

起伏地形对近矿围岩充电法 影响规律的数值模拟研究

杨 华 李金铭

摘 要 以山脊、山谷地形为例,通过点源二维有限元数值模拟给出了起伏地形条件下近矿围岩充电法一次电场和激发极化二次电场的剖面曲线,研究了地形对电场的影响,总结了起伏地形情况下的异常分布规律,并用比值法对其进行了地形校正,校正后的结果表明效果是比较好的。

关键词 近矿围岩充电法;起伏地形;电位;电位梯度;比值法;地形校正

THE NUMERICAL MODERLING STUDY OF THE INFLUENCE REGULARITY OF ROLLING TOPOGRAPHY UPON NEARPRE WALLROCK " MISEALAMASSE " METHOD

Yang Hua, Li Jinming

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract Exemplified by ridge and valley topography and based on two-dimensional finite element numerical simulation, this paper has given profile curves of primary electric field of near-ore wallrock " mise-a-la-masse " method and IP secondary electric field under the condition of rolling topography, studied the influence of topography upon the electric field, summarized distribution regularity of anomalies under the condition of rolling topography and, using radio method, made topographic correction. The results of the correction show that the effect is fairly satisfactory.

Key words near-ore wallrock "mise-a-la-masse" method; correction of rolling topography

近矿围岩充电法又称间接充电法,是充电法的一种变种或外延方法。以往对近矿围岩充电法的研究多为水平地表,而对于地形起伏变化条件下的异常分布规律研究则较少。在野外实际情况下,地形往往是起伏不平的,而地形的影响又是不可忽视的,它直接影响到异常的解解释推断工作。因此,为了充分发挥近矿围岩充电法在普查找矿中的作用,有必要研究起伏地形条件下的电场分布规律,并研究对其进行地形校正的方法。本文以山脊、山谷地形为例,用点源二维有限元方法进行数值模拟,总结了异常分布规律,得到了若干有意义的结果,并用比值法对其进行地形校正,校正结果表明效果良好。

1 有限元数值模拟方法

众所周知，有限单元法^{〔1,2〕}最适合于模拟形状不规则的模型，计算精度较高，是地球物理数值模拟中较常用的方法。本文选用该方法对起伏地形条件下的点源二维电场进行模拟。

有限单元法的基本原理乃是从地球物理场所满足的偏微分方程出发，根据变分原理或场的能量最小原理导出场的变分方程，将给定的微分方程边值问题等价地转换成场的泛函极值问题，然后对算区进行网格剖分，把泛函极值问题相应地离散化，得到一个高阶线性方程组，通过求解该方程组，得到各节点即不同观测位置上的电位值。

一般网格剖分采取矩形三角形交叉剖分，用Cholesky分解法求解线性方程组^{〔3,4〕}。由于研究的是三维点源、二维异常体的模型，即通常所说的二维半问题，因此还要进行傅氏变换，模拟时波数的选择根据电位与波数的关系来选定^{〔5〕}。同时对刚度矩阵采取压缩存贮法进行保存，以减少模拟时所占的计算机内存；对网格采取自动剖分。

2 有限元数值模拟结果

在计算中，取围岩电阻率 $\rho_1 = 50 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ ，极化率 $\rho_1 = 1\%$ ；板状体电阻率 $\rho_2 = 25 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ ，极化率 $\rho_2 = 40\%$ 。板状体长12 m，宽2 m，点源距板状体中心3 m，板状体上顶距地面2 m；山脊、山谷的坡度均为 30° ，坡高5 m。供电电流强度 $I = 1 \text{ A}$ 。

计算的参数有：一次场电位 (U_1) 和电位梯度 ($E_1 = U_1/MN$)；二次场电位 (U_2) 和电位梯度 ($E_2 = U_2/MN$)。其中二次场电位 $U_2 = U - U_1$ ，二次场电位梯度 $E_2 = E - E_1$ ；总场电位 (U) 和电位梯度 ($E = U/MN$) 则由等效电阻率法求出。

2.1 起伏地形对点源电场的影响

为了研究起伏地形对近矿围岩充电法的影响及校正，首先模拟计算了只有点源而无矿的纯地形影响。分别给出了在山脊、山谷地形条件下，充电点位于地下不同位置时点源电场的一次和二次电位、电位梯度剖面曲线计算结果 (图1、图2)。

