

文章编号: 1001-1986(2012)03-0070-04

瞬变电磁法在煤矿水害防治中的应用

梁爽

(中煤科工集团西安研究院, 陕西 西安 710077)

摘要: 瞬变电磁法(TEM)具有施工方便、快捷、对低电阻率地质目标体反应敏感等诸多优点, 在寻找地下水源、查明采空区及探测岩溶发育带等方面有着广泛的应用。在简述 TEM 工作原理、方法的基础上, 论述了 TEM 法在我国多个矿区复杂条件下, 对积水采空区和地层富水区的水文地质勘探实例。结果表明, 采取必要的技术措施后, 勘探取得了良好的地质效果, 为保障矿井安全生产提供了科学依据。

关键词: 瞬变电磁法; 视电阻率; 煤矿水害; 水文地质勘探

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2012.03.017

The application of TEM in detecting water hazards in coal mines

LIANG Shuang

(Xi'an Research Institute, China Coal Technology & Engineering Group Corp, Xi'an 710077, China)

Abstract: Due to being convenient, fast and sensitive to low resistance target body, Transient Electromagnetic Method (TEM) is applied widely in searching groundwater sources, detecting gob and karst development zones. The paper, on the basis of briefing TEM principle and method, discusses the application of TEM method in hydrogeological exploration of water-accumulating gob and water-riched areas under complex conditions of different mining areas in China. It has been proved to be successful, achieved excellent geological effects and provides scientific basis for ensuring safe production.

Key words: TEM; apparent resistivity; water hazards in coal mine; hydrogeological investigation

我国煤矿水文地质条件复杂, 随着近年煤炭工业的迅速发展, 煤矿安全生产中遇到的水害问题更加突出, 如积水采空区、地下富水带与岩溶溶洞等。矿井水害威胁已经成为制约我国煤矿安全生产的重大隐患^[1], 对这类问题的精细探测是工程地球物理的难题之一。由于瞬变电磁法对低电阻率地质目标体反应较为敏感, 因而, 该方法为探测和发现水害, 保障矿井安全生产提供了最有效的途径。

1 瞬变电磁法

瞬变电磁法(Transient Electromagnetic Method) 又称时间域电磁法(Time Domain Electromagnetic Method), 简称 TEM 或 TDEM, 是建立在电磁感应原理基础上的时间域人工源电磁探测方法。它利用不接地回线或接地线源向地下发送一次脉冲磁场, 在其激发下, 地下地质体中产生的感应涡流将产生随时间变化的感应电磁场。该信号和地下地质结构的电性特征有着直接的关系。通过研究瞬变场随时间的变化规律, 从而达到解决地质问题的目的^[2-5]。其工作原理见图 1。

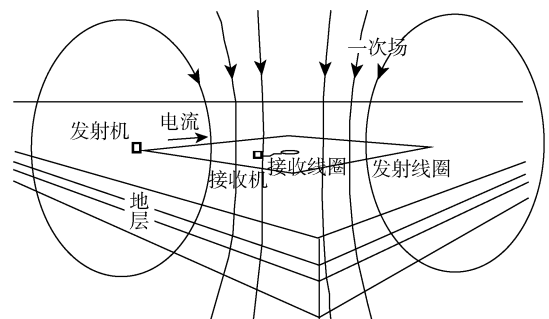


图 1 TEM 法工作原理示意图

Fig. 1 The diagram of TEM principle

瞬变电磁法是在没有一次场背景情况下观测研究二次场, 简化了对探测目标产生异常的研究。该方法以其装置轻便、受旁侧影响小、高工效、低成本等特点已被广泛用于金属矿和煤田地质勘探、工程物探、地下水与地热勘探、采空区与岩溶发育带探测及环境灾害地质调查研究等诸多领域^[6-12]。由于方法本身的属性, 不宜在高压超高压输电线路、铁路等强干扰源附近采集资料, 这也为相关规范、技术规程所规定。

2 资料处理

野外采集的数据经过处理、分析与解释等一系列基本流程^[8]才能成为地质成果。TEM 野外采集到的数据含有发射线框^[13]、发射电流、关断斜坡^[14-18]、接收线圈、增益、迭加次数等诸多因素的影响,必须进行归一化。资料采集过程中,硬件设计已考虑了压制 50 Hz 干扰和随机干扰^[19],但并不彻底,还必须通过软件进一步去噪,然后再进行各种计算和反演^[20-26]。

