文章编号: 1007-2284(2009)11-006-04

瞬变电磁法在矿井水害防治中的应用
——以河南省荥阳市王河煤矿为例

仝晓霞[1], 郭会荣[1], 郭 纯[2]

(1. 中国地质大学(武汉)环境学院, 武汉 430074; 2. 河南省焦作煤业集团有限责任公司地测处, 河南 焦作 454002)

摘 要: 王河煤矿是荥巩矿区涌水量最大的煤矿, 涌水量 2 100~ 2 400 m^3/h[1], 建矿以来共发生突水 20 余次, 突水量 9~ 1 200 m^3/h, 严重影响煤矿的安全生产。王河煤矿主采煤层为一$_1$煤, 充水来源主要受奥灰水的影响。通过瞬变电磁勘探查明了 111070 工作面煤层底板以下 50 m 范围内奥灰赋水性情况、富水区范围及导高位置, 根据瞬变电磁勘探成果, 在 111070 工作面进行井下注浆堵水, 突水量减少了 80%以上, 为矿井安全生产提供了保证, 为王河煤矿及同类矿井水害防治提供了有益的借鉴。

关键词: 矿井; 瞬变电磁法; 水害防治

中图分类号: TD745 文献标识码: B

Application of Transient Electromagnetic Method to Coalmine Damage Control
——Taking the Wanghe Coal Mine in Xingyang, Henan Province for example

TONG Xiao-xia[1], GUO Hui-rong[1], GUO Chun[2]

(1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;
2. Geo-exploration Department, Jiaozuo Coal Mining Group Limited, Jiaozuo 454002, China)

Abstract: Wanghe Coal Mine is the biggest coal mine in Xingyang welling up water volume 2 100~ 2 400 m^3/h[1]. Since its construction, it has flooding 20 times, flooding quantity 9~ 1 200 m^3/h. It influences the safety of coal mines in production. The Wanghe coal mine main mining coal level is a一$_1$, Is filled with water the origin mainly the Austria buck influence. This paper verifies 109020 working surface earth through the transient electromagnetism exploration in the 50m scope. According to transient electromagnetism exploration achievement, the well bottom pouring thick liquid water shutoff in 111070 working surfacesis carried on. The flooding quantity is reduced by 80%.

Key words: mine pit; Transient Electromagnetic Method; flood prevention

0 引 言

王河煤矿位于河南省荥阳市西南部的刘河镇境内, 荥巩煤田的中部, 原隶属于荥阳市, 2005 年并入鹤壁煤业(集团)有限责任公司。井田范围: 东起 114 勘探线, 西至荥阳县界, 北以一$_1$煤层底板- 150 m 标高为界, 南至一$_1$煤层露头, 东西走向长 6 km, 南北倾向宽 1.6 km, 井田面积约 9.6 km^2。荥巩煤田属国家规划矿区, 已经成为河南省"十一五"煤炭资源开发的重点区域[2]。2005 年以来, 按照国家及河南省煤炭资源整合和大力开发深部煤炭资源的要求, 荥巩矿区煤炭资源的开发步入纵深和大规模开发的新阶段。由于矿区地质构造、水文地质条件复杂, 矿井突水频繁, 水害严重, 严重威胁着该地区的煤矿生产安全, 制约着矿山的生产发展[3]。

1 矿区地质及水文地质概况

1.1 矿区地质概况

王河煤矿位于荥密背斜的北翼, 为一向北倾斜的单斜构造, 地层走向大致呈北西西- 近东西, 倾向北北东- 近北, 倾角 7~ 14°。井田范围内主要构造是徐庄滑动构造及派生断层, 它对王河矿区地层及煤层的分布起到重要控制作用。

徐庄滑动构造(F26-1)西起巩义茶店、向东经翟沟、计河井

收稿日期: 2009-01-18

作者简介: 仝晓霞(1982-), 女, 硕士研究生。

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

田浅部的栗树沟、王顶延伸至三李勘探区。近东西走向,倾向与二$_1$煤层一致,延伸长度 40 km。该滑动构造造成二 1 露头线以北地层及二 1 煤层大面积缺失或变薄,并使二$_1$煤以上地层产状、层序等发生了显著变化。此外,矿区内还发育有 F312 断层、F313 断层、F317 断层、F 1 断层等。

