

黑潮对环台湾岛海域温跃层影响的数值研究

张文静 沙文钰

(解放军理工大学气象学院, 南京)

摘 要 利用 97 版 POM 海洋模式, 本文分别对有、无黑潮影响环台湾岛海域三维温度结构进行数值计算, 经对比分析得出, 由于黑潮的流入, 致使整个海域次表层冬季平均水温比无黑潮影响时提高了 $5 \sim 6^{\circ}\text{C}$ 。黑潮对台湾岛东部深水区的大洋跃层有决定性作用, 并对台湾海峡及其南部浅水区的季节性温跃层的强度有一定影响。

关键词: 环台湾岛海域; 黑潮; 数值研究

中图分类号: P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003—0239 (2001) 03 — 0017 — 08

1 引言

温度是海洋中最重要的要素之一, 而海水温度的垂直结构, 尤其是温跃层现象一直是生产实践所关注的问题。温跃层的研究主要有统计方法和数值方法。近年来, 数值方法更受重视, 是主要的发展方向。白 Munk Pig^[1] 提出一维温跃层稳态模式, 给出稳定状态下的运动方程和热传导方程的数值解以来, 在对温度垂直结构的模拟和计算上, 国内外都已做了不少工作。Mellor 等^[2] 首次把二阶湍流模式应用于海洋的上混合层, 提出了一维微分型混合层模式 (MD)。尽管忽略湍流能量的垂直扩散、假设湍能局地生成和局地耗散相平衡有很大的局限性, 但他们对海洋上混合层中的湍流机制有了进一步认识。Warm 等^[3] 提出的三阶湍流闭合温跃层模式 (WP) 中指出, 在温跃层湍流能量方程中的三阶矩可以忽略, 而在夹卷区该项与其它主要项同量级, 不能忽略。该项输送湍流能量的过程与扩散过程类似, 影响混合层的温度。

以混合层理论为依据直接计算温跃层的变化, 目前采用的模式大多是不考虑热平流的一维模式, 二维和三维模式则较少。三维模式能较细微地考虑水温垂直结构, 是很重

本文于 2001 年 6 月 19 日收到修改稿。

作者简介: 张文静 (1978-), 女, 硕士研究生。

要的研究方向。王宗山等^[4]用最小二乘法拟合出水温垂直结构的白模函数,考虑风海流及伴生的侧向混合作用,建立了渤、黄海水温垂直结构三维预报模式。张晨等^[5]在Z坐标系下建立一个三维温盐耦合模式,模拟出了黄、渤海温跃层演化的全过程。

从各类文献来看,对于整个环台湾岛海域的三维温跃层的数值研究几乎无人涉及。但有关黑潮对台湾海峡的海水温度或温跃层的影响已有学者进行过研究。国家海洋局海洋科技情报研究所在对台湾海峡及邻近海区的水文概况作讨论时指出,海水温度的分布和变化主要受黑潮和大陆沿岸流的影响,并随季节变化^[6]。颜文彬^[7]则指出由于黑潮分支与大陆沿岸流的交汇,在台湾海峡出现温度逆跃层。伍伯瑜^[8]认为,对于台湾海峡区域海水运动和水文特征,直接受黑潮支流、南海水和近岸水系强弱的影响。曾刚和肖晖等^[9-10]在分析了1984~1985年台湾海峡西部海洋综合调查的实测资料的基础上,认为在该海区的几个强温跃层区域内,跃层的强度主要取决于海水上、下水系的性质。从上述部分学者的研究来看,黑潮水系无疑是影响台湾海峡跃层的最重要的因子。沙文钰等^[11-12]指出,黑潮水及其进入海峡的分支,是环台湾岛海域海流的主要成分。因此它对该海域的温跃层的性质和特征起着举足轻重的作用,在研究环台湾岛海域温跃层时,是决不可忽略的重要因素。鉴于这个原因,本文着重研究黑潮对环台湾岛海域温跃层的影响,研究手段采用国际流行的POM海洋模式(97版),有关POM的概况可参阅沙文钰等^[11-13]关于环台湾岛海域海流和潮波等方面的工作。

