

海绵城市试点山地型校园海绵化改造方法实践

刘龙志¹, 文 韬², 马 竞¹, 马宏伟¹, 郑琳琳², 杜 焱², 杨召波²

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 中国建筑第二工程局有限公司, 北京 100160)

摘 要: 以海绵城市试点山地型校园海绵化改造为工程背景,通过对下垫面的构成特点、校园总体高程情况、排水系统构成、空间功能布局以及当地水文地形特征等进行系统研究,以控制雨水径流总量为目标,针对阶梯型山地校园特点制订了特色方案。海绵化改造主要从管网改造、雨水利用、景观绿化三个方面进行,研发出了功能分类、分区汇水、上蓄下用、多级滞留、分级处理的海绵化改造方法,并预估评价了工程应用效果。工程实施后,实际运行效果良好,优于预估效果。

关键词: 海绵改造; 山地型校园; 分区汇水; 多级滞留; 分级处理

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)12-0071-06

Practice of Sponge Transformation Method of Mountainous Type Campus in Sponge City

LIU Long-zhi¹, WEN Tao², MA Jing¹, MA Hong-wei¹, ZHENG Lin-lin², DU Yao², YANG Zhao-bo²

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. China Construction Second Engineering Bureau Ltd., Beijing 100160, China)

Abstract: Taking mountainous type campus in sponge city pilot as the sponge transformation project background, the characteristics of underlying surfaces, overall elevation of the campus, the composition of drainage system, the layout of spatial functions and characteristics of the local hydrographic and topography were studied. In order to control the total rainwater runoff, a characteristic scheme of the sponge transformation project was decided according to step-by-step campus. Transformation was carried out from pipe network reconstruction, rainwater utilization and landscape greening. A method including functional classification, regional water diversion and catchment, high storage and low use, storage multi-stage detention and stage treatment was put forward. Engineering application effect was forecasted and estimated. After the implementation of the project, the actual operation effect was good and better than the predicted effect.

Key words: sponge transformation; mountainous type compus; regional water diversion and catchment; multi-stage detention; stage treatment

据统计,2015年—2016年住房和城乡建设部启动的30个海绵城市试点城市的试点区中,约有70%为城市建成区,在城市已建区的功能中实现升级改造,老旧建筑有机更新,基础设施服务水平提升已经成为海绵城市建设的难点和重点^[1-2]。已建小

区进行改造时主要需要从提升建筑的排水防涝能力、控制雨水径流污染、改善环境水体水质、提高雨水资源化利用率等方面考虑^[3]。在已建小区海绵化改造方面,工程经验相对较多^[4-8],根据建筑物屋顶面积及构造,有直接可供选择的排水方式。在绿

化方面分类也较为详细,如建筑物周围绿化、屋面绿化、观赏区绿化、人工湿地绿化等。透水铺装改造时如何确定透水铺装改造面积和类型也有章可循。而目前对山地型校园的海绵化改造的研究并不多见。已建校园占地面积大,功能分区多,主要问题为空间布局不合理、停车区域规划面积少、排水管道不完善并且老化、积水不易排出、内涝现象严重、绿地率低等。

以海绵城市试点已建校园——玉溪师范学院附属中学海绵化改造为工程背景,通过对下垫面的构成特点、校园总体高程情况、排水系统构成、空间功能布局以及当地水文地形特征等进行系统研究,以控制雨水径流总量为目标,根据阶梯型山地校园特点制订了特色方案。

1 项目概况

玉溪师范学院附属中学位于玉溪市中心城区东部,学校总面积为 14.23 hm^2 。学校面积大,处于山地区域,地形高差大,校园内多台阶及大坡度道路,整个校园坡向明显,北高南低,东高西低,场地内整体径流由东北流向西南,如图1所示。校园内西南侧与聂耳东路相邻区域为场地最低点,高程为 $1\,665.57 \text{ m}$,东北角树林区域为场地的最高点,高程为 $1\,748.03 \text{ m}$ 。最大超差约 82.46 m ,是典型的山地型校园。校园整个场地标高高于聂耳东路路面,校园内无法消纳的径流会直接流入聂耳东路后排走。

