

# 吐噶喇海峡黑潮流速结构和流量的研究\*

林葵 汤毓祥 郭炳火

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

**提要** 利用1977—1991年日本“Kuroshio Exploitation and Utilization Research”(KER)资料和日本气象厅海洋观测资料计算吐噶喇海峡的黑潮流速和流量。结果表明,海峡处黑潮主轴的平均核心流速为92.0cm/s,平均流量为 $24.1 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ ;揭示了吐噶喇海峡黑潮流速的多核结构和多股流动的突出特征。探讨了海峡中流量分布状况和季节变化。

**关键词** 吐噶喇海峡 黑潮 流速 流量

黑潮从与那国岛和台湾岛之间进入东海以后,约沿200m等深线北上,在 $128^\circ\text{E}$ ,  $30^\circ\text{N}$ 附近转向东,经过吐噶喇海峡又重新回到太平洋。可见吐噶喇海峡是黑潮路径上的关键通道之一。多年来,国内外学者对该海域进行了大量的调查和研究。如日本的Nitani(1972)等和我国的吕彩霞(1983)、赵保仁等(1991)和袁耀初等(1991)。但上述的研究多是利用GEK资料分析表层流,有的虽做地转计算和分析,但资料时间序列只到1984年,有的仅是单个航次的流速流量计算。本文则是将资料序列延长到1991年,形成横跨15年度(中间缺1985,1986两年),61个航次的资料序列。特别是1987年以后的测站数从5—6个加密到12个(图1),站距大大减小,可以得到更为精细的流速结构和更接近于实际的流量计算。从而对吐噶喇海峡的流速和流量分布及变异有更进一步的认识。

## 1 资料处理

使用资料为:(1)1977—1984年日本“KER”(黑潮开发利用调查研究)资料和“气象厅海洋气象观测资料”共38个航次,其中1977—1978年和1981年的流量值从赵保仁(1991)的图3中摘取。(2)1979—1991年日本“气象厅海洋观测资料”共23个航次。两组资料合计共61个航次。动力计算取800m为参考面,个别观测深度小于800m的测站,取最深(实测)的标准层深度为参考面,只估算流轴的位置。

为确保动力计算的可靠性,避免在陆架陡坡处因订正值过大而得出相反的流态,在浅

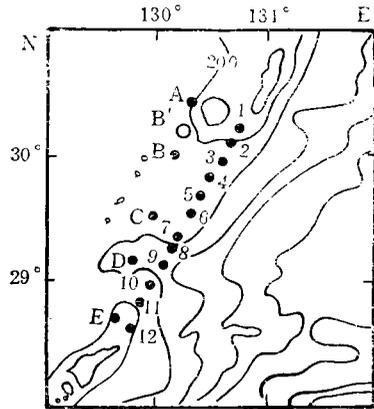


图1 吐噶喇海峡站位和海底地形  
Fig. 1 Station location and bottom topography in Tokara Strait  
1—12, 1987年以后; A—E, 1984年以前。  
○ 1979年和1980年加测站。

\* 国家科委重点基金资助项目,49130014号。林葵,男,出生于1942年,10月,副研。  
收稿日期:1993年6月16日,接受日期:1993年9月29日。

水订正处理时引入一个“判据”：即订正后两相邻测站动力高度的大小关系要保持不变。换言之：若用  $E$  表示相邻两站间动力高度(计算的)订正值,  $Dy$  表示深水站在这两个订正深度之间的动力高度差(取绝对值), 用  $DDy$  代表在浅水站底层深度处, 两站间的动力高度差。则该判据可简单地表示为:  $Dy-E$  与  $DDy$  的正负号必须保持一致。

## 2 流场结构

取流速大于  $40\text{cm/s}$  部分为主流(或主轴), 其宽度为流幅, 最大流速处为流核。

**2.1 核心流速与流幅** 从图 2 可以看出, 1984 年以前(以下称前期)核心流速在  $41.5\text{—}118.0\text{cm/s}$  之间变化。17 个航次平均核心流速为  $79.6\text{cm/s}$ ; 1987 年以后(以下称后期)的核心流速在  $55.0\text{—}146.5\text{cm/s}$  之间变化, 23 个核心流速的平均值为  $103.7\text{cm/s}$ 。进一步取后期资料按季度平均, 得到核心流速的季节变化趋势: 夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季(参见表 1)。4 季平均核心流速为  $92.0\text{cm/s}$ , 与吕彩霞(1983)所得 J 断面黑潮主轴平均流速值相近。

