

Application of Magnetic Exploration in Geophysical Exploration

Shu Gong

Hunan Remote Sensing Geological Survey and Monitoring Institute, Changsha, Hunan, 410015, China

Abstract

Geophysical exploration, a vital branch of geological sciences, utilizes physical principles and methods to study the distribution and variation patterns of geophysical fields (gravity, electric, magnetic fields, etc.) by analyzing rock properties such as density, elasticity, electrical conductivity, magnetism, radioactivity, and thermal conductivity. This approach enables the analysis of Earth's internal structure, crustal configurations, and mineral resource distribution, thereby revealing patterns in geological structures, mineral distribution, and engineering geological conditions. It plays a crucial role in resource exploration, geological surveys, environmental protection, disaster prevention, and engineering geology, providing essential scientific foundations for understanding Earth and utilizing natural resources. The technology aims to assist in mineral resource discovery while addressing hydrological, engineering, and environmental challenges. Notably, magnetic exploration methods enhance mineral resource identification efficiency and optimize mining plans. This article focuses on analyzing key application aspects of magnetic exploration in geophysical exploration to effectively improve exploration efficiency.

Keywords

geophysical exploration; magnetic exploration; application points

地球物理勘探中磁法勘探法的应用研究

龚术

湖南省遥感地质调查监测所, 中国·湖南长沙 410015

摘要

地球物理勘探是地质科学的重要分支, 主要是利用物理学的原理和方法, 利用岩体的密度、弹性、导电性、磁性、放射性及导热性等特性, 研究地球物理场(重力、电场、磁场等)的分布和变化规律, 来分析地球内部构造、地壳构造、矿产资源分布等, 进而掌握地质构造、矿产分布、工程地质条件等规律, 在资源勘探、地质调查、环境保护、灾害防治、工程地质等领域发挥了重要作用, 为人类认识地球和开发利用自然资源提供重要的科学依据。这一技术旨在帮助人们寻找矿产资源, 同时解决水文、工程及环境方面的问题。其中磁法勘探法的应用可以提高寻找矿产资源的效率, 优化开采方案。文章主要对地球物理勘探中磁法勘探法的应用要点进行分析, 从而有效提升地球物理勘探效率。

关键词

地球物理勘探; 磁法勘探法; 应用要点

1 引言

磁法勘探法, 即专业人员在地面设置测网设备, 并利用磁力仪分析出现磁异常现象的位置, 并绘制等值线图, 进而修正并记录异常值。这是一种常见的地球物理勘探方法, 可以通过测量地磁异常情况对含磁性矿物的地质矿体进行评估和判断, 并探测具体空间位置、几何形状等, 该方法具有较强的优势作用, 且设备轻便, 成本低廉, 且高效快速, 工作空间广泛, 有效提升地质勘测质量和效率, 在我国矿石行业发展中发挥重要作用。

2 磁法勘探法基本原理

磁法勘探是一种通过观测地下岩层与其相邻层、以及各类地质体与围岩之间的磁性差异所引发的地磁场强度变化(即“磁异常”)来进行矿产勘探、地层划分和地质构造研究的物探方法^[1]。这些磁异常是由磁性矿石或岩石在地磁场的作用下产生的磁性, 它们叠加在地球的正常磁场之上, 为地质学家提供了重要的勘探信息。磁法勘探主要包括地面磁测和航空磁测两种观测方式。其中, 磁异常综合剖面如图1所示。在实际工作中, 磁法勘探通常包括野外数据采集、数据处理和资料解释三个主要阶段。磁法勘探法具有效率高、成本相对较低、仪器设备轻便、工作空间适应性强等优点, 不仅可以在陆地进行, 还能应用于海洋、航空等领域。在地质找矿中, 它是寻找磁铁矿、磁黄铁矿等磁性矿产的重

