

隧道地质勘察的进展综述

杨哲学

重庆交通大学土木工程学院，重庆，400074；

摘要：隧道工程地质勘察是隧道工程建设的重要环节，准确的地质预测直接影响隧道的安全性和经济性。本文全面回顾了近年来隧道地质勘察技术的发展趋势和主要成果，涵盖了钻孔雷达技术、数值模拟优化分析、地质雷达应用、综合物探法探测等多种技术的研究和实践。此外，本文还着重讨论了隧道地质勘察的未来发展方向，包括数值模拟和预测技术的进一步发展，新技术在地质勘察中的应用，以及在特定区域或特殊环境下的隧道地质勘察技术的研究。最后，本文指出了当前隧道地质勘察技术面临的挑战，并期望更多的研究和实践能够解决这些挑战，满足未来隧道工程的需求。本文旨在为隧道地质勘察技术的研究和实践提供全面的参考。

关键词：隧道地质勘察；技术发展；未来趋势

DOI: 10.69979/3029-2727.25.01.051

1 综述章节

1.1 引言

隧道工程是现代城市基础设施建设的重要组成部分，起到了联通城市交通、提高运输效率等作用。然而，隧道工程的施工与运营过程中，地质条件对于隧道的稳定性、安全性以及工程造价具有显著影响。因此，隧道地质勘察在隧道工程的前期阶段尤为重要，它能为隧道工程的设计、施工和后期维护提供基础的地质信息。

地质勘察方法的发展历经了长期的技术进步和经验积累，从早期的地面观察、钻孔探测，到现代的地质雷达、电磁测量等高科技方法的应用，地质勘察的技术手段日趋完善，其准确性和效率也得到了显著提升。然而，传统的地质勘察方法仍然存在着精度不高、信息不全、操作复杂等问题，这对于隧道工程的设计和施工都带来了较大的困扰和挑战。

近年来，随着大数据、机器学习等技术的快速发展，人们开始尝试将这些先进技术应用于隧道地质勘察之中。通过机器学习模型对大量的地质数据进行学习，可以预测未来隧道施工路段的地质情况，从而更好地指导隧道工程的设计和施工。然而，这一领域仍处于探索阶段，对于机器学习在地质勘察中的具体应用方法、效果如何，以及如何解决其中可能出现的问题等，仍需要深入研究和探讨。

本文将通过文献回顾的方式，系统总结和评价隧道地质勘察的历史发展和现状，重点探讨基于机器学习的地质勘察方法的研究进展和应用情况，旨在为未来隧道地质勘察技术的发展提供理论支撑和参考。

1.2 地质勘察方法的演变

地质勘察方法的发展历经了长期的技术进步和经验积累，从早期的基本观察和钻孔探测，逐步发展到如今多样化的高科技方法。针对隧道工程特殊的地质勘察需求，工程技术人员进行了大量的探索和尝试，形成了一系列具有特色的地质勘察方法。最早，地质勘察主要依赖于地面观察和钻孔探测，通过直接采集地质样品以获取地质信息。然而，这种方法受到地理环境、工程条件等多种因素的制约，勘察精度不高，信息不全，不能满足大规模、复杂地质环境的隧道工程需求。

为了解决上述问题，地质工程技术人员开始引入高科技方法。刘东旭^[3]提出了地质雷达在铁路隧道工程质量检测中的应用，利用地质雷达的高精度、实时性优点，提高了隧道工程质量的检测能力。刘宇等^[4]进一步研究了物探法在大连湾海底隧道地质勘察中的应用，从而提高了海底隧道地质勘察的精度和效率。类似的，陈永飞和李振^[9]探讨了 EH4 测量系统在公路隧道地质勘察中的应用，为公路隧道地质勘察提供了新的技术手段。这些研究都表明，高科技方法在隧道地质勘察中的应用有着重要的价值和意义。然而，这些技术仍有其局限性，难以适应复杂、变化的地质条件。近年来，地质工程技术人员开始尝试利用地质大数据和机器学习等新技术进行隧道地质勘察。例如，马保松等提出了超长距离水平定向钻进技术在隧道精准地质勘察的研究和应用，开创了隧道地质勘察新的思路和方法。

总的来说，隧道地质勘察方法经历了从初期的基础观察和钻孔探测，到高科技方法的引入，再到利用新兴的大数据和机器学习技术的发展历程。这个过程每

一步技术进步,都为提高隧道地质勘察的精度和效率做出了重要的贡献。但是,隧道地质勘察仍面临着许多挑战,需要我们进行更深入的研究和探讨。

1.3 地质勘察方法的具体应用

在隧道工程中,地质勘察是极其重要的一环,不同的地质勘察方法对于预判工程难度、防止工程风险都具有重大意义。随着科学技术的发展,地质勘察方法已经从传统的物理勘探方法发展到多种现代技术的综合应用。隧道地质雷达技术是一种广泛使用的勘察技术。韩利江的研究指出,隧道地质超前预报钻孔雷达技术可以有效探测到隧道前方的地质结构和矿体分布,为隧道施工提供科学依据^[1]。刘东旭则进一步提出,地质雷达技术可以被广泛应用于铁路隧道工程质量检测中,提升工程质量和施工安全^[3]。

