

2006年夏、冬季珠江口附近海域水文特征调查分析

张燕, 夏华永, 钱立兵, 朱鹏利

(国家海洋局南海工程勘察中心, 广东 广州 510300)

摘要: 根据珠江口外沿岸海域 2006 年夏季(7—8 月)及冬季(2006 年 12 月—2007 年 1 月)航次的 CTD 调查资料, 分析了调查海域夏季与冬季的温度、盐度分布, 温度、盐度、密度跃层特征及其与上升流、中尺度涡旋和海流的关系。结果表明: 1) 夏季调查海域冲淡水扩展、上升流、中尺度涡等现象在温度、盐度分布中都有很明显的表征, 并对跃层分布有显著的影响, 形成了复杂的跃层类型; 在冲淡水扩展的影响下, 还形成了双跃层与障碍层现象。2) 冬季海水混合剧烈, 沿岸浅水区域跃层现象不明显, 在陆坡深水区存在跃层现象。

关键词: 珠江口; CTD; 跃层; 冲淡水; 上升流

中图分类号: P731 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2011)01-0020-09

Analysis on hydrological characteristics off the Pearl River Estuary in summer and winter of 2006

ZHANG Yan, XIA Hua-yong, QIAN Li-bing, ZHU Peng-li

(South China Sea Engineering Prospecting Center, SOA, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Based on the data observed during the summer and winter cruises in 2006, the authors analyze the distributions of temperature and salinity off the Pearl River Estuary, the characteristics of thermocline, halocline and pycnocline as well as their relations to upwelling, mesoscale eddies and currents. The results show that: (1) strong thermocline, pycnocline and halocline exist in summer and are strongly affected by the diluted water, upwelling and eddies; in particular, the spreading of the diluted water leads to the formation of double thermocline and barrier layer in some waters; (2) in winter, sea water mixes well in the shallow shelf, while there exists weak thermocline at the shelf slope.

Key words: Pearl River Estuary; CTD; transition; diluted water; upwelling

在大尺度的海气相互作用中, 能量、动量和物质的交换主要在混合层进行。海洋垂向结构主要反映在海水温度、盐度及密度的跃变, 海洋内部的波动主要分布在跃层附近。在密度跃层的上部 and 下部, 溶解氧等的水平输送存在很大的差异^[1]。跃层现象是重要的区域海洋水文问题, 是南海北部陆架海域的显著水文特征之一。

前人曾对南海北部海域的跃层现象作过很多研究。云凤娟等^[2]采用南海北部陆架 10 年(1975—1984 年)水文断面调查资料, 分析了温、盐、密跃层的季节分布特征及年际变化, 结果表明珠江冲淡水扩散对温、盐、密跃层结构影响极大; 曾淦宁等^[3]的调查

资料也得出了同样的结论。珠江口附近海域水文特征复杂多变, 由于珠江冲淡水的扩展与混合及外海水的入侵, 形成了沿岸水、陆架表层水、陆架次表层水、沿岸水与陆架表层水混合带、陆架表层水与次表层水混合带等水团^[4]。Mao 等^[5]通过 1998 年的调查资料分析了珠江口的潮汐、潮流特征。夏季, 西南季风在广东沿岸还驱动了上升流^[6-9]; Gan 等^[10]研究了珠江冲淡水和沿岸上升流之间的相互作用。自广东沿岸向外海, 南海北部分布着沿岸流、南海暖流及黑潮南海分支。水团的多样性、上升流的存在与流系的复杂性决定了珠江口附近海域复杂的跃层结构。要了解珠江口附近海域的跃层特征及冲淡水

收稿日期: 2009-06-03; 修订日期: 2009-12-16。孙淑杰编辑

基金项目: 国家“908”专项(908-02-01-03)

作者简介: 张燕(1981—), 山东省枣庄市人, 工程师, 当前主要从事海洋水文气象研究工作。E-mail: zhangyan@scsio.ac.cn

扩散对跃层的影响,就对调查站位的分布提出了特别的要求。冲淡水扩散在珠江口门附近形成了极大的水平盐度梯度。夏季,珠江冲淡水向东或向西扩散范围大,向东可扩散至 117°E 以东水域,向西可达雷州半岛以西的海域^[2],这就要求在珠江口附近海域有较密集的站位,且要求一个较大的调查范围。由于沿岸区域上升流的存在、陆架上不同流系的相互作用与水深的变化,南北向断面上的温跃层类型不同:在浅水区域为辐射型,跃层较浅,季节变化显著;深水区域为不同水体叠置型,跃层较深,季节变化较小^[11]。跃层横跨陆架方向的显著变化也要求南北向断面上的站位有较高的分辨率。南海北部陆架 10 年水文断面调查时调查区域较大,但调查的站位分辨率不高,且只在标准层有观测。近年来,珠江口附近的几次调查中断面上的站位较多,但断面较少^[12-13],都难于更好地揭示珠江口附近海域的

跃层特征及冲淡水扩散对跃层的影响。

在 2006—2007 年“中国近海海洋综合调查与评价”专项(国家“908”专项)ST07 区块水体调查中,断面观测覆盖了从沿岸到陆坡的海域。在珠江口附近 60m 以浅海域,设立海洋水文、气象重点调查区域(图 1)。夏季航次(2006-07-14—2006-08-21)和冬季航次(2006-12-20—2007-01-20)调查中,CTD 大面观测站各 220 个,这些高分辨率 CTD 调查资料的获取更好地揭示了珠江口附近海域的跃层特征、冲淡水扩散对跃层的影响;同时还揭示了调查区域尚未见报道的一些现象,如冲淡水扩散形成了障碍层及双密度跃层。此外,调查过程中实施了全程的走航 ADCP 观测,有利于了解跃层分布与流态的关系。

