

# 城市地下综合管廊中给排水管线布局优化探讨

李倩

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:**随着我国城市化进程不断加快,传统“马路拉链”式地下管线敷设方式已难以满足现代城市高质量发展的需求。城市地下综合管廊作为集约化、智能化、可持续的城市基础设施,已成为解决“城市病”的关键举措之一。在综合管廊内部,给水与排水(包括雨水、污水)管线是核心组成部分,其布局合理性直接关系到管廊运行效率、维护便捷性、安全可靠性及全生命周期成本。本文基于综合管廊设计规范,系统分析当前给排水管线布局中存在的主要问题,从空间布局、功能分区、安全间距、运维通道、抗震防灾等维度提出优化策略,并结合BIM技术与智能监测手段,探索面向未来智慧城市的管线布局优化路径。研究结果可为综合管廊规划设计提供理论支撑与实践指导。

**关键词:**城市地下综合管廊;给排水管线;布局优化;多目标协同;BIM技术;智慧运维

## 引言

近年来,我国城市地下空间开发利用高速发展,综合管廊将多种市政管线集中敷设于同一地下隧道空间,提升了城市基础设施的韧性与智能化水平。但在实际工程中,给排水管线(特别是重力流排水管线)因特殊技术要求,在综合管廊内布局面临诸多挑战,布局不合理会带来建设成本增加、运行故障、维护困难甚至安全事故等问题,所以科学高效优化其空间布局是亟待解决的关键技术问题。而对给排水管线布局进行系统优化具有重要现实意义,合理布局能提升管廊内部空间利用效率,控制土建断面尺寸、降低投资成本,规避管线间风险,保障水质安全与结构稳定,为后期运维预留空间、提高检修效率,还能为新型智慧城市和数字孪生城市建设提供物理基础,推动城市基础设施智能化演进。

## 1 综合管廊中给排水管线布局现状与问题分析

### 1.1 现行规范与标准梳理

目前,我国关于综合管廊的主要技术标准包括《城市综合管廊工程技术规范》(GB50838-2015)、《城镇综合管廊工程规划编制规程》(CJJ/T271-2017)等。其中对给排水管线的敷设有如下规定:给水管线宜布置在管廊上部或侧壁支架上;排水管线(尤其是污水、雨水)因需重力流,通常置于管廊底部;给水与排水管线之间应保持不小于0.5m的净距;排水管线应设置检查井、通气管及坡度(一般 $\geq 0.3\%$ );管廊内应设置集水坑及排水泵站,排除渗漏水。尽管规范提供了基本框架,但在复杂交叉口、变径段、分支节点等区域,仍缺乏精细化布局指导。

### 1.2 工程实践中存在的主要问题

给排水管线布局存在以下共性问题:(1)重力流排

水管线坡度难以保证:部分项目为压缩管廊埋深或适应地形,强行调整排水管坡度,导致流速不足、淤积风险增加。尤其在长距离直线段后突遇竖向高差变化时,易形成“反坡”或“平坡”,严重影响排水效能。(2)给排水管线空间冲突严重:在狭窄断面(如双舱或三舱管廊)中,给水管、再生水管、消防管与污水管、雨水管常因支架位置重叠、阀门井占用空间过大而发生干涉,施工阶段频繁返工。(3)检修通道不足:部分设计未充分考虑大型阀门、泵体、清淤设备的进出需求,导致后期维护需临时拆除其他管线,运维成本高昂<sup>[1]</sup>。(4)防腐与防渗措施不到位:给水管(金属材质)与排水管(混凝土或HDPE)材质差异大,若间距过近且无隔离措施,排水管渗漏可能加速给水管腐蚀;反之,给水管爆裂亦可能淹没电气舱。(5)缺乏动态适应性:传统静态布局难以应对未来管线扩容、功能调整(如雨污分流改造)等需求,灵活性不足。

## 2 给排水管线布局优化原则

针对上述问题,给排水管线布局优化应遵循若干核心原则。首要原则是安全性优先,即必须确保供水水质不受污染、管廊结构不受破坏、运行过程中无重大事故隐患。在此基础上,功能性保障不可或缺,布局方案需严格满足重力流所需的坡度、通气、清淤等工艺条件,同时兼顾压力流系统的水力稳定性。经济性亦需统筹考虑,在满足安全与功能的前提下,通过合理排布减少土建断面、降低材料用量和安装难度,从而控制全生命周期成本。可维护性应贯穿设计始终,预留足够的操作空间和通行宽度,使日常巡检、故障处理和设备更换得以高效完成。最后,布局设计应具备前瞻性,支持未来智能化升级与功能拓展,体现可持续发展理念。

