

# 西北太平洋 ENSO 年地转流特征分析

孙 龙<sup>1</sup>, 李希彬<sup>2</sup>, 余军浩<sup>1</sup>, 王树乐<sup>3</sup>

(1. 总参气象水文中心, 北京 100081; 2. 中国海洋大学, 山东 青岛 266100;  
3. 91439 部队, 辽宁 大连 116041)

**摘 要:** 本文利用 WOA01 (The World Ocean Atlas 2001) 提供的多年平均  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$  全球温、盐数据, 根据地转方程, 计算了  $20^\circ\text{S} \sim 70^\circ\text{N}$ ,  $100^\circ \sim 180^\circ\text{E}$  西北太平洋区域的基态动力高度; 利用 AVISO (CNES) 提供的 Topex/Poseidon 卫星高度计数据, 计算并分析了 ENSO 现象较为明显的 1997 年西北太平洋动力高度及地转流的分布与变化情况。

**关键词:** 西北太平洋; 动力高度; 地转流; ENSO

**中图分类号:** P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003 - 0239 (2008)3 - 0086 - 07

## 1 引言

洋流和大洋环流是一种主要的海洋动力现象, 对它的认识有着重要的科学价值和实用价值<sup>[3]</sup>。

众所周知, ENSO 对大气环流有着重要的影响, 然而在 ENSO 期间, 大洋环流是否也会受其影响而有所改变呢? 本文在对西北太平洋地转流特征分析的基础上, 从 Topex/Poseidon 资料中选取了 ENSO 现象较为明显的 1997 年, 并浅要的对该年地转流特征进行了比较分析。

## 2 计算动力高度的原理与方法介绍

### 2.1 海水运动基本方程<sup>[4]</sup>

海水运动一方面受动力因素影响, 另一方面受温度、盐度等热力学因子影响。一般可用速度场  $u$ 、 $v$ 、压力场  $p$ 、密度场  $\rho$ 、温度场  $\theta$  和盐度场  $S$  来描述变化着的海洋。选取固定在地球上与地球一起旋转的非惯性坐标系, 则单位质量海水相对于该坐标系的加速度为:

$$\frac{dV}{dt} = G + F_t - \frac{1}{\rho} \nabla p + F - 2\omega \times V - \omega \times (\omega \times r) \quad (1)$$

其中,  $G$  为单位质量海水所受的地心引力,  $F_t$  为单位质量海水所受的天体 (主要是

月球和太阳)的引潮力,  $-\frac{1}{\rho}\nabla p$ 为压强梯度力,  $F$ 为摩擦力, 最后两项为惯性力,  $-2\omega \times V$ 为 Coriolis 力,  $-\omega \times (\omega \times r)$ 为惯性离心力。

## 2.2 地转方程

地转方程<sup>[1]</sup>:

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + f v \quad (2)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - f u \quad (3)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g \quad (4)$$

事实上, 等压面的倾角非常小, 因此计算梯度流时是利用较易观测到的温度、盐度和深度(压力)资料, 首先计算海水的密度或比容, 进而进行等压面之间的位势差计算, 再进行地转流的计算<sup>[2]</sup>。

## 2.3 比容、动力高度及地转流速度的计算

### 2.3.1 比容的获取<sup>[1]</sup>

根据国际海水状态方程规定, 高压海水密度( $\rho$ ,  $\text{Kg/m}^3$ )可根据盐度( $S$ ), 温度( $\theta_{68}$ , )和海压( $p$ ,  $P_a$ ), 按下列方程求得:

$$\rho(S, \theta, p) = \rho(S, \theta, 0) \cdot \left[1 - \frac{(np)}{K(S, \theta, p)}\right]^{-1} \quad (5)$$

式中 $\rho(S, \theta, 0)$ 为一标准大气压( $P=0$ )下, 根据实用盐度( $S$ )和温度( $\theta_{68}$ , )计算出的海水密度。方程的适用范围是: 温度 $-2 \sim 40$ , 实用盐度 $0 \sim 42$ , 海压 $0 \sim 10^8 P_a$ , 压力匹配系数 $n=10^{-5}$ 。因比容即密度的倒数, 故可得比容:

$$\alpha(S, \theta, p) = \alpha(S, \theta, 0) \cdot \left[1 - \frac{(np)}{K(S, \theta, p)}\right] \quad (6)$$

