

地质工程在城市地下空间开发中的应用

李兴洪¹ 陈 曦² 于凤亮³

1. 江西伟灿工程技术咨询有限公司 江西南昌 330000

2. 中铁十九局集团轨道交通工程有限公司 北京 100000

3. 朝阳英达矿业有限公司 辽宁朝阳 122000

【摘要】城市化进程的加速推进带来了城市地下空间开发的迫切需求。地质工程作为城市地下空间开发的重要支撑，涉及到地下结构的稳定性、地质环境的评估与改造等多个方面。本文综述了地质工程在城市地下空间开发中的应用现状，探讨了地质调查、地下工程设计、施工技术以及风险管理等关键技术，并分析了地质工程如何促进城市地下空间的安全、高效和可持续发展。

【关键词】地质工程；城市地下空间；开发应用；工程安全

引言：

随着城市人口的增长和土地资源的紧张，城市地下空间的开发利用成为解决城市发展问题的重要途径。地质工程在这一过程中扮演着至关重要的角色，它不仅关系到地下空间开发的可行性和安全性，还涉及到环境保护和资源的可持续利用。本文旨在探讨地质工程在城市地下空间开发中的应用，分析其在提高工程效率、保障工程安全以及促进城市可持续发展中的作用。

一、城市地下空间开发的地质工程特点

城市地下空间开发是一个复杂的过程，它不仅需要考虑经济和技术因素，还必须深入理解地质条件和工程地质特性。地质工程在这一过程中扮演着至关重要的角色，其特点体现在对地下空间开发的地质条件进行全面评估，确保地下工程的规划和设计能够适应地质环境的要求。一方面，地下空间开发的地质条件评估是地质工程的基础工作。这一评估涵盖了对地下土层、岩石、水文地质条件以及地下空间周围环境的细致调查，通过对地质结构、土壤力学性质、地下水位和地质病害等关键因素的分析，可以为地下工程的可行性研究提供科学依据。例如，对于松软土层或膨胀土等特殊地质条件，需要采取相应的地基处理措施，以确保地下结构的稳定性；另一方面，地质工程通过对地质条件的深入理解，为地下空间的布局、深度和形态提供指导。地质工程师需要与城市规划师、建筑师和结构工程师紧密合作，共同确定地下空间的开发方案。这包括选择合适的地下工程类型，

如地铁、地下商场、停车库或地下交通隧道等，以及确定它们的规模和位置，以最大限度地减少对现有城市结构和环境的影响；此外，地质工程师还必须考虑地下工程在施工和使用过程中可能遇到的各种地质问题，如地层不稳定、地下水渗透和土壤腐蚀等。通过采用适当的设计和施工技术，如深基坑支护、地层加固和防水措施，可以有效地应对这些挑战^[1]。

二、地质工程在地下工程设计中的应用

（一）地下结构设计的地质因素考量

地下结构设计的地质因素考量是确保工程安全、经济和可持续性的关键环节。地质工程师在设计阶段需综合考虑地下土层的物理和力学性质、岩石类型、地下水位变化以及地质构造的复杂性。例如，在含水层中进行地下工程时，必须采取有效的水文地质措施，如降水、隔水或排水，以抵御水压力对结构可能造成的影响。土壤的抗剪强度和压缩性是评估地下结构承载力和稳定性的重要参数，地质工程师需通过土力学测试和分析，确定土壤的承载能力，并设计合适的基础和支撑结构。同时，地下工程还需考虑地壳运动、地面活荷载及环境变化等长期影响因素，这些因素可能引起地下结构的不均匀沉降或结构变形。在设计中，地质工程师应采用合理的结构布局和适宜的材料，以适应地质条件和满足工程需求。例如，对于软弱土层，可能需要采用桩基础来提高结构的承载能力；而在岩石中，则可能采用地下连续墙来确保结构的稳定性。通过综合考量地质因素，地质工程为地下结

