

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.16.006

具有高原阶梯型坡地特点的海绵城市设计案例

杜家慧¹, 薛祥山¹, 邹蓉², 金位栋³, 焦继东¹

(1. 北京清控人居环境研究院有限公司, 北京 100083; 2. 云南若水建筑设计<集团>有限公司, 云南 玉溪 653100; 3. 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012)

摘要: 以玉溪市大河以北片区为例,从高原阶梯型坡地城市的自然本底条件出发,分析径流形成的时空特性,考虑梯级地形中坡度对污染物去除的影响,结合城市未来发展,融合低影响开发的总体理念与六字方针,提出“分级滞蓄、梯级净化、就近回用、系统治理”的立体型海绵城市设计思路,集成适宜各级区域海绵措施应用的指导策略,探索总结适合高原阶梯型海绵城市建设的一些理念和方法。研究发现,一级平坝区的设计策略建议为“蓄、净、排”,用以加强径流存蓄和降低洪涝风险;二级台地区域设计策略建议为“滞、蓄、净”,并结合土壤低渗透性特点,局部采用海绵工程手段融合“渗”的策略,用以提高径流控制与面源污染治理;三级山体区域设计建议以“渗、滞、净”为主,用以净化源头径流。

关键词: 海绵城市; 高原阶梯型坡地城市; 梯级净化; 径流污染控制

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)16-0030-05

Case Design of Sponge City with the Characteristics of Plateau Slope

DU Jia-hui¹, XUE Xiang-shan¹, ZOU Rong², JIN Wei-dong³, JIAO Ji-dong¹

(1. Tsinghua Holdings Human Settlements Environment Institute Co. Ltd., Beijing 100083, China; 2. Yunnan Ruoshui Architectural Design <Group> Co. Ltd., Yuxi 653100, China; 3. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Taking the north area of the Dahe River in Yuxi City as an example, the temporal and spatial characteristics of runoff formation, and the influence of slope on the removal of pollutants in the stepped topography were analyzed, which were based on the natural background conditions of the plateau stepped city. Considering the future development of Yuxi City, combining the overall concept and six-character policy of low impact development construction, the three-dimensional sponge city design idea of “grading depot, step purification, nearby recycle, system management” was proposed. Meanwhile, the guiding strategy suitable for the application of sponge measures at all levels was integrated, for purpose of exploring suitable methods for the sponge construction in the plateau stepped city. This study also found that the design strategy of the first-level plain area was suggested as “storage, purification, and drainage” in order to strengthen runoff storage and reduce flood risk. The design strategy of the second-level area was suggested as “stagnation, storage, and purification”. Combined with the characteristics of low

permeability of soil, the sponge technology method integrated with “infiltration” strategy was applied to control runoff and non-point source pollution. The design of the third-level mountain area was mainly based on “infiltration, stagnation and purification” to purify the source runoff.

Key words: sponge city; plateau stepped city; step purification; runoff pollution control

随着第一批、第二批海绵城市建设的推进,海绵城市理论与实践研究在国内发展迅速,取得了一定的效果,但是也存在着诸多不足与问题。纵观两批试点城市的分布特征及实践研究成果可知,试点城市多集中在平原地区,西南地区仅有3座城市,除对具有典型山地特征的重庆市有少量研究与探讨外,对高原坡地及山地城市的雨洪管理研究尚处于起步阶段。高原坡地的地形地貌、降雨以及土壤等特性与平原地区存在较大差异,目前对其海绵城市建设的特殊性和复杂性缺少应有的认识^[1]。因此,对具有高原坡地特点的区域开展海绵城市设计探索,总结相关经验,对我国海绵城市建设整体适宜性及建设尺度的研究具有重要意义。

玉溪市位于云南省中部,是云贵高原湖泊地区非喀斯特地貌区域具有典型阶梯型坡地特色的代表城市,也是国家第二批海绵城市试点城市之一。玉溪市大河以北片区试点区总面积约6.43 km²,其地形地貌、地质土壤相对复杂,气象水文特征明显,地表径流形成特殊、城市改造问题突出,是高原阶梯型坡地海绵城市建设的典型区域,为探索高原阶梯型城市水安全、水环境、水生态格局的新思路提供了范例。

