

# 南海沿岸流特征及其季节变化

薛惠洁<sup>1,2</sup>, 柴 扉<sup>1,2</sup>, 徐丹亚<sup>3</sup>, 侍茂崇<sup>2,4</sup>

1. School of Marine Science, University of Maine, Orono, ME 04469 - 5741, U. S. A.

2. 青岛海洋大学, 青岛 266003.

3. 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301.

4. 国家海洋局海洋动力过程与卫星海洋学重点实验室, 杭州 310012.

**摘要:** 冬季, 在盛行的、强劲的东北季风作用下, 海水在南海西边界堆积. 风力和梯度力 (从近岸指向外海) 联合作用结果, 在中国和越南海岸外, 形成一支强盛的气旋式西边界流. 这支流沿广东沿海西行, 顺海南岛沿岸南下, 贯穿南海整个西边缘, 在加里曼丹岛附近折向东北方流动. 在这大尺度、强环流的侧向牵引下, 其运动方向左侧形成一系列中、小尺度气旋式涡旋; 夏季, 在西南季风的作用下, 沿岸流与冬季反向. 在侧向 Ekman 输运影响下, 岸边水位降低, 引起海岸处海水上升. 同样在风力和压强梯度力 (从外海指向海岸) 作用下, 进一步强化了沿岸流, 形成夏季近岸显著的西边界流.

**关键词:** 季风; 压强梯度; 沿岸流; 涡旋; 季节变化; 南海

## 1 概述

沿岸流是指主体部分位于陆架之上、沿着海岸方向运动的浅海海流. 由于发生在近岸浅海, 所以与地形、入海径流和季风有密切关系. 南海沿岸流具有如下特征:

(1) 整个海域位于低纬度, 南部临近赤道. 科氏力较小,  $\beta$  效应、非线性和摩擦项的作用相对增强. 地形的影响显著, 导致近岸和岛屿附近流场复杂, 各种中、小尺度涡大量出现.

(2) 南海南北跨距大, 冬、夏季季风开始与结束时间南北可差 3 个月左右<sup>[1]</sup>. 在同一时刻的南海海面上, 南北可出现不同的控制风场, 从而使混合层之上的流场更加复杂.

(3) 具有明显的浅海特征.

1) 沿岸径流对沿岸流温、盐结构有重要影响

南海周边地区降雨量大, 年降雨量超过 2 000 mm. 大量淡水注入海洋, 使近岸海水盐度显著降低. 从沿岸流中可以明显看出低盐水舌的运动. 不仅如此, 还会造成海面压力的调整, 出现与沿岸风漂流方向相反的沿岸流.

2) 海流对季风场的变化响应迅速

沿岸流是季节性海流, 对季风场会作出迅速响应. 一次大风过程结束, 近岸 10 m 等深线附近风漂流 24 h 就基本消失; 50 m 等深线附近风漂流 3 d 就观测不到. 南海陆架区调整时间不超过 1 个月. 它表明海底摩擦对能量消耗非常重要.

(4) 由于正压、斜压作用, 使沿岸风海流显著强化. 冬季风漂流侧向 Ekman 输送, 受到流向右面陆地的影响而堆积, 自海岸指向外海的正压压强梯度力, 产生方向与风漂流一致的

地转流。地转流与风漂流合成结果，形成近岸强流带；夏季风漂流的侧向 Ekman 输送，造成近岸海面降低，形成上升流，于是出现方向从外海指向海岸的斜压压强梯度力，同样产生方向与风漂流比较一致的地转流。地转流与风漂流合成结果，形成近岸射流。

(5) 沿岸流对陆地物质（径流、营养盐、污染物质）的入海和散布起着决定作用（表 1）。因此，沿岸流覆盖的海域，也是沿海人民开发和保护海洋的重点水域。

表 1 珠江口海域磷酸盐含量 ( $\text{mmol}/\text{m}^3$ ) 诸月变化<sup>1)</sup>

深度	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0 m	0.21	0.14	1.14	1.39	0.21	0.20	0.21	0.36	0.43	0.57	0.43	0.68
10 m	0.54	0.14	0.57	1.29	0.23	0.10	0.30	0.36	0.43	0.57	0.43	0.68
20 m	0.31	0.14	0.39	1.86	0.26	0.24	0.35	0.23	0.43	0.57	0.43	0.57
35 m	0.57	0.14	0.39	1.75	0.29	0.30	0.39	0.22	0.43	0.57	0.43	0.57
海底	0.57	0.13	0.39	1.82	0.30	0.50	0.57	0.79	0.43	0.57	0.43	0.57

