

设计与施工

## 高原地区阶梯型坡地小区海绵城市改造实践

马宏伟<sup>1</sup>, 程智龙<sup>2</sup>, 凌莉<sup>1</sup>, 乔稳超<sup>2</sup>, 王宏宇<sup>2</sup>, 张永洪<sup>2</sup>

(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:** 玉溪市润玉园小区为高原地区阶梯型坡地小区,在其海绵城市改造工程中,对坡地和管道集中排水的传统模式进行了分析,对阶梯型坡地小区的石质边坡、土质边坡、硬质排洪沟及景观湖的海绵改造方式和方案进行了研究,根据高原地区阶梯型坡地小区特点制订了分散式的雨水管理模式及因地制宜的高蓄低用方案。在具体工程应用中发现该方案能够充分利用阶梯型坡地的特点,通过最小功耗实现雨水资源利用最大化,对类似高原地区阶梯型坡地小区海绵城市改造有重要的参考价值。

**关键词:** 高原地区; 阶梯型坡地; 海绵城市; 改造工程

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)12-0060-05

### Practice of Sponge City Reconstruction in Stepped Slope of Plateau Area

MA Hong-wei<sup>1</sup>, CHENG Zhi-long<sup>2</sup>, LING Li<sup>1</sup>, QIAO Wen-chao<sup>2</sup>, WANG Hong-yu<sup>2</sup>, ZHANG Yong-hong<sup>2</sup>

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

**Abstract:** Runyuyuan district in Yuxi is a typical district with stepped slope in plateau area. In the reconstruction project of sponge city, the traditional model of the concentrated drainage pattern of the slope area and the pipe line was discussed. This paper also studied the method and scheme of sponge reconstruction of stone slope, soil slope, hard drainage ditch and landscape lake in step slope area. Decentralized rainwater drainage mode and high storage and low use plan according to local characteristics of the terraced slope conditions were determined. It was found that the scheme could make full use of terraced slope characteristics and realize the maximum utilization of rainwater resources through the minimum power consumption. It is of great reference value for the sponge city reconstruction in the terraced slope area similar to the plateau area.

**Key words:** plateau area; stepped slope; sponge city; reconstruction project

海绵城市将传统的风险管理转变为分散式的雨水管理模式,强调雨水资源在城市中间的入渗、过滤、净化、滞留、蓄流和缓慢排放入河道,促进循环利用<sup>[1-4]</sup>。

玉溪市润玉园小区为高原地区阶梯型坡地小区,在其海绵城市改造工程中,对坡地和管道集中排

水的传统模式进行了分析,对阶梯型坡地小区的石质边坡、土质边坡、硬质排洪沟及景观湖的海绵改造方式和方案进行了研究,制订了特色方案。

#### 1 项目概况

润玉园小区占地面积为 17.56 hm<sup>2</sup> (见图 1),小区内人工湖面积约 1.4 hm<sup>2</sup>,小区按功能分为高层

住宅区、别墅区、学校区和生态区四部分。润玉园建筑基地面积为 31 524 m<sup>2</sup>,绿地面积为 54 892 m<sup>2</sup>,占比为 31.3%,地坪面积(包括草坪砖水泥和铺装)占比为 41.4%。综合雨量径流系数为 0.62。润玉园下垫面面积和径流系数统计见表 1。

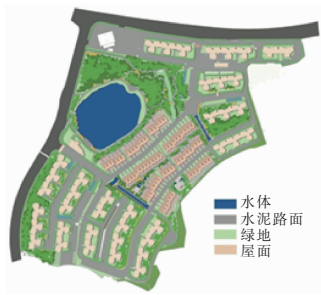


图 1 润玉园小区概况

Fig. 1 Layout of Runyuyuan district

表 1 润玉园下垫面面积和径流系数

Tab. 1 Underlying surface area and runoff coefficient of Runyuyuan district

下垫面类型	下垫面面积/m <sup>2</sup>	比例/%	雨水径流系数
建筑物	31 524	17.95	0.90
绿地	54 892	31.25	0.15
道路	58 226	33.16	0.90
铺装	16 557	9.43	0.65
水体	14 412	8.21	1.00
合计	175 611	100.00	0.62

