

海绵城市

厦门市灌新路海绵设施设计特色

陈自强

(厦门中平公路勘察设计院有限公司, 福建 厦门 361008)

摘要: 厦门市灌新路设计等级为城市快速路,标准路基宽度为60 m,道路全长为10.11 km,贯穿厦门市海绵城市试点片区,主管部门和业主单位对LID设计提出较高的要求。设计结合建设条件及规划要求,通过最不利径流分析对道路标准断面进行优化,创造性地研究和应用了路基侧向防渗围挡、隐蔽格栅路缘石开口、卵石溢流堰等LID设施配套构筑物,并提出对下凹式绿地和下沉绿地区别应用的设计思路,设计特色较为鲜明。

关键词: 海绵城市; 道路海绵设计; LID设施

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2018)10-0001-06

Characteristic Design of the Sponge Facilities for Guanxin Road in Xiamen

CHEN Zi-qiang

(Xiamen Zhongping Highway Survey and Design Institute Co. Ltd., Xiamen 361008, China)

Abstract: Guanxin Road of Xiamen City is designated as urban expressway, with the standard roadbed width of 60 meters and a total length of 10.11 km. The road runs through the pilot sponge area in Xiamen City. Therefore, the competent authorities and the owner's unit put forward stringent requirements on LID design. After the construction condition was combined with the planning requirements, the standard section of the road was optimized based on the most unfavorable runoff analysis. The LID facility supporting structures, such as anti-seepage barrier for roadbeds, open curb with concealed grille and pebble overflow cofferdam, were creatively investigated and applied. And then, the design idea of difference application between the concave green lands and the sunken green lands was presented, which had the distinguished design features.

Key words: sponge city; road sponge design; LID facility

2015年厦门市被列为首批海绵城市建设试点城市,秉承“自然积存、自然渗透、自然净化”的海绵城市建设思想,积极探索适宜本地、经济有效的海绵城市建设道路。2016年厦门市相继发布了《厦门市海绵城市建设技术规范(试行)》(以下简称《厦门技术规范》)、《厦门市海绵城市建设技术标准图集(试行)》(以下简称《厦门海绵图集》)以及施工验收等多项标准,地方标准和规划体系逐渐完善,海绵技术与城市建设融合的成果亦日益显著。

1 项目概况

厦门市灌新路北起集美区324国道,南至海沧区翁角路,是厦门市“两环八射”快速路网的重要骨干路段,也是连接集美区和海沧区的重要南北通道,道路设计等级为城市快速路,标准路基宽度为60 m,全长为10.11 km,是集互通立交、海底隧道、综合管廊、海绵城市等功能设施的重要示范性道路。灌新路全线分为4个独立分段项目,A、B、C三段于2014年—2016年已陆续开工建设,D段(马銮湾核

心区)地面层道路目前处于方案设计阶段。

灌新路的海绵设计内容包括两大部分,市政道路海绵设计(含LID绿化带、透水路面、开口路缘石等)和立交范围海绵设计(含微地形、湿塘、生态排洪渠等),具有一定的设计研究特色。

灌新路海绵设计段地理位置见图1。

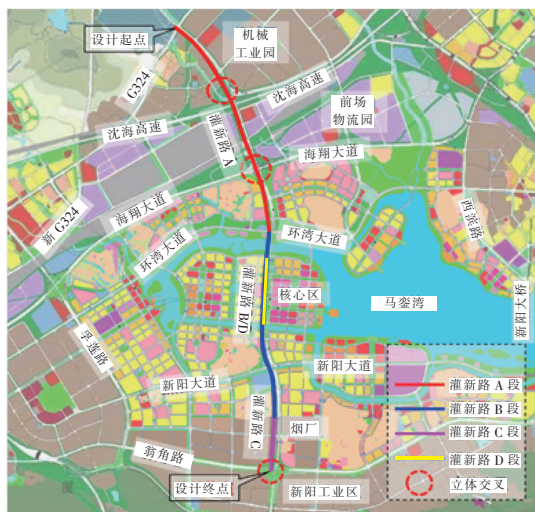


图1 地理位置

Fig. 1 Geographic location diagram

2 设计特色

2.1 标准断面优化与径流分析

① 原规划标准断面情况(方案一)

