

巴士海峡水质点运动路径的分布特征*

袁叔尧 邓九仔

(中国科学院南海海洋研究所 广州 510301)

提要 为了探讨巴士海峡东侧的黑潮水是否通过巴士海峡进入南海东北部以及进入后的去向如何,首次采用数值模拟方法跟踪了巴士海峡经向断面网格点水质点冬、夏季的空间运动路径。结果表明,冬、夏季均有西太平洋黑潮水通过巴士海峡经向断面的中、南部进入南海东北部,形成黑潮南海分支。并呈“套状”结构,夏季黑潮南海分支的“套状”结构比冬季的明显。冬季,进入南海东北部的黑潮水有部分可到达 10.0°N 以南的南沙海域。

关键词 巴士海峡 水质点运动路径 黑潮南海东北部分支

学科分类号 P731.2

巴士海峡是南海与西太平洋进行水交换的最主要通道,国内外的海洋学者对该区域水交换进行了广泛的研究,但对南海东北部海水与西太平洋海水如何通过巴士海峡进行交换的认识仍然存在较大的分歧。有的学者认为南海东北部终年存在一支被称为黑潮南海分支的海流,是从巴士海峡东侧黑潮主体分离出来,经巴士海峡进入南海的(仇德忠等, 1984; 黄企洲, 1984; 郭忠信等, 1985; 李立等, 1989; 蒲书箴等, 1992; 李荣凤等, 1993; 黄企洲等, 1996; 袁叔尧等, 1996, 1997)。有的学者认为不存在黑潮南海分支(苏纪兰等, 1992; 许建平等, 1996)。为了客观地探讨南海东北部与西太平洋的海水如何通过巴士海峡进行交换,以及黑潮水通过巴士海峡进入南海东北部后的去向,本文首次用数值模拟方法,对初始位于巴士海峡经向断面网格点上的水质点的三维运动进行动态跟踪,揭示其运动路径。

1 环流模式

使用三维斜压自由表面陆架环流数值模式(Backhaus, 1985),模拟 5.5°N , 99.0°E — 121.0°E 范围内南海海域,有三条开边界,分别为台湾海峡北端、巴士海峡和 5.5°N 开边界。水平分辨率为18.6km,南海最大水深取为4814m,垂直方向分8层,时间步长为1200s。南海冬季温度场、盐度场的初值分别以多年平均的1月海温场、盐度场来代替;夏季温度场、盐度场的初值分别以多年平均的7月海温场、盐度场来代替。以南海多年的1月平均海表面风应力场和7月平均海表面风应力场分别代表冬季、夏季海表面风应力场作为输入,数值求解模拟范围内三维斜压流场分别对冬季、夏季风应力场输入的响应,数值积分达到流场稳定后,应用水质点动态追踪模式计算巴士海峡经向断面网格点水质点

* “八五”国家重点科技专项,85-927-07资助。袁叔尧,男,出生于1942年12月,副研究员, Fax: 0086-020-84451672
收稿日期: 1997-03-27, 收修改稿日期: 1997-07-12

运动路径的空间分布。

2 水质点运动路径追踪

假定流场中任一水质点初始时刻 t_0 空间位置为 $P_0 = P(x_0, y_0, z_0, t_0)$, 三个流速分量分别为 u, v, w , 经过时间 t 后, 水质点的空间位置为 $P = P(x, y, z, t)$, P 点三个坐标可分别表示为:

