

九州西侧海域 129° E 断面的流速 和温盐结构特征*

宋万先 郭炳火

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

提要 根据中、日合作黑潮调查研究期间(1987—1993年)在九州西侧海域获得的水文资料, 计算了129° E断面的地转流速和流量。着重提出129° E断面北侧存在一支较稳定的西向流; 分析这支西向流的去向, 指出它是向对马暖流输送黑潮水的重要途径; 给出了这支西向流及黑潮通过该断面的流速、流轴、流幅及流量的变化特征。

关键词 黑潮 西向流 流速 流量

为开展对马暖流的研究, 日本曾在九州西侧海域的对马暖流源区做过大量的调查, 但其断面布设基本为纬向。中、日合作黑潮调查研究期间在九州西侧海域布设了129° E断面, 这是过去的调查未曾有过的经向断面, 在该断面获得了四个季节的14次调查资料。该断面正位于黑潮向东转折所经之处, 因而对研究黑潮向东转折处的流速和温盐结构、流轴摆动以及黑潮向东转折处以北的西向流特征有重要意义。过去有关该方面研究的报道甚少, 本文根据129° E断面14次的调查资料对这些问题进行分析。

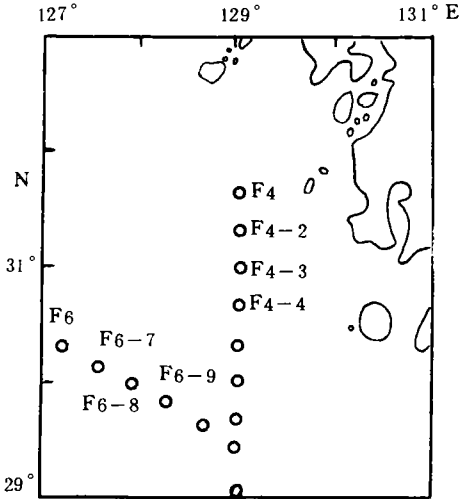


图1 调查站位分布

Fig.1 Surveying profiles and station locations on the 129° E section

1 流速结构

1.1 流速计算方法 九州西侧海域129° E断面海底起伏大, 为减小地转流计算时水深订正造成的误差, 取600m作为零面, 这样需要订正的测站很少。为使订正更趋合理, 本文采用 Song Wanxian(1993)的办法, 即采用比较两测站间实测深度与订正深度内重力势符号, 若差值符号相反, 取订正部分等于较深站的值。对个别深度相差较大的测站, 还采用按温、盐等值线趋势取值的办法, 使计算趋于合理。

