



北极新奥尔松地区海平面变化和陆地垂直运动分析

金波文¹ 王 慧¹ 张建立¹ 李 欢¹ 刘秋林¹

¹ 国家海洋信息中心海平面中心,天津,300171

摘 要:近百年来,全球正经历着以变暖为显著特征的变化,海水增温膨胀、陆地冰川和极地冰盖融化等因素导致全球海平面持续上升。北极新奥尔松地区现保存有典型的极地原始生态系统,客观准确地分析该地区的海平面变化,可以更好地为该地区自然生态环境监测和保护以及气候变化研究等提供基础。联合利用卫星高度计、验潮站和全球卫星导航系统(global navigation satellite system, GNSS)观测资料分析新奥尔松地区的海平面变化的线性趋势和季节性规律,通过同时段资料(1993—2018年)的分析显示,该地区地壳呈上升趋势,上升速率为 (8.09 ± 0.19) mm/a;验潮站相对海平面呈下降趋势,下降速率为 (-7.31 ± 0.36) mm/a;利用地壳运动修正后的绝对海平面上升速率为 (0.78 ± 0.41) mm/a,低于全球同期水平,与卫星高度计观测的绝对海平面变化结果具有很好的一致性,二者相差 (0.23 ± 0.46) mm/a。在进行区域海平面变化分析时,可利用GNSS修正验潮站相对海平面获得该区域的绝对海平面变化。利用修正后的海平面资料分析结果显示,新奥尔松地区海平面变化具有明显的季节性规律,每年10月—11月为季节高海平面期,3月—4月为季节低海平面期。通过海表面温度与海平面的相关性分析认为,随着海表面温度变化,海平面也发生相应的变化。

关键词: 北极;新奥尔松;验潮站;卫星高度计;GNSS;海平面变化;垂直运动

中图分类号:P228

文献标志码:A

北极新奥尔松(Ny-Alesund)地区位于斯瓦尔巴德(Svalbard)群岛(10°E~35°E, 74°N~81°N)西北海岸,地处北大西洋暖流的最北端,该区域的大气、海洋、冰川、海平面等是气候变化敏感的指示器和记录器。在全球变暖大背景下,海平面上升已成为全球性关注问题,作为一种缓发性灾害,其累积效应会造成低海拔地区的淹没,海岸侵蚀、咸潮入侵、土壤盐渍化等危害程度加剧,破坏沿海地区自然生态环境。自20世纪以来,全球海平面呈现加速上升趋势,研究新奥尔松地区的海平面变化,准确判别该区域海平面变化规律,可以更好地为该地区自然生态环境监测和保护以及气候变化研究等提供基础。

海平面变化是复杂的,传统的验潮站获取的是相对海平面变化,卫星测高获取的是绝对海平面变化,但卫星测高在沿海地区精度较低。随着全球卫星导航系统(global navigation satellite system, GNSS)技术的发展,基于GNSS和长期验潮站联合卫星测高数据开展沿岸绝对海平面变化

分析成为可能,但中国该项研究工作开展相对较晚。如王慧等^[1]、袁方超等^[2]、时小军等^[3]利用验潮站和卫星高度计资料分别开展了三沙市、福建近海和珠江口地区的绝对海平面变化研究。国际上,Pfeffer等^[4]指出综合GNSS、多卫星高度计和验潮观测是分析沿海海平面变化的关键,Trisirisatayawong等^[5]、Fenoglio-Marc等^[6]、Bitharis等^[7]、Montillet等^[8]据此分别开展了泰国湾、印度尼西亚南岸、希腊和太平洋西北地区的绝对海平面变化分析,研究了GNSS修正验潮站数据获取绝对海平面变化的技术方法。

本文利用北极新奥尔松验潮站和卫星高度计观测资料分析了该地区的海平面上升规律,同时辅以GNSS资料对验潮站地面垂直运动进行改正,与卫星高度计处理结果进行对比,综合分析了新奥尔松地区的地面垂直运动和海平面变化规律。并将海平面变化与海表面温度(sea surface temperature, SST)进行对比,分析该地区海表面温度与海平面变化之间的相关性。

