

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2015.02.012

Jason-2 卫星波形重定技术在研究贝加尔湖水位中的应用

李 静,岳建平,梁子亮

(河海大学地球科学与工程学院,江苏 南京 210098)

摘要: 利用 Jason-2 测高卫星 2008—2013 年的 Waveform 数据,以贝加尔湖为例,研究卫星测高数据编辑标准、地球物理改正方法及波形重定方法;利用波形重定后的数据计算贝加尔湖年水位异常时间序列与季度水位异常时间序列,分析得到贝加尔湖水位的季节性变化规律;利用组合模型预测贝加尔湖 2013 年 10 月的水位,并与测高所得水位进行了比较。研究表明,利用波形重构技术可提高对贝加尔湖水位测量精度,对其水位变化研究具有一定的可行性。

关键词: 卫星测高;Jason-2 卫星;波形重定技术;水位变化;水位预测;贝加尔湖

中图分类号: P228 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2015)02-0163-04

Application of Jason-2 waveform retracking method to investigation of water level of Lake Baikal

LI Jing, YUE Jianping, LIANG Ziliang

(School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the waveform data of the Jason-2 altimetry satellite from 2008 to 2013, the editing standard, geophysical correction method, and waveform retracking method for satellite altimeter data were studied using Lake Baikal as a case study. The annual and seasonal time series of the abnormal water level of Lake Baikal were calculated using the waveform retracking data, and the seasonal variation rules of the water level were analyzed. The water level of Lake Baikal in October 2013 was predicted using a combined model and compared with the altimeter-derived water level. The results show that the waveform retracking method improves the measurement accuracy of the water level of Lake Baikal, and this is a feasible method of investigating the variation of water level.

Key words: satellite altimetry; Jason-2 satellite; waveform retracking method; variation of water level; prediction of water level; Lake Baikal

卫星测高是 20 世纪 70 年代发展起来的一项高科技测量技术,以人造地球卫星作为测量的载体,借助空间、电子、光电和微波技术等高新技术的发展,在空间大地测量领域带来一场变革,是逐渐发展起来的新型边缘学科。利用测高仪实时测量得到的各类数据项,通过数据处理和分析,可研究大地测量学、地球物理学、水文学及海洋学方面的问题^[1]。

卫星测高技术的出现可以从宇宙空间大范围、高精度、快速、周期性地探测海洋上的各种现象及其变化,提高了人类对海洋的认识,取得丰富的成果^[2]。近年来,国内一些学者已经利用卫星测高技术进行了内陆湖水位变化的研究并取得了一定的成果^[3-4]。本文利用 Jason-2 测高卫星 2008—2013 年的 Waveform 数据进行波形重定,以贝加尔湖为例,分析经波形重定后湖区的水位变化。

1 研究区与数据

贝加尔湖位于俄罗斯东西伯利亚南部,是世界上年代最久的淡水湖泊,为世界第七大湖,形状为新月形。

贝加尔湖透明度为 40.8 m,长约 636 km,平均宽 48 km,平均深度 744 m,有 336 条河流注入,其中色楞格河的流量占主要部分,从湖中流出的仅有安加拉河。Jason-2 卫星的 Pass36、Pass62、Pass79、Pass138 及 Pass214 弧段经过贝加尔湖,与其他内陆湖泊相比,该卫星经过贝加尔湖的轨迹较多,故选取贝加尔湖进行研究。

T/P 卫星、Jason-1 卫星以及 Jason-2 卫星具有相同的测量海面高度任务,其中 T/P 卫星 1992 年 8 月发射,2006 年 1 月结束服务。作为其后续卫星的 Jason-1 卫星于 2001 年 12 月发射,2013 年 7 月结束服务。Jason-2 卫星于 2008 年 6 月发射升空,延续 T/P 卫星和 Jason-1 卫星测量海面高度的任务,该卫星轨道高度为 1 336 km,轨道倾角为 66.039°,周期约为 10 d。

本文采用 AVISO 发布的 Waveform 数据^[5-6]进行计算,目前该数据产品已具有较好的数据质量。Jason-2 卫星每运行一个周期为一个 Cycle,每个 Cycle 中包含 254 个 Pass 文件,文件中包含高度、时间、位置、姿态、环境改正、后向散射系数等数据项^[7]。本文选取 Pass36、Pass62、Pass138 及 Pass214 这 4 个弧段自 2008 年 7 月至 2013 年 10 月共计 6 a 的 Waveform 数据进行研究。