### 3 给排水管线布局优化策略

#### 3.1 空间分层与功能分区优化

为提升空间利用效率并减少专业干扰,建议在综合管廊内部实施清晰的空间分层与功能分区。在垂直方向上,可采用“上压下重”的布局逻辑:将高压给水管、消防管及再生水管等压力流管线布置于管廊上部或侧壁高位支架上,既便于排气减压,又远离潮湿区域;通信与电力电缆桥架居中布置,形成独立弱电/强电区;而污水管与雨水管等重力流管线则集中于管廊底部,最好设置专用排水槽或独立舱室,以实现物理隔离。在水平方向上,主干线应沿管廊外侧壁敷设,避免横穿中央通道,减少对运维通行的阻碍;支线则通过预埋套管从侧壁或顶板引出,实现“干支分离”<sup>[2]</sup>。雄安新区某综合管廊项目便采用了“双舱+独立排水舱”模式,将污水与雨水分别置于两个底部舱室,不仅彻底避免了交叉污染风险,还实现了独立检修,显著提升了系统可靠性。

#### 3.2 坡度与高程协同优化

针对重力流排水管线坡度难以保证的问题,应摒弃“一刀切”的刚性设计思路,转而采用“微调坡度+局部泵站”的协同策略。在地形平缓、线路较长的直管段,可采用规范允许的最小坡度(如0.3%),以控制管廊埋深和造价;而在地形起伏较大或接入点高程受限的区域,则可设置小型污水提升泵站或雨水强排泵站,将原本连续的重力流系统划分为若干段,每段内部维持重力流,段间通过压力流过渡。这种“分段重力+局部加压”模式既能满足排水功能,又能灵活适应复杂地形。同时,应充分利用BIM三维建模技术,在设计阶段进行高程碰撞检测与水力模拟,提前识别潜在的高程冲突点,并通过微调管底标高或优化泵站位置予以化解,从而确保整个排水系统的水力连续性与运行稳定性。

#### 3.3 管线支架与连接节点标准化

管线支架与连接节点是影响布局合理性与施工效率的关键要素。应大力推广模块化、可调节的支架系统,其高度、间距和承载能力可根据不同管径和荷载需求灵活组合,既便于工厂预制,又支持现场快速安装与后期调整。对于阀门、伸缩节、检查口等关键节点,应制定统一的标准化接口尺寸和操作空间要求,并在支架设计中预留专用手孔或操作平台,避免因空间不足导致检修困难。在管线交叉或分支密集区域,可设置“管线避让区”,通过弧形过渡段、局部抬升或下沉等方式,引导管线平滑绕行,避免硬性交叉。这种标准化与柔性化相结合的设计思路,不仅能提高施工精度,还能显著降低后期运维的复杂度。

#### 3.4 安全隔离与防护措施强化

为防范给排水管线之间的相互影响,必须强化安全隔离与防护措施。可在给水管与排水管之间设置防水隔板或喷涂防腐隔离涂层,形成物理与化学双重屏障。排水管材应优先选用高密度聚乙烯(HDPE)双壁波纹管或内衬防腐材料的混凝土管,从源头上减少渗漏风险。同时,在管廊底部沿纵向设置线性排水沟,并在低点处配置集水井与自动启停排水泵,配合液位传感器实现渗漏水的及时排除<sup>[3]</sup>。此外,还应在给水管沿线设置泄漏检测装置,在排水管关键节点安装淤积探测器,形成主动防护网络,做到早发现、早处置,最大限度降低事故影响范围。

#### 3.5 运维通道与智能监测融合设计

运维通道不仅是人员通行的物理空间,更是智能监测系统部署的基础载体。主通道宽度不应小于1.2米,转弯半径宜大于3米,以满足小型巡检机器人或电动运维车的通行需求。通道两侧应预留设备安装槽或挂装点,用于布设光纤测温、声发射泄漏检测、水质在线分析仪等智能传感设备。这些设备采集的数据可通过管廊内部通信网络实时上传至中央监控平台,结合数字孪生模型进行可视化展示与智能诊断。例如,当某段排水管淤积程度超过阈值时,系统可自动调度清淤机器人前往处理;当给水管压力异常波动时,可联动关闭上游阀门并发出预警。这种将物理通道与信息通道深度融合的设计理念,是实现智慧管廊运维的核心支撑。

