

doi:10.11720/wtyht.2015.2.25

徐东礼,范正国,舒晴,等.两种典型磁扰对航空磁测的影响[J].物探与化探,2015,39(2):362-365.http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.2.25

Xu D L, Fan Z G, Shu Q, et al. The influence of two typical kinds of magnetic disturbance on the airborne magnetic survey[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(2): 362-365. http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.2.25

两种典型磁扰对航空磁测的影响

徐东礼,范正国,舒晴,叶挺明,陈浩
(中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083)

摘 要: 磁扰是磁暴发生期内间断性出现的地磁场扰动变化,可以出现在磁暴的不同阶段,其幅度和形态与磁暴的规模和类型相关,规模较大的磁暴期间出现的磁扰比规模较小的磁暴期间出现的磁扰幅度大、频次高、持续时间长。研究发现,实际生产中最常见的磁扰幅度一般在几纳特至十几纳特,形态主要呈线性梯度变化和非线性扰动变化,这两种典型磁扰对磁测结果均有影响,经过磁日变校正能够消除。结合生产实例,探讨了磁日变校正对消除磁扰的作用。

关键词: 地磁场;航空磁测;磁扰;内符合精度;磁日变校正

中图分类号: P631.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2015)02-0362-04

地球周围存在的磁场称为地磁场,地磁场是一个矢量场,在磁法勘探中通常测量的是地磁总场强度的模量值,其中包含了地球基本磁场、磁异常场和变化磁场。地球基本磁场也可认为是地磁正常场,在磁力勘探中被当作背景场,可通过国际地磁参考场(IGRF)模型进行地磁正常场校正;磁异常场是地壳内的岩石矿物及地质体在基本磁场磁化作用下所产生的磁场,是磁法勘探研究的主要对象,磁异常场是无法通过仪器直接观测到的,但可通过测量地磁总场强度模量值,再经地磁正常场校正和变化场校正获得,即 ΔT 磁异常。变化磁场是叠加在地球基本磁场上的变化场,在磁力勘探中属于干扰场,应加以去除^[1-2]。变化磁场包括长期变化场和短期变化场,长期变化场起源于地球内部场源随时间的缓慢变化,周期一般为数十年甚至更长,这部分影响相对于测量周期较短的区域磁测来说影响甚微,而短期变化场主要起因于地球外部场源的变化,包含周期性出现、平缓而有规律的平静变化(如地磁日变),以及偶然发生、幅度不定的扰动变化(如磁暴或磁扰)。

磁暴是一种剧烈的全球性地磁扰动现象,当太阳表面活动旺盛,特别是在太阳黑子极大期时,太阳表面的闪焰次数增加,并辐射出 X 射线、紫外线、可

见光及高能量的质子和电子束,其中的带电粒子(质子、电子)形成的太阳风以每秒数百甚至上千公里的速度向外抛射,冲击地球磁场,引发地球磁场突变,形成磁暴。一个完整磁暴周期起始于地面磁场强度的增加,称为磁暴急始,在数小时内,地磁场水平分量较平静值变大,一般为数十纳特,磁照图相对稳定,这段期间称为磁暴初相;之后,水平分量很快下降到极小值,下降时间约半天,期间磁照图起伏剧烈,为磁暴活跃期,称为磁暴主相;水平分量下降到极小值后开始缓慢回升,数天后恢复平静,这段期间称为磁暴恢复相。磁扰是磁暴发生期内间断性出现的地磁场扰动变化,可以出现在磁暴的不同阶段,也称为暴间磁扰,磁扰的幅度和形态与磁暴的规模和类型相关,规模较大的磁暴期间出现的磁扰比规模较小的磁暴期间出现的磁扰幅度大、频次高、持续时间长^[3-5]。磁暴强度划分上,一般把 D_{st} 指数不超过 50 nT 的磁暴称为小规模磁暴,50~100 nT 的磁暴称为中等规模磁暴,100~200 nT 的磁暴称为大磁暴,超过 200 nT 的磁暴属于超强磁暴^[6],不同规模的磁暴均对磁测结果产生显著影响,因此地面高精度磁测技术规程和航空磁测技术规范中均有在磁暴发生时停止作业的规定^[7-8]。那么不同的磁扰对磁测结果的影响程度究竟如何? 研究发现,磁扰主要呈线

