

用磁异常二维振幅谱确定磁性体埋深

安徽冶金地质勘探公司物探队综合组

桂林冶金地质研究所物探室磁法组

目前电子计算机已经广泛应用于重磁异常的数据处理,借助于电子计算机利用磁异常的二维振幅谱来确定磁性体的埋深,是一个可行的方法。现对该方法作一简单介绍。

一个周期函数,只要满足一些并不很严格的条件,就可以展成富里叶级数:

$$f(x) = \frac{a_0}{T} + \frac{2}{T} \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 x + b_n \sin n\omega_0 x)$$

$$a_n = \int_{-T/2}^{T/2} f(x) \cos n\omega_0 x dx, \quad (n=0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

$$b_n = \int_{-T/2}^{T/2} f(x) \sin n\omega_0 x dx, \quad (n=1, 2, \dots)$$

其中T为周期, $\omega_0 = 2/T$ 为基频。

如果令

$$a_n = A_n \cos \varphi_n, \quad b_n = -A_n \sin \varphi_n \quad (2)$$

代入(1)式,立即可以得到

$$f(x) = \frac{a_0}{T} + \frac{2}{T} \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos (n\omega_0 x + \varphi_n) \quad (3)$$

可见f(x)是由一个直流分量与许多谐波分量迭加而成的。 $A_n \cos (n\omega_0 x + \varphi_n)$

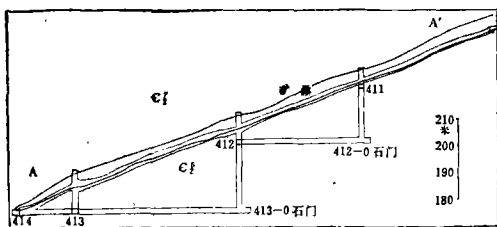


图3 IV-2矿体AA'剖面图

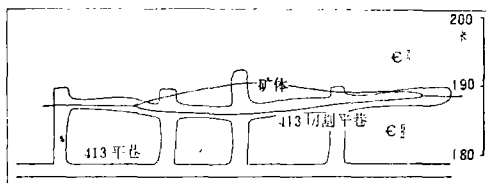


图4 IV-2矿体BB'剖面图

(电耙道)又可兼作切割巷道使用。加上切割漏斗早已在探矿-开拓作业中完成,所以,一旦结束了探矿-采准工作,同时也就完成了切割工作,从而使采准矿量和备采矿量同时获得。

在多年的工作过程中,我们认识到有这样一些矿化规律:①沿含矿层走向出现褶皱和沿倾向出现挠曲(倾角由陡变缓)时,矿

化有增强的趋势;②含矿层蚀变较好时(e_2 层为硅化, e_3 层为重晶石化),矿体将继续延长或再次出现。对矿化规律的这些认识,使我们在布置探矿天井、切割平巷和采准上山时能够不限于“就矿找矿”,而是在综合考虑各种控矿因素的前提下去布置工程,以尽可能使探矿工作取得较好的效果。

为 $f(x)$ 的元频率为 $n\omega_0$ 的谐波分量, A_n 为这一谐波分量的振幅, φ_n 是它的初相位。 $A_n(n=1, 2, \dots)$ 称为 $f(x)$ 的振幅谱, 表示 $f(x)$ 中包含的谐波分量按频率分布的大小。对周期函数而言, 它的谱是离散的, 其频率为基频的整数倍。

由(2)可得:

$$A_n = (a_n^2 + b_n^2)^{\frac{1}{2}},$$

$$\varphi_n = \arctg \frac{-b_n}{a_n} \quad (4)$$

我们现在来讨论磁场振幅谱的一些性质。首先看一个水平元柱体磁场的例子。它的垂直分量的表示式为:

$$Z_a = \frac{2M}{(h^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} (h^2 - x^2) \sin i - 2hx \cos i \quad (5)$$

因为它不是周期函数, 需要用富里叶积分来讨论。富里叶积分一般表示为:

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega x} d\omega$$

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-j\omega x} dx \quad (6)$$

$F(\omega)$ 为 $f(x)$ 的复谱, 是连续谱, $|F(\omega)|$ 为振幅谱。为了讨论方便, 我们把(6)式改写成如下的形式:

$$f(x) = (1/\pi) \int_0^{\infty} [A(\omega) \cos \omega x + B(\omega) \sin \omega x] d\omega$$

$$A(\omega) = \int_0^{\infty} f(x) \cos \omega x dx \quad (7)$$

$$B(\omega) = \int_0^{\infty} f(x) \sin \omega x dx$$

将(5)代入(7)式作富里叶变换, 可以得到水平元柱体磁场的富氏谱:

$$A(\omega) = 2\pi M \sin i \omega e^{-\omega h}$$

$$B(\omega) = 2\pi M \cos i \omega e^{-\omega h} \quad (8)$$

其振幅谱可表示为

$$|F(\omega)| = [A^2(\omega) + B^2(\omega)]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2\pi M \omega e^{-\omega h} \quad (9)$$

h 为水平元柱体的中心埋深。(9)式中包含了 $e^{-\omega h}$ 项, 它是随 ωh 的增大而衰减得很快的一个函数。这可以从 $e^{-\omega h}$ 的级数表示式中看到:

$$e^{-\omega h} = 1 - \omega h + \frac{(\omega h)^2}{2!} - \frac{(\omega h)^3}{3!} + \dots \quad (10)$$

对(9)式两边取自然对数, 我们得到:

$$\ln |F(\omega)| = \ln 2\pi M + \ln \omega - \omega h \quad (11)$$

图1给出了由(9)和(11)式求得的水平元柱体磁场的振幅谱及其对数的图象。由图可见, 只要 ω 增大到一定程度, $e^{-\omega h}$ 项便在振幅谱中起主要作用。这时, 振幅谱的变化特征将由 $e^{-\omega h}$ 项决定, 在对数振幅谱上, 表现为一负斜率的直线, 斜率的数值就是水平元柱体的埋深。

为了了解磁性体的向下延深对振幅谱的影响, 我们考察埋深为 h 的无限延深直立薄板振幅谱。为了简单起见, 只考虑垂直磁化的情况。由于富里叶变换是一个线性变换, 我们可以将水平元柱体的频谱对 ξ 积分。考虑到垂直磁化条件下(8)式中 $B(\omega) = 0$ 得到直立薄板磁场的振幅谱为:

$$|F(\omega)| = \int_h^{\infty} A(\omega) d\xi$$

$$= \int_h^{\infty} 2\pi M \omega e^{-\omega \xi} d\xi = 2\pi M e^{-\omega h} \quad (12)$$

这里 $M = 2bJ$ 为上顶面磁荷密度。

由(12)可见, 垂直磁化无限延深直立薄板的对数振幅谱为典型的直线, 其斜率的绝对值即为顶深。

如果薄板是有限延深的, 它的振幅谱可

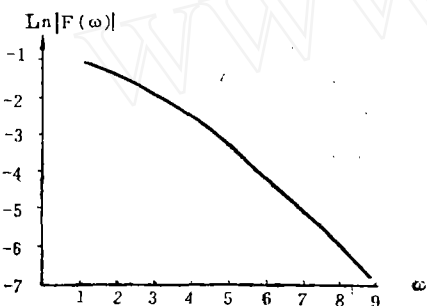
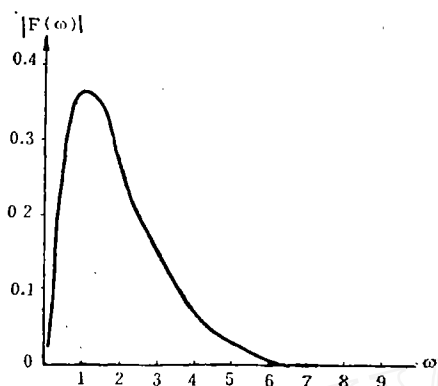