1.2 水文地质条件

煤田南部为低山丘陵地貌,海拔高度在 300~ 1 200 m 之间,相对高差为 200~ 500 m,沟谷发育。地表出露的地层主要是煤系地层、奥陶系灰岩和寒武系白云质灰岩等,接受大气降水和地表水的补给,是矿区岩溶地下水的补给区[4]。自南向北,地形逐渐过渡为黄河冲积平原,区内无较大河流,多为季节性的冲沟。

主要含水层:中寒武-奥陶系灰岩岩溶裂隙含水层、石炭系太原组下段灰岩含水层(L_{1-3})、石炭系太原组上段灰岩含水层(L_{7-9})、二$_1$煤顶板砂岩含水层、二叠系砂岩含水层组、第四系松散沉积物孔隙水含水层组。对开采一 1 煤有影响的含水层主要是煤层顶板的 L_{1-3}灰岩含水层和煤层底板的奥陶系灰岩岩溶裂隙含水层。

主要隔水层:由位于一$_1$煤底板的本溪组铝土泥岩组成,厚度 8~ 10 m,最大厚度 32.29 m,最小 2.57 m。该隔水层虽有一定隔水作用,但隔水能力有限,主要原因是:①铝土泥岩厚度较小,抗压强度较低;②在采动影响下,隔水层受到破坏,有效隔水层厚度减小;③矿区构造裂隙十分发育,大裂隙常能将煤层及顶底板含水层相互沟通。正是由于这些不利因素的存在,使得王河矿区水害问题十分严重,经常发生煤层顶底板岩溶水突水灾害。

2 瞬变电磁法在矿井水害防治的应用

2.1 瞬变电磁法的技术特点

瞬变电磁法(TEM)[5]是利用不接地回线或接地线源向地下发送一次脉冲磁场,在一次脉冲磁场的间歇期间,采用不接地线圈(或接头)接收感应二次磁场。该二次磁场是由地下地质体受到一次磁场激励后在其内部形成的感应涡流产生。随地质体导电性能及空间赋存位置的不同,感应涡流衰变的规律也有所不同,通过分析和研究二次磁场的时空变化特征,达到解决地质问题的目的。

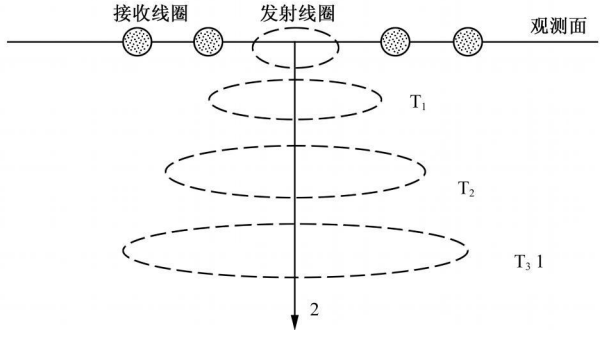
2.2 瞬变电磁法原理概述

瞬变电磁法的激励场源主要有两种[6]:一种是回线形式(或载流线圈)的磁源,另一种是接地电极形成的电流源。本研究应用回线作为激励场源。为了简化问题,下面只讨论回线场源阶跃脉冲激发的瞬变电磁场。

在导电率为 δ、导磁率为 μ 的均匀各向同性大地表面敷设面积为 S 的矩形发射回线在回线中供以阶跃脉冲电流。在电流断开之前($t<0$ 时),发射电流在回线周围的大地和空间中建立起一个稳定的磁场。在 $t=0$ 时刻,将电流突然断开,由该电流产生的磁场也立即消失,一次磁场的这一剧烈变化通过空气和地下导电介质传至回线周围的大地中,并在大地中激发出感应电流以维持发射电流断开之前存在的磁场,使空间的磁场不会立即消失[7]。

由于介质的欧姆损耗,这一感应电流将迅速衰减,由它产生的磁场也随之迅速衰减,这种迅速衰减的磁场又在其周围的地下介质中感应出新的强度更弱的涡流。这一过程继续下去,直至大地的欧姆损耗将磁场能量消耗完毕为止。这便是大地中的瞬变电磁过程,伴随这一过程存在的电磁场就是大地的瞬变电磁场。早期瞬变电磁场是由近地表的感应电流产生的,反映浅部电性分布,晚期瞬变电磁场是由深部感应电流产生的,反映深部的电性分布。因此,观测和研究大地瞬变电磁场随时间的变化规律,可以探测大地电位的垂向变化,这便是瞬变电磁测深的原理,而测量的时间和地下不同介质的电阻率确定了探测深度。