性梯度变化和非线性扰动变化两种典型形态,其幅度一般在几纳特至十几纳特。客观上说,磁扰是干扰场,即使是几纳特的扰动也足以影响航空磁测数据的准确性。那么这两种典型磁扰对磁测结果的影响程度究竟如何?通过磁日变校正,是否能够有效消除这种影响?笔者在多个工区的航磁测量中,观测并分析了数起呈线性梯度变化和非线性扰动变化的磁扰实例,并选择在磁静日对受影响测线进行了重飞,通过对重飞前、后的磁异常结果对比分析,初步揭示了这两种典型磁扰对航空磁测结果的影响程度,以及磁日变校正对降低甚至消除其影响所起的作用,这对高精度航空磁测具有现实意义。

1 磁扰影响程度分析方法

基于磁法勘探理论,航空磁测中测得的总磁场强度模量值 T ,经过正常场改正后,获得了 ΔT 磁异常(记为 $\Delta T_{校正正常场}$),再经过日变校正,可初步获得由磁性岩矿石和地质体引起的 ΔT 磁异常(记为 $\Delta T_{校磁日变}$)。显然, $\Delta T_{校正正常场}$ 中包含了磁日变的成分,在磁扰日观测时也包含了磁扰的成分。从理论上讲,如果磁日变观测站设置合理,观测到的磁日变与测线上的磁日变完全一致,并且地面磁日变观测系统与空中测量系统的收录时间完全同步,那么磁日变校正应该能够将变化场中的平静变化和扰动变化部分完全消除,获得的最终 $\Delta T_{校磁日变}$ 磁异常将是地下磁性岩矿石和地质体的真实反映。但是实际情况不会是理想的,通常磁日变站观测到的结果,与测线上实际的磁日变会存在一定的差别,随着两者之间距离的增加,尤其是当两者在不同地理纬度上距离增加时,差别也会随之增大^[9-10],当两者之间的距离较近时,其差别往往可以被忽略。因此地面高精度磁测技术规程和航空磁测技术规范中均对磁日变站的控制距离有明确规定^[7-8]。通过选择在磁静日对受影响测线进行重复观测(重复飞行的航迹和离地高度与首次飞行一致),我们可以获得同一测线在磁扰日和磁静日两次观测的 $\Delta T_{校磁日变}$ 磁异常剖面,依据航磁重复线测量质量评价方法^[11-16],计算出两者的内符合精度值,可以衡量两次观测结果的一致性。很明显,内符合精度值越小,说明两者一致性越好,亦即磁日变校正对消除磁扰影响效果越好;反之,内符合精度值越大,则说明两者一致性越差,亦即磁日变校正对消除磁扰影响的效果不好。同理,通过两次观测的 $\Delta T_{校正正常场}$ 磁异常剖面(未经磁日变校正)进行对比和内符合精度计算结果,可以衡量未经磁日变校正情况下磁扰对测量结果的影响程

度。根据上述分析,我们先计算磁扰日和磁静日两次观测的 $\Delta T_{校正正常场}$ 磁异常内符合精度($\delta_{前}$),衡量磁日变校正前磁异常的重合程度;再计算两次观测的 $\Delta T_{校磁日变}$ 磁异常内符合精度($\delta_{后}$),衡量磁日变校正后磁异常的重合程度。并依据公式

$$R = \delta_{前} / \delta_{后}$$

计算磁日变校正对磁扰影响的改善率,式中, $\delta_{前}$ 为两次观测结果未经磁日变校正时的内符合精度, $\delta_{后}$ 为经过磁日变校正后的内符合精度, R 为改善率,衡量磁日变校正对磁扰影响的改善程度。 R 值大于 1,说明磁日变校正对测量结果有改善; R 值小于等于 1,则说明磁日变校正对测量结果无改善。很明显,由于磁日变中包含了磁扰的成分, R 值越大,说明磁日变校正对消除磁扰影响的效果越好。

