

市政道路低影响开发设施设计案例分析

刘建^{1,2}, 李四新^{1,2}, 陈慧^{1,3}, 余年^{1,3}, 吴凌壹^{1,2}

(1. 深圳大学 建设工程生态技术研究所, 广东 深圳 518060; 2. 深圳大学 土木工程学院, 广东 深圳 518060; 3. 广州珠水环境科技有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: 市政道路的低影响开发设施是海绵城市建设的主要内容。结合设计经验总结了市政道路低影响开发设施的设计要点。介绍了深圳市登良路、江西省弋阳县江廖肖村旅游入口公路和陕西省汉中丝绸之路的低影响开发设施设计案例, 利用暴雨管理模型分析了这些道路低影响开发设施的滞留暴雨径流的效果。重点分析了江廖肖村旅游入口公路低影响开发设施的设计方案和抵抗不同降雨的效果。从方案设计、模型模拟、技术措施等方面总结了道路低影响开发设施设计本土化过程中的工程经验。

关键词: 海绵城市; 低影响开发设施; 市政道路; 生态排水系统; 面源污染

中图分类号: TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)04-0014-06

Case Study of Low Impact Development Facilities for Municipal Roads

LIU Jian^{1,2}, LI Si-xin^{1,2}, CHEN Hui^{1,3}, SHE Nian^{1,3}, WU Ling-yi^{1,2}

(1. Ecological Technology Institute of Construction Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China; 2. College of Civil Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China; 3. Guangzhou Zhushui Environmental Science and Technology Co. Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: The low impact development (LID) facilities for municipal roads are the important components for the sponge city construction in China. The design requirements of the LID facilities for municipal roads were summarized on the basis of design experience. The design cases of the LID facilities for the Dengliang Road in Shenzhen, the Tourist Entrance Road in Jiangliao Xiao Village, Yiyang County, Jiangxi Province and the Silk Road in Hanzhong City, Shaanxi Province were introduced. The efficiency of the LID facilities for retention of stormwater runoff was simulated using SWMM. The design scheme and flood control effects of the LID facilities along the Tourist Entrance Road were analyzed. The experience how to better design the LID facilities was outlined from viewpoints of design scheme, hydrological model simulation, technical measures.

Key words: sponge city; low impact development facility; municipal road; ecological drainage system; non-point source pollution

城市内涝多发、水环境污染和雨水资源大量流失等已成为制约我国城市可持续发展的关键问题。

城市道路作为主要的下垫面和排水通道,其雨水径流量大、污染严重,是城市面源污染的主要来源。传

统的市政道路排水设计采用点式雨水口收集道路雨水,通过管道系统尽快排入下游河道或收纳水体的方式进行。它是以雨水的快排为根本出发点。这种设计方式不但将污染严重的道路雨水直接排入河道污染城市河湖水体,而且点式雨水口收集地表雨水易产生路边积水。同时,道路上的绿化带常常高于路面且大量种植需要灌溉的植物,不但不能对道路雨水进行净化和滞留,而且耗费大量的水资源进行灌溉^[1]。因此,迫切需要一种既可以解决城市内涝和面源污染,又可以改善城市生态环境的新型道路设计方法。

1 市政道路 LID 设施设计要求

1.1 市政道路 LID 设施设计一般要求

不同的 LID 设施由于功能应用的不同,需要遵循不同的设计要求。道路 LID 设施设计一般分为概念设计、方案设计、初步设计和施工图设计等阶段。设计文件按以下五个方面编制:①道路 LID 设施专项规划或概念设计阶段所进行的项目分析;②方案设计阶段确定的 LID 设施规模;③方案设计阶段、初步设计阶段 LID 设施的设计图纸;④初步设计阶段的工程量及造价概算;⑤施工图设计阶段的施工图、施工注意事项及维护说明。