【作者简介】龚术(1982-), 男, 中国湖南长沙人, 硕士, 高级工程师, 从事地质找矿和工程物探勘查研究。

要手段；在构造地质研究中，可用于圈定断裂构造、侵入体分布等；在工程地质和环境地质调查中，也能发挥重要作用，如探测地下管线、空洞等。然而，该方法也存在一定的局限性，其探测效果主要取决于目标体与周围介质的磁性差异大小，对于磁性差异不明显的目标体探测难度较大，且解释结果往往具有多解性，需要与其他物探方法（如重力勘探、电法勘探等）以及地质钻探资料相结合，才能提高解释的准确性和可靠性。

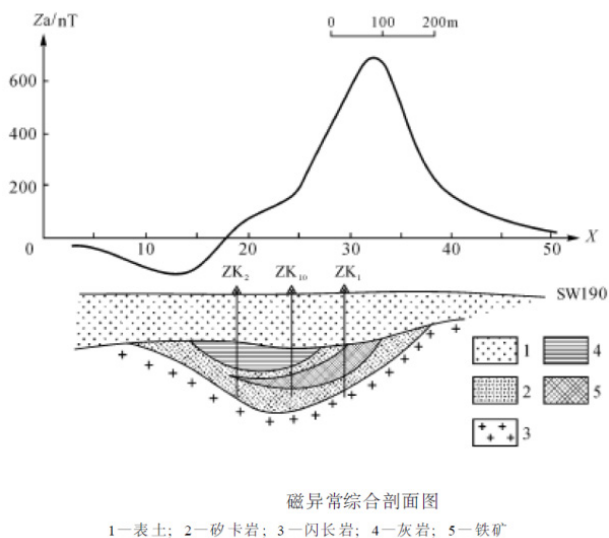


图 1 磁异常综合剖面图

3 地球物理勘探中磁法勘探法的应用要点

3.1 选择合适的方法

在磁法勘探法应用中，需要结合具体的勘探目标，如寻找磁性矿床、圈定地质构造、探测地下管线等，选择合适的磁测类型。寻找磁铁矿等强磁性矿床时，需采用高精度地面磁测；区域地质填图宜选用中比例尺航空磁测；工程勘察中则可能使用地面高精度磁测或井中磁测。同时，还需要分析目标体的磁性特征与周围介质的磁性差异，其中包含磁化强度、规模、埋深等，进而评估磁异常的可探测性^[2]。（1）在探测前，需要优化测区设计，收集测区的详细资料，如已有地质、磁性资料、地形地貌等数据，明确测区地质背景，及时发现可能存在的干扰因素，如人文电磁干扰、地表磁性体干扰。（2）结合收集的资料，需要分析探测对象的规模、磁异常特征等情况，进而确定测网参数。通常情况下，测线方向需要与目标体方向保持垂直关系，才能最大限度反映异常形态；点距和线距需要与目标体空间采样要求保持契合性，一般情况下，点距要控制在目标体最小水平尺寸的 1/3 以下，线距要结合异常规模和勘探精度进行确定。（3）完成以上作业后，需要选择合适的磁力仪，常用的磁力仪设备有质子磁力仪、光泵磁力仪和超导磁力仪等。其中，质子磁

力仪利用氢原子核的进动原理来测量地磁场强度，其精度较高，常用于高精度的磁法勘探项目。而光泵磁力仪则基于光磁共振原理，能够实现快速、连续的磁场测量，适用于大面积的磁法普查工作^[3]。在实际应用中，需要根据勘探目标、地质条件和精度要求等因素合理选择磁力仪。在采集数据前需要开展仪器一致性标定、零点漂移校正、灵敏度校准工作，保障仪器性能稳定性。

