

Geophysical Application Status and Its Development Tendency in Renlou Coal Mine

Yang Hu¹, Jian Sun^{1,2*}

¹School of Energy and Safety, Anhui University of Science & Technology, Huainan Anhui

²State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining & Technology, Xuzhou Jiangsu

Email: *248536135@qq.com

Received: Jun. 14th, 2016; accepted: Jun. 28th, 2016; published: Jul. 5th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Effective detection and accurate location of the coal mining face and the surrounding potential water inrush geological structure, to ensure the safety of coal mine production, is of great significance. This paper introduces Renlou coal mine and its surrounding mine application instantaneous change electromagnetic instrument, radio wave penetration instrument, DC electrical prospecting instrument, portable detector of geology, geological radar mining roadway and stope mine geophysical prospecting equipment detection around the face containing (Guide) fault water, subsided column potential water inrush structure results. The actual situation of the water inrush structure shows that the accuracy rate of mine geophysical exploration is more than 70%. It is necessary to improve the detection efficiency and accuracy. At the same time, in order to improve the reliability of the detection data interpretation, we must carry out a comparative analysis of the geophysical anomaly and the actual situation of the roadway.

Keywords

Water Inrush Structure, Geophysics, Mine Geophysical Prospecting, Advanced Detection

任楼煤矿井下物探应用现状及发展趋势

胡 洋¹, 孙 建^{1,2*}

¹安徽理工大学能源与安全学院, 安徽 淮南

*通讯作者。

²中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏 徐州
Email: *248536135@qq.com

收稿日期: 2016年6月14日; 录用日期: 2016年6月28日; 发布日期: 2016年7月5日

摘要

有效探测、准确定位矿井采掘工作面及周围潜在的突水地质构造体, 对保证煤矿安全生产意义重大。本文介绍了任楼煤矿及其周边矿井应用瞬变电磁仪、无线电波透视仪、直流电法仪、便携式地质探测仪、地质雷达等矿井物探设备探测采掘巷道及回采工作面周围含(导)水断层、陷落柱等潜在突水构造体所取得的成果。突水构造体的现场实际揭露情况表明矿井物探探测准确率仅达到70%以上, 要想实现突水构造体的精确探查, 减少钻探工程量, 提高探测效率、精度, 必须几种物探方法配合使用, 才能更准确定性、定位、定量煤矿井下的地质异常体。同时, 要想提高探测资料解释的可靠性, 必须把物探异常与巷道实际揭露情况进行对比分析, 通过已知推测未知, 提高物探的反演技术。

关键词

突水构造体, 地球物理, 矿井物探, 超前探测

1. 引言

矿井物探是指在矿井地下开采空间进行各类地质勘查的地球物理方法的总称[1]。我国煤层赋存条件的多样性及水文地质条件的复杂性决定了矿井物探服务于煤炭安全生产的重要性和必要性。与地面物探相比, 井下物探具有半空间-过度空间-全空间的问题, 由于施工环境、观测系统和仪器装置的特殊要求, 使得矿井地球物理场观测的技术难度大、干扰因素多, 数据采集、物性反演、地质解释难度大。同时, 矿井物探具有距探测目标近、物探异常明显、探采对比实证性强、运用灵活等优点[2]。

我国在矿井物探方面已取得了丰硕的研究成果, 但也存在理论滞后、研究不足、人员匮乏等问题, 有效探测、准确定位矿井采掘工作面及周围潜在的突水地质构造体, 对实现煤矿安全生产意义重大[3]-[5]。本文介绍了任楼煤矿及其周边矿井应用瞬变电磁仪、无线电波透视仪、直流电法仪、便携式地质探测仪、地质雷达等矿井物探设备探测采掘巷道及回采工作面周围含(导)水断层、陷落柱等潜在突水构造体所取得的成果。突水构造体的现场实际揭露情况表明, 要想实现矿井物探对突水构造体的精确探查, 提高探测效率、精度, 必须几种物探方法配合使用, 才能更准确定性、定位、定量煤矿井下的地质异常体。另外, 要想提高探测资料解释的可靠性, 必须把物探异常与巷道实际揭露情况进行对比分析, 通过已知推测未知, 提高物探的反演技术, 这也是当前矿井物探面临的科学问题和关键技术。

