

利用 Argo 浮标定位信息估算分析 赤道太平洋中层流场状况

陈奕德, 张 韧, 蒋国荣

(解放军理工大学气象学院海洋与空间环境系, 南京, 211101)

摘 要: 本文利用 Argo 浮标的定位信息, 经过较为严格的质量控制与误差估算, 得到 2003 ~ 2005 年赤道太平洋区域中层流场信息, 并对其进行较为详细的诊断与分析, 得到以下几个结论: (1) 棉兰老涡、赤道逆流和南赤道流在中层流场中多数时间清晰可辨, 北赤道流较弱, 有时不易分辨。(2) 棉兰老涡、赤道逆流和南赤道流都存在明显的季节变化。一般在 2、3 月间最弱, 8、9 月间最强。(3) 棉兰老涡、赤道逆流和南赤道流存在较明显的年际变化。(4) 赤道逆流通常表现为两支, 分别位于东赤道太平洋和西赤道太平洋, 东太平洋支主轴位置大约在 $7 \sim 8^{\circ}\text{N}$ 附近, 西太平洋支主轴位置大约在 3°N 附近。

关键词: Argo 浮标; 赤道太平洋; 中层流场; 误差估算; 诊断分析

中图分类号: P731 文献标识码: A 文章编号: 1003 - 0239(2006)4 - 0037 - 10

1 引言

大洋环流的研究在物理学中是一个非常重要的方面, 大洋环流的变化对航海、军事、海上捕鱼等人类活动有着极其重要的意义^[1], 因此, 大洋环流的研究受到世界各国的重视。有关太平洋海洋环流, 特别是对副热带、热带和赤道带环流的调查研究, 近数十年来已蓬勃展开。其中, 日本气象厅从 1967 年开始对西北太平洋 137°E 断面进行监测, 已持续了三十多年, 同时对 155°E 断面也进行了大量调查^[2~3], 对于断面上的黑潮、黑潮逆流^[4]、副热带逆流^[5]、北赤道流、北赤道逆流^[6]的情况已有一定程度认识。美国与澳大利亚进行的“赤道西太平洋环流研究(WEPOCS)^[7~8]”、中国和美国合作的“中美热带西太平洋海气相互作用合作研究^[9]”对太平洋低纬度西边界流域进行了直接的环流观测, 使人们对这一区域的环流形势有了初步的了解。然而这种独立海洋断面的考察并不能对大洋环流进行有效的描述, 也难以研究洋流的季节变化和年际变化。由此, 人们使用数值模式对大洋环流进行模拟, 做了不少工作^[1, 10~11], 其模拟结果^[1]中指出太平洋的北、南赤道流以及赤道逆流在 1 000m 与 2 000m 之间全部变成一股由西向东的海流。同样, 孙湘平^[3]利用 137°E 断面资料统计结果也认为北赤道流、赤道逆流为浅层流或近表层流, 速度零线最深仅到 400m。然而, 本文根据近年来的 Argo 浮标定位信息估算得到太平洋

南赤道流、北赤道流和赤道逆流都可以表现为深层流的性质,并且流速流向都存在较为明显的季节变化和年际变化,这与于非等^[12]利用 NCEP 资料计算得到棉兰老涡海流及北赤道流、北赤道逆流流量的年际变化和季节变化是有相似之处的。

2 资料说明

本文研究区域为赤道太平洋(120°E ~ 100°W, 10°S ~ 20°N)区域,使用 2003 年 ~ 2005 年的“Argo 全球海洋观测网”的资料,浮标数据由中国 Argo 实时资料中心提供。由于“Argo 计划”从 2000 年开始启动,此后浮标在全球各个区域逐渐增加,因此研究区域内的资料数量也是逐渐增加的。

Argo 浮标是一种自律式拉格朗日环流剖面观测浮标,当它被布放到某海域后,它会自动潜入浮标设定的最大深度(大约 2 000m)等密度层上,随深层海流保持中性漂浮,到达预定时间(约 10d)后,它又会自动上浮,在上浮过程中利用携带的各种传感器进行连续的剖面测量。当浮标到达海面后,把测量得到的温度、盐度和压力等剖面资料通过卫星传送到设在陆上的接收站,同时浮标的位置信息也通过卫星传送到接收站,资料传送完毕后浮标再次下沉到预定的深度进行新一轮观测^[13-14](见图 1)。由此,浮标每一个循环得到一组数据,包括测量得到的剖面数据、发射信息时的时间、经度和纬度信息。

