文章编号: 1003－1375(2010)04－0024－03

岩石裂隙电阻率特征研究

宋文杰, 吴子泉, 姜早峰, 杜历英

(山东省工程地震研究中心, 济南　250021)

摘要: 岩石的电阻率差是电阻率法的物理前提, 利用电阻率法研究断层是比较有效的方法。利用断层破碎带与周围岩石的电阻率差异, 跨断层做了大量的实验数据, 通过对比和分析, 得出了研究破碎带与周围岩石的电性差异, 寻找变化规律, 研究其变化特征。对今后断层探测具有重要价值, 对防震减灾具有重要意义。

关键词: 电阻率; 反演; 层状介质

中图分类号: P315.5　　文献标识码: A

0　引言

地震的发生有其特定的构造环境, 大地震与断裂的活动性、规模、构造位置和深部构造差异有良好的相关性, 研究破碎带与其周围岩石的电性差异是研究断裂的重要依据, 在地震小区划和地震安全性评价过程中具有重要意义[1－2]。

岩石的电阻率差是电阻率法的物理前提, 也是高密度电阻率法的物理前提。影响岩石导电的因素很多, 其中主要因素为岩石的成分、结构、所含水分及温度等[3－4]。在断裂构造中, 破碎带与周围岩石的成分、结构等都有一定的差异, 但是地质条件具有复杂性, 随着长时间的地质作用, 其电阻率的差异极其复杂。本文在前人基础上研究破碎带与周围岩石的电性差异, 寻找其变化规律, 研究其变化特征。

电阻率法实际上是一种阵列电探的思想, 早在 70 年代末期就有人考虑实施, 英国学者设计的电测深偏置系统实际上就是高密度电阻率法的最初模式。80 年代中期, 日本地质计测株式会社曾借助电极转换板实现了野外高密度电阻率法的数据采集, 只是由于整体设计的不完善性, 这套设备没有充分发挥高密度电阻率法的优越性。80 年代后期, 我国地矿系统率先开展了高密度电阻率法及其应用技术研究, 从理论和实际结合的角度, 进一步探讨并完善了方法理论及有关技术问题。近年来该方法先后在重大场地的工程地质调查、断层探测等方面得到了应用, 特别是国家地震局地球物理研究所对其进行了大量实验[5－6]。

很多专家在方法应用上做了大量研究, 但是对岩石裂隙电阻率差异没有深入研究, 由于缺乏足够的实验模型依据, 使得解释工作面临很大的困难。因此研究介质的电性差异是电阻率法发展的根本。

1　电阻率与孔隙度之间的关系

电阻率参数受到很多因素的影响, 在进行电阻率参数标定的时候, 必须充分考虑到这些因素才能够正确进行电阻率标定工作。在一般情况下, 岩石的电阻率有如下的经验公式。

$$\rho_{\Pi}=\Pi_M \Pi_{\Pi} P_{\Pi} P_h \rho_R \qquad (1)$$

式中, Π_M 为矿物导电参数, 相对于水的电阻率可以看作无限大, 故当岩石裂隙中充满水时, 可以忽略不计; Π_{Π} 为表面导电参数, 它表示了岩石电阻率和吸附在岩石表面的离子层导电性的关系, 在一般情况下也可忽略不计; P_{Π} 为孔隙度参数, 它与裂隙度成反比指数关系; P_h 为饱和度参数, 表示部分裂隙在填充非导电液体(石油、沥青等)时岩石电阻率的升高, 本次研究电阻率与孔隙度的关系时, 认为岩石裂隙中水饱和, 所以 P_h 在所有的岩石与地层中是一样的; ρ_R 为随着地层温度改变而改变的地层水的电阻率, 在进行本次研究中, 地层温度变化不大, 所以也

收稿日期: 2010-03-11
基金项目: 山东省防震减灾"十一五"重点项目(SD115-6-6, SD115-6-7)
作者简介: 宋文杰(1980—), 男(汉族), 山东沂水人, 工程师, 主要从事地球物理方面研究. E-mail: wenjie1980@sina.com

