频率域偶层位方法在直升机磁测数据处理中的应用

于长春1,王万银2,范正国1,熊盛青1,眭素文1

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083; 2. 长安大学,陕西 西安 710054)

摘要:由于航磁测量飞行高度数据精度低以及数据量大等原因,使得已有的一些曲面位场数据处理和转换方法很 少用于实际生产中。因此,提出了频率域偶层位曲面位场数据处理和转换方法。该方法采用数据圆滑方法压制飞 行高度数据的干扰,并成功地应用于湖北黄石直升机航磁测量的数据处理中。应用结果表明,曲面延托到地表的 磁场与地面磁测结果对应很好,而且曲面化极结果与已知地质体也有很好的对应,证实了频率域偶层位曲面位场 数据处理和转换方法实用性强,可用于起伏测量条件下航磁数据的处理工作中。

关键词:航磁测量;数据处理;频率域;偶层位;直升机

中图分类号: P631 文献标识码: A 文章编号: 1000 - 8918 (2007) 06 - 0577 - 04

自 20 世纪 60 年代末,中外学者采用等效源原 理和直接求解 Laplace 方程的方法,提出了用曲面 数据直接进行位场的各种处理和转换的设想、原理 和方法^[1-3]。如依据等效源原理发展了单层位和偶 层位法等不同的等效源法,比较有代表性的作者有 侯重初、徐连喜、王万银等。但是由于遇到了一些诸 如大数据量的处理和转换、大型的第一类 Fredholm 积分方程的求解、飞行高度和地形高程资料误差较 大等问题^[6],曲面位场处理方法很少在实际生产中 使用。

2004 年前后,国家投入大量资金,采取引进和自 行研制相结合的方式,成功地将吊舱式直升机频率域 电磁、磁综合系统^[7],硬架式直升机磁、放综合系统投 入生产,获得了较好的勘查和找矿效果。由于直升机 升降自如,可以随地形起伏飞行,探头离地面高度最 低可达30~80 m,采样间隔可达1~3 m 左右,能获取 丰富的地球物理场信息。但由于其测量面是曲面, 继续沿用平面位场数据处理方法势必存在误差^[8]。 这种误差对于低精度航磁资料解释或小比例尺航磁 资料解释或观测面起伏较小时,可以忽略,但是对于 以寻找深部隐伏矿为目标的高分辨率直升机航磁测 量来说就不能忽略了^[9]。因此,必须利用三维曲面 位场数据处理和转换方法才能保证数据处理结果的 正确性和地质解释结果的可靠性。

笔者提出了一套频率域偶层位曲面位场数据处 理和转换方法,能够处理大数据量的航磁数据,具有

1 航磁测量概况

2005 年底,使用硬架式直升机在湖北黄石地区 进行的1:1 万大比例尺高精度航磁测量,获得了高 分辨率的航测资料。其资料的磁测总精度 <0.16 nT,平面定位精度小于1m,高程精度3m左右。位 于测区中部的大冶铁矿面临资源枯竭,属典型的危 机矿山^[10]。其虽地处中国东部平原,但矿区北部四 峰山山势险峻,海拔达485.9m,南部地形海拔一般 在70m左右,区内及周边地形高差最大达420m。 为了尽可能多地获得地下磁性体信息,采用随地形 起伏飞行方法,因而本区测量面起伏较大。

2 方法技术

2.1 频率域偶层位法基本原理

偶层位法曾是空间域的一种基于等效源的曲面 位场处理和转换方法,由于在空间域实现,故将其称 为空间域偶层位法。偶层位法的关键问题是求解偶 层面的磁化强度面密度分布,通常在空间域计算偶 层面磁化强度面密度的方法是求解一个大型线性方 程组,这使得计算工作量很大。为减少计算工作量,

速度快、稳定性好等特点。湖北黄石直升机航磁测 区实际资料处理应用结果表明,该套方法得到的曲 面化极、延拓、垂向一阶导数、延拓到地表等处理成 果图件,与已知资料对应较好,为该区地质解释提供 了依据。