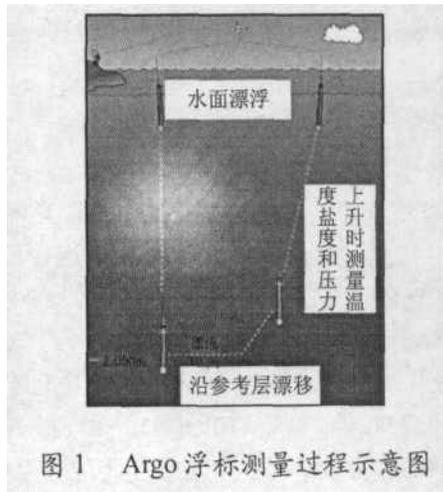


图 1 Argo 浮标测量过程示意图

3 数据处理及误差估算

Argo 资料记录了浮标每次上浮至海表发送数据时浮标所处的经纬度位置,根据相邻两次浮标上浮的定位数据和确定浮标在两个时间间隔内的位移,由此可以估算大洋环流的方向和量级。

设某 Argo 浮标相邻两次发送数据时间分别为 t_1 和 t_2 , 所处的经、纬度位置分别为 (θ_1, λ_1) 和 (θ_2, λ_2) , 则浮标在时间 $\Delta = t_2 - t_1$ 内的位移近似写成:

$$\Delta S = a \cdot \arccos(\sin(\lambda_1)\sin(\lambda_2) + \cos(\lambda_1)\cos(\lambda_2)\cos(\theta_2 - \theta_1)) \quad (1)$$

其中, a 为地球平均半径, ΔS 为浮标移动的球面距离。因此平均速度可以写成:

$$\bar{V} = \Delta S / \Delta t \quad (2)$$

其中, \bar{V} 的方向根据两个观测剖面的相对位置可以确定。

但这样计算得到的浮标漂移速度用来表示中层流场存在较大的误差, 误差来源主要有 3 个方面^[15]: (1) 卫星对 Argo 浮标的定位精度存在误差; (2) Argo 浮标并不是在同一个参考面上漂浮, 而是存在两个深度差距较大的漂移参考面, 在不同参考面上浮标的漂移速度差异较大; (3) 浮标存在升降运动。由于中国 Argo 实时资料中心提供的数据中每个浮标剖面文件只有一个定位数据, 即只有浮标上浮到海表开始发射信号时的定位数据, 而没有信号发射结束后浮标开始下潜时的定位数据, 因此本文估算的浮标漂移速度中, 浮标在不同参考面上漂移导致的误差将比文献[15]更大一些。为此, 本文需要对 Argo 资料实行严格的质量控制(QC), 同时还将对误差进行大致的估算。

Argo 资料的质量控制^[16]主要包括以下方面: (1) 根据 Argo 资料实时和延时质量控制过程, 舍弃不合格数据; (2) 对“APEX”型浮标编号为“000”的剖面数据可能出现错误, 舍弃编号为“000”的剖面信息; (3) 绘图得到浮标漂移轨迹, 若轨迹混乱, 存在明显不合理现象, 则舍弃相应的浮标位置信息(这是系统对剖面观测时间计算错误或者剖面的定位错误导致的); (4) 若一个观测剖面有效层数少于 10 个, 则认为该浮标的传感器出了问题, 舍弃浮标的定位信息; (5) 根据温、盐、压资料计算浮标的观测深度^[17], 若最大观测深度超过 2 200m, 则可能是数据传输或解码出现错误, 舍弃浮标的定位信息; (6) 由于研究的是中层流场, 因此舍弃最大测量深度小于 800m 的浮标信息; (7) 实行最大平均速度控制, 舍弃平均速度大于 60cm/s 的速度结果^[15]; (8) 实行最长时间间隔控制, 舍弃两个剖面观测的时间间隔大于 20d 的速度信息, 由于时间间隔大于 20d, 则可能两个剖面之间存在其它观测剖面, 但已在先期的质量控制过程中被舍弃或由于其它原因导致剖面资料缺失。

下面开始对中层流场流速进行估算。设浮标位移 ΔS 使用的时间为 Δt , 其中浮标在海面漂移的时间(浮标上浮到达海面的时刻与浮标开始下潜的时刻之间的时间)为 Δt_1 , 浮标在设定的参考深度漂移时间为 Δt_2 , 浮标下潜使用时间 Δt_3 , 浮标上浮使用时间为 Δt_4 , 即 $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4$; 设表层海流流速为 u_1 , 中层流速为 u_2 , 中间层的平均流速为 u_3 , 且 $u_2 < u_1$; 同时设 Argo 浮标的定位误差为 ε 。因此, 浮标的总位移为:

$$\Delta S = u_1 \Delta t_1 + u_2 \Delta t_2 + (\Delta t_3 + \Delta t_4) u_3 \pm 2\varepsilon \quad (3)$$