1 玉溪市大河以北片区自然本底条件分析

1.1 典型的高原阶梯型坡地地貌

玉溪市地处云贵高原西南边缘,大河以北片区位于玉溪市中心城区北部,属于典型的高原地区阶梯型坡地区域。片区整体地势为东高西低、北高南低。以玉江大道为界,东部为自然山体,西部为平坝地区,山体与平坝之间为浅丘地带,呈现典型的梯级分布。

根据高程分析,研究片区整体可概化为三级台地。其中,第一台地为平坝区,地势相对平坦,平均纵坡为0.3%,主要为村落、农田以及道路;第二台地为平坝区与第三台地间的过渡台地区,邻近东部山体,土地利用情况与平坝区相似;第三台地为片区东部,主要为山体及农田,地貌呈低山、丘陵及沟谷特点,坡度较陡,地势起伏较大,沟壑较深,地形变化

复杂,以坡地、台地为主。

1.2 降雨时空不均,单点暴雨频发

玉溪市属于中亚热带半湿润凉冬高原季风气候,温差小、干湿两季分明。降雨量多集中于5月—9月,占全年总降雨量的70%以上。研究片区所在的红塔区多年平均年降雨量为909 mm,最大年降雨量为1414 mm,最小年降雨量为647.2 mm。

从降雨历时分析可知,夏季短历时降雨强度大,片区80%降雨量集中在前2 h,其平均雨强高于24 h降雨,在该时段降雨条件下管网承受压力更大。

从降雨空间角度分析,研究片区的降雨空间分布十分不均匀,且由于地形复杂,各台地之间高差较大,一般山区比坝区降雨量大,且范围小、强度大,“单点暴雨”频繁发生。

1.3 土壤渗透性较低,且分布不均

土壤的渗透性是影响海绵渗透技术及相关设施建设的重要因素之一,对源头海绵措施的建设、地下水补给、植物的生长等具有重要作用。

根据片区内地质勘测报告数据分析,片区表层土壤以水稻土和红壤为主,水稻土的渗透系数为 $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-6}$ m/s,渗透性较低;红壤的渗透系数为 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ m/s,渗透性相对较好。根据土壤分类及片区地质勘测报告,片区内土壤岩性变化大,底层上部以杂填土和粉质黏土为主,土壤渗透性分布不均。其中一级台地为平坝区,土壤厚度分布不均,填土与杂填土比例较大,土壤渗透性平均较高。二级台地土壤岩性变化较大,渗透性较好,仅北部局部区域渗透性较低。三级台地土壤特性分区明显,北部底层岩性以第三系残坡层黏土、粉质黏土及其全风化粉砂岩为主,渗透性低;南部地层岩性以第四系残坡积层黏土、砾质土为主,渗透性一般。

对于二、三级台地区域中低渗透性土壤的部分,与海绵理念中的“渗”字相悖,这对该区域海绵技术措施的选用以及工程综合布局提出了更高的要求。

1.4 片区地表硬化区域相对集中

随着城乡建设的发展,地表硬化情况是影响片区径流产流的重要因素。根据影像图、测绘数据

及相关资料分析,目前片区整体地表硬化化比例为41%。加之片区土壤渗透性本身差异较大,硬化化比例越高,其渗透性越差,加快了片区雨水汇流时间。同时由于城市发展不平衡,小区、城中村等地表硬化化范围相对集中于一、二级台地区域,面积占比近90%。根据第一批海绵城市建设经验,城中村改造是相对困难的区域,而该片区城中村面积覆盖率较高,这将给片区建成区海绵措施的实施增加难度。

2 玉溪市大河以北片区地表径流特征分析

2.1 降雨时空分布与地形特点对径流的影响

玉溪市冬夏降雨差异较大,且分布不均。加之在高原阶梯型坡地的典型地形地貌条件下,其产汇流特点更加特殊与明显。首先,在山地坡度较大的三级台地,降雨量较大,但土壤渗透率相对不平衡,则径流产生较快,汇流时间短,洪峰易提前。这样的径流特点,对一级、二级台地区域的径流有序排放造成一定压力,在空间上需加大一级、二级台地区域的滞水、蓄水及排水能力;在时间上容易造成雨水设施的调蓄功能发挥不利,夏季所需调蓄容积较大,但冬季又因为雨量较小导致调蓄池空闲造成浪费。这种径流产生的特殊性对海绵设施的空间布局具有较大的挑战。