润玉园小区高程云图及坡度情况如图 2 所示。该小区整体东高西低,高差变化较大,最高点位于小区东侧,高程为 1 743.53 m,最低点位于小区西侧,高程为 1 708.23 m。小区整体呈分阶台地状,坡度最大处集中于小区东侧与山体交界处,形成连续陡坡,存在生态脆弱和水土流失风险,其次在人工湖北沿岸形成较陡人工堆坡。润玉园小区为高原地区典型的阶梯型坡地小区。

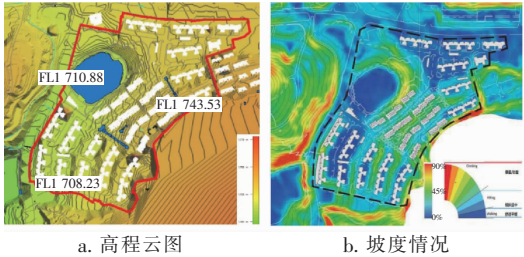


图 2 润玉园小区高程云图及坡度情况

Fig. 2 Elevation cloud map and slope of Runyuyuan district

图 3 为润玉园小区雨水管网及污水管网布置情

况。小区为雨污分流制,地表排水基本采用导入雨水口的快排模式。雨水干管沿主路铺设,流向与地面排水基本一致,小区内雨水汇集后集中排入市政管网。根据排水出路分为 3 个基本排水区、13 个子排水区。东部山坡脚下设置有混凝土明渠,承担山体客水排水功能。污水管网分两路排入市政,北区有一座中水处理站,日处理水量为 300 m<sup>3</sup>,由于污水负荷没有满足运行流量,尚未使用。整体而言,小区地势高,坡降显著,内涝风险相对较低。

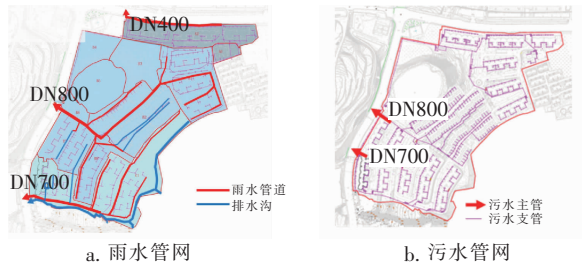


图 3 润玉园小区雨水管网及污水管网

Fig. 3 Rainwater pipe network and sewage pipe network of Runyuyuan district

2 问题分析及对策

2.1 小区问题分析

润玉园小区为典型的传统排水模式,依赖于城市市政管网,管网的尺寸决定了排水的快慢,雨水径流和没有处理的污水直接排入河道,从而造成水污染和生态退化、内涝以及淡水资源浪费等系列问题。

润玉园小区排水采用大坡度和快排相结合的传统模式,绿地的高程普遍高于道路标高,且有路边侧石围挡,没有充分利用绿地的下渗和蓄滞功能。别墅区和湖区绿化密度和层次较好,草本和多年生花卉种类较多。高层建筑楼间距较大,建筑普遍东南侧绿地面积较大,西北侧绿地面积较小且较为分散,绿化较稀疏。住宅区绿化密度低,缺乏茂密的乔灌木,未构成生态型群落。

小区楼前主体道路为水泥道路,铺装主要分布在小区楼前以及小公园广场等位置。小区中部多层复式建筑区域地砖铺装路面较多,适宜进行透水铺装改造。现状铺装透水性差,下渗和蓄滞功能较弱。存在水土流失情况,雨季雨水停滞于道路表面,不能迅速排出,造成地面变污,居民出行不便。

2.2 景观湖问题分析

湖体由西南侧溢流入管道排入市政管涵。湖体水位较稳定,补水水源依赖于北侧山体渗流。湖体

存在一定渗漏隐患,尚未得到修复,湖体还出现了溢流出水口的情况(见图4)。驳岸与湖底存在一定水土冲刷,造成局部水体较浑浊。景观湖水质感官差,小区内景观水体调蓄功能未得到充分利用。