本文利用 ST07 区块夏、冬季水体调查资料,着重分析了调查区域的跃层特征及珠江冲淡水扩散与流态对跃层分布特征的影响。

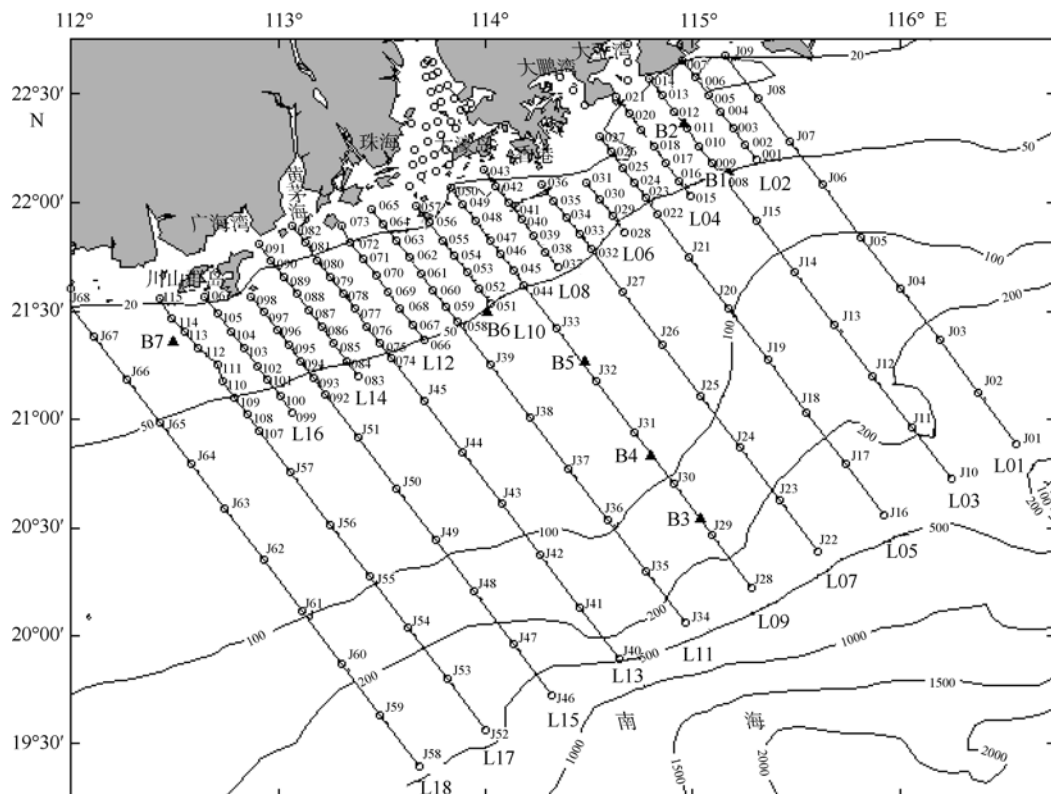


图 1 调查站位分布图

001—116 站及伶仃洋、大亚湾、大鹏湾内没有标出编号的站位为重点调查区域站位; J01—J68 站为基础调查区域站位; B1—B7 为长期流速观测站; L01—L18 为各观测断面

Fig. 1 Distribution of survey stations. Stations 001—116 and the stations without number are in the major survey area; stations J01—J68 are in basic survey area; stations B1—B9 are current mooring stations, and L01—L18 are survey sections.

1 表层温、盐分布

珠江年平均径流量为 $3260 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[14],通过八大口门入海,其中磨刀门径流量占总径流量的 28.3%,

是 8 个口门中径流量最大的一个;珠江东四口门(虎门、蕉门、洪奇沥和横门)的径流量占珠江总径流量的 53.4%。调查区域的盐度分布主要受珠江冲淡水的影响,冲淡水的扩散方向和扩散时形成的锋面、

沿岸低盐水系与外海高盐水系的消长运动,造成了调查海域的复杂盐度分布。由于季风气候的影响,每年4—9月为珠江洪水期,10月至翌年3月为枯水期,洪水期的径流量占全年径流量的75%—85%,枯水期的径流量仅占20%左右^[15]。夏季和冬季径流量的差异使夏、冬季的表层盐度分布有很大差别。

1.1 夏季

夏季表层盐度及水温分布见图2。从图中可见,50m以深海域主要为盐度大于33‰的南海北部混合水和南海表层水所控制,该区东部盐度介于33‰—34‰之间,西部盐度多大于34‰。对于50m以浅的沿岸区域,表层盐度分布受珠江冲淡水的影响显著。珠江东四口门的径流量全部泻入伶仃洋海区,当冲淡水扩展至香港大濠岛—大万山岛—珠海澳门一带以外水域,与陆架水混合形成强大的盐度锋面,锋面处盐度变化8‰—20‰。珠江西四口门(磨刀门、鸡啼门、虎跳门和崖门)入海径流则有西向扩散的趋势,形成西向沿岸流,盐度仅为8‰的冲淡水可达上川岛,并与外海水相互作用形成了万山岛—上川岛外海一线的羽状锋。由伶仃洋向外扩展的冲淡水和磨刀门下泻的一部分冲淡水汇合,在西南季风的作用下向珠江口以东海域输送,在和陆架水不断混合过程中盐度由8‰增大至前沿海域的33‰。由盐度等值线分布可见,向东扩散的冲淡水分成3支,其中一支(主要来自磨刀门一部分冲淡水)越过万山岛后向SSE方向流动;第二支越过担杆列

岛后向SE方向流动;第三支(也是最主要的一支)越过香港水域后沿岸向粤东海域流动,至大亚湾—红海湾一带转向外海。从盐度分布趋势来看,冲淡水向东扩散的范围较大,同时还向陆架扩散。受季风风向影响,冲淡水向西则为贴岸扩散,冲淡水与陆架高盐水的混合形成了强烈的锋面。

东四口门输入的冲淡水在伶仃洋西侧尚不能充分混合,西四口门输入的冲淡水在磨刀门及黄茅海内也不能充分混合。这样,冲淡水入海后尚有一个向南的动量,有如射流,在万山群岛、磨刀门及黄茅海外和高盐水相互剧烈作用,冲淡水向外扩展,陆架高盐水补偿楔入。万山群岛陆架高盐水(盐度大于34‰)逼近至上、下川岛近岸。混合过程中有冲淡水成团运移,而冲淡水扩散区域内也有相对盐度较高的水团存在。

夏季表层温度变化在25—31℃之间,一般外海变化不大,近岸特别是珠江口以西变化大。温度高值区出现在上川岛东南方向外海,可达31℃。表层高温水分布与冲淡水扩散的低盐水区域相对应,这是由于低盐水浮在海表5m水深范围内,浮力阻碍了热量的垂向扩散,从而造成表层水温增高。低值区出现在川山群岛以西海域,温度由川山群岛向西逐渐递减到25℃。在这些沿岸低温水分布的区域,观测期间走航ADCP观测的流速都为东北向,其Ekman输送都是离岸输送,低温水分布与Ekman效应产生的上升流相关。次低值区分布在香港大濠岛—万山岛西南一线,最低可达27℃(图2)。

