

鄂栋臣, 杨元德, 晁定波. 基于 GRACE 资料研究南极冰盖消减对海平面的影响. 地球物理学报, 2009, 52(9):2222~2228, DOI:10.3969/j.issn.0001-5733.2009.09.005

E D C, Yang Y D, Chao D B. The sea level change from the Antarctic ice sheet based on GRACE. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2009, 52(9):2222~2228, DOI:10.3969/j.issn.0001-5733.2009.09.005

基于 GRACE 资料研究南极冰盖 消减对海平面的影响

鄂栋臣¹, 杨元德¹, 晁定波²

1 武汉大学测绘学院中国南极测绘研究中心, 武汉 430079

2 武汉大学测绘学院, 武汉 430079

摘 要 利用 5 年的 GRACE 重力数据, 计算了南极 $1^\circ \times 1^\circ$ 等效水量时间序列, 得到每个格网的趋势项, 结果表明在西南极 Amundsen 区域有明显的负增长, 超过 -80 mm/a , 南极半岛存在着负增长, 东南极 Enderby Land 地区质量增长; 计算得到 2002 年 7 月到 2007 年 9 月南极、东南极和西南极冰盖的等效体积变化分别为 $-78 \pm 37 \text{ km}^3/\text{a}$, $-3 \pm 46 \text{ km}^3/\text{a}$ 和 $-75 \pm 50 \text{ km}^3/\text{a}$, 对应海平面变化的贡献为 $0.21 \pm 0.1 \text{ mm/a}$, $0.008 \pm 0.127 \text{ mm/a}$ 和 $0.2 \pm 0.14 \text{ mm/a}$. 该结果与国际最新研究结果一致. 同时发现冰后回弹是影响利用 GRACE 研究南极冰盖质量变化的关键因素.

关键词 GRACE, 南极, IJ05, GLDAS, 等效水量, 等效体积

DOI:10.3969/j.issn.0001-5733.2009.09.005

中图分类号 P223

收稿日期 2008-06-11, 2009-07-14 收修定稿

The sea level change from the Antarctic ice sheet based on GRACE

E Dong-Chen¹, YANG Yuan-De¹, CHAO Ding-Bo²

1 *Chinese Antarctic Center of Surveying and Mapping; School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China*

2 *School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China*

Abstract The Antarctic equivalent water height time series and the inter-annual trend on a $1^\circ \times 1^\circ$ grid are inferred. Amundsen Sea Embayment in West Antarctic shows apparent negative rates, exceeding -80 mm/a , while Antarctic Peninsula with smaller negative rate and Enderby Land in East Antarctic with positive one. The 5-year equivalent water volume variation trends, in Antarctica, East Antarctica and West Antarctica, are $-78 \pm 37 \text{ km}^3/\text{a}$, $-3 \pm 46 \text{ km}^3/\text{a}$ and $-75 \pm 50 \text{ km}^3/\text{a}$, and the corresponding contribution to sea level change are $0.21 \pm 0.1 \text{ mm/a}$, $0.008 \pm 0.127 \text{ mm/a}$ and $0.2 \pm 0.14 \text{ mm/a}$, respectively, from July 2002 to September 2007. The results are in accord with recent results from Ramillien (2006) and Velicogna (2006). The PGR (Post Glacial Rebound) model is still the key factor to the study of the Antarctic ice sheet with GRACE.

Keywords GRACE, Antarctic, IJ05, GLDAS, Equivalent water height, Equivalent volume

1 引言

南极冰盖质量平衡研究对认识和了解全球平均海平面的变化、全球水循环、全球温盐度、大气变化以及其他相关问题起着关键性的作用^[1]. 验潮站和卫星测高数据得到的海平面变化 20 世纪 100 年为 1.7 ± 0.5 mm/a, 从 1961 年到 2003 年为 1.8 ± 0.5 mm/a, 最近 10 年为 3.1 ± 1.7 mm/a. 最近 10 年由于热膨胀和非极地冰川变化引起的海平面总变化为 2.37 mm/a^[2], 与观测的 3.1 mm/a 相比, 仍相差 0.73 mm/a, 这部分解释为极地冰盖的贡献.

基于以下两个原因需要提高南极冰盖消减对海平面影响的认识:(1)人类对南极冰盖认识缺乏限制了对海平面未来变化的研究;(2)南极冰盖认识不足导致无法确定人类行为在海平面变化中的作用^[3].

目前研究南极冰盖质量变化的主要方法包括:质量平衡法、测量高程变化及测定南极质量变化等^[4]. 这几种方法各有局限性. 质量平衡法无法大面积精确确定冰雪的积累量和融化量, 该方法主要用于小范围的质量变化研究. 利用卫星测高等测量高程变化的方法, 由于大坡度引起较大的坡度误差, 边缘区域等坡度较大区域无法准确确定, 该方法主要用于南极内部区域; 且冰雪密度变化引起的体积变化并不一定和冰盖质量变化有关^[5].

