

城镇内涝治理中排水管网系统优化设计探讨

关 江 左 芬 芬 钱 琳 徐 毓 江
西安市政设计研究院有限公司 陕西 西安 710061

摘 要：针对我国城镇内涝频发的现实困境，本文深入分析了排水管网系统存在的设计标准滞后、管网布局失序、设施老化失修以及与海绵设施衔接脱节等突出问题。从系统优化视角出发，提出了涵盖管网拓扑重构、水力模型精算、节点设施升级、泵站科学配置、蓄排协同联动以及智能动态管控等多维度的综合优化策略。通过上述措施的协同实施，可显著提升管网系统的排水能力与运行韧性，有效缓解城镇内涝灾害。研究成果可为城镇排水管网的新建与改造工程提供理论依据与技术参考。

关键词：城镇内涝；排水管网；优化设计；雨水系统；海绵城市

引言：近年来，我国极端降雨事件频发，城镇内涝灾害呈加剧态势，严重威胁居民生命财产安全与城市正常运行。排水管网作为城镇排水系统的核心基础设施，其设计合理性直接决定了内涝防治能力。然而，传统排水管网因设计标准偏低、管网老化、维护不足等问题，难以应对高强度降雨挑战。本文聚焦排水管网这一内涝治理的关键环节，从系统优化视角探讨提升管网排水能力的技术路径，提出多维度协同优化设计方案，以期为城镇内涝治理提供理论支撑与实践参考。

1 城镇排水管网系统现状及问题分析

1.1 设计标准偏低

我国多数城镇现有排水管网按1至3年重现期标准建设，这一标准在近年频发的极端降雨面前已明显滞后。以郑州市为例，该市老城区部分管网设计重现期仅为1年，对应小时降雨强度约36毫米，而在2021年7月20日发生的特大暴雨中，实测最大小时雨强达到201.9毫米，远超管网承载极限。现行《室外排水设计标准》（GB 50014-2021）虽已将一般地区的水重现期提高至2至5年，但由于资金短缺、施工受阻、交通影响大等原因，大量老旧管网的改造进程十分缓慢，标准偏低的问题在近期内仍难以得到根本扭转。设计标准与现实降雨之间的巨大差距，已成为当前城镇内涝频繁发生的最直接原因。

1.2 管网布局不合理

早期城镇建设缺乏系统性规划，排水管网多采用见缝插针式布置，产生一系列布局缺陷。管径选择普遍偏小，干管与支管匹配度差，上游雨水无法顺畅向下游输送；管网密度严重不足，部分区域存在明显服务盲区；存在大量断头管和瓶颈管段，排水通道被人为阻断或收窄；雨水管网与污水管网混接错接问题普遍，污水挤占雨水排放通道，降低系统排水效率。这些布局问题相互

叠加，使得本已有限的管网排水能力进一步被削弱^[1]。

1.3 管网老化与维护缺失

我国城镇排水管网老化问题突出，投入使用超过30年的管道占比超过40%。老旧管道普遍存在裂缝、管节错位、泥沙沉积、树根侵入等病害，实际过流能力仅为设计值的60%至70%。与此同时，管网清淤维护严重滞后，部分城市平均清淤周期超过3年，管道淤积厚度逐年增加，有效过水断面持续缩小。缺乏定期检测和及时维修，导致小问题演变为严重缺陷，管道塌陷等事故时有发生。老化与维护缺失形成恶性循环，管网实际运行状态远低于设计预期。

1.4 与海绵设施衔接不足

近年来各地积极推进海绵城市建设，透水铺装、下沉式绿地等源头减排设施得到一定规模应用。然而，这些海绵设施与传统排水管网之间缺乏有效衔接，尚未形成协同排水格局。海绵设施溢流口设置不合理，超过调蓄能力的雨水无法顺利进入管网；出水口标高与管网接入标高不匹配，造成排水不畅；维护责任主体不明确，许多设施建成后很快失去调蓄功能。源头减排效果难以传导至管网系统，两者各自为战，无法发挥综合效益。

2 排水管网系统优化设计策略

2.1 管网布局与拓扑结构优化

管网布局是排水系统的骨架，其合理性直接决定排水效率。优化布局的首要任务是提高管网密度，改变过去“稀拉网”的布置方式。一般地区雨水口服务半径不宜超过40米，低洼路段、立交桥下等重要节点应加密至25至30米。同时，必须大力优化管网拓扑结构，摒弃单一枝状布局，采用环状与枝状相结合的混合结构，城市主干管网逐步形成环网，当某段管道故障或过载时，雨水可通过另一侧分流，提高系统冗余度和可靠性。工程

