

城市地下空间开发中的地质工程全生命周期检测技术体系

戴云¹ 王金鑫^{2*}

1. 安徽省第四测绘院安徽合肥 230000; 2. 山东师范大学审计处 山东济南 250000

DOI: 10.12238/ems.v7i10.15689

[摘要] 本文系统探讨了城市地下空间开发中地质工程全生命周期检测技术体系的构建与应用。从勘探、施工到运营维护,详细分析了各阶段的关键检测技术及其应用现状,提出了一个集成化的技术体系框架。通过实际案例验证了该体系的有效性,指出了当前技术面临的挑战,并对未来发展趋势进行了展望。研究表明,完善的检测技术体系对保障城市地下空间开发的安全性、经济性和可持续性具有重要意义。

[关键词] 城市地下空间; 地质工程; 全生命周期; 检测技术; 技术体系

1. 引言

随着城市化进程的加速,城市地下空间开发的重要性日益凸显。地下空间的合理开发不仅能够有效缓解城市土地资源紧张的问题,还能提升城市的综合承载能力和运行效率。然而,地下空间开发面临着复杂的地质条件和诸多工程挑战,地质工程全生命周期检测技术在此过程中扮演着至关重要的角色。从工程规划、设计、施工到运营维护,全程的地质监测能够为工程安全提供有力保障,减少地质灾害风险,确保工程顺利进行。本文旨在探讨城市地下空间开发中地质工程全生命周期检测技术的应用现状、存在问题及未来发展方向,以期对相关领域的研究和实践提供参考。通过系统分析现有技术体系,本文将提出针对性的改进建议,以期推动该领域的技术创新和理论发展,为城市地下空间的安全、高效开发提供科学依据。

2. 地质工程全生命周期检测技术概述

地质工程的全生命周期是一个复杂而系统的过程,涵盖了从项目规划、设计、施工到运营维护以及最终的废弃处理等多个阶段。每个阶段都有其独特的任务和目标,这些阶段相互衔接,共同确保项目的顺利进行和长期稳定运行。

在规划阶段,主要任务是进行详细的地质勘察,以评估地下条件。这一步骤至关重要,因为它为后续的设计和施工提供了基础数据。地质勘察通常包括对地下岩土层的分析、地下水位的测量以及潜在地质灾害的评估。通过这些工作,工程师可以更好地了解地下空间的地质结构,从而制定出科学合理的开发方案。

进入施工阶段,重点转向实时监测,以确保施工安全。施工过程中的地质条件复杂多变,因此需要采用多种监测技

术来跟踪工程进展。位移监测和应力监测是施工阶段常用的检测技术。位移监测可以实时跟踪地下结构的移动情况,而应力监测则能够评估施工过程中对周围岩土体的影响。这些监测数据对于及时发现和处理潜在的安全隐患至关重要,能够有效避免施工事故的发生。

运营阶段则侧重于结构健康监测和环境监测,以保障地下空间的长期稳定使用。结构健康监测技术能够实时评估地下结构的完整性和稳定性,及时发现结构损伤或变形。环境监测则关注地下空间内的空气质量、地下水位等环境因素,确保运营期间的安全和舒适。通过这些监测技术,可以及时采取维护措施,延长地下空间的使用寿命。

不同阶段的检测技术各有侧重,但它们之间又相互关联。在勘探阶段,主要采用地质勘探和地球物理勘探等技术来获取地下空间的地质信息。这些技术能够提供详细的地下岩土层分布和地质构造信息,为设计和施工提供依据。施工阶段的位移监测和应力监测技术则确保了施工过程的安全和质量。运营阶段的结构健康监测和环境监测技术则保障了地下空间的长期稳定使用。

这些检测技术的合理应用和有效整合,对于保障城市地下空间开发的全生命周期安全至关重要。通过科学的规划、严格的施工管理和长期的运营维护,可以最大限度地减少地质灾害风险,确保城市地下空间的安全、高效和可持续开发。

3. 现有检测技术及其应用

在城市地下空间开发的各个阶段,检测技术的应用发挥着不可或缺的作用。在勘探阶段,钻探和物探是两种主要的检测手段。钻探技术通过钻取地下岩土样本,为地质分析提供了直接且可靠的依据,帮助工程师精确了解地下岩土层的

性质和分布。物探技术则借助物理原理，如地震波、电磁波等，探测地下结构和地质体的分布情况，能够在不开挖的情况下获取地下空间的详细信息。这些技术的应用，使得工程师能够全面掌握地下空间的地质条件，为后续的设计和施工提供坚实的科学依据。

