

范秀梅, 樊伟, 唐峰华, 等. 巴西暖流和马尔维纳斯寒流交汇点的变动及其影响机制的探讨[J]. 海洋学报, 2019, 41(9): 86–93, doi:10.3969/j.issn.0253–4193.2019.09.008

Fan Xiumei, Fan Wei, Tang Fenghua, et al. Research on the variability of Brazil-Malvinas Confluence and its cause[J]. Haiyang Xuebao, 2019, 41(9): 86–93, doi:10.3969/j.issn.0253–4193.2019.09.008

巴西暖流和马尔维纳斯寒流交汇点的变动 及其影响机制的探讨

范秀梅^{1,2}, 樊伟^{1,2}, 唐峰华^{1,2}, 吴祖立^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所 渔业资源遥感信息技术重点开放实验室, 上海 200090; 2. 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090)

摘要: 西南大西洋的马尔维纳斯寒流 (Malvinas Current, MC) 和巴西暖流 (Brazil Current, BC) 交汇点 (the Brazil-Malvinas Confluence, BMC) 的南移是很多影响因子共同作用的结果。本文从海流流量的变化和风场的变化来分析交汇点变动的原因。利用 1993 年 1 月至 2016 年 12 月的月平均流场计算截面流量, 分析得到 MC 流量呈现递减趋势, 而 BC 流量则出现递增趋势。2014–2016 年的 Argo 浮标的轨迹线表明 MC 的水体主要来自于南极绕极流 (Antarctic Circumpolar Current, ACC) 经过德雷克海峡的 3 个极锋中的其中之一——亚南极锋 (the Subantarctic Front, SAF)。计算 SAF 的流量, 得到其也表现出递减的趋势, 这是 MC 流量减少的重要原因。而和 SAF 相邻位于其南边的极锋 (the Polar Front, PF) 的流量出现递增趋势。利用 1993–2016 年月平均风场数据分析得到南半球盛行西风风应力增加且有向南极偏移的趋势, 这会使得 ACC 也有向南极收缩的趋势, 这解释了 SAF 流量减少而 PF 的流量增加的原因, 故得到南半球盛行西风的南移和 BC 流量的增加是 BMC 南移的原因。

关键词: 风应力; 交汇点; 流量; Argo

中图分类号: P731.21

文献标志码: A

文章编号: 0253–4193(2019)09–0086–08

1 引言

西南大西洋海区位于 30°~55°S, 40°~70°W 范围内, 这里的沿海陆架海区是马尔维纳斯寒流和巴西暖流交汇的地方, 饵料充足, 是阿根廷滑柔鱼、鱿鱼渔场的所在地。中国的鱿钓船从 1997 年开始在该渔场进行捕捞生产作业至今, 年产量超万吨^[1], 是我国远洋捕捞产业的重要组成部分。马尔维纳斯寒流 (Malvinas Current, MC) 是大西洋经圈翻转的重要组成部分^[2], 是南极绕极流 (Antarctic Circumpolar Current, ACC) 的分支, 其水体大部分来自 ACC。ACC 是由盛行西风驱动, 绕南极大陆一周的东向环流, 在全

球洋流系统中扮演了重要的角色。MC 是流速较大, 狭长的正压海流, 沿着阿根廷海盆–1 000 m 等深线向北流动, 把亚南极的富营养的冷水向北传送。在 40°S 附近遇到巴西暖流 (Brazil Current, BC) 后改变方向, 成为了大西洋副热带大涡一部分, 向东流去。BC 是属于风生流分类中的西边界流, 它和 MC 相遇后改为东向的海流, 与非洲东海岸的本格拉海流、南赤道流共同组成了大西洋副热带大涡。

关于 BC 和 MC 的交汇区的研究有很多相关的成果。Goni 等^[3] 在 1996 年利用反回声测深仪 (IES) 和卫星的高度计数据研究了该海区的高度异常, 上层 (海表至 8°C 等深线) 厚度的变化, 以及该层内的正压

收稿日期: 2018–08–27; 修订日期: 2019–02–16。

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费 (2015T06); 中央级公益性科研院所基本科研业务费 (2016Z01-01)。