其中概念设计文件主要包括 LID 设计原则、设计目标、设计手段、LID 设施基本类型、LID 设施占地面积、暴雨径流初步分析及处理和滞留目标等内容。在方案设计之前应进行场地现场调查,核对基础资料,收集设计所需数据(高程、汇水区边界、管网走向等),应对设计场地进行渗透测试,以实测的渗透率为设计标准。方案设计文件应满足编制初步设计文件的需要,本阶段将 LID 设施专项规划或概念设计的结果进一步细化,提供不同 LID 设施布置方案,并通过水文模拟计算各个方案的暴雨处理效率和成本分析。初步设计文件应满足编制施工图设计文件的需要,根据选定的设计方案,确定每个 LID 设施的尺寸,绘制平面图、剖面图、截面图,并给出工程量清单。施工图设计文件,应满足设备材料采购、非标准设备制作和施工的需要。LID 设施设计暴雨重现期,应根据汇水地区性质、地形特点和气候特征等因素确定,一般采用 LID 专项规划推荐值,LID 设施设计暴雨重现期一般不超过 25 年。

1.2 生态排水系统设计要求及其注意事项

生态排水系统是一种强化生态处理能力的 LID

设施,一般设置在城市道路的机动车道和非机动车道分隔带或道路中央隔离带,也可设置在新建区域、工业厂房、学校、办公区域的内部道路一侧或两侧。其结构设计一般为:20~30 cm 深的表层积水洼地;400~600 mm 厚的混合土层;200~400 mm 厚的碎石层;根据需要在碎石层内铺设排水花管;道路旁边的生态草沟宜采用孔口路牙、格栅路牙或其他形式进水口,确保道路雨水径流能够顺利流入生态草沟,进水口附近宜铺设碎石或鹅卵石保护层防止冲刷。为防止超过设计暴雨引起道路积水,一般应间隔 20~50 m 设置一个溢流口,溢流口的顶端一般高于洼地 100~150 mm,管径一般取 200~300 mm。生态排水系统典型结构剖面见图 1。其设计目标为去除《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》(以下简称《指南》)规定的雨水污染物和滞留设计暴雨 1/2~2/3 的径流量。

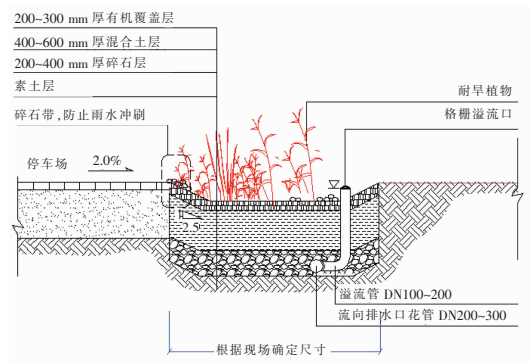


图1 生态排水系统结构剖面图

Fig. 1 Cross-section of ecological drainage system

生态排水系统的混合土一般由椰糠、除磷除氮介质、当地粘土、建筑用砂(中砂或粗砂)等组成,其配合比(体积比)一般取 0.5:2:2:5.5,具体配合比可根据渗透率、覆盖厚度、植物生长所需养料等实际要求调整,除磷除氮介质可选用水厂排泥或专门配置的混合土。

1.3 雨水花园、树池设计要求及其注意事项

雨水花园一般设置在宽度较大的中央隔离带和路边较宽阔的绿地,其位置设计应该考虑相邻建筑、地下管线、道路坡度、底层土壤的渗透性和地下水位深度等因素。在低洼区域设置雨水花园时,应与周边地形相协调;设置在居住区集中绿地内的雨水花园、树池与建筑物之间的距离应在 3 m 以上。其自上而下的结构设计为:300~400 mm 深的积水洼地;300~500 mm 厚的有机覆盖层(可选);500~800

mm 厚的混合土层;400~600 mm 厚的砾石层,砾石层内宜铺设排水花管;雨水花园的大小应按汇水区域的径流量设计,并应考虑维护通道。其设计目标及混合土配合比按生态排水系统的设计要求执行。

