

海洋磁力数据地磁日变时差校正的局部极值比对法

刘 宾¹, 王景强^{2,3}, 张振波¹, 周章国², 宋德龙², 付永涛²

(1. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518067; 2. 中国科学院海洋研究所 海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071; 3. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要: 为了对海洋磁力数据进行更精确合理的地磁日变校正, 参考多台站地磁观测数据时差计算的方法, 总结出一种适合于海洋磁力数据地磁日变时差校正的方法——局部极值比对法。利用局部极值比对法对南海北部两条海洋磁力测线进行地磁日变时差校正后, 海洋磁力数据与陆地地磁日变数据的相关系数分别提高到 0.98 和 0.92。通过与经度差法的比较, 证明局部极值比对法可以提高地磁日变时差计算的精确度和海洋磁力数据处理的效率。该方法为今后的海洋磁力调查工作提供了一种精确有效的工具。

关键词: 海洋磁力测量; 陆地地磁日变; 时差校正; 局部极值比对法

中图分类号: P738.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2015)10-0073-07

doi: 10.11759/hyxx20140311002

目前在海洋地磁测量中, 伴随着海洋磁力仪的精度可达 0.2 nT 甚至 0.1 nT^[1-2], 定位仪精度在 1~3 m 乃至小于 1 m^[3-4], 利用导航软件可以操控船只航迹的偏移距小于 20 m(如 Hypack Max 海洋导航定位软件)^[5], 通过船磁方位实验来精确检验磁力仪拖鱼的拖拽长度^[6-7], 计算出磁力仪拖鱼的可靠位置^[8-9], 从而上述因素导致的误差均可控制在国家和各行业的相关规范规定的误差值内。由于《海洋调查规范——海洋地质与地球物理调查 GB/T 12763.8-2007》(下称“规范”)要求海洋磁力测网测量准确度为 2 nT 或 4 nT^[10], 而地磁日变的产生的干扰可高达数十乃至上百 nT^[11], 因此地磁日变校正的正确与否是目前海洋磁力测量的最主要误差来源。

为了解决这一问题, 海洋地磁测量实施时, 通常在靠近测区的同纬度地区布设陆地地磁日变观测站(规范要求台站与海测区相距小于 300 km), 利用日变观测数据对海上测量数据进行校正, 来减弱日变对海测数据的影响^[12-14]。除陆地地磁台站外, 海底地磁观测站也是一种用来记录地磁日变的方法。由于目前海底观测站不能完全适应深水区海洋磁力调查任务, 例如加拿大 Marine Magnetic 公司的 SENTINEL 海底地磁日变观测站, 仅适用于工作水深小于 1 000 m 的海域(据该公司海底观测站资料)^[15]。因此在远离陆地的大洋区域进行磁力调查时, 仍然需要采用各种技术手段来尽可能地地对地磁数据进行可靠的校正^[13],

包括地磁场基准值计算^[16]、布设多台站及国际台站资料的应用、地磁日变校正的时差计算等^[14, 17]。

参考目前多台站地磁日变校正时差计算的经度差法^[18-20]、同步比对法^[21]、相关分析法^[22-24]和小波分析法^[25]等方法, 将海洋磁力测量点和陆地地磁台站比作两个地磁台站, 可以直接读取两磁力曲线极值之间的时差, 作为实测海洋磁力数据与陆地地磁数据的日变校正时差。这种方法快捷, 时差计算结果精度高, 可以提高海洋地磁资料整理的效率。

本文将这个方法称为地磁日变时差校正的局部极值比对法, 并在下文做详细的介绍。

1 地磁日变时差校正的原理

地磁场随时间有缓慢的长期变化, 具有全球性的统一特征, 一般认为是来源于地核内部或核幔边界^[26], 可以采用每五年发布的国际地磁参考场来拟合这种长期变化。地磁场还有短期的变化磁场, 主要来源于太阳活动的粒子辐射和光辐射: 太阳的等离子体与地球地磁场相互作用会产生各种偶尔发生的干扰变化, 如太阳扰日变化、磁暴场、地磁脉动等; 而太阳光线照射到当地高空大气时, 紫外辐射使高

收稿日期: 2014-03-11; 修回日期: 2014-04-04

基金项目: 海洋战略先导专项(XDA1103010102)

