

## 太平洋东南海域海面高度的季节及年际变化特征

林丽茹<sup>1</sup>, 胡建宇<sup>1, 2</sup>

(1. 厦门大学 海洋系, 亚热带海洋研究所, 福建 厦门 361005; 2. 厦门大学 海洋环境科学教育部重点实验室, 福建 厦门 361005)

摘要 利用 1992~2001 年 Topex/Poseidon 卫星高度计遥感资料分析了太平洋东南海域 ( $5^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{S}$ ,  $70^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{W}$ ) 海面高度的季节及年际变化特征。研究结果表明, 海区海面高度的季节变化总体上受太阳辐射季节变化的影响, 南半球夏季(1~3月)和秋季(4~6月)大致为正距平, 而冬季(7~9月)和春季(10~12月)大致为负距平, 1996~1998 年除外; 同时, 受季节性风场、海区罗斯贝波等的影响, 海面高度变化的区域特征性很强。海面高度的年际变化在低纬处和沿岸还受 El Nino 影响。

关键词 太平洋东南海域; Topex/Poseidon; 海面高度距平

中图分类号 P731.2 文献标识码 A 文章编号 :1000-3096(2005)02-0037-06

研究的海区为  $5^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{S}$ ,  $70^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{W}$  范围内的东南太平洋(图 1), 除近岸一些区域水深小于 200m 外, 水深大部分在 3000~4000m 以上。海区全年风场比较相似<sup>[1]</sup>。风向转变基本上是以南太平洋副热带高压脊线为分界线, 以  $30^{\circ}\text{S}$ ,  $100^{\circ}\text{W}$  为中心逆时针方向旋转; 南太副高脊线夏季最靠南, 冬季最靠北; 南太副高脊线以北为信风区, 强信风区冬季位于  $5^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{S}$  之间的海域, 达全年最北, 夏季撤至全年最南; 而脊线以南的洋面上, 常年吹偏西风, 夏季西风带位置为全年最南, 出现在  $40^{\circ}$  以南, 冬季移至全年最北, 可达  $35^{\circ}\text{S}$ 。

传统的利用验潮站资料研究海面高度变化难以实现足够的空间覆盖率, 而卫星高度计的大尺度空间覆盖率正好可以用来研究大尺度的海面高度变化。Vega 等<sup>[2, 3]</sup>的研究表明, 海区 1995~1999 年低通海面高度距平的总变化和低通海表温度的总变化具有相同的分布特征; 海区海面高度距平的 EOF 分析结果显示, 第一模态反映年际变化, 第三、四模态则反映季节变化, 但其研究重点放在 Rossby 波的传播上。Chao 和 Fu<sup>[4]</sup>、Fukumori 等<sup>[5]</sup>、Webb 等<sup>[6]</sup>的模型结果显示东南太平洋存在一个水位变化较大的、呈三角形分布的区域, 西至东太平洋洋脊, 东至智利山脊, 南至南极洲沿岸, 但该区域只有小部分位于本研究海区。Strub<sup>[7]</sup>对沿岸剩余海面高度进行 EOF 分析, 得出沿岸海面高度的季节及年际变化。

作者将用 1992~2001 年 Topex/Poseidon(以下简称 T/P) 卫星高度计资料重点研究整个太平洋东南海域的海面高度变化特征, 并分析其变化的成因, 使我们对该海区的海面高度季节及年际变化特征有进一步的认识。

## 1 数据和方法

所用的数据为美国 NASA 的 JPL 实验室提供的卫星高度计海面高度距平资料 8.7 版。该版本的海面高度距平资料时间序列约 9 年(1992 年 9 月至 2001 年 2 月共 314 个周期), 为插值后的地面轨道格点上的数据。图 1 是卫星经过研究海区时的地面轨道。因为卫星在水深小于 200m 的地方所测得的海面高度值不可靠, 所以首先去除掉这些数据。剩下的有用数据根据所需要的时间尺度进行逐点平均。为得到海面高

收稿日期: 2004-06-30; 修回日期: 2004-12-23

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2001AA630701)

作者简介: 林丽茹(1980-) 女, 福建漳州人, 硕士研究生, 目前从事海洋环境动力学研究, 电话: 0592-2187671, E-mail:

linliru@xmu.edu.cn.

