

陈 斌,熊盛青,赵百民. 航空磁测飞行高度的初步研究. 地球物理学进展,2010,25(3):957~961,DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.03.033.

Chen B, Xiong X Q, Zhao B M. The preliminary study on flight altitude of aero-magnetic survey. *Progress in Geophys.* (in Chinese), 2010, 25(3):957~961,DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.03.033.

航空磁测飞行高度的初步研究

陈 斌, 熊盛青, 赵百民
(中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083)

摘 要 随着航空磁测勘查系统的进步,数据处理解释水平的提高以及航空磁测应用领域的不断拓宽,1994 年颁布的航空磁测技术规范中对飞行高度的要求需要根据当前航空磁测的技术与应用实际情况进行调整.本文从理论上分析了二度体和三度体模型磁异常与航空磁测飞行高度的关系,结果表明,可以通过适当加密测线增大测量比例尺的方式,弥补由于提高飞行高度而损失的弱磁异常信息,这对在我国西部地形复杂地区开展航空磁测具有指导意义.

关键词 二度体,三度体,飞行高度,测线间距

DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.03.033 中图分类号 P631,P318 文献标识码 A

The preliminary study on flight altitude of aero-magnetic survey

CHEN Bin, XIONG Sheng-qing, ZHAO Bai-min
(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083 China)

Abstract As the development of the aero-magnetic survey and the data processing and interpretation, as well as the extent of the applying fields, the requirement of flight altitude in Aero-Magnetic Surveying Criterion which was issued in 1994, needs to be modified according to the current aero-magnetic surveying techniques and practical situation. This paper analyzes the relationship between the flight altitude of aero-magnetic survey and the magnetic anomaly generated by 2-D or 3-D body. The result is that increasing the density of surveying lines (enlarging scale) makes up for the information of magnetic anomaly which loses by increasing flight altitude, which is a meaningful guidance on aero-magnetic survey of complex terrain in Western China.

Keywords 2-D body, 3-D body, flight altitude, density of surveying lines

0 引 言

在 1994 年发布的航空磁测技术规范中,对飞机的飞行高度曾有明确的要求,即“飞行高度的确定必须综合分析各种影响因素后选择确定,但每条测线上的平均离地飞行高度上限不应该超过主测线间距的二分之一^[1]”.这一技术指标要求在当时主要完成中小测量比例尺为主的区域性航磁测量^[2,3]、尽快实现航磁覆盖的工作任务而言是合理的,但是随着勘查程度的提高,测量区域的地形条件越来越复杂,

在测量比例尺不断增大的今天^[4],这一技术指标要求显然不能适应目前资源勘查的需要.在我国西部的部分地形复杂的山区开展了 1:50000 航磁测量取得了很好的找矿效果,如果按照原规范要求,测量比例尺 1:50000,平均离地飞行高度就不能超过 250 m,这显然不符合飞机的安全作业要求,因此须对这一技术参数进行深入的研究并调整.

1 三度体评估

本文首先以磁信息随距离衰减最快的球体为

收稿日期 2009-10-20; 修回日期 2010-03-15.

基金项目 地质调查技术标准研制修订与升级项目(1212030516005)资助.

作者简介 陈斌,男,1965 年生,教授级高级工程师,中国科学院地质与地球物理研究所在读博士研究生,现从事航空物探技术研究与管理
工作. (E-mail:chenb@agrs.cn).

例,探讨不同飞行高度对探测球体场源产生磁异常的影响,自然界中在三个坐标方向延伸有限,且大致相等的三度体都可视为球体,如囊状、巢状等^[5~7].

如图 1 所示,设球体球心坐标为(0,0,R),磁化强度为 M,体积为 V,球心到平面任意点 $p(x,y,0)$ 的距离为 r :

$$\begin{aligned} r &= [x^2 + y^2 + (0 - R)^2]^{1/2} \\ &= [x^2 + y^2 + R^2]^{1/2}, \end{aligned} \tag{1}$$

