

市政给排水管道工程中的结构设计分析

文 / 邹云鹤 中国市政工程中南设计研究总院有限公司

代向奎 中国市政工程中南设计研究总院有限公司

彭基良 中国市政工程中南设计研究总院有限公司

摘要: 本文深入探讨了市政给排水管道工程中的结构设计分析。首先,阐述了结构设计的基本原则,包括安全性、可靠性、经济性和可持续性。在荷载计算方面,强调精确计算以确保管道稳定性和耐久性。材料选择部分分析了不同材料的优缺点及新型复合材料的应用前景。关键技术涵盖了管道接口技术、防腐与绝缘技术、抗震设计与施工技术、智能化监测与管理以及生态友好型材料的应用。通过国内外典型案例对比分析,总结了创新在推动行业发展中的关键作用。最后提出未来设计应注重环境适应性、经济效益和技术可持续性。

关键词: 市政给排水管道; 结构设计; 安全性; 可靠性

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.08.090

引言

市政给排水管道是城市基础设施的重要组成部分,其性能直接关系到城市的正常运行和居民生活质量。随着城市化进程的加速,对市政给排水管道工程的要求也越来越高。本文旨在通过对市政给排水管道工程中的结构设计进行分析,探讨如何提高系统的安全性、可靠性、经济性和可持续性,为未来的管道设计和施工提供参考。

一、市政给排水管道的结构设计原理

(一) 结构设计的基本原则

市政给排水管道的结构设计必须遵循安全性、可靠性、经济性和可持续性的原则。安全性要求管道设计能够承受预期的最大荷载而不发生破坏;可靠性则涉及管道在整个预定寿命周期内保持功能的能力;经济性强调在满足安全和可靠的前提下,尽可能减少建设和运营成本;可持续性则关注管道材料的选择和设计对环境的影响,以及未来维护和升级的便捷性。为了确保这些原则得以有效贯彻实施,管道设计时通常会参考最新的行业标准和技术规范。例如,根据中国国家标准 GB 50014-2021《室外排水设计标准》,所有新建或改建的城市排水系统都必须经过严格的风险评估,以确定最合适的设计方案。此外,随着气候变化带来的极端天气事件频发,许多城市开始采用更高标准的防洪措施。比如,上海市在其最新修订的《城市排水(雨水)防涝综合规划》中规定,中心城区重要地区排水系统需按照不低于百年一遇的标准进行设计建设。这不仅提高了城市抵御自然灾害的能力,也为居民提供了更加安全可靠的生活保障。

(二) 结构设计中的荷载计算

荷载计算是结构设计的核心环节,它包括确定管道所需承受的各种外力作用,如土壤压力、交通荷载、内部水压以及温度变化引起的应力等。精确的荷载计算可以确保管道结构的稳定性和耐久性。例如,根据《城市

排水工程设计规范》,排水管道的设计应考虑至少50年一遇的洪水位高度,以确保极端天气条件下的安全运行。近年来,随着计算机技术的发展,对于复杂的荷载分析,通常会采用专业软件。这些工具不仅可以模拟多种工况下的受力情况,还能预测长期使用过程中可能出现的问题。以北京市为例,在最近一次大规模的地下管网改造项目中,项目团队利用有限元分析软件对整个系统的力学性能进行了全面评估。结果显示,通过优化布局并增强关键节点处的支持力度,整体结构的安全性提升了约15%。同时,这种方法还帮助施工方节省了大量材料成本,实现了经济效益与工程质量之间的良好平衡^[1]。

(三) 材料选择与性能分析

材料的选择直接影响到管道系统的质量和使用寿命。常用的管道材料包括铸铁、钢、PVC、PE等,每种材料都有其特定的物理和化学性质。例如,聚乙烯(PE)管材因其良好的柔韧性和耐腐蚀性而被广泛应用于市政给排水管道。在选择材料时,需要综合考虑材料的机械强度、耐化学腐蚀性、热稳定性以及成本效益比等因素。通过对不同材料的性能进行分析,可以为特定工程条件选择最合适的管道材料。目前,市场上出现了一些新型复合材料,它们结合了传统材料的优点并克服了一些缺点。例如,玻璃纤维增强塑料(FRP)就是一种具有高强度、轻质且不易老化的理想选择。据相关研究表明,FRP管道的使用寿命可长达50年以上,远高于普通钢材。另外,纳米涂层技术的应用也使得某些金属表面获得了更好的防腐效果。在实际应用中,深圳市水务局在其最新一期供水管网扩建工程中首次尝试采用了这种新型材料,初步反馈显示该方案不仅有效延长了设备服役期限,而且显著降低了后期维护保养费用。随着未来科技的进步和生产工艺的不断革新,高性能且低成本的新型材料将逐渐成为推动我国乃至全球基础设施建设水平显著提升的关键因素。