### 2.3.2 压强的获取

在实际中 $\rho \approx 1035 \text{ kg/m}^3$ ,  $\Delta p = \rho g \Delta z = 1.014 \times 10^4 \Delta z$ , 近似等于 $10^4 \Delta z$  (只有 1.4% 的误差)。所以:  $\Delta p = 10^4 \Delta z$  (以米为单位的深度差)。

### 2.3.3 动力高度及速度的计算<sup>[1]</sup>

设在与地转流向垂直的断面上有 $A$ ,  $B$ 两站, 两站之间的水平距离为 $L$ 。由 Helland—Hansen 公式, 相对流速可表示为:

$$\begin{aligned}
V_1 - V_0 &= \frac{g}{fL} (B_1 B_0 - A_1 A_0) = \frac{1}{fL} (g B_1 B_0 - g A_1 A_0) \\
&= \frac{1}{fL} \left( \int_{B_1}^{B_0} g dz - \int_{A_1}^{A_0} g dz \right) = \frac{1}{fL} \left( \int_{p_1}^{p_0} \alpha_B dp - \int_{p_1}^{p_0} \alpha_A dp \right) \\
&= \frac{1}{fL} \left( \int_{p_1}^{p_0} (\alpha_{35, 0, p} + \delta_B) dp - \int_{p_1}^{p_0} (\alpha_{35, 0, p} + \delta_A) dp \right) \\
&= \frac{1}{fL} \left( \int_{p_1}^{p_0} \delta_B dp - \int_{p_1}^{p_0} \delta_A dp \right) = \frac{1}{fL} \Delta D
\end{aligned} \tag{7}$$

式中  $D$  为从某一基准面起算的动力高度 (位势), 以动力米为单位;  $\alpha$  为比容, 以  $\text{m}^3/\text{kg}$  表示,  $\alpha_{35, 0, p}$  是盐度为 35、温度为 0、压强为  $p$  的条件下海水比容;  $\delta$  是比容改正量, 即实际温度、盐度条件下对  $\alpha_{35, 0, p}$  的修正,  $P$  是  $p_a$ , 等于  $1\text{N}/\text{m}^2$ 。

### 3 数据处理

#### 3.1 数据介绍

(1) 使用了 NOAA 中 NODC (National Oceanographic Data Center) 的 WOA01 (The World Ocean Atlas 2001) 数据。本文采用了其中  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$  的全球网格分析场的多年平均的温盐数据<sup>[4]</sup>。

(2) 使用了 CNES 的 AVISO 中由 Topex/Poseidon, Jason and ERS-1/2 观测的 SSHa 资料 (从 1992 年 10 月 ~ 2004 年 1 月)<sup>[5]</sup>。

#### 3.2 数据处理及分析

通过 1980 国际海水状态方程, 利用 WOA01 中的多年平均  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$  的温盐资料, 计算得到海洋中各点的比容, 然后选取一定的基准点和速度零面后, 求得海洋中各个深度的基态动力高度情况。

选取 ENSO 现象较为明显的 1997 年, 并对其进行平均处理, 得到该年的季平均、年平均的卫星高度资料。在求得多年平均的基态动力高度后, 将  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$  的分辨率, 处理成与 Topex/Poseidon 资料相对应的  $1/3^\circ$  网格分辨率形式。Topex/Poseidon 卫星高度资料本身只代表海表面的动力高度的变化情况, 并不含有平均场, 所以将处理后的基态动力高度数据与处理后的 Topex/Poseidon 中一段时间的资料相叠加, 得到相应时段内海洋的动力高度变化情况。

### 4 计算结果与分析

#### 4.1 西北太平洋地转流

以水深 1000m 处为基准面, 所选区域动力高度和地转流流速图如下所示:

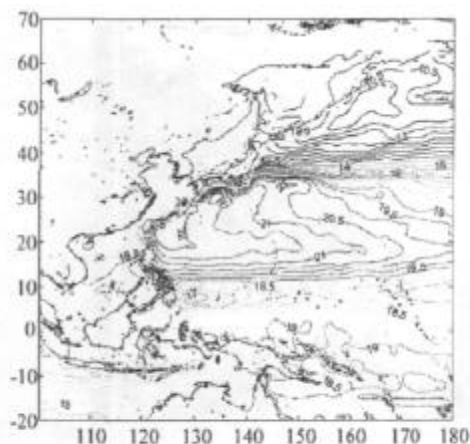


图 1 1000m 为基准面动力高度示意图

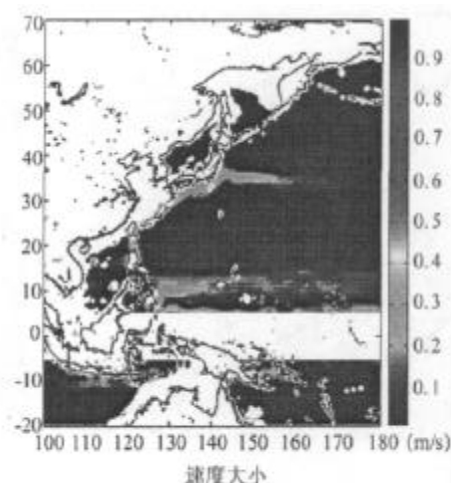


图 2 地转流流速示意图

图 1 中,大洋西岸等动力高度线密集,压强梯度大,流线密集,流速大。动力高度的最大值出现在中低纬度的太平洋西岸,即台湾以东及日本以南区域,其最高值可达 22 左右,而最低值则出现在中高纬度海区,在白令海峡,阿拉斯加海流逆时针旋转南下,与亲潮汇合区域,其最低值可达 10 左右。在  $15^{\circ} \sim 32^{\circ}\text{N}$ ,  $130^{\circ}\text{E}$  以东,即在黑潮以东,与向西流占优势的信风流区域和向东流占优势的西风漂流区域之间,有一个过渡区。图 1 中还存在几条清晰的不连续线:首先是赤道逆流界线,在  $8^{\circ}\text{N}$  附近,由方向相反的两支海流相遇而成,北部为北赤道流,海水流向为自东向西,南部为南赤道流,海水流向为自西向东,中间即赤道逆流,可以清楚地看清它们的轮廓。其次是  $40^{\circ}\text{N}$  以北,在寒水环流与温水环流交界的地方,形成一个海水性质迥然不同的“不连续层”。另外,对深度小于 1 000m 的海域,由于靠近大陆深度较浅,缺少资料,没有进行计算,所以图 1 中黑潮左侧不很完善。由于赤道附近科氏参数为 0,地转关系不成立,所以未计算赤道南北  $5^{\circ}$  范围内地转流速。图 1 中我们所得到的西北太平洋大洋环流的基本模式,是由一个中低纬度的反气旋式环流和一个中高纬度的气旋式环流所组成,这与西北太平洋表层流场分布是相吻合的,与地球表面风的地理位置分布也是一致的<sup>[3]</sup>。

将图 1 与图 2 相对照可看出:

(1) 在日本南部及东南部的沿大洋西岸的黑潮及黑潮续流区域( $20^{\circ} \sim 35^{\circ}\text{N}$ ,  $122^{\circ} \sim 160^{\circ}\text{E}$ )等动力高度线和流线最为密集,压强梯度力最大,从图 2 可以看出,这里海水流速非常大。

(2) 在  $10^{\circ} \sim 15^{\circ}\text{N}$  之间,北赤道流区域流线较为密集,但这里的科氏参数非常小,所以所得海水地转流速最大。