2 计算处理和资料说明

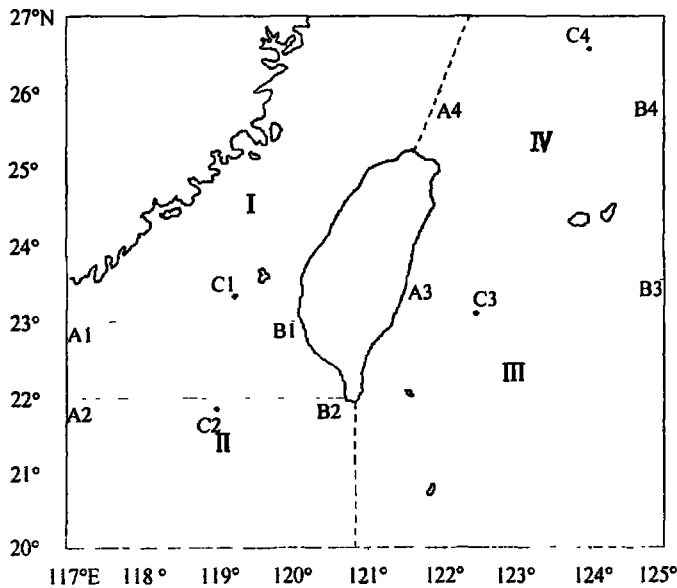


图1 各断面和站位在计算海域的分布

大气要素场资料取自 COADS 46a (1950 ~ 1995 年) 的月平均场资料, 其中部分缺失的资料根据《西北太平洋海面热平衡图集》经数据化后予以补充。

依据环台湾岛海域平均水深及海底地形的特征^[13], 本文将其分为 4 个海区, 各区分别取一个有实测资料的站位 (见图 1)。

研究海区为 $20^{\circ} \sim 27^{\circ}\text{N}$ 、 $117^{\circ} \sim 125^{\circ}\text{E}$, 因而边界及取值如下: 台湾岛东北部黑潮流径处的开边界给出黑潮流量的多年月平均, 取值参照赵保仁等^[14]和孙湘平等^[15]的数据, 冬季取 24sv, 台湾海峡的黑潮分支的流量取 1sv; 夏季海峡流量取 3.16 sv, 而台湾岛以东海域的流量则取 29.3 sv。以上流量均以 800 米为零面。南开边界按照流出量等于流入量来给出开边界处的流量^[11-12], 东开边界按照文献^[11]和^[12]的方法处理。水温边界, 在黑潮流径处根据多年月平均值资料, 150m 以上的浅水层冬季取为 25°C , 夏季为 30°C , 150~400m 水层温度全年比较稳定, 取为 $16 \sim 19^{\circ}\text{C}$ 。盐量处理根据杨殿荣等^[16]的结论, 认为海表面盐通量对温跃层的影响很小, 因此本文忽略不计。

3 计算试验及结果分析

本文的试验是在其它条件完全相同的情况下 (包括取实测风场和海表面热通量提供给模式), 对有、无黑潮情况的计算结果进行对比。计算实验积分始于前年 12 月到当年 9 月止, 每积分一个月后更换一次新的初、边条件。

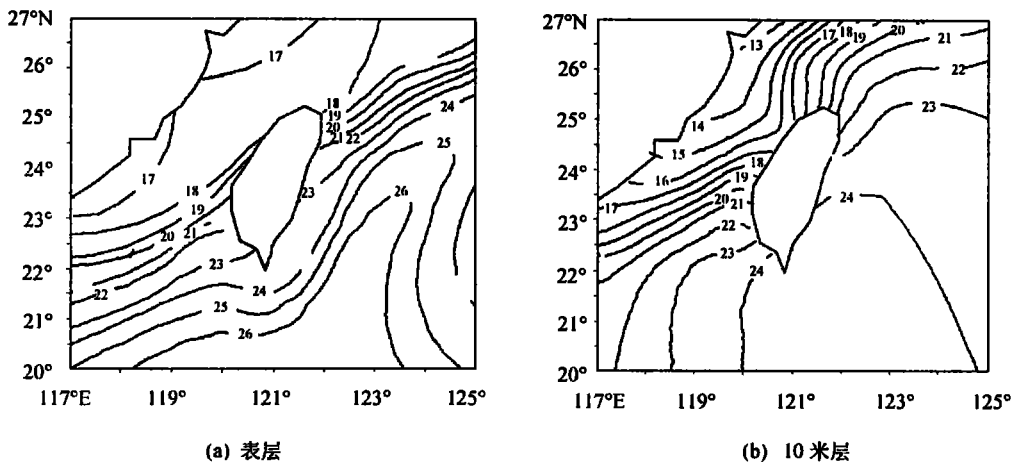
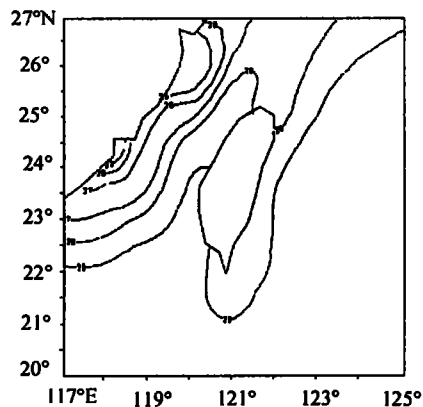


