

综合管廊抗震性能分析及设计

钱学松

中冶京诚工程技术有限公司, 中国·北京 100176

摘要: 论文对综合管廊的抗震性能进行了深入分析, 并提出了相应的设计建议。研究采用数值模拟与实验验证相结合的方法, 构建了综合管廊的三维有限元模型, 并对其在不同地震作用下的响应进行了模拟分析。结果表明, 合理的结构设计和抗震措施能够显著提高综合管廊的抗震性能, 减少地震造成的损害。基于研究结果, 论文提出了一系列设计优化建议, 包括合理的结构布置、材料选择和抗震加固措施, 为综合管廊的抗震设计提供了理论依据和技术支持。这些研究成果对提高城市地下管廊系统的安全性和可靠性具有重要意义。

关键词: 综合管廊; 抗震性能; 数值模拟; 有限元模型; 抗震设计

Seismic Performance Analysis and Design of Comprehensive Pipe Gallery

Xuesong Qian

MCC Jingcheng Engineering Technology Co., Ltd., Beijing, 100176, China

Abstract: This paper conducts an in-depth analysis of the seismic performance of comprehensive pipe galleries and proposes corresponding design suggestions. A three-dimensional finite element model of a comprehensive pipe gallery was constructed using a combination of numerical simulation and experimental verification, and its response under different seismic actions was simulated and analyzed. The results indicate that reasonable structural design and seismic measures can significantly improve the seismic performance of comprehensive pipe galleries and reduce the damage caused by earthquakes. Based on the research results, the paper proposes a series of design optimization suggestions, including reasonable structural layout, material selection, and seismic reinforcement measures, providing theoretical basis and technical support for the seismic design of comprehensive pipe galleries. These research results are of great significance for improving the safety and reliability of urban underground pipe gallery systems.

Keywords: comprehensive pipe gallery; seismic performance; numerical simulation; finite element model; seismic design

1 引言

随着城市发展, 地下综合管廊成为一种重要的基础设施, 能够有效保护各种管线, 减少地面开挖和重复建设。但在地震作用下, 地下结构的损坏率比地面结构高, 对城市安全和居民财产造成威胁。如何提高地下综合管廊的抗震性能是一个重要的研究课题。研究表明, 通过合理设计和抗震措施, 可以显著增强其抗震性能。论文采用数值模拟和实验验证的方法, 建立了三维模型, 分析了不同地震下的响应, 并提出了一系列优化建议, 包括合理的结构布置、材料选择和抗震加固措施。这些研究成果为综合管廊的抗震设计提供了理论依据和技术支持, 有助于提高城市地下管廊系统的安全性和可靠性, 希望能为工程实践提供参考, 推动城市基础设施建设的发展。

2 抗震背景与综合管廊概述

2.1 地震对城市地下设施的影响

地震作为强烈的自然灾害, 对地面建筑和地下工程都造成了极大的危害。在地震作用下, 城市地下工程将产生结构损伤、功能破坏和二次破坏。

在地震时, 地下建筑结构会因地震波的传播而发生强烈的震动与位移, 从而引起结构的应力集中与变形增加。地下工程结构的失效模式有: 结构开裂、变形、局部坍塌和整体失稳等。特别是在节点、接头等部位, 由于应力集中, 极易产生破坏。在强震作用下, 场地发生液化, 对地下工程有一定的危害。

地基液化会导致土壤失去承载力, 致使地下结构出现沉降、倾斜等问题, 甚至引发严重的地质灾害。

地震还可能导致地下设施功能失效。对于综合管廊而言, 其内部通常包含多种城市生命线系统, 如电力、电信、供水和排水等。在地震作用下, 这些系统可能发生管线破裂、设备损坏和连接失效, 进而引发城市功能的中断和次生灾害。例如, 电力系统的中断可能导致救援工作受阻, 供水系统的破裂可能引发大规模漏水或污染事故。

地震对城市地下设施造成的危害, 不仅仅是经济上的, 更是对城市的运营与安全产生了深刻的影响, 如果地下设施发生损坏, 维修困难, 耗费的人力物力也是巨大的, 因此加强对包括综合管廊在内的地下工程的抗震设计具有十分重要的意义。

2.2 综合管廊的定义与功能

综合管廊作为市政管线的公共隧道空间。它集成了电力、通信、广播电视、给水、排水、热力、燃气等多种管线于一体，并设有专门的检修口、吊装口和监测系统，以实现统一规划、设计、建设和管理。它的主要作用就是在同一个地下空间中，将各种市政管道，如给水、排水、燃气、电力、通信等进行集中敷设，并在此基础上进行合理的规划和设计，达到对资源进行有效分配和管理的目的，同时也可以有效地解决因地表多次开挖而造成的交通、环境问题。