作者简介: 刘宾(1983-), 男, 河南辉县人, 工程师, 学士, 现从事地震采集、井场调查和重磁测量研究工作, 电话: 0755-26022382, E-mail: liubin_sk@cnooc.com.cn

空大气电离,这种电离大气在电磁场中运动产生附加的磁场,是一种平静的变化,在时间上有连续存在的周期性变化,与当地的地方时有关^[26]。

由于太阳辐射的影响,地磁日变存在时空变化,海上磁测点和陆地台站地磁日变化存在幅值差和相位差^[27-28],其中幅值差可以通过控制陆地台站与海洋磁测区的距离进行消除,相位差的消除则需要对海上磁力数据进行地磁日变时差改正^[17, 20, 29]。在同一纬度的不同经度的海上作业区和陆地地磁台站具有相似的地磁日变,理论上,两个地区的地磁日变时差也就是两地的经度时差。这是各种规范和实际工作中设立地磁日变站技术要求的理论基础,例如《海洋磁力测量要求》^[30]认为在地磁日变站有效控制范围内,地磁日变的幅值和相位一致。《规范》要求在台站的地磁日变观测中,需要注意偶发的干扰变化,干扰时间较长时及时通知海上停止测量,并进行补测。

2 地磁日变时差校正的局部极值比对法

通过陆地台站和陆海台站之间的地磁日变数据的同步对比分析,可以清晰对比台站地磁日变曲线的极值来获得准确的地磁日变时差^[17, 20-21]。与此同时,该方法在陆地台站和海洋台站的分析表明,海洋台站地磁数据的变化在幅值上可以达到陆地台站变化的两倍,并且日变曲线极值具有明显的相位移动^[20]。另外,还可以采用相关性分析法及小波分析法对两个台站的地磁数据进行地磁日变时差的计算。实际观测数据和分析结果都显示,同步分析法和相关性分析法获得的地磁日变时差可以大幅度消减由经度差计算的地磁日变时差的误差。

在远离陆地台站或大范围的海洋磁力测量中,需尽可能准确地获得海测工区与台站之间的地磁日变的时差,以便可靠地进行地磁日变的校正。上述针对不同台站数据时差的计算方法是否能够解决海洋磁力数据与陆地地磁日变数据之间的时差计算问题,需要进行验证。

在进行南海北部深水区磁力资料(图 1、图 2 和图 4)整理时,作者注意到海洋磁力数据和陆地地磁日变曲线中的局部极值类似于两个台站之间地磁日变曲线的极值。可以采用类似台站之间地磁日变曲线极值的同步比对法来进行处理,准确且快捷的获

得陆地台站地磁日变与海区磁力日变的时差。实际上,在有限的几分钟或十几分钟的船只航行时间内,海洋磁力数据可以比拟为一个面积较大的海洋地磁日变观测站,并利用这些局部时间段的磁力数据极值来计算地磁日变的时差。为了与台站之间地磁日变时差的同步比对法区别,本文将利用台站和海洋磁力数据之间局部极值的比对来计算时差的方法称为局部极值比对法。

3 局部极值比对法的应用效果

图 1 为南海北部深水区海洋磁力测量和陆地地磁日变观测站示意图。海洋磁力测线采用 SeaSPY 海洋磁力仪进行测量,陆地地磁台站采用 WCZ 系列质子磁力仪进行观测。左下方梯形图框为 2011 年磁力测量区域,直线为测线 2011;右侧方形图框为 2013 年磁力测量区域,直线为测线 2013。测线 2011 对应海南崖城陆地地磁台站,测线 2013 对应海南会文陆地地磁台站。其中,测线 2011 离崖城台站 134~187.8 km,测线水深 183~1 080 m;测线 2013 距离会文台站 655.2~591.9 km,测线水深 1 442~3 800 m。在海洋磁力测网资料整理时,作者分别采用经度差法和局部极值比对法计算了海洋磁力数据地磁日变时差,对于没有明显极值变化的测线,则采用地磁日变时差的平均值。

3.1 利用局部极值比对法进行测线 2013 地磁日变时差改正

对 2013 年完成的南海北部海洋磁力测网中的测线 2013 进行了地磁日变时差改正处理,图 2a 是利用经度差法进行海洋磁力数据与陆地地磁日变校正值对应情况,图 2b 是利用局部极值法进行海洋磁力数据与陆地地磁日变校正值对应情况。

