

何裕盛

如何进行充电法的初步解释推断工作，是大家很感兴趣的问题。根据有关参考书<sup>[1, 2]</sup>和其他文献，本文总结了充电法初步解释推断的一般过程，对从事充电法工作的人员，特别是对初学者来说是有益的。

### 初步解释推断的任务和所用图件

在野外实际工作中，充电法的初步解释推断就是研究电场的一般特性。所要依次解决的任务应该是：1. 确定异常位置；2. 确定异常和异常带的性质（定性解释）；3. 确定导体（矿体）和导电带（矿带）的规模和产状（定量解释）。

所使用的图件通常有：1. 电位等值线平面图；2. 电位梯度剖面平面图；3. 电位和电位梯度剖面图。所勾绘的电位等值线必须是等差间隔的，只有在电位梯度很大的情况下，才允许在个别部分按等比间隔勾绘，而且应加注明。

图件上必须绘出或注明充电点或其投影位置，以及充电点的深度。这对充电法的解释推断极为重要。

### 识别正常场和异常

在研究场的一般特性以便确定异常及其位置时，首先要弄清该地区正常场（点源场）的一般特点。为此，可以专门布置点电源，研究点源电场；也可以直接研究所观测的电场资料，总结出代表当地条件的正常场的一般特点。然后，确定所测电场与代表当地条件的正常场的偏差程度，从而确定出异常或异常带。

通常见到的正常场有三种情况：1. 围岩介质电性分布比较均匀；2. 围岩介质表现为明显的电的各向异性；3. 围岩介质电性分布不均匀。对于第一种情况，由于解释推断工作容易，无必要再

作介绍。对于第二种情况应予以注意。不应把这种椭圆状等位线解释为充电体异常。图1中陡倾斜的片岩具有各向异性的特点，其电位等值线也拉长成椭圆形，很像充电体异常。但是各条电位等值线的椭圆率\*都差不多等于2，这正是各向异性的特点。计算椭圆率是识别各向异性的一个好方法。对于各向异性情况，要算出椭圆率、岩层倾角 $\alpha$ 和各向异性系数 $\lambda$ 。

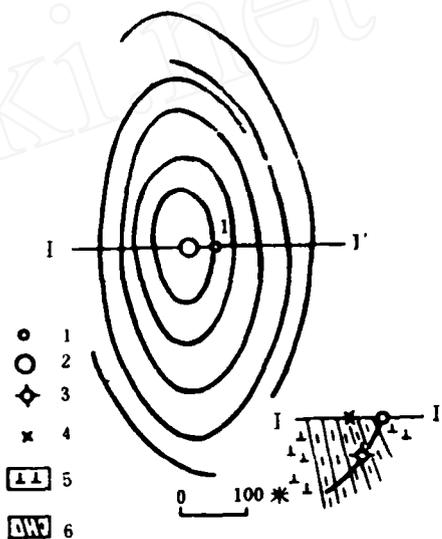


图1 在变质片岩中点电源场的电位等值线平面图  
(据П. Ф. Розинков)

1—孔口；2—源中；3—充电点；4—电极入点；  
5—钠长斑岩；6—变质片岩

对于围岩介质电性分布不均匀的情况，应掌握有关知识，注意摸索规律和总结实践经验。图2是江西九江某硫铁矿矿区的充电法结果，充电点布置在ZK113钻孔套管中，而套管没有与矿体接触，这种电场可视为垂直线源电场。理论计算

\* 椭圆率等于电位等值线的长半轴 $a$ 与短半轴 $b$ 之比

表明，南部的电位等值线密集带主要是泥盆系高阻砂岩层的反映，而矿体边界所给出的贡献相对来说比较小。这种由高阻岩层造成的电位等值线密集带，往往呈线性分布，不会呈封闭环状。