2002 年 3 月发射的 GRACE 提供高精度的月全球重力场模型解, 它不同于以往传统的点测量或网格测量, 给出的是重力位球谐展开系数(以下简称球谐系数)^[6]. GRACE 由 2 颗相距 200 km 的低轨卫星组成(轨道高度 500 km), 通过卫星上的 GPS 接收机、加速度计和星载 K 波段星间测距仪等确定重力加速度从而得到重力场^[7]. 目前 GRACE 已广泛用于水文^[8,9]、陆地冰川^[10]、海洋^[11]和极地^[1,3~5]等方面的研究. 不同于质量平衡法和测量高程变化法, GRACE 直接测量南极冰盖质量的变化. GRACE 只能测量不同地球物理过程引起的总质量变化, 如大气、海洋、陆地冰、极地冰变化和冰后回弹等, 并不能区分不同过程的变化.

Velicogna^[12](2006)利用 CSR RL01 数据估算 2002 年 4 月到 2005 年 8 月南极冰雪质量变化为 -139 ± 73 km³/a; Ramillien 等^[3](2006)忽略西南极部分区域, 得到 2002 年 7 月到 2005 年 3 月的南极冰雪质量变化为 -40 ± 35 km³/a; Chen 等^[1]

(2008)利用 CSR RL04 数据采用条带滤波和数值模拟得到 2003 年 1 月到 2006 年 12 月南极冰盖大致处于平衡状态. 本文利用最新公布 GRACE 数据确定南极约 5 年(2002 年 7 月到 2007 年 9 月)冰盖质量变化的时空分布, 并比较了几种冰后回弹模型.

2 计算数据

GRACE 提供截止阶数为 N 的球谐系数. 目前有 CSR、GFZ、JPL 和 GRGS 等多家机构提供 GRACE 球谐系数解. 本文采用 GRGS 提供的截止阶数为 50 的 GRGS-EIGEN-GL04 重力场. 选取的重力场从 2002 年 7 月到 2007 年 9 月, 数据形式为月系数解, 时间间隔为 10 天, 由 3 个 10 天数据计算得到, 其权分别为 0.5、1 和 0.5. 5 年数据共有 187 组数据, 有效数据为 178 组. 由于单独使用 GRACE 得到的 C_{20} 不准确, GRGS 采用 LAGEOS-1/2 卫星激光测距数据对该项进行约束. 在数据处理中, 采用了三维大气模型 ECMWF、海潮模型 FES-2004 和正压海洋模型 MOG2D, 因此 GRACE 主要反映陆地水、冰雪、固体地球过程(主要是冰后回弹)及剩余误差量. 详细处理过程可以参考文献^[13].

3 计算模型和计算方法

基于 178 组球谐系数确定了南极冰盖质量变化. 常使用高斯滤波^[1,7]或其他空间平均核函数^[6,14]等方法减小高频误差. 本文采用高斯滤波, 滤波波长选用 100 km.

3.1 球谐系数计算等效水量及等效体积

面密度变化 $\Delta\sigma$ 与大地水准面的球谐系数 ΔC_{lm} 及 ΔS_{lm} 有如下关系^[7]:

$$\Delta\sigma(\theta, \phi, t) = \frac{a\rho_{ave}}{3} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \bar{P}_{lm}(\cos\theta) \frac{2l+1}{1+k_l} \times [\Delta C_{lm}(t) \cos(m\phi) + \Delta S_{lm}(t) \sin(m\phi)], \quad (1)$$

其中 θ, ϕ 分别为纬度和余经, a 为地球平均半径, ρ_{ave} 为地球平均密度, \bar{P}_{lm} 为正则化连带勒让德函数, k_l 为地球响应表面负荷勒夫数, 这里采用 Wahr 等^[7](1998)提供的勒夫数. 根据等效水量的定义 $\Delta h(\theta, \phi, t) = \Delta\sigma(\theta, \phi, t)/\rho_w$, 可求得等效水量, ρ_w 为水的密度.

严格平均核函数 $\vartheta(\theta, \phi)$ (又称流域函数)的定义^[14]:

$$\vartheta(\theta, \phi) = \begin{cases} 1 & \text{流域内} \\ 0 & \text{流域外} \end{cases} \quad (2)$$

假定严格平均核函数是不随时间变化的, $\vartheta(\theta, \phi)$ 球谐展开为

$$\vartheta(\theta, \phi) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \tilde{P}_{lm}(\cos\theta) [\vartheta_{lm}^C \cos(m\phi) + \vartheta_{lm}^S \sin(m\phi)], \quad (3)$$

其中 ϑ_{lm}^C 和 ϑ_{lm}^S 为球谐系数.

