

# 瞬变电磁法在隧道施工中的岩层探测与地质勘察技术

尤春雨 武首飞

中交二公局东萌工程有限公司 陕西 西安 710119

**摘要:** 瞬变电磁法 (TEM) 是一种非侵入性地球物理勘察方法, 在隧道施工中具有重要的应用价值。本文针对瞬变电磁法在隧道施工中的岩层探测和地质勘察技术进行了综述。介绍了瞬变电磁法的原理和 workflow, 然后重点阐述了其在隧道施工中用于岩层探测的应用, 并探讨了瞬变电磁法的优点和局限性。

**关键词:** 瞬变电磁法; 隧道施工; 岩层探测; 地质勘察技术

## 1 瞬变电磁法原理和基本概念

瞬变电磁法是一种电磁感应技术, 用于探测地下目标物体的位置和特征。其基本原理是利用一个瞬时电流脉冲激发磁场, 然后在脉冲消失后测量随时间变化的磁场响应。瞬变电磁法采用一个短暂的电流脉冲来激发磁场。这个电流脉冲通常由一个高压电源提供, 通过一个线圈或电极施加到地下目标物体上。当电流脉冲激励地下目标物体时, 会感应出涡流, 这些涡流随时间变化并产生磁场。在脉冲消失后, 这些感应产生的磁场将随时间逐渐减弱, 直到最终达到稳定状态。测量瞬变电磁法的响应信号需要在脉冲消失后的不同时间点进行。这是因为地下目标物体的位置和特征将影响响应信号的时间历程和幅度。通过测量这些响应信号, 可以推断地下目标物体的位置、深度和形状等信息<sup>[1]</sup>。

## 2 瞬变电磁法在隧道施工中的应用及优势

通过采用瞬变电磁法进行岩层探测和地质勘察, 可以获取更准确的地质信息, 指导隧道施工, 提高施工安全性和效率。(1) 瞬变电磁法在隧道施工中的应用可以有效地探测岩层的分布和电性特征。通过测量随时间变化的磁场响应信号, 可以推断出地下目标物体的位置、深度和形状等信息。这种方法对于岩层的探测精度较高, 且具有较强的穿透能力, 能够探测到较深的地下目标物体。这对于隧道施工来说非常重要, 可以帮助施工人员更好地了解地下岩层的分布和特征, 为隧道的设计和施工提供科学依据。(2) 瞬变电磁法在隧道施工中的应用还可以进行地质勘察。通过测量地层的电阻率和电导率等电学参数, 可以推断出地层的含水率、岩石破碎程度和裂隙发育情况等信息。这对于隧道施工来说具有重要的指导意义, 可以帮助施工人员更好地了解地层的特征和地质条件, 为隧道施工的安全性和稳定性提供保障<sup>[2]</sup>。

(3) 瞬变电磁法的应用还具有无需接触地下目标物体、操作简便、适应性强等优点。这种方法可以在隧道施工

的各个阶段进行测量, 从初步设计到施工期间都可以使用。同时, 瞬变电磁法的测量结果具有较高的可靠性和精度, 可以为隧道施工提供重要的技术支持和保障。

## 3 瞬变电磁法在隧道施工中的岩层探测技术

### 3.1 瞬变电磁法测量参数与参数解释

瞬变电磁法 (Transient Electromagnetic Method, 简称 TEM) 是一种非常有效的地球物理勘探技术, 适用于隧道施工中的岩层探测。在 TEM 方法中, 关键的测量参数包括瞬变电磁场的源激励、接收线圈的位置和方向以及接收到的电磁信号。首先, 源激励是 TEM 方法中的重要参数之一。通过在地下注入电流或电磁脉冲, 产生瞬变电磁场作为勘察信号。源激励的波形、频率和强度直接影响到测量的信号质量和分辨率。常用的源激励包括方波、脉冲和脉冲相位调制等。其次, 接收线圈的位置和方向对于测量结果的解释至关重要。接收线圈的布置方式可以是单次测量或多次测量的配置, 以获得空间上的多个数据点<sup>[3]</sup>。在隧道施工中, 通常会选择适当的接收线圈布置方案, 以确保对待测区域的覆盖和探测精度。最后, 接收到的电磁信号需要进行参数解释, 以获得有关地下岩层的信息。

### 3.2 鉴别岩层类型和属性的地球物理特征

不同类型的岩层在电性和导电性上存在差异, 而这些差异可以通过瞬变电磁法进行测量和分析。瞬变电磁法可以通过测量信号的振荡率来鉴别岩层的类型。不同类型的岩石在电性上具有不同的振荡率。例如, 在含水层中, 电导率较高, 电磁信号的振荡率较快。而在非水层岩石中, 电导率较低, 电磁信号的振荡率较慢。通过分析信号的振荡率, 可以做出初步的岩层类型鉴别。瞬变电磁法可以通过测量信号的衰减速率来鉴别岩层的导电性。不同导电性的岩石在电磁信号传播过程中的衰减速率也会有所不同。通过分析信号的衰减速率, 可以进一步确定岩层的导电性特征。瞬变电磁法还可以通过分