收稿日期:2020-05-21

项目资助:国家重点研发计划(2016YFC1402610);国家自然科学基金(41976025)。

第一作者:金波文,硕士,工程师,主要从事验潮站GNSS地壳形变和海平面变化研究。jbnmdis@126.com

1 数据来源和预处理

1.1 数据来源

本文研究数据主要包括验潮站实测数据、GNSS连续运行基准站的高程时间序列资料和卫星高度计海平面异常月均值。

新奥尔松验潮站(Ny-Alesund tide gauge station, NYATG)是全球海平面观测系统实施计划(global sea level observing system,GLOSS)站网中北极Svalbard群岛的验潮站之一,位于 $11^{\circ}56'17''\text{E}$, $78^{\circ}55'43''\text{N}$ 。NYATG从1976年开始进行观测,积累了长达42年的资料序列,挪威测绘局对该站海平面资料进行了两次订正^[9],形成了基于新奥尔松当地基准(revised local reference,RLR)的相对海平面资料序列(RLR在Svalbard当地基准TGBM以下20.5 m),数据完整率为87.4%。为匹配卫星高度计资料和GNSS观测资料的时间,本文选取1993—2018年的相对海平面月均值资料进行分析,月均值资料无缺测,资料来源于平均海平面常设局官网(<http://www.psmsl.org>)。

卫星高度计资料来源于法国空间局提供的多卫星融合订正后的海平面异常月均值数据,参考框架为1993—2012年平均海平面(mean sea

level,MSL)。卫星高度计在极地区域过境有限且沿岸地区的精度不如宽阔海域,本文考虑到新奥尔松验潮站虽然位于港湾内部,但所在港湾与外海非常通畅,可认为验潮站与该区域宽阔海面的变化规律一致,因此本文搜索NYATG周边 1.5° 半径内的卫星高度计格网点数据并按距离加权获得平均值作为该站卫星高度计绝对海平面资料序列^[10],时间跨度为1993—2018年。

GNSS资料来源于国际GNSS服务(International GNSS Service,IGS)的GPS和潮汐观测基准监测工作组。NYATG附近有4个IGS运行维护的GNSS观测站,分别为NYA1、NYA2、NYAL、NYAC,另外附近还有中国北极黄河站(CNYR),各站基本情况见表1。考虑到CNYR、NYA1和NYA2三个站点的观测年限均较NYATG要短,NYAC站于2014年后不再采集数据,兼顾NYAL站与NYATG资料的时间和空间匹配一致性,本文选用NYAL站的GNSS资料用于分析地壳垂直运动规律,所用的数据来源于斯克里普斯轨道和永久阵列中心(Scripps orbit and permanent array center,SOPAC)提供的GIPSY软件和GAMIT/GLOBK软件结果融合后的单天解高程时间序列。

表1 新奥尔松验潮站附近的GNSS观测站

Tab.1 GNSS Stations Attached to Ny-Alesund Tide Gauge Station

站点	时间序列周期/年	坐标	与验潮站距离/km	管理
NYAL	1993—2018	11.865 00°E, 78.929 44°N	1.50	挪威
NYA1	1997—2018	11.865 28°E, 78.929 44°N	1.55	挪威
NYA2	2000—2018	11.858 61°E, 78.930 28°N	1.70	挪威
NYAC	1993—2014	11.865 28°E, 78.929 44°N	1.55	挪威
CNYR	2004—2018	11.935 28°E, 78.922 50°N	0.67	中国

1.2 数据预处理

1.2.1 粗差的剔除与插补

通常时间序列中的粗差可采用拉依达准则进行剔除,但考虑到GNSS高程序列、验潮站和卫星高度计月均海平面序列中均存在周期性和线性变化,本文采用相邻两个观测值之差来剔除粗差^[11],判断准则计算式为:

$$|dL| = L_{i+1} - L_i > 3(\delta_i^2 + \delta_{i+1}^2)^{1/2} \quad (1)$$

式中, L_i 为时间序列中第*i*个观测值,对应的误差估计为 δ_i ; L_{i+1} 为相邻的后一个观测值,对应的误差估计为 δ_{i+1} 。当第*i*个观测值本身不是粗差值时,若 L_i 与 L_{i+1} 的差值 $|dL|$ 满足式(1),则认为第*i*+1个观测值为粗差,并将其剔除。依次类推,直到序列内的所有粗差剔除完成。

