

文章编号:1672—7940(2007)04—0341—04

# 瞬变电磁法在探测煤矿采空区中的应用

张开元<sup>1</sup>, 韩自豪<sup>1,2</sup>, 周 韬<sup>1</sup>

(1. 河南省煤田地质局 物探测量队, 郑州 450009;

2. 中国地质大学 地球物理与信息技术学院, 北京 100083)

**摘 要:** 瞬变电磁法是目前工程勘察中应用较广的物探工作方法之一。该方法观测纯二次场, 故分辨率高, 可分辨出地下规模较小的不均匀体, 尤其对低阻地质体反应灵敏。采空区地层有其独特的地电特征, 可以利用瞬变电磁法进行探测。笔者将瞬变电磁法用于新汶某煤矿边界老窑采空区探测及河北某城镇采空区圈定, 均取得良好的效果。

**关键词:** 瞬变电磁法; 煤矿; 采空区; 电阻率

**中图分类号:** P631.325

**文献标识码:** A

**收稿日期:** 2007—04—20

## Application of Transient Electromagnetic Method in Coal Mine Gob

Zhang Kaiyuan<sup>1</sup>, Han Zihao<sup>1,2</sup>, Zhou Tao<sup>1</sup>

(1. Geophysical Prospecting and Surveying Team, Coal Geology Bureau of Henan Province, Zhengzhou 450009, China;

2. School of Geophysics &amp; Information Technology of China University of Geosciences, Beijing 100083, China;)

**Abstract:** Transient electromagnetic method is a widely applied approach in geotechnical investigation and surveying. Because secondary field signal is acquired, it has high resolution in small inhomogeneous geological object, especially in conductive one. Coal mine gob has its unique geo-electrical identity, so it can be detected using TEM. The author applied TEM on the investigation of coal mine gob in a coal mine in Shandong province and a city in Hebei province, and all the two projects have been well justified.

**Key words:** Transient electromagnetic method; coal mine; gob; resistivity

## 1 引 言

瞬变电磁法是利用不接地回线或接地电偶源向地下发送一次场, 在一次场的间歇期间利用回线或电偶极观测二次涡流场的方法。其基本工作方法是: 于地面或井下设置通以一定波形电

流的发射线圈, 从而在其周围空间产生一次磁场, 并在地下导电岩矿体中产生感应电流。断电后, 感应电流由于热损耗而随时间衰减。衰减过程一般分为早、中和晚期。早期的电磁场相当于频率域中的高频成分, 衰减快, 趋肤深度小; 而晚期成分则相当于频率域中的低频成分, 衰减慢, 趋肤深度大。通过测量断电后各个时间段的二

次场随时间变化规律,可得到不同深度的地电特征<sup>[1~4]</sup>。由于该方法是在一次场断电的瞬间观测纯二次场,消除了由一次场产生的装置耦合噪声,具有体积效应小、横向分辨力高、对低阻反映灵敏、与探测地质体有最佳耦合、受旁侧地质体影响小的特点。

## 2 采空区地球物理特征

地层中的煤层被开采以后,在地下岩层间形成一定的空间,采空区上方岩层在重力作用下发生塌陷(图 1),造成煤层上覆岩体失去原有平衡状态而发生一定程度岩移,破坏了岩石的完整性、连续性,致使岩层破碎和出现大量的空隙和裂隙,故该处电阻率会偏高于完整岩石处的电阻率,不明显时则会出现视电阻率等值线的波动,明显时表现出相对的高阻特性;而采空区域的空

隙被水或泥质所充填后,该处的电阻率将明显低于周围完整岩石的电阻率,表现出一定的低阻特征。我们则可以依据这种特有电性异常反映来划分采空区<sup>[5~7]</sup>。

## 3 典型实例

### 山东新汶某煤矿西边界老窑采空区探测

山东新汶某煤矿西边界以西原有六对小矿井,现除三对小矿井在浅部开采以外均已闭井。六对矿井通过采空区和巷道相互连通,形成一个连通良好的水力单元。由于部分小矿井的超限开采,破坏了露头煤柱,致使大气降水和地表水大量补给小矿老空区。小矿老空区积蓄了大量的静水,对该煤矿构成严重水害威胁。为了根治西边界水害隐患,委托河南省煤田地质局物探测量队采用瞬变电磁技术进行地面物探工作。

