

# 城市地铁隧道施工中的岩土力学问题研究与解决方案

柳森昊 陈磊 史锴然

中国联合工程有限公司

**摘要：**本文旨在研究城市地铁隧道施工中的岩土力学问题，并提出解决方案，以确保施工过程的安全和高效。首先，我们对城市地铁隧道施工中常见的岩土力学问题进行了深入分析，包括岩层稳定性、地层变形等方面。在问题分析的基础上，本文提出了一系列针对不同岩土力学问题的解决方案，涵盖了工程技术、监测手段以及风险控制等多个方面。

**关键词：**地铁隧道；岩土力学；岩层稳定性；地层变形；施工安全；监测技术；风险控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.13.066

## 一、引言

城市地铁作为现代交通体系的重要组成部分，其建设在提高城市交通效能、缓解交通拥堵方面发挥着至关重要的作用。然而，随着城市地铁线路的不断扩展和深化，其施工过程中涉及的岩土力学问题也逐渐凸显。岩层的稳定性、地层的变形以及工程对地下水位的影响等岩土力学问题，直接关系到地铁隧道施工的安全性、稳定性和工程进度。近年来，由于城市地下岩土地质环境的复杂性，一些地铁隧道工程在施工过程中频繁遭遇岩土力学问题，如地层塌陷、岩体位移等。这些问题不仅给施工带来了巨大的安全隐患，同时也对工程的进度和质量提出了极大的挑战。因此，对城市地铁隧道施工中的岩土力学问题进行深入研究，提出科学有效的解决方案，对于确保地铁隧道工程的安全、高效、顺利进行具有重要的理论和实际意义。本研究旨在深入分析岩土力学问题的根本原因，并针对不同问题提出切实可行的解决方案，以推动城市地铁隧道工程的可持续发展。

城市地铁隧道施工中的岩土力学问题直接关系到工程的安全性、稳定性和施工效率。因此，本研究的首要目的是通过深入分析岩土力学问题的发生机理，揭示其影响因素和相互关系，从而为解决这些问题提供科学的理论基础。通过深入了解不同岩土力学问题的特点和规律，我们旨在为城市地铁隧道的规划、设计和施工提供更为全面和有效的指导，确保工程的整体质量和可持续性。本研究旨在提出一系列针对岩土力学问题的解决方案，涵盖工程技术、监测手段以及风险控制等多个方面。通过对不同问题的解决方案的综合分析，我们的目标是为地铁隧道施工提供一套系统性、可操作性强的方法，以应对岩土力学问题的多样性和复杂性。通过实践验证这些解决方案的有效性，期望为今后类似工程提供

经验和借鉴，推动城市地铁隧道工程向更为安全、高效的方向发展。研究的最终目的是为城市地铁隧道工程提供可行性强、可推广性广的岩土力学问题解决方案，促进城市交通建设的可持续发展。

## 二、岩土力学问题分析

### （一）岩层稳定性问题

在城市地铁隧道施工中，岩层稳定性问题是一个至关重要且常见的挑战。岩层的稳定性受到地质构造、岩体结构和地下水等多个因素的影响。首先，地质构造的复杂性导致了地层中存在着不同性质和强度的岩石，使得在地铁隧道挖掘过程中，难以预测和应对岩体的变异性。其次，岩体结构的不均匀性以及存在的节理、裂缝等缺陷，使得岩层在受到挖掘和荷载作用时容易发生位移、塌方等不稳定现象。同时，地下水位的波动也会对岩体的稳定性产生影响，引发地层变形和岩层位移，从而增加了隧道施工的风险。

解决岩层稳定性问题的关键在于深入了解地质背景，制定科学合理的工程技术方案。通过对地质勘探和岩体结构的详细分析，可以选择合适的岩体加固措施，例如采用支护结构、注浆加固等技术手段，以提高岩体的整体稳定性。同时，合理的施工序列和施工工艺也是确保岩层稳定的重要因素，通过优化施工方法，减少对岩体的干扰，降低岩层稳定性问题的发生概率。在实际施工中，不断优化和调整这些方案，以适应不同地质条件下的岩层稳定性需求，是确保城市地铁隧道施工安全顺利进行的重要手段。