2. 井下物探技术及应用

恒源煤电集团公司任楼煤矿物探工程中心成立于2012年8月, 其前身是成立于1998年的任楼煤矿物探组。该中心拥有瞬变电磁仪、无线电波透视仪、直流电法仪、便携式地质探测仪、地质雷达等矿井物探设备。

2.1. PROTEM47 型瞬变电磁仪

矿井瞬变电磁法是一类非接触式探测技术, 属于时间域电磁法。它利用不接地回线向采掘空间周围的煤岩体中发射一次场, 通过在发射间勘测量煤岩体中电性不均匀体感应产生的二次场随时间的变化,

来达到查明各种目标体的目的[6]。

PROTEM47型瞬变电磁仪由加拿大GEONICS公司研制,采用全空间多匝方形小回线源,发射、接收线圈采用中心分离方式,减少了收发互感,其超前探测工作原理如图1所示[7]。仪器设有7个频率,分别为237.5 Hz、62.5 Hz、25 Hz、6.25 Hz、2.5 Hz、0.625 Hz、0.25 Hz。瞬变电磁法数据处理软件为TEMINT软件,该软件可以在半空间与全空间切换,数据处理结果对异常体具有较好的识别能力,通过增加竖直测线,对纵向剖面内电性的分布特征进行有效控制,进一步提高了异常体的空间判定能力。利用该仪器的定向性,可以对工作面顶板、底板、顺层等方向进行全空间探测。

从2010年初至2014年12月底,瞬变电磁法已在任楼煤矿以及周边矿井开展工程地质探测300余次,现场应用表明其准确率达到70%以上。该方法目前主要用于掘进巷道前方的含(导)水小构造,小断层裂隙等潜在突水构造体,回采工作面周围老空水及面内顶(底板)陷落柱探测等工作。如任楼煤矿原I151轨道大巷掘进至G33点前32 m位置(如图2所示),在巷道迎头右侧布置锚杆时,从锚杆孔内涌出水量达到20 m³/h,为了探明含水构造的发育情况,用该仪器对迎头位置进行超前探测,并对迎头后250 m范围内的两帮和底板进行探测,做出了构造发育情况以及赋水性情况的预测预报。为了预防导水通道扩大而造成灾害,及时对该巷道进行了封堵,从而避免了透水事故的发生。后经施工钻孔的工程验证探测,得出赋水异常区在巷道的上帮,与瞬变电磁探测的异常具有很好的吻合性[8]。

2.2. WKT-E-E(J)型无线电波透视仪

无线电波透视法(简称坑透法)是在顺煤层的两巷道或两钻孔中进行的,根据电磁波在煤层中的传播特性而研制的一种收、发电磁波的仪器和资料处理系统[9]。如果发射源发射的电磁波穿越煤层途径中,存在断层、陷落柱、富含水带、顶板垮塌和富集水的采空区、冲刷、煤层产状变化带、煤层厚度变化和煤层破坏软分层带等地质异常体时,接收到的电磁波能量就会明显减弱,这就会形成透视阴影或异常区,其透视曲线交绘法解释示意图如图3所示。目前,无线电波透视法主要应用于探测回采工作面及钻孔之间的地质小构造,如煤层中断裂构造的界面,构造引起的煤层破碎带、煤层破坏软分层带以及富含水带、陷落柱、顶板塌陷或富积水的采空区、煤层厚度及产状变化带、夹矸厚度变化带、火成岩入侵体等。