灌新路原规划标准断面采用常规四幅路,路基宽度为2 m(中分带)+2×11.5 m(机动车道)+2×2 m(侧分带)+2×7.5 m(辅道)+2×1.5 m(侧绿化带)+2×2.5 m(非机动车道)+2×1.5 m(树池)+2×2.5 m(人行道)=60 m(见图2),原道路范围内的5处绿化带(含中分带、侧分带、侧绿化带)宽度均为1.5~2.0 m,绿化设施局限性较大,直接设置海绵设施效果不理想。

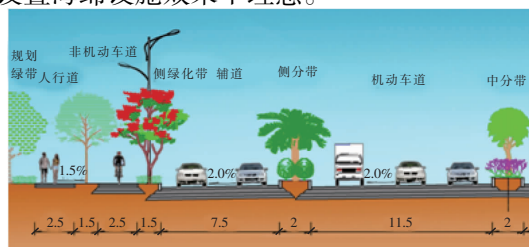


图2 灌新路原规划标准断面

Fig. 2 Standard section of the original planning of Guanxin Road

② 标准断面优化(方案二)及径流计算分析

按照厦门本地的习惯做法,辅道和慢行道的横坡均向侧绿化带倾斜,侧绿化带径流收纳面积在道路范围内占较大的比重,采用1.5 m宽度,对径流的调蓄和下渗制约较大。经与规划部门协调,结合《厦门海绵图集》四幅快速路断面方案,对标准断面进行局部调整,取消1.5 m宽树池,侧绿化带宽度增加到3 m(见图3),并在规划70%径流控制率(降雨量为26.8 mm)下,对侧绿化带宽度分别为1.5 m(方案一)和3 m(方案二)的径流收纳效果进行分析比选。

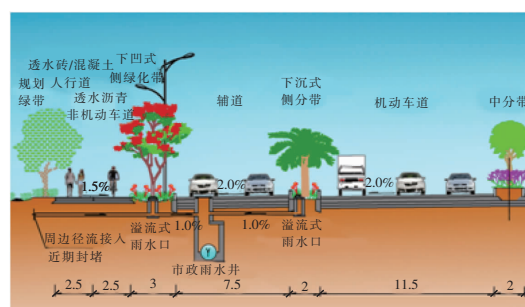


图3 灌新路优化标准断面

Fig. 3 Optimized standard section of Guanxin Road

考虑正常工况和特殊工况(最不利工况)两种情况,其中透水非机动车道和透水人行道特殊工况主要为粉尘或径流污染造成空隙堵塞和衰减失效情况,绿化带特殊工况主要为树叶等有机物覆盖造成的空隙透水率减少情况。径流系数取值见表1。

表1 正常和特殊工况下径流系数取值

Tab. 1 Runoff coefficient of normal and special case

项 目	非透水辅道	绿化带	透水人行道	透水非机动车道
正常工况	0.85	0.15	0.20	0.20
特殊工况	0.90	0.30	0.60	0.60

侧绿化带径流调蓄效果分析结果(见表2)表明,在70%径流控制率下,方案一侧绿化带所需要的蓄水深度为方案二中侧绿化带的2倍,正常工况下方案一最大水深为0.212 m,特殊工况下最大水深为0.297 m,高于《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》)2.3.1条规定值,且考虑辅道路面结构层襟边实际占用0.4~0.6 m宽度的绿化带(《指南》中3.2.2条),实际调蓄深度会进一步加大。方案二正常调蓄计算调蓄深度为0.105 m,最大调蓄深度为0.143 m,符合《指南》中2.3.1条要求,且设施下沉

幅度小,视觉效果和安全性较好。方案二断面由于取消树池,人行道存在遮阴不足的情况,经与业主和规划部门沟通,于道路红线外两侧规划防护绿带内各种植一列乔木(利用原设计树池工程量)进行遮阴,提高人行道通行舒适性。

表2 侧绿化带径流调蓄效果分析结果

Tab.2 Analysis results of runoff storage effect of side green belts

项 目	方案一		方案二	
	一般工况	特殊工况	一般工况	特殊工况
每延米汇水宽度/m	辅7.5+绿1.5+非2.5+树1.5+人2.5		辅7.5+绿3+非2.5+人2.5	
加权径流系数	0.510	0.716	0.505	0.687
控制率/%	70(降雨量为26.8 mm)			
理论需求调蓄量/m ³	0.212	0.297	0.210	0.285
调蓄设施宽度/m	1.5		3	
下凹式绿地平均调蓄水深/m	0.212	0.297	0.105	0.143
海绵设施设计下沉深度/m	0.25	0.35	0.15	0.20

