

关于磁异常的模拟试验研究

杜绪惠 付遵涛 赵鸿儒 王保琴

(中国北京 100871 北京大学地球物理系)

摘要 通过对不同深度、不同形态、不同倾斜状态的已知模型引起的磁异常垂直分量的测量,进行不同侧面的数据处理,从中探索出不同侧面的数据处理在判断磁异常模型各特征参数中所起的作用,最后总结出测量深度、形状倾斜以及磁化方向对磁异常分布的影响,从中得到了一些有益的结论。

主题词 模拟试验; 磁化方向; 磁异常; 平面等值线图; 剖面平面图

1 前言

在复杂的地质结构情况下,利用物探资料对地质构造进行反演,往往是比较困难的,由于模拟试验具有周期短、效率高、准确、无损伤探测、有较大的灵活性和自由性等优点,国内外已广泛应用于考古调查,并取得了很好的效果,成为最常用的地球物理方法之一。因而,可根据现实中存在的实物模型在满足一定相似性的前提下,设计各自相应的模型,进行试验观测。将实测数据和理论数据进行对比,对其规律性作出总结,以作为实际工作中的提示。在磁测中,通过把所需观测研究的局部磁性体感应强度(或其分量)称作磁异常。根据稳定磁场理论,运用数学工具,由已知磁性体的参数求出磁性体磁异常空间分布的变化规律,这在磁法勘测中称作磁性体磁异常的正演计算,简称“正演问题”。反之,由磁异常的空间分布确定磁性体的有关参数,叫做磁性体磁异常的反演计算,简称“反演问题”。本文进行的工作介于两者之间。从实际应用的角度出发,利用模拟试验这一手段,对小范围的几种磁性体在不同情况下的磁异常分布进行观测,并把相应的磁异常分布与理论磁异常分布作比较,分析其中引起差异的可能因素。

磁异常是由不同磁性体的磁性差异引起的,某种磁性体个体磁异常的空间分布的特征,与个体的空间分布,形态,倾斜及磁体特点直接相关,由磁测理论和实践证明:①磁性体的轮廓大致地被磁异常轮廓反映;②磁异常的轴向一般是磁性的反映;③在磁性体埋深较浅的情况下,磁性体本身不均匀的磁性,常会使其磁异常发生起伏变化,磁性越不均匀,磁

本文收到日期: 1995-09-21.

场形态变化愈大；④磁异常的强度和分布范围随埋深而改变，埋深小，磁异常强度大，分布范围小，反之，磁异常强度小，分布范围大。

2 仪器和模型

试验中所用仪器为国产 CR2-69 型刃口式垂直磁力仪，格值分别为 1.52nT/mm 和 2.375nT/mm，分别用作观测和日变校正。试验共设计了 3 种模型。模型 I 是有限长延深薄板，板是由沿 L 方向垂直向下的三排铁钉组成。模型 II 是互相平行的两根有限长圆柱，直径为 2 mm 的细铁丝。模型 III 为两根有限长圆柱相交，其交角被南北向平分，交点过 z 轴，材料同模型 I。

3 试验数据及处理

在上述模型的基础上，固定仪器不动，以各模型的几何中心为原点，在模型所在平面的垂直投影面上对称地移动模型。移动间距即测距。对模型 I 来说，一测距 = 2 cm，模型 II 和模型 III，一测距 = 4cm。由此测网比例及模型尺度，利用相似性即可对应地得到实际工作的测网比例及实物尺度，同时记录各点仪器零线的偏移值。与此同时，在离该仪器 2—3 m 处架起另一台仪器作为修正。在放模型前，首先记录各仪器零线读数 N_{11} 和 N_{21} ，然后放上模型并移动，每读一个模型所在点的读数同时也记录一次另一台仪器的读数，读完模型上的所有点后，拿走模型，再记录一次两台仪器的零线读数 N_{12} 和 N_{22} ，取 $N_1 = \frac{1}{2} [N_{11} + N_{12}]$ 和 $N_2 = \frac{1}{2} [N_{21} + N_{22}]$ ，作为各仪器的基值，把各仪器所测各点的值分别减去其基值，即得各仪器所测相对异常值，两者各对应点的值相减，即得实测模型磁异常。

所有测量值需经校正后才能使用，一般说来，分为分项校正和混合校正两类。

3.1 分项校正

(1) 日变校正。仪器在基点和其他各点的测量，由于不同时刻地磁日变的影响使得读数变化，消除这种影响就是日变校正。在当日的日变曲线上量取某一时刻相对于早基点时刻的日变值反号，即为仪器该时刻的日变校正值。上述试验中所架的第二台仪器就是用来作日变校正的。相邻测点间隔为 15—20 s。

