

地磁日变改正中磁湾磁钩等磁扰对海洋磁力资料的影响

任相宇^{1,2,3}, 付永涛^{1,2,4}, 周章国^{1,2}

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 海洋油气勘探国家工程研究中心, 北京 100028)

摘要: 在海洋磁力测量过程中, 磁扰形态变化复杂的特性致使地磁日变的改正仍存在着许多困难。本文根据黄海、东海和南海北部十余年采集的超过 10^4 km 的海洋和陆地地磁资料, 利用对比分析的方法, 总结了 3 种磁扰现象对海洋磁力资料的影响规律: 1) 微扰的海陆日变值持续时间短, 幅度比值接近 1:1, 对海洋磁力资料影响很小, 利用低通滤波可以完全消除其影响; 2) 磁钩海陆日变幅值比为 1~2, 持续时间在 1 h 以内, 校正后的地磁异常值仍有较大的误差, 利用最小曲率法可以基本消除其影响; 3) 磁湾的持续时间长, 海陆日变幅值变化大, 无法准确消除其影响, 采用最小曲率法等插值方法处理后, 仍残留假异常, 需要额外关注。

关键词: 磁湾; 磁钩; 日变改正; 海洋磁力测量

中图分类号: P631.2+24 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2023)6-0012-08

DOI: 10.11759/hyqx20210428002

地磁日变改正是海洋磁力测量过程中最基础的工作之一, 但同时也是海洋磁力成果资料中误差的主要来源, 若不进行准确校正, 会导致虚假的磁异常, 造成解释上的错误^[1-5]。地磁日变主要与太阳辐射对地球电离层的影响有关, 具有极强的时效性, 每时、每日的观测结果都不相同。因此, 如何提高日变改正的精度, 一直是海洋磁力测量中需要优先考虑的问题。从 20 世纪 60 年代开始, 国内外众多学者针对海陆日变幅值、时差、基值等问题^[6-11], 以及深远海日变测量技术^[12-17]和地磁日变的校正方法^[18-23]开展了大量工作, 保障了近远海磁力测量工作, 测网精度达到技术规范的标准。

磁扰是地磁日变改正中典型的难点, 对于较大的脉动等磁扰的校正, 通常采用边刚^[3]提出的校正方法: 将磁扰日期间的静日变化和扰动变化分离, 分别对其进行改正。但对于相对较弱的磁钩(钩扰, magnetic crochet)、磁湾(湾扰, magnetic bay)等磁扰还缺乏充分的讨论。在实际工作当中, 对于强度较小、持续时间较短的磁扰, 通常认为是随机噪声的影响, 利用平滑等方法来消除其影响, 但仍可能会残留扰动, 降低地磁日变改正的精度。

大量实测资料经分析显示, 磁湾、磁钩等磁扰现象广泛存在, 校正后的地磁异常值出现了显著的假磁异常。本文以微扰、磁湾和磁钩等磁扰现象为研究对象, 对比分析海洋磁力资料和陆地地磁资料, 评价微扰、磁

钩和磁湾等磁扰现象对海洋磁力成果资料的影响。

1 数据来源

数据来源于中国科学院海洋研究所 2005—2018 年的南黄海、东海和南海北部采集的海洋磁力资料和陆地地磁日变资料。

海洋磁力资料大多数是在油气勘探任务中采集, 作业船只以约 9 km/h 航速匀速航行, 使用的仪器是 Marine Magnetics 生产的海洋磁力仪, 仪器精度为 ± 0.2 nT^[24-25]。地磁日变观测在工区同纬度陆地区域进行, 使用的仪器有 Sentinel 以及 WCZ-3S 等多种磁力仪, 其中 WCZ-3S 在平静日测量时的精度约为 ± 0.3 nT, Sentinel 基站磁力仪的精度为 ± 0.1 nT, 满足高精度地磁日变观测的需求^[26-27]。

2 数据分析

在海洋磁力测量期间, 严格意义上的地磁平静日

收稿日期: 2021-04-28; 修回日期: 2022-06-26

基金项目: 中国科学院海洋地质与环境重点实验室开放基金项目 (MGE2022KG11)

[Foundation: Open Fund of Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Chinese Academy of Sciences, No. MGE2022KG11]

作者简介: 任相宇(1996—), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 地质工程专业, 现从事海洋重磁测量研究工作, E-mail: 17854254018@163.com; 付永涛(1970—), 通信作者, 男, 湖南绥宁人, 副研究员, 从事海洋重磁测量研究工作, E-mail: ytfu@qdio.ac.cn

天数很少, 一个月内经常少于 3 d。而磁扰日相对较多, 这些磁扰有梯度相对平缓、幅值在 10 nT 以内的微扰, 也有幅值较大的磁钩、磁湾等磁扰, 磁暴则相对较少。