### （二）地层变形问题

城市地铁隧道施工中，地层变形问题是一个复杂而严重的挑战，直接影响到隧道的稳定性和工程质量。地下水位的变化、地层的不均匀性以及施工过程中的荷载作用等因素，使得地层容易发生变形，表现为沉降、膨胀、收缩等现象。地层变形的发生不仅导致地表沉降，可能损坏周围建筑物和地下管线，同时也会对隧道结构产生直接影响，增加施工风险。

解决地层变形问题的关键在于充分了解地下水位变化、地层性质和施工对地层的影响。首先，通过实施精准的地下水位监测，可以及时发现并调控地下水位变化，减缓地层的变形过程。其次，采用地质勘探技术，深入了解地层的性质和分布，为隧道施工提供精确的地层信息。在施工过程中，采用合适的工程技术，例如在易变形地层采用加固措施、控制开挖进度等手段，以减

少对地层的干扰，从而降低地层变形的风险。

综合来看，地层变形问题的解决需要综合运用地质勘探、监测技术和工程施工手段。通过全面了解地下条件，科学合理地规划施工过程，可以有效降低地层变形的发生概率，确保城市地铁隧道工程的安全、稳定和高效进行。

### 三、解决方案提出与分析

#### （一）改良岩体结构方法

为有效应对城市地铁隧道施工中的岩土力学问题，采用适当的方法改良岩体结构至关重要。一种常见的方法是在岩体中引入支护结构，通过加固、加强或稳定岩体，提高其整体结构的抗力和稳定性。这可以通过设置锚杆、注浆、喷锚等方式来实现。锚杆的设置可以牢固地连接岩体，提高其整体受力能力，特别是在岩体裂缝较多或岩性较差的情况下。注浆技术则通过向岩体中注入特定的材料，填充岩体内部的空隙，增加其密实度和强度，从而提高岩体的稳定性。喷锚技术则通过在岩体表面喷射混凝土或其他加固材料，形成一层坚固的保护层，减缓岩体的风化和破坏。

另一种改良岩体结构的方法是通过地质勘探和分析，选用合适的岩土改良技术。例如，在发现岩体中存在有机质含量较高、黏土含量较多的情况下，可采用土工布、搅拌桩等地基改良技术，加强土体的稳定性，减少地下水对岩体的侵蚀。这些方法的选择应根据具体地质条件和岩体特性进行科学合理的判断，确保改良岩体结构的效果能够满足隧道施工的需要，提高岩体整体的承载能力和稳定性。通过合理运用这些改良方法，可有效减少岩体结构问题对地铁隧道施工过程的影响，确保工程的顺利进行。

#### （二）地质勘探与预测技术应用

为有效解决城市地铁隧道施工中的岩土力学问题，地质勘探与预测技术的应用显得至关重要。地质勘探是通过采集地质、地貌、岩性等多种数据，深入了解地下情况的过程。在隧道工程中，通过使用先进的地质勘探技术，如地震勘探、电阻率勘探、岩芯钻探等手段，可以全面获取地下岩体的结构、性质和变异信息。这为科学合理地制定岩土力学问题的解决方案提供了必要的基础。通过充分了解地下条件，包括岩性分布、节理构造等，可更精准地制定相应的施工方案，提高岩土力学问题的预测准确性。

在地质勘探的基础上，预测技术的应用进一步提高了岩土力学问题的预测和监测水平。数值模拟、人工智能等先进技术可以对地层变形、岩体位移等岩土力学问题进行模拟和预测。通过建立地质模型，模拟隧道施工过程中可能出现的地质灾害，提前预测可能的岩土力学问题，从而采取相应的措施进行风险防范。这种综合运