表 1 按季平均核心流速(1987 年以后)

Tab. 1 Seasonal mean velocities of current cores in Tokara Strait (after 1987)

季 节	冬	春	夏	秋	平均
核心流速 ( $\text{cm/s}$ )	81.8	98.8	100.9	86.6	92.0

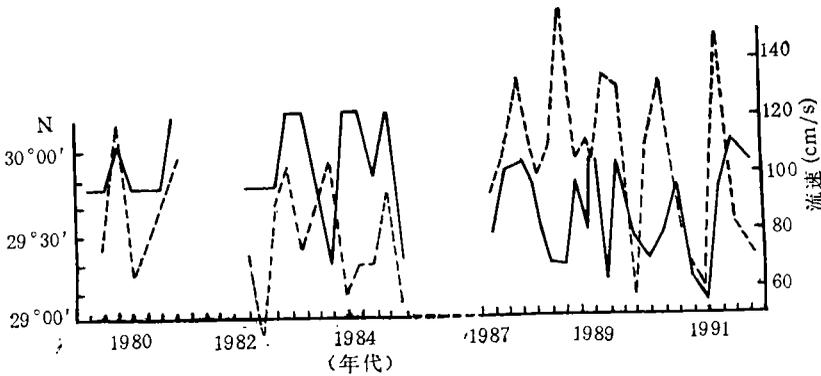


图 2 吐噶喇海峡黑潮核心位置与流速的变化

Fig. 2 Variations of the positions and velocities of the Kuroshio at current cores in the Tokara Strait

—核心位置; .....核心流速。

吐噶喇海峡黑潮表层流幅的变化, 比核心流速的变化小得多: 前期流幅在  $28.2\text{—}86.0\text{n mile}$  之间变动, 平均流幅为  $50.5\text{n mile}$ ; 后期的流幅较小, 在  $10.6\text{—}64.4\text{n mile}$  之间变动, 平均流幅为  $39.7\text{n mile}$ , 比赵保仁等(1991)用 GEK 资料获得的流幅小些。其原因主要是资料来源不同, 尤其是本文后期资料中测站间距明显缩小, 故计算的流幅有相应的变化。

**2.2 流轴位置与多核结构** 从图 2 还可看出吐噶喇海峡黑潮主轴位置随时间的变化。40 个航次资料统计结果为: 13 个航次的主轴集中在  $29^{\circ}45'N$  处, 20 个航次在  $29^{\circ}40'\text{—}$

30°N(3—5 站之间),13 个航次在 29°10′—29°30′N 之间(6—9 站),6 个航次在海峡北端 1—3 站(或 A—B) 之间,1 个航次在南端 9—10 站之间。可见主轴在 3—5 站间的占 50%,即吐噶喇海峡的黑潮主轴主要位于屋久岛南方约 30n mile 的海域。南北方向的最大摆幅达 82n mile,比东海黑潮的左右摆幅大。另从图 2 还可看出:吐噶喇海峡黑潮主轴的摆动似乎与核心流速的大小有同步变化的趋势。