2.1 陆地地磁日变数据处理

陆地地磁日变数据处理主要包括五点平滑和基值处理两部分。地磁基值理论上为台站所在位置的基本地磁场值。本文中确定基值的方法是平均值法: 选择航次期间某几天磁静日 24 h 地磁日变观测数据的平均值作为该地磁日变站的地磁场总强度值, 以此为地磁日变基值^[28]。用五点平滑后的地磁日变观测数据减去基值即可得到地磁日变值。

2.2 微扰型磁扰特征分析

微扰在本文中特指幅值在 10 nT 以内、持续时间在几分钟或十几分钟的磁扰以及突然脉动(一种突然的脉冲现象; 水平分量 and 总场值突增或突降, 幅度为 1~100 nT; 时间持续 1~10 min)。微扰的海陆日变幅值很小, 幅度比值接近 1, 可以利用低通滤波方法消除其影响。

琼东南盆地的测线 13QDN01 微扰型磁扰特征明显(图 1)。从图 1 中可以看到, 测线 13QDN01 在世界时 16 时、17 时和 19 时左右的陆地地磁日变值与海测值减去正常场值同时出现有幅值约 5 nT、持续时间约 15 min 的磁扰。两者之间的幅值基本相等, 因此校正后的地磁异常值(黑色)在对应时间段内表现为相对平缓, 只有一些幅值很低的残留扰动。本文共统计了 25 条存在微扰型磁扰的测线, 这些微扰型地磁扰动对地磁日变改正的影响很小, 经校正后的地磁异常值幅值不超过 1 nT。

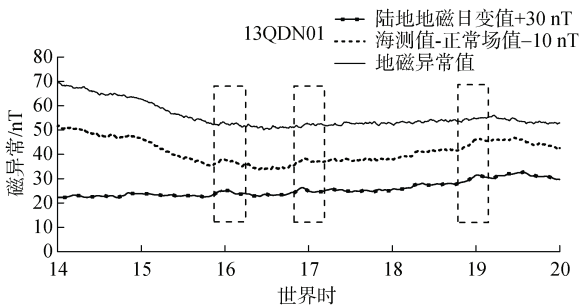


图 1 微扰型磁扰示意图
Fig. 1 Perturbation schematic

注: 为方便进行曲线比对, 将陆地地磁日变值加上 30 nT, 海测值-正常场值减去 10 nT

2.3 磁钩型磁扰特征分析

钩扰是一种持续时间一般在 1 h 以内, 幅度变化

超过 10 nT 的磁扰, 起始较急, 形状类似于一个钩子, 常常伴随有短波消失^[4]。即便测量船只以 1.8 km/h 航速航行, 也往往会跨越 10~20 km, 产生显著的峰值或谷值(幅度超过 10 nT)(图 2)。钩扰与太阳耀斑同时发生, 是一种由太阳辐射引起的地磁效应, 故又称太阳耀斑效应。在太阳耀斑发生时, 紫外线辐射会突然增强, 引起电离层的电离浓度突然增高, 从而在电离层中形成一个短暂的电流体系, 这就是钩扰的成因^[29]。因此, 磁钩只限于日照半球。

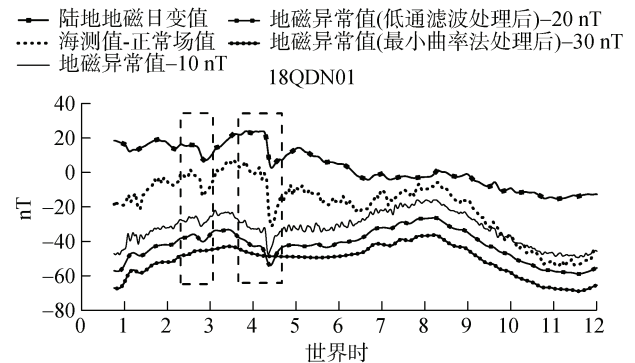


图 2 磁钩型磁扰及低通滤波和最小曲率法处理前后的地磁异常值

Fig. 2 Magnetic crochet schematic diagram and geomagnetic anomalies before and after low-pass filtering and minimum curvature

注: 为方便进行曲线比对, 将地磁异常值减去 10 nT, 低通滤波处理后地磁异常值减去 20 nT, 最小曲率法处理后地磁异常值减去 30 nT

以琼东南盆地测线 18QDN01 为例, 在图 2 中世界时约 3 时出现了第一次钩扰, 陆地地磁日变值有大约 10 nT 的幅值变化, 海测值与正常场值的差有大约 20 nT 的幅值变化。世界时 4 时至 5 时之间出现了第二次钩扰。陆地地磁日变值的变化幅度约 20 nT, 海测值减去正常场值的变化幅度约 35 nT。两者变化幅度的差异导致了地磁异常值在第二次钩扰时间段内出现波动, 幅度约 15 nT。三条曲线在钩扰时间段内同时出现了变化形态相同但幅值不同的波动。这也说明了传统的地磁日变校正未能从海洋磁测原始数据中完全消除钩扰的影响, 校正后的地磁异常值仍存在高达 15 nT 的误差。