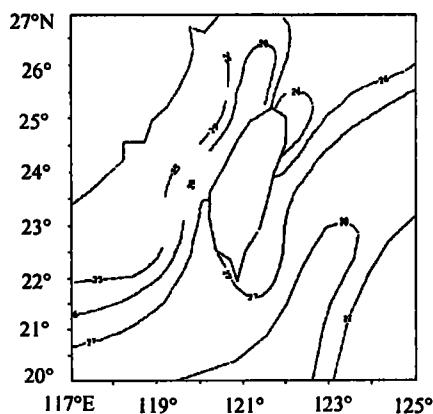
图 2 去掉黑潮后的 6 月计算水平温度场

为说明黑潮对环台湾岛海域海水温度水平分布的影响, 这里仅给出 6 月水平温度场。图 2 ~ 4 分别给出了去掉黑潮、考虑黑潮和实测的 6 月水平温度场。去掉黑潮 (图 2), 可以看到, 整个海区表层 (图 2a) 的平均温度比实际值 (图 4a) 低 $5 \sim 6^{\circ}\text{C}$, 台湾岛东西两侧海域也不象实测情形有广泛存在的暖舌, 尤其是台湾岛西侧的海峡。10m 水深层

的水平温度场中, 去掉黑潮 (图 2b) 的平均温度同样比实测 (图 4b) 的低 5°C 左右, 台湾岛东侧海域更没有体现暖舌特征。(图 3) 是考虑黑潮后所计算的结果。无论是表层 (图 3a), 还是 10m 水深层 (图 3b) 的水平温度场均接近实际情况。其原因是, 黑潮表层及次表层水为高温水, 去掉黑潮流后, 表层和次表层所得的结果自然比考虑黑潮流的水温低, 同时黑潮是由南往北流动, 只有在黑潮的作用下, 才能出现上述暖舌的特征。

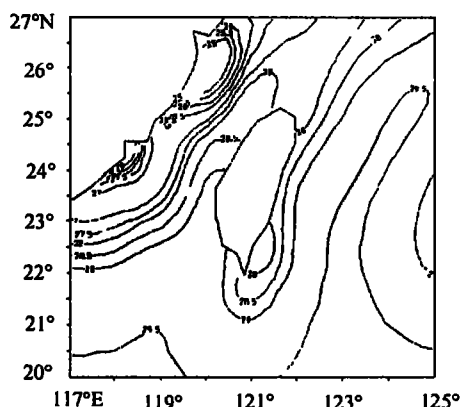


(a) 表层

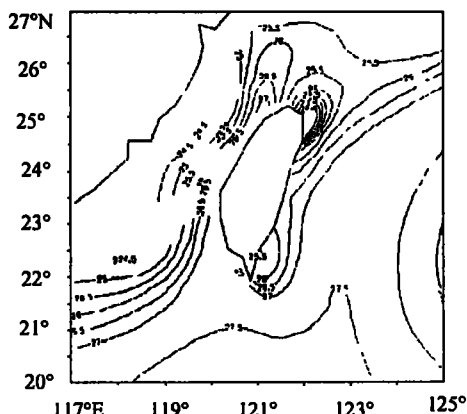


(b) 10米层

图 3 考虑黑潮后的 6 月计算水平温度场



(a) 表层



(b) 10米层

图 4 实测的 6 月水平温度场

图 5 是冬季 (1 月) 各站位的水温垂直结构图, 图中实线代表考虑黑潮的计算结果, 虚线为去掉黑潮后的计算结果。C₁ 站 (图 5a) 位于浅水区, 受高温性质的黑潮表层的影响, 由于去掉了具有暖水性质的黑潮, 计算出的垂直温度普遍比考虑黑潮时的计算值低, 但两者的垂直结构都表现为上下分布均匀。C₂ 站 (图 5b) 位于各种水系交汇处, 去掉黑潮后, 表层至 170m 层的水温垂直分布值比有黑潮时低。约 170m 以下的层次则反之, 表现为黑潮在该海区底层水温偏低。值得注意的是, 在黑潮的作用下, 80~90m 的水温随温度升高, 其幅度达到逆跃层的程度, 而在 90m 以下, 水温则随深度降低, 其中 90~105m

