

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.16.002

城市绿色排水系统内涵与规划评价技术研究

王金丽, 孙永利, 郑兴灿, 郑华清, 李 檬, 葛铜岗
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

摘 要: 基于国内外绿色排水系统发展状况分析,揭示了城市绿色排水系统安全、低碳、高效、生态、智慧的绿色理念和内涵。聚焦我国排水系统规划未充分体现绿色理念、系统协同规划不足等问题,研究提出绿色排水系统规划流程,创新构建排水系统绿色核心评价指标和评价方法,支撑规划方案绿色属性评价;结合管网优化、降雨污染控制、污水处理效能提升、水系构建和水资源循环利用方面的重点任务,系统实施排水系统规划方案优化;梳理现状调查分析、方案生成、成效评价阶段的关键技术,为绿色排水系统规划方案的编制提供实施步骤、评价方法和关键技术等全方位支撑,助力城市排水系统绿色高质量发展。

关键词: 绿色排水系统; 绿色理念和内涵; 绿色属性评价; 规划方案优化

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)16-0016-08

Study on the Connotation and Planning Evaluation Technology of Urban Green Drainage System

WANG Jin-li, SUN Yong-li, ZHENG Xing-can, ZHENG Hua-qing, LI Meng,
GE Tong-gang

(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074,
China)

Abstract: Based on the analysis of green drainage system development status around the world, the green concept and connotation of urban green drainage system was revealed, which is safe, low-carbon, efficient, ecological and intelligent. A green drainage system planning process was proposed through research based on the problems of insufficient green concept and system coordination in China's drainage system planning. The green core evaluation index and evaluation method of drainage system were innovatively constructed to support the green attributes evaluation of the planning scheme. The planning scheme optimization of the drainage system was systematically implemented combining with the critical tasks of pipe network optimization, rainfall pollution control, sewage treatment efficiency improvement, water system construction and water resources recycling. The key technologies in the stages of investigation and analysis of current situation, scheme generation and effectiveness evaluation were sorted out. This work will provide all-round support for the compilation of planning schemes, such as implementation steps, evaluation methods and key technologies, and help the green and high-quality

基金项目: 住房和城乡建设部研究开发项目(2021-K-128); 中国市政工程华北设计研究总院有限公司自立科研课题(2022-06-HJY); 中国建设科技集团科技创新基金项目(Z2020J05); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07106)

development of urban drainage system.

Key words: green drainage system; green concept and connotation; green attributes evaluation; planning scheme optimization

城市排水系统是收集、输送、处理和排放利用城市污水和雨水的工程设施系统,是市政基础设施的重要组成部分。在推动绿色发展、促进人与自然和谐共生、推进“双碳”工作的背景下,以最大限度发挥设施效能、节约资源、减少环境影响为目标,建设绿色可持续的排水系统是现阶段城市发展的必然选择。排水系统作为城市的重要生命线,其绿色发展的核心是采用先进技术进行系统规划建设管理,解决由于人口增加和经济社会高速发展带来的内涝加剧、水资源短缺、水环境污染和水生态破坏等一系列问题,保障经济社会的可持续发展,营造亲水和谐的水环境。

目前国内外对绿色基础设施已开展了相关研究,而排水系统的绿色含义大多局限于雨洪管理的低影响开发设施层面,未从安全、高效、低碳、智慧等层面对排水系统的绿色内涵进行挖掘;同时,符合我国排水系统特征的绿色发展规划规程尚不完善,尤其是基于规划方案绿色属性评价与优化的技术方法尚未见报道。为此,基于国内外排水系统绿色发展状况的梳理,分析揭示绿色排水系统的内涵,剖析我国排水系统规划存在的问题,形成绿色排水系统规划流程,构建排水系统绿色评价指标体系,提出规划方案优化策略,明确绿色排水系统规划关键技术,以期为城市排水系统绿色发展规划提供参考和借鉴。