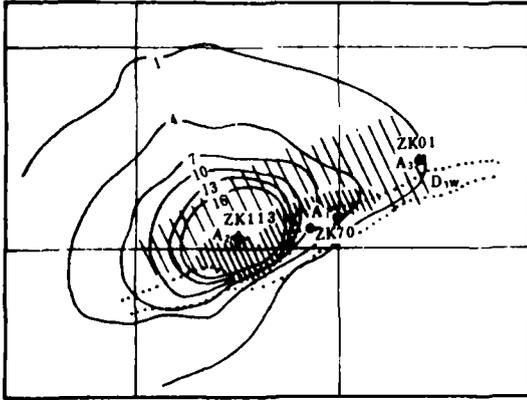


图2 江西某硫铁矿矿区充电法电位等值线平面图  
图中充电点A<sub>2</sub>为ZK113孔套管

对于确定异常和异常带的性质，一般明显的充电体异常所对应的导体就是与充电点接触的那一矿体。而非充电体异常所对应的导体性质，与其他电法的异常一样，不容易单值地确定。应当采用综合方法，有时甚至直接用钻探去查明。这方面的经验，目前还不多。

### 平面图初步解释推断

在平面图上，对于有一定延长而且埋深较浅的充电体，电位等值线异常的走向一般与充电体的走向对应。

用电位等值线平面图进行解释推断时，应抓住三个要素进行分析：

1. 电位极大值的位移是充电法中最明显、最可靠的充电体异常。通过充电点且垂直于电位等值线异常带走向的平面称为充电平面(图3-a)。

电位极大点垂直充电平面的位移地段 $\overline{EF}$ 可靠地对应于充电体，位移的反方向对应于矿体的倾伏方向，电位极大点沿充电平面的位移 $\overline{A'E}$ ，有时为围岩各向异性引起，有时为充电体引起，有时二者兼而有之。如沿充电平面有电位极大值位移，首先应计算假设充电点处为点电源时，岩层各向异性所形成的电位极大值的位移值。如果实际位移值大于岩层各向异性所造成的位移值，

