



我国金属矿物探中需要深入研究的几个问题

杨尔煦

我国金属矿物探已经过了三十年发展的历程。由于广大物探技术人员的努力，不论是在理论计算还是在野外找矿方面，都取得了很好的成绩，累积了宝贵的经验。

磁法方面的地质效果最明显。五十年代基本上是研究强磁异常。六十年代是研究低缓异常。当时很多铁矿区为了提高精度，都重新系统地扫面积。因为只有磁测精度提高以后才有可能研究低缓异常。低缓异常的概念包括的范围很广，一般是指单个孤立数值为几百伽马的异常，过去一直被忽视。1964年邯郸中关低缓异常见矿以后，大家这才注意。以后研究这类异常发现了不少新矿床，如山东莱芜张家洼异常。另一方面还研究了和强磁异常叠加在一起的低缓异常，我们称之为剩余异常或次级异常的研究。这方面的例子很多，如大冶铁山矿体是1952年勘探完的大型铁矿，稍微详细地研究一下，就发现矿体和磁异常二者对不上。在原有矿体的南部发现有剩余异常，打钻以后新增4000万吨储量。目前磁法研究已进入第三阶段，要研究复杂异常，也就是要在强干扰背景下分辨较弱的异常。

在磁法推断解释方面，五十年代解决了我国低到中纬度地区倾斜磁化条件下的推断解释问题。以后由于电子计算机的应用，对于航磁和地磁数据的处理研究出很多滤波方法。最近又解决了各向异性条件下的推断解释。这样就对我国沉积变质型铁矿磁异常的认识大大提高了一步。如图1所示的几条曲线，就是在对同一形态的矿体异常进行推断解释时，用各向同性或各向异性，在不考虑退磁作用或考虑退磁作用的不同情况下所得曲线的对比。从图1可见，异常形态出入很大，因此如果不考虑各向异性，甚至在推断时会引起概念性的错误。

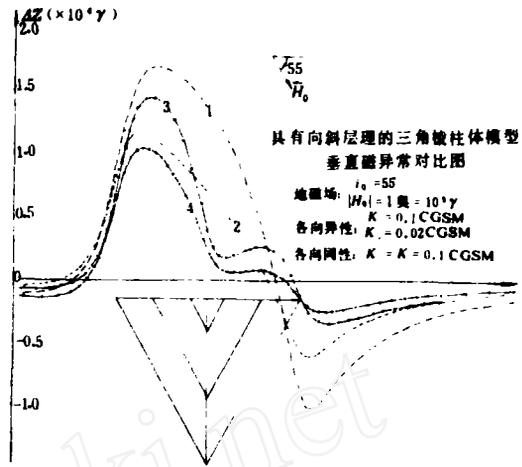


图1 各种计算方法磁异常对比图

- 1—用传统方法算（各向同性，不退磁）
- 2—用有限元法算（各向同性，退磁）
- 3—用 Замицкий 方法算（各向异性，未退磁）
- 4—用有限元法算（各向异性，退磁）

在视电阻率法上，五十年代大搞联合剖面法，发现地形影响很大。为此在六十年代初研究了电剖面法的地形组合规律和近似的地形改正方法。由于地形引起的视电阻率剖面法曲线是一条极为复杂的曲线，如果不改正将使电剖面法结果无法推断。在地形影响未解决前某一段时间内，电阻率剖面法和电测深法工作量曾经一度大为下降。

激发极化法是六十年代我国新兴的一种方法。在时间域激电仪器上研制了短导线和一次场触发接收机，提高了激发极化法的工作速度。在频率域激电仪器上也研制了多种方案。目前激电是我国电法工作中使用最多的一种方法，地质效果也较好。研究工作主要集中在研究区分矿与非矿异常，但是在推断解释上还进展不大。

在电磁法上不论是大定源法、偶极法，还是甚低频法都研制了各种仪器，由于仪器不过关，方

法研究不够,电磁法没有得到推广。这些方法是在北美和北欧地区发展起来的,特别适合于接地不好或高阻表层地区。因此根据这个特点要考虑推广的地区,例如内蒙,西北各省(自治区)是很适合的。

