

金属矿床直流电法勘探工作的两个问题

李 治 华

几年来,直流电法使用范围虽然逐渐扩大,但对一些问题的研究和解决,尚远远落后于生产实践的要求,因而影响到这一方法还不能获得满意的地质效果。本文拟通过实际工作的总结来说明扩大该方法地质效果以及提高技术水平的可能性,供同志们参考。

一、关于垂向电测深法找矿问题

(一) 应用电测深法寻找金属矿床

现有的教科书及文献对垂向电测深的应用条件规定为:所要求的地质体的平面分布是无限的,厚度要大于上复层几倍,倾角不能大于 15° — 20° 。因此用电测深研究石油天然气、煤田构造以及基底构造等构造地质问题是很有成效的。这些严格的条件限制了应用该方法去解决金属矿床问题。随着等价原理的发现,倾斜界面的研究,并在物探工作者越来越熟练的掌握地质电性的条件下,也开始应用其寻找金属矿床。对矿区物探工作者来说,应用已成熟的方法研究新课题,扩大已有方法的应用范围,扩大地质效果,是一个现实问题。

垂向电测深曲线的变化,不仅决定于探求层的厚度,同时还决定于该层的纵向电导 S 及横向电阻 T ,曲线变化显著程度取决于 S 及 T 的大小。我们认为电测深法的异常是指无导体存在的正常状态曲线与受干扰体畸变的曲线相比的差,这种偏离状态即称为异常。当我们掌握了地质电性条件后,可用理论计算方法研究一下矿体是否可产生异常,多大异常是有利的。异常的大小与矿体水平分布的规模有关,要根据具体情况判断其影响大小。如矿体埋深较小,水平分布大小的条件就放宽了,实际资料表明当矿体为300米埋深时,水平方向分布为 400×700 米时,定量解释埋深与实际完全一致。这进一步证明该方法找矿的可能性。下面将介绍三个矿床的实例:

1. 在某锡矿床上用电测深法找火成岩突起时,发现了一种现象,如图1所示, B33-2 与 B33-1 测

深点所反映的末枝特征不同。B33-1 点末枝电阻率趋于1400欧姆-米,恰巧与花岗岩电阻率(1500欧姆-米)一致,其上为巨厚灰岩(电阻率为5600欧姆-米)。此末枝下降是由花岗岩类侵入体引起。但B33-2点曲线末枝迅速下降至600欧姆-米,尚未趋于渐近值,说明引起的地质体电阻率真值必远小于600欧姆-米,与花岗岩不符。经研究证明是花岗岩侵入体上方的接触带有一厚10米的锡石硫化矿体,其规模为 400×700 米。定量推断埋深为270米,实际为290米,相对误差为7%,另有六个矿体的测深点资料也说明电测深法可找到矿体。目前正利用曲线末枝下降其电阻率渐近值远小于花岗岩来进行寻找深部花岗岩接触带上的硫化矿体。

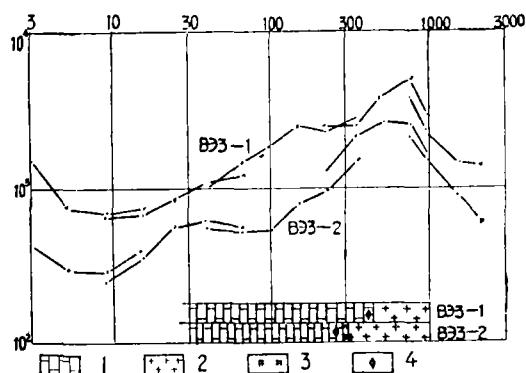


图 1

1. 灰岩; 2 花岗岩; 3 硫化矿; 4 电测深推断位置。

2. 某铜矿床(图2)矿体生于巨厚的中三迭纪石灰岩中,据地质工作所知,区内不可能遇到低阻岩系,矿体是富含硫化物的基性“岩床”(电阻率为60欧姆-米),其上石灰岩电阻率为7700欧姆-米。测深工作得出AK型曲线,第一层为浮土,第二层为硫化蚀变大理岩;第三层为石灰岩,而曲线末枝下降是由20米厚的矿体引起的。图2上连续实线为作图得到的,与实测基本一致。可见矿体虽埋深于283米