作者简介: 范秀梅 (1984—), 女, 江苏省兴化市人, 助理研究员, 从事渔业遥感相关工作。E-mail: fxm1fxm@163.com

斜压流量随时间的变化。Goni 等^[4]在 2011 年研究了 BC 锋面的低频变动, 从风应力作用的南移和 BC 流量的变化分析了 BC 锋面的变动周期和南移趋势。Combes 和 Matano^[5]利用高分辨率的数值模拟得到了该交汇点在 1993–2008 年之间南向移动了 0.65°, 并分析认为是局部减弱的西风带导致了 ACC 通过德雷克海峡的流量的变化引起 MC 减弱, 从而导致了巴西暖流和马尔维纳斯寒流交汇点 (the Brazil-Malvinas Confluence, BMC) 的南移。本文则考虑到该交汇点是由 MC 和 BC 相遇形成的, 分析了 MC 流量和 BC 的流量的变化, 发现 MC 的流量有减少趋势而 BC 流量则出现增加的趋势。并进一步分析了绕南极洲的西风带的变化: 在 1993–2016 之间, 西风带有向南极大陆靠近的趋势。由西风带驱动的南极绕极流 ACC 也会向南极收缩, 使得 ACC 在经过德雷克海峡时的分支—亚南极锋 (the Subantarctic Front, SAF) 流量减小。而该分支的部分水体绕过马尔维纳斯群岛北上组成寒流 MC, 故 MC 的流量的减少和风场南移有关。

2 数据来源

海流数据来自 CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service) 的全球再分析数据集 GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030, 是模式数据同化各种观测数据的结果, 包括每天和每月的温度盐度和海流速度。该数据集的水平分辨率为 (1/12)°, 垂直方向深度从 -0.494 m 至 -5 727.9 m, 共分为 50 层, 时间跨度从 1993 年 1 月至 2016 年 12 月, 本文中用的是月平均的海流速度数据, 数据的下载地址为: <http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>。

风场数据为 NCEP/NCAR 再分析月平均值, 时间跨度为 1948 年 1 月至 2018 年 3 月, 数据的范围为: 88.542°N~88.542°S, 西经 0°~180°, 东经 0°~178.125°E, 网格为 192 × 94, 分辨率为 1.875° × 1.875°。该数据是利用预报值对多源的观测数据进行同化融合得到的结果。为了和海流的时间对应, 选择 1993 年 1 月至 2016 年 12 月之间的数据来计算。海底地形数据来自美国地球物理中心 (U.S. National Geophysical Data Center, NGDC) 发布的地形高程数据 ETOPO1, 该数据是精度为 1 arcmin 的全球陆地地形和海洋水深数据。

Argo 数据为 2014 年 1 月至 2016 年 12 月期间出现在研究区域的所有 Argo 浮标所在位置的经纬度。数据的下载地址为 <ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/argo/dac/>。按照每一个浮标在不同位置出现的时间先后顺序, 连

接这些位置点, 从而能够得到各个浮标的轨迹图。

3 分析

3.1 1992–2016 年海流流量变化趋势

BMC 是北上的 MC 和南下的 BC 的交汇区域, 交汇区域的变动和二者的流速流量存在相关性, 所以可以先从 MC 和 BC 的流量变化入手来研究 BMC。选择 BMC 的研究区域 35°~45°S, 50°~60°W, 如图 1 中的黑色粗实线矩形区域。图 2 是图 1 中矩形区域的放大, 并显示了该区域的平均流速的分布。从图 2 中分析得到 MC 和 BC 大致位于 -300~ -3 000 m 水深的沿岸等值线之间, 并在 39°S 附近相遇后改变流向, 向东南方向流动, 汇入南大西洋逆时针环流。

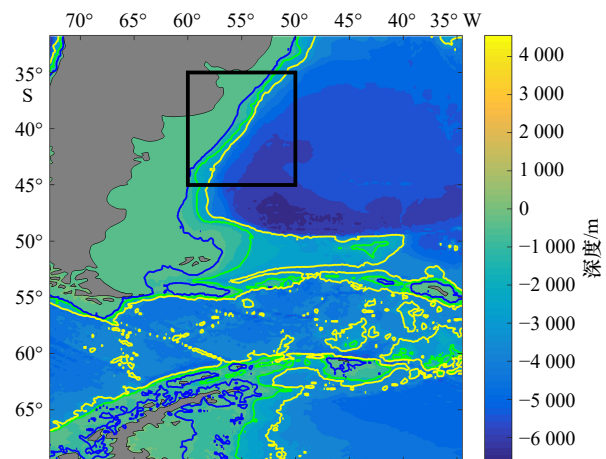


图 1 研究区范围及水深地形图

Fig. 1 Study area and bathymetric topography

蓝色实线代表 -300 m 等深线, 绿色实线代表 -1 500 m 等深线, 黄色实线代表 -3 000 m 等深线

The blue lines mean -300 m depth contour, the green lines mean -1 500 m depth contour, the yellow lines mean -3 000 m depth contour

根据 Goni 等^[4]的研究, MC 和 BC 的流线沿着 -1 000 m 等深线, 所以计算流量的截面应该与该等值线相交。我们选择位于等深线 -300~ -3 000 m 之间的截面 A-A' 和 B-B' 来分别计算通过它们的 MC 和 BC 的流量。截面 A-A' 两端的坐标分别为: (41.28°S, 57.25°W) 位于等深线 -300 m 上, (41.95°S, 56.44°W) 位于等深线 -3 000 m 上; 截面 B-B' 两端的坐标分别为: (35.78°S, 52.98°W) 位于等深线 -300 m 上, (36.3°S, 52.17°W) 位于等深线 -3 000 m 上; 计算截面的流量按照公式^[6]: $V = \iint v dx dz$, 其中, v 为垂直截面的流速, dx 为截面分割的步长, dz 为水深的步长, 输运体积 V 的单位为 m^3/s 。通过计算得到的 MC 和 BC 的流量如图 3 和图 4, 其中图中的红色细实线为流