1 国内外绿色排水系统发展概况

1.1 国外发展状况

国外关于绿色排水系统相关研究开展较早,大多聚焦于排水系统的组成单元,部分源于雨洪管理,还有一些出于污水处理厂碳中和的考虑。20世纪80年代,美国提出了雨洪最佳管理措施(BMPs),90年代末又提出了低影响开发(LID)概念,随后又相继提出绿色基础设施(GI)和绿色雨水设施(GSI)的概念,基本思路都是通过采用生物滞留池、下沉式绿地、湿地等生态构筑物,使之与公园、植被区等自然区域和开放空间形成相互联系的网络系统,将开发建设对场地水文环境的影响降到最低,采用自

然的方式控制雨水径流,消除径流冲刷可能带来的内涝和污染风险^[1]。

英国的可持续排水系统(SUDS)和澳大利亚的水敏感城市设计(WSUD)核心内容都是强调通过规划设计、景观打造和水资源可持续管理三方面的综合作用,形成安全高效的水循环系统^[2]。从水污染控制和水资源循环利用角度体现了绿色发展理念,但是对系统高效运行与节能降耗等方面的绿色协同发展考虑不足。

基于可持续污水处理理念,荷兰2008年制定了未来污水处理的NEWs框架,即未来污水处理厂将是营养物、能源与再生水的生产工厂。荷兰Amersfoort污水处理厂是NEWs框架综合应用的工程案例,采用污泥热压水解、磷回收等技术进行污泥处理工艺的革新,以期通过为期6年的改造实现完全能源自给、40%磷回收、75%的污泥干化后含水率降至10%的目标^[3]。该污水厂在污水处理层面体现了低碳可持续发展的绿色理念。

1.2 国内发展状况

我国对绿色排水系统的研究也源于对雨水径流的控制和利用,但比发达国家起步晚。21世纪初,一些学者将LID理念应用于我国雨水资源的控制和利用过程,初步形成了适合我国国情的雨洪控制技术。

2012年北京“7·21”暴雨事件以来,国家将城市排水安全和内涝防治工作提升到空前高度。2013年提出“建设自然积存、自然渗透、自然净化的海绵城市”,并相继开展了30个海绵城市试点建设,在内涝防治和水环境治理方面基本达成了“系统治理、灰绿结合、蓝绿融合”的共识。

在推动生态文明建设、人与自然和谐共生等绿色发展理念的指引下,近年来我国相继开展了黑臭水体治理、污水处理提质增效工作。以人为本、人水和谐、多目标融合的水体治理路线基本形成,管网的效能提升和污水处理提质增效等思路基本理清。

随着我国污水处理排放标准的不断提升,城镇

污水处理厂提标改造快速推进,同时也伴随着能耗和药耗的增加,在满足排放标准与绿色发展协同层面,相继开展了工艺优化与精细化运行相关的研究^[4]。此外,我国于2014年提出“建设面向未来的污水处理概念厂”,通过整合多种创新方案及前沿技术,以实现出水可持续、能源零消耗、物质可循环及环境友好等四个方向的目标^[5]。然而,我国污水处理厂进水有机物浓度低,限制了污泥厌氧消化和能源自给等目标的实现,低耗高效的厌氧氨氧化技术工程化应用仍面临诸多亟待突破的瓶颈问题。

1.3 国内外发展状况总结

国内外对绿色排水系统的研究均起源于雨水的控制和利用,大多聚焦于排水系统的组成单元、水循环系统的污染控制与水资源利用,并未从排水系统的节能降耗减排、资源能源回收利用、水环境改善等系统性协同角度进行考虑。

2 绿色排水系统的内涵

2.1 绿色排水系统的组成

排水系统由排水管网、污水处理与再生水利用系统、降雨污染控制与利用系统和城市水系组成。排水管网是污水处理与再生利用、降雨污染控制与利用和城市水系联结的重要纽带,而城市水系作为排水系统的终端,同时也是城市生态环境的重要载体,既是行洪排涝通道,又可提供亲水休闲空间,其景观环境质量关乎城市的整体风貌。

