

KSS31M 型海洋重力仪动态性能的分析

付永涛¹, 王先超^{1,2}, 谢天峰^{1,2}

(1. 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; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 采用海上实测数据对 KSS31M(SN 036) 海洋重力仪的阻尼延迟时间和可靠性做了分析, 提出采用船只机动转向时重力数据和定位数据、厄特渥斯值的响应时间差来确定在该海况和仪器滤波系数时重力仪的阻尼延迟时间。得到的 2 级海况滤波系数下的阻尼延迟时间为 60 s, 比厂方提供的理论值更接近实际。本方法有助于提高海洋重力测量的精度。同时重力读数与厄特渥斯值变化的相位和振幅吻合, 表明 KSS31M 海洋重力仪具有很高的可靠性和准确性。

关键词: KSS31M 海洋重力仪; 阻尼延迟时间; GPS 数据; 厄特渥斯值

中图分类号: P714.8 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2007)06-0029-05

KSS31M 型海洋重力仪是德国 Bodensee Grav2 t ymeter Geosystem 公司对 KSS30 型海洋重力仪进行了改进后推出的。目前已有 3 台在国内相关单位应用。渡部暉彦等^[1]、宋文尧等^[2]、陈邦彦和梁广胜^[3,4] 曾对 KSS30 和 KSS31M 型重力仪的性能进行过介绍。顾兆峰等^[5]、付永涛等^[6] 介绍了静态试验的重力仪精度和月漂移。

通常依据重力测网交点差))) 即重力测网准确度和码头基点比对漂移率来评价海洋重力仪动态性能。但是对于重力仪在海上测量时的阻尼延迟时间和灵敏度这些影响重力测网精度的因素, 还没有给予充分注意。作者根据 3 年来实际海上测量经验和数据, 提出利用船只机动转向和变速时的重力仪读数和厄特渥斯校正值来更细致地评价和分析重力仪在海上测量时的阻尼延迟时间和可靠性。

1 确定 KSS31M 海洋重力仪阻尼延迟时间的新方法

采用直立弹簧的 KSS31M 型海洋重力仪测量的重力读数与实时的 GPS 定位数据之间存在阻尼延迟时间。也就是说, 在测线上某一时刻获得的重力观测值并不是在此时此地的重力读数, 而是延迟时间以前所在位置的重力读数。在通常的数据整理流程中, 采用厂家提供的对应于各个海况滤波系数的阻尼时间, 将重力读数归算到扣除阻尼时间的 GPS 定位数据上。但厂方提供的理论值是否符合实际情况, 还不得而知。作者在近 3 年的海上实际作业中注意到, 可

以利用船只机动拐弯来观测 KSS31M 海洋重力仪的阻尼延迟时间, 称之为机动转向法计算重力仪阻尼延迟时间。

在做走航式测量时, 船只需要做机动转弯来换线或躲避其它船只。由于机动转弯引起船只航速在东西向分量的改变, 导致船只及仪器所受离心力的增大或减少, 与地球引力合成的重力发生了相应的增大或减少, 即厄特渥斯效应^[7,8]。船只在航向上的改变, 会产生比较大的厄特渥斯效应, 进而引起重力仪读数的快速变化, 这个变化的梯度相对于在线测量时重力变化梯度是很明显的。从导航 GPS 数据可以知道船只机动转弯引起航向和厄特渥斯值变化的时间, 用重力仪读数发生变化的时间减去厄特渥斯值变化的时间, 得到的时间差值就对应于 KSS31M 海洋重力仪在线测量时的阻尼延迟时间。

1.1 实测数据

选择了 2 条近期完成的南北向和东西向重力测量剖面进行分析, 海况为 2 级, 重力仪海况滤波系数为 2。图 1 为从西向东测线(WE 测线)的航迹示意图(为了方便阅读, 将测线航迹图的经线轴比例尺和纬

收稿日期: 2006 1206; 修回日期: 200703201

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(40206009)

作者简介: 付永涛(1972), 男, 湖南邵阳人, 副研究员, 博士, 从事海洋重力与磁力调查与研究, 电话: 053282898529, E2mail: ytfu@ms.qdio.ac.cn

