

GT-1M 海洋重力仪与 KSS31M 海洋重力仪的对比

张振波¹, 赵俊峰², 付永涛³, 刘 宾¹, 周章国³, 施小斌², 薛志刚¹

(1. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518067; 2. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301; 3. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 为了检验俄罗斯、加拿大合作生产的 GT-1M 海洋重力仪与德国 KSS31M 海洋重力仪的工作性能, 验证 GT-1M 重力数据的可靠性, 将 GT-1M 采集的 3 条重力剖面与 KSS31M 重力仪采集的重力测网进行了对比分析。结果显示: GT01 剖面与 26 条 KSS31M 重力测线的交点差均值为 0.31 mGal, 交点差均方根为 2.51 mGal; GT02 剖面与 11 条 KSS31M 重力测线的, 交点差均值为 -0.78 mGal, 交点差均方根为 1.97 mGal; 全部交点差均值为 -0.01 mGal, 均方根(RMS)为 2.32 mGal。GT01 剖面与 KSS31M 测网网格化切割的剖面的变化趋势一致, 重力变化幅值基本吻合, 相关系数为 0.98; 而 GT02 剖面位于 KSS31 测网边缘, 网格化切割的 KSS 重力剖面不能反应真实的重力场, 虽然 GT02 剖面变化趋势一致, 但相关系数仅为 0.94, 在相位上也明显有误差。考虑到测网位于海底地形崎岖的深水处, 而且两次测量时间间隔达 3 a, 因此 GT-1M 重力仪测试的结果还是基本与 KSS31M 重力仪吻合的, 数据是可靠的。该分析结果对今后的重力测量工作有参考价值。

关键词: GT-1M 海洋重力仪; KSS31M 海洋重力仪; 海洋重力测量

中图分类号: P738.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2015)05-0085-07

doi: 10.11759/hyxx20130301001

GT-1M 和 GT-2M 海洋重力仪是俄罗斯与加拿大合作生产的海洋重力仪, 两者的技术指标相似, 精度相同, 都是基于 GT-1A 和 GT-2A 航空重力仪改制的。在国外有过与美国 L&R 重力仪同船对比测量的实例^[1], 但还没有与 KSS31M 海洋重力仪实测数据进行过对比。

2012 年 10 月搭载 L&R 重力仪与 GT-1M 重力仪在我国南海北部深水处进行测试, 但 L&R A-S II 重力仪处于不稳定状态, 因此无法对比, 但 3 条测线中有两条测线穿过潮汕凹陷中的 KSS31M 海洋重力仪测网, 这为两台重力仪实测数据的对比提供了条件。经过测线交点差和剖面的比对, GT-1M 重力仪数据与 KSS31M 重力仪数据大致吻合, 剖面曲线的相位和振幅等相似。

1 GT-1M 和 KSS31M 海洋重力仪的性能对比

本次测试的重力仪来自于加拿大微重力公司(Canadian Micro Gravity), 但 GT 系列重力仪的设计和制造来源于俄罗斯莫斯科重力仪技术公司的科学家, 该团队与莫斯科大学力学与数学系的重力处理

专家一起设计和制造了 GT-1A、GT-1M、GT-2A 和 GT-2M 重力仪, 分别用于航空和航海重力测量^[2-3]。

GT 系列重力仪采用了独特的设计, 由惯性导航系统(INS)、垂直的重力传感器和全球定位系统(GPS)来测量重力场, 惯性导航平台和加速计测量惯性加速度(inertial acceleration)和重力加速度(gravitational acceleration), 再减去 GPS 测量的惯性加速度即得到测点重力加速度, 随即得到重力异常。GT 海洋重力仪实测测网的准确度达 0.3 mGal, 且与 L&R 重力仪进行过同船对比(详见 <http://www.canadianmicrogravity.com>)。GT 系列航空重力仪在国内也获得了应用, 孙中苗等^[4]对该系列航空重力仪做了详细的介绍。