$$x = x_0 + \int_{t_0}^t u dt \quad (1)$$

$$y = y_0 + \int_{t_0}^t v dt \quad (2)$$

$$z = z_0 + \int_{t_0}^t w dt \quad (3)$$

在数值模拟过程中, 当流场达到稳定后可用式(1)、(2)、(3)不断地追踪同一水质点空间位置随时间变化并记录下来就可得到水质点的运动路径。

3 结果分析

3.1 巴士海峡经向断面水质点的冬季运动路径

冬季巴士海峡经向断面(如无特别指出, 以后提到断面即指巴士海峡经向断面)第1层水质点三维运动路径(以下简称为路径)水平投影如图1a, 除断面北侧有很小部分水质点的运动方向流向西太平洋外, 大部分水质点的运动方向为WNW, 受东沙群岛附近水下台地地形影响, 在东沙群岛东南 $21.5^\circ\text{N}, 114.5^\circ\text{E}$ 附近出现一个分流点把西进路径分为两部分, 分流点西南侧的路径继续以原方向推进至 $20.5^\circ\text{N}, 113.0^\circ\text{E}$ 附近转为西南向, 于海南岛南侧大陆架-坡上汇聚。东北侧的路径受地形影响, 逐渐转为东北向, 趋于与大陆架-坡等深线走向平行, 汇聚于台湾浅滩东南侧大陆架-坡上。除因受水下台地地形影响, 东沙群岛西南侧有一运动路径进入大陆架并转为东北向后沿粤东近海进入台湾海峡外, 断面其余路径均未能到达大陆架海域。断面北侧路径呈“套状”结构(李立等, 1989), “套状”结构北翼是冬季逆风流位置所在(袁叔尧等, 1997a)。第2层至第7层已无任何路径可进入大陆架(篇幅所限, 除第5层外其余图略), 分流点西南侧的路径与第1层的比较无显著变化, 但随水深增加路径向低纬推进, 第5层(图1a)至第7层的路径可达 10.0°N 附近的南沙海域。分流点东北侧的路径到达大陆坡后向下伸展明显, 并向南偏转, 有部分路径迂回曲折, 路径的水平投影显得较为零乱。随着水深增加, 断面北侧路径的“套状”范围随之减少, 至第4层已基本消失。但进入西太平洋的范围增大, 第8层已被从断面进入西太平洋的路径控制。

断面水质点冬季路径分布特征主要受冬季盛行风、南海北部大陆架-坡地形、底摩擦、巴士海峡东侧黑潮主轴位置以及黑潮强弱等因素制约。南海北部冬季盛行东北季风, 在风应力的驱动下, 巴士海峡以东的表层黑潮水通过巴士海峡进入南海东北部。进入南海东北部后的黑潮水在盛行风风应力驱动下, 即使盛行风空间分布均匀, 也将有垂直于近似东北-西南走向的南海北部大陆架-坡的流速分量, 因底摩擦作用以及地形捕捉作用, 这些黑潮水将在大陆架-坡上堆积下沉生成高水位带和暖水带, 在其北侧产生间接逆风流(袁叔尧等, 1997a)。正压浅水模式夸大了水位的作用, 其模拟结果得到黑潮南海分支转向并

延伸为南海暖流的位置，比斜压三维自由表面模式的偏西，是可以理解的。由动力高度计算得到的冬季黑潮南海分支转向并延伸为南海暖流的位置偏西(中国科学院南海海洋研究所, 1985; 钟欢良, 1990), 是未考虑盛行风飘流所致。

资料统计表明, 南海北部冬季(1月)盛行风风速轴位于巴士海峡 20.0°N 附近, 其走向基本与盛行风向平行。西北侧为风应力负涡度分布, 东南侧为正涡度分布, 这样的风应力涡度分布对巴士海峡以东的黑潮水进入南海东北部有利。苏纪兰等(1992)的模拟结果, 因缺少冬季盛行风的贡献, 黑潮南海分支不明显。