对于GNSS高程时间序列,误差估计 δ_i 通常在数据处理时同时给出。但当时间序列中观测值未给出单个观测值的误差估计时,采用均方连差的方法得到的各个观测值的均方根值 δ_0 来替代 δ_i ,详细介绍和证明可参见文献[12]。此时判断准则计算式为:

$$|dL| = L_{i+1} - L_i > 3(2\delta_0^2)^{1/2} \quad (2)$$

本文对GNSS序列进行粗差剔除后获取其月均时间序列,1997年10月至1998年1月存在4个月数据缺失,本文采用3次样条插值对序列进行插补,详细介绍可参见文献[13]。验潮站和卫星高度计的月均海平面资料序列均无缺测,无需插补。

1.2.2 距平值处理

由于 GNSS 高程、验潮站相对海平面以及卫星高度计海平面等资料时间序列采用的基准各不相同, 为方便资料融合后进行趋势和周期分析, 本文对资料分别减去对应时段各序列的平均值, 获得各序列的距平值序列。

2 时间序列分析

本文利用海平面时间序列和 GNSS 高程时间序列获取海平面变化速率和地壳垂直形变速率: 首先利用线性回归计算序列的线性趋势并得到除趋势项的平稳序列, 然后采用周期图法^[14-16]探测平稳序列中的显著周期, 最后采用线性趋势与显著周期同时拟合观测资料求出准确的线性趋势和周期, 并对各类资料的时间序列模型进行分析。

2.1 海平面变化分析

在研究海平面长趋势变化时, 黄立人等^[17-18]认为对于含有周期变化的海平面资料序列, 直接用简单的线性回归将导致不正确的结果, 应当顾及周期性变化。提取海平面变化趋势的计算式为:

$$M_t = a_0 + b_0 t + \sum_{i=1}^k \left[a_i \cos\left(\frac{2\pi}{T_i} t\right) + b_i \sin\left(\frac{2\pi}{T_i} t\right) \right] - n_t \quad (3)$$

式中, M_t 为验潮站的月平均海平面观测值; t 为观测时间; a_0 为待定的平均海平面值; b_0 为平均海平面线性变化速率; a_i 和 b_i 为与周期 T_i 相应的周期变化的待定系数; n_t 为拟合误差。

2.2 GNSS 地面垂直运动分析

多位学者对 GNSS 高程分量进行了研究, 普遍认为全球许多连续站单天解坐标分量的时间序列的周期主要有年周期和半年周期两项^[19-24], 本文使用相同的方式, 但未分析阶跃性突变和震后弛豫变化等情况, 因此 GNSS 高程的时间序列表达式精简为:

$$y(t_i) = a_0 + b_0 t_i + c_0 \sin(2\pi t_i) + d_0 \cos(2\pi t_i) + e_0 \sin(4\pi t_i) + f_0 \cos(4\pi t_i) + v_i \quad (4)$$

式中, $y(t_i)$ 为 t_i 时刻的高程; $t_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 为以年为单位的观测时间; 待求的系数 y_0 为序列的平均值; v_0 为线性速率; c_0 、 d_0 和 e_0 、 f_0 分别为年周期和半年周期项的系数; v_i 为观测噪声。

2.3 资料融合分析

平均海平面的绝对变化受两方面的影响, 即 GNSS 基准站获得的验潮站区域地壳垂直运动和

验潮资料求得的海平面相对地壳的变化^[7-8]。因此将验潮站海平面分析结果与 GNSS 高程进行融合时, 首先对验潮站资料和 GNSS 资料进行时空匹配, 然后认为绝对海平面变化速率等于地壳垂直运动速率与相对海平面变化速率的线性相加, 并对验潮站海平面资料进行 GNSS 对应修正, 计算式为:

$$V = V_{\text{MSL}} + V_h \quad (5)$$

式中, V 为绝对海平面变化速率; V_{MSL} 为相对海平面变化速率; V_h 为 GNSS 站垂直运动速率。

3 新奥尔松地区海平面变化分析

3.1 周期分析

由于融合后的卫星高度计资料已进行了逆气压订正, 为减弱逆气压改正带来的影响, 本文首先利用世界气象组织 (World Meteorological Organization, WMO) 的气压观测数据对验潮站海平面观测资料进行了逆气压改正处理, 改正方法参见文献[25]。为准确分析新奥尔松地区验潮站相对海平面序列、卫星高度计海平面序列和 GNSS 高程序列的周期变化规律, 本文采用周期图法对扣除趋势项的平稳序列进行功率谱分析, 并在显著性水平为 0.05 的条件下检验周期的显著性, 结果见表 2。