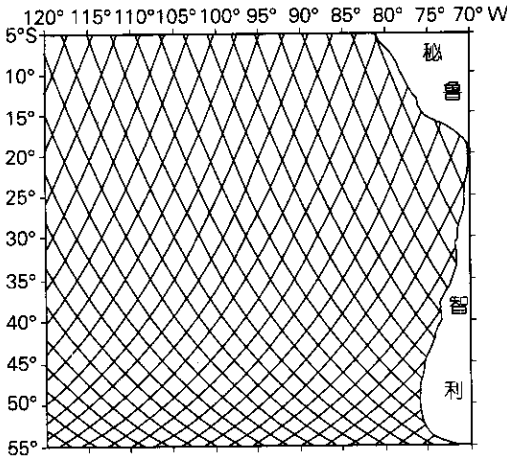


图 1 卫星经过研究海区的地面轨道

Fig. 1 T/P ground tracks in Southeast Pacific

度距平的空间分布特征 把平均完后的数据采用克里金(Kriging)插值方法插值到  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  网格上。

## 2 结果

### 2.1 海面高度距平的季节变化

图 2 给出 9a 平均的海面高度距平季节分布。本研究海区位于南半球,夏季为 1~3 月,秋季为 4~6 月,冬季为 7~9 月,春季为 10~12 月。从图中可以看出,夏季和秋季正距平居多,冬季和春季负距平居多。将逐月平均的海面高度距平格点数据在海区范围内进行空间平均,得到海区平均海面高度距平的时间序列,示于图 3。同时,将海区同期平均海表温度的时间序列也绘于图中,所用的温度数据为美国 NASA 的 JPL 实验室提供的 NOAA 气象卫星 AVHRR 的逐日

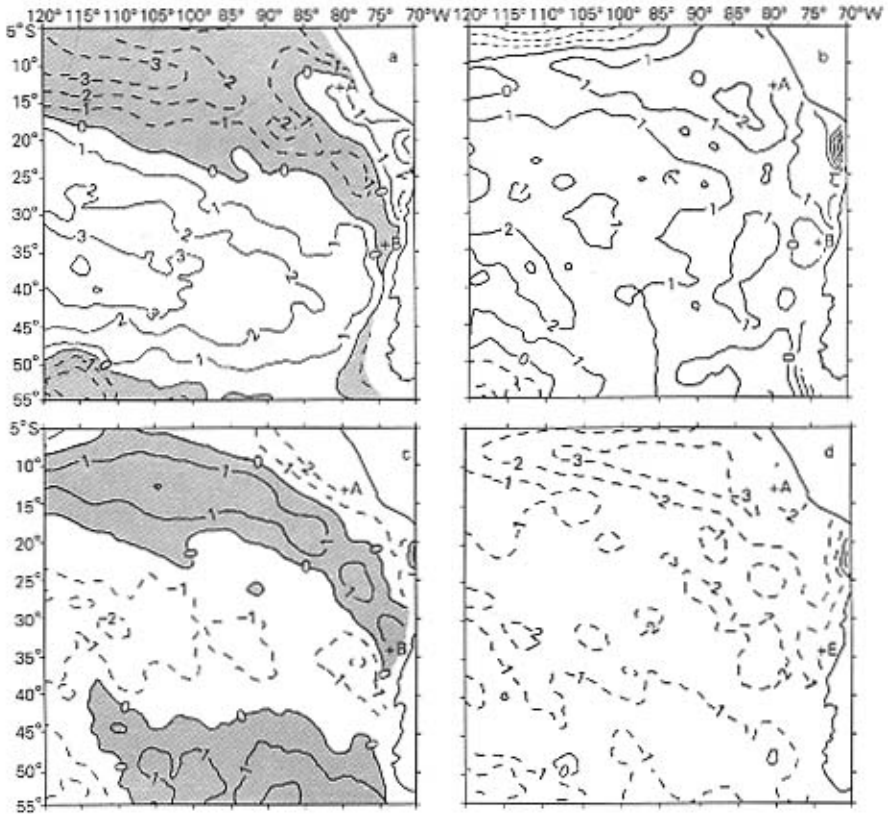


图 2 多年平均的海面高度距平分布(单位:cm)