图4 湖体溢流出水口

Fig. 4 Overflow outlet of lake body

景观湖主要来水项为湖面降雨、周边坡面径流和两处山体渗流。主要耗水项为湖面蒸发和湖面下渗。年径流总量控制率与设计雨量对照见表2。

表3 景观湖水位分析

Tab. 3 Water level analysis of landscape lake

月份	降水量/ mm	蒸发量/ mm	径流量/ m <sup>3</sup>	总蒸发 量/m <sup>3</sup>	绿化用水 量/m <sup>3</sup>	水系下渗 量/m <sup>3</sup>	总需求 量/m <sup>3</sup>	缺水量/ m <sup>3</sup>	补水量/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	水位/ m
1月	15.95	101.06	1 042	1 239	4 398	1 607	7 244	-6 202	200	2.0
2月	15.96	127.66	1 085	1 571	4 398	1 607	7 576	-6 491	200	1.9
3月	17.736	186.17	1 147	2 311	4 398	1 607	8 316	-7 169	200	1.8
4月	35.46	214.54	2 201	2 677	4 398	1 607	8 682	-6 481	200	1.8
5月	90.42	202.13	5 630	2 522	4 398	1 607	8 527	-2 897	200	2.1
6月	141.84	145.39	8 897	1 798	4 398	1 607	7 803	1 094	200	2.3
7月	180.85	127.66	11 265	1 590	4 398	1 607	7 594	3 671	200	2.3
8月	171.99	132.98	10 757	1 649	4 398	1 607	7 654	3 103	200	2.3
9月	97.51	115.25	6 014	1 428	4 398	1 607	7 433	-1 419	200	2.3
10月	74.47	104.61	4 644	1 328	4 398	1 607	7 333	-2 689	200	2.3
11月	44.33	85.11	2 759	1 049	4 398	1 607	7 054	-4 295	200	2.3
12月	15.96	78.01	924	986	4 398	1 607	6 991	-6 067	200	2.3

由表3分析可知,在考虑雨水和天然山体渗流补给,同时湖水提供园区浇灌回用的情况下,景观湖的平均水位在1.8~2.3 m之间波动,能够全年长时期维持正常水位。

因此园区有充足的水资源满足未来的生态环境需求,只需对上游雨水资源进行合理的渗透、净化和利用,引导入景观湖,利用景观湖进行调蓄,实现对内涝洪峰的削减。

通过对天然山体渗水进行合理的净化以及利用,优先保证中心湖的水量 and 水质,其次满足灌溉、浇洒道路等非饮用水的需要。

表2 年径流总量控制率与设计雨量

Tab. 2 Annual runoff control rate and designed rainfall

年径流总量控 制率/%	60.0	70.0	75.0	80.0	82.0	85.0
设计雨量/mm	11.10	15.20	17.90	21.80	23.90	25.80

玉溪市年平均降水量为909.0 mm,年蒸发量为1 624.9 mm,降水量、蒸发量年内变化差异大。3月份降水量与蒸发量差值最大,6月份降水量与蒸发量基本持平。

景观湖的湖底采用优质防渗,渗透系数取 $5 \times 10^{-8}$  m/s,结合玉溪市雨水降水与蒸发状况,考虑雨水和天然山体渗流补给,同时湖水提供园区浇灌回用。根据润玉园小区整体情况,可知景观湖周边大约有10 hm<sup>2</sup>排水区的雨水汇入,山体渗水的日常补充为200 m<sup>3</sup>/d,中心湖承担园区浇灌用水等人工消耗,景观湖水位逐月分析如表3所示。

