

基于多目标的池州市齐山大道海绵化改造经验

付 振¹, 车 伍^{1,2}, 林 聪³, 杨 正⁴, 赵 杨³

(1. 北京建筑大学 城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室, 北京 100044; 2. 北京建筑大学 北京市可持续城市排水系统构建与风险控制工程技术研究中心, 北京 100044; 3. 北京雨人润科生态技术有限责任公司, 北京 100044; 4. 中国地质大学<北京> 水资源与环境学院, 北京 100083)

摘 要: 城市道路雨水系统是连接源头地块和末端水体的重要输水通道,道路传统排水方式存在排涝压力大、径流污染严重、生态环境破坏等严峻问题。而海绵城市建设中,道路雨水系统的建设目标既包括针对中小降雨的径流污染与总量减排控制要求,也包括针对不同重现期暴雨的大、小排水系统等综合设计要求,还涉及道路路面和景观功能的完善和提升。因此,综合设计必然涉及道路、市政、园林等多专业的合作。阐述了既有道路改造如何进行源头控制、小排水和大排水设施的合理设计与衔接,以及系统优化;结合池州市海绵城市示范项目——“齐山大道”工程实例,阐述了如何整体考虑道路上下游关系和红线内外场地条件等,合理构建多目标海绵型道路雨洪控制利用系统,有效利用现状道路及周边土地资源,合理处理空间、竖向、绿地景观等场地条件之间的相互关系,优化整体方案,综合解决年径流总量控制、径流污染控制、道路内涝防治等问题,保护周边湿地生态环境,提高项目的综合效益。

关键词: 城市道路; 海绵化改造; 多目标; 系统构建

中图分类号: TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)08-0007-08

Exploration of Urban Street Sponge Renovation Based on Multi-target: A Case Study of Qishan Street in Chizhou

FU Zhen¹, CHE Wu^{1,2}, LIN Cong³, YANG Zheng⁴, ZHAO Yang³

(1. Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. Beijing Engineering Research Center of Sustainable Urban Sewage System Construction and Risk Control, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 3. Beijing Yuren Rainwater Ecotechnology Co. Ltd., Beijing 100044, China; 4. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Urban street stormwater system is the important channel which connects source block to downstream water bodies. The severe problems in the traditional street storm drainage system are considered as poor flood drainage, serious runoff pollution and ecological environment destruction. The targets of street stormwater system renovation in sponge cities include runoff pollution control and total runoff volume reduction control in the small storm events, the design requirements of major and minor drainage sys-

tems for storm events with different recurrence periods, and also include the perfection and promotion of street surface and surrounding landscape. Therefore, multi-disciplinary cooperation is necessarily involved in the design process. This paper illustrates how to build the comprehensive system including source control system, minor drainage system, major drainage system in the process of street stormwater system renovation, and how to achieve reasonable design, connection and optimization among the three aspects. The sponge renovation project of Qishan street in Chizhou was taken as an example, this paper described how to build the comprehensive street stormwater system concerning the road connection between upstream and downstream, the site conditions inside and outside of street red lines. Simultaneously, it introduced the reasonable construction of multi-target sponge-type road stormwater control system, effective utilization of roads and the surrounding land. And the relationship among street space, vertical, landscape and other site conditions were illustrated to solve the problems of annual runoff volume control, runoff pollution, street flood and so on. As a result, the surrounding ecological environment could be protected, and the project comprehensive benefits could be enhanced.

Key words: urban street; sponge renovation; multi-target; system building

针对城市道路雨水问题,国内外已开展大量研究及工程实践,例如美国在道路景观设计中结合LID措施,对雨水进行源头控制,提出“绿色道路(Green Street)”设计理念^[1];加拿大、澳大利亚、新西兰等发达国家也有大量道路雨水综合控制的工程案例^[2~4]。国内在“海绵城市”兴起之前,针对道路雨水问题重点集中在雨水管道的提标改造、下穿式立交等道路积水点的调蓄池建设、雨污分流改造等灰色基础设施的建设,除此之外,车伍等开展了城市道路新型雨洪控制利用技术研究及其工程设计^[5~8];国家“十二五”水专项也设置了专题研究,北京、深圳、嘉兴、宁波等地陆续开展了道路雨水径流源头控制的工程实践^[7~9]。

