

Application of Transient Electromagnetic Method in the Detection of Water Rich Area in Datong, Shanxi

Kai Tan, Tongqiang Shi

School of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao Shandong
Email: 1536260790@qq.com, stq930621@163.com

Received: Jul. 15th, 2016; accepted: Aug. 2nd, 2016; published: Aug. 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

As the main energy, the coal is the important foundation and guarantee of national economy and social development in China. In the coal mining process, because of the formation of rich water area in coal seam, it causes serious threat to coal mine production safety. Therefore, detection of coal seam water rich position and its prevention and control, is one of the important work in coal mine production. The transient electromagnetic method is an important method for exploration of coal rich water. It is based on the physical basis of the difference between the rich water and the surrounding rock. After the transient electromagnetic method is expounded in detail about the basic theory, the research of application of the method for detecting water-rich area is carried out in DaTong of ShanXi province with meaningful conclusions obtained, proving the water rich situation of collapse column and faults, and the hydraulic connection between them.

Keywords

Transient Electromagnetic Method, Water-Rich Area, Apparent Resistivity

瞬变电磁法在山西大同富水区探测中的应用

谭 凯, 史同强

山东科技大学地球科学与工程学院, 山东 青岛
Email: 1536260790@qq.com, stq930621@163.com

收稿日期: 2016年7月15日; 录用日期: 2016年8月2日; 发布日期: 2016年8月5日

摘要

煤炭是我国的主要能源,是国民经济和社会发展的重要基础和保障。在煤炭的开采过程中,由于在煤层中容易形成富水区,对煤矿生产安全产生严重的威胁。因此,探测煤层中富水区的位置并加以防治,也是煤矿生产中的重要工作之一。瞬变电磁法作为勘探煤层中富水区的重要方法,它的物理依据是富水区与围岩之间存在电性的差异。本文在较为详细地阐述了瞬变电磁法的基本理论后,利用该方法对山西大同煤田中的富水区进行了探测,探明了陷落柱和断层的富水情况,以及它们之间的水力联系。

关键词

瞬变电磁法, 富水区, 视电阻率

1. 引言

我国具有丰富的煤炭资源,煤炭开采历史悠久。随着经济的不断发展,煤炭的需求量不断增加,煤炭的开采的规模逐步扩大。与此同时,煤炭开采所伴随的危害日益凸显。其中,煤矿富水区的存在和不断的发展,严重威胁着煤矿的生产安全,甚至会引起严重的矿难事故。因此,探明煤矿富水区并对其水力联系给出评价是在煤矿安全生产中迫切需要解决的问题。

根据精查地质报告资料,山西大同煤区的水文地质条件属于中等复杂类型。并且,大同地下断层发育,小断层尤其多。由于断层的存在使地下岩石破裂,为富水区的形成提供了条件。同时,由于特定的历史原因,大同矿井田浅部小煤窑星罗棋布,处于严重无序状态。特别是靠近大同矿井田边界的小煤矿,越层越界开采现象相当严重,其遗留的老窑极易形成富水区。因此,探明该矿富水区的情况并采取相应的处理措施成为一个亟待解决的问题。

瞬变电磁法(Transient electromagnetic method, TEM)是进行地球物理研究的重要手段之一,它根据地壳中岩石或者矿体的导电性及介电性等电学性质的差异,研究电磁场的空间或时间分布规律,从而解决各种地质问题。瞬变电磁法具有场源灵活、方法多样以及稳定高效等优点,已经发展成为探测油气、金属和非金属矿产的一种重要方法,并且在深部地质构造研究,工程勘察、油气、矿产、水、地热勘探等领域得到了广泛的应用[1]。

2. 瞬变电磁法的基本理论

2.1. 瞬变电磁法的方法简介

瞬变电磁法是利用不接地回线向地下发送一次脉冲磁场,在一次磁场间歇期间利用同一回线或另一回线接收感应二次磁场,该二次磁场是由地下良导体受激励引起的涡流所产生的非稳定磁场,瞬变电磁法中的一次磁场、二次磁场可由线圈的感应电动势反映,将感应电动势进行数字化采集处理后,即可得到二次场衰减曲线[2] [3]。

