

格陵兰岛附近海域海平面变化的初步研究*

江伟伟, 李磊^{**}, 王春晖, 杜凌

(中国海洋大学物理海洋实验室, 山东 青岛 266100)

摘要: 利用 17 年 5 个月的卫星高度计资料, 探讨格陵兰岛附近海域海平面的季节变化和年际变化特征, 结果表明, 该区域海平面变化存在显著的季节信号和年际信号。近 20 a 来, 格陵兰岛附近海域海平面的平均上升速率为 1.7 mm/a, 小于全球海平面的平均上升速率。该海域的海平面变化存在很强的区域性, 通常多年平均海面高度异常 (SSHA) 大的海区, 海平面上升速率也大; 多年平均 SSHA 低的海区, 海平面上升速率则较小。EOF 分析表明第一模态为季节模态, 整个海域第一空间模态的位相相同, 说明该海域海平面的季节变化趋势是相同的。该区域的 SSHA 与海冰面积指数呈负相关, 海平面的季节变化受海冰面积大小的影响显著。SSHA 与经向风应力距平的低频分量具有很好的正相关性, 与纬向风应力距平的低频分量具有不显著的负相关, 说明该海域海平面的年际变化受风应力的影响显著。

关键词: 格陵兰岛附近海域; 海面高度异常; 年际变化; 海冰面积; 风应力

中图分类号: P727.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2011)10-010-07

由于人类的活动, 大气中二氧化碳增多, 全球气候正发生着重大变化, 海平面作为全球气候变化研究过程中 1 个重要的气候响应参数之一, 已成为各国环境科学家们共同关注的焦点之一。海平面变化研究的历史很长, 以往用于研究的数据资料大多是沿岸验潮站测得的, 这种数据测得的范围有限, 一般只能反映当地的海平面高度变化, 对于大洋内部以及一些缺少验潮站的沿岸地区海平面高度的变化就无从考究。卫星高度计的使用, 使人们获得了大量覆盖全球范围的、高精度的海平面高度数据, 海平面变化的研究越来越精确, 越来越多样化。卫星高度计资料已经成为研究海平面变化的重要手段。

前人利用海面高度资料得到了很多宝贵的研究成果。Steele 等^[1]研究了 50°N 以北的大西洋海域、40°N 以北的太平洋海域和北冰洋海域, 发现在 1950—2000 年期间, 比容海平面升高几乎都是盐比容的升高引起的, 在 1 个更短的时间段 (1960—1990) 内, 气候指数显著变化, 在北欧海域比容海平面高度的梯度降低了 18%~32%。Efthymiadis 等^[2]系统研究了 1993—1998 年副热带大西洋东北部海区的海平面变化, 发现该海区海平面变化中海气热通量引起的季节变化信号占主导, 去掉季节信号后的时间序列与北大西洋振荡 (North Atlantic Oscillation, NAO) 变化趋势非常相似, 可以用风引起的热通量变化和正压 Sverdrup 效应来解释, 更加低频的变化与大尺度的海表温度 (Sea Surface Temperature, SST) 变化有关。Cabanes 等^[3]在分析大西洋海平面变化时, 认为大气因素有可能通

过 2 种方式影响海平面年际变化: (1) 由于局地海表浮力通量驱动和风应力通过 Ekman 抽吸引起的局地比容变化; (2) 通过 Rossby 波传播和准静止的 Sverdrup 平衡分别引起的斜压和正压的海洋调整。Cazenave 等^[4]指出, 2003 年以后全球海洋热膨胀处于停止状态, 而海平面仍然持续上升, 上升率约为 2.5 mm/a; 海平面上升主要是由于海水质量的增加引起的, 这其中一半贡献来自极地冰融化, 另一半来自大陆冰川融化。2003—2008 年 GRACE 数据显示全球大洋由于质量变化引起的海平面上升率为 2.0 mm/a, 可以解释 80% 的总上升率。Fu 等^[5]用 POP 模式模拟了 1992 年 10 月~1994 年 10 月的全球海面高度变化, 发现海表面热通量的强迫是决定模拟的海洋年变化的主要因素, 中高纬度的季节内波动的时间变化和热带海洋的年际变化都主要是风驱动的。本文利用 17 年 5 个月的卫星高度计数据对北大西洋的高纬度海区 (本文选取格陵兰岛附近海域 60°N~82°N, 44°W~20°E) 的海平面进行了研究, 并对比分析了海冰面积和风应力对海平面变化的影响。

1 数据

亚太数据研究中心^[6] (Asia-Pacific Data-Research Center, 以下简称 APDRC) 隶属于美国夏威夷大学国际太平洋研究中心 (International Pacific Research Center, 简称 IPRC)。该中心在大气海洋数据库建设和数据服务等方面通过发展计算、数据管理和必要的网络基础设