之间达到跃层的程度。这种情况在冬季得以出现是值得研究的。 C_3 站(图 5c) 位于深水区, 从图中可以看出由于去掉黑潮高温水, 从表层至底层水温只出现均匀递减, 没有出现大洋跃层的特征, 而考虑黑潮后, 深层冷水与黑潮次表层暖水叠置混合, 在 400~1500m 之间形成强的跃层, 即大洋跃层特征。 C_4 站(图 5d) 位于浅水区, 其情况和 C_1 站相同。

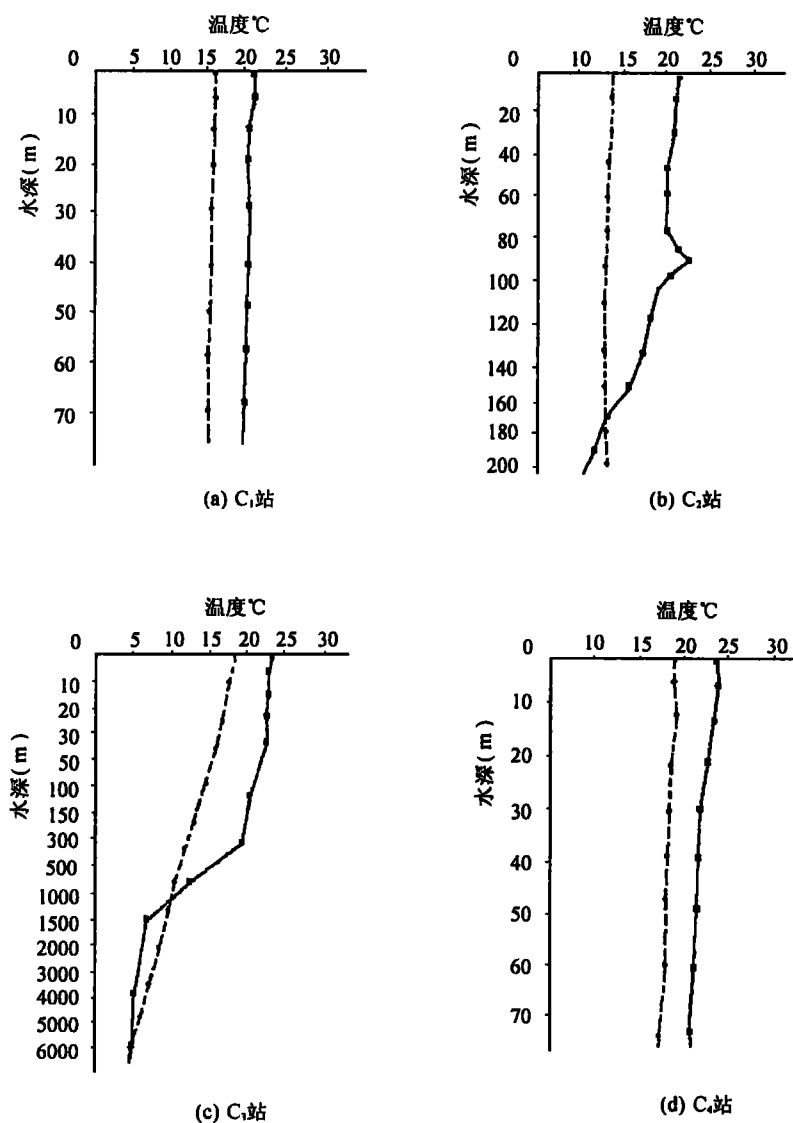


图 5 冬季(1月)各站水温垂直分布

(实线代表考虑黑潮影响; 虚线代表去掉黑潮影响。)