Fig. 2 Multi-years seasonal mean sea level anomaly distribution(Unit:cm)

a. 夏季 b. 秋季 c. 冬季 d. 春季; ——正距平; - - - 负距平  
a. summer; b. autumn; c. winter; d. spring; ——positive anomaly; - - - negative anomaly

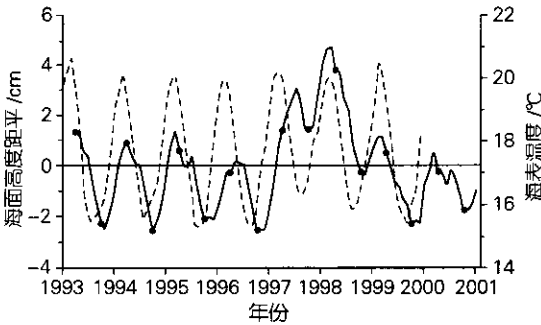


图3 海区平均海面高度距平和海表温度的月平均时间序列

Fig.3 Time series of area-mean sea level anomaly and sea surface temperature  
—海面高度距平; - - -海表温度  
—sea level anomaly; - - - sea surface temperature

海表温度。从图3中可以看到,海面高度距平在3月份前后大致都为正距平,9月份前后大致都为负距平,1996年、1997年除外(1996年3、9月份都为负距平,而1997年则都为正距平)。海表温度则在每年的3月份达最大值,每年的9月份达最小值。两者的相关系数在海面高度距平滞后1~2个月达最大值,分别可达0.58和0.61。可见,海面高度距平的变化对于温

度的影响有1~2个月的滞后时间,其季节变化受太阳辐射季节变化的影响。

从图2中还可以看到,夏季和冬季的海面高度距平具有很强的区域特征。不同区域的海面高度距平随季节的变化呈现不同的变化规律,据此可将海区划为4部分,即:秘鲁和智利沿岸,东太平洋中部向35°S沿岸伸展的带状区域,30°S以南、45°S以北的海区,45°S以南海区。

秘鲁和智利北部沿岸(30°S以北)冬、春季出现负距平(图2c,d),夏、秋季出现正距平(图2a,b),智利中部沿岸(33°~42°S)春、夏季为负距平,秋、冬季为正距平。图4给出了图2中A、B两点1992年9月到2001年2月逐月平均的海面高度距平和沿岸经向风速的时间序列,风速数据来自QuikSCAT1°×1°月平均资料。从图4中可以看出,A点风速夏季最小,冬季最大,海面高度夏季最大(因为El Nino的影响,所以未出现正距平),冬季最小,两者的相关系数达-0.51;B点风速夏季最大,冬季最小,海面高度距平冬季最大,夏季最小,两者的相关系数为-0.57。可见,沿岸经向风应力的变化影响沿海岸海面高度的变化,风应力越大,Ekman输送相应也越大,导致海面高度降低。

从图2a,c中还可以看出,从东太平洋中部向35°

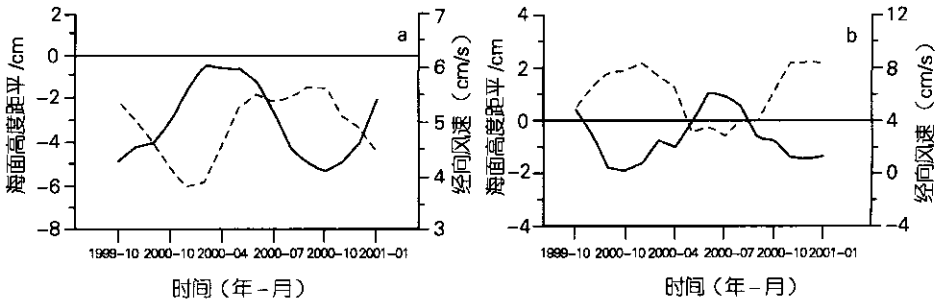


图4 图2中A点(a)和B点(b)海面高度距平和沿岸经向风速的时间序列

Fig.4 Time series of sea level anomaly and sea surface wind for point A(a) and point B(b) in Fig.2

