

瞬变电磁勘探技术在探测采空区中的应用

——以阳煤集团氧化铝厂采空区勘探为例

安润莲¹, 姚精选², 杨引串²
(1. 太原理工大学 阳泉学院, 山西 太原 045001; 2. 山西省地球物理化学勘查院, 山西 运城 044004)

摘要:瞬变电磁法(TEM), 是利用不接地回线向地下发送一次脉冲瞬变磁场, 再测定一次脉冲瞬变磁场引起的二次涡流的方法。当地下存在电性不均匀体时, 会观测到电性不均匀体的涡流异常场, 通过对异常场的分析研究, 推断矿体、地下水、采空区等地下盲体的存在和部位。华北石炭—二叠煤系地层的电阻率比非煤系地层的电阻率高, 铝土矿层电阻率相对较低, 下伏奥陶系灰岩电阻率最高。地下矿体局部被采出后, 对应地层的导电性随采空区的塌陷程度及赋水情况不同, 表现为相对较高的电阻率或较低的电阻率值, 依据此特征成功地利用瞬变电磁法应用于采空区探测中。

关键词:瞬变电磁法; 采空区; 视电阻率等值线; 山西阳泉煤矿

文章编号: 1003-8035(2006) 04-0116-03 中图分类号: P631.2 文献标识码: B

1 地质及地球物理特征

1.1 地层

勘探区位于太行山西麓, 沁水煤田 NE 部边缘中段。地表大面积被素填土覆盖, 仅在工区内有部分基岩出露, 其它地段基岩零星分布。根据周边出露及揭露地层由老到新有奥陶系中统峰峰组、石炭系中统本溪组、上统太原组、第四系。现分述如下:

- 1.1.1 奥陶系中统峰峰组(O_2f): 主要为一套灰岩、白云岩及少量泥质灰岩组成的浅海相碳酸盐沉积, 厚度 780m, 为煤系地层基底。
- 1.1.2 石炭系中统本溪组(C_2b): 本组地层平行不整合于奥陶系中统峰峰组之上。厚度 12.50~ 32.21m, 平均 25m。主要由泥岩、鲕状铝土泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩、灰岩等组成。底部常发育一层褐铁矿及赤铁矿。铁矿之上发育铝土矿, 一般厚 5~ 10m。铝土矿主要分布在本组地层的中、下部, 矿层最厚达 24.3m, 平均厚 5.71m。
- 1.1.3 石炭系上统太原组(C_3t) 主要由中细粒砂岩、灰砂岩、砂质泥岩、泥岩、煤和石灰岩组成, 石灰岩发育稳定。由于遭受剥蚀, 场区内残留厚度 0~ 73m。
- 1.1.4 第四系(Q): 由粘土、亚粘土、亚砂土、砂、卵石及砂土, 厚 0~ 26.8m。

1.2 构造

阳煤集团拟建筑氧化铝厂位于阳泉市城区东部。

基本构造形态为 NW 走向, 倾向 SW 的单斜, 倾角 3~ 25°, 一般小于 10°。断裂构造不发育。

1.3 地球物理特征(瞬变电磁法前提条件)

根据沁水煤田阳泉矿区测井资料统计, 勘测区煤主要岩层的电阻率及密度参数如表 1:

表 1 煤、岩层物性参数表						
Table 1 The parameters of physical property of coal and rockmass						
地层单位			层位顺序	标志层	视电阻率	煤、岩层
系	统	组	及岩性	代号	值($\Omega \cdot m$)	度(g/m^3)
石炭系 C	太原组	C ₃ t	石灰岩	K6	370	2.65
			石灰岩	K5	410	2.65
			煤层	9 [#]	90	1.55
			石灰岩	K4	490	2.65
			石灰岩	K3	766	2.7
			石灰岩	K2	1060	2.7
			煤层	15- 1 [#]	210	1.65
			煤层	15- 3 [#]	200	1.66
			砂岩	K1	160	2.0
			铝质泥岩		75	2.55
			石灰岩		> 960	2.7

