

矿产勘查中物探与化探数据综合解释方法分析

李海兰

普洱云皓矿业有限公司 云南普洱 665099

摘要: 随着科技的不断进步与地质勘查需求的日益增长,国内物探与化探领域取得了显著进展。近年来,研究者们不仅在传统地球化学图构建方法上持续创新,还深入探索了高精度重力勘探、重磁放综合物探等新技术在矿产资源勘查中的应用,有效提升了地下空洞及稀土矿等资源的探测精度与效率。同时,针对覆盖区矿产资源地球化学勘查的难题,一系列新方法、新技术的研发与应用,为解决复杂地质条件下的资源勘查提供了有力支撑。这些研究成果不仅丰富了物探与化探的理论体系,也为我国矿产资源的可持续开发利用奠定了坚实基础。

关键词: 矿产勘查;物探数据;化探数据;综合解释方法

引言

矿产资源作为国家经济发展的重要物质基础,其勘查工作至关重要。物探与化探是矿产勘查中常用的两种技术手段,物探通过观测和研究地球物理场的变化来探测地下地质体,化探则是分析地球化学元素分布特征来寻找矿化信息。然而,单一物探或化探数据解释存在一定局限性,物探数据易受多种因素干扰,解释结果具有多解性。化探数据受地表覆盖、采样条件等影响,信息反映不够全面。因此,对物探与化探数据进行综合解释,充分发挥两者优势,提高找矿效果,成为矿产勘查领域的研究热点。综合解释方法能够更全面、准确地刻画地下地质情况,为矿产勘查决策提供可靠依据,对提升矿产资源勘查效率与质量具有重要意义。

一、物探与化探数据特点及融合难点

(一) 物探数据特点

物探数据天然具备多解性的特质,同一地球物理异常往往可能由不同的地质体所引发。就拿重力异常来说,它既可能源于密度差异较大的各类岩石,也可能由矿体产生。仅仅依据重力数据,很难精准地判断地下真实的地质情况。不仅如此,物探数据还会受到诸多因素的干扰。复杂的地形状况,会使物探测量结果出现偏差,影响数据的准确性。地质构造的复杂程度,更是大大增加了数据解释的难度。而且,物探方法种类极为繁多,不同方法在探测深度、分辨率以及适用条件等方面都存在差异,单一方法获取的信息十分有限,只有综合多种物探数据,才能更全面、深入地了解地下地质状况。

(二) 化探数据特点

化探数据主要反映的是地球化学元素在地表或者近地表位置的分布特征,其数据质量极易受到多种因素的较大影响。地表植被覆盖的疏密程度、土壤层厚度的差异等,都会干扰化探样品的顺利采集以及元素含量的精准测定。而且,不同的采样介质里,元素的迁移和富集规律各不相同,这无疑会使化探数据产生一定误差。此外,化探数据还呈现出明显的区域性差异,不同地区的地质背景和成矿条件千差万别,元素分布特征也大相径庭,这极大地增加了数据解释的复杂程度。同时,化探数据主要聚焦于地表信息,对深部矿化信息的反映不够直接,往往需要与其他相关数据结合分析。

(三) 数据融合难点

物探与化探数据在数据类型、数据格式、数据精度等方面存在差异,给数据融合带来困难。物探数据多为连续的物理量测量值,化探数据是离散的化学元素含量值,数据类型不同难以直接融合。不同物探和化探方法的数据格式不统一,需进行数据转换和标准化处理。数据精度方面,物探和化探测量精度受仪器设备、测量环境等因素影响,精度不一致会影响融合效果。此外,两种数据反映的地质信息侧重点不同,如何将不同信息有效整合,提取有价值的地质信息,是数据融合面临的重要挑战。

二、物探与化探数据预处理方法

(一) 数据清洗

数据清洗是数据处理流程中极为关键的一环,其核心任务是去除数据里存在的错误、重复以及不完整的信息,以此提升数据的整体质量。在物探数据处理中,需

仔细检查测量数据的合理性与一致性，像因仪器突发故障、测量环境受到强烈干扰等因素而产生的异常值，都要果断剔除。对于化探数据而言，要着重检查样品采集以及分析测试过程中可能出现的误差，把那些明显不合理的数据筛选出来。比如化探元素含量远远超出正常范围，或者与周边样品数据差异巨大的情况，都需进一步核实并妥善处理。经过严谨的数据清洗，能为后续的深入分析筑牢可靠基础。