雨水花园的溢流管及排水花管设计应注意:规模 $>100 \text{ m}^2$ 的雨水花园,宜每隔 10~20 m 设 1 个溢流管,溢流管直径一般取 100~200 mm;溢流管顶部应设置格栅;地表面积 $<25 \text{ m}^2$ 的雨水花园,可不设排水花管或仅在出口附近设置;对于 $25 \text{ m}^2 \leq$ 地表面积 $<50 \text{ m}^2$ 的雨水花园,可沿水流流向设置一根排水花管;对于地表面积 $\geq 50 \text{ m}^2$ 的雨水花园,可沿水流流向设置两根或以上排水花管;雨水花园排水花管直径一般取 200~300 mm,雨水花园排水花管管径一般取 200 mm。雨水花园典型剖面见图 2。

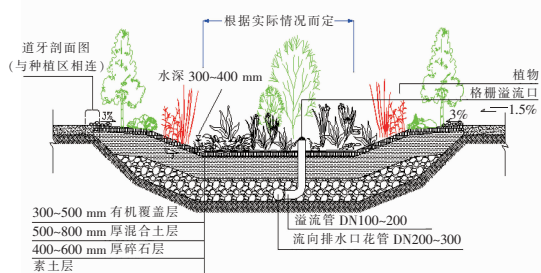


图2 雨水花园结构剖面图

Fig. 2 Cross-section of rain garden

在进行雨水花园植物选择时,宜考虑生物多样性和生态效果,景观植物(树木、灌木、乔木、草)应覆盖雨水花园地表部分,尽量避免出现裸露土壤;植物应能承受周期性的雨水淹没,淹没水深可达 0.3 m,时间达到 48 h;植物选配应考虑水循环效果和生态效果;植物选配和布置由景观设计师确定。

树池的断面形状和构造与雨水花园相似,但面积小于雨水花园,一般用于处理人行道的雨水。

1.4 透水铺装的设计要求及其注意事项

透水铺装是由透水性的面层、具有一定蓄水空间的透水性垫层(沙土、砾石层)构成的能够透水、滞留和渗排雨水的铺装地面,一般铺设在非机动车通行道路的公共场地,如休闲广场、步行街、宅间小路、小型停车场等。其结构设计一般从上到下为面层、找平层、垫层和土基:面层可采用透水砖、透水水泥混凝土或透水沥青路面,厚度一般为 60~80 mm;找平层厚度取 20~40 mm,宜采用干砂(20 mm)、碎石或石屑;垫层包括透水基层和透水底基层,厚度取

100~300 mm,可采用无砂混凝土、砾石、砂、砂砾料及其组合形式;根据工程需要确定在垫层内是否铺设排水花管,排水花管直径根据垫层厚度确定。透水铺装典型剖面见图 3。

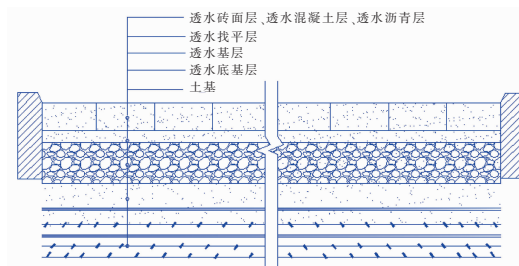


图3 透水铺装结构剖面图

Fig. 3 Cross-section of permeable pavement

透水层配合比及渗透率设计应注意:透水水泥混凝土按照《透水水泥混凝土路面技术规程》(CJJ/T 135—2009)设计,透水沥青路面按照《透水沥青路面技术规程》(CJJ/T 190—2012)设计,透水砖按照《透水砖》(JCT 945—2005)设计;找平层含泥量应小于 5%,含水量宜小于 3%;基层采用的砂砾石含泥量不应该大于 3%,且宜采用人工级配,筛去粒径 $<0.074 \text{ mm}$ 的土颗粒;无砂混凝土骨料(石)应分别采用 5~10、10~20 mm 的单一粒径的碎石,并严格控制针片状颗粒;石子粒径在 5 mm 以下的颗粒含量不应大于 35%,含泥量应小于 5%;透水底基层采用的砂石含泥量不应该大于 5%,含泥量 $<2\%$,含水率 $<3\%$ 。