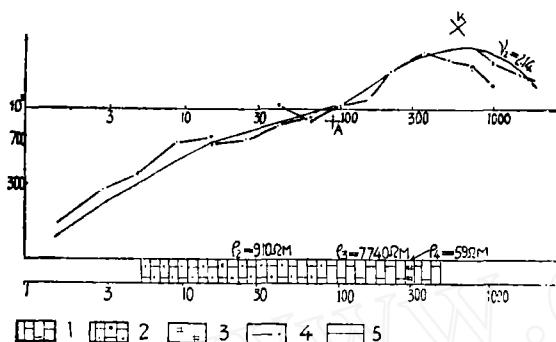


图 2

- 1. 灰岩；2. 蚀变大理岩；3. 硫化矿；
- 4. 实测曲线；5. 理论曲线。

以下，厚仅 20 米，但由于电阻率比前三层的等效电阻率 3300 欧姆-米低 50 倍，水平方向分布又很大，所以能产生明显异常，从纵向电导来看 $S_{123} \approx 0.23$ 而 $S_4 = 0.33$ 。若用 $\rho_4 = 900$ 欧姆-米（在等价范围）等价层代替，则 $h'_4 = 500$ 米，其厚度亦不算小。

3. 在某热液铅矿上，由于矿体已氧化，其电阻率在 1000 欧姆-米左右，与围岩电阻率（6000 欧姆-米）相差六倍，则在较浅部获得了矿体异常。

总之，根据我们工作结果说明，当围岩、矿层条件合适时，电测深可以用来找矿，并且可以找较深部的矿体。

(二) 应用电测深找矿时应注意的几个问题

首先是矿体要具有缓倾斜，只有缓倾斜时水平方向分布才相对较大。第二，所寻找导体的电阻率要明显低于上复围岩电阻率，其差别大小与所找矿体的厚度及埋深有关，要求导体的 S 值大于上复层 S 值，这样就能发现异常。假如有一个 0.1 欧姆-米的硫化矿体，其厚只有一米，赋存于 $10^2 - 10^3$ 欧姆-米的岩层中，水平分布大小满足要求，则此矿体赋存于几百米以下也可找到。第三，水平分布规模影响异常大小及推断解释的精度（该问题将用模型试验来解决），一般来说，水平分布大小的直径与埋深大致相当，即可获得良好效果。最后，消除地形浮土等影响，以突出异常的明显程度和可靠程度，此问题最好用砂盘模型试验来消除。

综上所述，无论在理论上和实践上，用电测深找矿是完全可能的，但由于我们工作还不够，一些问题尚待继续解决，以使其工作方法和解释推断方法更加完善。

二、联合剖面法异常解释问题

自 54 年以来，联合剖面法在我国各种金属矿床上开始了大规模的实验及生产工作，其效果愈来愈显著，几乎成了研究金属矿床的必用方法。但由于解释方法不多，只会看交点，加上一些其他因素的影响，交点又经常不存在或产生较大移动，不易辨认。因此提高该方法的解释推断水平，就显得突出重要。根据几年来积累的經驗，提出我们的见解与大家商榷。

(一) 联合剖面法推断解释中几个问题

1 地形影响问题：山脊山谷对联合剖面法可产生强大的“正”“反”交点，异常值往往达到百分之几百。在山谷出现显著的正交点，在山脊上形成强大的“反”交点。若金属矿体赋存于山谷山脊附近，由于异常远小于地形影响，因此不能看出矿体异常。

2 平行导体的影响：当金属矿体附近存在良好导电性的非矿导体（如石墨化、黄铁矿化以及炭质岩层等），或者大矿体附近存在小矿体或导电性差的矿体等，往往大导体异常淹没了小导体异常。因此，在强大非矿异常中找到矿体，或者在大导体旁找到小矿体是十分重要的问题。