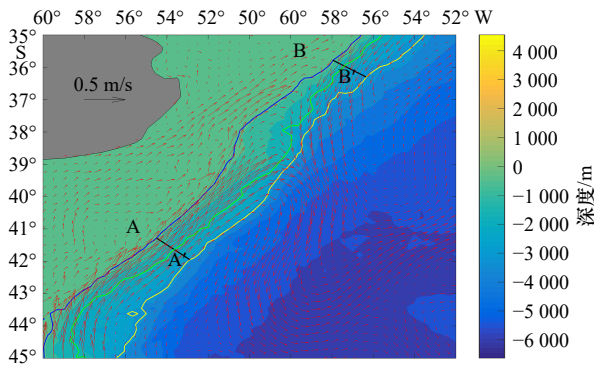


图 2 MC 和 BC 交汇处的平均流场分布

Fig. 2 Average flow field distribution at the junction of MC and BC

黑色粗实线分别为截面 A-A' 和 B-B', 图中的背景流场为 1993 年 1 月至 2016 年 12 月, 从表层至底层的平均流速场
The thick black solid lines mean the locations of section A-A' and B-B'.
The red arrows mean the average flow field from sea surface to bottom during 1993–2016

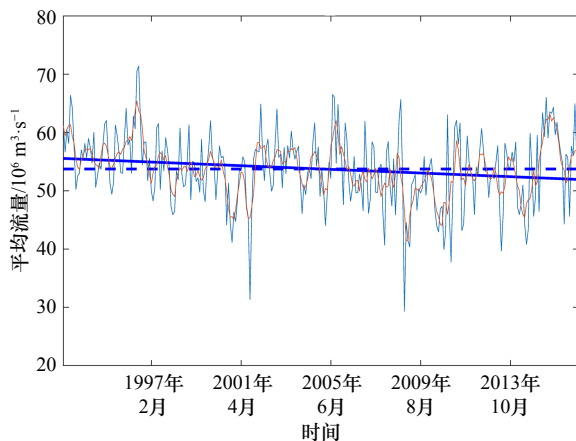


图 3 MC 月平均流量逐月分布 (1993–2016 年)

Fig. 3 Monthly mean transport variation of MC during 1993–2016

量值的 6 个月的滑动平均。从图 3 中可见 MC 是常年稳定存在的强度较强的寒流, 通过截面 A-A' 的平均流量为 $54 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 根据文献 [7], 利用连续的锚泊观测资料计算得到的 MC 的年平均流量为 $41.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 误差为 $12.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 考虑到截面的选取, 观测点的布置不同等误差因素, 我们计算的 MC 的流量与之前的学者计算的结果相近。该流量总体趋势减少, 在趋势线上, 从 1993 年的 $55.56 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 变为 2016 年的 $51.65 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 约为每 5 年减少 $0.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

通过截面 B-B' 的 BC 的流量逐月分布如图 4 所示, 该截面的平均流量为 $25.31 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 由于 BC 的流量会随着纬度的变化而变化, 同时和截面的大小的

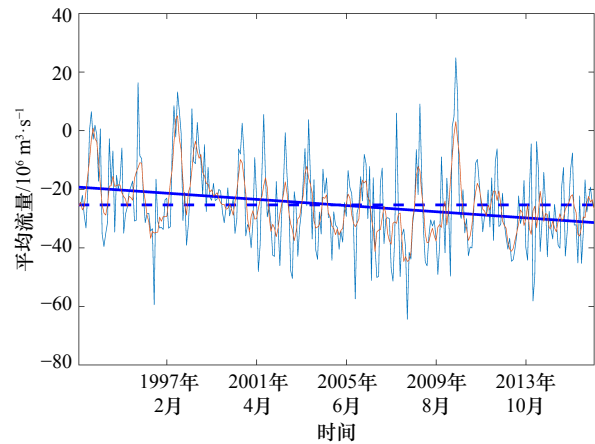


图 4 BC 月平均流量逐月分布 (1993–2016 年) (流量北向为正, 南向为负)

Fig. 4 Monthly mean transport variation of BC during 1993–2016 (the northward transport is set to positive and the southward transport is set to negative)

