

电偶源频率电磁测深中的静位移现象 及视电阻率曲线的畸变*

王书明¹, 林长佑¹, 杨长福¹, 陈军营¹, 罗东山², 吕福林²

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国煤田地质总局甘肃综合普查队, 甘肃 天水 741002)

摘要:以电偶源频率电磁测深(FEMS)二维数字模拟为例,从理论上简略讨论了波区定义的5种视电阻率的变化特征及静位移现象,定性分析了表面局部水平非均匀体对视电阻率曲线畸变的影响。

主题词:电磁测深; 视电阻率; 静位移; 畸变效应

中图分类号: P631.3+25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2000)01-0040-07

1 电偶源频率电磁测深中的静位移现象

近年来,在电磁资料解释中,人们对由近地表局部非均匀体所产生的静位移现象给予了极大的关注,并对其校正方法进行了大量的研究.静位移的物理实质是由于非均匀体与围岩间电磁性质的差异及水平分界面上静电荷的积累和跨越分界处产生场强的突变,从而使其二侧的视电阻率曲线在双对数坐标上发生上下平移。

对于电偶源频率电磁测深赤道装置,考虑在电导率为 σ_1 和磁导率为 μ_1 的均匀半空间地表附近存在一平行于电偶极走向(x 轴方向)的二维无限延伸沟状构造的情形,沟内介质的电导率和磁导率分别为 σ_2 和 μ_2 (图1).电极矩为: $\vec{P} = I \cdot \vec{l} \cdot \vec{i}$,水平电偶极子位于坐标原点, $\vec{i}$ 为 x 方向的单位向量.此时, $E_y \approx 0$, $H_x \approx 0$,可观测的场分量(y 轴方向)仅为 E_x 、 H_y 和 H_z .考虑分界点A的二侧很近的2个观测点所观测的场分量为 E_{x_1} 、 H_{y_1} 、 H_{z_1} 和 E_{x_2} 、 H_{y_2} 、 H_{z_2} (假定源距对这2个观测点的影响可以忽略不计),在穿过AA'C'C

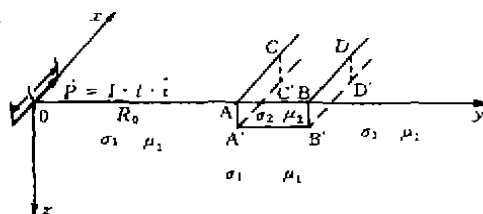


图1 二维表面沟型构造示意图

Fig 1 Sketch map of two-dimensional structure of a groove on ground.

界面时似稳电磁场满足如下边值条件(忽略位移电流,设二侧介电常数 $\epsilon_1 = \epsilon_2$):

$$\vec{n} \cdot (\vec{E}_2 - \vec{E}_1) = 0 \quad (1)$$

$$\vec{n} \cdot (\vec{H}_2 - \vec{H}_1) = 0 \quad (2)$$

收稿日期:1998-10-19

* 中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2000009

作者简介:王书明(1966-),男(汉族),工程师,现主要从事电磁测深研究。

$$\vec{n} \cdot (\vec{D}_2 - \vec{D}_1) = \delta_f \quad (3)$$

$$\vec{n} \cdot (\vec{B}_2 - \vec{B}_1) = 0 \quad (4)$$

$$\vec{n} \cdot (\vec{J}_2 - \vec{J}_1) = 0 \quad (5)$$

其中: $\vec{n}$ 为界面 AA'C'C 的法向单位向量; $\vec{E}_1$ 、 $\vec{H}_1$ 、 $\vec{D}_1$ 、 $\vec{B}_1$ 和 $\vec{J}_1$ 分别为该界面围岩一侧的电场、磁场、电感应矢量、磁感应矢量和自由体电流密度, $\vec{E}_2$ 、 $\vec{H}_2$ 、 $\vec{D}_2$ 、 $\vec{B}_2$ 和 $\vec{J}_2$ 分别为该界面非均匀体一侧的相应的量; δ_f 为该分界面上的自由面电荷密度. 根据式(1) 立即可以得到穿过该界面时电场的切向分量是连续的, 即 $E_{x_1} = E_{x_2}$. 由式(2) 则可以得到穿过该界面时磁场的切向分量也是连续的, 即 $H_{x_1} = H_{x_2}$. 利用式(4), 并考虑场与介质性质的关联关系 $\vec{B} = \mu\vec{H}$, 则可得 $\mu_1 H_{y_1} = \mu_2 H_{y_2}$, 即

$$H_{y_2} - H_{y_1} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_2} H_{y_1} \quad (6)$$