半空间探测原理图见图 1,当发射线圈中电流突然断开后。地下介质中就要激励起二次感应涡流场以维持在断开电流以前存在的磁场。二次涡流场呈多个层壳的"环带"型,其极大值沿着与发射线圈平面成 30°倾角的锥形斜面随着时间的延长向下及向外传播,不同时间到达不同深度和范围[8]。



图一 瞬变电磁半空间探测

二次涡流场的表现与地下介质的电性相关。同类岩层相比,岩层较为完整时电阻率一般相对较高,引起的涡流场较弱;而岩层破碎尤其是富水时电阻率较低,引起的涡流场较强,所以通过观测二次涡流场就可以了解地下介质的电阻率分布情况,进而判断地层岩性和构造等特征。

2.3 仪器选择及质量综述

本次勘探采用加拿大 GEONICS 公司生产的最新式 TEM-47(增强型)瞬变电磁仪,仪器探测度高,盲区小,抗干扰能力强。本次井下探测时,尽可能减少巷道内各种干扰,现场数据采集时整体较为稳定。但 111070 面机巷和风巷铺有镏子,部分巷道段存放有大块金属物,铝土层中可能含不均匀铁矿石,这些因素对物探资料采集和解释结论有一定影响。

2.4 工作方法及工作量

2.4.1 工作方法

采用偶极装置方式进行探测(图 2)。各巷道中往工作面内探测时发射线圈和接收线圈平面始终平行,两线圈轴线与水平方向夹角分别为 α= 90°(垂直下探)和 α= 45°(斜下探)(见图 3)。

2.4.2 工作量

本次探测时,111070 工作面机巷自切眼(位置标记 0 点)开始由里往外按垂直向下和 45°斜下方两个方向各自探测 500 m 长,点距 10 m,各完成 50 个物理点。风巷自切眼(位置标记 0 点)开始由里往外按垂直向下和 45°斜下方两个方向各自探测

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

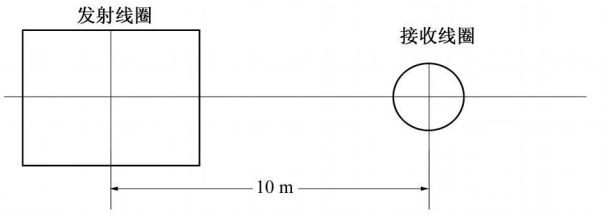


图 2　发射- 接收方式

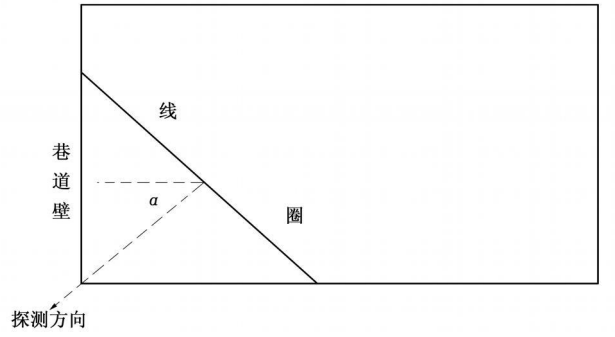


图 3　瞬变电磁探测方向示意图

520 m 长, 点距 10m, 各完成 52 个物理点。本次勘探共完成测线长 2 040 m, 物理点 204 个(部分区段采用 5 m 点距加密探测或按规程重测未计入内), 质量要求按有关标准和规范执行。

3　数据处理与资料解释

3.1　数据处理

数据处理及资料解释均采用世界上最新开发成功的全空间瞬变电磁数据处理软件 BET EM 。

数据处理过程为: 每条巷道探测的原始二次涡流磁场值数据由接收机自动传入计算机后在 BET EM 中按顺序通过多种校正和特殊变换, 再经过正、反演计算, 求出地层的视电阻率值井把时间转换为深度, 然后根据得到的全空间全程视电阻率值, 结合探测深度、探测方向、地层倾角等多种物探、地质因素, 采用专用高分辨电阻率成像方法, 即得到瞬变电磁勘探视电阻率断面图。再由视电阻率断面图综合分析提取出低阻异常区平面分布图。

