

太平洋海面粗糙度的计算及在 ENSO 期间的变化

过 杰, 郭佩芳, 周良明

(中国海洋大学 环境学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 利用 TOPEX 高度计风速资料, 实现了对太平洋海面粗糙度(z_0) 的计算。1997~1999 年正是厄尔尼诺与拉尼娜事件发生时期, 作者研究了 1997~1999 年 z_0 在 ENSO 期间的变化后发现: (1) El Nion 发生期间赤道附近 z_0 最大值在 A, C, B3 个站点上移动; 最小值在 B, A2 个站点上移动。(2) Li Nina 发生期间赤道附近 z_0 最小值在 A 站点, 最大值主要在 B 站点上。Li Nina 发生期间, 1999 年 15 个站点 z_0 均大于正常年份和 El Nion 发生期间的 15 个站点 z_0 。(3) ENSO 期间, 四季 z_0 与正常年份相比都有显著改变。

关键词: ENSO; 厄尔尼诺; 拉尼娜; 海面粗糙度(z_0); 海面风速; 高度计

中图分类号: P733.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2006)06-0087-05

海面粗糙度是表征海面空气动力学粗糙程度的物理量, 它描写了海面微尺度起伏的程度, 其变化规律在某种程度上反映了海洋和大气之间动量输送过程的主要特征。海面粗糙度是海洋调查中一个重要的测量要素, 但是大面积海面粗糙度的测量资料不仅数量少, 而且时空分布极不均匀。卫星高度计测量的资料在数量、空间覆盖率、历时长度等方面都具有前所未有的优势, 但是其测量要素只有有效波高和海面风速。作者利用高度计风速资料(风速资料实际上是由后向散射系数反演出来的) 实现对海面粗糙度的时空研究。

ENSO 是厄尔尼诺和南方涛动的合称。厄尔尼诺(西班牙语为圣婴): 历史上一直是指每年圣诞节前后, 沿厄瓜多尔和秘鲁沿岸, 出现一弱的暖洋流, 它代替了通常对应的冷水。近年来厄尔尼诺的名称已倾向于用来指一种更大尺度的海洋异常现象, 它不是每年而是 3~7 a 发生一次。南方涛动用以描述热带太平洋地区与热带印度洋地区气压场反向变化的翘翘板现象。许多研究表明, 赤道东太平洋海表水温异常事件(厄尔尼诺) 同南方涛动指数(SOI) 之间有非常好的相关关系。ENSO 既包含有高 SOI 和低 SOI 的特征, 又包括赤道东太平洋的暖水事件(厄尔尼诺) 和冷水事件(拉尼娜)^[1]。作者研究的 1996 全年及 1997 年 1, 2 月份属正常年份, 1997 年 3~12 月及 1998 年 1~5 月属于厄尔尼诺发生时期, 1998 年 6~

12 月及 1999 年 1~12 月属于拉尼娜发生时期^[2]。

1 海面粗糙度

1.1 海面粗糙度定义

海面粗糙度(z_0) 又称空气动力学粗糙长度, 它定义为风速等于零的高度^[3]。

1.2 海面粗糙度的反演

吹行于水面的风形成湍流边界层, 根据 Blackadar^[4] 和 Tennekes^[5] 的理论研究, 无论是光滑海面还是粗糙海面, 在中性层结条件下, 波面上湍流边界层内的水平平均风速可表示为:

$$U = \frac{U_*}{k} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (1)$$

k 为 vonkarman 常数, 大多数学者认为近于 0.35^[3]。取 z 等于 10, 则(1)式变为:

$$\frac{U_{10}}{U_*} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{10}{z_0} \right) \quad (2)$$

式中 U_* 为摩擦速度, 可以通过雷诺应力

$$\tau_0 = -\rho \overline{Uw} = \rho U_*^2 \quad (3)$$

收稿日期: 2006-01-10; 修回日期: 2006-03-26

作者简介: 过杰(1965), 女, 河南开封人, 硕士研究生, 从事海洋遥感的研究, 电话: 0532-88656412, E-mail: guojie@ouc.edu.cn; 郭佩芳, 通讯作者

