 由表 4 可以看出, 海绵城市设施可有效减少长圳车辆段的径流量. 径流量的削减效果随海绵城市设施规模的增大而增大. 随降雨重现期的增大, 3 种海绵城市设施的削减效果逐渐降低.

表 4 三种设计方案径流量对比分析
Table 4 Comparison of runoffs of three schemes

方案	P = 5 a		P = 10 a		P = 25 a		P = 50 a		P = 100 a	
	径流量/ 万 m ³	径流削 减率/%	径流量/ 万 m ³	径流削 减率/%	径流量/ 万 m ³	径流削 减率/%	径流量/ 万 m ³	径流削 减率/%	径流量/ 万 m ³	径流削 减率/%
1	3.72	4.62	5.03	4.19	7.01	4.11	8.75	3.42	10.7	3.07
2	3.49	10.51	4.82	8.19	6.76	7.52	8.57	5.40	10.53	4.61
3	3.43	12.05	4.74	9.71	6.74	7.79	8.49	6.29	10.44	5.43

表 5 为不同降雨重现期时 3 种海绵城市设施布置方案流量峰值的对比分析结果. P 为 5、10、25、50 和 100 a 时, 无海绵城市设施流量峰值依次为

3.30、4.47、6.34、7.68 和 9.43 m³/s. 由表 5 可见, 海绵城市设施可有效减少长圳车辆段的流量峰值. 流量峰值的削减效果随着海绵城市设施规模增

大而增大. 随着降雨重现期的增大, 各个海绵城市设施方案的削峰效果逐渐降低. 当 $P \geq 50$ a 时, 海绵城市设施几乎没有消峰作用.

表 6 为不同降雨重现期时 3 种海绵城市设施布置方案径流系数的对比结果. P 为 5、10、25、50 和 100 a 时, 无海绵城市设施径流系数依次为

0.84、0.86、0.88、0.89 和 0.91 m^3/s . 由表 6 可以看出, 海绵城市设施可以一定程度上减少长圳车辆段的径流系数. 对于降雨重现期较小的情况, 随着海绵城市设施规模的增大, 径流系数有所减小; 但降雨重现期增大时, 径流系数的变化不明显^[9].

表 5 三种方案流量峰值对比分析

Table 5 Comparison of peak discharges of three schemes

方案	$P = 5$ a		$P = 10$ a		$P = 25$ a		$P = 50$ a		$P = 100$ a	
	流量峰值/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	削减率/%	流量峰值/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	削减率/%	流量峰值/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	削减率/%	流量峰值/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	削减率/%	流量峰值/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	削减率/%
1	3.04	7.89	4.15	7.16	5.99	5.52	7.38	3.90	9.42	1.06
2	3.04	7.89	4.15	7.16	5.91	6.78	7.36	4.17	9.31	1.27
3	2.95	10.60	4.10	8.28	5.84	7.88	7.34	4.43	9.31	1.27

表 6 各方案径流系数对比分析

Table 6 Comparison of runoff coefficients of three schemes

方案	$P = 5$ a		$P = 10$ a		$P = 25$ a		$P = 50$ a		$P = 100$ a	
	径流系数	削减率/%	径流系数	削减率/%	径流系数	削减率/%	径流系数	削减率/%	径流系数	削减率/%
1	0.79	5.95	0.82	4.65	0.85	3.41	0.87	2.24	0.9	1.09
2	0.75	10.71	0.78	9.30	0.82	6.82	0.85	4.50	0.67	2.64
3	0.73	13.09	0.77	10.47	0.81	7.95	0.84	5.62	0.86	5.49

3 新型海绵城市设施

根据深圳市长圳车辆段的场地和运行维护特点, 设计了生态屋顶、高位雨水花坛和多功能蓄水池等新型海绵城市设施.

3.1 生态屋顶

生态屋顶一般由表层植物、轻质混合土层、砾石排水层、排水花管和出流控制装置组成. 在车辆段上盖平台和拟建的建筑物屋顶设置一定厚度和结构形式的创新性生态屋顶, 用于控制雨水径流和营造绿色景观. 该生态屋顶与传统绿色屋顶的区别是: 生态屋顶不用浇水、施肥, 基本不需要维护; 生态屋顶厚度大于简易型绿色屋顶, 小于复杂型绿色屋顶. 长圳车辆段采用 25 cm 厚的生态屋顶, 蓄水深度 18 cm, 其中, 种植层 15 cm, 砾石层 10 cm^[10]. 由于长圳车辆段上盖物业尚未施工, 布置的生态屋顶暂时停留在设计阶段.