图 2a 中,实线为海测磁力原始数据,虚线为经过海磁测点和台站之间经度的时差校正后的陆地地磁日变校正值。可以从图 2a 中得到,经度差法计算时差效果并不理想,海洋磁力数据与陆地地磁观测数据曲线有明显的错位。选取海测磁力数据与陆地地磁日变数据的波峰、波谷作为局部极值点,如 A1 与 B1、A2 与 B2、A3 与 B3。表 1 为测线 2013 数据极值点与会文台站数据极值点时差表。其中 A1 与 B1、A2 与 B2、A3 与 B3 的时差分别为 1 025 s、1 030 s、1 020 s。经计算求取平均值,时差平均值为 1 025 s(即 ΔT),也就是时间地磁日变数据向后延迟错位了 1 025 s。

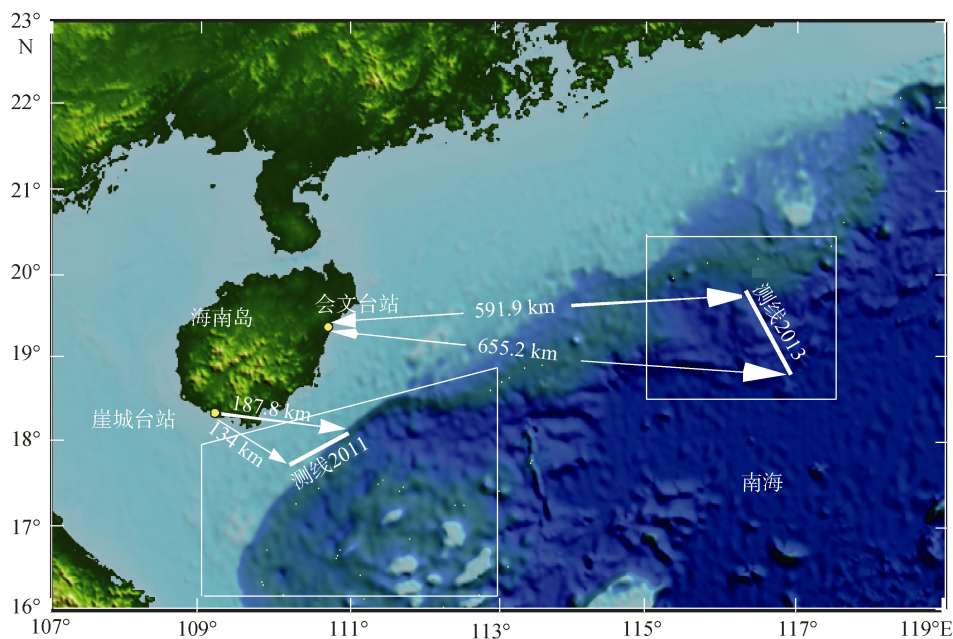


图 1 测线 2011, 2013 及海南陆地地磁台站位置分布图

Fig. 1 The distribution of line 2011, line 2013 and Hainan geomagnetic stations

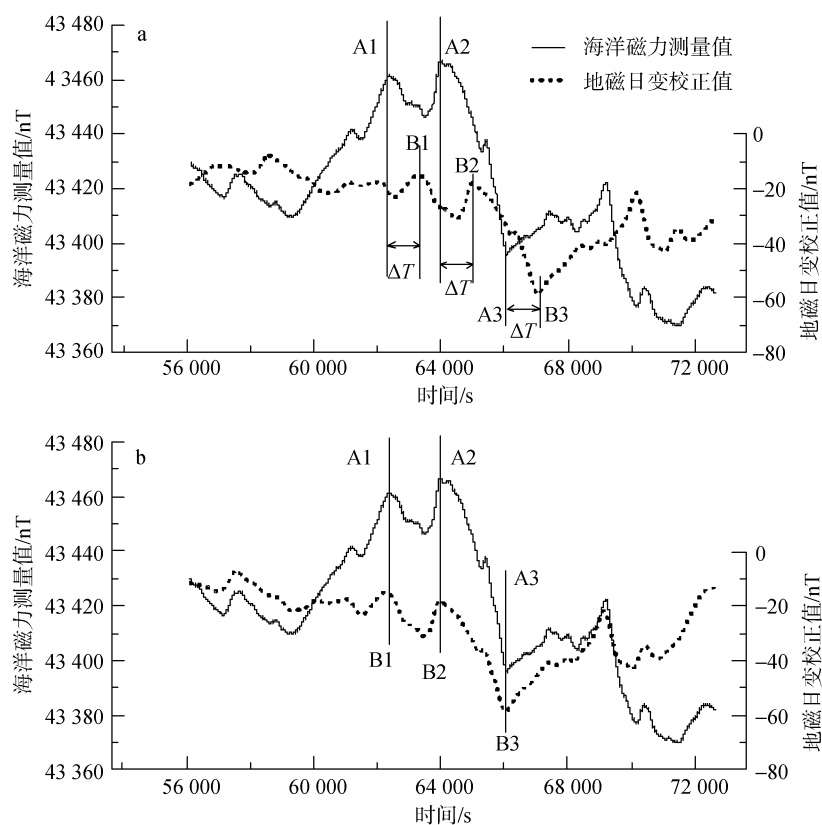


图 2 测线 2013 海洋磁力测量值时差校正

Fig. 2 Geomagnetic diurnal variation correction for Line 2013

a. 经度差法; b. 局部极值对比法

a. by longitude difference calculation; b. by local-extreme comparison

表 1 测线 2013 数据极值点与会文台站数据极值点时差表
Tab.1 The time differences between extremes of line 2013 and geomagnetic diurnal variation data