综合管廊是指以提升城市地下空间使用效率为目标的一体化、系统化的城市基础设施项目。通过对管道资源进行统一管理，可以减少管道的施工、维修费用，提高城市运营的安全可靠度，在此基础上，提出了合理的地下空间规划方案，充分考虑了今后城市建设的需要，为城市规划建设提供了充足的空间。

从功能上看，综合管廊在城市防灾减灾中起着举足轻重的作用。为了确保各种管道在地震等自然灾害下仍能正常工作，降低灾害给人们的生活及经济带来的损失。为保证管道的安全运营，综合管廊还设置了专用的监测系统及维修通道。

综合管廊的建设既可以有效地改善城市的市容市貌，又可以提高其使用效益，降低对地表的交通与环境的干扰。通过对管道进行集中布局，可以实现城市地下空间资源的合理分配，提升管道运营的安全可靠度，降低后期维修的复杂程度和费用。综合管廊是一种新型的城市基础设施建设模式，已逐步被世界各国所采用。

3 综合管廊结构与材料特性分析

3.1 结构类型及功能区划

综合管廊是中国城市地下工程建设中的一项重要内容，其结构形式及功能分区对其抗震能力有很大的影响。综合管廊一般为钢筋混凝土结构，其承载力高、耐久性能好。综合管廊按其功能要求可划分为单层、多舱、组合式三大类。

单层舱式结构适合于小规模、单一功能的地下通道，设计相对简单，施工简便。多舱结构是指多个相互平行的舱室，分别承担供水、排水、供电、通讯等各种管道。多舱结构具有可对各种管道进行统一管理与维修的优势，但其结构与建造较为复杂，需综合考虑各舱室间的相互影响及整体稳定。

组合型结构则结合了单舱型和多舱型的特点，能够在有限的空间内实现多种功能区划，适应性更强。

综合管廊的功能区划主要根据管线的种类和用途进行分类和布置。常见的功能区划包括给水区、排水区、电力区、通信区和燃气区等。每个功能区划不仅需要考虑管线的布局 and 安装，还需满足相应的抗震设计要求。

例如，在给水区，排水区中，为了适应地震时的变形

与位移，一般选用耐腐蚀性强、柔韧性好的钢管，电力区，通信区要保证光缆的安全、连续，不受地震的影响，燃气区在设计上应更加严格，以避免因地震而引起的火灾、爆炸等危险。

为提升综合管廊的整体抗震能力，需要在不同功能分区设置合适的防震间隔及缓冲区域，减小地震波在不同区域的传播，同时要充分考虑地下水位、地质条件等因素，保证综合管廊在多种复杂工况下的稳定与安全，本项目的研究成果将为综合管廊的抗震性能提供新的思路和方法，具有重要的理论和现实意义。

3.2 典型材料特性与选用原则

综合管廊选材直接关系到城市综合管廊的抗震性能及运维安全。在设计阶段，要充分考虑管廊的使用功能要求及抗震环境特点，选择合适的材质，以保证管廊的稳定性和耐久性。一般而言，典型的材料有混凝土，钢和复合材料。

混凝土是管廊的主体构件，其强度与耐久性是其核心问题。

高强混凝土可以抵抗地震时产生的剪切应力，增强管廊的整体抗震性能。因此，在对混凝土进行选材时，必须充分考虑其抗压、抗拉和抗冻性，以满足各种地质条件下的应力环境要求。

在综合管廊中，钢筋混凝土是一种常用的提高结构刚度和承载力的方法，选择高强钢可有效提升管廊的抗震能力，尤其是在地震作用下，可有效分散和维持结构稳定。

复合材料，特别是玻璃纤维增强塑料（GFRP）和碳纤维增强塑料（CFRP），因其轻质、高强、抗腐蚀等优异特性，在综合管廊的特殊区域（如防水层、隔热层）中得到了广泛的应用。这些材料不仅能够有效减轻结构自重，提高承载力，还能在恶劣环境下保持长期稳定性。在选择复合材料时，应充分考虑其抗震性能，确保其在地震等自然灾害中能够保持结构的完整性和稳定性。同时，还需注意保证复合材料与其他结构材料的相容性，以避免因材料间的化学反应或物理不相容而导致的性能下降或结构破坏。此外，总体稳定性也是选用复合材料时必须考虑的重要因素，以确保整个综合管廊系统的长期安全运行。

