doi: 10.11720/wtyht.2020.0056
黄威,贲放,李军峰,等.航空瞬变电磁数据背景场去除研究[J].物探与化探,2020,44(3):672-676. http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.0056
Huang W, Ben F, Li J F, et al. Background field removal from airborne transient electromagnetic data[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(3):672-676. http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.0056

航空瞬变电磁数据背景场去除研究

黄威[1,2,3],贲放[1,2,3],李军峰[1,2,3],殷长春[4],胥值礼[1,2,3],刘俊杰[1,2,3]
(1. 自然资源部 地球物理电磁法探测技术重点实验室,河北 廊坊 065000; 2. 中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所,河北 廊坊 065000; 3. 国家现代地质勘查工程技术研究中心,河北 廊坊 065000; 4. 吉林大学 地球探测科学与技术学院,吉林 长春 130026)

摘 要: 与地面瞬变电磁法相比,航空瞬变电磁法受不同的噪声类型影响较大,如天电噪声、运动噪声等,并且背景场对数据的影响也是不可忽略的。由于背景场中含有一次场信息,使得背景场幅值远大于含有地质信息的二次场信号。为较清晰地获得地下电性结构,需找到可以高效去除背景场的方法。本文提出利用线性插值方法来对背景场问题进行研究。首先,获得前、后高空飞行的测线数据,经过叠加、平均计算得到叠加周期内相同采样时间道的响应值,然后,利用插值原理针对每个采样时间道建立一个插值函数,最后,根据飞行时间来计算工区每条测线上采集数据的背景场值,从而达到去除背景场的目的。实测数据背景场去除的算例表明,该方法可较好地去除背景场对二次场异常的掩盖,去除后可较清晰地判断异常出现的位置。时间域航空电磁数据预处理包含较多处理模块,该方法的提出为高效的数据处理奠定了基础。

关键词: 航空瞬变电磁法;数据预处理;背景场去除;线性插值法
中图分类号: P631 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-8918(2020)03-0672-05

0 引言

时间域航空电磁法是航空物探测量的常用方法之一[1-2],已广泛应用于矿产资源勘查、环境监测、地质调查等领域。该方法是通过飞机平台搭载电磁勘探设备对地下目标体进行探测,分为时间域和频率域两大类,可以快速高效地对复杂地区进行大面积勘探,特别适合湖泊沼泽、沙漠、高山、森林覆盖等地形复杂地区。该方法通过电磁感应原理,利用发射源向地下发射脉冲磁场,经过地下介质激发产生涡流场,接收线圈接收来自地下返回的二次场信号的同时,接收从空气中直接传回的一次场信号[3-8]。理想情况下,直接从接收线圈中去除一次场信号即可得到反映地下介质信息的二次场响应,但实际工作中,还需考虑飞机及仪器对信号的影响[9-11]。我们将一次场信号和飞机及仪器本身感应出的信号及飞机金属表皮轻微颤动引起的附加噪声信号总和称为背景场。由于航空电磁测量收发距较小,导致背景场信号幅值远高于二次场信号,且背景场信号中不含有地下介质信息,所以必须对接收线圈内的背景场信号进行去除,从而得到包含地下介质信息的二次场响应。

背景场由于包含移动情况下飞机和仪器的噪声,达到精准去除难度较高[12]。Smith[13]利用时间域航空电磁响应的同向分量和垂向分量对一次场的去除进行了研究,表明在电阻体介质中假设同向分量只含有一次场信息,那么接收传感器的位置可由同向分量确定,但导体介质不适用于上述情况;如果接收传感器位置测量准确,则可以精准地算出自由

收稿日期: 2020-01-19; **修回日期**: 2020-03-11
基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0601900);基本科研业务费专项经费资助项目(JYYWF20180103);中国地质调查局项目(DD20201179);物化探所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(AS2017J06)
作者简介: 黄威(1989-),女,工程师,博士,毕业于吉林大学,主要从事航空电磁正反演理论及数据处理与解释研究工作。Email: huangwei@igge.cn
通讯作者: 贲放(1989-),男,工程师,博士,毕业于吉林大学,主要从事航空物探方法技术理论研究与应用工作。Email: benfangzai2008@163.com