来测定, ρ 为空气密度, U 和 w 分别为水面上气流中的水平和垂直湍流速度分量。在海气相互作用的研
究中, 雷诺应力也可以通过关系: [6]

$$\tau_0 = C_{10} \rho U_{10}^2 \quad (4)$$

而引入高度 10 m 处平均风速 (U_{10}) 对应的阻力系数 (C_{10})。

合并(3)和(4)式得到:

$$U_*^2 = C_{10} U_{10}^2 \quad (5)$$

阻力系数是一个重要的物理量, 它决定了大气与海洋间的动量传输率。它随风速而变化, 与海面粗糙度有关[7], 长期以来许多研究者以不同方法对其进行测定。WuJing[8]于1969年给出了 C_{10} 与 U_{10} 的经验关系:

$$C_{10} = 0.5 U_{10}^{-1.2} \times 10^{-3} \quad (6)$$

这样, 结合(2)、(5)和(6)式, 得到 z_0 与海面 10m 高处风速的关系[10]:

$$z_0 = 10e^{-aU_{10}^{-1/4}} \quad (7)$$

其中, $a = 20\sqrt{5}k$ 。

2 太平洋海域 z_0 随季节变化情况

2.1 太平洋海域 1996 年 z_0 随季节变化情况

研究的海域为太平洋海域 (120° E ~ 120° W, 50° N ~ 50° S), 所用资料 TOPEX 高度计 (1996 年) 资料。研究发现: (1) 从空间来讲: 太平洋 z_0 最大区域在南北半球西风带附近, 其次在南北半球中纬度附近的大浪区, z_0 最小区域出现在赤道附近。(2) 从时间变化来看: 太平洋赤道附近秋冬季 z_0 最大, 其次是夏季, 春季较小。太平洋 30° N 附近 z_0 冬季最大, 其次是春、秋两季, 夏季最小。太平洋 30° S 附近 z_0 夏季最大, 其次是春、冬, 秋季较小。太平洋 50° N 附近 z_0 冬季最大, 其次是秋、春, 夏季最小。太平洋 50° S 附近 z_0 夏季最大, 其次是秋、春季, 冬季较小。

