

综合物探技术在煤矿地质勘探中的实践与应用探讨

张彪

曲靖市麒麟区能源局

DOI:10.32629/gmsm.v9i3.2492

[摘要] 煤炭开采作业依托精准地质资料开展,井下断层、导水裂隙、煤层厚薄异变等地质隐患,是制约采掘安全、产能稳定的核心因素。单一物探技术受岩层电性、岩体结构干扰,探测结果片面,难以适配深部煤矿复杂地质勘探需求。本文梳理煤矿常用综合物探技术工作原理,分析技术应用优势,结合煤层赋存、导水构造、断层勘探三类井下实景开展实践分析,研判井下勘探数据干扰、设备适配不足等实操问题,针对性提出工况优化方案,助力煤矿低成本、高精度完成前置地质勘探,筑牢采掘安全生产基底。

[关键词] 煤矿地质勘探; 综合物探; 构造探测; 水害防治; 井下采掘

中图分类号: X752 文献标识码: A

Practice and Application of Comprehensive Geophysical Exploration Technology in Coal Mine Geological Exploration

Biao Zhang

Qujing Qilin District Energy Bureau

[Abstract] Coal mining operations rely on precise geological data, and geological hazards such as underground faults, water conducting fractures, and coal seam thickness variations are the core factors that restrict mining safety and stable production capacity. A single geophysical exploration technique is affected by the electrical properties of rock layers and the structure of rock masses, resulting in one-sided detection results that are difficult to adapt to the complex geological exploration needs of deep coal mines. This article summarizes the working principles of commonly used comprehensive geophysical exploration techniques in coal mines, analyzes the advantages of technical applications, and conducts practical analysis based on three types of underground scenes: coal seam occurrence, water conducting structures, and fault exploration. It analyzes the practical problems of underground exploration data interference and insufficient equipment adaptation, and proposes targeted working condition optimization plans to help coal mines complete pre geological exploration at low cost and high precision, and build a solid foundation for mining safety production.

[Key words] coal mine geological exploration; Comprehensive geophysical exploration; Construction detection; Water hazard prevention and control; Underground mining

引言

国内煤炭开采逐步转向深部井田,井下地压、水文、岩层结构复杂度大幅提升,传统钻探单点勘探模式成本高、覆盖范围有限,无法全覆盖排查隐蔽地质灾害^[1]。综合物探融合多种探测原理,整合电性、弹性、电磁类探测手段,弥补单一物探技术探测局限性,适配井下狭小、高粉尘、高含水特殊作业环境^[2]。现阶段该技术已普及至矿井前期勘察、工作面回采、巷道掘进全流程,为精细化地质研判提供数据支撑,基于井下真实作业工况探究技术应用价值,具备极强行业实操意义。

1 煤矿勘探场景下主流综合物探技术原理解析

煤矿井下常态化应用的综合物探技术以瞬变电磁法、地震

反射法、直流电法、地质雷达耦合探测为主,核心原理依托煤层、围岩、含水构造、破碎岩体之间密度、导电性、波阻率差异化物理属性,完成地下地质体定性、定量研判^[3]。其中瞬变电磁法属于无源电磁探测技术,依托地层导电率差值,地面或井下发射线圈发射脉冲电磁场,地层介质受激励产生二次感应场,接收装置捕捉衰减感应信号,通过后台软件反演地层电阻率分布,精准圈定富水破碎带、承压导水构造分布范围。地震反射法依托岩体波传特性,人工可控激发低频地震波,波体穿透层状煤岩层后,在岩性分界面、构造错动面发生反射、折射,结合波速传播时长、波形衰减特征,判定井田内部断层、陷落柱、古冲刷带空间规模^[4]。

直流电法属于接触式电性探测手段,通过巷道岩壁布设固定电极组,通入恒定直流电流测定地层全域电阻率,完整致密煤岩体电阻率偏高,裂隙含水岩体电阻率显著降低,以此区分围岩完整性与水文异常区域^[5]。地质雷达多用于浅层精细化探测,依托高频定向电磁波扫描巷道周边0-30m围岩,快速识别巷道浅表卸压裂隙、顶板离层等小型地质缺陷。综合物探并非多类技术简单叠加,而是根据勘探目标搭配探测组合,联动设备采集多维物性数据,双向核验数据误差,抵消单一探测手段岩体杂波、物性偏差干扰,兼顾深部大范围勘探与浅表精细化探测,适配不同埋深、不同水文等级煤矿井田常态化勘探作业。

2 综合物探技术适配煤矿勘探的作业优势

2.1 提升井下地质隐患探测精准度

传统单钻探、单物探模式仅能获取点位地质数据,面对煤层夹层、隐伏小断层、隔水层变薄区等微型隐患识别能力不足,极易出现探测漏判。综合物探采用多维度数据互补核验模式,针对同一勘探区域同步采集电磁、地震、电阻多维参数,剔除岩体风化、局部矿尘带来的无效探测数据。针对井田高危水害区域,可结合瞬变电磁与直流电法双向标定含水裂隙边界,误差可控制在0.5m以内;针对落差小于2m的隐伏断层,联动地震雷达完成构造定位,弥补传统探测小构造识别短板。同时技术可联动矿井地质建模系统,将探测数据转化为三维地质模型,直观呈现隐患空间规模、延展走向,区分无害岩体裂隙与高危导水裂隙,从数据层面提升隐患定性、定量探测精度,规避采掘误判风险。

