

复杂地质条件下大跨径地铁隧道施工技术

蔡乃绮

广东华隧建设集团股份有限公司

摘要：本文旨在研究和探讨在复杂地质条件下进行大跨径地铁隧道施工技术的应用。本文先分析了复杂地质条件下进行大跨径地铁隧道施工的重要性，然后探讨了复杂地质条件下大跨径地铁隧道施工技术的应用。分析得出，针对不同的复杂地质条件，采用合适的施工技术可以有效地解决施工难题。可见，在复杂地质条件下，大跨径地铁隧道施工需要综合考虑地质特性和施工环境，选择适宜的施工技术和管理措施。

关键词：复杂地质；大跨径；地铁隧道；施工技术

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.23.051

引言

随着城市化进程的加快，地铁作为城市公共交通的重要组成部分，越来越受到重视。然而，复杂地质条件下的大跨径地铁隧道施工技术仍然是一个亟待解决的难题。地铁隧道施工过程中，复杂地质条件可能包括软弱地层、断层破碎带、富水地层等，这些条件会对施工进度、安全性和工程质量产生重大影响。因此，研究并应用科学合理的施工技术，确保地铁隧道在复杂地质条件下的顺利建设，具有重要的现实意义和理论价值。

一、复杂地质条件下进行大跨径地铁隧道施工的重要性

在现代城市建设和发展过程中，大跨径地铁隧道已成为解决城市交通拥堵、优化城市空间利用的重要手段（具体见表1）。然而，复杂地质条件下进行大跨径地铁隧道施工是一项极具挑战性的工程，其重要性不言而喻。首先，复杂地质条件下的大跨径地铁隧道施工直接关系到城市交通系统的完善和发展。随着城市规模的不断扩大和人口的持续增长，地面交通已难以满足日益增长的出行需求^[1]。大跨径地铁隧道的建设可以有效缓解地面交通压力，提高城市交通效率，为市民提供更加便捷、舒适的出行体验。特别是在地质条件复杂的地区，成功实施大跨径地铁隧道工程能够突破地形地貌的限制，实现城市各区域的无缝连接，促进城市的均衡发展。其次，在复杂地质条件下进行大跨径地铁隧道施工，对于提升我国工程技术水平具有重要意义。这类工程往往涉及多种地质环境，如软土、砂卵石层、岩溶地区等，施工难度大、风险高。通过攻克这些技术难题，可以积累宝贵的工程经验，推动相关技术的创新和发展。这不仅能够提高我国在地下工程领域的技术实力，

还能为类似工程项目提供重要的参考和借鉴，进而推动整个行业的进步。再者，复杂地质条件下的大跨径地铁隧道施工对于保障城市安全和可持续发展至关重要。由于地质条件的复杂性，如果施工技术不当，可能引发地面沉降、周边建筑物倾斜等安全问题，甚至导致重大事故。因此，成功实施这类工程不仅能确保地铁系统的安全运营，还能最大限度地减少对周边环境的影响，维护城市的整体安全和稳定。此外，复杂地质条件下的大跨径地铁隧道施工也是优化城市空间利用的重要手段。在土地资源日益紧张的现代城市中，地下空间的开发利用变得越来越重要。大跨径地铁隧道不仅可以用于交通，还可以结合地下商业、文化等功能，形成立体化的城市空间。这种多功能的地下空间开发模式可以大大提高土地利用效率，为城市发展提供更多可能性。

表1 复杂地质条件下进行大跨径地铁隧道施工的重要性

| 重要性 | 影响 |
|-----------------|--------------|
| 关系到城市交通系统的完善和发展 | 促进城市的均衡发展 |
| 提升我国工程技术水平 | 推动整个行业的进步 |
| 保障城市安全和可持续发展 | 维护城市的整体安全和稳定 |
| 优化城市空间利用的重要手段 | 大大提高土地利用效率 |