## 2.3 应对策略

该小区具有阶梯型坡地,对此地形应给予充分利用,进行过程控制,通过低影响开发技术,对天然降水及山体渗水进行净化。

对于小区中的石质边坡,主要采用攀援型植物渗水净化,经研究发现,爬山虎能够适应玉溪市气候,生长速度快,攀附能力强,因此石质边坡通过种植攀援型植物爬山虎,结合排水沟进行修复[见图5(a)]。对于小区中的土质边坡,主要采用种植草毯进行渗水净化,结合坡脚堆砌生态袋种植灌木进行修复[见图5(b)]。



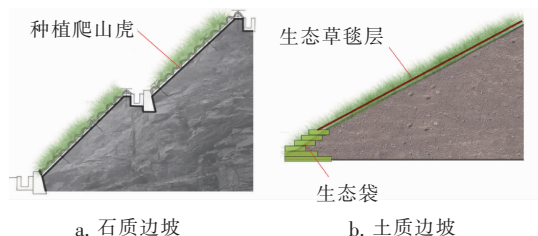


图 5 边坡生态修复

Fig. 5 Slope ecological restoration

小区内利用部分绿地建设下凹绿地、雨水花园源头控制雨水,将小区北侧可利用的荒地集中打造为人工净化和展示湿地,循环净化湖水和中水处理间尾水,满足小区非饮用水回用需求。充分发挥中心湖调蓄作用,引入周边可收集雨水,并做好 TSS 预处理削减。发挥地势优势,打造多级局部节点建设蓄水池和透水路面、停车场,收集利用雨水。雨水资源利用因地制宜地采用高蓄低用的形式,通过景观湖对雨水进行收集利用,利用阶梯型台地的特点,以最小功耗实现雨水资源利用最大化。将路缘石进行开口设计,在绿化带内设置植草沟,对道路横坡进行调整,使其坡向绿地一侧,并在绿带内设置植草沟、溢流口,引导雨水进入植草沟进行下渗滞留,建筑立面增加垂直绿化,体现海绵效果。将原小区硬质排洪沟进行海绵改造,升级为生态排洪沟(见图 6),兼具传统的硬质排洪沟的功能和海绵功能,也有水质净化和景观效果。

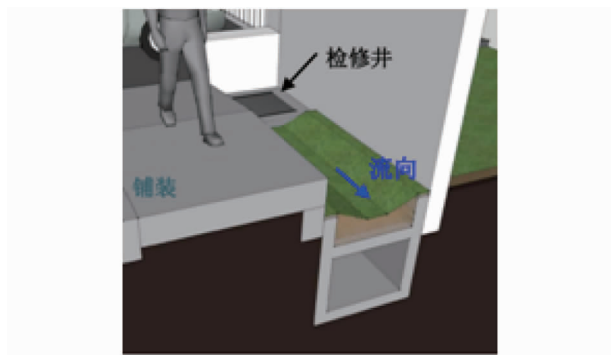


图 6 生态排洪沟

Fig. 6 Ecological flood drainage ditch

将小区屋顶改为绿色屋顶,景观湖旁改建人工湿地,增加小区的弹性渗水、蓄水和净水能力。将住宅前原有的小块硬化地面转化为可供居民休憩交流的空间。建造小型雨水花园,收集周边雨水,种植观赏性较强的植物,兼具景观功能,小区改造项目沿高程剖面示意如图7所示。