线轴比例尺均做了适当的缩小和放大), 测线先是近南北向匀速直行, 然后是转向, 上线后有一段为了躲避渔船又做了小幅的机动转向, 其中图 1 中 A 段(对应图 4)是一个连续的上线前的转向, 图 1 中 B 段(对应图 5)是一个躲避船只的小转向。图 2 为从北向南

测线(NS 测线) 航迹示意图, 船只机动转弯偏航约 1 200 m, 在机动转向中又有一个局部急转弯, 如图 2 中 C 段所示。图 3 将图 2 中 C 段经度轴比例尺相对纬度轴比例尺放大 10 倍。

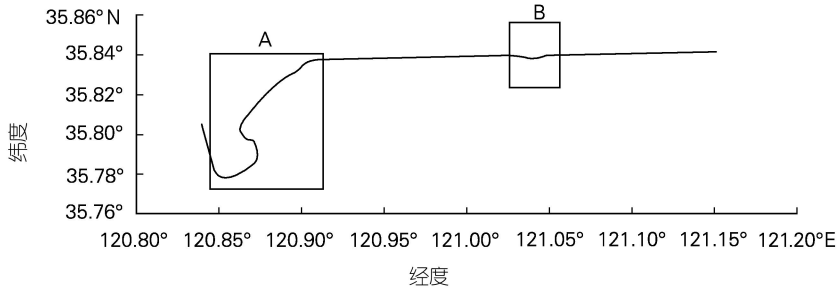


图 1 WE 测线的船只航迹

Fig. 1 Sketch map of vessel track of the WE profile

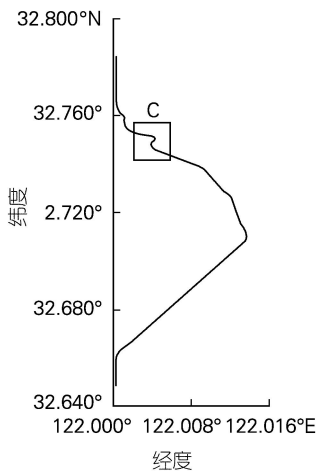


图 2 NS 测线的船只航迹

Fig. 2 Sketch map of vessel track of the NS profile

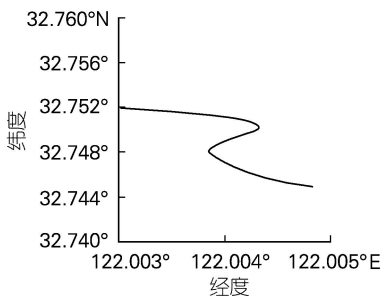


图 3 NS 测线中局部且剧烈的小转向

Fig. 3 The small but sharp turn during the NS profile

1.2 结果与分析

在 WE 测线的重力、航向和厄特渥斯校正值剖面上(图 4), 可以看到在近北向南直线航行转向到 O2 点后, 由 165 向右转向, 重力读数由于厄特渥斯效应应在约 60 s 后开始降低(O1 点)。相似地 P1 点重力读数的时间和 P2, P3 点的时间差同样为 60 s。这个重力读数和 GPS 数据(相应的厄特渥斯校正值)之间的时间差就对应于重力仪的阻尼延迟时间。

在 WE 测线作业过程中, 船只上线后在 90 方向航行中为躲避前方渔船做了一个小的转向(图 5)。在重力读数和航向剖面上, 船只在 A2 点前航向由 90 转向到 115, 随即又转回 85。航向的变化导致厄特渥斯值的快速增减, 因此重力读数相应地先增加, 在 A1 点后又相应地减少。因此 A1 点与 A2, A3 点的时间差, 就相应地为重力仪在线测量时的阻尼延迟时间, 为 50 s 左右。相似地, 从 B1~ B3 点、C1~ C3 点可以推算出重力读数相对厄特渥斯值的阻尼延迟时间分别为 60 s 和 70 s。

在 NS 测线的重力读数和航向剖面上(图 6), 选取 4 对特征明显的重力读数和航向数据用来判断重力仪的阻尼延迟时间。由 D1~ D3 点、G1~ G3 点的时间差, 可以得到重力仪在线测量时的阻尼延迟时间为 60 s。然而在船只转向过程中又做了一个小幅急转弯(图 3)。在 E2 点, 船只航向达到最小值 128, 随即又向西转弯至 F2 点, 航向为 195, 之后向东转向至航向为 150 左右。对于这个急转弯, 重力仪读数也表现为剧烈的增减。在 E1 点, 重力读数达到最小值, 然后随船只向西转弯增加至 F1 点, 随着船只向东转弯又降低。因此, E1~ E3 和 F1~ F3 的时间差就是重力仪在急转弯时的阻尼延迟时间, 约为 90~ 100 s。