选取相关, 不同的纬度、不同的截面计算的流量会相差很多, 本文计算的只是通过截面 B-B' 的流量, 所以有所不同是必然。图 4 中显示 BC 的流量有时会很 小, 甚至接近 0 乃至消失或变为反向流, 但很快又会重新出现, 最大的月平均流量可以达到 $60 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。BC 的逐月平均流量的趋势线呈现增长, 从 1993 年的 $19.26 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 至 2016 年的 $31.26 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 增量约为每 5 年增加 $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。MC 流量减少而 BC 流量增加, 那么可以预估它们的交汇点可能会向南移动。

3.2 BMC 的计算及其纬度的变动

计算 BMC 的方法有很多种, 例如可以利用海表温度 (SST) 和海面高度异常 (SSHA) 来计算 BMC, 因为在该区域内 SST 和 SSHA 的变化会异常剧烈, 梯度值较大, 存在锋面, 可以根据锋面的位置来确定 BMC 的位置。BMC 是两股运动方向相反的海流相遇的地点, 速度的方向会产生剧烈的改变, 所以还可以从流速的突变来确定 BMC。从图 2 中的平均海流分布场中可见, MC 的流速方向为东北方向, 流向赤道, 在二者相遇的 BMC 区域流速改变方向为东南向, BC 的流向为西南向, 流向南极, 和 MC 相遇后流向改为东南向。等深线 -1500 m 正好经过这 3 种不同流速区域, 选出在 BMC 附近海域即图 5 中的矩形区域中的部分, 作为计算 BMC 的截面。该等深线截面上的流速是经过插值得到, 平均流速的北向分量 v (北向为正) 的分布如图 6, 在 MC 的部分流速为正, 指向北, 在 BC 部分流速为负, 指向南。通过对比还发现 MC 速度从表层至底层的流速方向一致, 表示 MC 存在于整个流经的区域, 而 BC 表层的流速和 BC 一致, 而随着深度的

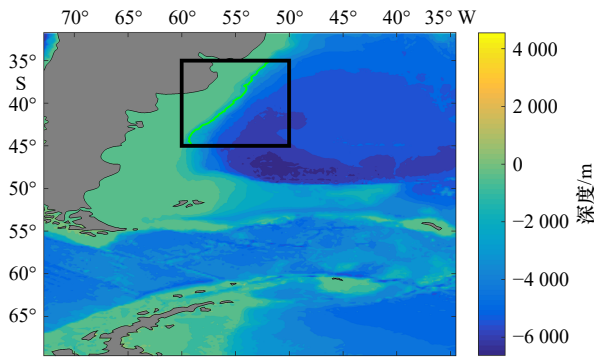


图5 用于计算速度截面的-1500 m等深线
Fig. 5 -1500 m depth contour used for calculating the velocity section

加深速度减小很快甚至出反向的流速,表明BC主要存在于流经区域的的上层,主要集中在-500 m以浅。

分别选择了表层和-260 m计算BMC,位置位于图6中的深度a和深度b的绿色虚线。BMC位于等深线a或者b上的北向速度从正值变为负值的点上。利用表层流速计算的BMC平均位置为38.88°S,深度-260 m处计算结果为38.55°S,这与Matano^[8]计算的BMC的位置38°S相符。BMC的位置随深度的增加向赤道偏移,这个特性也可以从图6中看出,在BMC处,北向平均速度等值线0 m/s随深度增加向北移动。

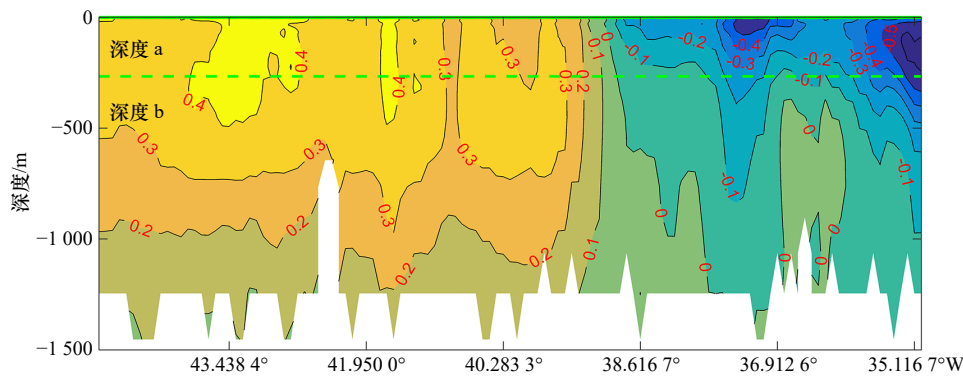


图6 等值线截面上的平均经向速度分量v的分布(绿色虚线代表计算MBC的深度)
Fig. 6 Distribution of average meridional velocity component v on the section of 1500 m depth contour (the green dashed line means the depth of calculating MBC)

