

近40年来珠江口的海平面变化

时小军^{1,2}, 陈特固¹, 余克服¹

(1 中国科学院边缘海地质重点实验室, 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用大万山附近 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度网格的卫星高度计资料(1993—2006), 计算出珠江口绝对海平面的上升速率为 0.30 ± 0.05 cm/a, 与由卫星高度计得出的全球平均海平面的上升速率一致。珠江口各验潮站近40年的潮位变化趋势分析表明, 珠江口海平面正加速上升, 为全球气候变暖所致; 珠江口海平面与全球温度变化和 ENSO 活动密切相关, 一般在 ENSO 年海平面相对较低。以 IPCC 有关全球温度上升幅度的预报值和海平面与全球温度变化的关系为依据, 预计到 2030 和 2050 年珠江口绝对海平面将分别上升 6~14 和 9~21 cm, 若考虑地面沉降以及波动值, 珠江口部分岸段相对海平面将可能分别上升 30 和 50 cm。

关键词: 海平面变化; 卫星高度计; 潮位资料; 珠江口

中图分类号: P714.1

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2008)01-0127-08

气候变暖、海平面上升已是不争的事实。IPCC 第四次气候评估报告(A R4)预测, 到 2100 年, 全球海平面可能较 1980—1999 年的平均面上升 18~59 cm^[1], 这将对世界沿海低洼地带、脆弱地区构成重大威胁。珠江三角洲是我国沿海八大脆弱区之一^[2], 而且经济发达、城市集中、人口密集, 海平面上升将带来多方面的影响。前人对珠江口的海平面长期变化特点已有不少研究^[3-9], 但这些研究多局限于验潮站相对海平面变化特征的分析, 讨论绝对海平面变化的较少。本文根据法国国家空间研究中心的卫星海洋学存档数据中心(AVISO)提供的 1993—2006 年卫星观测资料, 分析珠江口近 14 年来绝对海平面的变化趋势, 然后在此基础上, 结合验潮站潮位数据、全球温度距平变化和 ENSO 活动分析珠江口海平面的变化特点, 并预测 2030 和 2050 年珠江口海平面的上升量, 为减灾防灾和海岸工程设计等提供参考。

1 资料来源与处理方法

本文选取监测数据较为连续的 6 个验潮站: 广东三灶、广东大横琴、广东赤湾、香港大埔窰、香港北角(North Point)/测鱼涌(Quarry Bay)和广东大万山(图 1)。潮位资料取自广东省水文局、国家海洋

局南海分局和夏威夷海平面中心(<http://ilikai.soest.hawaii.edu>)。珠江口绝对海平面变化趋势分析依据大万山附近 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度网格的卫星高度计资料, 资料来自法国国家空间研究中心的卫星海洋学存档数据中心(<http://las.avisooceanobs.com>), 其海平面异常(SLA)数据相对于 1993—1999 年 7 年平均, 已经过各种标准的校正处理, 精度达 2~3 cm。各验潮站的位置和 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度网格区域的位置分布见图 1。各验潮站潮位数据均以年均值进行比较, 以线性回归求出上升率, 并分别对 1993—

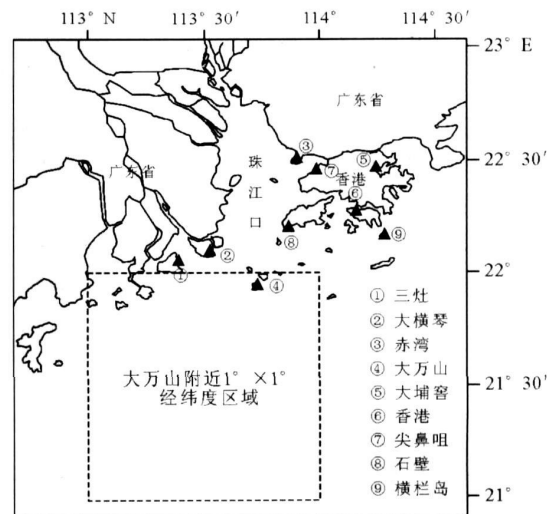


图 1 珠江口各验潮站分布及大万山附近 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度区域位置

Fig. 1 The distribution of tide gauge stations in Zhujiang estuary and the position of $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ gridded area near Dawanshan

基金项目: 国家自然科学基金项目(40572102); 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(kzcx2-yw-318)

作者简介: 时小军(1982—), 男, 硕士生, 主要从事海平面变化研究, E-mail: littlejun4335@sina.com.cn.