随着城市排水防涝和海绵城市建设的发展,针对城市道路雨水径流控制又有了更广泛的内涵和更高的要求,需综合考虑内涝防治、径流污染控制、生态环境改善等不同的控制目标,构建道路源头低影响开发系统、小排水系统(排水管网系统)、大排水系统(超标雨水径流蓄排系统)等的综合控制系统,通过不同措施的合理组合与衔接,实现海绵型道路建设的综合目标^[10~12]。

当前,国内各城市在海绵城市建设推进过程中,市政道路的海绵化改造建设往往成为重点或作为示范项目优先实施,发挥重要的引导作用。

与主城区新建道路的海绵化建设相比,大量已建城区内已建道路面临更为突出、复杂的雨水系统问题,同时由于受到地面空间、绿化带及其植被条

件、竖向关系、地下管网等多方面建设条件的制约,其海绵化改造具有更大的难度与挑战。以池州市齐山大道为例,探讨如何在既有道路的海绵化改造中进行全面的问题识别,合理利用现状条件,制定多目标的控制体系,构建科学合理的综合控制系统,通过技术经济分析优化实施方案,在设计、施工、运营全过程参与和密切配合,让方案能够切实落地。

1 道路海绵化改造的主要问题与总体思路

1.1 道路海绵化改造系统构建的复杂性

已建城区城市道路通常都面临多方面的问题:局部低洼区的积水内涝、地下排水管网标准偏低、部分管网的混接、上游客水汇入加剧的排涝压力、道路雨水径流及合流制溢流污染引起的下游受纳水体水质恶化等^[12~14]。

解决城市道路雨水系统面临的上述多重问题,必须综合考虑径流总量及其污染控制、径流峰值控制、雨水资源化、道路交通功能、景观及生态功能改善等多重控制目标。针对具体项目实际条件及主要矛盾,需要明确主要目标及其余各目标之间的相互联系,必须依靠道路源头低影响开发雨水系统、小排水系统及大排水系统等综合控制系统的构建及其优化^[15]。但是如何利用好现状条件进行合理选择措施、优化组合与布局,不同子系统之间如何有效衔接并最大程度发挥其综合效益^[16],与之相关的道路交通、园林景观、河湖水系等不同专业、不同管理部门之间如何协同与合作,避免冲突等,都是道路海绵化改造、综合系统构建及实施中的重点与难点。

1.2 道路海绵化改造的可实施性

根据海绵城市专项规划和实施方案,主要控制指标基本都分解到地块和道路,但在具体实施过程中却可能面临如下难题:①老城区已建道路红线内通常缺乏足够的绿化空间,部分道路甚至无绿化空间,在现状有机非隔离带等绿化空间情况下改造时,往往又会受到竖向、种植等改造条件和代价的限制;②道路红线内空间不足时,需综合考虑道路红线外是否有可利用的空间及其条件,分析用于道路雨水径流控制的改造可行性;③周边建筑密度大、场地内外可利用空间不足的道路,需统筹考虑“地上”与“地下”控制措施的优化组合,甚至道路源头和末端措施的选择和组合;④一些地下排水管网复杂的情况,若按照《室外排水设计规范》(GB 50014—2006, 2016 年版)要求的更高重现期标准进行全面改造,

必将面临耗资大、施工困难、拆迁、耗时等难题。

1.3 道路海绵化改造方案的经济合理性

对问题与目标的清晰把握,对现状条件的综合分析,因地制宜地合理构建多目标综合控制系统,制定经济合理的设计方案,对道路海绵化改造方案具有十分重大的意义,甚至关系到道路海绵化改造的可持续性。应最大程度地利用自然条件和现有条件,避免改造工程不合理的“过大规模”、“过度设计”和“过度施工”,及其应用一些不该用的设备和设施,“盲目地”增大投资,这类现象在实践中已有暴露。