KSS31M 是德国制造的采用直立弹簧的海洋重力仪, 在国际久负盛名, 其平台抗扰能力强, 仪器精度高, 测网准确度高, 通常都小于 1 mGal。国内有多家单位使用该重力仪, 相关报道和介绍也较多^[5-10],

收稿日期: 2013-03-01; 修回日期: 2013-07-17

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项海洋重磁场特征(XDA1103010102)

作者简介: 张振波(1973-), 男, 河北赵县人, 硕士, 高级工程师, 现从事海上地震采集处理工作, E-mail: zhangzhib@cnooc.com.cn

并在实际工作中对数据串口等进行了开发工作^[11]。

表1是两种重力仪的技术指标对比, 仪器精度相近, 且平台都拥有较高的抗干扰能力, 纵摇和横摇

的角度可达40°。另外, 在技术指标上, 除了平台的纵横摇角度外, GT 系列重力仪、KSS 系列重力仪和 L&R A-S II 重力仪在性能上相似^[5-10, 12-15]。

表 1 GT-1M 重力仪与 KSS31M 重力仪的技术参数对比

Tab.1 Comparison of the technical parameters between GT-1M and KSS 31M gravimeters

重力仪型号	探头类型	仪器精度 (mGal)	海上准确度 (mGal)	月漂移 (mGal)	平差后测网 准确度(mGal)	平台纵摇 (°)	平台横摇 (°)
KSS31M	直立弹簧	0.1	0.2	<3	0.3*	±45	±45
GT-1M	直立传感器	0.1	0.2	<3	0.1**	±40	±40

注: *来源于中国南海东海等多个实测测网, 据中国科学院海洋研究所资料; **来源于哈萨克斯坦黑海某实测测网, 据加拿大微重力公司网页信息

2 数据来源

2012 年 10 月, 中国科学院南海海洋研究所组织加拿大微重力公司提供的 GT-1M 海洋重力仪搭载“海洋 6 号”调查船, 在南海北部进行测试, 同船搭载了 L&R A-S II 海洋重力仪。海测期间由于 GT 重力仪的一个接口被损坏, 且某段时间 GPS 信号的数据丢失, 因此在测量开始阶段的数据不稳定, 只获得了 3 条长剖面数据。遗憾的是, L&R A-S II 海洋重力仪因为调试原因, 其测量的数据无法与 GT-1M 重力数据作对比。但 GT-1M 3 条长剖面中有两条与 KSS31M 海洋重力仪的测网有交点, 这为两种重力仪的对比提供了机会(图 1)。

KSS31M 海洋重力仪的测网数据来源于 2009 年中海石油(中国)有限公司在南海北部潮汕凹陷的二维地震重力磁力测量, 作业船只为“南海 502”。重力仪的序列号为 036, 数据采集和处理由中国科学院海洋研究所完成。该测网的测线间距约为 10 km, 局部加密。平差前准确度(交点差均方根 RMS)为 1.14 mGal, 平差后准确度为 0.1 mGal。

3 测线交点差

采用 FUGRO LCT 重力磁力处理软件计算了 GT-1M 剖面与 KSS31M 重力剖面的交点差, 扣除仪器常数后得到两者之间的交点差(表 2), 全部交点差的均值为-0.01 mGal, 交点差 RMS 为 2.32 mGal。