3 低阻岩系的影响问题：金属矿体往往位于高阻的石灰岩或白云岩中，或在其接触带上，由于石灰岩中的矿体距低阻岩系距离不大时，旁边的低阻岩系不能不对矿体异常产生干扰，造成矿体上无交点，或者相对矿体交点有较大位移（有时达几十米甚至百余米）。

4 低阻浮土不均及地表电阻不均匀影响：山谷内往往存在较厚的电阻率低的浮土，可产生正交点，不易与矿体交点分辨。地表不均匀常使曲线剧烈跳动、显著不光滑和不明显等，使推断解释大大复杂化，甚至用一般方法无法解决。

(二) 消除干扰的方法

1 地形影响的消除方法：地形对联合剖面法结果的干扰，是山区电法勘探特别是联合剖面法解释推断的严重障碍，不消除它，有时解释推断几乎成为不可能，因此对该问题进行了研究。

当地形走向长度较大时，可利用薄水层〔3〕试验模拟实际地形研究其地形影响的畸变率，利用公式

$$\rho_{r0} = \frac{\rho_0}{\rho_r} \rho'_r - \text{改正}, \rho_r. \text{消除地形影响后的视电阻率; } \rho'_r - \text{存在地形影响的实测视电阻率; } \rho_r - \text{模}$$

型上起伏地形的视电阻率； ρ_0 —模型介质电阻率。实践证明，效果良好，显现了地质体的异常，基本上消除了地形干扰。

当地形走向长度上不大，不能当作二度体处理时，我们采用了1:500砂盘实际模拟地形测定地形畸变率，改正公式同前，也获得了良好效果如图3。某锡矿区用联合剖面法研究含矿断裂时，断裂带异常被地形影响掩盖，如曲线I仅在断裂上出现电阻率降

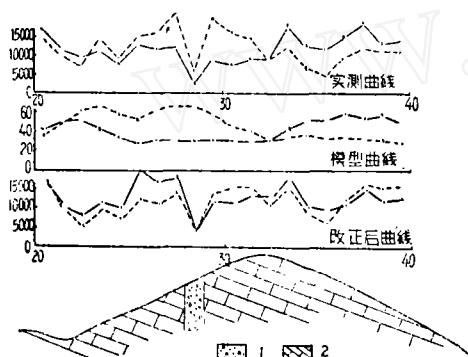


图 3

1. 断裂带；2. 灰岩。

低，而无交点，相反在山脚却出现了交点。但经过地形改正后在断裂带上出现良好交点，山脚地形交点消失。

当地形为对称和近于对称时，可将其实测的未受导体影响的正常地形影响曲线的半支，以交点为中心作镜像，此时 ρ_{rA} 变为 ρ_{rB} ，而 ρ_{rB} 变为 ρ_{rA} ，再作上述改正，实测的被导体所畸变的曲线除以镜像而得的地形影响曲线，则得到干扰体的异常（交点），就是说当对称或近于对称地形时，可不作模型试验就可改正矿体部分的地形影响。

2 消除平行干扰体的方法：

①首先把 ρ_K 曲线转换成F曲线[2]。消除地表不均匀的干扰，增加异常清晰度，减小局部畸变。例如在某锡矿区，新发现了四条异常如图4。从 ρ_K 曲线看，只有一条明显的大断裂正交点带，而其他三条不明显，经变换F曲线后，有三个弱的畸变，反映了规模较小导体影响的存在，后经地质工作查明，确实存在三条较第一条为小的断裂带。