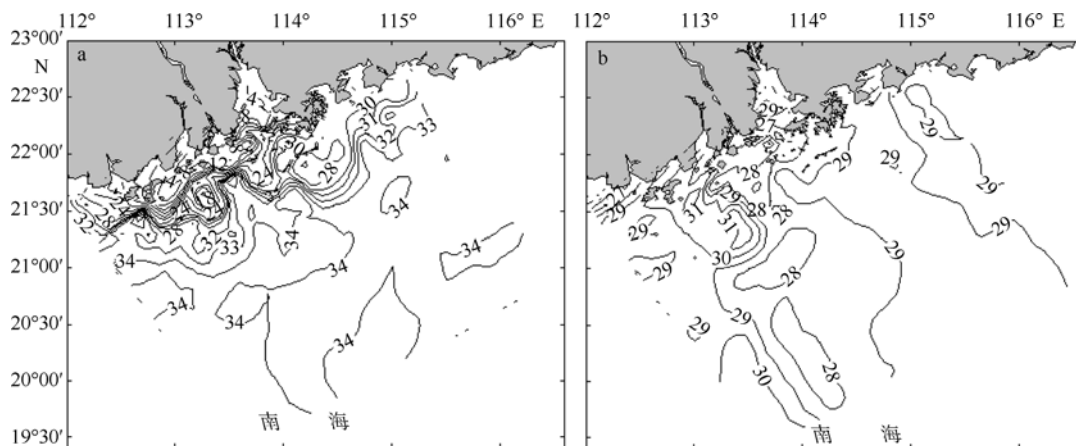


图2 夏季表层盐度(a; 单位: ‰)及温度(b; 单位: °C)平面分布

Fig. 2 Distributions of salinity (a; units: ‰) and temperature (b; units: °C) at surface layer in summer

1.2 冬季

冬季珠江径流减弱,冲淡水扩散对盐度分布的影响区域缩小。冬季南海盛行东北季风,东北季风在调查区域海面驱动了西南向流,Ekman效应还将陆架水向沿岸输送。由于冬季季风强劲、稳定,西向沿

岸流也较稳定。珠江的径流量、稳定的沿岸流及东北季风的Ekman效应,影响着调查海域的盐度分布。在冬季,调查区域内表层盐度分布最显著的特征是珠江冲淡水扩散在沿岸形成的带状淡水区(图3)。珠江西四口门与东四口门的径流入海后,在东北季风

与西南向沿岸流的作用下,在伶仃洋西部与粤西沿岸形成一条显著的带状淡水区。由于 Ekman 效应的制约,冲淡水难于向陆架扩展,冲淡水扩展限于沿岸 30m 以浅的区域。由于陆架水向沿岸输送,高盐水与沿岸低盐水混合,在粤东及粤西沿岸区域形成了水平盐度锋面。当然,粤西由于河羽的存在,锋面较强。在陆架上,海水盐度呈东部高、西部低的分布趋势。冬季盐度比夏季盐度提高,东部陆架区域冬季盐度比夏季约高 0.6‰,这种盐度分布趋势与陆架上的海水输送方向相关。冬季从吕宋海峡输入的高温、高盐水在东北季风作用下向西及向陆架海

域扩散,形成了冬季较高的表层盐度及东部盐度高、西部盐度低的分布趋势。

冬季表层水温(图 3)呈沿岸水温低、陆架水温高,东北水温低、西南水温高的分布趋势。这是由于沿岸气温低,水深小,海水冷却较快。此外,在东北季风作用下,从福建沿岸向粤东沿岸输送低温水,也会造成沿岸海水水温较低。在东北季风作用下,Ekman 效应将陆架表层高温海水向岸输送,在沿岸区域,由岸向海的水温梯度较大,特别是在粤东沿岸海域,18 与 21 等温线之间等值线密集,形成了显著的水平锋面。

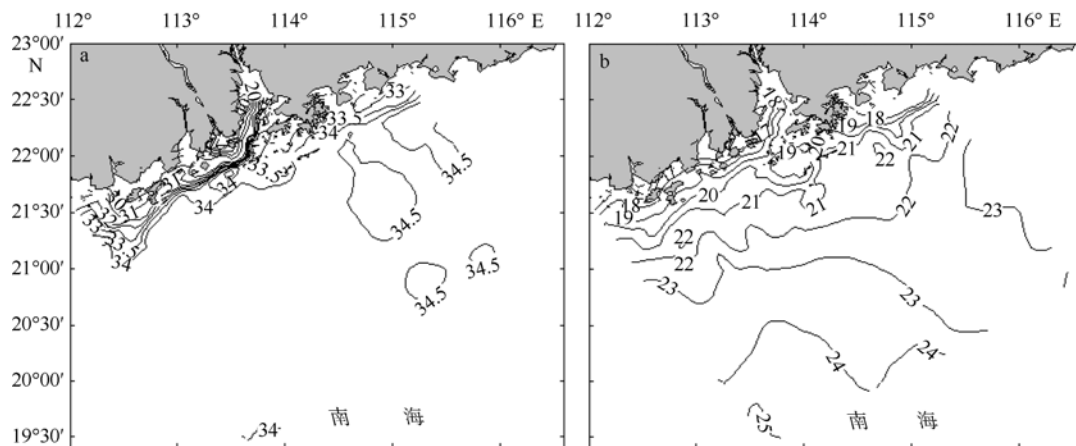


图 3 冬季表层盐度(a; 单位: ‰)及温度(b; 单位: °C)平面分布

Fig. 3 Same as Fig. 2, except for winter

2 跃层特征

2.1 夏季跃层的类型

本文按照《海洋调查规范——海洋调查资料处理》(2008)中跃层的定义计算跃层:在水深小于 200m 海域,定义温度梯度大于 $0.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ 的水层为温跃层,盐度梯度大于 $0.1\text{‰}\cdot\text{m}^{-1}$ 的水层为盐跃层,密度梯度大于 $0.5\text{kg}\cdot\text{m}^{-4}$ 的水层为密度跃层;而在水深大于 200m 海域,定义温度梯度大于 $0.05^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ 的水层为温跃层,盐度梯度大于 $0.01\text{‰}\cdot\text{m}^{-1}$ 的水层为盐跃层,密度梯度大于 $0.015\text{kg}\cdot\text{m}^{-4}$ 的水层为密度跃层,本文中所有跃层深度为满足定义条件的跃层上界深度。这里主要对跃层现象显著的夏季航次观测进行分析。典型的跃层结构见图 4。