收稿日期: 2007-11-18; 改回日期: 2007-12-20. 张光威编辑

2006年期间的潮位和卫星观测的月平均数据作13月滑动平均后分析,以消除季节变化的干扰。

全球温度采用融合的陆地气温和海水表层温度,距平数据(1960—2006)来自于英国的 Climate Research Unit (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature>)。

2 结果与讨论

2.1 卫星观测时期海平面的变化趋势

自1992年法国与美国联合发射了TOPEX卫星以后^[10],卫星连续海平面观测已经14年了,可以反映一定的变化趋势,不少学者从中得出了全球 $65^{\circ}\text{N} \sim 65^{\circ}\text{S}$ 海区平均海平面的上升率,如 $3.1 \pm 0.4 \text{ mm/a}^{[11]}$ 、 $3.3 \pm 0.4 \text{ mm/a}^{[12]}$ 等。目前大多数卫星高度计资料的研究都限于大范围的深水洋区,较少涉及到小范围的近海浅水区。崔树红等利用卫星高度计资料研究了中国近海浅水区的绝对海平面变化^[13]。本文以大万山附近 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度网格区域高度计1993—2006年期间的数据,来研究珠江口绝对海平面变化,其变化曲线如图2,线性回归得出其上升率为 $0.30 \pm 0.05 \text{ cm/a}$,与同时期全球 $65^{\circ}\text{N} \sim 65^{\circ}\text{S}$ 海区平均海平面的上升率 $3.1 \pm 0.4 \text{ mm/a}^{[11]}$ 或 $3.3 \pm 0.4 \text{ mm/a}^{[12]}$ 相近。

本文是首次应用卫星高度计资料来研究珠江口浅水区绝对海平面变化,为了验证其可靠性,我们将该数据与珠江口沿岸6个验潮站同期的潮位序列进行比较,结果(图2)显示,大万山附近 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度网格区域的高度计序列与各验潮站潮位序列有很好的同步性和显著的相关性(表1)。卫星高度计序列与大万山站潮位序列相关性最高,相关系数达0.95,与其他站的相关系数在0.51~0.81之间,置信度为95%。卫星数据和各潮位站数据的季节变化比较(图3),也显示它们之间有相当好的一致性和同步性,均指示出海平面在每年的10月份达到最大值。这些都说明以大万山附近 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度网格区域的高度计数据分析珠江口海平面变化是可靠的, $0.30 \pm 0.05 \text{ cm/a}$ 的上升率极有可能代表了珠江口14年来绝对海平面的上升速度,而同期整个南海的平均海平面上升速率为 $3.9 \text{ mm/a}^{[14]}$ 。

2.2 相对海平面变化特点

珠江口附近6个验潮站年均潮位变化趋势(图4)显示以下特点:

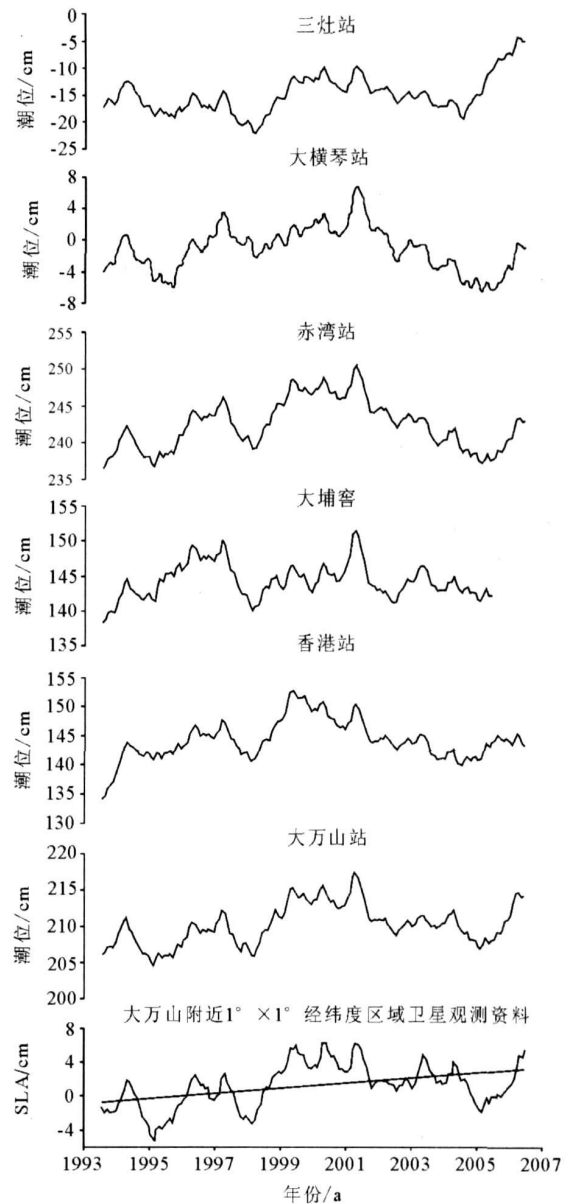


图2 1993—2007年期间珠江口6个验潮站与卫星观测海平面变化对照

(所有序列都经过13月滑动平均)

