地质与测量

采空区矿井瞬变电磁法探测技术

占文锋，王 强，牛学超
(北京工业职业技术学院 建筑工程系，北京 100042)

摘 要：为了查明木城涧煤矿采空区范围及其富水性特征，运用矿井瞬变电磁法对采空区进行探测，探测过程中采集了 2组感应磁场强度数据。通过对采集到的数据进行分析和处理，基本上查明了采空区的范围和富水情况。结果表明：采空区内富水性较强，局部地区由于顶板垮落作用，富水性减弱，因而视电阻率呈现不均匀变化。建议在采空区周围留设合适的防水煤柱，以保障周围工作面的安全回采。

关键词：木城涧煤矿；瞬变电磁法；采空区；富水性探测
中图分类号：TD745.21 **文献标志码**：A **文章编号**：0253-2336(2010)08-0115-03

Transient Electromagnetic Exploration Technology to Mining Goaf

ZHAN Wen-feng, WANG Qiang, NIU Xue-chao
(Department of Architectural Engineering, Beijing Polytechnic College, Beijing 100042, China)

Abstract: Due to the water accumulated in the goaf of Muchengjian Mine, West Beijing, a potential danger would be brought to the mine safety. In order to detect the goaf scope and watery features, the mine transient electromagnetic method was applied to the detection of the goaf and the two group induced magnetic field strength data were collected during the detection process. With the analysis and processing the data collected, the goaf scope and watery conditions were basically verified. The results showed that there was high watery in the goaf and in some local area of the goaf due to the roof collapse, the watery would be reduced. Thus the visual resistivity was inhomogeneously varied. The paper proposed that rational coal pillars for water proof should be left around the goaf in order to protect the safety mining of the adjacent coal mining faces.

Key words: Muchengjian Mine; transient electromagnetic method; goaf; watery detection

1 区域地质背景

北京西山地区位于华北地台燕山台褶带，中生代地壳运动活跃，构造形迹复杂，给该地区煤矿生产增加了难度[1]。同时，由于小窑和采空区积水，给煤矿生产带来安全隐患。矿井瞬变电磁法是近几年来发展起来的在井下巷道内探查其周围空间不同位置、不同形态含水构造的矿井物探方法，有许多其他方法不能比拟的优点，凭借其井下探测的诸多优点，可以有效地探测巷道周围 100 m范围内的含富水性情况，已成为煤矿水害探测的最佳选择[2-3]。因此，运用矿井瞬变电磁法对采空区进行富水性探测，可以查明采空区富水带位置。

基金项目：国家重点基础研究发展计划（973计划）资助项目(2006CB202208)

北京西山地处燕山褶皱带西南段与太行山构造带东北端阜平隆起交汇处，中生代以来不同地球动力学系统的先后叠加作用，造就了区内多期构造的运动图像，煤系构造变形较为复杂。中生代岩浆活动强烈，晚古生代和中生代煤系除斋堂地区有少量贫煤、瘦煤外，全区均为无烟煤，使其具有较为独特的煤层变形-变质面貌。京西煤田主体构造为北东向至近东西向的复式向斜，以及与褶皱轴向平行的走向断层。由于北北东向和近东西向区域构造线叠加，褶皱多呈短轴状，向斜开阔而背斜紧闭，多伴生逆冲断层。木城涧煤矿位于京西庙安岭—髫髻山向斜南西段东南翼，该向斜总体呈北东向展布，轴迹呈反“S”形。木城涧煤矿构造形态与向斜南翼基本特征相吻合，构造线大致与地层走向一致，沿 NEE方向平行展布，呈弧形凸出。区内褶皱、断层均发育，以褶皱为主、断层为辅[4-5]。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2　矿井瞬变电磁法探测原理

矿井瞬变电磁法是利用不接地回线向巷道周围空间发射一次脉冲磁场，在一次脉冲磁场间歇期间，利用线圈观测二次涡流场的方法。其基本工作方法是：于井下巷道内设置通以一定电流的发射线圈，从而在其周围空间产生一次电磁场，并在巷道周围导电岩矿体中产生感应电流。断电后，感应电流由于损耗而随时间衰减，衰减过程一般分为早、中、晚期。早期电磁场衰减快，趋肤深度小；晚期电磁场衰减慢，趋肤深度大。通过测量断电后各时间段的二次场随时间变化规律，可得到不同深度的地电特征[6-10]。受井下空间的限制，测量线圈受限，一般井下的最大勘探深度 100 m。

