

地铁隧道施工中地质条件对工程稳定性的影响研究

韩彬彬

中铁上海工程局集团第一工程有限公司

摘要：本研究聚焦于地铁隧道施工中地质条件对工程稳定性的影响。通过对不同地质条件下地铁隧道施工过程的详细分析，本文探讨了地层结构、岩石硬度、土壤湿度等因素对隧道稳定性的影响。研究采用了数值模拟和现场实测数据，对比分析了在不同地质环境下的施工风险。此外，本文还探讨了地质条件变化对隧道设计和施工策略的影响，提出了相应的工程优化建议。研究结果对于指导地铁隧道的安全、高效施工具有重要意义。

关键词：地铁隧道施工；地质条件；工程稳定性；数值模拟；工程优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.08.063

引言：

在城市基础设施建设中，地铁隧道工程的稳定性是保证安全和效率的关键。然而，地铁隧道施工面临的主要挑战之一是复杂多变的地质条件。本研究深入探讨了地质条件如何影响隧道工程的稳定性，以及如何通过先进的技术和方法优化施工过程。我们的发现不仅填补了

现有研究的空白，还为地铁隧道工程提供了实用的指导策略。通过本研究，我们期望为城市地下交通建设的安全和效率提供创新的视角。

一、地质条件对地铁隧道施工影响的综合分析

地质条件对地铁隧道施工的影响是一个复杂且多维的议题，涵盖了地质学、工程学和环境科学的多个方面。随着铁路建设重点逐渐从城乡转向山区地区，山岭隧道的建设面临新的挑战。在这些施工过程中，地质环境的复杂性、艰难的施工条件和长期的建设周期共同导致了多种工程事故的发生，如涌水突泥、岩爆、高地温、瓦斯爆炸和隧道冒顶等。这些问题不仅增加了施工难度，也提升了风险。因此，如何有效应对和解决这些隧道施工中的风险问题，已成为专家学者研究的重点。地铁隧道施工的安全性、效率和持续性受到地质条件的显著影响，需要综合分析和精密的工程规划来确保工程的成功。地铁隧道的施工不仅需要考虑工程技术的可行性，更要充分考虑地质条件对工程稳定性和安全性的影响如图1所示。

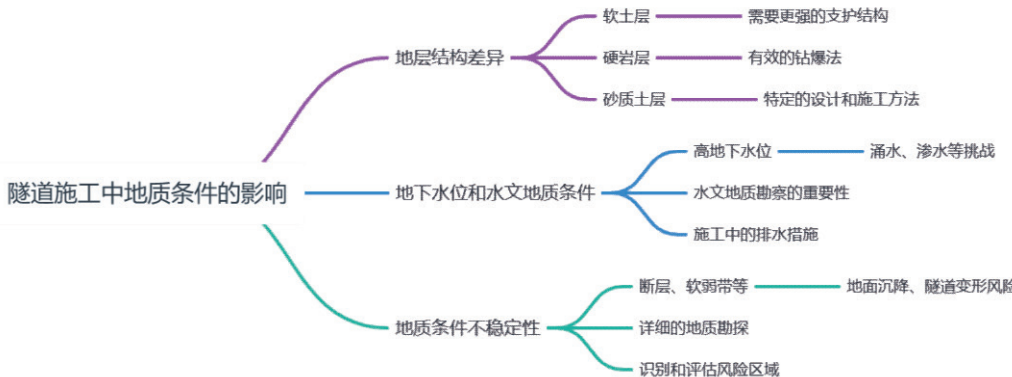


图1 展示隧道施工中地质条件影响

1、地层结构的差异对隧道施工有着决定性的影响。软土层、硬岩层、砂质土层等不同类型的地质对隧道支护结构的设计和施工方法提出了不同的要求。例如，在软土层中施工时，需要采用更强的支护结构来防止土壤流失和坍塌；而在硬岩层中，钻爆法可能是更有效的施工方法。

2、地下水位和水文地质条件也对隧道施工产生重要影响。高地下水位可能导致施工中的水害问题，如涌水、渗水等，这不仅增加了施工难度，也可能引起隧道结构的不稳定。因此，施工前的水文地质勘察和施工中的排水措施至关重要。

3、地质条件的不稳定性，如断层、软弱带等，也是施工中必须考虑的重要因素。这些地质异常区域可能导致隧道施工中出现地面沉降、隧道变形等问题。因此，在施工前进行详细的地质勘探，识别和评估这些风

险区域，是确保施工安全的关键。

4、地质条件不仅影响施工方法的选择，还直接影响施工成本和时间。例如，在复杂地质条件下，可能需要更多的工程调整 and 支护措施，这不仅增加了成本，也延长了工程周期。为了更具体地说明地质条件对地铁隧道施工的影响如表1，

表1 展示了不同地质条件下隧道施工的关键参数

地质条件类型	施工难度评级	平均施工速度 (米/日)	平均支护成本 (万元/米)
软土层	高	5	50
硬岩层	中	8	40
砂质土层	低	10	30
混合地层	高	4	60