WKT-E-E(J)型无线电波坑透仪是一款本安型矿用仪器,该仪器设有0.3 MHz、0.5 MHz、1.5 MHz三个频段,分别应用于不同地质条件下工作面的坑透工作。由于吸收系数与电磁波频率和煤层的电阻率等电性参数有直接关系,即在同一均匀煤层中,频率越高吸收系数就越大,电磁波穿透煤层距离就近;煤层电阻率越低,吸收系数也越。因此,探测时工作面较宽、煤层较薄时,电磁波将无法穿透整个工作面。目前探测过的工作面最大宽度为240 m,煤厚最薄为0.8 m,均取得较好的探测结果。自2010年初至2014年12月底,恒源煤电集团公司已完成38个工作面的探测,已回采验证30个工作面,共98个异常区,回采验证完全吻合的有79个,准确率达80%以上。

2.3. YT120(A)和YDZ(A)型直流电法仪

矿井直流电法就是利用专门的仪器在井下观测人工场源的分布规律来达到解决地质问题的目的[10]。由于煤系地层的沉积序列比较清晰,在原生地层状态下,地下各种岩(矿)石之间存在导电差异,影响着人工电场的分布形态,其导电性特征在纵向上有固定的变化规律,而在横向上相对比较均一。当存在构造破碎带时,如果构造不含水,则其导电性较差,局部电阻率值增高;如果构造含水,由于其导电性好,相当于存在局部低电阻率地质异常体,其单级-偶级法测量原理如图4所示。因此,当煤层顶底板岩层内断层、裂隙和陷落柱等地质构造发育时,无论其含水与否,都将打破地层电性在纵向和横向上的变化规律。这种变化规律的存在,为以岩石导电性差异为物理基础的矿井直流电法探测提供了良好的地质条件。

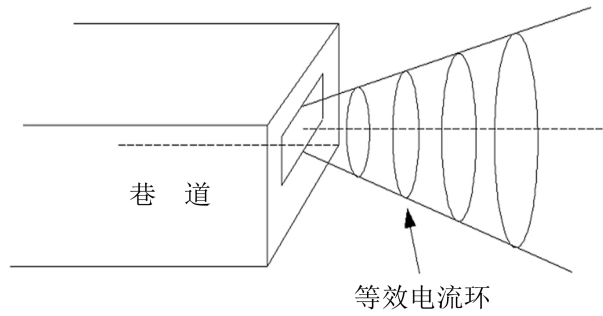
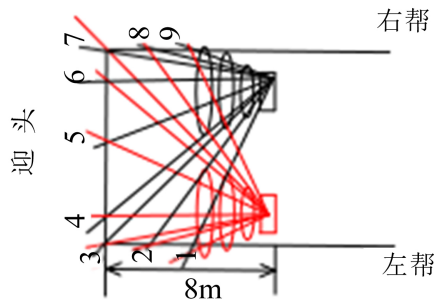
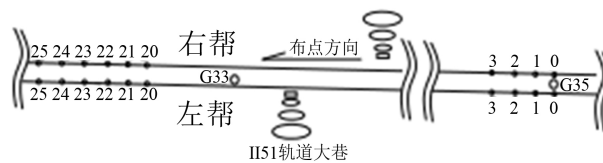


Figure 1. Transient electromagnetic principle diagram of advanced detection
图 1. 瞬变电磁超前探测原理示意图



II51轨道大巷迎头超前探测示意图



II51轨道大巷侧帮探测示意图

Figure 2. 51 track roadway transient electromagnetic advanced detection and side to help the probe
图 2. II51 轨道大巷瞬变电磁超前探及侧帮探测图

YT120(A)型音频电透视仪(简称电透)是一款用于测深的电法仪器,它利用四极测深原理,把供电电极 A (或 AB)和测量电极 MN 分别布置在采煤工作面两相邻巷道中,采用直流供电,通过测量 MN 间的电位差,研究两巷道间工作面内及围岩中的电场分布规律,用于探测工作面内部及其顶底板岩层内的含水、导水构造异常。根据测得的数据计算出视电阻率,通过地电成像方法计算研究工作面煤层内部的电性变化规律,进一步推断工作面煤层内是否存在地质构造。根据采煤工作面的地质构造性质与电性反映的对应关系,进行物探-地质解释,评价其地质构造结构。一般情况下煤层缺失带呈低阻反映,断层(含水)裂隙发育带呈(明显)低阻反映。