Fig. 2 The contrast of 6 tide gauge records and satellites altimeters records during 1993—2007 in Zhujiang estuary

(1)同步性 虽然各验潮站反映的均是各站所在地点附近海域的相对海平面变化,而且各站序列长短不一,但它们在一些相同的时间段里都表现出了一定的同步性,显示出相似的绝对海平面变化规律。值得一提的是,所有6个站的潮位都在2001年达到一个峰值,珠江口其他一些验潮站,如石壁(香港)、横栏岛(香港)、尖鼻咀(香港)(图1)的潮位也均为2001年最高。这与整个南海在2001年海平面高度达到峰值^[15]相吻合。随后海平面降低,但近几

表 1 珠江口各验潮站潮位与卫星高度计序列的相关性

Table 1 Correlations between tide gauge records and the satellites altimeters in Zhujiang estuary

卫星与各站	时间段	相关系数 R
卫星与三灶	1993. 1—2006. 12	0. 58
卫星与大横琴	1993. 1—2006. 12	0. 61
卫星与赤湾	1993. 1—2006. 12	0. 81
卫星与大万山	1993. 1—2006. 12	0. 95
卫星与香港	1993. 1—2006. 12	0. 72
卫星与大埔窑	1993. 1—2005. 12	0. 51

表 2 珠江口不同时期的海平面上升速率比较及与全球温度的相关性

Table 2 Sea level rising rates at different tidal gauges in Zhujiang estuary, and the correlations between tidal gauges and global temperatures

验潮站	序列连续时间	1975—2006 年期间上升率/ cm/ a	1993—2006 年期间上升率/ cm/ a	与温度的相关系数
三灶站	1965—2006	0. 18	0. 53	0. 38
大横琴站	1975—2006	0. 37	0. 06	0. 47
赤湾站	1965—2006	0. 29	0. 2	0. 62
大万山站	1986—2006		0. 43	0. 53
香港站	1960—2006	0. 23	0. 22	0. 56
大埔窑	1963—2005	0. 43	0. 69	0. 47
平均		0. 30	0. 36	

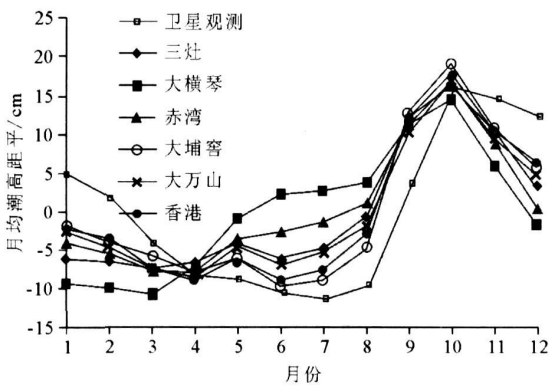


图 3 珠江口卫星观测与验潮站月均潮高距平变化

Fig. 3 Sea level anomalies derived from satellites altimeters and tide gauges in Zhujiang estuary

年来海平面又上升, 并有可能超过 2001 年的峰值。

(2) 上升趋势 各站潮位都表现出来一致的上升趋势。表 2 列出了各站潮位在 1975—2006 年期间的上升速率。其中最大的是大埔窑, 上升率为 0. 43 cm/a (部分年份数据缺损, 上升率准确度低), 最小的是三灶站, 上升率为 0. 18 cm/a, 平均(不包括大万山站, 其序列长度较其他站都短)为 0. 30 cm/a, 代表 1975—2006 年期间珠江口的相对海平面上升速度。这高于其他学者在更长时间内得出的一些上升率 1. 5~2. 0 mm/a (1955—1994)^[6]、1. 9 mm/a (1954—1998)^[3-5]。而 1993 年之后, 上升率更高, 各站平均为 0. 35 cm/a。Arguez 等^[16]的研究得出, 由全球验潮站资料得出的全球平均相对海平面的上升率在 1975—2006 年期间为 1. 9 mm/a, 而在 1993—2006 年期间上升为 2. 3 mm/a, 表明了全球海平面正在加速上升。而珠江相应的上升速度分别是 0. 30 和 0. 36 cm/a。这同样说明珠江口海平面也在加速上升。广东气候变化评估报告^[17]中也指出, 广东沿海乃至全球海平面上升都存在加速的趋势。

