

城市地下空间开发利用的地质研究及科技应用

卢建荣 吉延梅

山东省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质大队（山东省鲁北地质工程勘察院 山东德州 253015

摘要：城市地上空间环境在城市快速发展的带动下，变得日渐拥挤，为了缓和城市空间紧张问题，将城市土地资源所具有的价值发挥到最大，开发和利用地下空间成为城市现代化建设发展的新趋势。但是，开发利用城市空间环境期间，要尤其关注地质环境和相应技术手段，只有合理控制两者之间的关系，才可对地下空间有效开发。本文重点研究城市地下空间利用开发的地质条件影响和相关技术手段应用情况，从而提高城市地下空间开发利用效率。

关键词：城市地下空间；地质研究；工程地质

引言

随着城市化进程的推进和人口增长的加速，城市地面空间变得越来越紧张，因此充分利用地下空间成为了缓解城市压力、提高土地利用的重要途径。地质研究在城市地下空间开发利用中起到了至关重要的作用，勘察和评价地下岩土体，了解地下地质条件、岩土性质、地下水等信息，为城市地下空间开发提供科学依据。基于地质勘察结果可明确地下岩层的稳定性、承载能力以及地下水的流动情况，为地铁、地下车库、地下商业街等地下工程的设计和施工提供可靠的资料^[1]。

一、工程地质与地下空间开发之间的关系

工程地质和地下空间开发之间存在着密切的关系。工程地质是研究地质条件对工程建设活动的影响及其防灾减灾措施的学科，而地下空间开发则是在城市规划和建设中充分利用地下空间的过程。

首先，工程地质为地下空间开发提供了重要的科学依据。通过工程地质调查了解地下岩土体的性质、地下水位、地下水流动方向和速度等信息，评估地下岩土的稳定性和承载能力。准确获取此类关键信息对于地下工程设计和施工决策具有重要意义，既可减少地质灾害的风险，又可提高地下空间的安全和可靠性^[2]。

其次，地下空间开发也会对地下环境产生一定的影响，工程地质可以帮助评估和管理存在的影响。在地下空间开发过程中，会对周围地下水系统造成影响，引起地下水位变化、水质污染等问题。工程地质工作人员凭借监测、模拟和预测等手段，分析和评估地下水系

统，提出相应的保护和管理措施，减少对地下环境的不良影响。

最后，工程地质还与地下空间开发的可持续性密切相关。通过深入研究地下岩土的物理力学性质、水文地质条件等，为地下空间的规划和设计提供科学依据，避免因地质原因导致的不必要的重复工程或资源浪费。同时，工程地质还能提供关于地下岩土资源的合理利用建议，促进地下空间的可持续开发利用。

工程地质是地下空间开发的重要基础，通过对地下地质条件的研究和分析，可以为地下工程的规划、设计、施工和管理提供科学依据，确保地下空间的安全、可靠和可持续发展。

二、城市地下空间利用开发的地质条件影响

（一）岩土性质的影响

不同类型的岩土具有不同的承载能力，直接影响地下结构的设计和施工。如果地下岩土承载能力较低，需要采取加固措施或选择合适的地下结构形式，进而提高地下空间的安全和稳定性。在荷载作用下，不同类型的岩土会有不同的变形和收缩特性，对地下结构产生影响，当黏土具有较大的变形能力，需考虑其膨胀性和收缩性。对于地下空间开发而言，透水性是一个重要的考虑因素，若岩土具有较高的透水性，会造成地下空间的渗漏和涌水问题，影响地下结构的使用和安全。地震活动对地下空间的影响主要表现为地震波传播、地盘沉降或隆起，以及岩土体的摩擦耗能等^[3]。不同硬度的岩土对于地下空间开发的可控性具有直接影响，软黏土和松散砂土通常容易挖掘，但在支护和稳定方面需要额外注意，坚硬

的岩石需要更强大的挖掘设备和更复杂的支护结构，增加了地下空间的开发成本和技术难度。

（二）地下水位和水文地质影响

高地下水位影响地下建筑物，容易发生涝水，采取适当的防水措施来避免水位上升导致的水损问题，可见高地下水位也可能增加地下结构的排水工作量和成本。水文地质条件对地下水流动的方向、速度和渗流路径等起着决定性的作用，如果地下水流动速度较快或存在地下水体的运动影响，需采取更复杂的排水方案和防止渗漏的技术手段。高地下水位和湿度条件使土壤出现膨胀，不利于地下空间的稳定性和结构。在设计 and 实施地下空间的时候，需考量土壤膨胀因素，提出地基加固措施或选择抗膨胀性能较好的材料。若地下水中存在污染物，会危害地下结构和人体健康。一些地区存在岩溶和地下洞穴等特殊的水文地质条件，尤其岩溶和地下洞穴，诱发地下结构的不稳定和塌陷，时刻挑战着城市地下空间利用开发性能。