海洋磁力 数据极值点	时间 1 (s)	会文地磁 数据极值点	时间 2 (s)	数据极值 时间差(s)
A1	62 335	B1	63 360	1025
A2	63 945	B2	64 975	1030
A3	66 085	B3	67 105	1020

根据表 1 的地磁时差值对海洋磁力数据和地磁日变数据进行了重新处理。图 2b 中, 实曲线为海测磁力原始数据, 虚曲线为经过局部极值比对法校正后的陆地地磁日变校正。通过提前 1 025 s 重新匹配陆地地磁日变校正与海洋实测磁力数据, 发现海测磁力数据与陆地地磁日变校正(A1 与 B1、A2 与 B2、A3 与 B3)之间的错位现象消除。经过计算, 局部极值间(A1-A3)的数据相关系数由 0.16 变为 0.98, 改正效果明显提高。

采用该方法对 2013 年南海北部磁力测网进行了地磁日变校正, 对有明显极值变化的测线进行了时

间差计算。经计算, 上述测线时间差均约为 1 025 s, 故对测网中其余测线也同样应用了 1 025 s 的时间差进行改正。对比经过经度差法时差校正后交点差准确度为 4.94 nT, 而局部极值法时间差校正后交点差准确度为 2.15 nT, 准确度有很大的提高。通过方向性误差校正和测网平差校正, ΔT 地磁异常交点差最大值 7.88 nT, 最小值 -6.48 nT, 区间值 14.36 nT, 均值 0.076 nT, 测网准确度 0.77 nT, 符合规范 2 nT 或 4 nT 的准确度技术要求。

3.2 利用局部极值比对法进行测线 2011 地磁日变时差改正

对 2011 年完成的南海北部海洋磁力测网中的测线 2011 进行了地磁日变时差改正处理。图 3a 是利用经度差法进行海洋磁力数据与陆地地磁日变校正对应情况, 图 3b 是利用局部极值法进行海洋磁力数据与陆地地磁日变校正对应情况。图 3a 中, 实曲线为海测磁力原始数据, 虚曲线为经过海磁测点和台站之间经度的时差校正后的陆地地磁日变校正