(2) 温度校正。仪器在基点和测点观测时，因环境温度不同而影响读数，消除温度影响就是温度校正。某测点与早基点的温度差乘上温度系数，即为温度校正，正负取决于温度系数的符号。本试验中所有仪器自身有自动温度补偿装置，且试验均在实验室中进行，每次持续时间相对较短，温度变化极小，所以，在实测数据中没有必要进行这项校正。

(3) 零点校正。同一基点的两次观测结果经日变、温度校正后的差值，即为仪器零点的位移值，该值的反号即为第二次观测时刻的仪器零点校正值，如果此值小于二倍的均方差，测点上的零点校正值就可按时间作线性内插得到，否则质量不合要求。

3.2 混合校正

把日变、温度和零点位移值看作一种综合影响，一次消除，这种影响的校正称作混合校正，由于混合校正就是将磁场变化视作线性的，因此，要求在 2 小时之内要重复一次基点

值的观测。本试验的校正基本上为混合校正,而且对某一模型在某一高度的测量都集中于1—2小时之内完成,满足混合校正的要求。把观测结果进行各项校正之后,就得到了相应的,各模型在各自测深的实测磁异常 C_i 。

对磁测结果主要是通过图示加以处理,通常用3种图示:磁异常剖面图,磁异常剖面平面图和磁异常平面等值线图。

(1) 剖面图。反映沿某一测线或沿某一剖面曲线磁异常随点的位置变化的特征曲线图称作磁异常剖面图。作图要求纵坐标每毫米所代表的异常值不小于磁测均方差,又不过大而影响异常有效信息的反映。

(2) 磁异常剖面平面图。由全测区平面所有测线的磁异常剖面构成的图称作磁异常剖面平面图,是一种反映磁异常平面特征的图。

本文在处理数据时采取对某一模型在某一测深的的数据分别取沿 y 方向(南北向,即模型走向)和 x 方向,即垂直走向,每隔一条或几条测线取一测线作剖面图并把它们在同一测深的曲线作到同一坐标上,这样可以增加水平面上的对比而又不显得复杂,同时,为了增加同一模型在不同测深沿同一测线剖面曲线的对比,对同一模型,纵坐标坐标分度对不同测深取同一值。

(3) 磁异常平面等值线图。按测网形状和实测比例尺将全部观测点绘在平面图上,每个测点上标出磁异常值,以一定间隔绘出圆滑的等值线。作图要求起始等值线的数值大于2.5—3倍磁测均方差,以下等值线可以是等间隔或等比间隔,以等值线疏密均匀,美观为准,视异常强度和变化梯度而定。

本文在处理数据时并不完全按上述要求,因为考虑到本文主要是从模拟试验的角度去作一些探讨性的工作,这就需要把各种可能的情况都考虑进去,从对比中分析出更适合实际的作法。作图时,对同一模型不同测深的数值作数据处理时,采用的标准是相同的。这里的标准指绘图数据变化间隔、绘图尺寸等,主要目的也是为了增加可比性,比较哪一种测深的等值线图更能反映实测情况,以便对将来的反演工作给出某些提示。

4 试验结果与分析

对磁异常进行分析时,估计引起磁异常的磁性体的形态是十分重要的。因种种定量的理论估计都是针对不同形态的磁性体得出的。而磁性体的形态,是相对于磁性体的埋深而言的,它是一个相对概念,磁性体埋深的改变,会改变磁异常的特征,随着埋深的增加,异常首先变得光滑,异常梯度变小,从磁异常平面等值线图上可以看出这一点,然后,异常的细节会变得越来越不明显,这可以从磁异常剖面图上看出。

(1) 根据磁异常平面等值线图的特征可以粗略地判断磁性体形态。先看模型 I 在3个不同深度时的平面图的特征,模型可近似地看作长方体($b, d < L$),走向平行于 y 轴,且关于 x 轴 y 轴对称,顶面近似地平行于测量水平面,从平面等值线图(图1,图2,图3)中可以看出关于 x 轴对称性很好,而对于 y 轴的对称性有偏离,偏离1—2个测距,测点区域无负值,从不同测深的曲线上可以看出,测深越小,曲线梯度越大,反映曲线形状越明显,图形越规则。为加强对比,3种不同测深曲线的绘制参数均相同,图形基本上都是 y 轴走向的长椭圆,而在偏离对称中心4个测距附近更能说明模型走向,这里的曲线基本上是沿 y 轴