瞬变电磁法测量装置由发射回线和接收回线两部分组成。瞬变电磁法工作过程可以划分为发射、电磁感应和接收三部分[2]。

用瞬变电磁法在煤层中探测富水区的前提是富水区与围岩之间存在电阻率上的差异。围岩中岩性比较致密,富水性较差,电阻率较高,导电性减弱,使得二次感应带你场衰减曾快,形成的二次感应电动

势降低,在瞬变电磁法的二次感应电压图上形成低电压异常区,在瞬变电磁视电阻率图上高阻异常区[4];水的导电性较好,在富水区中陷落柱,断层,裂隙处由于水的存在,使得电阻率减小,二次感应场衰减变慢,产生的感应电动势较高,在瞬变电磁法的二次感应电压图上形成高电压异常区,在瞬变电磁视电阻率图上低阻异常区;瞬变电磁法就是利用富水区与围岩之间的电阻率上的差异来确定富水区的位置以及富水区之间的水力联系的[5]。

2.2. 瞬变电磁法的影响因素

影响瞬变电磁法的因素很多,必须对其进行分析和研究,以便针对不同的地质目的,采取相应的措施,以减弱其影响。总的来说,其影响因素有以下几个方面[6]。

(1) 瞬变电磁系统中的电磁噪声:电磁噪声可能覆盖较弱的观测信号,进而影响勘探的深度。

(2) 功率—灵敏度:对于探测仪器而言,当发送功率较大时,可以降低对仪器灵敏度的要求,反之亦然。

(3) 回线边长:在一定的边长范围内,矿体异常幅度随边长的增大而呈线性地增大,最后达到某一饱和值。

(4) 地质噪声:地质噪声的存在,可能掩盖异常体的存在,特别是异常体与围岩的电阻率相差不大时。

(5) 地形:起伏较小的地形,对探测结果的影响也较小;若地形起伏较大,不仅会给测线的敷设、实地的测量造成困难,也会降低观测数据的精度。

瞬变电磁法野外观测中常见干扰有两种,一种是人为设施的干扰,另一种是电磁噪声。人为设施干扰主要包括工业电线、地下金属管道等,对这些金属体位于发射线框附近时,可被激发而产生瞬变电磁干扰异常,使获取的资料变得复杂。通常采用在干扰源为中心与原发射线框相对称的位置放置另一个相同的发射线框来控制人为设施干扰,采用该措施可大大降低干扰信号。

2.3. 瞬变电磁法的野外工作方法

(1) 测线布置

测线方向和点、线距是测网设计的主要内容。通常,测线方向尽量与预测地质体走向垂直。当采用固定发射移动接收装置时,发射线框长边应平行地质体的走向,这样可获得最佳电磁耦合。点、线距一般取决于勘探目的和探测地质体的大小,通常在普查阶段,线距应小于地质体走向长度,点距应保证有两个翼常点的记录;在详查时,线距应小于地质体走向长度之半,点距大小应保证至少获得 7~9 个异常记录[7]。

当采用共线框和双式线框装置进行普查时。相邻测点线框一般不重叠,点距一般等于线框边长;详查时,相邻测点线框可重叠百分之五十。当使用固定发射接收式装置普查时,线距通常为 800 m,点距为 50 m;详查时,线距多为 100 m 或 200 m,点距为 25 m [8]。

(2) 常用装置类型

重叠回线装置:其优点为它是瞬变电磁法特有的组合,它与目的物耦合最紧;发射线圈逐测点移动,不会有激发盲区[9]。

中心回线装置:其优点它是重叠回线的变形,具有重叠回线的优点;可观测水平分量,分辨率较高[9]。

偶极装置:其优点为主要响应为一单峰,异常形态较简单;可观测多个分量,能较精确的提供目的物倾角和深度信息[9] [10]。

大定源装置:该装置主要用于确定地质体的边界和产状[9]。

3. 研究区的地质和地球物理概况

3.1. 地质概况

研究区位于山西大同王官屯镇, 交通位置如图 1。

(1) 井田地层

本矿区大部分被第三、四系地层覆盖, 仅在西部、北部和河流两侧、深沟中有零星的基岩出露。根据钻孔揭露资料, 区内赋存地层由老至新依次为奥陶系中统马家沟组(O2m), 石炭系中统本溪组(C2b)和上统太原组(C3t), 二叠系下统山西组(P1sh)和下石盒子组(P1x)、二叠系上统上石盒子组(P2s)、石千峰组(P2sh)和新生界第四系。