3.2 高位雨水花坛

在汇水分区 S4 东侧设置了蓄水容积 20 m^3 的

高位雨水花坛(图 3), 用于处理落水管流出的部分雨水. 高位雨水花坛同雨水花园一样, 可减少暴雨径流, 削减暴雨径流峰值, 推迟径流峰值出现时间, 也能去除雨水径流中的污染物^[11]. 雨水花坛的断面形状和构造与雨水花园相似, 但高于地表, 不仅能用于处理建筑屋面的雨水, 还可用于超高层建筑屋顶雨水或者带有压力的虹吸排水系统中的屋顶雨水. 其结构自上而下为: 雨水储存层、植被覆盖层、种植土层、砂层和砾石排水层. 虹吸雨落管中的带压雨水通过三通管连接到高位雨水花坛中的消能井, 用于耗散能量和减慢水流速. 三通管的位置位于落水管零压力点下方 0.5 m 处. 从消能井溢流出来的水进入到植被区, 经过植物的根茎、土壤中的微生物以及中砂和砾石层的渗透净化作用后, 再通过砾石排水层中的穿孔花管将雨水排入到右侧的溢流控制井中, 穿孔花管在溢流控制井中的一端开口向上, 并在不同的高度设置了不同直径的圆形开口. 当流量很小时, 水从下部开口流出, 当流量变大时, 上部开口将释放.

(a) 模拟图

(b) 实景图

图3 高位雨水花坛模拟图和实景

Fig. 3 Effect draining of bioretention parterre and scene

3.3 多功能蓄水池

多功能蓄水池(景观湖)用于滞留、净化暴雨径流,平时作为景观湖(图4)使用。多功能蓄水池岸边按人工湿地设计,池中央按滞洪池设计。多功能蓄水池的容量参照GB 50773—2012《蓄滞洪区设计规范》的要求确定,按滞留水量为设计暴雨对应径流量的 $1/3 \sim 1/2$ 进行设计^[12]。设计的多功能蓄水池(景观湖)蓄水能力为 200 m^3 ,水深 0.8 m ,最大蓄水深为 1.0 m ,雨季蓄水深度为 0.3 m 。岸边按人工湿地选配植物,深水部分可选择沉水植物或挺水植物^[3]。

4 海绵城市设施施工

按照设计图纸和CJJ 82—2012《园林绿化工程施工及验收规范》和GB/T 50905—2014《建筑工程

图4 竣工时的多功能蓄水池

Fig. 4 Multi-purpose pond on completion

绿色施工规范》等规范要求,施工单位编制了《深圳市城市轨道交通6号线工程长圳车辆段综合工程6103标段园林绿化及海绵城市工程施工方案》,2019年12月海绵城市设施开始施工,2020年5月底竣工。

长圳车辆段海绵城市设施施工经验教训主要有:①按照绿色施工要求,对施工人员进行技术安全质量等培训,减少了工程返工率,提高了工程质量合格率。②开工前,对项目经理和施工人员进行海绵城市技术培训;施工过程中,进行了现场指导,保证了海绵城市设施的施工质量。③海绵城市设施的景观效果较为单调,没有呈现出植物多样性;④没有设置自动观测设施,不利于评价海绵城市设施的运营效果。

结 语

结合深圳地铁长圳车辆段的特点,设计了生态屋顶、高位雨水花坛、多功能蓄水池等新型海绵城市设施,采用容积法确定了海绵城市设施的规模和蓄水能力,并利用SWMM验证了海绵城市设施设计的合理性,模拟了3种海绵城市设施布置方案的削减效果。SWMM模拟结果表明,海绵城市设施可以减少长圳车辆段的径流量、径流峰值和径流系数,但随着降雨重现期的增大,海绵城市设施的削减效果逐渐降低。当降雨重现期大于等于50 a时,海绵城市设施几乎没有消减作用。

深圳市长圳车辆段海绵城市设施的设计和施工经验表明:①70%年径流总量控制率作为深圳市轨道交通车辆段海绵城市建设指标是可行的;②在绿化面积较小的工程项目中,利用高位雨水花园、多功能蓄水池和生态屋顶等创新性海绵城市设施,

可达到较高的年径流总量控制率,效果优于传统的海绵城市设施;③对于轨道交通项目,宜根据其特点,设计新型海绵城市设施,不宜直接套用建筑小区和城市道路的海绵城市标准,应根据工程项目需要,制定适用于轨道交通项目的海绵城市标准。