1.4 道路海绵化改造总体思路

基于上述分析并结合长期的研究和实践积累,提出如图1所示的城市道路多目标海绵化改造总体思路。

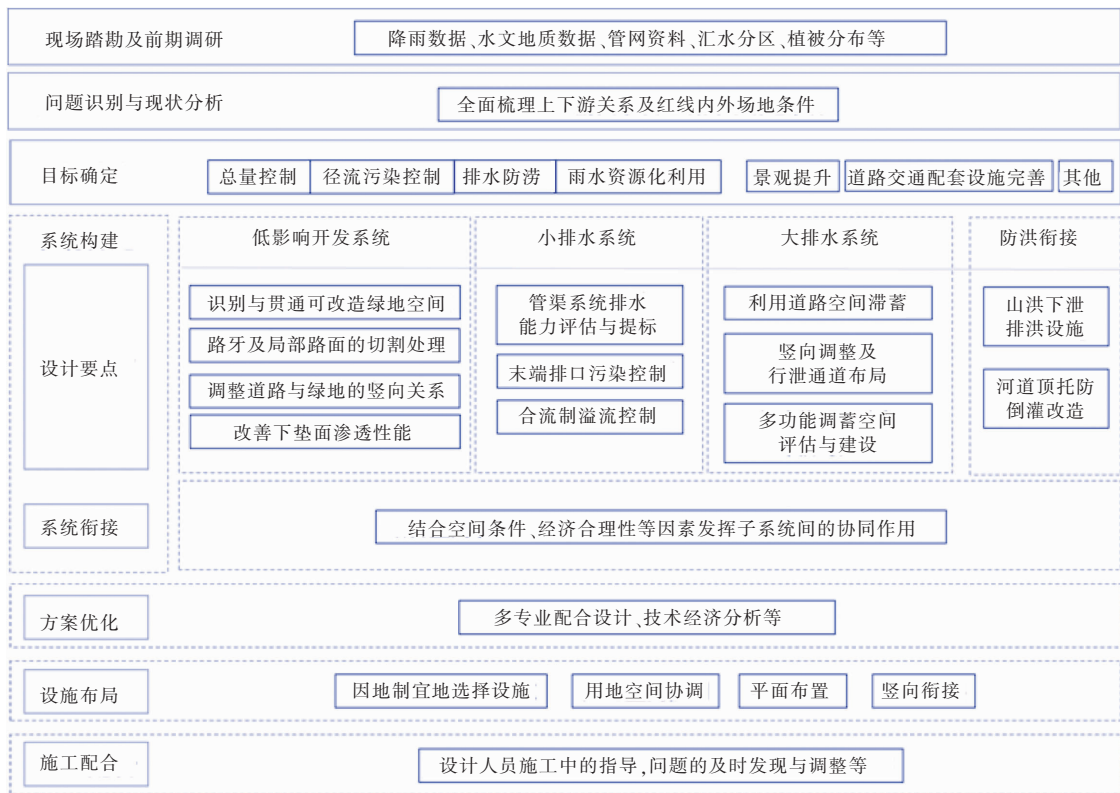


图1 城市道路多目标海绵化改造总体思路

Fig. 1 The general idea of urban street sponge renovation based on multi-target

首先,必须基于现场的详细踏勘、调研,重点对道路红线内外空间和竖向条件、地下管网情况、周边汇水区域、上下游关系、面临的主要问题等进行全面仔细的梳理,明确主要控制目标;其次,依据问题与建设条件,有针对性地构建综合控制系统。

实施道路低影响开发雨水系统,主要通过切割道路路牙或局部道路路面,对红线内外可改造空间的识别与贯通,局部或整体调整道路与绿地的竖向关系,改善下垫面的渗透性能等多种方式使道路雨水径流在源头消纳,减少径流外排总量。应结合积

水点改造、管线提标改造、合流制改造等构建完善的排水管网系统。超标雨水径流蓄排系统需结合道路现状断面与坡度,评估道路路面对超标径流的临时排水能力,并充分结合道路周边空间构建排涝与调蓄设施。在某些情况下,还需统筹考虑末端河道防洪要求及周边山洪的影响,与城市防洪系统进行合理的衔接。不同子系统之间从设计目标、设计参数、设施选择与组合等方面进行统筹考虑^[17],共同发挥综合性作用。

目前不少海绵城市规划方案或实施方案和施工图设计是由不同的单位负责,从规划、方案设计到施工图设计还有一定的差距,甚至可能需要进行不小的调整,这对规划师和设计师都是一个挑战。此外,目前许多施工队伍缺乏对低影响开发技术的掌握和对设施的理解,施工经验也不足,设计人员在施工过程中必须给予密切的配合和指导,及时发现问题及时调整,否则难以保证设计方案的顺利落地和质量。

2 池州市齐山大道海绵化改造案例

2.1 项目概况

齐山大道东临池州市重要的生态敏感区——月亮湖候鸟(包括小天鹅)栖息地,西临南湖湿地,北起石城大道,南至高速转盘。设计路段全长约3.9 km,道路红线范围为60 m,部分路段坡度起伏较大。道路北段衔接老城区,两侧以已建居住小区为主,道路南段周边以新建居住小区为主,并有一条铁路从

