

# 矿山灾害电阻率法预测机理及试验<sup>\*</sup>

李德春 葛宝堂 忽杰武 (中国矿业大学 徐州 221008)

**摘要** 岩爆和煤层突出灾害对煤矿的安全生产及生产效率有着十分严重的影响。本文讨论了电阻率法在矿山灾害预报中的应用,利用试验观测了岩样在破坏过程中电阻率的变化,其结果表明,岩石电阻率在其破坏过程中变化明显,说明电阻率法可以用于矿山灾害的预测、预报。

**关键词** 电阻率法 矿山灾害 预测 机理 试验

**中国图书资料分类法分类号** P631.34

**作者简介** 李德春 男 35岁 讲师 地球物理勘探

## 1 引言

众所周知,煤炭开采是一项巨大的地下工程,其主体是含有煤的岩石。由于在巷道掘进和煤炭开采过程中,地下原始应力平稳被打破和出现临空面,围岩失稳现象也随之大量产生,如岩爆、岩石及瓦斯突出、顶板冒落、地下突水等,已构成煤炭生产的最主要不安全因素,成为一项带有普遍意义的地下岩体动力灾害,严重影响煤炭工业的发展,成为煤矿技术中十分突出的难题。

岩体动力灾害主要是由岩体破裂、失稳所致,对其进行预测预报,并进行预防和治理,可以最大限度地减少灾害次数和减轻灾害的影响程度。

岩体破裂失稳过程的电阻率监测方法主要在前苏联、波兰、德国等开展研究。美国岩体力学家 Br-sace<sup>[1,2,3]</sup>首先进行了有关岩体破裂的电阻率变化试验,并提出若干破坏模式和机理,此后许多国家<sup>[4,5,6]</sup>将电阻率方法用于地震预报,并进行了大量试验。随着煤炭开采深度加大和岩体动力灾害现象的频繁发生,人们开始注意到煤矿岩体破坏问题,电阻率法也开始在煤矿进行试验。代表人物是波兰的 Storinski W<sup>[7,8]</sup>,他在鲁宾矿等进行了数年的观测,

<sup>\*</sup> 煤炭科学基金资助项目(93采10102)

## 4 结论

a. “三软煤层”的平均吸收系数,在 0.125 MHz 时,  $\beta \approx 0.2$  dB/m, 在 0.5 MHz 时  $\beta \approx 0.4$  dB/m。

b. 在“三软煤层”中,电磁波传播所表现出的各向异性,反映了煤层裂隙、构造的发育方向。

c. 断层组在吸收系数色谱图上为不连续的高吸收异常块。

通过梁家矿两个工作面的坑透研究,电磁波坑透在“三软煤层”特殊地质条件下采用计算机层析成像处理解释,能获得较好的地质解释效果。

(收稿日期 1999-04-27)

## ANALYSIS ON THE ABSORPTING CHARACTERISTICS OF ELECTROMAGNETIC WAVE IN COAL SEAM WITH SOFT COAL, ROOF AND FLOOR

Yu Shijian Cheng Jiulong Wang Yuhe (Shandong Mining Institute)

Yan Shijie Zhang Tongzhou Li Yongchun (Liangjia Coal Mine of Longkou Mining Bureau)

**Abstract** Based on the tunnel transmission tests on both working faces in Liangjia mine, the absorbing coefficient  $\beta$  of electromagnetic wave in coal seam with soft coal, roof and floor is found; using the absorbing chromatograph charts of working faces obtained by the CT technique processing, the absorption abnormal characteristics of fractures and structures in coal seam with soft coal, roof and floor are analyzed, and the better geological effectiveness is obtained.