空间中一次场值,即可对其在总场中进行去除从而得到二次场;但由于飞机测量中处于移动状态,因此对传感器测量的精准度要求较高。为此本文提出一种高效、快速的线性插值方法来去除背景场对时间域航空电磁数据的影响。

为快速对海量时间域航空电磁实测数据进行背景场去除,本文详述如何利用线性插值技术获得测线中每个采集数据的背景场信号,通过相关的计算对背景场进行有效去除,并根据现有实测数据进行了去除背景场后的效果展示。

1　背景场去除原理

当飞机在远离地面一定高度(>1 000 m)进行飞行测量时,接收线圈得到的信号为一次场信号和飞机及仪器的相关信号,此时地下涡流场极弱可将其忽略,认为此时接收线圈的信号即为背景场。

1.1　背景场数据采集

在时间域航空电磁野外实测数据采集前后,均需要进行高空飞行来获得背景场数据。可将野外测量分为前高空飞行、测线低空飞行、后高空飞行,前后高空飞行时间各不少于 90 s。如图 1 所示,飞机需飞行到一定高度进行前高空飞行测量,测区飞行(图中蓝色实线)结束后,飞机仍需飞到一定高度进行后高空飞行,从而分别得到前、后高空背景场数据(图中红色实线),为数据预处理中背景场去除环节做准备。

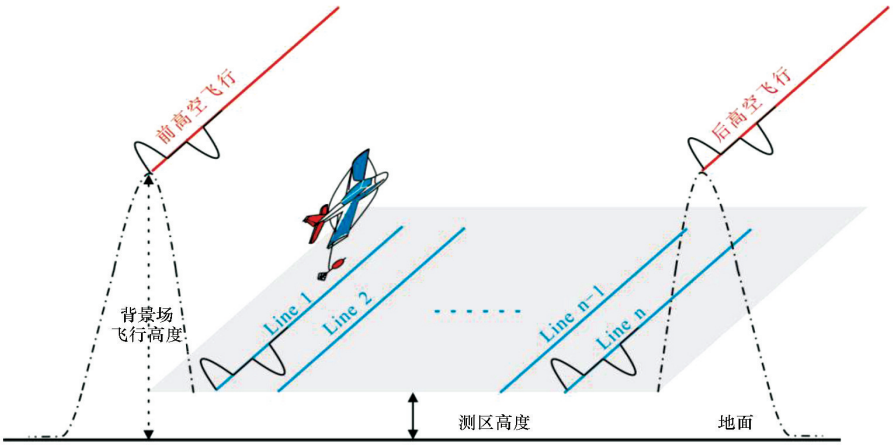


图 1　时间域航空电磁野外飞行示意

Fig. 1　The diagram of time-domain AEM actual flight

1.2　背景场线性插值

假设在时间域航空电磁测量过程中,飞机及仪器等产生的信号随着时间是呈线性变化的,那么我们采用线性插值的方法来得到测线上每点各时间道的背景场值。

首先,计算前、后高空飞行的背景场数据每周期内各时间道的叠加平均值。设 N_1、N_2 分别是前、后高空背景场数据的周期数,n 为周期采样点数,$\mathrm{sum}_1(i)$、$\mathrm{sum}_2(i)$ 分别为前、后高空背景场数据中第 i 个时间道值总和,$B_1(i)$、$B_2(i)$ 分别为前、后高空背景场数据中第 i 个时间道的平均值,则有

$$B_m(i)=\left(\sum_{j=1}^{n}\mathrm{sum}_m(i)\right)\Big/N_m,\quad (i=1,2,\cdots,n;\quad m=1,2) \tag{1}$$