构设计提供了坚实的基础，确保了工程的安全性和经济性，同时也为地下空间的长期稳定和可持续发展奠定了基石^[2]。

（二）地下工程稳定性分析

地下工程稳定性分析是确保工程长期安全运行的关键步骤。地质工程师通过综合考虑地下工程所处的地质环境和施工条件，运用数值模拟和物理模型试验等先进技术手段，对地下工程的稳定性进行深入分析。这包括评估地下工程在施工期和使用期间可能遭遇的滑坡、地面沉降、结构失稳等风险。在深基坑工程中，稳定性分析尤为重要，地质工程师需预测基坑开挖过程中土体的变形和应力分布，设计合理的支护结构，如地下连续墙、支撑系统等，以抵御土压力和水压力；稳定性分析还需考虑地下工程在地震、降雨等自然因素作用下的行为，评估其对工程稳定性的影响，并制定相应的抗震和防水措施。通过对地下工程的稳定性进行定量分析，地质工程师能够确定最佳的施工方案和支护措施，从而有效预防工程事故，延长工程的使用寿命。稳定性分析的结果对于提高地下工程的安全性、经济性和可持续性具有重要意义，是地质工程在地下空间开发中不可或缺的一环。

（三）地质工程对地下空间功能布局的影响

地质工程在地下空间功能布局中起着至关重要的作用，它通过对地质条件的深入分析，为地下空间的合理开发提供了科学依据。地质工程师需要评估岩石的坚硬程度、地下水位、土壤类别等关键地质参数，以确定地下空间开发的深度和形式。在坚硬岩石和低水位地区，深层地下空间开发成为可能，可以建设地铁隧道、深层停车场或储存设施等。相反，在土层较软、地下水丰富的地区，开发浅层地下空间如商场、停车库和交通隧道更为适宜。地质工程还涉及到地下空间与城市其他部分的协调，包括地面建筑、交通网络和市政设施，地质工程师必须确保地下空间的开发不会对这些现有结构造成不利影响，如地面沉降或结构不稳定。此外，地下空间的规划还应考虑其对城市生态系统的影响，采取措施保护和恢复地下水资源，以及避免对周围环境造成负面影响。通过地质工程的综合评估和规划，地下空间的功能布局可以最大化地发挥其潜力，同时确保工程的安全性和可持续性。

三、地质工程在地下空间施工技术中的应用

（一）地下施工中的地质风险评估与管理

地下施工是一个充满挑战的过程，地质风险评估与管理

是确保施工安全和效率的关键环节。地质工程师在施工前需对场地的地质条件进行全面的调查与分析，识别可能的地质风险，如土层不稳定、地下水渗透、地下空洞等。通过对地质数据的深入解读，可以预测施工过程中可能遇到的问题，并制定相应的风险管理策略。例如，对于高水位地区，可能需要采取降低地下水位的措施，如井点降水或帷幕隔水。在施工过程中，实时监测地质条件的变化，及时调整施工方案，以应对地质条件的不确定性，有效的地质风险管理不仅能够保障施工人员的安全，还能减少工程成本和工期延误。

（二）地质工程与现代地下施工技术

地质工程与现代地下施工技术的结合，推动了地下空间开发的技术进步。地质工程师利用地质勘探数据，指导施工技术的选择和优化，如盾构法、顶管法、冻结法等，现代地下施工技术的发展，如自动化和遥控操作设备，提高了施工的精确性和安全性。地质工程在施工中的应用还包括对施工设备的选型和施工参数的确定，如土压平衡盾构机的土压设定、顶管机的推进速度等；地质工程还需考虑施工对周边环境的影响，如地面沉降、建筑物倾斜等，通过施工技术的选择和施工过程的控制，最小化对环境的负面影响。

（三）地下空间开发中的环境保护措施

地下空间开发对环境的影响是多方面的，包括对地面建筑物、地下管线、生态环境等的影响。地质工程在环境保护措施中的应用，旨在减少施工和使用过程中对环境的破坏。例如，在施工过程中，采用低振动、低噪音的施工设备，减少对周边环境的干扰，在地下空间的设计和施工中，考虑地下水资源的保护，避免地下水位的大幅波动。此外，地下空间的通风、照明和废物处理等也需要符合环保要求，如采用节能型照明系统、设置废水回收利用系统等。地质工程师还需评估地下空间开发对地面生态系统的影响，采取措施保护和恢复受影响的生态环境。

四、地质工程在城市地下空间风险管理中的应用

（一）地下空间开发的地质灾害风险评估

地下空间开发的地质灾害风险评估是地质工程中至关重要的一环，它确保了地下工程的安全性和可行性，这一评估过程涵盖了对自然和人为因素可能引发的地质灾害的全面识别、分析和评价。自然地质灾害包括地震、地面沉降、岩溶发育、滑坡和泥石流等，而人为地质灾害则可能源于施工活动，如地面塌陷、管线破裂等。地质工程师通过收集详