注: ①计算过程采用短时暴雨的不利情况,短时过程不考虑土壤缓慢下渗影响;②侧绿化带采用下凹弧形过水断面计算。

2.2 下沉式和下凹式绿化带区别应用

① 下沉式和下凹式绿化带的规范现状

下沉式和下凹式绿化带均为目前国内对海绵城市绿化带的常用表述,现行的海绵相关规范未对下沉式和下凹式绿化带进行区分,《指南》和厦门市《海绵城市建设工程材料技术标准(试行)》(DB 3502/Z 5011—2016,以下简称《厦门材料标准》)等标准采用“下沉式”表述形式,《城市道路与开放空间低影响开发雨水设施图集》(以下简称《国家图集》)和《厦门技术规范》等标准采用“下凹式”表述形式。现阶段海绵城市绿化带设计,也存在平底下沉式和弧底下凹式两大类,主要根据设计需求进行应用。灌新路的侧分带和绿化带,根据进水流进方向和绿化带宽度条件,分别对平底下沉式和弧底下凹式进行区分设计应用。

② 下沉式和下凹式绿化带应用区分

灌新路侧分带主要接收机动车道一侧的径流,

如采用弧形底部,机动车道径流常年不易到达靠辅道一侧的半弧位置,且侧分带宽度仅为2 m,故侧分带考虑采用平底下沉式(见图4)。平底下沉式侧分带具有如下优点:a. 绿地横向水平,宽度较小的绿化带中径流与土壤接触面大,渗透条件好,绿地内植物(特别是地被植物)能得到较均衡灌溉;b. 同样水深,平底下沉的调蓄容积约是弧形下凹的1.5倍,滞水能力较好。平底下沉式对宽度受限、单侧地面进水或集中进水的侧分带较为适用。

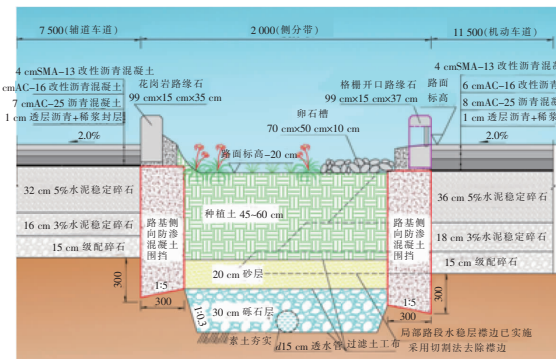


图4 下沉式侧分带和格栅开口路缘石

Fig.4 Sunken side green belts and open curb with grille

灌新路侧绿化带两侧分别接收辅道和非机动车道径流汇水,考虑绿化带宽度较大(3 m),如采用下沉平底+集中进水的形式,径流反而不易充分接触绿化带各部位。结合设施美观因素的考虑,侧绿化带采用弧形下凹式绿地+分散进水口的形式(见图5),下凹断面采用抛物线型,下凹深度 H 值根据计算取值。弧底下凹绿化带的优点如下:a. 弧形底部与两侧路缘石过渡平缓自然,较为美观;b. 路缘石的素混凝土后座可覆土并植草,外观效果较好。经表2计算,侧绿化带下凹0.2 m,满足片区径流控制要求。

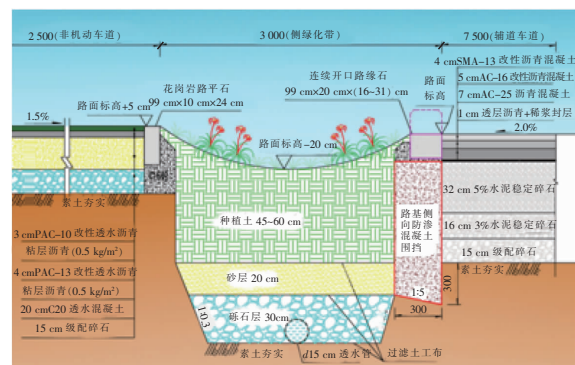


图5 下凹式侧绿化带和连续开口路缘石

Fig.5 Concave green belts and continuous open curb

2.3 路基侧向防渗围挡的研究应用

由于雨水下渗对市政道路(主要是路床和路面基层)的强度和稳定性会有一定影响,易形成路面病害,现阶段,高等级或大交通量道路的机动车道一般不采用透水路面,对半透水路面的使用也较为谨慎。当前市政道路的雨水下渗,主要在下沉(凹)绿化带(含分隔带)位置,防止绿化带雨水侧向渗透至机动车道路面结构层和路床,避免造成机动车道病害,成为市政道路海绵城市设计的一项重要内容。

