

隧道工程施工中超前地质预报技术的应用效果对比与选择策略

杨天庭

四川蜀兴未来建筑工程有限公司，四川省成都市，610000；

摘要：文章首先阐述隧道工程建设的行业背景与施工中面临的地质风险痛点，点明“超前地质预报技术”对保障施工安全、效率的核心价值；然后阐述“超前地质预报技术”的原理与方法，并通过案例验证其应用效果；最后从技术选择与优化角度提出“超前地质预报技术”的选择原则、适用场景以及应用建议，为后续其他隧道工程中的“超前地质预报技术”研究提供参考。

关键词：隧道工程；施工安全；地质风险；超前地质预报技术

DOI：10.64216/3080-1508.25.10.094

引言

改革开放以来，我国经济、科技快速发展，城市建设、交通运输等基础设施的需求不断增大，促进了隧道工程建设的快速发展。近年来，我国高速公路建设里程超过世界高速公路总里程，国内铁路建设规模也不断扩大，高铁运营里程突破2万公里，高速铁路运营里程超过3万公里，跨海大桥、跨江大桥的数量和质量显著提升。在工程建设过程中，隧道工程作为交通基础设施的重要组成部分，是保障交通运输安全、促进经济发展的重要基础设施。隧道工程施工存在较高的风险、难度及技术要求，若施工过程中不能有效控制风险，则可能造成严重后果。

1 隧道工程与地质预报技术基础

1.1 隧道工程概述

隧道工程是地下空间开发与利用的重要组成部分，具有空间跨度大、建设规模大、结构形式复杂、施工环境差等特点，在工程建设过程中常遇到塌方、涌水、突泥、突泥，以及地震等地质灾害。在隧道工程施工中，由于隧道地质环境的复杂性和隐蔽性，在隧道施工过程中遇到的地质灾害与风险难以避免，因此加强隧道工程施工前的地质灾害预报工作十分重要^[4]。超前地质预报是指在隧道工程施工前，通过物探、钻探等手段，预测掌子面前方一定距离内的地层结构、岩性组合和空间分布等特征，并根据预测结果制定针对性措施，保障隧道工程施工安全及施工效率。

1.2 地质预报技术概述

目前，在隧道工程施工过程中，地质预报技术主要包括地震法、地质雷达法、红外探测法、综合地质法及瞬变电磁法等。其中地震法是一种物理探测方法，能够

有效确定掌子面前方的地质结构，通过反射波数据分析预测掌子面前方的不良地质情况；地质雷达法是一种电磁波探测方法，能够通过发射地震波信号，并接收反射波信号，通过数据分析处理获得掌子面前方的地质结构特征；红外探测法是一种热成像探测方法，能够有效判断掌子面前方的不良地质情况；综合地质法是一种以综合物探为主、以钻探为辅的方法，能够综合判定掌子面前方的不良地质情况^[5]。

1.3 隧道工程中地质预报技术的重要性

在隧道工程施工前，通过对隧道工程地质情况的综合分析，能够有效降低隧道工程施工中的地质灾害发生几率，提高隧道工程施工效率。

一方面，在隧道工程施工中，不良地质灾害是制约隧道工程施工的重要因素，对隧道工程的安全和质量造成极大威胁。通过超前地质预报技术可以提前发现不良地质灾害，并通过针对性措施对其进行处理，能够有效避免隧道工程施工过程中出现安全事故。另一方面，超前地质预报技术是对施工现场情况的预测和预判，能够有效降低隧道工程施工过程中出现塌方、涌水等突发事件的几率，避免由于突发事件造成的损失^[6]。

2 超前地质预报技术的原理与方法

2.1 超前地质预报技术概述

隧道工程中的超前地质预报技术，是指在隧道施工前，根据特定地质环境（如地形地貌、地表及地下水等），通过地球物理探测手段（如地震波反射法、声波透射法、地质雷达法、超前钻孔等），对隧道前方的岩层分布及岩层内部的结构进行准确预测。在隧道工程施工中，通过分析岩层的物理特性，采用适当的物理探测手段，准确判断前方可能存在的地质条件，并在施工前提供可靠、

准确的预报信息,为工程施工提供科学、可靠的指导意见。目前常用的超前地质预报技术有:地震反射法(TEM)、地质雷达法(TBM)、瞬变电磁法(TEM/TRT)以及超前钻探等。

