

西北太平洋暖池区台风对海表盐度的影响

许东峰^{1,2}, 刘增宏^{1,2}, 徐晓华^{1,2}, 许建平^{1,2}

(1. 国家海洋局海洋动力过程和卫星海洋学重点实验室, 浙江 杭州 310012; 2. 国家海洋局 第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012)

摘要: 分析了西北太平洋暖池区 2002 和 2003 年夏季 ARGO 浮标得到的次表层温度和盐度剖面, 结果表明大多数台风经过暖池区时, 会引起海面盐度下降, 这与 Kwon 和 Riser 等在大西洋观测到的飓风过后海面盐度上升的结论不同, 表明西北太平洋暖池区特有的上层结构以及台风在此海域的降雨与大西洋不同, 结果对研究西北太平洋暖池区的混合层混合和热交换过程有重要意义。

关键词: ARGO 浮标; 台风; 混合层; 海表盐度

中国分类号: P722; P732.6

文献标识码: A

文献编号: 0253-4193(2005)06-0009-07

1 引言

台风(飓风)是天气尺度上影响最大的海气相互作用过程, 对上层海洋的热交换、混合过程甚至生态过程有很大作用. 由于台风经过时海面风力加大, 混合加剧, 因此通常会引起混合层加深. 台风带来的海面气旋式风应力会导致数百千米半径内下层海水涌升, 引起跃层隆起. 这种跃层的变化会在台风过后持续几个惯性震荡周期^[1]. 台风经过后, 海洋到大气的热通量高达 100 W/m^2 , 在海洋混合层内有一个冷却过程, 表面混合层温度平均下降 $1 \text{ }^\circ\text{C}$, 台风对海洋的影响可以超过 1000 m 深度^[2]. 利用 ARGO 浮标资料, Kwon 和 Riser^[2] 认为冷水的涌升和向大气的直接热损失对上层海洋性质的改变基本是同等重要的, 而 D'Asaro^[3] 利用中性浮子资料(每 20 s 一次观测)发现对 1999 年大西洋的飓风 DENNIS 而言, 这种下层冷水的涌升以及台风路径右侧的平流带来的冷水对上层海洋的降温远大于海表面热交换的降温效果, 因此更精确的热交换研究需要更多的 ARGO 浮标资料. 下层冷水的涌升还会给贫瘠的上层热带海洋带来丰富的营养盐, 引起叶绿素浓度升高^[4].

过去关于台风对海洋影响的研究多集中于上层海洋热交换以及混合层和跃层的变化研究, 对盐度的研究很少. Kwon 和 Riser^[2] 估计了在飓风 DENNIS 经过期间, 混合层内盐度增加了 0.24 . 因此他们推断:“强烈的风暴引起的近表层蒸发及更深层高盐度盐跃层水的上升”. 那么这种结论是否具有普遍性? 事实上台风过程通常伴随着的降雨有利于海面盐度的下降. 我们的研究是想通过 ARGO 浮标观测的西北太平洋的海表到主温跃层以下大约 400 m 的水体中温盐的变化, 检验西北太平洋海表盐度 (SSS) 对台风的响应. 对于 SSS 的研究是近年来海洋界的热点^[5-7]. 在暖池区, 壁垒层^[8,9] 的发展也直接与海表降雨或蒸发^[10] 有关, 壁垒层的演变也影响着暖池的发展^[11]. 用于直接监测 SSS 的卫星的发射也已列入日程.

2 资料来源及处理方法

ARGO 浮标是一种称为自律式的拉格朗日环流剖面观测设备, 它的设计寿命为 $4\sim 5 \text{ a}$, 最大测量深度为 2000 m , 每隔 10 d 会自动发送一组剖面温盐观测数据, 通过 ARGOS 卫星转发给地面接收站,

收稿日期: 2005-03-05; 修订日期: 2005-08-13.

资助项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(2001CCB00200; 2001CCB00500; 2002CB714001); 国家自然科学基金资助项目(40346027); 国家海洋局青年基金资助项目(2002202).