流域平均面密度变化 $\overline{\Delta\sigma}_{\text{region}}$ [14] 为

$$\overline{\Delta\sigma}_{\text{region}}(t) = \frac{1}{\Omega_{\text{region}}} \int \Delta\sigma(\theta, \phi, t) \vartheta(\theta, \phi) d\Omega, \quad (4)$$

其中 $\Omega_{\text{region}} = S_{\text{region}}/a^2$.

式(1)和式(3)代入到式(4), 得到:

$$\overline{\Delta\sigma}_{\text{region}}(t) = \frac{4\pi a \rho_{\text{ave}}}{3\Omega_{\text{region}}} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \frac{2l+1}{1+k_l} [\Delta C_{lm}(t) \vartheta_{lm}^C + \Delta S_{lm}(t) \vartheta_{lm}^S], \quad (5)$$

流域平均等效水量厚度 $\overline{\Delta h}_{\text{region}}(t) = \frac{\overline{\Delta\sigma}_{\text{region}}(t)}{\rho_w}$, 而等效体积 $\Delta\psi(t)$ 为

$$\Delta\psi(t) = S_{\text{region}} \times \overline{\Delta h}_{\text{region}}(t). \quad (6)$$

根据 $\rho_{\text{ave}} = \frac{M}{\left(\frac{4\pi a^3}{3}\right)}$, 其中 M 为地球质量, 并将式

(5)代入式(6), 化简得到:

$$\Delta\psi(t) = \frac{M}{\rho_w} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \frac{2l+1}{1+k_l} [\Delta C_{lm}(t) \vartheta_{lm}^C + \Delta S_{lm}(t) \vartheta_{lm}^S], \quad (7)$$

相应的等效体积误差为

$$\epsilon(\Delta\psi(t)) = \frac{M}{\rho_w} \times$$

$$\sqrt{\sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left(\frac{2l+1}{1+k_l}\right)^2 \{[\epsilon_{C_{lm}}(t) \vartheta_{lm}^C]^2 + [\epsilon_{S_{lm}}(t) \vartheta_{lm}^S]^2\}}, \quad (8)$$

相应的海平面变化的贡献由等效体积除上整个负的海面面积 (约 $-3.62 \times 10^8 \text{ km}^2$) 计算得到.

高斯滤波平均核函数球谐系数 W_{lm}^C 和 W_{lm}^S 与对应的确切平均核函数 ϑ_{lm}^C 和 ϑ_{lm}^S 的对应关系 [14] 为

$$\begin{cases} W_{lm}^C \\ W_{lm}^S \end{cases} = W_l \begin{cases} \vartheta_{lm}^C \\ \vartheta_{lm}^S \end{cases}, \quad (9)$$

其中, W_l 由下面的递推关系得到:

$$\begin{cases} W_0 = 1, \\ W_1 = \frac{1 + e^{-2b}}{1 - e^{-2b}} - \frac{1}{b}, \\ W_{l+1} = -\frac{2l+1}{b} W_l + W_{l-1}, \end{cases} \quad (10)$$

而 $b = \frac{\ln 2}{1 - \cos(r/a)}$, r 为高斯滤波半径.

将 W_{lm}^C 和 W_{lm}^S 取代对应的 ϑ_{lm}^C 和 ϑ_{lm}^S , 得到高斯滤波下的等效体积.

3.2 滤波方法处理

图 1a 给出了 2002 年 10 月的全球等效水量的分布, 存在着经度方向的条带现象. 研究发现条带是由球谐系数间的相关引起的 [15]. 这里采用类似文献 [15] 的算法, 高于 10 次的球谐系数, 采用 3 次多项式分别对奇偶系数进行拟合, 以下简称 P3M10. 具体处理方法为: 首先移去 178 组球谐系数平均值, 然后采用 P3M10, 最后采用 100 km 的高斯滤波. 图 1b 给出了 P3M10 的结果, 该处理方法能减轻条带现象.

4 结果分析

4.1 等效水量趋势项的求得

利用 178 组球谐系数, 得到南极冰盖的 $1^\circ \times 1^\circ$ 的等效水量时间序列. 对该时间序列进行分析, 估计南极冰盖质量变化的趋势项. 假定等效水量包含了线性趋势项、年变化、半年变化和 161 天正弦周期项影响, 则有:

$$\begin{aligned} \Delta h(\theta, \phi, t) = & \beta_0(\theta, \phi) + \beta_1(\theta, \phi)t \\ & + \beta_2 \cos[\omega_1 t + \varphi_1(\theta, \phi)] + \beta_3 \cos[\omega_2 t + \varphi_2(\theta, \phi)] \\ & + \beta_4 \sin(\omega_3 t), \end{aligned} \quad (11)$$

其中 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \varphi_1, \varphi_2$ 为求解的参数, $\omega_1 = 2\pi$, $\omega_2 = 4\pi$, $\omega_3 = 4.5342\pi$.