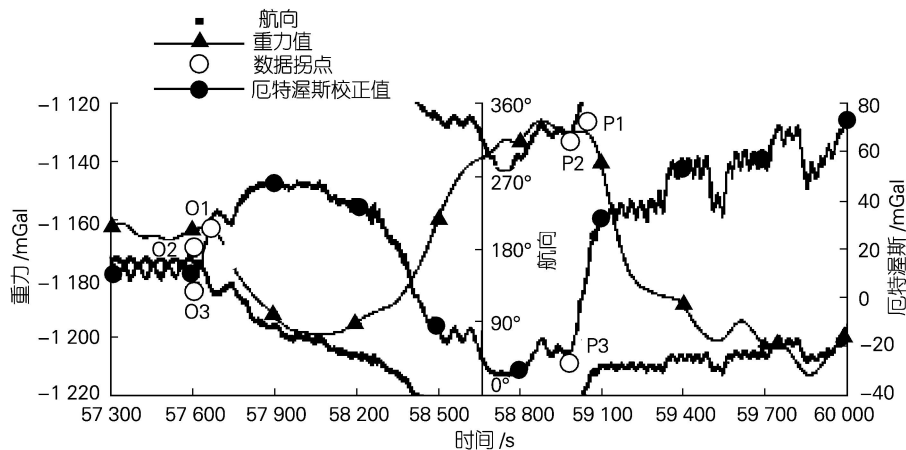


图 4 WE 测线的大转向的重力和航向剖面

Fig. 4 The gravity, course and Ertv's correction data profiles during the huge turn of WE profile

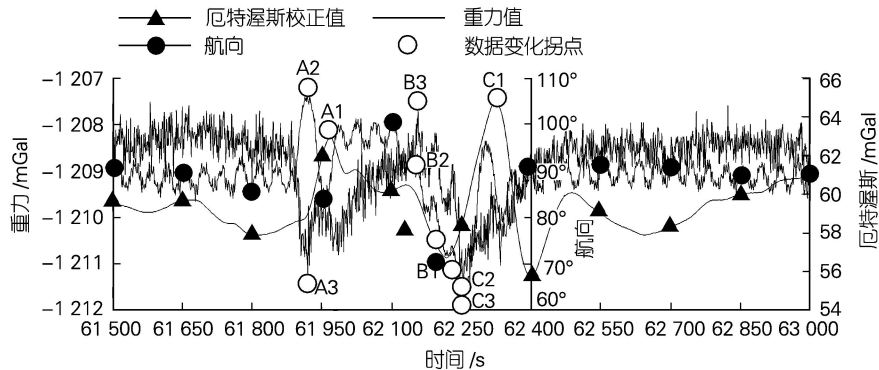


图 5 WE 测线的局部小转向的重力和航向剖面

Fig. 5 The gravity, course and Ertv's correction data profiles during the small turn of WE profile

通过上述分析,可以得到重力仪阻尼延迟时间是 50~70 s 之间,多在 60 s 左右。但在急剧转弯时阻尼延迟时间比较长,为 90 s 左右。

1.3 讨论

通过实际观测数据得到的重力读数对 GPS 数据的阻尼延迟时间为 60 s 左右,这个观测值与厂方提供的 110 s 理论值(与德国 Bodensee Gravimeter Geosystem 公司经理 Klaus K hn 的 Email)差别很大。厂家给的理论值可由 $1/\text{角频率}$ 计算,二级海况(即滤波系数为 2)时 $1/\text{角频率}$ 值为 175 s,后处理的延迟时间约为 $1/\text{角频率}$ 的 63%(2/P),即 110 s 左右。实际上,中国科学院南海海洋研究所苏达权研究员在 1982 年引进 KSS30 海洋重力仪时就在实验室

内采用平台倒台的方法测算了重力仪的阻尼延迟时间,得到的结果是 70 s,与本文的结果吻合(据 2006 年 3 月与苏达权研究员交流)。有趣的是,GS22 型重力仪的延迟时间也是 70 s^[9]。与后两种方法有所区别的是,作者采用的是海上实际测量数据。

