

赵瑞祥, 刘志亮. 台湾东北部黑潮次表层水入侵的季节变化规律[J]. 海洋学报, 2014, 36(1): 20-27, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2014.01.003

Zhao Ruixiang, Liu Zhiliang. The seasonal variation of the Kuroshio subsurface water intrusion northeast of Taiwan[J]. Acta Oceanologica Sinica(in Chinese), 2014, 36(1): 20-27, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2014.01.003

# 台湾东北部黑潮次表层水入侵的季节变化规律

赵瑞祥<sup>1,2</sup>, 刘志亮<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院 海洋研究所 海洋环流与波动重点开放实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 台湾东北部, 黑潮次表层水常年入侵东海陆架。但是黑潮次表层水入侵的季节变化规律, 尚存在很多不明之处。本文基于 2009 至 2011 年间东海 4 个航次的 CTD 实测数据, 研究了黑潮次表层水入侵东海过程的季节变化规律, 发现: 黑潮次表层水入侵在春末夏初开始加强, 夏季最强, 秋季开始减弱, 冬季最弱。入侵的黑潮次表层水起源深度也随季节变化有所不同。另外, 结果还表明黑潮次表层水入侵存在明显的短期变动。

**关键词:** 台湾东北部; 黑潮次表层水; 入侵; 季节变化

**中图分类号:** P731.27

**文献标志码:** A

**文献章编号:** 0253-4193(2014)01-0020-08

## 1 引言

东海是世界上最大的边缘海之一, 具有广阔的大陆架。水文特征主要受黑潮入侵水、台湾暖流水以及沿岸水的影响, 具有明显的季节变化。

黑潮是沿着北太平洋西部边缘向北流动的一支强西边界海流。黑潮水相对于东海陆架水, 具有明显的高温高盐的特点。黑潮通过台湾东北部进入东海, 其主干在该处地形限制下向东流动, 并沿着陆架坡折走向转向东北。然而, 一部分黑潮水会通过北棉花峡谷(North Mien Hwa Canyon)入侵陆架<sup>[1-5]</sup>, 这是黑潮水影响东海陆架的一个重要途径。

根据 T-S 聚类分析和模糊集方法, 可将东海黑潮区的水团划分为 4 个: 黑潮表层水、黑潮次表层水、黑潮中层水和黑潮深层水<sup>[6]</sup>。一般认为, 台湾东北部入侵东海陆架的黑潮水, 主要是黑潮表层水和次表层水。而黑潮次表层水的入侵, 不仅改变了东海陆架海

域的温盐场和流场分布, 而且还因携带较高浓度的磷酸盐而影响东海的生物过程。

关于黑潮次表层水入侵东海陆架的形式及机制, 前人做了很多有益的研究。苏纪兰等<sup>[7]</sup>发现, 黑潮次表层水常年可入侵陆架, 而上层水入侵陆架仅在秋季下半段及冬季较为显著。潘玉球等<sup>[8]</sup>进一步指出, 夏、冬季陆架区海水密度的轻、重和黑潮进入东海后失去台湾岸线的“支撑”, 是引起台湾以北陆架海域水文结构产生季节性差异的主要原因。Chao<sup>[9]</sup>基于三维模式模拟结果, 发现冬季季风使台湾东北部的黑潮入侵加强。他认为冬季东海陆架黑潮水的增多与北风的 Ekman 输送有关。但 Chuang 等<sup>[10]</sup>认为, 沿岸方向的风应力造成的 Ekman 输送不是引起黑潮入侵的直接原因。最近, Yang 等基于三维环流模式, 分析了夏季黑潮次表层水入侵东海陆架的途径<sup>[4-5]</sup>及其三维结构<sup>[5]</sup>。而在其他季节, 这些结构存在怎样的变化还不清楚。因此, 关于黑潮入侵东海陆架过程的季节

收稿日期: 2012-10-08; 修订日期: 2013-05-17。

基金项目: 国家重大基础研究计划课题“边缘海向深海洋碳输送”(973 项目: 2009CB421205)。

作者简介: 赵瑞祥(1989—), 男, 山东省菏泽市人, 从事中国近海环流研究。E-mail: jerry19890126@163.com

\* 通信作者: 刘志亮(1977—), 男, 山东省潍坊市人, 副研究员。E-mail: zhlliu@qdio.ac.cn

变化规律尚存在许多不明之处。本文通过分析东海两个典型断面在4个季节航次的CTD数据,探讨了黑潮次表层水入侵东海陆架的季节变化规律。

## 2 资料来源和断面位置

在2009年至2011年间,在国家重大基础研究计划(973项目)“中国近海碳收支、调控机理及生态效应研究”资助下,我们分别在夏季、冬季、秋季和春季,于东海海域进行了4次水文调查。4次调查均使用Seabird 911直读式CTD测量温盐深等基础水文数据,配合12L NiSkin采水器进行采水作业。其中夏季航次时间为2009年8月16日至9月1日;冬季航次时间为2009年12月23日至2010年1月5日;秋季航次时间为2010年11月25日至12月10日;春季航次时间为2011年5月25日至6月10日。