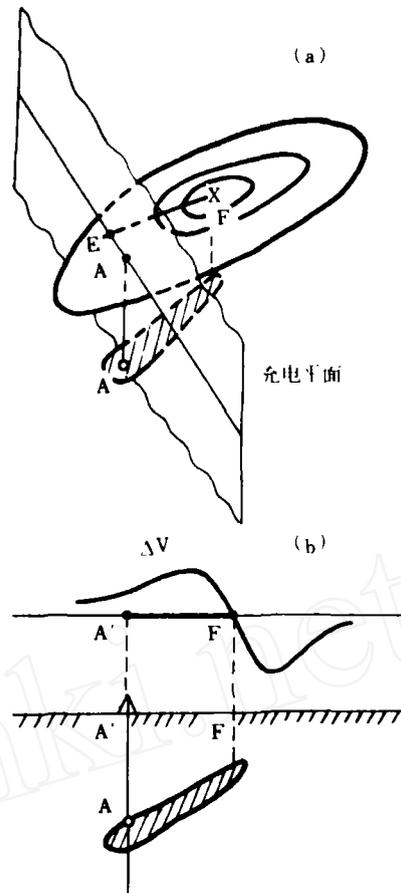


图3 电位极大点和梯度零点位移示意图

则说明充电体沿充电平面方向有一定的延伸。

此外，在个别地区有可能出现两个电位极大值，在这种情况下，它们所对应的应该是同一矿体的两个分支，或这两个矿体存在着良好的电性联系。

图4是江苏某硫铁矿上充电法电位等值线平面图。充电点布置在ZK061孔距地表108米深的

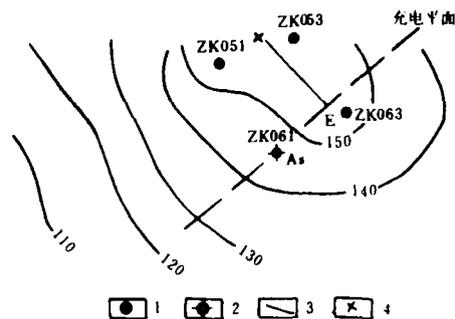


图4 江苏某硫铁矿上充电法电位等值线平面图  
1—钻孔；2—充电孔；3—异常轴；4—电位极大值点

薄层矿体上。地面电位等值线极大点向北位移达60米（相对充电平面位移50米，沿充电平面位移35米），为一明显的充电体异常。内圈等值线走向为北西—南东。在该区，围岩各向异性不明显。可以认为该异常所反映的就是ZK061孔中的矿体。ZK061孔E和电位极大点形成一三角形，与充电矿体的范围对应。矿体向南西方向倾伏。后经ZK053孔在31~60米深处打到了含铅锌的硫铁矿，证实异常是矿引起的。

2. 从电位等值线的密度分布可看出，电位等值线密集带一般反映了充电体的大致边界（图5）。但应注意与高阻岩层形成的密集带的区别（图2）。对于产状接近水平并且具有一定宽度的矿体，其电位等值线密集带呈闭合环状。

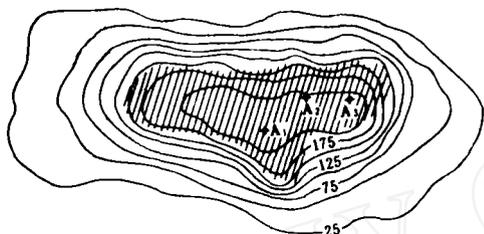


图5 青海某含铜黄铁矿矿区充电法电位等值线平面图  
充电点: A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>。

图中阴影部分表示矿体在地表的投影

图5是青海某含铜黄铁矿上的充电法电位等值线平面图。三个充电点的观测结果完全相同。说明矿体为等位导体。电位等值线密集带呈封闭环状。175等值线反映出矿体的大致边界。

有时见到，从密集的等值线稍往外，等值线突然拉长（最外几圈等值线并不拉长），这种现象通常是不等位充电体的表现，或是充电体在充电点附近导电性不好的表现，这都是充电点位于矿体一端所表现出的特点。图6是青海某含铜黄铁矿上充电法电位等值线平面图。充电点布置在浅井中16米处氧化程度较深的矿体上。在充电点附近电位等值线密集（图中未绘出），数值较高。由此稍往外，等值线出现拉长现象。后来，钻探工程证实50等值线所圈范围内都是矿。

顺便指出，充电点的位置很重要，凡是充电点布置在矿体端部的异常都明显（如图4中的

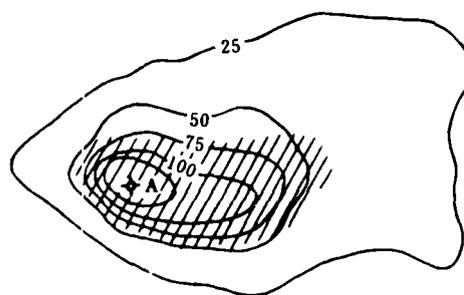


图6 青海某含铜黄铁矿上充电法电位等值线平面图  
图中阴影部分表示矿体在地表的投影

A<sub>5</sub>，图5中的A<sub>3</sub>和图6中的A)。充电点布置在矿体中部或倾斜矿体上端的，异常值大大减小，矿体导电性不十分好时尤其如此。充电点应尽可能布置在矿体的端部，对倾斜矿体而言，应布置在它的下端。尽量使充电点与矿体接触良好。如果不具备这种条件，为了补救充电点附近导电性不好的影响，应把充电点布置在矿体轴的延线上或矿体的下端（或下盘）。

非充电体上方电位等值线的密度小，靠近和远离充电点方向的端点附近，密度均有所增大。在图7中，南部铁帽处所对应的就是一个非充电体异常。对于非充电体异常，在梯度剖面图上反映更为明显（后面将有介绍）。