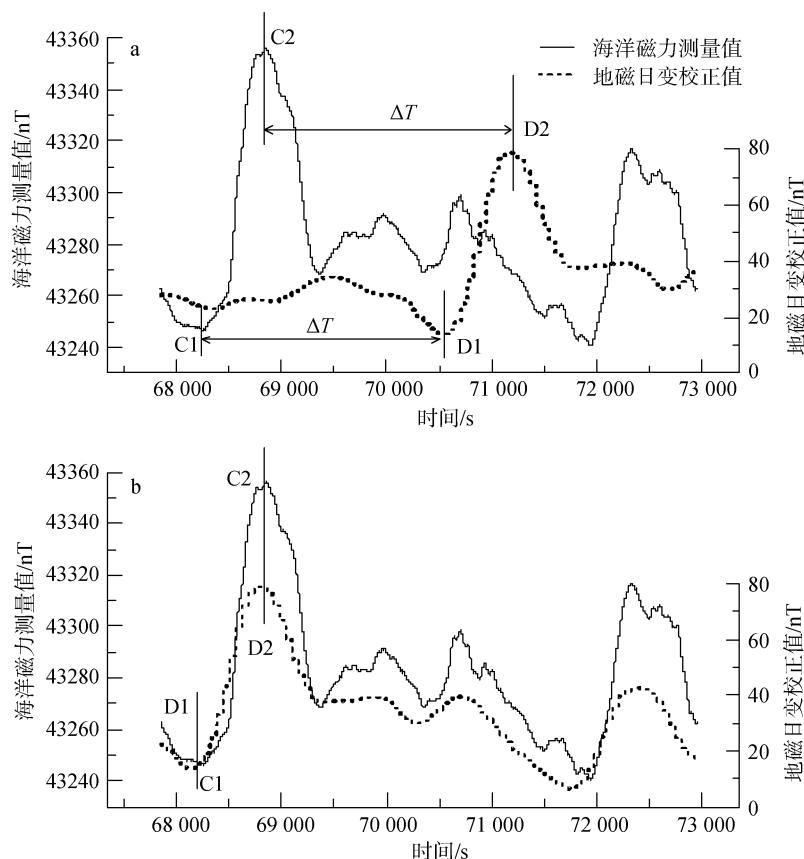


图 3 测线 2011 海洋磁力测量值时差校正

Fig. 3 Geomagnetic diurnal variation corrections for Line 2013

a. 经度差法; b. 局部极值对比法

a. by longitude difference calculation; b. by local-extreme comparison

值。可以从图 3a 中得到, 经度差法计算时差效果并不理想, 海洋磁力数据与陆地地磁观测数据曲线有明显的错位。选取海测磁力数据与陆地地磁日变数据的波峰、波谷(C1 和 D1、C2 和 D2)作为局部极值点。表 2 为测线 2011 数据极值点与崖城台站数据极值点时差表。经计算局部极值(C1 和 D1、C2 和 D2)之间存在着 2 365 s 的时间错位现象。

表 2 测线 2011 数据极值点与崖城台站数据极值点时差表
Tab.2 The time differences between extremes of line 2011 and geomagnetic diurnal variation data

海洋磁力 数据极值点	时间 1 (s)	崖城地磁 数据极值点	时间 2 (s)	数据极值 时间差(s)
C1	68 242	D1	70 612	2 370
C2	68 852	D2	71 212	2 360

根据表 2 的时差值对海洋磁力数据和地磁日变数据进行了重新处理。图 3b 中, 实曲线为海测磁力原始数据, 虚曲线为经过局部极值比对法时差校正后的陆地地磁日变校正值。通过提前 2 365 s 重新匹配陆地地磁日变校正值与海洋实测磁力数据, 发现海测磁力数据与陆地地磁日变校正值(C1 和 D1、C2 和 D2)之间的错位现象消除。经计算, 局部极值间(C1-D2)的数据相关系数由 0.15 变为 0.92。

采用该方法对 2011 年南海北部磁力测网进行了地磁日变校正, 对有明显极值变化的测线进行了时间差计算。经计算, 这些测线时间差均约为 2 365 s, 故对测网中其余测线也同样应用了 2 365 s 的时间差进行改正。对比经过经度差法校正时差后交点差准确度为 6.33 nT, 而局部极值法时间差校正后交点差准确度为 4.64 nT, 准确度有所提高。再通过方向性误差校正和测网平差, ΔT 地磁异常交点差最大值 0.03 nT, 最小值 -0.57 nT, 区间值 0.6 nT, 均值 -0.02 nT, 测网准确度 0.07 nT, 符合规范 2 nT 或 4 nT 的准确度技术要求。

与此同时, 作者注意到虽然海洋磁力测量工区与陆地台站仅间隔不到 200 km, 但在图 3b 中仍然存在约 2 倍的幅值差, 必须通过人工干预才能尽可能的消除, 否则会产生明显错误的假的高异常。