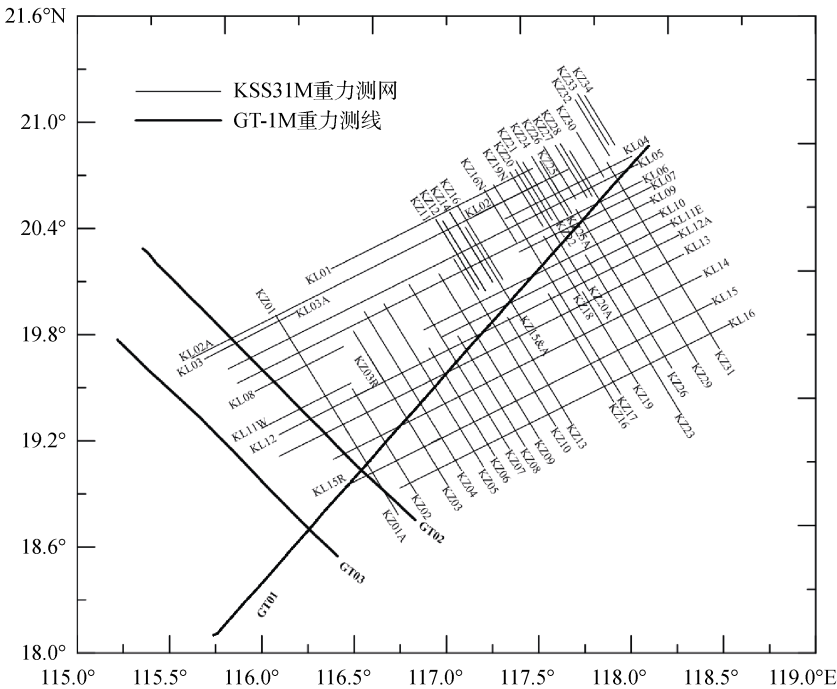


表 2 GT-1M 重力剖面与 KSS31M 重力测线的交点差
Tab.2 The intersection difference between GT-1M gravity profile and KSS31M gravity survey line

KSS31 重力 测网测线号	交点差(mGal)	
	GT01 剖面	GT02 剖面
KL05	0.75	0.96
KZ31	1.96	/
KZ29	3.57	/
KL06	4.08	2.72
KZ26	6.29	/
KL07	6.53	/
KZ20A	1.45	/
KZ18	-0.07	/
KZ17	-4.05	/
KL10	1.55	/
KZ15A	-0.98	/
KL11E	0.11	/
KZ10	-3.31	/
KL12A	-4.02	/
KZ09	-2.2	/
KZ08	-2.2	/
KZ07	8.07	/
KL13	2.6	-2.67
KZ06	0.97	/
KZ05	2.56	/
KZ04	-2.56	/
KZ03	-3.07	/
KL14	2.44	-0.64
KZ02	-5.12	/
KZ01A	-3.92	/
KL15	-3.26	-5.06
KZ01A	/	-4.19
KL12	/	-3.02
KL11W	/	0.12
KL08	/	-1.96
KL03A	/	1.94
KL02A	/	3.13
交点差均值	0.31	-0.78
交点差区间	13.19	8.19
交点差 RMS	2.51	1.97
GT03	1.69	-1.52

注: /表示 GT-1M 重力剖面与 KSS31M 重力测网没有交点

其中 GT01 剖面与 26 条 KSS 31M 重力测线有交点, 最大交点差的绝对值是 8.07 mGal, 交点差区间值是 13.19 mGal, 交点差均值为 0.31 mGal, 交点差 RMS 为 2.51 mGal。GT02 剖面与 11 条 KSS31M 重

力测线有交点, 最大交点差的绝对值是 5.06 mGal, 交点差区间值是 8.19 mGal, 交点差均值为-0.78 mGal, 交点差 RMS 为 1.97 mGal。从 GT01 和 GT02 剖面与 KSS31M 测线的交点差均值不为 0 的现象来看, 应该能够进一步降低 GT01 的交点差值, 但在本文中由于 GT-1M 剖面太少, 因此暂不做进一步的处理。图 2 显示了两条 GT-1M 剖面与 KSS31M 重力测线的交点处误差的情况。

而 GT01、GT02 与 GT03 的交点差分别为 1.69 mGal 和-1.52mGal, 还是比较理想的。

在交点差最大达 8.07 mGal 的 GT01 与 KZ07 交点处, 两条重力曲线都表现出相似的特征(图 3), 都位于局部峰值附近, 这一峰值在 KZ07 测线的水深剖面上表现为在陡坡上高达 700 m 的局部隆起(图 4)。实际上, 在该海域海底地形崎岖, 重力变化的幅值很大, 因此不同时间不同的重力仪测量的重力数据存在一定的误差是可以接受的。

