似点源电场模拟实验

中南矿冶学院　何继善　周正秀

在电阻率测深或剖面法中，有用异常经常被地形异常所畸变，甚至被完全掩没。大量的理论工作和野外实践都说明，进行地形改正以削弱地形异常、突出矿体异常，可以大大地提高电阻率法的地质效果。目前的几种地形改正方法中，以比较法最简便，应用效果也较好。比较法是将野外实测曲线（ρ_S^{Sh}）逐点除以对应地形的纯地形异常（ρ_S^D/ρ_0）得到经地形改正后的视电阻率（ρ_S^G）。即

$$\rho_S^G = \rho_S^{Sh} / (\rho_S^D/\rho_0)$$

因此，进行比较法地形改正的关键在于得到相应地形的纯地形异常。从便于野外使用和推广来说，得到纯地形异常的方法应当尽可能简便、快速，而又具有所需要的精度。

用保角映射进行计算或者用导电纸之类的模拟实验，所得到的是二度地形线电源场的纯地形异常，而野外使用的是点电源场。线源电场与点源电场在剖面上虽有定性的相似性，但二者却又有相当的差别。例如在无限介质地表，点源电场的电位（V_M^d）和线源电场的电位（V_M^x）分别为：

$$V_M^d = \frac{\rho I}{2\pi}\frac{1}{AM}$$

$$V_M^x = \frac{\rho I}{\pi}\ln\frac{1}{AM}$$

前者按1/AM衰减，而后者则按ln(1/AM)衰减，即后者随着距离的增大要衰减得慢些。而角域（即坡面为无限长的二度山脊或山谷，参看图1a），上点源电场和线源电场的电位分别为：

$$V_M^d = \frac{\rho I}{\pi\phi\sqrt{|r_A - r_M|}}\left\{\frac{1}{2} Q_{-\frac{1}{2}}\left[\frac{r_A^2 + r_M^2 + z^2}{2r_A r_M}\right] + \sum_{m=1}^{\infty}\cos\frac{m\pi\theta}{\phi} Q_{\frac{m\pi}{\phi}-\frac{1}{2}}\left[\frac{r_A^2 + r_M^2 + z^2}{2r_A r_M}\right]\right\}$$

$$V_M^x = \frac{\rho I}{\pi}\ln\frac{1}{\left|r_A^{\frac{\pi}{\phi}} - r_M^{\frac{\pi}{\phi}}\right|}$$

式中，ϕ为角域的顶角，r_A和r_M分别为A、M电极到角域顶点的距离。

可见无论是平地或是有起伏的地形，点源场与线源场都存在差别。计算表明，二者差别常可达到百分之几十，总的特点是线电

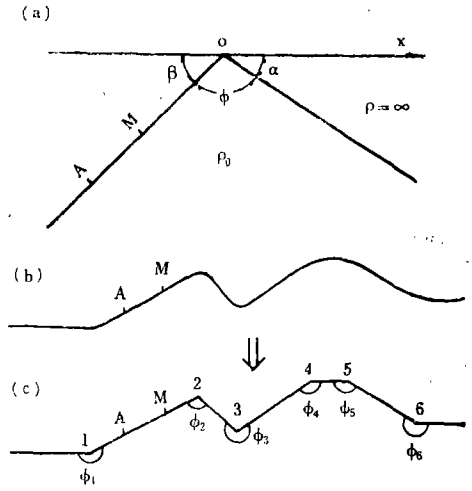


图1 角域和角域迭加成连续起伏地形

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

源场的异常随离电源距离的增大而衰减变慢（参看图3等）。为了提高地形改正的精度，应当使用点电源纯地形曲线。

目前，获得点电源场纯地形曲线的具体途径不外理论计算和模型实验。对任意地形，点源异常的严格理论计算还没有解决，像图1b和c那样，将连续起伏的实际地形逐段用折线去与之拟合，然后将各角域的地形异常相乘迭加得到总的地形异常。迭加的方法可以根据情况利用电子计算机、图册、量板或数表等，那只是操作方法不同，而其实质则都是一样的。这样做也只是近似的，其近似性表现在两个方面。一是相乘迭加的方法本身是近似的。我们系统地做过模型实验，说明迭加误差随ϕ角减小而增加，但当地形坡度在30°～40°以内时，其迭加误差与野外观测误差相当，问题不大。二是迭加算出的是带棱带角地形的异常，而野外实际地形则常常是元滑的，因此，计算所得曲线的极值将比元滑地形的偏大(山脊)或偏小(山谷)。土槽或水槽模型实验虽是行之有效的方法，但对任意地形造型很麻烦，且土槽介质难于做得均匀。因此实验结果也包含着相当的误差。