本文选取了航次调查所布设的DH2断面和DH3断面进行分析,图1是这两个断面的地理位置示意图。不同季节的航次所用的站位略有不同。如在春季航次中,DH3断面仅占用了DH31A、DH31B、DH32、DH33、DH34和DH35六个站位,而没有最西侧的DH31站位和东侧的DH36和DH37站位。可以

看出,这两个断面横跨东海陆架:东端处于东海陆架的外缘,在200 m等深线附近;西端可达浙江近岸海域。另外,为了探究次表层水的来源,我们还使用了KP13站的温盐数据。KP13站位于25.3°N,122.5°E,在台湾东北部黑潮主轴的北侧,也在图上标出。

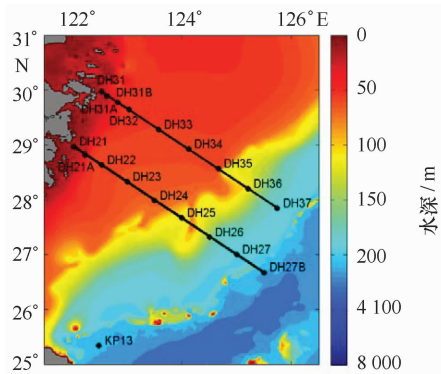


图1 DH2断面、DH3断面和KP13站地理位置示意图

## 3 DH2断面的水文分布特征

DH2断面4个季节航次的温度、盐度和位密分布如图2所示。

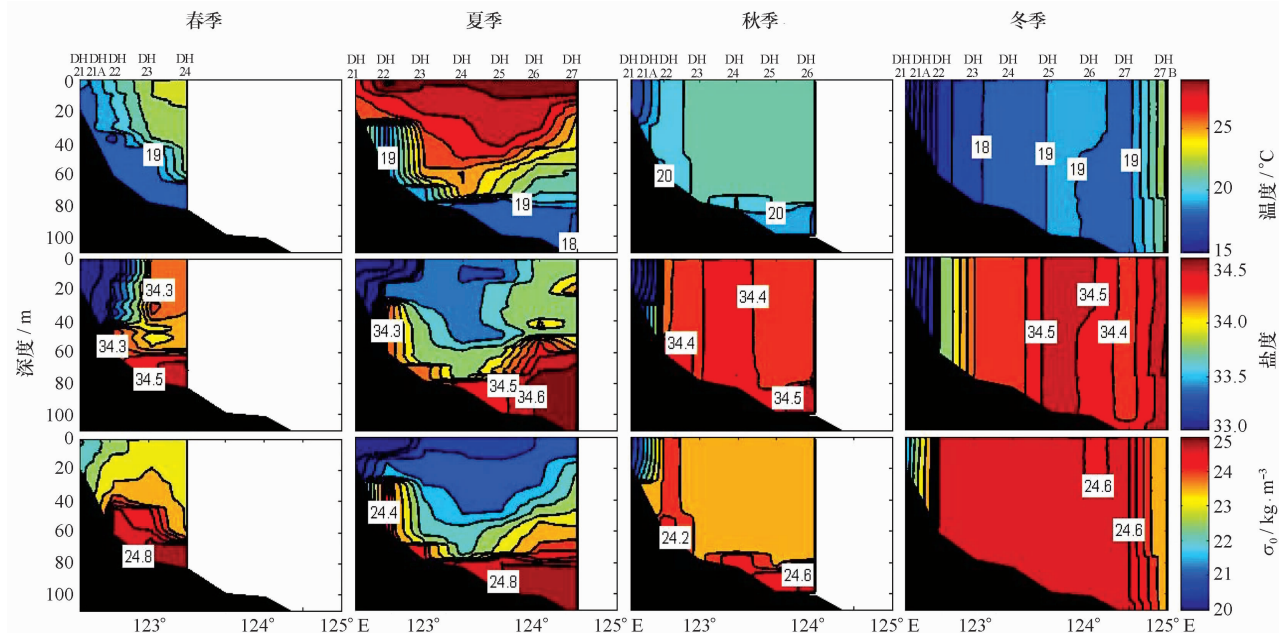


图2 DH2断面温度分布(第一行),盐度分布(第二行),以及位势密度 $\sigma_0$ 分布(第三行)