* 基金项目: 国家自然科学基金项目 (40806072); 国家科技支撑计划项目 (2007BAC03A0606) 资助

收稿日期: 2011-01-13; 修订日期: 2011-04-07

作者简介: 江伟伟 (1986-), 女, 硕士生。E-mail: jiangweiwei369@126.com

** 通讯作者: E-mail: lilei@ouc.edu.cn

施,给用户提供便捷的共享数据资源;用户可以在该数据中心获得各种大气、海洋、海气通量以及陆地的数据和数据产品。本文中月均 SSHA 是在该中心获得的由法国航天局提供的网格化海面高度异常数据,该资料融合了 Topex/Poseidon(T/P),Jason-1,ERS 及 Envisat4 颗不同高度的测高卫星海面异常资料,该海面异常数据已经减去了 7 a(1993—1999)的平均海面高度,空间分辨率提高至 $1/3$ 度(墨卡托网格),所用同化网格资料长度为 1992 年 10 月~2010 年 2 月。这些数据是迄今为止时间序列最长、数据质量最高的高度计数据,对于研究海平面的变化具有非常重要的意义。

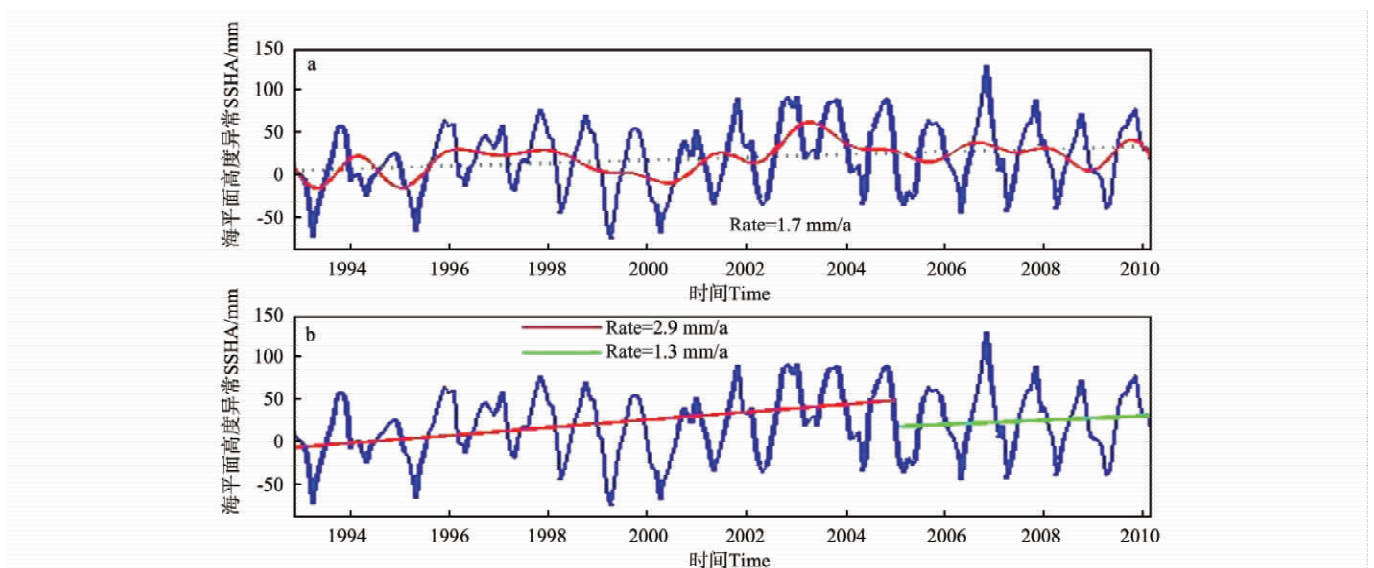
为了研究海冰对格陵兰岛以东海域的海平面变化的影响,本文利用英国哈德莱气候中心提供的逐月 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的全球海冰和海面温度(Global Sea-Ice and Sea Surface Temperature)数据集中的海冰密集度资料,时间范围同样为 1992 年 10 月~2010 年 2 月。风应力资料来自马里兰大学数据中心提供的 SODA(Simple Ocean Data Assimilation)数据集,水平分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 。由于数据长度有限,本文采用的风应力数据时间跨度为 1992 年 10 月~2007 年 12 月。本文的所有数据的空间范围都为 $60^{\circ}\text{N} \sim 82^{\circ}\text{N}, 44^{\circ}\text{W} \sim 20^{\circ}\text{E}$ 。

2 海平面的变化规律分析

2.1 整个区域平均 SSHA 的长期变化

本文利用 SSHA 网格数据,计算每 1 个时间单元的区域平均 SSHA,由于不同纬度数据点的密集程度不同,在计算时,进行纬度位置加权因子订正,以避免人为夸大中高纬度海平面变化的影响,然后用最小二