作者简介: 许东峰(1966-), 男, 福建省莆田市人, 研究员, 博士, 从事物理海洋研究. E-mail: xudongfeng.hcn@yahoo.com.cn

最后到浮标的投放者手中. 国际 ARGO 计划设想用 3~ 5 a 时间(2000~ 2004 年), 在全球大洋中每隔 300 km 布放一个卫星跟踪浮标, 总计为 3 000 个, 组成一个庞大的 ARGO 全球海洋观测网^[12, 13], 目前全球海洋中正常运行的浮标已经超过 1 000 个.

我们使用了西北太平洋暖池区 2002 和 2003 年的 ARGO 浮标剖面资料, 包括代号为 5900222, 5900223, 5900226, 2900184, 5900121, 5900126, 5900173, 5900175, 5900266, 5900271, 5900020

(08509), 5900019 (08173) 等浮标, 其中 5900020 (08509), 5900019 (08173), 5900222, 5900223, 5900226(21335) 等浮标是由国家海洋局第二海洋研究所布放的. 在布放时还采集了当时的水样, 并与高精度盐度计进行对比, 以检验浮标观测的可靠性^[14]. 迄今为止我国投放的 21 个 ARGO 浮标主要集中在西北太平洋暖池区和东印度洋(图 1), 近一年来的数据, 已为本次 El Niño (2002/03) 的发展过程研究提供了近 300 多个剖面的实测资料.

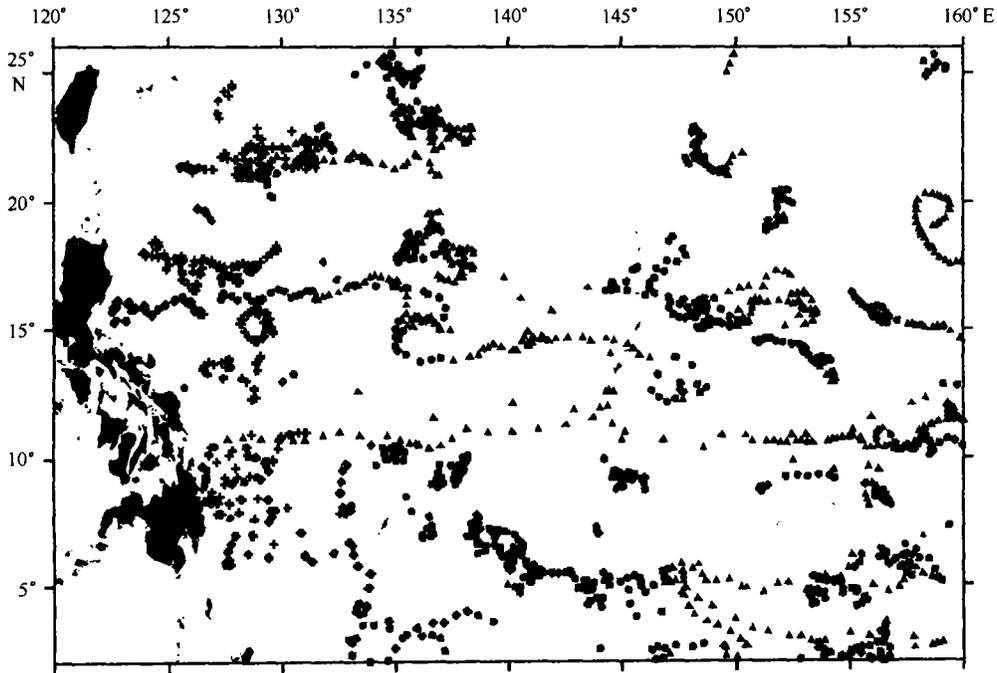


图 1 观测海区 2002~ 2003 年 ARGO 浮标观测的位置

十字形表示我国施放的浮标观测位置, 三角形表示 2002 年浮标观测位置, 圆形表示 2003 年浮标观测位置

这些浮标的观测深度都超过 1 000 m, 大多数达到 2 000 m, 每个剖面的间隔时间为 10 d, 采样深度为: 表层, 7~ 200 m 的间隔为 10 m; 200~ 800 m 的间隔为 20 m; 800 m 以下的采样间隔则为 50 m. 浮标平时停留在 1 000~ 2 000 m 深处, 上升、下降过程和在海面上传输信号都在几个小时内完成. 对比同时期的 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 卫星云图和降雨以及 NCEP 的降雨资料, 我们发现当台风经过时, 其中大多数 ARGO 盐度剖面显示 SSS 下降.