在设计综合管廊的材料时，应综合考虑材料的物理力学性能、耐久性以及在地震条件下的表现，选择合适的材料组合和施工工艺，以提高管廊的抗震性能和安全性。

3.3 抗震设计要求与标准分析

综合管廊的抗震设计涉及结构设计、材料选择及施工技术等多个方面，其设计必须严格遵循国家及当地相关的抗震规范和标准，以确保综合管廊的抗震性能和结构安全。在结构设计上，需充分考虑地震作用下的力学特性和变形特性，采用合理的结构形式和布置方式，以提高结构的整体稳定性和抗震能力。同时，还应合理确定结构的刚度、强度和延性等参数，以抵抗地震作用下的各种不利影响。材料选择

方面,应优先选用具有良好抗震性能的材料,如高性能混凝土、钢筋等。这些材料不仅能够满足结构强度的要求,还能够在地震作用下保持良好的稳定性和耐久性。此外,施工技术也是确保综合管廊抗震性能的重要环节。在施工过程中,应严格按照抗震设计要求和施工规范进行操作,确保施工质量符合设计要求。在选材时,要兼顾抗震、耐久、便于施工等方面,选用高强韧性好的材料。

施工工艺应保证结构整体性和连续性,特别是在节点和接缝处,需采取加强措施。综合管廊抗震设计标准强调实际工程中的可操作性和经济性,以最大程度减轻地震对管廊的破坏风险,确保城市基础设施的安全。

4 不同地震波形下的数值模拟分析

在地震作用下,综合管廊的抗震性能需要通过数值模拟进行详细分析。数值模拟方法是通过建立三维有限元模型,对不同地震波形下综合管廊的响应进行模拟和分析,进而评估其抗震性能。

地震波形对结构的影响差异显著,选择典型的地震波形进行模拟是关键。常见的地震波形包括 El Centro 波、Northridge 波和 Kobe 波等。每种地震波形在频谱特性、震动幅度和持续时间上各具特点,模拟这些波形对综合管廊结构的影响,可以全面评估其抗震性能。数值模拟中,地震波形输入作为时间历程曲线加载于有限元模型的底部,以模拟地震作用下的真实场景。

有限元模型的建立是数值模拟的基础,模型中需准确描述综合管廊的几何尺寸、结构形式、材料特性和边界条件。通过 ANSYS 等有限元分析软件,将综合管廊划分为细致的网格单元,以提高计算精度。材料特性应包括混凝土、钢筋等材料的弹性模量、泊松比和密度等参数,以确保模拟结果的可靠性,如图 1 所示。

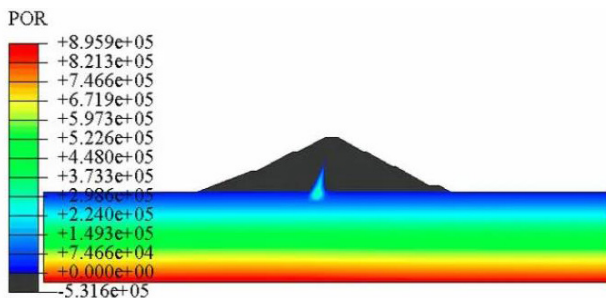


图 1 综合管廊三维有限元模型示意图

在数值仿真中,地震波的频谱特征是影响管廊结构反应的重要因素。在埃尔-Centro 波的激励下,管廊结构呈现出中高频特性,其剪力与弯矩均大幅增大。桥式地震时,因其高频分量很小,总体形变平缓,但在低频时振幅很大,会造成大范围的位移与变形。而 Kobe 波形同时包含了高、低频两种不同的特性,其对多个维度的反应都有重要的影响,尤其是角部和节点处的应力集中。

在此基础上,利用数值仿真方法,研究不同地震波对综合管廊结构的影响规律。例如,在 El Centro 波作用下,综合管廊的剪切应力集中在结构的中部区域,而在 Northridge 波作用下,结构的变形集中在两端的连接部位。这些薄弱环节需要在设计中进行重点加强,以提高整体抗震性能。

5 抗震设计优化与建议

5.1 结构布置与抗震加固措施

在城市综合管廊的抗震设计中,结构布置是否合理以及采取何种加固措施,对综合管廊的整体抗震能力起着至关重要的作用。研究表明,通过合理的结构布置和加固措施,可有效提高综合管廊的抗震性能。