1.2 流速结构特征 129° E断面布设大部分北起31° 30' N, 南达29° 30' N, 少数航次南达29° 00' N (图1), 可跨越黑潮北界

*国家自然科学基金资助项目, 49130015号。宋万先, 女, 出生于1943年8月, 副研究员。

收稿日期: 1994年7月28日, 接受日期: 1994年11月19日。

及流速核心区。如代表4个季节的流速断面图(图2)所示的那样,14个航次流速结构的明显特点为:断面南侧为黑潮东向流,北侧均出现西向逆流。下面分述这两支流的特征。

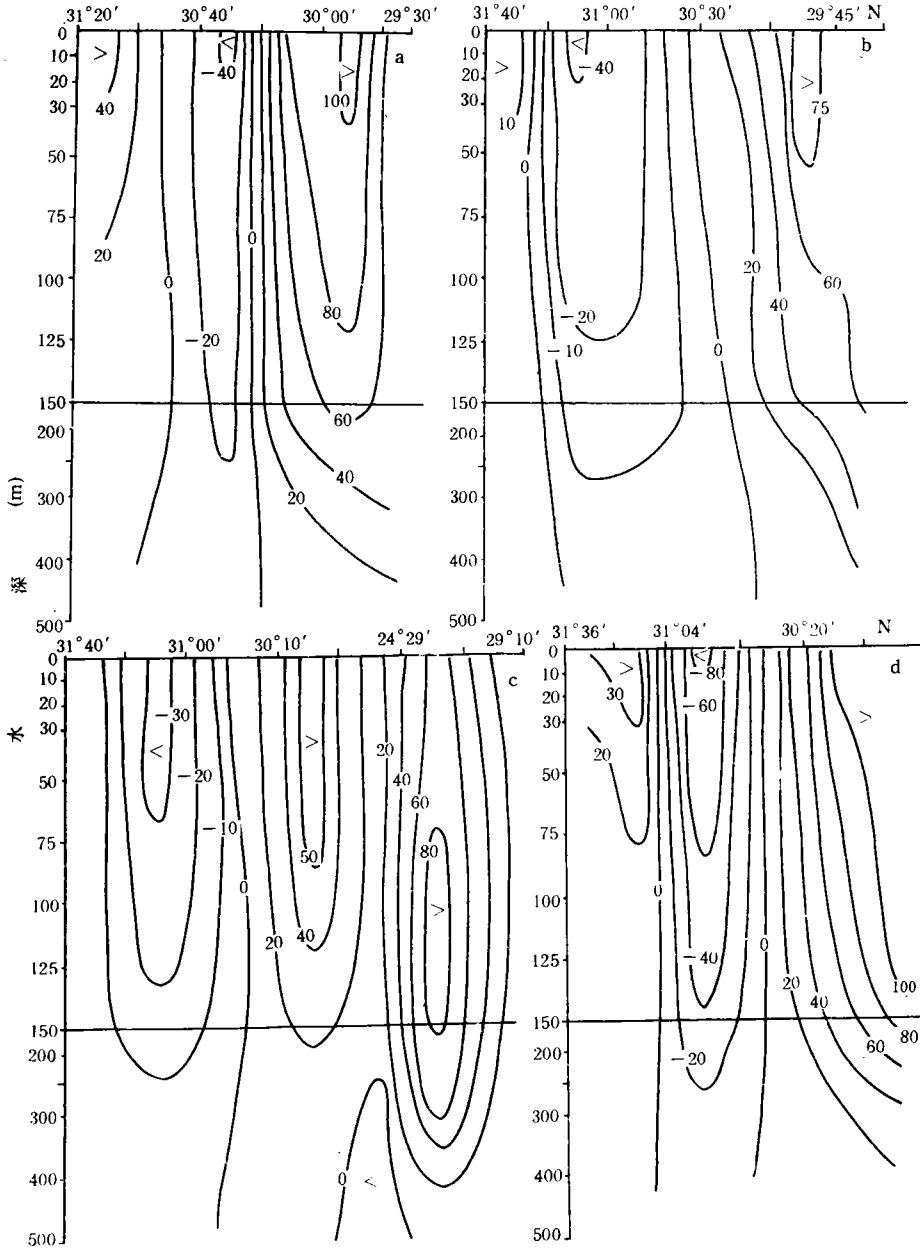


图2 129°E断面流速 (cm/s) 分布 (负值为西向流)

Fig.2 Velocity (cm/s) on the 129°E section (negative signs indicate westward current)

a. 1989年春季; b. 1990年夏季; c. 1991年秋季; d. 1987年冬季。

1.2.1 断面南侧的黑潮东向流 断面南侧的黑潮流经区域，主要为单核心的强流。14次调查中，唯1991年秋季出现双核结构。其最大流速有半数航次不出现在表层，而是在75—200m之间区域出现一流速较大的核心。表层最大流速变化于40—101cm/s之间（见图3a₁），与林葵等（1995）计算的1977—1984年及1987—1991年吐噶喇海峡黑潮的地转流核心流速比较，与前者相近，较后者为小，这可能与零面的选取及后者站距加密有关。在14次观测中，表层最大流速的最大和最小值分别出现于春季（1989年4月）和秋季（1991年11月）。各季表层最大流速的平均状况亦有冬、春强，而夏、秋弱的变化趋势，这与东海G面上黑潮表层流速的季节变化¹⁾相一致。

