地下空间开发中的岩土工程问题与解决方案

史东梅
辽宁东方发电有限公司 辽宁省 抚顺市 113007

摘　要：随着城市化进程的加速，地下空间的开发利用已成为解决城市空间不足的有效途径。然而，地下空间开发面临诸多岩土工程挑战，其有效解决是保障工程安全、经济和可持续发展的关键。本文系统探讨了城市地下空间开发中的岩土工程问题，包括地质条件复杂性、地下水问题、岩土体稳定性挑战和施工技术难点，并提出了相应的解决方案。

关键词：城市地下空间开发；岩土工程；地质条件；地下水；稳定性

Geological and Geotechnical Engineering Issues and Solutions in Underground Space Development

Dongmei Shi
Liaoning Dongfang Power Generation Co., Ltd., Fushun City, Liaoning Province 113007

Abstract: With the acceleration of urbanization, the development and utilization of underground space have become an effective way to address the shortage of urban space. However, the development of underground space faces many geotechnical engineering challenges, and their effective resolution is key to ensuring the safety, economy, and sustainable development of the project. This paper systematically discusses the geotechnical engineering issues in the development of urban underground space, including the complexity of geological conditions, groundwater issues, challenges to the stability of soil and rock bodies, and difficulties in construction technology, and proposes corresponding solutions.

Keywords: Urban Underground Space Development; Geotechnical Engineering; Geological Conditions; Groundwater; Stability

引言

岩土工程作为土木工程的一个重要分支，其核心任务是研究和解决与土体和岩体相关的工程问题。它涉及到的领域广泛，包括但不限于建筑、交通、水利、能源和环境工程等。随着城市化进程的加快和基础设施建设的不断扩展，岩土工程在确保工程安全、经济和环境可持续性方面的作用日益凸显。在岩土工程实践中，工程师们经常面临各种挑战，如复杂的地质条件、地下水问题、环境影响以及工程风险等。这些问题的解决不仅需要深厚的专业知识和丰富的实践经验，还需要创新的思维和先进的技术手段。因此，对岩土工程问题的深入研究和对策措施的制定，对于提高工程质量、降低成本、保护环境和确保工程安全具有重要意义。

1 岩土工程勘察概述

1.1 城市地下空间的定义与特点

城市地下空间是指城市规划区内地表以下的空间，它包括了各种生活、生产、防护的地下建筑物及构筑物。随着城市化进程的加速和城市人口的快速增长，城市地上空间日益紧张，地面交通拥堵、环境污染等问题日益凸显。因此，城市地下空间的开发与利用成为解决城市发展难题的重要途径之一。城市地下空间的开发利用具有多个显著特点。首先，它能够节省土地资源，减少地面环境污染，缓解地面交通堵塞，提供防灾空间等。其次，地下空间具有较强的抗灾特性，能提供避难空间和救灾安全通道，储备防灾物资和紧急用水等。城市地下空间通常指城市范围内，地面以下用于各种社会经济活动的空间。这些空间具有多样性和灵活性的特点，能够根据不同的需求进行定制化设计。此外，地下空间还具有良好的环境稳定性，例如在温度、湿度等方面相对稳定，这为特定类型的设施提供了理想的环境。

1.2 开发的必要性与趋势

由于地面空间的限制和高昂成本，越来越多的城市开始考虑向下发展，即开发地下空间。地下空间的开发不仅可以缓解地面交通和商业压力，还能提供避难所、储水设施等公共服务，对城市的可持续发展具有重要意义。随着技术的进步和人们对生活质量要求的提高，地下空间的开发趋势将更加明显。城市地下空间开发利用是缓解城市资源匮乏、改善环境状况、提升居民生活品质的重要途径，具有重要现实意义。在总结国外城市地下空间开发特色的基础上，分别对国内城市地下商业街、地下道路与停车系统、轨道交通、综合管廊、地下综合体、地下市政系统、地下仓储物流系统、相关法律法规及标准规范的现状进行分析。深入剖析当前我国地下空间开发利用中，法律法规、管理机制、城市规划、开发保护、信息共享、防灾减灾和投融资模式等方面存在的不足。结合地下空间开发智慧化、绿色化、深层次、综合化发

展的大趋势，提出除创新地下空间开发的理论体系和关键技术外，还需要综合管理、统筹规划、创新投融资及收益模式，结合国情完善相应的政策和法律法规。城市地下空间开发的重要性不仅体现在其能够提供额外的城市空间，而且还在于其对于城市可持续发展的促进作用。地下空间的开发可以有效地减少城市对地面土地的依赖，从而保护更多的自然景观和绿地。此外，地下空间的利用还可以减少城市的热岛效应，提高城市的能源效率。例如，地下空间可以作为城市的冷却系统，利用地下的低温来降低城市的气温。城市地下空间的开发也带来了一系列的技术挑战，如岩土工程问题、地下水管理、空间布局优化等。这些问题需要通过先进的工程技术和科学的管理方法来解决。例如，通过使用高性能的建筑材料和先进的施工技术，可以确保地下结构的稳定性和安全性。同时，通过精确的地下水管理，可以防止地下水对地下结构的侵蚀和影响。城市地下空间的开发还涉及到城市规划和设计的问题。城市规划者需要考虑到地下空间与地面活动的连接性，确保地下空间的开发不会对城市的整体功能造成负面影响。