利用等效水量时间序列, 采用最小二乘求解各未知参数. 图 2 分别给出了趋势项、161 天正弦周期项、年周期变化的振幅以及半年周期变化的振幅. 西南极 Amundsen 区域存在很明显的减少趋势, 超过 -80 mm/a . 南极半岛有减少的趋势, 东南极 Enderby Land 存在增加趋势. 周期项比趋势项小得多.

GRACE 无法分离出其他地球物理信号, 且需要考虑泄漏误差影响, 采用其他数据考虑这些影响. Ramillien 等 [3] (2006) 指出剩余大气误差和水文模型产生的影响较小, 因此本文主要考虑冰后回弹的影响. 图 3b 给出了 IJ05 模型 [16] 的南极分布, IJ05 模型处理是取截止阶为 50, 采用 P3M10 与 100 km 的高斯滤波.

图 3a 为 IJ05 改正 GRACE 后的冰雪变化趋势分布图. 在南极半岛与 Amundsen 区域, 冰后回弹较小. Enderby Land 地区冰后回弹改正前后变化较小. 西南极的 Amundsen 和东南极的 Enderby Land 冰雪变化结果与 Chen 等 [1] (2008) 和 Ramillien 等 [3] (2006) 的结果相似.

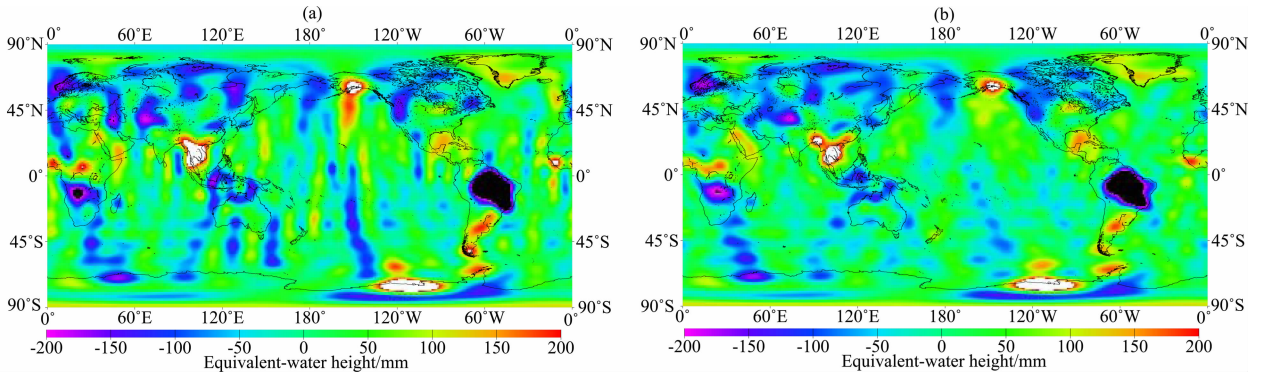


图 1 GRACE 估算全球等效水量分布
(a) P3M10 滤波前; (b) P3M10 滤波后.
Fig. 1 Equivalent water height from GRACE
(a) Before P3M10 filter; (b) After P3M10 filter.