图1 水平圆柱体磁场ΔZ的理论振幅谱和对数振幅谱

以表示为

$$|F(\omega)| = 2\pi M(e^{-\omega h_1} - e^{-\omega h_2}) \quad (13)$$

其中 h_1 , h_2 分别为上端和下端的深度。由 (10) 可见, 只要直立薄板有一定延深, 在 ω 适当大时将有 $e^{-\omega h_2} \ll e^{-\omega h_1}$, 因而振幅谱将主要由 $e^{-\omega h_1}$ 一项决定, 对数振幅谱的斜率为 h_1 (图2)。

再考虑磁性体有一定水平宽度的情况。我们仍归只讨论垂直磁化的情况。由富里叶积分的位移定理, 我们知道, 如果 $f(x)$ 的谱为 $F(\omega)$, 则 $f(x-\xi)$ 的谱为 $F(\omega)e^{-j\omega\xi}$ 。中心位于 (ξ, h) 上的水平圆柱体磁场的谱为

$$F(\omega) = A(\omega) = 2\pi M\omega e^{-\omega h} e^{-j\omega\xi} \quad (14)$$

因此, 沿走向无限, 深度为 h , 宽度从 $-a$ 到 a 的水平薄板的振幅谱为

$$\begin{aligned} |F(\omega)| &= \left| \int_{-a}^a 2\pi M\omega e^{-\omega h} e^{-j\omega\xi} d\xi \right| \\ &= 4\pi M |\sin\omega a| e^{-\omega h} \end{aligned} \quad (15)$$

M 为单位长度的磁矩。由 (14) 可见, $|F(\omega)|$ 是以 $e^{-\omega h}$ 为包络线的振荡的函数 (图3)。因此, 在有水平宽度的情况下, 振幅谱将变得较为复杂, 一般是振荡的, 但并不改变其按 $e^{-\omega h}$ 衰减的规律。

同上面完全类似, 可以导出垂直磁化条件下有限延深直立厚板的振幅谱:

$$\begin{aligned} |F(\omega)| &= 4\omega M \left| \frac{\sin\omega a}{\omega} \right| \\ &= (e^{-\omega h_1} - e^{-\omega h_2}) \end{aligned} \quad (16)$$

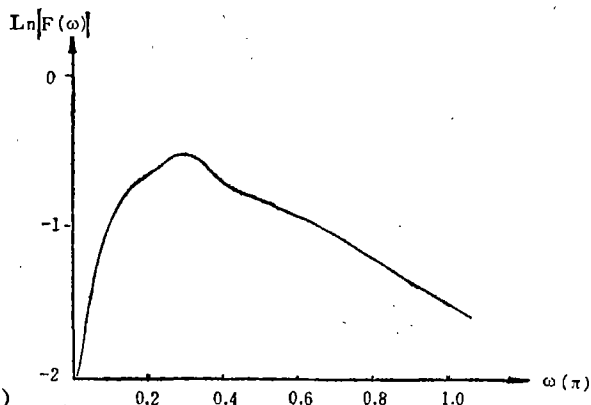


图2 向下延伸有限直立薄板磁场的对数振幅谱

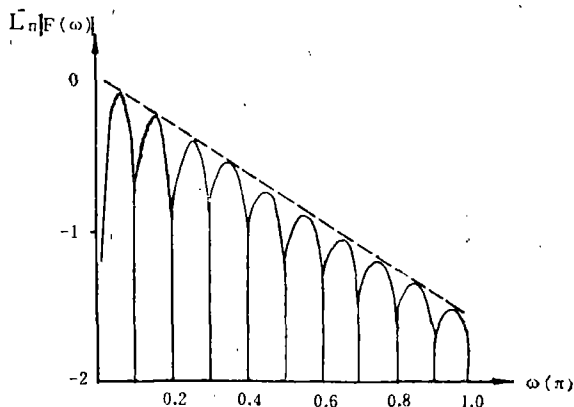


图3 水平薄板磁场的对数振幅谱(虚线为包络线)

