

The Application of Engineering Geophysical Exploration Technology in Highway Engineering Investigation

Peifeng Liang¹ Chengjiang Hu²

Guizhou Provincial Communications Planning, Surveying and Design Institute Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550081, China

Abstract

Against the backdrop of the current new era's development, the construction activities of expressways in China are moving towards higher quality requirements. As a key component of modern transportation infrastructure, the construction of expressways plays a crucial role in promoting national economic development and enhancing the interconnection and intercommunication among regions. However, due to the influence of various issues such as the complexity and large scale of expressway construction, it is particularly crucial to comprehensively carry out engineering investigation work activities. Engineering geophysical exploration technology is a new type of geological exploration method and has been widely applied in the current exploration of expressways. Based on this, this paper takes the application of engineering geophysical exploration technology in the engineering investigation of expressways as the starting point of the research, analyzes specific application strategies, and comprehensively ensures the quality of expressway construction.

Keywords

Engineering geophysical technology; expressway; Engineering investigation

工程物探技术在高速公路工程勘察中的应用

梁培峰¹ 胡成江²

贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司, 中国·贵州 贵阳 550081

摘要

在当前新时期发展的背景下,我国高速公路建设工作活动朝着更高质量要求方向发展,作为现代化交通基础设施的关键组成部分,高速公路建设对推动国民经济发展,加强区域之间的互通互联有着关键的意义。但由于高速公路施工复杂,规模庞大等各类问题的影响,全面做好工程勘察工作活动格外关键。工程物探技术属于新型的地质探测手段,在现阶段高速公路探查中得到了广泛的应用;基于此,本文以工程物探技术在高速公路工程勘察中的应用作为研究的出发点,分析具体的应用策略,全面保障高速公路建设的质量。

关键词

工程物探技术; 高速公路; 工程勘察

1 引言

高速公路建设活动属于复杂性的系统工程,全面做好前期勘察工作,将直接影响工程建设的合理性和施工的安全性。由于高速公路沿线较长,需要穿越各种不同的地质环境,可能会涉及软土地基、溶洞、断裂带等不良地质条件,若没有完全做好勘察工作,则会对后续的施工及运营埋下严重的隐患,引发工程质量问题。工程物探技术作为现代地质勘察的重要手段,通过物理探测方法,利用地层的密度、弹性、电性、磁性等差异,获取地下结构和地质条件的信息^[1]。对比于传统的勘察方法,通过物探技术可全面发挥信息化的优

势,提高技术的先进性。对此,本文结合高速公路工程勘察的重点需求,分析工程物探技术的具体应用。

2 工程物探技术在高速公路工程勘察中的应用价值

2.1 提高勘察精度,降低工程风险

高速公路勘察工作主要是针对基础薄弱、岩溶、断裂带、滑坡体、膨胀土等各种地质问题进行鉴定分析,在勘察工作中,依靠传统的钻探、开挖勘察加大了工作量,成本相对较高,再加上钻孔布设的限制,造成地下隐患的遗漏。物探技术可以在大范围内对地下结构进行连续探测,发现隐伏的不良地质体,补充钻探数据的不足。例如,在某高速公路勘察项目中的地震波法,对岩溶发育区进行了连续探测,可以识别隐伏溶洞,确保工程勘察工作的可靠性^[2]。

【作者简介】梁培峰(1984-),男,中国广西河池人,本科,工程师,从事公路工程研究。

在某山区公路建设项目中,通过地质雷达对路基区域进行非破坏性探测,发现局部存在软弱夹层,物探结果经过钻探验证后,确认准确无误,相比传统的方法,物探技术可以提高地质隐患识别率,为工程设计提供了科学依据,避免了后期施工过程中因地质问题造成的工期延误和造价增加。

2.2 提高勘察效率,降低勘察成本

传统的高速公路地质勘察主要依靠钻探和试坑,但在长距离线性工程中,单纯依靠钻探难以做到全面覆盖,再加上钻探造价高、工期长,使得高速公路地质勘察的施工难度较大。利用物探技术,可以在较短的时间内迅速探测到地下大范围的地质情况,有效提高调查效率,降低经济成本^[9]。在某高速公路勘察项目,通过电法勘探,快速圈定了疑似软地基区域,再结合钻探进行精细验证,勘察效率较传统全线密集布钻方式提高 40%,钻探工作量减少 35%,节约勘察成本近 200 万元。此外,在高填方、高边坡、高寒冻土等特殊地质条件下,传统钻探难度大、施工周期长,物探技术则可在不影响原始地形地貌的条件下,获取关键地质信息。如在青藏高原某高速公路的调查中,运用重力勘探与电磁探测相结合的方法,迅速确定了冻土层分布范围,避免了在不稳定冻土地段钻孔作业的安全隐患,调查工作的科学性和经济性得到了很大提高。