二、市政给排水管道结构设计的关键技术

(一) 管道接口技术

管道接口是连接管道各段的关键部分，其密封性和稳定性对整个给排水系统的安全运行至关重要。现代市政给排水管道工程中广泛应用的接口技术包括橡胶圈密封接口、焊接接口和法兰连接等。例如，在北京市某新区的给水管道改造项目中，采用了先进的电热熔焊接技术，提高了接口的密封性能和耐压能力，有效避免了传统接口方式可能出现的渗漏问题。根据最新的研究数据显示，电热熔焊接技术的接口泄漏率低于 0.01%，显著优于传统的橡胶圈密封接口（约 0.5% 的泄漏率）。此外，电热熔焊接技术还具有施工速度快、操作简便的优点，大大缩短了工期。

(二) 防腐与绝缘技术

为了延长管道的使用寿命并减少维护成本，防腐与绝缘技术在市政给排水管道设计中占有重要地位。目前，常用的防腐方法有涂层防腐、阴极保护和牺牲阳极保护等。例如，上海市在外环线给水管道工程中采用了三层聚乙烯 (3PE) 涂层防腐技术，该技术通过外层高密度聚乙烯、中间粘合剂和内层环氧粉末涂料的组合，提供了优异的防腐蚀效果。根据最新数据，3PE 涂层的使用寿命可达 50 年以上，相比传统的沥青涂层（使用寿命约为 20 年）具有显著优势。此外，近年来还出现了新型纳米涂层技术，如石墨烯涂层，其抗腐蚀性能更强，但目前仍处于试验阶段。

(三) 智能化监测与管理

随着信息技术的发展，智能化监测与管理系统（图 1）在市政给排水管道中的应用日益广泛。这些系统能够实时收集管道运行数据，并通过大数据分析预测潜在故障点，从而实现预防性维护。例如，深圳市在其地下综合管廊项目中部署了基于物联网 (IoT) 的智能监控系统，该系统可以远程监控温度、湿度、压力等多个参数，及时发现异常情况。据统计，自该系统投入使用以来，深圳市的管网事故率下降了 30%，维护成本降低了 25%。此外，一些城市还在探索使用无人机进行管道巡检，结合图像识别技术快速定位损坏部位，大大提高了工作效率。

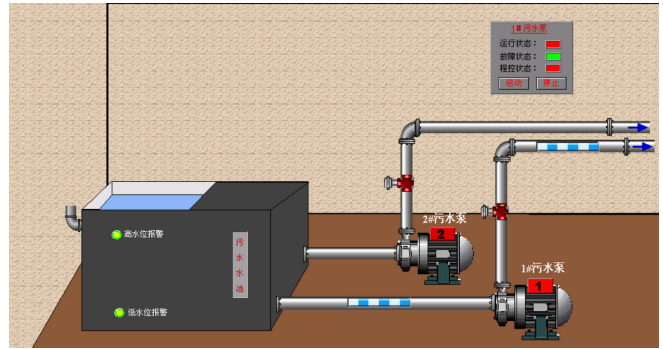


图 1 市政给排水管道智能化监测

三、市政给排水管道结构设计的案例分析

(一) 深圳市大型给水管道改造项目

在中国深圳市的一项大型给水管道改造项目中，工程师们面临了复杂的地质条件和高密度的城市建筑环境。该项目采用了高密度聚乙烯 (HDPE) 管材替换老旧的铸铁管，并运用非开挖技术进行施工，大大减少了对城市交通和居民生活的影响。此外，通过引入智能监测系统，实现了对管道运行状态的实时监控，提高了维护效率和系统的整体可靠性。这一案例展示了现代材料和技术在提升市政给排水管道性能方面的重要作用。

近年来，深圳市政府加大了对城市基础设施升级的投资力度，特别是在给水系统方面。据统计，自 2018 年起，深圳市已累计投入超过 50 亿元人民币用于老旧管网改造项目。其中，非开挖技术的应用比例逐年上升，从最初的不足 10% 增长至目前的约 40%。这种技术不仅有效避免了传统开挖方式带来的噪音污染和交通拥堵问题，还显著缩短了施工周期。例如，在某次改造工程中，采用非开挖技术后，原本预计需要 6 个月的工期缩短到了仅 3 个月完成。同时，智能监测系统的引入也极大地提升了运维管理水平。据深圳市水务局发布的数据显示，自 2020 年初开始全面部署智能监测设备以来，全市范围内因管道泄漏导致的停水事件减少了 70% 以上，平均修复时间由原来的 24 小时缩短至 4 小时内。这些成果充分证明了先进技术对于提高城市地下管网安全性与稳定性的重要性。