深圳市长圳车辆段海绵城市设施竣工,实现了将海绵城市理念应用到城市轨道交通建设项目的目标,拓展了海绵城市的应用领域,为深圳及其他城市轨道交通项目的海绵城市建设提供了可参考的应用范例。

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFB2100901)

作者简介:刘建(1965—),深圳大学教授。研究方向:海绵城市、固体废弃物资源化、水环境治理。E-mail: liujian@szu.edu.cn

引文:刘建,刘派,王晓雷,等.深圳地铁长圳车辆段海绵城市设计与施工[J].深圳大学学报理工版,2021,38(1):20-26.

参考文献 / References:

- [1] 吴丹洁,詹圣泽,李友华,等.中国特色海绵城市的新兴趋势与实践研究[J].中国软科学,2016,301(1):79-97.
WU Danjie, ZHAN Shengze, LI Youhua, et al. New trends and practical research on the sponge cities with Chinese characteristics [J]. China Soft Science 2016, 301(1): 79-97. (in Chinese)
- [2] 孙斌.景观湖泊水体整治与海绵城市建设相结合的途径探讨[J].低碳世界,2017(8):9-11.
SUN Bin. Discussion on the combination of landscape lake water body renovation and sponge city construction [J]. Low Carbon World, 2017(8): 9-11. (in Chinese)
- [3] LIU Yan, WANG Xiaolei, LIU Jian, et al. Innovative design of the sponge city facilities in Changzhen depot [C]// Proceedings of the 23rd International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate. Berlin, Germany: Springer Nature Singapore Pte Ltd(2021): 1-14.
- [4] GB/T51345—2018 海绵城市建设评价标准[S].
GB/51345—2018 Sponge city construction evaluation standard [S]. (in Chinese)
- [5] 深圳市财政委员会.《关于市财政支持海绵城市建设实施方案(试行)》[EB/OL]. (2018-03-08) [2020-07-01]. <http://swj.sz.gov.cn/ztzl/bmzdgz/hmcsjs/zhyw/201805/P020180529419417546269.pdf>.
Shenzhen Municipal Finance Committee. Implementation plan on municipal financial support for sponge city construction (trial) [EB/OL]. (2018-03-08) [2020-07-01]. <http://swj.sz.gov.cn/ztzl/bmzdgz/hmcsjs/zhyw/201805/P020180529419417546269.pdf>.
- [6] ROSSMAN L A. Storm water management model user's manual version 5.1 [M]. Washington: USEPA, 2015: 1-352.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)[EB/OL]. (2014-10-22) [2020-07-01]. http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201411/t20141102_219465.html.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical guide for construction of sponge city-construction of low-impact development rainwater system (trial) [EB/OL]. (2014-10-22) [2020-07-01]. http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201411/t20141102_219465.html. (in Chinese)
- [8] 张倩.基于SWMM的海绵城市建设途径研究[D].青岛:青岛理工大学,2016.
ZHANG Qian. Research on SWMM-based sponge city construction [D]. Qingdao: Qingdao Technological University, 2016. (in Chinese)
- [9] 刘建,龚小强,任心欣,等.深圳市海绵城市建设与创新[J].深圳大学学报理工版,2020,37(4):334-346.
LIU Jian, GONG Xiaoqiang, REN Xinxin, et al. Shenzhen sponge city construction and innovation [J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2020, 37(4): 334-346. (in Chinese)
- [10] 石会超.海绵城市滞蓄设施施工工艺研究[J].建设科技,2020(7):31-35.
SHI Huichao. Study on construction technology of sponge city detention storage facility [J]. Construction Science and Technology, 2020(7): 31-35. (in Chinese)
- [11] YUAN Zhan, PAN Jianying, LIU Jian, et al. Innovative Bioretention Facility for Siphonic Drainage System [C] // Proceedings of the 23rd International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate. Berlin, Germany: Springer Nature Singapore Pte Ltd(2021): 1-7.
- [12] 艾列奇.海绵城市建设中雨水生物滞留设施施工要点初探[J].建筑科技,2019,3(6):88-90.
AI Lieqi. Preliminary study on the main points of the construction of rainwater biological retention facilities in the construction of sponge city [J]. Architecture Science and Technology, 2019, 3(6): 88-90. (in Chinese)

【中文责编:晨兮;英文责编:之聿】