2.3 辅助优化工程设计,提高施工安全性

工程物探技术不仅可以为公路选线、地质调查等提供数据支持,同时还可以发挥实时监控,优化施工过程中的设计功能。例如,在隧道、桥梁基础施工中,物探技术可用于实时检测围岩稳定性、地下水分布情况,提前预警地质灾害,指导施工调整等。

在某高速公路隧道施工时,在前方发现富水断层带的情况下,采用瞬变电磁法和地震波 CT 扫描技术,实时监测围岩稳定性,立即调整支护方案,避免了可能出现的突涌、塌方事故,确保了施工安全,在施工中,通过对隧道内部的围岩稳定性进行了相应的保护。数据表明,应用物探技术对隧道地质进行超前探测,可减少突水突泥事故发生率 50% 以上,安全风险大幅降低^[4]。在桥梁桩基施工中,可采用物探技术,对基础承重不足造成的沉降问题进行检测,以避免桩基承重层的分布不均。如在某跨河高速桥梁勘察项目中,采用声波透射法对桩基完整性进行检测,发现部分桩基存在缺陷,及时调整施工方案,避免了后期维护费用的增加。

3 工程物探技术在高速公路工程勘察中的应用

3.1 软土地基勘察

软地基以承载力低、压缩性高、稳定性差、易沉降甚至导致路基失稳为主要特征,广泛分布于我国沿海、冲积平原和湖沼沉积区,因此,在高速公路建设中,对软地基的精确勘察至关重要。软土层空间分布不明,难以通过传统钻探手段得到全面发现,而工程物探技术则能为减少勘察盲区,

提高数据准确性,提供更全面的地质信息^[5]。

目前,软地基勘测常采用高密度电法、瑞雷波勘探法和静力触探(CPT)等方法。①高密度电法是利用软土层电阻率低的特点进行调查,通常软土的电阻率在 $10\Omega\text{ m}$ 以下,而粉质粘土的电阻率在 $10\sim 50\Omega\text{ m}$ 之间,软土层厚度和含水情况可以通过电阻率分布来确定。②瑞雷波勘探法通过测定剪切波速(V_s)来评估土体的力学性质, V_s 小于 150 m/s 时,土体强度较低,需要进行地基处理,而 V_s 大于 300 m/s 时,软质地基的承载力基本符合公路建设要求。③静力触探(CPT)通过锥尖阻力(QC)评估软土强度,通常软黏土 QC 值为 $0.5\sim 1.5$ 兆帕,若低于 1.0 兆帕则需采取加固措施。

例如,位于冲积平原区的某高速公路项目,钻探发现软土层厚度 $10\sim 18$ 米,在进行高密度电法测量后,结合瑞雷波测试和 CPT 数据,确认软土分布范围,最终确定采用预压加水泥搅拌桩的处理方案。施工后监测数据显示,沉降控制在 ± 4 厘米以内,符合规范要求,有利于确保路基长期稳定。

3.2 破坏性岩溶勘察

我国西南、华南地区岩溶地貌分布较广,形成的溶洞、暗河对高速公路建设构成严重威胁,施工前若不准确探明岩溶结构,可能造成地基塌陷、桥梁基础不稳等工程灾害。传统钻探法难以全面揭示岩溶的空间分布,物探技术则可以通过无损检测手段对地下岩溶进行精确定位。

例如,高密度电法通过低阻异常区识别富水溶洞,富水溶洞通常电阻率低于 $50\Omega\text{ m}$,而充填较干燥的溶洞则可能高达 $500\Omega\text{ m}$ 以上。再比如,地震波 CT 成像对溶洞、暗河进行成像,空气充填溶洞的 P 波速度低于 1000 m/s ,而完整基岩的 P 波速度可达 5000 m/s 。此外,深部溶洞勘测适用瞬变电磁法(TEM),最大探测深度可达 50 米以上。在某高速公路在勘察过程中,采用高密度电法发现异常低阻区,随后利用瞬变电磁法探测到埋藏深度 15 米、宽度 6 米的隐伏溶洞。地震波 CT 成像结果进一步确认溶洞内部为空气充填结构,且溶洞顶部覆盖层厚度较小,存在严重坍塌危险,为确保施工安全,工程队采取高压注浆+桩基加固的方案,以确保路基稳固。后续施工监测表明,该区域地基沉降量控制在 $\pm 3\text{ cm}$ 以内,远低于设计允许值,证明加固方案的有效性。与传统钻探法相比,该项目通过物探技术精确锁定了隐伏溶洞位置,减少了不必要的钻探工作,节约了 30% 的勘察费用,同时降低了工程风险。

3.3 高边坡滑坡体勘察

山区高速公路建设中,高边坡的稳定性直接影响行车安全和道路寿命,滑坡主要受地形地貌、岩土性质、地下水等因素影响,表现为整体或局部的滑动,严重时可导致道路中断甚至次生灾害。传统的勘察方式依靠钻探和地质测绘,信息点相对有限,对滑坡隐患难以全面评估,物探技术可在更大范围内对滑坡隐患区域进行快速识别,为边坡加固方案