将最大东向流速的位置作为黑潮的流轴，其流轴位置变化于29°40′—30°30′N之间（图3b₂），其中12次变化于29°40′—30°10′N之间，平均位于29°58′N。流轴的变幅在管秉贤（1979）给出的东海G断面上黑潮流轴的变化范围内。

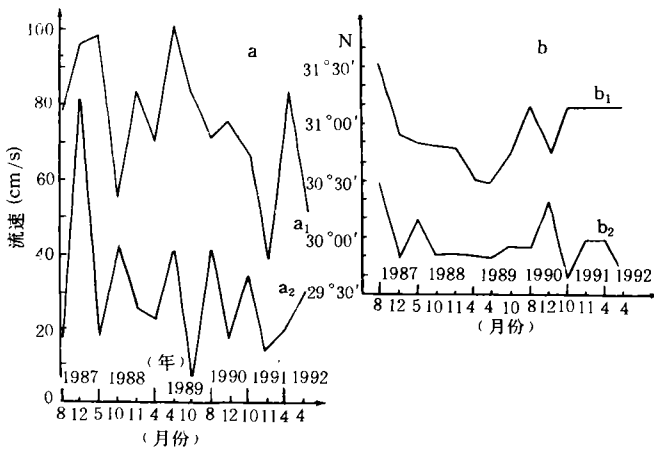


图3 129°E断面黑潮及其北侧西向流表层最大流速(a)和流轴位置(b)

Fig.3 Maximum velocity (a) and Kuroshio current axis position (b) and the westward current on its left side at the 129° E section.

a₁ 黑潮表层最大流速; a₂ 西向流表层最大流速; b₁ 西向流流轴位置; b₂ 黑潮流轴位置。

若以流速≥40cm/s的区域作为黑潮的流幅，多数航次该断面未能跨及黑潮流幅南侧边缘。对于黑潮主轴偏北并可跨及黑潮整个流幅的6个航次，其流幅为40—65 n mile，亦在东海G断面上黑潮流幅变化范围之内。

上述情况说明，东海黑潮在离开左侧陆架外缘海底地形控制及右侧陆坡隆起制约的转折处，仍然具有流轴位置和流幅变动不大的特征。

1.2.2 断面北侧的西向流 断面北侧各航次均有西向流出现。这支西向流的南界（东、西向流交界，流速为零的位置）变化于30°22′—31°00′N，其中12次变化于30°22′—30°45′N之间。这支西向流的速度还是比较大的（图3a₂），最大可

1) 管秉贤，渤海、黄海、东海调查研究报告，中国科学院海洋研究所，116—141。

达 83cm/s (出现于 1987 年 12 月); 表层最大流速平均为 30cm/s。这支西向流的最大流速亦有半数航次不出现于表层, 而是在 75—200m 之间区域出现一流速较大的核心。该西向流的流轴(流速最大处)位于 30° 30′—31° 30′ N 之间, 其中有 11 次位于 30° 45′—31° 10′ N (图 3b₁)。因此, 这支西向流的流轴变动不大, 平均位于 30° 56′ N。从图 3b 和图 3c 可见, 1988, 1991 年秋季及 1989, 1992 年春季各相隔几天的两次观测, 西向流流轴位置相同, 而流速却有明显的变化。

2 129° E 断面北侧西向流的去向

断面北侧西向流的流量(表 1)在 600m 以浅最大可达 $6.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 约为黑潮流量的 1/4, 100 及 200m 以浅最大分别达 $2.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 及 $4.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。具有较大流速和流量的这支西向流流向何处, 这是一个值得探讨的问题。根据各航次九州西侧海域的重力势及温盐分布, 这支西向流经常在 128° 30′ E 以东 31° N 以南或以北海域构成气旋或反气旋式运动, 使大部分水体又返回黑潮, 然而, 有些年份可明显看到该西向流的一部分沿反气旋运动的外缘向西或西北, 然后转向北流动。在温盐平面分布图上亦经常

表 1 129° E 断面西向流流量 ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)

Tab.1 Volume transport of westward current on the 129° E section ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)