2.2 地形坡度对径流及污染物含量的影响分析

海绵城市的建设不仅能缓解内涝问题,对径流污染也具有一定削减功能。三级台地特点对径流污染的形成和削减也具有一定特殊性。

研究表明,在 $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 坡度范围内,地表径流中总磷、水溶性磷和颗粒态磷浓度,及亚地表径流中水溶性磷浓度都随土壤坡度的增加而增加^[2]。根据研究片区的坡度特点, $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 坡度主要分布在一、二级台地,而这些区域也是人口、农田、城中村等分布较多的地区,地表硬化占比较高、改造困难,其污染物随径流排放入河,易对河流造成污染。因此,从污染控制角度,一、二级台地区域采取的海绵措施应侧重于蓄存与净化,对于二级台地局部有条件改造的区域,可加入渗透措施;从防治内涝角度应加强排涝功能。而三级台地山体区域坡度较陡,应以渗透、滞蓄为主,利用山体本身的渗透特点,涵养净化水体,使得源头有清水产出。

3 海绵城市建设理念的应用与思考

3.1 总体思路

高原阶梯型城市与山地雨水地表径流的形成有

相似之处,却又不尽相同。在坡度较大的区域地表雨水向低处流,不易就地下渗,更易形成径流,地块径流系数也相应增加,高原阶梯型城市地表除了山区坡度较大外,呈明显的阶梯型分布。通过分析其特点,扬长避短,充分发挥其阶梯型特色,对易形成的地表径流加以分级处理,对“渗、滞、蓄、净、用、排”理念的应用融入不同分级区域,提出“分级滞蓄、梯级净化、就近回用、系统治理”的立体型海绵城市设计思路,组合成各类海绵技术措施,有利于发挥各台地作用,有效实现“源头—过程—末端”的海绵城市建设总体理念,在一定降雨条件下,指导片区设计方案实现内涝点消除。研究区海绵城市建设理念见图1。

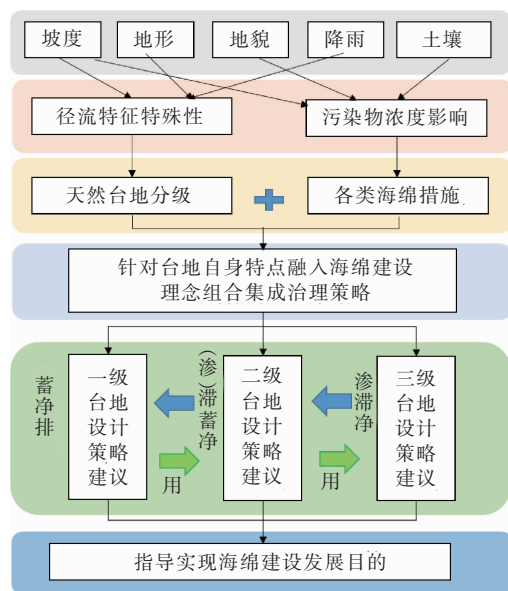


图1 研究区海绵城市建设理念

Fig.1 Sponge city construction idea of research area

3.2 一级平坝区设计策略

一级平坝区为大河以北片区末端汇流区域,片区内土壤渗透性不平衡,较二、三级台地区域较高,但由于处于片区末端,地下水位相对较高,故其渗透性措施不建议在临河区、湖、湿地等区域周围大面积展开。在小区、城中村、公建、公园、道路等节点,可针对性地选取区域开展建设。另外,结合一级台地特点,其短时收集二、三级台地的径流量,对其河道的防洪排涝要求相对较高,需满足防洪标准及排涝要求,提高河道及管网设计标准,实现不利情况下的排水需求。利用原有湿地、低洼地、库塘等系统设计,增大一级台地区域的滞蓄能力,协同错峰排

放;同时根据排涝要求,适当加强源头海绵减排措施,辅助调蓄设施,灰绿结合,如雨水花园、滞留带、调蓄池等,有效缓解内涝积水,实现末端调蓄功能。

综上,一级台地区域的设计策略建议为“蓄、净、排”。优先利用天然的生态滞蓄措施,不仅具有一定的净化能力,其蓄水、净水时间比人工水体相对较长,净化后的雨水可就近或短途运输至二级台地进行浇洒、补水、灌溉等回用,为区域节水、水资源利用提供时空均衡、可持续发展的思路。