2.2 绿色排水系统的理念与内涵

绿色排水系统是在生态环境容量和资源承载力约束条件下,基于安全、低碳、高效、生态、智慧的绿色发展理念,以构建自然和谐、可持续的水环境系统为目标,以城市水循环理论为基础,统筹城市水文气象、空间格局、社会经济等外部资源环境与源、网、厂、河等系统要素,实施厂-网-河(湖)一体化智能管理,充分发挥系统服务功能,实现安全集约、低碳减排和生态友好等综合效益最大化的新型排水系统。

2.3 绿色排水系统的表征

绿色排水系统能够综合发挥排水防涝、污染控制、水资源利用、水环境与景观生态改善等多重功能,其“绿色”具体体现在以下六个方面:

① 在水安全保障、资源高效利用和空间优化方面体现“绿色”。排水系统规模和布局不仅要保

障排水防涝安全、水资源供需平衡与循环利用,还要做好设施衔接与空间集约利用。

② 在灰绿结合削污减排、安全运行与资源循环方面体现“绿色”。做好源头减排、过程控制和末端治理,结合海绵城市建设等措施削减径流量、减轻径流污染,提升排水管网安全保障能力;统筹管网排水能力建设,合理设置调蓄净化设施,实现排水防涝与雨水资源化利用协同;妥善采取初雨或溢流污染净化措施,耦合生态建设模式,降低污染总量。

③ 在设施高效运行、入河污染总量削减方面体现“绿色”。落实排水管网高质量建设与提质增效,从减少管网渗漏、避免错接混接、实施常态化运维等方面联合发力,提升管网的收集传输效能,有效控制因管网沉积渗漏等导致污水、淤泥等排入城市水体而造成的水环境污染问题。

④ 在污水处理低碳、高效、生态、智慧融合方面体现“绿色”。协同管网完善,提高污水处理厂进水有机物浓度,提升污水系统运行效能。强化雨季初雨或溢流雨水协同处理;加强污水处理系统精细化运维以节能降耗,推进再生水生态安全利用与污水污泥资源能源回收利用。

⑤ 在城市水系健康、智能运行及安全、亲水等多功能协同方面体现“绿色”。耦合水系断面结构与蓝绿空间营造,满足亲水景观、行洪排涝调蓄等功能,借助生态补水、流态改善、污染截控、水生态指标智能监控管理等措施,综合改善水环境质量,逐步恢复水生态。

⑥ 在联动响应、弹性韧性、融合高效、智慧便捷等方面体现“绿色”。实施“厂-网-河(湖)”一体化管理,借助数字化、信息化手段对排水系统进行智能化监测、预警预报、业务协调联动,包括常态运行条件下排水管网风险识别与修复、网-站-厂协同模式下管网水位与流速调控、污染溯源、水环境风险应急调度,以及极端天气下海绵设施-管网-水体排涝除险优化调度等。

3 我国城市排水系统规划存在的问题

目前,我国城市排水系统规划的系统性不强,污水系统、雨水系统和城市水系专项规划之间的衔接不够紧密,规划层面一般没有针对排水系统设计、建设、运行、管理等全过程绿色低碳和智慧方面

的要求,以及规划方案绿色属性的评价及优化,也尚未形成基于绿色发展目标的排水系统规划编制整体框架。

城市排水系统现状分析、排水体制合理选择、排水量预测、再生水利用、近远期结合等是排水系统规划编制的重点和难点,其中排水体制选择、收集处理系统与水量的匹配性、雨水利用规划、系统协同管控四个方面的问题最为突出。

① 排水体制规划混乱。

排水体制选择涉及经济、环境、城市发展等多重因素,并且也会影响整个排水系统的规划、建设与运维管理。由于我国排水设施管理分属于不同部门,权责不清、沟通协调不够等问题导致排水系统规划缺乏衔接,规划合理性欠缺,致使城市不同区域之间排水体制存在差异,新旧问题错综复杂。