三度体情况的讨论是类似的。这时, 研

究的是平面数据,需要用二维富里叶变换。我们不在这儿讨论。这时的频率 ω 为X方向上的频率 u 和y方向上的频率 v 矢量模的模,即 $\omega = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$ 。实际计算已经可以证实,在 ω 取适当大以后,振幅谱以 e^{-h} 规律衰减,是不同形状磁性体磁场的共同规律。

在深部和浅部磁性体迭加引起异常的振幅谱上,往往可以辨别出有两个不同的斜率,它们反映了两个不同深度磁性体的埋深。图4(转引自国外物化探译文1976年4月:《根据阿尔及利亚赛里特测区的航磁图确定火山岩的厚度及其下伏构造》)中两层磁性体模型的埋深分别为500和800英尺,在对数振幅谱中对应两个不同的斜率。

在频率域中作场的向上延拓、二次导数、斜磁化转换成垂直磁化等各种场转换时,首先需要对异常场作二维富里叶变换,这样,在作场转换的同时就可以得到二维振幅谱。利用二维频率 ω 以及对应的对数振幅谱数据,就可以直接作出 $\ln |F(\omega)| \sim \omega$ 图。可以看到,在 ω 的适当范围内,大多数点密集地组成一条线性变化的“带”(当 ω 过大时,振幅谱将主要由地表磁性干扰和数据误差决定,它在振幅谱中组成一条水平变化的“带”,斜率为零)。在这个“带”上取一条平均直线,即可求得斜率。图5和图6绘出了两个理论模型的例子,图7和图8是两个实际例子。图7的振幅谱显两个不同的斜率,与其中较缓的斜率相对应的是叠加在M14异常上的线源小异常M14'。由振幅谱斜率法求得的埋深与实际埋深的比较见下表:

用振幅谱求埋深的方法有几个优点:
1.不用考虑正常场和区域场的影响;因为对常数正常场而言,它只影响振幅谱零频时的值,与斜率无关。而在区域场中,很低的频率成分占绝对优势,此外,与区域场的范围相比,计算局部异常振幅时所取的面积不大,区域场在这一小块面积内的值近于一个常数,故其影响亦可忽略。例如在上面两个

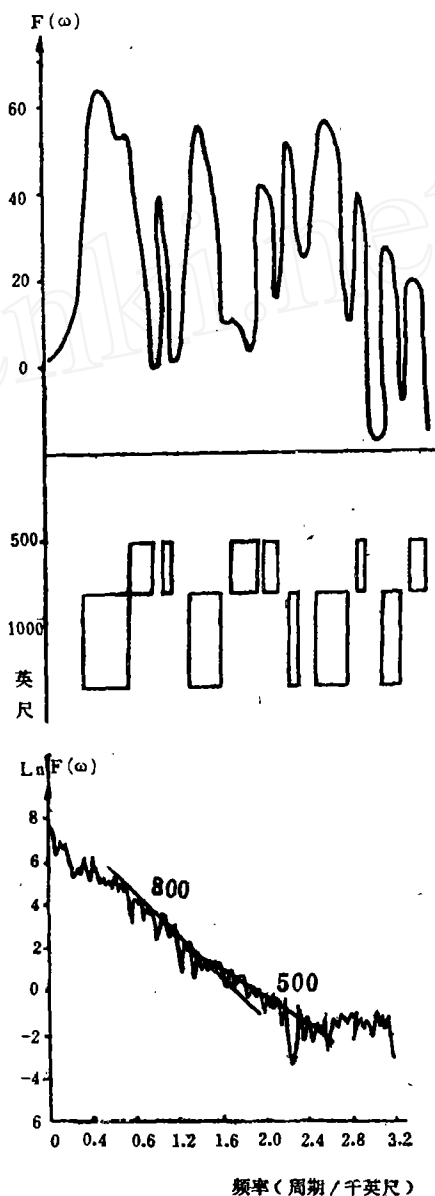


图4 一组两种深埋的磁性体模型产生的总场异常和它们的对数振幅谱

实例中,区域场强度分别占实测异常极大值的60%和25%,但是利用未经区改的数据所作的计算,仍取得了较好的结果,2.在两种不同深度磁性体异常迭加的情况下,在条件合适时能同时求出两个不同的深度;3.该方