中应逐一排查并取消不合理的“断头管”，打通瓶颈节点，消除排水通道上的“肠梗阻”。合理划分排水分区是布局优化的前提，应依托数字高程模型和道路骨架，将城区划分为若干相对独立的排水分区，每个分区拥有独立排放通道，避免跨片区长距离转输排水^[2]。单个排水分区面积一般控制在50至200公顷。在管径确定上，应采用水力模型进行多方案比选，确保干管与支管管径逐级平稳增大，杜绝管径突变。根据现行标准与实践经验，推荐最小管径：支管DN300，次干管DN500至DN800，主干管DN1000以上，重要通道可采用DN1500至DN2000的大口径管道。

2.2 水力计算模型与参数改进

传统推理公式法在应对复杂下垫面、长历时或短时强降雨时往往力不从心，因此必须改进水力计算方法。其一是更新暴雨强度公式。许多城市现行的暴雨公式基于20世纪甚至更早的降雨数据，已无法反映当前极端气候下的降雨规律。设计单位应利用最新30年以上的逐分钟降雨资料，重新拟合公式参数。以某典型城市更新后的公式为例：

$$q = \frac{167A(1 + ClgP)}{(t + b)^n}$$

其一， q 为暴雨强度（ $L/s \cdot hm^2$ ）， P 为设计重现期（年）， t 为降雨历时（分钟）， A 、 C 、 b 、 n 为地区参数。重现期 P 的取值应严格执行新国标要求，一般地区不低于2至5年，重要地区采用5至10年。其二，是引入水文过程模拟。应积极采用SWMM、InfoWorks ICM等专业模型，而非仅依靠手工计算。模型能够模拟从降雨产流、地表汇流、管道传输到最终出流的全过程，可以精准识别积水点的位置、深度和持续时间，并直观展示管网充满度、流速等关键指标。

其三，是充分考虑管网淤积等实际运行工况。设计阶段往往采用理想糙率系数（如0.013），但老旧管道因沉积物、树根侵入等，实际糙率可达0.016至0.020，导致过流能力下降20%至30%。因此，在设计中应预留安全余量，或直接采用动态糙率系数进行校核计算，以确保设计成果在管网服役期内保持有效。

2.3 雨水口与检查井的节点优化

雨水口是管网系统的“咽喉”，其收水效率直接影响路面是否积水。优化重点是推广使用联合式雨水口，即同时具备平算和立算的形式，在道路纵坡较大时其截流效率可达90%以上，较传统单一平算式提高约25%。低洼路段、公交站台、交叉路口等区域应增设多算雨水口或线性排水沟。同时应注重雨水口附属功能：底部增

设截污挂篮拦截漂浮物防止堵塞；增设防臭装置或水封避免恶臭外逸。连接管管径不应小于DN200，坡度不应小于1%，确保水流快速汇入主管。检查井除按规范设置外（直线段间距30至50米），应在井底设置0.3至0.5米深沉淀槽，清淤时只需抽吸沉淀槽，无需频繁冲洗整段管道。另外，河道周边低洼区域的检查井及排口处应设置拍门或鸭嘴阀，降雨时依靠水压自动开启排水，河道水位上涨时依靠水压或自重关闭，有效防止河水倒灌。

2.4 排水泵站的科学配置与优化

对于地势低洼、不具备重力排水条件的区域，泵站是不可或缺的核心设施。优化配置的首要任务是合理确定泵站布局与规模，泵站应设置在排水分区最低点，单座服务面积以50至100公顷为宜。泵站设计流量应取服务区域设计雨水流量的1.2至1.5倍，为极端降雨预留裕度。泵型配置上推荐多泵并联方案，如配置3至4台同型号潜污泵（1台备用），可根据来水量灵活调度：小雨开启1台，中雨开启2台，暴雨全部运行，实现分级调节避免能源浪费。水泵效率要求不低于75%，大流量低扬程工况可选用轴流泵。泵站前池有效容积应不小于单台水泵30至60秒的流量，避免频繁启停。泵站出水管应尽量采用压力流直接排入河道，避免与重力管串联造成顶托^[3]。