2 数据分析及处理

2.1 数据预处理

Jason-2 卫星设计任务是测量海面高度,故在进行内陆湖泊研究时,海洋上的数据编辑标准并不能完全适用^[8]。经过对测高数据分析,笔者采用 BRAT 软件对读取的 Waveform 数据进行提取与编辑,即:限定各 Pass 经度范围在湖区范围,并用 surface_type = 1 进行控制;参考海洋数据处理准则,对各改正项数值范围进行设定;剔除粗差,即剔除同一 Cycle 中数据与平均值之差大于 3 倍的数据^[9]。

2.2 波形重定

采用 OCOG(重心偏移法)与子波形提取法对 20 Hz 的 Waveform 数据进行波形重定。由于 OCOG 是一种数学算法,未考虑波形意义,未对粗差点进行剔除,本文利用子波形提取法对波形效果较差的点进行剔除,即:以 OCOG 求得子波形提取所需的初值,经过子波形提取,剔除波形效果较差的点,再以得到的波形前缘求出波形重定的距离改正。

利用 OCOG^[10]计算所需初始值:重心位置、波形高度、波形宽度。经过上升沿的判断^[10],得到波形前缘,进而求出波形重定的距离改正:

ΔR = (G_r - G₀) ΔR₀ (1)

式中:ΔR——波形重定的距离改正量;ΔR₀——采样时间间隔对应的距离常数;G_r——波形前缘;G₀——预设门。

湖面高计算结果见表 1。由表 1 可知,经过数据编辑,剔除后的数据质量得到较大提高,表明本文数据处理方法可行,且能显著提高测高数据精度。

表 1 2008—2013 年湖面高数据统计
Table 1 Statistics of water level data from 2008 to 2013

序号	波形提取情况	点数	湖面高/m			
			最大值	最小值	平均值	标准差
Pass36	剔除前	13 715	628.997	177.443	425.718	9.694
Pass36	剔除后	10 817	451.690	393.519	422.761	2.978
Pass62	剔除前	15 527	738.232	264.078	417.100	12.147
Pass62	剔除后	13 740	428.491	383.083	415.775	3.163
Pass138	剔除前	17 953	882.881	125.322	420.110	12.328
Pass138	剔除后	14 840	453.996	380.514	417.226	2.869
Pass214	剔除前	13 630	1 120.606	236.173	423.130	11.713
Pass214	剔除后	11 190	453.941	393.361	420.619	2.836

经过波形重定,可计算卫星到贝加尔湖湖面高度:

R = R' + ΔR (2)

式中:R——经过改正的卫星到贝加尔湖湖面的距离;R'——未经改正的卫星到贝加尔湖湖面的距离。

湖水面相对于参考椭球的高度计算公式如下:

H = T - R - C (3)

式中:H——湖面相对参考椭球高度;T——卫星相对参考椭球距离;C——误差改正量。

Jason-2 卫星设计任务是测量海面高度,对于内陆湖泊测高数据内的改正模型并不能完全适用,因为陆地湖泊与海洋相比,受海潮、逆气压等影响相对较小,故本文仅采用对流层(湿、干)改正、电离层改正、固体潮改正,公式如下:

$$C = d + w + l + s$$

(4)

式中: d ——干对流层改正量; w ——湿对流层改正量; l ——电离层改正量; s ——固体潮改正量。

3 计算结果

3.1 贝加尔湖水位异常分析

以湖水面相对于平均湖水面高度为依据,分析水位变化趋势。文中选用的总平均湖面高是将 6 a (2008 年 7 月至 2013 年 10 月)所得数据求取平均获得,由于 2008 年和 2013 年的测高数据不完整,将贝加尔湖 2009—2012 年的实时湖面高求平均值得到各年平均值^[11],减去总平均值,得到年水位异常时间序列,如图 1 所示。

由图 1 可见,2009—2012 年 4 个 Pass 的水位异常时间序列具有相似性,总体变化趋势相同。考虑到贝加尔湖地处温带大陆性气候区,四季分明,故将贝加尔湖自 2008 年夏季至 2013 年夏季得到的卫星数据按季度求取各季度水位异常,如图 2 所示。