(3) 与 ENSO 的关系 1960—2006 年期间共发生 15 次 ENSO 事件, 图 4 中竖直的粗线条代表 ENSO 事件, 黑色粗线条代表 ENSO 年时出现相对低海平面, 灰色粗线条代表 ENSO 年时没有出现相对低海平面。黑色线条有 10 条, 表明 ENSO 年珠江口出现明显的相对低海平面的现象发生了 10 次, 而且每次之后海平面又迅速上升。这说明珠江口海平面的年际变化与 ENSO 存在一定的关系。Ding 等^[3]也认为香港附近海域在 El Nino 发生时海平面下降, 而 La Nina 发生时海平面上升。Rong 等^[18]在研究整个南海时得出的结论也相似。为了具体分析珠江口海平面与 ENSO 的相关性, 本文还将珠江口海平面异常 (SLA) 与 Nino3 指数 (SST) 进行了对比分析。图 5a 为低通滤波后的珠江口 SLA (实线) 和 Nino3 指数 (虚线), 图 5b 为 SLA 滞后 -6~15 月 (负数表示 SST 滞后) 后与 Nino3 指数的相关系数的变化图, 图中显示, 珠江口 SLA 滞后 2 个月时, 与 Nino3 指数的负相关性最大 (最大负相关系数 -0. 68)。

珠江口 SLA 与 Nino3 指数存在负相关的原因, Ding 等^[3]解释为 El Nino 发生时, 东热带太平洋上空存在低气压, 形成自西向东的信风, 促使海水向东流, 导致东热带太平洋海平面升高而西热带太平洋海平面降低; 而 La Nina 发生时, 情况则相反。Rong 等^[18]从海流、水温以及降雨变化等角度, 认为 El Nino 发生当年, 一方面经过吕宋海峡进入南海的水量减少, 从巴里曼丹海峡出去的水量增大; 另一方面, 南海周边的逆时针的海流, 导致南海中部中层水温降低, 热膨胀减少; 此外, 南海上空大气对流减弱, 使降水量减少; El Nino 之后, 一般伴随着 La Nina,