年	1987	1987	1988	1988	1988	1989	1989	1989	1990	1990	1991	1991	1992	1992
月	8	12	5	10	11	4	4	10	8	12	10	11	4	4
流量	2.7	6.3	3.1	4.7	3.3	2.3	4.5	0.7	5.2	3.6	3.6	3.1	6.0	4.0

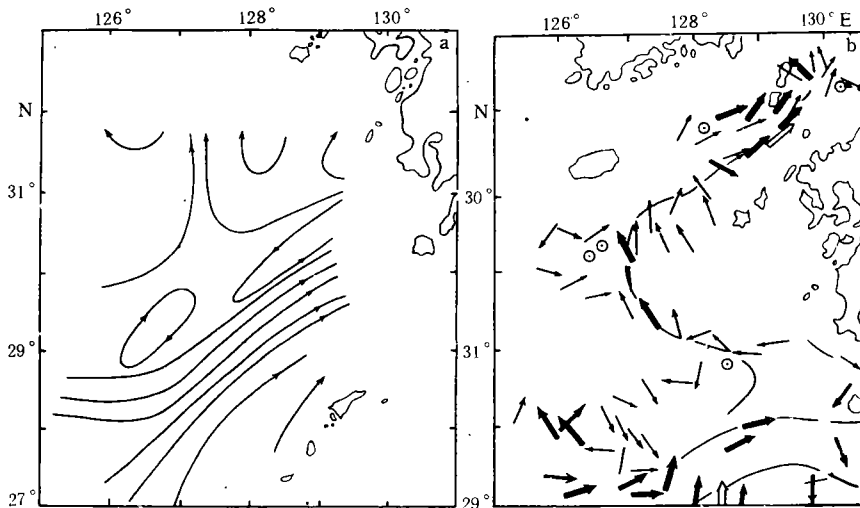


图 4 1990 年 8 月表层相对 $500 \times 10^2 \text{ hPa}$ 的重力势 (m^2/s^2) 分布 (a) 及 1988 年 10 月 GEK 表面流 (b)

Fig.4 Distributions of geopotential (m^2/s^2) relative to $500 \times 10^2 \text{ hPa}$ in August of 1990 (a) and the surface current of GEK in October of 1988 (b)

○ 0—0.2 kn: ← 0.3—0.9 kn ← 1.0—1.9 kn ← 2.0—4.9 kn.

可明显看到 128° E 以东 31° N 附近的高温、高盐水自东向西然后转向北延伸的迹象。如图 4a 所示, 1990 年夏季这支西向流可达陆架区, 并与陆架上的北向流汇合向北流动; 各层温盐平面分布图上 (图略), 均可见在 31° N 以南、128° E 以东海域涌升的低温高盐水。涌升区以北的西向流携带的较高温度和盐度的黑潮水与陆架水之间形成明显的温度和盐度锋。日本海上保安厅在九州西侧海域所做的 GEK 表面流观测经常可看到这支西向流的存在, 如图 4b 所示的 1988 年 10 月的一次 GEK 表面流观测, 在九州西侧海域 31° N 附近有一支明显的西向流于 127°—128° E 之间海域转向东北, 这支西向流的流路与图 4a 所示的极为一致。GEK 测流的这一结果为这支西向流的存在及九州西侧海域存在如图 4a 所示的环流形态提供了证据。