乘法拟合海平面上升曲线。图 1 为整个区域的平均 SSHA 变化曲线,其中蓝色实线为 SSHA 变化曲线,由曲线可以看出 SSHA 有显著的年际变化和季节变化,每年的 9、10 月份达到最大,3、4 月份最小。对整个研究区域而言,SSHA 的季节变化振幅比较大,最小的年份振幅也超过了 70 mm,有的年份甚至高达 170 mm。图 1a 中绿色虚线是经过最小二乘法拟合得到的海平面上升速率线。从拟合线可以看出 1992 年 10 月~2010 年 2 月,格陵兰岛附近海域的 SSHA 呈上升趋势,其上升速率为 1.7 mm/a 。IPCC 在第 4 次评估报告^[7]中指出 1993—2003 年间全球平均海平面以 $3.1(2.4 \sim 3.8) \text{ mm/a}$ 上升,Church 等^[8]利用 1993—2006 年的高度计资料得到全球平均海平面上升速率为 $(3.1 \pm 0.4) \text{ mm/a}$,这一结果被普遍接受,本文的结果说明该海域的海平面上升值低于全球平均海平面的上升值。SSHA 经过 18 个月的低通滤波(图 1a 中红色实线)得到海平面变化的低频分量,可见该海域的海平面变化有明显的年际变化特征,年际信号振幅约为 $10 \sim 30 \text{ mm}$ 。从图中 SSHA 的变化曲线可以明显看出格陵兰岛附近海域的海平面变化有 2 个不同的变化阶段,为了更加清晰的表明这一点,本文对这 2 个阶段分别进行了变化速率的计算。图 1b 为 1992 年 10 月~2004 年 12 月和 2005 年 1 月~2010 年 2 月 2 个阶段的上升速率图,1992 年 10 月~2004 年 12 月格陵兰岛附近海域的海平面上升速率为 2.9 mm/a (图 1b 红色实线),而 2005 年以后的海平面上升速率为 1.3 mm/a (图 1b 绿色实线),远远小于前 1 个阶段的上升速率,这个结果和 Ablain 等^[9]对全球海平面变化的研究结果一致。



(a)拟合上升速率线(绿虚线),经 18 个月低通滤波后的低频信号(红色实线);(b)1992 年 10 月~2004 年 12 月(红实线)和 2005 年 1 月~2010 年 2 月(绿实线)的上升速率线。(a) Linear trend(the green dashed line), 18-month low-pass filtered time series of SSHA (the red solid line); (b) Two phases linear trend.

图 1 SSHA 的时间变化曲线(蓝实线)

Fig. 1 Time series of SSHA(the blue solid line)