（三）地下岩层结构和空洞分布

地下岩层的稳定性是城市地下空间开发中必须考虑的关键因素，不同类型的岩石具有不同的强度和稳定性，需要根据岩层的特性来选择合适的开挖和支护方法。在某些地区，存在天然的地下空洞，这些空洞对城市地下空间的利用开发带来了挑战。地下空洞的存在地表下沉、地面塌陷等问题，需要进行详细的勘察和评估，并采取相应的填充、加固或避让措施。某些岩层可能具有较高的透水性，需要采取相应的排水措施，以避免地下空间的渗漏和涌水问题，研究岩层的渗流特性对地下结构的设计和地下水资源的利用有所助益。不同硬度的岩层对于城市地下空间开发的可控性具有直接影响，地质断层是地壳中两个岩层之间的裂隙，常见于地震活动区域，规划和设计地下空间必须考虑地质断层的位置和活动性，提高地下结构的抗震能力和安全性^[4]。

三、城市地下空间开发利用的地质问题应对技术

（一）地质勘查和数字建模

地质勘查使用遥感技术、激光扫描、卫星测绘收集大量的地质数据，分析和解释数据了解地下岩层结构、地下水文地质条件以及地下洞穴的分布情况。通过数字建模技术转换地质数据为三维地质模型，反映地下岩层的分布、强度、透水性等特征，基于模型分析岩石力学、模拟地下水流动，预测地下各种地质问题的可能性，制定合理的地下结构设计和施工规划。在选择地下支护结

构时，根据地质模型预测的岩层强度和稳定性选择合适的支护方式，帮助规划开挖顺序、确定施工方法，以减少地下岩层变形和不稳定的风险。

地质勘查和数字建模可以提供关于地下水位、水力梯度、地下水流动方向等信息，并在制定地下水资源的管理策略中应用。地质勘查和数字建模技术可以提供全面的地质信息，有助于评估地下工程项目的风险，基于这些信息展开可行性研究、环境影响评估等，为决策者提供科学依据，制定合理的发展策略。

（二）地下无人机和机器人技术

地下无人机和机器人可以进入狭窄、危险或难以到达的地下空间，进行勘察和探测工作，携带摄像头、激光雷达、地震仪等各种传感器和设备，收集地质数据和图像。通过这些数据获取地下岩层结构、断层情况、地下洞穴分布等信息，辅助地质勘查和评估工作。地下无人机和机器人可以配备形变传感器、温度传感器、气体传感器等各种传感器，用于实时监测地下结构的变化和异常情况，定期巡视地下空间，检测地表沉降、裂缝扩展等地质问题，并及时报告和预警。地下无人机和机器人可以进行地下管道的安装、维修和清洁工作，减少人工操作的风险和难度，检查和维护地下结构的。通过地下无人机和机器人收集的数据，结合其他地质数据进行数据分析和建模，用于预测地下岩层滑动、沉降变形等地质问题的发生概率，并提供决策支持^[5]。地下无人机和机器人可以进入危险的环境中，寻找被困人员、评估地下结构的稳定性，并提供实时反馈和通信。

（三）智能传感器和监测系统

智能传感器可以被安装在地下井、钻孔或管道中，实时监测地下水位的变化，提供准确的水位数据，了解地下水流动的情况。通过监测地下水位预测地下水涌出、水压变化等地质问题，并采取相应的措施进行处理。在地下结构、土壤中或地表上安装智能传感器，收集地表沉降的数据，及时发现地下岩层变形、地下水抽取引起的地表下沉等问题，采取适当的补救措施，防止地质灾害的发生。监测地下结构的变形情况时，它们可以被在地下隧道、地下工程中安装智能传感器，通过测量位移、应变等参数实时监测结构的变形状态，早发现地下结构的变形、位移等异常情况，为修复和维护提供及时的警报和反馈。传感器可以记录并分析地震波频率、振幅、持续时间等参数，预测地震风险。

结语

在城市地下空间开发利用中，地质研究和科技应用扮演着重要的角色。通过地质勘查、数字建模、地下无人机和机器人技术、智能传感器和监测系统等手段，可以获取准确的地质信息，预测地质问题的可能性，并为规划、设计、施工和维护提供支持。合理利用这些技术，可以充分发掘地下空间的潜力，并为城市的可持续发展做出贡献。

参考文献

- [1]何继善,李帝铨,胡艳芳,等.城市强干扰环境地下空间探测技术与应用[J].工程地球物理学报,2022,19(05):559-567.
- [2]向泽君,何兴富.勘测大数据在地下空间安全评价中的应用[J].地下空间与工程学报,2022,18(03):743-750.
- [3]邢怀学,窦帆帆,葛伟亚,等.城市地下空间开发利用地质适宜性三维评价指标体系研究——以杭州市为例[J].地质论评,2022,68(02):607-614.
- [4]蔡建斯,龚鹏,任宏剑.深圳市某片区岩溶塌陷致塌成因分析及预防措施[J].中国矿业,2022,31(02):173-179.
- [5]李鹏岳,王东辉,李胜伟,等.山前冲积平原型城市地下空间开发利用地质适宜性评价——以成都市为例[J].地质通报,2021,40(10):1644-1655.