由表 2 可知, 验潮站和卫星高度计的海平面序列相同的显著周期为 13.0 a、6.5 a、1.0 a 和 0.5 a, 验潮站 GNSS 高程序列的显著周期为 10.8 a、3.6 a、1.0 a 和 0.5 a, 因此验潮站 GNSS 高程与海平面具有相同的 1.0 a 和 0.5 a 周期, GNSS 高程的长周期小于海平面的长周期。

表 2 海平面与 GNSS 高程的显著周期

Tab.2 Periods of Sea Level and GNSS Elevation

观测内容	显著周期/a
验潮站海平面	13.0, 6.5, 1.0, 0.5
卫星高度计海平面	12.9, 6.4, 1.0, 0.5
GNSS 高程	10.8, 3.6, 1.0, 0.5

3.2 长期趋势分析

根据式(3)和表(2)中的周期项分别提取验潮站海平面资料和卫星高度计海平面资料的最终变化趋势, 并根据式(5)将 GNSS 高程序列分析结果与验潮站相对海平面分析结果进行融合。为进一步评估联合 GNSS 高程和验潮站海平面(以下简称 GNSS+验潮)获取的绝对海平面变化趋势, 将 GNSS+验潮与卫星高度计获取的绝对海平

面变化趋势进行对比分析,结果如图1所示。

利用GNSS对验潮站海平面资料进行地壳运动修正后,1993—2018年间新奥尔松地区的绝对海平面上升速率为 (0.78 ± 0.41) mm/a(对应年间GNSS为 (8.09 ± 0.19) mm/a,验潮站为 (-7.31 ± 0.36) mm/a),而同时段卫星高度计获取的绝对海平面上升速率为 (1.01 ± 0.21) mm/a,二者相差 (0.23 ± 0.46) mm/a。因此可以得出,新

奥尔松地区海平面呈缓慢上升趋势,上升速率约为1 mm/a,低于全球同期水平(1993—2018年,全球平均海平面上升速率为 (3.15 ± 0.3) mm/a,数据来自WMO《2018年全球气候状况声明》)。同时验证了通过GNSS进行地壳垂直运动修正后的验潮站资料可有效地分析区域海平面变化规律,同时也可用于卫星高度计资料在局部区域的校正参考。

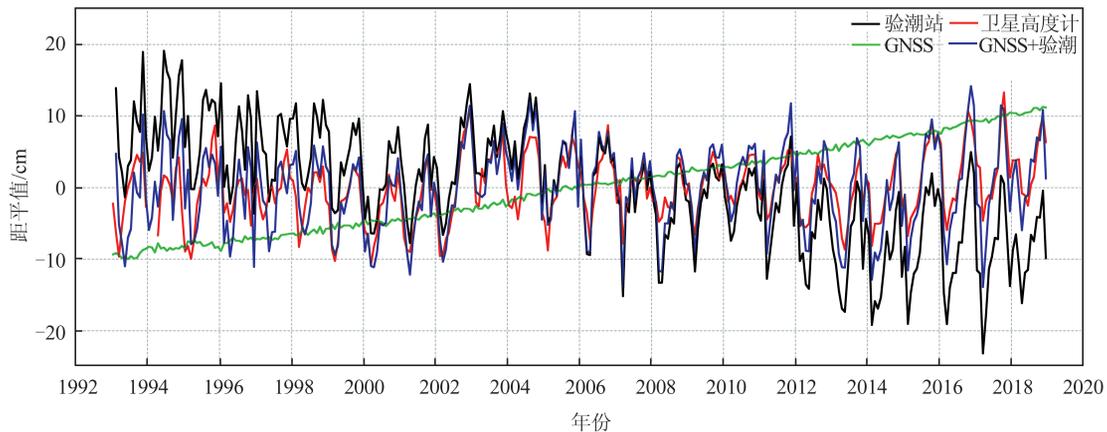


图1 1993—2018年新奥尔松地区平均海平面和GNSS高程距平值变化

Fig.1 Anomaly Values of MSL and GNSS Elevation from 1993 to 2018 in Ny-Alesund

3.3 海平面季节变化与海表面温度

新奥尔松地区海平面变化受局地海温、海流、风、气温、气压、降水和冰川融化等水文气象要素的影响。海表面温度的变化是引起海平面高度变化的主要因素之一。本文采用美国国家海洋与大气管理局发布的海表面温度数据集OISST_V2并利用距离加权方法获得验潮站海域的海表面温度数据序列,进而对海表面温度变化和海平面上升进行相关研究。