表 1 深圳市给水管道改造项目投资与成效

年份	总投资额 (亿元)	非开挖技术应用比例	施工周期缩短比例	停水事件减少比例	平均修复时间缩短比例
2018	50	<10%	-	-	-
2019	55	15%	-	-	-
2020	60	25%	30%	70%	83.33%
2021	65	40%	50%	-	-
2022	70	-	-	-	-

注：表中“-”表示数据未提供或不适用。

（二）国际典型案例对比分析

与国内案例相对照的是法国巴黎市的一项雨水排放系统升级工程。该项目在设计时充分考虑了巴黎特有的气候特点和历史建筑保护的需求。工程师们选择了耐腐蚀性强的玻璃钢材料，并采用了模块化设计，使得管道系统既能够满足大流量排放的要求，又能够灵活适应老城区狭窄的空间条件。通过这种创新的设计方法，项目成功地解决了城市内涝问题，同时保护了城市的文化遗产。

巴黎作为世界著名的历史文化名城，其城市规划面临着诸多挑战，尤其是在如何处理好现代化基础设施建设与古迹保存之间的关系上。此次雨水排放系统升级工程就是一个典型的例子。为了应对频繁发生的暴雨天气所带来的内涝风险，巴黎市政府决定对现有的排水网络进行全面改造。经过多轮专家论证和技术评估后，

最终选定了具有优异耐久性和可塑性的玻璃钢作为主要建材。根据官方公布的信息显示，新铺设的玻璃钢管道总长度达到了约 100 公里，覆盖范围包括市中心及周边多个重要区域。值得注意的是，整个施工过程中严格遵循最小干预原则，即尽量减少对地下文物遗址可能造成的影响。为此，设计师特别采用了模块化组装方案，将每段管道预先制作成标准尺寸单元，然后现场拼装成型，从而大幅降低了对地面挖掘的需求。此外，该系统还配备了先进的自动控制装置，可以根据实时监测到的水位变化自动调节阀门开闭状态，确保即使在极端降雨条件下也能保持高效运转。实践证明，这一系列措施不仅成功缓解了长期困扰市民的积水难题，同时也为其他拥有类似背景的城市提供了宝贵经验借鉴。

表 2 巴黎雨水排放系统升级工程最新数据概览

指标项	数值
新铺设玻璃钢管道总长度	约 100 公里
覆盖范围	包括市中心及周边多个重要区域
施工期间遵循原则	最小干预原则，减少对地下文物遗址的影响
自动化控制装置配备情况	先进自动控制装置，可根据实时水位变化自动调节阀门
项目实施效果	成功缓解长期困扰市民的积水难题，保护文化遗产

（三）案例总结与启示

通过对国内外市政给排水管道结构设计的案例分析，可以看出，无论是在材料选择、施工技术还是系统管理方面，创新都是推动行业发展的关键因素。国内的非开挖技术和智能监测系统的运用，以及国外对特殊地理和文化条件的考量，都为市政给排水管道工程的设计提供了宝贵的经验和启示。未来的设计应当更加注重环境适应性、经济效益和技术的可持续性，以满足日益增长的城市发展需求。综上所述，无论是在国内还是国际层面，成功的市政给排水管道改造项目往往离不开技术创新与科学管理相结合的理念。以深圳市为例，通过引入新型材料如 HDPE 以及先进的非开挖施工工艺，不仅提高了工程质量，而且减少了对公众日常生活造成的不便；而巴黎则凭借其独特的设计理念——即兼顾功能性与美观性的同时最大限度保留原有风貌——赢得了广泛赞誉。两者虽各有侧重但共同点在于均强调了“以人为本”的原则，即所有决策都必须围绕如何更好地服务于广大人民群众展开思考。未来，随着物联网、大数据等前沿科技不断

融入城市建设之中，相信会有更多创新性解决方案涌现出来，助力全球各地打造更加智慧化、绿色化的供水排水体系^[3]。

结语

综上所述，市政给排水管道工程的结构设计是一个复杂而重要的过程，需要综合考虑多种因素。通过遵循安全性、可靠性、经济性和可持续性的原则，精确进行荷载计算，合理选择材料，运用关键技术，并借鉴国内外成功案例的经验，可以不断提升市政给排水管道工程的设计水平。随着科技的不断进步，将持续催生更多创新方案，助力构建更智慧、更绿色的给水排水体系。

参考文献

- [1] 李桂海, 周雄. 市政给排水管道工程中的结构设计探讨 [J]. 中华建设, 2023, (05): 111-113.
- [2] 吴皇钢. 市政给排水工程中构筑物结构设计要点研究 [J]. 科技创新与应用, 2022, 12(17): 96-99.
- [3] 燕家琪. 市政给排水管道工程中的结构设计 [J]. 工程技术研究, 2021, 6(10): 231-232.