各行子图从左至右分别对应春、夏、秋、冬4个季节航次

### 3.1 春季航次

由于春季航次所用站位较少,因此,我们仅得到DH2断面西侧的水文分布情况。从分布图上可以看出,该断面垂向出现较为明显的分层。温度分布大致

为断面西部低而东部高,且等温线走向与海底地形较为一致。底层低温水在该断面西侧的各个站点都有分布,分布深度从断面中部DH24站的65 m以深,可达西侧DH21a站表层。DH22站以西皆为低盐水,

DH22 站以东,存在两个高盐水( $S>34.3$ )水团:一个分布在 DH23 站以东 40 m 以浅,在 DH23 站的东侧 20~40 m 出现一个( $S>34.3$ )的高盐核心;另一个分布在 DH22 站以东 60 m 以深的底部( $S>34.5$ ),在 DH23 站以西,可达 40 m 以深,且在 DH22 站呈现一个向上拱的“穹形”结构,有形成一个独立的核心的趋势。由于 DH22 站以东底部水具有低温高盐的特征,该处形成了一个高密度( $\sigma_0>24 \text{ kg/m}^3$ )水团。

### 3.2 夏季航次

夏季,断面垂向分层非常显著。DH22 站 25 m 以深存在一个低温核心,核心温度小于  $19^\circ\text{C}$ 。DH24 站以东的所有站位,80 m 以深亦存在一低温性质的水团, DH27 站 85 m 处低温达  $18^\circ\text{C}$ 。这两个低温区域对应分布着高盐水。而且,断面西侧的高盐核心盐度较低( $S>34.3$ ),且核心范围很小,仅分布在 DH22 站周围;而断面东侧的高盐水盐度较高,最高盐度达 34.6 以上,且范围很大(从 DH24 站至 DH27 站)。断面底部的两个低温高盐区域皆具有较大的密度( $\sigma_0>24 \text{ kg/m}^3$ ),且等密度线大致与  $20^\circ\text{C}$  等温线一致。

### 3.3 秋季航次

秋季,断面垂向混合均匀,不同性质的水体开始呈现“柱状”分布。仅在断面的最东侧和最西侧的底

部有较明显的层结。DH23 站以西温度相对较低( $t<21^\circ\text{C}$ ),在 DH22 站底部的 50~65 m 深度还存在一低温核心( $t<20^\circ\text{C}$ )。在 DH24 站 80 m 以深的底部亦存在低温水( $t<20^\circ\text{C}$ )。从盐度分布图中,可以看出,在 DH22 站以东 DH23 站以西 50 m 以深,存在一高盐核心( $S>34.4$ )。在断面中部,即 DH23 和 DH24 中间,存在一高盐水柱( $S>34.4$ )。DH25 站以东 80 m 以深,也存在一高盐核心( $S>34.5$ )。值得注意的是断面的盐度分布:在底部不仅有两个高盐核心分布在两侧,中央还出现了一个贯穿各个深度的高盐水柱。

### 3.4 冬季航次

冬季,断面垂向混合充分,不同性质的水体完全成“柱状”分布。温度和盐度的水平分布大致都呈自西向东逐步升高的趋势。但有所不同的是,在 DH25 站和 DH26 站之间,存在相对高温高盐水柱( $t>19^\circ\text{C}$ ,  $S>34.5$ ),破坏了这一趋势。这和秋季 DH2 断面出现的高盐水柱所类似。有所不同的是,冬季的这个高盐水柱不仅盐度比秋季的高约 0.1,且位置向东移动了几乎一个经度。