2 应用实例

2.1 线性梯度变化磁扰的影响

2010 年 4 月 12 日发生了磁扰,磁日变出现较大的变化,影响到海南某工区的一条测线,记录显示在 14:04~14:09 的 5 分钟时段内,磁日变线性梯度变化幅度达 22 nT(图 1),磁日变的梯度变化使该条测线磁场观测值形成了台阶,事后选择磁静日对该测线进行了重飞。

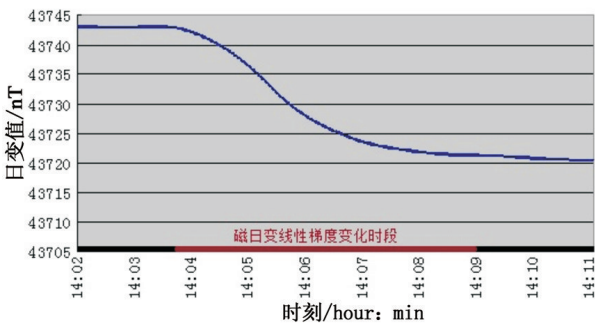


图 1 海南某工区磁日变部分记录

通过绘制该测线在磁扰日和磁静日两次观测的、经正常场(ICRF)校正后的 ΔT 磁异常剖面(图 2),清晰地观察到在磁日变开始梯度变化之前,两次观测的 ΔT 磁异常形态和强度基本一致,但是随着磁日变的线性梯度下降, ΔT 磁异常出现了相同梯度的偏离,重合度变差,可见这段呈线性梯度变化的磁扰,对磁测结果的影响是非常明显的。计算磁日变校正前两条磁异常曲线的内符合精度 $\delta_{前}$ 为 5.218 nT,这个值越大,重合度越不好。一般来说,一段质量较好的重复线的内符合精度值一般为 1 nT 左右

再绘制经磁日变校正后的 ΔT 磁异常剖面图

(图 3),可见,经过磁日变校正,在磁扰日测量获得的 ΔT 磁异常与磁静日重复观测的结果重合度非常好,其内符合精度 $\delta_{后}$ 为 1.620 nT,远小于 $\delta_{前}$ 的结果。根据公式(1),计算改善率 R 为 3.221,说明经过磁日变校正后两次观测的 ΔT 磁异常一致性提高 3 倍以上。

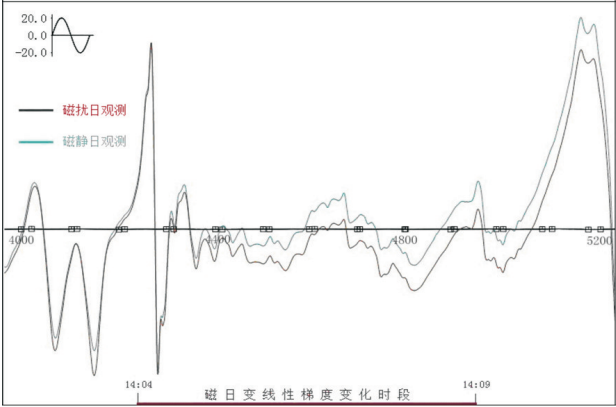


图 2 两次观测的 ΔT 磁异常剖面(校磁日前)

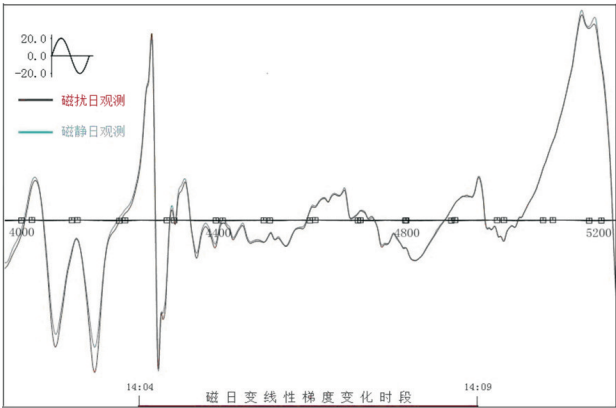


图 3 两次观测的 ΔT 磁异常剖面(校磁日后)

本例中的磁扰,使磁日变产生了 22 nT/5 min 的线性梯度变化,但通过磁日变校正获得的 ΔT 磁异常,取得了与磁静日重复观测几乎同样的结果,说明此类规模、呈线性梯度变化的磁扰,能够通过磁日变校正而有效消除。

