

物探在风化地区探寻深埋的硫化矿床

深度风化在热带造成氧化硅，产生红土；在温带表现为深达百余米的氧化带和作为矿床标志之一的铁帽。这种氧化带往往是一种低阻的复盖层。

本文讨论的问题，限于在既不导电又无磁性的深度氧化环境里直接寻找硫化矿（闪锌矿除外）。

重磁方法在风化很深的地区探寻硫化矿能起很大的作用，但大多数是间接作用。比马矿（亚利桑那州）在砂卡岩中伴生有大量磁铁矿；巴格达德矿（也在该州）具有磁性低的特征；在比斯比（也在该州）广泛运用重力法寻找新的块状硫化物富矿。但是在风化很深的地区许多著名的硫化矿床都没有重磁异常。

在风化深的地区，物探在找矿中起了主要和次要作用的有电磁感应法和激发极化法（简称EM法和IP法）。例如在比马矿，EM和磁法的异常吻合可看成找矿标志。IP寻找

斑铜矿是有效的，秘鲁的夸群斑铜矿是验证IP异常时发现的。

IP是利用超电压现象，利用许多分散的金属矿物颗粒所引起的假电容效应；而EM是利用由块状或细脉硫化矿产生的电磁感应效应。图1说明这两种方法的找矿效率与硫化物含量（体积百分数）的一般关系。图2表示百分之几的硫化物对某地的辉长岩的电阻率有很大的影响。图3却表示在另一地区由于在风化带中硫化物缺乏相互间的联系，其含量对岩石电阻率的影响很小。

现在举两个极端的例子：纽蒙特公司最近遇到一种花岗闪长岩，其中含有相互间联系很好的、占体积百分之三、四的硫化矿物，其电阻率是不含矿的花岗闪长岩的1/150，实际上小于2欧姆米。而该公司几年前在新不伦瑞克遇见的却是另一种情况，虽然含硫化物30%（以体积计算），但因矿物呈分散的金属颗粒产出，电阻率仍然很高。

子分析（Q式因子分析和R式因子分析两种）。

在实际工作中，往往是几种方法联合应用，例如先对原始资料进行因子分析，求得若干主要因子，然后对这些因子进行趋势分析。研究这些因子的趋势。利用低阶趋势面代替背景值，求出剩余异常，这种方法被认为是最有前途的数据处理方法。

上述各种统计分析方法，要做浩繁的计算，所以主要依靠电子计算机进行。这方面的研究工作，大多是由地质人员和计算人员合作进行的。

此外，也有一部分人研究简易的统计方法，不必使用计算机，例如用中位数四分法估算线性相关系数，用列线图检验概率分布型式等等。

除上述外，目前尚处于试验研究阶段的

还有两个方面：1.在化探中应用同位素地球化学，主要是试图利用铅、硫和氧同位素的研究来解决找矿方向、找矿标志、圈定具体矿床（矿体）的位置等问题；2.航空化探，美国主要应用放射化学方法（ γ 射线能谱分析）、加拿大研究碘、汞等气晕。英国则提出“空中微细颗粒取样”的方法。