渗水井及排水花管设计应注意:无砂混凝土或级配砂砾基层宜设置渗水井,渗水井直径为 1 500 mm,间距为 30 m,井中设级配砾石;在基层下设置连通孔(与地下透水层连通),连通孔直径为 300 mm,间距为 20 m,孔内设级配砾石;排水花管管径取 100~200 mm。

1.5 出口跌水设施的设计要求及其注意事项

出口跌水设施(见图 4)是在传统排水管道出口附近建造的主要用于处理雨水面源污染的一种生态雨水处理系统,一般由生态滞留池、消能砾石(块石)层和跌水堰等组成,可以滞留和净化雨水。出口跌水设施的位置和形状根据景观、出水流量、地形、地质条件、净化水质要求确定。生态滞留池的数量和深度根据地形、净化水质要求等确定,可参照雨水花园的相关规定进行设计;消能砾石(块石)层根据出水流量和流速进行设计;跌水堰根据景观要求、

地形条件、所用材料进行设计。生态滞留池的植物选择可参照《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005—2010)的相关规定执行。

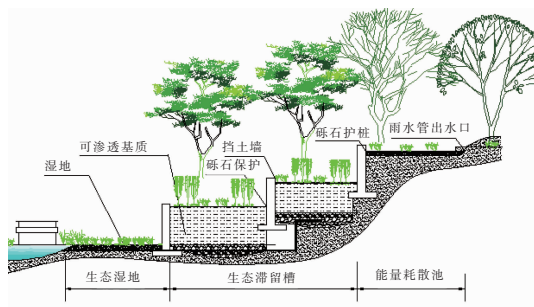


图4 出口跌水设施断面示意图

Fig. 4 Cross-section of outfall system

2 设计案例

2.1 深圳市登良路LID设施

登良路位于深圳市南山区,属于深圳市后海湾填海区(北区)市政工程,道路类型为双向四车道,绿化面积约为18 450 m²。考虑到成本及景观效果等因素,LID设施包括位于道路两侧的绿化带、中央隔离带的自然排水系统和创业路与登良路交叉路口的两个雨水花园。道路绿化结合LID设施的特点进行设计,地表植物以本地耐旱灌木和乔木为主,以“乔-灌-草”多层结构模式、自然式群落组合配置。道路与LID设施同时施工,于2015年3月开工建设,预计2016年8月完工。完工后的登良路将是深圳市中心区第一条LID道路(见图5)。