4 GT-1M 剖面与 KSS31M 测网网格化切割剖面的对比

为了更清晰地表现 GT-1M 剖面与 KSS31M 剖面的相关性, 对 KSS31M 重力异常进行了平面等值化, 网格间距为 1 km, 搜索半径为 10 km, 并按照 GT 剖面的位置切割了两条剖面。

由于 GT01 剖面位于 KSS31M 测网的中央, 主测线和联络测线分布均匀, 网格化的效果比较好, 生成的重力剖面与 GT01 剖面基本相同, 两者的相关系数为 0.98。而 GT02 剖面位于 KSS31M 测网的边缘, 在该区域 KSS31M 重力联络测线的间距较大, 且仅与一条主测线相交, 因此网格化得到的 KSS31M 重力剖面与 GT02 剖面的相关性稍差, 相关系数为 0.94。

从水深剖面上看(图 5), KSS31M 测网位于崎岖海底的深水区, 海底地形变化大, 相应的自由空间重力异常的变化幅值也很大, 但 GT01 剖面仍然表现出与 KSS31M 重力高度相似的特征。考虑到两次测量时间间隔达 3 a 多, GT-1M 重力仪在测试期间出现人为故障, 以及 GT-1M 重力仪海测期间的风浪比较大, 因此该重力仪表现出的性能还是可以接受的。

通过 2010 年哈萨克斯坦里海某工区的 GT-2M、L&R 和 Chekan 重力仪的同船对比看^[1], 在垂直加速度小于 30 Gal 的平静海况, 三者之间的误差不超过 0.7 mGal。在风浪大、垂直加速度达 70 Gal 的恶劣海况下, GT-2M 重力仪与另外二者之间有 2 mGal 左