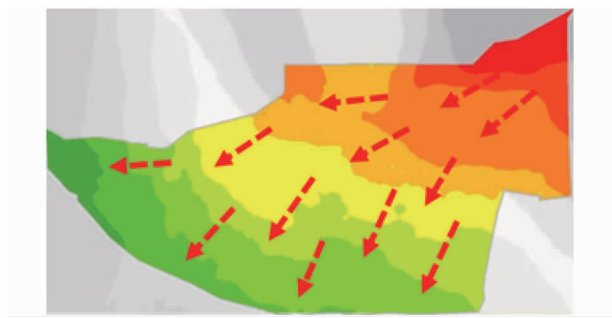


图1 校园坡度走向

Fig.1 Campus slope trend

玉溪师范学院附属中学整个场地下垫面包括硬质水泥、沥青铺装、硬化屋面、青石板铺装、植草砖、绿地、水体。绿地主要集中在东北侧区域,新建操场被树林包围,绿地率为 24.63% ,下垫面面积和径流系数如表1所示。

具体分布情况如图2所示。

表1 下垫面面积和径流系数

Tab.1 Underlying surface area and runoff coefficient

项 目	下垫面面积/ m^2	雨水径流系数
绿化	35 042.02	0.15
屋面	15 607.14	0.9
植草砖	1 015.87	0.4
青石板	30 814.95	0.7
水泥、沥青面	54 201.13	0.9
土路面	5 055.71	0.3
水面	538.00	1.0
合计	142 274.80	0.65

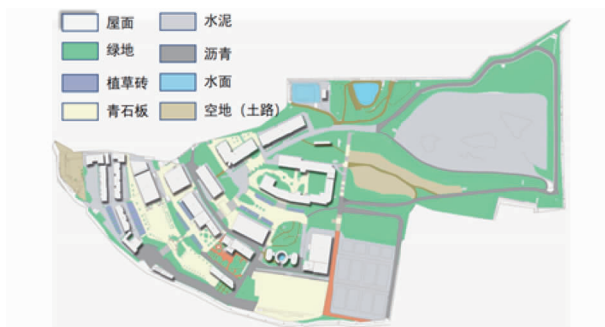


图2 下垫面分布情况

Fig.2 Layout of underlying surface

学校排水体制为雨污合流制,最终排入聂耳东路市政管线中。校园内部分建筑物未设置卫生间,故无污水管线。校园内西北角有一处废弃游泳池,现状用作消防及灌溉水池,现状水池补水主要为自来水及自来水厂泄水,管网及蓄水池分布如图3所示。现状校园内有6处调蓄池,容积分别为 20.00 、 60.00 、 70.00 、 80.00 、 90.00 、 100.00 m^3 ,总容积为 420.00 m^3 。



图3 管网及蓄水池分布

Fig.3 Layout of pipeline network and storage pool

学校区域内以阶梯型坡地为主,部分路面和铺装破旧,道路坡度很大,存在着大量台阶道路,但校园内人流大,道路改造时对工期要求较高。

综上所述,校园进行海绵化改造时应该对于合

流制区域进行雨污分流改造及增加海绵设施提高径流控制率,削减雨水径流污染。整治已有的雨水调蓄池,并根据情况新建雨水调蓄池,充分蓄滞并利用经过海绵设施净化后的雨水径流,供给道路冲洗、绿地浇灌及景观水体,实现校园区域雨水的径流控制及雨水的合理利用,改造现状破损铺装并提高绿化率以全面提升校园环境质量。

2 设计方案

校园海绵化改造主要从管网改造、雨水利用、景观绿化方面进行。将新建雨水管线,已建的合流管用作污水管,进行雨污分流改造。对建筑外排水的雨落管断接,让屋面雨水优先进入 LID 设施。雨水资源利用因地制宜采用高蓄低用的形式,设置调蓄池对雨水进行收集利用,发挥阶梯型台地的特点,以最小功耗实现雨水资源利用最大化。路缘石开口,依据地形高差,引导硬化面雨水径流进入 LID 措施。对现状较为杂乱、利用率低的绿化进行梳理统筹,增加绿地的使用率。保留部分透水性较好的铺装,对局部硬质透水性较差的铺装进行透水化改造。