尽的地质数据,运用地质建模、数值模拟和地理信息系统(GIS)等先进技术手段,对地下空间的地质条件进行深入分析。这些技术能够帮助预测地质条件对地下工程的潜在影响,量化风险,并评估其严重性和发生概率。例如,通过地质建模,可以重现地下的三维地质结构,为工程设计提供直观的地质信息;数值模拟则可以预测地下工程在不同地质条件下的响应。

风险评估的结果对于地下空间的规划、设计和施工具有指导意义,它有助于项目团队制定科学的施工方案,选择合适的施工方法,以及设计有效的支护结构;评估结果还可以用于制定应急预案,提高地下工程对突发地质灾害的应对能力,从而降低可能的经济损失和社会影响。

(二) 地质工程在风险预防与控制中的角色

地质工程在风险预防与控制中发挥着核心作用,确保地下空间开发项目的安全性和稳定性。地质工程师利用专业知识和技术手段,对地下空间的地质条件进行全面分析,识别可能的风险因素,如土层滑动、地下水渗透、地层不稳定性等。在项目规划和设计阶段,他们通过地质勘察获取的数据,为风险评估提供科学依据,帮助设计团队制定合理的工程方案。在施工过程中,地质工程师持续监测地质条件,评估施工活动对地质结构的影响,及时调整施工方法和参数,以适应地质条件的变化。例如,在深基坑开挖时,他们可能会采用不同的支护技术,如锚杆、支撑或地下连续墙,以确保基坑的稳定性;在风险预防方面,地质工程师通过地质评估预测潜在的地质问题,并提出预防措施,如加固软弱地基、控制地下水流动等;在风险控制方面,他们参与制定应急预案,准备应对施工期间可能遇到的突发事件,如突泥、突水等。地质工程的这些角色对于提高地下空间开发的安全性至关重要。通过精心的风险管理和控制,地质工程师为地下空间的稳定开发提供了坚实的保障,同时也为城市的可持续发展贡献了重要力量。

(三) 地质工程对提高地下空间安全性的贡献

地质工程在提升地下空间安全性方面发挥着至关重要的作用。它通过细致的地质调查和评估,为地下工程的规划和设计提供了坚实的科学基础,这一过程中,地质工程师运用先进的勘探技术和分析方法,如地球物理勘探、钻探取样和实验室测试,以确保对地下条件有全面而深入的理解。在施

工阶段,地质工程的应用有助于识别和解决地质难题,如不适宜的土壤条件、地下水问题或地下障碍物等。地质工程师通过实时监测施工过程中的地质反应,能够及时调整施工方案,采取支护措施,从而避免安全事故的发生。长期稳定性监测是地质工程提高地下空间安全性的另一重要方面,通过对地下结构和地质环境的持续监测,可以评估地下工程的长期性能,预测潜在的变形或损坏,并采取维护措施以延长其使用寿命。

地质工程还通过引入创新的材料和技术,如高性能混凝土、先进的地下支护系统和自动化施工设备,增强了地下工程的抗灾能力和耐久性。这些创新不仅提升了地下空间的安全性,也为地下空间的可持续发展提供了有力支持。

五、结束语

在本文中,我们全面探讨了地质工程在城市地下空间开发中的应用,这一领域对于应对城市化进程中土地资源紧张、提高城市空间利用效率具有重要意义。从地下空间开发的地质条件评估到地下工程设计、施工技术,再到风险管理,地质工程在确保工程安全、提升施工效率、保护环境以及增强地下空间功能布局的合理性方面发挥了关键作用。通过智能化监测、精确的风险评估和现代施工技术的应用,地质工程不仅提高了地下工程的稳定性和安全性,还促进了地下空间的可持续发展。此外,地质工程在风险预防与控制中的作用不容忽视,它通过科学的评估和管理,有效降低了地下空间开发过程中可能遇到的地质灾害风险。总的来说,地质工程在城市地下空间开发中的应用是多方面的,它不仅是一项技术活动,更是一种对城市未来发展负责的态度。随着技术的不断进步和创新,我们有理由相信地质工程将为城市地下空间的安全、高效和可持续开发做出更大的贡献。让我们继续探索和应用地质工程的新技术、新方法,共同推动城市地下空间开发向更深层次、更广领域发展。

参考文献:

- [1] 苏栋,黄茂隆,韩文龙,等.考虑城市地质环境影响的深圳市地下空间开发适宜性评价[J].地学前缘,2023,30(4):514-524.
- [2] 薛涛,包训栓,朱小弟,等.多源数据三维地质结构模型约束的属性建模方法:以北京市通州城市副中心为例[J].地学前缘,2023,30(3):529-536.