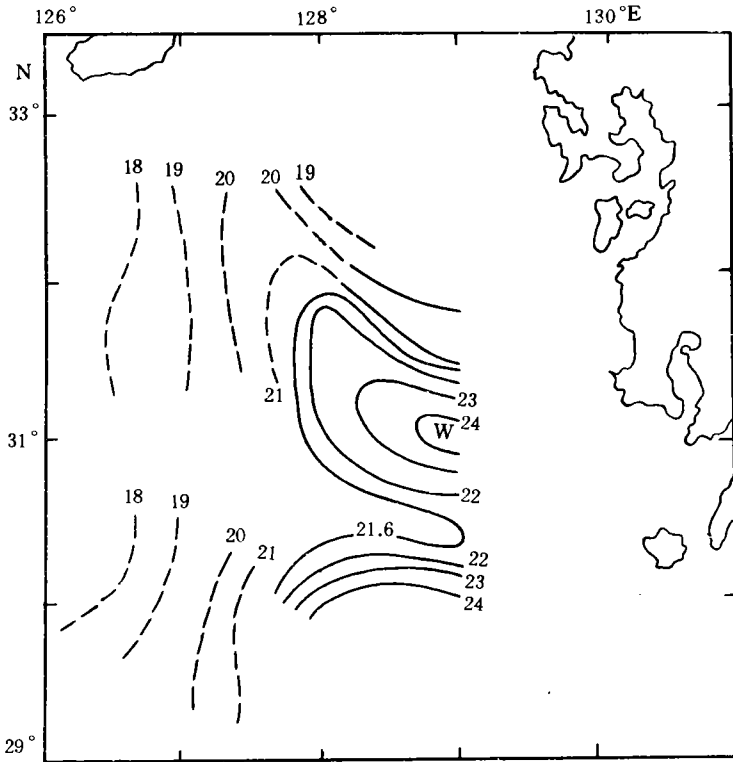


图 5 1987 年冬季 50m 层温度 (°C) 分布

Fig.5 Distribution of temperature (°C) in 50 m layer in winter of 1987

在 1987 年冬季, 上述西向流携带的高温、高盐水亦可达陆架区并向北延伸 (图 5)、各层温盐分布亦有同样趋势。图中实线所示为间隔两天, 虚线所示为之后近一个月间隔两天的调查资料绘制的。在垂直混合强烈的冬季, 其分布趋势如此接近, 可以说这种分布特征不是暂时性的。1990 年冬季的温盐和重力势分布 (宋万先, 1993, 图 15—17, 20) 表明, 在黑潮向东转折处以北 (约 30° 30' N 附近), 出现陆架水向东延伸的舌状分布, 在该水舌北侧是向西北延伸的带状高温、高盐区, 且该区为西北向

流。在中、日黑潮合作调查期间的 1989 年春季及 1991 年秋季亦有类似的现象,因此,这支西向流除了在其以南或以北构成气旋或反气旋式运动,使大部分水体又返回黑潮外,它的一部分可沿反气旋运动的外缘向西或西北,然后转向北流动的现象是经常存在的。黑潮在向东转折时,其左侧出现的这支较稳定的西向流可能与九州岛及其以南岛屿