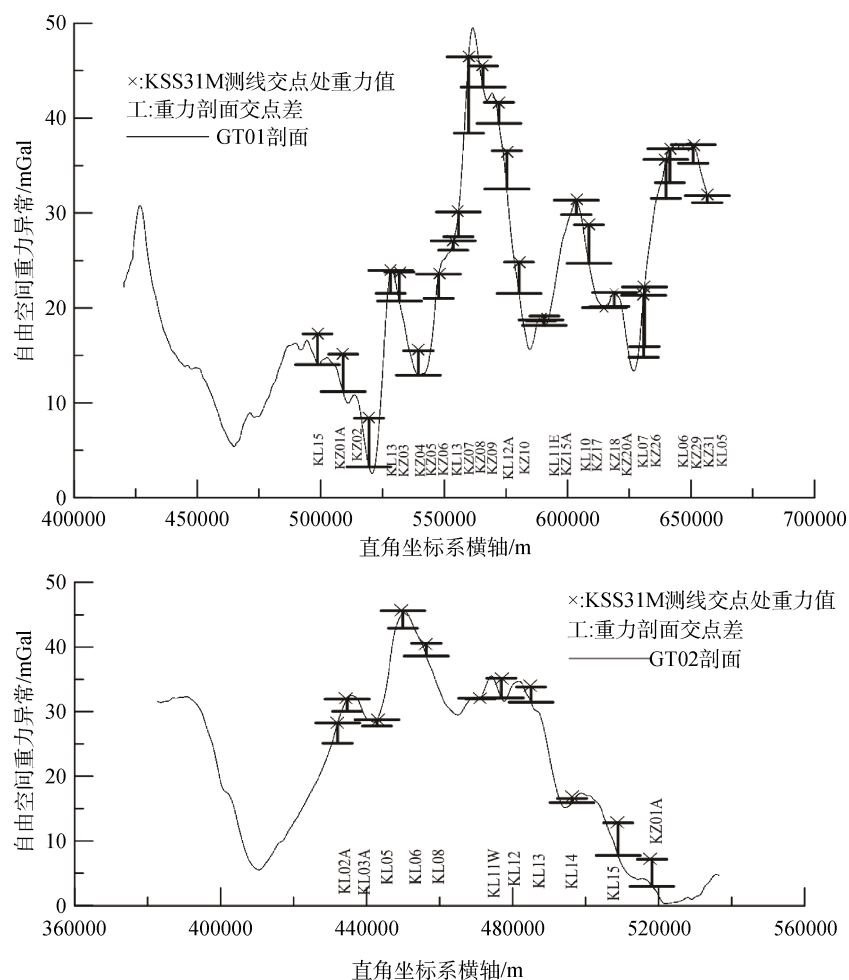


图2 GT01剖面、GT02剖面与KSS31M测线交点的情况

Fig.2 The intersection between the GT01 and GT02 profiles and the KSS31M survey line