对于这种海陆日变幅值不同的现象, 有两种可靠的解释: 一是由于受太阳辐射的影响, 电离层的电离浓度突然增高, 在海水和陆地上激发感生电动势和电流, 而海洋电导率比陆地电导率高, 这就导致了钩扰在海洋日变数据中的幅值要比陆地日变数

据大; 二是由于地质体引起的真实异常。本文统计了 36 条存在磁钩的测线, 结果显示: 这些测线的海陆地磁日变数据在钩扰时间段内都出现了幅值比在 1~2 的波动。大量数据证明这种现象在海洋磁力资料中广泛存在, 可以排除地质体引起的异常。

钩扰对海洋磁力资料造成的误差虽然可以被大洋中高梯度值(超过 100 nT)掩盖, 但对于重磁震联合反演、测线网调差等工作的影响是显著的。在重磁震联合反演中, 一般认为这种磁钩引起的假异常由地质体或地层磁性差异引起, 这将导致错误的反演结果。

图 2 显示了经过低通滤波和最小曲率法处理后的地磁异常值。由于钩扰的幅值相对较高, 校正后的地磁异常值仍有较大的误差, 利用低通滤波也不能消除。因此, 本文利用最小曲率法来消除其影响。从图 2 中可以看到, 低通滤波处理后的数据虽然比原始数据更加平滑, 但钩扰处的地磁异常值仍存在假

异常。而经过最小曲率法处理后的地磁异常值在钩扰处的幅值明显降低, 基本消除了钩扰对海洋磁力资料的影响。

图 3 是 2018 年琼东南盆地两条相交测线(18QDN02 和 18QDN03)的交点情况, 从图 3(a)中可以看到有磁钩假异常的测线段与无磁钩假异常的测线段的交点差在 -14.2 nT, 这会显著提高测线的平均交点差值, 破坏测线与所有相交测线之间的线性特征, 从而扰乱该测线的平差参数, 降低海洋磁力成果资料的质量。图 3(b)是经过最小曲率法处理后的交点差, 经过最小曲率法处理后的两条测线的地磁异常值几乎相等, 交点差明显降低, 基本消除了钩扰对测线交点差的影响。表 1 是测线 18QDN02 与相交测线的交点差情况, 最小曲率法处理后与测线 18QDN03 交点差降低为 0.08 nT, 测线准确度由 ± 3.55 nT 提升为 ± 0.85 nT, 充分证明了该方法的可行性。

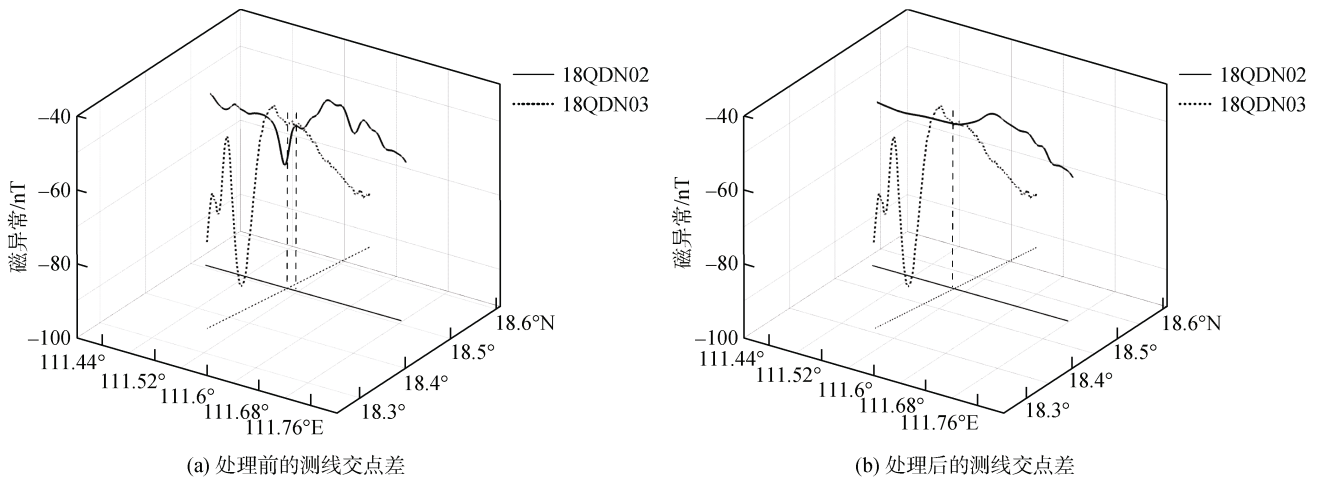


图 3 最小曲率法处理前后的测线交点差
Fig. 3 Crossing error before and after minimum curvature

表 1 测线 18QDN02 交点差统计

Tab. 1 Crossing error statistics of line 18QDN02

相交测线名称	原始交点差	改正值	改正后交点差
08QDN01	-0.34		-0.34
07QDN01	0.05		0.05
06QDN01	-1.43		-1.43
18QDN03	-14.20	14.28	0.08
11QDN01	0.42		0.42
06QDN02	-1.94		-1.94
08QDN02	1.97		1.97
11QDN02	1.75		1.75
11QDN03	-0.43		-0.43