**Keywords** soft rocks, roof, floor, coal seam, electromagnetic wave, absorption coefficient. <http://www.cnki.net>

主要进行岩爆、顶板冒落的预测、预报, 取得了初步成果。

## 2 电阻率法预测矿山动力灾害的基本原理

岩体的电阻率是反映其导电性能的物理量。煤矿开采中, 遇到的主要是沉积岩, 沉积岩主要由长石、云母等矿物组成, 这些造岩矿物的电阻率高达  $10^6 \Omega \cdot \text{m}$  以上, 应属于绝缘体。而实际上所测电阻率值要小的多, 这是由于地下岩石都具有一定的孔隙或裂隙, 其内充填有导电的水, 因此决定岩体电阻率大小的主要因素是这些孔隙、裂隙及含水状态。这一点对于矿山岩体动力灾害监测分析来说十分重要, 因为矿山岩体受力破坏恰恰是伴随着岩体裂隙的发育变化及地下水状态的变化。图 1 为岩体电阻率与其孔隙度关系的统计结果。

## 3 有关试验方法

试验采用加压装置对岩样加压使之破坏, 在此过程中观测电阻率值的变化特性, 特别是破坏前的特性, 对于岩体动力灾害的预测预报具有十分重要的意义。

### 3.1 岩样制备

试验所用岩样主要来自山西大同煤田及内蒙古霍林河煤田, 为煤系中的砂岩、泥岩、灰岩和煤。首先要将岩样加工成圆柱状, 具体有以下几点要求:

- a. 岩样应为正圆柱形, 其高度与直径比为 2 ~ 3, 以减小端部效应的影响;
- b. 岩样两个端面应平行至 0.02 mm, 并与圆柱轴垂直, 最大偏差  $< 0.001$  弧度;
- c. 圆柱体侧面应光滑平整, 在岩样的整个长度上, 与一直线的偏差应小于 0.03 mm;
- d. 不同条件下, 某一岩性岩样不得少于 5 个。

### 3.2 试验装置

试验所需设备为压力机和电法仪。本次试验中主要为 WZ-600 液压万能材料试验机和 SYSCAL R2 数字电法仪, 其联接方式如图 2 所示。

试验中电阻率值的测量采用四极装置。当电流  $I$  通过岩体时, MN 之间的电位差  $\Delta U_{MN}$  与其电阻率  $\rho$  及供电回路中的电流强度  $I$  成正比, 即:

$$\rho = K \times \Delta U_{MN} / I,$$

式中,  $\rho$  — 电阻率,  $\Omega \cdot \text{m}$ ;

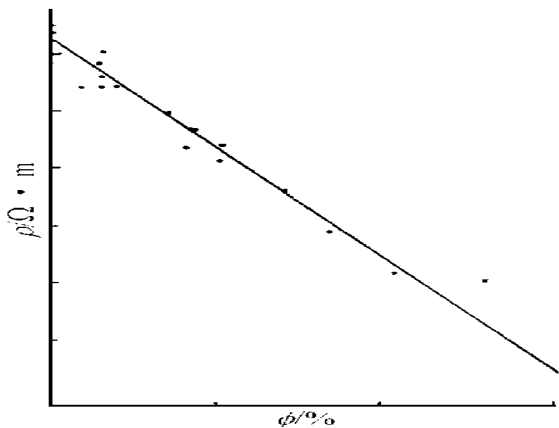


图 1 岩体电阻率与其孔隙度大小的关系

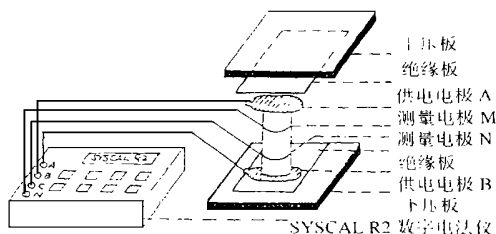


图 2 电阻率测量试验装置图

$K$  — 装置系数, m;

$\Delta U_{MN}$  — 电位差, mV;

$I$  — 供电电流强度, mA。

对于图 2 所示的四极装置, 一般采用圆柱状岩样, 要求 AB 间的距离大于其横截面的直径, 装置系数  $K$  则为:

$$K = S / L,$$

式中  $S$  — 岩体横截面面积,  $\text{m}^2$ ;

$L$  — 测量电极 MN 之间的距离, m。

在供电线路里串联一个阻值为 100  $\Omega$  的标准电阻, 通过测量供电回路中标准电阻的电压, 间接获得回路中的电流强度, 从而提高了精度。

## 4 试验结果

本次共对 23 个岩样进行了破坏观测试验, 发现在岩石破坏过程中其电阻率变化十分明显, 总体有一定的规律性, 但对于不同岩样又有所不同, 如图 3、图 4 所示。图 3 为典型的先升后降型, 图 4 为单边下降型。

