

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.02.005

浅表流排水系统规划实践研究

汤 钟¹, 丁一鸣¹, 张 亮¹, 俞 露¹, 陆利杰², 蔡姍姍³

(1. 深圳市城市规划设计研究院股份有限公司, 广东 深圳 518028; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司 北京分公司, 北京 100044; 3. 中国城市规划设计研究院深圳分院, 广东 深圳 518000)

摘 要: 浅表流排水系统作为一种创新型的排水理念,采用生态措施组织雨水径流于地表排放,因与地下污水管网系统分离建设,故可在提升排水系统生态效益的同时,实现雨污分流、降低运维费用和管养难度、便于雨水系统管理等城市水务建设管理诉求。基于浅表流排水理念,提出构建场地地表排水-市政明沟排水-河道绿廊排水三级浅表流排水体系的总体规划思路和分级规划策略,并以深圳市某片区规划设计实践为例,提出区域级浅表流排水系统规划建设方案,并进行综合效益分析。

关键词: 雨污分流; 运营维护; 浅表流排水系统; 效益分析

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)02-0031-07

Research on Planning and Implementation of Surface Drainage System

TANG Zhong¹, DING Yi-ming¹, ZHANG Liang¹, YU Lu¹, LU Li-jie², CAI Hua-hua³

(1. Urban Planning & Design Institute of Shenzhen, Shenzhen 518028, China; 2. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100044, China; 3. Shenzhen Branch, China Academy Urban Planning & Design, Shenzhen 518000, China)

Abstract: As an innovative drainage concept, the surface drainage system utilizes ecological measures to organize the surface discharge of rainwater. Constructed separately from the underground sewage pipe network system, it not only enhances the ecological benefits of the drainage system but also fulfills urban water construction and management requirements. This includes fully implementing rain and sewage diversion, reducing operation and maintenance costs and management complexity, and facilitating rainwater system management. Based on the concept of surface drainage, the overall planning idea and hierarchical planning strategy aim to establish a three-level surface drainage system comprising site surface drainage-municipal open ditch drainage-river green corridor drainage. Taking a district in Shenzhen as an example, a regional-level surface drainage system planning and construction plan was proposed, and accompanied by a comprehensive benefit analysis.

Key words: rain and sewage diversion; operation and maintenance; surface drainage system; benefit analysis

2020年11月,《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》(以下简称《建议》)正式印发,文件要求广泛形成绿色生产生活方式、生态环境根本好转。海绵城市建设虽然增加了城市的生态性,但更多体现在“源头滞蓄”和“末端治理”上,而“过程控制”主要依靠排水管道系统,基本不具备生态效益。

同时《建议》提出,治理城乡生活环境,基本消除城市黑臭水体。而城市水体黑臭的主要原因之一便是排水管网的雨污混流、错接乱排。国务院出台的《水污染防治行动计划》也提出,现有合流制排水系统应加快实施雨污分流改造,除干旱地区外,城镇新区建设均实行雨污分流制。虽然近年来国内各城市积极推进排水管网雨污分流建设工作,但由于地下空间有限、老旧管网排查困难、精准施工难度大等客观原因,基本无法做到真正意义上的完全的雨污分流,部分区域排水管网改造后甚至出现雨污混流“返潮”现象。此外,排水管道的运营维护往往存在耗资大、检测力度不足、养护技术落后等问题。如何解决城市排水管网雨污混流、排水系统生态效益差、排水系统运维费用和难度高等问题,已经成为政府管理者和相关从业人员的实际诉求。

1 浅表流排水理念

浅表流排水系统采用植草沟或生态排水沟等设施,可使雨水通过地表排放。由于与地下污水管网系统分离建设,因此浅表流排水系统的实施在做到真正意义上雨污分流的同时,也改善了排水系统的生态效益。此外,雨水排放通道设于地表,易管理维护,故浅表流排水系统的实施也降低了城市排水系统的维护成本和安全隐患,可实现区域雨水的有效管控。浅表流排水理念如图1所示。