## 4 DH3 断面的水文分布特征

DH3 断面在各个季节的温度和盐度分布如图 3 所示。

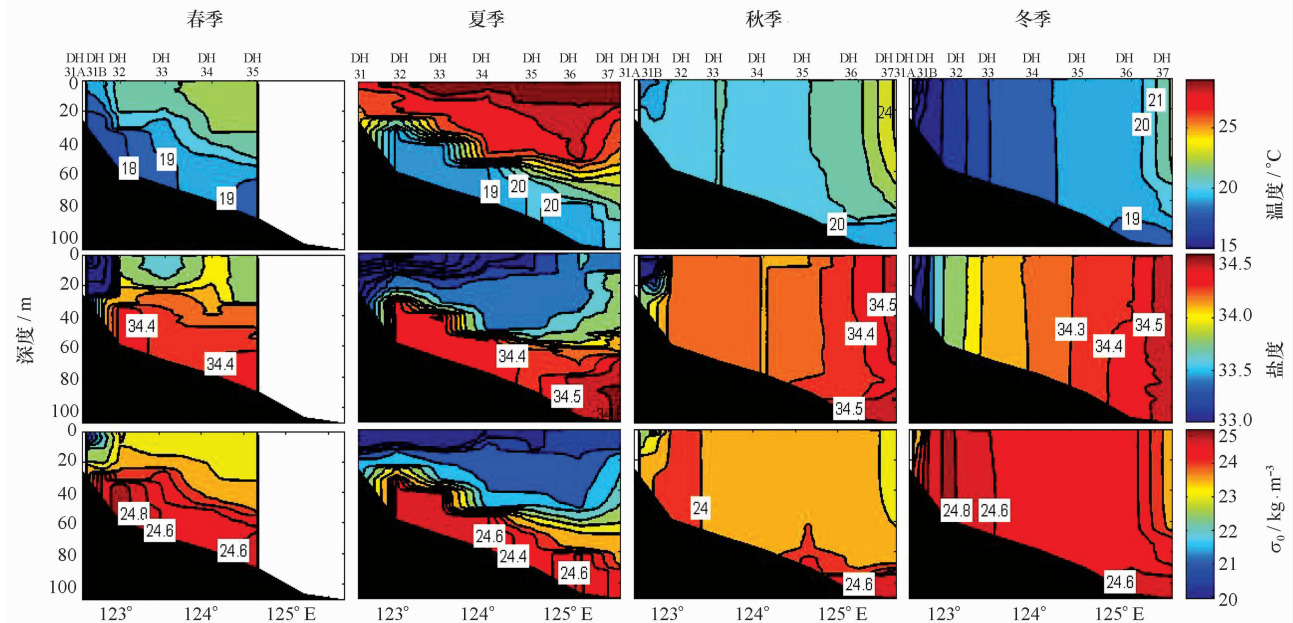


图 3 DH3 断面温度分布(第一行),盐度分布(第二行),以及位势密度  $\sigma_0$  分布(第三行)

各行子图从左至右分别对应春、夏、秋、冬 4 个季节航次

### 4.1 春季航次

春季航次中,该断面垂向出现较为明显的分层。

与 DH2 断面类似,在各个站位的底部存在着低温水( $t<20^\circ\text{C}$ ),分布深度从 DH35 站 50 m 以深,到

DH31a 站和 DH31b 站的表层。与 DH2 断面所不同的是,在 DH33 站以西的底部,以及 DH34 站的东侧底部,分别存在着低温核心( $t < 19^{\circ}\text{C}$ ),厚度约 20 m。值得注意的是,西侧核心( $t < 18^{\circ}\text{C}$ )比东侧核心( $t < 19^{\circ}\text{C}$ )温度更低,所在深度却较浅。对应着两个低温核心,在 DH32 站 30 m 以深的底部,以及 DH34 站以东 60 m 深的底部,分别存在着高盐核心( $S > 34.4$ ),但断面西侧的高盐核心相对对应的低温核心,范围小了很多,仅限制在 DH32 站,说明这个核心可能受沿岸水影响较大。这两个高盐核心与该断面的低温核心对应,形成了两个高密度核心( $\sigma_0 > 24.5 \text{ kg/m}^3$ )。

令人感兴趣的是,对比春季航次 DH2 和 DH3 断面的温盐分布图,我们会发现,DH3 断面西侧的低温核心( $< 18^{\circ}\text{C}$ )比 DH2 断面西侧低温核心( $< 18^{\circ}\text{C}$ ,在 DH22 站约 40 m 深度)大很多。相对春季 DH2 断面,这里形成了两个独立的低温高盐核心。

#### 4.2 夏季航次

夏季,断面垂向分层非常显著。DH32 站与 DH35 站之间的底部存在一低温核心( $t < 19^{\circ}\text{C}$ )。该核心沿坡分布,厚度约 20 m。在 DH36 站底部 80~110 m 之间,也存在一低温核心( $t < 20^{\circ}\text{C}$ )。与该断面的春季温度分布特征类似,西侧核心比东侧核心温度更低,但所在深度却较浅。对应断面底部的两个低温核心,DH32 站与 DH35 站之间的底部存在一高盐核心( $S > 34.4$ )。DH35 站以东的底部也存在一高盐核心( $S > 34.4$ ),在 DH37 站盐度甚至超过 34.6。

对比夏季航次 DH2 断面和 DH3 断面的温盐分布,我们发现两断面底部都有两个低温高盐水区域的存在。但是,DH2 断面西侧的低温高盐核心较小,而 DH3 断面西侧的核心就很大。不仅如此,在 DH2 断面,东侧底部低温水较西侧底部低温核心温度要低;而到了 DH3 断面,东侧低温核心却较西侧核心温度高  $1^{\circ}\text{C}$  ( $20^{\circ}\text{C}$ )。另外,DH3 断面西侧核心( $S > 34.4$ )较 DH2 断面西侧核心( $S > 34.3$ )大,核心盐度也高 0.1。