3 结果分析

我们统计并分析了 2002~ 2003 年西北太平洋 ARGO 浮标的相邻观测剖面(间隔 10 d)的间隔距

离, 平均为 19.9 km (2.2 cm/s), 最大为 64 km (7.4 cm/s), 标准差为 12 km.

对比 2002 年 7 月上旬(图 2)台风 Rammsun(6 月 28 日至 7 月 4 日)、Chantaan(6 月 28 日至 7 月 12 日)和 Halong(7 月 7~ 15 日)前后海洋上混合层和温跃层内部的温盐度变化, 发现西北太平洋海面盐度在台风过后下降的有 3 例, 浮标 2900184, 5900175 和 5900173 的盐度分别下降了 0.14, 0.20, 0.36, 仅 1 例(浮标 5900126)上升了 0.19, 而 SST 无一例外都下降了(表 1).

浮标 2900184 在台风 Halong 和 Chantaan 前后混合层的温度和盐度变化十分明显(图 3a, b), 7 月 12 日台风后与 7 月 2 日台风前相比, SSS 由 34.65 下降到 34.51, 降幅为 0.14; SST 从 29.46 °C 降到 28.74 °C,

表1 2002年台风Chantaan(6月28日至7月12日)和Halong(7月7~15日)前后SSS, SST和混合层深度的变化

浮标编号	SSS	SST/°C	混合层深度/m
2900184	下降0.14	下降0.72	加深40
5900175	下降0.20	下降1.53	加深40
5900173	下降0.36	下降0.57	变化不明显
5900126	上升0.19	下降0.84	加深60

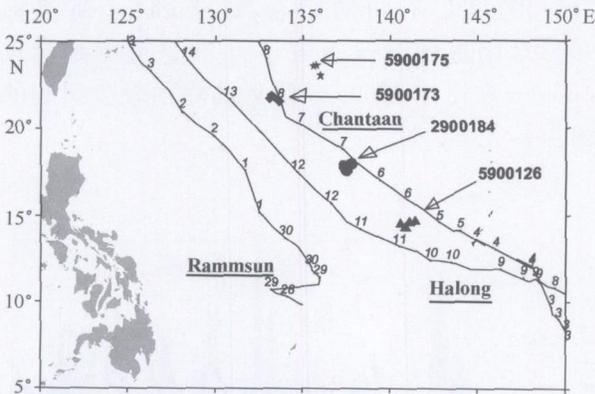


图2 2002年7月台风Rammsun(6月28日至7月4日)、Chantaan(6月28日至7月12日)和Halong(7月7~15日)的路径

路径上的数字表示日期。三角形表示浮标5900126的位置,圆形表示浮标2900184的位置,菱形代表浮标5900173的位置,星号代表浮标5900175的位置

下降约0.72°C,同时混合层由50m加深到约90m,混合层明显变厚,温跃层底部抬升,200m水温下降约2.2°C;浮标5900175(图3c,d)显示SSS由6月30日的35.07(台风前)下降到7月10日的34.87(台风后),降幅为0.20,混合层温度下降1.53°C,混合层明显变厚;浮标5900126(图3e,f)显示SSS由6月25日的34.36(台风前)上升到7月15日的34.55(台风后),上升0.19,混合层温度下降0.84°C,同时混合层由60m加深到约120m。这些观测表明,虽然台风在几天内迅速掠过ARGO浮标附近海域,但是它对混合层盐度的影响可达10d

下面再利用2003年的ARGO资料对比台风、降雨以及SSS之间的关系。图4a和b分别是浮标5900222(22°N,129.3°E附近)和浮标5900223(16°N,125.5°E附近)在2003年第130~277天期间各自位置上NCEP资料的日均降雨分布以及盐度剖面观测结果。可以看到,受Linfa台风的影响,第140~150天,在浮标5900222位置上累计降雨量