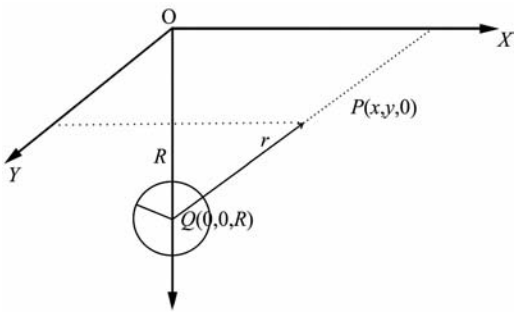


图 1 球体模型位置示意图
Fig. 1 Sketch of spheriform model

设磁化方向与地磁场方向一致,则其产生的磁异常为:

$$\begin{aligned} \Delta T = \frac{\mu_0 M}{4\pi(x^2 + y^2 + R^2)^{5/2}} &[(2R^2 - x^2 - y^2)\sin^2 I \\ &+ (2x^2 - y^2 - R^2)\cos^2 I \cos^2 A' + \\ &(2y^2 - x^2 - R^2)\cos^2 I \sin^2 A' - 3xR\sin 2I \cos A' \\ &+ 3xy\cos^2 I \sin 2A' - 3yR\sin 2I \sin A'], \end{aligned} \tag{2}$$

式中 I 为地磁倾角; A' 为剖面与磁化强度水平投影夹角.

当计算剖面与 M 在同一铅垂面时,即 $A' = 0$; 且剖面取通过球心的主剖面时,即 $y = 0$ 时,上式还可以简化;另外,由于我国南北跨度非常大,地磁倾角由 -5° 左右变化至 70 余度,因此本文不考虑磁化倾角对观测磁异常的影响,仅将磁性体看作磁源;通过上述假设条件,观测到的磁异常信息与球体中心到测点距离的立方成反比,即:

$$\Delta T = \frac{\mu_0 M}{4\pi(x^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 M}{4\pi r^3}. \tag{3}$$

设测线的间距为 $2d$,按照 1994 版航空磁测技术规范的技术要求,飞行高度最高不能超过 d ;由于在测量结果中异常信息体现最少的场源为分布在两相邻测线的中间、距测线水平距离为 d 的直线上的磁性体,如图 2 所示中 A 点的位置,笔者称其为远端三度磁性体;设某一磁性体位于 A 点,即在两条

测线的中间且埋藏非常浅,其磁化强度为 M ,当飞机飞行高度为 d 沿测线(图 2 中左侧 line1 上方)飞行时,该磁性体相当于与飞机上磁探头的距离为 $\sqrt{2}d$,即 $R = x = d$,由公式(3)可得其观测到的磁异常为:

$$\Delta T_0 = \frac{\mu_0 M}{4\pi(\sqrt{d^2 + d^2})^3} = \frac{\mu_0 M}{4\pi(\sqrt{2}d)^3}.$$

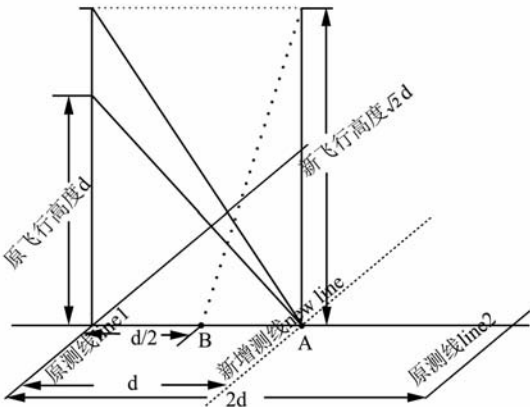


图 2 测量结果中最容易丢失信息的磁源位置
Fig. 2 The site of magnetic source whose information is easily lost in measurement result

在其他条件不变的情况下,选取飞行高度为 $\sqrt{2}d$ 时,即 $R = \sqrt{2}d$,其观测到的磁异常为:

$$\Delta T'_0 = \frac{\mu_0 M}{4\pi(\sqrt{d^2 + (\sqrt{2}d)^2})^3} = \frac{\mu_0 M}{4\pi(\sqrt{3}d)^3},$$

$$\text{则 } \Delta T_0 / \Delta T'_0 = \frac{3\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} = 1.84.$$

所以,在其他条件不变的情况下,提高飞行高度为原高度的 $\sqrt{2}$ 倍时,测量到的远端三度磁性体异常信息为原来测量飞行高度条件下的 $1/1.84$.