从BMC所在纬度的逐月时间序列上看,图7和图8中二者皆有向南极高纬地区移动的现象。在表层,BMC的纬度从初始1993年的38.61°S南下到2016年的39.16°S,南移了0.55°;在深度-260 m处,BMC位置则从38.18°S南下到38.93°S,南移了0.75°,比表层的移动值增大0.20°。

3.3 BMC移动的影响机制

从3.1中分析可见,BMC的南移和MC流量的减

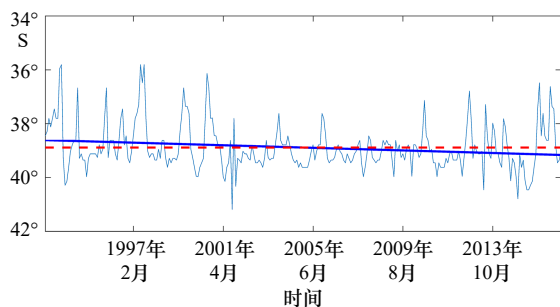


图7 沿深度a计算的BMC的逐月分布
(1993-2016年)

Fig. 7 Variations of BMC calculated along depth a with month during 1993-2016

少,与BC流量的增加趋势相关。MC是南极绕极流ACC流经德雷克海峡的北上分支。Piola等^[9]提到MC和阿根廷海盆的地形相互影响,ACC受到地转偏向力的作用,在德雷克海峡(Drake Passage)的沿北岸的速度大于沿南岸的速度。穿过海峡后随着阿根廷海盆(Argentine Basin)的水深加深,便出现了沿着阿根廷海岸线的等深线北上的速度较大的移动水体,在40°~50°S之间,出现了MC。根据Orsi等^[10]的研究结果表明,ACC的海水存在3个不同的温度锋,这3个锋内的海水的温度和盐度存在差异,表示各自的来源不同。从北至南这3个锋分别为:亚南极锋(the Subantarctic Front, SAF),极锋(the Polar Front, PF)和南南极绕流锋(the Southern ACC Front, SACC)。图9中显示了德雷克海峡截面线上的3个平均速度锋面,分别对应着SAF, PF和SACC。

Argo观测计划为研究表层和中层海流提供了机会,因为Argo浮标的深度可以从海表到-2000 m的深度。Argo浮标的轨迹线可以推断大洋表层和中海流^[11],所以本文利用穿过德雷克海峡的Argo浮标

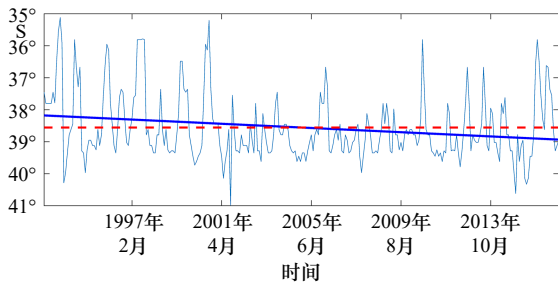


图 8 沿深度 b 计算的 BMC 的逐月分布 (1993–2016 年)

Fig. 8 Variations of BMC calculated along depth b with month during 1993–2016

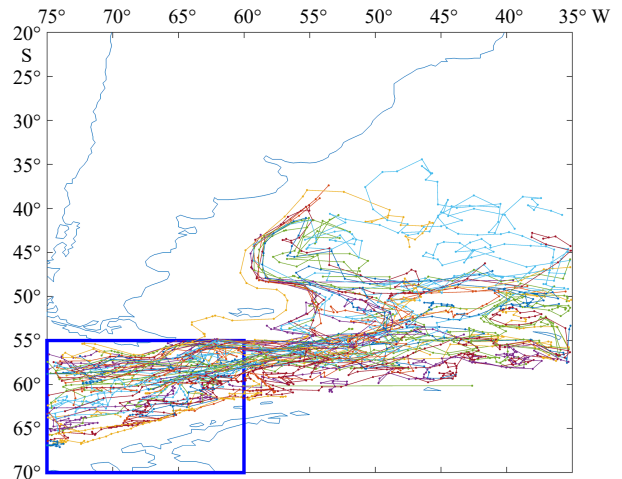


图 10 经过德雷克海峡的 Argo 浮标轨迹 (2014–2016 年)

Fig. 10 Trajectories of Argo floats through the Drake Passage during 2014–2016

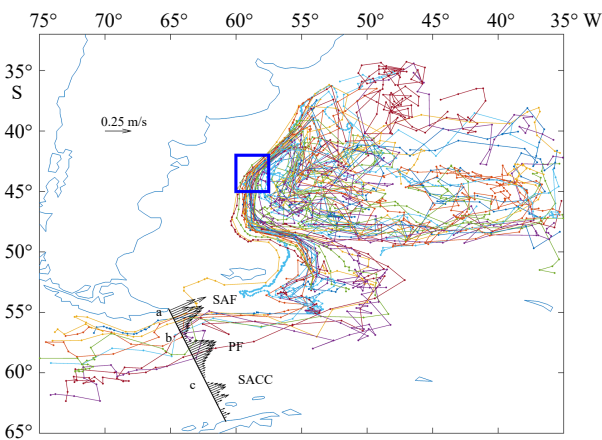


图 9 经过 MC(图中的蓝色矩形)的 Argo 轨迹 (2014–2016 年)