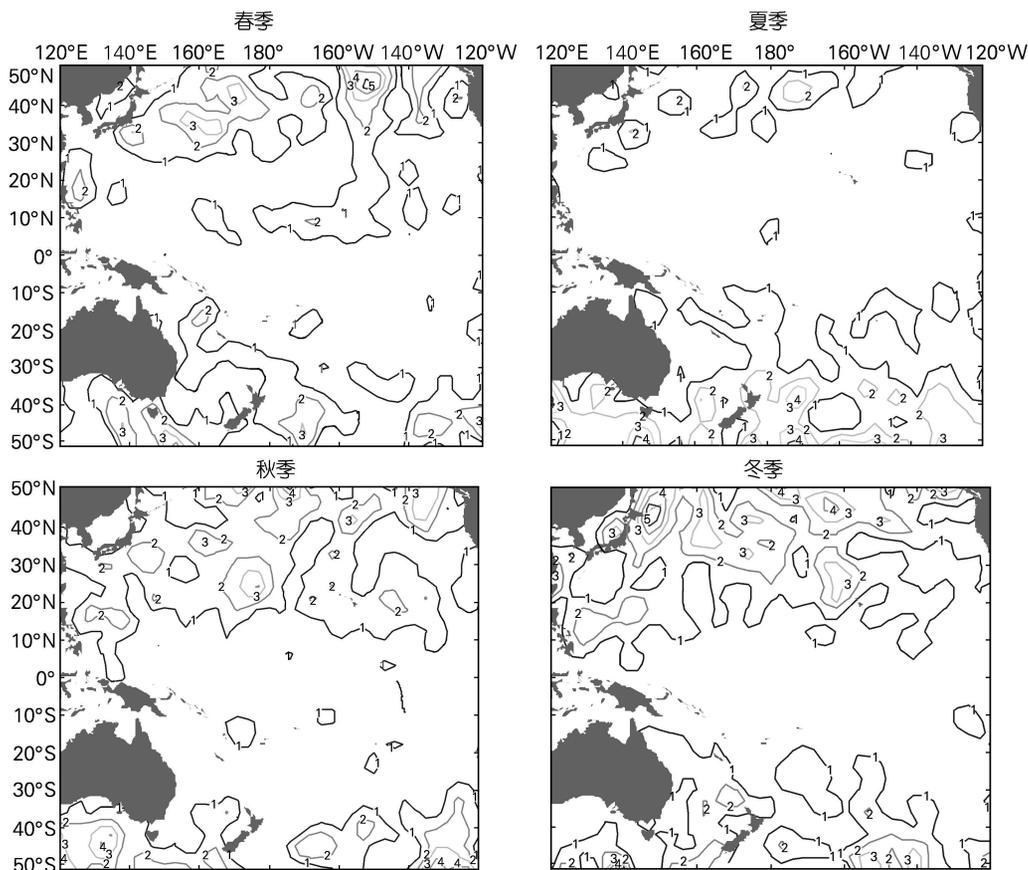


图 1 太平洋 1996 年春、夏、秋、冬 z_0 分布 (mm)

Fig. 1 Distributions of surface roughness (z_0) for spring, summer, autumn, winter in 1996 in Pacific Ocean (mm)

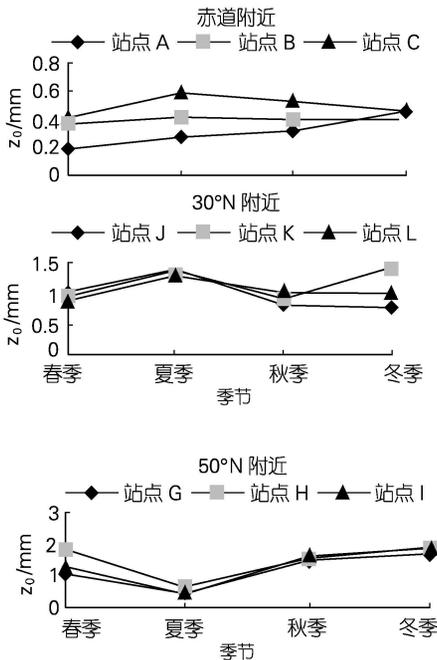


图2 太平洋1996年赤道, 30°N, 50°N, 30°S, 50°S附近四季 z_0 比较

Fig.2 z_0 compare nearby equator 30°N, 50°N, 30°S, 50°S in Pacific Ocean

2.2 太平洋海域 1996~1999 年 z_0 度随季节变化情况

研究的海域为太平洋海域(120°E~120°W, 50°N~50°S), 所用资料 TOPEX 高度计(1996~1999年)的资料。

为了研究太平洋海域平均 z_0 变化规律, 作者在太平洋赤道、南北中低纬度、南北中高纬度附近分别选了3个站点(图3), 用A, B, ...O, 15个字母来代表15个站点的位置。表1列举了1996~1999年4年春、夏、秋 z_0 平均值。

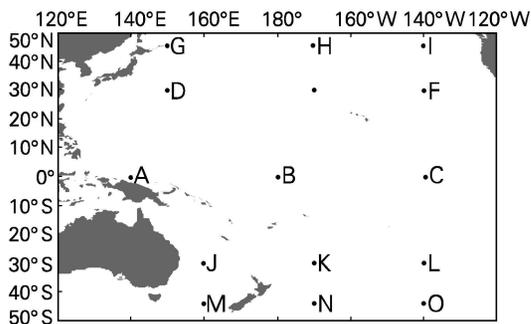


图3 太平洋15个站点分布示意图

Fig.3 The distributing of 15 stations in Pacific Ocean

通过对太平洋海域(120°E~120°W, 50°N~50°S) 1996~1999年4年 z_0 的观察, 可以发现以下规律: (1) 赤道附近 z_0 与1996年相比, 1997年春季A站点附近