2.4 磁湾型磁扰特征分析

磁湾是亚暴的磁场表现, 持续时间约半小时到几小时, 幅值可超过 10 nT, 随时间变化形态像海湾, 有正湾和负湾之分。在高纬度地磁台, 子夜前常记录正湾, 子夜后为负湾, 表明分别有东向电集流和西向电集流流过头顶^[5, 30]。

以琼东南盆地 2005 年的测线 05QDN01 为例, 在图 4 中世界时 12 时至 14 时内出现了一次持续时间在 1.5 h 左右的湾扰。湾扰形态变化复杂, 幅值变化大, 出现多个波峰或波谷。陆地地磁日变值、海测值与正常场值的差、地磁异常值在湾扰时间段内的

波动的频率和相位虽然一致，但振幅却有很大的差异。若不对其进行仔细处理，会导致时间较长的假磁异常。与磁钩相同，磁湾对海洋磁力资料的影响也是由于海陆电导率不同而造成的，但磁湾持续时间长，海陆日变幅值变化大，可能会与地质磁异常混淆，因此在判断磁湾时需要仔细检查相邻测线磁异常、交叉测线在交点处附近的磁异常。

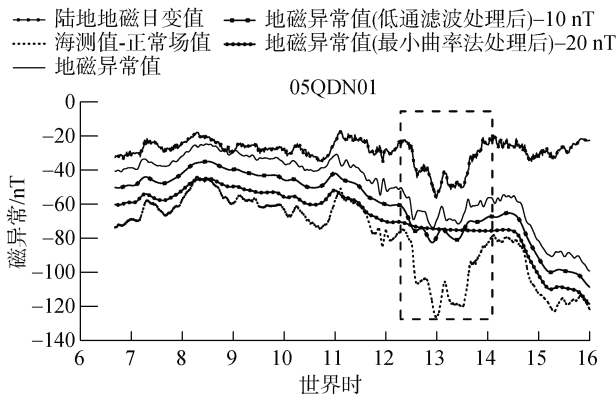
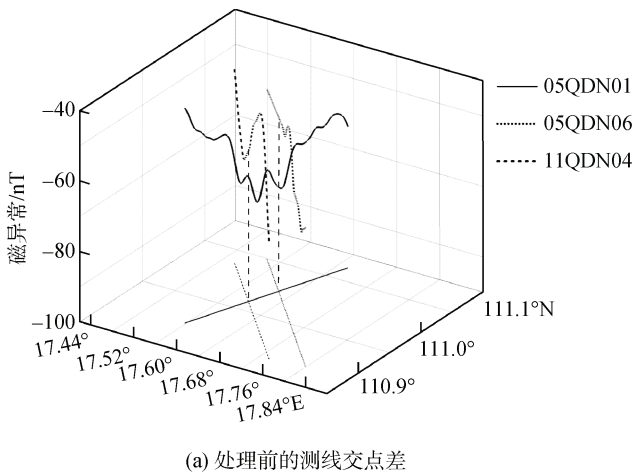


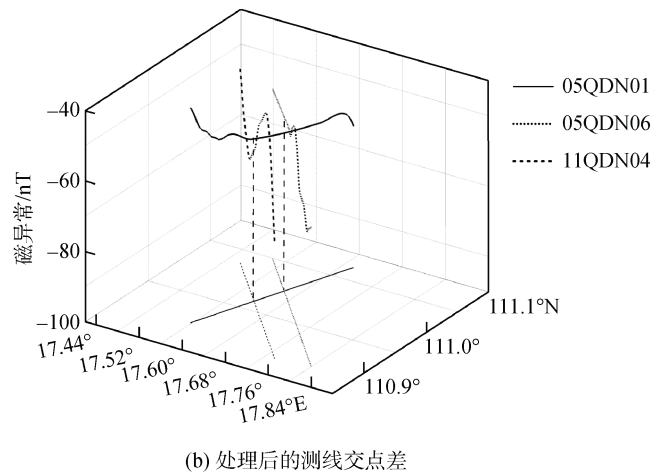
图 4 磁湾型磁扰及低通滤波和最小曲率法处理前后的地磁异常值

Fig. 4 Magnetic bay schematic and geomagnetic anomalies before and after low-pass filtering and minimum curvature