当非均匀体与围岩的磁导率不同, 即 $\mu_1 \neq \mu_2$ 时, 穿过非均匀体的水平界面磁场 H_y 将发生突变, 则此时与 H_y 相关的视电阻率可能出现静位移现象, 而仅与场量 E_x 和 H_x 相关联的视电阻率并不出现静位移. 由式(1)~(5) 中各种波区视电阻率的定义, 并在已知 μ_1 、 μ_2 的情况下很容易推算出相关视电阻率 ρ_y 、 ρ_{xy} 和 ρ_{zy} 曲线发生静位移的量值(视电阻率计算公式中 μ_0 分别用 μ_1 、 μ_2 代替):

$$\rho_{y_2} / \rho_{y_1} = \mu_1 / \mu_2 \quad (7)$$

$$\rho_{xy_2} / \rho_{xy_1} = \mu_2 / \mu_1 \quad (8)$$

$$\rho_{zy_2} / \rho_{zy_1} = \mu_2 / \mu_1 \quad (9)$$

由于目前尚未解决 FEMS 场分量二维正演计算问题, 此处仅以与源结构较为接近的无穷长线源(ILS)的二维模拟为例说明静位移现象. 图2和图3分别给出了在类似于图1的模型中, 按式(1)~(5) 定义的各波区穿过均匀半空间表面附近导电沟的视电阻率变化特征. 由于在数字模拟中仅设定非均匀体与围岩间电导率不同, 而未设定磁导率的差异, 因而波区定义的5种视电阻率都不应出现静位移现象. 由图2和图3可以看到, 穿过表面非均匀体水平界面的视电阻率均未发生间断变化, 在非均匀体表面处视电阻率也未显示出常量值的抬升或下移. 随频率的不同表现出不同形态、量值的变

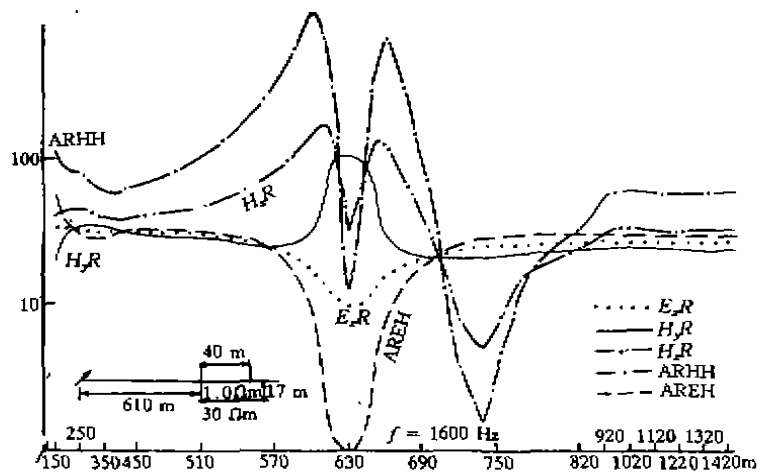


图2 FEMS观测中 $f = 1600$ Hz 时横穿二维构造的5种视电阻率变化特征

Fig 2 Curves of 5 kinds of apparent resistivity across the two-dimensional structure by FEMS when $f = 1600$ Hz.

化表明,视电阻率的变化不是静位移效应.当然也不可能在非均匀体表面观测到类似于均匀半空间的视电阻率曲线整体上下平移的现象.因而,穿过该非均匀体的5种视电阻率曲线的变化起因于通常意义下的水平非均匀结构电磁感应,而不属于静位移现象.