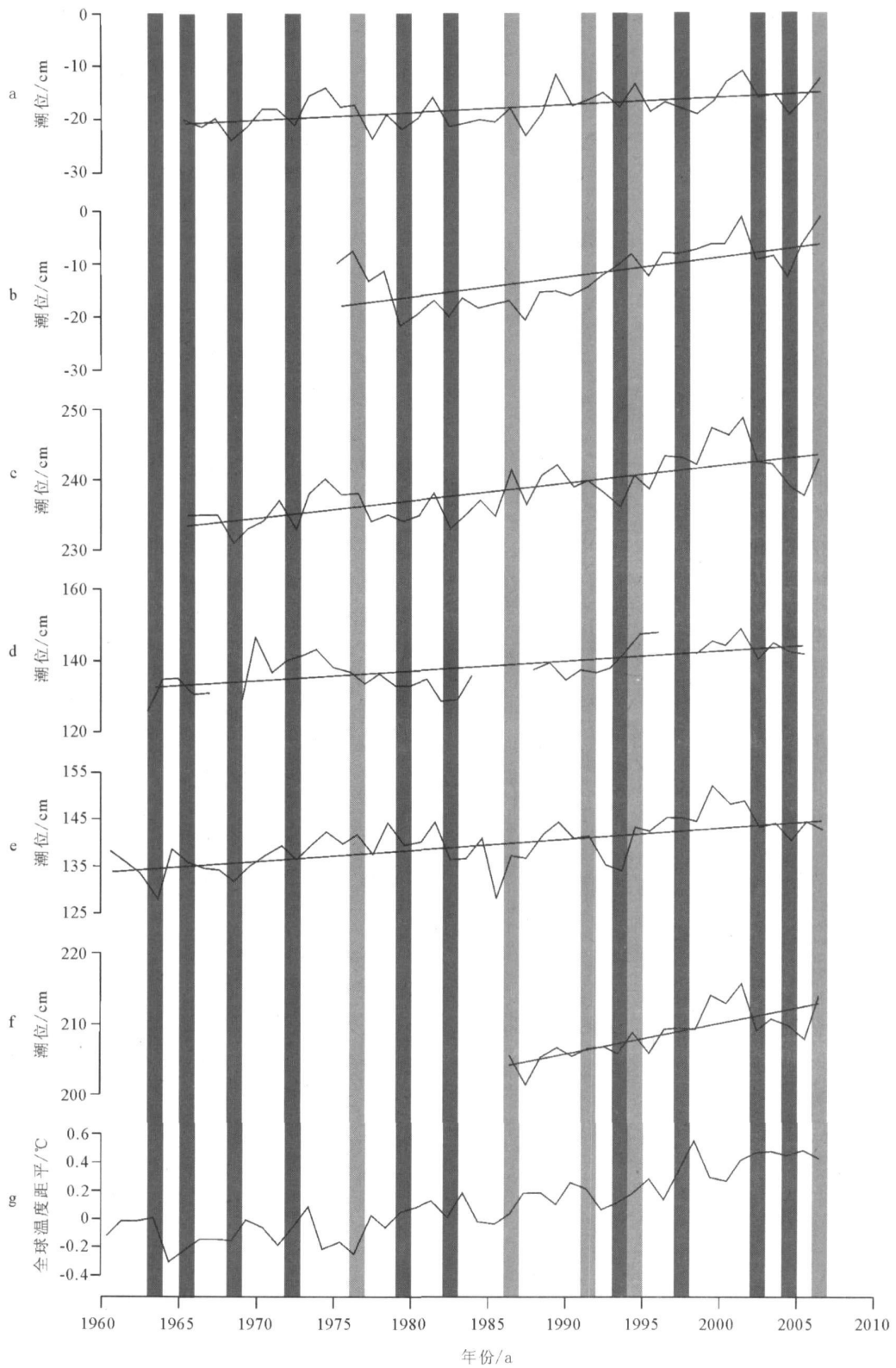


图 4 1960—2006 年珠江口各验潮站潮位变化与全球温度变化和 ENSO 的关系

a-灶站潮位变化 b-大横琴站潮位变化 c-赤湾站潮位变化 d-大埔管站潮位变化
e-香港站潮位变化 f-大万山站潮位变化 g-全球温度距平变化

■ ENSO 年低海平面 ■ ENSO 年非低海平面

Fig. 4 The relationship of sea level changes from tide gauge records in Zhujiang estuary with global temperature changes and ENSO

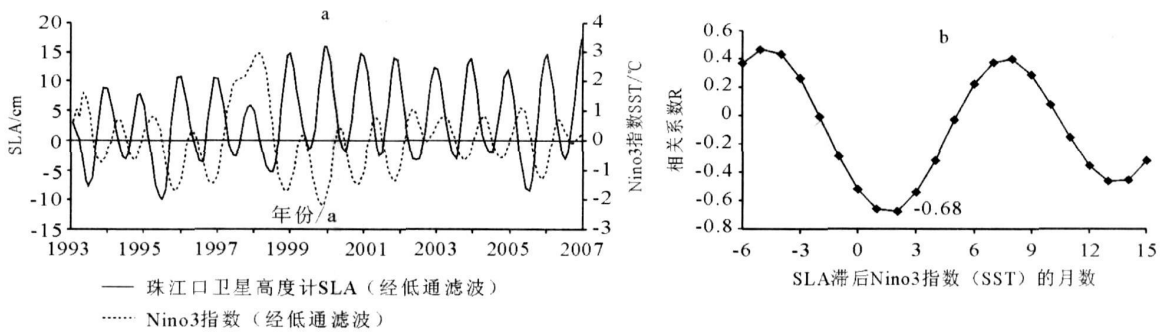


图 5 珠江口海平面变化(卫星观测)与 Nino3 指数的关系

a: 经低通滤波后的珠江口海平面变化(卫星观测)与 Nino3 指数变化

b: SLA 滞后不同月数后与 Nino3 指数(SST)的相关系数的变化

Fig. 5 The relationship of SLA in Zhujiang estuary and Nino3 indices(SST)