增大, B, C 2个站点附近减小; 夏季3个站点附近均减小; 秋季B站点附近增大, A, C 2个站点附近减小; 冬季3个站点附近均增大。1998年春季A, B, C 3个站点附近均增大; 夏季A, C 2个站点附近减小, B站点附近增大; 秋季A, C 2个站点附近减小, B站点附近增大; 冬季A, C 2个站点附近减小, B站点附近增大。1999年四季3个站点附近均增大。(2) 南北纬30°附近 z_0 与1996年相比, 1997年30°N附近春、夏、秋、冬, 分别在(E, F), (E, F), D 5个站点附近均增大, 其余均减小; 30°S附近春、夏、秋、冬, 分别在(L, L, K), (J, L) 5个站点附近均增大, 其余均减小; 1998年30°N附近春、夏、秋、冬, 分别在(E, F), (E, F), F, (E, F) 7个站点附近均增大, 其余均减小; 30°S附近春、夏、秋、冬, 分别在L, K, J, L 4个站点附近均增大, 其余均减小; 1999年四季3个站点附近均增大。(3) 南北纬50°附近 z_0 与1996年相比, 1997年, 1998年, 1999年3年春、夏、秋、冬季, 3个站点附近均增大。(4) 1997年春季A, C, B 3个站点 z_0 由大变小; 夏季C, B, A 3个站点 z_0 由大变小; 秋季B, C, A 3个站点 z_0 由大变小; 冬季A, C, B 3个站点 z_0 由大变小。1998年春季C, B, A 3个站点 z_0 由大变小; 夏季B, C, A 3个站点 z_0 由大变小; 秋季B, C, A 3个站点 z_0 由大变小; 冬季B, C, A 3个站点 z_0 由大变小。1999年春季B, C, A 3个站点 z_0 由大变小; 夏季C, B, A 3个站点 z_0 由大变小; 秋季C, B, A 3个站点 z_0 由大变小; 冬季B, C, A 3个站点 z_0 由大变小。

表 1 太平洋有关位置粗糙度的时间变化

Tab. 1 Changing of the surface roughness with time and position in Pacific Ocean

		z_0 (mm)														
年份	季节	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1996	春	0.18	0.37	0.42	1.21	0.58	0.61	0.99	0.94	0.87	1.07	1.83	1.37	1.79	1.6	2.06
	夏	0.27	0.41	0.58	0.6	0.37	0.55	1.37	1.37	1.29	0.55	0.67	0.48	1.67	2.07	2.21
	秋	0.31	0.4	0.53	1.24	1.19	0.45	0.82	0.91	1.02	1.53	1.63	1.61	1.86	1.68	1.87
	冬	0.46	0.4	0.46	1.66	1.82	1.26	0.75	1.41	0.99	1.71	1.95	1.9	1.73	1.39	1.56
1997	春	0.5	0.31	0.38	0.58	0.81	0.73	0.85	0.92	1.2	1.32	1.68	1.56	2.07	1.79	1.26
	夏	0.23	0.3	0.43	0.46	0.5	0.52	0.86	1.22	1.55	0.55	0.78	0.48	2.15	2.16	1.92
	秋	0.17	0.57	0.45	1.06	1.06	1	0.79	0.91	0.88	1.79	2.31	1.17	2.15	2.52	1.93
	冬	0.77	0.51	0.75	1.67	1.41	0.84	0.81	0.64	0.99	2.09	2.39	1.86	1.52	1.5	1.94
1998	春	0.38	0.51	0.54	0.94	0.86	0.91	0.91	0.92	1.01	1.53	2.12	1.75	2.28	2.17	2.12
	夏	0.24	0.56	0.33	0.6	0.63	0.56	1.08	1.73	1.12	0.51	1.01	0.9	1.9	2.53	2.65
	秋	0.24	0.55	0.31	0.9	0.45	0.62	1.27	0.77	0.87	1.41	2.09	1.91	2.1	2.24	2.22
	冬	0.32	0.69	0.39	1.49	1.85	1.56	0.59	0.76	1.05	2.14	2.11	2.03	1.95	1.64	2.27
1999	春	1.29	2.15	2.14	2.54	2.71	2.38	3.01	3.23	2.88	2.22	3.98	3.4	4.47	4.79	5.01
	夏	1.24	1.78	1.94	1.91	1.7	2.02	2.93	2.85	3.91	1.12	2.02	1.87	4.29	4.72	4.61
	秋	1.11	1.75	1.88	2.24	2.54	2.83	2.36	2.79	3.22	2.82	3.34	3.43	4.18	4.13	5.26
	冬	1.68	2.09	2.04	3.71	3.76	3.14	2.25	2.13	2.4	2.64	4.91	4.39	3.63	3.84	3.68