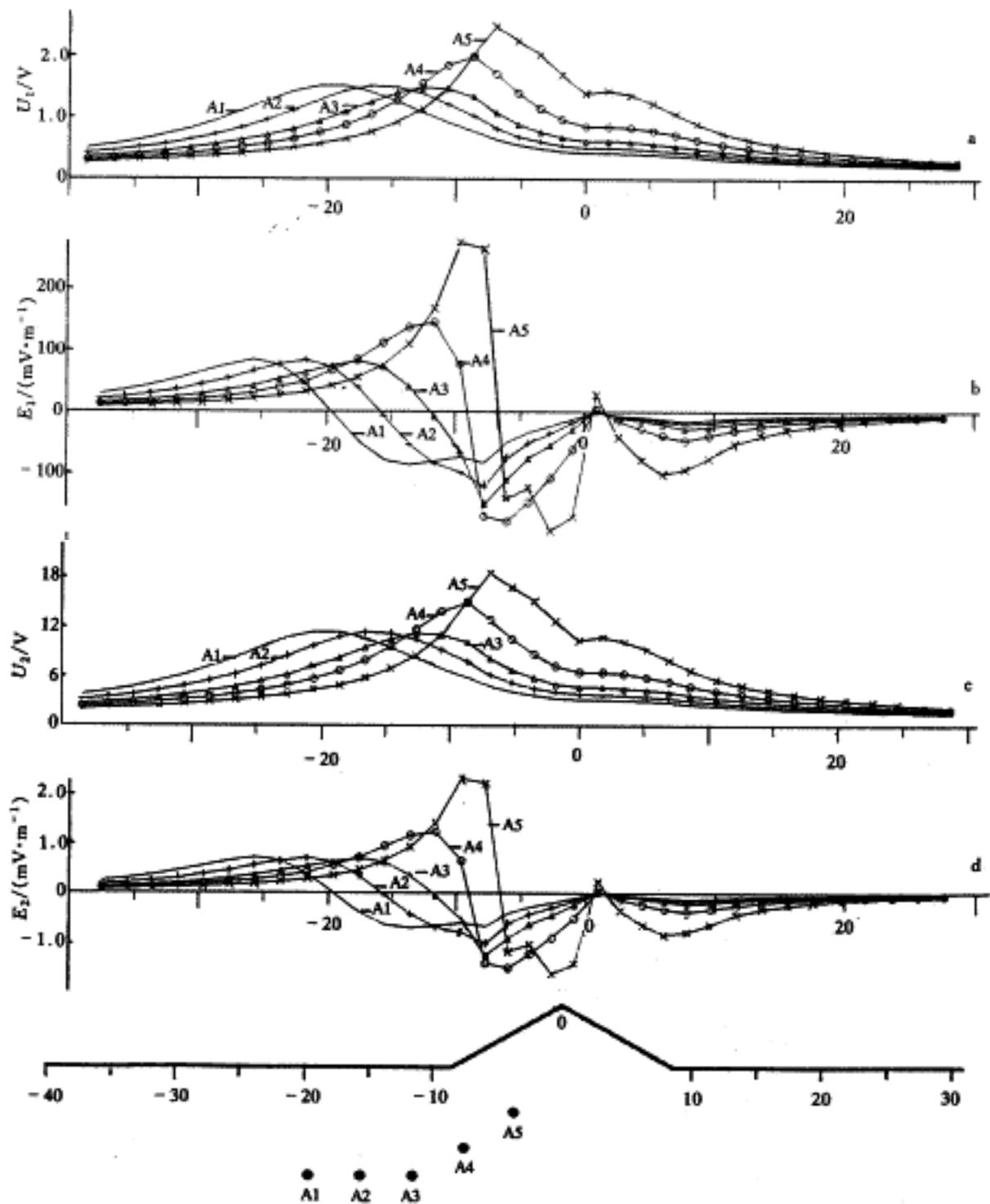


图1 山脊对点源电场影响的剖面

a—一次场电位；b—一次场电位梯度；c—二次场电位；d—二次场电位梯度

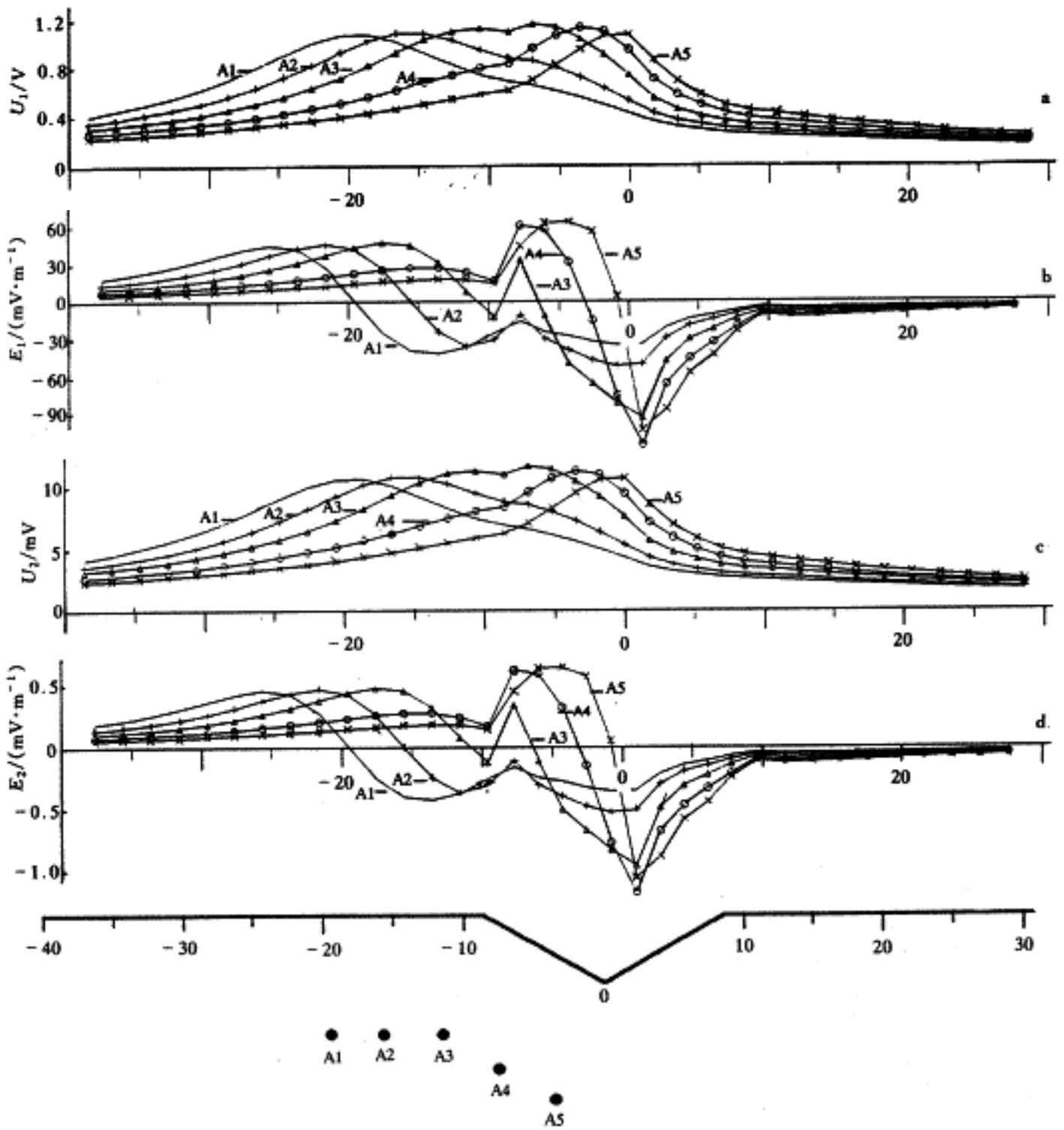


图2 山谷对点源电场影响的剖面

a—一次场电位；b—一次场电位梯度；c—二次场电位；d—二次场电位梯度

1. 山脊 从图1a中可以看出：一次场电位曲线明显不对称，右支畸变，在山脊顶点处发生转折，对应于充电点位的原极值点均向左边发生位移，且充电点离起伏地形越近位移越大，同时幅值升高；b中的一次场电位梯度曲线，也是明显不对称且右支发生畸变，在山脊顶点处为零，对应于充电点位的原曲线过零点均向左边位移，充电点离起伏地形越近，位移越大，且幅值升高。从c和d中可以看出：二次场变化规律与一次场类似，只是幅值明显减小。