作者认为实际观测的阻尼延迟时间应该是进行重力数据整理时采用的,因为采用厂家的 110 s 的阻尼延迟时间对重力读数和厄特渥斯校正匹配,就会将高频短周期的厄特渥斯校正变化引起的重力读数变化提前在相应的厄特渥斯值之前,这是无论如何也应该避免的常识性错误:对于高阻尼的海洋重力仪来说,由厄特渥斯值变化引起的重力读数快速的变化不可能比相应的厄特渥斯值在时间上提前。

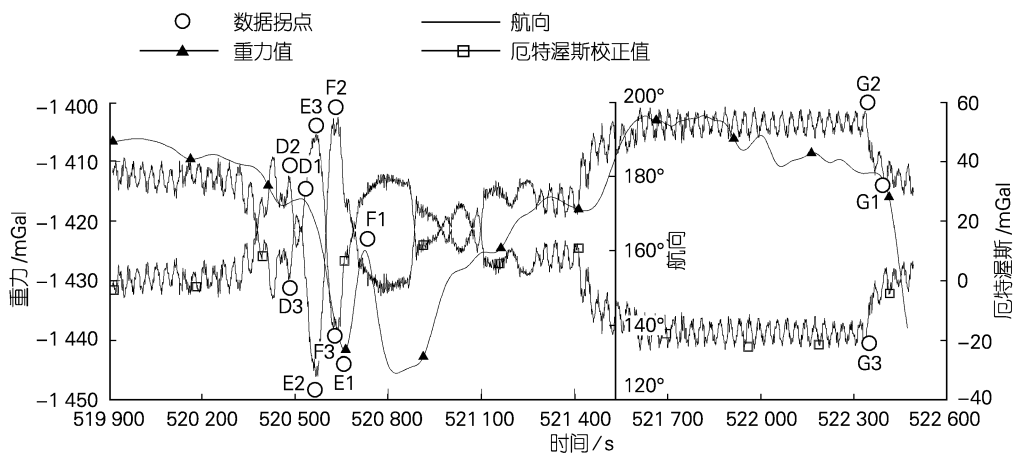


图 6 NS 测线的重力和航向剖面

Fig. 6 The gravity, course and Eötvös correction data profiles of NS profile

另外,采用实际数据观测的阻尼延迟时间可以准确计算重力测网的交点差。通常海上重力测量时船速为 10 kn, 50 s 时间的测线长度约 257 m。如果采用厂家提供的理论延迟时间,就会在定位上产生 275 m 的误差。这样的定位误差是 20 世纪 80 年代的定位水平,是导致重力测量误差的一个很大的因素。进而在计算重力交点差时必然引入比较大的人为误差,对下一步的重力测网平差是不利的。这对区域调查重力测网的精度评估,尤其是对于精度要求较高、线间距较小(有的仅为 2 km)的油气重力勘探是不利的。

因此利用船只机动转向或变速时厄特渥斯校正与重力读数的对应关系不仅可以准确推算在线测量时重力仪的阻尼延迟时间,而且可以避免重力读数和厄特渥斯校正值的匹配误差,这有助于提高海洋重力测网的精度。

2 重力仪海上测量灵敏度的分析

通过船只机动的重力读数与厄特渥斯校正值的对比还可以更确切了解重力仪读数的可靠性和灵敏性。这相当于重力场背景上的长周期重力读数叠加了快速的高频变化,而这个变化是可以由厄特渥斯校正值来判断,因此如果重力读数的快速变化在相位上、振幅上都与厄特渥斯值吻合的话,就充分说明了重力仪的可靠性、准确性。

从 KSS31M 海洋重力仪观测的重力读数与 GPS 数据厄特渥斯校正值的相位对应关系看,重力读数在相位上是可靠的、准确的,对于厄特渥斯的快速变化均有相应的响应。