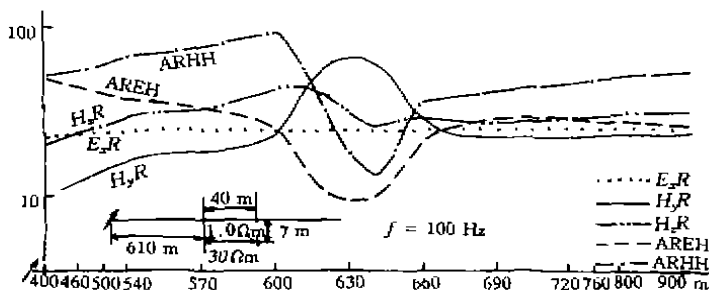


图3 FEMS观测中 $f = 100 \text{ Hz}$ 时横穿二维构造的5种视电阻率变化特征

Fig.3 Curves of 5 kinds of apparent resistivity across the two-dimensional structure by FEMS when $f = 100 \text{ Hz}$.

4个水平界面来说, H_z 都是磁场的切向分量, 则据式(2)有, $H_{x1} = H_{x2}$, 即仅与 H_z 相关的视电阻率应当不出现静位移现象. H_y 作为 $ABB'A'$ 界面的法向分量, 与其相关的视电阻率受到2种介质磁导率不同的影响会产生静位移现象, 与二维非均匀体的情形相同. 对于 $ACC'A'$ 和 $BDD'B'$ 界面而言, H_y 皆为切向分量, 与其相关的视电阻率在横穿2界面进入非均匀体时是连续变化的, 即不出现静位移现象. 对于界面 $ABB'A'$ 和 $CDD'C'$ 而言, E_x 都为切向分量, 其边界静电荷不会引

起视电阻率曲线的静位移效应. 但是, $ACC'A'$ 和 $BDD'B'$ 界面所积聚的静电荷在非均匀体内产生了一个附加的静电场, 从而使得视电阻率曲线产生静位移. 若设该2分界面上静电荷产生的静电位为 U_A 和 U_B , 则附加电场的平均值为 $\Delta E_x = (U_B - U_A) / |AB|$. 为了便于讨论, 假定非均匀体的横向尺度 $|AB| \ll R_0$ (源距), 考虑由 AC 或 BD 边界进入非均匀体的 E_x 的变化, 其二侧之场量仍近似满足赤道装置条件. 若有 $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon$, 由边值条件式(3)可以得到:

$$E_{x2} - E_{x1} = \delta / \epsilon \quad (10)$$

即进入非均匀体时, E_x 将发生突变, 与其相关的视电阻率出现静位移现象. 由边值条件式(5), 很容易导出界面二侧 E_x 场值间的关系为:

$$\sigma_1 E_{x1} = \sigma_2 E_{x2} \quad (11)$$

此时, 与 E_x 相关的视电阻率 ρ_x, ρ_{xy} 出现静位移. 根据波区视电阻率边值条件式(1)和式(4), 其视电阻率曲线静位移量为:

$$\rho_{x2} / \rho_{x1} = \sigma_1 / \sigma_2 = \rho_2 / \rho_1 \quad (12)$$

$$\rho_{xy2} / \rho_{xy1} = (\sigma_1 / \sigma_2)^2 = (\rho_2 / \rho_1)^2 \quad (13)$$

式(10)~(13)是在十分简化的条件下讨论的, 即 AC 和 BD 足够大, 跨越边界的点在其中点附近方近似成立. E_x 沿 y 轴跨越 M 点和 N 点是连续变化的, 侧边界 $ACC'A'$ 和 $BDD'B'$ 面上的

当地表面非均匀体为三维体时, FEMS观测中视电阻率的静位移现象就显得较复杂. 为简化讨论, 设在一电导率为 σ_1 , 磁导率为 μ_1 的均匀半空间表面附近存在一立方块状非均匀体, 其电导率为 σ_2 , 磁导率为 μ_2 , 观测装置的径向(y 轴)横穿其中部, 与其侧边界相交于 M 点和 N 点, 见图4. 下面研究 M 点二侧所观测的场分量 E_{x1}, H_{y1}, H_{x1} 和 E_{x2}, H_{y2}, H_{x2} 间的关系. 这里对于非均匀体的

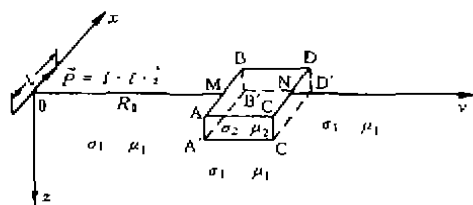


图4 地表含立方体的非均匀构造模型
Fig.4 Nonuniform structure model on ground with a cube.

