

隧道进洞前特高压环境下的地质勘探技术研究

邹吉鹏¹ 周志星²

1. 中交一公局集团有限公司 北京 100024

2. 中交一公局第六工程有限公司 天津 300457

摘要: 在特高压输电线路周边开展隧道进洞前的地质勘探工作, 面临强电磁场、高电压等特殊干扰, 传统勘探方法与设备难以满足精度要求。本文阐述现有技术局限, 介绍新型勘探设备研发、数据处理优化及多技术融合应用等创新成果, 并结合实际工程案例提供数据支撑, 为特高压环境下隧道地质勘探提供科学依据, 保障隧道工程安全高效推进。

关键词: 隧道进洞; 特高压环境; 地质勘探技术

1 引言

随着我国基础设施建设的飞速发展, 隧道工程在交通、能源等领域的重要性日益凸显。然而, 在一些区域, 隧道建设不可避免地会受到特高压输电线路的影响。例如, 西电东送工程中的部分特高压线路穿越山区, 沿线规划了多条隧道。特高压输电线路具有电压等级高(交流1000kV、直流±800kV及以上)、电磁场强等特点, 在隧道进洞前进行地质勘探时, 传统勘探方法易受干扰, 导致勘探数据不准确, 无法为隧道设计和施工提供可靠依据。因此, 深入研究特高压环境下隧道进洞前的地质勘探技术具有重要的现实意义。

2 现有地质勘探技术在特高压环境下的局限性

2.1 电磁法勘探

电磁法勘探是常用的地质勘探方法之一, 但在特高压环境下, 特高压线路产生的强电磁场会对电磁法勘探设备产生严重干扰, 导致勘探数据失真。例如, 瞬变电磁法在特高压线路附近进行勘探时, 特高压线路的电流变化会在地下产生二次感应电流, 与地下目标体产生的感应电流相互叠加, 使得接收到的信号难以分辨, 无法准确判断地下地质体的位置和性质。

2.2 地震法勘探

地震法勘探通过人工激发地震波, 利用地震波在地下的传播特性来探测地下地质结构。然而, 特高压线路产生的电磁噪声可能会干扰地震仪器的记录, 影响地震波信号的质量。此外, 特高压线路的铁塔等基础设施可能会对地震波的传播产生散射和反射, 导致勘探结果出现偏差。

2.3 电法勘探

电法勘探利用地下岩土体的电性差异来探测地质构造。在特高压环境下, 特高压线路的高电压会在地下形

成强大的电场, 使得电法勘探的测量结果受到严重干扰, 无法准确反映地下岩土体的真实电性特征。

2.4 钻探法勘探

钻探法勘探虽然能够直接获取地下岩土体样本, 但存在成本高、效率低、对环境影响大等缺点。在特高压环境下, 钻探设备的运行可能会受到特高压线路电磁场的影响, 同时钻探过程中产生的振动和电磁干扰也可能对特高压线路的安全运行造成威胁。

3 特高压环境下隧道进洞前地质勘探技术的改进与创新

3.1 新型勘探设备研发

3.1.1 抗干扰电磁法勘探设备

针对特高压环境下的电磁干扰问题, 研发具有抗干扰能力的电磁法勘探设备。采用高精度的传感器和先进的信号处理技术, 对接收到的电磁信号进行滤波、去噪等处理。例如, 采用数字滤波算法, 能够有效滤除频率在50Hz及其倍频处的工频干扰, 同时结合小波变换去噪技术, 对信号中的随机噪声进行去除^[1]。在±800kV哈郑特高压直流输电线路附近的抗干扰电磁法勘探设备测试中, 经过信号处理后, 信号的信噪比提高了22dB以上, 有效抑制了特高压线路产生的电磁干扰。同时, 优化设备的发射和接收系统, 提高信号的信噪比。采用大功率发射机和多通道接收机, 发射功率可达5kW, 接收通道数可达32个, 确保勘探数据的准确性。

3.1.2 低噪声地震法勘探设备

为了降低特高压线路电磁噪声对地震法勘探的影响, 研发低噪声地震法勘探设备。采用新型的传感器材料和结构设计, 提高传感器的灵敏度和抗干扰能力。例如, 采用压电陶瓷传感器, 其灵敏度可达120V/(m/s)以上, 同时采用屏蔽外壳和接地技术, 将传感器与外界电

磁场隔离^[2]。在1000kV皖电东送特高压交流输电线路附近的低噪声地震法勘探设备实际应用中,在特高压线路附近的电磁噪声环境下,接收到的地震信号质量明显提高,信号的信噪比从原来的8dB左右提高到了28dB以上。同时,改进地震仪器的数据采集和处理系统,采用自适应滤波、小波变换等技术,对地震波信号进行实时处理,去除噪声干扰。自适应滤波算法能够根据输入信号的特性自动调整滤波器参数,有效去除特定频率的噪声;小波变换技术则可以对信号进行多尺度分析,将噪声和有效信号分离。