① 防水材料耐久性与道路襟边占绿化带问题

现阶段 LID 绿化带设计还存在两个问题尚待研究完善,一个是路基侧向防渗膜的耐久性问题,一个是路面结构层襟边对绿化带的占用问题。

根据现有规范和图集,主要是在绿化带与路基路面之间设置复合防渗膜(两布一膜)进行防渗,复合防渗膜的内膜一般为聚乙烯(PE)或聚氯乙烯(PVC)等材料,材料厚度薄(常用厚度为1~2 mm),寿命受环境影响较大,耐久性难以保证。

现阶段的路面结构层施工过程中,根据结构层摊铺碾压需要,各底部结构层需比相邻上部结构层宽,一般情况下,下水稳层襟边比面层襟边加宽0.4~0.6 m;侧分带两侧均受襟边影响(一侧为机动车道,另一侧为辅道),被占用的宽度达到0.8~1.2 m,对于雨水下渗和植被生长均较为不利。

② 侧向路基防渗围挡设计

针对防渗材料耐久性和襟边占绿化带的问题,在灌新路侧绿化带(侧分带)与机动车道路面结构层之间各设置一道混凝土围挡,混凝土防渗围挡采用防水混凝土材料,耐久性较好;围挡结构设置于路缘石的正下方,既防止路面结构层襟边延伸至绿化带,又满足路面结构层施工需要(分别见图4和图5)。围挡规格根据路面结构厚度进行确定,围挡底部需低于路面结构层底部0.3 m,高度约0.9 m,厚度采用0.3 m。

③ 新旧道路防渗围挡施工顺序

新建道路的防渗围挡采用先行浇筑施工方案,于路床整平后,路面结构层实施前进行浇筑,围挡结合绿化带一并实施,围挡混凝土养护形成强度后再实施路面结构层。灌新路个别路段由于已先期完成水稳施工,故采用切割法施工方案(该方案后续可应用于旧路海绵改造项目),先对已实施路面襟边结构进行纵向切割,然后实施防渗围挡,最后实施

LID 绿化带。

2.4 两种路缘石开口组合应用

现行的海绵城市相关规范,开口路缘石形式、过流能力、间距设置和相关参数等标准尚未完善,各项路缘石设计也不尽相同。灌新路 LID 开口路缘石设计主要考虑三个因素:①满足路面径流排放需求;②外形与道路景观相互协调,过渡自然,造型美观;③有利于径流下渗、雨水浇灌和垃圾清理;④构造简单,易于批量生产制作。基于上述因素,结合 LID 绿化带下沉(凹)的具体形式,灌新路主要采用隐蔽式格栅开口路缘石集中进水和倒梯形(连续)开口路缘石分散进水组合应用。

2.4.1 侧分带采用隐蔽式格栅开口集中进水

侧分带雨水径流来自机动车道,路缘石开口面向机动车道,考虑灌新路为片区门户道路,机动车道过境交通量较大,路缘石开口除了满足过流能力外,还需重点考虑开口外形的隐蔽和美观,并与其他路段外形协调一致等因素。设计采用隐蔽式格栅开口(见图6)集中进水,开口尺寸为0.5 m×0.1 m,由1块凹型路缘石(单块路缘石长度为0.99 m)和1块压顶路缘石组成,开口设置于单块路缘石上,避免设置于两块路缘石接缝处,造成路面径流通过路缘石接缝处的缝隙长期渗入路面结构层,形成病害。路缘石开口内部设置隐蔽式球墨铸铁格栅,将路面异物阻隔于路边缘,避免异物进入侧分带,异物利用普通清扫车辆进行清理维护。