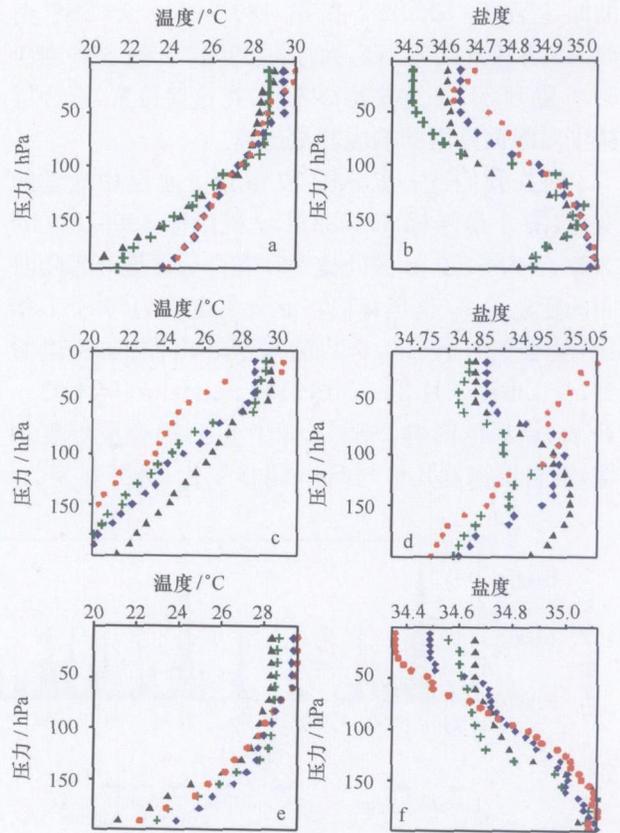


图3 2002年浮标2900184在17.5°N,137.5°E附近观测温度(a)和盐度(b)剖面

(圆形:6月23日;菱形:7月2日;十字形:7月12日;三角形:7月22日).浮标5900175在23.5°N,135.6°E附近观测温度(c)和盐度(d)剖面(圆形:6月30日;菱形:7月10日;十字形:7月20日;三角形:7月30日),浮标5900126在21.6°N,133.6°E附近观测温度(e)和盐度(f)剖面。(圆形:6月25日;菱形:7月5日;

十字形:7月15日;三角形:7月25日)

达到144.3 kg/m²[平均为1.67×10⁻⁴ kg/(m²·s)],10d内,SSS由34.668降到34.532,下降0.136;在浮标5900223位置上,累计降雨量达到218.6 kg/m²[平均为2.53×10⁻⁴ kg/(m²·s)],比前者高出51%,10d内SSS由34.855降到34.332,下降0.523,这说明较大的降雨造成了比较强烈的SSS下降。在浮标5900222位置上,降雨持续到第170天,对应地,SSS持续减小到第170天,而在浮标5900223位置上,降雨仅持续到第160天,对应地,第157~168天,SSS由34.3到34.5。第180~200天,在浮标5900222位置上降雨甚少,降雨量仅有20.74 kg/m²[平均为1.2×10⁻⁵ kg/(m²·s)],而在浮标5900223位置上降雨量大约是前者的6倍,约152.06 kg/m²[8.8×10⁻⁵ kg/(m²·s)].反映在

剖面上浮标 5900222 在第 180~200 天 SSS 由 34.55 迅速升到 34.75, 而浮标 5900223 的 SSS 则由 34.6 降到 34.5. 这些特征表明, 在这些位置, 混合层盐度对海面降雨的响应非常迅速.

现在我们进一步分析 50 m 以上水层中盐度的变化, 图 5 是浮标 5900222(a) 和浮标 5900223(b) 2003 年 SSS, 50 m 深处盐度和混合层深度三者随时间的变化关系(这里我们将混合层定义为与 SST 相比, 温度变化小于 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水层). 由图 5a 可以看到, 受 Linfa(5 月 25~30 日) 和 Soudelor(6 月 11~19 日) 台风的影响, SSS 下降了 0.4, 混合层厚度加深, 混合层深度几乎与 SSS 同步变化, 另外在 50 m

以上层平均盐度几乎也与 SSS 同步变化. 这表明, 台风经过时的降雨伴随着混合层加深, 台风降雨对上 50 m 层水体的盐量影响超过了台风过程中的蒸发、混合加剧和下层高盐水等带来的影响. 根据图 5b, 130~200 d, 上 50 m 深处盐度和混合层深度都随着 SSS 同步变化, 说明台风经过时的降雨一直影响到浮标 5900223 号浮标附近 50 m 深处的盐度. 与浮标 5900222 不同的是台风 Soudelor 使浮标 5900223 附近的 SSS 上升了 0.2, 这可能是台风 Soudelor 在浮标 5900223 附近的降雨较少引起的(图 4a).