其次,计算飞行前、后高空时间参数。设前高空飞行的第一个时间道为时间起点,每个时间道之间的时间间隔为 Δt,后高空数据的第一个时间道距起点的时间间隔为 tp,则前、后高空叠加周期内各时间道距时间起点的时刻 $t_1(i)$、$t_2(i)$ 分别为:

$$t_1(i)=(i-1)\Delta t,\quad (i=1,2,\cdots,n) \tag{2}$$

$$t_2(i)=(i-1)\Delta t+tp。\quad (i=1,2,\cdots,n) \tag{3}$$

然后,确定线性插值函数。根据前、后高空背景场数据叠加周期内相同时间道的两个点为基准,建立插值函数。确定第 i 个时间道所在直线的斜率 $k(i)$ 和截距 $b(i)$,则有

$$k(i)=\frac{B_2(i)-B_1(i)}{t_2(i)-t_1(i)},\quad (i=1,2,\cdots,n) \tag{4}$$

$$b(i)=\frac{t_2(i)B_1(i)-t_1(i)B_2(i)}{t_2(i)-t_1(i)},\quad (i=1,2,\cdots,n) \tag{5}$$

从而得到相同时间道的插值函数,根据插值函数可以计算每条测线第 i 个时间道的背景场值 $y(i)$。

最后,对时间域航空电磁数据进行背景场去除。$R(i)$ 和 $R_{\mathrm{res}}(i)$ 分别为第 i 个时间道背景场去除前后的响应,则根据以上计算所得插值函数,可得到去除

背景场的响应为：

$$R_{res}(i) = R(i) - y(i), \quad (i = 1,2,\cdots,n)。(6)$$

具体原理如图 2 所示，通过插值计算得到每条测线的背景场值。计算过程中要明确每条线开始测量的时间，已备计算使用。

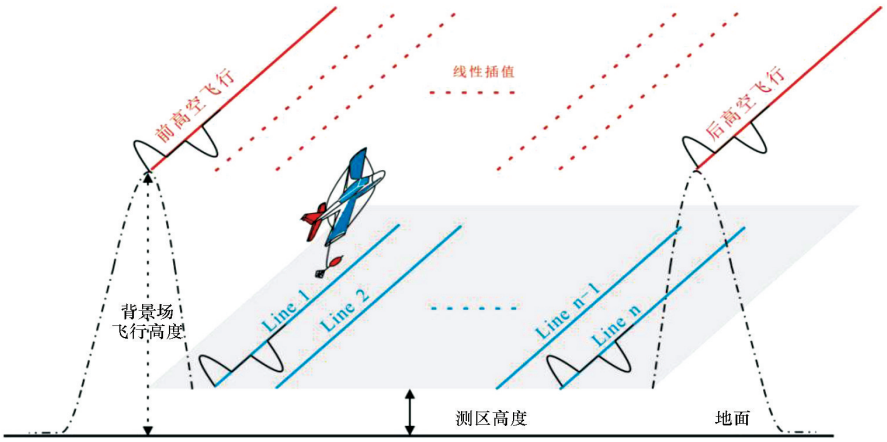


图 2　背景场线性插值示意

Fig. 2　The diagram of background field linear interpolation

2　背景场去除示例分析

算例来自哈尔滨某地区进行的飞行测量，抽取部分数据进行演示。数据采集采用自主研发的固定翼时间域航空电磁系统（iFTEM），基频为 25 Hz，数据采样率为 100 kHz，发射波形采用半正弦波，供电时间为 4 ms。

时间域航空电磁数据预处理流程较复杂，涉及多种方法对不同噪声进行去除，处理数据过程中方法的循序性可能对数据产生一定的影响，如果背景场去除置于较后的步骤，则需要提前对背景场进行叠加处理、抽道处理等步骤。直接飞行测量得到的背景场数据被天电噪声、运动噪声等噪声影响，在对测线进行背景场去除前，需要考虑将以上噪声先进行去除。本文使用的实测数据已进行了天电噪声去除和运动噪声去除处理。