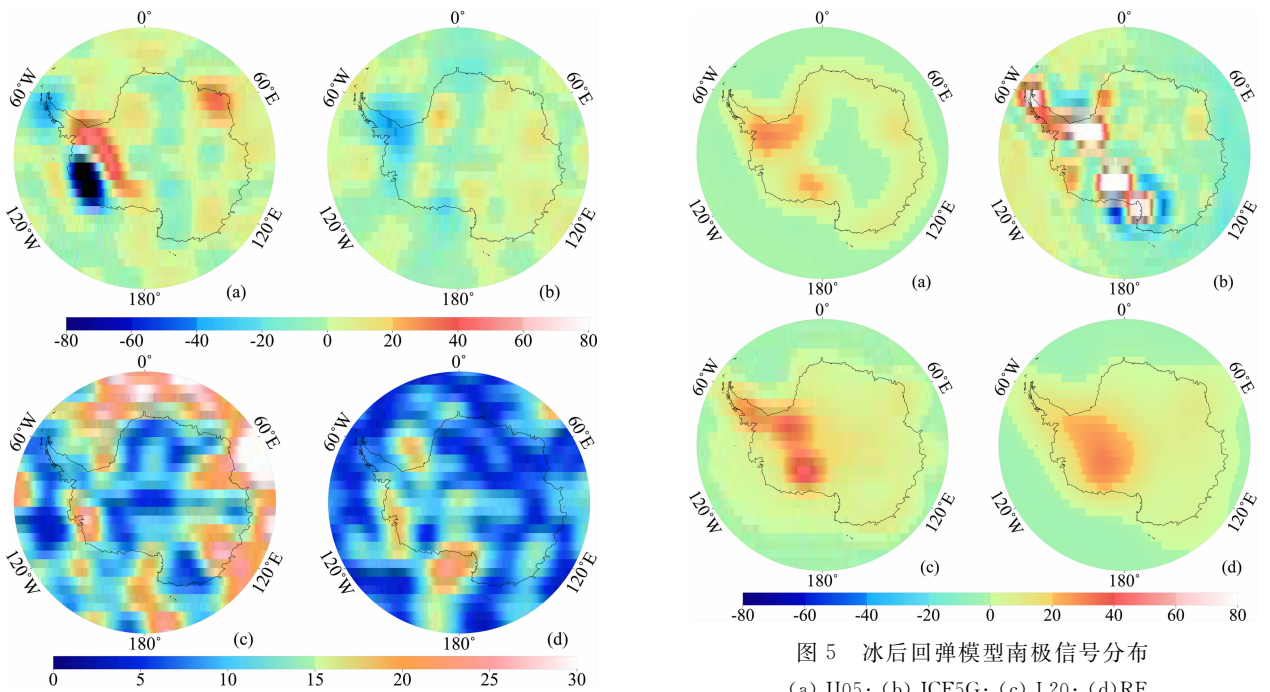


图 2 南极质量变化振幅分布图

(a)线性趋势项;(b)161天正弦;(c)年周期;(d)半年周期.

Fig. 2 Antarctic amplitude distribution of (a) linear trend, (b) 161-day sine term, (c) annual-period, and (d) semi-annual-period

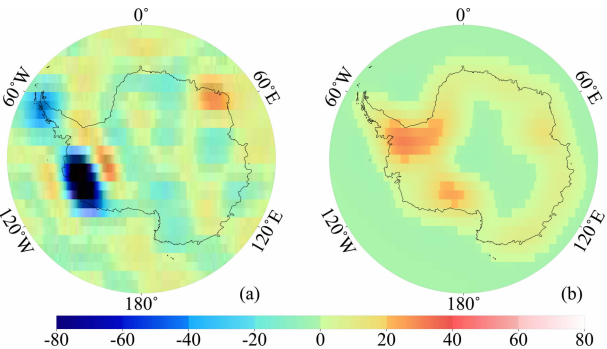


图 3 南极质量变化率分布图

(a)消除 IJ05 影响;(b)IJ05 冰后回弹.

Fig. 3 Antarctic mass rate distribution from (a) GRACE-IJ05 and (b) IJ05 PGR model

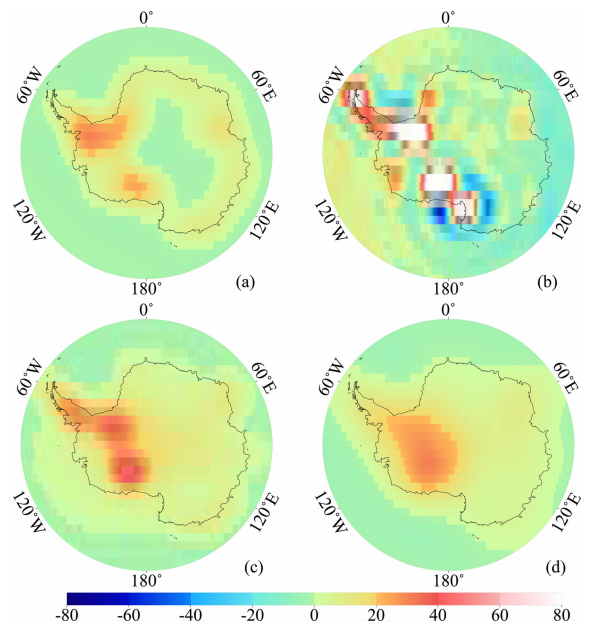


图 5 冰后回弹模型南极信号分布

(a) IJ05; (b) ICE5G; (c) L20; (d) RF.

Fig. 5 Antarctic mass rates from PGR model of

(a) IJ05, (b) ICE5G, (c) L20, and (d) RF

4.2 南极冰盖质量变化对海平面的贡献

确切平均核函数的球谐系数 ϑ_{lm}^C 和 ϑ_{lm}^S 由公式 (2)和(3)得到,然后由公式(7)对 178 组 GRACE 数据进行处理,分别得到了南极、西南极和东南极冰盖的等效体积时间序列,并由公式(8)得到相应的误差.等效体积时间序列如图 4.

