

城市内涝防控视角下的排水管网系统设计研究

杜彦清¹ 柴晨微¹ 郑晓英² (通讯作者)

1 河北加壹建筑设计有限公司, 河北石家庄, 050000;

2 石家庄市保障性安居工程开发建设有限责任公司, 河北石家庄, 050000;

摘要: 随着城市化进程的加速, 极端降雨事件频发, 城市内涝问题日益严峻, 对城市交通安全、居民生活及经济发展造成了显著危害。排水管网系统作为城市防涝基础设施的核心, 在及时收集与排放雨水、防控内涝方面发挥着不可替代的关键作用。本研究从管网布局设计、管径计算、管道材质选择等方面探讨了城市内涝防控视角下排水管网系统的设计要素, 分析了排水管网老化、排水标准与实际降雨不匹配等问题, 并提出了相应的应对策略。同时结合国内外先进经验与新技术应用, 强调了持续优化管网系统设计对提升城市内涝防控能力的重要意义。研究成果为完善城市排水管网系统设计提供了理论支持与实践指导, 有助于进一步增强城市应对内涝灾害的能力。

关键词: 城市内涝; 排水管网系统; 管网设计; 内涝防控

DOI: 10.69979/3029-2727.26.04.039

引言

随着全球气候变化和城市化进程的加速, 城市内涝现象在国内外频繁发生。近年来, 极端降雨事件的频次和强度显著增加, 使得许多城市的排水系统面临严峻挑战。排水管网系统作为城市防洪排涝基础设施的核心, 其重要性不言而喻。一个科学合理设计的排水管网系统能够高效收集和排放雨水, 从而有效减轻城市内涝的风险。本文旨在从城市内涝防控的视角出发, 探讨排水管网系统的设计要素、面临的问题及应对策略, 并借鉴国内外先进经验, 分析新技术在管网设计中的应用, 以期提升城市内涝防控能力提供理论支持和技术指导。

1 城市内涝与排水管网系统的关系

1.1 城市内涝现状及成因

随着城市化进程的加速, 城市内涝问题日益凸显, 已成为全球范围内广泛关注的环境与工程挑战。近年来, 极端降雨事件频发, 导致许多城市频繁发生内涝灾害, 其影响范围从局部地区扩展至整个城市区域, 造成了严重的经济损失和社会影响。城市内涝不仅对交通系统造成瘫痪, 还威胁居民生命财产安全, 并可能引发次生灾害, 如水质污染和公共卫生问题。从成因上看, 城市内涝的主要诱因包括降雨强度增加、地面硬化比例提高以及排水管网系统存在缺陷。其中, 排水管网问题尤为关键, 例如管道老化、设计标准偏低以及排水体制不完善等, 直接削弱了城市的排水能力, 加剧了内涝风险。因此, 解决排水管网问题已成为缓解城市内涝的重要突破口。

1.2 排水管网系统在城市内涝防控中的作用

排水管网系统作为城市排水防涝基础设施的核心组成部分, 在防控城市内涝方面发挥着不可替代的作用。该系统通过及时收集和排放雨水, 有效减少了地表积水, 从而降低了内涝发生的可能性。在理想状态下, 排水管网应能够快速将雨水引导至自然水体或污水处理厂, 确保城市水循环的顺畅运行。然而, 由于部分城市排水管网建设滞后或设计不合理, 其在实际运行中往往难以应对极端降雨事件, 导致内涝频发。另外, 排水管网系统还与城市其他基础设施密切相关, 例如道路、绿地和河流水系, 共同构成了城市综合防涝体系的重要组成部分。

2 城市内涝防控视角下排水管网系统设计要素

2.1 管网布局设计

在城市内涝防控中, 排水管网的布局设计是确保其高效运行的基础。管网布局需充分考虑城市地形、地貌以及功能区分布等因素, 以实现雨水的快速收集与排放。例如, 在地势较为平坦的区域, 应通过合理设置管网走向和坡度, 避免因流速不足而导致积水; 而在山区或丘陵地带, 则需结合自然水流方向进行管网布置, 以减少土方开挖量并降低建设成本。城市功能区的分布也对管网布局具有重要影响, 如商业区、住宅区及工业区因其不同的用地性质和排水需求, 需分别设计相应的管网节点与分支线路。