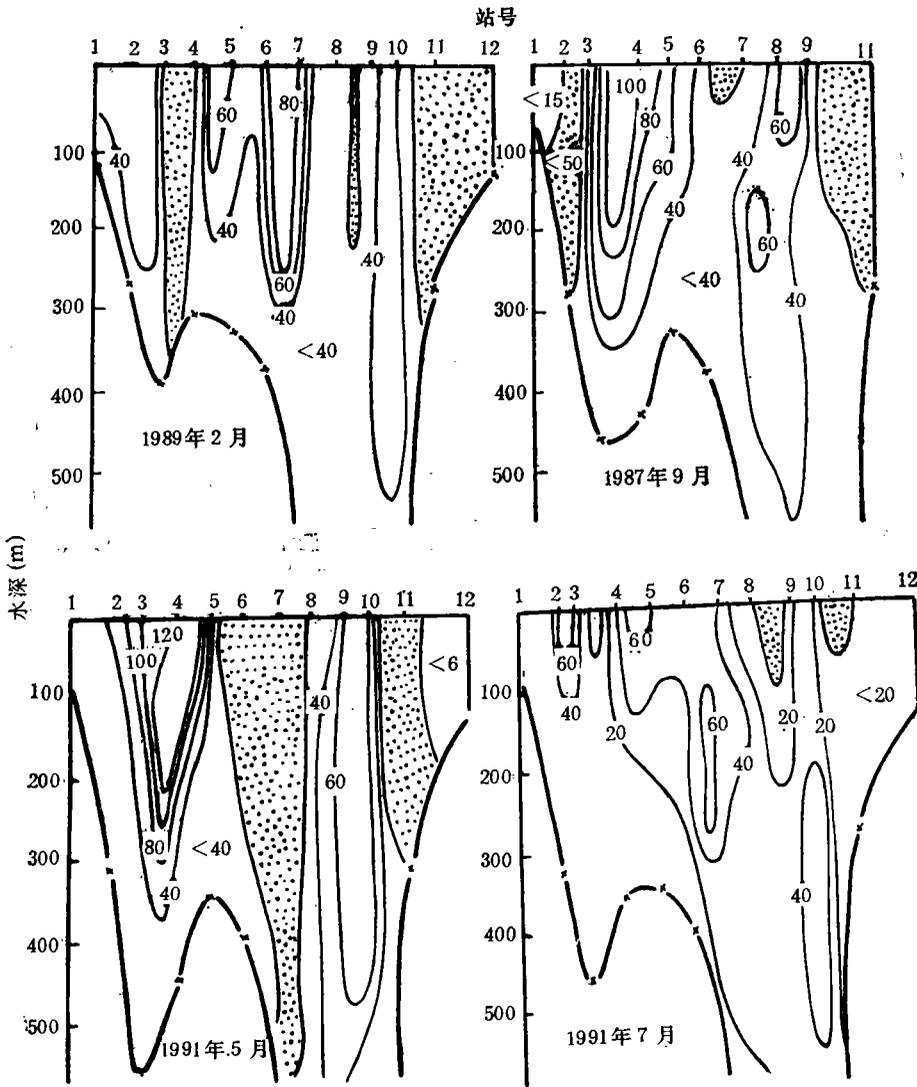


图 3 吐噶喇海峡断面流速分布

Fig. 3 Sectional distribution of velocity in the Tokara Strait

阴影区为西向流; ×各测站水深。

图 3 是较典型的流速断面图。它展示了吐噶喇海峡黑潮流速的多核结构: 这些流核有的是两核紧紧相连组成一个大核,有的则互相分开。统计结果表明,在 40 个航次中有 12 个航次为单核结构,14 次为双核,10 次为 3 核,4 次为 4 核。多核结构约占总数的

70%。这种现象在整个黑潮流径中也比较少见,可能与吐噶喇海峡地形复杂,海峡两侧岛屿众多有关。

吐噶喇海峡黑潮流态的另一显著特点是多股流动(这里的“股”系指以西向流为界的连续的东向流动)。这种现象是在后期的测站间距缩短至 10n mile 左右时才得以揭示。在后期的 23 个航次中,有 6 次为单股流动,8 次为双股流动,7 次为 3 股流动和 2 次为 4 股流动。多股流动的出现率高达 73.9%。这进一步证明和充实了以前一些学者,如 Nitani (1972),赵保仁等(1991)和孙湘平等(1993)等提出的有关流速的条状结构以及多股和分流的论述。

**2.3 黑潮逆流** 计算结果表明吐噶喇海峡南端终年有逆流存在,海峡的中部和北部也经常有多支西向流存在。从而形成了前面所述的多股流动。这些西向流(最大流速可达 110.7cm/s,平均流速 21.5cm/s)并非皆逆流,是否由地转计算带来的尚待进一步探讨。

### 3 流量及其变异

**3.1 流量分布** 本文收集、计算了 1977—1991 年吐噶喇海峡 61 个航次的黑潮流量(参见图 4a)。该期间,最小流量为  $11 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ ,出现在 1979 年 2 月航次;最大流量为  $38 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ ,出现在 1978 年 3 月。平均流量为  $24.1 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ ,与赵保仁(1991)根据 35 个航次资料所得的结果( $24.5 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ )非常接近。