2 二度体评估

现在我们来考察二度体的情况,设水平圆柱体沿走向无限伸长,中心坐标为(0,R),中心到空间任意点 $p(x,0)$ 的距离为 r ,磁化强度为 M ,采用与三度体相同的假设条件,即计算剖面与 M 在同一铅垂面;不考虑磁化倾角的影响,则观测到的磁异常信息与测点到二度体轴线中心距离的平方成反比,即:

$$\Delta T = \frac{\mu_0 M}{2\pi(x^2 + R^2)} = \frac{\mu_0 M}{2\pi r^2}. \tag{4}$$

同三度体类似,设测线的间距为 $2d$,飞行高度最高不能超过 d ;当二度体轴线在与测线平行、距测

线水平距离为 d 的直线上,即图 2 中 A 点所示位置,在测量结果中体现的异常信息最少,并称其为远端二度磁性体.设存在一个埋藏较浅的远端二度磁性体,其轴线平行测线、且分布在距测线水平距离为 d 的直线上,当飞机飞行高度为 d 时,其对测量结果的贡献为:

$$\Delta T_1 = \frac{\mu_0 M}{2\pi(d^2 + d^2)} = \frac{\mu_0 M}{2\pi * 2d^2}, \tag{5}$$

在其他条件不变的情况下,选取飞行高度为 $\sqrt{2}d$ 时,即 $R = \sqrt{2}d$,其测量到的磁异常为:

$$\Delta T'_1 = \frac{\mu_0 M}{2\pi(d^2 + 2d^2)} = \frac{\mu_0 M}{2\pi * 3d^2}, \tag{6}$$

$$\text{则 } \Delta T_1 / \Delta T'_1 = \frac{3}{2} = 1.5.$$

所以,在其他条件不变的情况下,提高飞行高度为原来的 $\sqrt{2}$ 倍时,观测到的远端二度磁性体异常信息为原来的 $2/3$.

3 加密测线(增大测量比例尺一倍)

通过上面的分析可知,在测线间距不变的情况下,提高飞行高度 $\sqrt{2}$ 倍,远端磁性体二度体损失了 $1/3$ 的异常信息量、三度体损失了近一半的异常信息量,因此,需要进一步研究飞行高度、测线间距及测量异常结果之间的关系.

在上述模型条件不变的情况下,在原来两条相邻测线中间加密一条测线^[8](效果相当于增大一倍的测量比例尺),再分析磁异常探测的信息量、精度、飞行高度的关系.

加密一倍测线后,测线的间距变为 d ,即在原测线中间增加一条新测线,如图 2 中新增测线(new line,用虚线表示)所示,这时飞行高度仍选取为 $\sqrt{2}d$,则原来的远端三度磁性体位于新增测线的正下方,即 $x=0$,则其磁异常信息为:

$$\Delta T''_0 = \frac{\mu_0 M}{4\pi(\sqrt{2}d)^3}, \tag{7}$$

则 $\Delta T_0 / \Delta T''_0 = 1$,即加密一倍测线后磁异常信息量与原比例尺条件下获得的磁异常信息量相同.因此,位于 A 点处的磁性体,在提高飞行高度到原来的 $\sqrt{2}$ 倍时,磁探头对其测量所获得的磁信息量与提高飞行高度前相同.

同理,相应条件下 A 点处二度磁性体情况与三度体情况相同,即在提高飞行高度到原来的 $\sqrt{2}$ 倍时,远端二度磁性体异常的测量结果与原飞行高度

获取得异常信息量相同.

4 加密测线前后观测结果中异常信息反映最少的磁源

现在来比较加密测线前磁异常信息反映最少的 A 点和加密测线后磁异常信息反映最少的 B 点的情况.在提高飞行高度到原来的 $\sqrt{2}$ 倍,并加密一条测线后,观测结果中反映磁异常信息最少的磁源分布在与测线平行、距测线水平距离为 $d/2$ 的直线上的磁性体,如图 2 中 B 点所示位置.当飞行高度为 $\sqrt{2}d$ 时,测线上对于中心位于 B 点的三度磁性体测量到的磁异常信息为:

$$\Delta T_{c0} = \frac{\mu_0 M}{4\pi(\sqrt{(\frac{d}{2})^2 + 2d^2})^3} = \frac{\mu_0 M}{4\pi(3d/2)^3}. \tag{8}$$

对于轴线中心在 B 点的二度磁性体测量到的磁异常信息为:

$$\Delta T_{c1} = \frac{\mu_0 M}{2\pi(2d^2 + (\frac{d}{2})^2)} = \frac{\mu_0 M}{2\pi(3d/2)^2}. \tag{9}$$

通过前面分析,在加密测线前,观测结果中磁异常信息最少的磁源,是分布在与测线平行、距测线水平距离为 d 的直线上的磁性体,即图 2 中 A 点位置.当飞行高度为 d 时,观测结果中体现信息最少的三度磁性体、二度磁性体异常信息分别为 ΔT_0 和 ΔT_1 .