用地质勘探和预测技术的方法，不仅提高了岩土力学问题的识别准确性，还使得施工方能在实际操作中更具针对性地采取措施，避免和减轻岩土力学问题对地铁隧道施工的不利影响，确保施工过程的安全和高效进行。

#### （三）地下水位实时监测

为了有效管理城市地铁隧道施工中的岩土力学问题，实施地下水位的实时监测是一项至关重要的措施。地下水位的波动对岩体稳定性和地层变形有直接的影响，因此实时监测地下水位的变化能够及时发现并及时应对潜在的问题。先进的监测设备，如水位计、压力传感器等，可被布置在隧道附近的井孔或地下水体中，实时采集并传输地下水位的的数据。

通过实时监测地下水位，工程团队可以及时掌握水位的变化趋势，准确判断地下水对岩体稳定性的影响。当地下水位发生异常波动时，预警系统可以发出警报，提醒施工人员采取相应的防范措施。例如，可以通过合理排水、加固岩体结构等方式来应对可能的地下水位变化引发的岩土力学问题。实时监测系统的运用使得工程团队能够在问题发生前采取预防措施，最大限度地降低地下水位变化对隧道施工的风险，确保施工过程的平稳进行。

在城市地铁隧道施工中，实时监测地下水位不仅是一项技术手段，更是保障工程安全的重要环节。通过及时获取水文数据，工程团队能够更加科学地制定防范措施，有效规避地下水位波动可能引发的岩土力学问题，保障隧道施工的稳健进行。

#### （四）岩层位移监测技术

为了全面把握城市地铁隧道施工中岩土力学问题的动态变化，采用岩层位移监测技术是一项关键的手段。岩层位移是岩体变形的直接体现，实时监测岩层位移能够及时发现岩体的不稳定性和变形趋势。在施工过程中，采用高精度的位移监测设备，如全站仪、测斜仪、激光测距仪等，对隧道周边的岩体位移进行实时、精准的监测。

通过岩层位移监测技术，工程团队能够了解隧道周边岩体的变形状况，及时判断是否存在位移异常或者岩体滑动等问题。当监测数据显示岩体位移超过预定的安全范围时，预警系统会及时发出警报，提示施工人员采取紧急措施，如加固岩体、调整施工方案等，以防止岩体位移引发的潜在危险。岩层位移监测技术的应用，为工程管理提供了有力的数据支持，有助于实时调整施工计划，确保施工过程的安全性和稳定性。

在城市地铁隧道施工中，岩层位移监测技术不仅有助于发现潜在的岩土力学问题，还为工程团队提供了科学的数据基础，可用于优化施工方案、调整支护结构、及时应对地质灾害等。通过综合运用这些监测技术，可

以最大限度地保障隧道工程的稳定性和施工过程的顺利进行。

### 四、风险控制

#### (一) 风险评估与应急响应计划

为确保城市地铁隧道施工过程中的岩土力学问题能够得到科学、合理的管理，制定严格的安全标准与规范显得至关重要。安全标准与规范的制定是基于先前的研究和实践经验，旨在规范隧道工程中岩土力学问题的管理与处理流程。这包括对岩体稳定性、地层变形、地下水位管理等方面的详细规定，确保施工过程中各项活动符合最高安全标准。

在制定安全标准与规范时，需要充分考虑地质条件、地下水位、岩土性质等多方面因素。标准与规范应该明确隧道施工中的各个阶段需要遵循的程序、技术要求、监测频率等，以确保施工的科学性、稳定性和可控性。此外，规范也应该包括对紧急情况的处理程序，明确岩土力学问题发生时的应急响应计划和责任分工，以最大限度地降低潜在风险。

通过制定安全标准与规范，可以为城市地铁隧道施工提供明确的指导，为工程团队提供可行的操作流程，确保岩土力学问题的处理符合国家和地方相关法规，并且使得施工过程更加安全可控。标准与规范的制定应是一个综合考虑科研成果、实践经验以及相关法规的过程，以促进隧道施工行业的健康发展和工程的长期安全运行。