如上所述,吐噶喇海峡黑潮主轴位置主要集中在 3—5 站与 6—9 站之间。这样,可以取位于  $29^\circ 30' \text{N}$  处的第 6 站为界,把海峡分成北、南两个通道(北通道为 2—6 站之间海域,南通道为 6—10 站之间海域),分别计算各通道流量占整个海峡流量的百分比数  $Q$

$$\left( Q = \frac{\text{通道中流量}}{\text{海峡总流量}} \times 100\% \right)。$$

结果表明:在 23 个航次中,有 18 个航次南通道的  $Q$  值大于 60%,其余 5 个航次南、北两通道的  $Q$  值相近;南、北两通道  $Q$  值的算术平均值分别为 69.8% 和 27.2%,1—2 的平均  $Q$  值为 3%。这意味着,吐噶喇海峡的黑潮流量主要是分布在南通道。

逆流流量主要集中在南端 10—12 站之间,平均逆流  $Q$  值为 42.4%;北、南两通道西向流的流量分布比较零散,平均  $Q$  值分别为 35.1% 和 22.1%,整个海峡西向流的平均流量为  $1.9 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ ,为黑潮流量的 7.88%。

**3.2 流量的变异** 从图 4a 的流量变化趋势来看,1977—1980 年初,1982—1983 年初及 1987—1989 年初的黑潮流量似有半年的变动周期,其余年份的变化周期则不太明显。从表 2 的流量统计结果可知:无论按航次平均还是按季节平均,冬季的流量都是最小。这是吐噶喇海峡黑潮流量变异的一个显著特征。这一结果,在汤毓祥等(1994)的研究中也曾指出,本文只是用更长的序列资料给予肯定。从表 2 还可看到,吐噶喇海峡流量除夏、春季明显偏大外,秋、冬两季的流量相差无几(差值小于  $0.8 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ )。也就是说:该海域流量的季节变化趋势是:夏、春季大,秋、冬季小。

图 4b 是吐噶喇海峡黑潮年平均流量和极值流量的逐年变化。显然 1977—1978 年的平均流量较大(为正距平)。这期间正值黑潮第 4 次大弯曲的强盛期(孙湘平, 1990)。此外,平均流量为正距平的年份还有 1981,1983,1987—1988 和 1990 年。除 1981 年对应于黑潮的小弯曲外,其他几次都分别对应于第 5,6 和第 7 次日本南部的黑潮大弯曲的强盛

表 2 吐噶喇海峡平均流量统计表 ( $\times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ )

Tab. 2 Statistical mean volume transport in the Tokara Strait ( $\times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ )

季 节	航次平均流量			季节平均流量			总平均流量
	航次数	流量	平均流量	年数	流量	平均流量	
冬	16	22.6		10	22.7		22.7
春	13	24.7	24.1	12	25.2	24.1	24.9
夏	16	25.5		13	24.9		25.2
秋	16	23.5		13	23.5		23.5

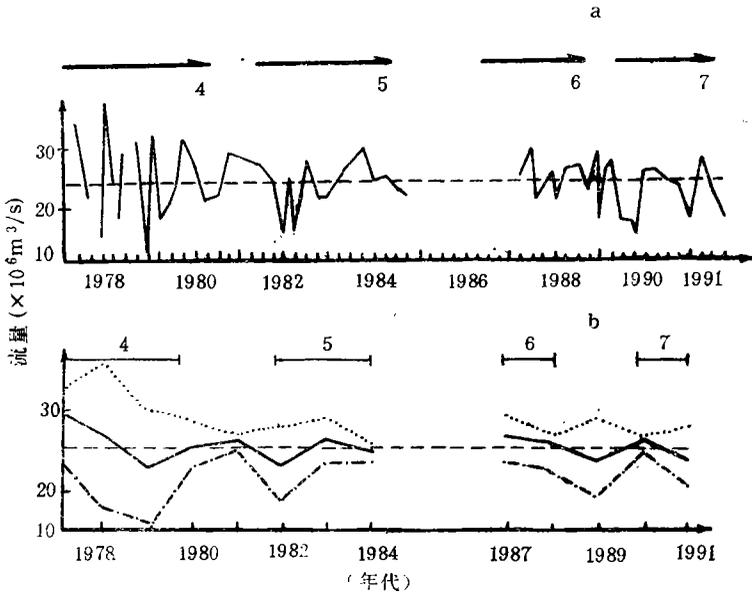


图 4 吐噶喇海峡地转流量的变化 (a) 和年平均、极值流量的变化 (b)