②转换成F曲线后虽然发现了异常，但准确确定导体的位置，还须进一步研究，即研究小断裂所产生的异常形态及交点位置，将根据下述原理对大干扰体

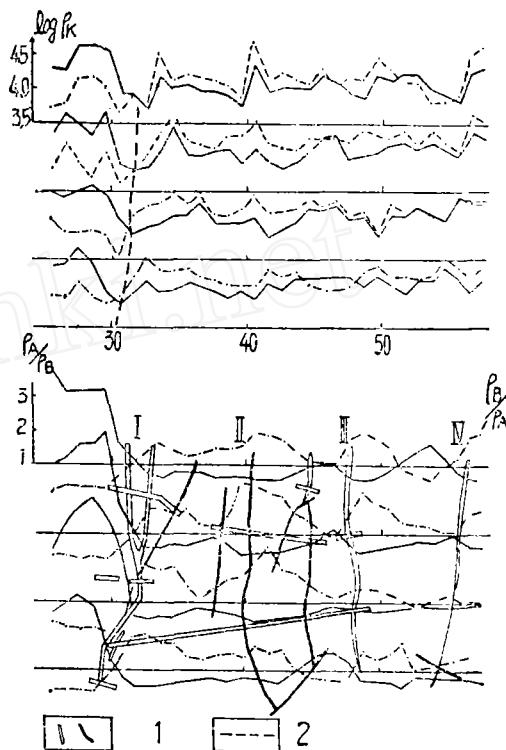


图 4

1. 断裂；2. 正交点带。

异常进行消除。

先假定小导体与大导体间影响可以忽略，两个导体产生的场视为各自独立的，并以乘积方式迭加。如果大导体产状已知，则它所产生的异常是已知的。这样，就像消除地形影响一样可把大导体异常消除，而突出小导体异常。其原理是：当仅有一个大导体时F曲线应满足下式：

$$\frac{F'_A}{F_A} = 1, \quad \frac{F'_B}{F_B} = 1$$

F'_A 、 F'_B —实测曲线； F_A 、 F_B —为理论曲线。当大导体旁有一小导体时，则方程应为

$$\frac{F'_A}{F_A} = \frac{\rho_{rA} \cdot \rho_{rA0}}{\rho_{rB} \cdot \rho_{rB0}} \neq 1, \quad \frac{F'_B}{F_B} = \frac{\rho_{rB} \cdot \rho_{rB0}}{\rho_{rA} \cdot \rho_{rA0}} \neq 1$$

$$= \frac{\rho_{rA0}}{\rho_{rB0}} = F_A, \quad = \frac{\rho_{rB0}}{\rho_{rA0}} = F_B$$

ρ_{rA0} 、 ρ_{rB0} 分别为小导体产生的 ρ_K ，而 F_A 、 F_B 分别为它的比值曲线F。

由上述方程可见，实测F值比理论F值之商，

恰为小导体的F曲线。这就是改正的基本原理。不难证明当小导体不存在时 $\rho_{\kappa A_0} = \rho_{\kappa B_0}$, $F_{A_0} = F_{B_0} = 1$, 仍然满足 $\frac{F'_A}{F_A} = 1$, $\frac{F'_B}{F_B} = 1$ 的条件。

下面举一个计算方法的实例。在某测线上由F曲线看出共有四个异常, 仅I号异常有交点, 其他无交点或不明显。如图5中之第一条曲线, 由于导体向南倾, 倾角80°, 地形坡度为北20°, 所以大导

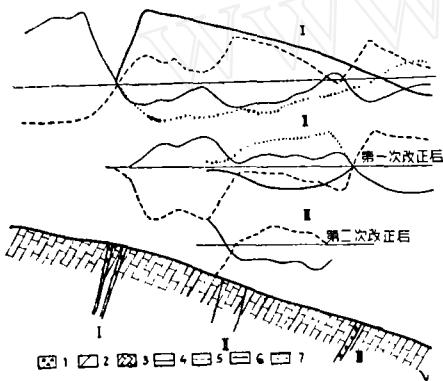


图 5

- 1. 断裂带; 2. 小断裂带; 3. 灰岩;
- 4. 实测 F_A 曲线; 5. 实测 F_B 曲线;
- 6. 理论 F_A 曲线; 7. 理论 F_B 曲线。