② 以往排水系统中污水收集与处理规划注重“量”的满足,忽视“质”的保障。

在规划阶段排水系统虽然为城市的发展留有余量,但由于对快速城镇化估计不足,城市发展速度超过排水管网的建设速度,致使城乡接合的边缘地带存在管网空白区,污水直排导致环境污染严重。规划对管网质量及建设运行标准的要求不高,对未来城市发展预留的管网接驳口考虑不足,导致管网渗漏、错位等问题频发,管网的错接混接严重,因清水入渗造成污水管网旱季高水位运行,峰值冒溢时有发生;污水厂进水量大, BOD_5 浓度低,C/N比低,需外加碳源实现出水达标,影响了污水处理效能;且管网高水位运行致使污水流速低,沉积严重,降雨期间管网沉积物随高流速雨水进入水体,影响水体治理成效。

③ 传统排水规划强调雨水快排,忽视了面源污染控制与雨水资源化利用。

不同排水体制下面源污染控制的配套设施布局及管理规划不完善,雨水利用规划在排水系统规划中也没有得到足够的重视,基于城市水资源及水环境状况,对雨水资源化利用进行合理安排是排水系统规划需要重点考虑的问题。

④ 缺乏从源-网-厂-河系统性的角度进行科学的协同规划。

传统排水系统规划对源、网、厂、河系统关联考虑不足,鲜有将系统协同管控涉及的智能化设施设备配置与布局、配套物联网及互联网需求等纳入排

水系统规划范畴,难以保障系统的安全运行与高效管理。运行过程中排水系统暴露出污水收集处理能力与城市污水排放量不匹配、排水不畅致使城市内涝积水频发等诸多问题。

4 绿色排水系统规划流程

绿色排水系统规划理念策略、总体目标、基本原则应遵循城市总体规划要求,并与空间、景观、环保等专项规划进行协调;规划方案的编制过程是对排水系统的管网、污水处理设施、降雨污染控制设施、城市水体等组成要素规划路径的具体细化。城市绿色排水系统规划流程如图1所示,其中方案的绿色属性评价和规划方案优化是绿色排水系统规划的重要内容。

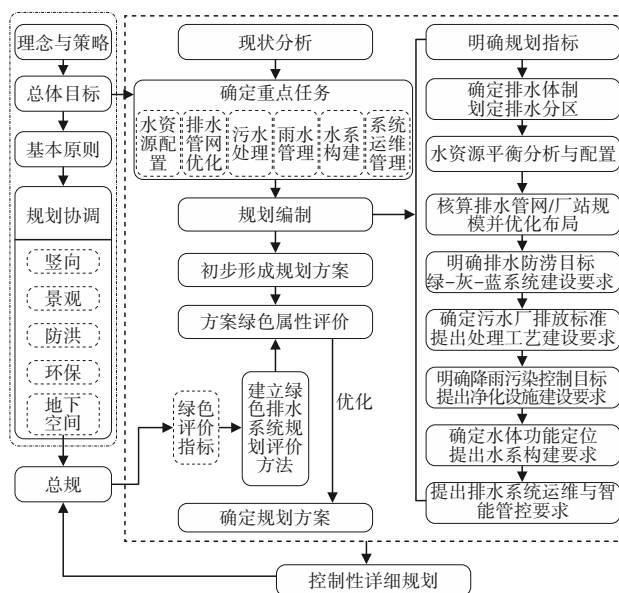


图1 绿色排水系统规划流程

Fig.1 Planning flow chart of green drainage system

5 绿色排水系统规划方案评价与优化

5.1 规划方案绿色属性评价

基于安全、低碳、高效、生态、智慧的绿色发展理念,根据绿色排水系统规划目标与重点任务相关指标特征,耦合水力模型分析结果,采用层次分析法构建排水系统绿色核心指标,包括功能提升、弹性韧性、集约低碳、循环节约、自然共生、价值创造、智慧管控等7个维度的20项指标。通过专家决策法确定评价指标的权重及指标评价等级,形成排水系统绿色核心指标和评价方法,对规划方案中排水管网、污水处理、降雨污染控制、非常规水利用、系统运行管理方面的绿色属性进行评价,具体评价指

