

# 综合地球物理勘探方法在岩体质量等级判别中的应用研究

木盼盼 唐 样 刘 猛 马 冲 张全锋

天津华北地质勘查局核工业二四七大队 天津 301800

**摘要:** 综合地球物理勘探方法在岩体质量等级判别中应用广泛。本文阐述岩体质量核心影响因素与判别体系,介绍常用勘探方法原理及适用性,构建综合应用体系,包括方法选择、数据采集处理、解释及判定流程。分析应用中的制约因素,提出优化策略,为提高岩体质量判别精度与可靠性,提供理论支撑与实践指导。

**关键词:** 综合地球物理勘探;岩体质量等级判别;勘探方法;应用体系;优化策略

引言:岩体质量等级判别对工程设计与施工意义重大,准确判别能够保障工程安全稳定。传统方法存在一定局限性,综合地球物理勘探方法因可获取多方面信息而受到广泛关注。这种方法涵盖多种勘探手段,综合运用能提高判别准确性。深入研究该方法在岩体质量等级判别中的应用,对推动工程地质领域发展具备重要价值。

## 1 岩体质量等级判别的核心理论基础

### 1.1 岩体质量核心影响因素

岩体质量受多种因素综合影响,其中岩体结构面发育特征是关键因素之一。结构面的产状,即走向、倾向和倾角,决定了岩体在空间上的受力状态与变形破坏模式。结构面间距大小直接影响岩体完整性,间距越小,岩体被切割得越破碎,完整性越差。连续性则反映了结构面在空间上的延伸程度,连续性好的结构面可能贯穿整个岩体,对岩体稳定性构成严重威胁。岩体完整性程度也是衡量岩体质量的重要指标<sup>[1]</sup>。完整性好的岩体,结构面稀少且不发育,岩石块度大,整体性强,在工程荷载作用下能够保持较好的稳定性。相反,完整性差的岩体,结构面密集且相互交错,岩石破碎,容易发生失稳破坏。岩体力学性质关联参数同样对岩体质量有着重要影响。弹性模量反映了岩体抵抗弹性变形的能力,弹性模量越大,岩体在受力时变形越小,稳定性相对较好。波速与岩体的密实程度和完整性密切相关,波速越高,表明岩体越密实、完整,质量越高。地下水对岩体质量的影响不容忽视。地下水在岩体中流动时,会对岩体产生物理和化学作用。物理作用方面,地下水的水压力会降低岩体的有效应力,削弱岩体的抗剪强度,增加岩体失稳的可能性。化学作用方面,地下水中的化学成分会与岩石发生反应,导致岩石的矿物成分和结构发生变化,进而影响岩体的力学性质。

### 1.2 主流岩体质量等级判别体系核心内涵

主流岩体质量等级判别体系以一系列核心指标为基

础,依据特定的分级逻辑对岩体质量进行划分。这些核心指标综合考虑了岩体结构、完整性、力学性质等多方面因素。分级逻辑通常是指标的数值范围或特征,将岩体划分为不同的等级。不同等级的岩体具有各自的核心特征。高等级岩体结构面稀少,每平方米结构面数量一般少于3条,完整性好,力学性质优良,在工程中表现为稳定性高,能够承受较大的荷载。低等级岩体则结构面发育,每平方米结构面数量通常多于8条,完整性差,力学性质较弱,在工程荷载作用下容易发生变形破坏,对工程安全构成较大威胁。不同等级岩体的工程响应也有所不同,高等级岩体适合作为工程的基础或承载结构,而低等级岩体则需要采取加固措施或避免作为关键部位。

### 1.3 地球物理勘探与岩体质量的关联机理

岩体物理性质与质量等级存在内在关联。密度是岩体的重要物理性质之一,不同质量等级的岩体密度往往存在差异。一般来说,质量等级高的岩体密度较大,密度大于 $2.6\text{g}/\text{cm}^3$ 的岩体质量相对较高,质量等级低的岩体密度较小。电阻率反映了岩体导电能力,与岩体的成分、含水量等因素有关,不同质量等级的岩体电阻率特征不同。波阻抗是波速与密度的乘积,也能在一定程度上反映岩体质量。地球物理场响应与岩体结构、完整性存在对应关系。当岩体结构完整时,地球物理场响应相对均匀稳定。而当岩体存在结构面或破碎带时,地球物理场会出现异常变化,如电阻率降低、波速变慢等。当电阻率降低至 $100\Omega\cdot\text{m}$ 以下,波速慢于 $2000\text{m}/\text{s}$ 时,可推断岩体存在结构面或破碎带,通过分析地球物理场响应特征,可以推断岩体结构和完整性状况,进而对岩体质量等级进行判别。