注：为方便进行曲线对比，将低通滤波处理后地磁异常值减去 10 nT，最小曲率法处理后地磁异常值减去 20 nT



(a) 处理前的测线交点差



(b) 处理后的测线交点差

图 5 最小曲率法处理前后的测线交点差

Fig. 5 Crossing error before and after minimum curvature

相较于磁钩而言，磁湾对测线之间的线性误差、平差参数以及校正后的地磁异常值都会产生更严重的影响，给磁力资料处理解释带来困惑。因此，需仔细分析磁湾，尽可能降低其对海洋磁力资料的影响。

图 4 显示了经过低通滤波和最小曲率法处理后的地磁异常值。低通滤波削弱了湾扰时间段内幅值较低的磁异常，但仍残留幅值较大的磁异常。经过最小曲率法处理后的地磁异常值在湾扰处的幅值虽然降低了 10 nT 左右，但由于时间长达 1.5 h，在测线上跨度长达 15 km，会对真实的地磁异常进行插值，导致最小曲率法处理后的地磁异常并不准确。

为了验证最小曲率法处理对磁湾型磁扰的有效性，本文以 2005 年的测线 05QDN01 及两条相交测线为例。从图 5(a)中可以看到，有磁湾假异常的 05QDN01 测线与无磁湾假异常的测线 05QDN06 和测线 11QDN04 的交点差均在 -10 nT 左右。图 5(b)为经过最小曲率法处理后，测线 05QDN01 与测线 05QDN06 的交点差为 -0.12 nT。但由于磁湾的幅值变化大，测线 05QDN01 与测线 11QDN04 的交点差仍有 3 nT 左右的误差。本文统计了 15 条存在磁湾的测线，结果表明：经最小曲率法处理后的大部分交点差仍残留较大的误差。因此，最小曲率法并不能彻底消除磁湾对海洋磁力资料的影响。表 2 是测线 05QDN01 与相交测线交点差的交点情况，最小曲率法处理后的交点差分别降低为 -0.12 nT 和 3.35 nT，测线准确度由 ± 2.93 nT 提升为 ± 1.1 nT，得到显著改善。

3 讨论

如前所述，地磁日变改正正是海洋磁力测量中最主要的误差来源之一，而关于磁扰的处理则是地磁日变改正当中最复杂的一部分。因此，国内外学者

表 2 测线 05QDN01 交点差统计(单位: nT)
Tab. 2 Crossing error statistics of line 05QDN01(unit: nT)

相交测线	原始交点差	改正值	改正后交点差
05QDN02	0.15		0.15
05QDN03	1.45		1.45
05QDN04	0.48		0.48
05QDN05	0.01		0.01
11QDN04	-6.07	9.42	3.35
05QDN06	-10.38	10.26	-0.12
20QDN01	-1.39		-1.39
11QDN05	-2.4		-2.4
05QDN07	-0.59		-0.59

开始寻找磁扰日的改正方法, 吴水根等^[31]对比当地时法、小时平均法、北京时法共三种方法对典型磁暴日、全区磁力交点均方根误差计算, 结果表明按照北京时法处理得到的均方根误差最小, 其实质是对原始数据进行世界时校正。而磁暴、磁扰往往是全球同时发生, 在这种情况下磁暴、磁扰的变幅远远超过了磁静日变幅, 因此取得了较好的效果。李兴康等^[32]依据大洋实测地磁资料, 注意到 530 km 大洋岛屿台站与工区锚系潜标日变站的地磁日变值在磁暴期间的相位和幅值是吻合的, 磁暴期间的一条磁力测线, 经远端洋岛台站地磁日变资料校正后, 与 2 条平静期测线的交点差分别为-3.20 nT 和-0.66 nT, 因此需要适当关注磁暴期间的海洋地磁资料的处理。刘天佑等^[33]提出应用维纳滤波和三次样条函数法对磁扰和磁暴日变曲线进行改正。理论模型试验表明, 该方法优于目前使用的地方时法、小时平均法和北京时法, 可取得较好的效果。边刚等^[3]提出利用扰日法对磁扰日的地磁日变数据进行校正。该方法充分利用磁扰前后的磁静日变观测资料, 实现了磁扰日的静日变化与扰动变化分离, 结合各自的时间特点, 分别对其进行改正, 经实例验证表明, 该方法可以提高磁扰日地磁日变改正精度, 并且其日变改正精度与时间差(经度差)不存在相关性。

傅里叶分析在磁场建模中具有广泛应用, 可以运用傅里叶级数展开的方法把一天的太阳静日变化曲线表示成各次谐波的叠加。张连伟等^[21]基于傅里叶级数建立了日变数据处理谐波分析模型; 应用于大批量实测日变数据处理, 确定了谐波截断次数为 5, 实现了日变基值、平静日变改正和磁扰改正的合理分离, 有助于磁扰和磁暴期间的海洋磁力测量数据处理。刘帆等^[20]采用最小二乘法确定各次谐波系