过渡场法正在试验研究中,可能比电磁法更有远景。

在精密重力勘探上,六十年代是找铬铁矿,七十年代是找富铁矿,花费了人力物力很大,而地质效果并不佳。

搞精密重力勘探必须首先研究地形改正方法,我们改变了扇形柱方案,采用了能用电子计算机的方格柱地形改正方案。另一方面,用航空或陆地摄影底片,经大型座标测量仪取得高程数据这两项改进大大提高了地改计算工作的速度,现在正在研究地改工作自动化的问题

问题是经过地改后,地形对重力结果的影响仍然存在。这是由于实际高改系数和理论值(0.308毫伽/米)存在偏差,以及布伽密度选择不符合实际情况所致。江苏冶金地质勘探公司研究了这个问题,他们根据山形异常和高程的线性相关特点来求出和地形无关的局部异常。图2所示就是一个计算的实例,由于这两项引起的误差,使校正的密度值 $\Delta\sigma$ 达0.43。这个方法只能适用于较小的面积,如果地表岩石密度是变化的,则这个校正值也会变。这就是目前重力研究工作中的变密度问题。由于这些问题的存在使得经过精心改正的精密重力勘探资料存在着不少地形异常,因此地质效果也就较差。

重力勘探目前看来主要还是研究大构造、隐伏岩体,进行间接找矿的效果较好。

在地下物探和测井上也取得了一些进展。应用得比较广泛的是井中三分量磁测,井中和井地之间的激发极化法以及坑内井内无线电波法。研究井壁的金属矿测井已开展了中子活化测井, X荧光测井和磁化率测井,但都不能进行多元素测定,想要在金属矿区使用无岩矿芯钻探,差距还很大。

以上这些成果都是广大物探技术人员研究中的一些突出例子,反映了我国金属矿物探的技术

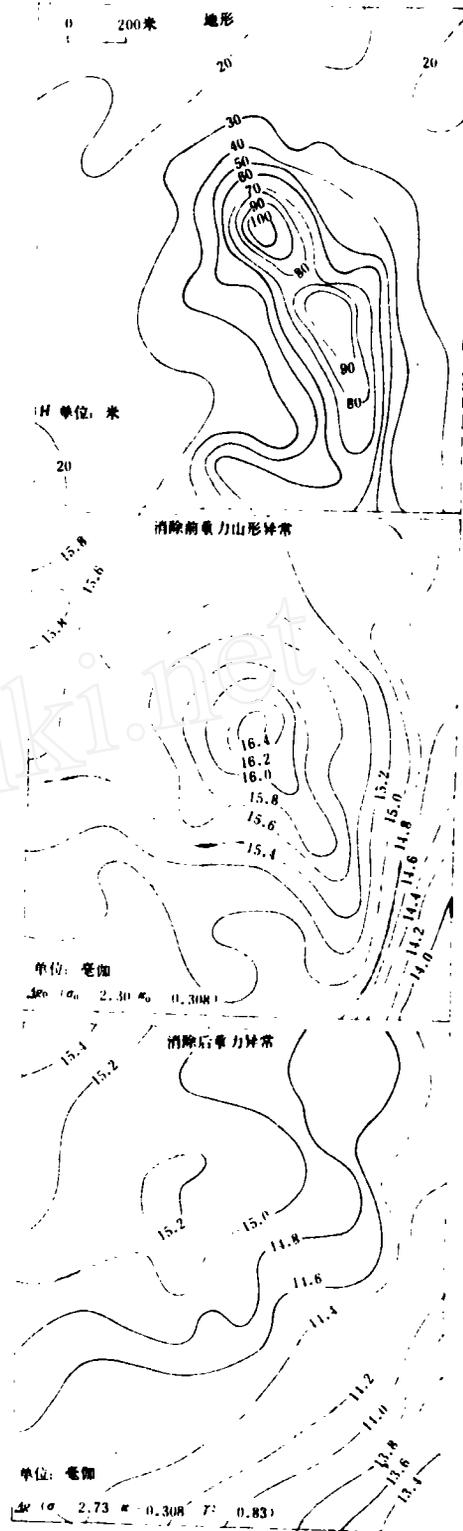


图2 重力山形异常消除前后对照图

水平。但是我国金属矿物探也存在着不少问题，提出来和大家讨论，以推动金属矿物探的发展。

物性参数

岩矿石物性是物探工作的基础，正是利用了各种物性差异才形成各种不同的物探方法。不测物性，不研究物性是很难进行正确推断解释的。近几年来有不少单位开始研究物性，但还没有受到应有的重视。