近似认为是不变的。我们可以近似地认为，当岩石地层中充满裂隙水时，公式(1)可以简化为：

$$\rho_{\Pi} = k_1 \rho_R \tag{2}$$

式中，k_1 为比例系数。裂隙度参数与裂隙度成反比指数关系。

$$\rho_{\Pi} = \frac{k_2}{k_r^n} \tag{3}$$

等式中，k_2 为比例系数，k 为岩石的孔隙度，所以有：

$$\rho_{\Pi} = \frac{k}{k_r^n} \tag{4}$$

式中，$k = k_1 \times k_2$。

试验表明，近地表浅部岩石，尤其是沉积盆地中的砂岩、页岩、泥岩和碳酸盐岩的电阻率主要与岩石的裂隙度和裂隙水的含量有关，裂隙水的电阻率一般在 0.1～10 Ω·m 之间变化。岩石具有一定的孔隙度且孔隙水具有较好的连通性，则其电阻率可降到几至 10 Ω·m。另外影响岩石电阻率的因素还有很多，比如温度、矿物成分与结构、岩石所处位置的压力环境、组成岩石的颗粒粗细、是否各向异性以及在一定条件下岩石发生物理化学变化的程度等等。但在一般情况下，它们对野外测量结果的影响相对于裂隙度来说很小，可以不予考虑。

2　实例分析

2.1　工作参数

工作中采用了地表测量，各测线均采用灵敏度最高的温纳(Wenner)装置。在本次探测中，采用的道间距为3.5 m，最大隔离系数均为 40，测量参数如下：

(1)电位测量：

① 测量范围：±5 000 mV

② 测量精度：±0.5%(> 3 mV)；±2%(1～3 mV)

③ 电位测量分辨率：1 μV

(2)自然电位补偿方式及补偿范围：

① 跟踪式自动补偿

② 在全量程内(±5 000 mV)补偿

(3)输入阻抗：30 MΩ

(4)最大供电电压：600 vdc

(5)供电电流：2.5 A

(6)A/D 位数及采样间隔：16；1，2，4 ms

(7)仪器工作电压：12～30 V，直流；

(8)工作环境温度：0～40 ℃

(9)体积、重量：300 mm×400 mm×320 mm (W×L×H)；13 kg

(10)电极道数：200

2.2　测线布置

本次试验是跨沂水—汤头断裂来布置的，测线分布如图 1，主要目的是根据断层破碎带与周围岩石的电阻率差异来判断断裂的展布情况。进而分析岩石电阻率与破碎带的孔隙度和含水量有直接关系。

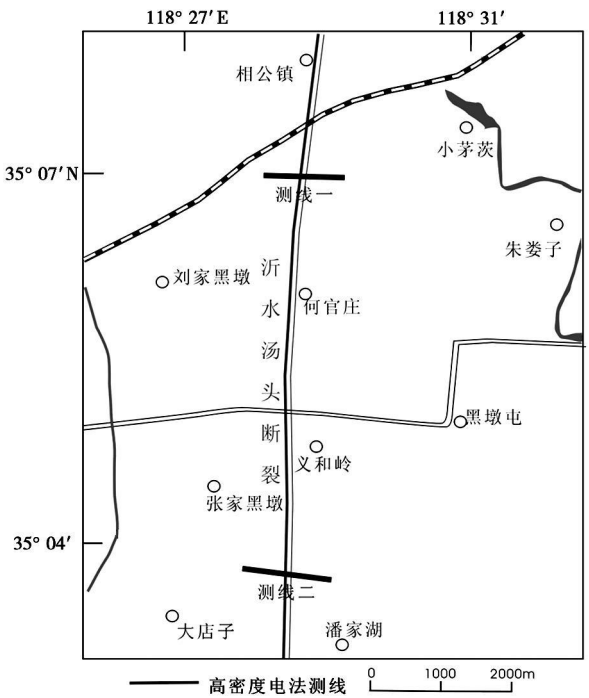

图 1　高密度电法测线分布图

2.3　地层电性信息

本次勘测揭露地层上部为全新统冲洪积层，下部基岩为泥岩、砂岩，岩石节理发育。其中包括强风化层、中风化层。在这种风化程度不同的情况下，特别是在断裂带上，介质的裂隙度和裂隙水的含量差异很大，因此本次探测得到的数据质量相当高，电阻率大都在 20～200 Ω·m 之间，有明显差异。数据见表 1，反演结果见表 2。

地电剖面数据通过一维反演得到的结果。其中迭代次数为 5 次，收敛到 5%。结果见图 2 和图 3。

表 1 某工程测得部分数据表

层数	系数/ k	电极距/ m	电阻率/(Ω·m)
15	43.98	3.5	58.31
15	43.98	3.5	55.64
15	43.98	3.5	57.97
15	43.98	3.5	56.01
15	43.98	3.5	54.57
15	43.98	3.5	57.34
15	43.98	3.5	59.26
15	43.98	3.5	54.52
15	43.98	3.5	52.48
15	43.98	3.5	60.48
15	43.98	3.5	45.41