为便于进行海绵化改造,按照建筑物功能规划为教学科研类建筑、食堂类建筑、文艺运动类建筑、学生宿舍类建筑、教师宿舍类和行政办公类建筑等六部分(见图4),并将整个区域划分为休闲运动区、教学生活区、家属楼区三部分。运动休闲区及家属楼区主要为水泥铺装,铺装较差,缺少休憩设施,空间连通性较差。教学生活区和家属楼区道路坡度很大,有大量台阶道路,部分路面和铺装破旧。

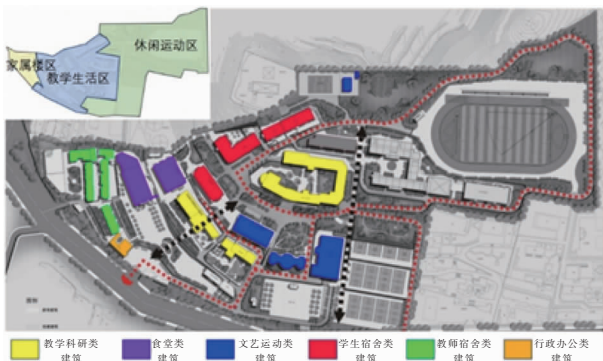


图4 建筑物功能划分

Fig. 4 Division of building functions

在校园海绵化改造过程中,根据功能及已有建筑设置分区汇水,共划分为了18个区域(见图5)。汇水分区1内建筑主要为老旧小区,雨污分流改造为最主要目的,在改造过程中将规划停车位,增加绿

化率。汇水分区2~8、10~11主要为教学活动区,将保留透水性较好的铺装,利用雨落管断接进入绿地等方法,通过对绿化的利用和改造,实现雨污分流和雨水净化,同时将新建的调蓄池设置在绿化中,避免重复开挖。在改造过程中增设休憩及小型雨水回用水景。汇水分区9、13、17主要为休闲运动区,已有基础设施较差,但拥有良好的改造条件,将利用多项措施实现径流控制和雨水回用。汇水分区12、14、15~16、18主要为待建工程项目区域,将对其提出管控目标,待后期建设中实现。

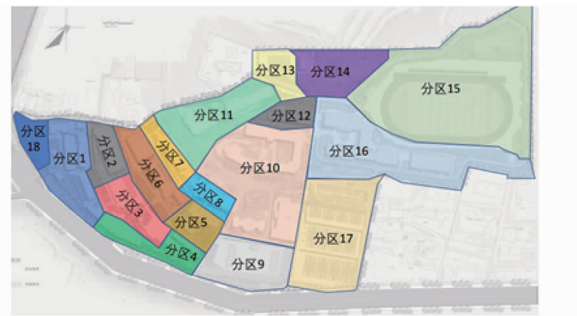


图5 汇水区划分

Fig. 5 Division of catchment area

从景观设计、建筑布局、市政设施等系统考虑,结合场地竖向及周围区域雨水设施的衔接需求,18个汇水区收集到的回用水将通过上蓄下用、多级滞留、分级处理的方式进行再次利用与排出,主要处理技术路线见图6,主要方式为校区内公共绿地设计成下沉式绿地、雨水花园等设施,采用植草沟、管线输送、消纳、滞留雨水径流,增设蓄水池。