由于上述这种迅速发展的形势，国际上的交流活动十分频繁，并根据需要建立了国际性的化探组织，有些国家进一步采取了相应的组织措施。

总之，近年来地球化学勘探取得了稳定的进展，目前正在使勘探地球化学从一种有用的勘探手段发展成为一种很重要的勘探手段。

（冶金部化探学习班供稿 林名章整理）

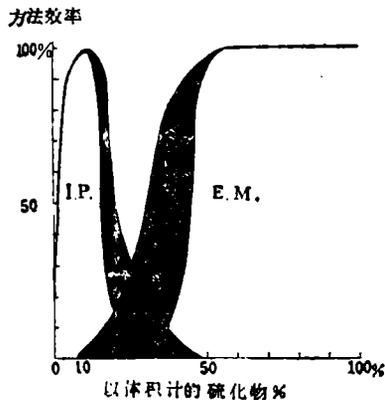


图1

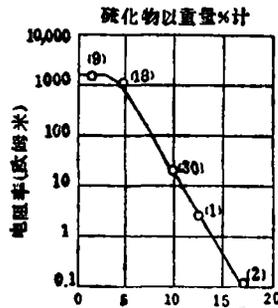


图2

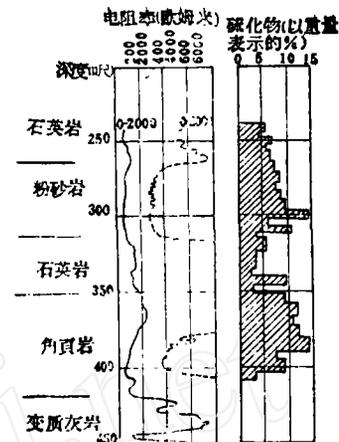


图3

因此，在绝对的物性基础上，当矿体所含硫化物在10~30%（按体积计算）这一范围时，IP和EM这两种方法的效能却不够高，到底应用其中哪种方法，应根据当地具体条件决定。

但是，块状硫化矿通常在某个或某些方向变成浸染状，所以有可能用IP法探寻到浸染矿带，从而发现块状硫化矿体。

在温带的许多风化地区，接地条件不利，有些地区地表导电率高，需要向地下供入强大的电流，以便获得足够大的有益讯号；有些地区对建立足够好的电流回路有困难。EM法不需要接地，所以接地条件的好坏对它没有影响。

另一方面，在深度风化地区，由于导电表层（导电率一般为0.05到0.2姆欧/米）的影响，对于常用的航空和地面电磁法的工作很不利。多数EM法对地表干扰有反应，而对地下基岩却没有反应。例如用400赫的EM仪器工作，0.2姆欧/米的导电率所给的趋肤深度大约是56米。换言之，发射能量在近地表150米的范围内已损耗殆尽。

对二度体而言，不论矿石是块状还是浸染状的，在深度风化地区IP都是一种可以获得明显异常的找矿手段。当然，这只有在正确的野外工作和有经验的推断解释的条件下，才能做到。

对于规模中等的、球状的致密硫化矿

体，在深度风化的覆盖层中假设它的埋深是其半径的几倍。例如塞浦路斯的马夫路浮尼矿（现已采空），储量1500万吨，含铜4.5%，矿体呈土豆状，矿石是连续的块状硫化矿。围岩为一套较新的枕状熔岩。该矿是根据地表迹象发现的，但它的主矿体部份所在的深度已超过130米。对于这样的一个矿体，如果它产在近代沉积物60米以下的深度，可能用IP法发现不了。以马夫路浮尼矿为例，忽略不计蚀变表生粘土所产生的影响，利用赛吉尔的球体的IP反应近似公式来计算一下所能获得的IP反应。假设矿体的半径 $r \approx 90$ 米，矿体的充电率 $M_2 = 40$ ；背景充电率 $M_1 = 10$ ；矿体的电阻率 $\rho_2 = 0.05$ 欧姆米；背景电阻率 $\rho_1 = 5$ 欧姆米；矿体中心深度 $d \approx 180$ 米， F 取决于所用的电极装置的形状因数（在三极装置中 $F = 0.7$ ），则有：

$$\frac{M_2 - M_1}{M_2 - M_1} = F \frac{6r^3}{d^3} \frac{\rho_1 \rho_2}{(\rho_1 + \rho_2)^2} = 5.25 \times 10^{-3}$$

所以直接在矿体上方可以得到高于背景1.6%的反应。但考虑到火山岩层中背景的不均匀性，要求至少高于背景30%的IP反应才能有把握肯定是矿异常。

由此看来，在深度风化的覆盖层下面，寻找500~2000万吨的块状硫化矿（例如寻找一个含铜2%的700万吨的硫化矿，其直径约

150米), IP法未必是最好的勘探手段。

图4说明电磁感应法的模型实验结果。导电地层(实际上是硫酸)是均匀的。“矿体”的导电性比背景的导电性大四个级次。虽然矿体呈球状,埋藏深度等于球状矿体直径的两倍,可以看出只是在很低的频率下才有反应。

总结起来:

- 1.应该有一种方法可以勘探导电率异乎寻常的覆盖层下面,埋深等于其半径3倍的球状致密硫化矿体。
- 2.IP法在正常情况下不能作为一种手段。
- 3.常用的EM法因受到覆盖层屏蔽的影响,效果不好。
- 4.EM法需要加大线框距到300米,所用的频率范围在3到20赫内。但这样的一种EM仪器太笨重,费用大,以致实际工作中无法推广应用。