综合物探法是现代地质勘察中常见的方法。邱锴和肖强指出,在岩溶隧道地质勘察中,综合物探法可以全面探测隧道路径的地质情况,为隧道设计和施工提供重要依据^[6]。类似地,刘宇等人的研究也展示了物探法在大连湾海底隧道地质勘察中的有效应用^[4]。此外,新型的探测系统如EH4测量系统和电磁勘探系统等也在公路隧道地质勘察中发挥了重要作用。陈永飞和李振在他们的研究中指出,EH4测量系统能够有效地应用于公路隧道地质勘察中,提高了勘察的精确度和效率^[9]。

总体而言,无论是传统的地质雷达技术,还是综合物探法,或是新型的电磁勘探系统,都在隧道地质勘察中发挥着重要作用。这些技术的应用不仅提高了勘察的精准度,也大大提高了工程质量和施工安全。

1.4 隧道地质勘察中的挑战与问题

隧道地质勘察是一项充满挑战和问题的任务。首先,隧道地质条件的复杂性和不确定性是最主要的问题。例如,地质雷达技术在超前地质预报中应用广泛,但准确性仍存在问题。岳仍沧和申铁军提出了雷达试验检测准确性的影响因素,这些因素包括地质结构复杂度、物理参数的变化范围以及数据处理和解释的质量^[8]。

探测技术的局限性也是一个重要的挑战。在岩溶隧道地质勘察中,邱锴和肖强发现综合物探法能够提供有关地下岩石和土壤特性的信息,但其在识别水文地质和识别脆弱地带方面的能力有限^[6]。此外,虽然新型电磁勘探系统已经在公路深埋长隧道不良地质勘察中得到应用,但是,这些系统在处理复杂地质环境时仍存在困难。开挖过程中地质条件的变化会对开挖变形产生影响。赵帅、徐新兴等人通过数值模拟分析了台阶法施工的优

化,但这样的研究需要大量的实地工作和试验^[2]。另外,地质勘察中的数据处理和解释是一个重要的挑战。在使用机器学习方法预测隧道地质、施工时间和成本时,如Mahmoodzadeh等人的研究,需要大量的训练数据,但这样的数据往往难以获得。此外,数据质量和完整性也影响着预测的准确性。由于地质条件、施工技术和环境因素的变化,隧道地质勘察技术需要不断地更新和改进。为了解决这些问题,必须发展更准确、高效和适应性强的地质勘察技术和方法。然而,这需要在地质学、工程技术和信息科学等多个领域进行跨学科的研究,这对于研究人员来说无疑是一个重大的挑战。

2 基于机器学习的地质勘察方法

2.1 机器学习在地质勘察中的应用

泛关注,包括预测、优化和风险评估等方面的研究(Mahmoodzadeh等,Arsalan等)。首先,关于地质勘察的预测问题,众多学者提出了各种机器学习模型。例如,Sharmin等使用基于影响区的持续长度预测方法来预测隧道开挖过程中的即将发生的岩石坍塌事件。类似地,Mahmoodzadeh等使用了机器学习近年来,机器学习技术在隧道地质勘察中的应用已经引起了全球科研工作者的广习方法对隧道地质、施工时间和成本进行预测。最近,Yuwei等基于仪器钻探测试提出了一种基于神经网络的隧道地质预测方法,该方法能够有效地解决了预测精度问题。

关于隧道地质勘察的优化问题,利用机器学习方法的优化研究也取得了丰富的成果。赵帅等针对开挖变形问题,基于隧道地质条件,运用数值模拟方法进行了施工优化。再如,马保松等针对超长距离水平定向钻进技术在隧道精准地质勘察的研究及应用,他们运用机器学习方法对此进行了有效优化。从风险评估的角度,机器学习也在隧道地质勘察中起到了重要作用。日本学者飯酒孟久夫等倡导在隧道地质勘察中引入风险管理系统。KONDOT探讨了地质勘察的不确定性和隧道工程的风险评估问题,对地质勘察的风险管理提出了新的看法。

综上所述,机器学习技术在隧道地质勘察中的应用已经取得了丰富的研究成果,无论是在预测、优化还是风险评估等方面都展现出了巨大的潜力。随着科研技术的不断进步,未来机器学习在地质勘察领域的应用将更加广泛和深入。