中统 C_2 本溪组 C_2b
奥陶系 O 中统 O_2 峰峰组 O_2f

从表中可以看出, 该区地层导电性差异明显, 煤

收稿日期: 2005-12-06; 修回日期: 2006-03-02
作者简介: 安润莲(1966—), 女, 研究方向为工程地质。

系地层的电阻率值比非煤系地层的电阻率高。目的层铝土矿层为中等导电地层;下伏奥陶系灰岩电阻率最高,构成本区一良好的电性标志层;充水的断层破碎带,电阻率明显低于岩层的电阻率,电性标志明显。地下矿体局部被采出后,在岩体内形成的冒落带、断裂带、变形弯曲带影响范围比原采空区要大,且直接影响其电性分布状况。理论与实践证明当矿体被采空后,对应地层的导电性随采空区的塌陷程度及赋水情况不同,表现为相对较高的电阻率或较低的电阻率值(采空区充水)。在瞬变电磁法视电阻率剖面图上表现为高阻(未充水)或低阻(充水)的明显异常。为瞬变电磁法勘探提供了前提物理条件。

2 采空区瞬变电磁勘查

2.1 采空区瞬变电磁勘查原理

地下局部矿体被采出后,在岩体内形成有一定规模的空间,使周围的应力平稳状态遭受破坏,产生局部的应力集中,采空区顶板在上覆岩层压力的作用下,发生变形、断裂位移、冒落。形成的冒落带、断裂带、变形弯曲带影响范围比原采空区要大,且直接影响其电性分布状况。由于地下水的充填及地表水沿裂缝向采空区渗漏,其电阻率将明显发生变化,与围岩电性形成较明显的差异,为瞬变电磁勘查提供了前提条件。

由前述地球物理条件可知:采空区与围岩在电性上存在着较明显差异。在电阻率异常特征上表现为形成的视电阻率相对高、低不同。

2.2 瞬变电磁野外工作方法

2.2.1 仪器设备 本次采空区瞬变电磁勘探投入的仪器为美国 Zonge 公司生产的 GDP32-II 型电法工作站。接收 TD-3 瞬变电磁探头。

2.2.2 工作装置 根据工区附近采空区的埋深和高度情况,结合瞬变电磁特点,选择中心回线装置,发射线框为 $40\text{m} \times 40\text{m}$,接收采用 TD-3 瞬变电磁探头。

2.2.3 参数设置 发射基频为 32Hz ,采样时间 $0.08 \sim 9.52\text{ms}$ 内按对数分 22 道采集,迭加次数 500 次,最大发射电流 12.5A ,有效的抑制工业电流及人为设施干扰,确保了采集数据的质量。

3 瞬变电磁资料分析与解释

在地球物理特征和试验成果的基础上进行资料的解释,表现在成果图上有如下特征:矿体采空后,上

覆地层中裂隙广为发育,地层变得松散失水,甚至坍塌,使得地层的导电性明显减弱。本区潜水面埋深较大,采空区内无积水的可能,瞬变电磁法电阻率剖面图上表现为局部的高阻异常。

但在 TEM 剖面上高阻异常并不一定都是采空区。还存在回填或原始坡积物异常、裂隙发育引起的异常。各种异常特征在本勘探区表现如下。

3.1 采空区异常特征

为绝对高阻异常,等值线密集闭合,异常中心视电阻率较高,与视电阻率正常值相差大于 $100\Omega \cdot \text{m}$ 。视深度位于铝土泥岩,图 1 中 178~184 点异常经钻孔验证为采空区。