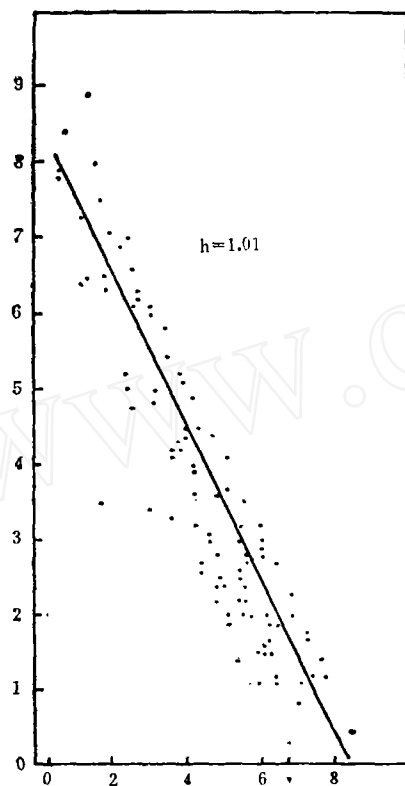


图5 北东走向斜磁化水平薄板磁场的对数
振幅谱

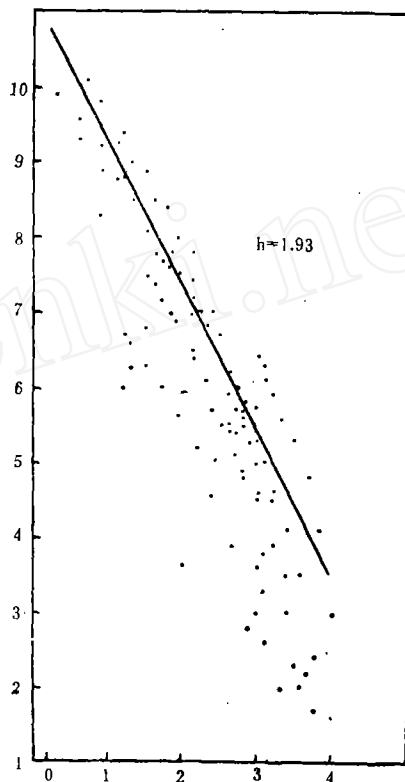


图6 南北走向磁化直立厚板磁场的对数数据
振幅谱

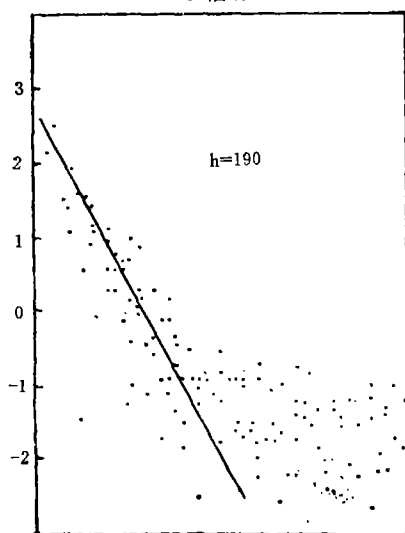


图7 M 54 异常的对数振幅谱

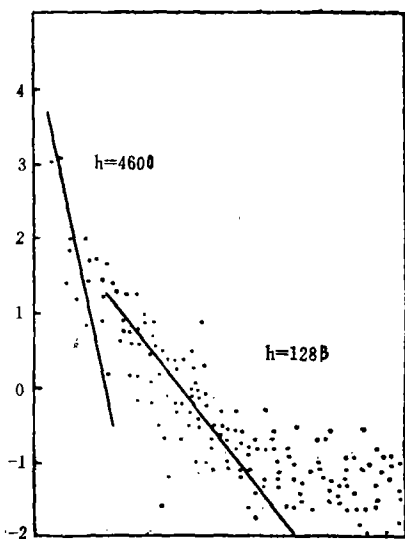


图8 M 14 异常的对数振幅谱

模型类型	用振幅谱法	实际埋深		实际异	用振幅谱法	由一般方法	验 证 结 果
	计算的埋深	顶深	中心埋深	常编号	计算的埋深	计算的埋深	
东北走向				M14	460米	468米	CK14—2 孔于460米开始见两层矿，总厚15米，CK14—1 在559米开始见五层矿，总厚114米。 M14' 验证孔于118米开始见辉石、闪长岩。
斜 磁 化	1.02	1	1.1				
水平薄板				M14'	128米		
南北走向 垂直磁化 直立厚板	1.93	1	11.0	M54	190米	610米	99米开始见安山质火山碎屑岩，190米开始有磁性。

法能同时适用于航磁和地磁；4.方法简单易行；5.与磁性体形状无关，因为虽然不同形状的磁性体具有不同图形的振幅谱，但它们在各自一定的频率范围内，按 $e^{-\omega h}$ 趋势衰减是一种共同规律。由于上述几个优点，这个方法值得进一步研究。

最后，需要指出的是，由于这种求深度的方法是在异常经富里叶变换后的振幅谱图上实现的，因此，在实际工作中必须考虑剖面的截断（或异常的截取）、数据的外推和采样间隔对振幅谱的影响，以及如何从振幅