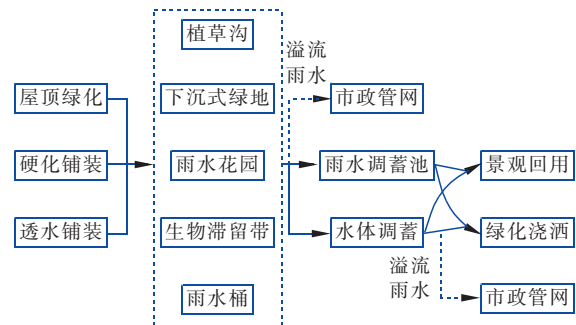


图6 汇水处理技术路线

Fig. 6 Technical route of catchment water treatment

对项目区现状地块的用地类型及用地构成进行径流产流模拟计算,采用容积法计算项目区内的径流量,即为设计径流控制量。汇水区16包含4528.21 m²土路面,汇水区18包含527.5 m²土路面,汇水区14包含538.00 m²水塘,具体见表2。

表2 每个分区中下垫面面积和径流系数

Tab.2 Underlying surface area and runoff coefficient in each partition

分区	总面积/ m ²	绿化/ m ²	屋面/ m ²	植草砖/ m ²	硬化铺装/ m ²	硬质路面/ m ²	现状径 流系数	绿化率/ %
1	7 123.96	223.27	2 817.32	223.97	0	3 859.4	0.86	3.13
2	3 337.68	20.39	1 389.83	179	1 274.46	474	0.79	0.61
3	4 471.51	896.73	0	200.12	3 374.66	0	0.58	20.05
4	4 234.08	296.52	515	0	960.11	2 462.45	0.80	7.00
5	2 800.94	693.02	559.83	0	1 548.09	0	0.60	24.74
6	5 286.61	240.53	1 920.55	412.78	2 712.75	0	0.72	4.55
7	2 574.23	430.33	705.97	0	1 437.93	0	0.66	16.72
8	2 469.84	60.05	1 024.78	0	1 385.01	0	0.77	2.43
9	7 278.35	55.25	0	0	7 223.1	0	0.70	0.76
10	17 183.68	4 755.77	4 514.45	0	7 373.46	540	0.61	27.68
11	8 725.22	2 637.94	1 990.92	0	3 528.36	568	0.59	30.23
12	2 700.37	1 545.46	90.58	0	0	1 064.33	0.47	57.23
13	3 204.97	592.90	77.91	0	0	2 534.16	0.76	18.50
14	6 112.78	4 502.49	0	0	0	1 072.29	0.36	73.66
15	31 557.93	6 981.95	0	0	0	24 575.98	0.73	22.12
16	17 634.15	8 357.52	0	0	0	4 748.42	0.39	47.39
17	13 531.89	2 620.10	0	0	0	10 911.79	0.75	19.36
18	2 049.61	131.80	0	0	0	1 390.31	0.70	6.43
合计	142 277.80	35 042.02	15 607.14	1 015.87	30 817.93	54 201.13	0.65	24.63

3 方案效果评估

统计其径流控制量。

根据总体设计方案将海绵设施规模按汇水分区

具体结果见表3。

表3 每个分区中海绵化改造调蓄量及总调蓄量

Tab.3 Storage capacity in each partition and total storage in sponge transformation

分区	现状 径流 系数	设计调 蓄容 积/m ³	透水铺装		下凹式绿地		植草沟	绿色 屋顶	雨水花园		生物 滞留带		雨水桶	蓄水池	总调蓄 量/m ³
			面积/ m ²	调蓄容 积/m ³	面积/ m ²	调蓄容 积/m ³			面积/ m ²	调蓄容 积/m ³	面积/ m ²	调蓄容 积/m ³	调蓄容 积/m ³	调蓄容 积/m ³	
1	0.86	181.51	2 328.90	83.84	129.67	25.93	0	0	99.76	29.93	50.79	10.16	1.50	0	151.36
2	0.79	78.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.58	76.27	0	0	0	0	0	0	0	0	28.30	5.66	0	0	5.66
4	0.80	100.53	0	0	0	0	0	0	181.70	54.51	0	0	0	80	134.51
5	0.60	50.07	430.94	15.51	0	0	0	0	37.45	11.24	0	0	0	0	26.75
6	0.72	113.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0.66	50.51	0	0	0	0	0	0	136.33	40.90	0	0	0	0	40.90
8	0.77	56.26	482.46	17.37	0	0	0	0	23.40	7.02	0	0	0	0	24.39
9	0.70	149.91	140.74	5.07	150.00	30.00	95.00	0	104.67	31.40	0	0	0	40	106.47
10	0.61	308.54	406.63	14.64	140.77	28.15	0	557.70	463.22	138.97	0	0	1.50	90	273.26
11	0.59	152.99	271.37	9.77	0	0	0	0	123.64	37.09	227.45	45.49	0	0	92.35
12	0.47													0	37.63
13	0.76	72.22	418.73	15.07	0	0	0	0	111.02	33.31	129.05	25.81	0	200	274.19
14	0.36														64.48
15	0.73														685.70
16	0.39														203.82
17	0.75	302.32	7 762.26	279.44	114.40	22.88	0	0	264.92	79.48	0	0	0	200	581.80
18	0.70														42.31
合计	0.65	1 692.74	12 242.03	440.71	534.84	106.97	95.00	557.70	1 546.11	463.83	435.59	87.12	3.00	610	1 711.63