原则上瞬变电磁测深法的理论公式都是依据水平层状模型推出的,目前较成熟的解释方法也都是在水平层状一维模型的基础上建立起来的^[2-5,23-26]。对于二维、三维瞬变电磁反演解释方法由于理论上的复杂性,且影响因素较多,要达到实际应用阶段还存在距离。较成熟的水平层状一维模型反演仍然是目前常用的有效反演方法。

在矿区开展 TEM 勘探工作,有其特殊性,这就是干扰因素多、干扰程度强,有的地方甚至不适于开展此项工作,这应依据相关规范来进行。在可工作区域,对不同的影响因素要有针对性更强的技术措施。

3 应用实例

3.1 电力线干扰区

晋北地区某矿井,由于地方小煤窑曾经越界开采侏罗系 11 号煤,直接威胁矿井安全生产。矿方对小煤窑开采范围也进行过走访调查,但限于多种条件,所调查到的小窑采空范围准确程度不高。预计小窑采空区内还有大量积水,这给矿井的安全生产造成严重威胁。

测区为丘陵缓坡地带,长 1 300 m,宽 480 m,地表发育有 2 条深 10 余 m 沟谷。区内地质构造简单,地层走向近东西,倾向南,根据所提供的钻孔资料推算,地层倾角小于 2°,近于水平,南边略低。勘探目标层为 11 号煤层,埋深在 230 m 左右。

矿区出露有寒武系、石炭系、二叠系、侏罗系、白垩系和第四系等地层。由于区域上石炭系和二叠系地层由南向北变薄并尖灭,所以虽然石炭系上统太原组和侏罗系中统大同组为区域主要含煤地层,但只有后者为井田的主要含煤地层。

野外数据采集使用加拿大凤凰公司生产的 V₈ 多功能电磁勘探系统。按勘探精度要求,在勘探区范围内按 40 m×30 m 测网密度布设测线 13 条,每条线上有 44 个测点。

在测区内南部有 380V 电力线通过,该处资料受到 50 Hz 工频电干扰(图 2),但通过增加叠加次数与采用双极性矩形脉冲电流源等有效的消噪手段^[19]与后续处理措施,感应电动势衰减曲线可满足质量要求(图 3)。

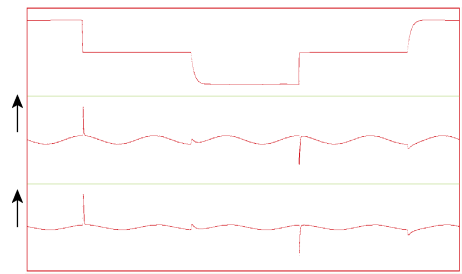


图 2 带明显 50 Hz 工频电干扰的实测信号

Fig. 2 The measured signal with interference of 50 Hz power line

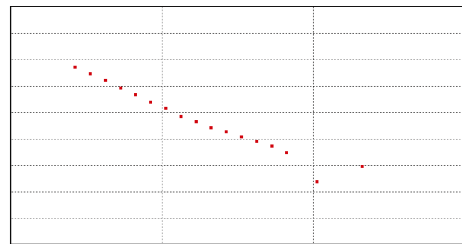


图 3 工频电噪声抑制效果

Fig. 3 The effect of power line noise suppression

通过数据处理,提取 11 号煤层附近的数据,绘制成视电阻率平面图(图 4)。从图 4 可以看出,低阻区位于测区南部的东西两头,高阻区分布在测区北部。结合矿方调查所得 11 号煤层采空区位置(测区北侧),推测采空范围为测区北部区域。因该区呈高阻反映,推测该层位采空区含水性不强。尽管测区地层近于水平,但在 480 m 宽的范围内亦有 12 m 左右的高差,采空区积水会向南部汇聚。测区南部的两处低阻异常 I、II 比较明显,可能由于采空区含水引起,也可能是由于该处含水裂隙较为发育所致。建议在后续的工作面布采时,两处低阻异常应当予以重视。