由 $\Delta T_0 / \Delta T_{c0} = 1.19$ 、 $\Delta T_1 / \Delta T_{c1} = 1.13$ 可知,改变测量方式后,观测结果中反映最差的磁性体的异常信息损失很小,基本上保留了原测量方式的异常信息.

5 实例说明

为了说明问题,本文选取了某地区两种不同比例尺的航磁数据进行对比,由于受实际资料限制,数据无法严格满足飞行高度为 $1 : \sqrt{2}$ 的理论要求,但通过比较不同高度的实测数据,仍能说明本文讨论的问题.

图 3 采用的数据为航遥中心 1989 年测量的 $1 : 5$ 万航磁数据,平均飞行高度为 124 m ,选用的数据网格间距为 $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$;图 4 采用的数据为航遥中心 1996 年测量的该地区 $1 : 5$ 万航磁数据,飞行高度为 102 m ,为了说明本文的问题,作者将该数据抽稀为 $1 : 10$ 万的航磁数据,同样采用 $250 \text{ m} \times$

250 m 的网格间距进行网格化,并相应成图;对比图 3 和图 4 可以不难发现,图 3 体现的异常信息与图 4 所体现的信息基本相同,甚至在局部地区信息更为丰富(如图中 Δ 所示).

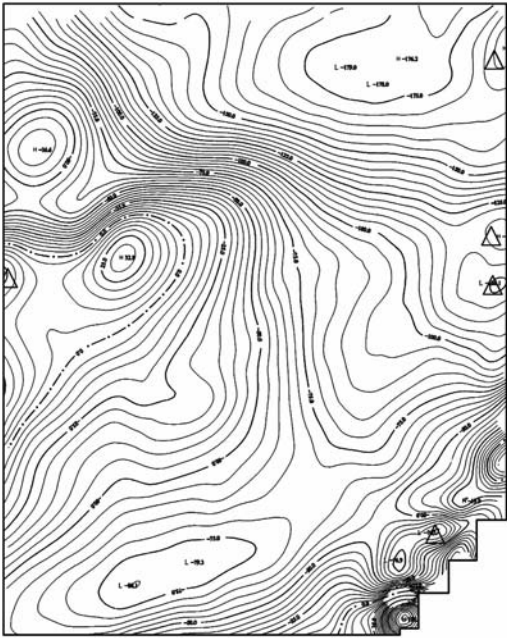


图 3 某地区 1 : 50000 航磁异常

Fig. 3 1 : 50000 aeromagnetic of an area

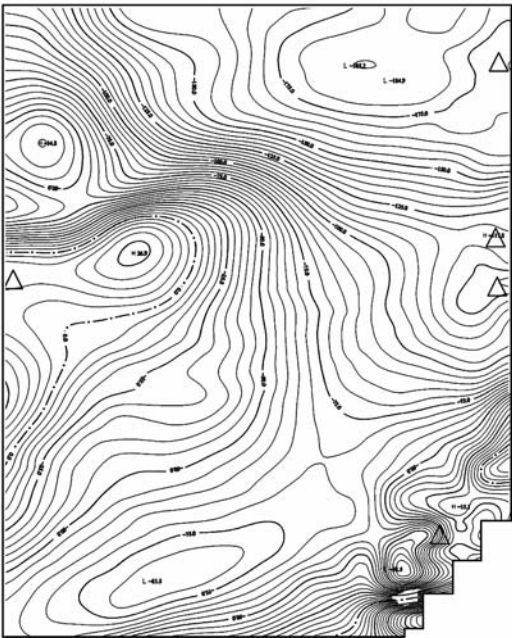


图 4 某地区 1 : 100000 比例尺航磁异常

Fig. 4 1 : 100000 aeromagnetic of an area

6 结 论

通过上述理论分析和实例都证明,由增加飞行高度所损失的磁异常信息,可以通过适当加密测线的方法来进行弥补,这在实际生产工作中具有重要意义.在我国西部地区,地形切割剧烈^[9,10],飞机的飞行高度很难低于 700 m,按照 DZ/T 0142-94 航空磁测技术规范的要求只能进行 1 : 20 万比例尺的航磁勘查,这种比例尺显然不能满足西部大开发找矿的要求;通过本文的研究,采取适当加密测线的办法,可以降低对飞机飞行高度^[11]的要求,而且基本不损失磁异常信息量,从而满足航磁测量的技术要求及解释需要,为地质调查和矿产勘查提供有力的资料保障.

致 谢 在本文的研究过程中,得到了航遥中心梁秀娟及乔广志同志的大力帮助,在此表示衷心的感谢.

参 考 文 献 (References):

[1] 航空磁测技术规范 DZ/T 0142-94 中国标准出版社 1995
Criterion of Aeromagnetic Survey. DZ/T 0142-94. Standards Press of China. 1995.

[2] 刘光鼎,郝天珧.应用地球物理方法寻找隐伏矿床[J].地球物理学报.1995,38(6):850~854.
Liu G D, Hao T Y. Search of Hidden Mineral Deposits by Geophysical Methods[J]. Chinese J. Geophys (in Chinese). 1995,38(6):850~854.

[3] 刘光鼎,郝天珧,刘伊克.中国大地构造宏观格架及其与矿产资源的关系——根据地球物理资料的认识[J].科学通报.1997,42(2):113~118.
Liu G D, Hao T Y, Liu Y K. The Macroscopic Framework of the Geotectonics of China and relationship with the mineral resources——Based on the Cognition of the Geophysical Data [J]. Chinese Science Bulletin. 1997,42(2):13~118.