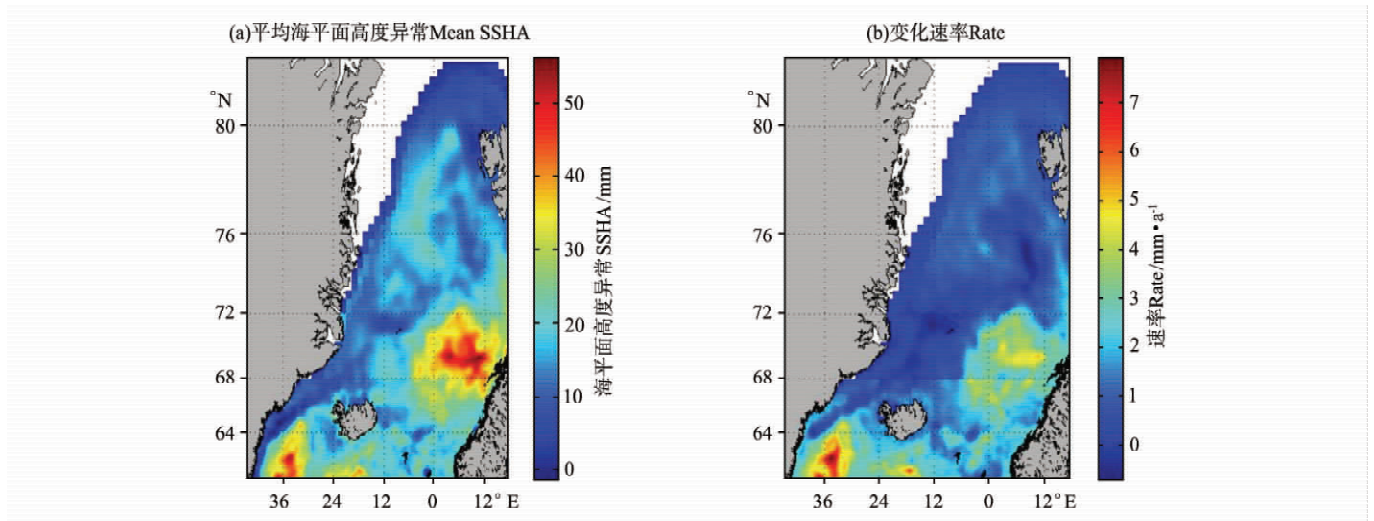
2.2 SSHA 的空间分布

为了更好地了解该海域不同海区的海平面变化情况,本文运用简单平均的方法求得每个空间网格的多年平均 SSHA(见图 2a),利用最小二乘拟合法,求得每个空间网格的海平面上升速率(见图 2b)。从图 2a 可以看出大部分格陵兰岛以东海域的多年平均 SSHA 是正值,只有很少一部分的海域出现负值,这说明与 1993—1999 年的平均海平面相比,大部分区域是上升的。上升最大的区域出现在 $68^{\circ}\text{N}\sim 72^{\circ}\text{N}$ 之间的挪威海海域,冰岛西南的冰岛海海域也出现了小区域的大值区。SSHA 下降区出现在 $71^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}\text{W}$, 施瓦尔巴群岛以西的挪威海海域也出现了小面积的下降海域。

图 2b 中色标由蓝色至红色表示海平面变化速率由负值(海平面下降)到正值(海平面上升),单位为 mm/a 。从图中可以看出,不同网格点的海平面上升速度不同,尽管整个区域的海平面存在 1 个稳定的上升

速率(从图 1 可以得出),但是在有些地区,海平面是下降的。海平面上升最快的区域是格陵兰岛以东的冰岛海海域,其上升速度要明显高于同纬度的挪威海海域,其次海平面上升较快的区域是 72°N 以南的挪威海海域,上升速率的最大值为 $8.0 \text{ mm}/\text{a}$ 。上升速率为负值的区域说明海平面是下降的,显著下降的区域出现在 $(71^{\circ}\text{N}, 12^{\circ}\text{W})$ 附近,其次是 $(75^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}\text{E})$ 附近,最大的下降速率为 $-0.8 \text{ mm}/\text{a}$ 。结合图 1 可以说明上升区域的上升值要大于下降区域的下降值。

对比图 2 这 2 幅图,可以看出 SSHA 大的海区一般海平面上升速率也大,SSHA 低的海区海平面上升速率也小。但对于 72°N 以南的挪威海海域,两者出现了较大的差异,该区域的多年平均 SSHA 很大,但上升速率却不是很大,这说明该海域 SSHA 最近几年的上升加速度有所下降。



(a) 每个格点的多年平均 SSHA; (b) 每个格点的 SSHA 上升速率。(a) Average SSHA; (b) Change rate of SSHA

图 2 SSHA 空间变化图

Fig. 2 Spatial change of SSHA

2.3 EOF 结果分析

EOF 经验正交函数分析方法是处理大量具有时空变化数据常用的多元分析方法。它将观测现象分解为表征空间特征的空间模态和表征时间演变特征的时间模态,有助于揭示观测现象的基本特征及演变规律^[10]。

对海面高度异常进行 EOF 分析,将其信号分离为空间模态和时间系数:

$$h(\varphi, \lambda, t) = \sum_{k=1}^N \alpha_k(\varphi, \lambda) \beta_k(t) \quad (1)$$

其中 φ 是网格的纬度, λ 是网格的经度, t 是时间, k 是 EOF 分解的模态个数, N 是模态的最大数, α_k 是表示未知的只与位置有关而与时间无关的函数,即空间模态特征向量, β_k 则为只与时间有关的函数,即相关模态的时间系数^[11]。

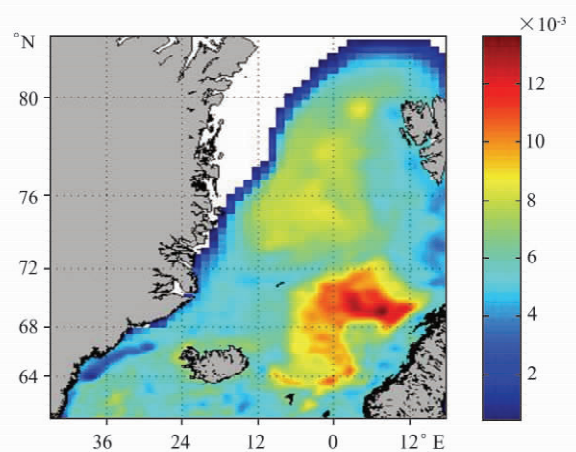


图 3 格陵兰岛附近海域 SSHA 的第一空间模态分布

Fig. 3 The seas near the Greenland's first EOF mode

对 1992 年 10 月~2010 年 2 月的海面高度异常进行 EOF 分解,前 5 个模态所占的方差贡献分别为 67.91%,8.50%,4.26%,2.32%,1.72%,占总方差贡献的 84.71%。第一模态的方差贡献最为显著,所以本文主要对第一模态进行分析。