道路上空经过。

结合地勘资料,齐山大道周边土壤类型以黄土为主,渗透系数为 $(1 \sim 2) \times 10^{-6} \text{ m/s}$ 。基于现场踏勘,改造前,根据原有道路红线内断面形式不同,将齐山大道分为南北两段,北段(石城大道—陵阳大道)未设置机非隔离带,人行道内侧无树池带,南段(陵阳大道—高速转盘)设有1 m宽高于路面的机非隔离带,人行道内侧设有与其等高1.5 m宽的树池带,两路段人行道外侧均有3~8 m宽与人行道齐平的绿化带;道路红线外绿地空间主要分为五类:①绿地空间开阔,与水面距离超过40 m,靠近水面侧存在大面积低于道路的绿地空间,且绿地坡度平缓;②绿地坡度较大,约20 m宽,与路面最大高差约8 m,易造成水土冲蚀,需要考虑分级缓冲滞留带;③绿地空间狭窄,不适合进行大规模改造;④绿地整体低于路面且树木相对较少,适宜作为低影响开发设施用地;⑤与人行道基本齐平且坡度平缓的普通绿化带。

齐山大道实际汇流面积共计129.6 hm²。其中,道路自身汇水面积共26.7 hm²,根据道路汇水特征分为5个子汇水分区;齐山大道地下市政雨水主干管网汇集上游共计73.2 hm²区域的雨水径流;齐山公园、陵阳大道及铁路桥与齐山大道相交路段,暴雨期间将有大量上游地块客水沿地表坡度汇入齐山大道,总汇水范围约29.7 hm²。