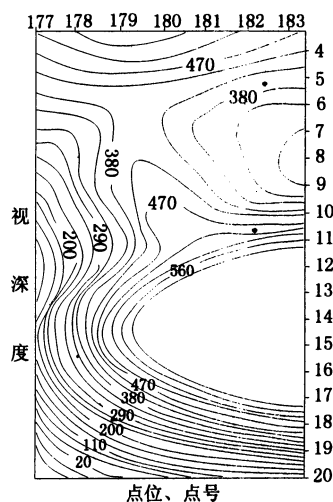


图 1 125 线 TEM 剖面图

Fig. 1 Sectional drawing on line 125

横轴:剖面线及其的点,间隔 10m;

纵轴:视深度,曲线为视电阻率等值线

3.2 回填或原始坡积物异常

该类异常一般为相对高阻,电阻率等值线相对稀疏闭合或下凹。反映了回填或坡积物堆积的不均匀,一般位于铝土泥岩之上,深度较浅。图 2 中 176~181 点为异常区,异常中心视电阻率 $\rho_{\text{视}} = 310\Omega \cdot \text{m}$,异常中心视深度 24m 。经钻孔验证为回填坡积物异常。

3.3 裂隙发育引起的异常

该异常一般为相对高阻异常,随裂隙发育程度不同而变化,裂隙发育,岩石破碎,视电阻率高阻异常表现明显。图 3 中 178~181 点处异常表现为高阻异常,电阻率等值线相对密集,异常中心视电阻率 $\rho_{\text{视}} = 590\Omega \cdot \text{m}$,正常电阻率 $\rho_{\text{视}} = 290\Omega \cdot \text{m}$,由钻孔揭露为铝土泥岩顶板灰岩裂隙发育而致,钻孔钻至 $31 \sim 32\text{m}$ 裂

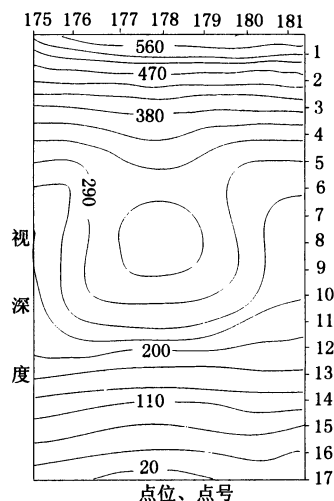


图2 122线 TEM 剖面图

Fig. 2 Sectional drawing on line 122

横轴: 剖面线及其的点, 间隔 10m;

纵轴: 视深度, 曲线为视电阻率等值线

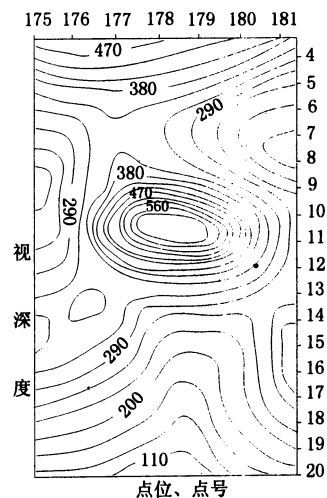


图3 153线 TEM 剖面图

Fig. 3 Sectional drawing on line 153

采用瞬变电磁法(TEM)探测采空区精度较高, 为采空区探测和治理提供了条件, 可以广泛地应用。

隙发育, 漏水取芯率低。此类异常其视深度一般不在铝土泥岩层位。

4 结 论

地下若存在采空区, 而且未有积水, 则异常为高阻异常, 等值线密集闭合, 异常中心视电阻率较高, 与视电阻率正常值相差较大, (本区大于 $100\Omega \cdot m$ 以上)。回填或原始坡积物或裂隙发育异常一般为相对高阻, 一般不在铝土泥岩。而推测地下存在采空区若有积水, 则异常为低阻异常。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 牛之琰. 时间域电磁法原理[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1992.
- [3] 方文藻, 李予国, 李貅. 瞬变电磁测深法原理[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1993.
- [4] 薛国强. 瞬变电磁法成像技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2002.
- [5] 考夫曼 A A, 凯勒 G V. 频率域和时间域电磁测深[M]. 北京: 地质出版社, 1990.