这里所提出的“似点源电场模拟实验法”是在通常导电纸模拟实验基础上的一种改进。由于注意到点源电场和线源电场纯地形异常的主要差别是后者衰减得慢些，因此在导电纸下方一定深处布上一条锡箔（见图2）。由于锡箔将电流向下吸引，使得沿地表的电流密度衰减加快。

这样，在导电纸上测得的纯地形异常曲线便与点源场的十分接近了，因此，我们称之为似点源电场。

从实际应用出发，我们不讨论这样做的理论分析，而叙述实验结果。我们对各种标准地形和各种极距进行了系统的似点源电场模拟实验，并将其与点源电场和线源电场的结果进行对比，另外还进行了野外实例的模拟。图3是这一系列实验的几个例子，其他未列出的与此相似，在这些图中，我们都以山脊或山谷的跨度为20。从这些实验，可以得出如下一些认识：

无论是山脊或山谷，当AM≥地形跨度时（例如，图3a中的AM/MN＝20/2），点电源、似点电源及线电源三者都很接近，似点电源与点电源十分吻合，线电源也与点电源相差不大。可以这样来理解，当距电源很远时，三种情况都近似于均匀电场，因此，地形畸变引起的相对异常便很相近了。这个特点具有普遍的意义，而当地形起伏或不均匀体的尺寸比极距小时，在剖面上线电源场与点源电场的差别便不大了。在这种情况下，用线源电场的纯地形曲线代替点源电场的纯地形曲线，在实用上是可以的了，许多野外资料也说明了这一点。

当极距小于地形跨度时，线源电场与点源电场存在明显差异，而似点源电场仍与点

图2　似点电源电场模拟法示意图

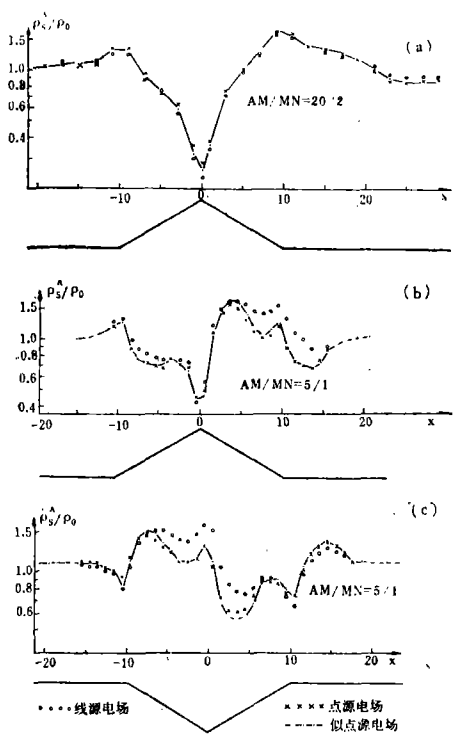


图3　标准地形上似点源电场与点源电场和线源电场三者的纯地形曲线的对比

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

源电场十分接近。例为图3C中的30°山谷上，AM/MN＝5/1时，在－5号点到＋5号点范围内，线源场与点源场的差别达30～40%，而似点源电场与点源电场则仍吻合得很好，二者的平均相对偏差与观测误差相当。

以上是在坡度<30°～40°的范围内得到的，随着坡度的增加，（例如增大到60°），线电源与点电源的差别更加增大，似点电源与点电源的差别虽有增大，但仍比线电源接近得多，甚至比角域迭加的结果还好。事实上40°坡已是很陡的地形了，因此，在野外实际可能遇到的地形情况下，似点电源模拟所得的纯地形曲线与点源电场十分接近，可用于生产实际。

