

复杂地质条件下铁路隧道施工技术研究

范亮

中铁十一局集团第二工程有限公司

摘要：在当前社会经济发展的背景下，铁路交通的建设和发展成为国家重要的发展战略。然而，我国地质条件复杂，特别是在山区地区，地质构造复杂，地质灾害频发，给铁路隧道的施工带来了巨大的挑战。因此，复杂地质条件下铁路隧道施工技术研究与应用具有重要意义，通过对复杂地质条件下的隧道施工技术的研究，可以提高铁路交通的安全性和可靠性，提高施工效率和降低施工成本，推动地质工程领域的发展。

关键词：复杂地质条件；铁路隧道；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.19.051

一、复杂地质条件的特点

复杂地质条件是指在隧道施工过程中遇到的地质环境复杂多变、地质体性质复杂多样的情况。复杂地质条件下的隧道施工面临着许多挑战和困难。其特点主要表现在如下几个方面：①地质体性质多样。在隧道施工过程中，可能会遇到各种类型的地质体，如软弱的黏土、砂土和泥质地层，坚硬的岩石和岩层，以及含水层等。这些地质体的特点不同，施工过程中需要采用不同的施工方法和支护技术。②地质体结构复杂。地质体中可能存在断层、褶皱、岩溶洞穴等地质构造，这些构造对隧道施工产生了很大的影响。例如，断层带可能会导致地质体的不稳定性，需要采取相应的支护措施来保证施工的安全性。③地质体变异性大。地质体的性质和结构在空间上存在着较大的变化，这对隧道施工的设计和施工过程提出了更高的要求。需要进行详细的地质勘察和分析，以确定地质体的变异性，并制定相应的施工方案和支护措施。④地下水问题较为突出。地下水的渗流对隧道施工具有很大的影响，可能导致隧道的涌水、泥石流等问题。因此，在复杂地质条件下的隧道施工中，需要进行地下水的详细调查和分析，并采取相应的防水和排水措施。

二、铁路隧道施工技术概述

（一）基本要素

①隧道施工工艺：铁路隧道施工工艺是指根据隧道的具体情况，选择合适的施工方法和流程。根据复杂地质条件下的隧道施工特点，可以采用不同的施工方法，如盾构法、钻爆法、切割法等。同时，还需要确定合理的施工顺序和施工工艺流程，确保施工的连续性和高效性。

②地质灾害预防：复杂地质条件下，地质灾害是隧道施工中的重要风险因素。为了防止地质灾害对施工的影响，需要采取一系列的预防措施，如地质勘察、地下

水管理、岩体支护等。通过对地质灾害的认识和预测，可以提前采取相应的防护措施，保证施工的安全性和稳定性。

③施工设备和材料：复杂地质条件下的隧道施工需要使用特定的设备和材料。例如，在岩体较硬的情况下，需要使用强力的钻机和爆破器材；在地下水较多的情况下，需要使用排水设备和防水材料。选择合适的施工设备和材料，可以提高施工效率和质量。

④施工管理和监控：复杂地质条件下的隧道施工需要进行全程的管理和监控。施工管理包括施工计划的制定、资源的调配、施工进度等的控制等；施工监控包括对施工过程中各项参数的实时监测和数据分析，以及对施工质量等的检查和评估。通过施工管理和监控，可以及时发现和解决施工中的问题，保证施工的顺利进行。

（二）复杂地质条件下面临的挑战

复杂地质条件对铁路隧道施工带来了诸多挑战。首先，复杂地质条件下存在着地质灾害的风险，如地层滑动、地下水涌出等。这些地质灾害的发生会对施工进度和质量造成严重影响，甚至可能导致工程事故的发生。因此，在复杂地质条件下进行隧道施工时，必须加强地质灾害预测和监测，及时采取相应的防护措施。其次，复杂地质条件下的地层结构复杂多变，地质体的物理力学性质也具有较大的不均匀性。这就给隧道施工带来了困难，特别是在施工过程中需要进行掘进和爆破作业时。因为地质体的不均匀性会导致施工过程中的掘进难度加大，同时也增加了地下水的渗流和地应力的变化，使得施工过程中的安全风险增加。因此，在复杂地质条件下的隧道施工中，需要针对地层结构和地质体的不均匀性进行充分的研究和分析，制定相应的施工方案和措施，以确保施工的安全和顺利进行。除此之外，复杂地质条件下的隧道施工还面临着施工设备和技术的限制。由于地质条件的复杂性，常规的施工设备和技术可能无法满足施工的需求。例如，在软弱地层中进行隧道掘进时，常规的掘进机械可能无法正常工作，需要采用特殊的掘进设备和技术的。另外，在复杂地质条件下的隧道施工中，还需要考虑施工设备的稳定性和可靠性，以及施工过程中的监测和控制技术等方面的问题。