表 2 反演结果表

地电参数	ρ_1/Ω·m	h_1/m	ρ_2/Ω·m	h_2/m	ρ_3/Ω·m
初始值	60	2	30	6	150
真值	40	1	20	4	100
反演结果	41.54	1.22	21.85	4.17	125.57

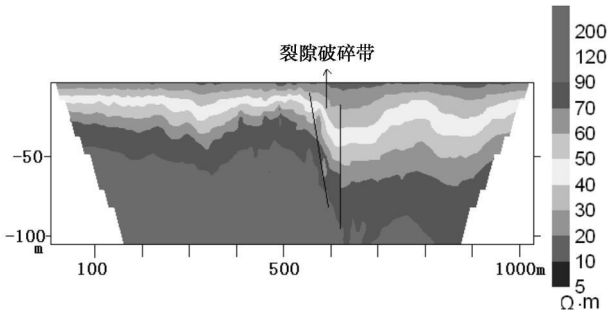

图 2 破碎带探测结果(测线一)图

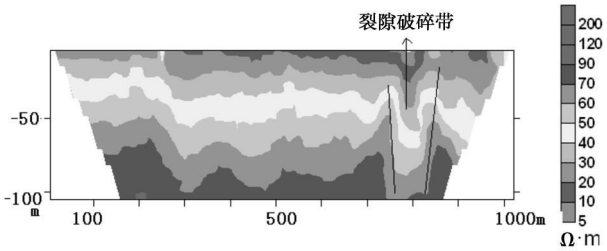

图 3 破碎带探测结果(测线二)图

从探测结果来看,沂水—汤头断裂从何官庄、相公庄通过,总体走向为 N10°E。断裂经多期活动,表现为强烈的挤压、破碎,平面剖面形态均呈舒缓坡状,其破碎带内介质的孔隙度与周围岩性形成鲜明对比,在层析图上显示出电阻率变化较大的态势。

3 结论

(1)岩石的电阻率不仅与岩石孔隙度的大小有关,而且还取决于孔隙的结构。通常当孔隙连通较好时,其中水分对岩石电阻率影响较小。节理或裂隙式孔隙,亦具有明显的方向性,沿节理或裂隙方向岩石电阻率较低,而垂直于节理或裂隙方向电阻率较高。

(2)变质岩孔隙度与风化程度有关,通常是岩石分化程度越低,岩石越致密,孔隙度越小,其电阻率越大。因此,片麻岩电阻率的级次与花岗岩相当,而泥质板岩的电阻率较低。

参考文献:

[1] 崔青发,段文仓. 乾陵宝鸡两台地电阻率异常与关中邻区中强地震的对应特征[J]. 华北地震科学, 2008, 26(1): 26-29.
[2] 孙丽娜,金学申. 晋获断裂带构造和地震活动特征[J]. 华北地震科学, 2009, 27(4): 11-15.
[3] 王德利,何樵登,韩立国. 裂隙各向异性介质中的 NMO 速度[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(6): 1 698-1 705.
[4] 黄伟传,杨长春,范桃园,等. 岩石物理分析技术在储层预测中的应用[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(6): 1 791-1 795.
[5] 张凤旭,张风琴,刘财,等. 断裂构造精细解释技术——三方向小子域滤波[J]. 地球物理学报, 2007, 50(5): 1 543-1 550.
[6] 姚保华,章振铨,王家林,等. 上海地区地壳精细结构的综合地球物理探测研究[J]. 地球物理学报, 2007, 50(2): 482-491.

Study on Resistivity Characteristic of Rock Fracture

SONG Wen-jie, WU Zi-quan, JIANG Zao-feng, DU Li-ying
(Earthquake Engineering Research Center of Shandong Province, Jinan 250021, China)

Abstract: Resistivity difference of rock is the physical basis of resistivity method, which is a more efficient method. On basis of mass data obtained from cross fault experiment according to resistivity difference of rock between fault fracture zone and its surroundings. The electrical property difference between fault fracture zone and its surroundings is determined through contrasting analysis, which has active significance for future fault exploration and earthquake prevention and disaster alleviation.

Key words: electrical resistivity; inversion; layered media