海平面季节变化是指主要因气候季节变化引起的海平面的升降变化,这种变化规律每年大致相同。由图2可以看出,新奥尔松地区GNSS+验潮得出的海平面季节变化与卫星高度计海平面季节变化具有很好的一致性,均具有峰谷明显的特征。海平面在3月最低,3月之后上升明显,10月达到最高,年变化幅度约为12 cm。10月—11月为季节高海平面期,3月—4月为季节低海平面期。1993—2018年,海表面温度以每10年 0.13 °C的速率上升,其季节性变化与海平面季节变化表现出一定的差异性。海表面温度在4月最低,4月—8月上升明显,同时海平面也处于快速上升阶段,这表明此时海水热膨胀驱动海平面上升占主导地位;海表面温度在8月达到最高,8月—10月

迅速下降,而此时海平面依旧处于上升阶段,但趋势有所减缓,这表明此时仍然存在其他的主导因素如风、气压等驱动海平面上升。

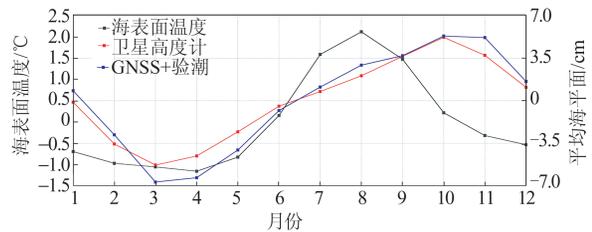


图2 新奥尔松地区平均海平面和海表面温度月变化

Fig.2 Monthly MSL and SST in Ny-Alesund

为进一步分析海表面温度对海平面上升的驱动影响,将OISST_V2数据与GNSS+验潮数据去除趋势项和均值后进行比较,结果如图3所示。对海表面温度和海平面进行相关性分析,二者互相关函数图如图4所示。由图3可以看出,海表面温度相位较海平面相位要超前,即海表面温度变化在前,海平面高度变化在后。由图4可知,1993—2018年间,海平面与海表面温度的最大相关系数为0.56;曲线峰值对应滞后周期,所以海平面滞后海表面温度1~2个月。另外,该地区海平面变化还受到风、降水、冰川活动等因素影响,笔者将在今后的工作中继续进行探讨。

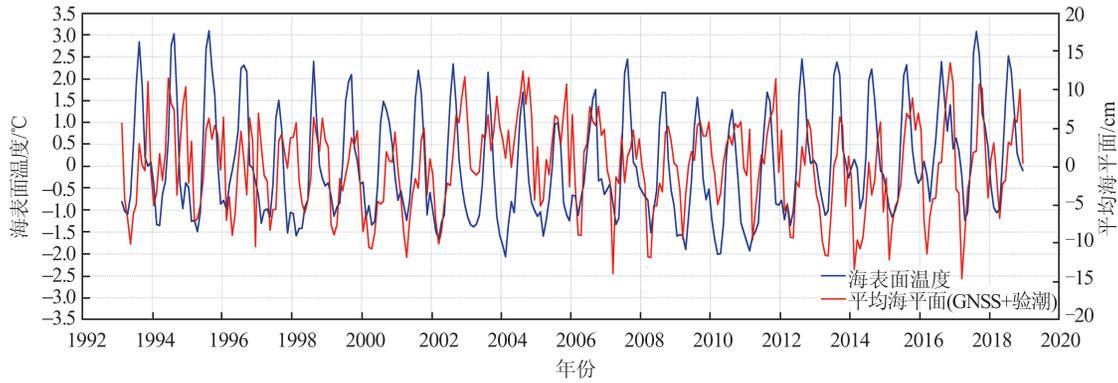


图3 1993—2018年新奥尔松地区平均海平面和海表面温度距平值变化
Fig.3 Anomaly Values of MSL and SST from 1993 to 2018 in Ny-Alesund