现在很多野外队甚至研究所，测量物性参数仍停留在统计方法上。把测的数据按岩石分类列个表，最多搞一个直方图。然后把物探剖面 and 地质剖面直接进行对比，就算做出了解释。当然这样做法是能找出一定的规律，但很粗糙，甚至会有错误。

江苏伏牛山铜矿上所做的激发极化法剖面（见图3），是一个用激发极化法发现铜矿体成功的例子。他们用43、53号两个钻孔揭露了火成岩体内部的含矿夕卡岩，地质效果很好。所获得的异常也很明显，在43、53号钻孔上有两个浅部的激电异常。在背景上又可以看出存在一个平缓的激电异常。两个浅的和一一个深的异常是和哪个地质体对应呢？现在很难解释清楚。这就是由于物性参数研究不够所致。如果我们对43、53两个钻孔岩芯系统测一下极化率，就有可能圈出极化率高的范围，可以称为极化体。极化体圈出以后一定会容易解释上面的激电异常。极化体的形态很可能比矿体要大，而比夕卡岩要小。

这是一个很普通的例子，说明在金属矿区不能把地质剖面图和异常图一对比就算完成了推断解释。还要测出物性参数，圈定物性体，以研究异常到底是什么引起的。这是物探工作中一个

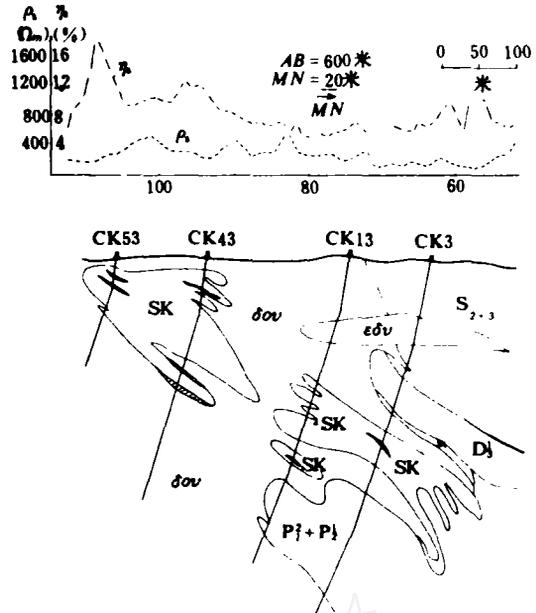


图3 江苏伏牛山铜矿综合剖面图

根本问题，这样做才能深入认识异常。

为了解决物性参数测定问题，有必要组织人力物力作专门的研究，可以概括为以下几个问题。

1. 需要研究制造快速简便的各种物性测定仪。按照不同对象应分为测钻孔岩芯和测标本的物性仪器，在地面露头上和坑道中在岩石表面测量物性的仪器以及在钻孔中用测井方法测井壁岩石物性参数的仪器。