合理的结构布置是提高地震反应能力的前提,在进行综合管廊设计时,必须充分考虑其受力特点,以防止由于结构不合理而引起的应力集中,综合管廊一般包括多个功能区,各功能区的布局要结合各自的功能及受力特性进行优化,通过对结构单元的合理布局,保证各个分区的受力一致,可以降低结构损伤的危险性。

采用适当的抗震缝设计是提升抗震性能的重要措施之一。在综合管廊的长距离布设中,由于热胀冷缩等因素的影响,容易出现应力集中和结构变形问题。通过设置抗震缝,可以有效吸收地震能量,减少因地震引起的结构变形和应力集中。抗震缝的设计应结合具体地质条件和地震烈度等级进行,确保其在地震作用下具有良好的变形能力和吸能效果。

抗震加固措施是提高综合管廊抗震能力的关键。常见的加固措施包括增加结构构件的刚度和强度、采用新型抗震材料等。在结构构件的设计中,应根据实际情况选择合适的加固方法,如采用钢筋混凝土、预应力混凝土等材料,提高结构的抗震性能。新型抗震材料的应用也逐渐受到重视,例如高性能混凝土、纤维增强复合材料等,这些材料具有良好的抗震性能和耐久性,可以显著提升综合管廊的整体抗震能力。

在抗震加固措施中,地基加固也是不可忽视的一环。地基的稳定性直接影响到综合管廊的整体抗震性能。通过采用地基加固技术,如深层搅拌桩、旋喷桩等,可以提高地基的承载力和抗震性能,减少地震引起地基沉降和变形。对于软弱地基,应采取有效的排水措施,防止地震过程中产生液化现象,从而提高地基的稳定性。

总之,综合管廊的结构布置与抗震加固措施是提高其抗震性能的重要方面。通过合理的结构布置、科学的抗震缝设计、有效的加固措施以及地基的加固处理,可以显著提升综合管廊在地震作用下的稳定性和安全性,减少地震对其造成的损害。

5.2 材料选择与性能优化

在综合管廊抗震设计中,材料选择与性能优化在保证

管廊抗震性能方面起着关键作用。综合管廊主要由混凝土、钢材与复合材料构成,要综合分析其力学性能、耐久性及地震下的变形损坏。

钢筋混凝土是综合管廊结构的主要材料,决定着综合管廊抗震的稳定性和耐久性。用高强度混凝土能增强管廊结构的承载和防裂能力,加入纤维增强材料可增强韧性和抗冲击能力。设计配合比要考量地震特点对力学性能影响,确保地震中坚实耐久。钢材常用作加固和连接构件,其延性和强度好,抗震设计时,选用高韧性高强度钢材,并做好防腐措施,节点设计注意连接可靠防脆性断裂。复合材料轻质高强,在抗震加固中广泛应用,如碳纤维增强复合材料可用于构件表面加固提升抗震性能,在选用时,要根据环境和载荷进行优化设计,从而充分发挥其特性,达到最优效果。

综合管廊抗震设计中,材料选择要关注力学性能,还要考虑施工工艺、成本效益和维护管理等综合因素,合理选择并优化材料,能够提高抗震能力,减少损失,保障安全运行。

6 结语

本研究对城市地下综合管廊抗震性能进行分析并提出

设计优化建议。通过数值模拟和实验验证构建三维有限元模型,模拟不同地震反应。结果表明合理设计和抗震措施能提升综合管廊抗震性能、减少损害,但模型受假设条件限制,普适性需扩展。未来可优化模型,考虑更多工况和条件,模拟更多类型地震波,扩大实验范围,研究管廊与其他设施相互影响。本研究为综合管廊的抗震设计提供依据和支持,提高综合管廊抗震的安全性和可靠性。未来研究将完善扩展成果,应对实际情况,提供更全面有效方案。

参考文献:

- [1] 李妍,孟志颖.装配式城市综合管廊结构抗震性能分析[J].河南建材,2021(6):1-4.
- [2] 王晓敏.地下综合管廊结构体系抗震性能分析[J].中小企业管理与科技(中旬刊),2021(6):177-178.
- [3] 周剑敏,张琪,姬永红.矩形波纹钢地下综合管廊结构抗震性能分析[J].城市道桥与防洪,2022(5):232-236.
- [4] 仇文岗,韩亮,陈志雄,等.双舱综合管廊抗震性能模型试验研究[J].岩土工程学报,2020,42(1):100-108.
- [5] 王涛涛.基于ABAQUS有限元模拟的综合管廊抗震数值分析[J].江苏建筑,2020(2):96-99.