2.5 管网互联互通与调蓄设施结合

孤立的管网系统韧性不足，互联互通和调蓄结合是提升系统弹性的有效手段。一方面，应大力推进相邻排水分区之间的管网互联，在分区边界处设置连通管并配套电动闸门或堰门。常态下闸门关闭各分区独立运行，遭遇超标暴雨时通过智能调度开启闸门，将重灾区无法消纳的雨水引导至相邻低负荷分区，实现管网容量动态共享。另一方面，必须将调蓄设施作为管网系统的有机组成部分，结合公园、绿地等空间建设调蓄池或调蓄塘，核心作用是削峰填谷，在降雨高峰期暂时储存雨水，待管网空余后再缓慢释放。调蓄容积一般控制标准为10至30立方米每公顷。调蓄设施与管网建立联动机制：水位超过预警时自动开启进水闸门引水，下游转输能力恢复后开启放空。该组合模式能以较小投资显著提高排水标准。

2.6 智能监测与动态调度系统建设

传统“静默”式管网无法应对复杂多变的降雨，必须为其赋予“感官”和“大脑”。首先应建设在线监测网络，在主干管交汇处、泵站前池、易积水点上游、排河口等关键节点布设水位计、流量计等传感器，以分钟级频率采集数据并通过物联网实时上传。其次要开发预警预报平台，集成气象雷达短临降雨预报数据，耦合已

率定的水文水力学模型。预报未来1至3小时内有强降雨时，系统进行滚动模拟，提前预判积水点位和深度，自动发布分级预警。最后是建设智慧调度系统，基于实时监测数据和模型预报结果，通过优化算法自动生成调度预案，包括提前降低河道闸坝水位、启动泵站预抽空管道、开启或关闭分区连通管阀门等。调度指令可确认下发或全自动执行，实现从被动响应到主动预防的转变^[4]。

3 优化设计案例与效果分析

3.1 案例概况

选取南方中等城市老城区（面积约8.5km²）作为优化设计案例。该区域人口约12万人，地势北高南低，原排水管网多建于1990年代，设计重现期1年，管网密度

4.2km/km²，近年来“逢雨必涝”，内涝点达23处。

3.2 优化方案要点

（1）管网布局：新增DN400~DN800管道15.6km，管网密度提升至6.8km/km²；打通3处瓶颈管段；将原有5个排水分区调整为8个。（2）管径升级：主干管由DN600~DN800升级为DN1000~DN1200，部分路段采用顶管施工。（3）新增泵站：在南侧低洼处新建雨水泵站1座，设计流量8.5m³/s，配置4台潜污泵（3用1备）。（4）调蓄池：结合南侧公园建设地下调蓄池1座，有效容积15000m³。（5）雨水口：重点区域更换联合式雨水口480座，增设雨水口210座。（6）智能系统：布设水位监测点35处，建设排水智能调度平台。

表1 效果评估表

评估指标	优化前（3年一遇）	优化后（3年一遇）	优化前（30年一遇）	优化后（30年一遇）
管网峰值充满度	0.92	0.67	1.15（超载）	0.88
地面积水点数量（处）	23	3	47	12
最大积水深度（cm）	42	12	68	28
平均积水时间（min）	85	18	156	42
管网排水能力（m ³ /s）	12.6	17.8	—	—
泵站最大运行功率（kW）	—	420	—	580

模拟结果表明：优化后管网排水能力提升约41%，3年重现期降雨条件下基本无内涝发生，30年重现期条件下积水点和积水深度均大幅下降，系统抗风险能力显著增强^[5]。

结束语

城镇排水管网系统优化设计是内涝治理的核心环节，必须坚持系统思维，从布局重构、水力精算、节点改造、动力升级、蓄排协同及智慧管控等多维度协同推进。通过提高管网密度、优化拓扑结构、推广联合式雨水口、科学配置泵站、建设调蓄设施及智能调度系统，可显著提升管网排水能力。案例表明，优化后管网排水能力提升约41%，内涝点大幅减少。各地应因地制宜，将源头减排、管网排放、蓄排并举、超标应急纳入统一规划，逐步构建安全、韧性、智能的城镇排水体系。

参考文献

[1]黎传书,鄢海燕.城镇排水系统提质增效系统化治理技术[J].城市开发, 2026(5): 171-173.

[2]刘曾美,熊腮敏,雷勇,等.城镇内涝防治中市政排水与水利排涝的标准衔接研究[J].水资源保护,2022,38(1):125-132.

[3]李玲琪.城市更新中给排水管网改造设计研究[J].广州建筑, 2025, 53(12): 41-46.

[4]李舜尧.城市内涝原因分析与治理对策研究[J].城镇供水,2023(5):93-96.

[5]闫明,王红武,刘志刚,等.城镇排水系统运行效能评价指标体系的构建与研究[J].环境工程学报,2023,17(10):3124-3136.