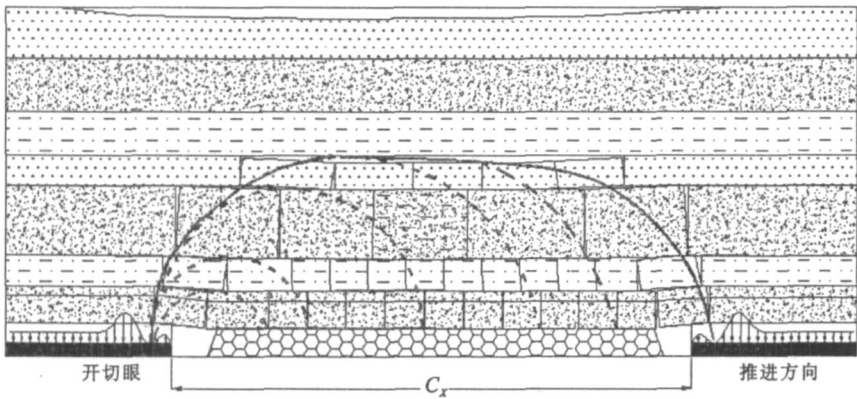


图 1 煤矿采空区塌陷示意图

Fig. 1 Sketch of coal mine gob

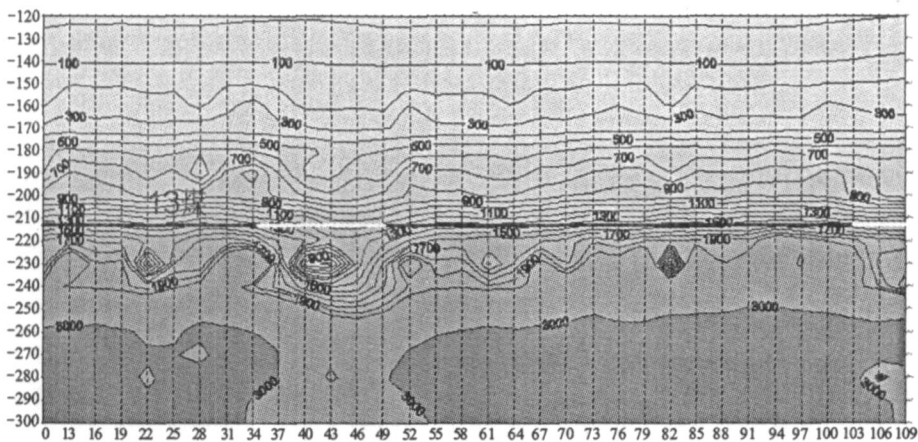


图 2 50 线电阻率拟断面

Fig. 2 Line 50 resistivity pseudosection

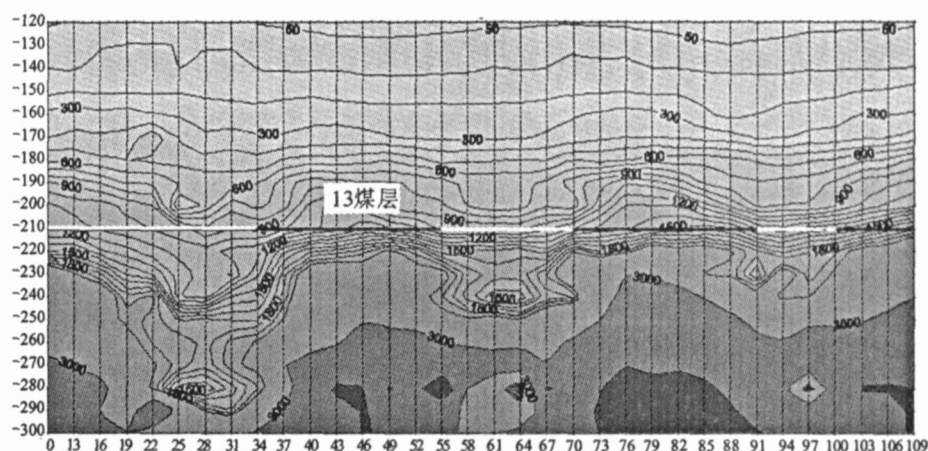


图 3 40 线电阻率断面

Fig. 3 Line 40 resistivity pseudo section

根据已知资料,测区内主要地层为:第四系、侏罗系红砂岩、石炭系和奥陶系。第四系及侏罗系红层的电阻率为  $20 \sim 100 \Omega \cdot \text{m}$ ,电性特征为低电阻率;煤系上部地层以粉砂岩、砂岩为主,电阻率为  $100 \sim 2000 \Omega \cdot \text{m}$ ,而煤系下部地层以灰岩为主,电阻率一般大于  $2000 \Omega \cdot \text{m}$ 。施工仪器为加拿大 PROTEM 67D 瞬变电磁勘探系统,工作装置采用大定源装置,回线内接收,发射线框采用  $300\text{m} \times 300\text{m}$  单匝矩形回线,测量道数 30 门,接收线圈有效面积  $200\text{m}^2$ ,频率  $6.25\text{Hz}$ ,发射电流  $18.6\text{A}$ ,增益  $2^6$ ,积分时间  $30\text{s}$ 。布置瞬变电磁测线 5 条,线距  $10\text{m}$ ,点距  $3\text{m}$ 。

图 2、图 3 是 50 线、40 线电阻率断面图,图中用白色直线表示煤层采空区,黑色直线表示煤层。在 50 线的 34~49 号测点之间、103~109 号测点之间 13 煤层附近地层电性表现为相对低阻,而 13 煤层上方地层电阻率等值线波动明显,为采空区反映。在 40 线的 10~34 号测点之间、55~70 号测点之间和 91~100 号测点之间 13 煤层附近地层电性表现为相对低阻,而上方地层电阻率等值线波动明显,为采空区反映。