（二）数据标准化

在物探与化探数据的综合分析过程中，一个亟待解决的问题是二者量纲和数量级差异显著。由于这种差异，若直接将它们融合分析，量级较大的数据极有可能在结果中占据主导地位，进而严重影响解释的准确性，使分析结果偏离真实情况。数据标准化是解决这一难题的有效手段，它能够把不同类型的数据转换到相同的量纲和数量级范围，从根本上消除数据间的差异影响。常用的标准化方法丰富多样，其中最小-最大标准化可将数据通过线性变换映射到 $[0, 1]$ 区间。 Z -score 标准化则能使数据的均值变为0、标准差变为1。经过数据标准化处理，物探与化探数据具备了可比性，为后续顺利开展综合分析奠定了坚实基础。

（三）数据降噪

在物探和化探数据的采集环节，不可避免地会受到各类噪声的干扰。就物探测量而言，仪器自身存在的电子噪声，以及外界环境中的电磁干扰、机械振动等环境噪声，都会混入数据之中。而在化探分析过程里，实验操作中的仪器精度误差、试剂纯度问题等也会带来实验误差，这些都可视为噪声。数据降噪意义重大，它能有效提高数据的信噪比，让有用的地质信息更加突出。针对物探数据，可采用滤波方法去除噪声，像低通、高通、带通滤波等，需依据噪声的频率特征来选择适宜的滤波方式。对于化探数据，则可采用平滑处理方法，如移动平均法、中值滤波法等，以此减少数据的波动，使数据能更真实、准确地反映地球化学特征。

三、物探与化探数据特征提取方法

（一）物探数据特征提取

物探数据特征提取旨在从大量测量数据中提取与地质体相关的特征信息，对于重力数据，可提取重力异常幅值、形态、梯度等特征，不同形状和规模的地质体产生的重力异常特征不同，通过分析这些特征可推断地下地质体形态和规模。磁法数据可提取磁异常总场、垂直梯度、水平梯度等特征，磁性地质体的磁性强度、产状

等会影响磁异常特征，提取这些特征有助于确定磁性体位置和产状。电法数据可提取视电阻率、极化率等特征，不同电性地质的视电阻率和极化率不同，通过分析这些特征可划分地层、圈定矿体。

（二）化探数据特征提取

化探数据特征提取是找矿工作中极为关键的一步，其核心在于从地球化学元素分布数据里精准提炼出与矿化紧密相关的特征信息。在元素含量特征方面，可计算元素平均值、标准差、变异系数等指标。元素平均值反映元素整体含量水平，标准差体现数据离散程度，变异系数则能衡量相对变异大小。元素含量异常区域往往是矿化的有利部位，这些异常数据能为找矿指明大致方向。元素组合特征也不容忽视，不同矿床类型具有特定的元素组合，通过深入分析元素间的组合关系，能有效判断矿化类型。另外，提取元素空间分布特征同样重要，如元素分布趋势、聚集程度等，它们可直观反映矿化中心和迁移方向，为精准找矿提供不可或缺的重要线索。

（三）综合特征提取

综合特征提取是将物探与化探数据特征进行整合，提取更全面、准确的地质信息。可将物探异常特征与化探异常特征进行对比分析，寻找两者之间的对应关系。例如，在物探异常区域同时出现化探元素异常，且异常特征相互印证，则该区域成矿可能性较大。还可采用数据融合技术，将物探与化探数据进行融合，提取融合后的综合特征。如将物探数据与化探数据进行主成分分析，提取主成分特征，这些主成分特征综合了物探与化探信息，能更好反映地下地质情况。

四、物探与化探数据综合解释模型构建

（一）基于地质统计学模型

地质统计学以区域化变量理论为基础，研究自然现象的空间结构与变异特征。在物探与化探数据综合解释中，可利用地质统计学方法建立空间变异函数模型，描述物探与化探数据空间变异规律。通过分析变异函数参数，如块金值、基台值、变程等，了解数据空间相关性。将物探与化探数据作为区域化变量，利用克里金插值方法对数据进行空间插值，生成连续的空间分布图，直观展示物探与化探异常空间分布特征。结合地质背景知识，对插值结果进行解释，推断地下地质体位置和规模。

