

无人机航磁测量在矿产资源勘察中的技术应用与效果分析

屠伟华

青岛地质工程勘察院（青岛地质勘查开发局） 山东 青岛 266000

摘要：无人机航磁测量在矿产资源勘察领域作用显著。技术应用丰富多样，能开展快速区域普查，短时间覆盖大面积区域；可进行高精度数据采集，获取准确磁场信息；具备复杂环境适应能力，在山地、森林等复杂地形正常作业；还能实现多维度数据融合，结合地质、遥感等数据综合分析。其效果十分突出，提高了勘察效率，节省时间；降低了勘察成本，减少人力物力投入；提升了数据精度，为后续分析提供可靠依据；助力发现潜在矿产资源，缩小找矿靶区，推动了矿产资源勘察工作的高效开展。

关键词：无人机航磁测量；矿产资源勘察；技术应用；效果分析

引言：在当今社会，矿产资源对经济发展起着关键支撑作用，其勘察工作的重要性不言而喻。传统的矿产资源勘察方法，如地面磁测，不仅效率低，还受地形条件限制，在无人区、高山高原区等复杂环境下难以开展。随着科技的进步，无人机航磁测量技术逐渐崭露头角。该技术将航空磁力仪搭载于无人机上，能快速、灵活地对大面积区域进行磁场测量。它不受复杂地形和恶劣环境的过多约束，可高效获取高精度数据。无人机航磁测量技术在矿产资源勘察中的应用及效果，值得深入探究。

1 无人机航磁测量技术概述

无人机航磁测量是利用无人机搭载磁力仪器对地面磁场进行测量的技术方法，在矿产资源勘察等领域应用广泛。从原理上看，其基于地球磁场与磁性物质的相互作用。地球是巨大磁体，地下磁性矿物会使周围磁场产生局部扭曲形成磁异常。无人机搭载的磁力仪能捕捉这些微小磁场变化，通过测量地磁场强度和方向变化获取地表以下地质结构信息。当地下地质体磁化率与周围岩石不同时，就会在磁场测量数据中反映出磁性异常。在系统组成方面，它主要由无人机平台、磁力传感器、数据采集系统和地面站系统构成。无人机平台需具备一定的飞行性能，如续航能力、稳定性等，以保障测量工作顺利开展。磁力传感器是探测磁场强度的核心，常见的有磁通门传感器、自旋磁强计和光泵磁强计等，其精度和稳定性直接影响测量结果。数据采集系统负责收集和存储磁力计的模拟数据，并将其数字化，同时提供数据存储、同步和地理定位功能^[1]。地面站系统则接收无人机传输的磁数据，进行存储、管理、可视化展示以及处理分析，获取地磁异常信息。与传统航磁测量方法相比，无人机航磁测量优势显著。它具有高效性，能快速完成

大面积的测量工作，减少测量时间，提高工作效率。灵活性方面，可在复杂地形和山区等传统方法难以到达的区域飞行，适应不同的勘察环境。成本上也更为低廉，降低了人力和物力成本。此外，其低空飞行能力可实现高精度航空磁测，获取更详细的地质信息。

2 无人机航磁测量在矿产资源勘察中的技术应用

2.1 快速区域普查应用

无人机航磁测量技术以其高效的数据采集能力，能够快速完成大面积区域的矿产资源普查工作。具体来说，该技术具有以下优势：（1）高效率覆盖：无人机可以在短时间内飞行大面积区域，采集磁场数据，相比传统地面测量方法，大大提高了工作效率，缩短了普查周期。（2）数据精度高：配备高精度磁力传感器的无人机能够获取高分辨率的磁场数据，这些数据可以精确反映地下矿产资源的分布特征，为后续的详细勘探提供可靠依据。（3）环境适应性强：无人机航磁测量能够在各种复杂地形和恶劣环境下进行作业，如山区、沙漠、森林等，克服了传统测量方法在这些区域的局限性。（4）成本效益显著：无人机航磁测量的设备和运营成本相对较低，尤其适合于大面积的初步普查工作，能够在有限的预算内完成更多的勘察任务。（5）实时数据传输：无人机可以实时将采集到的磁场数据传输到地面控制中心，现场工作人员能够及时分析数据，快速判断测量区域的地质情况，及时调整测量方案，提高工作效率。

2.2 高精度数据采集应用

在矿产资源勘察的众多技术手段中，无人机航磁测量的高精度数据采集应用意义非凡，为整个勘察工作带来了质的飞跃。无人机搭载的先进三轴磁力计，是数据采集的核心利器。它凭借高灵敏度，能够精准测量地球磁场的强度和方向，即便是极其微弱的磁场变化也能敏