目前所使用的物性参数测定方法很不统一，例如极化率，各单位的测定结果很难对比。是否能代表激发极化法野外工作的参数还值得研究。

2. 物性测定结果要表示在地质平面图上或地质剖面图上，要圈出物性体。

过去认为磁铁矿体是比较均匀的，磁化强度求一个平均值可能就差不多了，实际上相差很大。

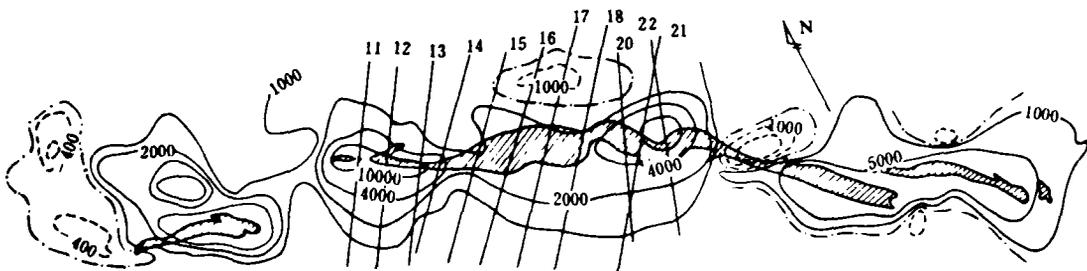


图4 大冶铁山铁矿磁异常和矿体平面图

前面提到的大冶铁山铁矿是一个强磁异常，当研究剩余异常，找到新矿体的时候，还发现有些地段矿体和异常对不上。如图4所示，整个磁异常极大值在5000~10000伽马之间，只有在15~18线这一段是3000伽马。中南冶金地质勘探公司对该铁矿按剖面分矿体详细测定了铁矿石的磁化强度。发现在16、17、18三个剖面上的上部矿体磁化强度比一般矿石要低3~30倍，如表1所示。

铁矿石的磁化强度 表1

剖面号	铁矿石磁化强度
9	0.130 C. G. S. M.
10	0.136
11	0.088
12	0.105
14	0.112
15	0.145
16	0.0042(上部矿体) 0.16 (下部矿体)
17	0.022 (上部矿体)
18	0.038 (上部矿体) 0.11 (下部矿体)
20	0.143
21	0.147
22	0.076

通过矿石参数测定以后，再做定量计算才取得了较好的拟合。这说明即使是在同一个磁铁矿区的同一个矿床中，不同矿体或是矿体的不同部位所反映的物性也往往不相同。至于有色金属矿区的物性体一定会更复杂。

3. 要研究异常、物性体和矿体三者的关系。

异常和矿体并不一定有直接关系。异常往往由地形影响、表层干扰和岩石组成的物性体等因素构成。如果去掉了地形影响以后，异常是由物性体引起。在异常和矿体之间有一个中间媒介，可把它称为物性体。物探人员对异常研究得很多，但对物性体很少进行实际测量，只有实测了物性体才有可能建立符合实际的物理模型，才有可能通过定量计算把异常和物性体联系起来。建议野外队和研究所要加强物性体的实测。

矿体和物性体之间是一个复杂的关系。在最简单的情况下，矿体和物性体一致，如矿体界线明显的磁铁矿和块状硫化物矿。第二种是物性体大于矿体并包含着矿体，如浸染状矿体其极化体往往大于矿体。第三种情况是物性体和矿体不重合，如斑岩铜矿上黄铁矿化往往在铜矿体的外圈。这时极化体和矿体不重合，甚至是分离的，但可以通过地质规律从极化体找到斑岩铜矿，也就是说矿体和物性体之间是通过地质规律联系起来的。第四种情况物性体和矿体完全无关，这就是说物性体不能反映矿体或指示矿体。

因此当异常消除了地形影响等干扰以后，搞清了异常、物性体和矿体三者之间定性和定量的关系，才能做出正确的推断解释，才能获得真正的经验。

4. 要研究新的物性，发展新的物探方法。

物探方法发展的最根本问题涉及到两个方面。一是发现和利用新的物性。例如极化率这个参数就是1960年以后才广泛用于金属矿找矿的。这个现象是1920年法国科学家施伦贝尔热发现的，但经过了40年才造出了可以较精确地测量激发极化电位的仪器和制定出一套工作方法。二是利用新的天然场源和设计人工场源，发展新的物探方法。这些都是探索性的工作，必须组织专门研究。

山区物探问题

对北美、北欧和澳大利亚来讲，大多数地区地形比较平坦，在物探方法中很少讨论地形影响问题。我国山区多，尤其是金属矿区大多数是山区，因此地形影响是我国物探工作中所遇到的一个突出问题。

如果按地形影响的大小进行分类，物探方法可分为三类。一类是地形影响较小的方法，如激发极化法，测虚分量的电磁法等。为了易于推断解释，应该特别注意发展地形影响较小的方法。激发极化法之所以能在我国大量发展，这也是一个重要的原因。第二类方法是有时存在地形影响。如磁法，但并不是所有矿区都有严重的地形影响，而仅在某些地形起伏特别大的矿区才碰到。第三