注：年径流控制率目标为90%；设计降雨量为29.6 mm。

其中分区12、14、15、16、18为指标管控分区,其后期建设中需满足径流总量控制率为90%以上。将各个汇水分区的设计径流控制量与其海绵设施径流控制量进行对比。受分区用地类型和现状条件的限制,部分分区不具备建设条件,海绵设施径流控制量不能满足控制要求。因此需要分区之间整体协调,通过植草沟、排水沟等设施转输在相邻分区消纳,最终达到项目区内90%的径流总量控制率要求,其中绿色屋顶、植草沟不计入径流控制量,具体情况如表3所示。汇水区9中包含95.0 m³植草沟,汇水区1和汇水区10中包含1.5 m³雨水桶,汇水区10中包含557.7 m²绿色屋顶。汇水区12、14、15、16、18总调蓄量分别为37.63、64.48、685.70、203.82、42.31 m³。

改造后绿化面积分区1增加155 m²,分区5减少105 m²,分区9增加150 m²,分区11增加58.82 m²(增加150.72 m²,减少91.9 m²),分区17减少78.08 m²(增加114.4 m²,减少192.48 m²),共计增加绿化面积180.74 m²。改造前校园内总绿化面积为35 042.02 m²,绿化率为24.63%,改造后绿化面积为35 222.76 m²,绿化率为24.76%。改造项目中目标年径流控制率为90%,部分分区因少量甚至无法进行LID设施改造,因此无法达到90%的控制率,只能通过让其他分区实现大于90%控制率,才能实现总量的平衡。改造中将整个校园分为五级滞留区域(见图7),每一级滞留区超出年径流控制率为90%所需的控制径流量均由相应的蓄水池进行收集。如蓄水池满,则流入下一滞留区域进行收集,超出LID调蓄能力的径流外排进入聂耳东路市政雨水管线。

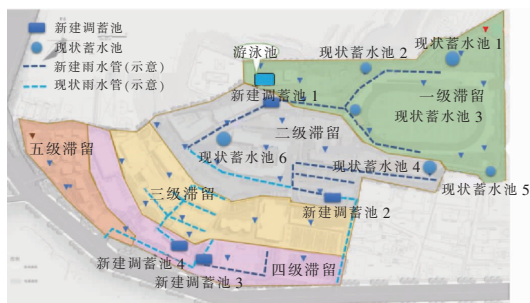


图7 五级滞留区域

Fig. 7 Five-stage detention area

蓄水池共有940.0 m³,回用量为18 606.7 m³,综合利用次数为19.79次,根据平均年降水量

(129 330.52 m³)可知雨水回用率为14.39%,大于要求的12.0%,满足海绵化改造的要求。透水铺装和蓄水池对SS去除率均为85.0%,生物滞留带和下凹式绿地对SS去除率均为70.0%,绿色屋顶对SS去除率为75.0%,雨水花园对SS去除率为80.0%。LID设施SS平均去除率为80.51%,年SS总量去除率为72.46%,达到海绵化改造的要求。