## 2 岩体质量判别常用地球物理勘探方法原理与适用性

### 2.1 地震勘探方法

地震勘探方法以弹性波传播规律为核心原理。当人

工激发地震波后，波在岩体中传播，遇到不同性质界面会发生反射、折射等现象。通过分析接收到的地震波信息，可了解地下岩体结构。关键探测参数如纵波速、横波速、波速比等与岩体质量紧密相关。纵波速和横波速能反映岩体的弹性性质，一般来说，完整、坚硬的岩体纵波速和横波速较高，而破碎、松软的岩体则较低。波速比（纵波速与横波速之比）可进一步揭示岩体的泊松比等力学特性，不同质量等级岩体的波速比存在差异。在岩体质量判别中，地震勘探方法适用性较强，能探测较大深度范围的岩体情况，对断层、破碎带等地质构造有较好的识别能力。但局限性也明显，在复杂地形条件下，数据采集和处理难度增大，且对浅部岩体质量判别精度可能受影响。

### 2.2 电阻率勘探方法

电阻率勘探方法基于岩石导电性差异。不同类型岩石因矿物成分、含水性等因素，导电性不同。通过测量地下岩体的电阻率分布，可推断岩体性质。电阻率响应与岩体完整性、含水性关联紧密<sup>[2]</sup>。完整岩体电阻率通常较高，完整岩体电阻率一般大于 $500\Omega\cdot m$ ，当岩体破碎或存在裂隙时，含水性增加，电阻率降低。根据电阻率变化特征，可判断岩体完整性程度和含水状况，如图1所示。此方法在岩体质量判别中，对含水性变化敏感，适合探测地下水位附近的岩体质量。然而，在电阻率差异不明显的地区，或存在多种干扰因素时，判别精度会下降。

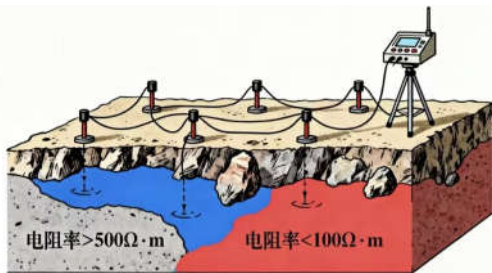


图1

### 2.3 重力勘探方法

重力勘探方法依据重力场差异开展工作。地下岩体因密度不同会产生重力异常，通过测量重力场变化，可推测地下岩体密度分布。密度异常与岩体结构完整性、岩性变化存在关联。完整、致密的岩体密度较大，重力异常明显；而破碎、疏松的岩体密度较小，重力异常相对较弱。重力异常值大于5毫伽时，可能对应着密度较大的完整、致密岩体。根据重力异常特征，可分析岩体结构完整性及岩性变化情况。重力勘探方法适用于大面积岩体质量初步调查，能快速圈定密度异常区域。但分辨率相对较低，对小尺度岩体质量变化判别能力有限。

### 2.4 磁法勘探方法

磁法勘探方法以岩石磁性差异为基础。不同岩石因矿物成分不同，磁性存在差异，通过测量磁场变化，可推断地下岩体性质。磁性异常与岩体构造发育、岩性分界有关。构造发育区域，岩石破碎，磁性可能发生变化；不同岩性分界处，磁性也会出现差异。磁性异常强度大于 $100nT$ 时，可能暗示着岩体构造发育或存在岩性分界。根据磁性异常特征，可分析岩体构造和岩性分布。磁法勘探方法在探测磁性矿物含量较高的岩体质量时效果较好，但受外界磁场干扰较大，且对非磁性岩体质量判别能力较弱。

### 2.5 其他辅助勘探方法（声波、雷达等）

声波勘探方法利用声波在岩体中传播特性，关键探测参数为声波速度。声波速度与岩体弹性性质相关，完整岩体声波速度高，破碎岩体声波速度低，可辅助判断岩体质量。雷达勘探方法通过发射高频电磁波并接收反射波，分析反射波特征了解地下岩体结构。对浅部岩体质量判别有一定作用，尤其在探测岩体中的空洞、裂隙等方面效果较好。这些辅助勘探方法在特定场景下，能为岩体质量判别提供补充信息，提高判别准确性。

## 3 综合地球物理勘探方法在岩体质量判别中的应用体系构建

### 3.1 综合勘探方法选择原则

在构建综合地球物理勘探方法体系时，方法选择需遵循一定原则。首先，要依据勘探目标与工程场景确定方法匹配逻辑<sup>[3]</sup>。不同工程场景对岩体质量判别的要求不同，如大型水利工程需精确了解深部岩体质量，深部岩体探测深度要求达到800米以上，而边坡工程更关注浅部岩体稳定性，浅部岩体探测深度一般在50米以内。根据这些需求，选择能针对性获取关键信息的勘探方法，确保勘探结果满足工程实际。单一方法存在局限性，因此要遵循互补性与协同增效原则。每种地球物理勘探方法都有自身优势与不足，如地震勘探对深部构造探测效果好，但对浅部细节分辨能力有限；电阻率勘探对含水性敏感，但易受地形影响。将多种方法综合运用，可发挥各自优势，弥补彼此不足，提高岩体质量判别的准确性与可靠性。