类是存在严重地形影响的方法。如视电阻率法和精密重力勘探等。对这两种方法三十年来我们一直都在为消除地形影响而努力,当然其地质效果也有所提高,但是确实很艰巨。

山区物探普查还需要考虑技术装备的轻便化,使普查工作快速进行。尤其是当前我国正在加强有色金属矿床的普查,电法工作应该搞出像磁法那样高效率的快速方法。

用磁法普查铁矿效果好的原因,不仅仅在于铁矿磁参数比较突出。另一方面是仪器轻便、航空、地面和地下三方面配合,因此每年获得的磁测数据量很大,扫面积达几万平方公里。有了大量磁异常才能搞出好的地质效果。而目前电法工作量只相当于磁法的百分之几,显然电法地质效果是不会好的。

电法工作目前可用于普查的方法有两种:一是梯度测量的自然电场法。自然电场法在做电位法时,要联系基点,跑极时还要收线,这些原因都限制了自然电场法用于普查。再加上MN距离远的时候,工业电流干扰加大。为此我们在甘肃西成矿带上,试验了梯度测量的自然电场法。证明自然电场电位测量和梯度测量找矿效果是一样的,而且在用梯度测量时,其工作效率和磁法差不多。二是用地面甚低频电磁法。成都地质学院山区物探教研室做了很多研究,其结果可以求出磁场倾角和视电阻率。这两个方法都没有场源问题,因此仪器比较轻便,虽找矿深度和找矿效果上或许稍逊一筹,但仍不失为较好的山区电法普查方法。

另一种有可能成为普查的方法就是磁大地电流法,也是一种利用天然场源的方法。美国地质调查所已研究出体积小,重量轻,便于山区工作的样机。这样就可能把各种频率的交流电法用于普查。

不过这些方法都是地面电法,真正要把普查有色金属矿搞上去,一定要大力发展航空电磁法。国外的航空电磁法基本上有两大类:一类是使用硬架飞机进行工作,如瞬变脉冲电磁法,它只能适用于平原和丘陵地区的普查。另一类是使用直升飞机的系统,如大吊舱的“迪汉”系统。这是

用于山区的普查方法。我国幅员广大,各种地形条件都有,这两种系统都会发挥不同的作用。但比较起来,还是直升飞机系统更适合我国山区的特点。

按物性体进行异常分解问题

异常推断解释的任务就是要从定性和定量上搞清异常的原因。根据目前我们物探应用的数据,可以划分为三种。一是属于场的数据,如磁场、重力场和自然电场。二是类似于场的数据。如中间梯度装置的视极化率,它的异常类似于垂直磁异常。因此这两种数据均可以用场的叠加规律来分解场、来分解数据。三是非场性质的数据。这类数据很多,是否符合叠加规律、乘积组合规律或其他规律,要通过研究才能肯定下来。例如视电阻率是很复杂的曲线,但是各种原因所引起的异常可以近似于乘积组合规律。了解这些规律是非常重要的,只有知道了这些规律,才能利用这些规律去分解异常。

近几年来异常的数据处理搞的很多。通过频谱分析可以区分不同深度的异常,可以突出某个深度的异常。其次通过场的转换可以简化曲线,如倾斜磁化的磁异常可以转化为垂直磁化的磁异常,使推断解释更为方便。因此在数据处理中包含了两种作用:一是异常转换,二是异常分解。但是在这里需要说明的是:这种异常分解是按频率来区分的。

现在需要研究按物性体进行异常分解。这方面西南冶金地质勘探公司云南金厂金镍矿区激发极化法异常是个很好的例子。金厂金镍矿产于斜辉辉橄岩和古生界哀牢山浅变质岩系的接触带上,矿体赋存在靠围岩的一侧,如图5所示。经过分析认为该异常是由两个物性体分别产生的异常组成的:一个是由超基性岩体形成的激电异常,相当于一个介质极化率为零,另一个介质极化率为12%的倾斜接触带异常;二是由硫化镍矿体和金矿体及其周围黄铁矿化所构成的极化体形成的异常。通过理论计算求出岩体异常,然后从异常中减去岩体异常,最后获得剩余的矿异常。