锐捕捉。这些细微的磁场变化往往蕴含着地下矿产的重要线索,为后续的地质分析与判断提供了坚实基础。而GPS/INS系统则为数据采集的定位提供了精确保障,它能实时提供无人机的精确位置和姿态信息,确保每一个数据点都能准确对应到实际地理位置。同时,温度传感器发挥着不可或缺的作用,它可以有效补偿磁力计受温度影响产生的漂移,保证测量数据在不同环境条件下都能稳定可靠。数据采集过程中的飞行航线规划也是关键环节,工作人员会依据测量区域的地形特点、地磁干扰情况以及无人机自身的飞行性能,精心采用并行线或交错线模式。并且,通过优化航线高度和速度,既保证了对整个测量区域的全面覆盖,又能最大限度地提高数据精度。在数据采集时,磁力计数据与无人机定位数据保持同步,借助高精度GPS或惯性测量单元进行时间标记,使得数据能够按照正确的时间顺序记录,为后续的数据处理和分析提供了清晰的时间脉络。采集到的数据并非直接可用,还需进行严格的质量控制。通过消除异常值和干扰,使用校准线和控制点验证数据准确性等一系列操作,最终为矿产资源勘察提供了高精度、高质量的数据支持。这些数据如同精准的导航,有效提高了找矿的效率和准确性,助力矿产资源的高效开发与利用。

2.3 复杂环境适应应用

无人机航磁测量技术在复杂环境下的适应性使其成为矿产资源勘察中的重要工具,具体表现如下:(1)地形适应性强:无人机能够在山地、丘陵、高原等复杂地形中灵活飞行,不受地面崎岖不平的限制,确保数据采集的连续性和完整性。(2)恶劣天气耐受性:现代无人机具备一定的抗风能力和防水性能,能够在轻度恶劣的天气条件下(如小雨、微风)继续执行测量任务,减少因天气原因导致的工作延误。(3)高海拔作业能力:无人机可以在高海拔地区正常工作,适应低氧、低温等极端环境,为高原地区的矿产资源勘察提供技术支持。(4)植被覆盖区作业:在森林、草原等植被覆盖区域,无人机航磁测量能够穿透植被层,获取地下磁场信息,有效避免了植被对测量的干扰。(5)快速部署与撤离:无人机的便携性和灵活性使其能够快速部署到勘察现场,并在任务完成后迅速撤离,减少了人力和物力的投入,提高了工作效率。

2.4 多维度数据融合应用

在矿产资源勘察中,无人机航磁测量的多维度数据融合应用能极大提升勘察效果。一方面,将航磁数据与地质数据融合。地质数据涵盖地层、构造、岩石类型等信息,与航磁数据结合,可更精准判断地下地质结构和

矿产分布。如航磁异常与特定地层或构造对应,能缩小找矿靶区范围。另一方面,实现航磁数据与遥感数据的融合^[2]。遥感数据可提供地表植被、地形地貌等信息。植被异常可能与地下矿产有关,将其与航磁异常叠加分析,能发现潜在的矿化蚀变带。同时,地形地貌信息有助于理解航磁异常产生的地质背景,排除地形干扰。航磁数据还可与地球物理其他数据融合,如重力、电法数据。不同地球物理方法对地下地质体响应不同,多数据融合能从多个角度刻画地下地质结构和矿产分布,提高对矿产资源的识别和预测能力,为矿产勘察提供更全面、准确的依据。

3 无人机航磁测量在矿产资源勘察中的效果分析

3.1 提高勘察效率

无人机航磁测量在矿产资源勘察中显著提高了勘察效率,与传统地面磁测相比,无人机航磁测量具有高效、快速、灵活的优势。它不受地面条件限制,可在山地、森林覆盖区等复杂地形地貌中开展工作,避免了人员在复杂环境中艰难跋涉,节省了大量时间和人力成本。例如在黑龙江省森林覆盖区等复杂地形的地质勘查工作中,无人机航磁测量系统能及时有效地获取勘查区高精度航磁数据,实现小面积、大比例尺快速勘查。现代无人机具备长时间飞行能力和高效的数据处理能力,能够在短时间内完成大面积区域的测绘任务。如大疆Mavic3E便携测绘无人机单架次即可完成2平方公里的二维正射影像数据采集。而且无人机航磁测量可进行连续采样,能快速获取大面积、高质量、高密度的地磁场数据,大大提高了勘察工作的效率,使得矿产资源勘察能够更迅速地筛选找矿靶区,为后续工作争取宝贵时间。