方向的直线。因此，可看出长度对异常的影响，长度越长，椭圆长轴越长，偏率越小。

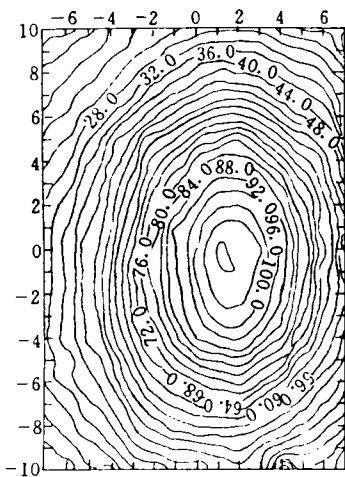


图1 模型 I 测深 $H=22.5$ cm 的平面等值线

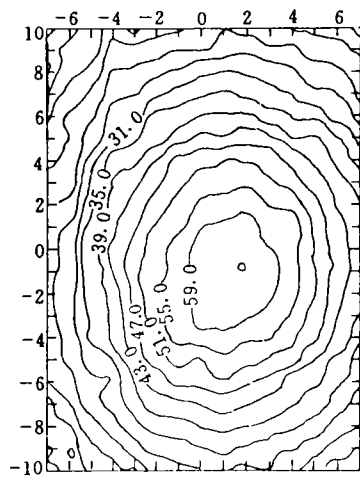


图2 模型 I 测深 $H=27.5$ cm 的平面等值线

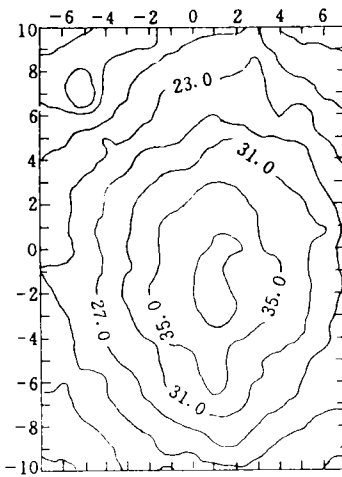


图3 模型 I 测深 $H=33.2$ cm 的平面等值线

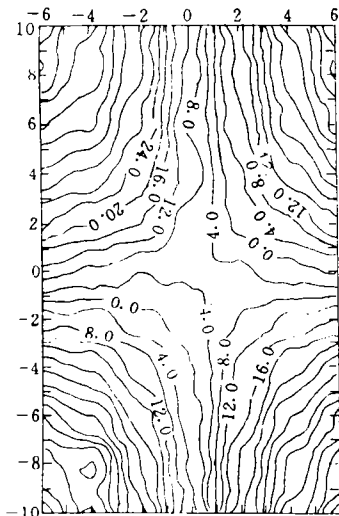


图4 模型 II 测深 $H=44.0$ cm 的平面等值线

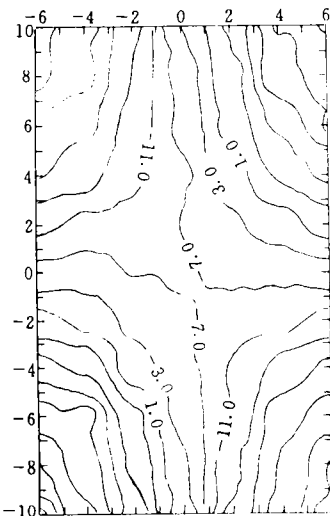


图5 模型 II 测深 $H=51.5$ cm 的平面等值线

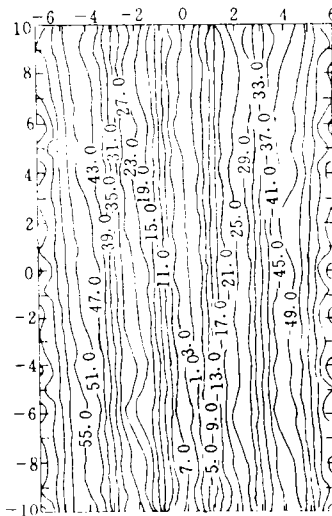


图6 模型 III 测深 $H=51.5$ cm 的平面等值线

模型 II 若两圆柱（说细线更确切一些， $r=2$ mm， $L=500$ mm）磁化方向相同的话，其图形应是规则的，但从观测图形中可以看出，图是关于原点对称的，见图 4，图 5。两负值区分布在二、四象限，正值区分布在一、三象限，这说明两圆柱的磁化方向不是相同的。若把每个圆柱看作是沿走向磁化的，则模型中它们的磁化方向是相反的。从图中关于原点对称可以说明这一点，四个端点分别对应着两种不同的磁荷，从而产生如图所示的等值线，这一点告诉我们，两个磁性体相互作用时，磁化方向起着十分重要的作用，空间排列相同的磁性体产生的磁异常可能是完全不同的，从图中可看出。测深越小，曲线梯度越大，越能反映模型的形态。