进入施工阶段，监测技术成为保障施工安全的关键。位移监测和应力监测是施工过程中常用的检测技术。位移监测能够实时跟踪地下结构的位移变化，及时发现潜在的不稳定因素；应力监测则可以评估施工过程中对周围岩土体的影响，确保施工过程的稳定性和安全性。通过这些监测技术，施工团队可以及时调整施工方案，避免因地质条件变化而引发的安全事故。

运营阶段的检测技术则侧重于结构健康监测和环境监测。结构健康监测技术能够实时评估地下空间结构的完整性和稳定性，及时发现结构损伤或变形，确保地下空间在长期使用过程中的安全性。环境监测则关注地下空间内的空气质量、地下水位等环境因素，保障运营期间的安全和舒适。这些检测技术的应用，不仅能够延长地下空间的使用寿命，还能为日常维护提供科学指导。

综上所述，这些检测技术在不同阶段的应用，为城市地下空间开发的全生命周期提供了有力的技术支持，保障了工程的安全、高效和可持续发展。通过科学的检测手段和严格的技术管理，可以最大限度地减少地质灾害风险，确保城市地下空间开发的成功实施。

4. 地质工程全生命周期检测技术体系构建

在城市化进程不断加速的背景下，城市地下空间的开发与利用已成为解决城市土地资源紧张、提升城市功能的重要途径。然而，地下空间开发面临着复杂的地质条件和诸多工程挑战，如何有效管理和优化地质工程，确保开发过程的安全、高效和可持续，是当前亟待解决的问题。构建一个完整的全生命周期检测技术体系，对于应对这些挑战具有至关重要的意义。

全生命周期检测技术体系的构建，首先需要涵盖从项目规划、设计、施工到运营维护的各个阶段。在项目规划阶段，准确的地质勘察是基础，通过先进的检测技术获取地下空间的详细地质信息，为后续的设计和施工提供科学依据。设计阶段则需要依据地质勘察结果，合理规划地下空间的布局 and 结构形式，同时考虑施工过程中的地质风险和应对措施。施工阶段是地下空间开发的关键环节，实时的监测技术能够有效保障施工安全，及时发现并处理潜在的地质问题。运营维

护阶段则侧重于结构健康监测和环境监测，确保地下空间在长期使用过程中的安全和稳定。

关键技术与方法是全生命周期检测技术体系的核心。先进的传感器技术是实现实时数据采集的关键，这些传感器能够部署在地下空间的各个部位，实时监测地质条件、施工进度和结构健康状态。高效的数据处理技术则用于分析和解释这些海量数据，通过数据挖掘和机器学习算法，能够从复杂的数据中提取有价值的信息，为工程决策提供支持。例如，在施工阶段，通过位移传感器和应力传感器实时监测地下结构的变化，结合数据处理技术，可以及时发现潜在的安全隐患，采取相应的措施进行调整和处理。

实际案例分析表明，应用全生命周期检测技术体系能够显著提高工程的安全性和效率。在一些大型城市地下空间开发项目中，通过构建完整的检测技术体系，实现了对地下空间开发过程的全面监控。在施工阶段，实时监测技术帮助施工团队及时调整施工方案，避免了因地质条件变化而引发的安全事故。在运营阶段，结构健康监测技术能够及时发现结构损伤或变形，提前进行维护和修复，延长了地下空间的使用寿命。这些案例充分证明了全生命周期检测技术体系在城市地下空间开发中的重要性和有效性。

总之，构建一个完整的全生命周期检测技术体系对于有效管理和优化城市地下空间开发中的地质工程至关重要。通过涵盖项目规划、设计、施工到运营维护的各个阶段，结合先进的传感器技术和高效的数据处理技术，可以实现对地质条件、施工进度和结构健康状态的全面监控。实际应用表明，这一技术体系能够显著提高工程的安全性和效率，减少潜在风险，为城市地下空间的可持续开发提供有力保障。未来，随着技术的不断进步和创新，全生命周期检测技术体系将在城市地下空间开发中发挥更加重要的作用，推动行业的技术进步和可持续发展。

5. 面临的挑战与对策

在城市地下空间开发的地质工程全生命周期检测技术体系中，当前面临着诸多挑战。首先，在技术精度方面，现有检测技术在复杂地质条件下的精确度仍有待提高。尤其是在深部地下空间和极端环境条件下，传感器的稳定性和准确性受到严峻考验。这些条件下的地质结构复杂多变，传统的检测技术往往难以提供足够精确的数据，从而影响了工程决策的科学性和准确性。其次，在数据处理方面，海量监测数据的快速处理和有效分析是亟待解决的问题。随着检测技术的不断发展，监测设备的数量和种类不断增加，产生的数据量

也呈爆炸式增长。如何从这些海量数据中提取有价值的信息，并及时反馈给工程决策者，是当前技术需要突破的瓶颈。数据处理效率和准确性直接关系到工程的安全性和效率，因此开发高效的数据处理算法和平台显得尤为重要。