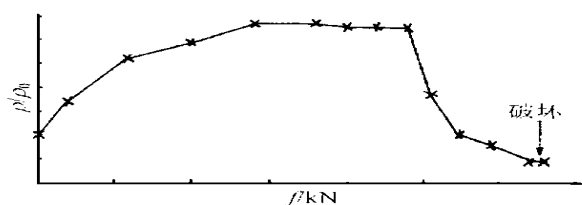


图 3 先升后降型电阻率与压力关系曲线

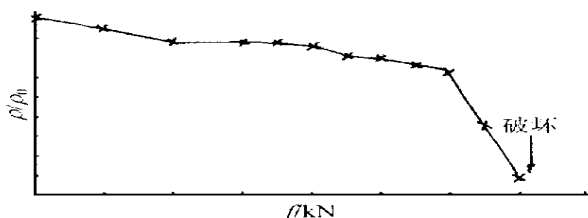


图 4 单边下降型电阻率与压力关系曲线

## 5 试验结果分析

天然状态下的岩石总是存在着许多微裂隙, 岩体的破坏实际上是裂隙变化的结果。岩体在受力后直至破坏, 其裂隙发育可分为 3 个阶段。(图 5)

第一阶段, 压力比较小时, 岩体内的原有微裂隙的数目缓慢增加, 并产生新的裂隙, 此时电阻率变化不大。

第二阶段, 随着压力的增大, 岩体裂隙大量发育, 如果岩石为水饱和状态, 此时电阻率为增大, 如果岩石为半饱和则电阻率下降。

第三阶段, 当岩体接近破坏, 其内部产生主裂隙, 流体的联通可导致电阻率进一步下降。

从上述分析可以看出, 对于水饱和岩石电阻率随压力的变化规律是上升—下降型; 对于部分饱含水岩石来说则是单边下降型。由此可见岩体含水的状态对于用岩体电阻率预测其破坏来说, 至关重要。

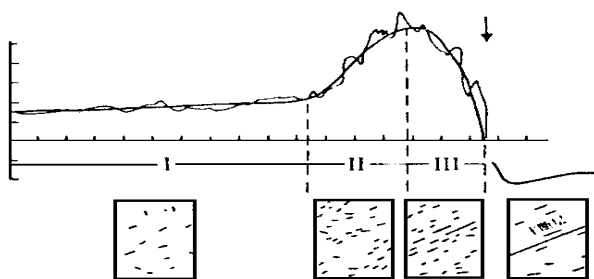


图 5 岩体破坏过程的裂隙变化

I — 均匀微裂阶段; II — 加速微裂阶段(由于裂缝之间的互相作用); III — 不稳定微裂和主断层形成阶段

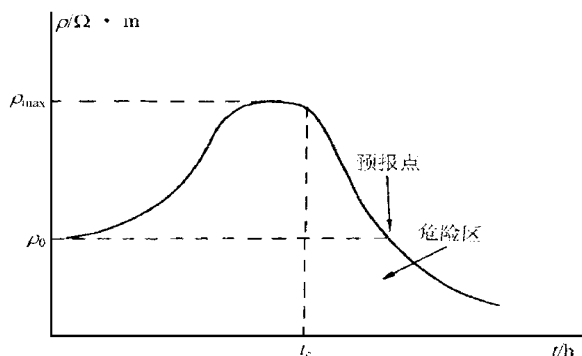


图 6 岩体灾害电阻率预测模型

## 6 矿山岩体灾害模型

对于矿山岩体来说, 由于为人工开挖岩体的水力供给受到影响, 可能处于饱和状态, 因而可以用上升—下降型作为预测模型, 如图 6 所示。预测预报方法是在岩体中连续观测电阻率随时间的变化, 得出电阻率—时间关系曲线, 根据曲线形态预测岩体动力灾害发生的可能性, 并进行预报。