模型 III 两圆柱相交于原点且交角约 25° （即 $2\alpha=25^\circ$ ）且分别关于 x 轴和 y 轴对称，从等值线图上可以看出，等值线总体上是沿 y 轴分布的直线，同时其间周期性的分布着一些

扰动,这再一次说明磁化方向对异常的影响。正值分布于一、三象限,负值分布于二、四象限,四个磁荷的对称分布产生相应对称分布的等值线。

从上面平面等值线图中可以看出,平面等值线图可以大致地反映磁性体的走向和形态,而对其细节却没有太多的反映出来,同时,从平面等值线图中可以大致地估计出磁性体的位置,也可从同一标准绘制的平面等值线图上对比地分析出磁性体的相对埋深。

(2) 根据磁异常剖面特征可以粗略地对磁性体各细节的特征进一步加以确定。模型 I 沿平行于 x 轴方向,沿 $y=10$, $y=-10$, 不同测线不同测深的剖面曲线变化幅度较小,可看作扰动,这从平面等值线图上可以看出,边缘区上的等值线近似地与坐标轴平行,但从曲线的形态上还是可以粗略地看出余弦曲线的形态,极值点偏向原点右侧一测距左右,这也与平面等值线结果相符,沿 $y=5$, $y=-5$ 不同测线和不同测深的剖面曲线变化幅度增大,测深越小,变化幅度越大,就越能反映出模型的细节, $y=0$ 的剖面曲线峰值的高度则增幅更大,对称轴偏离原点 1—2 测距,从这 3 张不同的测深剖面曲线上可得出一个共同点,越靠近模型两 endpoints,异常曲线变化幅度越小,而越靠近模型中心,曲线变化幅度越大。

沿平行 y 轴方向即模型走向,有相似的特点,只不过相应的端点变化幅度值要比平行于 x 轴的小一些,而靠近中心的变化幅度,两者基本相当。峰值附近梯度较平行于 x 轴的小一些,峰值偏向原点右侧一个测距左右,所有这些都和平面等值线图得出的结果相符。在平面等值线图上边缘区的等值线基本上平行于坐标轴,对 y 方向的更是如此,这与端点剖面曲线幅度梯度很小相对应,而在等值线图中心是一个长椭圆,椭圆长轴平行于 y 轴方向,这与剖面曲线中靠近模型中心的曲线幅度梯度越大相对应,且平行于 x 轴的变化幅度比平行于 y 轴的大,这也说明了尺度对异常的影响(组成模型的单体可近似地看作沿垂直方向磁化,而 $b < L$),若模型取无限长,相应的尺度效应就会消失,只存在单一方向的相同变化剖面曲线。

模型 II 沿平行于 x 轴方向即垂直模型走向方向,从两测深的剖面曲线上可以看出,曲线具有很好的对称性。 $y=0$ 型几何中心沿平行于其走向这一测线,曲线幅度几乎没有什么变化;关于 $y=0$ 对称的测线剖面曲线具有极好的镜像关系,关于异常零点,各剖面曲线具有极好的原点对称性。沿平行于 y 轴方向即模型走向,也具有相同的特点,且变化幅度与平行于 x 轴的很接近,为什么会出现这种情况呢?两个具有完全相同几何参数的相互平行的磁性体,沿垂直走向的剖面曲线,按一般资料上所说的应该是单峰的($\Delta x \ll H$, Δx 是指两磁性体之间的距离, H 是指测深)或双峰的($\Delta x \sim H$),试验中模型满足 $\Delta x \ll H$,其剖面曲线应该是单峰的。出现这种情况的可能解释就是两根圆柱的极化方向是相反的或具有很大的夹角。正如前面分析平面等值线时所作的那样,为了证明这一点,进行了两次验证试验,部分地证明了以上猜想的正确性。

模型 III 沿平行于 x 轴方向,各测线都近似于一条沿 x 方向递减的直线或变幅很小。一端为正异常,另一端为负异常,而沿平行于 y 轴方向,剖面曲线除个别点外,可近似地看作平行于 y 轴的直线,即沿各平行于 y 轴的测线,异常值基本上可看作是没有变化,如果有也仅仅是微小的扰动。在测量中读数误差的均方差同量级,读数误差均方差的最大值为 3 nT,这再次说明了平面等值线图中所作猜想的正确性。而验证试验更证明了这一点。