以上情况发生改变, 海平面又回升。珠江口处南海北部, 其海平面变化受整个南海的影响, 因此, 以上 2 种解释都是合理的。

(4)与全球气候变化的关系 现代海平面的上升的主要原因, 一是热膨胀使海水体积增大, 二是山地冰川、格陵兰岛冰盖和南极洲冰盖不断融化^[19]。这两个原因都源于全球气候变暖。IPCC 第四次报告^[1]指出, 最近 50 年来, 因全球气候变暖, 热膨胀和山地冰川、格陵兰岛冰盖、南极洲冰盖的融化共同导致全球海面上升 $1.1 \pm 0.5 \text{ mm/a}$, 占验潮站观测结果 ($1.8 \pm 0.5 \text{ mm/a}$) 的 61%。而最近十几年来, 这些因素共同导致全球海平面上升约 2.7 mm/a ^[11], 占卫星观测结果 ($3.1 \pm 0.4 \text{ mm/a}$)^[11] 的 87%, 其中热膨胀约占 52%, 山地冰川约占 25%, 格陵兰岛和南极洲冰盖分别各占 7%。这并不代表气候变化对海平面上升的贡献正在增加, 很可能只是由于观测手段的改进, 从而更加真实的表现了这个贡献值。

我们对珠江口 6 个验潮站平均潮位变化与全球气候变化的主要指标—全球平均温度距平, 进行了相关性分析, 相关系数(表 2)介于 0.38 ~ 0.62 之间, 置信度为 95%, 表明珠江口海平面变化与全球温度变化也密切相关。珠江口绝对海平面由全球平均海平面控制, 全球海平面变化又受全球气候变化影响, 因此, 归根到底珠江口绝对海平面受全球气候变化所控制, 其海平面上升是对全球气候变暖的一种响应。除了热膨胀、山地冰川、格陵兰岛冰盖和南极洲冰盖的融化外, 其他受全球气候变化控制的一些因素, 比如珠江径流、有效降水等, 理论上对珠江口海平面的变化也可能存在一定程度的影响。

2.3 未来海平面变化预测

IPCC 预测, 21 世纪末全球海平面将比 1980—1999 年的平均值上升 $18 \sim 59 \text{ cm}$ ^[1]。Rahmstorf 等^[20]认为这种预报结果可能偏低, 格陵兰岛和南极洲冰盖融化对海平面的贡献正在迅速增大, 全球海平面正在加速上升; 相比海平面变化, IPCC 有关全球温度变化的预测是相对可信的。那么, 利用海平面变化与温度变化的相关性和 IPCC 的温度预测结果, 也可预测未来海平面的变化。Rahmstorf^[20]采用这种半经验的方法(以全球 SST 作为预报因子)来预测全球海平面的变化, 得到了很好的效果。这种方法的特点在于它从海平面变化的驱动机制(即气候变化控制海平面变化)这个角度来预测海平面, 相比于其他以历史海平面来推算未来海平面的方法更简单。本文采用此方法, 以全球温度距平作为预报因子, 预报珠江口未来海平面的变化。

预报方程: $\Delta SL = a + b \cdot \Delta T$

此预报方程为全球温度距平与珠江口各验潮站潮位变化的线性回归方程, 其中 ΔSL 和 ΔT 分别为相对于 1980—1999 年平均的海平面和温度变化幅度, a 和 b 分别为回归方程的截距和斜率。

考虑到三灶站海平面与温度相关性偏低, 大万山站序列较短, 我们仅对其他 4 站进行预测。IPCC 预测 2030 年全球温度上升幅度 (ΔT) 为 $0.6 \sim 1.2 \text{ }^\circ\text{C}$, 2050 年 ΔT 为 $0.8 \sim 1.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 。依据上面预报方程和 IPCC ΔT 的预报值, 计算获得海平面的预测值, 结果如表 3 所列。珠江口绝对海平面在 2030 年和 2050 年将分别上升 $6 \sim 14$ 和 $9 \sim 21 \text{ cm}$ 。据报道 (<http://www.zsnews.cn/News/2007/12/03/760954.shtml>), 国家海洋局预测, 与 2000 年相比 2050 年中

表3 珠江口各站2030和2050年海平面上升幅度预测

Table 3 Predicted sea level rise in Zhujiang estuary in 2030 and 2050

	IPCC 温度 上升预测/℃	大横琴站潮位 上升预测/cm	赤湾站潮位 上升预测/cm	香港站潮位 上升预测/cm	大埔寮站潮位 上升预测/cm	平均/cm
2030	0.6	7	5	6	6	6
	0.9	11	8	9	10	10
	1.2	15	12	13	14	14
2050	0.8	10	7	8	9	9
	1.3	16	13	14	15	15
	1.8	22	19	21	21	21