4 讨论

与陆地磁力测量相较, 海洋磁力测量受多种因素影响, 具有复杂性, 地磁日变时空变化更明显。因此需要尽可能设立距离海磁测点相近的陆地

地磁日变观测站和海底地磁日变观测站, 来准确地消除海洋磁力数据与台站数据之间的地磁日变时差和幅值差^[12-14, 17, 20-21, 27-28]。多台站的同步比对法和相关分析法被应用于范围较大或离岸较远的海洋磁力测量中, 取得了较好的效果^[17, 20-21]。然而在一些实际工作中, 无法设立海底地磁日变站, 或者海磁测量区域离陆地台站比较远, 因此不能应用上述两种方法。

根据海洋磁力数据和陆地地磁日变数据之间存在的对应关系, 本文提出可以将某一个时间段内的海洋磁力测量比拟为范围相对较大的海洋台站, 并将该时间段内的局部极值与陆地台站极值直接进行同步对比。从实际测线看, 采用局部极值比对法获得了良好的效果, 磁力测网的准确度 0.77 nT 和 0.07 nT 也符合规范的技术要求。上述测线或测网采用统一的时差进行校正, 是基于测量区域较小的情况。建议在测量区域范围较大时, 考虑不同的测线段用不同时差进行校正, 提高局部极值法的灵活度, 使得测量值与日变值在各段都可以达到最大相关。

测线 2013 和 2011 地磁日变时间数据分别向后延迟错位了 1 025 s 和 2 365 s, 而海洋测线 2013 与陆地地磁日变站的距离大于 590 km, 测线 2011 与陆地地磁日变站的距离大于 130 km, 还没有定量确定经度差与时间差的关系, 需要在今后工作中结合更多的数据进行分析, 以便将这种定量关系与局部极值法结合运用到以后的数据处理工作中。

与此同时, 图 3b 显示即便是海测工区与陆地台站距离小于 200 km, 但磁力数据与陆地地磁数据之间不仅存在着时间差(即相位差), 还存在明显的幅值差。其中相位差可以采用上述局部极值比对法来进行消除; 而幅值差的消除不仅需要尽可能设立相近的陆地地磁日变观测站, 还需要进行人机交互处理, 即对明显存在幅值差的海洋磁力数据进行人工干涉。

通过实测数据来看, 虽然在国家规范和行业规范中, 仅《海洋磁力测量要求》规定在测区附近地磁日变站控制范围内^[30], 认为地磁日变化的幅值和相位一致, 但对于在近岸的几百公里范围内的海洋磁力数据, 作者建议也进行地磁日变时差和幅值的校正。

5 结论

相似于台站之间地磁日变曲线极值的比对法, 将海洋磁力测线中的局部扰动的极值比拟为设立在海区的一个台站的地磁日变曲线的极值, 与陆地地

磁日变化站的数据进行比对,可以准确且快捷的获得实测磁力测线与陆地台站之间的地磁日变时差。采用这个办法,对南海北部深水区磁力测线进行了地磁日变校正,获得了良好的效果,改正测线的相关系数为 0.98 和 0.92,测网准确度符合规范要求。实践证明本方法是简便且可靠的。