3.2 野外数据采集

在野外数据采集过程中，要结合勘探目标和地质条件选择合适的数据采集方法，如针对矿产资源勘探需要采用高精度的网格状数据采集方法。在具体采集作业中，需要在测区附近选择磁场稳定、无干扰的地点设置为总基点，用于消除地磁场日变、仪器零点漂移等因素的影响；还需要设立分基点，为后续分区观测和数据拼接奠定基础。然后要观测测点，即按照设计的测网逐点采集磁场数据，记录测点坐标（经纬度或相对坐标）、高程和磁场总强度值。观测过程中需避免携带磁性物体（如钥匙、手机），并注意仪器探头的高度一致，以减少地形和地表干扰。最后结合采集的磁场数据，绘制详细的磁异常图，以便推断异常分布和规模情况。为了保障数据采集精度，需要严格控制测量质量，通过自检、互检、抽检等方式保障数据质量，其中质量检测内容为重复观测、仪器一致性检查、异常点复核等，及时发现存在的干扰因素，如地下管线、铁器等，并排除^[4]。

3.3 磁法数据预处理

磁法数据预处理就是对采集的原始数据进行初步处理，提高数据准确性，为后续数据解释提供保障。其中常见的数据预处理方法有：（1）去噪技术，利用滤波技术对磁法数据中的有用信号和干扰噪声进行精准分离，进而提高信号数据质量和准确性。（2）数据校正，即消除磁法数据的日变、磁暴等问题，如日变校正，即消除地磁场随时间的变化干扰，设立日变观测站，来直接记录地磁场的日变化，并用此数据对测点数据进行校正，为后续地质构造分析提供可靠依据。（3）插值和网格化，对数据进行插值和网格化处理，方便后续数据分析和解释。通过这些方法，可以将离散的测量数据转换为连续的网格数据，从而更直观地展示地下地质体的磁性分布特征。（4）数据转换与图示，把预处理后的数据转换为磁异常值，并绘制平面等值线图、剖面图、剖面平面图等，直观展示磁异常的空间分布特征。

3.4 磁法数据解释技术

磁法数据解释技术，能够从采集的数据中挖掘有价值的地质信息，即基于磁法勘探所采集的数据，通过一系列科学方法和模型，推断地下地质体的分布、形状、磁性特征等，对矿产资源勘探、地质构造研究等做出重要贡献。常见的解释方法有：定性解释，结合磁异常的形态、强度、梯度、走向等特征，结合地质资料推断异常源的性质（如磁性矿体、

火成岩侵入体、断裂构造等),初步圈定异常范围和可能的地质成因;定量解释,通过数学计算反演异常源的参数,如利用切线法、特征点法、积分法等计算磁性体的埋深、产状(走向、倾向、倾角)、规模和磁化强度。对于复杂异常,可采用二维或三维反演建模,其中包含基于位场理论的人机交互反演、物性约束反演等;统计分析方法,就是对大量的磁法数据进行统计分析,提取数据中的趋势、异常特征等信息,构建统计模型,预测潜在的矿产富集区域,为进一步勘探作业提供方向;数据模拟方法,包含有限元法、边界元法,精确模拟复杂地质体的三维空间分布、物性变化等,真实模拟复杂地质体的磁场分布情况。

3.5 制作成果报告

对以上数据分析结果进行整理,编制磁测成果图件,包含磁异常平面分布图、推断地质构造图、找矿靶区预测图等,并绘制数据表格,总结磁异常特征与地质意义。结合地质、化探、钻探等其他资料进行综合分析,验证磁异常推断的合理性,圈定找矿靶区或划分地质构造单元。根据勘探目标输出具体成果,如矿产勘探中提交磁性矿床的位置、规模和品位预测;工程勘察中提供地下管线或未爆弹的分布信息;区域地质调查中划分构造单元和岩浆岩分布范围等。

4 磁法勘探法在不同领域的应用实践

4.1 矿产资源勘探中的应用

磁法勘探是金属矿产勘查的重要方法之一,尤其适用于磁铁矿、磁黄铁矿等强磁性矿物的定位。通过高精度磁力仪测量地表或空中磁场异常,可推断地下磁性体的分布特征。如在我国某铁矿集中区,通过高精度地面磁测圈定了一处峰值达500-800nT的强磁异常体,该异常体形态规则,呈等轴状展布,经磁异常反演计算推测其埋深约200-300米。基于此勘探成果,勘探人员部署了验证钻孔,最终在225米深处成功揭露到厚达50余米的磁铁矿矿体,矿石平均品位达到35%以上,展现了磁法勘探在深部矿产资源勘探中的显著成效^[5]。此外,在金矿等贵金属矿勘查中,磁法可辅助识别控矿构造(如断裂带引起的磁场梯度变化),提高找矿效率。