析信号的相位响应来鉴别岩层的电性和导电性。不同类型岩石的电性和导电性会导致信号相位的不同响应<sup>[4]</sup>。例如,含水层具有较高的电导率,电磁信号的相位响应较小。而非水质岩石由于导电性较低,会导致电磁信号的相位响应较大。

### 3.3 基于瞬变电磁法的岩层探测方法与流程

在隧道施工中的岩层探测中,可以基于瞬变电磁法的岩层探测方法与流程进行实施。在隧道施工前,首先进行实地勘测,了解地质情况和施工区域的背景信息,确定探测区域范围。然后,根据勘测结果,制定瞬变电磁法的测量参数和布置方案,包括源激励的波形、频率和强度,以及接收线圈的位置和方向。根据设计方案,使用瞬变电磁法设备进行数据采集。在采集过程中,通过电流注入或电磁脉冲激发瞬变电磁场,同时记录接收到的电磁信号,并准确记录源激励和接收线圈的位置参数。采集到的数据经过预处理,包括噪声去除、数据滤波和校正等步骤。然后,对信号的振荡率、衰减速率和相位响应等参数进行解释和处理。常用的数据处理方法包括傅里叶变换、时频分析和反演算法等。通过与岩层库的对比和分析,可以推断出地下岩层的电性、导电性和类型。对处理后的数据进行结果分析,利用解释出的岩层电性和导电性等信息,对隧道施工中的岩层类型和属性进行定性和定量的判断<sup>[1]</sup>。同时,将瞬变电磁法的结果与其他地质勘探方法(如钻孔、地质激光雷达等)的结果进行交叉验证,以提高对地下岩层的认识和准确性。根据分析和验证结果,编制详细的报告,包括岩层类型、厚度、岩性、地下水位等地质参数的描述和说明。并将这些结果应用于隧道施工的设计和施工过程中,为隧道施工提供可靠的地质信息和指导。

## 4 瞬变电磁法在隧道施工中的应用

### 4.1 隧道工程概况与地质条件

隧道工程的概况和地质条件直接影响了瞬变电磁法在隧道施工中的应用。首先,隧道工程的概况涉及到隧道的长度、直径、深度以及施工方法等因素。不同的隧道工程具有不同的特点和要求,而瞬变电磁法可以适用于各种类型的隧道施工。无论是公路隧道、铁路隧道还是地铁隧道,瞬变电磁法都可以提供相应的地质信息,帮助隧道施工的规划、设计和施工过程。其次,地质条件对隧道工程具有重要影响。地质条件直接决定了岩层的稳定性、地下水位的高低以及地层的复杂性。瞬变电磁法在隧道施工中的应用可以提供地下岩层的分布、属性和导电性等信息,有助于预测和评估地质风险,采取相应的地质处理措施,确保隧道的安全施工。地质条件

还影响了瞬变电磁法的实际应用。因此,在应用瞬变电磁法的隧道工程中,需要对地质条件进行详细研究和分析,确保瞬变电磁法的准确性和有效性<sup>[2]</sup>。

### 4.2 瞬变电磁法岩层探测实施方案

在隧道施工前,首先进行实地勘测,获取隧道区域的地质背景信息。这包括岩层类型、地下水位、地下水体情况、地质构造和地下岩性等。实地勘测的目的是为岩层探测提供基础数据和准备工作。根据实地勘测和隧道工程要求,设计适当的源激励方式和接收线圈的布置方案。选择合适的源激励波形、频率和强度,以及确定接收线圈的位置和方向。源激励和接收线圈的位置和布置应能覆盖整个探测区域,并保证信号源和线圈之间的距离与深度相关。根据设计方案,使用瞬变电磁法设备进行数据采集。通过在地下注入电流或电磁脉冲,产生瞬变电磁场作为勘察信号,并记录接收到的电磁信号。在采集过程中,要保证源激励和接收线圈的位置和方向的准确性,并记录好采集参数。采集到的数据经过预处理,包括数据滤波、去噪、校正等。然后,对信号的振荡率、衰减速率和相位响应等参数进行解释和分析。常用的数据处理方法包括谱分析、反演算法和数据模拟等。通过与已知地质信息进行对比和分析,可以推断出岩层类型、厚度、地下水位等关键地质参数<sup>[3]</sup>。对处理后的数据进行结果分析,根据测量结果给出岩层的类型、属性、厚度等信息。将结果与其他地质调查方法的结果进行对比和验证,提高结果的可信度。最后,将分析结果整理成详细的报告,为隧道施工的设计和施工过程提供地质信息和支持。