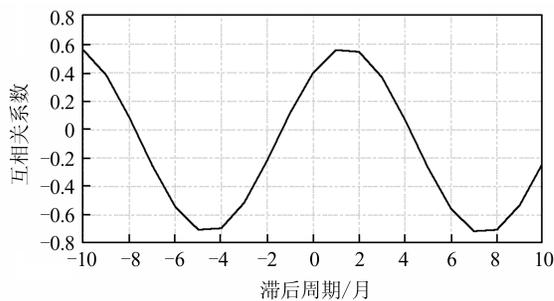


图4 新奥尔松地区平均海平面和海表面温度的互相关函数图
Fig.4 Cross-Correlation Function Between MSL and SST in Ny-Alesund

4 结 语

本文系统分析了北极新奥尔松地区验潮站相对海平面变化规律、卫星高度计绝对海平面变化规律和GNSS验潮站站址垂直运动规律,并利用GNSS地壳运动分析结果修正验潮站海平面资料,获得了扣除地面沉降的绝对海平面序列,综合评估了该地区的海平面资料,并客观分析了该地区的海平面变化规律,得出如下结论:

1)新奥尔松地区验潮站监测得到的海平面变化受地壳上升运动影响,相对海平面呈下降趋势,速率为 (-7.31 ± 0.36) mm/a。利用GNSS高程序列分析结果修正地壳运动后的绝对海平面呈缓慢上升趋势,上升速率为 (0.78 ± 0.41) mm/a,低于同期全球海平面上升速率。

2)新奥尔松地区卫星高度计的绝对海平面变化资料分析结果显示,绝对海平面呈缓慢上升趋势,上升速率为 (1.01 ± 0.21) mm/a,与GNSS+验潮获得的绝对海平面上升速率相差 (0.23 ± 0.46) mm/a。

3)新奥尔松地区海平面变化具有较明显的周期性和季节性,显著周期为13.0 a、6.5 a、1.0 a和0.5 a,每年10月—11月为季节高海平面期,3月

—4月为季节低海平面期。通过分析发现,随着海表面温度的变化,海平面也发生相应的变化。

4)在分析区域海平面变化规律时,GNSS修正地壳垂直运动后的验潮站海平面资料可用于分析区域绝对海平面变化规律,同时也可用于卫星高度计海平面观测资料在局部区域的校正参考。

致谢:中国北极黄河站2018年科学考察“冰川运动和物质平衡”监测组在数据采集和分析中提供了帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Wang Hui, Liu Kexiu, Zhang Jianli, et al. The Sea Level Change of Sansha Seas[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2013, 35(3): 11-17(王慧, 刘克修, 张建立, 等. 三沙市海域海平面变化[J]. 海洋学报(中文版), 2013, 35(3): 11-17)
- [2] Yuan Fangchao, Zhang Wenzhou, Yang Jinxiang, et al. Study on Sea Level Variability in off Shore Fujian[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2016, 35(1): 20-32(袁方超, 张文舟, 杨金湘, 等. 福建近海海平面变化研究[J]. 应用海洋学学报, 2016, 35(1): 20-32)
- [3] Shi Xiaojun, Chen Tegu, Yu Kefu. Sea-Level Changes in Zhujiang Estuary over Last 40 Years[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2008, 28(1): 127-134(时小军, 陈特固, 余克服. 近40年来珠江口的海平面变化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(1): 127-134)
- [4] Pfeffer J, Allemand P. The Key Role of Vertical Land Motions in Coastal Sea Level Variations: A Global Synthesis of Multisatellite Altimetry, Tide Gauge Data and GPS Measurements[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2016, 439: 39-47
- [5] Trisirisatayawong I, Naeije M, Simons W, et al. Sea Level Change in the Gulf of Thailand from GPS-