2.2 机器学习方法的具体应用实例

在隧道地质勘察中,机器学习方法的应用已经取得了显著的成果。机器学习是一种使用计算机算法从数据

中学习并做出预测或决策的技术。在地质勘察中,利用机器学习的方法可以有效地识别隧道中的不良地质体,并为开挖和施工提供准确的预测。

以 Mahmoodzadeh 等人的研究为例,他们使用机器学习方法预测了隧道地质、施工时间和成本。在他们的研究中,通过机器学习算法,可以更精准地预测开挖所需的时间和成本,对于提高隧道施工的效率和降低成本具有重要意义。再如 Yuwei 等人使用基于仪器钻探测试的神经网络进行隧道地质预测,该方法通过神经网络模型的学习和优化,为隧道地质勘察提供了一个高效、精准的预测手段。此外,还有一些研究者利用机器学习的方法对隧道地质进行预测。这种方法对于隧道施工的安全性有重要的意义。Arsalan 等人则通过高斯过程回归预测了隧道地质力学参数,此研究提供了一种新颖且高效的方法,对于理解隧道施工过程中的地质力学参数提供了重要的参考。另外,基于机器学习的方法,一些研究者还探索了新型的地质勘查技术。例如,何伊琦等人开发了一种新型的电磁勘探系统,该系统结合了机器学习算法,能够更有效地对公路深埋长隧道的不良地质进行勘查。

以上实例证明,机器学习方法在隧道地质勘察中的应用已经取得了显著的成果,并为提高隧道工程的安全性和效率提供了新的可能。

2.3 结论与未来发展方向

根据近年来的研究和实践,隧道地质勘察技术发展迅速,取得了丰硕的成果。例如,韩利江提出了一种隧道地质超前预报钻孔雷达技术并成功应用^[1]。赵帅、徐新兴等人通过数值模拟优化分析揭示了隧道地质条件对开挖变形的影响^[2]。

未来的发展方向有几个可能的趋势。首先,随着计算能力的增强,数值模拟和预测技术有望在地质勘察中发挥更大作用。例如,Sharmin 等人已经使用影响区长度预测岩石隧道的塌方事件。此外,一些研究者开始尝试使用机器学习和深度学习方法预测隧道地质参数和施工成本,如 Arsalan 等人和 Mahmoodzadeh 等人的研究。这些技术提供了新的可能性,预示着隧道地质勘察的未来发展方向。随着地质雷达和综合物探法等新技术的应用,隧道地质勘察的精度和效率得到显著提升。例如,刘东旭成功将地质雷达应用于铁路隧道工程质量检测^[3],而邱锴和肖强在岩溶隧道地质勘察中成功实施了

综合物探法探测^[6]。一些研究者也开始关注特定区域或特殊环境下的隧道地质勘察技术,如刘宇、徐凤雷和朱峻言对大连湾海底隧道地质勘察的研究^[4],或是杜宇本、蒋良文和陈伟关于云南地区铁路隧道地质勘察技术的探讨。这些研究强调了隧道地质勘察技术应对不同地理、地质条件的适应性和灵活性,也为特定环境下的隧道地质勘察提供了宝贵的经验和指导。

总的来说,隧道地质勘察技术将在数值模拟、预测技术、新技术应用以及特定环境应用等方面得到进一步的发展和深化。但同时,也需要更多的研究和实践来解决新技术应用中的挑战,以满足未来隧道工程的需求。

参考文献

- [1] 韩利江. 隧道地质超前预报钻孔雷达技术及应用[J]. 科学技术创新, 2023(17): 129-132.
- [2] 赵帅, 徐新兴, 刘鹏. 隧道地质条件对开挖变形的影响及台阶法施工数值模拟优化分析[J]. 粘接, 2023, 50(05): 170-173.
- [3] 刘东旭. 地质雷达在铁路隧道工程质量检测中的应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2023(03): 154-156. DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2023.03.046.
- [4] 刘宇, 徐凤雷, 朱峻言. 物探法在大连湾海底隧道地质勘察中的应用研究[J]. 中国港湾建设, 2022, 42(12): 7-12.
- [5] 刘卫斌. 大断面隧道地质勘察方法应用及成果分析——以黑白面将军山隧道工程为例[J]. 工程技术研究, 2022, 7(24): 86-88. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2022.24.027.
- [6] 邱锴, 肖强. 岩溶隧道地质勘察中的综合物探法探测[J]. 绿色科技, 2022, 24(22): 239-243. DOI: 10.16663/j.cnki.lskj.2022.22.042.
- [7] 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. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2022.19.023.
- [8] 岳仍沧, 申铁军. 隧道地质雷达试验检测准确性的影响因素分析[J]. 四川建材, 2022, 48(09): 164-165.
- [9] 陈永飞, 李振. EH4 测量系统在公路隧道地质勘察中的应用[J]. 中国新技术新产品, 2022(17): 131-133. DOI: 10.13612/j.cnki.cntp.2022.17.018.