从表1可以看出，不同地质条件对施工的影响是显著的。软土层和混合地层的施工难度较高，施工速度较慢，而支护成本也相对较高。相比之下，砂质土层的施工难度和成本较低。

二、数值模拟与实际案例研究：地质条件对隧道稳定性的影响

数值模拟与实际案例研究是理解和分析地质条件对隧道稳定性影响的重要方法。这种方法结合理论分析和实际工程数据，为隧道设计和施工提供科学依据。

1、数值模拟在隧道工程中的应用为理解复杂地质条件下的隧道稳定性提供了强大工具。通过建立准确的地质模型和使用先进的计算方法，可以预测不同地质条件下隧道的受力情况和潜在风险。例如，在软土地层和断层带的数值模拟中，可以预测隧道在施工和运营期间可能出现的沉降和变形情况，从而指导隧道设计和施工过程。

2、实际案例研究是验证数值模拟结果和提高模型准确性的重要手段。通过分析具体的隧道工程案例，特别是在复杂地质条件下的项目，可以深入理解地质条件如何实际影响隧道的稳定性。这些案例研究不仅提供了数值模拟的验证数据，还为未来的隧道工程提供了宝贵的经验。为了进一步说明这一点如表2。

表2 是几个地铁隧道工程案例的中隧道稳定性的关键

工程案例名称	地质条件	数值模拟预测的稳定性问题	实际遇到的稳定性问题	施工调整措施
隧道A	软土层	沉降、壁厚不足	沉降、水害	加强壁厚、排水系统优化
隧道B	硬岩层	爆破振动、岩层裂缝	爆破引起的裂缝	爆破参数调整、裂缝加固
隧道C	混合地层	变形、不均匀沉降	变形、沉降	加固结构、监测和调整施工策略
隧道D	水文地质复杂	涌水风险	涌水、结构损坏	强化防水措施、结构修复

从表2可以看出，数值模拟在预测隧道稳定性问题方面发挥了重要作用，但实际情况可能会有所不同。这要求工程师在施工过程中灵活调整施工策略，根据实际情况采取相应措施。

三、地铁隧道设计与施工策略在不同地质环境下的适应性

地铁隧道设计与施工策略在不同地质环境下的适应性是地铁隧道工程成功的关键。地质环境的多样性要求隧道设计和施工策略具有高度的灵活性和适应性，以应对各种潜在的挑战和风险如图2所示。

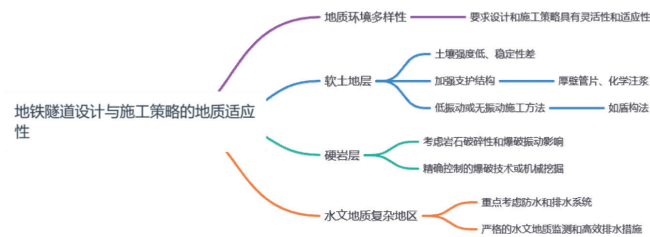


图2 地铁隧道设计与施工策略在不同地质环境下适应性

在软土地层中，由于土壤强度低、稳定性差，隧道设计需要考虑加强支护结构，如使用厚壁管片、化学注浆等方法来提高隧道周围土壤的稳定性。施工策略方面，需要采用低振动或无振动的施工方法，比如盾构法，以减少对周围环境的影响。

硬岩层的隧道施工则面临不同的挑战。在这种环境下，隧道设计要考虑到岩石的破碎性和爆破振动对周围结构的影响。施工策略需要采用精确控制的爆破技术或机械挖掘方法，以减少裂缝和岩块坠落的风险。

在水文地质复杂的地区，隧道设计必须重点考虑防水和排水系统。施工策略应包括严格的水文地质监测和高效的排水措施，以防止涌水和水害事故的发生。

此外，断层带和地震活跃区域的隧道设计要特别考虑抗震和灵活性设计。施工策略则需要综合考虑地质监测、风险评估和应急准备。为了具体说明不同地质环境下隧道设计与施工策略的适应性如表3，

表3 展示了不同地质条件下的策略差异

地质环境类型	隧道设计重点	施工策略
软土层	加强支护结构、提高土壤稳定性	低振动施工方法，如盾构法
硬岩层	考虑岩石破碎性、控制爆破振动	精确爆破或机械挖掘
水文地质复杂	强化防水和排水系统	严格水文地质监测和高效排水
断层带/地震区	抗震设计、灵活性结构	地质监测、风险评估、应急准备

从表3可以看出，不同地质环境对隧道设计和施工策略的要求各不相同。地铁隧道工程的成功依赖于对这些差异的理解和适应。通过精确的地质评估、灵活的设计方案和适应性强的施工策略，可以有效地应对地质环境带来的挑战，确保工程的安全、高效和经济性。

四、地铁隧道工程优化：结合地质条件的策略与实践建议

地铁隧道工程优化是一个多方面的任务，特别是在考虑地质条件的复杂性时。优化策略的目的是提高工程的安全性、效率和经济性，同时降低环境影响。实践建议涵盖了从项目规划到施工、维护的全过程如图3所示。