不同地层的电性分布具有如下规律：煤层视电阻率值相对较高，砂岩次之，黏土岩类最低。在原生状态下，煤系地层沉积序列比较清晰，其导电性特征在纵向上具有固定变化规律，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值地质体。因此，当断层、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瞬变电磁法探测提供了良好的地质条件。在实际资料的解释中，应结合具体地质及水文地质情况进行综合性分析，从而判定测量区段的富水性。

3　采区及工作面概况

采区位于髫髻山向斜轴部及两翼，南翼为一向北倾的单斜构造，倾向为 N75°—90°E，平均倾角 25°；北翼为一向南倾的单斜构造，倾向 N0°—15°E，平均倾角 15°。采区内局部小褶曲及裂隙发育，对采掘有一定影响。水文地质条件简单，局部由于小断裂和褶曲发育，造成煤层顶板滴淋水现象，对采掘无大影响。工作面位于 +250 m水平西一采区二槽，其东部以 +450 m水平北石门保护煤柱和 +250 m水平线为界，西至 +450 m水平线，南以 +450 m水平线为界，北以不可采边界线为界（图 1）。在 +450 m水平西二石门二槽四壁下平巷积水区内存有积水，积水量已达到 38 000 m^3，掘进至探放水警戒线时应制定相关探放水措施，坚持“有疑必探，先探后掘”的探放水原则，+450 m水平五槽底板巷是否留设保护煤柱待设计部门确定，工作面煤层底板情况见表 1。

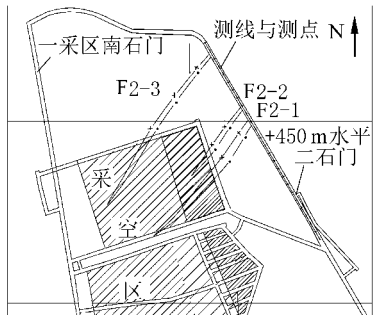


图 1　采空区及探测工程布置

表 1　工作面煤层顶底板岩性

岩层	岩性	厚度/m	岩性特征
基本顶	细砂岩	15.0～25.0	黑灰色、中厚层状
直接顶	粉砂岩	2.0～3.0	灰黑色、中厚层状
伪顶	炭质粉砂岩	0.2～1.5	灰黑色、薄层状
直接底	粉砂岩	1.0～2.0	中厚层状
基本底	凝灰质粉砂岩	15.0～26.0	灰黑色、中-厚层状、水平层理

4　井下工程布置及数据采集

在木城涧煤矿井下瞬变电磁探测中，使用 TEM47型瞬变电磁阀。根据以往工作经验及井下工作条件，选用边长为 1.5 m ×1.5 m正方形发射框。由于采空区离 +450 m水平二石门最近，为使探测效果更好地反映采空区的富水特征，本次矿井瞬变电磁探测选择沿 +450 m水平二石门右帮依次向前进行探测（图 2），布置测点 26个，测点间距 10 m，总探测长度约 250 m。为从多方向、多角度对采空区进行探测，探测过程中采集了 2组数据，

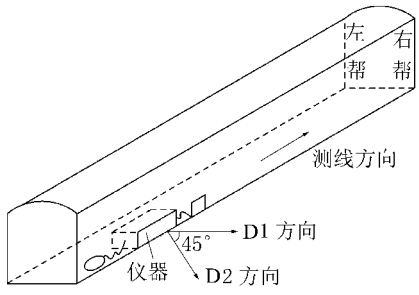


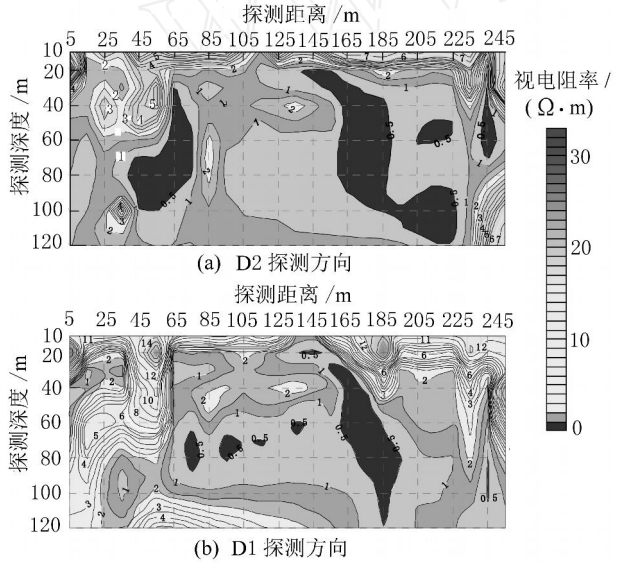
图 2　井下探测工程布置示意

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

分别为数据组 D1和数据组 D2，其中 D1是垂直右帮方向，D2是沿右帮斜下 45 方向。其中 D1为发射框、接收框同时垂直巷道右帮方向测得的数据，D2为发射框、接收框同时与巷道底板呈 45 夹角右斜下方向测得的数据。仪器自动观测记录随时间变化的二次电场电位差，每点采样 30次。