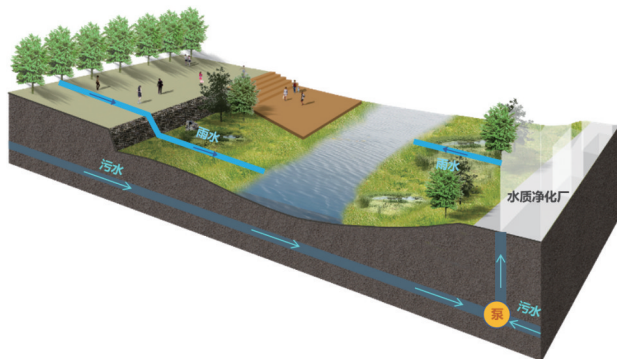


图1 浅表流排水理念示意

Fig.1 Schematic diagram of surface drainage concept

2 浅表流排水系统总体规划思路

2.1 体系构建

截至目前,国内外在区域级应用浅表流排水理念的案例较少,浅表流排水系统规划也缺乏体系性。为此,提出构建场地地表排水-市政明沟排水-河道绿廊排水三级排水体系,从源头、过程、末端多层次论述浅表流排水系统的构建方法。其中,一级系统利用地块内的绿色屋顶、下凹式绿地、雨水花园等海绵设施收集场地雨水,采用植草沟、排水沟等设施输送雨水;二级系统结合市政道路的建设同步构建,采用生态排水沟、地表排水渠等明沟排水方式;三级系统利用区域内河道、绿廊等设置多功能调蓄、调蓄设施,削减径流峰值,净化面源污染。浅表流排水系统技术路线和三级排水系统示意分别见图2和图3。

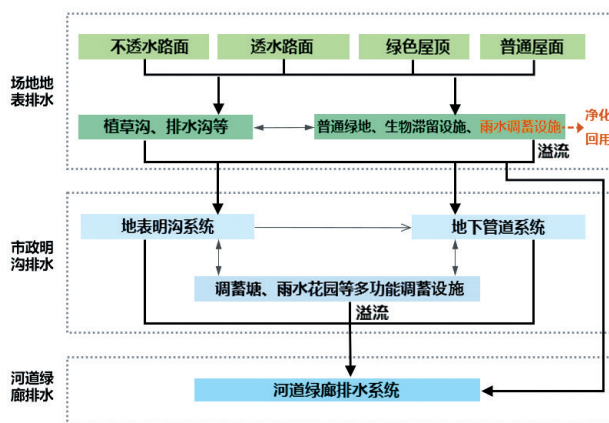


图2 浅表流排水系统技术路线

Fig.2 Technical roadmap for surface drainage system



图3 浅表流三级排水系统示意

Fig.3 Schematic diagram of three-level drainage system for surface drainage

2.2 区域实施条件分析

结合浅表流系统三级排水体系的构建特点,研

究分析得出,浅表流排水系统的构建需借助一定的区域建设情况和本底条件,其中主要因素有四项:竖向条件、开发计划、水系情况和建设密度。

① 竖向条件

因浅表流排水系统主要依靠重力流排放雨水,故区域竖向条件是系统构建最为重要的因素。所选区域整体需具有一定的地形坡度,且地面单向坡向接纳水体,以便于重力流排水。

② 开发计划

浅表流排水系统作为一种新型的雨水排放理念,需结合城市建设同步落实,故所选区域应具有城市开发或更新改造计划,便于浅表流排水系统的落地实施。此外,所选区域不能存在重度污染风险,区域用地以学校、商业、办公等为宜。

③ 水系情况

浅表流排水系统以地表排水方式为主,越是处于系统下游的排水通道其水安全问题隐患越大,排水通道所占用的地面空间也越大。故浅表流排水系统的构建应选择具有现状天然河道、人工渠道或者计划新开河道的区域,且区域河网密度较高,便于雨水就近排放。

④ 建设密度

相较于传统地下管道排水系统,浅表流排水系统需占用一定的地面空间,故应选择建设密度较小、地面空间充足的区域进行建设,避免城区大规模改造。

3 浅表流系统分级规划策略

3.1 一级场地地表排水系统

① 设施选用与雨水径流组织

城市地块作为排水系统的源头,除组织径流雨水合理排放外,也应注重对雨水的收集利用。基于此,提出优先利用场地内海绵设施进行雨水滞蓄,再通过浅表流排水系统实施雨水排放。具体设施的选用与径流组织关系为:场地内较低的建筑屋面设置绿色屋顶,建筑雨水立管以断接的方式排放屋面雨水;利用地块内较低位置的绿地,建设雨水花园或下凹式绿地等设施,以收集、处理路面及屋面雨水;最后利用合理的竖向设计,将场地内收集的径流雨水引入植草沟、排水沟等浅表流一级排水设施,进行场地雨水的排放。