国沿海海平面将上升 13~22 cm, 中国沿海海平面上升速度呈“北高南低”, 广东沿海海平面上升幅度可能在 13 cm 左右。珠江口各验潮站 1980—1999 年平均海平面比 2000 年低 6~7 cm, 海洋局预测的 13 cm 若以 1980—1999 年起算, 则与表 3 中预测的中、上限相当。需要提出的是, 若各发达国家严格执行《京都议定书》, 则到 2050 年全球 CO₂ 含量有望显著下降, 则到时全球绝对海平面的上升幅度处于 9~21 cm 中的上限的可能性会有所降低。此外, 若考虑到珠江口有些站处于下沉区, 则到 2030 年, 这些下沉地区附近海域相对海平面上升幅度将更大。如香港北角(North Point)/测鱼涌(Quarry Bay)站位于填海处, 1954—1989 年期间北角下沉速率达 4.85 ± 0.16 mm/a, 1989—2006 年期间测鱼涌下沉速率为 4.19 ± 0.26 mm/a^[21], 若未来仍按目前的速率下沉, 那到 2030 年其附近海域相对海平面的上升量还要加上 12 cm 左右。不过各个岸段的下沉速度并不相同, 因而, 珠江口并没有一致的相对海平面上升量。此外, 珠江口相对海平面上升幅度还要考虑附加 5~10 cm 的波动值^[22]。因此, 正如一些文献[7-9]报道的那样, 珠江口某些地区相对海平面到 2030 年极有可能将上升 30 cm。而到 2050 年, 珠江口部分岸段相对海平面可能上升 50 cm 左右, 这也与 IPCC 第二工作组第四次评估报告中表 10.10^[22] 关于珠江三角洲 2050 年相对海平面上升幅度的预测(40~60 cm)一致。海平面如此大幅度的上升, 对经济发达、城市集中、人口密集的珠江口沿岸将是个严重的威胁。

3 结论

(1) 卫星观测时期(1993—2006)珠江口绝对海平面的上升速率为 0.30 ± 0.05 cm/a, 基本与全球平均海平面的上升速率(3.1 ± 0.4 mm/a^[11]、 $3.3 \pm$

0.4 mm/a^[12])相一致, 但略低于全南海平均海平面上升速度(3.9 mm/a^[14])。

(2) 验潮站观测得出 1975—2006 年期间和 1993—2006 年期间的上升速度分别为 0.30 和 0.36 cm/a, 表明珠江口相对海平面正在加速上升。

(3) 珠江口海平面长期变化与 ENSO 有关, 一般 ENSO 年海平面相对较低。

(4) 珠江口海平面与全球气候变化有关, 珠江口海平面的上升为全球气候变暖所致。

(5) 预计到 2030 和 2050 年, 珠江口绝对海平面将分别上升 6~14 和 9~21 cm; 若考虑到地面沉降以及波动值, 珠江口部分岸段相对海平面将很可能分别上升 30 和 50 cm 左右。

参考文献(References)

- [1] IPCC. Climate Changes 2007: The Physical Science Basics—The IPCC Working Group I Fourth Assessment Report Summary for Policy makers [Z]. 5 Feb. 2007. <http://ipcc-wg1.ucar.edu/index.html>.
- [2] 杜碧兰. 海平面上升对中国沿海主要脆弱区的影响及对策 [M]. 北京: 海洋出版社, 1997: 1-9. [DU Bi-lan. The impacts of sea level rise on the major vulnerable areas of the China's coastal zone and relevant strategies [M]. Beijing: China Ocean Press, 1997: 1-9.]
- [3] Ding X L, Zheng D W, Chen Y Q, et al. Sea level change in Hong Kong from tide gauge records [J]. Journal of Geospatial Engineering, 2002, 4(1): 41-49.
- [4] Ding X L, Zheng D W, Chen Y Q, et al. Sea level change in Hong Kong from tide gauge measurements of 1954-1999 [J]. Journal of Geodesy, 2001, 74: 683-689.
- [5] DING Xiao-li, CHAO Ja-song, ZHENG Da-wei, et al. Long-term sea-level changes in Hong Kong from tide-gauge records [J]. Journal of Coastal Research, 2001, 17(3): 749-754.
- [6] 陈特固, 杨清书, 徐锡祯. 广东沿海相对海平面变化特点 [J]. 热带海洋, 1997, 16(1): 95-100. [CHEN Te-gu, YANG Qing-shu, XU Xi-zhen. Character of relative sea-level changes along