5　探测结果分析与建议

根据采集的 2组数据 (D1和 D2)，把实际采集的瞬变响应数据转化成视电阻率参数，再反演出与其对应的深度。通过输入高程数据并适当调整参数，并对巷道内的钢支护、铁轨、电缆、水仓等产生的影响进行校正处理，分别绘制出视电阻率随探测深度变化的视电阻率剖面图 (图 3)。图中横坐标为布置在巷道内的测点坐标，纵坐标为对煤层底板进行探测的距离。图 3a为沿 45 斜下方 (D2方向）探测结果，图 3b为垂直侧帮 (D1方向）探测结果。图中不同色阶代表视电阻率相对高低，数值越小，视电阻率越低，富水性越强；反之，数值越大，视电阻率越高，富水性也越弱。



(a) D2 探测方向

(b) D1 探测方向

图 3　木城涧煤矿 +450 m水平矿井视电阻率等值线

采空区由于含水主要呈低阻反映，局部不含水，则呈高阻反映。分析 2组瞬变电磁探测视电阻率等值线变化规律可知：沿测线方向，视电阻率等值线呈水平分布，变化平缓，局部地段由于富水，电阻率偏低，说明底板探测范围内岩层电性沿巷道方向基本均匀分布。沿探测深度方向 0—20 m，视电阻率值递变减小；沿探测深度方向 20 m范围外，视电阻率等值线总体横向变化大。沿测线方向 65—225 m，不连续分布低阻异常区，探测结果与采空区实际位置基本吻合，表明采空区内部富水性较强，局部地区由于顶板垮塌无水，导致电阻率升高。

通过 2组数据处理结果对比分析可知，沿右帮斜下 45 方向探测 (D2）比垂直右帮方向 (D1）探测效果更好，确定富水范围更准确。这是由于采空区位于 +450 m水平二石门右侧斜下方向约 60 m处，与石门之间存在约 20 m的高度差所致。因此，在进行井下探测工程设计时，要考虑巷道与富水构造之间的空间位置关系，以设计合理有效的探测方式。根据瞬变电磁探测结果，建议在 +250 m水平西一采区二槽工作面周围留设合适的防水煤柱，当周边采区掘进至探放水警戒线时应制定相关探放水措施，以保障工作面的安全回采。

参考文献：

[1] 王宇林，杨　春，冀　明．京西木城涧侏罗纪井田地质构造及演化特征 [J]. 辽宁工程技术大学学报：自然科学版，2005，24 (6)：821 - 824.

[2] 陈永新，李永军，李小明．瞬变电磁法在矿井水害超前探测中的应用 [J]. 华北科技学院学报，2008，5(1)：17 - 20.

[3] 洪　荒．矿井瞬变电磁法在煤层顶板砂岩裂隙水防治中的应用 [J]. 煤矿安全，2008，39 (11)：50 - 52.

[4] 王　强．京西煤田煤层赋存特征及成因分析 [J]. 煤炭技术，2001，20 (5)：46 - 50.

[5] 王桂梁，琚宜文，郑孟林，等．中国北部能源盆地构造 [M]. 徐州：中国矿业大学出版社，2007.

[6] 高　级，崔若飞，刘　伍．矿井瞬变电磁数据处理解释及显示技术研究 [J]. 煤炭科学技术，2008，36(7)：77 - 79.

[7] 牛之琏．脉冲瞬变电磁法 [M]. 长沙：中南工业大学出版社，1986.

[8] 李　全，于景邨．采掘工作面顶板富水性矿井瞬变电磁探查技术研究 [J]. 能源技术与管理，2005 (3)：15 - 16.

[9] 满在山，王档良，曾广东．矿井瞬变电磁法在新驿煤矿探水中的应用 [J]. 煤炭科学技术，2009，37(4)：106 - 109.

[10] 蒋帮远．实用近区磁源瞬变电磁法勘探 [M]. 北京：地质出版社，1998.

作者简介：占文锋 (1979 -)，男，湖北武汉人，讲师，博士，从事煤田地质和构造地质方面的科研和教学工作。Tel: 13811090588，E - mail: cumtb515@163. com

收稿日期：2010 - 04 - 15；**责任编辑**：曾康生

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net