于是中层流速可以表示为:

$$u_2 = \frac{\Delta S - (u_1 \Delta t_1 + (\Delta t_3 + \Delta t_4) u_3 \pm 2\varepsilon)}{\Delta t_2} = \frac{\bar{V} \Delta t - (u_1 \Delta t_1 + (\Delta t_3 + \Delta t_4) u_3 \pm 2\varepsilon)}{\Delta t_2} \quad (4)$$

为了估算主要误差, 本文只能忽略一些次要的误差。由浮标的工作原理(见图 1)及文献[18], 不妨假定浮标的下潜十分迅速, 同时浮标在充分感应温、盐、压的前提下上

浮也十分迅速,即 $\Delta t_3 = \Delta t_4 \approx 0$ 。这样,速度误差主要由于表层流速和浮标在表层的漂移时间及浮标定位精度导致:

$$u_2 = \frac{\bar{V} \Delta t - (u_1 \Delta t_1 \pm 2\varepsilon)}{\Delta t_2} \quad (5)$$

可以看出,浮标位移 $\bar{V} \Delta t$ 和浮标的定位误差 ε (定位精度为 $350 \sim 1000\text{m}^{[19]}$)确定的情况下, Δt_1 和 u_1 越小, Δt_2 越大,则计算得到的 u_2 误差较小。根据浮标的工作原理,浮标在设定参考深度漂移的时间约为 10d ,在海表发射数据信息的时间约为 $6 \sim 12\text{h}^{[13]}$,而从实际资料中发现不少浮标在参考深度漂移时间不足 10d ,另外根据Argo实时资料中心提供的我国自行投放的Argo浮标资料(包含了浮标到达海表和开始下潜的多个时间信息)显示,浮标在海表漂移的时间一般为 $5 \sim 8\text{h}$,同时,热带太平洋区域表层最大流速约为 $80 \sim 150\text{cm/s}$ 。为了充分估计误差,在误差估算中将取为 8h ,表层流速取为 $\pm 150\text{cm/s}$ (考虑表层和中层流速存在反向情况),定位精度取为 1000m 。将计量单位统一后可得:

$$u_2 = \frac{(\Delta t_2 + 28800)\bar{V} - (\pm 4320000 \pm 200000)}{\Delta t_2} \quad (6)$$

同样为了充分估计误差,将括号中的正号与正号相加,负号与负号相加,则:

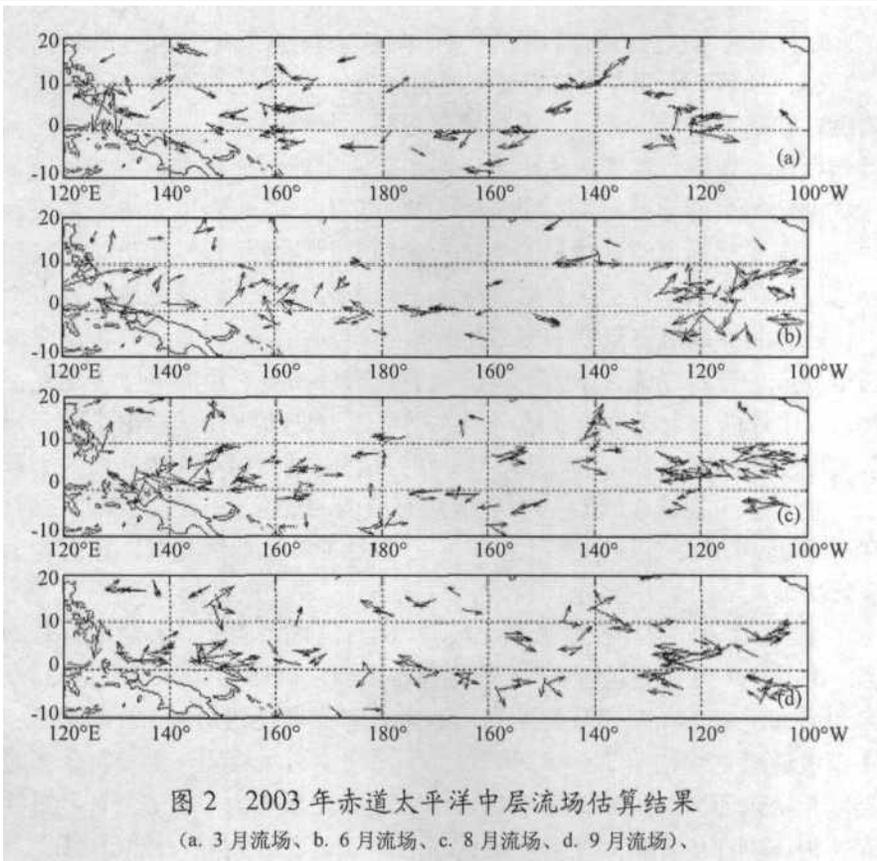
$$u_2 = \frac{(\Delta t_2 + 28800)\bar{V} \pm 4520000}{\Delta t_2} = \bar{V} \frac{(\Delta t_2 + 28800)\bar{V}}{\Delta t_2} \pm \frac{4520000}{\Delta t_2} \quad (7)$$