似点电源场模拟的具体做法如下：

（1）按一定比例尺剪好地形剖面。为了减小两端的边缘影响，在两端的最外一个供电电极的两侧外面，应该还有一段比3AO长少许的地形剖面。如果实测地形剖面不够长，可代之以平地来延长。

（2）在地面下布锡箔，使各点从垂直地面的方向到锡箔的距离为AO。

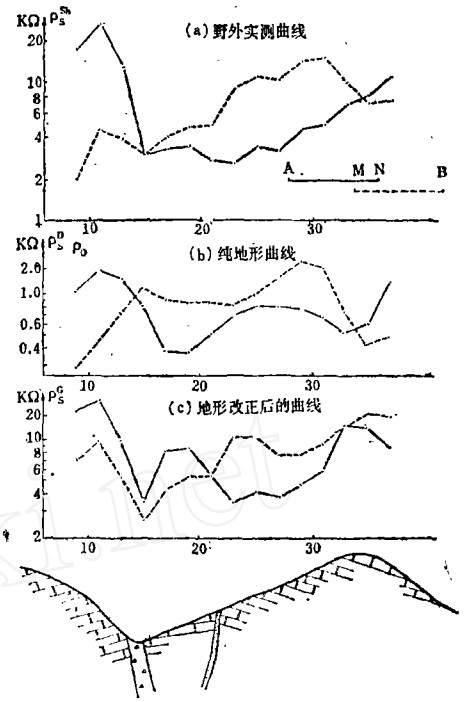
（3）做剖面法时，每一种极距只需布一次锡箔，便可按普通方法在地表布极观测，将整条剖面测完。如果是做三极法可将无穷远极接到锡箔上。

（4）做电测深时，先用彩色铅笔将各个极距所对应的锡箔形状和位置画在导电纸上，为了保持纸面完好，可从大极距做起，每做完一个极距，将锡箔向上移至下一个较小极距所对应的位置，再测下一个极距。

（5）无论是做电测深或是做电剖面，可在一侧地形平坦处测得正常场ρ_0，将全部观测值整理成P_s/P_0。

似点源电场法模拟十分方便，甚至比普通的导电纸模拟还方便。因为所需的纸宽只要等于AO，因此为了两端达到正常场，所需要的纸长也可以比线电源模拟短。

我们对几个矿区的典型剖面用比较法作了地形改正、其地形异常分别用了点电源、似点电源和线电源的结果，前二者的改正效果都一致，有的则三者改正效果都相近。图4和图5是改正的实例。图4的主要岩石为大理岩。在实测曲线中，15号点处呈现低阻正交点，与大断层的位置一致，但这里又是