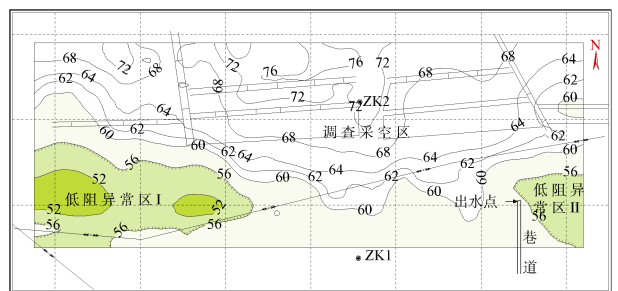


图 4 电力线干扰区 11 号煤层附近视电阻率平面图

Fig. 4 Apparent resistivity map of No.11 coal in power line interference zone

而矿方走访调查结果认为,小煤窑采空区在测区北部,南部没有采空,为实煤区,不会有积水。即使存在裂隙水,一般也不会对矿井安全生产构成直接威胁。就在勘探成果报告提交 2 个月,测区东南部在掘巷道进入测区 110 m 处发生出水事故,造成了人员伤亡与财产损失。出水点距物探划定的异常 II 边界仅 10 m 之遥。

3.2 复杂地形区

山西某矿由于受侏罗系 11 号煤积水采空区的威胁,为保证 11 号煤剩余资源及下部石炭系 3 号煤的安全开采,开展了物探工作。

矿区地层与 3.1 中相类似,不同之处在于该区石炭系为可采含煤地层。测区为一平行四边形,考虑到异常追踪对比及方便施工布置,将测区延伸为 1 200 m×270 m 的矩形。测区平均高程 1 320 m,虽然面积不大,但最大高差有 190 m 之多。勘探目标层 11 号煤高程在 1 200 m 上下,石炭系 3 号煤高程在 930 m 上下。资料采集使用 V₈ 多功能电磁勘探系统。

针对地形起伏大,一方面采用大发射线圈来弱化地形影响,另一方面,对受地形影响数据进行必要的校正处理。经过上述措施后,提取 11 号煤附近视电阻率数值绘制平面图(图 5)。从图 5 可以看出,低阻异常区在图幅上半部,其核心位于 3-7 线的 50-63 点间。异常区与异常核心区分布与构造密切相关且对应较好。整体上,低阻异常区分布于地层较低一侧,而异常核心区在背斜一翼的最低端。

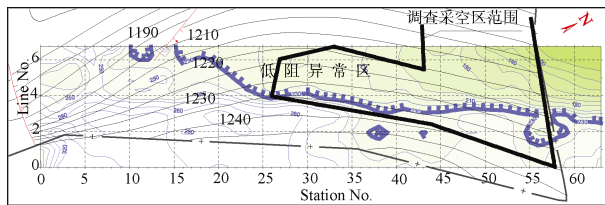


图 5 复杂地形区 11 号煤附近视电阻率平面图

Fig. 5 Apparent resistivity map of No.11 coal in complicated topography zone

瞬变电磁法划定的低阻异常区与矿方后来提供的调查采空区重合得较好,但又体现出不同,那就是沿地层走向,低阻异常区有所延伸,沿地层倾向则有所回缩。这是由于地层沿走向高程变化平缓,沿倾向则有明显的降低,积水会向地势低的地方汇聚和渗透,以致该处地电阻率数值偏低。基于此,推断采空区有积水。这一推断为矿方提早采取必要的水害防治措施,保证 11 号煤剩余资源及下部石炭系 3 号煤的安全开采提供了有价值的依据。

3.3 戈壁地区

我国西部戈壁区是人们传统认识上的极度缺水地区,矿区生产生活用水极为紧张,但矿井生产依然遭受水害事故。新疆地区某矿一工作面上顺槽在巷道掘进至图 6 中的 S 处发生涌水溃砂事故,导致财产损失和矿井停产。事故发生后,矿方立即组织相关方面技术专家对透水事故原因与工作面剩余部分的矿井充水条件进行了分析与评价,以查明事故原因,避免类似事故再次发生,同时保证剩余煤炭储量的安全回采。物探作为配合水文地质调查的手段,进行了地面瞬变电磁法勘探。