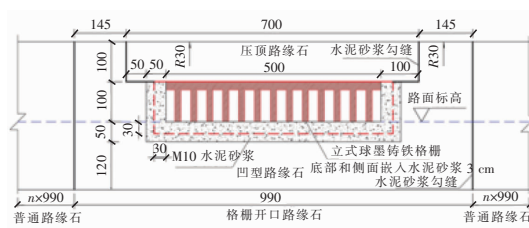


图6 隐蔽式格栅开口路缘石

Fig. 6 Open curb with concealed grille

结合平底下沉式功能,侧分带采用集中进水形式,经计算标准路段开口间距取10 m,部分加宽路段开口适当加密。为减缓水流冲刷,开口后方设置0.7 m×0.5 m的卵石槽,材料规格按照《建设用卵石、碎石》(GB/T 14685—2011)标准,选用20~80 mm的级配鹅卵石。

2.4.2 侧绿化带采用倒梯形开口分散进水

侧绿化带为辅道和非机动车道两侧进水,配合

使用弧形下凹绿地,路缘石采用分散开口,结合马銮湾片区统一风格,考虑采用倒梯形开口(见图7),梯形底宽为0.2 m,顶宽为0.5 m,上部外缘设置 $R=3$ cm小倒角,整个开口设置于单块路缘石上(单块路缘石长度为0.99 m)。

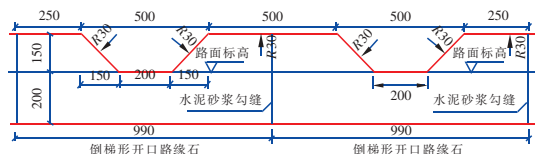


图7 连续倒梯形开口路缘石

Fig. 7 Continuous and inverted trapezoidal opening curbs

分散型开口间距的设置,首先应考虑让路面径流均匀进入绿化带,另外还应重点考虑路缘石的景观效果。灌新路部分早期路段海绵项目采用连续设置开口路缘石+下凹式绿地,与传统路缘石+绿化带外观效果有一定差异,在施工初期存在一些争议,项目景观绿化成型后,搭配的整体效果较为协调。根据现阶段建设经验,在绿化带宽度较大情况下,路缘石可连续设置开口,在绿化带宽度较小的情况下,开口路缘石可考虑与普通路缘石交错布置,适当增加开口间距。

2.4.3 路缘石开口的流量及间距计算

现行海绵规范尚无路缘石开口计算标准,参照《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2014年版,以下简称《排水规范》)中4.7.1条雨水口计算及参数的相关表述。开口的过水能力根据曼宁公式 $Q = Av(v = R^{2/3}I^{1/2}/n)$ 计算,坡度 I 取0.5%,粗糙系数取0.014,一般情况下开口过水能力按照5 cm路面水深测算(开口充满度为50%),最不利情况下积水深度取10 cm(满流)。经计算,灌新路隐蔽式矩形开口一般情况下过水能力为16.34 L/s,最不利积水情况下过水能力为30.35 L/s,开口间距采用一般情况下的流量16.34 L/s进行计算。

矩形开口考虑铸铁格栅的影响,取折减系数为0.7,根据《排水规范》中4.7.1A条文说明,立式开口异物堵塞折减10%,格栅开口实际设计流量为 $16.34 \times 0.7 \times 0.9 = 10.29$ L/s。根据厦门市暴雨强度公式,机动车道5年重现期的单位面积径流量为 $434.40 \times 0.9 \times 10^{-4} = 0.039$ L/(s·m²),标准段3车道机动车道(11.5 m)格栅开口的最大间距: $10.29 \div (0.039 \times 11.5) = 23$ m,进、出辅道开口或

路口等加宽路段按4车道机动车道(14 m)计算最大间距: $10.29 \div (0.039 \times 14) = 19$ m。

侧分带格栅开口的景观效果(开口数量)与绿化带径流冲刷影响(径流大小)之间存在一定矛盾。开口间距越大,开口数量越少,景观效果越好,但是开口处的流量就越大,集中径流对植被及土壤的冲刷影响越不利;反之,开口间距越小,径流冲刷影响就越小,但开口较密集对景观有一定不利影响。根据上述计算结果,灌新路机动车道路缘石开口的最大设置间距为19~23 m(5 cm积水深度,过流能力为10.29 L/s),综合考虑景观与径流冲刷因素,灌新路侧分带开口路缘石间距取10 m,根据上述公式反算得出开口过水深度约3.0~3.4 cm(充满度为30%~34%,过流量为4.6~5.6 L/s),排水指标与效果较协调。