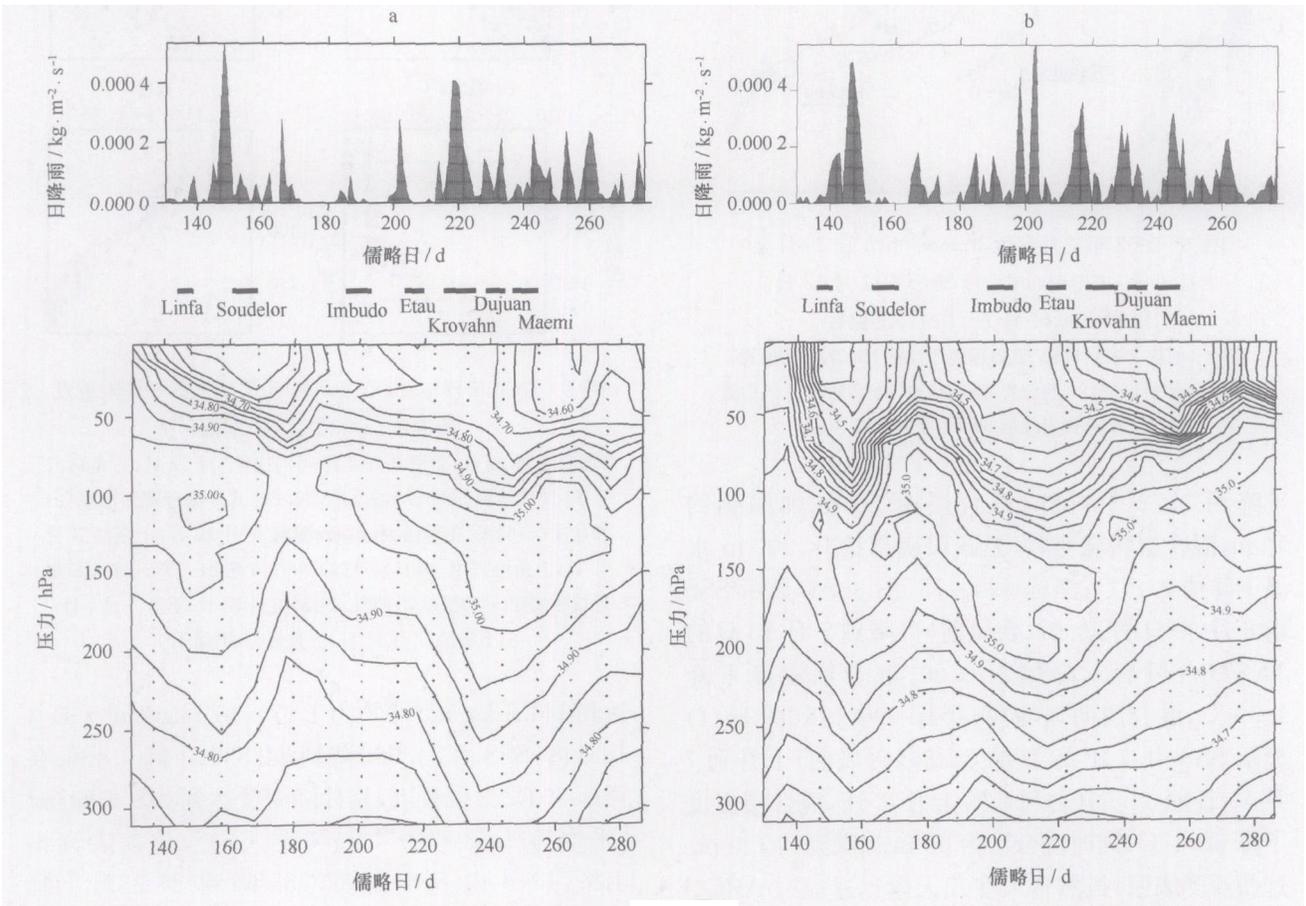


图 4 2003 年浮标 5900222(a) 和浮标 5900223(b) NCEP 资料的日降雨量(上)、台风(中)和盐度时间-深度剖面(下) 图中还显示了 Kujira, Linfa 等台风出现的时间段