体可看作直立, 根据前述大导体左支(南部)异常, 视为无畸变的正常状态, 以交点为中心作镜像, F_A 变为理论的 F_B , 而 F_B 变为理论的 F_A 。为计算方便起见, 将F曲线画在单对数纸上, 把实际 F'_A 与理论 F_A (即 F_B 的镜像) 相减得 F_{A_0} , 把 F'_B 与 F_B 相减得 F_{B_0} , 再将 F_{A_0} 、 F_{B_0} 画出曲线, 得到了第III导体的明显交点, 正位于断裂带上方, 见第二条曲线。但第II导体仍未出现交点, 证明第III导体对第II导体又有较大影响, 因此又以第III导体之交点为中心将其右支作镜像改正第II导体, 作法同前, 结果又得到第II导体的明显正交点, 见第三条曲线。其位置与断裂吻合很好。对于小极距改正只进行一次, 两个导体的交点都同时出现。主要因为极距小, 两个导体间影响迅速减弱的缘故。但应指出, 严格说应反复逼近, 即再考虑小导体对大导体的影响, 进行改正。然后用它再来改正小导体。但是如果小导体对大导体影响不大时, 这样改正, 精度能满足实际需要。

当矿体非近直立时, 理论曲线不能取自实测曲线, 因为倾斜导体交点两侧曲线不对称。这时理论曲

线可由图网或实验取得。

为进一步肯定研究结果的正确性将在该测线以实际地形加上三个矿体, 其大小是I号大于III号, III号大于II号, 实验结果证明, 三个导体场迭加后, 测得的曲线与实际完全一致, 这更说明了这种解释方法是正确的。

3 消除低阻岩系及浮土影响的方法: 由于所寻导体附近经常出现低阻岩系接触带, 以使 ρ_{κ} 曲线无交点或把交点排斥很远, 故无法肯定导体是否存在和存在位置, 所以必须消除这种大干扰场。同样采用 $\rho'_{\kappa}/\rho_{\kappa} = \rho_{\kappa_0}$ 公式对接触带进行改正, ρ'_{κ} —实测值, 包括两个不同电阻率岩层影响和导体影响; ρ_{κ} 为接触带理论值; ρ_{κ_0} —为导体产生的 ρ_{κ} 值。

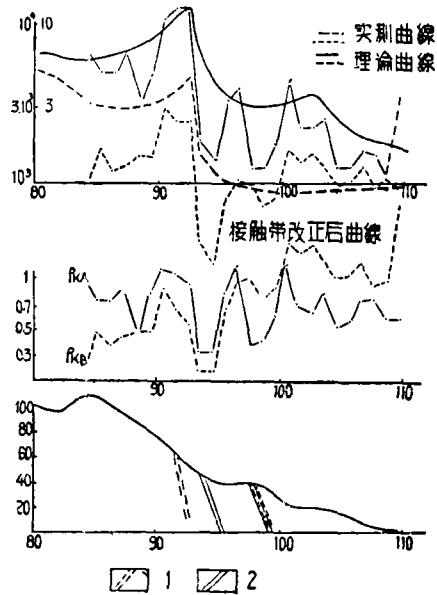


图 6

- 1. 地质根据钻孔资料推测断层; 2. 物探推测断层。

在某多金属矿床上用联合剖面法追索含矿断裂时, 得到图6之结果。从图6看出明显接触带反映, 并且在108—109号出现一正交点, 如果采用正交点确定导体位置就错了。当我们消除了接触带影响后, 导体异常明朗化, 显示出两个平行导体的低阻带, 并且在二者间出现正交点, 此系二导体综合影响所致。而108—109号的交点被改正掉了。根据消除接触带影响后确定的导体位置与后来工程(钻探)揭露结果吻合很好, 仅I号导体位置稍有移动, 主要由

(下转第25页)

巴”——带水，电表上的指针，仍在左右摆动，所以是否与水面真正接触，无法判断。經多次改进，最后采用单极（一极固定在测水管上端，一极与水面接触），外壳由金属而改用直径2厘米的竹筒代替（图3），长15厘米左右，上端做成圆锥形；为了增加重量，内填鋼砂，用松香或蜡封闭。使用結果，完全克服了上述毛病。既經濟簡便，材料也容易解决。