5 结论与讨论

通过上面的图例和分析,在试验条件下,可得出如下结论。

(1) 在数据处理中,平面等值线图易于给出异常体的大致形态,方位及走向,为进一步处理作准备,给出的是宏观图象。

(2) 数据处理中,在已知走向和大致形态与方位的前提下,剖面曲线给出的是异常体的细节,从中可以看出异常体的异常沿各方向变化的情况,相对给出的是微观图象。

(3) 异常的分布不仅仅与异常体的形状有关,而且与异常体的磁化方向有关,组合异常体与磁化方向关系更加密切。

(4) 不同埋深的异常体及其各种图示表明,埋深越浅,越能反映磁性体和各种参数,埋深越深,异常体的细节被光滑掉的越多。

由上面的分析可以看出,在满足一定条件下,模拟试验能够更迅速地给出大量的磁异常信息,从中分析出有用的结论。就数据处理和试验过程中所遇到的和想到的几个问题还需进一步改进和深入研究:①对每个模型特别是组合体,可能产生的影响因素应考虑得更详细些,如两个异常体组合的模型,应考虑到不同埋深、不同尺度、不同组合形态、以及保持其中一个异常体不变而改变另一异常体的方向等等可能带来的异常分布的改变,从而获取更多的细节信息;②磁化方向的影响对异常分布很重要,如果事先能够确定磁性体的磁化方向,那么,分析工作会更顺利,导出的结论会更有说服力;③要选择精度高、量程大的仪器,本试验就因实验室的条件所限,一些工作不能进行,许多磁异常的细节没有获取;④试验要有一个好的试验环境,少受外界的影响。

尽管如此,别人在这些试验中都是用的高精度核子旋进磁力仪、磁通门磁力仪和其他先进的数字显示式仪器。由于条件所限,我们还是用的最古老的国产刃口式垂直磁力仪。从我们作的结果中还是能够看出,采用模拟试验的方法来研究磁异常问题,对探测地下管线、古墓的发掘等确实具有很大的优越性。

参考文献

- 黄国祥、余惠祥、蔡文成,1988. 应用地球物理学——磁法勘探,长沙:中南工业大学出版社。
- 林万智,1986. 磁性层模拟对磁异常滑动滤波处理效果的检验实验,中国首次物理模型试验学术讨论会论文集,北京:地震出版社。
- 林万智、王午未,1988. 沉积岩磁性组构造与应变相关性的模拟,中国第二次物理模型试验学术讨论会论文集,北京:地震出版社。
- 吴功建、管志宁、郭绍雍,1980. 应用地球物理学——磁法教程,北京:地质出版社。
- 闫桂林、曲 赞、李永涛等,1991. 高精度磁测在古墓调查中的应用,中国地球物理学会年刊,北京:地震出版社。
- 赵鸿儒、唐文榜、郭铁栓,1986. 超声地震模型试验技术及应用,北京:石油工业出版社。
- B. M. 扬诺夫斯基,陈志强等译,1963. 地磁学(下册),北京:中国工业出版社。
- E. Brizzolari and F. Ermolli, 1993. 在考古调查中的综合地球物理方法,物探化探译丛,3.

(下转第 66 页)

mation. The only requirement is the estimation of the misfit function. This paper gives a brief description of the basic theory and characteristics of the genetic algorithms. We apply genetic algorithms to the velocity structure and hypocenter simultaneous inversion in Jing Jin Tang Zhang, analysis the various of the misfit function in evolution iterations, presents a new research methods in which various mutation probability is used. We apply 18 earthquakes took place in research zone, 253 P wave arrivals, simultaneously invert a complex problem which has 79 parameters, obtain a suitable crust model. The modified hypocenters reduce the residuals of the P wave arrival. It has been proved that the genetic algorithm is very effective on nonlinear multiparameter geophysical inversion.

Key word: combined inversion, crustal model, genetic algorithm, hypocentral location

(上接封三)

Study on the simulated test of magnetic anomaly

Du Xuhui, Fu Zuntao, Zhao Hongru and Wang Baoqin

(Geophysics Department of Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract

Through measuring vertical component of magnetic anomaly caused by known models which were in different depths, different shapes and different tilts, data processing of different aspects were carried out. And it has been found out that data processing of different aspects plays roles in judging the specific of different models. Thus the effects of depth, shape or tilt on magnetic anomaly can be concluded. In fact, some valuable conclusions were found in course of test and data processing.

Key words: simulated test, magnetization direction, magnetic anomaly, map of sectional plane, map of plane contour