三、地质勘察技术

（一）勘察方法

地质勘察是铁路隧道施工的前提和基础，其目的是了解地下地质条件，为隧道施工提供准确的地质信息和数据。在复杂地质条件下，选择适合的地质勘察方法至关重要。在复杂地质条件下，地质勘察方法的选择应综

合考虑多个因素，如地质条件的复杂程度、勘察深度、勘察精度、勘察成本和时间等。常用的地质勘察方法包括地表勘察、地下勘察和实验室分析等。

①地表勘察：通过对地表地貌、地层露头、植被、土壤和水文地质等进行观察和测量，获取地下地质信息的方法。在复杂地质条件下，地表勘察可以通过地质剖面、地质剖面图、地质剖面分析等手段来获取地下地质信息。地表勘察方法具有成本低、效率高、操作简单等优点，适用于地质条件较为简单的区域；

②地下勘察：通过钻探、探井、地下水位观测等手段，获取地下地质信息的方法。在复杂地质条件下，地下勘察可以通过钻孔取样、岩芯分析、地下水位观测等手段来获取地下地质信息。地下勘察方法具有获取地下地质信息准确、可靠的优点，适用于地质条件较为复杂的区域；

③实验室分析：对地质样品进行物理力学性质、化学成分和岩石结构等方面的分析，以获取地质信息的方法。在复杂地质条件下，实验室分析可以通过岩石力学试验、岩石物理性质测试、岩石化学成分分析等手段来获取地下地质信息。实验室分析方法具有获取地质信息精确、全面的优点，可以为隧道施工提供更加准确的地质数据。

（二）地质勘察结果分析与应用

地质勘察是铁路隧道施工中至关重要的一步，它能够提供有关复杂地质条件的详细信息，为施工过程中的决策提供依据。本节将重点讨论地质勘察结果的分析与应用。在复杂地质条件下，地质勘察的结果往往具有较高的复杂性和不确定性。因此，对于地质勘察结果的分析需要采用科学的方法和技术手段。首先，地质勘察结果需要进行数据处理和整理，以便更好地理解 and 解释地质条件的特点和变化规律。其次，通过对地质勘察结果进行统计分析和空间分析，可以揭示地质条件的分布规律和变化趋势。同时，地质勘察结果还可以通过地质图、剖面图和三维模型等形式进行可视化展示，使施工人员更直观地了解地质条件。地质勘察结果的应用主要包括施工方案的制定和调整、隧道支护结构的设计和优化以及施工风险的评估和管理等方面。根据地质勘察结果，可以制定合理的施工方案，包括隧道的起点和终点位置选择、隧道的纵断面和横断面设计等。此外，地质勘察结果还可以指导隧道支护结构的设计和优化，例如确定合适的支护形式、支护材料的选择和支护参数的确定等。同时，地质勘察结果还可以用于施工风险的评估和管理，通过对地质条件的分析和预测，可以识别出可能存在的风险，并采取相应的措施进行管理和控制。需要注意的是，在地质勘察结果的分析与应用过程中，应充分考虑地质条件的复杂性和不确定性。在分析过程中，需要引入合适的统计方法和数学模型，以减少不确定性对分析结果的影响。在应用过程中，需要根据实际情况进行合理的调整和修正，以确保施工方案和支护设计的科学性和可行性。

四、隧道施工技术

（一）复杂地质条件下的隧道施工方法

在复杂地质条件下的隧道施工中，常用的施工方法包括：开挖爆破法、盾构法、钻爆法、机械法等。这些方法在不同的地质条件下具有不同的适用性和优势。

①开挖爆破法：它是最常用的隧道施工方法之一，适用于岩石地层。该方法通过在隧道断面进行爆破，将岩石破碎并清除，然后进行支护。这种方法具有施工速度快、适应性强的优点，但也存在噪音大、振动大等问题。