图形上找到一条线性变化的“带”（甚至判断出有两种线性变化带存在），并进而作出与之相应的斜率线的问题。这些都需要在实践中不断总结规律和经验。另外，对于三度体异常的二维富里叶变换结果，究竟用什么形式来表示才利于简便而可靠地确定深度，仍是需要探讨的。本文提出的一种表示形式，还需寻求其理论上的依据。可以预期，随着理论研究的深入和大量实验经验的总结，异常振幅谱斜率法将作为一种求深度的自动或半自方法，得到广泛应用。

地质时代单位 与地层单位

用以划分地球历史的单位称为地质时代单位。地质时代单位由代、纪、世、期四个级别和一个自由使用的时间单位“时”组成。其中代、纪、世是国际性的时间单位，期是大区域性的时间单位，时是地方性的时间单位。

划分地层的单位称为地层单位。地层单位除界、系、统、阶外，还有群、组、段、带、杂岩五个单位。其中界、系、统、带主要是根据生物的发展演化阶段来划分的，适用范围较大，是国际性的或全国性和大区域性的单位，通常又称为时间地层单位。而群、组、段三个单位则主要是根据地层岩性和地层接触关系来划分的，适用范围较小，是地方性的地层单位，通常又称岩石地层单位。

目前，在地质报告和文献中，关于地质时代单位的叫法，存在着某些不够明确甚至混乱的情况。

例如，在论述时间概念时，应当用元古代、古生代……，寒武纪、奥陶纪……，早石炭世、中石炭世、晚石炭世……；在讨论地层概念时，则应当用元古界、古生界……。寒武系、奥陶系……，下石炭统、中石炭统、上石炭统……，等等。下面是地层单位和地质时代单位对照表。

使用范围	地层单位	地质时代单位
国际性的	界	代
	系	纪
	统	世
全国性的或大区域性的	(统)	(世)
	界	期
	带	
地方性的	群	时(时代、时期)
	组	
	段	
	(带)	
地方性的(辅助地层单位)	杂岩	时(时代、时期)
	亚群、亚组、亚段、亚带	