2. 测水管的下置深度，根据我們的經驗，最好比风管长6~8米。这样，不会因风管出风的关系，而影响水位波动。

3. 安装测水管前，一定要检查测水管接头处管端内径是否光滑，如果残留“毛边”，要設法去掉。测水管一定要直，有任何弯曲都不宜用。

（三）其它安装方面：

1. 为了便于调节风量和压力，除风包处需要安装放风閥和压力表外，尤其紧要的是在孔口一定要安装。这样，值班观测人員可以得心应手，随时随地进行调节控制，大大地有利于抽水时间的縮短和抽水质量的提高。

2. 三角堰箱必須安放平穩，并經常校正检查。

四、抽水工作中的经验和教训

（一）准备工作：抽水前的准备工作十分重要，

抽水所需一切，从设备仪表，到一个零件或一支鉛笔，最好都要有专人經管。

（二）抽水工作中的經驗教训：1. 正式抽水之前，一定要进行試抽，除清洗孔壁外，更重要的是借以检查机械設備仪表等安装是否妥善。試抽中所存在的大小問題，必須处理好了，才可正式进行抽水，否則，宁可不抽。不然造成中途停車，带来損失。

2. 每次抽水之前，对测绳、电极、电表和时钟等，均要仔細检查和校对，在抽水中途，对测绳、电表等，最好能检查校核，以免有誤。

3. 当水位和流量进入稳定阶段后，千万不要輕易拨弄开关、閥門和柴油机上的調速器等；否則，很难調整恢复。

4. 当钻孔湧水量每秒小于1公升时，切忌使用三角堰箱测量流量；一定要用接水法。否則，必然超差。

5. 风、水管的面积比一定要相适应；出水管也要适应钻孔的湧水量。否則，水位和流量波动很大，出水不均，无法稳定下来；有时甚至抽不上水。

6. 风、水管的沉沒比，根据我們多次經驗証明， $\frac{H}{h} = 1.5 \sim 2.0$ 较为理想（H——风管浸入水中的深度；h——水位至出水口的距离，单位均为米）。

7. 压力表最好采用每格刻度0.1公斤/厘米²的，因为精度高，讀数准，利于調整压力，使水位和流量易于稳定下来。

8. 使用的柴油，事前一定要进行检查，如果含水过多不着火就不能用；或使機車轉速不勻，影响抽水质量和抽水工作的順利进行。

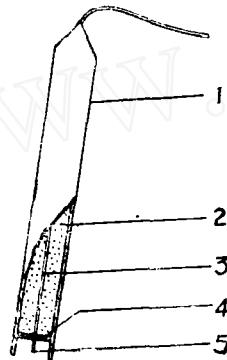


图3 电极测水器示意图

1. 竹筒；2. 鋼砂；3. 广
綫；4. 用松香或蜡封閉；
5. 电极（銅綫）

（上接第16頁）

钻探結果上推所引起的錯誤，所以不难相信，这种消除方法是成功的。

另外在消除浮土不均匀的影响方面，我們采用砂盘模型加浮土（用炭粉和泥砂掺拌）研究其畸变已获得良好效果。

小 結

研究了资料推断解释方面的情况，当然我們也不排斥或不能忽視从改变电极装置方面来消除干扰，突

出异常清晰度或者简化异常的可能性。我們认为解释联合剖面法异常时必须消除各种干扰，尤其当干扰强大时，否則解释推断将变为不可能。所以找出一个适合广大实际工作使用的解释方法，并加以完善是十分重要的，从而达到提高推断解释水平提高地质效果。

最后強調指出，山区金属矿床电法勘探目前虽已广泛应用，但在应用理論和經驗方面，远不能滿足生产实践的需要，在我們今后工作中須給以足够重視，并结合工作的特点逐步扩大和完善方法的有效性。