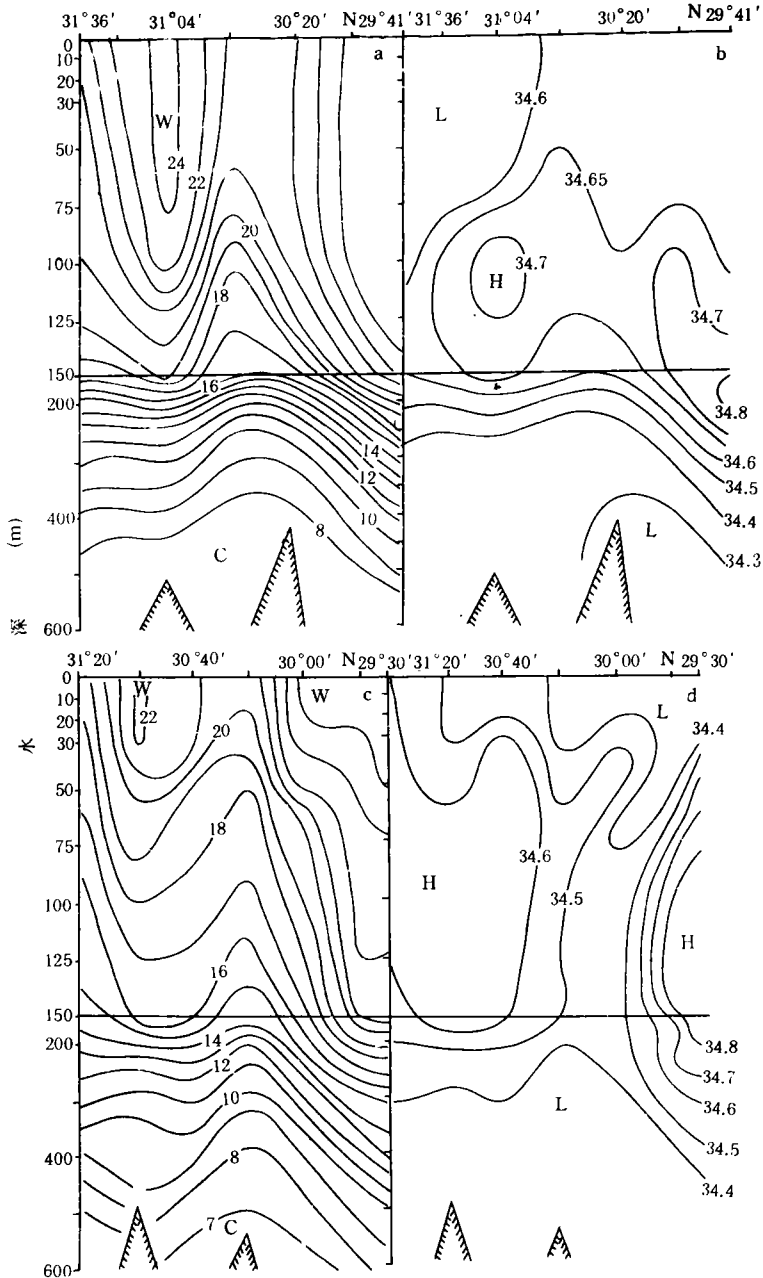


图 6 129° E 断面温度 (°C) 和盐度分布

Fig.6 Distributions of temperature (°C) and salinity on the 129° E section.

a, b. 1987 年冬季温度、盐度分布; c, d. 1989 年夏季温度、盐度分布。

的地形障碍有关。

3 129° E 断面的温盐结构特征

129° E 断面温盐结构的主要特点是：在断面中部或北侧各航次均存在涌升现象。如图 6 所示的 1987 年冬季及 1989 年春季，涌升的低温水可达及表层。由于黑潮中层低盐水的涌升，常导致该断面的黑潮次表层高盐核被分隔为南、北两个高盐核心。这两个高盐核心分别位于断面南侧的黑潮区及北侧的西向流区。

断面南侧黑潮区的温盐结构特征与过去关于黑潮温盐结构特征的论述大致相同，在此不再赘述。为了说明断面北侧西向流的水体性质，以 1987 年夏季的观测为例，从 TS 曲线特征和水团配置进行分析：在距 129° E 断面最近且可跨越黑潮区准同步调查的 F_{6-8} 断面上（站位见图 1），位于东北向流速约 40cm/s 的黑潮流幅西边缘区的 F_{6-8} 站的 TS 曲线与位于 129° E 断面上西向流区的 F_{4-2} 、 F_{4-3} 、 F_{4-4} 站的 TS 曲线，分别在 75—100m 以深相吻合，以浅相近；根据宋万先（1991）对 1987 年夏季 F_6 断面各测站的 TS 曲线分析， F_{6-8} 站在 100m 以浅为黑潮变性水，100m 以深为黑潮水，这就是说西向流区的水体在 75—100m 以浅是黑潮西边缘的变性水，以深则是黑潮水。另外，129° E 断面上西向流区的水团配置与 F_6 断面上黑潮流幅西边缘区的水团配置相一致（卢中发，1990，图 2）。以上分析说明，夏季西向流区的水体与黑潮西边缘区的水体性质一致。夏季是东海陆架水向其东侧的黑潮上层扩展最明显的季节，而入秋以后，黑潮上层水则向西部陆架区推进，因而，上述西向流区基本为黑潮水。