标、权重和评价等级判定如表1所示。

就指标重要性而言,基于安全目标,弹性韧性维度的排水防涝能力是权重最高的指标,符合市政基础设施优先保障安全的功能属性;其次是低碳目标中集约低碳维度的排水系统运维能耗物耗水平,这与国家的“双碳”计划直接相关,也是排水系统重要的考核指标;智慧目标中的内涝预警准确率指标排名第三,该指标与排水防涝安全关联紧密;安全

目标中功能提升维度的城市生活污水集中收集率排名第四,是现阶段我国排水管网不完善的情况下,反映排水系统污染物收集效能的重要指标。

评价分为优、中、差3个等级,分别赋予相应的分值范围、定量指标范围、定性指标评价要求,将各指标权重与评价得分的乘积进行加和,得出规划方案的综合评价得分,得分在80分以上的认定为方案可行,低于80分的则需要对方案进一步优化。

表1 排水系统绿色核心指标及评价等级判定

Tab.1 Green core indicators and evaluation grade judgment of drainage system

目标层	准则层	指标层	指标性质	指标权重	不同评价等级对应的指标值/%		
					优(90~100分)	中(70~90分)	差(70分以下)
安全	功能提升	城市生活污水集中收集率	定量	0.072 2	≥90	70~90	<70
		污水厂出水稳定达标率	定量	0.065 5	100	80~100	<80
		污泥安全处理处置率	定量	0.021 7	100	85~100	<85
		雨水年径流总量控制率	定量	0.054 2	≥85	70~85	<70
		公众安全接触水体率	定量	0.054 2	≥80	60~80	<60
		水体水系连通率	定量	0.009 4	≥80	50~80	<50
	弹性韧性	污水处理设施运行负荷冗余	定量	0.046 9	30~40	20~30	<20
		排水防涝能力	定性	0.122 1	系统、高标准地规划内涝防治标准与防洪标准、雨水管渠设计重现期、排涝通道、调蓄设施与自然坑塘水体调蓄	按常规标准规划内涝防治标准与防洪标准、雨水管渠设计重现期、排涝通道、调蓄设施与自然坑塘水体调蓄	按常规标准规划内涝防治标准与防洪标准、雨水管渠设计重现期、排涝通道、调蓄设施与自然坑塘水体调蓄中的部分内容
		降雨污染应对能力	定性	0.050 9	规划配置了系统性降雨污染控制措施	在源头、过程、末端控制过程中有两个环节采取了降雨污染控制措施	源头、过程、末端控制过程中有一个环节采取了降雨污染控制措施
		应急保障能力	定性	0.030 5	详细规定应急管理体系、排险设施与队伍配置、排险响应时间、风险应急处理措施等方面的要求	概括规定应急管理体系、排险设施与队伍配置、排险响应时间、风险应急处理措施等方面的要求	对应急管理体系、排险设施与队伍配置、排险响应时间、风险应急处理措施中的部分内容提出要求
低碳	集约	污水处理厂能源自给率	定量	0.032 5	≥50	30~50	<30
	低碳	排水系统运维能耗物耗水平	定性为主	0.097 4	低于常规运行能耗物耗和运维成本	与常规运行能耗物耗和运维成本相近	高于运行能耗物耗和运维成本
节约	循环节约	非常规水资源利用率	定量	0.030 7	水资源紧缺型城市≥50 水资源充沛型城市≥40	水资源紧缺型城市30~50 水资源充沛型城市20~40	水资源紧缺型城市<30 水资源充沛型城市<20

续表1 (Continued)