(2) 构造

矿区位于嵩山背斜的南翼东部、新密复向斜中段向斜轴部, 总体构造形态为地层走向近东西向, 倾向南的单斜构造, 倾角 $4^{\circ}\sim 26^{\circ}$, 一般为 $8^{\circ}\sim 17^{\circ}$; 由于地层走向变化, 在西部形成背斜, 北东东、北西西、北东向三组断层, 郭岗滑动构造。

断层: 区内发育三组走向断层, 其中较大的断层有 22 条, 均为高角度正断层, 断层最大落差小于 50 m 的有 10 条, 其余断层最大落差均大于 50 m。

3.2. 地球物理概况

根据钻孔测井资料可知, 从浅到深由于岩性的组合形成不同, 泥岩、粉砂岩、细砂岩、中砂岩、粗砂岩、砾岩到灰岩其电阻率值逐渐升高, 测区内煤系地层产状比较平缓且地层沉积序列清晰、地层相对



Figure 1. Location map of study area

图 1. 研究区位置图

稳定。正常地层组合条件下,在横向与纵向上物性规律是明确的。不同的岩石一般具有不同的电阻率,同一岩石的电阻率的大小,也受很多因素影响。正常情况下,横向上地层电阻率差异较小,但当局部岩层破碎、岩溶发育时,电阻率会发生变化。垂向上,由于地层岩性不同,通常表现为各层电阻率随岩性及含水的丰富程度而不同。因此测区内地层之间存在明显的电性差异,具备地球物理的前提条件。

4. 工区数据采集和质量评价

4.1. 数据采集

(1) 工作方法:本次勘探采用大定源回线装置,大定源回线装置布设大线圈作为发射线框,在距发射线框边框 1/3 距离用接收框接收电磁信号。采用大定源回线装置有如下优点:此种装置能够在完成地质任务的前提下,提高工作效率;受地面作物影响较小,只需布设大线框就可以测量线框内部很多点,效率较高。

(2) 仪器装置:本次勘探采用美国 Zonge 公司生产的 GDP-32II 型多功能电法工作站,GDP-32 属美国 Zonge 工程公司的第四代可控源和天然场源电法和电磁法探测多通道接收机,是目前国际上最先进的地电磁系统。

(3) 电法测网敷设:电法测线定线时将每条测线起点和终点坐标及测点间距,输入 GPS 移动台测量手簿,计算机自动计算出每个点坐标,GPS 接收机自动导航准确定出每个测点点位,所测点位误差均控制在 0.2 m 以内。测点位置确定后,将其线号及点写在小木桩上,配以鲜艳的红色小旗作为标志。

4.2. 试验工作

试验工作在瞬变电磁勘探中至关重要,只有通过试验才能摸清测区的地球物理特征,选择适合于本区的工作参数,从而取得好的第一手资料。

根据本次工作的地质任务和以往同类型地区工作经验,本次试验工作预设发射框大小为 1000 m × 1000 m 正方形框、采样频率的选择 1 Hz、2 Hz、4 Hz、8 Hz 进行试验

通过以上衰减曲线对比可以得出当频率为 4 Hz 和 8 Hz 时曲线效果最好,1 Hz 和 2 Hz 曲线尾部效果明显较差,尾部信号代表深部信息,考虑到尽可能采集多的深部信息,本次瞬变电磁施工选择发射线框为 1000 m × 1000 m,频率 4 Hz,电流保证 18 A 以上。