通过各个站位的温度、盐度、密度等的垂向分布图(其他站位略)发现,在珠江口附近海域跃层特征复杂,特别是受冲淡水影响显著的浅水区(如图 4 中 061 站、024 站及 051 站)。如图 4 所示,浅水区的跃层主要表现为以下类型。1)近岸单跃层类型(061 站):跃层深度在 10m 以浅,温、盐、密跃层深

度一致,盐度跃层表征了冲淡水的扩散,冲淡水阻碍了热能的向下扩散,在盐跃层深度形成温跃层及密度跃层。这类跃层强度大,多出现在冲淡水扩展区域,水深小于 Ekman 深度(约 40m)。2)陆架温、盐、密双跃层类型(024 站):为此次观测冲淡水区出现频率较高的双跃层结构。上跃层深度在 10m 左右,形成原因与近岸单跃层类型相同,但冲淡水混合更充分,盐度跃层减弱,因而产生的温度跃层及密度跃层强度也比近岸单跃层强度小;下跃层出现在 Ekman 深度处(约 40m 深),温跃层强度大,但盐度跃层强度小,此类跃层出现在水深 40—60m 且受冲淡水扩展的区域。此次航次调查的 220 个站点中有 19 个站点存在这种密度的双跃层结构。3)陆架温、密双跃层类型(051 站):温度垂向变化双跃层现象显著,盐度则只是在 Ekman 深度出现显著的跃层结构,在上温度跃层附近出现不太显著的密度跃层结构,密度在底部跃层特征显著。这类跃层盐度受冲淡水的影响小,上温跃层可能与太阳辐射相关。4)深水跃层(J40 站):各跃层几乎分布在同一水深,在水深 50—80m 附近跃层强度最大,且存在多跃层结构。

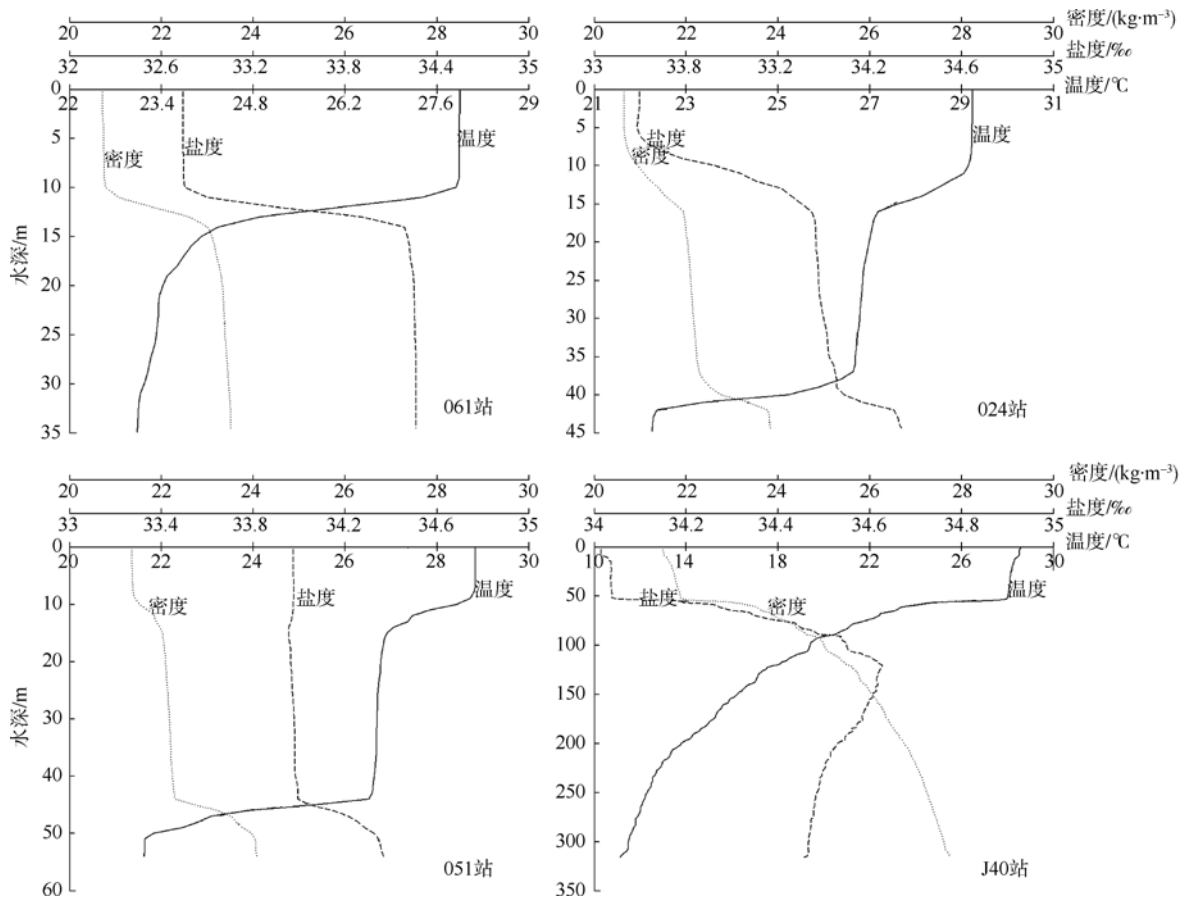


图4 夏季温度、盐度、密度垂向分布

Fig. 4 Vertical distribution of temperature, salinity and density in summer

2.2 夏季跃层深度与强度

2.2.1 平面分布

如图5所示,温度跃层深度和陆架地形有一定的联系,跃层深度随着水深的增加有变深的趋势。在沿岸海域,跃层深度分布在10m左右,外海陆架区域跃层深度在50—70m。在冲淡水扩展的区域温度跃层强度较大,在深水区域强度较小。盐度跃层深度在跨越陆架方向的分布和温度跃层深度的分布模式大致相同。冲淡水扩展区域,盐跃层深度大多小于10m,盐跃层强度极大;水深50—100m陆架区域,盐跃层深度分布等值线大致与等深线平行,比温跃层深度偏小。密度跃层深度分布(图略)形态介于温、盐跃层之间,在冲淡水扩展区域,密跃层深度与盐跃层深度接近,此区域盐度是密度的主要影响因素;在50m以深的海域,密跃层深度与温跃层深度接近,温度是密度的主要影响因素。在观测海区的东南部(114°—115°E、20.5°—21.5°N)出现一个温、盐、密跃层深度的高值中心,表现为明显的暖涡结构,跃层深度最大值达到100m以深。