EOF 分解以后的第一模态为季节模态。图 3 为 EOF 分解后的第一空间模态分布图,整个海区海平面变化位相相同,都为正位相。表明整个海区的季节变化趋势是相同的。大值区出现在 72°N 以南的挪威海海域,73°N 以北、80°N 以南的海域也出现了空间指数较大的区域。这些大值区季节变化的振幅比较大,是海平面变化比较活跃的区域。

本文对第一模态的时间系数进行功率谱分析,得到了显著的 1 a 周期变化(见图 4)。

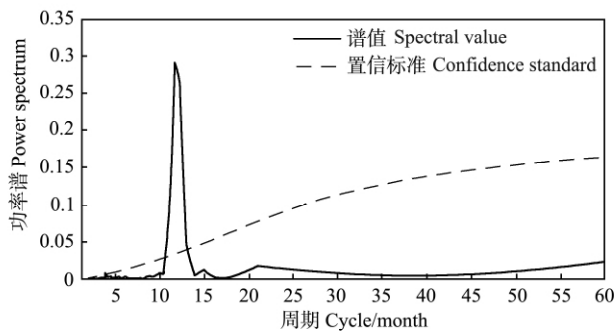


图 4 第一模态的功率谱
Fig. 4 power spectrum of the first mode

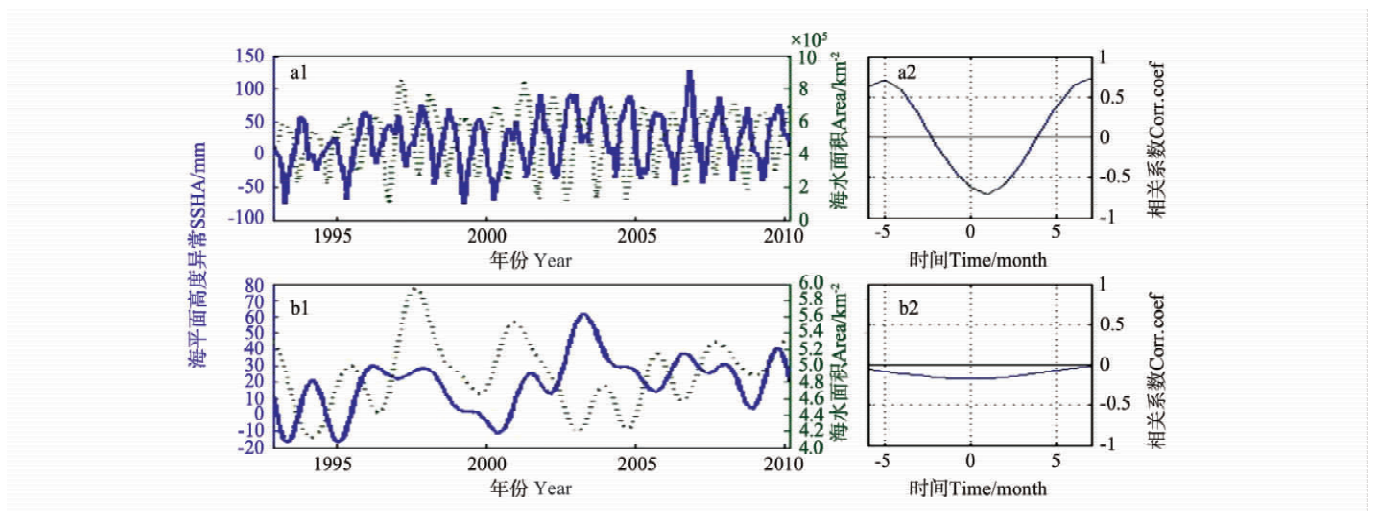
3 与海冰的相关性

格陵兰岛以东海域属于极地海域,在该海域的大部分海区,尤其是纬度高于 70°N 的海区,存在着永久性的海冰。海冰的总面积,冬季约为 40~900 万 km²,夏季约为 10~500 万 km²。在 60°N~75°N 的海区,海冰的出现是季节性的,常有 1 a 的周期。在风和流的作用下海冰会移动,所在海域的物理性质会受到海冰的影响,本文仅针对海冰面积与海平面变化的关系进行讨论。

本文利用海冰密集度资料^[12]和公式(2)计算出 1992 年 10 月~2010 年 2 月期间的每个月格陵兰以东区域(60.5°N~82.5°N,44.5°W~18.5°E)海冰的总面积指数。其中, I_a 为单位面积上的海冰面积指数, R=6 370 km, φ 为纬度, λ 为经度, ρ 为单位面积的海冰密集度大小。

$$I_a = R^2 \times \cos\varphi \times \Delta\varphi \times \Delta\lambda \times (\pi/180)^2 \times \rho \quad (2)$$