通过对前、后高空飞行所有周期信号按照采样时间道进行叠加后平均，得到叠加周期内各时间道的背景场值，利用线性插值方法得到测线各时间道的背景场值。通过得到的各时间道背景场值，最后利用实测数据（real data）减去各时间道的背景场值，得到含有地下介质信息的二次场信号。

图 3 给出了实测数据背景场去除前后的对比情况。从图中可以清晰地看出背景场场值对实测数据影响非常大，如不进行正确的去除，二次场信息会淹没在背景场信号中，同时由于背景场不含有地下介质信息，因此也必须予以去除。

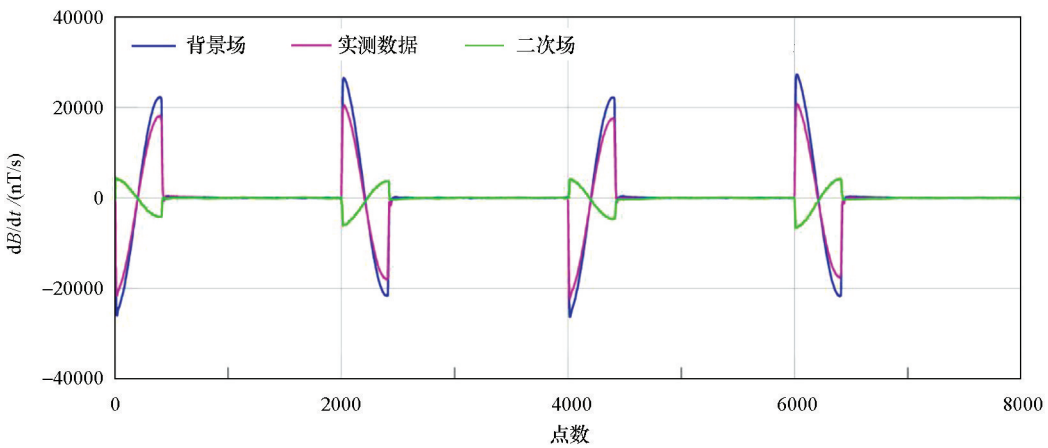


图 3　背景场去除前后效果比较

Fig. 3　The comparison of effect before and after background field removal

图 4 给出了实测数据和背景场在剖面情况下的数据对比。从图中不能明确看出地下介质分布的大体情况,通过去除背景场,可以对测线下介质电阻率高低进行一个简单的判断(文中数据为有代表性的阶段性数据,非数据预处理后的完整数据)。

图 5 给出了去除背景场后的二次场剖面数据,从数据中可以较为清晰的判断异常出现的大体位置(377350 ~ 377550,379000 ~ 3794000),处理结果再一次说明去除背景场的必要性。正确的去除背景场可以为后期数据处理奠定了较好的基础。