3.2　资料解释

资料解释主要任务是根据瞬变电磁勘探视电阻率断面图和低阻异常区平面图, 观测地层相对高、低阻电性分布情况, 结合区域水文地质资料, 判断探测范围内岩层赋水性的纵、横向立体分布信息, 找出富、导水区域和通道, 为矿上设计和安排防治水工程、预防水害事故的发生提供依据。

视电阻率断面图中横坐标为各测深点位置, 纵坐标为探测距离(m) , 断面图里面数据为地层各处视电阻率值, 此值越小(对应颜色越兰) 表示此处可能富水性越好。低阻异常区平面图为煤层底板以下 80 m 范围内奥陶系灰岩主要低阻异常区分布信息, 图中兰色(阴影) 区域为对工作面顺利回采可能存在水患影响的低阻异常区域。

3.3　物探结论

本次瞬变电磁勘探盲区约为 15 m。以视电阻率值小于 5 的区域为相对低阻异常区。

3.3.1　机巷垂直下探

由 111070 工作面机巷瞬变电磁勘探(垂直下探) 视电阻率断面图(图 4) 看出: 机巷正下方附近区域存在相对低阻异常区, 主要位于切眼往外 113~ 160 m、195~ 315 m 和 423~ 500 m 3 段, 低阻区距巷道底板最小垂距分别约为 15 m、18 m 和 19 m, 导高相对较大且均与深部沟通。低阻区附近岩层一般较为破碎、裂隙岩溶发育或相对富水性较好。工作面回采时煤层底板岩层完整性会受到破坏, 裂隙发育可能沟通上述 3 个低阻区, 造成附近区域可能发生底板突水, 要引起注意。

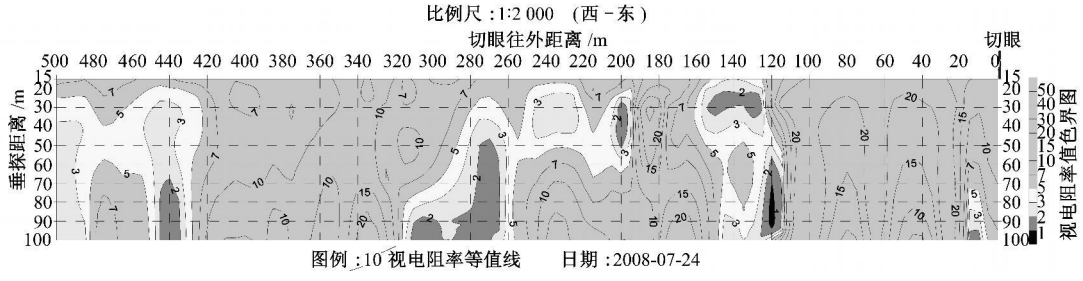


图 4　111070 工作面机巷瞬变电磁勘探(垂直下探) 视电阻率断面图

在切眼往外 15 m 处附近存在一个低阻区, 因埋深较大、范围较小, 对工作面安全回采无影响。物探范围内其他区域岩层显示为相对高阻、赋水性相对较弱, 对工作面顺利回采一般无影响。

3.3.2　机巷 45° 斜下探

由 111070 工作面机巷瞬变电磁勘探(45° 斜下探) 视电阻率断面图(图 5) 看出: 机巷附近偏向工作面内部区域存在相对低阻异常区, 主要位于切眼往外 13~ 28 m、80~ 260 m 和 420~ 500 m 3 段, 低阻区距巷道底板最小斜距分别约为 60 m、15 m 和 25 m(对应垂距分别约为 42 m、10 m 和 18 m) , 均与深部沟通。其中, 80~ 260 m 和 420~ 500 m 2 段低阻区导高相对较大。低阻区附近岩层一般较为破碎、裂隙岩溶发育或相对富水性较好。工作面回采时煤层底板岩层完整性会受到破坏, 裂隙发育可能沟通 80~ 260 m 和 420~ 500 m 两段低阻区, 造成附近区域可能发生底板突水, 要引起注意。切眼往外 13~ 28m 段低阻区因埋深较大, 对工作面安全回采影响较小。

在切眼往外 375 m 处附近存在一个低阻区, 因范围较小, 对工作面安全回采影响较小。物探范围内其他区域岩层显示为相对高阻、赋水性相对较弱, 对工作面顺利回采一般无影响。