其中东南极和南极均呈现出正增加趋势,西南极则相反,南极和西南极均存在周期变化.由公式(11),估算出 2002 年 7 月到 2007 年 9 月东南极、西南极和南极的等效体积趋势项分别为 $25 \pm 9 \text{ km}^3/\text{a}$ 、 $-10 \pm 5 \text{ km}^3/\text{a}$ 和 $15 \pm 10 \text{ km}^3/\text{a}$,其中 2005 年 1 月到 2006 年 6 月东南极呈现出负增长.

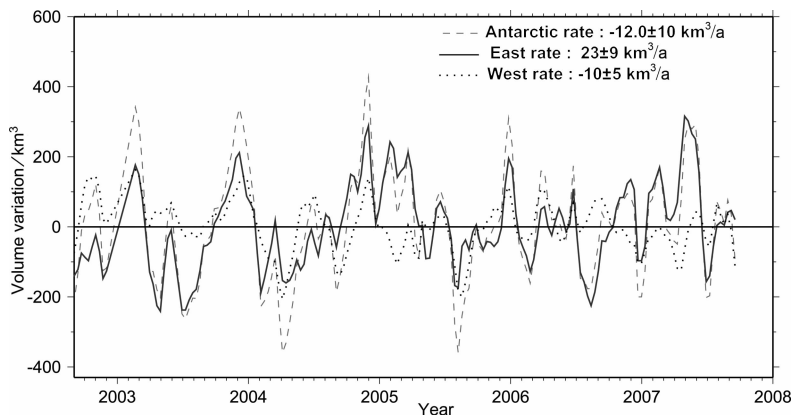


图4 东南极、西南极、南极等效体积时间序列

Fig. 4 Time-series of volume variations from GRACE in East Antarctic, West Antarctic and Antarctica

4.2.1 水文模型的泄漏误差

GRACE 反映的是南极冰雪变化、数据误差、参考模型误差、泄漏误差及冰后回弹等不同地球物理变化的总变化,而 GRACE 在数据处理时,已经扣除了大气和海洋的影响,下面采用 2002 年 7 月到 2007 年 9 月 NASA 的 GLDAS (NASA'S Global Land Data Assimilation System)^[17] 水文模型计算水文模型泄漏误差对 GRACE 结果的影响,对 GLDAS 球谐系数采用截止阶数为 50 的 100 km 的高斯滤波,分别对南极、东南极和西南极进行线性和年周期变化拟合,得到 GLDAS 的南极、东南极和西南极的泄漏误差分别为 $-9 \text{ km}^3/\text{a}$ 、 $-6 \text{ km}^3/\text{a}$ 和 $-3 \text{ km}^3/\text{a}$ 。

4.2.2 冰后回弹

最近研究表明冰后回弹模型成为 GRACE 数据反演南极冰盖质量变化的关键因素^[1,3]。冰后回弹模型主要受两个因素的影响,其一为冰的历史,另一是地球黏性结构^[16]。最新研究^[18,19]表明,地球岩石圈的厚度变化和地幔黏滞度的横向非均匀性对冰后回弹有重要影响,下面采用两种最新冰后回弹模型 L20 和 RF20 比较横向非均匀对冰后回弹的影响,其中 RF20 是一维模型,而 L20 考虑到岩石圈和地幔黏滞度的横向非均匀性。采用截止阶数为 50 的 100 km 的高斯滤波,分别得到这两种冰后回弹模型在南极、西南极和东南极的信号影响。图 5 给出了 IJ05、ICE5G、L20 和 RF20 的信号分布,其中 L20 和 RF20 在西南极信号存在差异,计算得到 L20 与 RF20 模型在南极、西南极和东南极的信号差分别为 $21 \text{ km}^3/\text{a}$ 、 $10 \text{ km}^3/\text{a}$ 和 $11 \text{ km}^3/\text{a}$,因此横向非均匀能产生一定影响,本文采用 IJ05 模型,取 ICE5G、IJ05、L20 和 RF20 四模型差的最大值的一半作为

冰后回弹模型的误差^[16]。

4.2.3 等效体积的变化及海平面变化的贡献

表 1 综合了各因素的影响,估计出南极冰盖冰雪质量的等效体积变化及相应的海平面的贡献,改正后 GRACE 的南极、东南极和西南极的等效体积变化趋势分别为 $-78 \pm 37 \text{ km}^3/\text{a}$ 、 $-3 \pm 46 \text{ km}^3/\text{a}$ 和 $-75 \pm 50 \text{ km}^3/\text{a}$,相应海平面变化的贡献为 $0.21 \pm 0.1 \text{ mm/a}$ 、 $0.008 \pm 0.127 \text{ mm/a}$ 和 $0.2 \pm 0.14 \text{ mm/a}$ 。