浮标 5900226 (15°N , 129°E 附近) 表明(见图 6), 2003 年台风 Kujira(4 月 9~25 日)、Linfa(5 月 25~30 日)、Imbudo(7 月 19~24 日)、Etai(8 月 3~9 日) 和 Krovahn(8 月 15~25 日) 都对混合层盐度有显著影响, 而台风 Soudelor 的影响很小. Kujira, Linfa, Etai 和 Krovahn 造成 SSS 下降, 而 Imbudo

却使 SSS 由 34.412 升到 34.654, 增加了 0.242, 此时温跃层涌升较大, 究竟是台风导致了涌升还是因为浮标此时恰好进入了气旋式冷水块, 值得进一步研究. 同样的现象在浮标 5900126(2002 年 7 月 15 日)、浮标 2900184(18.4°N , 135.8°E 附近, 2003 年 7 月 27 日)、浮标 2900185(16.4°N , 127.4°E 附近,

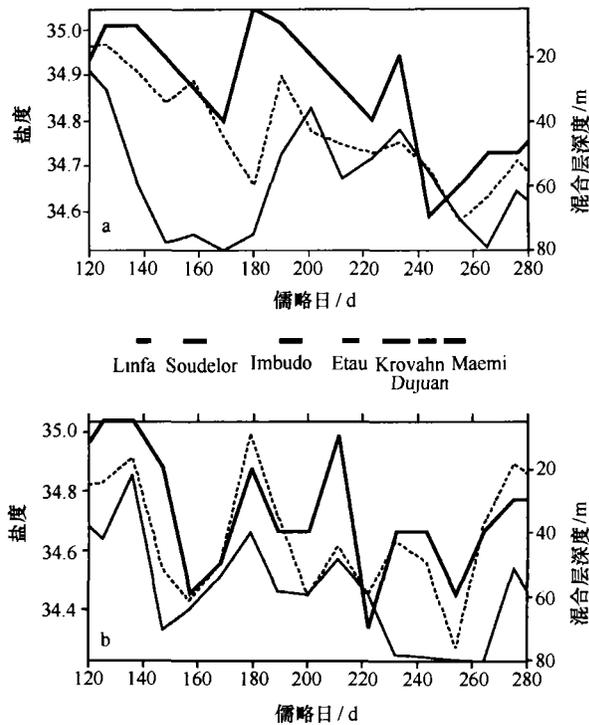


图5 2003年浮标 5900222(a)和浮标 5900223(b) SSS(细实线)、50 m 深处盐度(虚线)和混合层深度(粗实线)随时间变化
图中还显示了 Kujira, Linfa 等台风出现的时间段

2003年6月8日)和浮标 5900223(2003年6月17日)的观测中也出现。

浮标 5900020 在 2003 年的位置与浮标 5900223 的位置接近, SSS 受 Linfa 和 Krovahn 影响显著。浮标 5900019 在 2003 年位置与浮标 5900222 的位置接近, 在 2003 年 8 月期间, 两者的观测日期相差 1 d, 位置接近, 所得结果也接近, 可以作为不同日期观测的盐度补充, 用于进一步分析盐度的扩散过程。浮标 5900271 的 SSS 变化不明显。

4 讨论和结语

分析结果表明, 大多数台风导致了 SSS 下降。且伴随着 SSS 下降, 混合层变厚了。个别台风会导致大多数浮标 SSS 上升, 如 Imbudo 使浮标 5900223, 5900226 和 2900184 的 SSS 上升, 其中的原因有待进一步研究。

台风经过时海面 SSS 受到以下 4 个过程的影响: 降雨、蒸发增加、混合层内混合增强和跃层涌升。只有降雨会引起 SSS 下降, 其他 3 个过程都会引起 SSS 上升, 因此 SSS 的变化将取决于以上 4 个效应