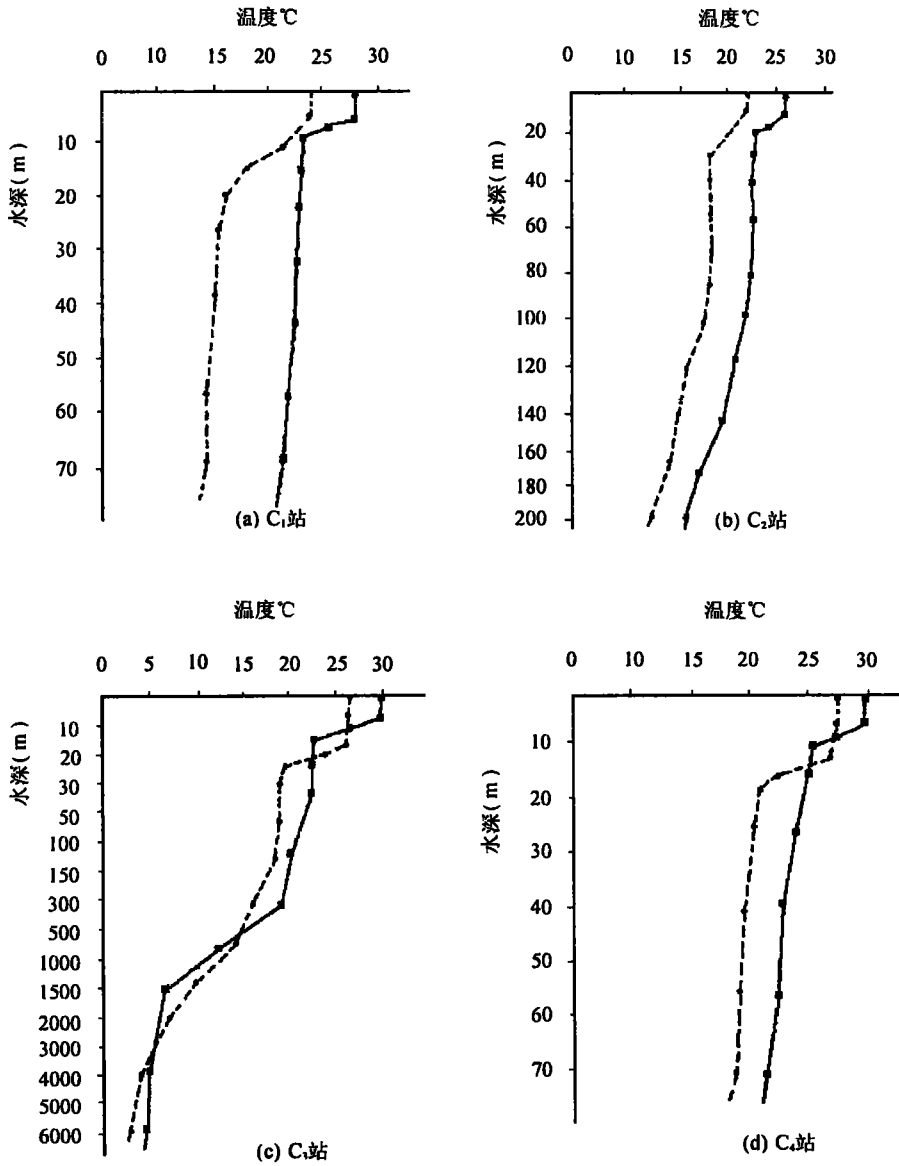


图 6 夏季 (6 月) 各站水温垂直分布

(实线代表考虑黑潮影响; 虚线代表去掉黑潮影响)

图 6a、b、c、d 分别是 6 月份 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 站的水温垂直结构。从该图看出, C_1 站位于浅水区, 去掉黑潮所计算出的跃层结构比考虑黑潮的弱些, 跃层深度前者比后者深些。这是由于夏季来临黑潮流量增大, 带来大量暖水, 在与风场及热力机制共同作用

下,形成了较强的次表层跃层,而在本试验中去掉黑潮的流入后,只有后面两种机制,形成的跃层比考虑黑潮时的弱。但 C_4 站(图 6d)同样位于浅水区,除跃层深度分布和 C_1 站相同外,其跃层的强度去掉黑潮时反而强些,其原因可能是所处的地理位置不同,形成原因有差别,这些还有待于研究。在 C_3 站(图 6c),深水大洋跃层在试验中与冬季一样,去掉黑潮影响时依然没有体现,原因是大洋跃层的形成是由于不同水系的相互叠置,该区的外来水主要是黑潮的流入,去掉黑潮,海表的动力和热力作用影响不到深层,因而无法形成跃层结构。 C_2 站(图 6b)的深水区与 C_3 站一样无跃层结构,而上层有跃层结构是由于海表动力、热力作用形成的。