(3) 在  $10^{\circ}\text{S}$  附近也有类似现象。其他区域流速较为均匀,流速均不大。

## 4.2 西北太平洋 1997 年地转流年平均特征与季节特征分析

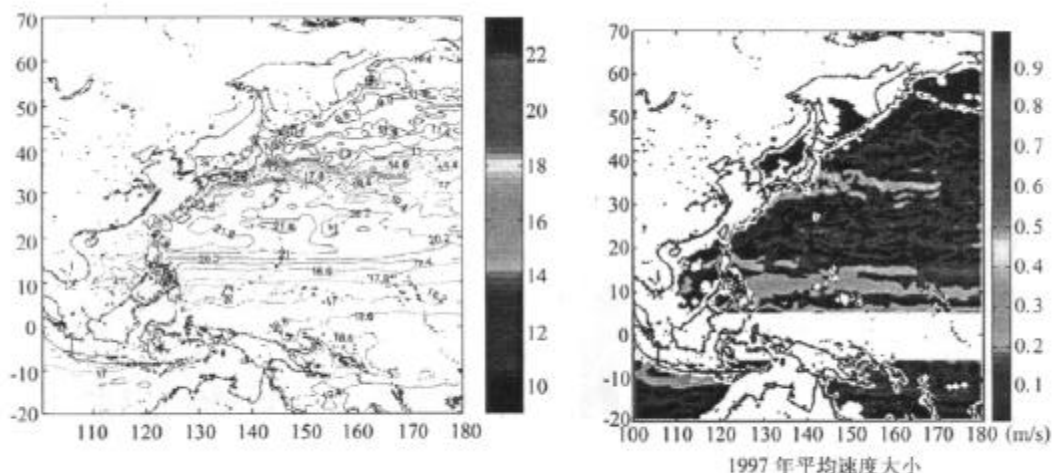


图 3 1997 年西北太平洋动力高度等值线图 图 4 1997 年西北太平洋地转流流速等值线图

将 1997 年 Topex/Poseidon SSHA 资料进行年平均处理后与经过插值处理的基态动力高度数值相叠加,得到图 3 所示的 1997 年动力高度等值线图,通过动力高度可计算得到地转流速度,其大小分布见图 4。与图 1 相比,图 3 的流线较杂乱,且存在多处涡旋。此外:

(1) 图 3 中,在太平洋西岸,动力高度最大值为 21.8,而基态图中此处区域的动力高度最大值为 22;图 3 中日本南部为流线最密集区,从图 4 中我们可知,此处也是西北太平洋地转流速最大的区域之一,其动力高度最小值为 15.6,而基态图所示此处区域的动力高度最小值为 16。

(2) 在阿拉斯加海流逆时针南下,与亲潮汇合区域,动力高度最小值为 9.8,且多涡旋,而基态图中此处区域的最小值为 10.5。

(3) 在北赤道流南部及赤道逆流区,动力高度数值要小于基态的动力高度数值,最小值可达 16.2,而基态的动力高度数值最低为 17。赤道流上部的最大值均为 21,在此区域动力高度梯度要大于基态的动力高度梯度。

(4) 日本东部,140°E 以东的黑潮续流区域,形成多处涡旋,而在涡旋上部,流线密集,梯度逐渐变大,与此不同,基态图所示此处区域少有涡旋,且流线密集。

(5) 图 3 中,日本南部及东南部沿大洋西岸的黑潮及黑潮续流区域,等动力高度线和流线最为密集,压强梯度最大,而图 4 中,这里的海水流速也最大。其他区域的流速相对于上述区域较小,一般均在 10cm/s 以下,在高纬度白令海峡海区流速出现最小值。

图 5 为 1997 年春夏秋冬四季地转流流速大小示意图。从图中我们可以看到,春季、夏季,特别是夏季,赤道以北,5°N、125°~140°E 处,地转流流速很大,而进入秋冬季后,此处流速开始减小。四季中,地转流在日本以东,黑潮续流延伸至北太平洋流处均有较大流速,其中最大值出现在秋季,最大值可达近 90cm/s。而东部北赤道流流速则随时间的变化而逐渐变大,至冬季达到最大。其他区域,在北赤道流及黑潮续流和北太平