Fig. 9 Trajectories of Argo floats through the MC (the blue box in the figure) during 2014–2016

的漂流轨迹来分析 MC 的水体主要来源于 ACC 的 3 个锋面中的哪一个, 从而可以分析 MC 减少的机制。首先找出 2014–2016 年经过图 10 中蓝色粗实线矩形区域的所有 Argo 浮标的轨迹线。经过该区域的 Argo 浮标主要有两个去向: 一是随着 MC 北上后转弯南下, 二是直接随着 ACC 向东漂流。为了研究随着 MC 北上的 Argo 浮标主要来自于 ACC 3 个锋面中的哪一个锋, 在 MC 流经的区域设定了一个矩形区域, 然后寻找经过该矩形的所有 Argo 浮标的轨迹线 (图 9)。结果显示了随 MC 北上的 Argo 浮标主要是从 SAF 流出, 所以可以推断 MC 的水体大都来自 SAF。

从 3.1 部分的分析得到 MC 的流量从 1993 年至 2016 年总共减少了 $3.91 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 表明其流量是趋于降低的, 既然 MC 的水体主要来自 SAF, 那么需要分析 SAF 的流量的变化, 同时, 也分析一下相邻的锋面 PF 的流量, 因为通过这两个锋面流出的水体总量占 ACC 流量的绝大部分。根据图 9 中德雷克海峡的速度剖面, 分别取得 SAF 和 PF 在截面上的起始位

置。SAF 的起始经纬度位置为: a 点 ($54.68^\circ\text{S}, 65.15^\circ\text{W}$), b 点 ($57.38^\circ\text{S}, 63.89^\circ\text{W}$); PF 的起始经纬度位置为: b 点 ($57.38^\circ\text{S}, 63.89^\circ\text{W}$), c 点 ($60.54^\circ\text{S}, 62.37^\circ\text{W}$)。分别计算通过这 2 个截面的流量, 结果如图 11 和图 12。

计算得到 SAF 在 1993–2016 年期间的平均流量为 $79.96 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 呈现逐月递减趋势, 从 $82.64 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 减少至 $77.29 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 减少了 $5.35 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。PF 的平均流量为 $69.31 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 比 SAF 的流量少了约 $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, PF 的逐月变化呈现增加的趋势从 $65.16 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 增加到 $73.46 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, 增加了 $8.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。由此可见 SAF 流量的减少而 PF 的流量增

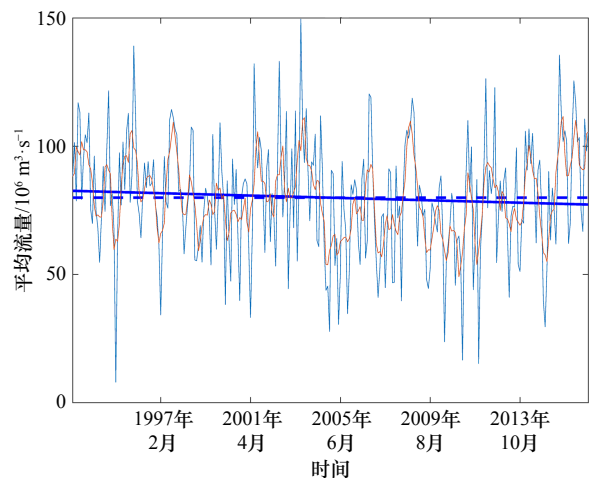


图 11 ACC 经过德雷克海时的 SAF 的流量逐月分布 (1993–2016 年)

Fig. 11 Monthly mean transport variation of SAF in ACC during 1993–2016

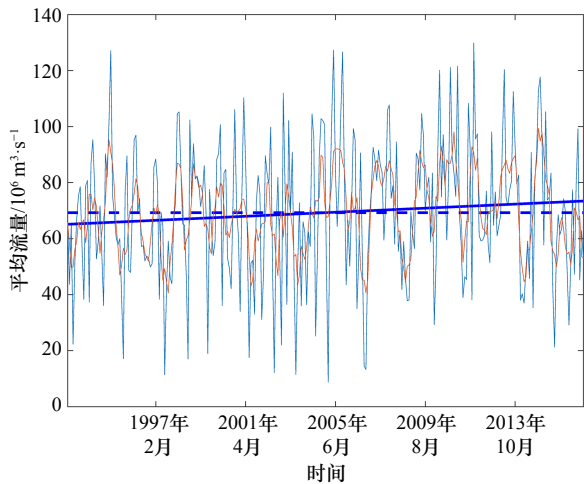


图 12 ACC 经过德雷克海时的 PF 的流量逐月分布 (1993–2016 年)