目标层	准则层	指标层	指标性质	指标权重	不同评价等级对应的指标值/%		
					优(90~100分)	中(70~90分)	差(70分以下)
生态	自然共生	低影响开发设施覆盖率	定量	0.028 9	≥70	50~70	<50
		城市景观水系水面率	结合实际情况确定	0.032 4	水资源充沛型城市≥10 水资源紧缺型城市≥3	水资源充沛型城市5~10 水资源紧缺型城市1~3	水资源充沛型城市<5 水资源紧缺型城市<1
		生态岸线率	定量	0.048 6	排涝功能为主≥70 排涝功能为辅≥90	排涝功能为主50~70 排涝功能为辅70~90	排涝功能为主<50 排涝功能为辅<70
	价值创造	亲水娱乐价值提升能力	定性	0.029 3	亲水娱乐性较强	亲水娱乐性一般	亲水娱乐性较差
智慧	智慧管控	厂-网-河联合调度与智能管控能力	定性	0.050 5	提出厂-网-河联合调度机制与软硬件详细规定	提出厂-网-河联合调度机制与软硬件一般规定	对厂-网-河联合调度机制与软硬件的部分内容提出要求
		污染事故监控预警能力	污染判定精准度	0.049 2	≥95	80~95	<80
		内涝预警能力	内涝预警准确率	0.072 9	≥95	85~95	<85

5.2 规划方案优化

为充分发挥排水系统在排水防涝、水污染防治和景观构建等方面的功能,应结合排水系统规划方案绿色属性评价结果,有针对性地对规划方案评价得分较低的指标进行调整和优化。同时,结合我国排水系统现状特征,应将以提升污染物收集效能和内涝防治为目标的排水管网优化,以节能降耗为目标的污水处理效能提升,以综合减排为目标的降雨污染控制,以水资源与水循环优化为目标的再生水与雨水生态利用,以水环境改善和景观营造为目标的水系构建,以及厂-网-河(湖)一体化智能管控作为排水系统规划方案优化的重点,并将安全、低碳、高效、生态、智慧理念贯穿于规划方案优化全过程。

对城市排水系统规划方案进行优化,可采取由末端即城市水系倒推的方式,若水系具有行洪排涝功能,而方案在排水防涝安全方面评价结果欠佳时,则需统筹核算水系、管网和源头设施的调蓄能力,可通过冗余度的优化、优先挖掘水系调蓄空间来提升排水防涝安全保障能力;在能力满足要求的情况下,分析是否具有科学有效的调度措施,并提出排涝除险系统优化调度策略。针对城市水系污染导致公众安全接触水体率较低的问题,应协同考

虑污水厂出水稳定达标率、降雨污染应对能力、生态岸线率等指标,先分析污染来源,再优化选择相应的技术措施,采取污染截控技术,或实施与管网关联的合流制溢流量或频次控制、分流制雨水管网污染控制;采取污水排口截流措施的,要与污水厂的处理能力相匹配;为保障水体水质,可采取生态补水、水系连通等水力循环或旁路处理净化技术,以及生态型河床、护岸或水生植物等自然共生方向的生态恢复技术。

在排水管网优化方面,应将城市生活污水集中收集率作为重要的评价指标,规划方案中应包含该指标的(分期)目标值。同时,还可对弹性韧性维度的排水防涝能力,以及智慧管控维度的厂-网-河联合调度能力、内涝预警能力指标进行优化。新建区域的排水系统规划方案中要充分体现管网在排水安全和智慧管控方面的布局与功能定位;已建区域应结合区域地形、水文、气象资料,基于内涝风险评估结果,进行排水管网规划优化,保障排水安全和污染物的高效收集;从提升管网运行效能、降低运维能耗和物耗水平角度,应加强排水管网运维管理,优化实施管网诊断修复与运行调度,保证管道的健康运行,实现安全、高效、低碳等多重目标。

对于污水处理规划方案的优化,应在排水管网优化、提高城市生活污水集中收集率和污水厂进水有机物浓度的基础上,结合区域水环境特征和经济水平,合理设定污水厂出水稳定达标率、能源自给率、运维能耗物耗、污泥安全处置率目标,优化采用内碳源开发利用技术、厌氧氨氧化技术、精细化运维技术、污泥处理处置技术、资源能源回收利用技术,提升污水处理效能,保障出水稳定达标的同时降低能源消耗,并有效回收利用污水中的资源和能源。此外,应兼顾区域降雨污染应对能力指标,结合降雨特征和排水体制,优化设定污水处理设施运行负荷冗余。