—海面高度距平; - - -经向风速  
—sea level anomaly; - - - alongshore wind speed

S沿岸伸展一呈带状分布的水位季节变化明显的区域,越往高纬,带宽越窄(如图中35°S以北的阴影部分所示)。夏季为负距平分布(图2a),到了秋季,海区距平分布趋向于均一,带状消失(图2b);冬季带状分布重新出现,且呈正距平分布(图2c);到了春季又一次消失,重新往夏季负距平带状分布发展(图2d),以1a为周期传播,平均变化范围达5.8cm(夏季最小

值-3.5cm,冬季最大值2.3cm)。Vega等<sup>[2]</sup> EOF分析结果中的第3,4模态中也观察到了同样的带状分布,以1a或0.5a为周期传播信号。同时指出,这样的分布有可能是沿岸Rossby波的传播所致,因为纬度越高,Rossby相速度越慢,Rossby的变形半径越小。

30°S以南、45°S以北的海区,夏季呈正距平分布而冬季呈负距平分布,平均变化幅度达5.5cm以上,

变化中心位于  $30^{\circ} \sim 35^{\circ}S, 110^{\circ}W$ 。该中心刚好与南太平洋逆时针旋转风场的旋转中心一致,因为西风带的季节移动<sup>[1]</sup>,所以这个区域也是纬向风应力异常年信