最大值分别出现在 G, H, I, H 各站点; 南半球中低纬度地区 z_0 春、夏、秋、冬最大值都出现在 K 站点, 最小值都出现在 J 站点; 南半球中高纬度地区 z_0 春、夏、秋、冬最大值分别出现在 O, O, O, M 各站点。(2) EI Nion 发生期间(1997 年 3 月~1998 年 5 月)太平洋东部 SST 正距平作为起因在那里加热大气, 辐合上升, 减弱信风和 Walker 环流, 西风东移, 西风暴发, 赤道附近 z_0 最大值出现在 1997 年春季 A 站点, 夏季 C 站点, 秋季 B 站点, 冬季 A 站点, 1998 年春季 C 站点。1997 年秋、冬两季厄儿尼诺现象处于鼎盛时期, 除了秋季 A 站点外, A, B, C 3 站点 z_0 均比春、夏两季对应的 z_0 大。北太平洋中低纬度地区 z_0 最大值 1997 年春、夏、秋、冬及 1998 年春出现在 E, F, E, D, D 各站点; 北半球中高纬度地区 z_0 春、夏、秋、冬及 1998 年春最大值分别出现在 H, I, H, I, I 各站点; 南半球中低纬度地区 z_0 春、夏、秋、冬及 1998 年春最大值都出现在 K 站点; 南半球中高纬度地区 z_0 春、夏、秋、冬及 1998 年春最大值分别出现在 M, N, N, O, M 各站点。(3) Li Nina 发生期间(1998 年 6 月~1999 年 1~12 月), 赤道两侧出现负的海面温度距平, 负距平向东西两边快速扩张, 赤道附近信风和 Walker 环流加强; 赤道附近 z_0 最大值主要出现在 B 站点, 最

3 ENSO 事件

1996 年及 1997 年 1~2 月是正常年份, 1997 年 3~12 月及 1998 年 1~5 月属厄儿尼诺期间, 1998 年 6~12 月及 1999 年 1~12 月属于拉尼娜期间^[2]。

1997 年 1~2 月份, 热带中、东太平洋主要维持负距平, 3 月份除个别位置外, 热带中、东太平洋基本上处于正距平, 厄儿尼诺现象开始出现, 4~9 月发展, 10~12 月及 1998 年 1 月处于鼎盛时期, 1998 年 2~5 月处于衰弱期; 1998 年 6 月突变, 赤道两侧突然出现负的海面温度距平, 拉尼娜事件发生; 6~10 月负距平向东西两边快速扩张, 11~12 月负距平达最大; 1999 年 1~12 月维持负距平这一现象在延续^[4]。

4 太平洋海域 z_0 在 ENSO 期间的变化

从以上分析可以得出: (1) 太平洋赤道附近 z_0 1996 年 1~12 月及 1997 年 1~2 月最大值出现在 C 站点, 最小值出现在 A 站点; 北半球中低纬度地区 z_0 春、夏、秋季最大值出现在 D 站点, 冬季最大值出现在 E 站点; 北半球中高纬度地区 z_0 春、夏、秋、冬

小值出现在 A 站点; Li Nina 发生期间 1998 年 11~12 月负距平最大时, z_0 最大值在 B 站点, 最小值出现在 A 站点, 且与 EI Nion 发生期间同时期相比各站点 z_0 变小。1999 年 1~12 月维持负距平这一现象在延续时, 15 个站点附近 z_0 与 Li Nina 发生初期相比增大。1999 年 15 个站点附近 z_0 与正常年份和 ENSO 期间相比增大。(4) ENSO 期间, 太平洋 15 个站点 z_0 与正常年份相比都有改变。