现在看一看时域的电磁感应法。图5表示各种不同的发射波形的频谱。阶梯波形和斜梯波形在所需要的频率范围内将发射能量集中,能穿透良导性的覆盖层。

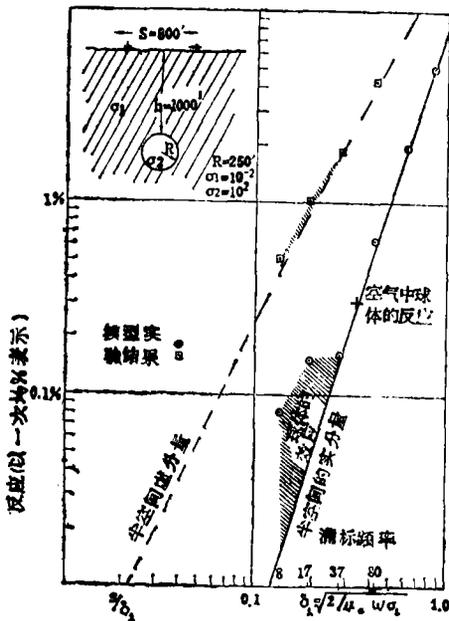


图4

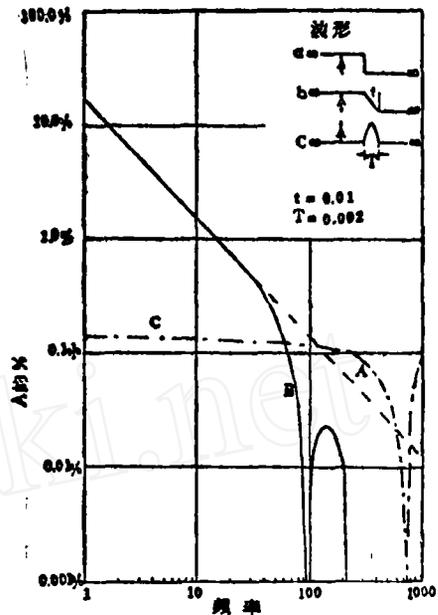


图5

时域电磁感应法具有如下的优点:

- 1.不需要接地电极;
- 2.测量是在一次场移去后进行的,不需要严格保证发射和接收线框精确地照准;
- 3.属于绝对测量,二次场是异常场,勘探深度大,可以分辨导电覆盖层和深部矿体所产生的异常。

其缺点是:

- 1.为了接收所需要的瞬变讯号,接收仪器必须是宽频带的;
- 2.为了获得足够大的讯号噪声比,一次场必须足够强,所以发射装置较笨重;
- 3.要求发射线框绝缘好,接收线框灵敏度要高。

苏联在1961年制成一种地面的时域电磁感应法设备,利用边长几千呎的水平回线,在回线内测量垂直二次场。图6是用该仪器试验所得的结果。测区覆盖层的导电率为0.1姆欧/米,厚度为50米。可以看出在背景反应消失后,矿体在长时间内还表现有明显的反应。图上还附有频率域EM法测得的结果,但不及时域法的结果明显。

