

城市地下综合管廊建设中土木与水利技术的融合应用研究

● 张 洋



[摘要] 随着我国城市化进程的不断推进和城市基础设施建设的快速发展,地下综合管廊已成为缓解城市用地紧张、提升市政管线集约化与安全运行水平、改善城市景观与空间品质的重要基础设施形态。本研究从城市地下综合管廊的技术特征与工程要求出发,系统分析了土木与水利工程技术在管廊建设中的融合应用。通过对地基处理、结构设计、防水与排水系统构建、信息化协同设计与优化决策模型的综合研究,提出了适应不同地质、水文与使用条件下的设计与施工技术路线。此外,本文基于多目标优化方法、BIM与CIM信息化平台、实验与数值模拟的双重验证手段,对管廊全生命周期的经济性、安全性、耐久性与环境适应性进行深入探讨。

[关键词] 城市地下综合管廊;土木与水利融合;结构设计;防水排水

地下综合管廊作为一种将电力、电信、燃气、给水、排水及热力等多种市政管线集中敷设于同一廊体内的基础设施,不仅有助于提高城市管线敷设的集约化和安全性,还可有效改善城市景观和道路使用效率,减少管线反复开挖对交通和环境的影响。在此过程中,地下综合管廊的建设不再是简单的土木工程施工,更是土木与水利工程技术有机融合的综合体系。土木工程在地基处理、结构设计、施工技术和材料选择等方面发挥主导作用;水利工程在防水、防渗、排水及地下水环境调控方面提供必要支撑。两者的协同与融合,对确保管廊结构安全、提高施工效率、延长使用寿命,以及缓解城市内涝、提升水资源利用效率均具有重要意义。

Q 城市地下综合管廊建设的技术特征与工程要求

(一) 地下综合管廊的功能与类型

地下综合管廊的基本功能在于将传统零散的各类城市管线统一收纳于地下空间中,实现对城市基础设施的集中布置与统一管理。通过在同一管廊内整合电力、电信、燃气、给水、排水、热力等各类管线,不仅能够减少地面重复开挖,降低管线维修维护对交通和环境的影响,还可有效提升管线运行的安全性和稳定性。综合管廊的结构型式与分类标准,主要依据其服务功能、敷设方式和适用环境进行划分。按照结构形式,可分为单舱、多舱和模块化组合式舱

体。单舱形式适用于较少种类和数量的管线集中;多舱式则为不同功能的管线提供独立空间,降低相互干扰;模块化组合式可根据实际需求灵活增减空间单元。

(二) 综合管廊建设的关键技术指标与工程难点

结构安全性和稳定性是综合管廊设计和施工的核心要求。管廊需在长期运行中保持整体结构的安全可靠,并承受来自土层、水土压力、地面荷载,以及车辆振动、地震等多重作用。工程设计需对地基承载力、土壤稳定性、地下水位变化等因素进行充分调查与论证。在结构设计中,应保证廊体具有足够的刚度和强度,同时确保衔接部位不产生过度应力集中。施工阶段需严格控制开挖、支护、混凝土浇筑及养护工序,防止地层过度沉降和位移对廊体造成影响。地下综合管廊位于地下空间,易受地下水及降雨渗入影响,因此防水、防渗与排水设计至关重要。合理的防水策略可防止地下水进入管廊内部,避免管线设备受潮、生锈和功能失效;有效的防渗措施则确保廊体不产生水文渗漏,从而保持内部干燥、洁净,维护设备和管线的正常运行。在设计时应综合考虑当地水文地质条件,对廊体外壁采用防水卷材、防水涂料或复合防水板等多种防水层叠加手段,并在结构接缝、预留孔洞和穿管部位加设密封装置。

(三) 土木与水利专业在管廊工程中的交叉领域概述

综合管廊建设中,土木与水利专业的交叉与融合尤为突出。土木工程为管廊提供基础结构设计、地基处理、围护

结构施工和整体耐久性保障；水利工程则强调水文地质条件分析、防水设计、排水系统构建及地下水环境调控。这两方面的技术结合，旨在实现廊体的安全、稳固和干燥运行。在设计阶段，水利专业通过精确的水文计算与模拟，为土木设计提供地下水位、渗透路径等关键参数；土木专业则根据这些数据优化结构方案，确保廊体在各类水文条件下仍具备足够的安全与稳定性。在施工与运营阶段，两者的配合表现在对基坑开挖与排水措施的协同安排，以及对运行期内外水环境监测与调控的联合实施。这种交叉融合不仅提高了综合管廊设计、施工与维护的综合品质，也为未来城市基础设施建设和提供了可借鉴的技术融合模式。