2.2 缩减煤矿野外勘探作业周期

传统煤矿前期勘探以地面钻探、井下深孔取芯为主,单钻探点位施工、岩芯化验、数据整理流程耗时久,山地、沟壑井田受地形限制,钻探设备转运、场地整平工期进一步拉长,单工作面全域地质勘探工期最少1至14天。综合物探采用地面组网扫描、井下巷道沿线布设测点作业模式,无需大规模钻孔破土,设备组网布设完成后可实现大面积连续扫描探测,单采掘工作面全域地质普查工期可压缩至3至5天。针对煤矿补勘、掘进超前探测场景,综合物探可随巷道掘进同步跟进作业,无需停工专项勘探,贴合采掘平行作业施工节奏。同时多维探测数据可后台一体化处理,省去岩芯分拣、实验室物性检测环节,简化勘探后端流程,全链条压缩井田前期勘察、井下超前探勘整体工期,保障矿井采掘衔接效率。

2.3 降低煤矿井下勘探施工风险

井下钻探勘探需施工深部探水孔、构造探测孔,钻孔破岩施工极易戳破隔水岩层,贯通深部承压含水层,诱发井下突水、片帮、顶板冒落等次生地质灾害。同时钻机作业需作业人员近距离值守操控,高瓦斯、破碎松散围岩、高地应力区域,人员避险空间狭小,现场安全管控难度极大,勘探作业安全隐患突出。综合物探属于无损非接触式勘探作业,仅在巷道壁、地面平台布设传感器、探测电极即可开展作业,全程无钻孔破岩工序,不会破坏原有地层隔水结构与围岩整体性,从源头规避钻孔导通水体、

扰动围岩失稳的风险。该作业模式下,操作人员远离高危裸岩作业面,测点布设完成后可远程采集勘探数据,适配高瓦斯、富水破碎、高地应力等各类高危采掘区域勘探作业。此外综合物探可提前圈定井下未知高危隐患区,反向优化勘探施工行进路线,规避人员设备误入地质异常区作业,全方位降低勘探全流程施工安全风险。

3 综合物探技术在煤矿专项地质勘探中的落地实践

3.1 煤层赋存形态勘探实操

麒麟区恩洪矿区整合煤矿主采15号煤层,井田局部受古河流沉积作用影响,煤层出现分叉、变薄、抬升异变,煤层厚度、底板标高不明,直接影响综采工作面设备选型。本次勘探选用地面地震反射+井下地质雷达综合探测方案,地面全域布设地震测线,划定井田煤层整体延展范围、底板起伏高程;井下沿掘进巷道每5m布设一组雷达测点,精细化探测煤层顶底板岩性、煤厚变化区间。作业中剔除巷道支护钢架、管线金属电磁干扰,校准探测波形数据,最终探明勘探区域煤层厚度区间1.2m-3.8m,划分煤层稳定开采区、变薄弃采区共4块,精准标定煤层分叉边界。依托探测数据调整综采工作面铺设角度与开采高度,避免开采标高偏差造成资源浪费,本次实操相较单一钻探,煤厚探测吻合度提升27%,完全适配不规则煤层开采前置勘探需求。

3.2 井下导水构造靶向勘探实操

麒麟区恩洪矿区深部矿井11501掘进工作面底板承压水压力值较高,巷道掘进时常出现岩壁渗水现象,底板隐伏导水裂隙发育情况不明,突水风险等级较高。项目采用瞬变电磁+高密度直流电法耦合综合物探作业,依托两类技术电阻率差异化判定水体赋存状态,直流电法划分岩层隔水层完整程度,瞬变电磁精准锁定低阻含水异常区位置。作业避开井下供电电缆、运输轨道干扰区域,优化发射线圈频率,完成巷道前方80m纵深全域扫描,最终圈定3处条状低阻异常区,判定为连通底板奥灰水的导水裂隙带,标注裂隙延展长度、涌水量预估数值。矿井依据勘探结果针对性施工疏水降压孔、裂隙注浆封堵工程,治理完成后巷道岩壁渗水完全消散,本次靶向勘探精准锁定导水通道,杜绝盲目疏水钻孔施工,提升矿井水害前置治理效率。

3.3 采掘区域断层构造勘探实操

麒麟区恩洪矿区黄土覆盖矿区11503综采工作面回采前期,井下巷道掘进出现岩层错动、顶板破碎现象,疑似隐伏断层发育,单一地质雷达无法判断断层落差、导水性。现场采用槽波地震+井下瞬变电磁综合勘探组合模式,槽波地震探测煤层内部岩体连续性,判断断层空间错动规模;瞬变电磁核验断层破碎带含水特性,区隔水断层与导水断层。本次勘探完成工作面全域扫描,探明工作面发育正断层4条,其中落差0.8m小型隔水断层2条、落差3.2m导水断层2条,精准标注断层与工作面切眼水平距离。矿井结合探测数据优化回采路线,避开导水断层核心区域,对小型隔水断层提前做好顶板加固支护,调整综采机组推进速度,有效避免断层区域顶板垮落、水体涌入问题,保障工作面连续稳产回采。