图 5 的 a1 中实线是研究区域的平均 SSHA 变化曲线,每年的 9、10 月份海平面达到最大值,3、4 月份最小,虚线是该区域的总海冰面积指数变化曲线,海冰面积指数在每年的 2、3 月份达到最大,8、9 月份达到最小,两者都有显著的季节变化和年周期变化,且位相相反,负相关非常明显,同步相关系数为 -0.62。图 5 的 a2 是 SSHA 和海冰面积指数的相关关系图,从图中可以看出 SSHA 的变化相对于海冰面积的变化有一定的滞后关系,SSH A 在滞后海冰面积指数 1 个月时两者负相关达到最大,最大负相关为 -0.71。



((a1) 没有滤波的时间序列; (a2) 没有滤波的相关曲线; (b1) 18 个月低通滤波后的时间序列; (b2) 滤波后的相关曲线。(a1) is the original time series; (a2) is the original corrolative curve; (b1) is the 18-month low-pass filtered time series; (b2) is filtered correlative curve.)

图 5 格陵兰岛附近海域 SSHA(蓝色实线)与海冰面积指数(绿色虚线)的变化曲线及相关性分析

Fig. 5 Time series of SSHA (the blue solid line in a1, b1) and sea-ice area index (the green dashed line in a1, b1), and correlative analysis between them (a2, b2)

海面覆盖海冰的区域,太阳 80% 的辐射能量会被反射回大气,没有海冰覆盖的海面太阳辐射仅有 5% 反射回去。海冰面积的大小直接影响海洋吸收的太阳

能,决定海洋热通量的大小。海冰消融时不但增加了海表淡水通量增加了海水总质量,还减小了太阳反照率,海洋吸收热量增加,海表热通量增加。Efthymiadis

等指出海表热通量是海平面季节变化的主要影响因素,海表淡水通量对海平面的季节变化也有一定的影响。热通量控制了海面高度的季节变化,这和 Vivier 等^[13]的研究结果一致。

图 5 的 b1 是海冰面积指数和 SSHa 经过 18 个月低通滤波后的时间变化曲线,二者仍为负相关,但相关性有了很大的下降,相关指数仅为 -0.14,图 5 的 b2 是两者的相关关系变化曲线,最大负相关是当 SSHa 滞后海冰面积指数 1 个月时,但此时的相关指数仍然很小,仅为 -0.17。说明海冰面积对海平面的季节变化有显著影响,但海平面的年际变化是由海冰面积以外的其他因素引起的。

4 SSHa 和风应力低频分量之间的关系

格陵兰岛附近海域地理位置特殊,处在来自极地高气压带的极地东风和来自副极地西风的交汇处,风应力对海平面的变化产生很大的影响,本文针对这一特点研究了风应力和海平面变化的关系。

图 6 为风应力距平经过 40 个月的低通滤波得到的低频分量和 SSHa 的相关关系变化曲线,图 6a 为时间变化曲线,其中蓝色点线为纬向风应力距平的低频分量,用 τ_{auxa} 表示,绿色点划线表示经向风应力距平的低频分量,用 τ_{auya} 表示,红色实线为 SSHa,其中图 6b 为 τ_{auxa} 和 τ_{auya} 与 SSHa 的相关关系曲线。横坐标代表时间,负值代表 SSHa 超前风应力 (τ_{auxa} 和

τ_{auya}),正值代表 SSHa 滞后风应力,纵坐标代表相关系数。

从图 6a 中可以看出 τ_{auya} 的振幅要略大于 τ_{auxa} 的振幅,说明 τ_{auya} 的年际变化比较显著。SSHa 和 τ_{auya} 的位相变化几乎相同,即两者表现为很好的正相关,同步相关系数高达 0.83,SSHa 的几个大值区往往也是 τ_{auya} 的大值区。这说明当 τ_{auya} 为正值(南风)时海平面呈现正异常, τ_{auya} 为负值(北风)时 SSHa 呈现负异常。产生这种现象的 1 个原因是:上层海洋是在风应力驱动下运动的,当海区内吹南风时,上层海水会随风向北流动,南部高温高盐的大西洋水就会流入该海域,海平面升高。当海上吹北风时,表层海水会在风的驱动下向南流,流入该海域的大西洋水就会减少,同时北冰洋低温低盐的海水会随着流入该海域,海平面下降。这表明来自大西洋的海水能够使该海域的海平面上升,来自北冰洋的海水使海平面下降。另一个原因是自高纬度的北风温度比较低,作用在相对温暖的海洋表面(特别是温暖的挪威暖流流域),必然造成海水体积的收缩和海平面的下降,而来自中低纬度的南风温度比较高,作用在相对寒冷的海洋表面(特别是寒冷的东格陵兰寒流流域),海水受热体积膨胀必然会使海平面上升。图 6b 中蓝色实线为 SSHa 和 τ_{auya} 的相关系数变化曲线,当 SSHa 滞后 τ_{auya} 1 个月时,二者的相关性最好,最大相关系数为 0.84。这说明格陵兰岛附近海域 SSHa 的低频分量受到 τ_{auya} 的显著影响。