号最强的地方。

在  $45^{\circ}S$  以南,冬季却出现幅度较大的正距平分布(图 2c 中  $35^{\circ}S$  以南的阴影部分),与东南太平洋海

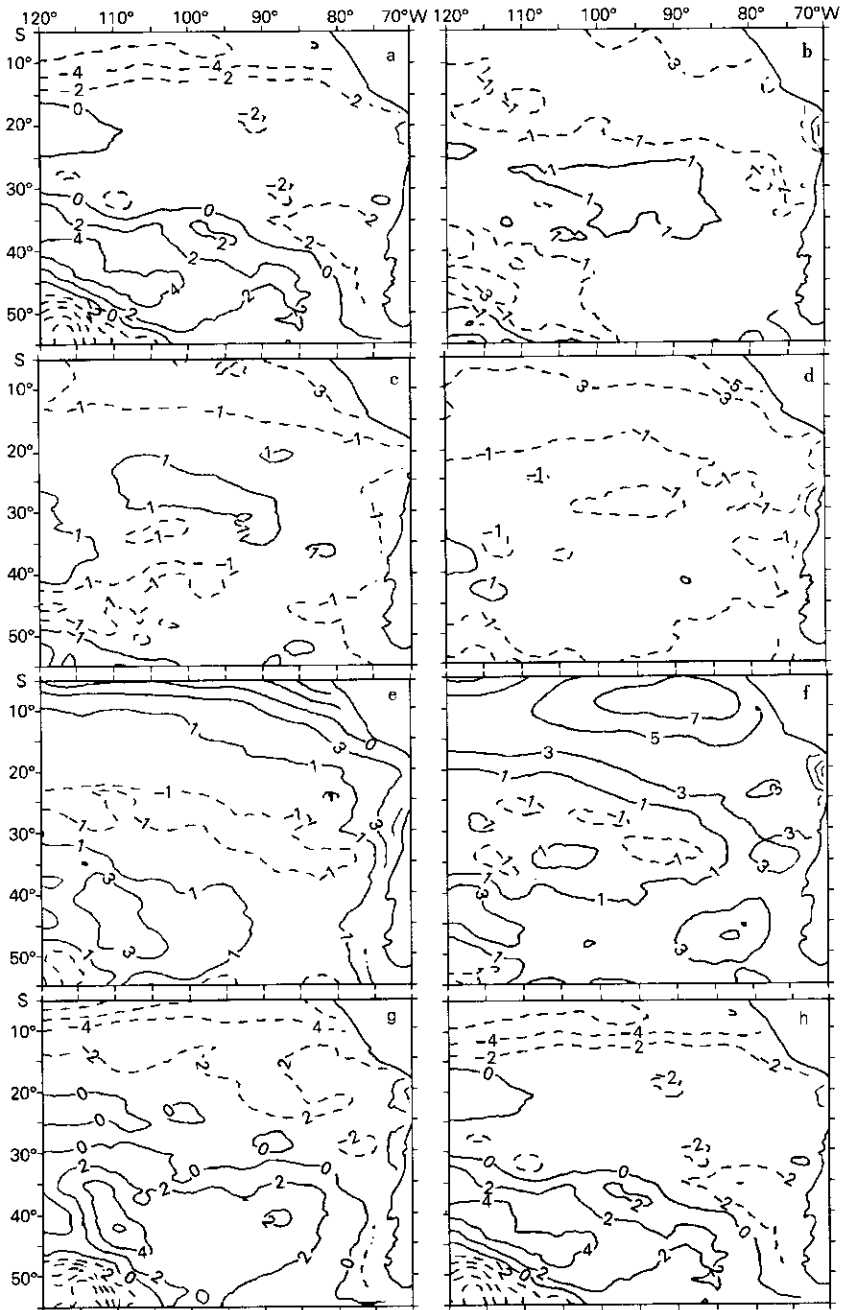


图 5 海面高度距平的年平均分布

Fig.5 Yearly mean sea level anomaly distribution

a ~ h 分别为 1993 ~ 2000 年; — 正距平; - - - 负距平

a ~ h represent year 1993 to 2000; — positive anomaly; - - - negative anomaly

盆的形状有相似之处。Chao 和 Fu<sup>[4]</sup>认为,该变化由风场的旋度所致,以 28d 为周期传播;而 Fukumori 等<sup>[5]</sup>的模型结果则显示了它可能是被海底地形所捕获的 Rossby 波所致。Webb 等<sup>[6]</sup>的高精度海洋模型的结果则发现海面高度变化与当地风应力、海底地形都有相关性。可见,风场的旋度、海底地形等是该区域冬季海面高度异常变化的主要原因。

图 4b, 4d 显示的秋季和春季的海面高度距平空间分布比较均匀,区域特征不明显,秋季整个海区几乎都呈 1 cm 的正距平分布而春季几乎都呈负距平分布。秋、春两季的风场具有过渡性质<sup>[1]</sup>,因而海面高度变化比较均匀。

## 2.2 海面高度距平的年际变化

除 1997 年、1998 年,1999~2001 年的海区平均海面高度距平相对于 1993~1996 年来说波动很小(图 3)。1996 年除 5 月份外全为负距平,1997 全年为正距平,1998 年除 10 月份外全为正距平,可见 1997 年、1998 年 El Nino 对海区平均海面高度距平年际变化的影响。

图 5 是 1993~2000 年海面高度距平的年平均分布图。从图中可以看出,低纬度海区(5°~15°S)年际变化最明显。在非 El Nino 年(1993~1996 年、1999~2000 年),低纬度海区呈负距平分布,且 El Nino 发生后年份(如 1999~2000 年)的负距平幅度要大于 El Nino 发生前(如 1995~1996 年);而在 El Nino 年(1997~1998 年)则出现异常高正距平,年平均值达 10 cm;且此正距平信号到达南美洲海岸后,分别沿海岸和向大洋内部传播,范围上向南可达整个海岸线,向西可到达 90°W,传播过程中幅度变小,持续时间为 1 年以上(1997 年 5 月~1998 年 8 月)。在这期间出现两次正距平高峰值,一次是 1997 年 5~7 月,另一次是 10~12 月,最高值达 30 cm,而中间则是一段过渡时间。这与许多文献报道的相一致<sup>[8,9]</sup>。由于风应力年际变化最大的地方出现在副热带高压的南翼(即 35°S 以南),而最小的出现在低纬度地区及沿岸<sup>[2]</sup>。可见,低纬度地区及沿岸海面高度距平明显的年际变化不是风应力的年际变化所致。Pizarro 等<sup>[10]</sup>的研究表明沿岸的这种年际变化为赤道信号所致。Vega 等<sup>[3]</sup>用模型研究了赤道信号在沿岸及大洋的传播机理,得出结果,海面高度距平向南经由沿岸 Kelvin 波传播,向西经由 Rossby 波传播。