数建立太阳静日变化模型, 以此进行地磁观测数据中太阳静日变化和磁扰的分离, 并应用于海洋磁力测量的日变数据处理。

《海洋调查规范 第 8 部分: 海洋地质与地球物理调查》^[28]中规定: 必须准确记录初动、持续、消失的时间, 并及时通知测量船, 磁暴或磁扰持续时间较长时, 应进行补测。但在实际工作中, 对于磁湾、磁钩等持续时间较短的磁扰, 无法做到补测。

综上, 国内外学者关于磁扰日的改正主要着重于如何分离静日变化和扰动变化, 结合各自的时间特点, 然后分别对其进行校正。此类方法虽然方便快捷, 但无法彻底分离所有磁扰, 也无法确定其改正的精度。而本文通过分析大量实测资料, 总结了微扰、磁钩和磁湾型磁扰的海陆日变幅值变化规律, 以此为基础, 通过观察各条测线人工分离了这些磁扰。但在海洋磁力数据处理中, 数据量通常较大, 为了减轻磁扰校正工作导致的负担, 需要提出合理的算法去分离微扰、磁湾和磁钩等磁扰现象, 然后分别对其校正。此外, 本文根据微扰和磁钩型磁扰对海洋磁力成果资料的影响规律提出了利用低通滤波和最小曲率方法。结果显示: 经低通滤波和最小曲率法处理后的测线交点差显著降低, 基本消除了微扰和磁钩型磁扰对海洋磁力资料的影响, 更准确地反映了工区内地磁异常值的实际变化。但对于磁湾而言, 这两类方法虽然能明显降低测线的交点差, 但处理后的地磁异常值与相交测线相比仍有较大的差值。因此, 需要提出合理的方法去处理此类磁扰。

4 结论

本文通过对陆地地磁日变观测数据与海洋磁测数据的对比分析中得到了以下认识:

- 1) 微扰: 这类磁扰在海洋磁力资料和陆地地磁日变资料的幅值比接近于 1, 可通过低通滤波等消除, 不会产生明显的假磁异常。
- 2) 钩扰: 磁钩的特征明显, 持续时间短, 在陆地地磁日变曲线和海洋磁力曲线上很容易识别, 海陆日变幅值比在 1~2, 可通过最小曲率法等方法消除其影响。
- 3) 湾扰: 磁湾持续时间长, 形态变化复杂, 海陆日变幅值变化大, 无法利用低通滤波和最小曲率等方法来彻底其消除。目前尚无可靠的校正方案, 需要采用其他研究者^[3, 31]的建议予以删除或重新测量。