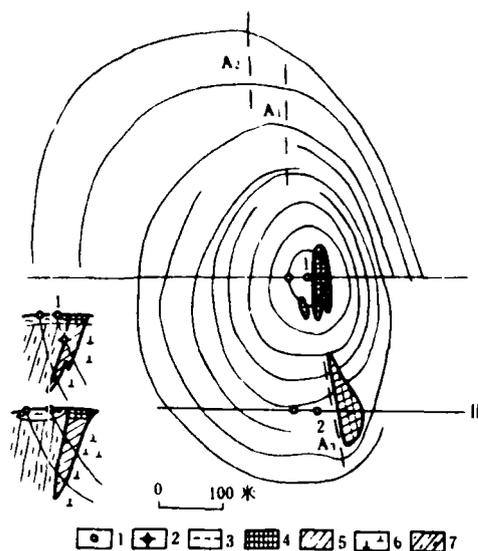


图7 充电法等电位线平面图（据И.Ф.Родионов）

1—孔口；2—充电点；3—导电性异常轴；4—铁帽；  
5—致密硫化矿；6—钠长斑岩；7—变质片岩

对于非充电体异常，需要在平面图上绘出异常轴。异常轴可以在剖面平面图上沿横剖面梯度曲线低值带引出，也可以根据平面图上等值线相应折曲顶峰来引出，所引异常轴应与围岩层理走向一致。

如果电场纯由岩层各向异性所引起，各条等值线的椭圆率应大致相等。如果充电体有一定规模，在里面的几条电位等值线的椭圆率将与外部的几条不同。以图5为例，电位等值线具有明显的拉长形状。测区内电位等值线的椭圆率( $a, b$ )一般地表现了各向异性介质中异常场的特点。200和175范围内等值线的 $a/b$ 值很大，达3.4~3.5。125~25范围内的 $a/b$ 值小而稳定，为2.0~2.1。150等值线的 $a/b$ 值等于2.5，具有内外等值线的过渡特点，可见围岩虽有明显的各向异性( $a/b$ 达2.0~2.1)，但根据椭圆率具有显著差别的特点，仍可区分出200~175等值线所圈出的充电体分布范围。异常的走向就是矿体的走向。

#### 剖面图的初步解释推断

利用梯度剖面平面图的零值点连线确定充电体走向时，要考虑到测线方向与充电体走向的关系。当测线与导体走向垂直时，梯度零值线是直线，且与导体走向一致；当测线与导体平行时，梯度零值线也是直线，但与导体走向垂直；当测线与导体走向斜交时，梯度零值线不是直线，而是对称于原点的S形曲线，并且以通过原点垂直于测线的直线为其渐近线，曲线的对称中心对应于导体中心在地表的投影。我们还知道，导体走向从中心测线与梯度零值线所夹的锐角中穿过。图8表示出水平伸长旋转椭球体(线形导体)地表梯度零值线分布情况。

图9为我国西北某矿区充电法电位梯度剖面平面图。为简便起见，图中仅绘出梯度零值线。布置的测线与矿体走向斜交，因此这条梯度零值线不是直线。我们通过该曲线的对称中心作测线的垂线，作为曲线的渐近线。可以认为渐近线与中心测线的交点是矿体中心投影，后来地质和物探所取得的资料也证实了这一点。从图中还可看出，梯度零值线尚不完整，测区过小，测区西北部的

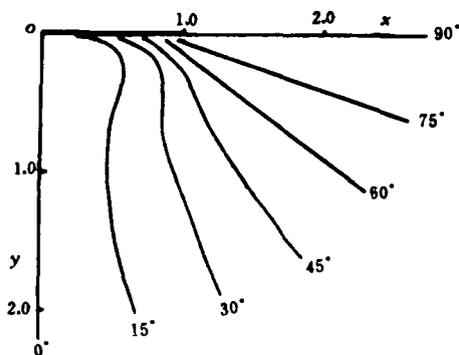


图8 充电时水平线形导体梯度零值线的分布平面图(理论计算结果)  
导体埋深 $Z_0=0.2$ ，半长度 $c=1$ ，测线与y轴的交角为 $\alpha=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ 和 $90^\circ$