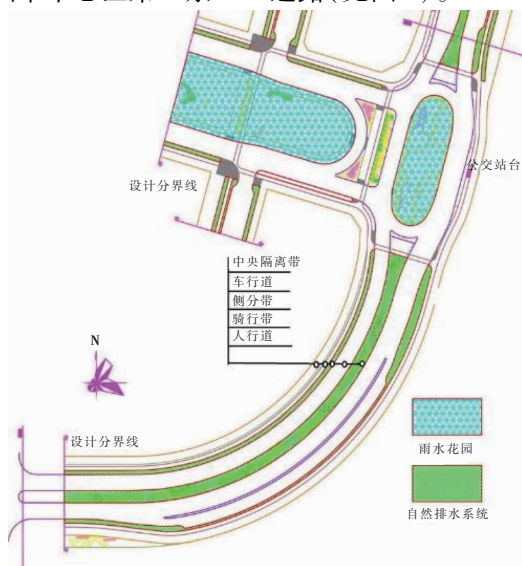


图5 登良路生态排水系统及雨水花园平面图

Fig. 5 Layout of ecological drainage system and rain garden

登良路LID设施的设计方案由深圳大学建设工程生态技术研究所制订。考虑到深圳的降雨特性,LID设施按照25年一遇最大日降雨量(387 mm)进行设计,对应汇水面仅限于道路本身所在区域。为了在原有的景观基础上不占用额外的空间且能达到处理雨水径流的效果,所有LID设施均设置在绿化带内,不改变原来道路工程设计。植物种植土采用混合土(由当地土、沙土、椰糠和水厂底泥混合而成),有机质含量控制在8%~10%的范围内,渗透率>25.4 mm/min,充分保证雨水花园、自然排水系统内的地表积水在24 h内渗透至底部碎石层。底部碎石层埋设排水管,上部使用管顶加盖溢流口格栅的溢流管。考虑到安全性和尊重现有道路设计标准,保留了传统的雨水管网,LID设施内的排水花管收集的雨水就近排入传统的雨水管网。为了防止雨水冲刷,在雨水进入LID设施的入口处,均设置了防冲刷层;同时,在1.2 km长的线路上设置了3个流量观测点与水质监控点。

2.2 江廖肖村入口公路LID设施

龟峰江廖肖村旅游入口公路位于江西省弋阳县江廖肖村的世界遗产龟峰风景区,起点接320国道K614.538,终点接拟建游博路。主线全长1.22 km,主线道路红线宽22 m,横断面布置为3 m人行道+3 m绿化分隔带+10 m机动车道+3 m绿化分隔带+3 m自行车道。道路的汇水面积为26 840 m²。考虑到区域地理、气候、地质、工程投资等因素,LID设施设计目标确定为:①根据弋阳的降雨特点,LID设施的排水能力按弋阳25年一遇最大日降雨量(214.7 mm)进行设计,对应汇水面仅限于道路本身所在区域;②年径流总量控制率达到85%,对应设计降雨量为38.9 mm(《指南》最高要求);③削减面源污染,污染负荷减少70%以上(《指南》相关要求);④发生25年一遇24 h暴雨时,路面不得出现积水;⑤生态排水系统表层积水应在24 h内渗透至底部碎石层。

原来道路排水设计主要通过绿化分隔带排水(机动车道)和道路直接外排至路坡(人行道和自行车道),绿化分隔带排水通过软管及集水井形式收集后直接排入路坡。在国家实施海绵城市建设战略后,弋阳县政府要求采用生态排水系统对原设计进行修改。考虑到该道路施工已进行到路面铺设阶段,经过各方协商,最终LID设施的设计方案确定如

下:①将道路两侧绿化带改造为生态排水系统处理机动车道、非机动车道及绿化带自身的雨水,废除原设计机动车道的雨水口;②以路牙开口的形式将绿化带两侧的雨水径流引入生态排水系统;③径流通过设置在生态排水系统溢流井底部的排水管排往路堤边沟;废除绿化分隔带原有的集水井;④在生态排水系统中设置溢流井(检查井),用于排出超标径流;⑤原非机动车道设计的横坡坡向改为向生态排水系统倾斜,地表径流的水通过开口路牙进入生态排水系统;⑥所有排水设施均设置在绿化带内。

为比较传统设计方案和 LID 设施设计方案的效果,采用美国环境保护署开发的暴雨管理模型(SWMM)进行水文分析。表 1、2 列出了不同重现期 24 h 历时降雨情况下两种设计方案的径流量、流量峰值和径流系数的计算结果。可以看出,传统设计方案在不同重现期条件下的径流系数均大于 0.9,这说明道路绿化带没有起到滞留暴雨径流的作用。LID 设施设计方案对于 25 年一遇以下的暴雨事件的径流系数可控制在 0.5 以下,在 50 年一遇和 100 年一遇降雨下的径流系数也可控制在 0.6 以内。

表 1 5 年、10 年一遇 24 h 降雨情况下两种方案的径流量、流量峰值和径流系数对比
Tab. 1 Total runoff volume, peak flow and runoff coefficients for 5- and 10-year events