#### 4.3 秋季航次

秋季,断面垂向混合均匀,仅在断面东侧存在较明显的层结。DH36 站以东 85 m 以浅是高温高盐水,可能到达黑潮主轴。在 DH35 站以东 95 m 以深存在着相对低温水( $t < 20^{\circ}\text{C}$ )。不同于秋季的 DH2 断面,断面西侧不再有低温高盐水的存在,高盐水仅存在于断面东侧。DH35 站以东 90 m 以深,分布着高密度水( $\sigma_0 > 24.5 \text{ kg/m}^3$ )。

#### 4.4 冬季航次

冬季,断面垂向混合充分。温度和盐度都自西向东逐步升高。值得注意的是,在 DH36 站和 DH37 站之间底部,出现了一个低温核心( $t < 19^{\circ}\text{C}$ ),所在深度大约 90~110 m。DH37 站 60 m 以浅则被相对高温高盐水( $t > 22^{\circ}\text{C}$ ,  $S > 34.6$ )占据。高密度水( $\sigma_0 > 24.5 \text{ kg/m}^3$ )分布在断面两侧(DH31b 站至 DH34 站之间,以及 DH36 站和 DH37 站底部)。

### 5 黑潮次表层水入侵东海北部的季节变化

为了追溯 DH2、DH3 断面底层低温高盐水的起源,我们选定了一些出现底部低温高盐水的站点,并将该站点的水其与 KP13 站的水(黑潮水)进行了 T-S 特征分析对比,如图 4 所示。

各个站点的低温高盐水在 T-S 点聚图中对应该站点温度最低,盐度最大的一端(右下端)。可以看出,低温高盐水的 T-S 性质与 KP13 站的非常接近。而且,黑潮次表层水盐度最大,且温度较低。因此,各个断面出现的底部低温高盐水的来源应该是黑潮次表层水。

为了进一步探讨低温高盐水的起源及季节变异,我们将各个季节航次中 DH2 和 DH3 断面底部低温高盐水的核心温度和盐度,分别与该航次 KP13 站的温盐垂向分布进行对比分析,可得到低温高盐水起源深度的季节变化。考虑两个断面的底部低温高盐水一般呈两个独立核心,因此,我们将分别追溯两个核心的黑潮起源深度。得到的结论如表 1 所示。从表中可以看出,低温高盐水的起源深度大多在 100 m 以深,在黑潮次表层。因此,我们可以用各个季节断面底部出现的低温高盐水的分布特征和范围大小,来表征黑潮次表层水入侵至东海陆架 DH2 和 DH3 断面的季节变化。

Yang 等<sup>[5]</sup>基于 ROMS 数值模式结果,结合东海夏季航次水文实测数据,提出夏季黑潮次表层水入侵东海陆架的两个可能途径: NKBC(黑潮近岸分支流)和 OKBC(黑潮远岸分支流)。夏季,台湾东北部黑潮次表层水即通过这两支底部入侵流深入东海陆架。这两支入侵流导致了夏季 DH2 和 DH3 断面底部的两个低温高盐核心。其实,在春季和秋季,在断面的相应位置,也存在着类似的低温高盐核心。对应的低温高盐核心很可能是因为入侵流 NKBC 和 OKBC 的继续存在。因此,我们就可以用各个季节断面两侧底部的低温高盐核心的分布范围,来表征这两支入侵流的季节变化,从而得到黑潮次表层水入侵东海陆架的季节尺度变化特征。