4.3. 质量评价

设计的工程量:根据本次勘探目的任务,本次瞬变电磁勘探工程设计 50 m × 50 m 测网,设计测线 60 条,测深点 3125 个,设计试验点 35 个,检查点 95 个,总计测深点为 3300 个。

完成的工程量:按照设计要求,施工 60 条测线,实际完成物理点 3380 个,试验点 36 个,检查点 130 个,总计完成 3425 个物理点。

全区测深点曲线经过质量验收,甲级率为 90.1%,合格率为 100%,完成检查点 130 个,检测点与原测深点形态一致,平均相对均方误差为 3.3%,符合《煤炭电法勘探规范》(MT/T898-2000)、《地面瞬变电磁法技术规程》(DZ/T0187-1997)及《设计》要求。

5. 数据处理与解释

5.1. 数据处理

瞬变电磁观测数据是各测点各个时窗(测道)的瞬变感应电压,需换算成视电阻率、视深度等参数,才能对资料进行下一步解释,主要步骤如下[11]:

(1) 滤波: 由于测区内人文活动频繁, 存在较大的人文噪声, 故在资料处理前首先要对采集到的数据进行滤波, 消除噪声, 对资料进行去伪存真[10] [11];

(2) 时深转换: 瞬变电磁仪器野外观测到的是二次场电位随时间变化, 为便于对资料的认识, 需要将这些数据变换成电阻率随深度的变化[7]。

(3) 绘制参数图件: 首先从全区采集的数据中选出每条测线的数据, 绘制各测线视电阻率剖面图, 即沿每条测线电性随深度的变化情况。然后依据煤层底板等高线等地质资料绘制出不同层位的视电阻率切片图[10]。

根据本区的实际情况, 为满足本次电法勘探的需要, 充分利用地质、水文及地震资料的各种信息, 在综合分析了本区的水文地质规律的基础上, 反复细致地选择处理流程及参数, 做到处理流程合理、处理参数得当, 以期获得丰富的地质信息、精美的显示形式, 确定处理解释流程。

5.2. 资料解释

(1) 测区底层电性特征: 本区第四系地层较浅, 平均厚度 15 m, 其下部分别为二迭系石盒子组、山西组、石炭系上统太原组及本溪组和奥陶系中统马家沟组, 视电阻率呈逐渐增高的趋势, 奥陶系地层以灰岩为主, 其电性为高阻反映, 在二叠系上石盒子组底界、下石盒子组底界和奥陶系顶界处有明显电性界面, 电阻率呈逐渐增高的趋势, 与地层电性特征较吻合。

(2) 视电阻率断面图解释: 正常地层沉积时, 电性特征呈现一定规律展示, 当砂岩、砾岩、灰岩含水层裂隙发育充水时电阻率会明显下降, 在电法资料上会形成横向上的相对低阻异常。本次所获得的视电阻率图从纵向上看, 从浅到深其视电阻率基本呈现由低~中~高的电性特征。从横向上看, 电阻率总体变化较大, 呈现由小号到大号视电阻率逐渐增大的趋势, 反映了该区域内地层的变化趋势, 总体为南部深, 北部浅且断层处视电阻率变化明显。

(3) 水平切片图的解释: 从数据可以看出, 由浅到深视电阻率逐渐变大, 反映了该测区内正常地层视电阻率变化情况。测区南部视电阻率明显小于测区北部, 反映了测区内煤系地层南部深北部浅的总体特征; 测区内相对低阻异常分布于全区内, 但分布位置处或附近大多都伴随断层发育, 说明该测区内低阻富水区与断层发育有密切的关系。由浅到深测区内部分低阻异常区位置和范围变化较小, 说明这些低阻异常区上下水力联系较好。

(4) 顺层切片图的解释: 裂隙发育带在顺层视电阻率切片图上表现为视电阻率相对低的异常特征, 即裂隙越发育、充水越多电阻率值越小。在测区内视电阻率低阻区主要分布于北部和南部, 测区南部视电阻率低阻异常区主要分布于王家沟断层和浮山寨断层之间, 其他低阻异常以零散分布于测区内, 说明测区内砂岩富水性与断层密切相关。