梯度零值线尚未追索完毕。从图中还可看出，矿体走向恰好从中心测线与梯度零值线所夹的锐角穿过。测线与矿体走向的夹角仅12度。

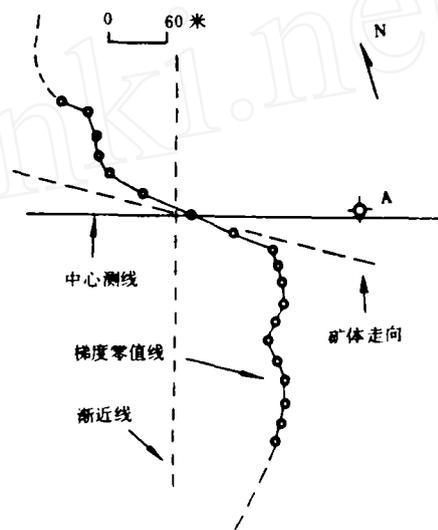


图9 某矿区充电法梯度零值线分布平面图

梯度剖面图的解释推断工作与上述类似，梯度就是电位的导数，根据这一简单关系，就可以把平面图的解释推断方法推广来用于梯度剖面图的解释推断。要抓住以下几个因素进行分析：

1. 梯度零点位移如图3—b所示，梯度曲线的零点相对源中 $A'$ 的位移( $A'F$ )很可靠地与充电矿体对应，与位移相反的方向标志矿体的倾向。充电点布置在倾斜矿体的下端，可使零点位移异常达到最大。

2. 梯度零点附近曲线的畸变情况如下所述。均匀各向同性或各向异性介质中点电源形成的梯

度曲线，在零点附近呈线性分布（图10—a）。如果充电矿体埋深较浅，有一定规模，那么在梯度曲线的零点附近将出现平缓带（非线性带）。识别平缓带的标志是：在两极值内侧出现了内拐点（图10—b）；或是在零点附近的一段范围内梯度绝对值很小。如果充电矿体为不等位导体，并且充电点布置在它的一端，这时梯度零点与充电点大致对应，平缓带的梯度绝对值将略为增大（图10—c）。

3. 在点源充电或矿体充电的背景上出现梯度曲线低值带（指绝对值）（图10—e），一般这种低值带所对应的是非充电导体（可能是矿体，也可能是其他低阻体）。我们把梯度零值点和低值带之间的那个极值叫做“中间极值”。当充电点位于导体一端的围岩中，这时充电点越靠近导体，则中间极值越小，直到与不等位导体端点充电的情形相似难以区别时为止。例如图10—d所示的情况，与梯度异常对应的可能是在端点充电的不等位导体，也可能是在端点之外充电的非充电导体。

图11所示是江苏某硫铁矿的充电法梯度剖面图。矿体与围岩有几十倍的电性差异。充电点为A<sub>1</sub>的梯度曲线，零点附近呈线性分布，未表现有充电体的反映，但左部出现的低值带与ZK611孔所控制的矿体对应。可见左部矿体与充电矿体不相连。充电点为A<sub>2</sub>的梯度曲线，其零值点与充电点基本上对应，零值点右部出现平缓带，此平缓带对应于充电体，同时表明充电体为不等位导体。该充电体左部无异常显示，说明充电点的位置布置得不合适（充电点设在矿体左端可能好些），也说明矿体左部导电性不够好。A<sub>3</sub>充电的梯度曲线，零点基本上与充电点对应，零点左部出现低值带和中间极值，说明所对应的充电体为不等位导体，也可能低值带所对应的矿体与规模很小的充电体不相连。对上述结果进行综合分析可以得出比较肯定的结论，A<sub>2</sub>和A<sub>3</sub>的充电体是同一矿体，其导电性不十分好。A<sub>1</sub>的充电体为另一矿体，规模很小。因A<sub>1</sub>充电点布置在上部的矿体上，其下部大矿体无异常反映，这是可以意料到的。