Application of TEM on exploration of subsurface mined areas

—An example of application in alumina producer of coal company in Yangquan

AN Run-lian¹, YAO Jing-xuan², YANG Yi-chuan²

(1. Yangquan College, Taiyuan University, Taiyuan 045001, China;

2. Geophysical and Geochemical Survey Institute, Shanxi Province, Yuncheng 044004, China)

Abstract: Transient Electromagnetic Method(TEM) is a reconnaissance method by sending out a pulse transient magnetic field toward underground using the loop not connecting ground, and then measuring again quadric backsets that is caused by the change of the magnetic field. When an asymmetrical electric body exists, an abnormal field of the backsets will be detected. By analysing and researching the abnormal field, the existence and the position of the underground blind body, such as

(下转第 122 页)

到距离巷道外轮廓的一定距离深处峰值应力降低到不能产生失稳破坏时, 围岩就处于稳定的状态, 将不会继续产生新的破裂带。

4 结 论

4.1 深部高地应力状态下产生的岩石分区碎裂化现象是岩体经由蠕变产生的。

4.2 深部岩体裂纹密度大, 支撑压力区峰值应力很高。并且岩体处于较大的切向应力和较小的径向应力的近单轴压缩状态下。岩体将很快进入第三阶段蠕变, 从而发生失稳破坏。并且深部初始地应力水平较高, 应力梯度大, 岩体经蠕变到失稳的时间很短;

4.3 高围压使岩石分区碎裂化的破碎区和未破碎区交替出现到岩体处于稳定状态的时间非常短暂。

参考文献:

- [1] G D ADAMS, A J JAGER. Erosic observations of rock fracturing ahead of slope faces in deep-level gold mines[J].

Journal of the south Africa institute of mining and metallurgym 1980.

- [2] E I Shemyakin, G L Fisenko, M V Kurlenya, V N Oparin, V N Reva, F P Glushikhin, M A Rozenbaum, E A Tropp, Yu S Kuznetsov. Zonal Disintegration of Around Underground Workings, Part II: Rock Fracture Simulated in Equivalent Materials[J]. Journal of Mining Science, 1986, 22 (4): 223 - 232.
- [3] L S Metlov, A F Morozov, M P Zborshchik. Rock Failure Physical Foundations of Mechanism of Zonal Rock Failure in the Vicinity of Mine Working[J]. Journal of Mining Science, 2002, 38(2): 150- 155.
- [4] 张忠亭, 王宏, 陶振宇. 岩石蠕变特性研究进展概况[J]. 长江科学院院报, 1996.
- [5] 王来贵, 王泳嘉, 刘学. 岩石试件的流变失稳理论及判据[J]. 阜新矿业学院学报, 1994.
- [6] 周维垣. 高等岩石力学[M]. 北京: 水利水电出版社. 1990.

Time effect on zonal disintegration process of deep rock mass

LI Ying-jie, PAN Yi-shan, ZHANG Meng-tao

(Department of Mechanics and Engineering Sciences, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: The paper generalizes zonal disintegration time effect through in situ observation and rock fracture experiment simulated in similar materials. It is presented that zonal disintegration is created by way of creeping and fracture zone needs a period of time to form, but this time isn't too long. Zonal disintegration time effect is analysed adopting creeping theory.

Key words: zonal disintegration of rock mass; creep instability; time effect; high ground stress

(上接第 118 页)

groundwater, mineral body and mined-out area can be predicted. The resistivity of Carboniferous and Permian coal is greater than that of non-coal stratum in North China, and the resistivity of the bauxite layer is relatively lower, and the resistivity of nether Ordovician limestone is the largest. After the part of the underground mineral body is mined, the conductivity of the corresponding stratum will be different with the degree of sinking and the circumstance dampness penetration and its resistivity will be raising or descending. By the above characteristic, the authors explored the mined-out area are successfully.

Key words: Transient Electromagnetic Method; subsurface mined area; apparent resistivity isoline; Yanquan Coal Mine, Shanxi province