5 小结

作者利用 TOPEX 卫星高度计风速资料, 对 z_0 进行了反演。可以发现, 海面风速的测量精度直接决定了 z_0 的反演精度, 因而成为 z_0 反演的关键因素之一。作者所用的高度计风速资料是由卫星高度计的后向散射系数导出的, TOPEX/POSEIDON 高度计所使用的业务化模式函数的缺点是不能进行特高风速(大于 20m/s)的反演, 因而得不到与此高风速所对应的 z_0 。

从 1996~1999 年 4 年 z_0 的分析可以发现: ENSO 期间, z_0 与正常年份相比(1) EI Nion 发生期间赤道附近 z_0 最大值出现 A, C, B 3 个站点上移动; 最小值在 B, A 2 个站点上移动。1997 年秋、冬两季厄尔尼诺现象处于鼎盛时期, 除了秋季 A 站点外, A, B, C 3 站点 z_0 均比 1997 年春、夏两季对应的 z_0 大。(2) Li Nina 发生期间赤道附近 z_0 最小值在 A 站点, 最大值主要在 B 站点上。Li Nina 发生期间, 1999 年 15 个站点 z_0 均大于正常年份和 EI Nion 发生期间的 15 个站点 z_0 。Li Nina 发生期间 1998 年 11~12 月负距平最大时, z_0 最大值在 B 站点, 最小值出现在 A 站点, 且与 EI Nion 发生期间同时期相比各站点 z_0 变小。1999 年 1~12 月维持负距平这一现象在延续

时, 15 个站点附近 z_0 与 Li Nina 发生初期相比增大; 1999 年 15 个站点附近 z_0 与正常年份和 ENSO 期间相比增大。(3) ENSO 期间, 四季 z_0 与正常年份相比都有改变。

本文研究只是个例, 是否具有普遍性有待今后进一步研究。作者发现 z_0 的异常与 ENSO 事件有关, 它们的相关机制有待进一步研究, 至于它们有什么关系, 单从 z_0 个例无法得出结论, 有待今后进一步探讨。

参考文献:

- [1] 斯塔尔 R B. 边界层气象学导论[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1991. 1-457.
- [2] 冯士筌, 李凤岐, 李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003. 1-503.
- [3] 方立新, 陈戈. AVHRR 和 WEDGIS 热带太平洋海洋温度分析系统[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2003. 1-76.
- [4] Blackadar A K, Tennekes H. Asymptotic similarity in neutral barotropic planetary boundary layers [J]. *J Atmos Sci*, 1968, 25: 1 015-1 020.
- [5] Tennekes H. Free convection in the turbulent Ekman layer of the atmosphere [J]. *J Atmos Sci*, 1970, 27: 1 027-1 034.
- [6] 文圣常, 余宙文. 海浪理论与计算原理[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 308-314.
- [7] 王秀芹, 钱成春, 王伟. 风应力拖曳系数选取对风暴潮数值模拟的影响[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(5): 640-646.
- [8] Wu J. Wind stress and surface roughness at air-sea interface [J]. *Geophys Res*, 1969, 21(5): 707-714.
- [9] 周良明, 郭佩芳. 利用卫星高度计风速资料研究海面粗糙度[J]. 海洋湖沼通报, 2005, 4: 10-14.

Calculation and a changing of roughness of sea surface in Pacific Ocean in ENSO period

GUO Jie, GUO Pei-fang, ZHOU Liang-ming

(College of Physical and Environmental Oceanography, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Received: Jan., 10, 2006

Key words: ENSO; EI Nion; La Nina; the roughness of the sea surface; sea surface wind speed; satellite altimeter

Abstract: We calculated values of roughness in 15 points using wind speed by TOPEX satellite Altimeter. We studied the changes of roughness during 1997~1999 (ENSO period) and compared them with roughness in 1996. We find some characteristics as follows: The largest roughness nearby equator is moving from station A to station C to station B and the smallest roughness is moving from station B to station A during the EI Nion period. The smallest roughness is in station A and the largest roughness is in station B during LI Nina period. The roughness of 15 stations in 1999 is bigger than those in 1996, 1997, 1998. The roughness of 4 seasons has prominent change during ENSO period when compared with 1996.

(本文编辑: 刘珊珊)