YDZ (A)型直流电法仪是用于三极测深及单极超前探测的电法仪器,目前主要应用于电法超前探测。矿井电法超前探测在全空间条件下建场,使用全空间电场理论,研究掘进头前方地层电性变化规律,预测前方含、导水构造的分布和发育情况的电法探测新技术,在现场采用点电源三极装置进行数据采集工作。资料解释方法主要是对物探处理的图件进行地质分析,其一是从参数的变化幅度确定物性参数异常划分原则,从相邻点间的异常位移确定异常体的空间位置;其次是结合有关地质资料对物性异常进行综

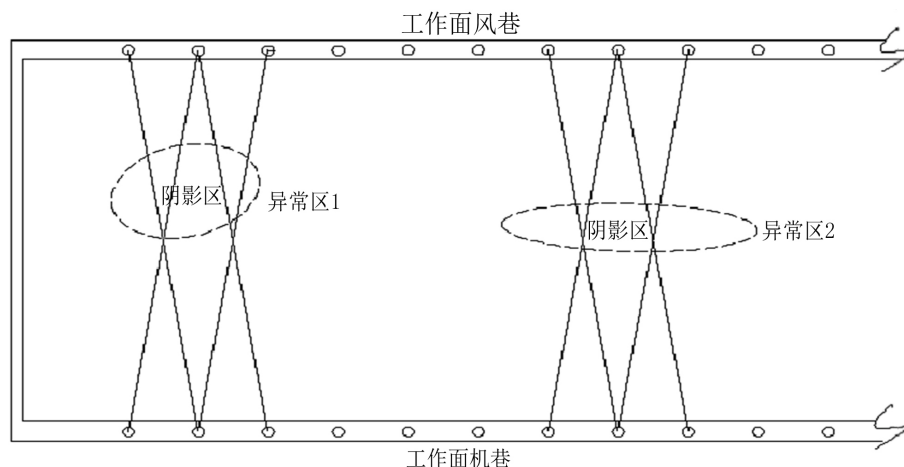
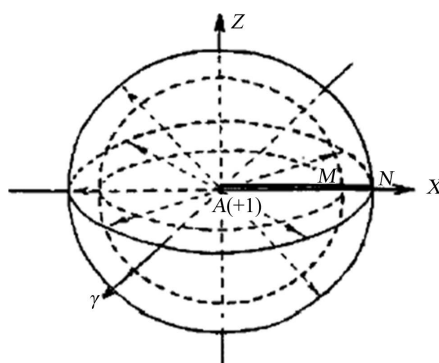


Figure 3. The interpretation of the radio wave perspective curves
图 3. 无线电波透视曲线交绘法解释示意图



A-发射电极; B-无穷远电极; M、N-接收电极

Figure 4. Monopole dipole method measuring principle
图 4. 单极 - 偶极法测量原理示意

合分析, 确定物性异常的原因, 分析是地层岩性的变化, 还是局部地质体(如含水构造)的存在。

自 2010 年初至 2014 年 12 月底, 恒源煤电集团公司的直流电法共进行 37 次井下探测, 准确率 70% 以上。目前, 直流电法技术主要应用于岩层裂隙性、富水程度、含水层连通性, 突(导)水通道、巷道底板有效隔水层厚度、含水层厚度及其富水性分布规律, 工作面带压开采条件物探评价及工作面探放水孔位置选择、工作面底板注浆效果检测、老窑积水区探测、陷落柱及其富水性探测等。对于采煤工作面顶底板内部的导水构造及含水层的富水性探测, 均取得了良好的地质效果, 为采煤工作面注浆改造及防治水工作提供了依据。