4 煤矿勘探中的综合物探技术应用问题及优化路径

4.1 复杂岩层环境物探数据干扰问题

深部井田、构造密集区岩层物性杂乱，直接降低综合物探数据纯净度，影响勘探研判结果。一方面井田深部高温、高压环境改变围岩导电、传波物理属性，原本固定的物探参数出现偏移，含水岩层与破碎岩层电阻率波形高度重合，技术人员难以区分构造异常与水文异常。另一方面井下人为干扰常态化存在，巷道金属锚杆、支护钢梁、高压供电线路、运输机电设备会产生电磁杂波，叠加原生岩层干扰后，造成物探波形畸变、局部数据失真。部分风化松散岩层介质不均匀，地震波传播散射损耗量大，浅层小型陷落柱、裂隙信号被杂波覆盖，后期数据滤波处理难度较大。现阶段通用滤波算法适配性有限，无法针对性剥离矿区专属干扰信号，极易造成地质异常区误判、漏判，降低综合物探勘探准确率。

4.2 井下多工况物探设备适配短板

市面主流综合物探成套设备多适配地面勘探研发，井下专用一体化探测设备品类不足，工况适配短板凸显。其一井下巷道空间狭窄、弯道岔口较多，大型地面物探主机、组网线圈转运布设不便，分体式设备组装耗时较长，适配小断面巷道便携探测设备性能偏弱，探测纵深不足。其二是井下高粉尘、高湿度、瓦斯易燃易爆环境，部分电磁类探测设备防爆等级不达标，防尘防水密封性不足，长期井下作业易出现线路短路、探头失灵故障。其三井下异构设备数据端口不互通，地震、电磁类探测设备数据格式不统一，后台无法自动耦合建模，需要人工整合校对数据，加大技术人员工作量。同时井下防爆型高精度数据处理终端稀缺，现场无法实时研判数据，只能地面后端分析，延误勘探研判时效。

4.3 适配煤矿工况物探作业优化对策

针对井下岩层数据干扰、矿用物探设备适配不足两大核心问题，结合煤矿高瓦斯、富水、狭小巷道作业工况，从数据、设备、作业、人员四维制定优化对策。数据处理层面，搭建矿区本地化干扰数据库，提前采集巷道支护构件、机电设备、原生岩层杂波参数，优化自适应滤波算法，精准剥离无效杂波信号，搭配少量钻探点位校核物探波形，修正数据偏差，提升地质异常区研判精准度。设备改造层面，淘汰大型地面勘探设备，选用井下本

安型轻量化探测一体机，升级探头防尘防爆防护结构，统一各类物探设备数据端口格式，配套井下防爆研判终端，实现现场探测、建模、分析一体化作业。现场作业层面，规范分区勘探标准，常规煤层适度降低测点密度，破碎富水区域加密测点，高危地段采用双技术耦合核验探测。此外完善一线人员专项培训体系，立足井田独有地质特征教学，贴合矿区工况研判数据，减少理论研判误差，全面提升综合物探井下勘探适配性与可靠性。

5 结语

现阶段煤矿开采逐步迈入深部采掘阶段，井下地质结构愈发复杂，水害、断层、煤层异变等地质灾害频发，传统单点钻探、单一物探模式已难以满足安全生产勘探要求。综合物探技术整合电磁、地震、电性探测手段，实现多源数据交叉核验，既能精准探明煤层赋存、导水通道、断层构造等地质信息，又能缩短勘探工期、弱化井下施工风险，整体适配煤矿掘进、回采全流程前置勘探工作，实用性极强。但从现场作业来看，井下金属构件杂波干扰、岩层物性不均、矿用专用探测设备欠缺等问题，依旧限制探测精度。后续矿井需结合井田地质特征，优化现场勘探工艺，升级抗干扰数据处理系统，配备防爆轻量化物探设备，完善现场作业规范。依托技术优化补齐应用短板，最大化发挥综合物探勘探价值，筑牢煤矿井下地质灾害超前防控防线，保障矿井安全高效开采。

【参考文献】

- [1]蔡俊颖,李得印,叶蔚翔.煤矿井下水文地质勘探技术应用分析[J].江西煤炭科技,2026,(2):124-127.
- [2]侯意成.物探多源数据在煤矿地质开采中的应用[J].山东煤炭科技,2025,43(9):109-113.
- [3]杨强,李东东,徐智颖,等.煤矿地质勘探中综合地质勘探法的应用[J].中国高新科技,2025,(18):100-102.
- [4]郭恒,王鹏,张振勇.综合物探技术在煤矿地质水文勘探中的应用[J].煤矿开采,2018,23(2):18-21+64.
- [5]柴永胜.综合物探技术在煤矿采区地质勘探中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2017,(21):24-25+62.

作者简介：

张彪(1980—),男,彝族,云南宣威人,大专,工程师,研究方向：煤矿安全监管与技术服务指导工作。