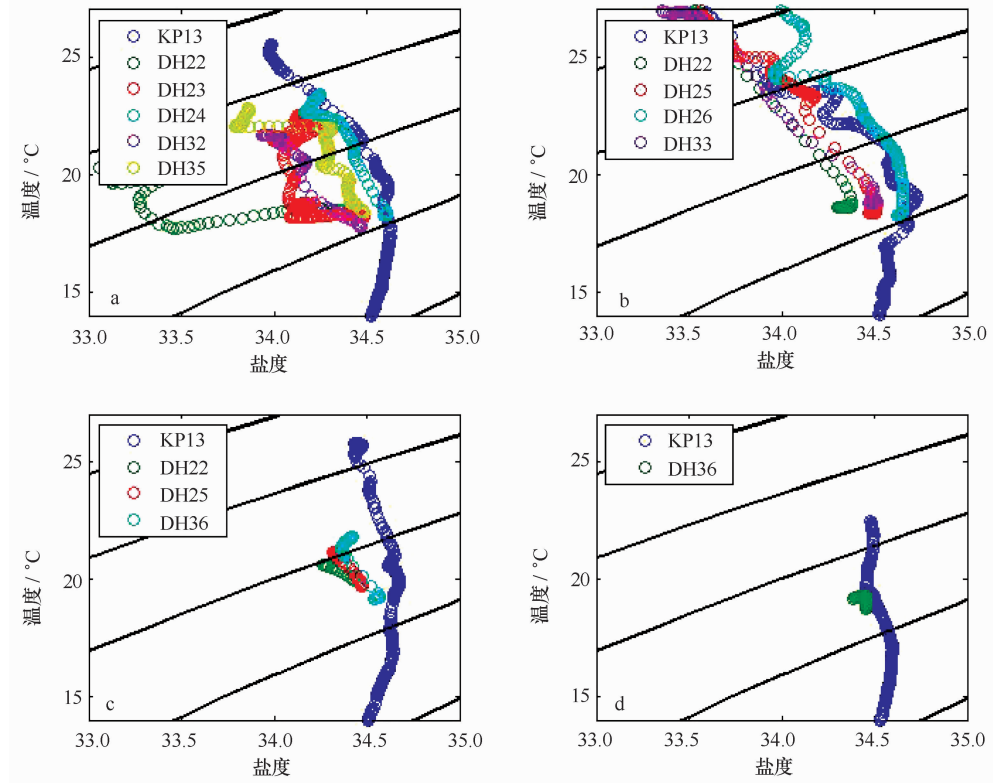


图 4 各个季节航次出现底部低温高盐水的站点与 KP13 站的 T-S 对比图  
a. 春季, b. 夏季, c. 秋季, d. 冬季

表 1 DH2 和 DH3 断面底部低温高盐水的核心温度、盐度及可能来源深度

		春季	夏季	秋季	冬季
DH2 断面西侧核心	核心温度	18°C	19°C	20°C	—
	核心盐度	34.3	34.3	34.4	—
	起源深度	深于 110 m	深于 110 m	深于 150 m	—
DH2 断面东侧核心	核心温度	19°C	18°C	19°C	—
	核心盐度	34.5	34.6	34.5	—
	起源深度	100~250 m	120~140 m	深于 170 m	—
DH3 断面西侧核心	核心温度	18°C	19°C	—	—
	核心盐度	34.4	34.4	—	—
	起源深度	110~350 m	110~350 m	—	—
DH3 断面东侧核心	核心温度	19°C	20°C	20°C	—
	核心盐度	34.4	34.6	34.5	—
	起源深度	110~350 m	80~120 m	深于 150 m	—

表中的“—”表示在该季节没有对应核心的出现。由于黑潮水入侵的过程中会不断发生变性,从而使核心的 T-S 相对黑潮的 T-S 特性发生改变,导致以温度为指标和以盐度为指标得到的起源黑潮水深度有所差异。因此,我们在分析时主要采用了保守性更强的盐度指标,而以温度指标作为参考。

春季航次中, DH2 断面西侧底部是低温高盐水, 值得注意的是, DH22 站出现了一个“穹形”的高盐结构, 有形成独立核心的趋势。 DH3 断面出现了两个

独立的低温高盐核心。以上现象, 说明 NKBC 和 OKBC 两支入侵流已经存在。

夏季航次中, DH2 断面和 DH3 断面, 底部两个

低温高盐水团已经相互独立。相对于春季航次,它们都有一定程度的发展。说明 NKBC 和 OKBC 两支入侵流在夏季增强。

秋季航次中,在 DH2 断面,两侧核心仍然存在,但范围减小很多。DH3 断面西侧底部不存在低温高盐水,且东侧底部的低温高盐水不呈现核心状的结构,更有可能是来自东部黑潮的沿坡入侵。因此,我们认为 NKBC 和 OKBC 两支入侵流在秋季减弱,NKBC 可入侵至 DH2 断面,但不能入侵至 DH3 断面。断面东侧更倾向于沿坡入侵,OKBC 不明显。

冬季航次中,两个断面水体垂向混合非常均匀,没有任何核心结构的出现,仅在 DH3 断面东侧底部有一个 19℃ 的低温水团,但没有对应地出现高盐核心。我们认为这个水团来自断面东部黑潮的沿坡入侵。因此,NKBC 和 OKBC 两支入侵流在冬季都不明显。

综上,我们可以总结出 DH2 和 DH3 断面的黑潮次表层水入侵流的季节变化规律,如图 5 所示。因此,台湾东北部黑潮次表层水的入侵,春末夏初开始加强,夏季达到最强,秋季开始减弱,冬季最弱。