2.2 管径计算

管径的合理确定是保障排水管网系统排水能力的关键环节。管径计算通常依赖于暴雨强度公式和流量计

算原理,其中暴雨强度公式是评估城市排水需求的重要工具。同时流量计算则需结合城市汇水面积、地表径流系数等因素,以确保管网在设计暴雨条件下能够承受最大流量。例如,当降雨强度达到30~80 mm/h时,若管径选择不当,将显著增加内涝发生的风险。因此,在管径计算过程中,必须充分考虑城市降雨特征、历史积水点分布以及未来气候变化趋势,适当提高设计标准,以增强管网的排水能力,从而更好地应对极端降雨事件。

2.3 管道材质选择

管道材质的选择直接影响排水管网系统的使用寿命与运行稳定性。常见的管道材质包括混凝土管、塑料管(如PVC管、HDPE管)及金属管等,每种材质均具有独特的性能特点。例如,混凝土管因其较高的强度和耐久性,广泛应用于大型排水管网中,但其重量较大且易受腐蚀影响;相比之下,塑料管具有优异的耐腐蚀性和较轻的质量,更适合用于复杂地质条件下的施工。管道材质的选择还需结合城市地质条件、施工要求及经济性进行综合考量。例如,在土壤腐蚀性较强的地区,应优先选用抗腐蚀性能较好的塑料管;而在施工空间受限的区域,则可采用柔性接口的管道以简化安装流程。

3 排水管网系统设计中面临的问题及应对策略

3.1 排水管网老化问题

城市排水管网系统在长期运行过程中,老化问题日益凸显,其主要表现为管道破损、渗漏以及排水能力下降等现象。这些问题的产生原因主要包括使用年限过长、材料腐蚀以及外部荷载作用等。早期建设的排水管道多采用混凝土材质,在长期使用后易出现裂缝和接口松动,从而导致渗漏和结构性破坏。此外,污水中的化学物质对管道内壁的腐蚀作用也加速了管道的老化进程。针对这一问题,近年来管道检测技术的应用为老化管网的评估提供了重要手段。例如,闭路电视(CCTV)检测、声呐检测以及管道潜望镜检测等技术能够精确识别管道内部缺陷,为后续修复工作提供数据支持。在修复方面,非开挖修复技术如管内衬里法、喷涂法以及碎管置换法等,因其施工周期短、对地面交通影响小等优势,逐渐成为解决老化问题的有效手段。对于老化严重的管道,则需通过更换新管的方式彻底解决问题,从而提升排水管网的整体性能和可靠性。

3.2 排水标准与实际降雨不匹配问题

随着全球气候变化引发的极端降雨事件频发,部分城市现有排水标准已难以满足实际降雨条件下的排水

需求,这一问题在城市内涝防控中尤为突出。当前,我国许多城市的排水系统设计仍基于传统暴雨强度公式,且设计标准普遍偏低,例如部分老城区的排水能力仅能应对一年一遇的降雨强度,而近年来频发的极端降雨事件往往超过这一标准,导致内涝灾害频发。为解决这一问题,提高排水标准是首要措施之一。具体而言,应根据城市所在区域的气象条件、地形特征以及内涝风险等级,重新评估并调整排水系统的设计标准,确保其能够应对更高频率的极端降雨事件。建设调蓄设施也是缓解排水压力的重要手段。例如,通过建设雨水调蓄池、人工湿地以及下凹式绿地等设施,可以有效削减峰值流量,延缓雨水进入排水管网的时间,从而减轻管网的排水负担。

4 国内外先进经验借鉴

4.1 国外先进排水管网系统设计与管理模式

国外部分城市在排水管网系统的设计、建设及运营管理方面积累了丰富的经验,其先进模式为我国城市内涝防控提供了重要的参考。以德国为例,该国通过构建完善的雨水收集利用系统,实现了雨洪资源的最大化利用。德国的“雨水利用系统”不仅包括地面渗透设施,还涵盖了地下储水装置与智能分流管网,这些设施能够根据降雨强度动态调节雨水排放路径,从而有效缓解城市排水管网的负荷。日本在智能排水管网管理方面也颇具特色,其引入了基于传感器和大数据分析的智慧排水系统,通过对管网运行状态的实时监测和预测分析,显著提升了排水效率与应急响应能力。这些先进模式的优势在于将自然调蓄功能与现代科技相结合,既注重生态保护,又强调系统的智能化与可持续性,值得我国城市在排水管网系统优化中加以借鉴。

同时国外经验表明,排水管网系统的成功建设与运营离不开科学规划与多部门协作。例如,德国的排水管网建设通常需要结合城市总体规划、土地利用规划以及绿地系统规划,确保排水设施与其他基础设施的协调统一。这种系统化的规划理念有助于避免因单一部门决策导致的资源浪费或功能冲突。日本的排水管网管理模式还强调了法律法规的完善与公众参与的引入,通过制定严格的排水标准与激励机制,鼓励社会各界共同参与城市内涝防治工作。这些做法不仅提高了排水管网系统的运行效率,也为我国城市内涝防控提供了宝贵的实践经验。