在(7)式中, \bar{V} 和 Δt_2 可以根据资料直接计算,即 u_2 的取值范围可以大致确定,而 u_2 的方向根据两个观测剖面的相对位置也可以确定。对于 u_1 、 u_2 同方向的情况, u_1 与定位误差的共同效应仅仅是改变了 u_2 的大小,而不改变其方向;对于 u_1 、 u_2 反方向的情况,如果计算得到的 $u_2 < 0$,则浮标的位移主要是由于 u_1 和定位误差共同导致的。本文主要目的是为了定性讨论赤道太平洋中层流场情况,因此只要计算得到的 $u_2 > 0$,则根据两个观测剖面的相对位置确定的流向就可以表示大洋中层流场的平均运动方向,同时流速的变化范围也可以得到比较好的估算。因此,我们在质量控制过程中需要增加一个过程,即舍弃 $u_2 = 0$ 的所有速度结果。经过资料质量控制和误差估算后,本文将 u_2 的前两项(即 $\bar{V} + \frac{28800\bar{V}}{\Delta t_2}$)分解为经向速度和纬向速度,以月为单位,绘出2003年1月到2005年12月的速度矢量,进行诊断分析。

4 结果分析

在下面的讨论中,本文将逐年逐月描述其变化,但考虑篇幅因素,只给出比较典型的流场图。由于本文讨论的层次深度从 $800 \sim 2200\text{m}$,可能不同层次上的流场有所区别,因此本文只考虑占主体地位的海流,一些零散的速度矢量不在本文讨论范围内,同时,海流的增强或减弱也主要从海流的范围变化考虑,而不考虑其流速。

(1) 2003年



1 月资料较少, 计算结果主要集中在赤道中西太平洋, 赤道逆流主要集中在赤道零线附近, 由西向东逐渐南倾, 北赤道流依稀可见, 南赤道流较弱, 棉兰老涡中心大约在 (140°E 、 10°N)。2 月中东太平洋资料逐渐增多, 170°E 附近北赤道流增强并南移, 棉兰老涡减弱, 赤道逆流只在 $145^{\circ} \sim 180^{\circ}\text{E}$ 的赤道附近存在且流幅宽约仅有三个纬度, 南赤道流增强。3 月赤道逆流基本消失, 南赤道流较 2 月有明显增强, 整个区域基本为向西的流动(见图 2a)。4 月南北赤道流都有所增强, 棉兰老涡向东南的流速增大, 140°E 赤道附近开始出现赤道逆流。5 月北赤道流减弱, 其它海流与 4 月差异不大, 但东太平洋 5°N 附近区域开始出现一些向东的流动。6 月在西太平洋, 南赤道流北进到达赤道, 赤道逆流位于 3°N 附近; 在东太平洋, $5^{\circ} \sim 10^{\circ}\text{N}$, $160^{\circ} \sim 100^{\circ}\text{W}$ 区域出现一个清晰的赤道逆流, 同时这支赤道逆流似乎在 150°W 附近存在向南渗透的迹象, 致使赤道以南区域也有明显的向东流动, 东太平洋的南赤道流越过赤道到达 3°N 附近, 但被压缩在 $100^{\circ} \sim 12^{\circ}\text{W}$ 范围内, 向南渗透的赤道逆流与这支赤道逆流似乎形成了一个逆时针的涡旋(见图 2b)。7 月在西太平洋, 赤道逆流基本没变化, 南赤道流也维持在赤道附近; 在东太平洋, 赤道逆流更为明显, 南赤道流有增强的趋势; 从整个区域来看, 北赤道流很弱, 几乎难以分辨。8 月赤道逆流达到全年最强, 在西太平洋, 棉兰老涡增强, 形成明显的涡旋结构, 涡旋中心位于 140°E , 10°N 附近, 东西向长约 25 个纬度, 南北宽约 15 个纬