3.3.3　风巷垂直下探

由 111070 工作面风巷瞬变电磁勘探(垂直下探) 视电阻率断面图(图6) 看出: 风巷正下方附近区域存在相对低阻异常区,

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

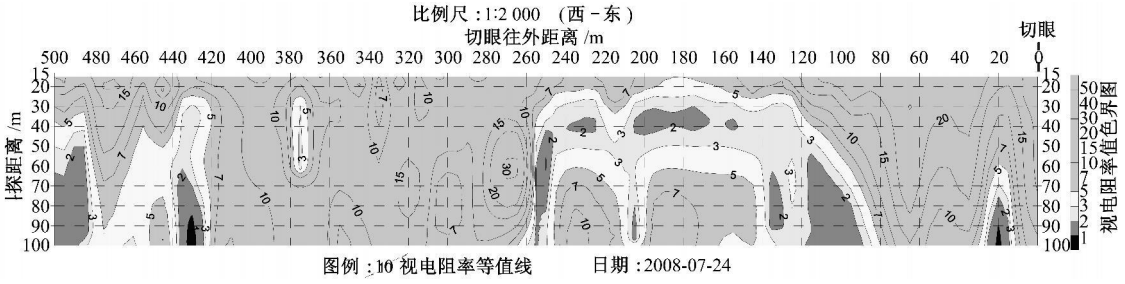


图 5　111070 工作面机巷瞬变电磁勘探(45°斜下探)视电阻率断面图

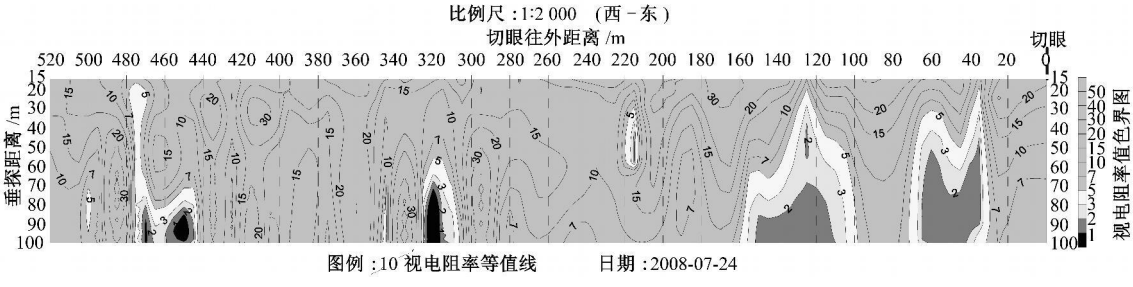


图 6　111070 工作面风巷瞬变电磁勘探(垂直下探)视电阻率断面图

主要位于切眼往外 30~ 70 m、100~ 160 m、308~ 325 m 和 443~ 480 m 4 段,低阻区距巷道底板最小垂距分别约为 20 m、20 m、57 m 和 18 m,均与深部沟通。其中,30~ 70 m、100~ 160 m 和 443~ 480 m 3 段低阻区导高相对较大。低阻区附近岩层一般较为破碎、裂隙岩溶发育或相对富水性较好。工作面回采时煤层底板岩层完整性会受到破坏,裂隙发育可能沟通 30~ 70 m、100~ 160 m 和 443~ 480 m 3 段低阻区,造成附近区域可能发生底板突水,要引起注意。切眼往外 308~ 325 m 段低阻区因埋深较大,对工作面安全回采影响较小。

在切眼往外 215 m 处附近存在一个低阻区,范围较小,对工作面安全回采无影响。物探范围内其他区域岩层显示为相对高阻、赋水性相对较弱,对工作面顺利回采一般无影响。

3.3.4　风巷 **45°** 斜下探

由111070工作面风巷瞬变电磁勘探(45°斜下探)视电阻率断面图(图 7)看出:风巷附近偏向工作面内部区域存在相对低阻异常区,主要位于切眼往外 30~ 68 m、112~ 180 m、190~ 290 m、344~ 372 m 和 428~ 468 m 5 段,低阻区距巷道底板最小斜距分别约为 35 m、35 m、31 m、59 m 和 38 m(对应垂距分别约为 24 m、24 m、22 m、41 m 和 26 m),均与深部沟通。其中,30~ 68 m、112~ 180 m、190~ 290 m 和 428~ 468 m 4 段低阻区导高相对较大。低阻区附近岩层一般较为破碎、裂隙岩溶发育或相对富水性较好。工作面回采时煤层底板岩层完整性会受到破坏,裂隙发育存在沟通 30~ 68 m、112~ 180 m、190~ 290 m 和 428~ 468 m 4 段低阻区的可能性,造成附近区域存在发生底板突水的可能性,要引起注意。切眼往外 344~ 372 m 段低阻区因埋深较大,对工作面安全回采影响较小。