3.2 降低勘察成本

无人机航磁测量技术在矿产资源勘察中有效降低了成本,主要体现在以下方面:(1)设备与运营成本低:无人机设备购置及维护成本相对较低,且操作简便,无需大量专业人员,减少了人力成本支出。(2)减少地面设施投入:传统勘察需建设大量地面基站或铺设电缆,无人机航磁测量无需此类设施,节省了相关建设与维护成本。(3)高效数据采集减少重复工作:无人机快速采集高精度数据,一次性获取全面信息,避免了传统方法因数据不全导致的重复勘察,降低了重复作业成本。(4)降低野外作业风险与成本:无人机可进入复杂危险区域作业,减少了人员野外作业风险及因安全保障措施增加的成本。(5)快速决策减少时间成本:实时数据传输与处理使工作人员能快速分析数据,及时调整勘察方案,缩短了项目周期,间接降低了时间成本。

3.3 提升数据精度

无人机航磁测量在矿产资源勘察中显著提升了数据精度。从硬件层面来看,无人机航磁测量系统配备了先进的传感器。三轴磁力计能精准测量地球磁场的强度和方向, GPS/INS可提供无人机精确的位置和姿态信息,温度传感器则能补偿磁力计受温度影响的漂移,这些都为高精度数据采集奠定了基础。在数据采集过程中,飞行高度、速度和航线间距等参数经过精细规划和控制。低空飞行能让磁力计更接近地下磁性体,获取更详细的磁场信息;合理的速度和航线间距能保证数据的完整性和准确性^[3]。同时,磁力计数据采集与无人机定位数据同步,通过高精度GPS或惯性测量单元进行时间标记,确保数据按正确时间顺序记录,进一步提高了数据的定位精度。采集到的航磁数据会经过降噪处理和空间定位等后处理步骤,消除异常值和干扰,使用校准线和控制点验证数据准确性,使得最终的数据能够更真实地反映地下地质体的磁性特征,为矿产资源勘察提供更可靠的依据。

3.4 发现潜在矿产资源

无人机航磁测量技术在矿产资源勘察中展现了卓越的潜力,能够有效发现潜在的矿产资源,为资源开发提供重要线索,主要体现在以下几个方面:(1)精准定位异常区域:无人机航磁测量能够精确识别地下磁场的微小变化,这些变化往往指示着潜在矿产资源的存在。通过高精度的磁场数据,可以准确定位磁场异常区域,为后续的详细勘探提供明确的目标。(2)降低勘探风险:在传统勘探方法中,由于技术限制和环境因素,往往难以准确判断潜在矿产资源的位置和规模,导致勘探风险较高。无人机航磁测量通过快速、高效的数据采集,能够提前识别潜在的矿产资源,降低因盲目勘探带来的风

险。(3)提高资源开发的成功率:通过无人机航磁测量获取的数据,可以更准确地评估矿产资源的潜力和分布情况。这有助于优化勘探策略,提高资源开发的成功率,减少不必要的勘探投入。(4)增强地质信息的完整性:无人机航磁测量能够提供全面的地质信息,包括磁场异常的形态、强度和分布规律。这些信息可以与其他地质数据相结合,增强对地质结构和矿体分布的全面理解,为资源开发提供更准确的地质背景。(5)提升资源评估的准确性:无人机航磁测量数据可以用于建立更精确的地质模型,帮助评估矿产资源的储量和质量。这种准确的资源评估有助于制定更科学的开发计划,提高资源利用效率。

结语

无人机航磁测量在矿产资源勘察领域已彰显重要价值,未来发展前景广阔。持续优化传感器精度是关键一环,借助先进材料与工艺,提升传感器灵敏度和稳定性,可更精准捕捉微弱磁异常,挖掘潜在矿产资源。同时,拓展数据融合维度意义重大,将航磁数据与地质、遥感、地球化学等多源数据深度融合,构建综合信息模型,能更全面反映地下地质结构。通过这些举措,可更好应对复杂多变的勘察环境,提高找矿效率与准确性,为保障国家矿产资源安全筑牢根基,推动行业迈向新高度。

参考文献

- [1]李艺舟,李江坤,孟祥宝,吴雪.无人机航磁测量技术研究现状与展望[J].矿产勘查,2025,16(4):857-864.
- [2]高博伟.无人机航磁技术在地质矿勘探中的应用研究[J].中国金属通报,2024(14):128-130.
- [3]王瑞峰.矿山地质中无人机航拍测量技术的应用研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(1):0169-0172.