建筑小区类与公园绿地类项目浅表流排水系

统径流组织技术路线如图4所示。

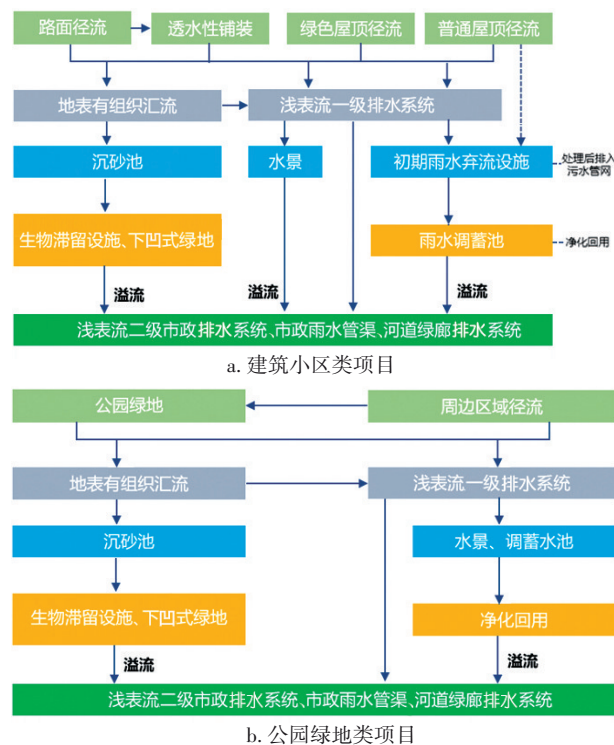


图4 不同建设项目的浅表流排水系统径流组织技术路线

Fig.4 Technical roadmap for runoff organization of surface drainage system in different projects

② 设计形态方案

因浅表流排水系统占用地面空间,因此排水设施的设计形态尤为重要。结合一般场地景观设计特点,提出景观化和隐蔽化两种浅表流排水设施设计形态方案。当地块内建设空间充足时(如公园绿地项目),宜结合景观设计,在满足功能性的前提下突出景观元素,将一级浅表流排水通道以艺术化水景形式展现,提高场地环境品质;当地块内空间条件有限时(如建筑小区项目),可对浅表流排水设施进行隐蔽化处理,以功能性为主,其装饰性需与环境融合,不宜过分突出,见图5。



图5 浅表流排水系统景观化、隐蔽化处理示意

Fig.5 Schematic diagram of landscaping and concealed treatment of surface drainage system

③ 地块统筹竖向管控

浅表流排水系统为重力流地表排水系统,为避免城区内涝风险,在开发前应对片区内各个地块的竖向设计进行管控,通过分析地面竖向高点、地面竖向低点、雨水径流路径等因素,限制地块和市政道路排水系统接驳点的最低开发标高,以确保地块内的雨水科学地排入市政浅表流排水系统。

3.2 二级市政明沟排水系统

① 设施选用与基本要求

浅表流二级排水设施一般沿市政道路建设,用于承接周边地块及市政道路产生的径流雨水,通常采用生态排水沟和排水沟渠两种形式(见图6)。排水沟渠类似于道路明渠,具有运营维护成本低、排水能力强的特点,但生态性能相对较差,建设成本较高;生态排水沟区别于传统工程所用的硬质排水沟渠,是在沟底及沟壁采用植物措施或植物措施结合工程措施防护的地面排水通道,具有造价低、景观效果好、生态效益高等优点。故推荐优先采用生态排水沟进行排水。



a. 排水沟渠 b. 生态排水沟

图6 排水沟渠、生态排水沟示意

Fig.6 Schematic diagram of drainage ditch and ecological drainage ditch

浅表流二级市政明沟排水系统一般为重力流输送雨水,最小设计流速为0.4 m/s,生态排水沟排水断面内不宜种植灌木、乔木等对水流产生明显阻碍的植物;地表排水沟渠最大设计流速为4 m/s,而生态排水沟因沟道中种植地被植物,故需限定最高流速,以防止流速过快而冲蚀排水沟的植被及土壤,一般设计最大流速为1.6 m/s。当因道路坡度问题导致生态排水沟内流速过大时,可通过设置溢流坝、植草格护坡、底部散铺碎石等技术措施进行排水系统加固、减缓水流速度处理。