2.2.2 垂向断面分布

在此次“908”夏季调查航次中,共进行了18个断面的调查。这里我们取远离珠江口的L01断面和珠江口轴线方向外断面L09断面为例来分析其跃层的垂向分布特征。

从L01断面的温盐垂向剖面(图6)可以看到,冲淡水的影响延伸到离岸60km左右,近岸为高温低盐水团控制。垂向剖面图上可以看到显著的跃层存在,温度跃层沿着陆架向外海逐渐加深,在近岸60m水深处跃层深度为20—30m,到300m水深处已达到70—80m左右。密度跃层和温度跃层有大致相同的分布特征。在沿岸区域盐跃层强度较大,陆架区域盐度跃层强度较小。在珠江口轴线外L09断面(图7)的近岸冲淡水团特征显著,从盐度剖面上看到,冲淡水的影响区域可以延伸到离岸50km左右,以盐度剖面上33.5‰的盐度等值线为界来看,等值线左侧盐度梯度大,右侧梯度小;在此水深10m左右上表面强盐度跃层和相对应水深40m处温度跃层的双重影响下,形成图4中024站所示双跃

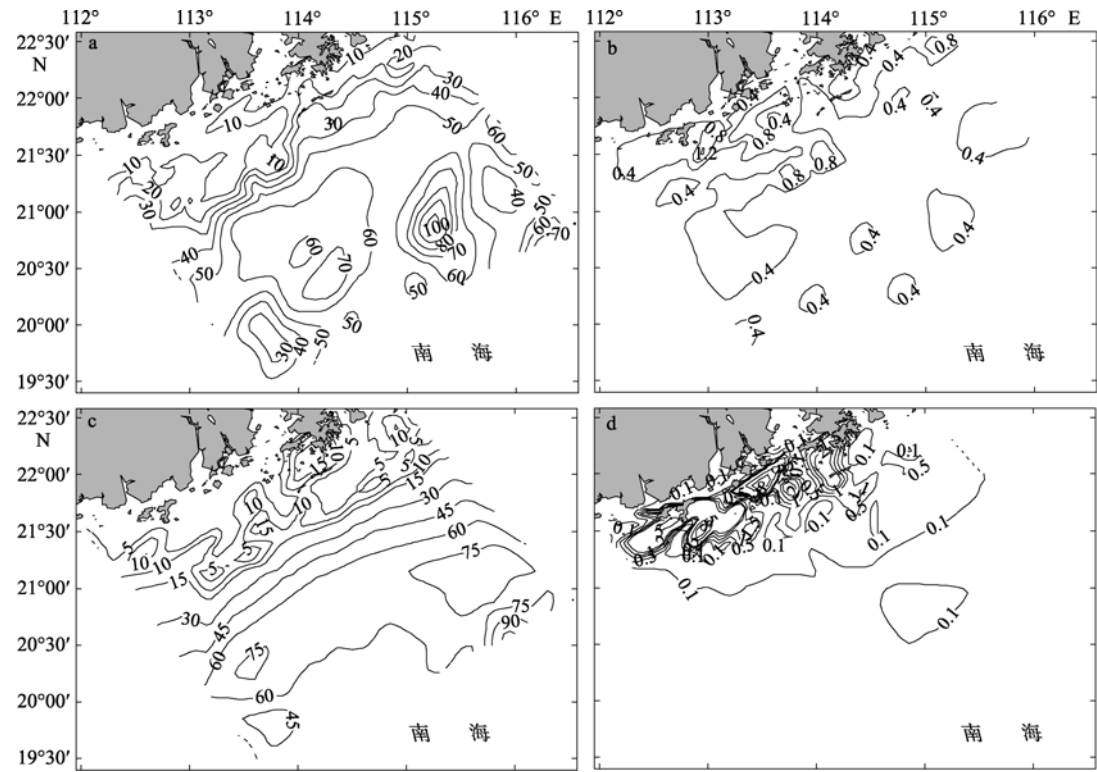


图 5 夏季温度跃层深度(a; 单位: m)、强度(b; 单位: m^{-1})和盐度跃层深度(c; 单位: m)、强度(d; 单位: $\text{‰}\cdot\text{m}^{-1}$)平面分布图
Fig. 5 Distributions of thermocline depth (a; units: m) and its strength (b; units: m^{-1}), halocline depth (c; units: m) and its strength (d; units: $\text{‰}\cdot\text{m}^{-1}$) in summer

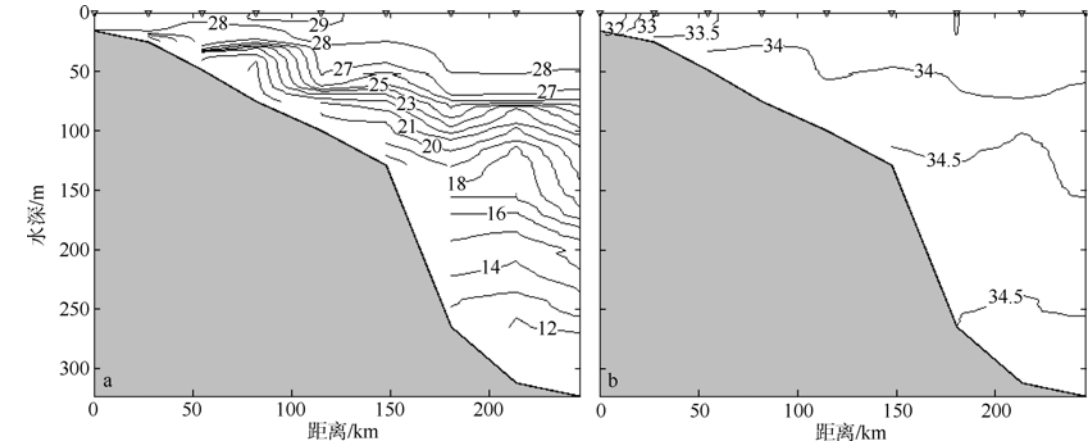


图 6 夏季 L01 断面水温(a; 单位: $^{\circ}\text{C}$)及盐度(b; 单位: ‰)分布
Fig. 6 Distributions of temperature (a; units: $^{\circ}\text{C}$) and salinity (b; units: ‰) along Section L01 in summer