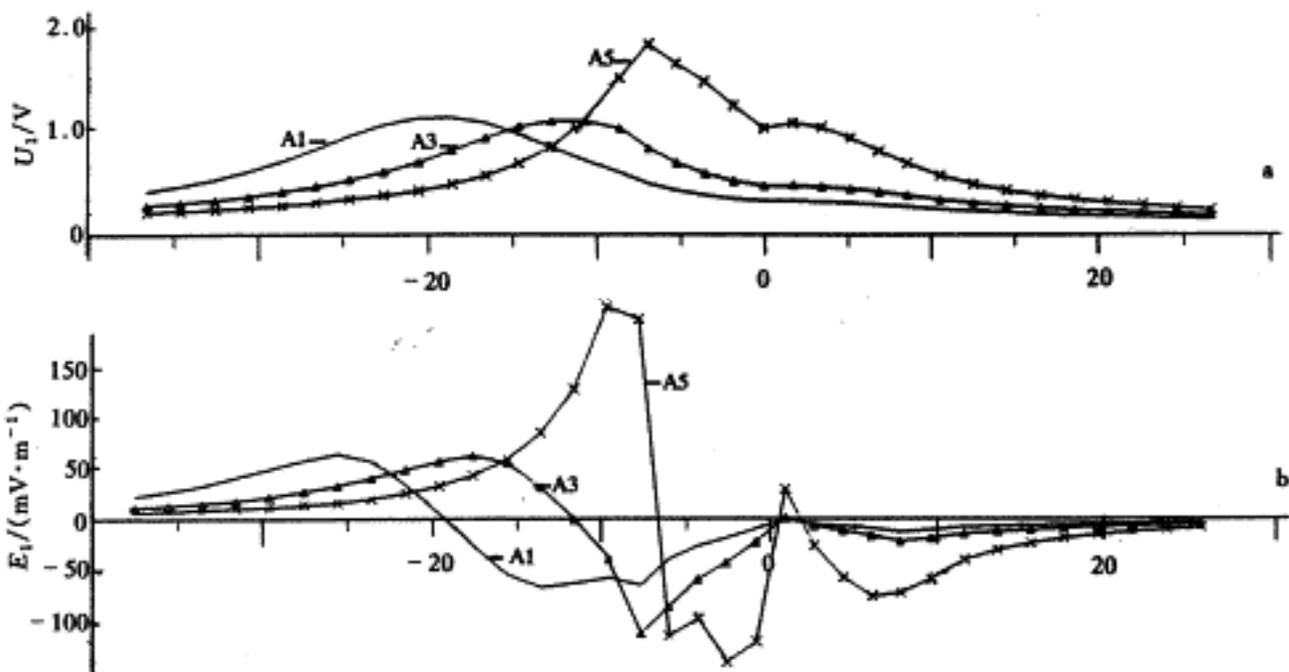
2. 山谷 从图2a中可以看出：一次场电位曲线在谷底两边不对称，极值点相对于充电点位向右有所位移；b中为电位梯度曲线，在谷底处有极值；曲线过零点相对于充电点位亦向右有所位移；充电点离起伏地形越近时向右位移越明显。从c和d中可以看出，二次场变化规律与一次场类似，只是幅值明显减小。

总之，在无矿仅有供电点源情况下，无论是一次场还是二次场，亦无论是电位还是电位梯度均受地形影响，其影响程度与供电点源相对起伏地形的远近有关，一般充电点离起伏地形越远，电位、电位梯度曲线受地形的影响越小。由于视极化率不受纯起伏地形的影响，因此，视极化率曲线应为一 $\rho_s = \rho_1$ 的水平直线。但在充电法中一般不用 ρ_s 参数，因为在一次场电位梯度零值点附近 ρ_s 可能会出现大正大负。

从以上模拟结果可以看出，地形对点源电场的影响是不可忽视的。由它所造成的电场畸变，将给异常解释和推断工作带来很大困难。

2.2 起伏地形对点源附近有矿体存在时电场的影响

图3a和b给出了山脊地形近矿围岩充电的一次场电位和电位梯度剖面曲线。图4a和b给出了其二次场电位和电位梯度剖面曲线。其中充电点和矿体一起移动，每次移动4 m。为了绘图清楚起见，我们只给出了充电点为A1，A3，A5时的剖面曲线。