浅表流二级市政明沟排水系统沿道路两侧敷设,当道路附属绿化宽度不足且其他建设空间有限时,考虑协调道路两侧地块退线布置,排水明沟也

应与其他市政管线预留安全净距,避免冲突。此外,部分区域因场地竖向条件限制,明沟系统只能逆坡布置而导致沟渠底部埋深较大时,建议采用盖板渠的形式建设或在明沟两侧设置防护栏杆,以保证行人安全。

② 设计标准与方法

浅表流排水系统设计标准根据区域上位规划水安全相关要求确定,暴雨强度公式采用当地政府出台的计算公式,参照国家相关标准,利用以下公式进行规模计算:

$$Q_s = q\Psi F \quad (1)$$

$$Q = Av \quad (2)$$

$$v = R^{2/3} I^{1/2} / n \quad (3)$$

式中: Q_s 为雨水设计流量,L/s; Ψ 为径流系数; F 为汇水面积,km²; q 为设计暴雨强度,L/(s·km²); Q 为浅表流输送能力,L/s; A 为断面面积,m²; v 为流速,m/s; R 为水力半径,m; I 为水力坡度;n为曼宁系数。

此外,建议在浅表流下游排水系统或重要排水通道处设计超标雨水溢流通道,接入周边市政雨水管网或河道、绿廊,同时设置雨水排放兜底措施,进一步保障水安全。

③ 路口处穿路布设方案

因浅表流排水系统主要为地表排水,如何“过路”输送雨水成为实施难点。在保障区域水安全及景观要求的前提下,经多种过路方案比选,提出“源头地表排水,雨水管网串联”的二级市政明沟排水系统布设思路,即临近浅表流三级排水系统(河道、绿廊)的地块,采用地表排水方式就近排放雨水;距离三级系统较远的地块,源头采用地表排水方式,过路处及下游系统利用雨水管道输送径流雨水至河道或绿廊,具体过路方式如图7所示。

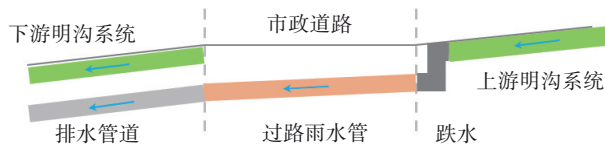


图7 浅表流排水系统穿路布设方案

Fig.7 Layout plan for surface drainage system crossing road

④ 设置多功能调蓄空间

浅表流二级排水系统沿市政道路转输雨水时,可在有条件的道路节点设置调蓄空间,实现雨水滞蓄、净化。多功能雨水调蓄空间结合城市用地规

划、公园绿地规划、浅表流二级排水系统总体布局方案同步设计,在非降雨时期调蓄空间可作为城市公园、绿地、广场等,暴雨时则发挥调蓄和净化雨水的作用,超标雨水溢流排至下游河道或浅表流排水系统。

3.3 三级河道绿廊排水系统

浅表流三级排水系统用于承接浅表流一级、二级排水系统及周边区域的来水,为系统的终端排水通道,一般结合城区内的河道或绿廊同步建设。

① 河道排水系统

浅表流三级河道排水系统一般利用区域内现状河道或计划新开河道进行建设。根据不同的过洪断面及景观功能需求,对河岸空间进行平面和竖向布局,在满足防洪要求的前提下,将河道打造为兼具行洪排水、交通慢行、休闲娱乐、生态水处理等多功能的浅表流三级排水系统。