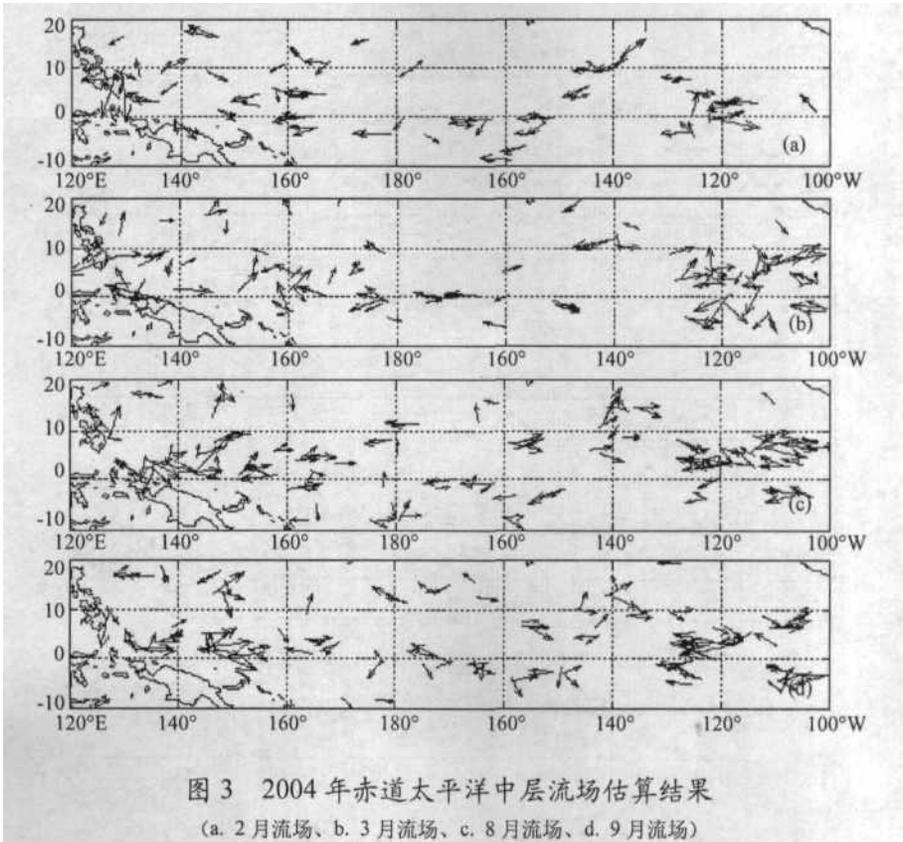
度,赤道逆流向南向东扩张,向南到达赤道,向东基本与西太平洋的赤道逆流连成一带,南赤道流减弱,165°E 附近赤道逆流越过赤道,进入南赤道太平洋,赤道逆流的主轴位于 4°N 附近;在东太平洋,赤道逆流位置基本与 7 月份相同,主轴位于 8°N 附近,但南赤道流增强西进,到达日期变更线附近,切断了原来赤道逆流向南的渗透支,东南赤道太平洋区域全部被南赤道流控制(见图 2c)。9 月东太平洋南赤道流继续增强西进,与西太平洋较弱的那支南赤道流连成一个大的赤道流,北面到达 3°N 附近,不仅切断了原西太平洋赤道逆流向南太平洋的扩张,而且由于南赤道流在日期变更线附近有个向北的逆时针弯曲,同时北赤道流在日期变更线附近有个向南的顺时针弯曲,再次将赤道逆流切断形成两个独立的赤道逆流,东太平洋赤道逆流有所减弱,西太平洋赤道逆流维持不变(见图 2d)。10 月棉兰老涡有所减弱,西太平洋赤道逆流较强,但由于南赤道流的持续增强,东太平洋赤道逆流被压缩减弱。11 月棉兰老涡减弱到不清晰,西太平洋赤道逆流减弱,东太平洋赤道逆流也较弱,南赤道流有减弱的迹象,向西仅越过日期变更经线,但在 170°W 附近可能有南赤道流到达 10°N;12 月各海流继续减弱,仅有中西太平洋的南赤道流较为清晰。

从全年来看,2 月、3 月各海流都比较弱,4 月后棉兰老涡、赤道逆流和南赤道流都逐渐增强,8 月、9 月达到最强,10 月后开始减弱,全年的北赤道流都比较弱。同时,赤道逆流和南赤道流可以明显分为两支,西太平洋赤道逆流最强时主轴位于 4°N 附近,东太平洋赤道逆流主轴位于 7°~8°N,西太平洋南赤道流较弱,主要位于赤道上,东太平洋南赤道流由东西向的扩张十分明显,强度较大。东南太平洋在 6、7 月间可能存在一个涡旋结构。2003 年赤道太平洋中层流场各个海流差异明显,相互作用也比较明显。