Q 土木工程技术在地下综合管廊建设中的应用

（一）地基与基础处理技术

在综合管廊建设中，地基与基础，以及土层勘察与地基改良方法是确保廊体结构安全与稳定的关键环节。工程启动前需开展详细的土层勘察，包括钻探取样、原位测试和实验室土工试验，以获取准确的地层分布、土性参数和地下水位数据。这些数据为后续地基处理方案的选择及基础设计提供科学依据。地基改良通常包括换填、注浆、强夯、深搅等技术手段。基坑开挖是综合管廊施工的前期核心环节，开挖过程中需要控制土体扰动与地下水影响，以确保边坡稳定和周围建筑、道路及地下管线的安全。同时，应根据地层特性和地下水分布情况，确定合理的开挖深度与坡度，对高地下水位及软土层区段可通过降水井、帷幕汲水或逆作法等措施降低水土压力。

（二）围护结构设计施工技术

（1）钢筋混凝土结构设计要点。钢筋混凝土围护结构是综合管廊建设的主体载体，其设计需满足刚度、强度、耐久性和防水性能等多重要求。应基于地质勘察成果和荷载分析，明确廊体所处土层的承载力与变形特性，确保围护结构具备足够的抗弯、抗剪和抗压性能。钢筋配置与混凝土配合比的选取需结合结构受力特点和使用环境，以提升整体结构的稳定性与延长使用寿命。在设计过程中，需考虑地震、温度变化、地下水压力等不利因素，合理设置伸缩缝和沉降缝，并利用防水材料与密封技术减少接缝处的渗漏风险。

（2）盾构与顶管施工技术应用。在城市地下空间中，采用盾构与顶管施工技术可有效减少地面交通与环境干扰。盾构法依托盾构机在地下掘进，沿预定路线推进并同步安装衬砌结构。该方法适用于长距离、较大断面的管廊隧道施工，并且可在复杂地质条件下实现高精度、高效率的掘进。顶管法则通过地面顶进设备，将预制管节沿导向轴线推进至目标位置，适合短距离、管径较小的地下管线敷设。在实

施盾构与顶管施工时，应事先进行精准的地质与水文勘察，从而选择适合的掘进参数与土压平衡技术，避免涌水、塌方及地表沉降过度。

（三）结构防护与耐久性控制技术

（1）防腐、防裂与抗震技术。地下综合管廊长期处于潮湿、腐蚀性环境中，其结构防护与耐久性控制是保证全生命周期安全的重要任务。防腐方面，可通过选择优质材料、添加防腐剂，以及在钢筋表面采用防腐涂层、镀锌或不锈钢筋等措施延缓腐蚀速度。在混凝土配合比设计中，适当降低水灰比和增添矿物掺合料，有助于提升混凝土密实度与抗渗性，从而减缓钢筋锈蚀。在抗震设计上，需依据当地地震烈度和土层特性制定耐震措施。合理设置抗侧力构件、采用能量耗散装置或隔震支座、加强节点连接刚度与延性，均可增强结构在地震作用下的安全性。通过系统的防腐、防裂与抗震技术综合运用，将大幅提高管廊结构的使用寿命与运营安全。

（2）使用寿命评估与维护策略。综合管廊的使用寿命评估与维护策略制定是确保其长期服务性能和经济效益的关键环节。在设计施工阶段，应通过数值模拟、模型试验与耐久性预测方法对管廊结构的服役性能进行评估，并考虑荷载、温湿度、化学腐蚀、冻融循环与地震等多重因素影响。由此可预测结构在不同运行年限下的性能退化趋势，并为后期维护提供科学依据。日常运营中，应建立完善的结构健康监测系统，对廊体变形、裂缝宽度、钢筋锈蚀程度及内部湿度等指标进行定期检测。可利用传感器、光纤测量和无损检测技术实现对结构状态的实时或周期性监控，同时结合大数据分析及时发现潜在问题并进行解决。

Q 水利工程技术在地下综合管廊建设中的应用

（一）地下水动力条件与水文地质评价

在城市地下综合管廊建设中，地下水流程的准确分析与渗透计算是确保结构安全和防水质量的重要前提。工程前期应通过钻探、抽水试验及水质检测等手段，获得地下水位、渗透系数和含水层结构等关键参数。在此基础上，可利用数值模拟软件对地下水流动状态进行分析，并评估地下水在不同施工阶段和运行工况下对管廊造成的水压力与渗透影响。设计过程中，应结合渗透计算结果制定相应的防渗措施与降水方案，选择合理的防水材料及止水结构形式，以减少管廊周边土层和围护体内水分迁移。