在雨水径流污染控制方面,系统核查并完善源头海绵设施、排水管网及配套调蓄净化设施、末端雨水口污染净化或生态截留设施等的应对能力;提升合流制管网截流倍数、调蓄池调蓄能力、污水厂雨季运行负荷冗余度的匹配性;优化合流制溢流污染和分流制雨水污染控制策略,可采用快速净化技术或利用污水厂一级强化工艺对雨水径流进行处理,降低面源污染对水环境的影响。

在排水系统循环节约维度,应根据区域水资源丰富程度,基于水资源供需平衡测算和分质供水配置分析,优化设定非常规水源利用率,并与污水系统和雨水调蓄利用系统的处理能力协同,采取水质保障工艺优化控制技术,同时对非常规水源利用的生态风险进行评估,确保用水安全。

在排水系统整体运行管理能力提升方面,应统筹线上线下运行管理措施,优化布局厂-网-河(湖)一体化智能管控设施设备及配套管理机制,强化污染事故和内涝监控预警能力,实现河湖水系、管网和污水处理厂水质水量智能化协同调控;同时,在规划优化中,应加强常态化运维和应急保障机制、队伍建设和物资配置,提升排水系统的运维管理水平。

6 绿色排水系统规划关键技术

基于排水系统绿色发展规划在调查分析、方案生成、成效评估等不同层面的目标和具体要求,规划过程中应统筹采用合理的技术措施。

① 调查分析技术

排水系统规划前期,需要对现状进行系统性调查与分析,以便科学开展规划。调查分析技术大体

可以分为两大类,一类是资料收集与分析技术,另一类是现场踏勘技术。

排水系统资料收集主要包括:排水系统地理信息资料、雨水排放口分布等空间数据;排水管网、污水处理厂及泵站运行的水位、水量、水质检测数据,排水管道检测、健康状况等运行维护数据;排水管线、污水处理设施、雨水调蓄净化设施、水体及附属设施各阶段图纸;排水系统运行管理机制等。收集的资料可采用归类整理、多元统计、特征指标污染溯源、化学质量平衡污染源解析等技术方法进行分析,识别现状问题,为明确排水系统规划重点奠定基础。

基于排水系统资料收集与分析而开展的现场踏勘,是提升调查分析结果准确性的重要手段。现场踏勘内容主要涉及水体及附属设施、水体沿线排口、污水处理设施、雨水调蓄净化设施、雨污水泵站等的分布及运行情况,多采用专家走访、会商评判与民意调查相结合的方式。同时,对于已建区域排水系统的改造规划,针对排水管网等隐蔽工程,可采用CCTV检测、潜望镜检测、声呐检测等技术手段进行管网问题的诊断和识别。

② 方案生成技术

方案生成技术主要涉及完成规划重点任务所依托的技术措施。在规划的各个阶段GIS技术应用较为广泛:在规划协调阶段,利用GIS对环境空间数据的分析功能,可系统协调排水系统与其他专项规划在空间上的合理布局及衔接;在排水分区划分阶段,以GIS的ARC/INFO为分析工具,利用空间分析模块和水文分析模块分析城市流域数字高程特征,并提取流域汇水线,实现排水分区的自动划分^[6];在规划与管理阶段,将GIS的数据输入、管理、查询、输出及分析功能应用于排水管网的动态规划与监管中,实时掌握排水管网规划信息,以便于排水规划的调整,同时科学支撑排水管网维护和改扩建决策。

此外,在水资源配置层面,采用综合情景分析、模拟仿真技术、系统协调与分解技术等,构建水资源优化配置模型,保障用水安全,有效节水并提高水资源利用效率。在污水处理层面,应用污水处理设施系统绩效仿真技术,分析预测污水排放量、设施处理量,全面优化污水处理设施、提高系统效能^[7]。在雨水管理层面,应用内涝风险控制与评估