(2) 2004 年

1 月由于资料增多,东太平洋南赤道流表现比较明显,位于赤道两侧向西发展;赤道逆流从 157°E 向南到达赤道后向东延伸到 135°W 附近;棉兰老涡位置上得到的全是西向流,看不出涡旋结构。2 月东太平洋的南赤道流向西发展;赤道逆流减弱,仅存在于日期变更线到 140°W 的赤道上(见图 3a)。3 月在西太平洋,棉兰老涡出现,赤道逆流在 145°~170°E 赤道上开始形成,比 2003 年早,而且强度大,并且与原来位于日期变更线附近的赤道逆流结合,但由于受到南赤道流的作用,赤道逆流在日期变更线到 170°W 位置上进入赤道以南地区;在东太平洋,位于赤道以北的南赤道流逆时针转向南,在 130°~140°W 越过赤道,把原本位于这里的赤道逆流截断(见图 3b)。4 月南赤道流减弱,赤道逆流继续增强,基本贯穿整个太平洋,日期变更线以西及 130°W 以东部分,赤道逆流的主轴位于赤道附近,170°~130°W 的赤道逆流主轴大约在 5°S 附近。5~7 月,西太平洋海流变化不大;东太平洋南赤道流 5 月有所增强。6 月出现减弱,然后南移;相应的,东太平洋赤道逆流 5 月期间基本消失,6 月又沿赤道到达东太平洋,主轴位于赤道上,7 月主轴北移到达 7°N 附近,东西太平洋赤道逆流明显分为两支。8 月东西太平洋赤道逆流都有所增强,两支赤道逆流连成一带,西太平洋的赤道逆流主轴位于 3°N,东太平洋的赤道逆流主轴位于 8°N 附近;南赤道流在赤道以南增强西进,西太平洋一支较

弱(见图 3c)。9 月的流场形势与 2003 年 9 月相似, 棉兰老涡较强, 南赤道流在日期变更线附近有一个向北的逆时针弯曲, 北赤道流在相同经度上也有一个向南的顺时针弯曲, 导致东西太平洋的两支赤道逆流再次割裂, 两支赤道逆流强度都较大(见图 3d)。10 月, 南赤道流继续西进, 在 170°E 附近进入切断西太平洋的赤道逆流, 东太平洋的赤道逆流强度维持。11 ~ 12 月, 棉兰老涡、两支赤道逆流和南赤道流都减弱, 但北赤道流在 12 月有所增强。