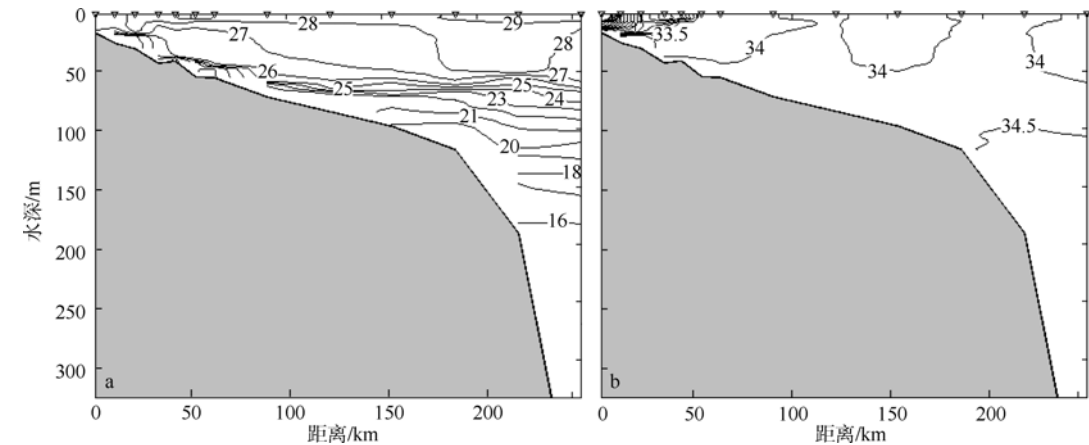


图 7 夏季 L09 断面水温(a; 单位: $^{\circ}\text{C}$)及盐度(b; 单位: ‰)分布
Fig. 7 Distributions of temperature (a; units: $^{\circ}\text{C}$) and salinity (b; units: ‰) along Section L09 in summer

层结构。

50m 以深区域, L09 断面的温度跃层深度随水深变化较小, 维持在 50—60m 水深附近; 在 50m 以浅海洋上层出现显著的盐度跃层, 跃层强度相对于远离珠江口的 L01 断面大得多, 同时在盐度跃变的影响下此区域对应着较强的密度跃层。

2.3 冬季跃层分布情况

南海冬季受强劲的东北季风控制, 在强烈的混合作用下, 近岸浅水陆架区极少有跃层现象存在。王东晓等^[16]曾经在关于通风温跃层的研究中指出, 冬季温跃层通风的抬头线位置在南海 16°—20°N 之间, 抬头线以北区域为混合层充分发展的混合均匀区, 不存在跃层现象。本次观测的站点大多集中在 20°N 以北的区域, 在强大的东北季风作用下, 陆架水体垂向混合均匀, 但粤东近岸海域却存在显著的温跃层及逆盐跃层, 其原因在于东北季风在沿岸海域驱动了下降流。东北季风的 Ekman 效应引起陆架表层海水向岸输送, 东北季风又驱动了西南向沿岸流, 其底边界层 Ekman 效应引起的沿岸底层海水离岸输送, 从而驱动了沿岸下降流, 出现了沿岸海域的逆盐跃层及温跃层现象^[17]。

由于冬季混合层的发展, 本次冬季航次 220 个站点中, 深水区只有 22 个站点有跃层存在, 存在跃层的站点规律性不强, 跃层深度相对于夏季较深,

集中在 100m 以深水域的观测区域的边缘地带; 跃层类型单一, 大多为单跃层结构; 其中 26 个站在海底附近温度、盐度和密度在垂向上存在一定的跃变, 个别站受到冲淡水的影响, 只有盐度在垂向上存在跃变, 但这些跃变达不到本文中跃层定义的标准; 其余大概 170 个站是上下混合均匀的结构。这里不再做重点分析。

3 珠江冲淡水扩展对水文结构的影响

3.1 珠江口外的上升流

由 L01 断面的温、盐剖面(图 6)我们可以看到, 在 30—70m 深的海域, 等温线和等盐线向岸抬升; 以 27° 等温线为例, 在距离岸边 180km 位置等温线位于水深 70m 左右, 在离岸 50km 则抬升至水深 30m。粤东各断面都有类似的水温断面分布, 表明沿岸有弱上升流存在的迹象。珠江口外 L09 断面的温度分布同样有明显的等温线沿陆坡向岸抬升的现象, 但在近岸区域抬升更多。对照表层(图 2)和 20m 层(图 8)温盐平面分布图发现, 在珠江口外的冲淡水扩展区域(大致以 113.7°E、21.6°N 为中心), 20m 层呈低温、高盐特征, 为强上升流特征。该区域上升流强于粤东沿岸海域, 说明冲淡水的扩展区利于上升流的产生。在珠江口外, 冲淡水的扩展与上升流的产生形成了非常强的温、盐、密跃层, 且跃层深度较小。

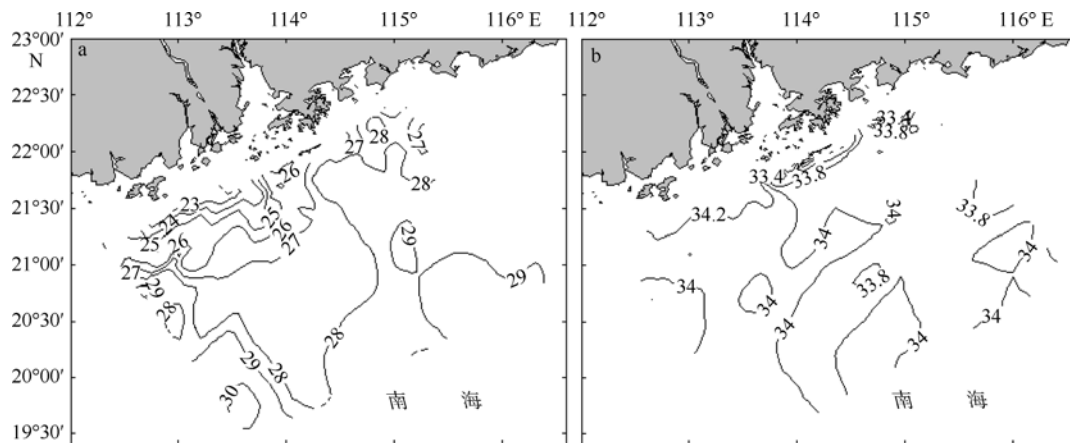


图 8 夏季 20m 层温度(a; 单位:)及盐度(b; 单位: ‰)平面分布

Fig. 8 Distributions of temperature (a; units:) and salinity (b; units: ‰) at 20m layer in summer