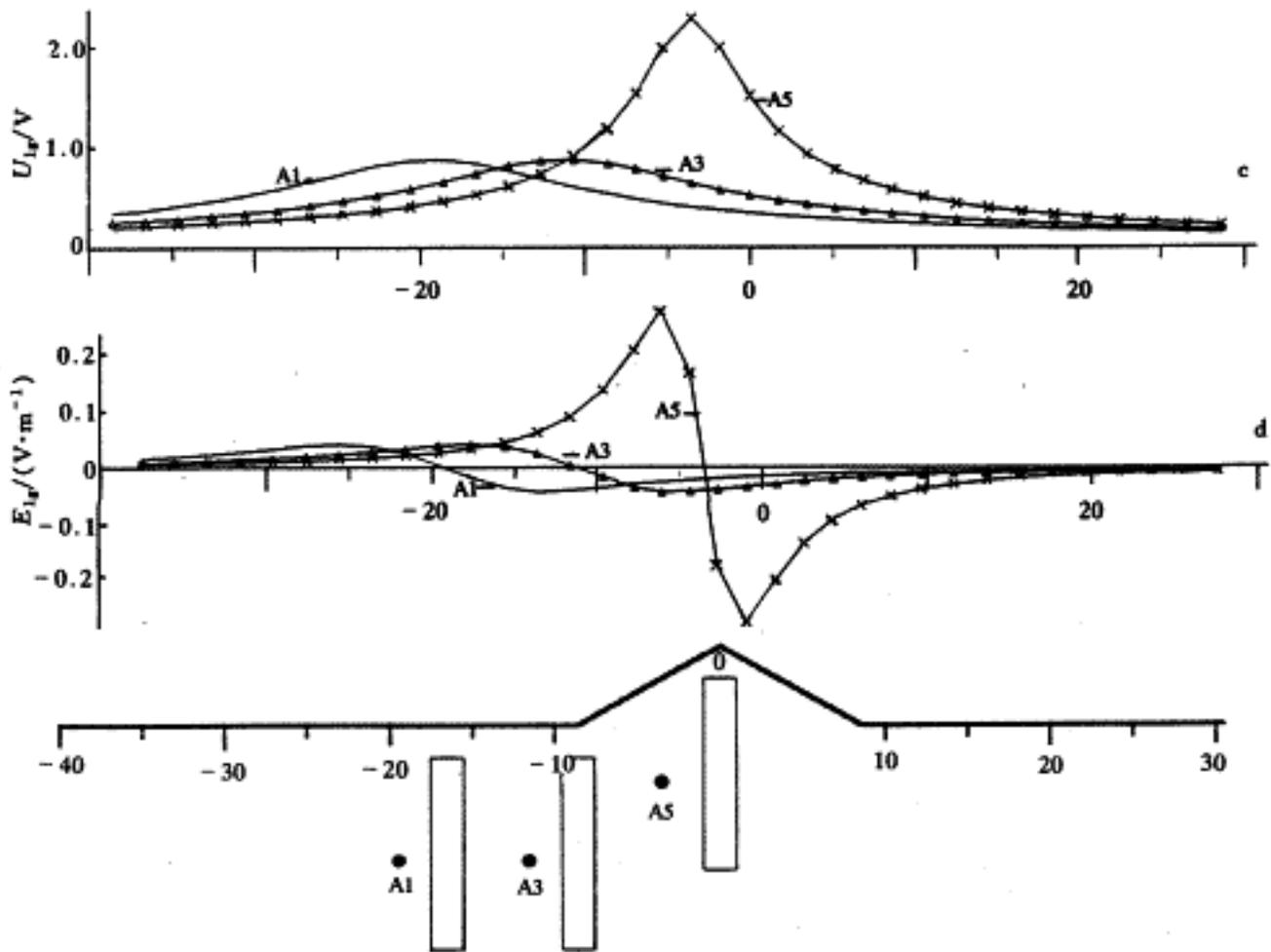


图3 山脊对点源附近存在板状矿体时电场的影响及校正后的一次场剖面
a—一次场电位；b—一次场电位梯度；c—校正一次场电位；d—校正一次场电位梯度

1.山脊 从图3a和b中可以看出一次场受山脊影响的异常分布规律总体上同点源电场情况下的异常分布规律类似，很难说明有矿体存在；从图4a中可以看出，山脊对二次场电位影响的异常分布规律同一次场电位类似，只是幅值明显减小，在矿体附近曲线下降更快，当矿体位于山脊顶点正下方时，曲线在矿体附近有一平缓变化区；从图4b中可以看出电位梯度曲线过零点归位较好，曲线不对称，右支幅值大于左支，曲线在板状体上方附近有极值，能反映矿体的存在，当矿体位于山脊顶点正下方时，曲线2支幅值又变得相差不大了。图示表明二次场反映矿体的能力较一次场强，电位梯度反映矿体的能力又比电位强。但与水平地表相比，地形影响仍不可忽视。

2.山谷 图5a和b给出了山谷地形近矿围岩充电的一次场电位和电位梯度剖面曲线，图6a和b给出了其二次场电位和电位梯度剖面曲线。将它们与图2中只有点源而无矿时的 U_1 ， E_1 和 U_2 ， E_2 曲线相比可以看出，此时的 U_1 ， E_1 与无矿时的异常分布几乎相同，而 U_2 ， E_2 虽有差异并在一定程度上能够反映矿体，但仍存在较大的地形影响。