Fig. 4 Variations of geostrophic volume transport (a) and variations in the annual mean and maximum volume transport (b) in Tokara Strait

a. 图上箭头处表示黑潮大弯曲消衰期,数字为大弯曲序号;b. 图上线段表示黑潮大弯曲的强盛期,数字为大弯曲序号。

— 年平均流量; ..... 极大流量; - · - · 极小流量。

期。这与 PN 断面流量变化和日本南部海域产生黑潮大弯曲的对应关系非常相近(汤毓祥等1994)。对照图 4 还发现在每次黑潮大弯曲的消衰期,吐噶喇海峡的黑潮流量都显著地减少。所以本文认为,根据吐噶喇海峡和东海一些关键断面黑潮年平均流量的正距平及变化来初步估计日本南部黑潮大弯曲的形成和发展,是一个值得进一步探讨的课题。

4 结论

4.1 吐噶喇海峡黑潮主轴的核心流速变化剧烈,在 41.5—146.2cm/s 之间变化,后期(1987 年以后)核心流速的季节变化趋势为夏季>春季>秋季>冬季,平均核心流速为 92.0cm/s。

4.2 吐噶喇海峡黑潮主轴主要位于屋久岛以南 30n mile 海域,南北方向最大摆幅达 82n mile。一般情况下,核心流速增加时,流轴偏北,反之偏南。

4.3 吐噶喇海峡黑潮最突出的流速结构是多核结构和多股流动。这些结构在整个黑潮流径中也属少见。

4.4 吐噶喇海峡黑潮的平均流量为 $24.1 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ , 其中大部分流量分布在南通道(6—10站)。海峡南端(10—12站)几乎为逆流所控制, 全海峡西向流的平均流量为 $1.9 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ 。

4.5 吐噶喇海峡黑潮流量有夏、春季大, 秋季次之, 冬季最小的变化趋势。

4.6 吐噶喇海峡黑潮年平均流量的正距平与日本南部黑潮大弯曲的强盛期相对应; 而在大弯曲的消衰期, 吐噶喇海峡的黑潮流量又骤然减少。

### 参 考 文 献

- 吕彩霞, 1983, 东海J断面上黑潮表层流速变化的初步分析, 海洋湖沼通报, 1: 7—12。  
孙湘平, 1990, 黑潮第七次大弯曲, 海洋通报, 9(6): 1—7。  
孙湘平、金子郁雄, 1993, 1989—1991年黑潮的变异, 黑潮调查研究论文选(五), 海洋出版社(北京), 52—68。  
汤毓祥、林葵、田代知二, 1994, 关于东海黑潮流量某些特征的分析, 海洋与湖沼, 25(6): 643—650。  
赵保仁、方国洪, 1991, 东海主要水道的流量估算, 海洋学报, 13(2): 169—178。  
袁耀初、远藤昌宏、石崎广, 1991, 东海黑潮与琉球群岛以东海流的研究, 黑潮调查研究论文选(三), 海洋出版社(北京), 220—233。  
Nitani, H., 1972, Binning of the Kuroshio. Kuroshio—Its Physical aspects, Tokyo Univ. Press pp. 129—163.

## STUDY ON VELOCITY STRUCTURE AND VOLUME TRANSPORT OF THE KUROSHIO IN THE TOKARA STRAIT

Lin Kui, Tang Yuxiang, Guo Binghuo

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266003)

### ABSTRACT

The current velocity and volume transport of the Kuroshio in the Tokara strait were calculated by using the data of KER and observations conducted by the Japan Meteorological Agency during 1977—1991. The main results are as follows.

1. The velocity of the Kuroshio core was always varied between 41.5 and 146.2 cm/s (mean of 92.0 cm/s). The Kuroshio main stream located mainly in the area 30 n mile south of Yaku-shima. However, it moved northward usually when the core speed increased but moved southward when it decreased.

2. The most predominant features of the Kuroshio in the Tokara Strait that there are several cores, branches and counter-currents of the flow. The southernmost area of the strait (between 10—12 stations) was almost totally occupied by the counter-current.

3. The long-term mean volume transport of the Kuroshio in the Tokara Strait was about  $24.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ , but fluctuation between  $11—38 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Most of the volume transport passed through the southern passage (between 6—10 stations).

4. Volume transport of the Kuroshio in the Tokara Strait was much large in summer and spring, smallest in winter. The positive anomaly of mean annual transport corresponded to the maturity phase of the large meander of the Kuroshio south of Japan.

**Key words** Tokara Strait Kuroshio Velocity Volume transport