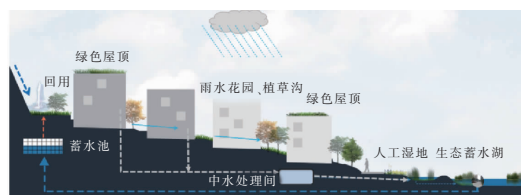


图7 改造项目高程示意

Fig. 7 Elevation sketch of renovation project

### 3 改造工程及效果

经过海绵城市改造后小区的石质边坡和土质边坡都得到了较好的绿化,雨水在渗透到排水沟时也得到了良好的净化,渗水、净水和蓄水能力都得到了显著改善(见图8)。

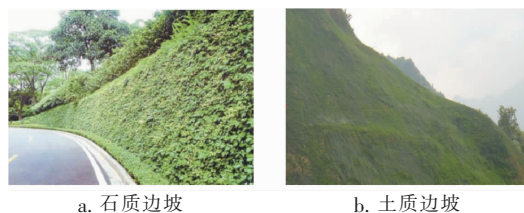


图 8 边坡生态修复效果

Fig. 8 Effect of slope ecological restoration

景观湖的湖水经过改造后被分配到整个湿地表面(见图9)。净化后的水通过湿地底部收集管道排入下一高度潜流湿地,层层处理后的景观湖水质见表4。



图9 景观湖改造后效果

Fig. 9 Effect of landscape lake renovation

表 4 景观湖的水质指标

Tab.4 Water quality of landscape lake

项 目	pH 值	TP/ (mg · L <sup>-1</sup> )	TN/ (mg · L <sup>-1</sup> )	BOD <sub>5</sub> / (mg · L <sup>-1</sup> )	COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> - N/ (mg · L <sup>-1</sup> )
进水水质	7.32	1.00	20.00	20.00	60.00	8.00
湖体水质	7.41	0.03	0.90	3.80	18.17	0.75
地表水Ⅲ类	7.13	0.05	1.00	4.00	20.00	1.00

小区总体改造布局如图10所示,取得了良好的效果。

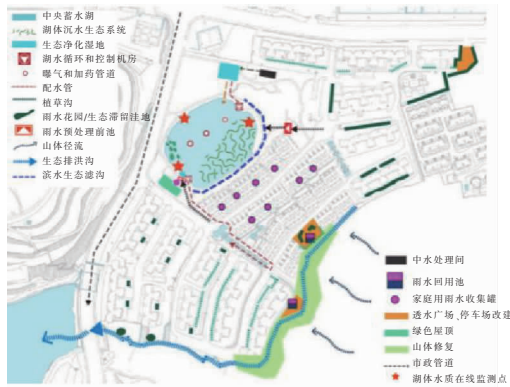


图10 润玉园小区总体改造布局

Fig. 10 Overall renovation layout of Runyuyuan district

#### 4 结论

① 高原地区阶梯型坡地小区传统排水模式为坡地和管道集中排水模式,而海绵城市为分散式的雨水管理模式,强调雨水资源在城市中间的入渗、过滤、净化、滞留、蓄流和缓慢排放入河道,促进循环利用。分散式的雨水管理模式适用于对高原地区阶梯型坡地小区进行海绵城市改造。

② 对于阶梯型坡地小区的石质边坡,可采用种植攀援型植物爬山虎,结合排水沟形式进行生态修复,可取得较好的效果;对于土质边坡,可采用种植草毯进行渗水净化,结合坡脚堆砌生态袋种植灌木进行修复,可取得较好的效果。

③ 将小区硬质排洪沟改造为生态排洪沟,不仅具有传统硬质排洪沟的功能,还有海绵功能,及水质净化和景观效果。

④ 对景观湖上游雨水资源进行合理的渗透、净化和利用,引导入景观湖,并通过对天然山体渗水进行合理的净化以及利用,优先保证中心湖的水量 and 水质,小区内的景观湖发挥调蓄作用,实现对内涝洪峰的削减,还可满足灌溉、浇洒道路等非饮用水的需要。雨水资源利用因地制宜地采用高蓄低用的形式,通过景观湖对雨水进行收集利用,充分利用阶梯

型坡地的特点以最小功耗实现雨水资源利用最大化。

#### 参考文献:

- [1] 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).
- [2] 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).
- [3] Wang Y T, Sun M X, Song B M. Public perceptions of and willingness to pay for sponge city initiatives in China [J]. Resour Conserv Recycl, 2017, 122: 11-20.
- [4] Kuppusamy V, Joshi U M, Balasubramanian R. A field study to evaluate runoff quality from green roofs [J]. Water Res, 2012, 46(4): 1337-1345.



作者简介:马宏伟(1985-),男,甘肃静宁人,硕士,工程师,主要从事市政给排水、海绵城市、水环境综合治理等设计工作。

E-mail: 56672881@qq.com

收稿日期:2018-10-22