参考文献

- [1] CHAPMAN S, BARTELS J. Geomagnetism[M]. Oxford, UK: Clarendon Press, 1940.
- [2] RIDDIOUGH R P. Diurnal corrections to magnetic surveys-an assessment of errors[J]. Geophysical Prospecting, 1971, 19(4): 551-567.
- [3] 边刚, 刘雁春, 于波, 等. 海洋磁力测量中一种磁扰日地磁日变的改正方法[J]. 测绘科学, 2007, 32(5): 13, 23-24.
BIAN Gang, LIU Yanchun, YU Bo, et al. A method to correct the diurnal variation of geomagnetic disturbance in marine magnetic survey[J]. Science of Surveying and Mapping, 2007, 32(5): 13, 23-24.
- [4] 刘宾, 王景强, 张振波, 等. 海洋磁力数据地磁日变时差校正的局部极值比对法[J]. 海洋科学, 2015, 39(10): 73-79.
LIU Bin, WANG Jingqiang, ZHANG Zhenbo, et al. The local-extreme comparison on the time difference calculating for geomagnetic diurnal variation correction in marine magnetic data processing[J]. Marine Sciences, 2015, 39(10): 73-79.
- [5] 徐文耀. 地磁活动性概论[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
XU Wenyao. Introduction to geomagnetic activity[M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [6] 边刚, 刘雁春, 翟国君. 一种确定地磁日变改正基值的方法[J]. 海洋测绘, 2003, 23(5): 9-11.
BIAN Gang, LIU Yanchun, ZHAI Guojun. A method to determine the correction of the geomagnetic diurnal variation[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2003, 23(5): 9-11.
- [7] 王磊, 边刚, 任来平, 等. 时差对海洋磁力测量地磁日变改正的影响分析[J]. 海洋测绘, 2011, 31(6): 39-41.
WANG Lei, BIAN Gang, REN Laiping, et al. Analyse on influence of time difference in geomagnetic diurnal variation correction[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2011, 31(6): 39-41.
- [8] 廖开训, 徐行, 王功祥, 等. 不同方式地磁观测数据对磁测精度的影响分析[J]. 海洋测绘, 2017, 37(5): 22-25.
LIAO Kaixun, XU Xing, WANG Gongxiang, et al. Analysis of effects made by using different geomagnetic observation data upon magnetic measurement precision[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2017, 37(5): 22-25.
- [9] 边刚, 刘雁春, 卞光浪, 等. 海洋磁力测量中多站地磁日变改正值计算方法研究[J]. 地球物理学报, 2009, 52(10): 2613-2618.
BIAN Gang, LIU Yanchun, BIAN Guanglang, et al. Research on computation method of multi-station diurnal variation correction in marine magnetic surveys[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2009, 52(10): 2613-2618.
- [10] 卞光浪, 刘雁春, 暴景阳, 等. 海洋磁力测量中地磁日变基值的选取[J]. 测绘科学, 2008, 33(5): 28-30.
BIAN Guanglang, LIU Yanchun, BAO Jingyang, et al. Selection of geomagnetic diurnal variation base value with a base station in marine geomagnetic survey[J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(5): 28-30.
- [11] 唐勇, 金翔龙, 黎明碧. 利用海洋磁力梯度数据重建总场的方法研究[J]. 海洋测绘, 2008, 28(1): 25-27.
TANG Yong, JIN Xianglong, LI Mingbi. Research on method of total field reconstruction using marine gradiometer data[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2008, 28(1): 25-27.
- [12] 张锡林. 海水层对地磁日变的影响[J]. 海洋测绘, 2011, 31(5): 21-23.
ZHANG Xilin. Seawater depth influence on geomagnetic diurnal data[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2011, 31(5): 21-23.
- [13] 徐行, 廖开训, 盛堰. 海底地磁日变观测站的设计与应用[J]. 海洋测绘, 2005, 25(1): 67-69.
XU Xing, LIAO Kaixun, SHENG Yan. Technology and Application of the geomagnetism observation mooring system on the seafloor[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2005, 25(1): 67-69.
- [14] 刘保华, 刘晨光, 裴彦良, 等. 大洋调查中海山地磁测量的静日变化校正方法[J]. 海洋学报, 2008, 30(6): 94-98.
LIU Baohua, LIU Chenguang, PEI Yanliang, et al. Diurnal variation correction method based on linear least-squares algorithm in exploration of seamounts[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2008, 30(6): 94-98.
- [15] 张学贤, 郑彦鹏, 裴彦良, 等. 深海海山区地磁日变观测系统设计及应用[J]. 海洋科学进展, 2018, 36(4): 570-577.
ZHANG Xuexian, ZHENG Yanpeng, PEI Yanliang, et al. Design and application of geomagnetic diurnal variation observation system in deep sea seamount[J]. Advances in Marine Science, 2018, 36(4): 570-577.
- [16] 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, 29(4): 392-395.
LU Jing'an, CHAI Jianyong, XU Xing, et al. The study on the deep sea magnetic diurnal variation system[J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(4): 392-395.
- [17] 夏伟, 边刚, 金绍华, 等. 海面与海底地磁日变化差异及其对海洋磁力测量的影响[J]. 海洋测绘, 2015, 35(1): 7-10.
XIA Wei, BIAN Gang, JIN Shaohua, et al. Difference of geomagnetic diurnal variation between sea surface and ocean bottom and its effects on marine magnetic survey[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2015, 35(1): 7-10.
- [18] 潘星辰, 姚长利, 郑元满, 等. 海洋磁测日变校正的纬度改正方法研究[J]. 地球物理学报, 2020, 63(8): 3025-3036.