物探范围内其他区域岩层显示为相对高阻、赋水性相对较弱,对工作面顺利回采一般无影响。

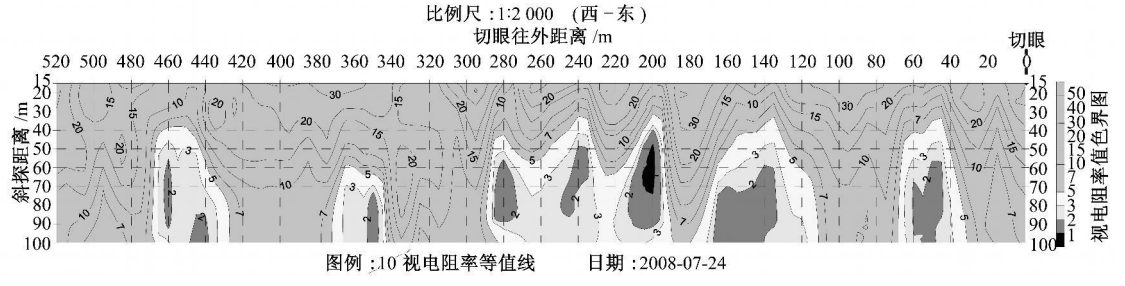


图 7　111070 工作面风巷瞬变电磁勘探(45°斜下探)视电阻率断面图

综上所述,物探最终结论为:由 111070 工作面瞬变电磁勘探低阻异常区平面图(图 8)看出:111070 工作面瞬变电磁勘探低阻异常区在平面方向主要分布于三个区域,分别是风巷切眼往外 30~ 70 m 段偏向工作面内部区域、机巷切眼往外 113~ 315 m 段与风巷切眼往外 100~ 160 m 段连线所圈区域以及机巷切眼往外 423~ 500 m 段与风巷切眼往外 443~ 480 m 段连线所圈区域。其中,后两个区域范围较大、南北向均贯穿工作面。

上述低阻区在工作面回采时存在发生底板突水的可能性,其他区域发生底板突水的可能性较小。

4　水害防治效果

根据瞬变电磁勘探提供的成果,王河煤矿对上述导高相对较大的低阻异常区进行了注浆堵水,注浆堵水后 111070 工作面突水量从注浆前的 800 m^3/h 减少到 150 m^3/h,减少了 80% 以上,大大减少了排水量和排水费用,保证了王河矿的安全生产。

(下转第 68 页)

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

在雨季, 下雨后加测一次。如图 8 所示, 用标定后中子仪的容积含水量。研究结果表明, 土壤水分与不同的坡位, 土壤类型、不同的土地利用类型有很大关系。不同土地利用类型情况下, 土壤水分呈现明显差异。在土壤表层 0~ 50 cm, 农田土壤水分 > 草地土壤水分> 撂荒地和裸地。同时研究表明, 通过标定后的中子仪, 完全能够应用于不同质地的土壤水分动态监测。

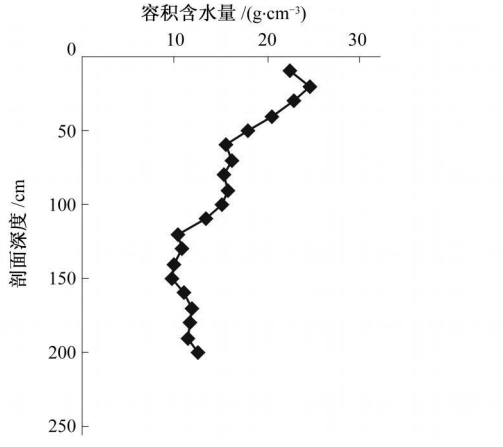


图 8 土壤容积含水量

4 结 语

中子溢出主要发生在 10 cm 以上土层, 所以要采用分层标定的方法来分别标定 10 cm 以上和 10 cm 以下的土层。中子仪测定的结构结果与土钻法有一些差别, 这主要是由于坡地微地貌和人工操作的误差所引起的, 其误差范围在 5% 以内, 可以接受。通过在神木六道沟小流域的研究, 表明中子仪经过不同质地的土壤标定后, 完全可以用于具有不同土壤质地的小流域土壤水分的动态监测。但表层 10 cm 以上, 由于中子溢出和植物根系的影响, 精度比较低, 最好采用直接取样烘干, TDR 法或者别的方法。 □

