

城市水利工程施工中雨水排放系统优化研究

张志飞

湖南飞达项目管理有限责任公司，湖南省株洲市，412000；

摘要：城市水利工程中的雨水排放系统承担排涝与资源利用双重任务，施工阶段的参数落地与工序稳定直接决定管渠能力与系统韧性。面向高强度降雨与地表不透水率提升的背景，构建以汇水分区与网络拓扑为骨架的优化路线，结合低影响设施与调蓄构筑物的协同配置，并以施工质量控制与数字化交付贯穿全周期。文本从功能定位与评价框架出发，提出设计指标向现场可控量的映射方法，给出管材与接口、基础与回填、井室与附属构件的成套控制要点，强调传感监测与运维闭环的触发逻辑，旨在在有限工期与复杂约束条件下实现排放能力稳定、回用路径顺畅与维护成本可控的综合目标。

关键词：城市水利工程；雨水排放系统；海绵设施；管渠优化；全生命周期管理

DOI：10.69979/3060-8767.25.05.086

引言

超大城市硬化面积扩大与极端降雨频度上升叠加，雨水排放系统面临峰值陡峭与滞时缩短的挑战。规划层面的标准与图式并不能自动转化为实体能力，关键在于把指标拆解为材料、结构与工序的可执行参数，并在施工与运维阶段保持一致性。城市空间地下管线密集、交通组织复杂、地基差异显著，任何环节的微小偏差都会放大为系统瓶颈。为此需要以目标导向的方法，将流量、充满度与积水阈值转译为井距、坡度、糙率与调蓄体积等现场量，并通过全过程记录与监测形成可追溯的闭环。下文围绕功能定位与评价、规划设计优化、施工与运维一体化三个方面展开，给出适用于城市水利工程施工情景的系统化路径。

1 雨水排放系统的功能定位与评价框架

1.1 功能需求与边界条件

城市雨水系统需要兼顾地表快速排导与节点调蓄回用，既要降低道路与下穿空间的积水风险，又要为海绵设施与末端调蓄留出接入与回流空间。功能目标受制于地形坡降与地下障碍，受制于道路红线与建筑控制线，也受制于施工期交通导改与周边敏感建筑物沉降控制^[1]。系统能力不只取决于单一管渠的断面与坡度，更取决于分区汇水的均衡与溢流路径是否顺畅。若上游多源汇入而下游井段井距偏大，极易在井室与弯头部位形成局部超负荷，继而引发井盖翻涌与地表积水扩展。不同功能区的需求差异明显，老旧居住区管网老化且接驳口径多

变，新区路网规整但汇水面积更大，需采用差异化的井距与坡降控制。对于中心片区，地下空间叠合密度高，可用纵向坡降有限，需要通过浅覆土大断面或暗涵方案配合分时调蓄削峰。对于滨水片区，河道水位涨落影响倒灌风险，系统需要设置止回与强排通道。施工可达性也形成边界，狭窄街巷与交通繁忙路段限制开挖宽度与作业时段，材料运输与临时堆载又受城市管理约束。功能需求与这些边界共同决定了可行的断面、材料与工序组合，只有在约束明确与权衡透明的前提下，后续的设计优化与施工组织才具备落地基础。

1.2 评价指标体系与目标分解

评价体系应能反映排放能力、安全裕度与韧性水平，并可转化为施工期的控制指标。可将设计暴雨条件下的节点水位、管内充满度与地表积水深度作为核心指标，将分区均衡度与调蓄利用率作为协同指标，同时设置运维便利度与全寿命费用的约束指标。指标需要对应到现场的可控量，例如将节点水位约束映射为井室底高程与来水角度的精度，将充满度目标映射为坡度、糙率与接口顺直度，将地表积水阈值映射为道路横坡与溢流路径的顺畅程度^[2]。调蓄利用率可由地块源头削峰量与管网中段滞蓄量的比例来体现，施工阶段则通过海绵设施的填料厚度与孔隙率、连通管的标高与孔洞率来保障。运维便利度可分解为井室内净空、踏步与吊装空间、检修口位置与数量，费用指标则约束材料与工序组合的综合成本。评价方法需要与数据获取匹配，施工阶段可采用试水与通球结合的检验方式核对坡度与顺直度，以测深

记录比对节点水位与设计目标,以摄像巡检识别接口错口与渗漏。所有指标应形成分区清单与检验频次,出现偏差时给出调整路线,例如通过局部更换接口型式改进密封,通过调整井位或增设支管改善分配。目标分解的价值在于把抽象的系统能力变成一组可量化的现场动作,使每个班组都能够对应到明确的达成标准,从而把评价体系嵌入日常施工管理与验收流程。