静电荷同时对M点和N点非均匀体内外二侧的 E_x 产生影响,因此,实际情况远比上述简化情形复杂得多,此情形对其它场分量亦然。

上述对FEMS观测中视电阻率曲线静位移现象的分析,对判定实测曲线的静位移并进行适当的校正是有意义的。应当指出,静位移现象是表面非均匀性对视电阻率曲线畸变影响的特殊情况,在一定条件下可以利用静位移校正消除表面非均匀性的影响,通过资料反演获取较为可靠的地电结构信息。

没有出现静位移现象的视电阻率(如与二维表面非均匀体的场分量 E_x 、 H_z 相关的视电阻率),同样受到表面非均匀体的水平非均匀性的影响,这一影响与频率有关。视电阻率的变化幅度随距非均匀体的距离而变化。在此情况下,目前的一些静位移校正方法不能排除电磁感应的影响,必须采用二维和三维反演才能解决横向非均匀结构(也包括位于表面的局部非均匀体在内)对视电阻率观测的影响问题。但是,在某些情况下,某些电磁响应函数以受表面局部非均匀体的静位移效应影响为主,其它电磁感应的影响占很次要的地位,则对该响应函数曲线先进行静位移校正,再进行降维解释,也可望获得较好的效果。

此外,由场边值条件式(3),还可以讨论非均匀体与围岩间介电常数 ϵ_1 和 ϵ_2 的不同所产生的静位移现象。但是,本文所考虑的是观测频率并不很高,实际岩体介电常数差异的明显程度也可能远不如 σ 和 μ 的情形,故此从略。

2 FEMS 视电阻率曲线的失真和畸变

从理论上讲,任何一种单参量或几种视电阻率组合的联合反演,尽管在其解的非唯一性、稳定性、迭代收敛速度快慢等方面有所差异,但经过人为的干预和多次反复试验,也可以在观测误差范围内拟合视电阻率资料,在相应的精度上获得地球介质电导率一维分布的信息^[1,2]。然而实际情形则要复杂得多。由于各种主客观因素的影响,往往造成某些视电阻率曲线比较严重的失真和畸变^[3]。因而,FEMS资料综合解释的第一步就是要分析研究视电阻率曲线的畸变特征,尽可能排除其所受的畸变影响。引起视电阻率曲线的失真和畸变的原因大体可归结为2个方面,即人为因素的影响和地电结构水平非均匀构造的影响。

在野外资料采集过程中,发射和接收仪器系统的设计和使用过程中人员操作不当,都会造成较大的观测误差,从而使视电阻率曲线资料点过于离散,乃至出现某种未知的系统性偏离。另外,在野外的发射及接收装置布设中,定向、定位误差过大,也会造成不满足理论上所允许的近似条件。测量场分量与标准定向偏离过大,极距AB过大,以及极距MN偏离收发轴线等等,都会使视电阻率曲线发生失真和畸变。因此,在实际工作中首先必须从野外工作规范要求出发,把好野外资料采集质量关,尽可能避免和减少工作中的人为过失。其次是在资料分析解释中,对比研究各种视电阻率曲线的形态特征,并进行必要的单参量和多参量视电阻率联合反演试验,以便识别并适当校正那些失真和畸变较大的视电阻率曲线,或在解释中摒弃那些失真和畸变很大,而又无充分根据加以校正的视电阻率资料。

在大地电磁测深方面,对于横向非均匀性对视电阻率曲线畸变的影响的研究给予了极大的重视,并已有大量文献报导。而在FEMS观测中有关视电阻率曲线畸变方面的研究至今所见报导尚少。究其原因,可能主要在于FEMS的二三维正演问题难度较大,长期以来一直没有得到比较彻底的解决(近年来有某些二维数字模拟的报导^[4,5]);其次在于FEMS观测中还存在源与非均匀构造间的位置关系问题,即使对于一个完全对称的二维构造,在源位置不变的情况下,在构造相互对称点上绝不可能获得2条完全相同的视电阻率曲线,这不仅在于2个测点