2.2 超前地质预报技术的原理

超前地质预报技术主要通过分析隧道前方可能存在的地质环境,采用适当的地球物理探测手段(如地震波反射法、声波透射法、地质雷达法、超前钻孔等),对隧道前方的岩层分布及岩层内部的结构进行准确预测,为隧道工程施工提供科学、可靠的指导意见,以达到降低施工风险,提高施工效率,保障施工安全的目的。同时,通过分析预测结果,可以为后续其他隧道工程中的“超前地质预报技术”选择提供参考^[7]。

2.3 超前地质预报技术的常用方法

地震波反射法(TEM)是目前常用的超前地质预报方法之一,该方法主要通过分析地震波在隧道中的传播特性,对隧道前方可能存在的地质条件进行预测。地震波反射法是一种比较成熟的超前地质预报方法,具有探测距离远、探测精度高、检测速度快等特点,可以实现对隧道前方可能存在的地质条件进行预测。该方法在隧道工程施工中广泛使用,具有较强的实用性和可靠性。声波透射法是一种利用声波在隧道中传播特性进行超前地质预报的方法,具有探测距离长、检测速度快等优点^[3]。声波透射法可以用于断层、溶洞及含水破碎带等复杂地质环境下的超前地质预报。

3 超前地质预报技术的应用效果验证

3.1 案例研究一

某隧道工程中超前地质预报技术的应用效果:该工程位于四川省,隧道长度约 2 km,地质条件复杂,存在强岩爆、高突水、高瓦斯等较高风险的地质风险点,根据实际工程情况,采用 TSP203+ TSP 组合预报技术进行预报。TSP203 具有成本低、精度高、操作简单的特点,可在隧道工程中应用;TSP 则是基于声波传播原理的探测技术,对隧道工程中可能存在的溶洞、断层等地质缺陷进行探测,准确度较高,但在隧道施工中操作较为复杂;此外,该工程采用了“超前地质预报技术”后,现场地质情况得到了有效改善,避免了大量冒顶等事故的发生,安全、高效地完成了该隧道工程施工任务^[1]。

3.2 案例研究二

某隧道工程中其他地质预报技术的应用效果:该隧道工程位于湖南省,隧道长度约 1.6 km,地质条件复杂,存在地下水、瓦斯等较高风险的地质缺陷,根据实际工

程情况,采用 TSP+TSP203 组合预报技术进行预报。TSP203 利用电磁波反射原理对隧道工程中可能存在的溶洞、断层等地质缺陷进行探测,准确度较高;TSP 则是基于声波传播原理的探测技术,其优势在于成本低、操作简单,在隧道工程中应用广泛;此外,该工程还采用了“超前地质预报技术”后,现场地质情况得到了有效改善,避免了大量冒顶等事故的发生,安全、高效地完成了该隧道工程施工任务^[4]。

3.3 案例研究三

某隧道工程中其他地质预报技术的应用效果:该隧道工程位于湖南省,隧道长度约 3 km,地质条件复杂,存在溶洞、断层等较高风险的地质缺陷,根据实际工程情况,采用 TSP203+ TSP 组合预报技术进行预报^[3]。TSP203 采用电磁波反射原理,对隧道工程中可能存在的溶洞、断层等地质缺陷进行探测,准确度较高;TSP 则是基于声波传播原理的探测技术,对隧道工程中可能存在的溶洞探测,准确度较高。此外,该工程还采用了“超前地质预报技术”后,现场地质情况得到了有效改善,避免了大量事故的发生,安全、高效地完成了该隧道工程施工任务^[8]。

3.4 应用效果对比分析(基于案例总结“超前”技术的优劣势与适用场景)

(1)“超前地质预报技术”具有较高的准确性,能对隧道工程中可能存在的地质隐患进行有效预测,避免了大量事故的发生。

(2)“超前地质预报技术”具有较高的成本,在实际应用中存在一定的局限性,且在隧道工程施工中操作复杂。

(3)“超前地质预报技术”在隧道工程中应用广泛,但也存在一定的局限性,在实际应用中存在较大误差。

如在不良地质区域,或隧道开挖前或开挖后的地质条件较为复杂时,应选择针对性更强的预报技术。

4 超前地质预报技术的选择与优化策略

4.1 技术选择的核心准则与影响因素

(1)基于隧道工程项目特点、工程环境因素等,选择合适的技术进行超前地质预报,并对预报结果进行处理,以降低隧道工程施工过程中的地质风险。

(2)将多种超前地质预报技术结合使用,可提高预报结果的准确性,并降低误报、漏报现象的发生。

(3)在选择技术时,应根据隧道工程项目的具体情况与设计文件要求等进行合理选择^[2]。例如,在地质条件较差的情况下,建议选择 TSP203 技术进行预报;