总之，从以上的模拟结果可以看出地形对电场的影响是很大的，如果不进行校正，可能会导致错误的解释和推断。因此必须对地形影响进行校正。

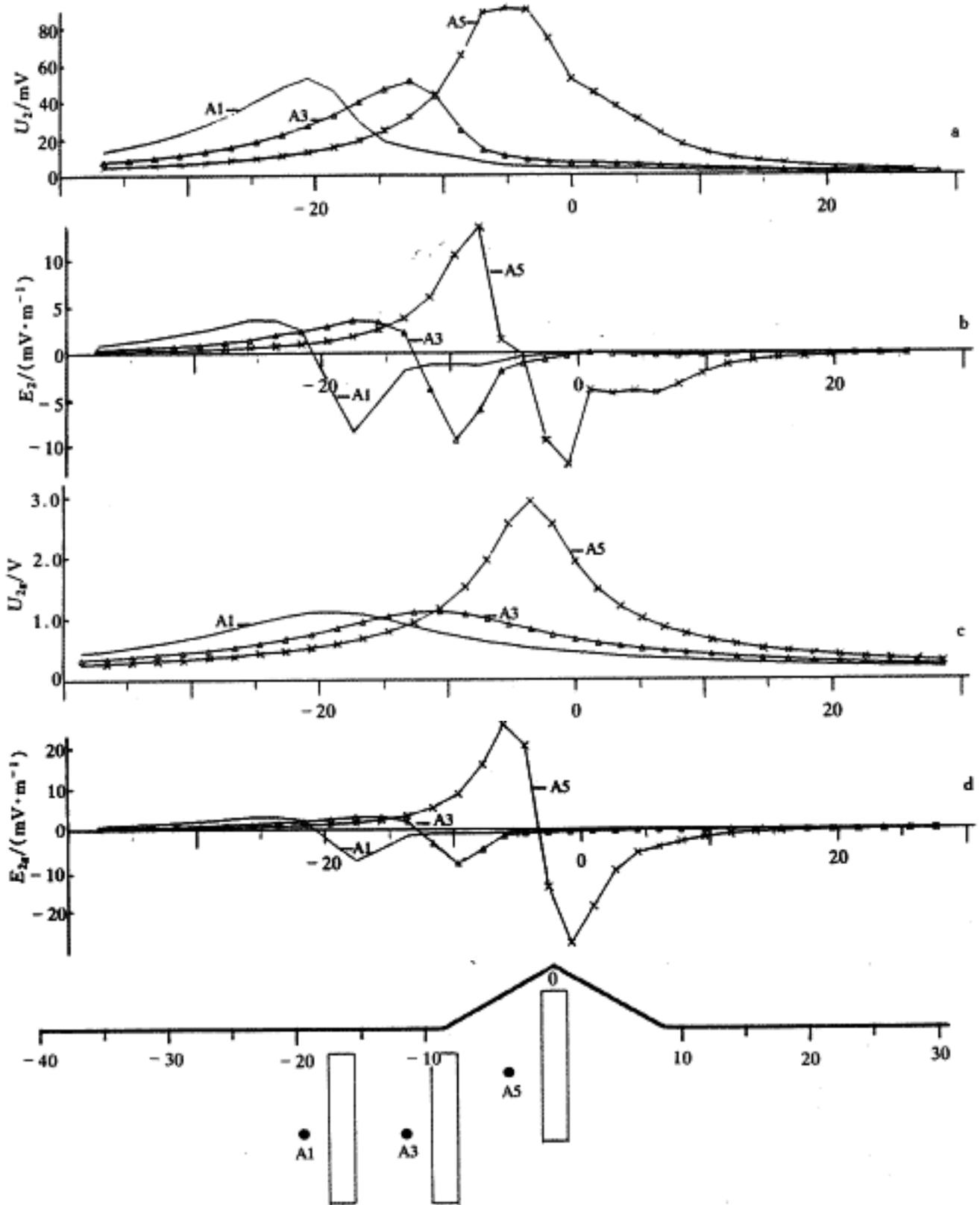


图4 山脊对点源附近存在板状矿体时电场的影响及校正后的二次场剖面
 a—二次场电位；b—二次场电位梯度；c—校正二次场电位；d—校正二次场电位梯度

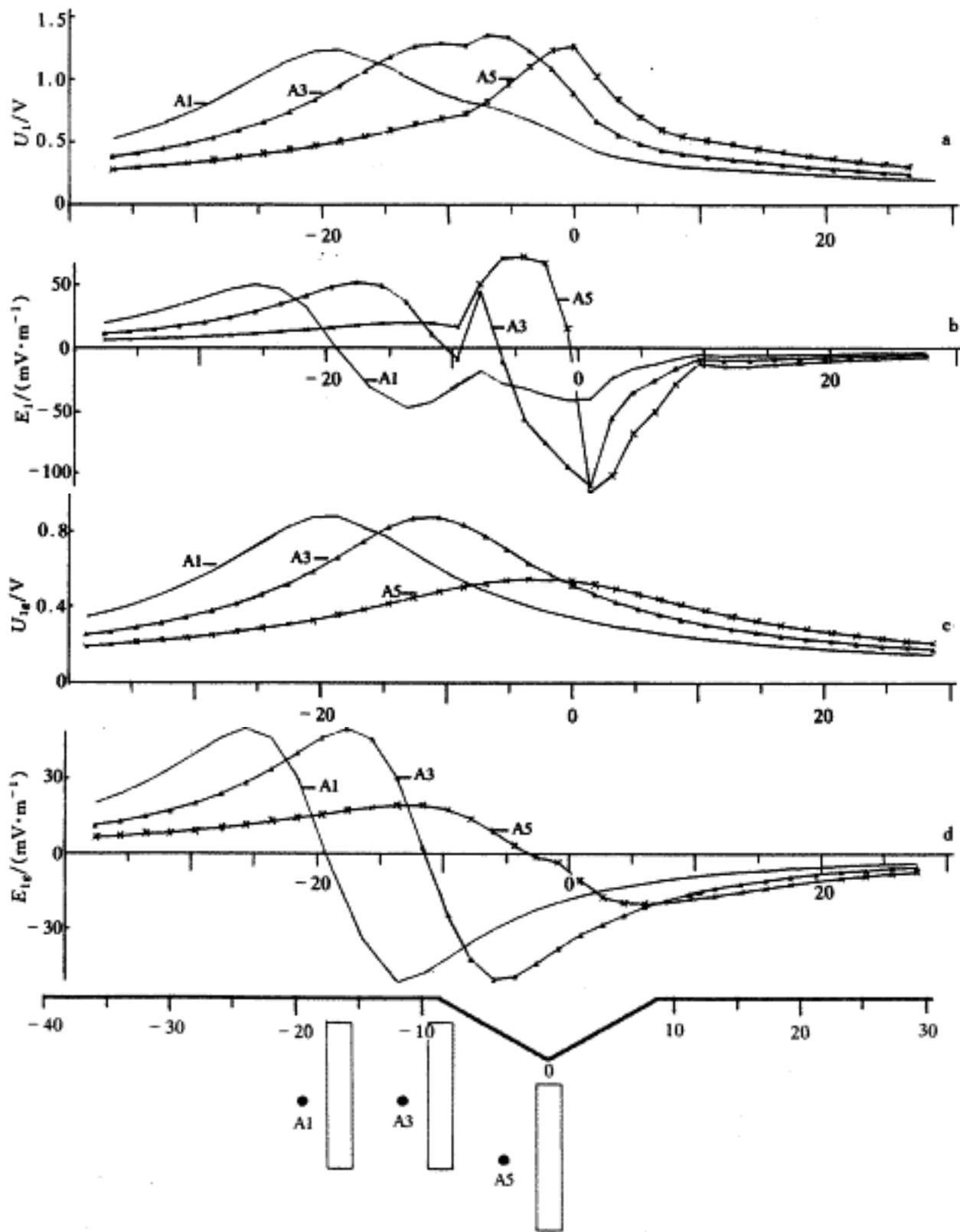


图5 山谷对点源附近存在板状矿体时电场的影响及校正后的一次场剖面
 a—一次场电位；b—一次场电位梯度；c—校正一次场电位；d—校正一次场电位梯度

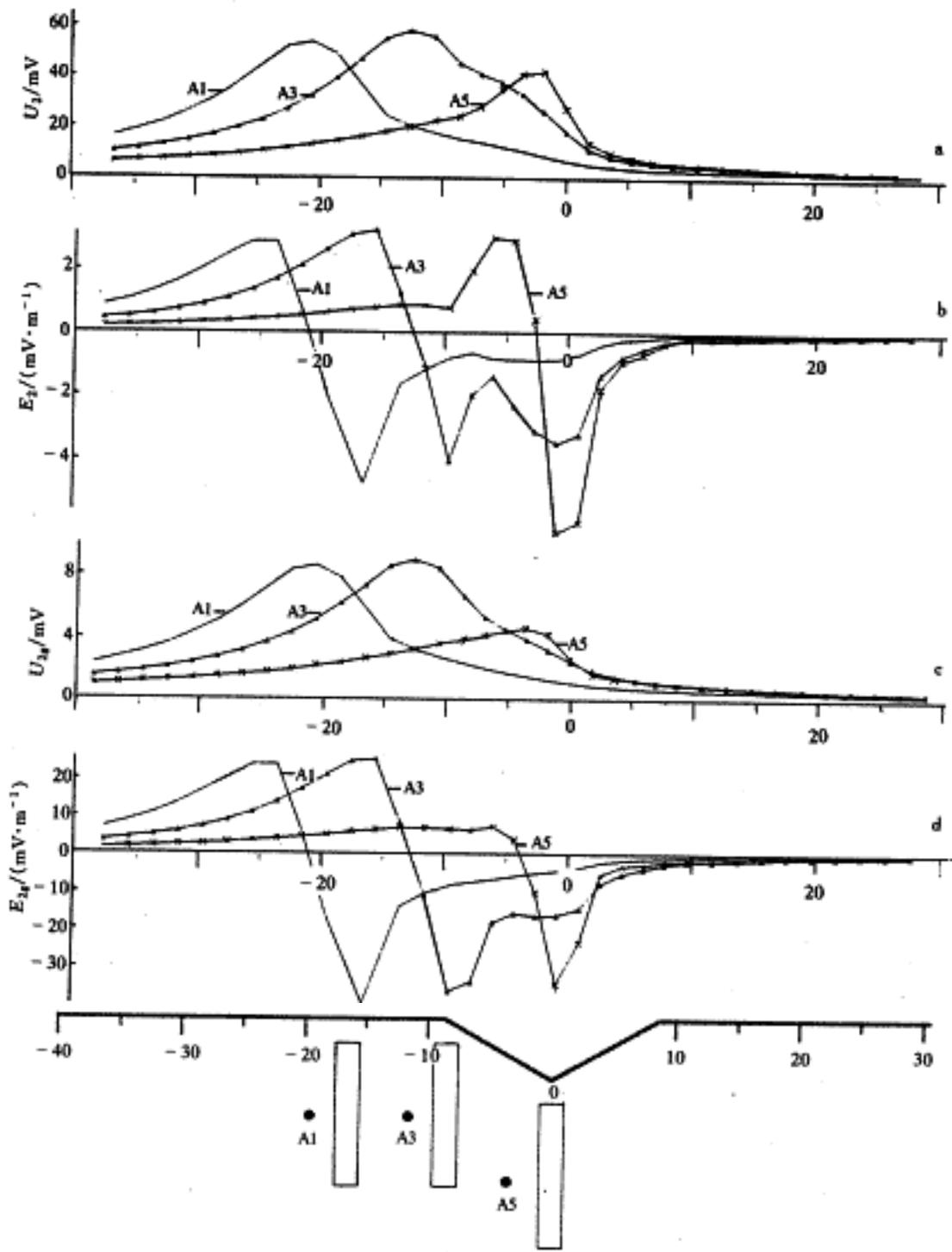


图6 山谷对点源附近存在矿体时电场的影响及校正后的剖面

a—二次场电位；b—二次场电位梯度；c—校正二次场电位；d—校正二次场电位梯度

3 地形校正

从上面的数值模拟结果可以看出对起伏地形条件下取得的近矿围岩充电法资料进行地形校正是非常必要的。这里我们采用了比值法〔6〕，以电位为例，即

$$U_g = \frac{U}{U'/U_0}$$

其中， U_g 为校正后的电位值， U 为点源电场纯地形电位值， U_0 为水平地表情况下的点源电场电位值， U' 为起伏地形条件下的电位值。