Fig. 12 Monthly mean transport variation of PF in ACC during 1993–2016



图 13 平均风应力 (a), 风应力增量 (b), 50°~70°S, 60°~150°W 区域的平均风应力 (c), 50°~70°S, 60°~150°W 区域的风应力增量 (d)

Fig. 13 Mean wind stress (a), wind stress increment (b), mean wind stress between 50°–70°S and 60°–150°W (c), wind stress increment between 50°–70°S and 60°–150°W (d)

平均风应力为 1993–2016 年的平均, 箭头为平均风应力矢, 其方向表示平均风应力的方向; 风应力增量为 1993–2016 年间的增量, 箭头为风应力增量矢, 其方向表示风应力增量的方向

The mean wind stress is average value during 1993–2016, arrows are mean wind stress vectors and arrows's direction is the direction of mean wind stress. The wind stress increment is increment value from 1993 to 2016, arrows are wind stress increment vectors and arrows's direction is the direction of wind stress increment

加, 作为 ACC 分支的 MC 流量也减少, MC 和 SAF 的变化一致, 可以推断, SAF 流量的减少一定程度上导致了 MC 流量的减少。至于 SAF 减少的原因下面从海面风场的角度来分析。

3.4 风场的影响

风应力是海洋上层水体运动的重要的驱动力, 本文中分析的 MC、BC、ACC 的物理现象的存在和发展都与其有着密切的关系。风应力通过摩擦海洋表面, 在海水垂直黏性力的作用下驱动海洋上层 1 000 m^[12] 范围内的海水形成风生环流, 例如西风漂流 (在南半球又称南极绕极流 ACC, 位于南半球的西风带内)、西边界流、东边界流、赤道流系。

图 13a 显示了 40°~90°S, 经度环全球范围内的 1993–2016 年时间段内的平均风应力, 南半球的西风带主要位于 40°~60°S 之间。图 13b 显示了 1993–

2016 年之间风应力的变化趋势,从图 13d 中可见盛行西风的风应力在 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{S}$, $60^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{W}$ 区域(德雷克海峡西边的海域)有增强的趋势。受盛行西风带驱动的南极绕极流穿过德雷克海峡时,产生的 3 个锋的其中之一——极锋 PF 的流量出现增加(参考图 12)是受该区域的风应力增长的影响导致的。SAF 的水体在穿过德雷克海峡后绕过马尔维纳斯群岛(又称福克兰群岛)往北,成为马尔维纳斯(福克兰)寒流。从图 13d 中可见 SAF 变成北上的马尔维纳斯寒流后流经区域的风应力增量的方向是向南的,和其流向相反,这是导致 SAF 流量降低的一个因素。对比图 13c 和图 13d 可以发现,风应力增量大的区域在平均风应力高值区的偏南边,约偏南 5° 左右。那么受该盛行西风带驱动的 ACC 也会向南极靠近,3 个极锋 SAF、PF、SACC 也会向南极偏移,那么通过图 9 中最北边的截面 a-b 之间的流量会递减,而位于截面 a-b 南边的 b-c 截面的流量则出现增加。

4 总结

利用沿阿根廷岸线的等深线-1 500 m 上的速度剖面,在表层和深度-260 m 处分别计算北向速度为 0 m/s 的位置作为 BC 和 MC 的交汇点 BMC。得到 BMC 纬度的逐月变化序列后,利用最小二乘法得到序列的变化趋势,发现表层和-260 m 处的 BMC 有向南移动的趋势,移动的大小分别为 0.55° 和 0.75° 。从

MC 通过截面 A-A' 和 BC 通过截面 B-B' 的流量变化以及风场的角度解释 MBC 南移的原因。MC 通过截面 A-A' 的流量逐月递减,变化量约为每 5 年减少 $0.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$, BC 通过截面 B-B' 的流量逐月递增约为每 5 年增加 $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。MC 的减少,BC 的增加是 BMC 南移的可能的原因之一。

通过分析随 MC 漂流的 Argo 浮标的来源来确定 MC 中水体来自于 ACC 的 3 个极锋中的其中之一 SAF。利用德雷克海峡的平均流速剖面确定 SAF 流经的截面为图 9 中的截面 a-b。计算得到穿过截面 a-b 的流量,拟合出变化趋势,得到其是逐月递减的,2016 年比最开始的 1993 年的流量少了 $3.91 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。如此可推断 MC 流量的减少是 SAF 锋面通过截面 a-b 流量的减少导致的。与 SAF 锋面相连的锋面 PF 流经 b-c 截面的流量是递增的,增量为 $8.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。考虑了 ACC 受盛行西风驱动,于是从长时间序列风场的变动来分析产生这种情况的原因。