### 3.2 综合勘探数据采集与预处理技术

多方法数据采集需协同设计。测线布置要综合考虑各方法特点与勘探目标，使不同方法测线相互配合，覆盖关键区域，避免重复与遗漏。测线间距一般设置为20-50米，参数匹配也至关重要，确保不同方法采集的数据在空间和时间上具有可比性，为后续数据融合处理奠

定基础。原始数据往往存在噪声干扰,需进行降噪、校正等预处理。降噪可去除随机噪声与干扰信号,提高数据质量;校正能消除仪器误差、地形影响等因素,使数据更真实反映地下岩体特征。此外,多源数据格式多样,需统一与标准化处理,以便后续融合分析。

### 3.3 综合地球物理数据解释方法体系

先对单方法数据进行初步解释,提取岩体特征信息。如地震勘探数据可分析波速、反射层结构,电阻率勘探数据可了解电阻率分布等。这些初步结果为后续多源数据融合解释提供基础。多源数据融合解释技术包括定性、定量融合。定性融合综合各方法解释结果,从整体上把握岩体特征;定量融合则通过数学模型将不同方法数据融合,得出更精确的岩体参数。基于岩体质量判别指标,建立解释参数映射方法,将地球物理参数转化为可直接用于岩体质量判别的指标。

### 3.4 综合勘探结果与岩体质量等级的对应判定流程

从地球物理响应反演岩体质量影响因素。通过分析地球物理数据特征,推断岩体结构、完整性、含水性等因素,明确各因素对岩体质量的影响程度。基于综合勘探参数确定岩体质量等级判定步骤。综合各因素影响,依据相关标准与经验,将岩体划分为不同质量等级,为工程设计与施工提供科学依据。

## 4 综合地球物理勘探方法应用的关键问题与优化策略

### 4.1 应用中的核心制约因素

在综合地球物理勘探方法应用过程中,存在诸多核心制约因素。复杂地质条件对地球物理响应干扰显著,不同岩性、构造及地下水位等因素相互交织,使地球物理信号变得复杂多样,难以准确提取与岩体质量直接相关的有效信息,干扰了对真实地质情况的判断<sup>[4]</sup>。多源数据融合时面临不确定性来源问题。不同地球物理勘探方法原理各异,数据采集与处理方式不同,导致数据在精度、分辨率和可靠性等方面存在差异。这些差异在融合过程中可能引发不确定性,影响最终融合结果的准确性,进而影响岩体质量判别的可靠性。地球物理参数与岩体质量指标映射存在模糊性。地球物理参数反映的是岩体的物理性质,而岩体质量指标涉及岩体力学性质、完整性等多

个方面,二者之间并非简单的线性关系。这种映射的模糊性使得从地球物理参数准确推导岩体质量指标变得困难,增加了岩体质量判别的确定性。

### 4.2 优化策略与改进方向

针对勘探技术参数,需开展优化设计。依据具体地质条件和勘探目标,通过数值模拟、试验研究等手段,确定最佳的激发能量、接收间距、采样率等参数,提高数据采集质量,增强地球物理信号的分辨率和抗干扰能力。激发能量可设置为500-1000J,接收间距设置为10-30米,采样率设置为0.1-0.5ms。多源数据融合算法改进是关键。研发更先进的数据融合算法,充分考虑不同数据源的特点和不确定性,采用加权融合、模糊融合等方法,提高融合结果的准确性和可靠性,更精准地反映地下岩体特征。不确定性量化与误差控制也不容忽视。建立不确定性量化模型,对勘探过程中的各种误差源进行定量分析,通过误差传递理论评估最终结果的不确定性。在此基础上,采取相应措施控制误差,提高综合地球物理勘探方法在岩体质量判别中的精度和可靠性。

### 结束语

综合地球物理勘探方法在岩体质量等级判别中虽面临复杂地质条件干扰、多源数据融合不确定性等问题,但通过优化勘探技术参数、改进融合算法、量化不确定性与控制误差等策略,能有效提升判别精度与可靠性。这为工程实践提供了有力支持,有助于保障各类工程的安全建设与稳定运行。

### 参考文献

- [1]李叶飞,欧健,莫亚军,等.地球物理方法在北部湾干热岩探测中的应用[J].矿产勘查,2024,15(9):1634-1641.
- [2]葛欢,韩猛,刘磊,等.高温煤岩体电性特征及地球物理数值模拟研究[J].煤矿安全,2023,54(11):92-98.
- [3]王金鑫,张嵩松,赵文广,等.综合地球物理勘探方法在安徽范水洼地区金矿找矿中的应用[J].中国地质调查,2021,8(5):35-44.
- [4]区小毅,杨富强,莫亚军,等.桂东南地区干热岩地球物理勘查与资源潜力分析[J].地质通报,2025,44(6):993-1006.