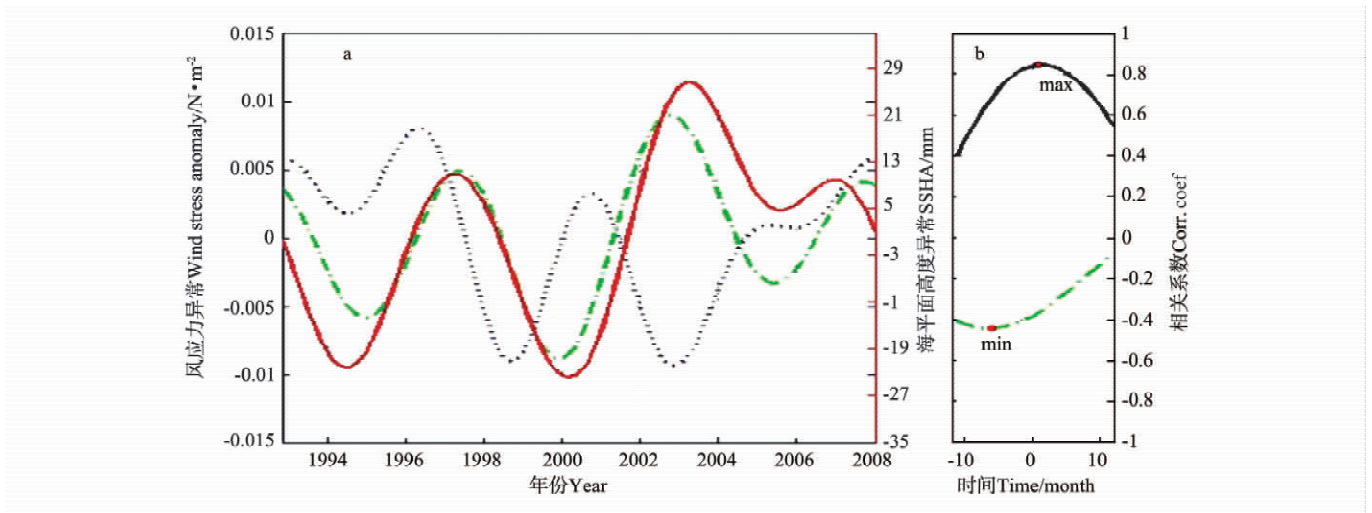


图 6a 格陵兰岛附近海域 SSHa(红色实线)、平均纬向风应力距平 τ_{auxa} (蓝色点线)、平均经向风应力距平 τ_{auya} (绿色点划线)的低频分量的时间变化曲线

Fig. 6a Low frequency components of SSHa (red solid line) , zonal wind stress anomalies (blue dotted line) and meridional wind stress anomalies (green dashed line)

图 6b τ_{auxa} (绿色虚线)、 τ_{auya} (蓝色实线)与 SSHa 的相关关系变化曲线

Fig. 6b Correlative analysis between them

SSHa 和 τ_{auxa} 表现为负相关,同步相关系数为 -0.34,即当 τ_{auxa} 为正值(西风)时 SSHa 呈现负异

常, τ_{auxa} 为负值(东风)时 SSHa 呈现正异常。这是因为该海域东北部开阔,没有岛屿阻拦,西风引起的海

水从格陵兰海流入巴伦支海,使格陵兰岛附近海域的 SSHA 减少。当海域上空出现东风时,海水由外海进入该海域,受到西部格陵兰岛的阻拦,海水堆积,使 SSHA 增加。图 6b 中绿色点划线为 SSHA 和 τ_{auxa} 的相关系数变化曲线,当 SSHA 超前 τ_{auxa} 6 个月时,二者达到最大负相关,相关系数为 -0.44 。

总体来讲,该海域的 SSHA 的低频分量(年际信号)受风应力的影响。SSHA 和 τ_{auxa} 、 τ_{auxy} 的低频分量的相关性不同,其与 τ_{auxy} 具有很好的同步正相关性,而和 τ_{auxa} 存在着不显著的负相关。该海域 SSHA 的年际变化主要受 τ_{auxy} 的影响,与 τ_{auxa} 的影响不大。

5 结论

本文利用卫星高度计资料,初步探讨了格陵兰岛附近海域海平面的变化规律和影响因素,并研究了海冰面积、风应力和海平面变化的关系,得到了一些结论:

(1) 格陵兰岛以东海域 SSHA 具有显著的季节变化和年际变化,1992 年 10 月~2010 年 2 月,区域平均 SSHA 呈上升趋势,其上升速率为 1.7 mm/a ,该海域的海平面变化有 2 个显著的不同变化阶段:1992 年 10 月~2004 年 12 月海平面上升急剧,上升速率较大;2005 年以后海平面的上升较缓慢,上升速率较小。海平面变化具有很强的区域性,大部分区域的海平面是上升的,但也有小部分区域的海平面是下降的,下降区域的下降值一般比较小。一般 SSHA 大的区域,海平面上升速率也快,SSHA 小的区域海平面上升速率也小。