从上述西向流的流路及水体性质可以看出，它是向对马暖流输送黑潮水的重要途径。因此，这支西向流所构成的反气旋运动的外缘可以认为是黑潮的对马分支，而且该分支是经常存在的。这里，并不排除黑潮水进入对马暖流的其它途径，尤其冬季，由于黑潮上层水向西侧陆架区扩展，因而冬季陆架边缘附近甚至陆架区北上的海水基本是黑潮水（宋万先，1993）；但这部分海水已有不同程度的变性，而上述西向流所携带的水体具有更明显的黑潮水特征。在夏季，有时沿陆架边缘深底层可能有黑潮水北上，如中、日黑潮合作调查的 1987 年夏季，黑潮主轴偏西，沿陆架边缘的深底层有部分黑潮水北上；然而，在 129° E 断面北侧仍然存在明显的涌升现象并伴有西向流出现，这支西向流亦有向西北方向输送黑潮高温、高盐水的迹象，使得 32° 30' N，128° E 附近的陆架区盐度达 34.7 以上。但由于夏季东海陆架水向黑潮上层扩展，加上随着黑潮的向东转折，其左侧海水往往向东楔入，形成温盐向东的舌状分布，因而在黑潮向东转折处北侧的陆架边缘附近，经常为明显的东向流。宋万先（1993）在分析对马暖流源区夏季的环流时亦指出，在黑潮向东转折处北侧 30°—31° N 之间的陆架边缘附近东向流较为常见。因此，黑潮水能沿陆架边缘北上的情况较少。这就是说，夏季上述西向流是向对马暖流输送黑潮水的主要途径。

4 结语

4.1 东海黑潮在离开左侧陆架外缘海底地形控制及右侧陆坡隆起制约的向东转折处（129° E 断面），仍然具有与东海 G 断面一样流轴位置和流幅变动不大的特征；其流轴平均位于 29° 58' N；表层最大流速亦有冬、春强而夏、秋弱的变化趋势。

4.2 在 129° E 断面上，黑潮左侧有明显的涌升现象并伴有西向流出现。这支西向

流表层最大流速平均为 30cm/s, 最大可达 83cm/s; 西向流的流轴变化于 30° 30'—31° 30' N 之间, 平均位于 30° 56' N。

4.3 根据 TS 曲线特征及水团配置, 西向流区夏季 75—100m 以浅为黑潮变性水, 以深为黑潮水, 冬季基本为黑潮水。

4.4 上述西向流经常在 128° E 以东 31° N 以南或以北海域构成气旋或反气旋式运动, 使大部分水体又回到黑潮中去; 该西向流的一部分可沿反气旋运动的外缘向西或西北与陆架区的北向流汇合向北流动, 它是向对马暖流输送黑潮水的重要途径。尤其夏季, 它是向对马暖流输送黑潮水的主要途径。

参 考 文 献

- 卢中发, 1990, 黑潮调查研究论文选(二), 海洋出版社(北京), 10—21。
宋万先, 1993, 黑潮调查研究论文选(五), 海洋出版社(北京), 25—41。
宋万先等, 1991, 黑潮调查研究论文选(三), 海洋出版社(北京), 1—11。
林葵等, 1995, 海洋与湖沼, 26(3): 247—252。
管秉贤, 1979, 海洋与湖沼, 10(4): 297—306。
Song Wanxian, 1994, *Acta Oceanol. Sin.*, 13(2): 35—47。

THE STRUCTURES OF CURRENT VELOCITY, TEMPERATURE AND SALINITY ON THE 129° E SECTION WEST OF KYUSHU

Song Wanxian, Guo Binghuo

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266003)

Abstract Based on the hydrographic data obtained from the 129° E section west of Kyushu during the China-Japan cooperative study on the Kuroshio, and historical data, the variations of Kuroshio current velocity, its axis and width are calculated and analysed in this paper. The results showed that there are obvious upwelling and more steady westward flow in the left side of the Kuroshio's turning point. The variations of the velocity, volume transport, axis and width of this westward flow are also presented. The flow always formed a cyclonic (or anti-cyclonic eddy) in the area south (or north) of 31° N, east of 128° E. A part of the flow moves westward or northwestward along the outer edge of the anticyclonic eddy and moves northward after merging with a northward flow from the continental shelf area, which is a main path for transporting Kuroshio water to the Tsushima Warm Current.

Key words Kuroshio Westward flow Current velocity Volume transport