②盾构法：适用于软弱地层和岩溶地质条件下的隧道施工，盾构机通过推进装置将土层或岩溶地层逐步推进，同时进行土壤处理和支护。盾构法具有施工速度快、噪音小、振动小等优点，但也存在设备复杂、施工风险高等问题。

③钻爆法：适用于岩石地层和软弱地层，该方法通过钻孔、装药、引爆等步骤将岩石破碎并清除，然后进行支护。钻爆法具有施工速度快、适应性强的优点，但也存在噪音大、振动大等问题。

④机械法：适用于软弱地层和断层地质条件下的隧道施工，该方法通过使用挖掘机、装载机等机械设备进行开挖和清理，然后进行支护。机械法具有施工速度快、适应性强的优点，但也存在设备复杂、施工风险高等问题。

（二）隧道施工方法优化

隧道施工方法的选择与优化是在复杂地质条件下确保施工安全和效率的关键。对隧道施工方法的优化研究进行探讨。首先，针对复杂地质条件下的隧道施工，需要考虑不同的施工方法。常见的隧道施工方法包括盾构法、爆破法、钻爆法等。在选择施工方法时，需要综合考虑地质条件、施工工期、环境影响等因素。针对复杂地质条件，可以采用多种施工方法的组合，如先进盾构法结合爆破法等，以提高施工效率和质量。其次，隧道施工方法的优化研究需要考虑施工过程中的挑战和风险。在复杂地质条件下，地层变化、地下水、断层等因素都会对施工产生不利影响。因此，需要通过对施工方法的优化研究，提出相应的技术措施来应对这些挑战和风险。例如，在盾构法施工中，可以采用先进的盾构机和刀具设计，提高对不同地质条件的适应性；在爆破法施工中，可以优化爆破参数和方案，减小对周围环境的影响。最后，隧道施工方法的优化研究还需要考虑施工过程中的经济性和可持续性。在复杂地质条件下，施工成本较高且施工周期较长，因此需要通过优化施工方法来降低成本和缩短工期。同时，还需要考虑施工对环境的影响，提出相应的环保措施，以确保隧道施工的可持续性。

五、隧道支护技术

（一）支护技术的优选

在复杂地质条件下的隧道支护技术选择中，需要考虑以下几个方面。首先，根据地质勘察结果，分析地质

条件的特点,确定隧道支护的主要难点和风险。其次,结合隧道施工方法的选择,选择适合复杂地质条件下的隧道支护技术。例如,在软弱地层中,可以采用喷射混凝土衬砌、钢筋网片支护等技术;在断层带中,可以采用灌浆加固、预应力锚杆支护等技术。不同地质条件需要选择不同的支护技术,以确保隧道的稳定性和安全性。此外,还需要考虑支护技术的可行性、经济性和施工难度等因素。针对复杂地质条件下的隧道支护技术选择,还需要进行优化研究。通过对不同支护技术的比较和分析,确定最优的支护方案。例如,可以通过数值模拟和实验研究,评估不同支护技术的效果和经济性,从而选择最合适的支护技术。此外,还可以通过改进和创新支护技术,提高隧道施工的效率和质量。总之,在复杂地质条件下的隧道施工中,选择适当的隧道支护技术是确保隧道施工安全和质量的关键。通过对地质条件的分析和评估,选择适合的支护技术,并进行优化研究,可以提高隧道施工的效率和质量,降低施工风险。未来的研究可以进一步深入探讨不同地质条件下的支护技术选择和优化方法,为复杂地质条件下的隧道施工提供更加可靠和有效的技术支持。