② 绿廊排水系统

浅表流三级绿廊排水系统一般参照区域用地规划方案,结合线性绿地空间的建设同步实施。绿廊结构一般采用生态化浅沟的形式,下沉深度一般设置为3~6 m,径流雨水经缓冲带层层净化后排入绿廊。在设计形态上,结合周边城市设计和区域水安全要求,可将绿廊建设成为起伏错落的谷地空间或视野开阔的泄洪廊道。绿廊排水系统在满足行洪安全的前提下,结合植物景观工程,塑造场地生态肌理,宜选择适合当地生长、耐旱性强的乔木、地被及湿生植物。

③ 雨水路径设计

在浅表流二级排水系统中,将雨水排放至河道、绿廊前,通过雨水路径的设计进一步滞蓄和净化上级系统输送的雨水:a. 在浅表流二级、三级系统排水接驳点处设置雨水净化塘等设施;b. 在河道两岸绿地具有一定宽度的前提下,通过微地形的打造,增加雨水在绿地上排放路径的长度;c. 设置多级梯型生态护坡来滞蓄、净化收集的雨水。

4 深圳市某片区浅表流排水系统规划实践

① 数据资料

片区道路规划断面及标高、排水管网现状及规划情况基于片区法定图则,河道基础水文情况、汇水范围等信息源于现状调研及相关规划。

② 片区概况

该片区占地面积约2.12 km²,规划范围内地势东高西低,区域坡度为0°~10.4°,自然排水条件良好,共3条河道穿过。规划范围内土地开发利用程度较低,土地储备充足。

③ 浅表流一级排水系统规划

作为地块开发顶层设计的一部分,浅表流一级排水系统规划应更多地从竖向管控角度出发,结合水安全相关要求,统筹推进片区内各地块浅表流排水系统的设计与建设。为避免产生城区内涝风险,对规划范围内各地块雨水径流路径进行水文分析,考虑场地竖向高点和低点以及雨水径流路径等因素,提出将场地一级浅表流排水系统与市政排水系统接驳的限制标高(最低标高)作为地块开发竖向设计的边界条件,确保雨水科学排入浅表流二级排水系统。

④ 浅表流二级排水系统规划

浅表流二级排水系统为片区内的市政排水通道,应结合竖向条件,合理规划其排水走向、设施规模与设计形态等。浅表流二级排水系统的规划与区域市政道路竖向条件紧密相关,综合分析后筛选出适合建设市政道路浅表流二级排水系统的范围,其占地面积约1.36 km²。对于条件不合适的区域,则可在地块内建设浅表流一级排水系统,雨水径流经收集、滞蓄、净化后直接排入市政雨水管网系统。

根据前述,二级浅表流排水系统分为地表明沟系统(源头)和地下管道系统(过路处及下游)。综合考虑道路宽度、河道汇水范围、排水管渠重现期设计标准(结合上位规划要求,浅表流排水系统设计排水重现期为10年一遇)等因素,将该片区地表明沟系统分为生态排水沟支沟、生态排水沟干沟、地表排水沟干沟,其排水能力分析见表1。

表1 地表明沟系统排水能力分析

Tab.1 Analysis of the drainage capacity of the ditch system L·s⁻¹

地表明沟	过流能力
生态排水沟支沟(顶宽1.5 m,深0.5 m,底宽0.5 m)	388.41
生态排水沟干沟(顶宽2.5 m,深0.5 m,底宽1.5 m)	811.84
地表排水沟干沟(顶宽2.5 m,深0.5 m,底宽1.5 m)	1 686.13

规划片区内临近河道、绿廊且处于收水范围的地块(即地表排水至三级系统区域),可通过浅表流排水系统于地表直接将雨水排放;片区内距离河道、绿廊较远或未处于收水范围的地块(即雨水管

网串联区域),其雨水排至浅表流二级市政明沟排水系统后,在道路路口处需通过地下雨水连通管将雨水排入浅表流三级排水系统,雨水连通管的布设结合片区市政详规排水方案设计。该片区浅表流二级排水系统具体布局见图8。