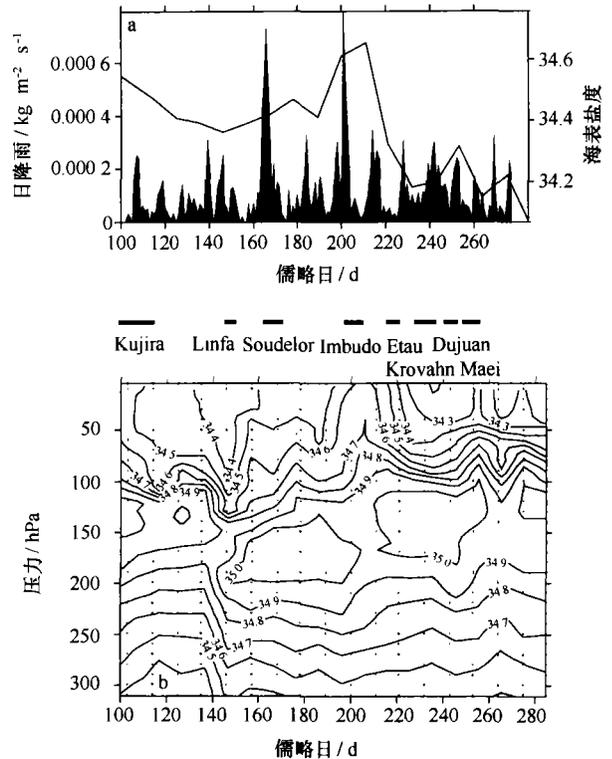


图6 2003年浮标 5900226 的 SSS(实线)及 NCEP 资料的日降雨(a)和盐度时间-深度剖面(b)
图中还显示了 Kujira, Linfa 等台风出现的时间段

间最终的竞争结果, 事实上台风降雨可能会抑制强风带来的混合加剧的效果。进一步的研究可以采用垂直一维模式来验证我们的推测。Kwon 和 Riser^[2]的结果表明在大西洋大约一半的飓风导致混合层变厚, 另一半飓风发生时混合层不变或变浅。

ARGO 浮标的观测资料还反映了中尺度涡的移动(见图4)。大量的同步的 ARGO 资料将会使人类能更好地监测全球海洋上层的动态变化, 可大大地加深对海洋混合层、温跃层的温度、盐度垂直结构、环流及能量^[15]、淡水平衡过程的了解, 提高对中尺度海气相互作用过程(台风和热带气旋风暴)的预报能力, 揭示海-气相互作用的机理, 进一步完善海气耦合模式, 提高长期天气预报和短期气候的预测能力, 其中包括与 ENSO 有关事件(如洪水、干旱等)的预报能力和对太平洋十年涛动等的再认识。因此我国的海洋科学家应利用这个机会, 积极地投入 ARGO 资料的应用研究中, 推进我国的大尺度海洋环流和海气相互作用的研究。可喜的是, 国内的应用研究也在迅速跟上, 刘益民等^[16]利用 ARGO 资料来估算模式误差矩阵, 并进一步用于我国短期气候

预报系统. 潘爱军、刘秦玉^[17] 利用 ARGO 资料研究了中尺度涡在形成北太平洋副热带模态水中的作用. 可以预见 ARGO 资料将促进我国在大尺度海洋环流领域的研究.

感谢苏纪兰院士和陈大可研究员对本文的有益

建议, 感谢加拿大 Roger Ménard 提供的海面浮标轨迹数据, 感谢研究生王喜冬等在资料处理上的协助. 感谢审稿人为本文提出的建议, 他们的意见使本文得到很大提高.