模型技术,对内涝风险地区给予规划指导,降低自然灾害造成的损失;应用源头海绵、过程管网、末端污染截控与水体调蓄排涝等系统性技术措施,有效排涝并控制径流污染。在水系构建层面,应用控源截污、内源治理、活水循环、生态恢复等集成技术,基于水体功能定位,着力保障排水安全,改善景观生态环境,并满足亲水需求。在系统运维管理层面,规划阶段将数字化、信息化技术应用于源-网-厂-河系统运行调度与管理中,统筹布局监测点位、智能感知设备、传输网络、数据存储与处理模块,将水质水量模型嵌入信息化管理系统,实现联动运行、风险预警、协同调度和智能运维,确保系统安全高效运行。

③ 成效评价技术

目前,排水系统规划方案评价大多借助于优化理论及优化算法,通过构建模型,以安全保障为目标,以投资最小化为约束条件,对规划方案进行评价,未综合考虑生态环境、绿色低碳等层面的影响以及规划管理的智慧化水平。因此,为提升方案评价的系统性和科学性,统筹排水系统绿色核心指标,应用层次分析和专家决策技术,对规划方案的绿色属性进行评价,支撑方案的完善和优化。

7 结论

我国排水系统已转向高质量发展阶段,在城市区域开发和已建区域改造过程中,以安全高效、空间集约、自然生态、低碳智慧为目标的排水系统绿色发展规划是必然趋势。绿色排水系统的内涵体现在水安全保障、水资源高效利用、水污染减排与控制、排水设施低碳高效运行、水环境景观营造与亲水和谐等各个方面。本研究针对我国排水体制复杂、污染物收集设施规划重“量”轻“质”、系统要素整体规划考虑不足等问题,提出绿色排水系统规划流程,构建排水系统规划方案绿色属性评价技术方法,明确规划各阶段可采用的关键技术,为城市排水系统规划的编制提供实施步骤、评价方法和关键技术等全方位的指导,支撑方案的科学编制和有效实施。

参考文献:

- [1] MATOS C, SÁ BRIGA A, BENTES I, *et al.* An approach to the implementation of low impact

development measures towards an ecocampus classification [J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 232:654-659.

- [2] 熊子鹰. 基于灰-绿设施耦合理念下的城市双排水系统构建研究[D]. 南昌:南昌大学,2019.

XIONG Ziyang. Study on the Construction of Urban Double Drainage System Based on the Idea of Grey-Green Infrastructures' Linkage [D]. Nanchang: Nanchang University, 2019(in Chinese).

- [3] 宋新新,林甲,刘杰,等. 面向未来污水处理技术应用研究现状及工程实践[J]. *环境科学学报*, 2021, 41(1): 39-53.

SONG Xinxin, LIN Jia, LIU Jie, *et al.* The current situation and engineering practice of sewage treatment technology facing the future [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2021, 41(1): 39-53(in Chinese).

- [4] 李鹏峰,郑兴灿,孙永利,等. 城镇污水处理厂系统化精准诊断技术方法构建及应用[J]. *中国给水排水*, 2021,37(12):1-6, 13.

LI Pengfeng, ZHENG Xingcan, SUN Yongli, *et al.* Construction and application of systematic and accurate diagnosis technology for urban WWTP [J]. *China Water & Wastewater*, 2021,37(12):1-6, 13(in Chinese).

- [5] QU J H, WANG H C, WANG K J, *et al.* Municipal wastewater treatment in China: development history and future perspectives [J]. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2019, 13(6): 88.

- [6] 常魁. 排水规划中排水分区划分技术研究[J]. *山西建筑*, 2013, 39(29): 108-109.

CHANG Kui. Study on the drainage zone partition in the planning for urban water discharge [J]. *Shanxi Architecture*, 2013, 39(29): 108-109(in Chinese).

- [7] 万文天. 基于GM的广州市污水处理设施系统绩效仿真优化模型研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学, 2020.

WAN Wentian. Research on the Performance Simulation and Optimization Model of Guangzhou Sewage Treatment Facility System Based on GM [D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2020 (in Chinese).

作者简介:王金丽(1983-),女,河北廊坊人,硕士,高级工程师,主要从事市政规划、水环境治理与海绵生态规划与技术研究工作。

E-mail:wangjinli99@163.com

收稿日期:2021-07-06

修回日期:2022-05-07

(编辑:丁彩娟)