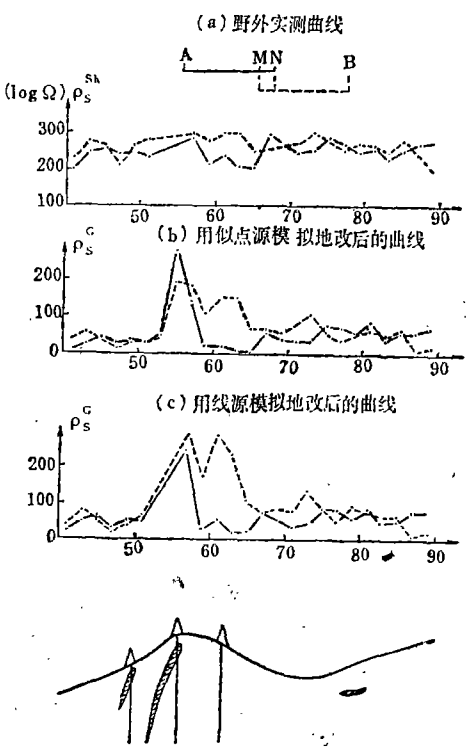


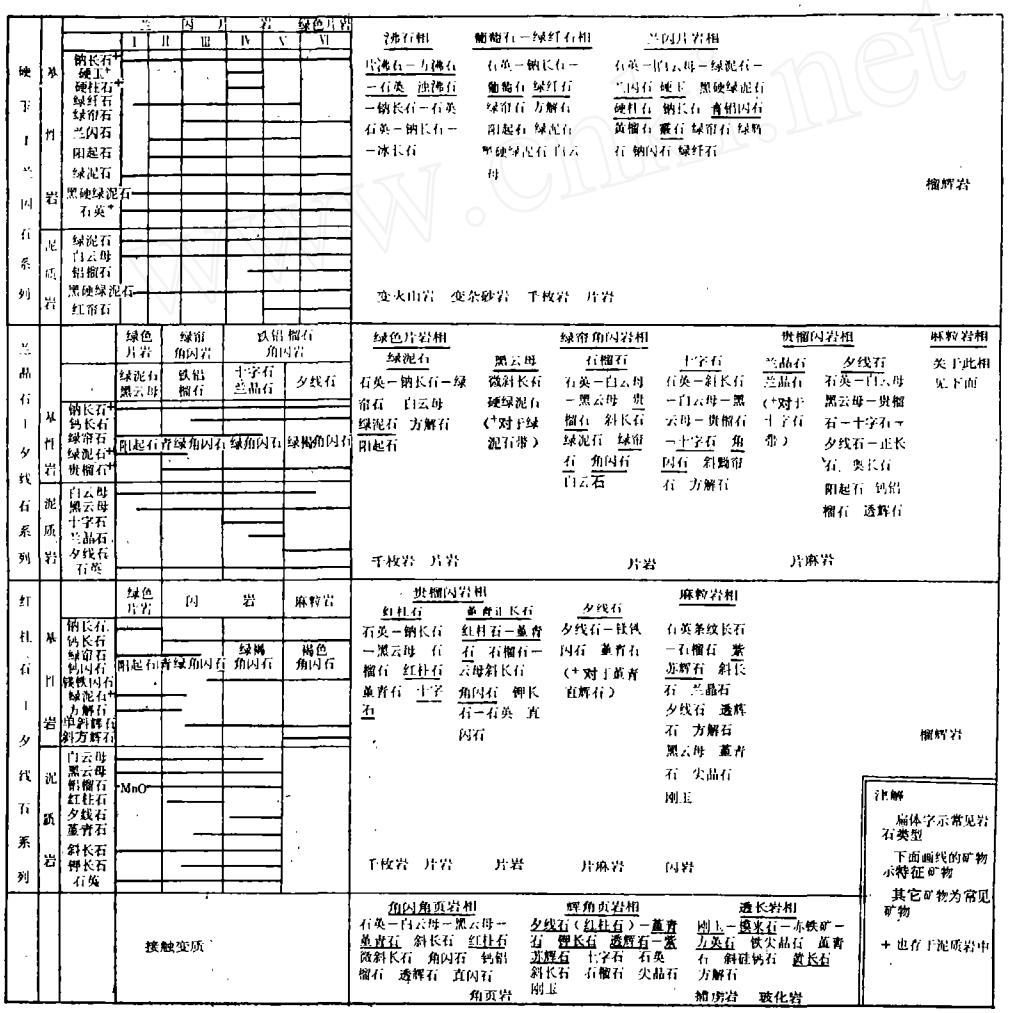
图5

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

山谷，异常应是综合反映。云南冶金物探队曾用线电源场纯地形曲线作地形改正，我们用似点源电场模拟纯地形进行改正，改正后的P_s^G曲线在21号点有一清晰的交点，与工程所得的低阻矿体相对应。由于矿体电阻率比断层电阻率低，故在15号点反映为一低阻异常而不出现正交点。图5的野外实测曲线上，地形异常将含铜黄铁矿体的异常淹没，用线电源的纯地形异常作比较法地形改正后，在主矿体上得不到正交点（图5C），用似点源电场模拟作地形改正后，在主矿体上得到正交点。

综上所述，似点源电场模拟法所得纯地形曲线虽是近似的，但其近似程度与角域理论计算或三度模拟的结果相当，而方法快速、简便。我们虽然做了较系统的实验对比，但不能说各种因素都已考虑到，还需在今后试用中继续检验。

变质岩分类表



摘译自：《Field geologists' manuAI》，1976'、P.23

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net