3.2 巴士海峡经向断面水质点的夏季运动路径

断面第 1 和第 5 层网格点上的水质点夏季路径水平投影如图 1b。从图 1b 可见, 因受

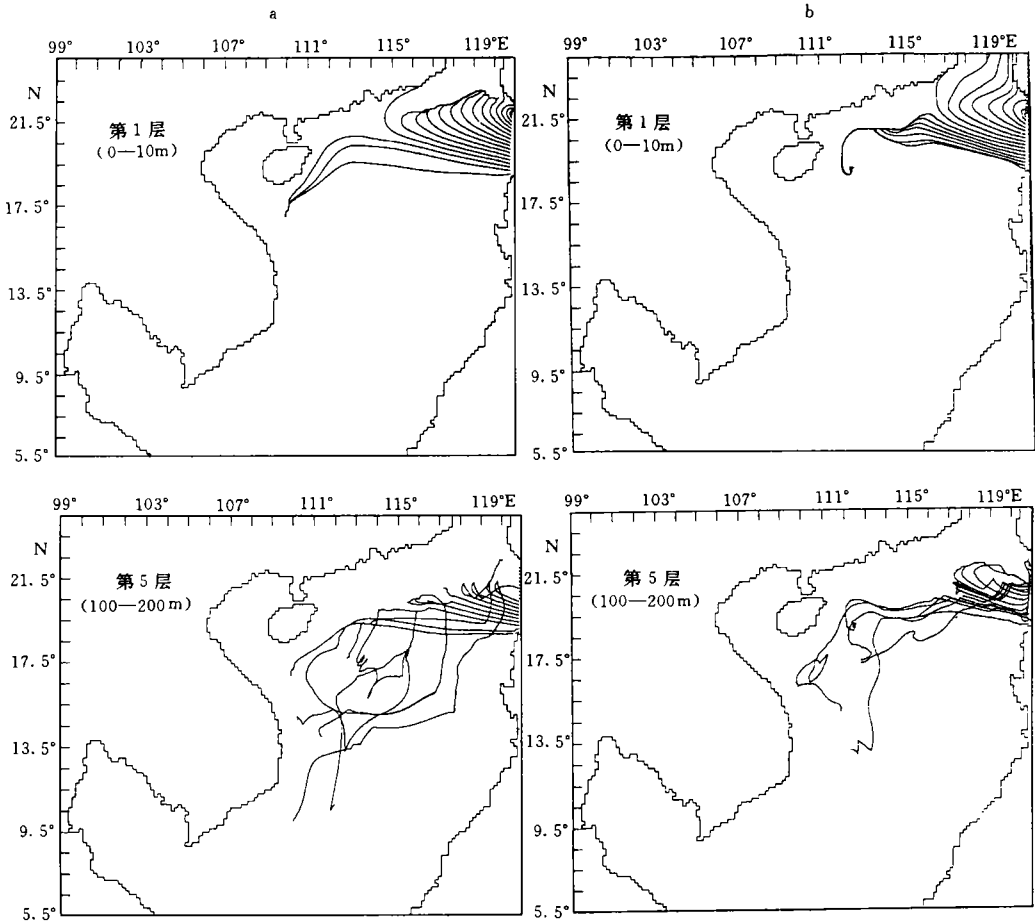


图 1 巴士海峡经向断面网格点水质点冬季(a)和夏季(b)运动路径水平投影

Fig.1 Plan projections of water particle moving paths on the grids along a Bashi Strait longitudinal section in winter (a) and summer(b)

夏季盛行风的影响。分流点位置向东移动至 21.5°N, 116.5°E 附近。分流点西南侧的路径于 20.5°N, 113.5°E 附近汇聚成一束后, 继续推进到 18.5°N, 112.2°E 附近。分流点东北侧的路径也呈“套状”结构, 其经向伸展范围比冬季的大得多, 最靠近分流点的路径受水下台

地地形影响,可进入大陆架后到达粤东沿岸。其余大部分路径在大陆坡附近转向,并通过台湾海峡,还有小部分路径从断面北侧进入西太平洋。分流点西北侧,路径达不到的海域为夏季逆风流盘据(袁叔尧等,1997b)。第2层路径(图略)除分支点西南侧的路径较第1层的发散显著、向南伸展至更低纬外,其余特征与第1层的基本相似。第3层以深(篇幅所限,除第5层外其余图略),已无路径进入台湾海峡,但分流点西南侧的路径能到达更低纬度,约 12.5°N 附近(第3层)。第4、第5层分流点东北侧有部分路径转向到达大陆坡后作顺时针回旋运动。从第2层开始随水深增加,断面北侧的“套状”结构范围显著减少,至第5层已踪影模糊,但从断面进入西太平洋的范围随深度增大。第7、8层已为从断面进入西太平洋的路径控制。

南海北部夏季盛行西南季风,对巴士海峡以东的表层黑潮水进入南海东北部具有阻扼作用,从巴士海峡以东进入南海东北部的黑潮水比冬季少(黄企洲,1984;钟欢良,1990)。盛行风与大陆架-坡地形相互作用,导致大陆架-坡区上升流发展,形成低水位带和低水温带,在其北侧产生夏季逆风流(袁叔尧等,1997a)。本来就软弱的夏季暖性黑潮南海分支受到珠江口以西大陆架-坡上升流的挤逼,使得分流点东移。只有分流点以东黑潮南海分支占优势的海域才有可能出现夏季南海暖流。钟欢良(1990)认为夏季黑潮南海分支西进至海南岛东侧大陆架-坡后转向东北并延伸为南海暖流,可能是计算所用的调查资料,其调查期间调查海区并非盛行西南季风的成果。

4 结语

从模拟、分析巴士海峡经向断面网格点水质点冬、夏季的路径分布特征可得到如下结论。

4.1 冬、夏两季均有西太平洋黑潮水通过巴士海峡经向断面的中、南部进入南海东北部,并形成黑潮南海分支。

4.2 冬季,东沙群岛东南 21.5°N , 114.5°E 附近有一黑潮南海分支的分流点,黑潮南海分支在此一分为二。分流点东北侧的路径呈“套状”结构,并从断面北侧返回西太平洋。冬季第1至第6层,分流点东北侧的路径到达大陆坡后部分路径表现为向下伸展,另一部分与大陆坡等深线平行向东进入西太平洋,未有任何路径通过台湾浅滩南部大陆坡而进入其北侧的大陆架,这表明从南海东北部进入台湾海峡的冬季逆风流是间接地转逆风流,绝大部分海水不是直接来源于黑潮水。分支点西南侧第5至第7层的路径可达 10.0°N 以南南沙海域。