2.2 非线性梯度变化磁扰的影响

2008 年 12 月 31 日出现磁扰,影响到山西某工区的一条测线,磁日变记录显示在 14:55~15:15 之间,磁日变出现连续扰动变化,磁扰的最大变化率为 7.5 nT/3min(图 4),超过规范要求,事后对该测线进行了重飞。

绘制该测线在磁扰日和磁静日两次观测的、经正常场(IGRF)校正后的 ΔT 磁异常剖面(图 5),可见,两者的重合度不好,尤其是在磁扰最大变化率出现的位置两者偏离更为明显,计算显示此时的内符合精度 $\delta_{前}$ 为 2.253 nT,说明因磁扰影响,两次观测

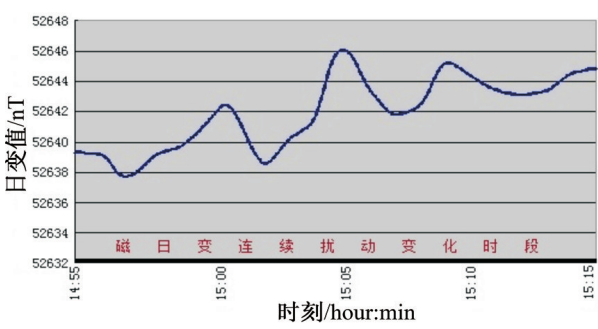


图 4 山西某工区磁日变记录

到的 ΔT 磁异常在未经磁日变校正情况下一致性较差。

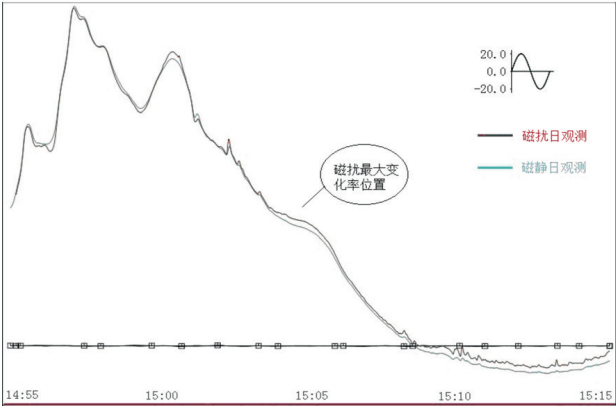


图 5 两次观测的 ΔT 磁异常剖面(磁日变校正前)

再绘制经磁日变校正后的 ΔT 磁异常剖面(图 6),可见,经过磁日变校正,磁扰日获得的 ΔT 磁异常与磁静日的结果重合度大为改善,在磁扰最大变化率位置两者基本重合,计算显示此时的内符合精度 $\delta_{后}$ 为 1.581nT。根据公式,计算改善率 R 为 1.425,说明经过磁日变校正后,两次观测的 ΔT 磁异常一致性提高近 1.5 倍,结合剖面图可见,通过磁日变校正,取得了与磁静日几乎同样的观测结果,说明此类规模、呈非线性变化的磁扰,也能够通过磁日变校正而有效消除。

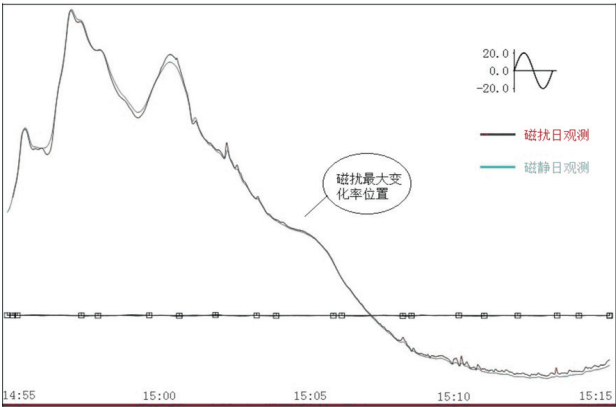


图 6 两次观测的 ΔT 磁异常剖面(磁日变校正后)