（二）基于机器学习模型

机器学习模型具有强大的数据处理和模式识别能力，可用于物探与化探数据综合解释。常见机器学习模型有神经网络、支持向量机、决策树等。神经网络可模拟人

脑神经元结构,对复杂非线性关系进行建模。将物探与化探数据作为输入,已知地质成果作为输出,训练神经网络模型,使其学习数据与地质成果之间的映射关系。训练好的模型可用于预测未知区域地质情况。支持向量机通过寻找最优分类超平面,对数据进行分类和回归分析。决策树通过构建树形结构,对数据进行逐步分类和判断。这些机器学习模型可自动提取数据特征,发现数据中隐藏的地质规律,提高综合解释准确性。

(三) 综合模型集成方法

单一模型可能存在局限性,综合模型集成方法可将多种模型优势结合,提高综合解释效果。可采用模型融合方法,将不同模型预测结果进行融合,如加权平均融合、投票融合等。加权平均融合根据不同模型性能赋予不同权重,将模型预测结果加权平均得到最终结果。投票融合适用于分类问题,多个模型对同一数据进行分类,选择得票最多的类别作为最终分类结果。还可采用模型串联方法,将一个模型输出作为另一个模型输入,逐步优化解释结果。通过综合模型集成,充分利用不同模型优势,提高物探与化探数据综合解释可靠性和准确性。

五、物探与化探数据综合解释结果评估与优化

(一) 解释结果评估指标

评估物探与化探数据综合解释结果需建立科学评估指标体系,准确性指标是重要评估指标之一,可通过与已知地质成果对比,计算解释结果与实际地质情况符合程度,如准确率、召回率、F1值等。稳定性指标评估解释结果对数据变化和模型参数变化的敏感程度,可通过改变数据或模型参数,观察解释结果变化情况,如解释结果方差、标准差等。实用性指标考虑解释结果在矿产勘查实际工作中的应用价值,如解释结果对找矿方向指示作用、对勘查成本降低程度等。通过综合评估这些指标,全面评价解释结果质量。

(二) 不确定性分析

物探与化探数据综合解释存在不确定性,不确定性来源包括数据误差、模型局限性、地质复杂性等。数据误差会导致解释结果偏差,如物探测量误差、化探分析误差等。模型局限性是指模型对复杂地质情况模拟能力有限,不同模型对同一数据解释结果可能不同。地质复杂性使地下地质情况难以准确刻画,存在多种可能解释。不确定性分析可采用蒙特卡洛模拟方法,通过随机采样

生成大量数据样本,利用综合解释模型对样本进行解释,统计解释结果分布特征,评估解释结果不确定性程度。还可采用敏感性分析方法,分析不同因素对解释结果影响程度,确定关键影响因素。

(三) 解释结果优化策略

在完成解释结果评估与不确定性分析之后,需依据所得结果采取针对性的优化策略。倘若解释结果的准确性欠佳,首先应仔细检查数据质量,排查是否存在数据缺失、错误或噪声干扰等问题,随后重新开展数据预处理与特征提取工作,以此提升数据的可靠性。同时,不妨尝试更换综合解释模型,或是调整现有模型的参数,通过多番尝试与对比,探寻更为合适的模型。若解释结果的稳定性较差,可适当增加数据样本量,让模型在更丰富的数据基础上进行学习,进而提高模型的泛化能力。此外,还可结合更多地质信息,如地质构造、地层岩性等,对解释结果加以约束和修正,使其更贴合实际情况。对于不确定性较大的解释结果,则需进一步开展详细勘查工作,获取更多数据,降低不确定性。

结束语

物探与化探数据综合解释是矿产勘查重要环节,对提高找矿效果具有关键作用。本文分析了物探与化探数据特点及融合难点,阐述了数据预处理、特征提取、综合解释模型构建以及解释结果评估与优化等方法。通过数据预处理可提高数据质量,特征提取能提取有价值地质信息,综合解释模型构建可实现数据深度融合与解释,解释结果评估与优化可确保解释结果可靠性和准确性。未来,随着技术不断发展,物探与化探数据综合解释方法将不断完善,为矿产勘查提供更科学、精准技术支持,推动矿产勘查事业向更高水平发展。

参考文献

- [1] 奚小环,戴意蕴,王永华.中国区域化探:历史、成就与未来[J].物探与化探,2025,49(5):98-100. DOI: 10.11720/wtyht.2025.1288.
- [2] 刘东盛,陈圆圆,迟清华.中国陆域出露地壳76种元素岩石地球化学图的构建——方法、问题与展望[J].物探与化探,2025,49(5):108-110. DOI: 10.11720/wtyht.2025.1257.