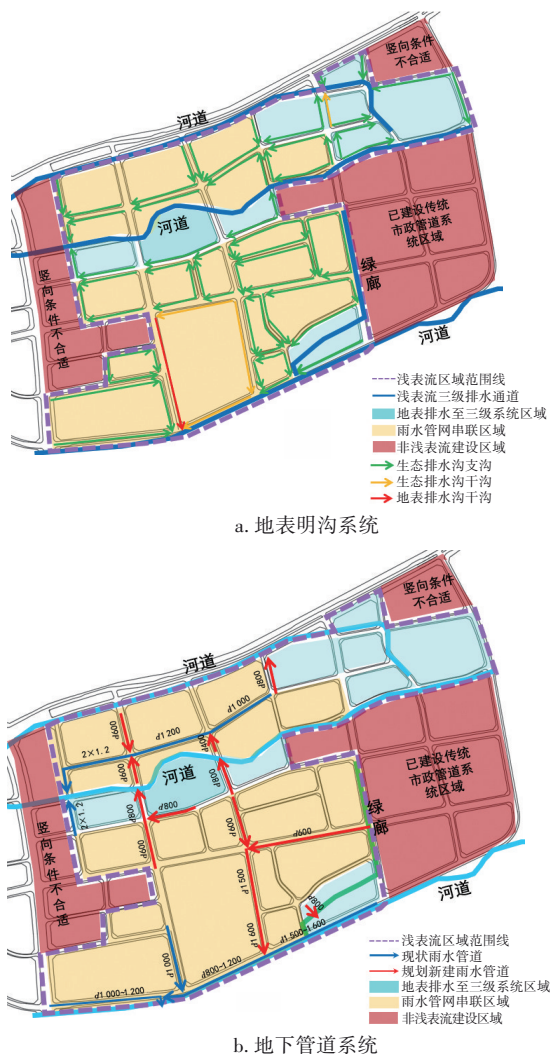


图8 某片区浅表流二级排水系统布设示意

Fig.8 Layout of the secondary surface drainage system in a certain area

⑤ 浅表流三级排水系统规划

浅表流三级排水系统作为排水终端,主要结合片区已有或计划新建的河道、绿廊同步建设。根据上位规划相关要求,该片区河道排水系统防洪标准为20年一遇,城市防洪等级为Ⅳ级。利用良好的现状景观资源,沿河道设置海绵城市节点,打造景观河流并实现雨洪调蓄,丰富岸线变化,构建水体与绿地相互交融的生态空间。

绿廊排水通道在满足水安全要求的前提下,结

合植物景观工程打造绿廊生态环境品质。根据植物选择原则及景观工程相关要求,推荐绿廊种植植物如下:芦竹、花叶芦竹、铜钱草、薏苡、水葱、旱伞草、千屈菜、鸢尾、路易斯安娜鸢尾、梭鱼草、红莲草、三白草、再力花、水生美人蕉、灯心草。

5 浅表流排水系统效益分析

为明晰浅表流排水系统的建设价值,分别从定量和定性两个角度出发,以浅表流排水系统规划片区为例,对浅表流二级排水系统与传统管网排水系统进行比较。其中定量分析采用货币化方法,难以货币化的指标采用定性分析综合考虑。

① 定量分析

选取建设成本、运维成本、生态效益、社会效益四项指标进行货币化分析,其中生态效益主要为年径流总量控制、热岛效应缓解、水环境质量提升、面源污染控制四项内容;社会效益主要体现在城市暴雨内涝防治和土地利用效益两方面。在成本分析方面,采用工程估计法分析建设成本和运维成本,如片区采用浅表流排水理念,则需建设地表排水设施约30 km,地下连接管道约10 km;如采用传统市政管道排水理念,则需要建设地下管道约15 km。其中地表排水设施建设费用以70万元/km计,地下管道设施建设费用以800万元/km计,运维费用以2.73万元/(km·a)计,维护内容为管网诊断、监测与维修,维护时间按30年计。

在效益分析方面,参考党菲^[1]、王洋等^[2]、张宏等^[3]的方法,年径流总量控制货币化分析利用替代工程法,其替代工程为雨水处理工程与管网运行工程,即利用浅表流排水系统收集、传输、净化雨水,减少因管网运行和雨水处理所产生的费用;热岛效应缓解分析利用温室效应损失法,采用生态排水沟进行雨水收集与排放,增加了城市的生态性和绿地效应,可在温室效应损失的基础上乘以一个系数进行估算,该系数可取5.0~8.0;水环境质量提升分析利用污染损失法,浅表流排水系统的建设可提高区域河道的水环境品质,节省了河道治理费用;面源污染控制分析利用恢复与防护费用法,通过浅表流排水系统及其沿线海绵城市节点的建设,削减城市面源污染,节省了因面源污染问题造成城市生态破坏而进行修复的费用;城市暴雨内涝防治分析利用经济损失法,浅表流排水通道对径流雨水进行滞