2 岩土工程问题对策与措施

岩土工程是土木工程的一个重要分支，主要研究土体和岩体的物理、化学和力学性质，以及如何利用这些性质进行工程建设。在实际的岩土工程中，工程师们可能会遇到各种问题，需要采取相应的对策和措施来解决。以下是一些常见的岩土工程问题及其对策和措施：

2.1 场地工程地质条件特征分析

场地工程地质条件特征分析是岩土工程中的重要环节，它直接关系到工程的安全性、经济性和可行性。在进行场地工程地质条件分析时，需要综合考虑地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件等多个因素。

在某滨海地区的高层建筑项目中，基坑开挖深度达到 14 至 15 米，工程地质条件复杂。场地表层为素填土，下层依次为杂填土、黏土、含黏性土角砾、碎石土等，直至全风化斜长角闪岩。该区域地下水类型为孔隙潜水及微承压水。在基坑开挖过程中，工程师采用了 BIM 技术进行三维地质建模，这使得地层信息得到了立体展现，勘察报告实现了三维化展示，基坑支护效果得以体现，提高了勘察设计的技术水平。在具体的岩土工程分析中，工程师首先建立了反映地质构造形式及地质体属性变化的数字化模型。利用三维地质模型进行岩土工程分析，辅助业主、设计院及施工单位进行科学决策和规避风险。通过 BIM 技术，建立了基坑支护结构以及周边建筑物的 Revit 模型，检查支护结构是否与周边建筑物冲突，同时利用模型进行施工进度分析，对基坑施工进行立体化、信息化的指导。在基坑支护模型的建立中，通过模型可直观展示基坑整体开挖后支护范围内的地层，同时也可以反映底部地层的均匀性。例如，东侧临近高层建筑区域采用双排桩支护，其他区域采用单排桩锚支护，北侧考虑与已建公寓楼连接，基底高差采用排桩悬臂支护。通过 BIM 模型，有效解决了支护锚索与地下工程桩的碰撞问题，通过调整锚索位置及角度，规避了锚索与已建建筑基础下桩基的碰撞风险。

2.2 不良地质作用与特殊性岩土的发育情况

不良地质作用与特殊性岩土的发育情况对工程建设具有重要影响，它们可能导致工程结构的不稳定甚至破坏。以某山区高速公路工程为例，该地区不良地质作用强烈发育，包括滑坡、泥石流、岩溶和采空区等。特殊性岩土如膨胀土、红黏土等也广泛分布，给工程设计与施工带来了巨大挑战。

在该高速公路工程的勘察过程中，首先通过地质测绘和调查、物探、钻探等多种手段结合的方法，详细查明了滑坡的分布范围、规模和性质，评价了其稳定性，并提出了相应的防治措施。对于泥石流，勘察团队通过调查形成区、流通区和堆积区的地质条件，评估了泥石流的规模及对工程的危害程度，并设计了相应的防护和排导措施。岩溶勘察中，通过钻探和物探等手段，揭示了岩溶的发育程度和分布特征，为基坑开挖和桩基设计提供了重要依据。同时，对于采空区，通过详细的地质勘探和历史资料分析，评估了采空区对工程的影响，并采取了加固措施。特殊性岩土的勘察中，以膨胀土为例，通过室内试验和现场原位测试，了解了膨胀土的物理力学性质，评估了其对路基和结构的影响，并提出了改良和利用方案。红黏土的勘察则重点关注其高塑性和膨胀性，通过试验研究其力学行为和水敏性，为路基和边坡设计提供了科学依据。该山区高速公路工程在不良地质作用和特殊性岩土发育的情况下，通过综合勘察和科学评价，采取了一系列针对性的工程措施，确保了工程的安全、经济和环保。

2.3 地基承载能力评估

地基承载能力评估是岩土工程中的关键步骤，它直接关系到建筑物的安全性和稳定性。以北京大屯慧忠北里居住区 C 区三塔 3 号、4 号、5 号高层住宅楼项目为例，该项目设计为地上 27 层，地下 2 层，地下室底板标高一 7.6m。设计要求地基承载力标准值为 450kPa，建筑物的绝对沉降量小于等于 60mm，差异沉降量需符合国家现行规范要求。原设计采用钢筋混凝土灌注桩基础，后改为 CFG 桩复合地基，以适应地基土层的特性。