（二）排水与集水系统设计

在地下综合管廊中，合理的排水系统是保持内部环境干燥和清洁的基础。由于管廊中既可能存在雨水渗入，也可能有管线检修或事故引起的污水流出，设计时应充分考虑雨污水分流与高效排放。通过独立的雨水和污水管道系统，

可避免不同水源相互污染,从而提升整体排水效率与水质稳定性。设计中应根据当地降雨特性、管线类型及管廊断面尺寸,对雨污水管径与坡度进行科学计算,确保在暴雨工况下仍能及时疏散廊内积水。同时,应在合适位置设置检修井、截流井和缓冲沉淀池,便于后期维护与水质调控。通过严谨的分流与排放设计,可有效降低管廊内部潮湿度和积水风险,延长设备与结构使用寿命,并为城市水环境保护提供有力支撑。

(三)防洪、防涝与水资源综合利用

地下综合管廊与城市排水管网的联动设计是提高城市整体防洪防涝能力的关键策略。通过将管廊排水系统与周边雨水管线、调蓄池、暗涵、泵站等构筑物有机衔接,可实现多方协同排水。当城市遭遇短时强降雨或极端天气时,综合管廊内的排水设施可与城市管网联动调度,及时分流和缓释高峰流量,降低内涝风险。在联动设计中,应统筹考虑管廊周边地形地势、下游排放口位置和排水管网容量,并利用信息化平台建立综合调度模型,对各环节水量水位进行实时监测和动态分配。通过合理的管网连通与流量控制措施,不仅可提高管廊的安全性与适应性,也能整体提升城市排水系统的韧性,进而减少极端气候对城市运行的影响。

Q 土木与水利技术的融合与协同设计方法研究

(1)融合设计理念与技术标准体系构建。在城市地下综合管廊建设中,土木与水利技术的有机融合是确保工程质量、延长使用寿命与适应环境的关键。应坚持系统性原则,将结构设计与水利分析视为整体,从地基处理、防水密封、排水系统配置,到后期运行维护与水资源利用,皆需多专业协同考虑。需强调适应性弹性设计原则,充分考虑不确定因素,如极端气候变化、地下水位波动、土层沉降与城市建设规划调整,为未来扩建与功能升级预留空间。

(2)协同设计平台与信息化管理。BIM(建筑信息模型)与CIM(城市信息模型)技术的引入,为综合管廊建设提供了高效的数字化协同设计与信息管理手段。通过BIM技术,可在设计初期便将土木、水利以及机电管线等多专业信息集成于同一3D模型中,实现管廊空间布置、结构构造、防水层配置及排水系统路径的可视化优化,从而避免设计冲突与

后期返工。CIM技术则将管廊信息融入更广阔的城市信息生态中,通过与地理信息系统(GIS)、物联网(IoT)进行数据对接,从而提供城市层面基础设施的宏观分析与动态管控平台。

(3)优化设计方法与决策支持模型。多目标优化模型在综合管廊设计中,与土木与水利技术的融合应满足安全、经济和环境三重目标。可以建立多目标优化模型,将结构安全性、防水排水能力、建设与维护成本,以及环境影响指标纳入统一的评估框架。基于数值模拟与实验验证的设计是优化综合管廊设计的有力手段。通过建立精细化的数值模型,可对不同土体条件、防水材料选型、结构形式和排水系统布置方案进行全场景仿真分析。

Q 结束语

本研究围绕城市地下综合管廊建设这一综合性城市基础设施,并从土木与水利技术的融合视角,梳理了管廊工程从设计、施工到运维的关键环节和难点问题。在理论与实践相互印证的基础上,本研究提出的设计原则、技术路线与管理策略,可为后续工程建设提供参考与借鉴。随着城市化水平提高和气候变化带来的挑战,综合管廊的建设模式将更加凸显其重要性。未来应进一步加强多学科交叉合作与信息化建设,深化对复杂条件下管廊建设与运营的研究,探索更加智能、高效、低碳的管廊建设路径,从而持续提升城市基础设施的韧性与可持续性,并服务于更高质量的城市发展进程。

参考文献

- [1]郭佳奇,钱源,王珍珍,等.城市地下综合管廊常见运维灾害及对策研究[J].灾害学,2019,34(01):27-33.
- [2]黄慧君.城市地下综合管廊施工安全风险评价[D].兰州:兰州交通大学,2020.
- [3]尹新生,崔凤宇,佟晓倩,等.浅谈城市地下综合管廊的发展与探索[J].河南建材,2019(04):324-325,328.

作者简介:

张洋(1986-),女,汉族,内蒙古乌海人,本科,助理工程师,宁夏璟嵘丰建设有限公司,研究方向:土木与水利技术的融合。