4. 对于多点充电时曲线的分析，可利用不同点充电来对比所得梯度曲线的重合情况，这是可

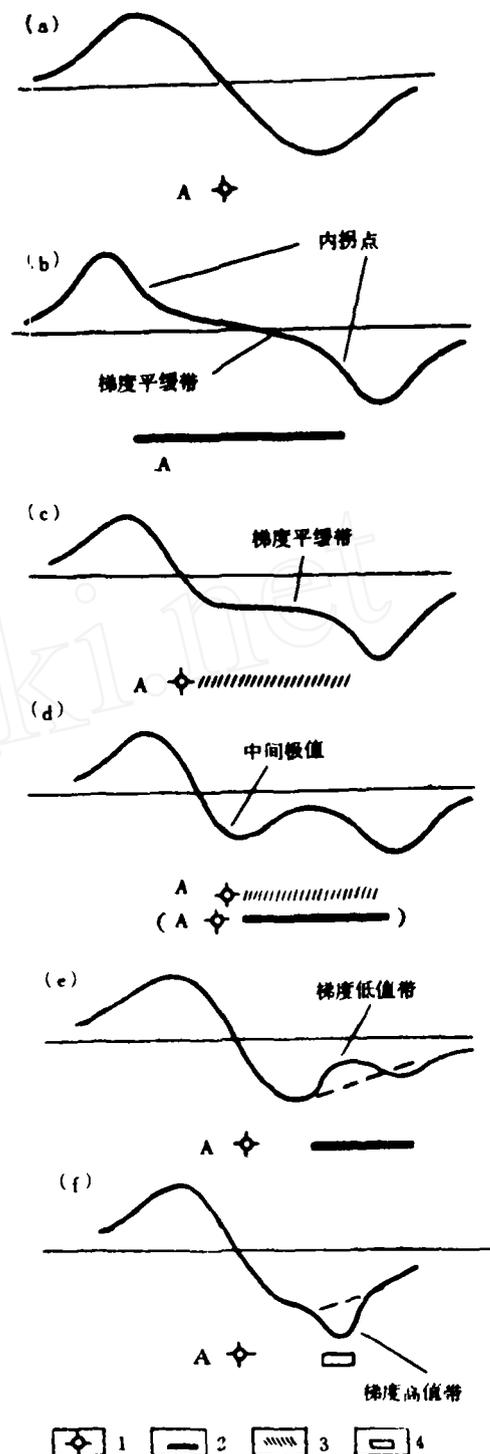


图10 梯度剖面曲线的畸变示意图  
 1—充电点； 2—良导体；  
 3—不等位导体； 4—高阻体

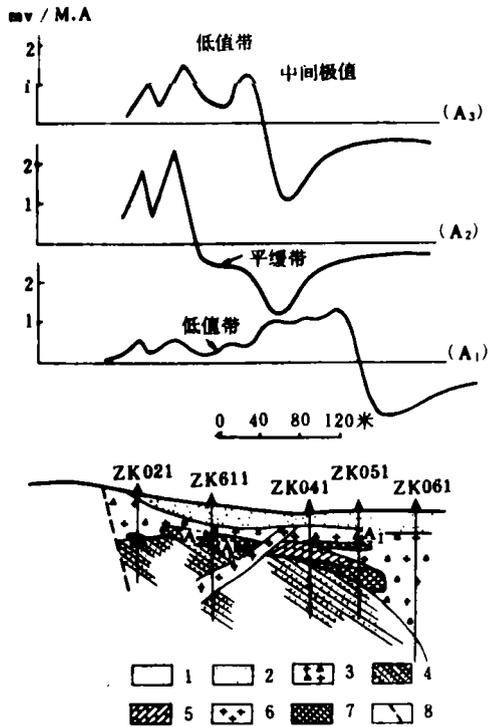


图11. 江苏某硫铁矿充电法梯度剖面图  
 1—充电点；2—第四系浮土；3—凝灰角砾岩；  
 4—石英砂岩；5—硅化灰岩；6—石英斑岩；  
 7—黄铁矿；8—推断层