## 3 小结

以上分析了太平洋东南海域海面高度距平的季节及年际变化特征,总结如下(1)海面高度距平季节变化总体上受太阳辐射影响。海区平均海面高度距平在夏季和秋季大致为正距平,而冬季和春季大致为负距平;1996~1998 年除外。(2)海面高度距平季节变化的区域特征性很强。冬、春季在秘鲁和智利北部沿岸出现负距平,夏、秋季在智利中部沿岸出现负距平;从东太平洋中部向 35°S 沿岸伸展的呈带状分布的水位变化剧烈的区域,夏季呈负距平,冬季呈正距平;30°S 以南、45°S 以北的海区,夏季呈正距平,冬季呈负距平,高纬处在冬季有一呈三角形形状的正距平分布。(3)海面高度距平的分布趋势大致是夏、冬两季相反且区域特征较强,春、秋两季相反且空间分布均匀。(4)海区海面高度的年际变化在低纬及沿岸受 El Nino 影响,在 1997 年出现异常高正距平,经沿岸 Kelvin 波、西向 Rossby 波向南、向西传播,传播过程中幅度变小,持续时间达 1 年以上。

### 参考文献:

- [1] 杨亮,刘金芳,张国友,等. 南太平洋风场时空统计特征分析[J]. 海洋湖沼通报, 2003, 2: 17-23.
- [2] Vega A, du - Penhoat Y, Dewitte B *et al.* Rossby waves in the Southeast Pacific Ocean: Seasonal and interannual model - data Intercomparison[C]. Topex/Poseidon Science Working Team 2000 meeting.
- [3] Vega A, du - Penhoat Y, Dewitte B, *et al.* Equatorial forcing of interannual Rossby waves in the eastern South Pacific[J]. *Geophys Res Lett*, 2003, **30**(5): 1-4.
- [4] Chao Y, Fu L - L. A comparison between the TOPEX/POSEIDON data and a global ocean general circulation model during 1992 - 1993[J]. *J Geophys Res*, 1995, 100: 24 965 - 24 976.
- [5] Fukumori I, Raghunath R, Fu L - L. The nature of global large - scale sea level variability in relation to atmospheric forcing: A modeling study[J]. *J Geophys Res*, 1998, 103: 5 493 - 5 512.
- [6] David J W, Beverly A de C. The region of large sea surface height variability in the southeast Pacific Ocean[J]. *J Phys Oceanogr*, 2003, **33**(5): 1 044 - 1 065.
- [7] Strub P T, James C. The 1997 - 1998 El Nino signal along the southeast and northeast Pacific Boundaries - an altimetric View[J]. *Progress in Oceanography*, 2002, 54: 439 - 458.

- [8] Chavez F P, Strutton P G, McPhaden M J. Biological – physical coupling in the central equatorial Pacific during the onset of the 1997 – 1998 El Nino[J]. **Geophys Res Lett**, 1998, 25: 3 543 – 3 546.
- [9] McPhaden M J. Genesis and evolution of the 1997 – 98 El Nino[J]. **Science**, 1999, 283: 950 – 954.
- [10] Pizarro O, Clarke A J, Gorder S V. El Nino sea level and currents along the South American coast: Comparison of observations with theory[J]. **J Phys Oceanogr**, 2001, 31: 1 891 – 1 903.

## Seasonal and interannual variation of sea surface height in southeast Pacific

LIN Li – ru<sup>1</sup>, HU Jian – yu<sup>1,2</sup>

(1. Department of Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China ; 2. Key Laboratory of Marine Environmental Science (Xiamen University) of Ministry of Education, Xiamen 361005, China)

**Received:** Jun., 30, 2004

**Key word:** Southeast Pacific; Topex/Poseidon; sea level anomaly

**Abstract :** The seasonal and interannual variation of sea level anomaly (SLA) of southeast Pacific ( $5^{\circ} \sim 55^{\circ}S, 70^{\circ} \sim 110^{\circ}W$ ) have been analyzed using Topex/Poseidon altimeter data during year 1999 ~ 2001. The result shows that the seasonal variation of SLA was related to seasonal solar radiation. Positive SLA dominated the studied area in austral summer (Jan. ~ Mar.) and autumn (Apr. ~ Jun.), while negative one dominates in austral winter (Jul. ~ Sep.) and spring (Oct. ~ Dec.), except for the years of 1996 ~ 1998. Meanwhile, due to seasonal variation of wind stress and the propagation of Rossby wave, SLA showed strong geographical difference. In addition, the interannual variation of SLA was affected by El Nino at low latitude and coastal areas.

(本文编辑 刘珊珊)