由表 1 中可以看出，除去 2 月全层、6 月上层接近外海值以外，其他月份都高出外海 2~4 倍，4 月份甚至高出 10 倍以上。

关于南海上层流的研究，20 世纪 60 年代以前，主要是以船舶漂移资料、海面盛行风资料，结合局部海域温、盐资料分析为主，其中比较典型的有美国水文局的南海、爪哇海、苏拉威西海和苏禄海的表层流图<sup>[2]</sup>。50 年代末、60 年代初，中国开展的大规模海洋调查，以及后续的断面调查，填补了南海北部海域的研究空白<sup>[3]</sup>。70 年代以后，徐锡祯等利用 1921~1970 年间南海 6 000 余个站点、站次的动力深度偏差，以  $1^\circ \times 1^\circ$  网格、按四季进行统计平均，得出了南海中上层平均地转流图<sup>[4]</sup>。以后各种特定的专项调查增多起来，各种数值模拟也相继出现，为南海环流和南海区域海洋学研究奠定了基础。

## 2 冬季沿岸流

### 2.1 沿岸流全流特点

冬季沿岸流，主要是指 11 月至翌年 2 月这一时段中近岸海水的流动。10 月，是夏季向冬季过渡月，从计算结果可以看出，这个月已基本成为冬季型。

冬季，整个南海西部构成一个大尺度、强盛的气旋式西边界流。这个边界流沿广东沿岸西行，顺海南岛沿岸南下，贯穿南海整个西边缘，在加里曼丹岛附近折向东北方流动。在这个大尺度、强环流的侧向牵引下，其运动方向左侧形成一系列中、小尺度气旋式涡旋（见附图 1-1）。总的来看，冬季沿岸流从东向西、从北向南流动，其全流（全层平均）形式具有如下特点：

#### 2.1.1 流速不断加强

由计算结果可以看出，从海南岛万宁县东部开始，沿岸流向南的流速就不断加大。从全层平均流速来看，广东沿岸流速约为  $0.1 \text{ m/s}$ ，海南岛南部约为  $0.15 \text{ m/s}$ ，越南沿岸约为  $0.2 \sim 0.3 \text{ m/s}$ ，到了马来半岛以东，尽管流幅加宽，速度仍然保持  $0.2 \sim 0.3 \text{ m/s}$  左右。

该流的不断加强现象是由于以下两个原因引起的：

- (1) 沿岸流所在海域水浅，同样的风能可以引起比深海较快的风海流。
- (2) 在盛行的、强劲的东北季风作用和科氏力的影响下，表层海水在南海西部堆积，形

1) 国家海洋局海洋科技情报所。海洋调查资料（内部），1976，（18）。

成西高东低的海面梯度。从计算结果看来, 有两条明显汇集带: 一条位于  $17^{\circ}\sim 21^{\circ}\text{N}$  区域内, 另一条在  $7^{\circ}\sim 12^{\circ}\text{N}$  之间。形成岸边水位高于外海  $10\sim 20\text{ cm}$  的特点, 从而产生方向向南的倾斜流。倾斜流与风海流相加, 导致南海海域西部沿岸流增强的结果。

### 2.1.2 流幅不断扩大

广东和海南岛东北沿岸流幅较窄: 粤东约为  $100\text{ km}$ , 粤中、粤西约为  $60\sim 70\text{ km}$ , 到海南岛东北部流幅缩减到  $30\sim 40\text{ km}$  (只是到了湛江附近略有增加)。从海南岛万宁县起向南, 到越南金兰湾附近, 流幅逐渐增加到  $100\text{ km}$  以上; 在中南半岛以南海域, 由于东部海水再一次大规模流来, 沿岸流在陆架上突然散开呈扫帚状, 最宽处可达  $400\text{ km}$ , 形成与北部迥异特点。

### 2.1.3 流量不断增加

流量是流速、流幅和海流水体厚度的函数。不仅南向流速增加, 而且南向流量也增加。广东沿岸流量约为  $0.3\times 10^6\text{ m}^3/\text{s}$ , 海南岛南部约为  $1.8\times 10^6\text{ m}^3/\text{s}$ , 越南沿岸约为  $2.5\times 10^6\text{ m}^3/\text{s}$ , 到了马来半岛以东, 增加到  $4.1\times 10^6\text{ m}^3/\text{s}$ , 比广东沿岸流量增加 13 倍以上。

### 2.1.4 流路弯曲呈 3 个“S”型

受沿岸地形影响, 流路有 3 次弯曲, 呈 3 个 S 型: 第一个 S 型出现在湛江湾口, 第二个 S 型出现在北部湾口, 第三个 S 型出现于泰国湾口, 从北向南逐渐增大。在湾臂中间 (流轴东面), 产生气旋式涡旋 (有的闭合, 有的不闭合)。