(5) 各含水层上下的关系: 勘探区煤系地层内含水层较多, 相互之间都有隔水层, 正常情况下并不连通。受构造和岩层裂隙的影响, 含水层在深部存在水力连通现象。由书籍分析可得, 不同层位有的含水异常区上下有重叠, 应用它可解释含水层含水异常区的上下有连通关系, 即上下相邻含水层同一平面位置存在含水异常区, 那么它们之间就可能存在水力连通。本次测区内各含水层上下水力联系不均一, 但总体有规律可循, 表现为大的断裂构造边部容易形成富水, 富水性一般较强, 各含水层可通过断层破碎导通, 且水力联系较好; 局部裂隙富水区一般富水性较弱, 且上下水力联系差。

6. 获得的结果

本次地面瞬变电磁勘探通过的野外施工, 取得了以下几方面的地质成果:

(1) 查明了煤系地层含水层富水分布情况, 二 4 煤顶板砂岩圈定富水区 20 个, 其中强富水区 3 个;

L7 灰岩圈定富水区 17 个, 其中强富水区 5 个; L3 灰岩圈定富水区 23 个, 其中强富水区 4 个。

(2) 查明了测区内断层的富水情况, 其中富水断层 12 条, 局部富水断层 13 条, 不富水断层 11 条, 评价了个含水层水力联系情况。

7. 总结

(1) 本次勘探施工前通过试验选取了适合本区的工作装置和相关参数, 野外施工中采用了一系列的技术保障措施, 完成了设计规定的工作量。采集原始数据质量良好, 满足本次勘探目的要求。

(2) 在资料解释的过程中参考了区内相关的钻探、水文地质等资料, 并采取了滤波、正演、反演等相应的技术手段, 进行了大量的数据处理和分析, 提高了成果的可靠程度。

(3) 通过对资料的处理、分析和解释, 确定了富水分布区, 较好地解释了测区内深部各主要含水层富水区分布情况, 评价了各条断层的富水性和各含水层水力联系, 为矿井建设工程的设计与实施提供了参考资料, 完成了本次勘探所承担的地质任务。

参考文献 (References)

- [1] 薛国强, 李貅, 底青云. 瞬变电磁法正反演问题研究进展[J]. 地球物理学进展, 2008, 46(4): 1165-1172.
- [2] 高波, 王传雷, 刘金涛, 等. 瞬变电磁方法在河南某煤矿深部含水构造探测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2006, 3(4): 283-287.
- [3] 苏林, 刘鑫明, 刘焱. 瞬变电磁法在煤矿富水区探测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2011, 8(1): 6-9.
- [4] Chridtensen, N.B. (2011) A Generic 1-D Imaging Method for Transient Electromagnetic Data. *Geophysic*, **2002**, 438-447.
- [5] 李宏杰. 瞬变电磁探测技术在煤矿防治水中的应用[J]. 煤矿安全, 2013, 44(4): 95-97.
- [6] 白登海, Maxwell A. Meju, 卢健, 王立凤, 何兆海. 时间域瞬变电磁法中心方式全程视电阻率的数值计算[J]. 地球物理学报, 2003, 46(5): 697-704.
- [7] 嵇艳鞠, 林君, 程德福, 于生宝. 瞬变电磁法中数据取样处理方法的研究[J]. 物探与化探, 2003, 27(2): 142-145.
- [8] 马兆峰. 矿井瞬变电磁法在勘探陷落柱富水性中的应用[J]. 煤, 2010, 19(2): 21-23.
- [9] 李志鹏, 张庆松, 李术才, 等. 瞬变电磁预报方法在胶州湾海底隧道穿越 F1-2 含水断层中的应用[J]. 山东大学学报: 工学版, 2011, 41(1): 101-104.
- [10] 李鹏, 李鹏然. 瞬变电磁法在煤矿水害预测中的应用[J]. 河北煤炭, 2009(1): 9-10.
- [11] 陕亮, 许荣科, 鲁胜章, 等. 瞬变电磁法原理、现状及在矿产勘查中的应用浅析[J]. 地质与资源, 2009, 18(1): 70-73.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>