2.4. KJH-D 型防爆探地雷达

地质雷达法通常是一种利用高频至特高频波段(及空气中电磁波波长 10 m 波段至分米波段)电磁波的反射实现无损探测的方法[11]。在系统主机的控制下, 发射机通过天线向围岩内定向发射电磁波(雷达波)。垂直于岩层表面向围岩内传播的电磁波, 当遇到有电性差异(主要是介电常数、电导率)的界面或地质异常体时即发生反射, 反射波被天线接收进入接收机, 并传到主机, 主机对从不同深度返回的各个反射波进行放大、采样、滤波、数字迭加等一系列处理, 可在显示器上形成一种类似于地震反射时间剖面的地质雷达连续探测彩色剖面, 进而可以分析岩性差异或地质异常体的存在。

KJH-D 型防爆探地雷达仪器配有 1 m 和 2 m 两款天线, 对应频率分别为 100 MHz、50 MHz, 1 m 的天线可超前探测 5~30 m, 根据迎头条件选择 50 MHz 天线, 探测距离可增大至 50 m。数据处理时, 首先根据扫射回波的形态、反射强度及其变化在连续剖面上判别目标性质, 再根据回波的时间和速度确定目标深度, 然后将这些信息绘成剖面成果图, 其探测原理如图 5 所示。

KJH-D 型防爆探地雷达仪器于 2014 年引进, 截止 2014 年 12 月底, 地质雷达共进行 6 次井下探测, 准确率 70% 以上。该方法由于发射高频脉冲式电磁波, 巷道内的金属物体、迎头断面平整度对其影响较大。因此, 对于现场探测的环境要求较高。

3. 井下物探技术存在问题及发展趋势

3.1. 电法、电磁类物探仪器存在问题

瞬变电磁探测法对于巷道前方及工作面周围的含(导)水小构造, 小断层裂隙等潜在突水构造体, 空间分布及赋存位置的定性效果较好。瞬变电磁探测法属于时间域电磁法, 由发射一次脉冲电磁场, 观测二次涡流场的方法, 由于关断时间采用的差异, 致使探测盲区常达到 15~20 m。因此, 解决这一问题必须建立在大量的实验研究, 仪器探测精度的高低、对于数据的分辨率, 以及后期软件处理参数选取的基础之上。

音频电透视法在探测工作面周围的含(导)水小构造, 小断层裂隙等潜在突水构造体, 尤其是检测底板动态含赋水性效果较好。但对于切眼走向长在 200 m 以上的工作面, 受到探测条件及环境的限制, 透距已不能满足探测需求, 建议开发透距在 200~300 m 之间, 大透距音频电透视仪, 满足矿井物探发展的需求。

高分辨电法仪探测精度不高, 对于超前探测中的含(导)水构造体的位置, 虽然在 80 m 范围内探测出了局部异常(与巷道揭露结果基本吻合), 但存在误判漏判的误差性较大, 建议提高该仪器的探测精度。

无线电波透视法能够有效探测断层落差 $H > 0.5$ m 的展布规律、冲刷带、煤层厚度变化带(无煤带), 断裂构造带附近的含(导)水性以及直径在 15 m 以上的陷落柱等。回采验证探测准确率达到 80% 以上, 效果较好。但透距常不能满足新型煤矿生产的探测要求, 对于大面、宽工作面(>240 m), 常不能有效穿透, 对于近走向展布断层及薄煤区, 空间分辨率较差。

3.2. 雷达波类物探仪器存在问题

高频电磁波在地下介质中具有较强的电磁波衰减特性, 加之地下地质情况的多样性和复杂性, 探地雷达方法的探测距离不如地震方法远。而与一般的电法探测技术相比较, 探地雷达方法的优势在于它能直接识别地下目标体, 不需要特别复杂的理论推演。因此, 对震波类仪器探测的异常体做定性、定位的