- Corrected Tide Gauge Data and Multi-Satellite Altimetry [J]. *Global and Planetary Change*, 2011, 76(3/4): 137-151
- [6] Fenoglio-Marc L, Schöne T, Illigner J, et al. Sea Level Change and Vertical Motion from Satellite Altimetry, Tide Gauges and GPS in the Indonesian Region [J]. *Marine Geodesy*, 2012, 35 (sup1): 137-150
- [7] Bitharis S, Ampatzidis D, Pikridas C, et al. The Role of GNSS Vertical Velocities to Correct Estimates of Sea Level Rise from Tide Gauge Measurements in Greece [J]. *Marine Geodesy*, 2017, 40 (5): 297-314
- [8] Montillet J P, Melbourne T I, Szeliga W M. GPS Vertical Land Motion Corrections to Sea-Level Rise Estimates in the Pacific Northwest [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2018, 123(2): 1 196-1 212
- [9] Richter K, Nilsen J E Ø, Drange H. Contributions to Sea Level Variability Along the Norwegian Coast for 1960 – 2010 [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2012, 117:C05038
- [10] Liu Shouhua, Chen Changlin, Liu Kexiu, et al. Vertical Motions of Tide Gauge Stations near the Bohai Sea and Yellow Sea [J]. *Scientia Sinica Terrae*, 2015, 45(11): 1 737-1 746(刘首华, 陈长霖, 刘克修, 等. 渤海黄海周边验潮站地面垂直运动速率计算 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2015, 45(11): 1 737-1 746)
- [11] Huang Liren, Han Yueping, Gao Yanlong, et al. Several Issues in Application of Elevation Component Time Series of GNSS CORS in Vertical Crustal Movement Studying [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2012, 32(4): 10-14(黄立人, 韩月萍, 高艳龙, 等. GNSS连续站坐标的高程分量时间序列在地壳垂直运动研究中应用的若干问题 [J]. *大地测量与地球动力学*, 2012, 32(4): 10-14)
- [12] Tao Benzao, Chen Xilong. Optimal Method for AR (P) Modeling Based on Compensation for Model Errors [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2005 (8): 8-10(陶本藻, 陈希龙. 基于模型误差补偿的 AR(P)最佳建模方法 [J]. *测绘通报*, 2005(8): 8-10)
- [13] Wu Yanqiang, Huang Liren. A New Interpolation Method in Time Series Analyzing [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2004, 24(4): 43-47(武艳强, 黄立人. 时间序列处理的新插值方法 [J]. *大地测量与地球动力学*, 2004, 24(4): 43-47)
- [14] Zhou Dongxu, Zhou Xinghua, Zhang Huayi, et al. Analysis of the Vertical Deformation of China Coastal Tide Stations Using GPS Continuous Observations [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2016, 41(4): 516-522(周东旭, 周兴华, 张化疑, 等. 利用GPS连续观测进行中国沿海验潮站地壳垂直形变分析 [J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2016, 41(4): 516-522)
- [15] Feng S T, Bo W J, Ma Q Z, et al. Spectral Analysis for GNSS Coordinate Time Series Using Chirp Fourier Transform [J]. *Acta Geophysica*, 2017, 65 (6): 1 111-1 118
- [16] XiaHuayong, Li Shuhua. A Grey Model with Periodic Term for Sea-Level Analysis and Its Application to Guangxi Coast [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1999, 21(2): 9-17(夏华永, 李树华. 带周期项的海平面变化灰色分析模型及广西海平面变化分析 [J]. *海洋学报*, 1999, 21(2): 9-17)
- [17] Huang Liren. Dynamical Prediction of Sea Level Change Trend [J]. *Marine Science Bulletin*, 1991, 10(1): 1-6(黄立人. 海面变化趋势的动态预测 [J]. *海洋通报*, 1991, 10(1): 1-6)
- [18] Huang Liren, Bo Wanju. Discussion on the Methods of Determining the Long Term Trend in Mean Sea Level Variations [J]. *Crustal Deformation and Earthquake*, 1992(3): 44-48(黄立人, 薄万举. 确定海平面长趋势变化方法的讨论 [J]. *地壳形变与地震*, 1992(3): 44-48)
- [19] Ming Feng, Yang Yuanxi, Zeng Anmin, et al. Offset Detection in GPS Position Time Series with Colored Noise [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2016, 41(6): 745-751(明锋, 杨元喜, 曾安敏, 等. 顾及有色噪声的GPS位置时间序列中断探测法 [J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2016, 41(6): 745-751)
- [20] Tian Yunfeng, Shen Zhengkang. Progress on Reduction of Non-Tectonic Noise in GPS Position Time Series [J]. *Acta Seismologica Sinica*, 2009, 31(1): 68-81(田云锋, 沈正康. GPS坐标时间序列中非构造噪声的剔除方法研究进展 [J]. *地震学报*, 2009, 31(1): 68-81)
- [21] Han Yueping, Luo Sanming, Chen Fuchao, et al. Effect of Model Error and Result of Regional Vertical Crustal Movement [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2015, 35(1): 21-25(韩月萍, 罗三明, 陈阜超, 等. 区域地壳垂直运动研究中的模型误差及其影响 [J]. *大地测量与地球动力学*, 2015, 35(1): 21-25)
- [22] Liu B P, Li J Z, Li C Z. Crustal Deformation of the 1981 Daofu Earthquake [J]. *Crustal Deformation and Earthquake*, 1982, 2(4): 63-71
- [23] Ming F, Yang Y X, Zeng A M, et al. Analysis of