[4] 熊盛青.我国航空重磁勘探技术现状与发展趋势[J].地球物理学进展.2009,24(1):113~117.
Xiong S Q. The Present Situation and Development of Airborne Gravity and Magnetic Survey Techniques in China [J]. Progress in Geophys. 2009,24(1):113~117.

[5] 管志宁.地磁场与磁力勘探[M].北京:地质出版社,2005.
Guan Z N. Geomagnetic field and magnetic exploration. BeiJing: Geological publishing House,2005.

[6] 董焕成.重磁勘探教程.地质出版社 1993.
Dong H C. Gravity and Geomagnetic Exploration Tutorial. BeiJing: Geological publishing House,1993.

[7] 黄仲良.石油重磁电法勘探.石油大学出版社 1999.
Huang Z L. Gravity, Geomagnetic And Electrical Exploration. University petroleum publishing house,1999.

[8] 吴国学.金矿勘查中的地面高精度磁法测量_以黑龙江乌拉嘎

金矿外围十三公里勘查区为例[J]. 地球物理学进展. 2007,22(5):1637~1641.

Wu G X. High Accuracy Magnetic Prospecting on Earth Surface in Gold Mine Exploration——Take the Shisangongli Exploring Area out of Wulaga Gold Deposit in Heilongjiang Province As an Example[J]. Progress in Geophys. 2007,22(5):1637~1641.

[9] 眭素文,于长春,熊盛青. 中高山区高精度航磁视磁化强度填图方法. [J]. 地球物理学进展. 2004,19(2):357~362.

Sui S W, Yu C C, Xiong S Q. Apparent Magnetization Mapping from High Resolution Aero Magnetic Data in the Region of High Topographic Relief[J]. Progress in Geophys. 2004,19(2):357~362.

[10] 徐世浙,沈晓华,邹乐君,等. 将航磁异常从飞行高度向下延拓至地形线[J]. 地球物理学报. 2004,47(6):1127~1130.

Xu S Z, Shen X H, Zou L J,etal. Downward Continuation of Aeromagnetic Anomaly from Flying Altitude to Terrain [J]. Chinese J. Geophys(in Chinese). . 2004,47(6):1127~1130.

[11] 薛典军. 航磁测量中飞行高度质量控制的方法技术[J]. 物探与化探. 2001,25(4):253~258.

Xue D J. The Technique for Controlling Flying Altitude Quality in Aeromagnetic Survey [J]. Geophysical & Geochemical Exploration. 2001,25(4):253~258.