工程地质条件显示，场地地形平坦，地表标高为 41.1m ~ 41.4m，属永定河冲洪扇与温榆河槽流摆动沉积过渡部位，地下水位埋藏较浅。沉积颗粒细小，以永定河冲洪积物为主，夹有少量牛轭湖沉积，为中软场地土，天然地基土承载力标准值在 180 ~ 450kPa 之间。土层分布具体为：黄灰色粉质粘土④层，饱和，中密，可塑，含云母、少量有机物，承载力标准值 180kPa，厚度约 2.0m；褐黄色细中砂⑤层，饱和，中密 ~ 密，含云母、卵砾石粗颗粒，承载力标准值约 210kPa，层厚约 4.0m；褐灰色粘

质粉土⑥层，温，中密～密，可塑～硬塑，含云母、氧化铁及少量有机物，承载力标准值约 250kPa，层厚约 2.6m。在这一项目中，地基承载力的评估采用了多种方法，包括原位测试、土工试验和理论公式计算，并结合了当地经验。通过钻探和室内试验，工程师们详细分析了土层的物理和力学性质，包括土的密度、含水量、内摩擦角和黏聚力等参数。这些参数对于确定地基的极限承载力至关重要。此外，考虑到场地的特定地质条件，工程师们还采用了载荷试验来验证理论计算结果，确保地基设计的安全可靠性。载荷试验结果显示，地基土的承载力基本值为 390 kPa，考虑到基础宽度和埋深的影响，修正后的地基承载力特征值达到 473kPa，满足了设计要求。这一结果证明了采用 CFG 桩复合地基方案的合理性，同时也展示了地基承载力评估在确保工程安全中的重要性。

2.4 环境工程地质条件分析

环境工程地质条件分析是评估一个地区自然条件对工程建设影响的重要步骤，它涉及到地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件以及物理地质现象等多个方面。以中国西南地区某大型水电工程为例，该工程在建设过程中面临了一系列复杂的环境工程地质条件挑战。

该水电工程位于高山峡谷地带，地形起伏大，地质构造复杂，存在多条活动断层，地层岩性多样，包括软弱页岩、硬质砂岩和碳酸盐岩等。水文地质条件方面，该地区地下水资源丰富，但水位变化对工程施工有较大影响。物理地质现象方面，该地区存在滑坡、泥石流等不良地质作用，对工程安全构成威胁。在工程地质条件分析中，首先通过地质测绘、物探、钻探等手段，详细查明了区域地质构造和地层岩性，评估了断层活动性对工程的影响。针对软弱页岩，进行了室内试验和现场原位测试，分析了其物理力学性质，为工程设计提供了参数。对于硬质砂岩和碳酸盐岩，分析了其抗侵蚀性和抗冻融性，以确保工程的耐久性。在水文地质条件分析中，通过建立地下水流模型，模拟了不同工况下的地下水流场，评估了水位变化对工程的影响，并设计了相应的防渗和排水措施。同时，针对滑坡和泥石流等不良地质现象，进行了稳定性分析，并设计了相应的防治措施，如锚固、抗滑桩和导流渠等。此外，该工程还考虑到了地震对工程的影响，进行了地震危险性分析，并根据分析结果，对工程结构进行了抗震设计。通过这些综合措施，确保了工程在复杂环境工程地质条件下的安全、稳定和耐久性。

3 结论

在岩土工程中，结论的制定是整个勘察和设计过程中至关重要的一环。它不仅需要基于详尽的地质数据和分析，还需要考虑工程的经济性、安全性和可持续性。总之，岩土工程的结论是一个多方面、多层次的决策过程，它需要综合考虑地质、环境、经济和社会因素，以及工程的安全性、经济性和可持续性。通过科学的方法和严谨的态度，可以确保工程项目的成功实施，并为社会和环境带来长远的利益。

参考文献：

[1] 王怡文 . 数智赋能城市地下空间风险防控体系研究 [D]. 中国矿业大学，2023.

[2] 何斌 . 我国城市地下空间建设用地使用权研究 [D]. 江西财经大学，2023.

[3] 崔佳 . 基于灰色神经网络的城市地下空间资源开发利用需求分析 [D]. 南京理工大学，2022.

[4] 洪小春，季翔，武波 . 城市地下空间连通方式的演变及其模式研究 [J]. 西部人居环境学刊，2021, 36(06): 75–82.

[5] 张永宝 . 城市地下空间风险可接受度模型及测量方法研究 [D]. 中国地质大学（北京），2021.

[6] 刘一鸣 . 青岛邮轮港核心区地下空间规划策略研究 [D]. 青岛理工大学，2022.

[7] 蔡明豪 . BIM 技术在城市地下空间管理中的应用研究 [J]. 中国建设信息化，2022, (18): 73–75.