(二) 支护技术的优化与改进

针对复杂地质条件下的隧道施工,需要对地质条件进行详细的分析和评估。通过地质勘察和地质勘探技术,获取地质信息,包括地层结构、岩性、地应力等参数,以便为隧道支护技术的选择和优化提供准确的依据。针对复杂地质条件下的隧道支护技术,需要考虑隧道周围岩体的稳定性和变形特性。可以采用钢筋混凝土衬砌、锚杆支护、喷射混凝土衬砌等常用的隧道支护技术。同时,可以结合地质条件和隧道设计要求,对支护技术进行改进和优化,提高隧道的稳定性和安全性。在隧道支护技术的优化与改进中,可以考虑以下几个方面:①支护结构的设计优化:根据地质条件和隧道设计要求,对支护结构进行合理的设计优化。可以采用数值模拟方法,对不同的支护结构进行分析和比较,选择最优的支护结构方案。②支护材料的选择与改进:针对复杂地质条件下的隧道施工,可以选择适用于该地质条件的支护材料。同时,可以对支护材料进行改进,提高其抗压强度、抗剪强度和抗渗性能。③支护工艺的改进:针对复杂地质条件下的隧道施工,可以改进支护工艺,提高施工效率和施工质量。可以采用先进的施工技术,如机械化支护施工、快速固化材料的使用等,提高施工效率和支护质量。④监测与评估技术的应用:在隧道施工过程中,需要对支护结构进行实时监测和评估。可以采用先进的监测技术,如应变计、位移传感器等,对支护结构的变形和应力进行实时监测和评估,及时发现问题并采取相应的措施。

六、隧道施工风险管理

(一) 风险的识别与评估

隧道施工风险的识别是指对可能影响施工进度和施

工质量的各种风险因素进行全面的分析和识别。首先,需要对隧道施工过程中可能出现的地质灾害风险进行评估,如地质构造活动、岩体稳定性等因素的分析。其次,需要对施工过程中可能出现的技术风险进行评估,如隧道开挖方法、支护技术等方面的风险分析。最后,还需要对施工过程中可能出现的管理风险进行评估,如施工组织、人员管理等方面的风险分析。隧道施工风险的评估是指对已经识别出的各种风险因素进行定量或定性的评估。通过对风险的概率、影响程度等进行评估,可以确定风险的优先级和应对措施。评估方法可以采用定性评估和定量评估相结合的方式,如风险矩阵法、层次分析法等。同时,还可以借助专业软件和模型进行风险评估,提高评估的准确性和可靠性。隧道施工风险的识别与评估需要充分考虑复杂地质条件下的特点。在复杂地质条件下,隧道施工风险可能会更加复杂和多样化,需要对地质条件、施工方法、支护技术等方面进行全面的分析和评估。此外,还需要充分考虑不确定性因素对风险评估的影响,如地质勘察数据的不确定性、施工过程中的突发情况等。

(二) 风险管理措施的实施与监控

首先,需要建立有效的监控机制,及时掌握施工过程中的风险情况。通过设置监测点位,对隧道周边地层、地下水位、地表沉降等进行实时监测,及时发现风险隐患,采取相应的措施进行调整和应对。同时,还可以借助现代信息技术手段,如遥感、激光雷达等,对隧道施工过程进行全面监控和分析,提前预警风险事件的发生。其次,建立科学的风险管理体系,并进行有效的沟通和协调。各参与方应密切合作,共同制定风险管理计划,并明确各自的责任和任务。同时,还需要建立风险管理的信息共享平台,及时交流风险信息 and 应对措施,确保风险管理工作的高效进行。

结束语

复杂地质条件增加了铁路隧道施工的难度与危险系数,带来了巨大挑战。结合工程实际情况并综合考虑各项要素,选择科学合理的铁路隧道施工技术,做好地质勘察工作、优化隧道施工方法、运用科学的支护技术、做好隧道施工风险的评估与管理等,可以有效提升隧道施工的效率、安全性、质量可靠性。同时,铁路交通作为一种高效、环保的交通方式,对于解决城市交通拥堵、改善交通运输条件具有重要作用。通过探索复杂地质条件下的铁路隧道施工技术,可以提高铁路隧道的建设质量和效率,促进铁路交通的发展。

参考文献

- [1] 陈宇. 铁路隧道施工常见问题及控制对策探析[J]. 城市住宅, 2019.
- [2] 周君. 复杂地质条件下铁路隧道施工技术研究[J]. 工程建设与设计, 2018.
- [3] 李子建. 浅谈复杂地质条件下铁路隧道下穿高速公路施工技术[J]. 海峡科技与产业, 2018(07).