二、复杂地质条件下大跨径地铁隧道施工技术的应用

（一）盾构法施工技术的应用

复杂地质条件下大跨径地铁隧道施工技术的应用，包括多种（具体见图1）。盾构法施工技术是复杂地质条件下大跨径地铁隧道施工的重要方法之一，其应用广泛而深入。这种技术通过使用盾构机，在地下挖掘隧道并同时完成隧道支护结构的安装，具有施工速度快、安全性高、对地表影响小等优点，特别适合于软土、砂卵石等复杂地层条件下的隧道施工。在复杂地质条件下的大跨径地铁隧道施工中，盾构法技术的应用首先体现在盾构机的选型上。根据不同的地质条件，可以选择土压平衡盾构机、泥水平衡盾构机或复合式盾构机等。例如，在软土地层中，土压平衡盾构机能够有效控制地层变形和地下水渗透；而在含水砂层中，泥水平衡盾构机则能更好地维持掌子面稳定性。对于地质条件变化较大的地段，复合式盾构机的适应性更强，可以根据需要切换不同的工作模式。另外，盾构法施工技术的应用还体现在掘进参数的精确控制上。在复杂地质条件下，需要

根据实时监测数据，不断调整盾构机的推进速度、刀盘转速、土仓压力等参数，以确保掘进过程的稳定性和安全性。例如，在软土层中，需要精确控制土仓压力，既要防止地层塌陷，又要避免地表隆起；而在硬岩层中，则需要调整刀盘转速和推进速度，以提高掘进效率并减少刀具磨损^[2]。此外，同步注浆技术是盾构法施工中的另一个重要应用。在盾构机推进过程中，通过同步注浆可以有效填充盾尾空隙，减少地层变形，保护周边建筑物。在复杂地质条件下，注浆材料的选择和注浆参数的控制尤为重要。例如，在砂卵石层中，可能需要使用速凝性更好的注浆材料；而在软土层中，则可能需要增加注浆量以确保充分填充。此外，盾构法施工技术在大跨径隧道中的应用还涉及分段施工和后期加固等方面。对于特别大的断面，可能需要采用双线并行掘进或上下分层掘进的方式，这就要求精确控制两个盾构机之间的间距和掘进速度，以确保隧道结构的整体性和稳定性。在掘进完成后，还可能需要进行二次衬砌或结构加固，以提高隧道的承载能力和使用寿命。

（二）矿山法施工技术的应用

矿山法施工技术是复杂地质条件下大跨径地铁隧道施工的另一重要方法，其应用广泛而富有挑战性。这种技术源自传统的矿山开挖方法，经过现代化改进后，能够适应各种复杂地质条件，特别是在岩石地层、变化地层和特殊地质条件下展现出独特优势。在复杂地质条件下的大跨径地铁隧道施工中，矿山法技术的应用首先体现在其灵活的开挖方式上。根据地质条件和隧道断面的不同，可以采用全断面法、台阶法、环形开挖法或分部开挖法等。例如，在较为稳定的岩层中，可能采用全断面法快速推进；而在软弱破碎带，则可能需要采用多步开挖的分部法，以确保每一步开挖后及时支护，控制变形。这种灵活性使得矿山法能够适应各种复杂的地质条件，特别是在地质条件频繁变化的地段，其优势更为明显。另外，支护系统的设计和和实施是矿山法施工技术应用的核心环节。在复杂地质条件下，常采用“新奥法”理念，即初期支护与围岩共同工作的原理。初期支护可能包括喷射混凝土、锚杆、钢拱架等，根据地质条件的不同，可以灵活组合和调整支护参数。例如，在软弱地层中，可能需要增加钢拱架的密度和喷射混凝土的厚度；而在岩溶发育区，则可能需要采用长锚杆或超前小导管等加固措施。通过及时、合理地支护，可以有效控制围岩变形，确保隧道施工的安全性。此外，在大跨径隧道施工中，矿山法技术的应用还涉及复杂的结构设计和施工工艺。例如，对于特别大的断面，可能需要采用双侧壁导坑法或中导洞法，先开挖小断面隧道，再逐步扩大至全断面。这种方法可以有效控制大跨度开挖带来