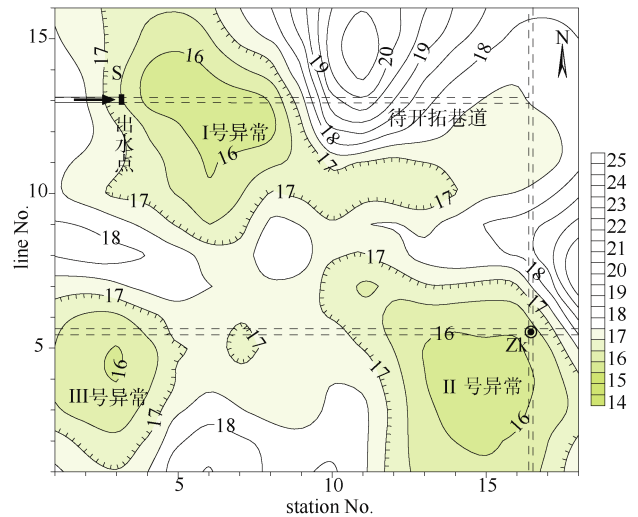


图 6 戈壁区煤层顶板附近视电阻率平面图

Fig. 6 Apparent resistivity map of coal in Gobi desert zone

矿区为山前倾斜平原前缘地带,属戈壁滩地貌,北为天山山脉的巴尔库山,山顶积雪融化沿第四系底部进入矿区。矿区所见地层为第四系、新近系、侏罗系和石炭系、二叠系等。第四系为 10 余 m 厚的砂及砾石层。新近系由 100 m 左右的砂砾岩及砾状灰岩等组成。侏罗系为含煤地层,矿区开采煤地层埋深在 120~130 m。石炭-二叠系由一些中酸性火山岩组成,为煤系基底。

野外数据采集使用 V₅ 多功能电磁勘探系统。针对地质条件、精度要求并结合现场试验,采用 400 m×400 m 发射线圈及 20 m×20 m 的基本测网密度,对发现的异常区域不仅重复测量核实,还把异常区测点加密至 10 m×10 m。图 6 是该测区 120 m 深度(煤层顶板附近)视电阻率平面图,点线距均为 20 m。图 6 中标出了 3 个低阻异常区,其中 I 号异常区与事故位置相吻合,该处放水量平均 3 000 m³/d。从视电阻率平面分布图推测 I、II 号异常有可能是连通的,并且还有可能与 III 号异常区相连通。由于无小窑采空区,推测水源是新近系、第四系底部含水从测区北缘西部和东缘北部进入测区,经渗透等作用把几个富水区连为一体。基于物探工作成果并考虑巷道布置,在 II 号异常区域内两待开拓巷道交叉点处,矿方布置了探放水钻孔 Zk,其排水量平均 1 000 m³/d,且与事故点排水量有同步变化的关系,证实了异常的存在。

4 结论

- a. 无论从效率、成本还是从地质效果看 TEM 法都是矿区水文地质调查的首选方法,它对煤矿水害防治、保证矿井安全生产具有重要意义。
- b. 对于复杂地形区,采取必要的技术措施后,地形影响一般都能被有效抑制或消除,真实异常得以显现。