项 目	5 年一遇(153.4 mm)			10 年一遇(179.9 mm)		
	径流量/ m^3	流量峰值/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	径流系数	径流量/ m^3	流量峰值/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	径流系数
传统设计方案	3 798.64	0.286	0.92	4 512.03	0.372	0.93
LID 设计方案	1 632.90 (57.0%)	0.042 (85.3%)	0.40 (56.5%)	1 915.86 (57.5%)	0.059 (84.1%)	0.40 (57.0%)

注: 括号内数值为削减率。

表 2 25 年、50 年、100 年一遇 24 h 降雨情况下两种方案的径流量、流量峰值和径流系数对比
Tab. 2 Total runoff volume, peak flow and runoff coefficients for 25-, 50- and 100-year events

项 目	25 年一遇(214.7 mm)			50 年一遇(241.6 mm)			100 年一遇(269.3 mm)		
	径流量/ m^3	流量峰值/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	径流系数	径流量/ m^3	流量峰值/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	径流系数	径流量/ m^3	流量峰值/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	径流系数
传统设计方案	5 449.74	0.449	0.94	6 174.57	0.509	0.95	6 922.98	0.571	0.96
LID 设计方案	2 702.10 (50.4%)	0.141 (68.6%)	0.47 (50.0%)	3421.31 (44.6%)	0.332 (34.8%)	0.53 (44.2%)	4 163.78 (39.8%)	0.497 (13%)	0.58 (39.6%)

注: 括号内数值为削减率。

图 6 为 85% 年径流控制率情况下两种设计方案的流量变化。相对于年径流总量控制率为 85% 的设计降雨(38.9 mm), LID 设施的径流量基本为零,满足《指南》中 85% 年径流总量控制率的要求。

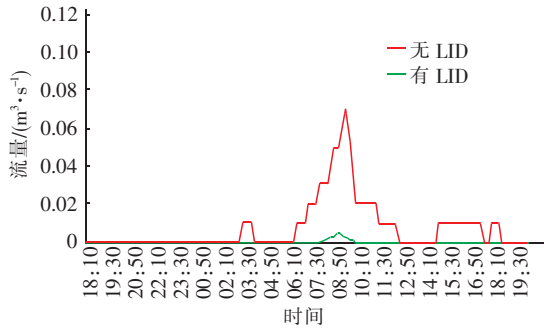


图 6 85% 年径流控制率情况下两种设计方案的流量变化
Fig. 6 Hydrographs of the two schemes for 85% annual runoff control

从模拟结果来看, LID 设施设计方案可将径流

量、径流峰值、径流系数降低 40% ~ 60%, 这也表明道路 LID 设施对控制城市内涝有明显的减排效果。

2.3 汉中兴元新城丝绸西路 LID 设施

丝绸西路位于陕西省汉中市兴元新区。该区域多年平均降雨量为 871.8 mm, 暴雨多集中在 7 月—9 月。观测资料表明, 10 年一遇以上降雨时兴元新区即发生内涝。因此采用 LID 技术进行新区规划, 并要求所有未建道路采用 LID 设计, 对已建成的道路采用出口跌水设施进行改造。兴元新区 LID 规划已于 2015 年 9 月完成, 施工图于 2015 年 10 月完成。

丝绸西路长为 4 164 m, 红线宽度为 40 m, 道路纵坡为单一坡向, 最大和最小纵坡坡度分别为 2% 和 1%, 道路横向坡度为 2%。

根据丝绸西路地形地貌、气象、水文和工程地质等特征, 丝绸西路 LID 设施设计的原则确定为: ①生

态排水系统可处理一年一遇 24 h 降雨,对于大暴雨(大于 10 年一遇 4 h 降雨)也可安全有效地收集和排放雨水;②生态排水系统中的积水应在 24 h 内排至混合土 0.5 m 深处或以下的位置;③暴雨时超出 LID 设施能力的径流入溢流口,保证道路不积水。

