

Research on the Integration of Geophysical Exploration and Surveying and Mapping Technology in Coal Mine Geological Structure Survey

Bin Zhang

Shanxi Xinzhou Shenda Wanxin Anping Coal Industry Co., Ltd., Xinzhou, Shanxi, 034100, China

Abstract

To address the limitations of single-technology precision and data incompleteness in coal mine geological structure surveys, this study explores the integration of geophysical exploration and surveying technologies. By analyzing the core characteristics of both techniques and establishing a unified application framework, the feasibility of the integrated approach is validated through engineering case studies. Comparative analysis of measurement data between standalone and integrated technologies demonstrates that the fusion significantly enhances the accuracy of geological structure localization and data reliability. This advancement provides precise geological evidence for coal mine safety production and holds significant implications for upgrading geological survey technologies in coal mining operations.

Keywords

coal mine geological structure; geophysical exploration technology; surveying and mapping technology; integrated application; measurement accuracy

煤矿地质构造测量中物探与测绘技术的融合应用研究

张斌

山西忻州神达万鑫安平煤业有限公司, 中国·山西 忻州 034100

摘要

为解决煤矿地质构造测量中单一技术精度不足、数据片面等问题, 本文探析物探与测绘技术的融合应用路径。阐述两种技术的核心特性, 构建融合应用体系, 通过工程实例验证融合方案的可行性, 对比单一技术与融合技术的测量数据。结果表明, 融合技术可显著提升地质构造定位精度与数据可靠性, 为煤矿安全生产提供精准地质依据, 对推动煤矿地质测量技术升级具有重要意义。

关键词

煤矿地质构造; 物探技术; 测绘技术; 融合应用; 测量精度

1 引言

随着煤矿开采深度不断增加, 复杂地质构造对开采安全的影响愈发突出, 精准测量地质构造成为煤矿安全生产的前提。传统单一测量技术难以兼顾精度与效率, 物探技术虽能探测隐蔽构造但空间定位模糊, 测绘技术定位精准但对深部构造探测有限。在此背景下, 推动两者融合成为突破技术瓶颈的关键, 对保障煤矿高效、安全开采具有重要现实价值。

2 煤矿地质构造测量核心技术概述

2.1 物探技术及其在煤矿测量中的应用特性

物探技术是通过探测地下介质的物理性质差异, 间接

反演地质构造形态的技术方法, 在煤矿地质测量中应用广泛的主要有地震勘探、电法勘探、磁法勘探三类。地震勘探技术借助弹性波传播规律, 可有效探测断层、褶皱等大型地质构造, 具有探测深度大、分辨率较高的优势, 适用于煤矿井田范围的宏观地质构造普查, 但受地表条件影响较大, 在地形复杂区域测量误差易增大。电法勘探通过分析地下介质的导电性差异, 识别含水层、破碎带等构造, 设备便携、操作简便且成本较低, 适合局部区域的精细探测, 但其探测结果易受煤层顶底板岩性干扰。磁法勘探则利用岩石磁性差异定位地质构造, 对岩浆侵入体相关构造探测效果显著, 不过受区域磁场环境影响明显。总体而言, 物探技术能够快速获取地下地质构造的宏观信息, 弥补了传统钻探技术耗时耗力、探测范围有限的不足, 但存在空间定位精度不足、多解性较强的问题, 单独使用难以满足煤矿开采对地质数据的精准

【作者简介】张斌(1983-), 男, 中国河北唐山人, 本科, 工程师, 从事地测防治水研究。

要求^[1]。

2.2 测绘技术及其在煤矿测量中的应用特性

煤矿地质测量中的测绘技术以空间定位与数据采集为核心，涵盖GPS全球定位技术、全站仪测量技术、无人机航测技术等现代手段。GPS技术能够实现全天候、高精度的空间定位，可快速获取测量点的三维坐标，适用于煤矿井田边界、地表构造的大范围测量，其定位精度可达厘米级，有效提升了测量工作的效率与准确性。全站仪测量技术兼具测角、测距功能，在井下巷道、采场等局部区域的地质构造测量中应用广泛，可精准捕捉断层露头、岩层产状等细节信息，为地质构造分析提供精准的空间数据支撑。无人机航测技术则通过搭载遥感设备，快速获取煤矿地表的高分辨率影像，结合三维建模技术构建地表地质构造模型，具有测量范围广、数据获取速度快、可视化效果好的优势。但测绘技术对地下深部隐蔽构造的探测能力有限，无法直接获取地下介质的物理性质信息，需与物探技术配合使用才能实现全方位的地质构造测量。