1962年纽蒙特公司也制成时域的EM仪器,与苏联报道的类似.要求勘探深度能在10

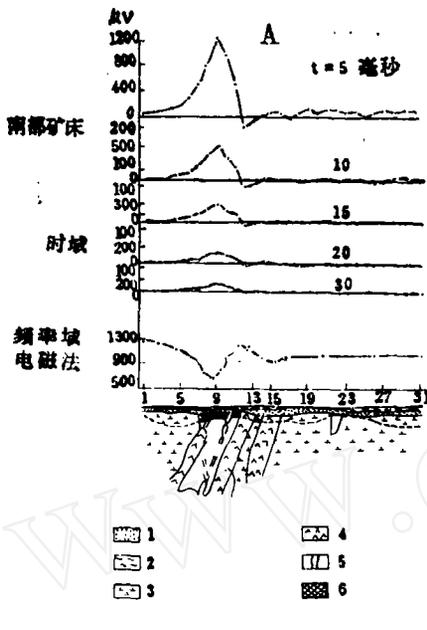


图 6 A

1. 冲积砂土、砾岩层; 2. 各种颜色的粘土;
3. 混合成分的灰质凝灰岩; 4. 辉长辉绿岩; 5. 块状硫化铜矿; 6. 松软黄铁矿和 多孔矿石

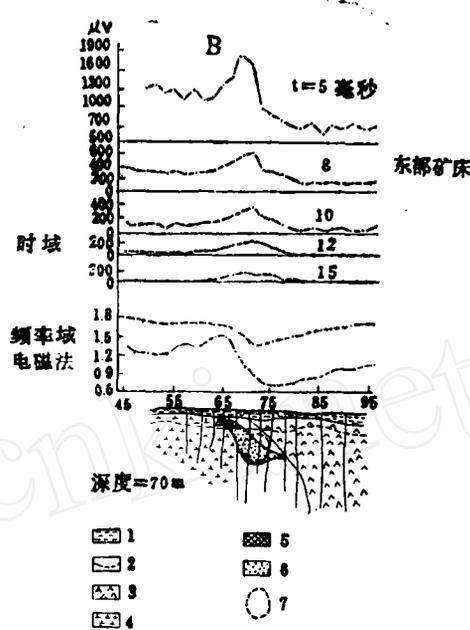


图 6 B

1. 粘土、冲积砂土、杂色砂砾; 2. 氧化带边界; 3. 辉绿岩、辉长辉绿岩; 4. 绢云母页岩; 5. 矿脉附近的松软黄铁矿; 6. 块状硫化铜矿; 7. 等效球体的轮廓

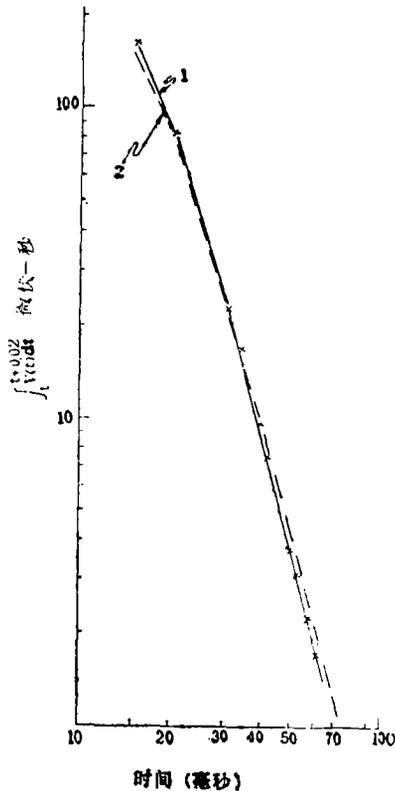


图 7

1 - 观测的曲线; 2 - 推断的曲线 (S = 25 姆欧)

姆欧的覆盖层的条件下达到球状矿体半径的 4 倍。该公司在塞浦路斯实际上所遇到的覆盖条件，其厚度与导电率的乘积不是 10 姆欧，而是在 20~35 姆欧之间。经常遇到的岩石断面是厚百余米的高导电性的泥灰岩，覆在厚层风化的含盐的枕状熔流上。

图 7 表示典型的衰减曲线与推想的 25 姆欧的覆盖层的理论曲线很吻合。

图 8 是在各相邻回线中心测得的曲线。No. 1 曲线是一个强大的异常，回线位于埋深约 130 米的一个约 1000 万吨块状硫化矿矿体的上面。图中阴影表示与岩层反应曲线的差异。No. 2 曲线是另一矿体的反应，但异常不如前者大。No. 3 曲线是在一个弱矿化带上的反应，反应的时间稍提前。No. 4 和 No. 5 曲线完全是覆盖层的反应。

图 9 并列地表示出图 8 中实测的异常最强的那条曲线和假设在 20 姆欧覆盖层下面、埋深 100 米的一个 700 万吨矿体上计算得的理论曲线。另外还绘出所计算的覆盖层和球状矿体单独的反应曲线，说明反应的叠加作用。