齐山大道项目整体概况见图2。

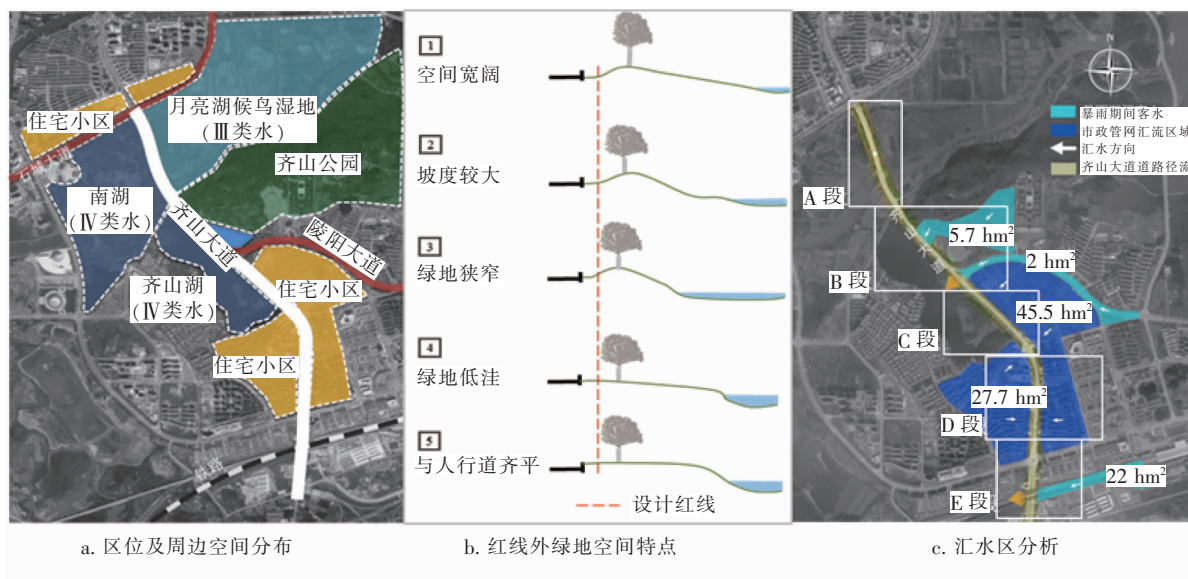


图2 齐山大道项目概况

Fig. 2 Qishan street project overview

2.2 问题分析

基于上述对齐山大道现状的梳理与分析,项目主要面临雨水径流污染与湿地保护、道路积水、道路功能的完善、景观提升等问题。

① 径流污染控制及湿地保护

齐山大道自身及其承接的红线外汇水区域内排水体制均为雨污分流制,雨水径流经雨水管道通过末端 3 处集中排放口直接排入月亮湖及南湖。经初步估算,项目改造前,齐山大道及其上游汇水区全年排入月亮湖与南湖的雨水径流总量约 $56.94 \times 10^4 \text{ m}^3$,依据池州市部分市政道路径流污染检测报告中主要污染物的浓度数据,以及其他城市道路污染物 EMC 数据,齐山大道汇水区域径流 SS、COD 分别为 185 ~ 992、200 ~ 580 mg/L,可估算得到全年排入月亮湖及南湖的雨水径流污染负荷总量(以 SS、COD 计)均超过 100 t。可见,雨水径流污染对末端月亮湖及南湖的水质及生态系统影响较大。

② 排水防涝

齐山大道部分路段内涝积水严重,无洪水影响,主要积水原因集中在局部地形低洼、雨水管网排水能力不足、客水汇入等方面。结合踏勘情况及历史数据判断齐山大道共有 5 处积水点[见图 3(a)]。积水点一、二所属道路为缓坡路段[见图 3(b)],纵坡约为 1%,横坡约为 1.5%,加之局部雨水口较高,管网系统收水不足,易形成局部小范围积水;积水点三所属道路为陡坡路段[见图 3(b)],道路纵坡约为 4% ~ 5%,横坡约为 1.5%,最低点无排水出口,管渠排水能力有限,降雨时易形成严重积水;积水点四、五主要由于周边大量客水汇入及大排水通道的缺乏,导致暴雨时内涝与积水明显。由于这条道路所处的特殊位置,没有合流制或污水混接等问题。

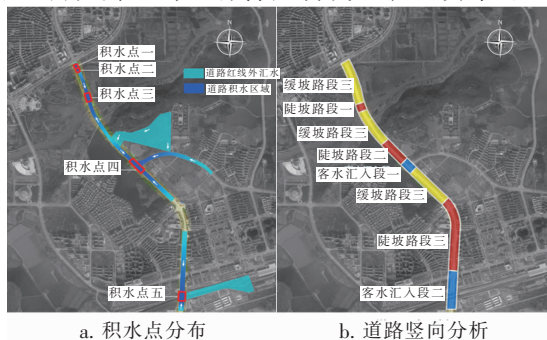


图 3 道路竖向及积水点分布图

Fig. 3 Distribution of vertical and stagnant water points

③ 景观提升与综合改造

道路方面:路面出现约 28 处不同程度的破损,部分交通设施陈旧;景观方面:植物种类不够丰富,景观效果较差。

2.3 改造目标与原则

为解决齐山大道面临的上述突出问题,达到海绵城市建设综合目标,并满足周边月亮湖及南湖湿地的生态保护要求。其设计目标包括:①总量控制目标,年径流总量控制率为 83%;②水质控制目标,年 SS 总量去除率为 50%;③暴雨控制目标,有效应对 30 年一遇降雨要求;④其他目标,修复路面、增加北段非机动车道和机非隔离带,满足道路承载及安全要求;丰富植物配置,提升景观效果。

其设计遵循以下重要原则:①系统性原则,多目标的雨水综合系统、道路系统、景观综合设计,系统性解决场地及周边问题;②适宜性原则,“渗、滞、蓄、净、用、排”多功能和多样技术综合使用,因地制宜地设置、组合海绵设施;③可持续原则,结合红线内外场地条件充分利用生态本底优势,优先使用绿色生态设施;④经济性原则,根据现状空间布置生态设施,最大程度地减少灰色设施和开挖,减少土方量;大量选择乡土植物,以宿根、自播、低维护的植物品种为主,降低工程造价。

2.4 系统方案

基于道路上下游关系,高效利用红线内外空间条件,统筹考虑“源头减排 - 过程控制 - 末端处理”、“绿色 + 灰色”、“地上 + 地下”的结合与衔接,尽量采用地面绿色设施,构建涵盖源头低影响开发系统、小排水系统、大排水系统、终端湿地系统完整的城市道路海绵系统。齐山大道海绵化改造设施平面图见图 4,技术路线见图 5。