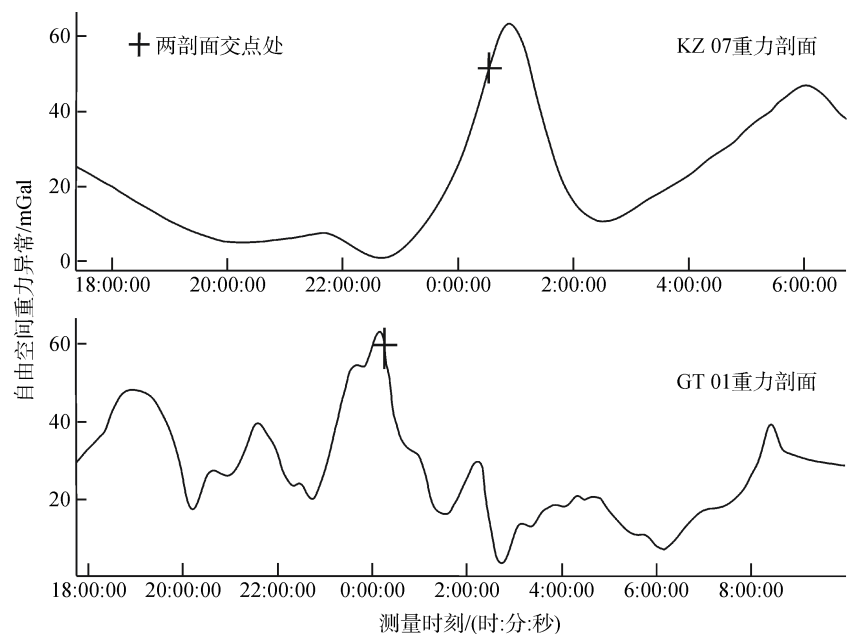


图3 GT01重力剖面与KZ07重力剖面的交点情况

Fig.3 The intersection between the GT01 profile and the KZ07 profile

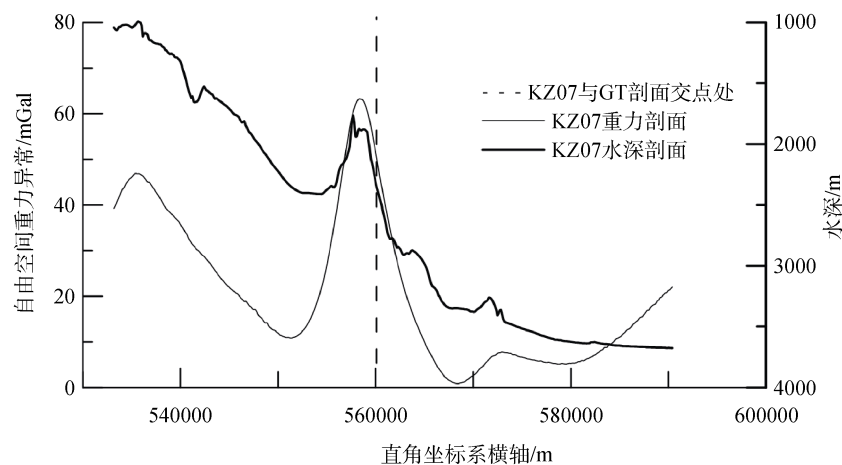


图4 KZ07 测线的重力和水深剖面图

Fig.4 The gravity and the water depth profile of the KZ07 survey line

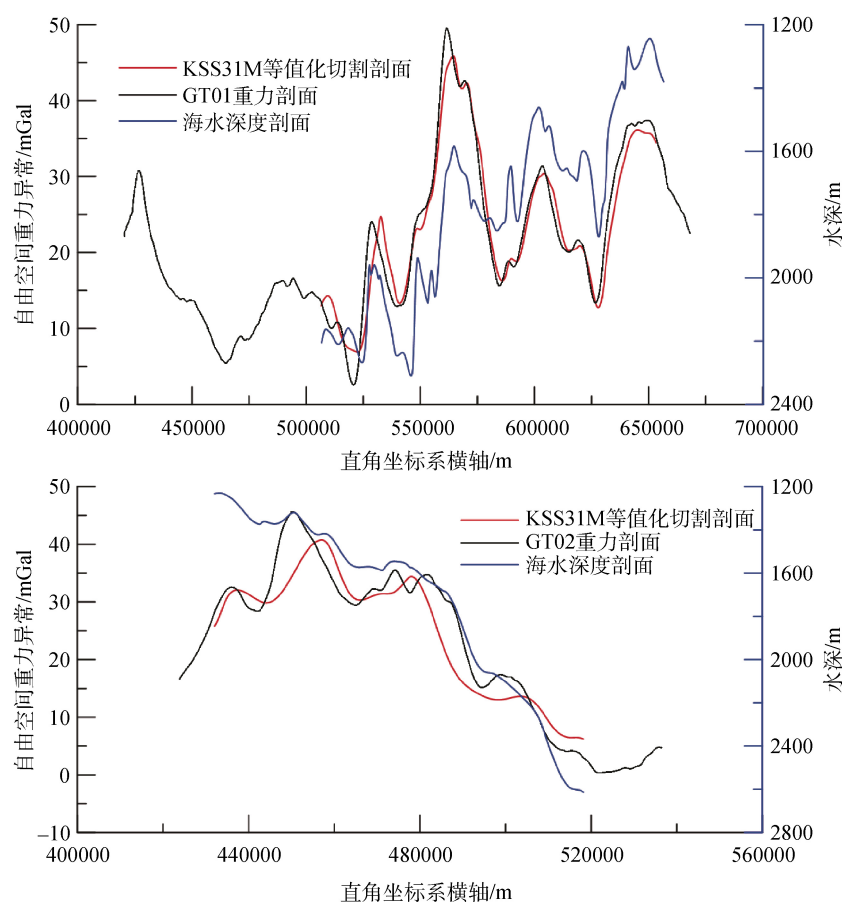


图5 GT-1M 重力仪剖面与 KSS31M 测网等值化图切割剖面的对比

Fig.5 The comparison between GT-1M gravimeter profile and the sliced profile of the gridded survey network of KSS31M

右的误差(但据加拿大微重力技术专家 Dan Olson 在 2012 年 12 月做重力仪技术介绍展示的剖面看, 后来沿该剖面重复测量的剖面与 GT-2M 重力剖面相同)。这也表明 GT-1M/2M 重力仪具有很好的稳定性。

5 结论

GT 系列重力仪采用了独特的设计, 属于直立型重力仪, 具有平台稳定性高、数据稳定、仪器精度和测网准确度高等特点。根据与 KSS31M 海洋重力仪

测网的对比,从测线交点差的大小、剖面曲线相关性的特征来看,GT-1M 海洋重力仪测量的数据与 KSS31M 重力仪的数据具有一致性,其测量数据是可靠的。

参考文献:

- [1] Kovrizhnykh P, Shagirov B, Geoken, et al. Marine gravity survey at the Caspian with GT-2M, Chekan AM and L&R gravimeters: comparison of accuracy [R]. Russia: Moscow State University, 2011.
- [2] Berzhitsky V N, Bolotin Y V, Golovan A A, et al. GT-1A inertial gravimeter system: Results of Flight Tests [M]. Lomonosov Moscow State University. Russia, Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2002: 3-40.
- [3] Gabell A, Tuckett H, Olson D. The GT-1A mobile gravimeter[C]. Richard L. ASEG-PESA Airborne Gravity 2004 Workshop: Geoscience Australia Record. Australia: Spatial Information for the Nation, 2004: 55-63.
- [4] 孙中苗, 翟振和, 李迎春. 航空重力仪发展现状和趋势[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(1): 1-8.
- [5] 陈邦彦, 梁广胜. 海洋重力测量和 KSS31 型重力仪[J]. 海洋地质, 1998, 3: 8-20.
- [6] 陈邦彦, 梁广胜. 海洋重力测量和 KSS31 型重力仪[J]. 海洋地质, 1999, 1: 1-16.
- [7] 顾兆峰, 张志珣, 杨慧良, 等. KSS 31M 海洋重力仪静态观测结果及分析[J]. 海洋测绘, 2005, 25(2): 66-68.
- [8] 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——兼与栾锡武先生商榷[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(1): 308-311.
- [9] 付永涛, 王先超, 谢天峰. KSS31M 型海洋重力仪动态性能的分析[J]. 海洋科学, 2007, 31(6): 29-33.
- [10] 王秀东, 王真, 王先超, 等. KSS31M 型海洋重力仪阻尼延迟时间修正后对重力测网精度的影响[J]. 海洋通报, 2010, 29(3): 320-323.
- [11] 符溪. KSS31 重力仪与 Hipack 导航系统接口应用程序开发[J]. 物探装备, 2004, 14(2): 126-129.
- [12] 张遴梁. 海洋重力仪的现状和发展[J]. 海洋科学, 2001, 25(9): 18-20.
- [13] 欧阳永忠, 孙毅, 黄谟涛, 等. S-II 型海洋重力仪的特点及使用问题[J]. 海洋测绘, 2006, 26(3): 75-78.
- [14] 张涛, 高金耀, 陈美. 利用相关分析法对 S 型海洋重力仪数据进行分析与改正[J]. 海洋测绘, 2007, 27(2): 1-5.
- [15] 王福民, 叶宇星. S-II 型海洋重力仪介绍和使用方法[J]. 物探装备, 2007, 17(3): 210-214.

The comparison between GT-1M and KSS 31M marine gravimeters

ZHANG Zhen-bo¹, ZHAO Jun-feng², FU Yong-tao³, LIU Bin¹, ZHOU Zhang-guo³, SHI Xiao-bin², XUE Zhi-gang¹

(1. China National Offshore Oil Corporation (China) Co., Ltd., Shenzhen Branch, Shenzhen 518067, China;
2. South China Sea Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;
3. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: Mar., 1, 2013

Key words: GT-1M marine gravimeter; KSS31M marine gravimeter; marine gravity survey

Abstract: Three gravity profile data acquired by GT-1M marine gravimeter produced in Russia and Canada and by KSS31M marine gravimeter produced in Germany were compared. The mean value of intersection difference between GT01 profile and 26 KSS31M gravity survey lines was 0.31 mGal. The RMS of intersection difference was 2.51 mGal. The mean value of intersection difference between GT02 profile and eleven KSS31M gravity survey lines was -0.78 mGal. The RMS of intersection difference was 1.97 mGal. The mean value of all intersection dif-

ference was -0.01 mGal and the RMS was 2.32 mGal. The GT01 profile had the same variation trend with the profile sliced from the gridded survey network of KSS31M. The variation of gravity amplitude was basically consistent, and the correlation coefficient was 0.98. The GT02 profile was at the edge of the survey network of KSS31M, so the sliced profile from the gridded measuring network of KSS31 could not reflect the real gravity field. Although they had the consistent trend, the correlation coefficient was 0.94, and they had obvious error in phase. In consideration that the measuring network was located in the deep sea with rugged terrain and the measurement intervals were up to 3 years, the test result of GT gravimeter was basically consistent with that of the KSS31M gravimeter and the data are reliable.

(本文编辑: 刘珊珊)