2 规划设计中的系统优化方法

2.1 汇水分区与管渠网络拓扑优化

网络拓扑决定水流路径与能量损失,优化的起点是合理的分区与均衡的负荷。可根据地形骨架与道路等级确定主干走向,在等势线附近布设分配节点,避免高差不足的长距离重载。支管宜短直与多口分担,减少单点汇入的冲击。井距与坡度的组合应兼顾水力与维护需求,井距过大难以排气与检修,过小则增加损失与造价^[3]。折线与急弯会引起附加损失与沉积,若受场地限制不可避免,应通过放大井室与设置导流构件来平滑流态。与其他管线的交叉需要在设计阶段就明确上下穿关系与保护措施,以免施工阶段频繁变更造成坡度连贯性破坏。对于低洼地块,可通过分区抬高路面与设置越级溢流来分散峰值负荷,对于高密度屋面集中下排的片区,可增设屋面与道路联通的浅沟槽与口门,使初期径流优先入地并延缓入管时间。暗涵与箱涵宜承担干线功能,断面应留有发展余度,并预留检修爬行空间与通风换气路径。网络优化还需要兼顾施工组织,分段导改与半幅施工要求干线具备阶段性通水能力,节点布置要考虑过渡期的临时接驳与导流。通过分区均衡与拓扑顺直的组合,系统在高峰来临时可以以更低的能量损失把洪峰传导至调蓄节点,减少节点溢流与地表回流的发生概率。

为避免设计阶段与现场条件脱节,可在方案比选中引入基于雨型与历时组合的敏感性分析,对井距、坡度、糙率、相对高差等关键参数设置扰动范围,计算能量损失与节点水位的变化率,作为拓扑优劣的量化依据。结合分段导改的施工约束,预设过渡期临时接驳与恢复路径,保证任一阶段都具备最小通水能力并能在极端降雨中维持可控溢流。

2.2 海绵设施与调蓄构筑物协同配置

源头削减与中端滞蓄是网络减负的有效方式,关键在于设施组合与体积分配。渗透性铺装、植草沟与下凹

绿地负责近源拦截与下渗,雨水花园与滞蓄池承担缓排与水质改善,市政调蓄池与道路下方箱涵承担片区削峰^[4]。设施之间需通过溢流口与连通管建立序贯关系,确保当上游容量接近临界时能有序溢入下一级空间,避免早期溢流绕开净化单元。体积分配应依据分区汇水面积与峰值历时来确定,上游多级小体量有利于分散冲击,中游中等体量承接波峰并延长滞时,下游大体量与外排口联动以控制出流。设施植被与填料层需要匹配当地土壤与降雨特征,防止长期堵塞导致渗透性能衰减。与管网的接口高程必须精准,误差会使设施常年干涸或长期积水,影响功能与景观。对于道路中央分隔带与绿化带,可在不影响交通安全的前提下布置狭长滞水槽与连通管,兼顾拦截与排空。建筑小区内部的雨水回用设施应与市政系统的调度逻辑协同,在强降雨期间优先让渡容量,平峰期间再行回用。施工阶段需按分层回填与分段压实控制渗滤系数,并设置截污挂篮与沉砂空间,减少泥沙与漂浮物进入连通管。通过设施序贯与容量分级的方式,源头、中端与末端形成互补,使系统在遭遇异常降雨过程时仍能保持可控的出流节奏。

设施协同还需纳入生命周期与管养能力差异。对高维护成本单元配置可更换表层与检修通道,利用水位与流量的运行数据识别早期堵塞征兆,按季节调整出水标高或孔洞率,降低长期饱水导致的功能衰减;在寒冷地区预防冻排空与融雪期旁路,避免渗透层冻胀损伤,并通过材料分区与可替换模块降低全寿命费用。

3 施工与运行维护一体化提升路径

3.1 施工阶段质量控制与数字化交付

施工质量把纸面方案转换为实体能力,管材与接口、基础与回填、井室与附属构件共同决定水力条件与耐久水平。管材应符合强度与刚度等级,接口需保持圆整与清洁,胶圈应均匀贴合并在插口处留出伸缩余量,避免错口与拔口。沟槽开挖要控制宽度与槽底平整,基础垫层厚度与标高需稳定,软弱土层应先行处理,防止运行期产生不均匀沉降。管道就位后应分层回填并对称夯实,管顶以上一定厚度采用中粗砂或粒径适中的石料,避免尖角碎石直接作用于管壁。井室砌筑与现浇需保证流槽顺滑与进出水口高差合理,踏步与吊点位置要与运维需求对应。道路恢复要确保横坡与排水口标高一致,避免形成积水洼点。施工记录应形成数字化资料,包括测量坐标与高程、沉降观测、试水与通球结果、摄像巡检视