收稿日期:2007-09-10

基金项目:国家"十五"科技攻关课题(2001BA609A-5)资助

国家危机矿山接替资源勘查项目"湖北省黄石市大冶铁矿接替资源勘查"(200442007)资助

对大数据量的处理一般进行分块处理,而分块处理 造成的问题是分块边界相接处误差较大,特别是对 磁异常的化极处理结果影响较大。正是由于这些问 题的存在才使得空间域偶层位法较难适应大数据量 的处理任务。将偶层位法在频率域实现,故称为频 率域偶层位法。频率域偶层位法除具有上述空间域 偶层位法的优点外,还克服了空间域偶层位法计算 量大和分块处理存在的问题,使得对大数据量的处 理成为可能。

假设在一连续界面上存在连续分布的、面密度 为 $M(\xi,\eta)$ 的磁偶极子,该面的z坐标(向下为正) 用 $\zeta = h(\xi,\eta)$ 来表示,且磁化方向固定不变。当计 算面为水平面时,磁异常 $\Delta T(x,y,z)$ 频谱表达式为

$$F[\Delta T(x,y,z)] = \frac{\mu_0}{4\pi} [t \cdot (k)] \cdot [m \cdot (k)] \cdot \frac{2\pi}{|k|} \cdot e^{|k|(z-z_c)|} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-|k|)^n}{n} F[M(\xi,\eta)h_c^n(\xi,\eta)],$$

$$t \cdot (k) = t_s \cdot ik_s + t_s \cdot ik_s + t_s \cdot |k| \circ$$

其中: k_x, k_y 分别为x, y方向上的圆频率; |k|为径向圆频率, $\exists |k| = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}; \mu_0$ 为真空中的导磁系数;t为磁异常方向单位矢量, 其分量为 $(t_x, t_y, t_z);$ $z_c 和 h_c(\xi, \eta)$ 由下式给出

$$z_{c} = \frac{1}{2} \left\{ \min[h(\xi,\eta)] + \max[h(\xi,\eta)] \right\},$$

 $h_{c}(\xi,\eta) = h(\xi,\eta) - z_{co}$ 当计算面为曲面时,且计算面 z 坐标为 d(x,y),对 d(x,y) 平移1 个量—— z_{p} ,且 z_{p} 、d(x,y)和 $d_{p}(x,y)$ 的 关系为

$$z_{p} = \frac{1}{2} \{ \min[d(x,y)] + \max[d(x,y)] \},\$$

 $d(x,y) = z_p + d_p(x,y) \circ$

则曲面上 ΔT(x,y,z)的磁异常 表达式为

$$\Delta T(x, y, z) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot 2\pi \sum_{l=0}^{\infty} \frac{d_p(x, y)}{l!} F^{-1} \{ [t \cdot (k)] \cdot [m \cdot (k)] \cdot [k|^{l-1} \cdot e^{|k|(z_p - z_c)} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-|k|)^n}{n!} \cdot F[M(\xi, n) \cdot h^n(\xi, n)] \}$$

要实现频率域偶层位曲面位场数据处理和转换,必须求出观测面为曲面情况下偶层位磁化面密 度的 *M*(*x*,*y*),而后用前面给出的频率域偶层位法 的基本正演公式,就可以计算出观测面上的磁异常。 偶层位磁化面密度 *M*(*x*,*y*)的计算需要采用迭代方 法来完成。

2.2 实际资料处理方法

湖北黄石测量面高程最大值是 623 m,最小值

是120 m,平均值是190 m。变化较大的区域主要集 中在铁山垴一四峰山一犁头山连线以南区域内。该 区内相邻测线高差一般在100 m 左右,最大可达 140 m。这一区域也是本区磁场最强的地区,由于相 邻测线高差较大,在原始磁场图上出现了明显沿测 线方向(NE35°)拉长的磁异常,并出现多个峰值。 由于区内地磁倾角为45.6°,属于中磁纬度地区,存 在明显的斜磁化影响。在原磁场图上异常存在正负 伴生现象,特别是规模较大的岩体磁异常叠加比较 严重,使得磁场面貌复杂,较难分辨,需进行化极处 理。