(2) 该海域 SSHA 的低频分量(年际信号)受风应力的影响显著。SSHA 和 τ_{auxa} 、 τ_{auxy} 的低频分量的相关性不同,其与 τ_{auxy} 具有很好的同步正相,而和 τ_{auxa} 存在着不显著的负相关,该海域东西地理因素的不同是 τ_{auxa} 能够影响海平面变化的原因。

(3) 该研究区域 SSHA 和海冰面积指数具有显著的负相关,相关系数达到 -0.62 ,海冰面积大小对 SSHA 的季节变化具有显著的影响,对 SSHA 的年际变化影响不大。

(4) SSHA 的 EOF 分解第一模态为季节模态,整个海域的季节变化位相相同,都为正值,说明该海域的海平

面季节变化趋势具有一致性。

致谢:感谢亚太数据研究中心、法国空间局(CNES)、英国哈德莱气候中心和马里兰大学数据中心为本文提供数据支持。

参考文献:

- [1] Michael Steele, Wendy Ermold. Steric sea level change in the Northern Seas [J]. *Jour Nal of Climate*, 2007, 20: 403-417.
- [2] Dimitrios Efthymiadis, Fabrice Hernandez, Pierre-Yves Le Traon. Large-scale sea-level variations and associated atmospheric forcing in the subtropical North-east Atlantic Ocean [J]. *Deep-Sea Research II*, 2002, 49: 3957-3981.
- [3] Cabanes C, Huck T, Verdiere A C. Contributions of wind forcing and surface heating to interannual sea level variation in the Atlantic ocean [J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2006, 36: 1739-1750.
- [4] Cazenave A, Dominh K, Guinehut S, et al. Sea level budget over 2003 2008: A reevaluation from GRACE space gravimetry, satellite altimetry and Argo [J]. *Global and Planetary Change*, 2009, 65: 83-88.
- [5] Fu Lee-Lueng, Richard D Smith. Global ocean circulation from satellite altimetry and high-resolution computer simulation [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1996, 77(11): 2625-2636.
- [6] 李莎, 沈应朔. 亚太数据研究中心(APDRC)海洋大气数据服务系统介绍 [J]. *热带海洋学报*, 2008, 27(6): 81-83.
- [7] Solomon S, Qin D, Manning M, et al. *Climate change 2007: the physical science basis* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [8] John A Church, Neil J White, Thorkild Aarup, et al. Understanding global sea levels: past, present and future [J]. *Sustain Sci*, 2008, 3: 9-22.
- [9] Lagerloef G S E, Berstei N R L. Empirical orthogonal function analysis of advanced very high resolution radiometer sea surface temperature patterns in Santa Barbara Channel [J]. *J Geophysical Research*, 1988, 93(C6): 6863-6873.
- [10] 常金龙, 钟敏, 段建宾, 等. 联合卫星重力和卫星测高资料研究热容海平面季节性变化 [J]. *大地测量与地球动力学*, 2007, 27(5): 44-48.
- [11] 朱艳峰, 陈隆勋. 北极海冰与 ENSO 事件在准四年时间尺度上的可能联系 [J]. *大气科学*, 2003, 27(5): 834-846.
- [12] Vivier F, Kelly K A, Thompson. The contributions of wind forcing, waves, and surface heating to sea surface height observations in the Pacific Ocean [J]. *J Geophys Res*, 1999, 104(C9): 20767-20788.

A Preliminary Analysis on Sea Level Change in the Seas Near the Greenland

JIANG Wei-Wei, LI Lei, WANG Chun-Hui, DU Ling

(The Laboratory of Physical Oceanography, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: On the basis of the 17 years and 5 months altimeter data, the interannual variation of sea level change in the seas near the Greenland are investigated. The results show that there are obvious seasonal and interannual variability of the sea level in this area. The rising rate in this area is 1.7mm/a, which is less than the average rate of global ocean. At different areas the variation is different, which means there is a larger rising velocity when the average of sea surface height anomaly is higher, and vice versa. The first EOF mode of sea surface height is seasonal mode. The whole area has the same phase, which suggests that the seasonal variations of the whole area are the same. Sea surface height anomaly and sea-ice area are negative correlation. The seasonal variation of the sea level in the seas near the Greenland is significantly affected by the sea-ice area. Correlative analysis shows that the low frequency components of SSHA have good positive correlation to meridional wind stress. It indicates that there is close relationship between the interannual variation of the sea level and the low frequency of wind stress.

Key words: the seas near the Greenland; sea surface height anomaly; interannual variation; sea-ice area; wind stress

责任编辑 庞 旻