表 1 GRACE 计算的等效体积、影响因素和相应的海平面变化的影响

Table 1 Total and the component water volume changes, and their corresponding contributions to the sea level from July 2002 to September 2007

	东南极 (km^3/a)	西南极 (km^3/a)	南极 (km^3/a)
改正前 GRACE	25 ± 9	-10 ± 5	15 ± 10
水文模型泄漏误差	-6	-3	-9
冰后回弹影响	34 ± 45	68 ± 50	102 ± 35
改正后 GRACE	-3 ± 46	-75 ± 50	-78 ± 37
相应的海平面 变化贡献(mm/a)	0.008 ± 0.127	0.2 ± 0.14	0.21 ± 0.1

4.3 各种计算结果的比较

Shepherd^[20](2007)总结了不同数据得到的南极和格陵兰冰盖冰雪质量变化情况,从中提取出南极冰雪质量变化,结果见表 2。

不同计算时间不同数据得到不同的计算结果,且差别较大。Ramillien 等^[3](2006)估计出 2002 年 7 月到 2005 年 3 月的改正前东南极和西南极的等效体积分别为 $82 \pm 9 \text{ km}^3/\text{a}$ 和 $-48 \pm 3 \text{ km}^3/\text{a}$;本文与 Ramillien 等^[3](2006)结果非常接近。由于计算采用

表 2 不同时期不同数据得到的南极冰盖质量变化

Table 2 Mass balance of the Antarctic ice sheets as determined by a range of techniques and studies

作者	数据类型	经历时间	东南极(km ³ /a)	西南极(km ³ /a)	南极(km ³ /a)
Wingham 等	测高	1992~1996	-1±53	-59±50	-60±76
Rignot 和 Thomas	INSAR	1995~2000	22±23	-48±14	-26±37
Davis 和 Li	测高	1992~2002			42±23
Davis 等	测高	1992~2003	45±7		
Velicogna 和 Wahr	GRACE	2002~2005	0±51	-139±19	-139±73
Ramillien 等	GRACE	2002~2005	67±28	-107±23	-40±35
Wingham 等	测高	1992~2003			27±29

不同时期的不同数据,导致本文结果与表 2 中结果有所差别。

5 结 论

(1) 给出与 Swenson(2006) 类似去条带误差方法,适合 GRGS GL04 数据,能有效减轻条带现象。

(2) 由 GRACE 数据估算出 2002 年 7 月到 2007 年 9 月南极、东南极和西南极的冰雪质量变化分别为 $-78 \pm 37 \text{ km}^3/\text{a}$ 、 $-3 \pm 46 \text{ km}^3/\text{a}$ 和 $-75 \pm 50 \text{ km}^3/\text{a}$,相应海平面变化的贡献为 $0.21 \pm 0.1 \text{ mm/a}$ 、 $0.008 \pm 0.127 \text{ mm/a}$ 和 $0.2 \pm 0.14 \text{ mm/a}$,东南极冰雪质量变化仍然无法确定,南极冰盖质量变化主要由西南极质量变化引起。

(3) 比较不同时间段的结果,发现南极冰盖可能存在着加速融化趋势。

(4) 地幔黏滞度的横向非均匀性对南极冰盖能产生一定的影响,冰后回弹模型仍然是影响 GRACE 数据估算南极冰盖质量变化研究的关键因素。

致 谢 感谢中国科学院测量与地球物理研究所汪汉胜研究员提出的宝贵意见和提供 L20 系列模型。

参考文献(References)