的源距不同,而且在于测点和源可能位于非均匀构造的同侧,也可能不在同一侧,因此,从发射点至接收点电磁波(地层波)传播的“路径效应”则完全不同.当人们对一个实际存在的二维地电结构的 FEMS 资料试图利用一维反演方法加以解释,或对一个实际存在的三维地电结构的 FEMS 资料试图利用二维反演方法加以解释时,就不得不去分析视电阻率曲线受横向非均匀性影响的畸变特征,选择畸变较小的曲线(或如有可能,采用对畸变影响加以校正的曲线)作为解释曲线,以期获得较为可靠的地电结构信息.否则,在对比较复杂的地电结构的 FEMS 资料解释过程中,不考虑这一畸变效应,盲目仅就观测视电阻率曲线进行形式化的反演拟合,可能导致混乱和错误的解释结果.

在目前的情形下,本文仅以无穷长线源的二维数字模拟为例,简略讨论源位固定、横穿二维构造的 5 种视电阻率的变化特征.图 5 和图 6 分别为不同频率条件下穿过 3 条断层的 5 种视电阻率变化曲线.图中 E_xR 、

H_yR 、 H_zR 、 $AREH$ 和 $ARHH$ 分别表示 E_x 单分量视电阻率, E_y 单分量视电阻率, H_z 单分量视电阻率,二正交电场磁场比值视电阻率和磁场比值视电阻率.从图 2、图 3、图 5 和图 6 可以看出,5 种视电阻率曲线在横穿非均匀构造时都表现出了不同幅度、形态的变化,显示出水平非均匀构造的存在对视电阻率曲线畸变的影响.分析模拟试验的结果可以看出,(1) 导致视电阻

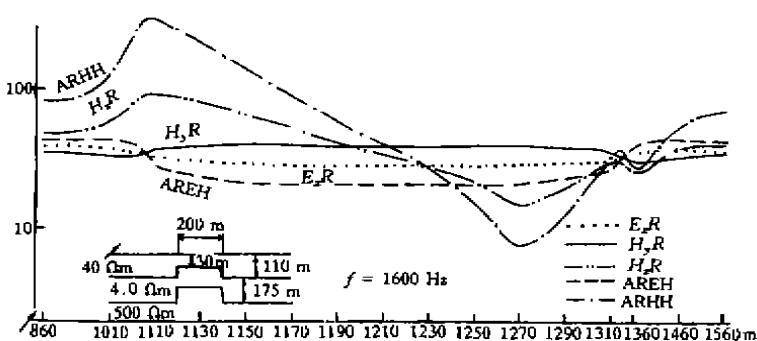


图 5 在 FEMS 观测中当 $f = 1600$ Hz 时横穿 3 条断层的 5 种视电阻率曲线

Fig. 5 Curves of 5 kinds of apparent resistivity across three faults by FEMS when $f = 1600$ Hz

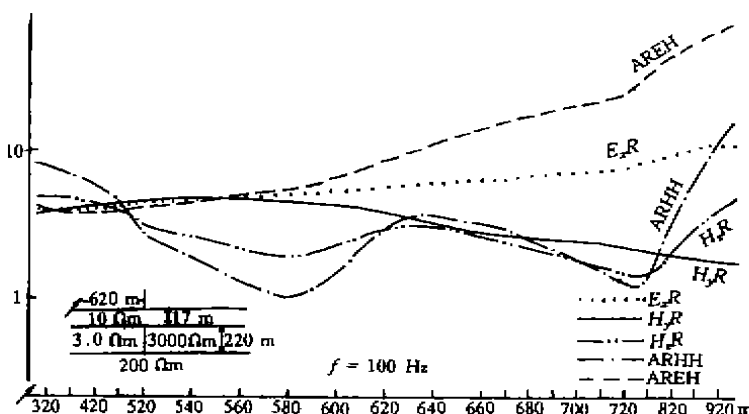


图 6 FEMS 观测中当 $f = 100$ Hz 时横穿 3 条断层的 5 种视电阻率曲线

Fig. 6 Curves of 5 kinds of apparent resistivity across three faults by FEMS when $f = 100$ Hz.