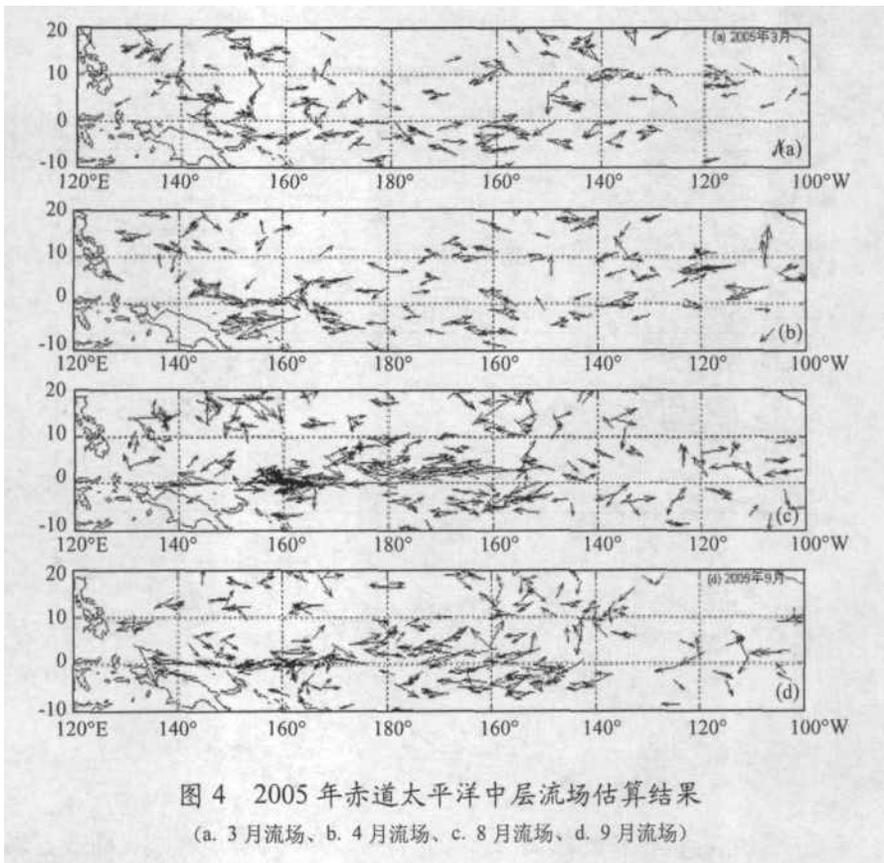


从全年看来, 北赤道流依然较弱, 南赤道流较 2003 年有所减弱, 棉兰老涡较强, 赤道逆流较 2003 年增强。赤道逆流 3 月开始发展, 强度迅速增长, 并长时间(4 ~ 10 月)维持较强的状态; 赤道逆流依然可以分为两支, 西太平洋一支位置和强度比较稳定, 东太平洋一支受南赤道流的影响巨大, 位置由赤道以南经过调整到达赤道以北, 强度也在调整过程中有所变化。2004 年赤道太平洋中层流场的相互作用主要表现为赤道逆流在东太平洋与南赤道流的相互调整中。

(3) 2005 年

1 ~ 4 月主要流场的变化与 2003 年类似, 研究区域内向西的赤道流占主体地位, 赤道逆流在 3 月最弱(见图 4a), 4 月棉兰老涡位置偏东, 中心位于(150°E , 8°N)附近(见图 4b)。5 月, 东西太平洋的赤道逆流都开始发展, 主轴都位于赤道上。6 月, 南赤道流

增强,西太平洋的赤道逆流北移,东太平洋赤道逆流减弱北移。7~9月,南赤道流达到三年来的最强,流轴十分明显,由中东太平洋 140°W 沿赤道向西直达西太平洋大陆沿岸。受其影响,东太平洋赤道逆流基本消失,西太平洋赤道逆流达到三年来的最北位置。8、9月的流轴位于 $6\sim 7^{\circ}\text{N}$,范围从 $140^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{W}$ 附近,同时,棉兰老涡也达到最强,中心位于 $(160^{\circ}\text{E}, 10^{\circ}\text{N})$,虽然南北宽度变化不大,但东西长度从西太平洋陆架边沿直达 175°W 附近(见图4c、d)。10~12月,随着南赤道流的减弱,棉兰老涡与赤道逆流也分别减弱。



纵观全年可以发现,北赤道流依然较弱,南赤道流和棉兰老涡分别达到三年中的最强状态,赤道逆流的东太平洋支出现不久就减弱消失,而西太平洋支北进到三年中的最北位置。2005年赤道太平洋中层流场特征主要表现为三个“最”:南赤道流最强、棉兰老涡最强和西太平洋赤道逆流最北。

5 结论及探讨

本文利用 Argo 浮标的定位信息,经过较为严格的质量控制与误差估算,得到 2003 年~2005 年(共 36 个月)赤道太平洋区域中层流场信息,并对其进行较为详细的诊断与

分析, 得出以下结论:

(1) 棉兰老涡、赤道逆流和南赤道流在中层流场中多数时间清晰可辨, 北赤道流较弱, 有时不易分辨。

(2) 棉兰老涡、赤道逆流和南赤道流都存在明显的季节变化, 一般在 2、3 月间最弱、8、9 月间最强。

(3) 棉兰老涡、赤道逆流和南赤道流存在较明显的年际变化。2003 年三支海流强度适中, 赤道逆流和南赤道流的互为进退调整形成了复杂的流场变化; 2004 年赤道逆流较强, 南赤道流减弱, 赤道逆流与南赤道流的相互作用主要体现在中东太平洋流场的变化上; 2005 年南赤道流和棉兰老涡为三年中最强, 而赤道逆流较弱, 西太平洋赤道逆流北进到三年中的最北位置。

(4) 赤道逆流通常表现为两支, 分别位于东太平洋和西太平洋, 东太平洋支主轴位置大约在 $7 \sim 8^{\circ}\text{N}$ 附近, 西太平洋支主轴位置大约在 3°N 附近, 两支逆流最强时会在日期变更线附近相互连接。

本文的不足之处在于, 为了使研究区域中各个位置上都具有足够的速度信息, 在中层流场的定义上取的深度范围比较宽 ($800 \sim 2200\text{m}$), 虽然经过严格的质量控制与误差估算, 但在速度场中依然存在一些零散的速度矢量与其周围的主要海流方向不相协调, 这可能说明了在 $800 \sim 2200\text{m}$ 深度上的某个(或某几个)层次上海流方向可能存在更为复杂的变化, 本文在分析讨论中已经忽略了这些零散的速度矢量。

参考文献:

- [1] 魏泽勋, 乔方利, 方国洪, 等. 全球大洋环流诊断模式研究-流场及流函数 [J]. 海洋科学进展, 2004, 22 (1): 1 ~ 15.
- [2] 蓝淑芬. 155°E 断面夏季温、盐度的基本特征 [J]. 海洋科学集刊, 1999, 41: 1 ~ 11.
- [3] 孙湘平. 西北太平洋副热带逆流、北赤道流、北赤道逆流几个特征的比较 [J]. 黄渤海海洋, 2000, 18 (1): 1 ~ 12.
- [4] 孙湘平. 137°E 经向的面上的黑潮与黑潮逆流 [J]. 黄渤海海洋, 1999, 17 (3): 1 ~ 9.
- [5] 顾玉荷, 孙湘平, 许兰英. 137°E 经向断面上的副热带逆流 [J]. 海洋学报, 1999, 21(5): 22 ~ 30.
- [6] Japan Meteorological Agency. The Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observation. 1968 ~ 1997, 41 ~ 86.
- [7] Lukas R, Firing E, Hacker P, et.al. Observations of the Mindanao Current during the western Equatorial Pacific ocean circulation study. J Geophys Res, 1991, 96 (C4): 7089 ~ 7104.
- [8] Lindstorm E, Lukas R, Fine R, et.al, The western Pacific Ocean circulation study, Nature, 1987, 330: 533 ~ 537.
- [9] Tode J M, Millard R C, Wang Zongshan, et.al, Observations of the Pacific North Equatorial Current bifurcation at the Philippine coast, J Phys Oceanogr., 1990, 20 (2): 307 ~ 318.
- [10] Bryan K, Cox M D, The circulation of the world ocean: A numerical study. Part . A homogeneous model, J Phys Oceanogr., 1972, 2: 336 ~ 354.
- [11] Fujio S, Imasto N. Diagnostic calculation for circulation and water mass movement in the deep Pacific. J Geophys Res, 1991, 96: 759 ~ 774.
- [12] 于非, 蒲书箴, 赵新, 胡筱敏. 热带西太平洋主要流系的季节变化和年际变化 [J]. 热带海洋, 2000, 19 (1): 30 ~ 37.
- [13] 徐建平. 阿尔戈全球海洋观测大探秘 [M]. 北京: 海洋出版社, 2002, 5 ~ 8.
- [14] 叶志敏, 张铭. 北太平洋冬季海水层结构分析 [J]. 海洋预报, 2004, 21 (1): 20 ~ 26.
- [15] XIE Jiping, ZHU Jiang, XU Li and GUO Pinwen. Evaluation of Mid-Depth Currents of NCEP Reanalysis Data in the

- Tropical Pacific Using ARGO Float Position Information. ADVANCES IN ATMOSPHERIC SCIENCES, 2005,22 (5) :677 ~ 684.
- [16] 董明荣, 刘增宏, 孙朝辉, 朱伯康, 许建平. ARGO剖面浮标数据质量控制过程剖析[J]. 海洋技术, 2003,22 (4) : 79 ~ 84.
- [17] Unesco. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. Unesco Tech. Pap. in Mar. Sci., 1983 ,44 : 53.
- [18] 余立中, 商红梅, 张少永. Argo 浮标技术研究初探[J]. 海洋技术, 2001,20 (3) :34 ~ 40.
- [19] 商红梅. 使用 Argos 卫星系统对 Argo 浮标进行定位和数据传输[J]. 海洋技术, 2001,20 (3) :41 ~ 43.

Evaluation and analysis of Mid-Depth currents of the equatorial pacific using ARGO float position information

CHEN Yide , ZHENG Ren , JIANG Guorong

(Institute of Meteorology PLA University of Sciences and Technology, Nanjing 211101 China)

Abstract : The paper evaluated and analyzed the mid-depth currents of equatorial Pacific using the Array for Real-time Geostrophic Oceanography (ARGO) float position information, which has been carried out a rigorous quality control scheme and error evaluation. We evaluated and analyzed the mid-depth currents form 2003 to 2005 to draw the following conclusions : (1) Mindalao eddy, North Equatorial Counter Current (NECC) and South Equatorial Current (SEC) in mid-depth currents can be identified clearly in most time, but North Equatorial Current (NEC) was week, sometime can not be identified. (2) Mindalao eddy, NECC and SEC were provided with obvious seasonal variation. Commonly, they were the weakest in February and March and the strongest in August and September in a year. (3) Mindalao eddy, NECC and SEC were provided with obvious annual variation. (4) NECC can be divided into two embranchments. One located in the eastern of equatorial Pacific, which principal axis was lied at about $7 \sim 8^{\circ}\text{N}$, another located in the western of equatorial Pacific, which principal axis was lied at about 3°N .

Key words : Argo Float ; Equatorial Pacific ; Mid-Depth Currents ; Error Evaluation, Diagnosis and analysis.