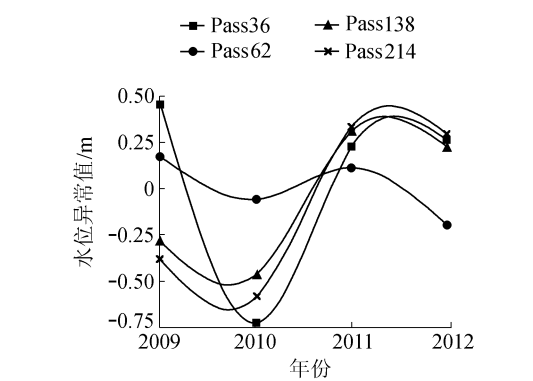


图 1 年水位异常时间序列

Fig. 1 Abnormal time series of annual water level

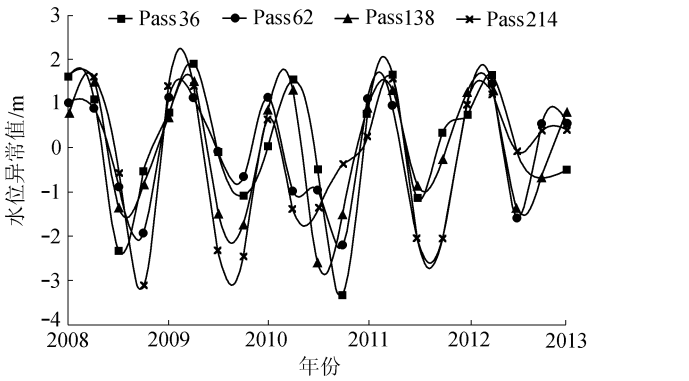


图 2 季度水位异常时间序列

Fig. 2 Abnormal time series of seasonal water level

由图 2 可见,贝加尔湖水位有比较显著的周期性变化,原因在于贝加尔湖地处温带大陆性气候,受气候影响,冬冷夏热,年温差大,降水集中,四季分明,夏秋季湖水水位高,冬春季湖水水位低。分析各个 Pass 之间的季度水位异常时间序列的相关性,求得相关系数最小为 0.53,最大为 0.78,表明 4 个 Pass 的季度水位异常时间序列具有较强的相关性。

3.2 水位预测

采用指数平滑法与趋势移动平均法对 2013 年 10 月水位进行预测。由于单一模型对湖面高预测精度较低,故采用组合模型进行预测。根据最小二乘原则得到指数平滑法与趋势移动平均法权重分别为 95%、5%,其中,指数平滑法中一次指数平滑法占 24%,二次指数平滑法占 43%,三次指数平滑法占 28%。表 2 为利用组合模型进行预测的结果。

由表 2 可见,最大预测误差为 0.096 m,最小预测误差为 0.038 m,预测效果较好。因此,用组合模型对贝加尔湖湖面高进行预测是可行的。

表 2 2013 年 10 月实际水位与预测水位对比

Table 2 Comparison of measured and predicted water level in October 2013

m

序号	实际值	预测值	预测误差
Pass36	423.975	423.937	-0.038
Pass62	417.943	417.888	-0.055
Pass138	418.778	418.718	-0.060
Pass214	421.996	421.900	-0.096

4 结 语

利用 Jason-2 测高卫星 6 a (2008—2013 年)的 Waveform 数据,研究了 Waveform 测高数据波形重定的方法,结果表明其能显著提高数据精度。通过分析贝加尔湖季度水位与年水位异常时间序列,得到贝加尔湖水位的变化趋势^[12-16]。采用基于指数平滑法

与趋势移动平均法的组合模型对贝加尔湖2013年10月水位进行预测,最大预测误差为0.096 m,最小预测误差为0.038 m。为进一步研究,今后宜选取其他一些内陆水域,结合海洋学理论对水位进行分析,进而对利用波形重定技术提高卫星测高数据质量的方法进行探讨,为该技术应用研究内陆湖泊水位变化的可行性做出更全面的评价。

参考文献:

- [1] 李建成,褚永海,姜卫平,等. 利用卫星测高数据监测长江中下游湖泊湖面高变化[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2007,32(2):144-147. (LI Jiancheng, ZHU Yonghai, JIANG Weiping, et al. Monitoring level fluctuation of lakes in Yangtze River Basin by altimetry [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007, 32(2):144-147. (in Chinese))
- [2] WANG Y M. GSFC00 mean sea surface, gravity anomaly, and vertical gravity gradient from satellite altimeter data [J]. Journal of Geophysical Research: Oceans (1978—2012), 2001, 106(C12): 31167-31174.
- [3] 高永刚,郭金运,岳建平. 卫星测高在陆地湖泊湖面高变化监测中的应用[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2008,33(6): 73-75. (GAO Yonggang, GUO Jinyun, YUE Jianping. Lake level variations measurement with satellite altimetry [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(6): 73-75. (in Chinese))
- [4] 褚永海,李建成,姜卫平,等. 利用 Jason-1 数据监测呼伦湖水位变化[J]. 大地测量与地球动力学,2005,25(4):11-16. (ZHU Yonghai, LI Jiancheng, JIANG Weiping, et al. Monitoring of water level variations of Hulun Lake with Jason-1 altimetric data [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2005, 25(4): 11-16. (in Chinese))
- [5] AVISO/Altimetry. AVISO and PODAAC user handbook IWAVEFORM and WAVEFORM Jason products [EB/OL]. [2012-06-19]. <http://www.aviso.altimetry.fr/en/data.html>.
- [6] AVISO. SARAL/AltiKa products handbook [EB/OL]. [2013-07-19]. <http://www.aviso.altimetry.fr/en/data.html>.
- [7] AVISO/Altimetry. OSTM/Jason-2 products handbook [EB/OL]. [2011-12-01]. <http://www.aviso.altimetry.fr/en/data.html>.
- [8] 姜卫平,褚永海,李建成,等. 利用 ENVISAT 测高数据监测青海湖湖面高变化[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2008,33(1):64-67. (JIANG Weiping, ZHU Yonghai, LI Jiancheng, et al. Water level variation of Qinghai Lake from altimetric data [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(1): 64-67. (in Chinese))
- [9] 梁子亮,岳建平. 利用卫星测高监测高邮湖水位变化[J]. 测绘通报,2013(11): 65-67, 125. (LIANG Ziliang, YUE Jianping. Monitoring of water level variations of Gaoyou Lake by altimetry [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2013(11): 65-67, 125. (in Chinese))
- [10] 杨乐,林明森,张有广,等. 基于波形分类和子波形提取的雷达高度计近海波形重构算法[J]. 中国科学:地球科学, 2011(11): 1706-1713. (YANG Le, LIN Mingsen, ZHANG Youguang, et al. A retracking algorithm based on waveform classification and sub-waveform extraction for coastal altimetry [J]. Scientia Sinica Terrae, 2011(11): 1706-1713. (in Chinese))
- [11] 杨小东,施颢,甄宗坤. 利用卫星测高监测贝加尔湖湖面高变化[J]. 现代测绘, 2014(2): 62-64. (YANG Xiaodong, SHI Hao, ZHEN Zongkun. Monitoring of water level variations lake Baikal by altimetry [J]. Modern Surveying and Mapping, 2014(2): 62-64 (in Chinese)).
- [12] 翟国君,黄漠涛,谢锡君,等. 卫星测高数据处理的理论与方法[M]. 北京:测绘出版社,2000.
- [13] BAO Lifeng, LU Yang, WANG Yong. Improved retracking algorithm for oceanic altimeter waveforms [J]. Progress in Natural Science, 2009(2): 195-203.
- [14] 孙文,王庆宾,朱志大. 联合多代卫星测高数据构建中国近海及邻域海平面异常序列[J]. 测绘学报, 2013(4): 493-500. (SUN Wen, WANG Qingbin, ZHU Zhida. Sea level anomaly series in China sea and its vicinity based on multi-generation satellite altimetric data [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2013(4): 493-500. (in Chinese))
- [15] TSENG K H, SHUM C K, TI Yuchan, et al. The improved retrieval of coastal sea surface heights by retracking modified radar altimetry waveforms [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2014, 52(2): 991-1001.
- [16] 刘樱,王妍,刘军. 夏季贝加尔湖阻塞高压的年际变化及其与我国降水的关系[J]. 沙漠与绿洲气象, 2012, 6(1): 16-20. (LIU Ying, WANG Yan, LIU Jun. Inter-annual change of lake Baikal blocking high and its possible relation to precipitation over China in summer [J]. Desert and Oasis Meteorology, 2012, 6(1): 16-20. (in Chinese))