靠的确定矿体是否相连的方法。在这方面已有许多成功的经验。对于等位导体问题容易解决。对于不等位导体，情况变为复杂，图11就是一个明显的例子。两个或几个相连的矿体，从电性上来说，实质上是一个矿体。如果地下存在几个互不连通的矿体，非充电矿体将产生屏蔽作用。当有两层或多层矿体存在时，通过对各层矿体分别充电，就可以圈出各层矿体的部分边界，上层矿体的边界有可能全部被圈出，而下面各层矿体由于受上层矿体屏蔽的影响，将无法圈出其边界。当下层矿的规模比上层矿大而且超出上层矿的屏蔽范围时，用“分层充电”的方法，则容易取得良好的效果；反之当下层矿的规模比上层矿小而且有很大部分被上层矿所屏蔽，这时用“分层充电”法来圈定下层矿的边界，是不易取得好效果的。

最后，这里再举一个例子。图12是青海某硫化矿野外实测的和导电纸模拟的梯度剖面图。a是实测曲线。A<sub>1</sub> 充电曲线的零点相对充电点有很

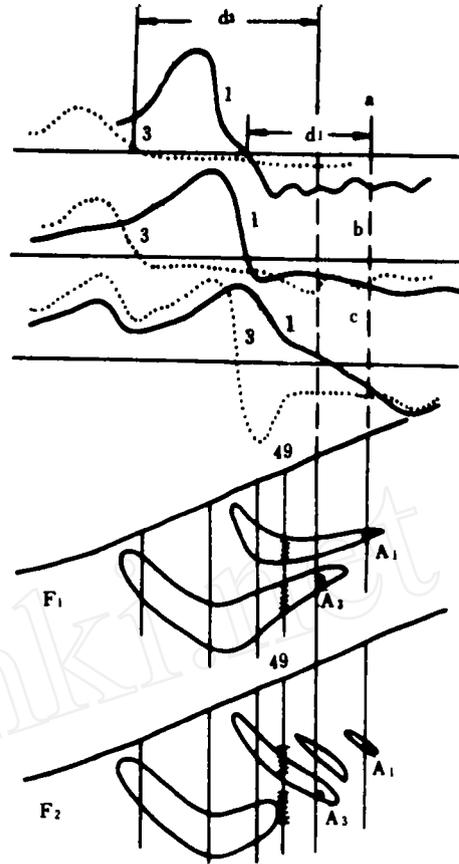


图12 青海某硫化矿床野外实测的和导电纸模拟的结果

大的位移 ( $\hat{a}_1$ )，能可靠地圈出上部矿体。A<sub>3</sub> 充电曲线的零点偏离充电点有更大的位移 ( $\hat{d}_3$ )，能可靠地圈出下部矿体。两条梯度曲线不重合，说明上下两矿体不相连。结合地质和钻探情况，很自然地根据各矿层的相互联系提出方案1。但也有非物探人员提出了方案2。曲线b和c是导电纸模拟结果。显然按方案1模拟的结果b与实测曲线一致，而按方案2模拟的结果c与实测曲线a的形态完全不同。导电纸模拟结果认为方案1正确。后经ZK49孔验证，证明方案1确实是正确的。导电纸模拟配合野外现场快速解释是一种有效的适用手段。

#### 参 考 文 献

- [1] П. Ф. Родинон 著 (顾燕庭译)，乌拉尔黄铁矿型矿床的充电法勘探，1962，中国工业出版社
- [2] 何裕盛等，1978，充电法，地质出版社