首先，通过对点源电场纯电形的电位值校正说明了该校正方法的有效性。校正后的电位和电位梯度曲线与水平地表面点源电场的曲线一致，即电位曲线在充电点位上取得极值，曲线两边对称；电位梯度曲线过零点校正后归位较好，对应充电点位，曲线两边对称，幅值相等。

图3c和d给出了山脊地形条件下校正后的一次场电位和电位梯度曲线，其异常分布规律与相同地电条件下水平地表面情况的规律类似，不能明确反映矿体的存在。图4c和d为校正后的二次场电位和电位梯度曲线，它们也同水平地表面情况下的曲线变化规律一致。即电位曲线不对称，靠近矿体一边曲线变化较陡，另一边则较平缓，但反映不太明显；电位梯度曲线在板状体上方附近有极值，曲线过零点归位较好。其中A5点充电时，由于充电点离地面较近，因此充电点对曲线的影响较大，曲线两边幅值相差不大。

图5c和d给出了山谷地形条件下校正后的一次场电位和电位梯度曲线，其异常分布规律也与相同地电条件下水平地表面情况的规律类似，也不能明确反映矿体的存在；图6c和d为校正后的二次场电位和电位梯度曲线，其异常分布规律同水平地表面情况下的规律一致，电位曲线不对称，在矿体上方变化快；电位梯度曲线在矿体上方附近有极值，右支幅值明显比左支大。

总之，可以看出校正后的效果是比较好的，校正后的异常分布规律基本上与相同地电条件下水平地表的异常规律一致，并且这些结果均证明了二次场反映矿体的能力较一次场强，电位梯度反映矿体的能力又较电位强。