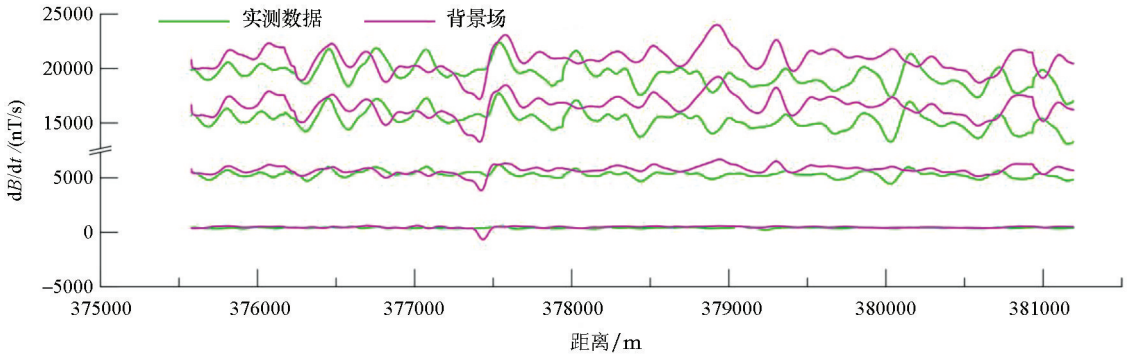


图 4　实测数据与背景场数据不同时间道剖面对比

Fig. 4　The profile comparison diagram of real data and background field data

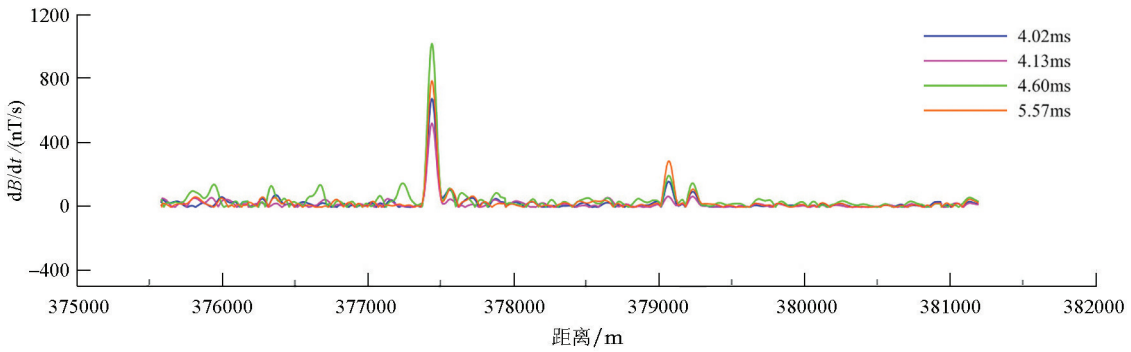


图 5　二次场数据剖面

Fig. 5　The profile diagram of secondary field

3　结论

本文利用线性插值方法对时间域航空电磁数据进行背景场去除,首先将前、后高空背景场数据周期内每个时间道进行累加,求得叠加周期内每个时间道的均值,将前、后高空叠加周期内同一时间道作为插值的首尾端,通过测线数据采集时间与前、后高空背景场数据的时间间隔作为已知参数,来计算每条测线对应数据的背景场值,然后对相应时间道的背景场进行有效去除。从实测数据去除效果可以看出,该方法可以较好地应用于实测数据处理中,经过背景场去除的二次场数据可以较好显示出地下异常出现的位置。该方法的提出,为数据预处理增加了可靠的处理方法,更为数据解释提供了良好的基础。

致谢:感谢审稿人和编辑对本文提出的意见。感谢吉林大学航空电磁研究团队提供的帮助。

参考文献(References):

[1] 殷长春. 航空电磁理论与勘查技术[M]. 北京:科学出版社, 2018.
Yin C C. Airborne electromagnetic theory and exploration technology [M]. Beijing: Science Press, 2018.

[2] 殷长春, 张博, 刘云鹤,等. 航空电磁勘查技术发展现状及展望[J]. 地球物理学报,2015,58(8):2637 - 2653.
Yin C C, Zhang B, Liu Y H, et al. Review on airborne EM technology and developments [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2015, 58(8): 2637 - 2653.

[3] 裴易峰. 多波发射时间域航空电磁系统数据处理及正反演研究[D]. 长春:吉林大学,2015.
Pei Y F. Research on modeling, data processing and inversion of the time domain airborne Multipulse system [D]. Changchun: Jilin University, 2015.

[4] 张博. 基于非结构有限元的频率/时间域航空电磁系统仿真研究[D]. 长春:吉林大学, 2017.
Zhang B. Research on finite-element method based on unstructured grids for airborne EM modeling [D]. Changchun: Jilin University, 2017.

[5] 齐彦福. 复杂介质中时间域航空电磁数据仿真技术研究[D].