这个结果基本上说明了异常分解的作用。

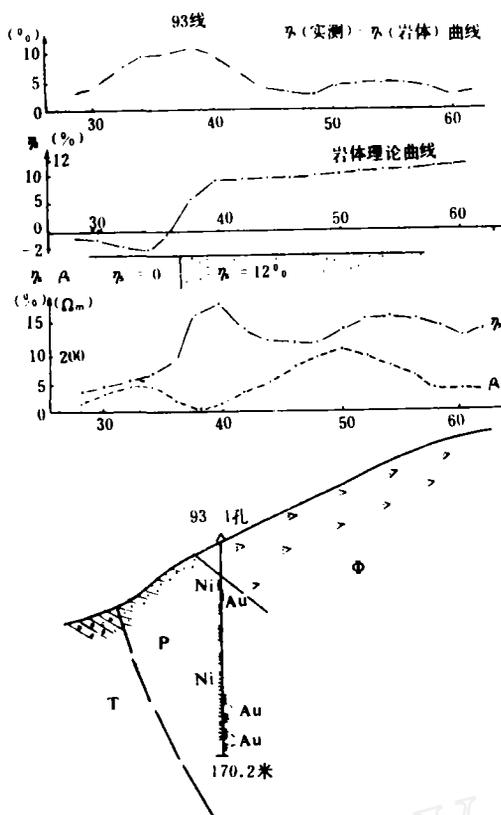


图5 云南金厂金镍矿微电异常剖面图

矿体上的异常本来较窄,现在变宽了,比较符合实际。但这个例子还没有彻底做完,应该再补充一个由硫化镍和金矿体及其周围黄铁矿化所构成的实测物性体。测了以后,通过讨论计算,如果和剩余异常很吻合,则说明这个异常分解很成功。

按物性体进行异常分解对各种物探方法都可以用。而且这种分解方法是完全不同于数据处理中的异常分解。从结果可以看出,用任何数据处理方法都不可能获得如此结果。这就是说明物探人员所用的各种数据处理方法仅仅是一种手段,帮助人们来进行解释。但它决不能代替推断。

间接找矿问题

我国金属物探工作在直接找矿和间接找矿上都取得过很好的效果。1957年云南两个旧锡矿就用电测深法寻找隐伏花岗岩体,并确定了花岗岩面的等高线。每个花岗岩突起周围都有很多锡矿体,找到了花岗岩突起就找到了矿。

由于七十年代大多数时间强调找铁矿,物探

工作只发展磁法、重力,很多行之有效的方法都用得较少,因而在工作上有了简单化的毛病。为了充分发挥金属矿物探工作的作用,除注意直接找矿外,还要注意间接找矿。

有些有色金属矿区的矿石物性差异不太明显,不具备用物探方法直接找矿的条件。但是可以找和矿有关的断层、岩体、地层和围岩蚀变等,这种物性体往往很大,用物探方法比较容易找到,可以通过这些物性体进行间接找矿。为了搞好间接找矿,对每一个矿区的地质情况要很熟悉,要知道成矿和什么地质条件有关系。这样才能采用相应的方法和最经济的途径去间接找矿。因此间接找矿不是抽象的概念,而是很具体的地质找矿实践。

从冶金地质工作而言,间接找矿的概念只局限于研究和矿田构造有关的岩体、地层、构造和围岩蚀变。因此相应的物化探工作应包括五分之一航磁、航放、地面重力和分散流等。研究的问题也只限于几公里之内的地质体。这样的结果比较具体,确实能起到间接找矿的作用。

目前有些金属矿物探工作已研究到百万分之一的航磁或重力资料。研究莫氏面和康氏面的起伏问题,研究地壳厚度的变化,研究切穿地壳的深大断裂,也就是想通过地球物理方法研究深部构造,再来搞成矿预测。这种更大范围的区域性物探研究,从长远来看肯定也会提供不少深部地质的信息,有助于研究大地构造。但无论如何讲,这一工作的领域已属于地球物理,而不属于地球物理勘探的范畴。另一方面从重力资料和航磁资料中要想准确地搞出莫氏面是会有相当困难的,莫氏面的研究主要靠深地震测深剖面,重磁只是一种辅助手段。因此要研究地壳和深部构造,还需要进行大量工作,决不是把重力和航磁数据处理一下就能凑效的。