3.2 冲淡水扩散产生的障碍层

Zeng 等^[18]在 2000 年夏季障碍层的研究中指出, 冲淡水扩散和上升流是障碍层产生的重要因素。如图 9 中 001 站的温盐垂向剖面所示, 混合层厚度和等温层厚度存在厚度差, 即障碍层; 本文夏季航次调查中有 49 个站点存在障碍层的现象, 障碍层的分

布主要集中在珠江口西侧沿岸和珠江口东侧受冲淡水影响显著的区域。从混合层的湍动能角度而言, 淡水通量会改变混合层的垂向稳定度, 使暖而淡的表层水垂直稳定性大大加强, 混合很难穿越到更深的层次^[19]。夏季, 珠江输入的淡水通量使得此区域的障碍层现象显著。

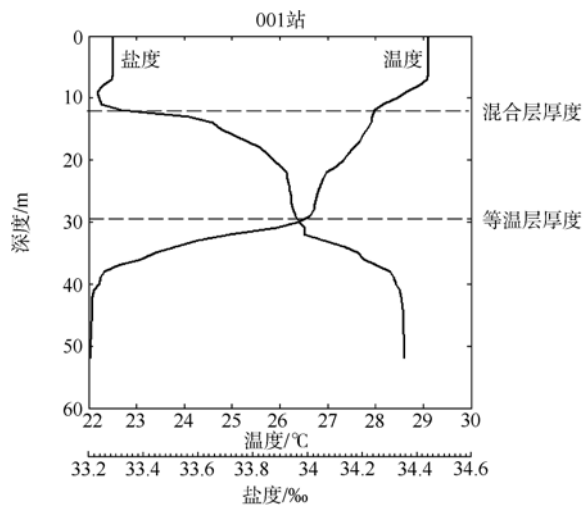


图 9 001 站温度和盐度剖面分布

Fig. 9 Vertical profiles of temperature and salinity at Station 001. Dashed horizontal lines are the mixed layer depth and isothermal layer depth.

4 中尺度涡对跃层分布的影响

除了上升流外, 涡旋等中尺度海洋现象在跃层深度的平面分布上也有明显的表征。50m 层温度及盐度平面分布(图 10)中, 在珠江口外海域 115° — 116°E 、 20° — 21°N 为高温低盐水体, 具有暖涡特征。L09 断面跨越该区域, 该断面上的 28 等温线在该区域下凹约 40m(图 7), 暖涡中心的下降流特征显著。对照跃层深度的平面分布可以发现, 此暖涡的中心位置跃层深度可以达到 100m 以深, 远远大于周围的海域, 可见涡旋对跃层深度有着极大的影响。除此之外, 还有些特征不太显著的涡旋, 例如中心在 113° — 114°E 、 19.5° — 20°N 附近的冷涡等, 都在跃层深度平面分布上有一定的表现。

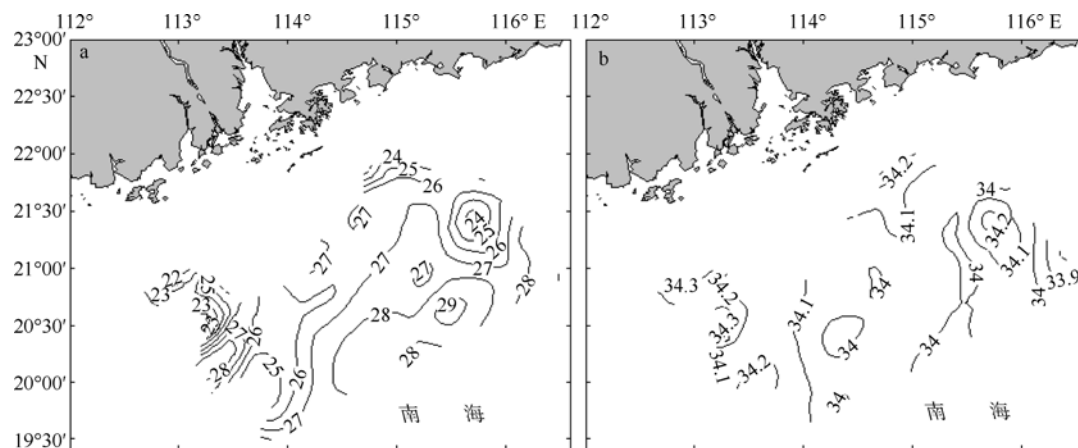
图 10 夏季 50m 层温度(a; 单位: $^{\circ}\text{C}$)及盐度(b; 单位: ‰)平面分布

Fig. 10 Distributions of temperature (a; units: $^{\circ}\text{C}$) and salinity (b; units: ‰) at 50m layer in summer

由图 11 夏季航次 ADCP 观测 75m 层流场分布同样可以看到, 在珠江口外海域 115° — 116°E 、 20° — 21°N 的区域有顺时针旋转的涡旋特征存在, 充分说明前文中跃层深度的平面分布特点对此涡旋的存在有很好的表征。

5 断面观测水团分析

本文利用夏季和冬季航次观测的 $T-S$ 点聚图(图 12)来讨论近岸水和陆架海水的结构和分布情形。温、盐点聚图中表层、次表层和中层温、盐点聚的离散, 表明水体在这些层上有较强烈的混合。夏季表层及次表层温、盐点聚离散, 盐度范围跨度大, 表明夏季受冲淡水的影响较强; 冬季则是次表层及中层离散, 则表明冬季受冲淡水的影响较弱, 但这些层存在较强烈混合且影响深度较深。