由于图2所示的磁异常中存在沿测线方向的高 频干扰异常,直接进行化极、求导等数据处理势必会 增强这类干扰,影响处理效果,给进一步磁异常解释 造成困难。分析结果表明,这类高频干扰是由图1 所示的飞行测量面剧烈起伏变化引起的。干扰异常 的波长和延伸长度直接与测量面高程相关,如果不 考虑高程影响,单纯采用滤波方法消除干扰,滤波结 果难免顾此失彼,达不到最佳效果。

为此,针对大冶航磁资料实际,设计了如下方法 完成了曲面位场化极工作。首先对 GPS 高程网格 数据(图1)进行了去条带处理^[11],形成较为圆滑的 GPS 飞行曲面^[6](图3)。而后采用曲面位场处理系 统的"曲化曲"功能,将原 ΔT 磁异常(图2)化到圆 滑的 GPS 飞行曲面上,形成新的磁异常(图4)。最 后将原始 DTM 曲面、处理过的 GPS 曲面、新的 ΔT 磁异常网格数据作为曲面位场处理系统原始输入数 据,完成本区曲面化极的处理工作。

该方法不仅可以减弱相邻测线飞行高度差引起 的异常强度差异,而且还可以减少后续诸如求导、曲 面延拓到地表等信息增强处理中、沿测线方向条带 增强的现象。

3 应用效果

为了提高对航磁异常的分辨能力,突出更多有 用信息,根据本测区的航磁异常特征和地质解释需 要,对航磁原始测量数据进行了原平面化极、向上延 拓、垂向一阶导数以及剩余异常提取等位场处理和 转换。

3.1 曲面延拓到地表与地面高精度磁测结果对比

由于受大冶铁矿区地面建筑物及露天采坑等的 影响,地磁工作开展较为困难,目前只有图5范围内 地磁异常较为完整(这一范围是图1~图4的左上 部分范围)。从两者对比来看,磁场总体面貌相近, 正负异常中心基本吻合。细微之处的差别较大,如





地磁东侧负异常范围较大,而相应的航磁负异常范 围较小,以及地磁正异常极值大于航磁正异常极值 等等。产生这些差异的主要原因可能是地磁异常含 有更多的地表或近地表的磁性体的影响,而航磁异 常反映的是区域磁场的变化。由于这类磁性体规模



图 6 航空磁测曲面延拓到地表的 ΔT 等值线

小,随距离衰减快,在航空磁场图上反映微弱,再加 上曲面下延误差的影响,因此曲面延拓到地表的磁 异常图上不可能与地磁结果一致。如果依据图5和 图6的数据求差绘制剩余异常图,用来圈定浅部磁 性体位置,则可以进一步拓展航磁曲面延拓到地表 磁场图的应用范围。

3.2 化极磁异常图与已知地质体对比

本区化极处理后,斜磁化影响大为减弱,形成了 具有一定地质意义的正负异常条带或正负异常区 块。例如,正异常分布范围与铁山岩体分布范围基 本一致,负异常分布范围与测区南侧三叠系灰岩或 大理岩分布范围一致;大部分磁异常经化极处理后 异常范围缩小,形态简化,正异常极值增加且向北偏 移,一些叠加在主异常上的微弱局部异常更加明显, 特别是正异常区内与闪长岩不同岩相有关的局部异 常显示得更加清晰。

图7是五架山地区化极、原平面磁异常等值线

1一磁正等值线,单位 aT;2一磁负等值线;3一磁零等值线;4一第四纪;5一闪长岩;6一含石英闪长斑岩;7一蒲圻组粉沙岩

图 7 五架山地区化极效果对比

及地质对比,从图上可以看到,五架山附近的局部异常化极后异常中心向北偏移约 500 m,轴向变化约 5°左右,异常极大值由原来的 125 nT 升高到 1 150 nT,伴生负异常也相对减弱。化极为更准确地确定 磁性地质体的位置和边界提供了依据。

4 结论

(1)湖北黄石测区网格数据扩边后,数据量达 2048×2048点,应用频率域偶层位法计算曲面化 极耗机时(IBMT41型笔记本)约30min。另外,曲 面求导、化到地表磁场无畸变且快速收敛,说明本方 法实用性强,适于大数据量重、磁资料的处理。

(2)频率域偶层位法不仅解决了直升机生产过 程中曲面重、磁资料处理的难题,而且也为今后测量 面起伏地区重、磁资料处理提供了经验和技术。

参考文献:

 Dampney C N G. The equivalent source technique [J]. Geophysics, 1969, 34(1):39.