本次施工共完成测线 5 条,查明了采空区位置,确定了保安煤柱的宽度,经验证,误差在  $1\text{m}$  左右,效果非常理想。

#### 河北某镇采空区探测

河北省某镇北部有部分民房出现不同程度的

裂缝,为查明民房破坏原因,河南省煤田地质局物探测量队在该镇北部开展 TEM 工作,以查明勘探区内地下采空区情况。

施工仪器为加拿大 PROTEM 67D 瞬变电磁勘探系统,采用大定源装置,回线内接收,选定发射线框为  $400\text{m} \times 600\text{m}$  单匝矩形回线,发射频率  $6.25\text{Hz}$ ,时间窗口为 20 门,发射电流  $20.0\text{A}$ ,积分时间  $30\text{s}$  和  $60\text{s}$ ,在测区均匀布置测点,测线间距  $40\text{m}$ ,测点间距  $5\text{m}$ 。采集的原始数据利用美国 INTERPEX 公司的 TEMIXXLv4 进行一维层状反演,先得到电阻率与深度的曲线,再绘制出各条测线的线电阻率断面图,经对各条测线的线电阻率断面图进行分析,最终圈定出采空区,完成本次勘探工作。

图 4 为测区内的 3100 号测线电阻率断面图。测线浅部埋深在  $200\text{m}$  至  $250\text{m}$  的地层电阻率较低,为二叠系中部地层的综合反应,埋深  $250\text{m}$  至  $350\text{m}$  地层电阻率为一中、高阻条带,为二叠系下部地层的反应,埋深  $350\text{m}$  以下地层电阻率为中、高阻反映,是深部石炭系地层的反应。图中的黑色粗线表示 2 号煤层。在测线的 225~255 号点之间有一低阻凹陷区,电阻率值低(图中网格阴影区),其为 2 号煤采动后形成采空区的反映,图中用白色实线表示采空区范围。本次勘探结果与实际调查和测量的采空区位置相符,得到矿方和甲方认可。

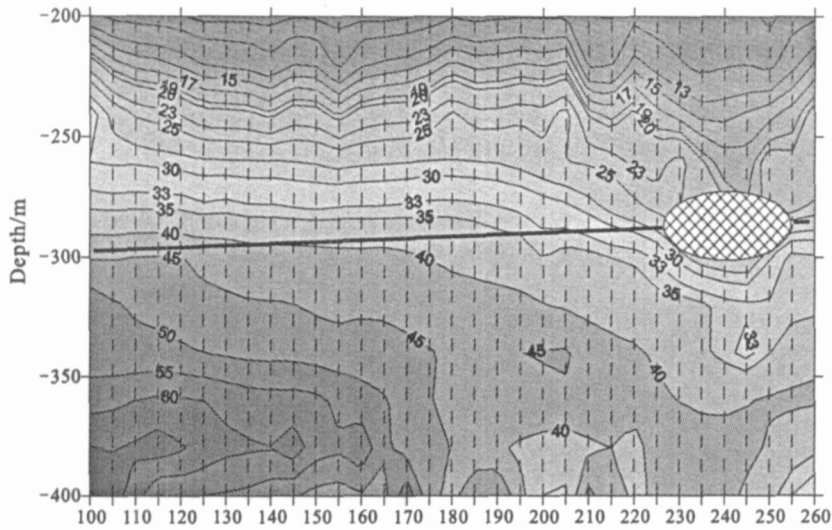


图4 3100 线视电阻率断面图

Fig.4 Line 3100 resistivity pseudosection

## 4 结 论

勘查实践表明,具有高分辨率及高精度(灵敏度)的瞬变电磁仪器使得瞬变电磁法在解决精细地质问题方面显示了独特的优势。选择合理的技术参数,通过瞬变电磁法可以快速获得浅部至中、大深度地层的电性信息,能够较好的解决采空区探测等地质问题,取得令人满意的探测结果。另外对于采空区的探查,瞬变电磁法在诸多方法中也是一种经济、快速、行之有效的地球物理方法,极具广泛的应用前景。

### 参考文献:

[1] 牛之琰. 时间域电磁法原理[M]. 长沙:中南工业大

学出版社,1992.

[2] 方文藻. 瞬变电磁测深法原理[M]. 西安:西北工业大学出版社,1993.

[3] 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.

[4] 李金铭. 激发极化方法技术指南[M]. 北京:地质出版社,2004.

[5] 韩玉雪. 瞬变电磁激发激化效应的利用[J]. 工程地球物理学报,2006(5).

[6] 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(4).

[7] 熊彬,罗延钟. 电导率分块均匀的瞬变电磁2.5维有限元数值模拟[J]. 地球物理学报,2006(2).