蓄,降低片区内涝风险,削减了因城市水安全问题所带来的经济损失;土地利用效益分析利用市场价格比对法,相较于浅表流排水系统,市政管网因建设于地下而释放了更多的地面空间,提升了土地利用效益,可结合土地价值增长率分析其社会效益。

传统管道排水系统与浅表流排水系统货币化分析结果比较如表2所示。

表2 传统管道排水系统与浅表流排水系统货币化分析结果比较

Tab.2 Comparison of monetization analysis results between traditional pipeline drainage system and surface drainage system 万元

评价指标	评价内容	货币化数值	
		浅表流排水系统	传统管道系统
建设成本	建设费用	10 100	12 000
运维成本	运维费用	819.00	1 228.5
生态效益	年径流总量控制	-124.09	0
	缓解热岛效应	-35.59	0
	水环境质量	-150.75	0
	面源污染控制	-41.99	0
社会效应	城市暴雨内涝防治	-27.18	0
	土地利用效益	0	-918.00
合计		10 539.40	12 310.50

② 定性分析

定性分析主要为宜居宜业和景观提升两个指标。在“双区驱动”的战略背景下,深圳城市经济、社会、文化、环境协调发展,积极打造宜居宜业的城市环境。浅表流排水系统虽然占用了部分地面空间,但其生态化的属性提升了居民的生活、工作环境,完善了水务系统功能,使城市更加宜居宜业。此外,结合景观化水景设计,浅表流排水系统也提升了城市景观品质,进一步提高了人们的生活质量。上述定量和定性分析结果表明,浅表流排水系统的建设具有更高效益。

6 结论与建议

① 浅表流排水系统利用生态措施组织雨水地表排放,在增加排水系统生态效益的同时,也从真正意义上解决了管网雨污混流、错接乱排等问题,并且降低了雨水系统运维、管理的成本和难度。

② 浅表流排水系统的打造需借助一定的条件,所选区域应具备合适的竖向坡度、河网密度,且开发程度较低,可结合城市建设或更新改造工程同

步实施落地。

③ 构建场地地表排水-市政明沟排水-河道绿廊排水三级浅表流排水体系,其中一级系统利用海绵设施收集场地雨水,采用植草沟、排水沟等设施输送雨水;二级系统结合市政道路的建设同步打造,采用生态排水沟、地表排水渠等明沟排水方式;三级系统利用区域内河道、绿廊等,削减径流峰值,净化面源污染。

④ 相对于传统市政雨水系统,浅表流排水系统的建设占用地上空间较大,因此对于空间条件有限的地块、市政道路具有一定实施难度。此外,针对浅表流排水系统区域水安全保障措施,仍需要在后续研究中进一步明确。

参考文献:

- [1] 党菲. 海绵城市建设综合效益及其货币化研究——以西咸新区沣西新城为例[D]. 西安:西安理工大学, 2019.
DANG Fei. Study on the Comprehensive Benefits and Monetization of Sponge Cities—Take Fengxi New City in Xixian New Area as an Example [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2019 (in Chinese).
- [2] 王洋,彭芳乐. 地下空间社会与环境效益的定量评价模型[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(4): 659-664.
WANG Yang, PENG Fangle. A quantitative evaluation model of social and environmental benefit for underground space [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2014, 42(4): 659-664 (in Chinese).
- [3] 张宏,朱佳伟. 城市地下空间开发社会效益研究综述[J]. 价值工程, 2019, 38(11): 187-189.
ZHANG Hong, ZHU Jiawei. Summary of social benefits of urban underground space development [J]. Value Engineering, 2019, 38(11): 187-189 (in Chinese).

作者简介:汤钟(1991-),男,安徽六安人,硕士,工程师,注册公用设备工程师(给水排水),主任工程师,主要从事市政基础设施规划、海绵城市、排水防涝相关工作。

E-mail:3328018892@qq.com

收稿日期:2021-01-20

修回日期:2021-03-24

(编辑:丁彩娟)