3 结论

通过对多个工区的生产实例进行研究和总结,初步得出以下结论。

航空磁测生产中常见的、呈线性梯度变化和非线性扰动变化的两种典型磁扰,对航空磁测结果仍会产生较为明显的影响,但是经过磁日变校正,这种影响能够被降低甚至消除,获得的最终 ΔT 磁异常与在磁静日重复观测的结果基本一致。这充分说明了磁日变观测的重要性,也证明了严格按照规范进行磁日变站选址、空地仪器校时,对提高磁日变观测质量,进而提高整个工区的航磁测量质量的必要性。

参考文献:

[1] 管志宁.地磁场与磁力勘探.北京:地质出版社,2005.
[2] 谭承泽,郭绍雍.磁法勘探教程[M].北京:地质出版社,1984.
[3] 李兴才,曹惠馨,任克新,等.一种频率较低的 ULF 磁扰是地震前兆吗[J].地震学报,1996,18(1).
[4] 杨少峰.急始磁暴期间的地磁脉动[J].地球物理学报,1992,35(2):133-141.
[5] 杨少峰,孙炜,徐宝连.与磁暴急始有关的瞬态地磁脉动[J].地球物理学报,1987,30(5).

[6] 赵明现,乐贵明,刘玉洁.行星际扰动与不同级别磁暴强度关系的研究[J].空间科学学报,2006,26(6):421-426.
[7] 秦葆瑚,李仁豪,齐文秀,等.中华人民共和国地质矿产行业标准——地面高精度磁测技术规程(DZ/T 0071-93)[S].北京:中国标准出版社,1993.
[8] 熊盛青,陈斌,赵百民,等.中华人民共和国地质矿产行业标准——航空磁测技术规范(DZ/T 0142-2010)[S].北京:中国标准出版社,2010.
[9] 吴迎燕,徐文耀,陈耿雄,等.磁暴期间几种主要磁扰成分的演化特征[J].地球物理学报,2007,50(1):1-9.
[10] 郭建华,薛典军.多站磁日变校正方法研究及应用[J].地球学报,1999,20(增刊).
[11] 徐东礼,骆遥,贾伟洁.航磁重复线测量数据质量评价方法研究[J].物探与化探,2014,38(4):729-731.
[12] 陆敬安,柴剑勇,徐行,等.深海磁日变观测系统研究[J].海洋通报,2010(04):392-395.
[13] 徐继生,罗伟华,程光晖.一次强磁暴期间全球电离层扰动研究[J].电波科学学报,2008,23(4).
[14] 吴水根,林长松.南海磁测中磁暴、磁扰的改正探讨[J].东海海洋,1986,4(3).
[15] Gonzalez W E, Joselyn J A, Kamide U, et al. what is a geomagnetic storm[J]. J Geophys Res,1994,99(A4):5771-5792.
[16] Celik C.Worldwide features of magnetic storms using spherical harmonic analysis of intermagnet data[J].Geophys J Int,2004,159:495-508.

The influence of two typical kinds of magnetic disturbance on the airborne magnetic survey

XU Dong-Li, FAN Zheng-Guo, SHU Qing, YE Ting-Ming, CHEN Hao

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

Abstract: Magnetic disturbance is disturbance change of Earth magnetic field which occurs discontinuously during the occurrence of magnetic storm. It can happen at different stages of magnetic storm, Its range and shape are related to the scale and type of magnetic storm. The magnetic disturbance that occurs during magnetic storm of rather large-scale shows larger range and higher frequency and lasts longer period than that during magnetic storm of fairly small-scale. Researches show that the range of magnetic disturbance in practical work varies between several nanotesla to more than ten nanotesla, and the shape mainly exhibits linear gradient variation and non-linear disturbance variation. These two typical kinds of magnetic disturbance both affect the result of magnetic survey, and can be eliminated through magnetic diurnal variation correction. In combination with practical work, this paper deals with the utilization of magnetic diurnal variation correction to eliminate magnetic disturbance.

Key words: Earth magnetic field; airborne magnetic survey; magnetic disturbance; precision of internal coincidence; magnetic diurnal variation correction

作者简介: 徐东礼(1965 -),男,山东威海人,1987年毕业于中国地质大学(武汉)物探系,长期从事航空物探生产和技术工作。