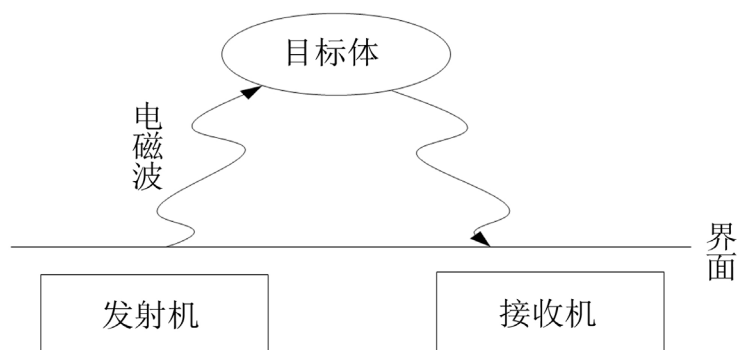


Figure 5. Schematic diagram of radar detection
图 5. 雷达探测原理示意图

解释更准确, 必须建立在前期的设计、数据采集, 揭露的地质构造体基础之上, 物探与地质达到有效结合, 来推测未知异常体。

3.3. 井下物探技术发展趋势

我国有多项物探技术达到了世界先进水平, 物探已成为推动煤矿安全生产的先进技术手段。实践证明, 矿井物探是地面勘探技术的重要补充, 是矿井地质工作的重要手段, 这在其他矿业部门中所采用的矿井物探试验也证实了这一点。

在今后的物探工作实践中, 我们要进一步提高物探设备的探测精度, 为煤矿工作的高效生产提供技术保障。深入研究电法、电磁波、震波在煤岩体中的传播原理及吸收原理, 进一步研究各种物探方法采集数据的反演技术, 实现采集数据的实时在线反演, 提高数据对地质异常体的分辨能力[12]。

4. 结论

矿井物探技术比以往的矿井地质钻孔探测手段更快捷、更方便、更准确, 更能有效解决煤矿井下影响安全生产的诸多地质问题, 极大提高了煤矿地质成果的可靠性。单一物探设备虽然能够对地质异常体的空间分布及其赋存位置定性, 但其准确定位性较差。任楼煤矿井下物探技术应用的实践表明, 要实现精确探查, 减少钻探工程量, 降低经济成本, 提高探测效率、精度, 必须几种物探方法配合使用, 才能准确定性、定位、定量煤矿井下的地质异常体, 有针对性的进行探查。同时, 要想提高资料解释的可靠性, 必须把物探异常与巷道实际揭露情况进行对比分析, 通过已知推测未知, 提高物探的反演技术。

基金项目

国家自然科学基金青年基金资助项目(51404013); 安徽省自然科学面上基金资助项目(1508085ME77); 安徽高校科研创新平台团队建设项目; 安徽省科技计划项目(1604a0802107)。

参考文献 (References)

- [1] 刘天放, 李志聘. 矿井地球物理勘探[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.
- [2] 刘盛东, 刘静, 岳建华. 中国矿井物探技术发展现状和关键问题[J]. 煤炭学报, 2014, 39(1): 19-25.
- [3] 刘树才, 岳建华, 刘志新. 煤矿水文物探技术与应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [4] 刘勇锋, 马海涛, 付士根. 综合物探技术在老空区水害防治中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2010, 6(6): 103-107.
- [5] 高保彬, 李林, 李回贵, 于水军. 综合物探技术在矿井工作面底板含水构造探测中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(7): 87-92.
- [6] 蒋邦远. 实用近区磁源瞬变电磁法勘探[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [7] 于景邨, 刘志新, 刘树才, 汤金云. 深部采场突水构造矿井瞬变电磁法探查理论及应用[J]. 煤炭学报, 2007, 32(8): 818-821.
- [8] 胡洋, 胡应旭. 瞬变电磁技术在探测陷落柱中的应用[J]. 城市建设理论研究, 2013(24): 45-46.
- [9] 邱增强, 刘志新. 无线电波透视法在探测隐伏含水构造中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2005, 2(3): 185-190.
- [10] 岳建华, 刘树才. 矿井直流电法勘探[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2000.
- [11] 宋劲. 矿井防爆地质雷达关键技术研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [12] 韩德品, 赵谱, 李丹. 矿井物探技术应用现状与发展展望[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(5): 1839-1849.