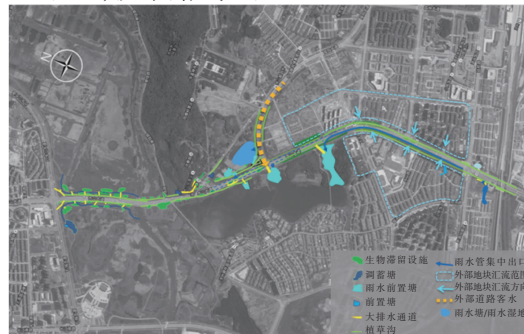


图 4 齐山大道海绵化改造设施平面布置图

Fig. 4 The plan sketch of sponge renovation on Qishan street

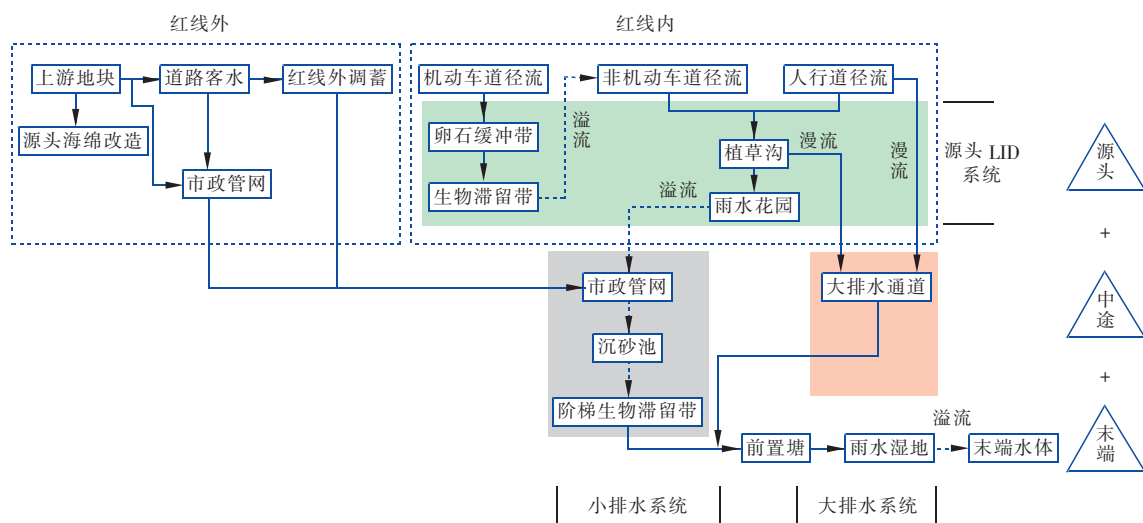


图5 齐山大道海绵化改造技术路线

Fig. 5 Technical route of sponge renovation on Qishan street

针对齐山大道客水的处理方式主要分为三个层次,首先,对上游地块及道路进行源头 LID 改造;其次,综合利用道路红线内外绿化空间,设置景观卵石塘、阶梯湿地、湿塘等生态设施,将径流有组织地引入其中进行综合控制,进一步削减进入齐山大道的径流总量;对于超过前两部分控制标准的雨水径流,利用齐山大道邻近湿地水体集中滞蓄空间较大的优势,通过地下管网、地表生态沟渠、道路竖向调整等方式,将其输送至末端开放空间,通过设置沉砂井、前置塘-湿地处理设施,最终排入月亮湖与南湖受纳水体。

低影响开发改造的实施,对齐山大道南、北段两种形式的道路断面采取不同的控制策略。针对北段道路,新增下沉式隔离带,结合路面改造调整地面高程及与绿地空间的竖向关系,封闭现有雨水口,利用隔离带绿地设置生物滞留设施对道路雨水径流进行

滞蓄,超出其控制容积后漫流经过非机动车道、人行道至外侧滞蓄型植草沟或周边雨水花园进行综合控制(见图6中北段改造后断面);针对南段道路,由于机非隔离带植物长势较好,考虑对现有景观不做过多破坏,改造主要对机非隔离带进行间隔切割,并将人行道树池带改造为局部下沉,在人行道底部设置过水涵,由此,改造后机动车道雨水径流可依次通过机非隔离带切割形成的过水槽、非机动车道漫流至局部下沉的人行道树池带进行控制;超出下沉式树池带控制容积的雨水径流,通过人行道底部的过水涵溢流至外侧植草沟及分散式雨水花园(见图6中南段改造后断面)。超出植草沟、雨水花园控制容积的雨水径流则漫流至现状园路,利用园路良好的竖向条件作为非设计通道,将超标径流传输至末端生物滞留设施、前置塘、雨水湿地等生态设施进行集中滞蓄,最终溢流至受纳水体。