在设计文件要求较高的情况下,建议选择 GPR 技术进行预报。

4.2 针对性选择策略分析

(1) 在隧道工程的施工过程中,对于一些地质条件复杂的隧道工程,可以选择使用物探技术进行超前地质预报,对开挖面前方的地质条件进行综合判断,为工程设计、施工提供指导。

(2) 针对一些隧道工程项目中的不良地质条件,如岩溶、断层、突水、岩爆等,可以选择使用超前地质预报技术进行探测,为隧道工程施工提供指导。

(3) 在某些特殊情况下,如高压水隧道工程中的涌水突泥现象,可以选择使用钻探技术进行超前地质预报。

(4) 在隧道工程施工中,还可以根据隧道工程项目的特点和需要,选择使用 TSP 技术或物探技术进行超前地质预报。

4.3 选择方案的优化建议

(1) 在隧道工程施工中,应充分发挥 TSP203 技术的优势,并根据具体的隧道工程项目特点,选择合适的预报方法,确保预报结果的准确性。

(2) 在采用 TSP 技术进行超前地质预报时,应注意结合现场地质调查与施工实际情况进行合理选择,并确保预报结果的准确性。

(3) 在采用物探技术进行超前地质预报时,应充分考虑隧道工程项目的地质环境与条件等因素,确保预报结果的准确性^[9]。

(4) 在采用钻探技术进行超前地质预报时,应根据具体的隧道工程项目特点与施工要求等进行合理选择,并结合地质资料进行合理分析与判断。

5 结论与展望

5.1 研究结论总结

(1) 隧道工程施工过程中,应用超前地质预报技术可以有效控制施工过程中的地质风险,降低事故发生率,保障工程质量和进度。

(2) 隧道工程施工中采用多种超前地质预报技术对围岩进行探测,综合应用多种探测方法可以提高预报精度与可靠性。

(3) 在隧道工程施工中应根据具体地质情况选择合适的超前地质预报技术,并根据不同探测技术的优缺

点与适用场景,综合考虑各种探测手段的局限性,选择合适的方法。

(4) 通过建立超前地质预报数据库、完善预报系统等方式,可以建立可靠的“超前地质预报”预警机制,提高地质风险预测和预防能力。

5.2 未来研究与应用展望

(1) 本研究对不同探测方法的适用条件进行了分类总结,并对各种探测方法的优缺点进行了对比,并结合隧道工程施工实际,提出了一套适合隧道工程施工中超前地质预报的工作流程和流程步骤,但对于如何建立一个合理有效的超前地质预报体系,还有待进一步研究。

(2) 随着科技的发展,越来越多的新型超前地质预报方法被研发并投入使用,但这些新方法还需进一步研究其可靠性和有效性,如何将这些新方法与传统超前地质预报技术相结合,充分发挥它们的优势、解决它们的不足之处,才能提高超前地质预报技术的应用水平和应用效果。

参考文献

- [1] 钱云川. 论某公路隧道项目施工中超前地质预报技术的应用[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(17): 130-132.
- [2] 鲍金. 公路隧道超前地质预报技术的实践与应用[J]. 建筑技术开发, 2025, 52(02): 91-93.
- [3] 马建平. 超前地质预报技术在铁路隧道开挖工程中的应用研究[J]. 桂林航天工业学院学报, 2025, 30(01): 140-147.
- [4] 孟庆锋. 综合超前地质预报技术在大磅山隧道中的应用[J]. 工程建设与设计, 2022, (22): 130-132.
- [5] 黄奕钦. 隧道地质雷达超前地质预报技术应用研究——以斋堂隧道工程为例[J]. 工程技术研究, 2022, 7(19): 67-69.
- [6] 尹雪波. 岩溶隧道超前地质预报综合预报技术的应用效果分析[J]. 四川地质学报, 2022, 42(02): 313-316.
- [7] 韩自强, 陈棚, 曹建. 综合超前地质预报技术在断层发育区隧道下穿水库工程建设中的应用[J]. 地球物理学进展, 2021, 36(06): 2702-2711.
- [8] 刘园. 隧道工程建设地质预报及信息化技术的主要进展及发展方向[J]. 居舍, 2019, (23): 20.
- [9] 陈勃汐. 隧道超前地质预报技术应用研究[J]. 价值工程, 2018, 37(30): 151-154.