从 1993-2016 年的逐月风应力平均分布和风应力变化分布对比发现,南半球的盛行西风在 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{S}$, $60^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{W}$ 区域(德雷克海峡西边的海域)有加强的趋势,风场增加强度最高的区域比原有西风带向南偏移 5° ,这表明盛行西风有向南极移动的趋势。受它影响的 ACC 也会向极地收缩,从而 ACC 的极锋也会向高纬摆动,于是通过截面 a-b 的 SAF 会出现递减,而靠近南极的 AF 通过截面 b-c 的流量会增加。

参考文献:

- [1] 陈新军,赵小虎.西南大西洋阿根廷滑柔鱼产量分布与表温关系的初步研究[J].大连水产学报,2005,20(3):222-228.
Chen Xinjun, Zhao Xiaohu. The relationship between the distribution of production of squid *Illex argentinus* and sea surface temperature in the Southwest Atlantic Ocean[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2005, 20(3): 222-228.
- [2] Friocourt Y, Drijfhout S, Blanke B, et al. Water mass export from drake passage to the Atlantic, Indian, and Pacific oceans: a Lagrangian model analysis[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2005, 35(7): 1206-1222.
- [3] Goni G, Kamholz S, Garzoli S, et al. Dynamics of the Brazil-Malvinas confluence based on inverted echo sounders and altimetry[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101(C7): 16273-16289.
- [4] Goni G J, Bringas F, DiNezio P N. Observed low frequency variability of the Brazil Current front[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2011, 116(C10): C10037.
- [5] Combes V, Matano P R. Trends in the Brazil/Malvinas confluence region[J]. *Geophysical Research Letters*, 2014, 41(24): 8971-8977.
- [6] Garzoli S L, Baringer M O. Meridional heat transport determined with expandable bathythermographs—Part II: south Atlantic transport[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2007, 54(8): 1402-1420.
- [7] Vivier F, Provost C. Volume transport of the Malvinas Current: can the flow be monitored by TOPEX/POSEIDON?[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1999, 104(C9): 21105-21122.
- [8] Matano R P. On the separation of the Brazil Current from the coast[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 1993, 23(1): 79-90.
- [9] Piola A R, Franco B C, Palma E D, et al. Multiple jets in the Malvinas Current[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2013, 118(4): 2107-2117.
- [10] Orsi A H, Whitworth T, Nowlin Jr D W. On the meridional extent and fronts of the Antarctic circumpolar current[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 1995, 42(5): 641-673.
- [11] 郭吉鸽,谢基平,朱江.利用Argo浮标轨迹推断大洋表层和中海流[G]//Argo应用研究论文集.北京:海洋出版社,2006.
Guo Jige, Xie Jiping, Zhu Jiang. Estimation of the surface and mid-depth currents from Argo floats[G]//Argo Science Seminar in China.

Beijing: China Ocean Press, 2006.

- [12] Carton J A, Giese B S. A reanalysis of ocean climate using simple ocean data assimilation (SODA)[J]. *Monthly Weather Review*, 2008, 136(8): 2999–3017.

Research on the variability of Brazil-Malvinas Confluence and its cause

Fan Xiumei^{1,2}, Fan Wei^{1,2}, Tang Fenghua^{1,2}, Wu Zuli^{1,2}

(1. *Key and Open Laboratory of Fisheries Resources Remote Sensing and Information Technology, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China*; 2. *Key Laboratory of Development and Utilization of East China Sea and Ocean Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090, China*)

Abstract: The Brazil-Malvinas Confluence (BMC) may have a southward shift in a long time trend and many marine factors' change may cause this drift. We analysis this phenomenon from two aspects: the changes of currents' volume transport, and the winds' alternation. Using the monthly mean flow field between 1993 and 2016 to calculate the cross-sectional water transport volume, the results show that the transport change trend of the Malvinas Current (MC) is decreasing and the transport change trend of the Brazil Current (BC) is increasing. The trajectory of the Argo buoy during 2014–2016 indicates that the MC's water mainly comes from one of the three polar fronts of ACC (Antarctic Circumpolar Current) when passing through the Drake Passage: SAF (the Subantactic Front). Calculating and analyzing the transport of SAF, we find that the transport's trend of SAF is lessened, which is an important reason caused the reduce of MC's transport. We also find that the PF's transport on the south SAF has incremental trend. Based on the monthly mean wind field data during year 1993–2016, we find that the prevailing westerly wind stress in the Southern Hemisphere is growing and moves toward to Antarctic which will make ACC contract to Antarctica. So we can explain that the transport of SAF reduces while the transport of PF increases. Therefore, it is found that the southward movement of the prevailing westerly winds in the Southern Hemisphere and the increase of BC transport are the reasons for the southward drift of BMC.

Key words: wind stress; confluence; transport; Argo