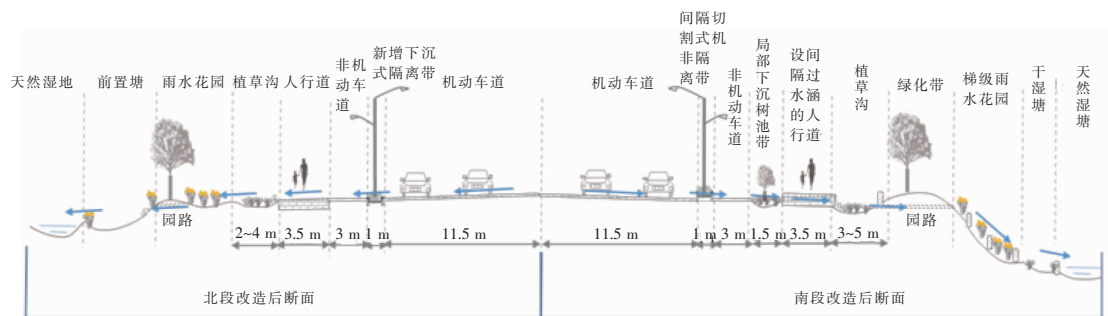


图6 齐山大道海绵化改造典型断面

Fig. 6 Typical section of sponge renovation on Qishan street

在上游客水采取综合控制措施的基础上,利用齐山大道地形及空间条件,布置以植草沟为主的“小排水系统”协同地表明渠、盖板沟及现状雨水管网综合提高排水重现期标准。

大排水系统的设计根据暴雨内涝风险产生的原因不同主要分为两种。对于道路红线内局部低洼处由于排水能力不足而造成暴雨短时积水的区域,采取将道路低点处人行道局部做低或者设计成过水涵的形式,使雨水能沿着道路横坡漫流通过,将超标暴雨径流导入生态设施,溢流雨水利用现状园路的竖向条件作为行泄通道排放至末端湿地等调蓄设施,最终排入受纳水体;对于暴雨时因大量客水漫流汇入而造成的积涝区域,主要通过设置截流盖板沟、局部竖向调整打通地表行泄通道,并结合部分管线提标改造的方式,将雨水排放至末端集中生态调蓄设施。

2.5 施工配合

本项目为 EPCO 项目,考虑到施工单位对新型雨洪控制措施经验不足,通过设计单位道路、景观、给排水等各专业设计人员对放线、竖向改造、换填、植物种植以及隐蔽工程等重点环节进行技术交底及现场指导,使施工企业对施工过程需注意的问题有深刻了解,避免关键工程的返工;另外,由政府管理部门及专业咨询团队组成的监管小组,通过施工及后期维护过程中的日常巡查,确保现场问题能及时发现、及时解决,从而保证了科学的施工进度及最终的建设效果。

2.6 综合效益分析

本项目作为池州市海绵城市试点建设的首批示范项目之一,在完善道路通行及景观提升的基础上,充分研究区域雨水系统问题,结合区域水系保护计划,以系统性思路解决场地及周边汇水区域的雨水问题,在满足海绵城市改造目标的同时,最大限度降低对周边生态湿地的影响,最终打造一条穿过生态敏感区连接新老城区的海绵型城市干道。

通过上述策略,齐山大道实际控制径流容积为 $27\,521\text{ m}^3$,对 SS 的去除率为 55%,满足道路自身控制目标要求;此外,统筹解决 3.8 倍于道路面积的红线外客水区域,额外控制该区域雨量约 20 mm,降低了该区域后期的改造难度与工程投资。经核算,齐山大道低影响开发系统衔接道路原有雨水管网,使改造道路整体排水能力达到 3~5 年一遇标准;通过

设置地表行泄通道以及末端集中调蓄等一系列的排涝除险设施,降低外围客水汇入造成的积涝风险,消除道路历史积水点,能有效应对 30 年一遇暴雨。2016 年 6 月 30 日 20:00—7 月 5 日 8:00,池州市出现连续强降水,累计降水量达 566.0 mm,最大小时雨强为 67.2 mm,设施汇流通畅并发挥相应的控制作用,路面最大积水不超过 10 cm。