- [2] Battacharyya B K, Chen K C. Reduction of magnetic gravity data on an arbitrary surface acquired in a region of high topographic relief [J]. Geophysics, 1977, 42(7); 1141.
- [3] 候重初,蔡中熹,刘奎俊.从偶层位出发建立曲面上的位场转 换系统[J].地球物理学报,1985,28(4):410.
- [4] 管志宁,安玉林,陈维雄.曲线与曲面上磁场向上延拓和分量 转换[J].地球物理学报,1985,28(4);419.
- [5] 王万银,潘作枢,李家康.三维高精度重磁位场曲面延拓方法
 [J].物探与化探,1991,15(6):415.
- [6] 于长春,熊盛青,等. 航磁韵面异常高度改正方法研究[A]. "九五"全国地质科技重要成果论文集[C].北京:地质出版 社,2000.
- [7] 王卫平,王守坦. 吊舱式直升机频率域电磁系统在北京密云红 光铁矿的勘查效果[J],物探与化探,2006,30(5):420.
- [8] 潘作枢,王万银.三维曲面位场处理问题[J].西安地质学院学报,1993,15(4):178.
- [9] 刘玉成,杨艺华,王永基,大冶铁矿控矿构造研究及深部隐伏 矿体定位预测[J].地质与勘探,2006,42(6):10.
- [10] 于长春,范正国,王乃东,等.高分辨率航磁方法及其在大冶铁 矿区的应用[J].地球物理学进展,2007,22(3);979.
- [11] 范正国. 消除航空物探数据中条带干扰的新方法[A]. 航空物 探遥感论文集[C]. 北京:地质出版社,1999.

下转 584 页

A STUDY OF THE STORAGE METHOD FOR AEROGEOPHYSICAL SURVEY DATABASE ON ORACLE

WANG Lin-fei, XUE Dian-jun, HE Hui, YAN Hong-yu

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: There exist large quantities of aerogeophysical survey data, and the sampling rate of the coordinate data is not the same as that of the field data. Therefore, the efficient storage of the data seems to be the key technical problem in designing aerogeophysical database structure. The speed of storing and picking up data by the routine storage methods is slow. The storage method of BLOB can not only solve the problem that the sampling rate of the coordinate data is not the same as that of the field data but also reduce the record number and speed up storing and picking up data.

Key words: aerogeophysical survey; data storage; Oracle; BLOB Field

作者简介:王林飞(1977 -),女,工程师。2004 年毕业于中国地质大学(北京),主要从事航空物探数据处理及信息系统建设工作。

上接 580 页

THE APPLICATION OF THE FREQUENCY DOMAIN DIPOLE LAYER METHOD TO THE PROCESSING OF AEROMAGNETIC DATA SURREYED BY HELICOPTER

YU Chang-Chun¹, WANG Wan-Yin², FAN Zheng-Guo¹, XIONG Sheng-Qing¹, SUI Su-Wen¹

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China; 2. Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Due to remarkable errors caused by the limited data-processing capacity and the low precision of curved surface data, the processing and transform methods for the curved surface potential field have seldom been used in practical work. In this paper, a frequency domain dipole layer method for the processing of aeromagnetic data of curved surface, together with the reducing noise means, is put forward. This method was used in the aeromagnetic area of Huangshi, Hubei Province. A comparison of the calculated data with the surveyed data shows that the result is satisfactory and the magnetic field is in accord with the magnetic body. It is obvious that the frequency domain dipole layer method has good practicality, and can hence be used to process the aeromagnetic data of curved surface.

Key words: aeromagnetic survey; data processing; frequency domain; dipole layer; helicopter

作者简介:于长春(1964-),男,汉族,博士。现为中国国土资源航空物探遥感中心教授级高工,主要从事航磁方法技术研究 和航磁资料解释工作。