在远离陆地或无法投放海底地磁日变站的海洋磁力测量中,建议考虑采用局部极值比对法来对地磁日变时差进行可靠的校正。

致谢:感谢贾连凯、李秀敏等在绘制图片方面给予的帮助。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Bian Gang, Liu Yanchun, Yu Bo, et al. Research on the testing methods of instrumental system in the marine magnetic survey [J]. Marine Science Bulletin, 2007, 9(2): 1-11.
- [3] Gracias N R, Van Der Zwaan S, Bernardino A, et al. Mosaic-based navigation for autonomous underwater vehicles[J]. Oceanic Engineering, IEEE Journal of, 2003, 28(4): 609-624.
- [4] 阳凡林,康志忠,独知行,等.海洋导航定位技术及其应用与展望[J].海洋测绘,2006,26(1):71-74.
- [5] Coastal Oceanographical Corp. HYPACK MAX User Manual [R]. Middletown: Coastal Oceanographical Corp, 2002.
- [6] 高金耀,翟国君,刘强,等.减弱船磁效应对海洋地磁测量精度影响的方法研究[J].海洋测绘,2008,28(3):1-5.
- [7] 卞光浪,翟国君,刘雁春,等.海洋磁力梯度测量中船磁影响的精确校正方法[J].海洋技术,2010,29(2):81-84.
- [8] 边刚,刘雁春,翟国君,等.海洋磁力测量拖鱼位置概算[J].测绘通报,2004,24(8):9-11.
- [9] 张向宇,张锡林.海洋探测拖鱼水平位置改正方法研究[J].测绘与空间地理信息,2013,36(7):50-53.
- [10] GB/T12763.8.海洋调查规范-第8部分:海洋地质地球物理调查[S].
- [11] 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):23-24.
- [12] 姚俊杰,孙毅,赵宏杰.地磁日变观测数据理论分析[J].海洋测绘,2002,22(6):8-10.
- [13] 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.
- [14] 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,2009,4:87-92.
- [15] 边刚,刘雁春,翟国君.一种确定地磁日变校正基值的方法[J].海洋测绘,2003,23(5):9-11.
- [16] 张亚彪,张子良,于波,等.海洋磁力测量地磁日变校正中的时差计算方法[J].海洋测绘,2013,33(4):19-22.
- [17] 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.
- [18] Parkinson W D, Jones F W. The geomagnetic coast effect [J]. Reviews of Geophysics, 1979, 17(8): 1999-2015.
- [19] Auld D R, Law L K, Currie R G. Cross-over error and reference station location for a marine magnetic survey[J]. Marine Geophysical Researches, 1979, 4(2): 167-179.
- [20] 王磊,边刚,任来平,等.时差对海洋磁力测量地磁日变校正的影响分析[J].海洋测绘,2011,31(6):39-41.
- [21] 姚俊杰,孙毅,刘国斌,等.地磁日变数据时间同步相关系数分析[J].海洋测绘,2005,25(6):15-17.
- [22] Marcotte D I, Hardwick C D, Nelson J B. Auto-mated interpretation of horizontal magnetic gradient profile data[J]. Geophysical Reserach, 1992, 85: 3670-3680.
- [23] 刘哲.用地磁场总强度空间线性相关方法对辽宁省内及周围地区几次中强地震的预报总结[J].东北地震研究,2002,18(2):46-50.
- [24] Vallée M A, Smith R, Dumont R. Correcting magnetic temporal variations with a base station[C]//Society of Exploration Geophysicists. SEG Technical Program Expanded Abstracts. USA: Society of Exploration Geophysicists, 2003: 608-611.
- [25] 邢西淳,邵辉成,毛娟,等.小波变换在地磁数据分析中的应用[J].地震地磁观测与研究,2005,26(2):38-42.

- [26] 傅承义, 陈运泰, 祁贵仲. 地球物理学基础[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [27] Riddihough R P. Diurnal corrections to magnetic surveys-an assessment of errors [J]. Geophysical Prospecting, 1971, 19(4): 551-567.
- [28] 祁贵仲. 局部地区地磁日变分析方法及中国地区S_q场的经度效应[J]. 地球物理学报, 1975, 18(2): 104-117.
- [29] 姚俊杰, 暴景阳, 孙毅, 等. 地磁日变数据幅值关系分析与应用[J]. 海洋测绘, 2006, 26(6): 6-9.
- [30] GJB 7537-2012. 海洋磁力测量要求[S].

The local-extreme comparison on the time difference calculating for geomagnetic diurnal variation correction in marine magnetic data processing

LIU Bin¹, WANG Jing-qiang^{2, 3}, ZHANG Zhen-bo¹, ZHOU Zhang-guo²,
SONG De-long², FU Yong-tao²

(1. China national offshore oil corporation (China) Co., Ltd. Shenzhen branch, Shenzhen 518067, China;
2. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Received: Mar., 11, 2014

Key words: marine magnetic survey; geomagnetic diurnal variation; time difference calculating; local-extreme comparison

Abstract: To correct marine magnetic data processing using the geomagnetic diurnal variation data, with time difference calculation methods between two or three geomagnetic diurnal variation stations, the local-extreme comparison was performed and summarized in this paper. This method was appropriate to the geomagnetic diurnal variation correction in marine magnetic data processing. By the local-extreme comparison, herein we corrected marine magnetic data with geomagnetic diurnal variation data. After the correction, the correlation coefficients between marine magnetic data and geomagnetic diurnal variation data increased to 0.98 and 0.92. Compared to the longitude difference calculation, the time difference obtained by local-extreme comparison can reflect the actual time difference between marine magnetic data and geomagnetic diurnal variation data. The local-extreme comparison can provide an actual and useful tool for the marine magnetic survey in the future.

(本文编辑: 刘珊珊)