c. 在强干扰源附近,要取得较好的效果并不现实;在干扰较平静的地区,第一手资料可靠,经过资料处理,获得的成果贴近实际,效果比较理想。

参考文献

- [1] 虎维岳. 矿山水害防治理论与方法[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2005.
- [2] A A 考夫曼, G V 凯勒. 频率域和时间域电磁测深[M]. 北京:地质出版社, 1987: 320-380.
- [3] 牛之璉. 时间域电磁法原理[M]. 长沙:中南大学出版社, 2007: 7-67.
- [4] 朴化荣. 电磁测深法原理[M]. 北京:地质出版社, 1990: 45-182.
- [5] 李貅. 瞬变电磁测的理论与应用[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 2002: 102-105.
- [6] 薛国强, 宋建平, 闫述, 等. 瞬变电磁探测深地下洞体的可行性分析[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(5): 135-138.
- [7] 闫述, 傅君眉, 李正斌. 瞬变电磁法探测地下洞体的有效性[J]. 煤田地质与勘探, 1999, 27(2): 64-68.
- [8] 梁爽, 李志民. 瞬变电磁法在阳泉二矿探测积水采空区效果分析[J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(4): 49-51.
- [9] 严良俊, 徐世浙, 胡文宝, 等. 中心回线瞬变电磁测深法快速电阻率成像方法及应用[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(6): 58-60.
- [10] 严良俊, 徐世浙, 胡文宝, 等. 中心回线瞬变电磁测深全区视是纵向电导解释方法[J]. 浙江大学学报(理学版), 2003, 30(2): 237-240.
- [11] 陈清礼, 赵宝旗, 严良俊, 等. 中心回线瞬变电磁测深时间域处理解释技术[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2010, 32(4): 78-81.
- [12] 金中国, 邹林, 赵俭文. 瞬变电磁法在黔西北猫猫厂铅锌矿区找矿中的应用[J]. 地质与勘探, 2002, 38(6): 48-50.
- [13] 冯兵, 孟小红, 张斌. TEM 框内回线装置发射框边界影响及消除方法[J]. 煤田地质与勘探, 2010, 38(5): 61-66.
- [14] 胡建德. TEM 法斜坡函数断电效应的修正及正反演计算[J]. 煤田地质与勘探, 1995, 23(1): 51-54.
- [15] 白登海, MAXWELL MEJU. 瞬变电磁法中两种关断电流对响应函数的影响及其应对策略[J]. 地震地质, 2001, 23(2): 34-38.
- [16] 刘正, 杨生. 瞬变电磁法大定源回线斜阶跃波响应计算[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 29(3): 326-330.
- [17] 杨云见, 王绪本, 何展翔. 瞬变电磁法中斜阶跃波效应及常规的几种校正方法分析[J]. 物化探计算技术, 2006, 28(2): 129-132.
- [18] 杨云见, 王绪本, 何展翔. 考虑关断时间效应的瞬变电磁一维反演[J]. 物探与化探, 2005, 29(3): 234-236.
- [19] 梁爽. 瞬变电磁法仪器研制中的噪声抑制问题[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(1): 51-54.
- [20] 王家映. 地球物理反演理论[M]. 北京:高等教育出版社, 2002.
- [21] 闫述, 陈明生. 瞬变电磁场资料的联合时-频分析解释[J]. 地球物理学报, 2005, 48(1): 203-208.
- [22] 王庆乙. 对瞬变电磁法回线边长决定探测深度的质疑[J]. 物探与化探, 2007, 31(4): 327-331.
- [23] MORRISON H F, PHILLIPS R J, O'BRIEN D P. Quantitative interpretation of transient electromagnetic fields over a layered halfspace[J]. Geophysical Prospecting, 1969, 17(1): 82-101.
- [24] SPIES BRIAN R. Depth of investigation in electromagnetic sounding methods[J]. Geophysics, 1989, 54(7): 872-888.
- [25] SPIES B R, RAICHE A P. Calculation of apparent conductivity for the transient electromagnetic (coincident loop) method using an HP-67 calculator[J]. Geophysics, 1989, 54(7): 872-888.
- [26] NIEL BOIE CHRIDENTENSEN. A generic 1-D imaging method for transient electromagnetic data[J]. Geophysics, 2002, 67(2): 438-447.

(上接第 69 页)

c. 基于这种计算模型,可以开发相应的软件,并且与实际监测设备相对接,对管道的回拖力进行超前预测,有利于施工风险控制。

参考文献

- [1] 马保松. 非开挖工程学[M]. 北京:人民交通出版社, 2008: 603-605.
- [2] 杨先亢, 逯仲森, 马保松, 等. 水平定向钻管道穿越回拖力计算公式的比较分析[J]. 石油工程建设, 2011, 39(1): 1-5.
- [3] CHENG E, POLAK M A. Theoretical model for calculating pulling loads for pipes in horizontal directional drilling[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2007, 22: 633-643.
- [4] BAUMERT M, ALLOUCHE E, MOORE I. Drilling fluid considerations in design of engineered horizontal directional drilling installations[C]. International Journal of Geomechanics, 2005: 339-349.
- [5] CURREY J, WOODBRIDGE G, DUYVESTYN G. On grade large diameter directional drilling[C]. Proceedings of North American Society and International Society for Trenchless Technology No Dig Conference, 2009.
- [6] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 山东:中国石油大学出版社, 2006: 57-59.
- [7] 杨朝元. 非开挖铺管回拖力分析[J]. 非开挖技术, 2009, 26(6): 18-19.
- [8] 孙训方, 方孝淑, 关来泰. 材料力学(I)[M]. 北京:高等教育出版社, 2002: 360-363.