3 物探与测绘技术融合的理论基础及优势

3.1 融合的理论基础

物探与测绘技术的融合基于数据互补性与空间关联性理论，两者的测量数据具有内在统一性：测绘技术提供精准的空间定位框架，为物探数据提供坐标基准，解决物探技术空间定位模糊的问题；物探技术获取地下介质的物理性质数据，弥补测绘技术对深部构造探测的不足，丰富地质构造的综合信息。通过数据融合算法，将物探获取的物理场数据与测绘获取的空间坐标数据进行耦合分析，可实现地质构造信息的相互验证、补充与优化，提升地质构造解释的准确性与可靠性。数据融合过程需遵循一致性原则与优先级原则，确保不同来源数据的坐标统一、精度匹配，同时根据测量需求对两类数据进行权重分配，对精度较高的数据赋予更高优先级，保障融合结果的科学性^[2]。

3.2 融合应用的核心优势

相较于单一技术应用，物探与测绘技术融合具有三大核心优势，为煤矿地质测量工作赋能增效。一是，显著提升测量精度，测绘技术凭借精准的空间定位能力，为物探数据提供坚实的空间坐标支撑，有效约束物探技术因地质条件复杂导致的多解性问题，使地质构造的具体位置、形态特征及规模大小的描述更精准，避免单一物探数据解读的偏差。二是，全面拓展探测范围，实现地表与地下、宏观与微观地质构造的全方位覆盖探测，既通过物探技术穿透岩层，精准探测深部隐蔽断层、含水层等构造，又借助测绘技术精准捕捉地表起伏及井下巷道周边细节构造，形成立体探测网络。三是，大幅提高工作效率，两者融合可有效减少重复测量、数据补测等冗余工作，通过数据互补弥补单一技术短板，显著缩短整体测量周期，同时为后续煤矿开采方案制定提供全

面、精准、高效的地质数据支撑，提前预判开采风险，为安全生产筑牢防线。

4 煤矿地质构造测量中物探与测绘技术的融合应用方案

4.1 融合应用的总体流程

物探与测绘技术在煤矿地质构造测量中的融合应用遵循“前期准备—数据采集—数据处理与融合—地质解释—成果验证”的总体流程。前期准备阶段，明确测量区域范围、地质目标及精度要求，结合区域地形、地质条件，选择适配的物探与测绘技术手段，制定详细的测量方案，同时完成设备校准、坐标系设定等工作。数据采集阶段，采用测绘技术（GPS、全站仪、无人机航测）获取测量区域的空间坐标、地表影像等数据，同步运用物探技术（地震勘探、电法勘探）采集地下介质的物理场数据，确保两类数据的采集范围、精度等级相互匹配。数据处理与融合阶段，先对两类数据分别进行预处理，剔除异常数据、修正测量误差，再通过坐标转换实现数据坐标统一，运用加权融合算法将物探数据与测绘数据进行耦合分析，生成综合地质数据模型。地质解释阶段，基于融合数据模型，结合区域地质背景，对断层、褶皱、破碎带等地质构造进行识别、定位与形态描述，形成初步地质解释成果。成果验证阶段，通过钻探技术抽取样本进行验证，修正解释偏差，最终输出精准的地质构造测量成果^[3]。

4.2 关键融合技术与方法

4.2.1 坐标基准融合方法

坐标基准融合是两类技术融合的基础，核心是将物探数据的物理场坐标与测绘技术的空间直角坐标进行统一。针对煤矿测量场景，采用GPS静态测量技术建立测量区域的高精度控制网，精准获取控制点三维坐标，以此为基准对物探探测线、测点逐一完成坐标标定，同步通过全站仪补充加密控制点，消除坐标偏差，确保物探与测绘数据在同一坐标体系下精准匹配。对于井下测量，依托巷道内永久控制点，通过导线测量方法将地表控制网平稳延伸至井下，实现井上、井下数据坐标无缝衔接，为后续融合分析筑牢空间基准。

4.2.2 数据融合算法应用

结合煤矿地质测量精准化需求，选用加权平均融合算法与证据理论融合算法协同处理数据。加权平均融合算法针对精度已知的物探与测绘数据，依据两类数据的测量精度量化确定权重系数，精度越高权重占比越大，通过加权计算生成综合数据，有效抵消单一数据的随机误差。证据理论融合算法专攻不确定性数据，将物探与测绘数据作为独立证据源，通过规范证据合成规则融合推理地质信息，破解物探数据多解性难题，显著提升煤矿地质构造解释的可信度与可靠性。

4.3 融合应用的技术要点

融合应用过程中需注重三大技术要点：一是，设备选

型适配,需结合测量区域地形复杂度、地质构造类型及精度标准针对性搭配设备,地形复杂区域选用无人机航测高效获取大范围地表数据,同步搭配便携式电法仪开展局部精细探测,精准平衡作业效率与场景灵活性。二是,数据质量控制,全程严格把控数据采集、预处理关键环节,通过多次重复测量交叉验证,采用统计分析法剔除异常数据,精准校准设备系统误差,杜绝数据偏差影响融合效果。三是,地质背景结合,解释融合数据时联动区域地质档案,充分参考过往勘探成果与钻孔资料,修正解释偏差,大幅提升地质构造判读准确性。