#### (二) 安全标准与规范的制定

为确保城市地铁隧道施工过程中的岩土力学问题能够得到科学、合理的管理，制定严格的安全标准与规范显得至关重要。安全标准与规范的制定是基于先前的研究和实践经验，旨在规范隧道工程中岩土力学问题的管理与处理流程。这包括对岩体稳定性、地层变形、地下水位管理等方面的详细规定，确保施工过程中各项活动符合最高安全标准。

在制定安全标准与规范时，需要充分考虑地质条件、地下水位、岩土性质等多方面因素。标准与规范应该明确隧道施工中的各个阶段需要遵循的程序、技术要求、监测频率等，以确保施工的科学性、稳定性和可控性。此外，规范也应该包括对紧急情况的处理程序，明确岩土力学问题发生时的应急响应计划和责任分工，以最大限度地降低潜在风险。

通过制定安全标准与规范，可以为城市地铁隧道施工提供明确的指导，为工程团队提供可行的操作流程，确保岩土力学问题的处理符合国家和地方相关法规，并且使得施工过程更加安全可控。标准与规范的制定应是一个综合考虑科研成果、实践经验以及相关法规的过程，以促进隧道施工行业的健康发展和工程的长期安全

运行。

### 五、实例分析

为了更深入地了解城市地铁隧道施工中的岩土力学问题及其解决方案，我们选择某城市地铁隧道工程进行实际案例分析。该工程地理环境复杂，涉及多种岩土类型和地层特征，因此在施工过程中面临着各种岩土力学挑战。

通过详细的地质勘探和岩土力学分析，工程团队发现了在隧道穿越某个区段时存在较为复杂的节理和裂隙网络，增加了岩体的不均匀性，可能引发岩层稳定性问题。为了应对这一问题，工程团队采用了先进的注浆技术，通过向岩体裂缝中注入高强度的浆液，填充岩体空隙，提高了岩体整体的稳定性，成功减缓了岩层的位移趋势。

实际案例中还发现了地下水位的变化对施工产生了不可忽视的影响。为了实现了对地下水位的实时监测，工程团队在隧道周边布置了水位监测点，采用了自动化的水位监测系统。当地下水位出现异常波动时，系统立即发出预警信号，启动了紧急排水系统，确保了地下水位维持在安全范围内，减缓了地层的变形速度。

通过对该案例的深入分析，我们得以了解在实际工程中应对岩土力学问题所采取的解决方案。注浆技术和水位监测系统的应用有效地应对了岩层稳定性和地下水位变化带来的挑战，为该城市地铁隧道工程的成功施工提供了有力的支持。这样的案例分析不仅为理论研究提供了实践基础，也为未来类似工程提供了宝贵的经验教训。

### 六、结论

通过对城市地铁隧道施工中岩土力学问题的深入研究，本文提出的解决方案在实际工程中取得了显著效果。工程技术的改进、监测手段的引入以及科学的风险控制策略为地铁隧道施工提供了可行的解决途径。在今后的地铁隧道工程中，可以借鉴本文提出的方法，更好地应对岩土力学问题，确保地铁隧道施工的安全和高效。

### 参考文献

- [1] 黄琛. 地铁盾构下穿城市高架桥施工状态分析及控制策略研究[D]. 沈阳建筑大学, 2021.
- [2] 叶明. 城市地铁大断面隧道施工监测分析与风险评估研究[D]. 南昌航空大学, 2017.
- [3] 刘伟. 深圳富水复合地层暗挖隧道施工地表沉降规律及其影响因素研究[D]. 北京交通大学, 2011.
- [4] 金平贵. 已建地下商业街结构与下部地铁隧道施工相互影响分析[D]. 哈尔滨工业大学, 2009.
- [5] 李海峰. 浅埋暗挖隧道施工地表沉降的规律及其对既有构筑物的影响分析[D]. 北京交通大学, 2008.