率畸变的原因主要是与频率有关的感应效应;(2) 较浅部的水平非均匀构造主要引起曲线的高频部分畸变,位于中层的非均匀性构造主要造成曲线中频部分的畸变,视电阻率曲线的高频部分和低频部分受到的影响较小;(3) 非均匀构造对视电阻率曲线畸变的影响随观测频率的减小而扩大,随距非均匀构造的距离的增加而减小;(4) 横穿非均匀构造时,与不同场分量相关的视电阻率变化的幅度和形态特征明显不同.与 E_x 相关的视电阻率表现出某种平缓的过渡,与大地电磁测深中的 TE 极化视电

阻率相似;与 H_y 相关的视电阻率曲线表现出某种量值单调的上升或下降;与 H_z 相关的视电阻率曲线发生大幅度的起伏变化,在非均匀体的横向分界点附近出现高的尖峰值,而在其二

侧出现低谷,且这一特征与大地电磁测深的结果极为相似;(5)当非均匀构造出露地表时,视电阻率曲线的高频部分产生很大的畸变.在表层存在一高导电覆盖层时,水平非均匀构造对各种视电阻率曲线的畸变影响将有所减弱.

本文所进行的模拟仅为很简单和特定的情况,实际上只考虑了非均匀构造直接位于接收点之下的情况.如果非均匀构造位于发射和接收点之间,尽管接收点可能距非均匀构造足够远,但是由于 FEMS 观测中电磁波传播的“路径效应”,接收点所观测到的视电阻率曲线同样会受到非均匀构造的影响,从而产生畸变.这种影响仅通过二维模拟是难以判断的,必须结合一维曲线进行分析.因而在野外选择布设发射与接收距离时,应该尽量避免跨越不同构造的情况.要特别避免供电极 AB 跨越不同构造.试验表明,在野外工作装置布设中存在某些结合具体条件的权衡利弊的选择.源距较大所测量的视电阻率资料可能包含较多的,特别是较深层的地电结构信息,但是也有较大可能使发射和接收点跨越横向非均匀构造,使观测的视电阻率曲线发生畸变.较大的发射偶极距(AB)可以增加所观测场强信号强度,提高观测资料的信噪比,但同时可能使发射源为偶极子的基本假定破坏,甚至造成 AB 跨越横向非均匀构造,使观测的视电阻率发生比较严重的畸变.

3 结语

在电偶源频率电磁测深中受横向非均匀构造影响的视电阻率曲线的畸变效应,是在此项工作中亟待解决的重要课题,也是提高 FEMS 资料解释质量的关键.但是对这一课题的研究目前难度还很大,涉及到国内至今尚未解决的 FEMS 的二三维数字模拟问题.本文简略讨论了波区定义的 5 种视电阻率的变化特征及静位移现象,定性分析了表面局部水平非均匀体对视电阻率曲线畸变的影响.这仅仅是一种初步研究结果,其进一步深入研究同样有待于 FEMS 的二三维正演问题的解决.

[参考文献]

- [1] 林长佑,罗东山,武玉霞,等.电偶源频率电磁测深中比值视电阻率和阻抗相位的联合反演[J].物探与化探,1993,17(4):288~295.
- [2] 林长佑,罗东山,武玉霞,等.频率电磁测深中单分量视电阻率和相位联合反演[J].物探与化探,1993,21(3):46~52.
- [3] Bahr K. Geological noise in magnetotelluric data: a classification of distortion types[J]. Phys of the Earth and Planetary Interiors, 1991, 66: 24~38.
- [4] Martyn J U. Electromagnetic induction by a finite electric dipole source over a 2-D earth[J]. Geophys, 1993, 58(2): 198~214.
- [5] 林长佑,罗东山,武玉霞,等.电偶源频率电磁测深二维阻抗视电阻率计算的源效应校正法[J].西北地震学报,1996,18(2):43~50.

THE STATIC DISPLACEMENT AND THE DISTORTION OF APPARENT RESISTIVITY CURVES BY FEMS

WANG Shu-ming¹, LIN Chang-you¹, YANG Chang-fu¹, CHEN Jun-ying¹,
LUO Dong-shan², LU Fu-lin²

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China;

2. Gansu Coalfield Comprehensive Reconnaissance Survey Team,
CCGB, Tianshui 741002, China)

Abstract: Based on two-dimensional digital simulation of the frequency electromagnetic sounding with electric dipole supply, the variation characters and static displacement of five kinds of apparent resistivity in wave area are theoretically studied, and the effects of surface local lateral inhomogeneities on distortion of apparent resistivity curves are qualitatively analysed.