- PAN Xingchen, YAO Changli, ZHENG Yuanman, et al. Study on latitude correction of diurnal variation correction for marine magnetic survey[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2020, 63(8): 3025-3026.
- [19] 苏达理, 欧阳敏, 付永涛, 等. 重磁震联合解释在崖北凹陷地球物理解释中的应用[J]. 海洋科学, 2016, 40(7): 140-150.
SU Dali, OUYANG Min, FU Yongtao, et al. Gravity magnetic seismic joint interpretation of geophysics: Application in Yabei sag[J]. Marine Sciences, 2016, 40(7): 140-150.
- [20] 刘帆, 吴晓平, 肖凡. 磁扰日日变改正的最小二乘谐波建模实现方法[J]. 测绘科学技术学报, 2016, 33(6): 582-587.
LIU Fan, WU Xiaoping, XIAO Fan. The Method realizing diurnal correction with harmonic model created by least square method in magnetically disturbed day[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2016, 33(6): 582-587.
- [21] 张连伟, 郑彦鹏, 梁瑞才, 等. 基于小波变换的海洋地磁日变改正研究[J]. 海洋科学进展, 2020, 38(4): 635-648.
ZHANG Lianwei, ZHENG Yanpeng, LIANG Ruicai, et al. Study of marine geomagnetic diurnal variation correction based on wavelet transform[J]. Advances in Marine Science, 2020, 38(4): 635-648.
- [22] 龙礼, 黄家才. 基于递推最小二乘法的地磁测量误差校正方法[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(6): 1440-1446.
LONG Li, HUANG Jiaca. Recursive least square based online error calibration method in geomagnetic detection[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2017, 38(6): 1440-1446.
- [23] 高金耀, 刘强, 翟国君, 等. 与海洋地磁日变校正有关的长期变化和磁扰的处理[J]. 海洋学报, 2009, 31(4): 87-92.
GAO Jinyao, LIU Qiang, ZHAI Guojun, et al. Processing of secular variation and disturbance related to marine geomagnetic diurnal variation correction[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2009, 31(4): 87-92.
- [24] Marine M C. SeaSPY operation manual revision 4.7[M]. Canada: Clarendon Press, 2009.
- [25] 年永吉. SeaSPY 磁力仪在南海海底光缆检测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2010, 7(5): 566-573.
NIAN Yongji. Application of SeaSPY marine magnetometer to cable detection in South China Sea[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2010, 7(5): 566-573.
- [26] 贾富昊, 顾兆峰, 张振波, 等. 一种适用于海洋磁力测量的地磁日变观测系统的实测结果[J]. 海洋科学, 2020, 44(9): 74-82.
- JIA Fuhao, GU Zhaofeng, ZHANG Zhenbo, et al. Analysis of a terrestrial geomagnetic diurnal variation observation system for marine magnetic survey[J]. Marine Sciences, 2020, 44(9): 74-82.
- [27] 裴彦良, 梁瑞才, 刘晨光, 等. 海洋磁力仪的原理与技术指标对比分析[J]. 海洋科学, 2005, 29(12): 4-8.
PEI Yanliang, LIANG Ruicai, LIU Chenguang, et al. Principle of marine magnetometer and specification comparative analysis[J]. Marine Sciences, 2005, 29(12): 4-8.
- [28] 国家海洋局. GB/T12763.8—2007. 海洋调查规范第8部分: 海洋地质地球物理调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
State Oceanic Administration. GB/T12763.8—2007. Specifications for marine surveys-part8: Marine geological and geophysical surveys[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [29] 雷柱, 邢赞扬, 张清和, 等. 地磁钩扰的全球响应特征研究与初步统计结果[J]. 地球物理学报, 2018, 61(2): 437-448.
LEI Zhu, XING Zanyang, ZHANG Qinghe, et al. The global characteristic of a magnetic crochet and some statistic results[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2018, 61(2): 437-448.
- [30] 杜兴信, 麻水歧. 陕西地区地磁湾扰异常[J]. 地球物理学报, 1987, 30(1): 52-60.
DU Xingxin, MA Shuiqi. On the anomalies of geomagnetic bays in Shanxi region[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1987, 30(1): 52-60.
- [31] 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): 50-53.
WU Shuigen, LIN Changsong. A study on the correction of diurnal variation magnetic storm and disturbance in the magnetic survey of the South China Sea[J]. Donghai Marine Science, 1986, 4(3): 50-53.
- [32] 李兴康, 付永涛, 周章国, 等. 地磁日变不同时段特征差异及对地磁日变改正的影响[J]. 物探与化探, 2023, 47(1): 135-145.
LI Xingkang, FU Yongtao, ZHOU Zhangguo, et al. Differences in the characteristics of geomagnetic diurnal variation in different periods and their influence on correction of geomagnetic diurnal variation[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2023, 47(1): 135-145.
- [33] 刘天佑, 陈国新. 海磁日变资料的处理[J]. 石油地球物理勘探, 1987(4): 454-460.
LIU Tianyou, CHEN Guoxin. Processing of marine magnetic diurnal data[J]. Oil Geophysical Prospecting, 1987(4): 454-460.

Influence of magnetic crochet and magnetic bay on ocean magnetic data

REN Xiang-yu^{1, 2, 3}, FU Yong-tao^{1, 2, 4}, ZHOU Zhang-guo^{1, 2}

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Marine Geology and Environmental, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. National Engineering Research Center of Offshore Oil and Gas Explonition, Beijing 100028, China)

Received: Apr. 28, 2021

Key words: magnetic crochet; magnetic bay; magnetic diurnal variation; marine magnetic survey

Abstract: In the process of ocean magnetic measurement, many difficulties remain in correcting the magnetic diurnal variation because of the complex characteristics of magnetic disturbances. In this paper, the comparative analysis method is applied to the ocean and land geomagnetic data collected for more than ten years over 100,000 kilometers in the Yellow Sea, East China Sea, and the northern part of the South China Sea, and the influence of three types of magnetic disturbance phenomena on ocean magnetic data is summarized: (1) The daily variation in the land and sea is brief, and its amplitude ratio is near 1:1, which has little impact on ocean magnetic data. Low-pass filtering can eliminate its impact. (2) The magnetic crochet sea-land-day variation amplitude ratio is 1-2, and the duration is less than one hour. The corrected geomagnetic anomaly still has a large error, and the minimum curvature method can essentially eliminate its influence. (3) The magnetic bay is long-lasting, and the daily variation amplitude of the land and sea changes greatly, and its influence cannot be eliminated accurately. After interpolation methods such as the minimum curvature method, false anomalies still remain, which requires additional attention.

(本文编辑: 丛培秀)