通过有、无黑潮试验的对比,可以发现黑潮对于环台湾岛海域的水文特征有重大影响,就其对温跃层的影响来看,环台湾岛东部深海的大洋跃层的形成与黑潮的流入有着直接的关系,如果没有黑潮的流入,则不可能形成大洋跃层。另外对海峡以南的海区冬季形成逆跃层有深远影响,对海峡浅海季节性温跃层的强度也有较大影响。

4 结束语

本文将 POM 海洋模式应用于黑潮对环台湾岛海域温跃层的三维研究,得出以下三个主要结论:

(1) 黑潮的存在对整个海域次表层的水温冬季能提高 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$,并能在台湾岛东部形成明显的暖舌,显然,它对东亚的气候有重要影响。

(2) 黑潮对台湾岛东部深水区大洋跃层的形成有决定的作用。

(3) 黑潮对台湾海峡以南海区的冬季逆跃层有深远影响,并对海峡浅水区季节性跃层的强度也有影响。

参考文献

- [1] MUNK W H and ANDERSON E R Notes on a theory of the thermocline J Mar Res 1948,7 (3) 276~295
- [2] MELLOR G L DURBIN P A The structure and dynamics of the ocean surface mixed layer J Phys Oceanogr 1975,5 718~728
- [3] WARM-VARNAS A C PIACSEK S A An investigation of importance of third-order correlations and choice of length scale in mixed layer modeling Geophys Astrophys Fluid Dynamics, 1979, 13 225~243
- [4] 王宗山,徐伯昌等 渤、黄海温跃层数值预报模式 海洋学报,1997,19 (4): 1~9
- [5] 张晨等 黄、渤海温跃层三维数值模拟 海洋学报,1997,19 (6): 12~20
- [6] 国家海洋局海洋科技情报研究所二室 台湾海峡及邻近海区的水文概况 1982,1 (1): 8~10
- [7] 颜文彬 台湾海峡的温度逆跃层 台湾海峡,1991,10 (4): 334~337
- [8] 伍伯瑜 台湾海峡及其邻近水域的流型和水文特征 台湾海峡,1983,2 (4): 1~6
- [9] 曾刚,肖晖 台湾海峡西部海域温、盐跃层初步分析 台湾海峡,1988,7 (2): 143~150
- [10] 肖晖,蔡淑惠 台湾海峡西部海域温、盐度分布特征 台湾海峡,1988,7 (3): 228~233
- [11] 沙文钰,吕新刚等 环台湾岛海域半日潮波特征的三维数值模拟 海洋学报,2001,23 (4): 38~50
- [12] 沙文钰等 环台湾岛海域三维环流数值模拟 河海大学学报,2000,28: 1~8
- [13] 沙文钰等,环台湾岛海域 M2 分潮特征的数值模拟 解放军理工大学学报(自然科学版),2000,1 (1): 80~87

- [14] 赵保仁, 方国洪 东海主要水道的流量估算 海洋学报, 1991, 13 (2): 169 ~ 178.
[15] 孙湘平等 台湾岛东西两岸的海流 黄渤海海洋, 1996, 14 (2): 9 ~ 17.
[16] 杨殿荣, 王国瑞等 黄、东海夏季温跃层的诊断研究 海洋学报, 1990, 12 (1): 14 ~ 23.

NUMERICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF KUROSHIO CURRENT ON THE THERMOCLINE IN THE SEA AREA AROUND TAIWAN ISLAND

Zhang Wenjing Sha Wenyu

(*Institute of Meteorology, PLAUST, Nanjing*)

Abstract——Using POM 97, an oceanic mode, we separately do numerical tests to simulate the 3-D structure of temperature in the sea area around Taiwan Island with or without the effect of Kuroshio Current. Through contrast and analysis, we find that the inflow of Kuroshio Current results the winter mean water temperature on hypo-surface layer in the whole sea regions add 5 ~ 6°C more than that without the effect of Kuroshio Current. The existence of Kuroshio Current do important action to the oceanic thermocline of the deep water area in the east of Taiwan Island, and has some effect on the intension of seasonal thermocline of Taiwan Strait and its southern shallow water area.

Key words: sea area around Taiwan Island; Kuroshio Current; numerical study