3.3 二级台地区域设计策略

二级台地为山体与平坝区过渡区域,大部分为未建成区,故具有良好的开发空间。同时也是承接三级台地径流风险的主要区域,其功能以降低径流汇流时间、净化污染为主,故二级台地区域设计策略建议为“滞、蓄、净”。同时,为有效控制径流量与径流污染,建议加入“渗”的策略,对北部土壤渗透性较低的区域,其渗透策略不能套用原始概念,应结合海绵工程手段,因地制宜地提高渗透效果。

在设计方案时可根据其详细的排水分区,在不透水区域进行渗透设计,从面层的透水铺装到里层的局部土壤改良,或辅以导流管的方式进行分散式径流渗透引导,使其从区域表层有效收集径流,并传输至滞蓄区,再进行净化,最终形成渗透、滞蓄、净化为一个系统集成体的系统化治理思路。多角度、全方位地增强滞蓄效果,也解决了高原坡地因土壤渗透性较低而导致的海绵措施利用率较低的问题,真正体现“过程控制”的海绵理念。

3.4 三级山体区域设计策略

三级台地区域以山体为主,未来开发后地形为地表高程相对较高的台地区域,根据其地形地貌、降雨、径流特征、土壤渗透性、规划前后行政功能等综合因素考虑,其海绵设计策略以“渗、滞、净”为主。

利用三级台地南部区域的土壤天然渗透性较好的特点,保护山体植被,增加植被覆盖率,使径流通过土壤过滤、植物吸收等作用净化地表径流,通过下渗作用补充地下水,从源头实现径流减排。

三级台地北部区域未来将开发成科技教育基地,考虑其土壤渗透性较低,开发时要注意现有低洼地、湿地、天然坑塘的保护,并应结合规划绿地、公园绿地等,通过建设雨水花园、生物滞留带、人工湿地、生物塘等海绵措施对雨水径流进行拦截净化,增加雨水汇流时间,推迟峰值到来时间,降低源头产流对

本区域及二级台地区域的短时汇流影响;通过净化后的雨水逐级就近回用,提高水资源利用率。

3.5 方案设计与典型案例

① 总体系统工程方案及效果

根据玉溪大河以北片区现状,采取“工程建设与规划管控”双管齐下的方法进行海绵建设。其中海绵城市建设项目总计53项,在建及规划新建小区实施规划管控,其余维持现状水文条件。项目类型包括建筑小区源头减排、广场及公园改造、道路海绵改造、管网提标改造、水系生态改造、调蓄池建设。

通过以上工程项目的实施,采用DigitalWater二维模型模拟以及对已实施项目现场效果进行评估,在30年一遇降雨条件下各片区可控制降雨量为22.2~23.7mm,片区年径流总量控制率为83%~85%,大于总片区82%的年径流总量控制率,内涝积水点基本全部消除,可见在总体思路与策略的指引下,大河以北片区的海绵建设项目具有良好效果。

② 典型应用案例

二级台地介于三级台地与一级台地之间,局部地形高差较明显,也是片区中有高差特点的区域,选取二级台地某公建地块海绵改造项目从设计策略、海绵措施应用和实施效果等方面进行案例分析。

某公建地块位于二级台地南侧区域,总用地面积为7249m²,主要包括建筑、道路以及周边绿化带,地势呈北高南低,地块整体高程略高于外部,场地内排水体制为雨污分流制。雨水排水方向主要从场地内的道路向周围绿地排水,四周绿地再向场地外部道路排水。经改造前建模分析,该地块现状年径流总量为60.04%。设计目标为年径流控制率达到80%,对应设计降雨为20.2mm。

根据地块高程、排水特点及土壤渗透性,按照“分级滞蓄、梯级净化、就近回用、系统治理”思路的指引,选择以“滞、蓄、净”为主要设计策略,海绵措施主要选择下凹绿地、雨水花园、绿色屋顶、蓄水模块、植草沟等进行分级滞蓄、传输、存储、净化、回用、排放。同时,对场地内硬质道路进行透水铺装设计,融入“渗”的同时,利用其天然高差特点进行半透水排水,使产生的径流部分渗入地下,部分排入周围植草沟再传输入下凹式绿地和蓄水模块。海绵设计策略及布局见图2,雨水系统流程见图3。