- Seasonal Signals and Long-Term Trends in the Height Time Series of IGS Sites in China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2016, 59(6): 1 283-1 291
- [24] Jiang W P, Zhou X H. Effect of the Span of Australian GPS Coordinate Time Series in Establishing an Optimal Noise Model[J]. *Science China Earth Sciences*, 2015, 58(4): 523-539
- [25] Jin Taoyong, Li Jiancheng, Wang Zhengtao, et al. Inverse Barometer Correction in Satellite Altimetry and Its Effect on Mean Sea Level Change[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010, 35(9): 1 017-1 020(金涛勇, 李建成, 王正涛, 等. 卫星测高逆气压改正及其对海平面变化的影响[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35(9): 1 017-1 020)

Sea Level Change and Vertical Land Motion Along Ny-Alesund Coast in Arctic

JIN Bowen¹ WANG Hui¹ ZHANG Jianli¹ LI Huan¹ LIU Qiulin¹

¹ Sea Level Center, National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171, China

Abstract: Objectives: Global warming has become a significant climate change in the past 100 years. And the global mean sea level continues rising caused by the thermal expansion of sea water and the melting of land-based glacier and polar ice. The Ny-Alesund area in Arctic has preserved a typical primitive polar ecosystem. The objective and accurate analysis of sea level change in this area can better provide a basis for monitoring and protection of natural ecological environment, and for the research of climate change. **Methods:** This paper analyzed the liner trend and seasonal variation of sea level change by using data of satellite altimeter, tide gauge station and global navigation satellite system (GNSS) along Ny-Alesund coast from 1993 to 2018. **Results:** The observation data at tide gauge station show that the rate of crust rise is (8.09 ± 0.19) mm/a, and the rate of relative sea level decline is (-7.31 ± 0.36) mm/a. So the rate of absolute sea level rise is (0.78 ± 0.41) mm/a, which is similar to the result from observation data of satellite altimeter with the difference of (0.23 ± 0.46) mm/a, and is lower than the rate of global sea level rise. **Conclusions:** In the analysis of regional sea level change, we can get the absolute sea level rise with correction of tide gauge station by GNSS. The relative sea level change corrected by GNSS is characterized by significant seasonal features in Ny-Alesund. The period of seasonal high sea level is from October to November, and the period of seasonal low sea level is from March to April. The correlation analysis between sea surface temperature and sea level shows that the sea level changes with sea surface temperature.

Key words: Arctic; Ny-Alesund; tide gauge station; satellite altimeter; global navigation satellite system (GNSS); sea level change; vertical land motion

First author: JIN Bowen, master, engineer, specializes in crustal deformation research of GNSS tidal station and sea level change. E-mail: jbnmdis@126.com

Foundation support: The National Key Research and Development Program of China (2016YFC1402610); the National Natural Science Foundation of China (41976025).

引文格式: JIN Bowen, WANG Hui, ZHANG Jianli, et al. Sea Level Change and Vertical Land Motion Along Ny-Alesund Coast in Arctic[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(4): 503-509. DOI:10.13203/j.whugis20190205(金波文, 王慧, 张建立, 等. 北极新奥尔松地区海平面变化和陆地垂直运动分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(4): 503-509. DOI:10.13203/j.whugis20190205)