3.1.3 高精度电法勘探设备

研发高精度电法勘探设备,采用特殊的电极材料和测量电路,减小特高压线路电场对电法勘探的影响。例如,采用屏蔽电极技术,将电极与外界电磁场隔离。屏蔽电极由导电性能良好的铜合金材料制成,通过接地与大地形成等电位体,有效屏蔽了特高压线路产生的电场。在±800kV灵绍特高压直流输电线路附近的高精度电法勘探设备测试中,采用屏蔽电极后,测量得到的视电阻率值与实际值的偏差从原来的25%-35%降低到了4%以内。同时,结合先进的反演算法,对电法勘探数据进行处理和解释。采用最小二乘法、遗传算法等反演算法,能够准确获取地下岩土体的电性特征和地质构造信息。

3.2 数据处理与分析方法优化

3.2.1 多源数据融合处理

在特高压环境下,单一的地质勘探方法往往难以获得准确的地质信息。因此,采用多源数据融合处理技术,将电磁法、地震法、电法等多种勘探方法获取的数据进行综合分析和处理。通过建立多源数据融合模型,充分利用各种勘探方法的优势^[3]。例如,在±800kV宾金特高压直流输电线路附近的隧道工程中,将电磁法勘探得到的视电阻率数据、地震法勘探得到的地震波速度数据和电法勘探得到的电位差数据进行融合。采用加权平均法对不同勘探方法的数据进行融合,权重根据各种勘探方法的精度和可靠性确定。经过融合处理后,对地下地质体的解释准确率提高了18%-22%。

3.2.2 智能数据分析算法

引入人工智能、机器学习等智能数据分析算法,对地质勘探数据进行深度挖掘和分析。例如,利用神经网络算法对大量的地质勘探数据进行训练和学习,建立地质特征与勘探数据之间的映射关系。在某神经网络模型的训练中,采用了1200组以上的地质勘探数据,包括视电阻率、地震波速度、电位差等参数,以及对应的地质特征信息,如岩性、断层位置等。经过训练后,神经网络

模型对地下地质体的自动识别和分类准确率达到88%以上。同时,采用聚类分析、关联规则挖掘等方法,发现地质勘探数据中的潜在规律和异常信息。聚类分析可以将相似的地质勘探数据归为一类,从而发现地质体的分布规律;关联规则挖掘可以找出不同勘探参数之间的关联关系,为地质解释提供有力支持。

3.2.3 三维地质建模技术

利用该技术可将地质勘探数据转化为直观的三维地质模型,清晰展示隧道所处地层的地质构造和岩土体分布。在±800kV雁淮特高压直流输电线路附近隧道工程中,采用Surpac、Gocad等软件,整合多种勘探方法数据建模。模型能准确反映隧道周边600m范围内地质情况,包括断层、褶皱、岩溶等的位置、形态和规模。三维地质建模技术还可与隧道施工模拟软件结合,模拟施工过程,提前发现潜在问题并制定应对措施,保障施工安全。

3.3 多技术融合应用

3.3.1 地质雷达与电磁法融合勘探

地质雷达分辨率高、探测速度快,但探测深度有限;电磁法可探测深层地质信息,但分辨率相对较低。二者融合能优势互补。地质雷达负责探测隧道洞口附近浅层地质构造,探测深度0-35m,分辨率达厘米级;电磁法探测深层地质,深度可达数百米。在1000kV榆横-潍坊特高压交流输电线路附近隧道工程中,地质雷达发现洞口附近6m厚松散堆积层,电磁法发现距洞口120m处低阻异常区(疑似断层破碎带)。经数据融合处理,明确了浅层松散堆积层与深层断层破碎带位置和范围,为隧道进洞施工提供全面地质依据。

3.3.2 无人机航测与地面勘探融合

无人机航测可快速获取大面积地表信息,飞行高度150-500m,拍摄分辨率达厘米级;地面勘探能获取详细地质数据。二者融合可综合分析隧道地质环境^[4]。在±800kV扎青特高压直流输电线路附近隧道工程中,无人机航测获取周边6km²地形地貌数据,结合地面勘探数据,发现隧道区域存在滑坡隐患区,其范围与地面勘探发现的软弱地层分布区域一致。无人机航测为地面勘探部署提供指导,地面勘探数据对航测结果验证补充,提高地质勘探准确性和全面性。

3.3.3 微震监测与地质勘探融合

微震监测技术能实时监测隧道周边岩体应力变化和微破裂活动,采集微震事件的时间、位置、能量等信息。将其与地质勘探数据融合分析,可及时发现地质灾害隐患。在±800kV滇西北-广东特高压直流输电线路附近隧道工程中,微震监测系统一个月内监测到250余个微震