- coast of Guangdong Province[J]. *Tropic Oceanology*, 1997, 16 (1): 95-100.]
- [7] 黄镇国, 谢先德, 范锦春 等. 广东海平面变化及其影响与对策 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2000. 61-76. [HUANG Zhen-guo, XIE Xian-de, FAN Jin-chun, et al. *Sea Level Changes Influence and Countermeasure in Guangdong Province* [M]. Guangzhou: Science and Technology of Guangdong Press, 2000: 61-76.]
- [8] 黄镇国, 张伟强, 陈特固. 香港/澳门近 72 年海平面变化曲线 [J]. *地理科学*, 1999, 19(3): 282-295. [HUANG Zhen-guo, ZHANG Wei-qiang, CHEN Te-gu. *Sea-level curve during the past 72 years in Hong Kong/Macao* [J]. *Scientia. Geo. Geographica. Sinica*, 1999, 19(3): 282-285.]
- [9] 黄镇国, 张伟强. 珠江三角洲海平面上升的影响范围 [J]. *海洋与湖沼*, 2001, 32(2): 225-232. [HUANG Zhen-guo, ZHANG Wei-qiang. *Areas influenced by sea level rise in Zhujiang Delta* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, 32(2): 225-232.]
- [10] Fu L L, Christensen E J, Yamarone C A, et al. TOPEX/Poseidon mission overview [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1994, 99(C12): 24 369-24 381.
- [11] Nerem R S, Leuliette E, Cazenave A. Present-day sea level change: A review [J]. *C. R. Geoscience*, 2006, 338: 1077-1083.
- [12] Rahmstorf S, Cazenave A, Church J A, et al. Recent climate observations compared to projections [J]. *Science*, 2007, 316: 709.
- [13] 崔树红, 谢志仁, 钟鹤翔 等. 利用 T/P 海面高度数据校验验潮站地面升降的初步研究 [J]. *地球科学进展*, 2005, 20(6): 643-648. [CUI Shu-hong, XIE Zhi-ren, ZHONG He-xiang, et al. *The primary researches that T/P sea height data are used for revised ground rise or fall at the tide gauge station* [J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(6): 643-648.]
- [14] 时小军, 余克服, 陈特固. 南海中全新世以来海平面变化研究进展 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(5): 121-132. [SHI Xiao-jun, YU Ke-fu, CHEN Te-gu. *The progresses on sea-level changes since Mid-Holocene in South China Sea* [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2007, 27(5): 121-132.]
- [15] CHENG Xu-hua, QI Yi-quan. Trends of sea level variations in the South China Sea from merged altimetry data [J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 57(3-4): 371-382.]
- [16] Argyez A. State of the climate in 2006 [Z]. *Special Supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(6): 39-40.
- [17] 广东省气象局. 广东气候变化评估报告 [Z]. 2007 年 7 月. [*Meteorological Bureau of Guangdong Province. Assessment report of climate changes in Guangdong Province* [Z]. 2007.]
- [18] RONG Zeng-ni, LIU Yu-guang, ZONG Hai-bo, et al. Interannual sea level variability in the South China Sea and its response to ENSO [J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 55 (4): 257-272.
- [19] Cabanes C, Cazenave A, Provost C L. Sea level rise during past 40 years determined from satellite and in situ observations [J]. *Science*, 2001, 294: 840-842.
- [20] Rahmstorf S. A Semi-empirical approach to projecting future sea-level rise [J]. *Science*, 2007, 315: 368-370.
- [21] Wang W T, Li K H. Long term sea level changes in Hong Kong [J]. *Hong Kong Meteorological Society Bulletin*, 13: 24-40.
- [22] IPCC. *Climate Changes 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability—Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* <http://www.ipcc-wg2.org>. p495-497.

SEA-LEVEL CHANGES IN ZHUJIANG ESTUARY OVER LAST 40 YEARS

SHI Xiao-jun^{1,2}, CHEN Te-gu¹, YU Ke-fu¹

(1 Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China,

South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: By extracting $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ grid datum of satellite altimeters, we calculate the sea-level rising rate at Zhujiang (Pearl River) estuary as 0.30 ± 0.05 cm/a over the period from 1993 to 2006, which is consistent with the global mean sea-level rising rate. Tidal records from six tide gauges in Zhujiang estuary show that the sea level is acceleratedly rising over last forty years (1960-2006), and it is the result of global climate warming. The sea-level fluctuations over this period are very closely correlated with ENSO activities, i. e., showing low sea-level values in El Nino years and high in La Nina years. Considering the good correlation between sea level and temperature and the IPCC predications on the future global temperature, we suppose the absolute sea level in Zhujiang estuary will rise by 6~14 and 9~21 cm in 2030 and 2050, respectively. If taking the factors of ground subsidence and sea-level fluctuations into account, the relative sea-level in some parts of Guangdong coast may rise by up to 30 and 50 cm in 2030 and 2050, respectively.

Key words: sea-level changes; satellite altimeters; tide gauge; Zhujiang estuary