从重力读数振幅与 GPS 数据计算的厄特渥斯校正值的振幅对比看,重力读数振幅要小于厄特渥斯值的振幅。例如在西东测线连续转向过程中的 O1~O3 点后,重力读数降低幅度为 38 mGal,相应的厄特渥斯值增加值为 40 mGal;在 P1~P3 点,重力读数有一个 75 mGal 的升高,而对应的厄特渥斯值则为 80 mGal(图 4)。但是在小的转向过程中厄特渥斯值比重力读数要大一些(图 5),从 B1 到 C1 之间重力读数增加了 3.5 mGal,而厄特渥斯校正值则降低了 7.5 mGal。相似地在 NS 测线 D1~E1 点,重力读数降低了 25 mGal,而厄特渥斯值则增加了约 40 mGal。这是由于重力读数是经过一段时间平滑的结果,因此必须对厄特渥斯值进行平滑,以判断重力仪的可靠性。对厄特渥斯值做 3 min 的匀滑后,厄特渥斯校正值表现出与重力读数吻合的振幅。在格林兰海上重力测量数据整理时 Strykowski 等^[10]对 GPS 数据(即厄特渥斯值)进行了 5 min 的平滑,获得了很好的效果,重力测网精度达 0.5 mGal。

因此从相位和振幅看,KSS31M 重力仪的读数与厄特渥斯校正值吻合,表现出优秀的可靠性和准确性。

3 结论

从实测数据看利用船只机动转向、变速时重力读数和厄特渥斯校正值的对应关系可以更准确确定重力仪的阻尼延迟时间,可以更细致地了解重力仪海上作业时的可靠性和准确性。通过本方法确定的 KSS31M 海洋重力仪(SN036)的阻尼延迟时间为 60 s,比方厂提供的理论值(110 s)更符合实际,可以避免

重力读数 and 厄特渥斯值的匹配误差, 有助于提高重力测网精度。

致谢: 感谢秦蕴珊院士对本项研究的关心。另外与韩国忠研究员、张锡林教授级高工、廖开训高工、苏达权研究员的交流对本文也有很多帮助, 在此一并感谢。

参考文献:

[1] 渡部暉彦, 伊势崎 修弘, 上田 诚也, 等. 海洋地球物理 [M]. 陆书玉译, 常子文校. 北京: 科学出版社, 1980. 349-404.
 [2] 宋文尧, 刘祖惠, 苏达权, 等. 海洋定位重力测量及其地质地球物理解释 [M]. 北京: 科学出版社, 1993. 150-163.
 [3] 陈邦彦, 梁广胜. 海洋重力测量和 KSS31 型海洋重力仪 [J]. 海洋地质, 1998, 3: 82-90.
 [4] 陈邦彦, 梁广胜. 海洋重力测量和 KSS31 型海洋重力

仪 [J]. 海洋地质, 1999, 1: 12-16.
 [5] 顾兆峰, 张志珣, 杨慧良, 等. KSS31M 海洋重力仪静态观测结果及分析 [J]. 海洋测绘, 2005, 25(2): 60-68.
 [6] 付永涛, 王先超, 谢天峰. KSS31M 型海洋重力仪在海边静态观测的结果 [J]. 地球物理学进展, 2007, 22(1): 300-311.
 [7] 方俊. 重力测量与地球形状学 (上册) [M]. 北京: 科学出版社, 1965. 170-180.
 [8] Dehlinger P. Marine Gravity [M]. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1978. 140-153.
 [9] Schulze R. Automation of the Sea Gravimeter Gss2 [J]. J Geophys Res, 1962, 67(9): 3397-3401.
 [10] Strykowski G, Forsberg R, Larsen M D. Acquisition and processing of high precision Greenland marine gravity data [J]. Phys Chem Earth, 1996, 21(4): 350-356.

Verifying the dynamic properties of KSS31M marine gravity2meter by the observed gravity reading and GPS data

FU Yong2tao¹, WANG Xian2chao^{1,2}, XIE Tian2feng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Marine2geology and Environment, Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Nov. , 6, 2006

Key words: KSS31M marine gravity2meter; time delay; GPS data; Earth's value

Abstract: The observed gravity data of KSS31M marine gravity2meter and GPS data during vessel turn2manoeuvre were analyzed to verify the time delay of gravity data with reference to the Earth's values. The differences between the data pairs of corresponding vessel course change and gravity change indicate the actual time delay between / gravity0 and the / actual position0. The time delay of KSS31M marine gravity2meter derived by this way in the filter state (sea state) of 2 is about 60 seconds, better fit to actual circumstances than the theoretical time delay value suggested by the manufacturer. This method to verify the time delay of the marine gravity2meter is valuable for the accuracy of marine gravity measurement.

(本文编辑: 刘珊珊)