的风险，但同时也对施工组织和工序安排提出了更高要求^[3]。此外，在一些特殊地段，如车站连接段或交叉口，可能需要采用复杂的三维开挖和支护方案，这就需要精细的设计和高超的施工技术。

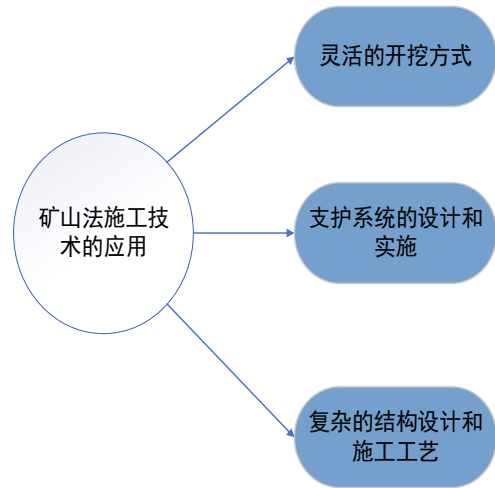


图1 矿山法施工技术的应用

（三）联合施工技术的应用

联合施工技术在复杂地质条件下大跨径地铁隧道施工中的应用是一种综合性的技术策略，它通过将不同的施工方法有机结合，充分发挥各种技术的优势，以应对复杂多变的地质条件和工程需求。这种技术的应用体现了现代隧道工程的系统性思维和创新精神，为解决复杂工程问题提供了有效途径。在大跨径地铁隧道施工中，联合施工技术的应用主要体现在盾构法与矿山法的结合使用上。这种组合能够充分发挥盾构法在软土地层中的优势和矿山法在岩石地层中的灵活性。例如，在穿越复杂地质条件时，可能会先采用盾构法穿越软土层段，然后在岩石层段转换为矿山法施工。这种转换需要精心设计和施工，通常会在转换段设置特殊的结构，如加固环或转换洞室，以确保两种方法的平稳过渡。联合施工技术的另一个重要应用是在车站、区间隧道连接段等特殊部位。这些部位往往需要大断面开挖，地质条件也可能更为复杂。在这种情况下，可能会采用盾构法与明挖法相结合的方式。例如，可以先用盾构机开挖主体隧道，然后在车站位置进行局部扩挖和明挖施工。这种方法既保证了主体隧道的快速推进，又满足了车站大空间的需求。在实施过程中，需要特别注意盾构机到达和始发的精确控制，以及明挖段与盾构段的连接处理。另外，在一些特殊地质条件下，联合施工技术可能还会涉及其他专项技术的应用。例如，在高地下水位区域，可能需要结合深井降水、冻结法等辅助措施来控制地下水。在这种情况下，联合施工技术的应用不仅体现在主体施工方法的选择上，还包括了各种辅助技术的协调使用。比