4 实际运行效果

目前,经过海绵化改造后的校园已投入使用(见图8)。经过海绵设施初步净化后的水质有了较大的改善,雨季时休闲运动区、教学生活区及家属楼区无内涝现象,排往市政管网的雨水量明显减小。校园内系统对SS的去除率为74%,实际效果优于预评估效果。雨水调蓄池中的雨水能够供给道路冲洗、绿地浇灌及景观水体,实现了区域内雨水的合理利用。2019年1月8日,玉溪市出现连续强降水,最大小时雨强为50.3 mm,经过海绵化改造后的校园设施发挥了较好的控制作用,路面最大积水不超过10 cm。



a.下凹式绿地

b.透水铺装

图8 海绵化改造实施后的校园

Fig. 8 Sponge-reformed campus

5 结论

对山地校园的海绵化改造主要从雨污分流改造、源头雨水径流控制、雨水利用、景观绿化等方面进行:

① 已建校园海绵化改造应充分发挥地表已有构筑物及地势优势,优先采用分散式雨水调蓄设施和景观水体的调蓄作用,提高雨水资源化水平,实现雨水径流的多目标控制。

② 应根据校区地上和地下空间条件,自上而下地合理确定控制目标。对于典型阶梯型山地校园,雨水资源利用因地制宜地采用高蓄低用的形式,通过已有构筑物对雨水进行收集利用,充分利用地域的特点,用最小功耗实现雨水资源利用最大化。

③ 校园进行海绵化改造时应从景观设计、建筑布局、市政设施等方面进行系统考虑,结合场地竖

向及周围区域雨水设施的衔接需求,分区回收,将汇水区收集到的回用水通过上蓄下用、多级滞留和分级处理的方式进行再次利用与排出。

参考文献:

- [1] 王建龙,涂楠楠,席广朋,等. 已建小区海绵化改造途径探讨[J]. 中国给水排水,2017,33(18):1-8.
Wang Jianlong, Tu Nannan, Xi Guangpeng, *et al.* Discussion of residential district renovation combined with sponge city development [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(18):1-8 (in Chinese).
- [2] 张伟,车伍. 海绵城市建设内涵与多视角解析[J]. 水资源保护,2016,32(6):19-26.
Zhang Wei, Che Wu. Connotation and multi-angle analysis of sponge city construction[J]. Water Resources Protection, 2016, 32(6):19-26 (in Chinese).
- [3] 郝身群,马华龙,宋国军. 基于海绵城市理念的城市快速路排水设计[J]. 中国给水排水,2017,33(22):53-57.
Hao Shenqun, Ma Hualong, Song Guojun. The drainage design of urban expressway based on sponge city [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(22):53-57 (in Chinese).
- [4] 胡爱兵,任心欣,俞绍武,等. 深圳市创建低影响开发雨水综合利用示范区[J]. 中国给水排水,2010,26(20):69-72.
Hu Aibing, Ren Xinxin, Yu Shaowu, *et al.* Exploration for creating low impact development stormwater management demonstration area in Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(20):69-72 (in Chinese).
- [5] 刘强,康晓鸥,翟立晓,等. 北京市《雨水控制与利用工程设计规范》规划指标解读[J]. 给水排水,2014,40(10):84-88.
Liu Qiang, Kang Xiaokun, Zhai Lixiao, *et al.* Explanation of the plan code in the *Code for Design of Stormwater Management and Harvest Engineering* in Beijing City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(10):84-88 (in Chinese).
- [6] 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).
- [7] 车伍,杨正,赵杨,等. 中国城市内涝防治与大小排水系统分析[J]. 中国给水排水,2013,29(16):13-19.
Che Wu, Yang Zheng, Zhao Yang, *et al.* Analysis of urban flooding control and major and minor drainage systems in China [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(16):13-19 (in Chinese).
- [8] Luo M. Application of porous road materials in sponge city construction [J]. Chem Eng Trans, 2017, 62:163-168.



作者简介:刘龙志(1981-),男,湖南衡阳人,硕士,高级工程师,从事污水处理、海绵城市、水环境治理工作。

E-mail:bbyllz@126.com

收稿日期:2018-10-22