4 结论

以上所论条件下的研究结果表明：在近矿围岩充电法中起伏地形对电场的影响是很大的，但是也有规律可循，因此，研究地形对其电场的影响规律并采用合适的方法对地形影响进行校正是非常必要的。另外，研究结果还表明，为了提高找矿效果，在近矿围岩充电法中，应充分利用激发极化二次场的观测资料。

第一作者简介 杨华，女，1971年生，中国地质大学（北京）应用地球物理专业博士

研究生。

作者单位：杨 华 李金铭 (中国地质大学 北京 100083)

参 考 文 献

- [1] 周熙襄, 钟本善. 电法勘探数值模拟技术. 成都: 四川科学技术出版社, 1986
- [2] 徐世浙. 地球物理中的有限单元法. 北京: 科学出版社, 1994
- [3] 罗延钟, 孟永良. 关于用有限单元法对二维构造作电阻率法模拟的几个问题. 地球物理学报, 1986, 29(6): 613 ~ 621
- [4] 静恩杰, 周洁. 二维电法有限元正演计算的几个问题. 物探化探计算技术, 1990, 12(2): 141 ~ 147
- [5] 徐世浙. 点电源二维电场问题中傅氏反变换的波数K的选择. 物探化探计算技术, 1988, 10(3): 235 ~ 239
- [6] 罗延钟, 张桂青. 电子计算机在电法勘探中的应用. 武汉: 武汉地质学院出版社, 1987

1998年11月27日收稿。