Key words: Electromagnetic sounding; Apparent resistivity; Static displacement; Distortion effect

1954 年山丹地震破裂带初步考证

董治平, 何文贵, 戴华光

(中国地震局兰州地震研究所, CSB, 甘肃 兰州 730000)

1954 年山丹地震遗留至今的破裂带主要有 2 条: 包代河至黑山头为主破裂带, 长约 16 km; 独峰顶至坡拉麻顶为次级破裂带, 断续分布长约 10 km. 2 条破裂带走向均为 NW, 近于平行, 二者相距约 6 km, 分别由地震断层、崩塌和地裂缝等构成.

(1) 地震断层: 分布于包代河口至大峡河以东海拔 2 000 m 左右的山麓地带, 长度大于 2 km, 走向 $N50^{\circ}W$. 地表破裂与先存断层重合. 在剖面上可见花岗岩与白垩系砂砾岩呈断层接触. 该断层水平和垂直位移均很显著, 最大垂直位移 1.2 m, 多数小于 1 m, 在地貌上显示为反坡向陡坎; 最大水平位移 3.5~4 m, 最小断距 1 m, 山脊与冲沟呈现同步位错.

(2) 形变带: 断续分布于大峡河、沙枣湖、磨台湖至黑山头一带, 长约 16 m, 走向 $N50^{\circ}W$, 主要由断层三角面、沟谷断错、断层泉、大面积崩塌和裂缝等组成. 形变带展布地区的原始地貌为海拔 2 000 m 的冲洪积台地. 台地由白垩系红色砂砾岩构成, 顶面覆有一层数米厚的砾石层. 崩塌体主要为砾石岩块及坚硬的白垩系砂砾岩块, 沿河谷或沟谷边缘分布.

(3) 地震裂缝带: 分布范围西起海拔 2 700~2 760 m 的坡拉麻顶山脊, 东至 2 900 m 高度的独峰顶山脊, 总体走向 NW. 其组成以裂缝和山崩为主, 滑塌和崩裂为辅. 该裂缝带由坡拉麻顶和独峰顶 2 段组成. ① 坡拉麻顶裂缝带沿山脊分布, 西起坡拉麻顶南的白疙瘩, 向东延至旋心疙瘩, 长约 2 km, 走向 $N50^{\circ}W$. 山脊由闪长岩和石英岩构成, 上覆 0.5~1 m 厚的黄土, 个别地段基岩裸露. 山脊北坡坡度稍缓, 为黄土覆盖, 南坡较陡, 形成陡崖地貌. 沿裂缝带基岩崩裂比比皆是. 裂缝距陡崖数米~十几米, 在有的地段二者几乎重合. 在山脊鞍部裂缝规模小, 形迹模糊; 在山顶裂缝较宽大, 形迹明显. 在平面上常见数条裂缝平行分布, 最多可达 7 条. 裂缝带宽约 10 m, 横向上常呈阶梯状, 落差 40~50 cm. 部分地段形成高约 60 cm 的陡坎. 在白疙瘩, NNW、NWW、NNE 和 NEE 向多组裂缝呈网状分布. 白疙瘩山顶北面山梁上有一条走向 $N15^{\circ}W$, 长约 100 m 的裂缝, 最大宽度约 1.5 m, 深约 60 cm. 在白疙瘩山顶东北有 3 条长约 150 m 的裂缝, 走向 $N60^{\circ}\sim 70^{\circ}W$, 沿 $N60^{\circ}E$ 走向的山梁分布. 在旋心疙瘩基岩崩裂, 崩落的岩块随处可见, 最大基岩裂缝宽约 2 m. ② 独峰顶裂缝带长约 1 km, 走向近 EW, 由数条长约百米断续分布的基岩裂缝构成.

A BRIEF INTRODUCTION OF RUPTURE ZONE OF THE SHANDAN EARTHQUAKE, 1954

DONG Zhi-ping, HE Wen-gui, DAI Hua-guang

(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

收稿日期: 1999-08-23

基金项目: 地震科学联合基金资助项目(197025); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: 1.C2000012

作者简介: 董治平(1954-), 男(汉族), 高级工程师, 主要从事地震地质及地热场研究.