在经济效益方面,通过因地制宜的设施选择及源头与末端处理的合理分配优化成本;不额外增加投资扩容改造现状雨水管网,仅通过衔接低影响开发系统综合达到提标改造的目的;结合竖向改造、非设计大排水通道以及末端天然湿地系统应对超标暴雨,避免采用大型灰色调蓄设施的投资;方案不对现有铺装进行大范围破坏,结合路面改造调整竖向,尽可能将雨水径流疏导至道路周边绿色空间统筹解决,减少了大量更换透水铺装的额外成本;通过综合评估,合理利用末端调蓄空间综合处理上游小区、公建等地块汇水,减少了对上游地块内大面积的改造,节省了试点区整体投资。经计算,该项目海绵设施单位汇水面积投资仅 1 860 万元/ km^2 。

该路段景观得到整体提升,湖体水质有所改善,并在道路海绵改造的关键节点设置科普教育展示牌及监测设备,增强对群众的海绵城市科普教育,为市民提供散步、游憩的良好场所。

3 结语

针对我国城市道路海绵化改造所面临的突出问题,结合齐山大道海绵化改造的设计和实施,可提供以下经验:

① 必须基于详细的现场踏勘,梳理改造道路所在区域的上下游关系,充分衔接区域海绵城市建设需求,对道路面临的雨水问题进行系统性诊断是后续方案设计合理性的重要基础。

② 城市道路海绵化改造项目多目标的系统构建,应综合考虑多个子系统之间的关系及优先次序,结合道路及景观改造,高效利用场地条件,因地制宜地选择技术路线、设施组合及合理布局,通过多方案比较和技术经济分析,优化设计方案,提高项目的可实施性,发挥更好的综合效益。

③ 不同专业间的协作与沟通,设计、施工、运营全过程的参与及密切配合,及时发现问题并加以纠正,是保证设计方案完整落地和项目建设效果有效且必要的手段。

参考文献:

- [1] 陈宏亮. 基于低影响开发的道路雨水系统衔接关系研究[D]. 北京:北京建筑大学,2013.
- [2] Credit Valley Conservation (CVC). Grey-to-green Road Right of Way Retrofit Guide[M]. Canada:CVC,2013.
- [3] Scher O,Thièry A. Odonata,Amphibia and environmental characteristics in motorway stormwater retention ponds (Southern France)[J]. Hydrobiologia,2005,551(1):237-251.
- [4] Auckland Regional Council (ARC). Infrastructure Design Standards[M]. Auckland:ARC,2009.
- [5] 车伍,申丽勤,李俊奇. 城市道路设计中的新型雨洪控制利用技术[J]. 公路,2008,(11):30-35.
- [6] 何卫华,车伍,杨正,等. 城市绿色道路及雨洪控制利用策略研究[J]. 给水排水,2012,38(9):42-47.
- [7] 李俊奇,王文亮,边静,等. 城市道路雨水生态处置技术及其案例分析[J]. 中国给水排水,2010,26(16):60-64.
- [8] 吕放放. 杭州城区雨洪控制利用及道路应用研究[D]. 北京:北京建筑工程学院,2010.
- [9] 唐绍杰,翟艳云,容义平. 深圳市光明新区门户区——市政道路低冲击开发设计实践[J]. 建设科技,2010,(13):47-55.
- [10] 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,(6):19-26.
- [11] 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.
- [12] 申丽勤,车伍,李海燕,等. 我国城市道路雨水径流污染状况及控制措施[J]. 中国给水排水,2009,25(4):

23-28.

- [13] 侯培强,王效科,郑飞翔,等. 我国城市面源污染特征的研究现状[J]. 给水排水,2009,35(S1):188-193.
- [14] 赵磊,杨逢乐,王俊松,等. 合流制排水系统降雨径流污染物的特性及来源[J]. 环境科学学报,2008,28(8):1561-1570.
- [15] 李俊奇,王文亮. 基于多目标的城市雨水系统构建与展望[J]. 给水排水,2015,41(4):1-3,37.
- [16] 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.
- [17] 王建龙,陈宏亮,车伍,等. 城市绿色道路雨水技术发展与应用[J]. 中国给水排水,2015,31(2):1-5.



作者简介:付振(1991-),男,湖北随州人,硕士研究生,主要研究方向为城市雨洪控制与管理。

E-mail:18810663295@163.com

收稿日期:2017-01-25

保护水资源,保护水环境,防治水污染