通过海绵改造,经模型模拟分析,地块近5年(2011年—2015年)年径流总量控制率平均可达

80.37%,满足设计目标。通过2018年实际监测数据分析,海绵改造后年径流总量控制率可达81%左右。可见,海绵设计策略及措施的应用效果可达到预期设计目标,基本符合设计初衷与目标。

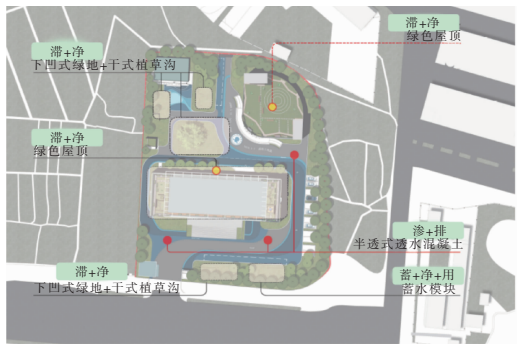


图2 海绵设计策略及布局

Fig. 2 Sponge city design strategy and layout

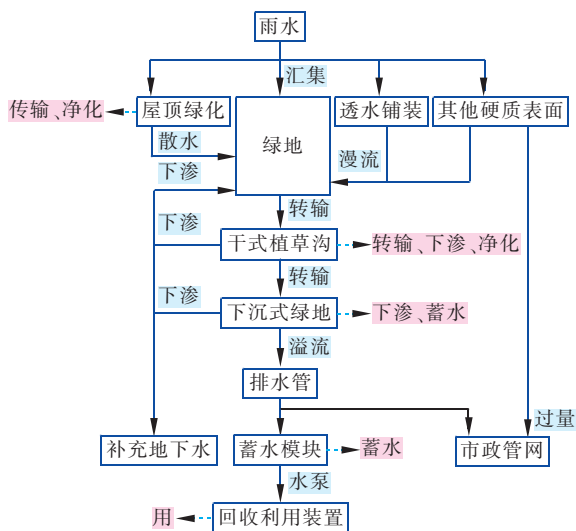


图3 雨水系统流程

Fig. 3 Flow diagram of rainwater treatment system

4 结语

城市内涝及面源径流污染控制是现代城市水安全与水环境发展亟需解决的重要问题,也是海绵城市建设的重要内容之一。通过研究及探讨,对于具有典型高原阶梯型坡地的城市,其内涝积水点消除以及面源削减的策略,需要因地制宜,以问题和目标为导向,通过系统治理,在一定条件下实现内涝的消除,提高面源径流污染的削减率。通过研究片区的设计探讨,对于高原区具有坡地特色的地区,将区域

的不利因素转化为特色治理,在空间上根据阶梯分布特点合理配置海绵技术措施,将“分级滞蓄、梯级净化、就近回用、系统治理”的立体型海绵城市设计思路深入实际设计层面,真正从顶层设计角度实现片区“源头减排—过程控制—末端治理”的系统性海绵建设理念,对后续的落地实施具有针对性的指导作用,也为具有高原阶梯型坡地特色的海绵城市设计提供参考。

参考文献:

- [1] 赵万民,朱猛,束方勇. 生态水文学视角下的山地海绵城市规划方法研究——以重庆都市区为例[J]. 山地学报,2017,35(1):68-77.
Zhao Wanmin, Zhu Meng, Shu Fangyong. Mountainous sponge city planning methods in the view of ecohydrology—A case study of Chongqing metropolitan area [J]. Journal of Mountain Science, 2017, 35(1): 68-77 (in Chinese).
- [2] 褚素贞,张乃明. 坡度对云南红壤径流中磷素浓度的影响研究[J]. 中国农学通报,2015,31(28):173-178.
Chu Suzhen, Zhang Naiming. Effect of slope on phosphorus concentration in Yunnan red soil runoffs [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(28): 173-178 (in Chinese).



作者简介:杜家慧(1987-),女,辽宁朝阳人,本科,工程师,项目经理,主要从事流域水环境综合治理、河湖水生态修复设计及海绵城市建设规划研究。

E-mail:727420784@qq.com

收稿日期:2019-03-16