## 6 关于 DH2 和 DH3 断面温盐分布的进一步讨论

我们在前面已经展示了 DH2 和 DH3 断面在各个季节的基本水文分布特征。同时,我们也发现了一些有趣的现象,现在做进一步的讨论。一是秋冬两

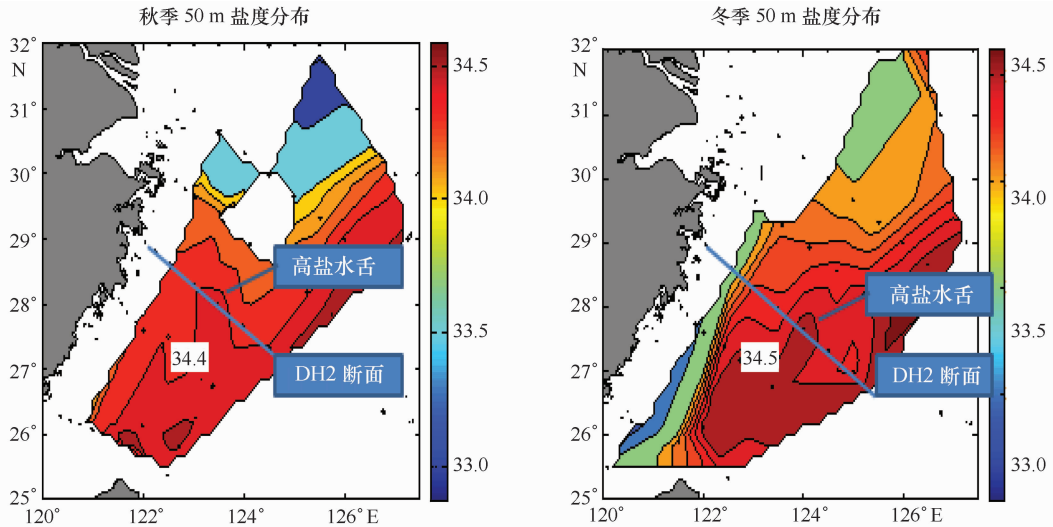


图 6 秋冬季东海陆架上的高盐水舌示意图

另外一个值得我们注意的现象是在夏季, DH3 断面底部低温高盐水的盐度高于 DH2 断面底部低温

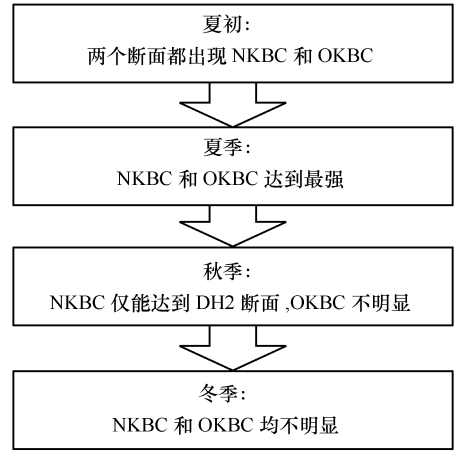


图 5 DH2 和 DH3 断面黑潮底部入侵流的季节变化规律

季, DH2 断面的中部会出现一个贯穿整个水层的高盐水柱,很显然,这个水柱不能用底部入侵流 NKBC 和 OKBC 解释。那么,这个高盐水柱是怎么来的呢?为此,我们结合秋冬季的东海航次的所有温盐数据,分析了秋冬季各个深度的盐度平面分布。由于高盐水的柱状分布特征,因此在本文我们选取 50 m 深度图示例(如图 6)。在图中可以清楚地看出,秋冬两季,分别各有一支来自 DH2 断面南部的高盐水舌伸入至该断面。从分布形态上来看,这支高盐水舌很有可能来自南部的黑潮,是黑潮入侵的产物。在秋冬两季,有一支高盐水舌伸入至 DH2 断面中部(约 28°N, 123°E),这或许是黑潮入侵的一个季节性规律。

高盐水的盐度,见图 2 和图 3。这是令我们感到疑惑的,因为在研究海域,只有南部的台湾暖流及黑潮水

入侵才是高盐水的可能来源,因此,我们推测位于北部的 DH3 断面底部水应该较位于南部的 DH2 断面呈现相对低盐的特征。换句话说,黑潮底部入侵流 NKBC 在北上过程中,由于不断与陆架低盐海水进行混合,下游的 DH3 断面水的盐度应不超过上游的 DH2 断面水。而夏季实测的盐度分布特征却恰与我们预料分布特征相反。我们同时也可以从图中可以看出, DH3 断面的西侧核心较 DH2 断面的西侧核心大很多,如果以黑潮底部入侵流的角度来看,似乎很难进行解释。由于在冬季,高盐水都分布在陆架的东侧,而且该海域地形是一个指向东南的斜坡,因此, DH3 断面底部高盐水不可能来自冬季存留水。那么, DH3 断面的这个底部高盐核心是如何形成的呢?我们初步认为,它可能与 NKBC 的短期变动有关。其实,潘玉球等<sup>[8]</sup>曾在文章中提到,台湾东北海域,虽然次表层水涌升现象及地点是稳定的,但结构上的短期变化也是明显的。这可能导致起源于台湾东北部海域的 NKBC 的不稳定,使它在某段时间流量较大,而某段时间流量较小。当 NKBC 流量较大时的入侵水,到达研究断面时,呈现的温盐分布特征是底部低温高盐核心较大,且核心特征温度盐度可以较好地维持;而流量较小时的入侵水,到达研究断面时,呈现的温盐分布特征是底部低温高盐核心较小,核心特征温度和盐度不能很好地维持,即核心特征温度会偏高,而