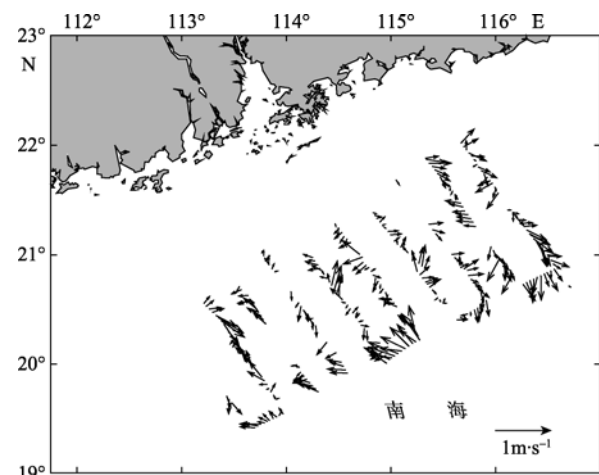


图 11 75m 层 ADCP 观测流场平面分布

Fig. 11 Current distribution at 75m layer in summer

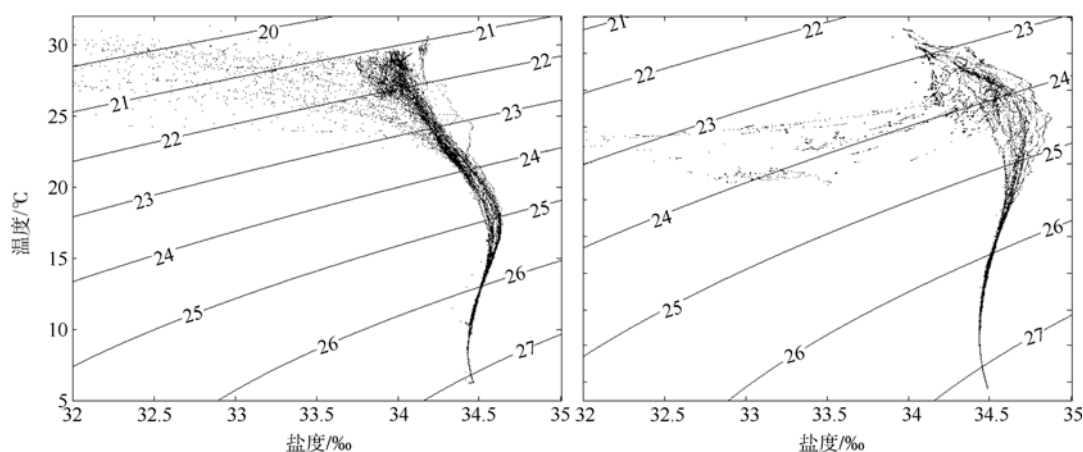


图 12 夏季(a)及冬季(b)航次观测 T-S 点聚图

受图片尺寸所限, 只取盐度大于 32‰ 的 T-S 点聚图

Fig. 12 T-S diagram of the surveys in summer (a) and winter (b)

6 总结

由 2006 年夏季航次和冬季航次 CTD 的温度、盐度观测结果, 经过计算跃层的分布, 可以得到以下结论:

1) 珠江口外海域夏季跃层现象显著, 且跃层类型复杂, 较多站点存在双跃层现象。跃层的分布和陆架地形有一定的关系, 在陆坡地带跃层深度较浅, 分布在 10m 左右; 在外海则较深, 深度范围在 50—70m 附近。冬季珠江口外近岸区域跃层现象不

显著, 只是在陆坡区域存在。

2) 夏季珠江口外海域存在显著的上升流现象, 强上升流区为冲淡水混合最剧烈的区域, 冲淡水的扩展似乎利于上升流的形成; 同时, 夏季珠江冲淡水扩展在一些近岸海域造成了双跃层及障碍层。

3) 珠江冲淡水、上升流、涡旋等中尺度海洋现象都对珠江口外海域的跃层分布有重要的影响, 各种中尺度现象在所观测区域的温盐场和海流分布上都有很明显的表征。

参考文献

- [1] ZHANG H, LI S. Effects of physical and biochemical processes on the dissolved oxygen budget for the Pearl River Estuary during summer[J]. *Journal of Marine Systems*, 2010, 79: 65–88.
- [2] 云凤娟, 钟欢良. 温、盐密跃层分布和变化[R]//南海北部陆架邻近水域十年水文断面调查报告. 北京: 海洋出版社, 1990: 157–183.
- [3] 曾淦宁, 胡建宇, 洪华生, 等. 西南季风不同阶段南海北部珠江口外断面水文调查分析[J]. *热带海洋学报*, 2005, 24(3): 10–17.
- [4] 邓松, 俞建良. 水团[R]//南海北部陆架邻近水域十年水文断面调查报告. 北京: 海洋出版社, 1990: 184–214.
- [5] MAO Q, SHI P, YIN K, et al. Tides and tidal currents in the Pearl River Estuary[J]. *Continental Shelf Research*, 2004, 24: 1797–1808.
- [6] WONG L, CHEN J, XUE H, et al. A model study of the circulation in the Pearl River Estuary (PRE) and its adjacent coastal waters: 1. Simulations and comparison with observations[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, 108 (C5): 3156.
- [7] 邓松, 钟良欢, 王名文. 琼海沿岸上升流及其与渔场的关系[J]. *台湾海峡*, 1995, 14(1): 51–56.
- [8] 洪启明, 李立. 粤东陆架区夏季的上升流[J]. *台湾海峡*, 1991, 10(3): 271–277.
- [9] 李立. 珠江口以西陆架夏季上升流的研究[J]. *台湾海峡*, 1990, 9(4): 338–346.
- [10] GAN J, LI L, WANG D, et al. Interaction of a river plume with coastal upwelling in the northeastern South China Sea[J]. *Continental Shelf Research*, 2009, 29: 728–740.
- [11] 徐锡祯, 邱章, 龙小敏. 南海温跃层基本特征及一维预报模式[J]. *海洋与湖沼*, 1993, 24(5): 494–502.
- [12] 庄伟, 胡建宇, 贺志刚, 等. 2000 年 7-8 月台湾海峡南部至珠江口附近海域表层温、盐度分析[J]. *热带海洋学报*, 2003, 22(4): 68–76.
- [13] 孙振宇, 胡建宇, 毛华斌. 2006 年 9 月南海北部表层温盐场的走航观测[J]. *热带海洋学报*, 2008, 27(1): 6–10.
- [14] 徐君亮, 王文介. 珠江三角洲河道港湾发育演变与港口合理布局[M]. 北京: 海洋出版社, 1993: 9–11.
- [15] 黄方, 叶春池, 等. 自然环境[M]//广东海岛资源综合调查——广东海岛海洋水文. 广州: 广东科技出版社, 1995: 7–9.
- [16] 王东晓, 杜岩, 施平. 冬季南海温跃层通风的证据[J]. *科学通报*, 2001, 46(9): 758–732.
- [17] 刘长建, 夏华永, 王东晓. 2006 年冬季广东沿岸水与陆架水交换的观测分析[J]. *海洋学报*, 2010(待刊).
- [18] ZENG L, DU Y, XIE S, et al. Barrier layer in the South China Sea during summer 2000[J]. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 2009, 47: 38–54.
- [19] UNESCO . Processing of Oceanographic Station Data[R]. JPOTS Editorial Panel, 1991: 138.