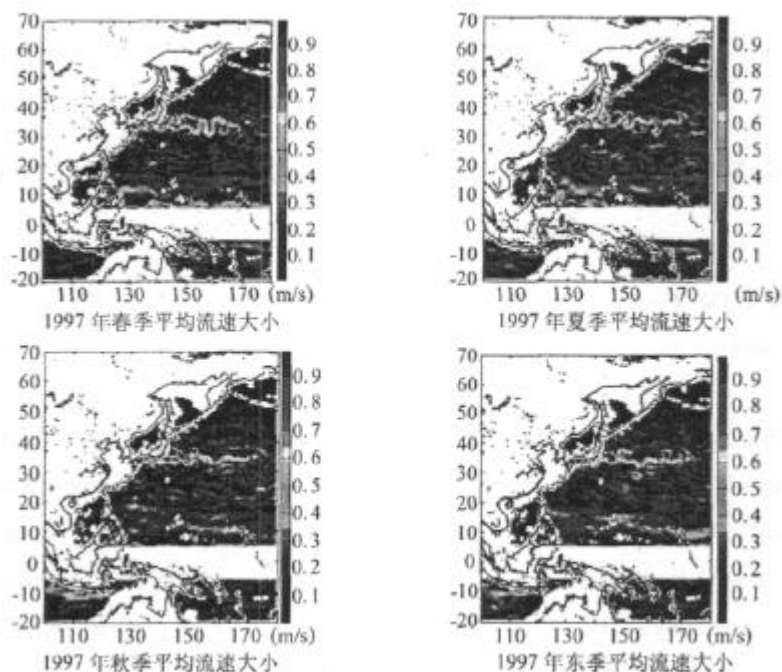


图 5 1997 年四季地转流大小示意图

洋流之间区域以及北太平洋流以北区域,速度相对较小,且随时间变化不大。四季的最小流速出现在白令海峡附近,最小值仅为几厘米每秒。

## 5 结论

(1) 与多年平均状况相比,1997 年,西北太平洋海流流线较为杂乱,且存在多处涡旋。

(2) 1997 年,太平洋西岸、日本南部海域、阿拉斯加海流与亲潮汇合区域、北赤道流南部及赤道逆流区域,动力高度值均小于多年平均基态值,而赤道逆流上部则大于多年平均基态值。

(3) 1997 年四季中,地转流在赤道以北、日本以东以及黑潮续流延伸至北太平洋均有较大流速,其他区域速度相对较小,且随时间变化不大。

## 参考文献:

- [1] 叶安乐,李凤岐. 物理海洋学 [M]. 青岛海洋大学出版社, 1992, 12: 42 ~ 45, 241 ~ 249.
- [2] 冯士筌,李凤岐,李少菁. 海洋科学导论 [C], 1999, 154 ~ 158, 167 ~ 172.
- [3] 梁振英,李 明,牟秀珍. 对西北太平洋海域表层密度流的初步探索 [J]. 测绘学报, 1998, 27 (1):
- [4] [www.nodc.noaa.gov](http://www.nodc.noaa.gov).
- [5] <http://www.aviso.oceanobs.com/html/> <ftp://ftp.cls.fr/pub/oceano/enact/msla/>

## Analysis of the Geostrophic Current of Northwest Pacific in ENSO Years

SUN Long<sup>1</sup>, LI Xi-Bin<sup>2</sup>, YU Jun-hao<sup>1</sup>, WANG Shu-Le<sup>3</sup>

(1. Hydrometeorological center of the general staff, Beijing 100081 China ; 2. Ocean university of china, Qingdao 266100 China ; 3. PLA 91439, Dalian 116041 China)

**Abstract :** This paper used the  $1/4^\circ \times 1/4^\circ$  grids salinity and the temperature data of the WOA01 which is the average of many years, then the ground state dynamic height of the northwest pacific ( $20^\circ\text{S}$   $70^\circ\text{N}$  ,  $100^\circ\text{E}$   $180^\circ\text{E}$ ) is calculated, and maps of sea surface dynamic height have been plotted. The Mercator  $1/3^\circ$  grids Topex/Poseidon sea surface height anomaly datas are used to analyse the distribution and transformation of geostrophic current of 1997, in which year the ENSO phenomenon is in evidence.

**Keywords :** northwest pacific ; dynamic height ; geostrophic current ; ENSO