参考文献:

[1] 陈本华. 中子仪室内外标定曲线误差成因略析[J]. 仪器仪表与分析监测, 2000, (3).

[2] 胡顺军, 田长彦. 中子水分仪土坡墒情监测方法研究[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(6).

[3] 王纪华, 黄文江, 赵春江, 等. 提高中子仪侧量农田耕层土坡水分精度初探[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(3).

[4] 伍维模, 吕双庆, 王冀平. 中子水分仪在棉田土坡上的标定研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1).

[5] 陈洪松, 邵明安. 中子仪的标定及其在坡地土壤水分测量中的应用[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(2).

[6] 王纪华, 黄文江, 赵春江, 等. 提高中子仪测量农田耕层土壤水分精度初探[J]. 干旱地区农业研究 2002, 20(3).

(上接第 64 页)

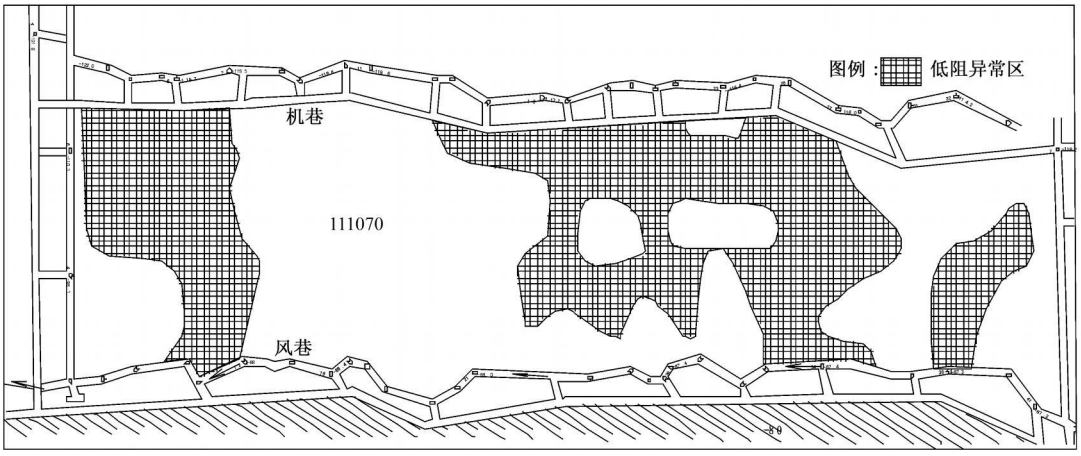


图 8 111070 工作面瞬变电磁勘探低阻异常区平面图

5 结 语

在华北型煤田, 主采煤层为一$_1$ 煤的煤矿, 由于距离奥灰只有 30 m 左右, 煤矿充水来源主要受奥灰水的影响。在井下工作面具备瞬变电磁勘探条件时, 运用瞬变电磁勘探查明工作面煤层底板以下奥灰赋水性情况、富水区范围及导高位置, 对工作面底板以下富水位置进行预注浆, 或对已有突水点注浆堵水, 能够取得良好的水害防治效果。 □

参考文献:

[1] 赵云章. 河南省荥巩煤田荥阳市煤矿区矿井水资源评价报告[R]. 2006.

[2] 鹤煤(集团)公司. 王河煤矿防治水工作指导意见[R]. 2006.

[3] 鹤煤(集团)王河矿. 王河矿采掘接替生产规划[R]. 2006.

[4] 潘国营, 李现民. 荥巩矿区一 1 煤开采岩溶水分布运移规律与水害防治对策研究[R]. 2007.

[5] 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.

[6] 牛之琏. 时间域电磁法原理[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1992.

[7] 岳建华. 中国地球物理学会第 19 届年会论文集: 矿井瞬变电磁法及其应用[C]. 2003.

[8] 严良俊, 徐世浙. 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).

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