在实施过程中，管理挑战同样不容忽视。协调不同阶段的检测技术应用，确保各环节无缝衔接，是实现全生命周期管理的关键。地质工程的全生命周期包括项目规划、设计、施工到运营维护等多个阶段，每个阶段都有其独特的任务和目标。不同阶段的检测技术需要相互配合，形成一个有机的整体，才能充分发挥其作用。此外，缺乏统一的标准和规范，导致不同项目之间的数据难以比较和整合，给工程管理和决策带来了困难。统一的标准和规范是实现数据共享和整合的基础，也是提高工程管理水平的关键。

针对这些挑战，提出以下对策建议：一是加强技术研发投入，提升检测技术的精度和稳定性，特别是在极端条件下的适应能力。通过研发新型传感器和检测设备，提高检测技术在复杂地质条件下的精确度和可靠性。二是发展高效的数据处理算法和平台，实现数据的快速分析和可视化，为工程决策提供及时、准确的信息支持。利用大数据分析和人工智能技术，开发智能数据处理系统，提高数据处理的效率和准确性。三是建立统一的管理和协调机制，制定明确的标准和规范，确保全生命周期检测技术体系的顺利实施和有效运行。通过制定统一的标准和规范，实现不同项目之间的数据共享和整合，提高工程管理水平 and 决策科学性。通过这些对策的实施，可以有效应对当前面临的挑战，推动城市地下空间开发的地质工程全生命周期检测技术体系的不断完善和发展。

6. 未来发展趋势

随着技术的不断进步，未来地质工程检测技术将朝着智能化、自动化和集成化的方向发展。智能化检测技术将通过引入先进的传感器网络和机器学习算法，实现对地下空间地质条件的实时监测和自动预警，显著提高检测效率和准确性。这些传感器网络能够实时收集大量数据，并通过机器学习算法进行分析，从而快速识别潜在的地质风险，为工程决策提供及时、准确的信息支持。智能化技术的应用不仅能够减少人为错误，还能在复杂地质条件下提供更可靠的监测结果。

自动化技术的应用将进一步减少人力成本，提高数据采集和处理的速度和质量。自动化系统能够自动执行监测任务，无需人工干预，从而提高工作效率和数据一致性。自动化技术还可以实现数据的自动传输和处理，进一步加快信息反馈

速度，使工程团队能够更快地响应地质变化。这种技术的应用将显著提高地下空间开发的安全性和效率，降低工程风险和成本。

此外，检测技术的集成化将使不同阶段的技术相互融合，形成一个更加高效和全面的检测体系。集成化检测体系将涵盖从项目规划、设计、施工到运营维护的各个阶段，确保每个环节都有相应的检测技术作为支撑。通过整合不同阶段的数据，可以实现对地下空间开发全过程的全面监控，为城市地下空间的可持续开发提供更加科学和可靠的决策支持。这种集成化的方法将有助于优化资源配置，提高工程管理的科学性和有效性。

7. 结论

文系统地研究了城市地下空间开发中的地质工程全生命周期检测技术体系，从技术体系框架的构建到关键技术与方法详细描述，再到通过具体案例展示技术体系的应用和效果，全面探讨了该领域的现状和挑战。研究总结表明，完善的检测技术体系对保障城市地下空间开发的安全性、经济性和可持续性具有重要意义。未来，随着智能化、自动化和集成化技术的不断发展，地质工程检测技术将更加高效和精准，为城市地下空间的可持续开发提供更有力的支持。建议未来研究进一步深化多学科交叉研究，探索新技术在复杂地质条件下的应用，并加强国际合作与交流，共同推动该领域的技术进步。

【参考文献】

- [1] 陈文强, 张胤. 城市地下空间核心安全风险识别与控制研究[J]. 安全与环境学报, 2025, 9(6). (DOI: 10.13637/j.issn.1009-6094.2024.2073)
- [2] 姜吉生. 双城市工程建设层三维工程地质结构与地基工程适宜性研究[D]. 吉林大学, 2013.
- [3] 李健. 地质雷达检测技术在隧道工程中的应用探讨[J]. 交通科技与管理, 2025, (8): 85-87.

作者简介：第一作者：戴云，女，1972年，汉族，安徽肥西，上海理工大学，计算机及应用专业，本科，安徽省第四测绘院，高级工程师，研究方向：测绘与地理信息技术、摄影测量与遥感、地理信息与制图技术、国土空间规划等相关工作；

第二作者兼通讯：王金鑫，1989.02，男，汉族，山东德州，山东建筑大学，管理科学与工程，硕士，山东师范大学，工程师，研究方向：建筑工程。