长春:吉林大学, 2017.
Qi Y F. Time-domain airborne electromagnetic simulation for complex medium [D]. Changchun: Jilin University, 2017.
[6] 任秀艳. 基于有限体积法时间域航空电磁三维正反演研究[D]. 长春:吉林大学, 2018.
Ren X Y. 3D time-domain AEM modeling and inversion with FV method [D]. Changchun: Jilin University, 2018.
[7] 黄威. 时间域航空电磁系统仿真与关键技术研究[D]. 长春:吉林大学, 2016.
Huang W. Time-domain airborne electromagnetic simulation and key technologies [D]. Changchun: Jilin University, 2016.
[8] 谢宾. 时间域航空电磁数据去噪方法研究 [D]. 长春:吉林大学,2015.
Xie B. Study on noise removal of time-domain airborne electromagnetic data [D]. Changchun: Jilin University. 2015.
[9] 黄威,贲放,吴珊,等. 正交多项式法在航空电磁运动噪声去除中的应用[J]. 物探与化探,2019,43(4):892 - 898.
Huang W, Ben F, Wu S, et al. Application of orthogonal polynomial fitting method in airborne electromagnetic motion noise removal [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2019, 43(4): 892 - 898.
[10] 朱凯光,王凌群,谢宾,等. 基于主成分分析的航空电磁数据噪声去除方法[J]. 中国有色金属学报,2013,23(9):2430 - 2435.
Zhu K G, Wang L Q, Xie B, et al. Noise removal for airborne electromagnetic data based on principal component analysis [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2013,23(9): 2430 - 2435.
[11] 朱凯光,李玥,孟洋,等. 最小噪声分离在航空电磁数据噪声压制中的应用[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2016,46(3):876 - 883.
Zhu K G, Li Y, Meng Y, et al. Application of minimum noise fraction on noise removal for airborne electromagnetic data [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2016, 46(3): 876 - 886.
[12] Lane R, Green A, Golding C, et al. An example of 3D conductivity mapping using the TEMPEST airborne electromagnetic system [J]. Exploration Geophysics, 2000, 31(2): 162 - 172.
[13] Smith R. On removing the primary field from fixed-wing time-domain airborne electromagnetic data: some consequences for quantitative modeling, estimating bird position and detecting perfect conductors [J]. Geophysical Prospecting, 2001, 49(4): 405 - 416.

Background field removal from airborne transient electromagnetic data

HUANG Wei[1,2,3], BEN Fang[1,2,3], LI Jun-Feng[1,2,3], YIN Chang-Chun[4], XU Zhi-Li[1,2,3], LIU Jun-Jie[1,2,3]

(1. *Laboratory of Geophysical Electromagnetic Probing Technologies, Ministry of Natural Resources, Langfang* 065000, *China*; 2. *Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang* 065000, *China*; 3. *National Research Center of Geoexploration Technology, Langfang* 065000, *China*; 4. *College of Geo-exploration Sciences and Technology, Jilin University, Changchun* 130026, *China*)

Abstract: A comparison with ground transient electromagnetic (EM) method shows that airborne transient EM is more affected by noise, such as sefrics and motion noise. And the influence of background field noise couldn't be neglected. The background contains primary field information, which causes the amplitude of background field to be much larger than the secondary field signal containing geological information. In order to obtain the underground electrical structure clearly, it is necessary to find an efficient method to remove background field. In this paper, the background field problem is studied by linear interpolation. First, according to the responses of the front and back line obtained from the high flight, after cumulative and average calculation, the responses of the same time channel of each measured line in a cycle can be obtained as the background field responses of the corresponding time channel of each line. Using interpolation principle, the background field above each measuring line in the working area is calculated by flight time, so as to remove the background field. Through the real data removal, this method can better remove the background field and then show the anomaly, and can clearly determine the location of the anomaly after removal. Time-domain AEM data preprocessing contains many processing modules. The linear interpolation method proposed in this paper lays a foundation for efficient data preprocessing.

Key words: airborne transient EM; data pre-processing; de-noising background filed; linear interpolation

(本文编辑:沈效群)