提供依据。

例如电阻率方法，由于土体破碎，滑坡区含水量高，电阻率一般较低，可采用高密度电阻法，以确定软弱层位置，判断地下水分布。再比如，微动探测法，利用面波传播特性测定滑坡体结构，当剪切波速 (V_s) 低于 250m/s 时，表明土体松散，有滑坡风险。另外，地震波层析成像 (TSP)：滑坡区岩层破裂处 P 波速度明显降低，正常基岩 P 波速度在 4000~6000 米/秒，而滑坡面通常低于 2000 米/秒，可以通过速度变化准确定位滑坡带。

在某山区高速公路边坡稳定性评估中，采用高密度电法发现坡体内部存在低阻层，埋深 8~15 米，对应可能出现的软弱带，MASW 测试结果显示，该区域 VS 平均 180 米/秒，表明土体松散。结合地震波层析成像，最终锁定一条埋深 12 米的滑动带，长约 200 米，宽 20 米。对该区域采取了对应的抗滑桩加锚索框架梁的支护方案，监控数据显示，边坡位移控制在 5 毫米以内，确保了道路安全。需要注意的是，高密度电法应结合钻探数据校核，避免误判软弱层与正常风化层，应选择适当测点，减少环境噪声干扰。

3.4 隧道勘察

隧道工程往往穿越复杂地质条件，易受断层破碎带、溶洞、富水层等不良地质影响，传统钻探方式虽然能提供精确的点状资料，但造价高、效率低，对地层结构的了解较难做到全面。物探技术可以在大范围内快速无损地探测地下地质状况，提高勘察效率，优化设计方案，减少施工风险。

例如，地震波层析成像是基于地震波传播特性的调查技术，广泛应用于隧道围岩质量评估和地质预测的超前预测，原理是利用人工激发的地震波穿透围岩，并在接收器处记录波速变化，通过数据反演得到隧道前方岩层的密实度、裂隙发育情况以及富水区域分布。

在某山区高速公路隧道施工过程中，TSP 技术用于预测前方围岩情况，在测线上布设爆破震源，在已开挖的隧道壁上布设测波器，通过测量地震波传播时间和波速，绘制出岩层地下结构图。在实际勘察中，TSP 预测隧道前方 30 米处存在低速异常区域，经钻探验证，该区域确为地下水丰富的破碎带。施工单位据此调整支护方案，对围岩进行了提前小导管注浆加固，对突水、坍塌事故进行加固，并加强排水措施。应用时需注意，布设测点需合理，确保震源与测波器之间的距离适宜，避免盲区；资料解读需结合地质资料，避免因岩性差异造成误判，应及时进行数据解读。

3.5 地下管道分布勘察

高速公路施工过程中，沿线可能涉及大量地下管线，如供水、排水、燃气、电缆等，施工前未准确查明管线位置，可能导致管线损毁，造成安全事故和经济损失。物探技术能够在不开挖的情况下，准确探测管线位置、埋设深度和走向，为施工提供科学依据。地质雷达是基于高频电磁波的探测技术，通过天线发射电磁波，利用不同介质的电磁波反射差异探测地下结构，广泛应用于埋地管线探测。GPR 具有一定的金属管道和非金属管的探测能力，尤其对埋设深度在 0-5 米的管道探测有较强的研究能力。

在某高速公路改扩建工程中，GPR 检测沿线管道分布情况，使用频率为 400 MHz 的天线扫描发现，高反射异常信号，在 1.8 米深度出现连续高反射波形，结合管网资料，确认该处为高压电缆。在中等反射信号，例如塑料或混凝土管道，在深度 2.5 米处出现弧形反射波，经开挖验证，位置为排水管道；在低反射信号区，可能是空洞，在某些区域没有明显反射信号，钻探验证表明该区域的管道已被破坏，并有松散的土壤填充。

4 结语

综上所述，工程物探技术在高速公路工程勘察的过程中，有着非常关键的价值，对提高勘察精度，降低工程风险和成本，提高施工安全性有关键的意义。在具体实施的过程中，针对软土地基、破坏性岩溶、高边坡滑坡体、隧道及地下管道分布等多个方面展开科学合理的勘察工作，可保障高速公路工程建设活动的顺利实施，提高科学合理的规划性。在具体设计的过程中，应根据工程物探技术的特点展开合理优化，全面提高工程建设质量。

参考文献

- [1] 任帅波.工程物探调查技术及其现场质控应用分析[J].价值工程,2025,44(04):136-138.
- [2] 杜一鸣.工程物探方法探测覆盖层的工程地质效果分析[J].工程建设与设计,2024(16):28-30.
- [3] 沈磊.复杂城市环境下的地铁工程物探勘察方法浅析[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(23):172-174.
- [4] 王小川.物探方法在高速公路勘察中的应用[J].工程技术研究,2023,8(10):36-38.
- [5] 文兴祥.高速公路建设期间的地质问题应对措施[J].四川水泥,2022(01):259-260.