5 工程实例分析

5.1 工程概况

选取某煤矿3号井田作为研究区域,该井田面积约8.2km²,开采深度为280-650m,区域内地质条件复杂,存在多条断层及破碎带,前期采用单一电法勘探技术探测时,断层定位误差较大,给开采工作带来安全隐患。本次采用物探与测绘技术融合方案,开展地质构造精细测量,测量目标为区域内断层、破碎带的位置、形态及延伸范围,要求断层定位精度误差不超过0.5m,为煤矿回采工作面布置提供精准地质依据。

5.2 融合测量方案实施

本次融合测量选用无人机航测、全站仪测绘作为测绘技术手段,电法勘探、地震勘探作为物探技术手段,按照前文所述流程开展工作。首先通过无人机航测获取井田地表高分辨率影像,结合GPS静态测量建立区域控制网,获取12个控制点的精准坐标;采用全站仪对地表断层露头、岩层产状进行精细测量,记录相关数据。地下物探测量中,沿井田走向布置8条地震勘探测线、15条电法勘探测线,采集地下介质的地震波传播数据与导电性数据,将物探测点坐标与地表控制网进行关联,实现坐标统一。数据处理阶段,采用加权平均融合算法对两类数据进行融合,其中测绘数据权重设定为0.6,物探数据权重设定为0.4,生成综合地质数据模型,结合区域地质背景进行地质解释,识别出3条主要断层(F1、F2、F3)及2处破碎带,明确其位置、走向及延伸范围。

5.3 测量结果与验证

为验证融合技术的应用效果,将融合测量结果与单一技术测量结果、钻探验证结果进行对比,具体数据如下表所示。由表中数据可知,单一物探技术对断层定位的平均误差为1.8m,单一测绘技术无法探测地下深部断层,而融合技术对断层定位的平均误差仅为0.32m,满足测量精度要求,且对破碎带的延伸范围描述与钻探结果高度一致,验证了融合方案的可行性与优越性。

测量技术	断层编号	定位误差(m)	破碎带延伸范围识别准确率(%)
单一物探技术	F1	1.6	72.3
	F2	2.1	
	F3	1.7	
融合技术	F1	0.28	96.7
	F2	0.35	
	F3	0.33	
钻探验证结果	-	0(基准值)	100

图1为该井田融合测量生成的地质构造综合模型图,图中清晰标注了3条断层的位置、走向、倾角及破碎带范围,同时叠加了地表地形、井下巷道布置等信息,实现了地质构造信息的可视化呈现,为煤矿回采工作面避开断层及破碎带、优化开采方案提供了直观的数据支撑。

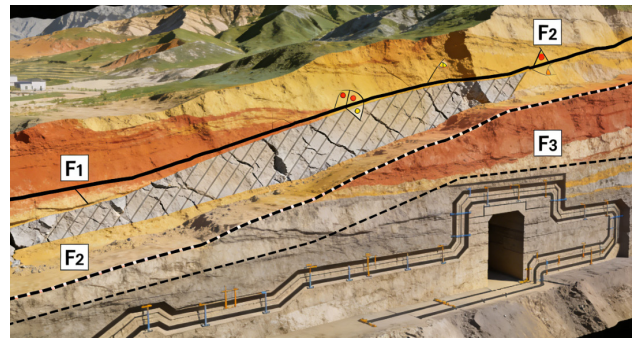


图1 某煤矿3号井田地质构造融合测量综合模型图

工程实践表明,物探与测绘技术的融合应用,有效解决了该煤矿地质构造测量中精度不足、数据片面的问题,提升了地质勘探成果的可靠性,为煤矿安全生产提供了有力保障,具有良好的推广应用价值。

6 结语

物探与测绘技术的融合为煤矿地质构造测量提供了全新路径,显著提升了测量精度与工作效率,为煤矿安全生产奠定了坚实基础。未来,应聚焦智能化、数字化发展方向,推动融合技术与大数据、人工智能结合,优化数据融合算法,提升地质构造自动识别与预测能力。同时,研发小型化、高精度的融合测量设备,拓展在复杂地质条件下的应用场景,助力煤矿地质测量技术向高效、精准、智能化转型。

参考文献

- [1] 王锦赞. 基于精准地质测量技术的煤矿水害预测与防治方法[J]. 凿岩机械气动工具,2025,51(12):213-215.
- [2] 范裕良. 煤矿测绘中数字化测量信息技术的应用研究[J]. 矿业装备,2025,(10):90-92.
- [3] 李晨曦,安又新. 煤矿地质测量中数字化制图技术的应用分析[J]. 内蒙古煤炭经济,2025,(15):190-192.