4.2 国内成功案例分析

在国内,部分城市在内涝防控及排水管网系统建设

方面取得了显著成效,其成功经验为其他城市提供了重要参考。以某市为例,该地区通过明确区分“内涝”与“积水”的成因及治理对策,提出了针对性的顶层设计方案。在“内涝”治理中,注重提升河道行洪能力,并通过建设调蓄池与改造雨水管网相结合的方式,有效缓解了长历时暴雨引发的内涝问题;而在“积水”治理中,则重点解决了局部低洼地段的排水瓶颈问题,例如通过增设雨水篦子与优化管道布局,显著改善了市政道路的排水性能。这种差异化治理策略不仅提高了治理效果,还为其他城市提供了可操作的实践路径。

某市在排水管网系统建设中的经验同样值得关注。该市通过推进综合管廊建设与智慧化管理,实现了排水管网的全面升级。具体而言,排水管网设计中引入了地理信息系统(GIS)技术,通过对管网空间分布与运行状态进行动态监测,及时发现并解决了管道病害问题。该市还建立了多部门联动机制,确保在面对极端降雨事件时能够快速响应并采取有效措施。这些经验表明,科学规划与技术创新是提升城市内涝防控能力的关键因素,同时也凸显了跨部门协作在排水管网系统建设中的重要性。

5 新技术在城市排水管网系统设计中的应用

5.1 地理信息系统(GIS)的应用

地理信息系统(GIS)技术在城市排水管网系统的规划、设计和管理中具有重要作用。通过GIS技术,可以实现对排水管网的空间分析,例如对管网覆盖范围、管径分布及节点连接关系进行可视化展示与定量分析,从而为管网布局优化提供科学依据。GIS技术还能够用于排水设施的精准定位,帮助设计人员快速识别关键节点的位置及其周边环境特征,确保管网设计与城市地貌和功能区分布相协调。同时结合降雨数据和水文模型,GIS技术可以支持排水模拟,预测不同降雨情景下的积水范围和深度,为内涝风险评估提供重要工具。这些功能不仅提高了排水管网系统设计的科学性,还显著提升了管网运行管理的效率,为城市内涝防控提供了强有力的技术支撑。

5.2 水力模型的应用

水力模型是模拟城市排水管网水流状态的重要工具,在预测内涝风险和优化管网设计中发挥着关键作用。通过构建一维或二维水力模型,可以精确模拟雨水在管网中的流动过程,分析管网的承载能力及潜在瓶颈问题。基于SWMM(Storm Water Management Model)模型的研究表明,通过模拟不同降雨强度下的管网水流状态,能够有效识别易涝区域并评估其内涝风险等级,为管网设计优化提供决策支持。水力模型还可用于排水调度方案的制定,通过模拟多种调度策略的效果,选择最优方案以提升管网的排水效率。

6 结语

从城市内涝防控的视角来看,排水管网系统的设计至关重要。其关键点涵盖多个方面,在设计要素上,需综合考虑管网布局、管径计算及管道材质选择,以确保管网能够高效运行并适应城市复杂的环境条件。面对排水管网老化、排水标准与实际降雨不匹配等问题,应通过管道检测与修复、提高排水标准等策略加以应对。借鉴国内外先进经验,如国外雨水收集利用系统与智能排水管网管理模式,以及国内部分城市在管网设计优化和多部门协作方面的成功案例,可为管网系统设计提供新思路。新技术如地理信息系统(GIS)和水力模型的应用,进一步提升了管网设计的科学性与管理效率。持续优化排水管网系统设计,是提升城市内涝防控能力的重要保障。未来的研究可聚焦于如何将更多创新技术融入管网系统,以及如何在城市快速发展的背景下实现管网系统的动态优化与可持续发展。

参考文献

- [1] 李喆. 排水管网问题对城市内涝风险的影响研究与应对[J]. 供水技术, 2024, 18(3): 14-17.
- [2] 桑林浩; 杨丽萍; 郑诗豪. 城市内涝工程短板分析及措施研究[J]. 水电能源科学, 2023, 41(8): 90-93.
- [3] 蒋宗富; 何青. 基于城市内涝探析市政管网的建设措施[J]. 工程建设与设计, 2021, (24): 83-85.
- [4] 蔡嘉欣. 基于SWMM水力模型的城市区域排水管网内涝分析[J]. 地下水, 2023, 45(6): 261-263.