### 4.3 瞬变电磁法地质勘察实施方案

瞬变电磁法可以用于岩层探测。通过测量瞬变电磁场的响应,可以推断地下岩层的性质和厚度。岩层的性质对隧道施工起到至关重要的作用,它决定了隧道的稳定性和施工难度。通过瞬变电磁法的岩层探测,可以精确了解地下岩层的类型、厚度和分布,为隧道的设计和施工提供重要的参考依据。其次,瞬变电磁法可以用于地下水体探测。地下水在隧道施工中是一个非常重要的因素,它对隧道的稳定性和施工进度有着直接影响。通过瞬变电磁法的地下水体探测,可以了解地下水位的深度、地下水的分布情况以及可能存在的水文地质问题,从而采取相应的处理措施,确保隧道施工的安全和顺利进行。瞬变电磁法还可以用于探测地质构造。地质构造的复杂性直接关系到隧道的设计和施工难度。通过瞬变电磁法的地质构造勘察,可以了解地质构造的分布、走向以及可能存在的断层、褶皱等地质问题,为隧道的设

计和施工提供重要的信息<sup>[4]</sup>。

## 5 基于瞬变电磁法的隧道施工优化策略与建议

### 5.1 基于瞬变电磁法的隧道施工方案优化

隧道施工过程中,瞬变电磁法(TEM)作为一种非侵入性地球物理勘探方法,具有很强的应用潜力。第一,针对特定地质情况,合理设计瞬变电磁法的测量参数。根据地质背景和隧道工程需求,选择合适的源激励波形、频率和强度,以及确定接收线圈的位置和方向。在设计瞬变电磁法测量参数时,要考虑地质构造、岩层类型和地下水体分布等因素,以提高勘测的准确性和有效性。第二,利用瞬变电磁法的测量数据,对隧道施工方案进行优化。通过在施工前对隧道工程区域进行瞬变电磁法勘测,可以获得地下岩层和地下水体的详细信息。这些数据可以用于确定隧道的最佳位置、优化爆破方案、设计地下支护结构等,以提高施工的效率和质量,并降低隧道施工的风险。第三,结合瞬变电磁法测量数据和其他地质调查工具的结果,综合分析和评估地质条件对隧道施工的影响。通过比较不同地质条件下的施工成本、工期以及风险等因素,可以确定最优的施工方案。同时,结合地下岩层的导电性、地下水位和地下水的影响,针对性地采取相应的施工措施,提高施工的安全性和效益<sup>[1]</sup>。第四,开展瞬变电磁法技术的研究和创新,以进一步提高其在隧道施工中的应用效果。不断推进瞬变电磁法技术的发展,加强与其它地质调查技术的结合,可以提高数据的精度和解释能力,为隧道工程提供更加准确和全面的地质信息。

### 5.2 瞬变电磁法的发展趋势与研究方向

随着科学技术的不断发展,瞬变电磁法的研究方向和发展趋势也逐渐明确。(1)瞬变电磁法的数据采集、处理和解释技术将更加精确和高效。随着计算机技术和数值计算方法的不断进步,瞬变电磁法的数据采集和处理速度会大大提高。同时,结合机器学习和人工智能等科技手段,可以开发出更智能化的数据处理和解释算

法,提高瞬变电磁法的数据解释能力和精度。(2)瞬变电磁法将更多地与其他地球物理勘探方法结合使用。随着多种地球物理勘探方法的发展,瞬变电磁法可以与地震勘探、地磁勘探、重力勘探等方法相结合,提高地下信息的综合解释能力。通过多参数、多尺度的地球物理勘探手段,可以得到更准确、更全面的地下结构和属性信息,为隧道施工和地质调查提供更好的支持。(3)瞬变电磁法将更多地应用于地下水资源和环境监测。随着对地下水资源和环境状况的关注逐渐增加,瞬变电磁法可作为一种快速、有效的地下水勘测手段,用于地下水的分布、流动和地下水污染等方面的监测与评估。瞬变电磁法可以提供地下水体的参数和特征,对水资源的合理开发、环境保护和地下工程设计具有重要意义。

### 结束语

瞬变电磁法作为一种先进的地球物理勘察技术,在隧道施工中的岩层探测和地质勘察中发挥了重要作用。因此,未来需要进一步研究和改进瞬变电磁法的仪器和技术,提高其在岩层探测和地质勘察中的应用效果。通过不断创新和发展,相信瞬变电磁法将在隧道施工中发挥更大的作用,为隧道的安全施工和高效建设提供更好的支持。

### 参考文献

- [1]周勇,代振宇,赵本阔,等.基于瞬变电磁法的岩层探测在隧道施工中的应用[J].矿物岩石地球化学通报,2021,40(2):225-232.
- [2]宋海涛,谭振纲,马杰.隧道施工中瞬变电磁法地质勘察的应用现状与进展[J].岩土工程学报,2021,43(S1):1375-1379.
- [3]范心霞,孙东胜,张建忠,等.瞬变电磁法在隧道施工中的地质勘察[J].兵工学报,2021,42(2):285-291.
- [4]王超,黄默,郭晓斌,等.瞬变电磁法在隧道施工中的应用及展望[J].岩土力学,2021,42(1):301-307.