侧绿化带倒梯形开口结合片区统一风格采用连续开口分散进水,开口过水能力完全满足路面径流量,且实际流量和植被冲刷均较小,因此无需进行间距计算校核。

2.5 卵石溢流堰的运用

路面径流进入绿化带和侧分带后,需要进行充分的滞留和下渗,并使超标的径流有效进入(市政管渠等)行泄通道,避免造成道路纵向低点积涝。特别是部分纵坡较大的路段,绿化带径流流速较大,且无法有效滞留和下渗,易造成纵坡高点径流迅速排空,纵坡中部径流无法分段进入溢流式雨水口,纵坡下游低点及周边大量积水等情况。

灌新路侧绿化带和侧分带内运用小型透水围堰进行阻水和溢流。溢流堰^[1]主要运用于以下两种情况:

① 配合溢流式雨水口使用

溢流堰紧挨溢流式雨水口设置于下游一侧,溢流堰设置高度等于或略高于雨水口溢流高度,保证径流有效溢流进入对应雨水口进行行泄,灌新路溢流式雨水口溢流高度取10 cm,溢流堰取11 cm,顶宽采用20 cm,底宽采用42 cm。

② 设置于绿化带和侧分带一般路段

对纵向径流进行分段阻水滞留,并形成一定的调蓄容积,溢流堰高度等于或略高于计算调蓄深度,灌新路绿化带溢流堰高度根据表1计算结果,计算调蓄深度为10.5 cm,溢流堰取值为11 cm,规格与雨水口配套溢流堰取值一致,便于施工。

一般路段溢流堰的设置间距应根据道路纵坡进行取值,根据 $L = h/i$ (L 为间距, h 为堰高, i 为纵坡), $i < 1\%$ 时的间距取 10 m, $1\% \leq i < 2.5\%$ 时的间距取 5 m, 其他坡度对应间距以此类推, 并灵活设置。

③ 溢流堰的材料选择

在溢流堰的材料选择上, 应重点考虑功能需求和景观效果两个因素。溢流堰主要功能是降低径流速度, 对径流形成滞留和一定调蓄容量, 材料可选择鹅卵石、砾石或者外嵌卵石的透水混凝土等, 考虑鹅卵石材料景观效果较好, 故灌新路溢流堰的材料选用 20 ~ 80 mm 级配卵石进行堆砌, 与卵石槽材料一致, 执行《建设用卵石、碎石》(GB/T 14685—2011) 标准。

3 结语

灌新路人行道主要采用透水混凝土和透水砖两种路面结构, 非机动车道采用全透水沥青路面结构, 分为彩色(深绿色)沥青和普通沥青两种材料, 人行道和非机动车道材料根据道路所处片区要求分段使用。

灌新路各路段建设过程贯穿厦门市海绵试点建设期三年, 其中环湾大道至烟厂路段(处于施工阶段)和马銮湾核心区段(方案设计阶段)均位于厦门海绵试点区域内, 主管部门和业主单位对海绵城市设计与施工均提出较高的要求。灌新路(环湾大道至烟厂路段)项目获得 2017 年度全国优秀勘察设计三等奖和福建省优秀勘察设计一等奖。灌新路海绵城市对侧向路基防渗围挡、格栅路缘石开口、卵石溢

流堰等配套构筑物, 以及对下凹式绿地和下沉绿地等设施的设计研究取得一定成果, 也发现了一些不足之处, 后续海绵城市设计和研究工作依然任重道远。

参考文献:

- [1] 王宁. 厦门海绵型城市道路改造设计方案探讨[J]. 中国给水排水, 2016, 32(22): 112 - 116.
Wang Ning. Discussion on design schemes for urban road reconstruction based on sponge city concept in Xiamen [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(22): 112 - 116 (in Chinese).



作者简介: 陈自强(1981 -), 男, 福建莆田人, 大学本科, 高级工程师, 从事海绵城市、综合管廊、市政道路设计研究工作。

E-mail: 25597303@qq.com

收稿日期: 2018 - 01 - 17

积极践行人与自然和谐共生理念
全面加强水生态文明建设