4.2 地质填图与区域地质研究

磁法勘探是区域地质填图的重要手段,能够快速划分不同岩性单元(如磁性火山岩与非磁性沉积岩的边界)、识别断裂构造(断裂带两侧岩石磁性差异导致的磁场梯度带)。在变质岩区,通过磁异常形态推断褶皱形态及轴面走向;在火成岩区,可圈定侵入体范围及岩相分带,为研究岩浆活动规律提供依据。例如,在青藏高原地质调查中,航磁数据帮助揭示了地壳深部磁性结构,为板块碰撞过程研究提供了地球物理约束。

4.3 油气资源勘探中的应用

在油气勘探中,磁法勘探主要用于区域构造研究和沉积盆地分析。沉积盆地通常对应相对低磁异常区,而基底隆起、断裂带等构造会引起局部磁场变化。通过航磁测量可快速划分盆地,识别盆地边界及内部构造单元,为油气资源的远景评价提供基础^[6]。例如,在某含油气盆地的已知油藏上方,磁法测量发现了一个范围约0.5-1.2km²、幅值在10-30nT之间的弱磁异常区,经钻探验证,该磁异常中心与油藏主体位置吻合度高达90%以上,为油气藏的精细定位提供了有力的辅助证据。此外,磁法还可用于检测油气藏上方的“磁异常晕”,即油气微渗漏导致的矿物蚀变引起的局部磁异常,为油气藏定位提供辅助依据。

4.4 工程与环境地质调查

在建筑地基选址、隧道施工等工程中,磁法可探测地下未爆弹、金属管道、钢筋混凝土结构等磁性障碍物,避免施工风险。例如,城市地铁施工前,通过地面磁测定地下金属管线,防止开挖时损坏基础设施。在环境污染监测中,如垃圾填埋场渗漏导致的土壤中铁、锰等磁性矿物迁移,通过磁参数(如磁化率、剩磁)变化评估污染范围与程度。此外,在滑坡、泥石流等地质灾害调查中,磁法可识别滑动带内的磁性矿物富集带,辅助分析灾害成因及稳定性。

5 结论

综上所述,磁法勘探法在资源勘探、工程与环境地质、地球动力学研究中发挥了重要作用。在未来发展中,磁法勘探技术创新发展,如无人机、卫星磁测平台的智能化发展以及量子磁力仪等高精度仪器的研发,有效提升该技术对复杂地形的适应性;此外在数据处理和解释工作中引进人工智能技术、深度学习技术等,开发实时动态磁测技术,可以对各类地质灾害进行提前预警,因此在新能源资源勘探中发挥了越来越重要的作用。

参考文献

- [1] 李鹏飞,马标,黄坤朋,等. 磁法勘探在金属矿开采中的实施探讨[J]. 冶金与材料, 2025, 45 (07): 136-138.
- [2] 赵记同. 磁法勘探在多金属矿普查中的应用初探[J]. 世界有色金属, 2020, (10): 134-135.
- [3] 段涛,谢新宇,梁迪文,等. 无人机航磁数据垂直空间延拓补偿技术研究[J/OL]. 大地测量与地球动力学, 1-10[2025-11-21].
- [4] 陈祺骥. 磁法技术在金属矿山勘探中的前瞻性发展趋势分析[J]. 世界有色金属, 2024, (21): 151-153.
- [5] 刘阳,张志勇. 基于非结构化网格的大规模磁测数据正则化反演研究[J]. 铀矿地质, 2023, 39 (05): 831-842.
- [6] 刘双,胡祥云,郭宁,等. 无人机航磁测量技术综述[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023, 48 (06): 823-840.