- [1] Chen J L, Wilson C R, Tapley B D, et al. Antarctic regional ice loss rate from GRACE. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2008, **266**:140~148
- [2] Bindoff N L, Willebrand J, Artale V, et al. *Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level*. Cambridge, Cambridge University Press, 2007
- [3] Ramillien G, Lombard A, Cazenave A, et al. Interannual variations of the mass balance of the Antarctica and Greenland ice sheets from GRACE. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2006, **53**:198~208
- [4] Rignot E, Thomas R H. Mass balance of polar ice sheets. *Science*, 2002, **297**:1502~1506
- [5] Llubes M, Lemoine J M, Remy F. Antarctica seasonal mass variations detected by GRACE. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2007, **260**:127~136
- [6] Swenson S, Wahr J, Milly P C D. Estimated accuracies of regional water storage variations inferred from the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE). *Water Resour. Res.*, 2003, **39**(8):1223
- [7] Wahr J, Swenson S. Time variability of the Earth's gravity field: hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE. *J. Geophys. Res.*, 1998, **103**(12):30205~30229
- [8] Schmidt R, Flechtner F, Reigber C, et al. GRACE observations of changes in continental water storage. *Global Planet Change*, 2006, **50**(1-2):112~126
- [9] 汪汉胜, 王志勇, 袁旭东等. 基于 GRACE 时变重力场的三峡水库补给水系水储量变化. *地球物理学报*, 2007, **50**(3):730~736
- Wang H S, Wang Z Y, Yuan X D, et al. Water storage changes in Three Gorges water systems area inferred from GRACE time-variable gravity data. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2007, **50**(3):730~736
- [10] Chen J L, Wilson C R, Tapley B D, et al. Alaskan mountain glacial melting observed by satellite gravimetry. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2006, **248**:353~363
- [11] Chen J L, Wilson C R, Tapley B D, et al. Seasonal global mean sea level change from satellite altimetry, GRACE, and geophysical models. *J. Geod.*, 2005, doi:10.1007/s00190-005-0005-9
- [12] Velicogna I, Wahr J. Measurements of time-variable gravity show mass loss in Antarctica. *Science*, 2006, **311**:1745~1756
- [13] http://bgi.cnes.fr:8110/geoid-variations/README.html#_GRGS_DOWNLOAD
- [14] Swenson S, Wahr J. Methods for inferring regional surface-mass anomalies from GRACE measurements of time-variable gravity. *J. Geophys. Res.*, 2002, **107**(B9):2193
- [15] Swenson S, Wahr J. Post-processing removal of correlated errors in GRACE data. *Geophys. Res. Lett.*, 2006, **31**:L23402
- [16] Ivins E, James T S. Antarctic glacial isostatic adjustment; a

- new assessment. *Antarct. Sci.*, 2005, **17**:541~553
- [17] Rodell M, Houser P R, Jambor U, et al. The global land data assimilation system. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 2004, **85**(3):381~394
- [18] Peltier W R. Global Glacial Isostasy and the surface of the ice-age Earth; the ICE-5G(VM2) model and GRACE. *Annu. Rev. Earth Planet Sci.*, 2004, **32**:111~149
- [19] Wang H, Wu P. Effects of lateral variations in lithospheric thickness and mantle viscosity on glacially induced relative sea levels and long wavelength gravity field in a spherical, self-gravitating Maxwell Earth. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2006, **249**:368~383
- [20] Shepherd A, Wingham D. Recent sea-level contributions of the Antarctic and Greenland Ice-sheets. *Science*, 2007, **315**:1529~1532

(本文编辑 何 燕)

第十三届全国日地空间物理学术讨论会纪要

第十三届全国日地空间物理学术讨论会于 2009 年 8 月 16~20 日在宁夏银川召开. 作为由中国空间科学学会空间物理专业委员会主办的系列全国性研讨会, 本次会议由北京大学承办, 国际日地物理委员会 (SCOSTEP) 和中国科学院空间科学与应用研究中心等为主要协办单位, SCOSTEP 并发来贺词. 出席会议的代表来自国内外有关的科研、高校等共 21 个单位, 169 人, 其中学生 55 人. 会议收到论文摘要 116 篇, 张贴论文 24 篇, 包括特邀报告在内, 共宣读论文 124 篇. 会议进行了简短的开幕式, 中国空间科学学会空间物理专业委员会常务副主任王赤主持大会, 主任肖佐致开幕词, 北京大学陈鸿飞所长代表地方组织委员会致欢迎辞.

本次会议的组织形式包括大会特邀报告和分组专题论文报告, 并开辟了论文张贴区域. 大会的特邀报告 8 篇, 分组报告 116 篇, 分四个会场同时进行. 第一会场: 日球层、磁层、等离子体物理; 第二会场: 电离层(1); 第三会场: 电离层(2); 第四会场: 中高层大气物理、空间环境应用研究. 会议内容覆盖了空间物理学主要领域, 全面反映了国内本学科自上次会议以来两年中取得的最新研究成果, 突出了本学科领域近年来的研究热点.

评选出青年优秀论文奖获奖者 20 名. 大会向获奖者颁发证书, 并赠送《日地空间环境指南》一书.

这次会议的主要特点是: 论文水平高, 充分反映了国内空间物理研究当前的研究现状和强劲发展的趋势, 体现了学术交流活动在推动学科发展方面的重要作用; 论文在反映我国科学家在本领域取得的丰硕成果的同时, 也反映了从一些重大项目到基础研究方面广泛的国内、国际合作的重要性; 论文作者的比例还表明, 中青年有勃勃生机, 已经成为我国日地空间物理研究领域的主力军.

本次讨论会上, 第一次开辟论文张贴 (poster) 区, 安排了专门的张贴论文讨论时间, 适当延长论文宣读和讨论时间 (每篇 20 min), 这些措施使到会代表能够进行更充分的学术交流. 会议代表普遍反映这是一次成功的学术交流活动.

会议决定第十四届全国日地空间物理学术讨论会将于 2011 年夏季由山东大学承办, 地点威海.