4.3 夏季,黑潮南海分支分流点位置东移,分流点东北侧的路径到达大陆坡后,第1、第2层的路径继续北进通过台湾海峡,其“套状”结构较冬季更为明显。分流点西南侧的路径未能到达南沙海域。

4.4 “套状”结构北翼是南海暖流的一部分。

参 考 文 献

- 仇德忠, 杨天鸿, 郭忠信, 1984. 夏季南海北部一支向西流动的海流. 热带海洋, 3(4): 65—73
中国科学院南海海洋研究所, 1985. 南海海区综合调查报告(二). 北京: 科学出版社, 204—231
许建平, 苏纪兰, 仇德忠, 1996. 黑潮水入侵南海的水文分析. 中国海洋学文集, 6: 1—12

- 李立, 伍伯瑜, 1989. 黑潮的南海的流套? ——南海东北部环流结构探讨. 台湾海峡, 8(1): 89—95
- 李荣凤, 曾庆存, 1993. 冬季中国海及其邻近海流系统的数值模拟. 中国科学, 23(12): 1329—1338
- 苏纪兰, 刘先炳, 1992. 海洋环流研讨会论文选集. 北京: 海洋出版社, 167—174
- 钟欢良, 1990. 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, 215—241
- 郭忠信, 杨天鸿, 仇德忠, 1985. 冬季南海暖流及其右侧的西南向海流. 热带海洋, 4(1): 1—8
- 袁叔尧, 邓九仔, 1996. 南海东北部冬季和夏季逆风流机制初探 I. 季风逆风流诊断方程及其诊断判据. 热带海洋, 15(3): 44—51
- 袁叔尧, 邓九仔, 1997a. 南海东北部冬季和夏季逆风流机制初探 II. 季风逆风流产生机制. 热带海洋, 16(3): 63—70
- 袁叔尧, 邓九仔, 1997b. 南海东北部夏季逆风流数值模拟. 海洋与湖沼, 28(2): 192—197
- 黄企洲, 1984. 巴士海峡的海洋学状况. 南海海洋科学集刊, 6: 53—67
- 黄企洲, 郑有任, 1996. 1992年3月南海东北部和巴士海峡的海流. 中国海洋学文集, 6: 42—52
- 蒲书箴, 于惠玲, 蒋松年, 1992. 巴士海峡和南海东北部黑潮分支. 热带海洋, 11(2): 1—8
- Backhaus J O, 1985. A three-dimensional model for the simulation of shelf sea dynamics. Dt hydrogr Z, 38: 165—187

CHARACTERISTICS OF WATER PARTICLE MOTION PATHS IN THE BASHI STRAIT

YUAN Shu-yao, DENG Jiu-zi

(South China Sea Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510301)

Abstract To study if Kuroshio Water (KW) passes through the Bashi Strait (BS), and to identify its path after passing through BS, 3D motion paths of water particles were traced on grids for a BS longitudinal section in winter (January) and summer (July) using a tracing model.

The results indicate that KW passed through the middle and southern paths of the BS longitudinal section to reach the northeastern South China Sea (SCS), to form the Kuroshio Branch in the northeastern SCS (KBNSCS) in winter and summer. In winter, the KBNSCS branches off near 21.5° N, 114.5° E, southeast of the Dongsha Islands. The motion paths of water particles have loop like structures in the northeast of the Branching off Location (BL) and come into the western Pacific Ocean (WPO) from the north of the BS. Layers 1—6, a part of motion paths of motion paths in the northeast of BL stretch downward, another part parallels the continental slope isobaths into WPO. No motion paths reach the continental shelf near Taiwan Shoal, which implies that the winter upwind flows coming from the northeastern SCS to enter Taiwan Strait are indirect geostrophic upwind flows, most of the water of which does not come from KW directly. Layers 5—7 motion paths can reach the Nansha district south of 10.0° N, in summer, when the BL of KBNSCS moves eastward. In Layers 1 and 2, the motion paths to the northeast of the BL are northward continuously and pass through Taiwan Strait after reaching the continental slope. The looped motion paths in the north of the BS in summer are more remarkable than those in winter, but the motion paths at the southwest of the BL do not reach the Nansha district.

Key words Bashi strait Water particle motion path Kuroshio branch in the northeast of SCS

Subject classification number P731.2