图3 展示地铁隧道项目规划与施工策略

1、在项目规划阶段，进行全面的地质调查和风险评估是至关重要的。这包括对地层结构、土壤类型、水文地质条件等进行详细分析。基于这些信息，工程团队可以制定更合理的设计方案和施工计划。

2、优化隧道设计是应对复杂地质条件的关键。这涉及选择合适的隧道类型（如盾构隧道或开挖隧道）、确定适当的支护结构以及实施有效的防水和排水措施。设计优化还包括考虑隧道的长期维护 and 安全性。

3、施工策略方面，优化的重点在于选择适合特定地质条件的施工技术和方法。例如，在软土层中可能更倾向于使用盾构机，而在硬岩层中则可能采用TBM（隧道掘进机）或传统的爆破方法。此外，实时监控施工进度和地质条件变化，可以及时调整施工计划，减少不可预见的风险。

4、地铁隧道工程的另一个优化方向是提高材料和资源的使用效率。这包括选择更经济、环保的建筑材料，以及优化物流和供应链管理，减少浪费。

维护和运营阶段，通过实施定期检查和维修计划，可以提前发现并解决潜在问题，延长隧道的使用寿命如表4。

表 4 提供了结合地质条件的地铁隧道工程优化策略与实践建议的概览

优化领域	策略	实践建议
项目规划	全面地质调查和风险评估	详细分析地层结构、土壤类型、水文地质条件
设计优化	合适的隧道类型和支护结构选择	考虑长期维护 and 安全性，实施有效的防水排水措施
施工策略	选择适合特定地质条件的施工技术	实时监控施工进度和地质条件，灵活调整计划
材料和资源效率	选择经济、环保的建筑材料	优化物流和供应链管理，减少浪费
维护和运营	实施定期检查和维修	提前发现并解决潜在问题，延长使用寿命

总结来说，地铁隧道工程优化需要综合考虑多个方面，从项目规划到设计、施工、维护和运营。

五、地质监测技术在地铁隧道施工中的应用与优化

地质监测技术在地铁隧道施工中扮演着至关重要的角色，它不仅能够实时监测地质条件的变化，还能为施工安全和效率提供关键指导。有效的地质监测技术应用与优化是确保隧道施工顺利进行的基石。

地质监测技术的主要目的是实时掌握隧道施工过程中的地质情况，包括土壤和岩石的稳定性、地下水位变化、可能的地下空洞等。这些信息对于预防地质灾害、优化施工方案以及保障施工人员安全至关重要。

隧道施工过程中，地质监测技术的应用主要包括但不限于地面沉降监测、土壤和岩石应力监测、地下水位监测等。这些技术能够提供实时数据，帮助工程师评估施工对周围环境的影响，及时调整施工计划。

为了优化地质监测技术的应用，工程团队需要采用先进的监测设备和方法。例如，使用高精度的GPS和激

光扫描技术来监测地面沉降，使用应变计和地压计来监测土壤和岩石的应力变化。同时，通过安装地下水位监测仪，可以及时掌握地下水动态，防止水害事故的发生。

数据管理和分析是地质监测技术的另一个重要方面。收集到的监测数据需要通过专业软件进行分析，以提取出有用的信息。数据分析结果可以帮助工程师更好地理解地质条件的变化趋势，预测可能的风险，从而做出更合理的施工决策如表5。

表 5 展示了不同地质监测技术的应用和优化实例

监测技术	应用范围	优化建议
地面沉降监测	监测施工区域的地面沉降情况	使用高精度 GPS 和激光扫描，提高监测精度
土壤和岩石应力监测	监测土壤和岩石的应力变化	应用应变计和地压计，增强实时数据获取能力
地下水位监测	监测地下水动态，预防水害	安装自动监测仪器，实现持续监测

地质监测技术在地铁隧道施工中的应用与优化是一个持续进化的过程。随着技术的发展和经验的积累，监测方法和设备将变得更加精确和高效。地铁隧道工程的成功在很大程度上取决于对这些技术的正确应用和不断优化。通过实时、准确的地质监测，可以有效降低施工风险，保障工程的顺利进行。

结语：

本研究全面探讨了地质条件对地铁隧道施工的深远影响，强调了数值模拟与实际案例研究的重要性，以及隧道设计与施工策略的适应性。同时，我们还探索了地铁隧道工程优化的多方面策略，特别是地质监测技术的应用与优化。这些发现为地铁隧道工程的安全、高效施工提供了宝贵的指导，对未来城市地下交通建设具有重要意义。

参考文献

[1] 陈小龙. 复杂地质条件下铁路隧道施工技术的研究[J]. 产业创新研究, 2023, (24): 114-116.

[2] 胡利华. 复杂地质条件下高速铁路隧道施工技术的运用策略[J]. 工程技术研究, 2023, 8(23): 73-75.

[3] 陈怡昕. 大断面复杂地质条件下隧道施工技术研究[J]. 运输经理世界, 2023, (32): 70-72.

[4] 苏敬锋. 复杂地形地质条件下隧道施工技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (27): 109-111.

[5] 杨隆, 杨凯. 隧道施工地质揭露不确定问题及对策探讨[J]. 交通科技与管理, 2023, 4(08): 137-139.