LID 设施设计主要是对传统排水设计进行修改,将设置在机动车道与非机动车道之间的绿化带改造为生态排水系统,原绿化带宽度不变。生态排水系统表面高程设计低于机动车道与非机动车道 0.2 m,机动车道与绿化隔离带之间设有马路牙,马路牙每隔 30 m 设置开孔,目的是使污染较严重的初期雨水通过重力流作用沿孔口顺畅汇流至生态排水系统内。因降雨强度大而来不及下渗的雨水则经溢流管排至现有的市政排水管网,为防止生态排水系统下渗雨水对路基造成破坏,生态排水系统的侧壁设计了防渗层。生态排水系统剖面见图 7。

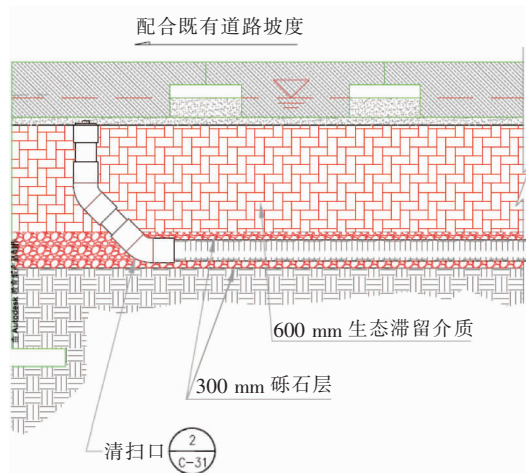


图 7 丝绸西路生态排水系统剖面图

Fig. 7 Section of ecological drainage system of West Silk Road

3 结语

道路 LID 设施是控制城市内涝和面源污染的主要措施,也是海绵城市建设的核心内容之一。首先,对道路 LID 设施的主要构成部分(生态排水系统、雨水花园、透水铺装、出口跌水设施)的设计要求进行了描述;其次,对位于不同气候地区的三条道路的 LID 设施的设计进行了分析。这三条道路的共同特点是将绿化带改造为生态排水系统,其中,登良路和丝绸西路保留了原来的排水系统,而江廖肖村入口公路则取消了传统的排水管网。

江廖肖村入口公路 LID 设施设计案例综合考虑

项目所在区域的气象条件、工程地质、水文地质和使用要求等特点,对 LID 设计原则、处理和滞留目标及 LID 设施占地面积等内容进行精心设计,并通过设计方案减排效能的模拟分析量化评价了道路 LID 设施设计相对于传统开发模式的优越性,其设计目标的确定、LID 设施方案和水文模拟方法可以为我国海绵型道路建设提供借鉴,特别是没有保留传统排水管网,是国内第一个真正意义的道路 LID 工程。

登良路和丝绸西路 LID 设施设计是国内目前主要推广的形式,LID 设施与传统排水管网并存,虽然增加了 LID 设施,但传统排水管网的管径没有做任何改变,增加了工程成本,这主要是目前国内过时的规范和甲方怕承担责任造成的。

江廖肖村入口公路 LID 设施已于 2015 年 11 月完工,登良路和丝绸西路正在施工,从已完工的路段来看,工程质量均没有达到设计要求,所以,设计人员应经常到现场监督施工人员按图纸施工,不能画完施工图就算项目结束,同时,业主单位应在签订合同时要求设计人员进行现场指导,并支付现场指导费。

参考文献:

- [1] 丁年,胡爱兵,任心欣. 深圳市光明新区低影响开发市政道路解析[J]. 上海城市规划,2012,(6):96-101.



作者简介:刘建(1965 -),男,河南封丘人,博士,教授, PMP, 主要从事水环境治理、海绵城市、地下综合管廊、绿色建筑及可持续管理方面的研究工作。

E-mail: liujian@szu.edu.cn

收稿日期:2016-03-25