核心特征盐度偏低。我们可以从图中推测,入侵流 NKBC 可能在某段时间突然变弱,因此入侵流较强时的那部分入侵水到达 DH3 断面时,在底部形成了一个较大的盐度较高的核心;同时,入侵流变弱的那部分入侵水到达 DH2 断面,并在底部形成了一个较小的盐度较低的核心。以上猜想需要进一步验证。

## 7 结论

通过分析 DH2、DH3 断面和 KP13 站在不同季节的 CTD 数据,我们得到以下结论。

(1)黑潮次表层水入侵至这两个断面的形式分为来自台湾东北部的底部入侵流(黑潮近岸分支流和黑潮远岸分支流)和来自东部的黑潮水沿坡入侵两种。来自东部的黑潮次表层水的入侵常年存在。底部入侵流的季节变化规律是:在夏初形成,夏季最强,秋季可影响至 DH2 断面,冬季最弱以致两个断面没有出现入侵流的痕迹。两支入侵流的起源深度在季节上呈现一定的变化。

(2)秋冬两季,在 DH2 断面的中部,皆出现一个高盐水柱,是黑潮入侵水伸入的一个高盐水舌。这个高盐水舌或许是黑潮水入侵的一个季节特点。

(3)夏季, DH3 断面的盐度超过 DH2 断面的盐度,说明 NKBC 不稳定,存在短期变化。

## 参考文献:

- [1] Qiu Bo, Norihisa Imasato. A numerical study on the formation of the Kurushio Counter Current and the Kuroshio Branch Current in the East China Sea[J]. *Continental Shelf Research*, 1990, 10(2): 165—184.
- [2] Tang T Y, Hsueh Y, Yang Y J, et al. Continental Slope Flow Northeast of Taiwan[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 1999, 29: 1353—1362.
- [3] Wong George T F, Chao Shennyu, Li Yuanhui, et al. The Kuroshio edge exchange processes(KEEP) study — An introduction to hypotheses and highlights[J]. *Continental Shelf Research*, 2000, 20(4/5): 335—347.
- [4] Yang Dezhou, Yin Baoshu, Liu Zhiliang, et al. Numerical study of the ocean circulation on the East China Sea shelf and a Kuroshio bottom branch northeast of Taiwan in summer[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2011, 116: C05015.
- [5] Yang Dezhou, Yin Baoshu, Liu Zhiliang, et al. Numerical study on the pattern and origins of Kuroshio branches in the bottom water of southern East China Sea in summer[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2012, 117: C02014.
- [6] 国家海洋局科技司. 黑潮调查研究综合报告[R]. 北京:海洋出版社, 1995: 16—17.
- [7] 苏纪兰, 潘玉球. 台湾以北黑潮入侵陆架途径的探讨[G]//黑潮调查研究论文选(二). 北京:海洋出版社, 1990: 187—197.
- [8] 潘玉球, 苏纪兰, 徐端蓉. 台湾以北海域夏、冬季的海洋学特征及其变异[G]//黑潮调查研究论文选(二). 北京:海洋出版社, 1990: 126—135.
- [9] Chao Shenn-Yu. Circulation of the East China Sea, a numerical study[J]. *Journal of Oceanography*, 1990, 46(6): 273—295.
- [10] Chuang Wen-Ssn, Liang Wen-Der. Seasonal variability of the Kuroshio by the continental shelf northeast of Taiwan[J]. *Journal of Oceanography*, 1994, 50: 531—542.

# The seasonal variation of the Kuroshio subsurface water intrusion northeast of Taiwan

Zhao Ruixiang<sup>1,2</sup>, Liu Zhiliang<sup>1</sup>

(1. *Key Laboratory of Ocean Circulation and Wave, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** The Kuroshio subsurface water intrusion onto the East China Sea continental shelf is a year-round phenomenon to the northeast of Taiwan. However, the seasonal variation of the Kuroshio subsurface water intrusion still remains unclear. In this paper, the seasonal variation of Kuroshio intrusion onto the East China Sea continental shelf is investigated based on the CTD (conductivity temperature depth) data obtained from the four seasonal cruises of the East China Sea from 2009 to 2011. It is found that: the intrusion strengthens in late spring, strongest in summer, weakens in fall and becomes the weakest in winter. The depth of origin of the intruded Kuroshio subsurface water also varies with season. In addition, there exists significant short-term variability of the subsurface intrusion.

**Key words:** northeast of Taiwan; Kuroshio subsurface water; intrusion; seasonal variation