事件,结合地质勘探数据,发现某段落存在岩爆风险。及时采取加强支护、喷水降尘等措施,避免事故发生。通过建立微震监测与地质灾害预警模型,可提前预警地质灾害,保障施工安全。

4 工程案例

4.1 工程概况

±800kV酒湖特高压直流输电线路附近的某隧道工程,位于甘肃酒泉地区,全长1800m。该区域地质条件复杂,存在断层、破碎带等不良地质现象,且周边有特高压输电线路穿过,给隧道进洞前的地质勘探工作带来了巨大挑战。

4.2 勘探方法选择

针对特高压环境下的地质勘探难题,采用了多种勘探方法相结合的综合勘探方案。具体包括:

抗干扰电磁法勘探:在隧道洞口周边布置了6条电磁法勘探测线,测线间距为60m,测点间距为12m。采用抗干扰电磁法勘探设备进行数据采集,采集时间为每天的凌晨1-5点,以减少外界电磁干扰。通过对采集到的数据进行处理和分析,初步了解隧道所处地层的电性特征和可能存在的地质异常体。

低噪声地震法勘探:在电磁法勘探的基础上,进行了低噪声地震法勘探。采用可控源音频大地电磁深探(CSAMT)和反射地震法相结合的方式。CSAMT测线布置与电磁法测线一致,发射源距测线600m,发射频率范围为0.1-10000Hz;反射地震法采用了32道地震仪,道间距为6m,偏移距为60m,激发方式为炸药激发。获取了隧道所处地层的深部地质构造信息。

钻探法勘探:在电磁法和地震法勘探确定的重点区域进行了钻探法勘探,共布置了12个钻孔,钻孔深度为60-120m。获取了地下岩土体样本,进行了室内试验分析,确定了岩土体的物理力学性质,如密度、含水量、抗压强度等。

4.3 勘探结果分析

电磁法勘探结果:通过抗干扰电磁法勘探,发现隧道洞口附近存在一处低阻异常区,视电阻率值在 $8-25\Omega\cdot m$ 之间,初步判断可能为断层破碎带或岩溶发育区。该低阻异常区的范围约为 $120m\times 60m$ 。

地震法勘探结果:低噪声地震法勘探结果显示,隧道所处地层存在多个反射界面,表明地层结构较为

复杂。结合电磁法勘探结果,进一步确定了断层破碎带和岩溶发育区的位置和范围。断层破碎带的走向为 $NW35^\circ$,倾角为 75° ,厚度约为18m;岩溶发育区主要分布在隧道右侧60-120m范围内,溶洞直径在1-4m之间。

钻探法勘探结果:钻探法勘探获取的岩土体样本分析结果表明,断层破碎带和岩溶发育区的岩土体较为破碎,含水量较高,力学性质较差。断层破碎带岩土体的密度为 $1.7-1.9g/cm^3$,含水量为18%-22%,抗压强度为4-8MPa;岩溶发育区周边岩土体的密度为 $1.9-2.1g/cm^3$,含水量为12%-18%,抗压强度为8-12MPa。

4.4 工程应用效果

根据地质勘探结果,对隧道设计方案进行了优化。在断层破碎带和岩溶发育区采取了加强支护、注浆加固等工程措施。加强支护采用了I22b工字钢拱架,间距为0.6m,并挂设 $\phi 8$ 钢筋网,网格间距为 $20cm\times 20cm$;注浆加固采用了水泥-水玻璃双液浆,注浆压力为1.2-1.8MPa。通过这些措施,确保了隧道施工的安全。同时,由于准确掌握了隧道所处地层的地质条件,避免了不必要的工程变更和返工,降低了工程成本约18%,缩短了工期约25天。

结语

特高压环境下隧道进洞前地质勘探面临挑战,但通过新型设备研发、数据处理优化及多技术融合,可提升勘探准确性与可靠性。综合勘探方案能提供全面地质信息,保障工程安全实施。未来勘探技术将向智能化、自动化、精细化发展,结合物联网实现远程监控,借助大数据与云计算提升分析能力,支持灾害预警。同时需加强地质学、地球物理与计算机等多学科融合,推动技术持续进步。

参考文献

- [1]郑佳晨,张冬旺,邹坤.地质勘探方法对隧道施工的影响与应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(19):149-151.
- [2]师永翔.综合勘探在隧道工程地质勘察中的应用研究[J].黑龙江交通科技,2021,44(06):137+140.
- [3]高芳芳.复杂地质条件下公路隧道工程地质勘探技术分析[J].四川水泥,2020,(06):30.
- [4]肖建波.复杂地质条件下公路隧道工程地质勘探技术分析[J].建材与装饰,2020,(12):265-266.