## 7 结论

a · 岩体电阻率随压力变化有着十分明显的反映, 但不同的岩体及其含水状况不同, 其变化规律不同。

b · 矿山岩体动力灾害如冲击地压、瓦斯突出、底板突水利用电阻率进行监测是可行的, 它具有探测范围大, 无需钻孔, 可实现遥测等优点。

c · 有关机理、预测预报方法等尚有许多问题亟待研究。

## 参考文献

- 1 Brace W F, et al. Electrical resistivity changes in saturated rocks during fracture and frictional sliding. J. G. R., 1968; 73(4): 130~131
- 2 Brace W F. Further studies of the effect of pressure electrical resistivity of rocks. J. G. R., 1968; 73(4): 132~141
- 3 Brace W F. Dilatancy related electrical resistivity changes in rocks. PAGP, 1975; 113(1/2): 406~409
- 4 Mazzella A. Electrical resistivity variations associated with earthquake on the San Andreas fault. Science, 1974; 185(41): 1109~1118
- 5 Morrow C et al. Electrical resistivity changes in tuff due to stress. J. G. R., 1981; 86(2): 1012~1019
- 6 钱复业等. 地震前电阻率的异常变化. 中国科学(B 辑), 1982; (9): 212~219
- 7 Stopinski W. Precursory rock resistivity variations related to mining tremors. Acta Geophys. Pol., 1982; 30(4): 367~379

· 探矿工程 ·

# GCF-1500 冲击反循环工程钻机

喻重山 (石油大学机电工程系 北京昌平 102200)

**摘要** 介绍了 GCF-1500 冲击反循环工程钻机的技术参数和性能特点。钻机采用了冲击反循环方式,钻进效率高,适应地层面广。

**关键词** 钻机 冲击钻进 反循环

**中国图书资料分类法分类号** P634.31

**作者简介** 喻重山 男 44 岁 讲师 钻井机械

## 1 引言

GCF-1500 冲击反循环工程钻机是由中国地质大学(北京)工程钻井教研室与张家口探矿机械厂合作研制生产的。钻机采用了卷扬机带动冲击钻头,利用冲击钻头下落的动能产生冲击作用,破碎岩土实现钻进。钻机可用于基础工程中大口径灌注桩孔和连续墙的施工以及大口径水井、回灌井和矿山通风孔的钻进。

钻机的技术参数为:

最大钻孔直径 1.5~2 m;

钻进深度 40m;

冲击钻头最大重力 50 000 N;

冲程 0.5~3 m;

井架高度 8.5 m;

钻机功率 45 kW;

外形尺寸 7.5 m × 2.9 m × 8.8 m(工作状态),  
7.6 m × 2.25 m × 2.2 m(运输状态);

钻机质量 8t。

## 2 钻机特点

**2.1** 钻机采用了反循环排渣钻进技术,克服了传统冲击钻进靠抽筒排渣效率低、重复破碎的不足,使钻进效率明显提高。

反循环排渣是指在冲击钻进过程中,冲洗液自孔内经排渣管与孔壁间的环状空间下行到达孔底后,携带岩屑由排渣管内腔上返到地表的一种排渣方法。由于排渣管内腔断面积比排渣管与孔壁间的环状空间断面积小得多,冲洗液在排渣管内腔能获得很大的上返速度,故排除孔内钻屑的能力强、粒径大;更主要的是排渣与冲击钻进是同时连续进行的。岩层一经破碎,很快排出孔口,减少了岩屑在孔底重复破碎的机会和排渣的辅助时间,可大幅度提高钻进的效率,特别是在大口径基础工程施工中效果更为明显。

**2.2** 冲击钻进提升系统采用了卷扬机提升方式,结构较传统的四连杆机构简单。

在反循环钻进过程中,井下的岩屑通过位于钻

8 Stopinski W. Preliminary results of rock resistivity investigations in copper mine Lubin and their relation to the increase in stresses in the rock mass. Puble. Inst. Pol. Acad. Sc., 1979; 21

(3):405~417

(收稿日期 1999-05-05)

## MECHANISM AND TESTS OF MINE DISASTER PREDICTION BY RESISTIVITY METHOD

Li Dechun Ge Baotang Hu Jiewu (China University of Mining and Technology)

**Abstract** The rock burst and coal outburst have important influences on the mining safety, technology and production efficiency in coal mine. The application of resistivity method in the mine disaster prediction is discussed in this paper, and the resistivity variation during the rock sample rupture is measured by the tests. The results show that the resistivity variation of rock is obvious during its rupture, and it suggests that the resistivity method could be used to predict the mine disaster.

**Keywords** resistivity method; mine disaster; prediction; mechanism; test