参考文献:

- [1] PRICE J F. Upper ocean response to a hurricane[J]. *Journal Physical Oceanography*, 1981, 11: 153– 175.
- [2] KWON Y O, RISER S C. The ocean response to the hurricane and tropical storm in North Atlantic during 1997– 1999[R]. School of Oceanography, University of Washington, USA, 2003.
- [3] D'ASARO E A. The ocean boundary layer below Hurricane Dennis[J]. *Journal Physical Oceanography*, 2003, 33: 561– 578.
- [4] LIN H, LIU W T, WU C C, et al. Satellite observations of modulation of surface winds by typhoon induced upper ocean cooling [J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(3): 1131, doi: 10.1029/2002GL015674.
- [5] IOUALALEN M, HÉNIN C. Thermohaline variability of the western tropical Pacific during 1995– 1998: on the erosion/reconstitution of the fresh pool[J]. *Journal Geophysical Research*, 2001, 106: 6 869– 6 879.
- [6] IOUALALEN M, WAKATA Y, KAWAHARA Y, et al. Variability of the sea surface salinity in the western tropical Pacific: on the ability of an OGCM to simulate the SSS, and on the sampling of an operating merchant ship SSS network[J]. *Journal of Oceanography*, 2003, 59: 105– 111.
- [7] LUKAS R. Freshening of the upper thermocline in the North Pacific subtropical gyre associated with decadal changes of rainfall[J]. *Geophysical Research Letters*, 2001, 28 (18): 3 485– 3 488.
- [8] LUKAS R, LINDSTROM E. The mixed layer of the western equatorial Pacific Ocean[J]. *Journal Geophysical Research*, 1991, 96: 3 343– 3 357.
- [9] 徐炳荣, 林传兰. TOGA-CORE IOP 期间赤道西太平洋海表壁垒层的研究[J]. *海洋与湖沼*, 1998, 29(6): 632– 639.
- [10] SATO K, SUGA K, HANAWA K. Barrier layer in the North Pacific subtropical gyre[J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31: L05301, doi: 10.1029/2003GL018590.
- [11] MAES C, PICAUT J, BELAMARI S. Salinity barrier layer and onset of El Nino in a Pacific coupled model[J]. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(24): 2206, doi: 10.1029/2002GL016029.
- [12] 苏纪兰. 如何正确认识 Argo 计划[J]. *海洋技术*, 2001, 20(3): 1– 2.
- [13] 许建平. 阿尔戈全球海洋观测大探秘[M]. 北京: 海洋出版社, 2002.
- [14] 童明荣, 孙朝辉, 刘增宏. AUTO SAL 8400B 型实验室盐度计及其应用[J]. *海洋技术*, 2003, 22(4): 85– 88.
- [15] ROEMMICH D, GILSON J, CORNUELLE B, et al. Mean and time-varying meridional transport of heat at the tropical subtropical boundary of the North Pacific Ocean[J]. *Journal Geophysical Research*, 2001, 106 (C5): 8 957– 8 970.
- [16] LIU Yimin, ZHANG Renhe, YIN Yonghong, et al. The application of Argo data to optimal estimation of the model errors covariance matrix of ocean data assimilation system[A]. First Argo Science Workshop Tokyo, Japan[EB/OL]. ftp://kakapo.ucsd.edu/pub/www-argo/workshop/LIU_Yimin.pdf, November 12– 14, 2003.
- [17] PAN Aijun, LIU Qiryu. A preliminary study of mesoscale eddy effects on the formation of the North Pacific Subtropical Mode Water [A]. First Argo Science Workshop Tokyo, Japan[EB/OL]. ftp://kakapo.ucsd.edu/pub/www-argo/workshop/28argo_pan.ppt, November 12– 14, 2003.

The influence of typhoon on the sea surface salinity in the warm pool of the western Pacific

XU Dong-feng^{1,2}, LIU Zeng-hong^{1,2}, XU Xiao-hua^{1,2}, XU Jian-ping^{1,2}

(1. *Key Laboratory of Ocean Dynamic Processes and Satellite Oceanography of State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China*; 2. *Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China*)

Abstract: The temperature and salinity profiles of the ARGO floats in the warm pool of the northwestern Pacific were analyzed. The results show that when typhoon passes, the sea surface salinity (SSS) usually decreases in most observations, which is in contrast with that of the observations from the Atlantic Ocean where the SSS usually increases when hurricane passes. This is related to the typical thermal structure in this warm pool region and the differences between the precipitation processes associated with the typhoon in the two oceans. The result is of importance to the study of the heat exchange processes and the mixing of the mixed-layer in the warm pool of the northwestern Pacific.

Key words: ARGO floats; typhoon; mixed layer; sea surface salinity