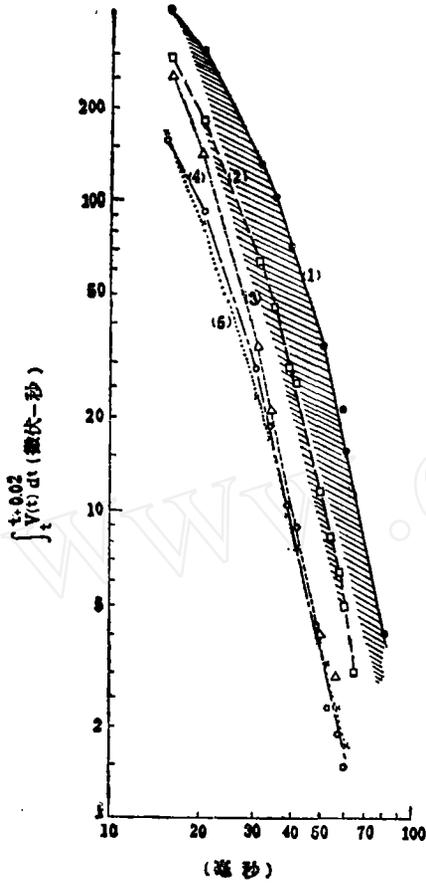


图 8

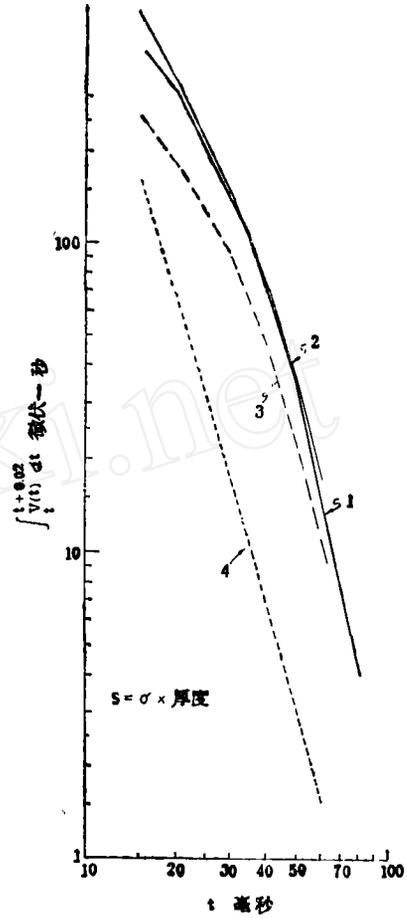


图 9

1. 观测的曲线 (1000万吨块状硫化矿, 在 $S \approx 25$ 姆欧的覆盖层下 130 米); 2. 推断曲线 - 700 万吨块状硫化矿 ($\sigma = 20$ 姆欧/米) 在 $S = 20$ 姆欧的覆盖层下 100 米; 3. 推算的 700 万吨球体单独的衰减曲线; 4. 推断的 $S = 20$ 姆欧覆盖层的衰减曲线

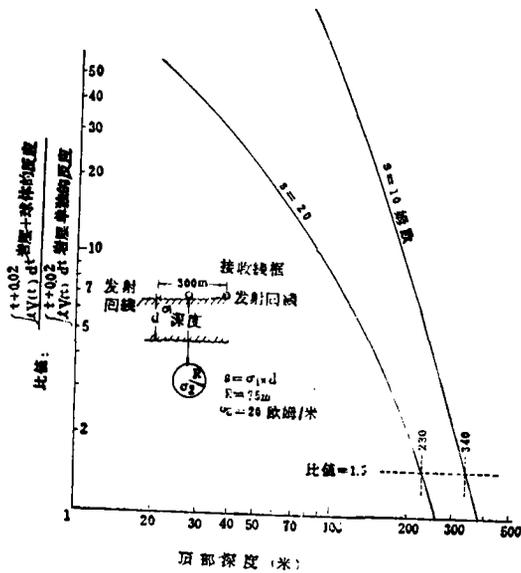


图 10

图 10 说明纽蒙特公司时域 EM 仪器的勘探深度。计算出的一个 7 百万吨的矿体反应分别与 10 和 20 姆欧的覆盖层的反应的比值。实际上可以认为 1.5 的比值可以穿透 20 姆欧的覆盖层 230 米，可以穿透 10 姆欧的覆盖层 340 米。

尤启明 摘译自《Mining and Groundwater Geophysics / 1967》，P. 336 - 343，作者：W.M. 多兰