### 4 基于BIM与多目标算法的布局优化方法

#### 4.1 BIM技术在布局优化中的应用

建筑信息模型(BIM)技术为给排水管线布局优化提供了强大的数字化协同平台。通过建立包含几何、属性、关系等多维信息的三维模型,设计人员可以在虚拟环境中直观审视管线排布效果,并利用内置的碰撞检测功能自动识别给排水管线与其他专业(如电力、通信、结构)之间的空间冲突,提前进行调整。此外,BIM支持4D施工模拟,可验证管线安装顺序是否合理、操作空间是否充足,有效避免现场返工。在成本控制方面,BIM模型能自动统计各类管材、支架、阀门的数量与规格,生成精确的工程量清单,为投资决策提供依据。更重要的是,BIM可作为全生命周期管理的信息枢纽,将设备参数、检修记录、传感器数据等运维信息嵌入模型,实现从设计、施工到运营的无缝衔接。深圳市前海综合管廊项目正是依托BIM+GIS平台,将给排水管线布局优化周期缩短40%,施工返工率下降65%,充分体现了该技术的工程价值。

#### 4.2 多目标优化算法辅助决策

面对复杂的多目标、多约束优化问题，传统试错法已难以满足精度与效率要求。引入遗传算法（GA）、粒子群优化（PSO）等智能优化算法，可有效求解前述构建的布局优化模型。具体而言，可将每条管线的空间坐标、支架位置、坡度参数等编码为算法中的“个体”，以综合目标函数值作为“适应度”，通过选择、交叉、变异等操作迭代生成帕累托最优解集。设计人员可从该解集中选取兼顾成本、安全、运维等多方面需求的平衡方案，实现科学决策。该方法已在成都天府新区某综合管廊项目中成功试用，优化后的布局方案使管廊断面面积减少12%，年运维成本降低8.5%，验证了其在工程实践中的可行性与优越性。

### 5 面向未来的布局优化趋势

#### 5.1 弹性布局设计

面对城市发展的不确定性，未来的给排水管线布局应更具弹性。建议在管廊侧壁或顶板预设空余支架位、穿墙套管及设备安装接口，形成“预留舱”概念。当未来需要新增再生水管、直饮水管或进行雨污分流改造时，可直接利用预留空间进行挂装或接入，无需对主体结构进行大规模开挖或改造<sup>[4]</sup>。这种“一次建成、分期使用、灵活扩展”的设计理念，将显著提升综合管廊的长期适应能力。

#### 5.2 智慧化与自适应调控

随着物联网、人工智能与边缘计算技术的发展，给排水系统将逐步实现从“被动响应”向“主动调控”的转变。通过部署高密度传感网络，可实时监测排水管内的流速、水位、淤积厚度及给水管的压力、流量、水质等参数。基于这些数据，AI算法可动态评估系统状态，自动调度清淤设备、调节泵站运行频率或优化供水压力，实现资源的高效利用与风险的前置防控。同时，结合数字孪生平台，还可对管线寿命进行预测性维护，提前制定更换或加固计划，避免突发性故障。

#### 5.3 绿色低碳导向

在“双碳”目标背景下，给排水管线布局优化也应融入绿色低碳理念。优先选用高密度聚乙烯（HDPE）、球墨铸铁等耐腐蚀、长寿命、低能耗的环保管材，减少全生命周期碳排放。排水管内壁可涂覆抗菌或自清洁涂层，抑制生物膜滋生，延长清淤周期。此外，还可探索利用管廊内废热为冬季给水管保温，或通过太阳能光伏板为排水泵站供电，进一步降低能源消耗，推动综合管廊向绿色基础设施转型。

### 6 结语

城市地下综合管廊中给排水管线的布局优化是一项涉及多专业、多目标、多约束的系统工程。本文通过分析现行规范与工程实践中的问题，提出了以“安全、功能、经济、运维、智能”为核心的优化原则，并从空间分层、坡度协同、节点标准化、安全隔离、智能融合等维度构建了优化策略体系。进一步结合BIM技术与智能算法，实现了从经验设计向数据驱动、从静态布局向动态适应的转变。未来，随着智慧城市与韧性城市理念的深入，给排水管线布局将更加注重弹性、智能与可持续性。建议在国家层面加快制定《综合管廊给排水专项设计导则》，推动标准化、模块化、智能化技术在工程中的广泛应用，为城市高质量发展筑牢地下“生命线”。

### 参考文献

- [1]陈志龙,张智峰,王海丰.我国城市地下综合管廊建设现状与发展趋势[J].隧道建设(中英文),2025,45(09):1615-1626.
- [2]路文丽.城市综合管廊与地下空间结合建设的研究与探讨[J].城市道桥与防洪,2025,(07):392-397.
- [3]王亮.智慧城市背景下地下管线综合管廊建设与管理创新[J].城市管理与科技,2025,26(03):84-86.
- [4]李志龙,黄琦,周小丹,等.综合管廊管线分支口设计要点分析[J].江西建材,2022,(09):226-227+230.