因此在金属矿区有必要强调间接找矿的工作,但和地壳深部地质构造研究应该有所区别,这样目的性就会更明确了。

参考文献

- [1] 李先智, 1980, 几个评价磁异常的实例, 地质与勘探, 第1期, 40~50页

[2] 王书惠, 磁各向异性条件下的磁法勘探问题及其求解方法

[3] 中南矿冶学院, 直流电法推断解释的若干问题, 1980

[4] 童永春, 1981, 重力山形异常的起因、特征和消除, 地质与勘探, 第六期, 41~47页

[5] 何光兴, 江苏省伏牛山铜矿上激发极化法的应用效果

[6] 史保连, 都景荣, 地面甚低频电磁法及其应用

[7] 葛为中, 杨光禹, 1982, 金厂金镍矿区激发极化法的应用和岩体异常处理, 地质与勘探, 第2期56~60页

从背景干扰分离信号的双侧指数滤波器 扩展FORTRAN IV程序

齐文秀

前言

近年来, 在重磁数据的处理中滤波方法得到了广泛的应用; 但在电法勘探和化探数据的处理中则用得不多。本文介绍一种在背景干扰情况下, 从物探或化探数据分离信号的 Interdata Extended FORTRAN IV 滤波程序。

该方法应用 Agterberg (1974) 推导的最佳双侧指数光滑模型滤波器。这个模型考虑到一阶马尔柯夫型模式: $C \cdot \exp(-A|K|)$ 对数据的自相关函数。使用这个模型的条件是必须保证用一阶马尔柯夫型模式充分描述数据的自相关函数, 所以, 正确的估计常数 A 和 C 颇为重要。为了提高其滤波效果, 在对数据进行统计分析之前须对原始数据做适当的处理, 即从每个观测值中减去其平均值。

该滤波程序最初在美国 CDC CYBER 70 计算机通过, 经过本文作者改编, 在 Interdata 8/16 计算机上调试通过, 并增加了宽行直接打印滤波曲线的功能, 滤波程序已建立在程序库中, 用户可随时调用。考虑到 Interdata 8/16 计算机内存容量的限制, 本文只介绍数据分布为一维情况的程序, 但是, 该程序不难推广到二维的情况。同时, 经过适当的修改完全可移植到其它型号的计算机上, 具有通用性。程序还可对某些电法曲线 (如激电) 进行滤波, 也取得较满意的滤波效果, 本文提供了整套计算程序以及计算实例。考虑到篇幅的限制, 程序部分未全文刊载, 如有需要程序的单位, 可与冶金部北京地质研究所联系。

滤波器

按照维纳 (Wiener) 的理论, 最佳滤波器 $H(K)$ 阐述了记录的自相关和记录与信号之间互相关函数 $\phi_{sx}(K)$:

$$\phi_{sx}(K) = \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{r}(K+\lambda) \phi_{xx}(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

式中

$\phi_{sx}(K)$ —记录 X 和信号 S 的互相关函数。

$H(K)$ —滤波器函数。

$\phi_{xx}(K)$ 记录的自相关函数。

将该滤波器应用于记录获得信号:

$$S(i) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(K) X(i+K) dK \quad (2)$$

假定信号与干扰独立互不相关, 这时, 信号与干扰之间的互相关函数等于零。用 $C e^{-A|K|}$ 表示函数 $\phi_{xx}(K)$, Agterberg (1974) 指出滤波器 $H(K)$ 可由下式得到:

$$H(K) = [AC/D(1-C)] \exp(-D|K|) \quad (3)$$

式中,

$$D = \sqrt{A^2 + 2AC(1-C)}$$

该滤波器的特点是:

(1) 滤波器是调和的;

(2) 在 $K=0$ 点的两边显示指数递减。

在离散情况下,

$$S_i = \sum_{-\infty}^{+\infty} H_k X_{i+k} \quad (4)$$

当 $|K|$ 大于给定值 "r" 时, 滤波器 H_k 的值减