如，可能需要在盾构施工前先进行地层冻结，或者在矿山法开挖前实施系统的降水工程。这些辅助技术的合理应用，能够为主体施工创造有利条件，提高施工的安全性和效率。

（四）超前地质预报技术的应用

超前地质预报技术在复杂地质条件下大跨径地铁隧道施工中扮演着至关重要的角色，它为施工过程中的决策提供了关键的地质信息支持，有效降低了施工风险，提高了施工效率和安全性。这项技术的应用涵盖了多个方面，从预报方法的选择到数据的解释和应用，都体现了现代隧道工程的科技水平和管理理念。在复杂地质条件下，超前地质预报技术的应用首先体现在多种预报方法的综合运用上。常用的预报方法包括地质雷达探测、超前钻探、地震波反射法、电法探测等。每种方法都有其特点和适用条件，通过综合运用，可以相互验证和补充，提高预报的准确性。例如，在含水层中，可能会结合地质雷达和超前钻探，前者可以快速获得地层结构信息，后者则可以直接取得岩芯样本和地下水情况。在断层破碎带附近，可能会采用地震波反射法来探测前方地质构造，同时辅以电法探测来判断含水性。这种多方法结合的预报策略能够最大限度地减少单一方法可能带来的误判。另外，超前地质预报技术的应用还体现在预报工作的动态性和持续性上。在隧道施工过程中，预报工作不是一次性的，而是随着掘进不断进行的动态过程。通常会制定分段预报计划，根据地质条件的复杂程度和变化频率，确定预报的间隔和范围。例如，在地质条件相对稳定的区段，可能每掘进100米进行一次详细预报；而在地质条件复杂或即将进入关键地段时，可能会增加预报频率，甚至进行连续预报。这种动态预报策略能够及时发现地质条件的变化，为施工方案的调整提供依据。另外，数据的实时处理和解释是超前地质预报技术应用中的关键环节。现代预报技术通常配备有专门的数据处理软件和解释系统，能够快速处理大量探测数据，生成地质剖面图、三维地质模型等直观的成果。在复杂地质条件下，数据解释尤为重要，需要结合地质背景、历史资料和现场观察等多方面信息，对预报结果进行综合分析和判断。例如，在预报到异常反射信号时，需要结合地质背景判断是断层、岩溶还是含水层，并评估其对施工的潜在影响。此外，预报结果的应用是超前地质预报技术价值实现的关键。根据预报结果，可以及时调整施工方案，采取相应的预防和处置措施^[4]。例如，如果预报到前方存在大型岩溶，可能需要调整开挖方法，采用小导洞探测或注浆加固等措施；如果预报到高压含水层，则可能需要采取超前注浆或降水等措施来

控制涌水风险。预报结果还可以用于优化支护参数，如在预报到软弱破碎带时，可能需要增加支护强度或采用特殊支护方式。此外，在大跨径隧道施工中，超前地质预报技术的应用还需要考虑断面大小的影响。由于断面较大，预报范围也相应增大，这对预报精度和深度提出了更高要求。可能需要采用多点、多方向的探测方案，以全面掌握大断面范围内的地质情况。同时，还需要特别关注顶拱和侧壁的地质条件，因为这些部位对隧道稳定性影响较大。

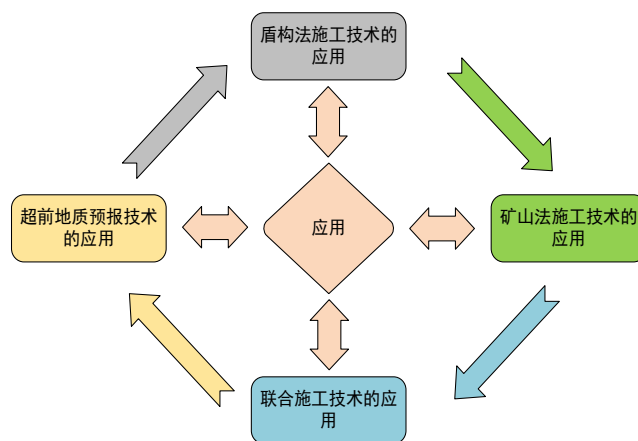


图1 复杂地质条件下大跨径地铁隧道施工技术的应用

结束语

复杂地质条件下大跨径地铁隧道施工技术的应用，是确保地铁工程顺利推进的重要保障。未来，随着科技的进步和施工经验的积累，地铁隧道施工技术将不断完善和创新，进一步提升施工效率和安全性，为城市交通建设作出更大贡献。希望本文的研究成果能够为相关领域提供有益的借鉴和指导，推动大跨径地铁隧道施工技术的发展。

参考文献

- [1] 沈炜东. 复杂地质条件下大跨径地铁隧道施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2010(11): 7.
- [2] 李昊鹏. 复杂地质条件下大跨径地铁隧道双侧壁导坑法施工技术[J]. 山东工业技术, 2014(20): 1.
- [3] 任大广. 复杂地质条件下大跨径地铁隧道施工技术的应用探究[J]. 中国高新技术, 2021, 000(016): P. 120-121.
- [4] 金鑫. 复杂地质条件下大跨径地铁隧道施工的分析[J]. 江西建材, 2016(7): 2.

作者简介：蔡乃绮（1994-），男，汉族，本科，中共党员，二级建造师，助理工程师、主要从事电力隧道和地铁隧道现场施工管理。