频与缺陷整改闭环，交付时与设计模型与竣工图进行对账，实现空间位置与属性信息的统一。涉及既有管线与交通导改的路段应设置分阶段导流方案，保证降雨来临时临时系统具备基本排放能力。与河道相连的出水口应具备防倒灌构件并预留应急连接位置，以便在极端情形下接入移动泵站。通过可追溯的工序控制与数据化交付，系统运行的初始状态更接近设计目标，后续维护也能以证据为基础开展。

为确保过程稳定与可追溯，可采用 BIM 与 CIM 联动建立施工数字底座，关键构件在出厂、进场、安装三个环节编码与扫码流转，试水、通球、回填密实度、沉降观测等数据与构件一一关联。测量实行 GNSS 与水准复核双套体系，设置首件制与旁站制度，对接口圆整度、插口深度、环刚度、流槽坡度设定红线值与抽检频次。雨季施工编制作业窗口与应急清沟方案，临排系统使用快接快拆构件并设置防倒灌阀。道路恢复阶段同步完成雨水口侧石切缝与防渗处理，避免早期渗漏破坏路基。交付形成三维竣工模型与数字档案，内置缺陷清单与复测计划，便于运维接续与责任追溯。

3.2 运维监测与韧性提升机制

运维阶段决定系统性能的持续性与稳定性，监测网络与例行养护需要同步设计与实施。可在关键节点布设水位与流量传感设备，在易涝点布设地表积水高度观测，在出水口设置闸口状态与倒灌预警采集，并将数据与降雨雷达与地面站信息融合，形成本区预警与调度指令。例行养护的重点是口门清掏与井室沉泥清理，季节性落叶与建筑施工泥浆易造成短期堵塞，需要在高发季节提高频次。设施类单元要关注渗透性能衰减的趋势，通过表层松土与补充填料恢复渗透能力。突发事件处置要有预案，包含临时围挡、便携泵站投放与导流设施布设位置，并明确多部门协同流程。基于监测数据与事件记录，可建立运行指标与维护工作量之间的关系，对易堵节点与高能耗泵站开展针对性改造，例如通过调整井距与增加导流构件降低局部能量损失，通过优化泵站启停策略降低峰段电耗。全寿命管理还需要把新建与更新结合起来，老旧片区可采用原位内衬与局部开挖相结合的方式提升结构与水力性能，更新后的井室与接口应满足与新建同等的检修与密封标准。韧性的核心在于冗余与可恢

复，分区调蓄之间应保留越级互联通道，关键节点要具备替代路径，信息系统要支持快速定位与工单派发。通过持续的观测、例行的维护与针对性的改造，系统能够在变化的城市环境与不确定的气象情境下保持稳定的服务能力。

运维侧可建立指标卡与分级服务水平，将节点水位偏差、井室沉泥量、泵站启停次数与能耗强度纳入月度考核，结合四色图标注巡检优先级与响应时限。引入资产编码与工单系统，监测告警自动生成任务并跟踪闭环结果，形成事件驱动的维护模型。与城市平台联动，基于短临降雨预报动态调整调蓄与关口策略，开展年度容灾演练与关键设备冗余切换测试。通过公众端报障与共治机制补充感知盲区，按季节滚动修订预案阈值与物资储备，确保高峰期也能保持稳定服务。

4 结语

雨水排放系统的优化需要把规划目标、设计参数与施工控制连接成一条连续的链条，并在运维阶段以数据驱动的方式持续校正。以分区均衡与拓扑顺直为基础，以源头削峰与中端滞蓄为补充，再以高质量施工与可追溯交付作为保障，能够显著降低积水风险并提升资源化利用水平。不同城市片区的地形、管线与管养能力差异明显，优化路径应在统一框架下采取差异化参数与分阶段实施方案，使系统在约束条件内获得更高的安全裕度与恢复能力。

参考文献

- [1] 陈旭东. 面向城市防洪的雨水排放系统规划与控制策略研究 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (17): 100-102. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202417034.
- [2] 魏源源, 吴曼琳, 赵刚, 等. 城市高质量发展视角下雨水排放系统优化建设的思考 [J]. 中国市政工程, 2024, (06): 35-38+157.
- [3] 陈其楠. 高新园区海绵城市建设雨水排放收费政策研究 [J]. 城市道桥与防洪, 2023, (11): 130-133+320. DOI: 10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.11.033.
- [4] 孙长昊, 李朋亚, 马俊成, 等. 城市道路雨水排放及控制效果影响因素分析 [J]. 云南水力发电, 2023, 39(1): 280-283.