### 2.1.5 南部临岛区逆风流动

在南海东、东南、南部近岛区域, 即吕宋岛、巴拉望岛、加里曼丹岛的西侧, 有比较明显的北向流。大范围沿岸流的出现, 是由于东部海水流走而产生的补偿性流动。

## 2.2 冬季沿岸流分层结构

### 2.2.1 表层环流

(1) 初冬 (11 月、12 月), 海水大规模向西部汇聚

初冬, 表层海水几乎全是自东向西, 横扫南海  $15^{\circ}\text{N}$  以北整个海域, 与 1 月、2 月份有显著区别。究其原因, 10 月以后, 风场虽然转向, 但和深冬相比, 东西方向分量要多于南北方向<sup>[5]</sup>。因此出现海水从东向西的大规模运动, 而不是像 1 月、2 月那样, 从东北向西南的运动。由于初冬阶段南海东部水 (包括苏禄海水) 的大量向西, 沿岸流自海南省万宁县起, 经陵水、三亚、北部湾口南部, 至越南岬港这一段, 流幅显著加宽 ( $200\text{ km}$ )、流速加快 ( $0.3\text{ m/s}$  左右); 自岬港向南, 靠近越南沿岸, 流速达到最大, 一般为  $0.5\sim 0.6\text{ m/s}$  左右。

(2) 深冬 (1 月、2 月), 流动形式与全层平均态相似

南海北部沿岸流东自台湾海峡起, 沿着广东近岸, 由粤东向粤西流动。粤东海域流幅较宽, 大约为  $200\text{ km}$ , 来自台湾南部、自东向西的一部分高盐水加入到其中, 流速一般为  $0.2\sim 0.3\text{ m/s}$ ; 粤中、粤西流幅宽度降到  $100\text{ km}$ , 流速一般为  $0.2\text{ m/s}$ ; 到湛江附近, 一部分穿过琼州海峡进入北部湾, 构成广西和越南北部沿岸流; 另一部分, 转而向西南, 沿海南岛东部南下, 流速可达  $0.2\text{ m/s}$ 。

沿海南岛东部南下的广东沿岸水, 到了万宁县以南, 得到南海中、北部环流的西向补充, 流量、流速都大大增加, 到越南东部, 最大流速可达  $0.6\text{ m/s}$  左右。

进入越南东南部海域之后, 又第三次受到东部水的补充 (包括苏禄海水), 流幅显著变宽, 驱动湄公河冲淡水向西流动, 在泰国湾口堆积, 最后沿马来半岛南下, 流出卡里马塔海峡 (见附图 2-1)。

### 2.2.2 20 m层环流

#### (1) 粤西沿岸流水源有变化

粤西沿岸流表层水有两个来源：一是台湾海峡北部沿岸流，它可能来自更远的东海沿岸水，属于低温、低盐性质；另一部分来自台湾南部西向流，这是高温、高盐水。但是，到了20 m层以下，受到台湾浅滩阻隔，台湾南部西向流不再是粤东沿岸流的一个源地，而是全部转入台湾海峡进入东海。

#### (2) 苏禄海海水流入量减少，导致加里曼丹岛和巴拉望岛沿岸流发生改变

从环流量计算结果得出，苏禄海海水通过巴拉望岛南北端海峡进入南海大约为  $3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。沿马来半岛南下沿岸流，因受巽他陆架的阻挡，应该有部分海水沿着加里曼丹岛海岸转而北上，构成南海海面基本闭合的气旋式环流。但是，由于受到加里曼丹岛西南向沿岸流（来自苏禄海水）的压制，北上的趋势未得到实现。然而这两个海峡中南部的一个，是浅海海峡，深度浅于50 m。北部的民都洛海峡也只在中间一个狭窄范围水深超过1 000 m。因此，20 m以下，苏禄海注入南海水量大大减小，20 m层上加里曼丹岛沿岸流立即转成东北向流。12月至翌年2月，加里曼丹岛沿岸海流最强，其速度可达  $0.2 \sim 0.3 \text{ m/s}$ （见附图2-2）。其他月份较弱；其次，巴拉望岛附近离岸流，20 m层变成向岸流。

### 2.2.3 50 m以下诸层环流

50 m层广东沿岸流已不明显，只保留从海南万宁起、直到马来西亚东部海域的强流带。流速一般为  $0.4 \sim 0.5 \text{ m/s}$ （见附图2-3）。200 m层除越南东南部海域仍然可见其沿岸流特征外，其他海域基本消失（见附图2-4）。

## 3 夏季沿岸流

夏季沿岸流特征主要是指5~9月这一时段。3月、4月，是从冬季向夏季过渡期。夏季，在西南季风的作用下，整个南海又为一个海盆尺度的反气旋环流所控制。表层暖水在环流推动下，在南海中部堆积，从而在近岸形成一个自东向西、自南向北的海面压强梯度。在低阶动力学尺度上与表面风应力平衡，产生自南向北的沿岸流。夏季沿岸流引起海岸处海水上升，形成从外海指向海岸的斜压压强梯度力，进一步强化了西边界流。

### 3.1 沿岸流全流特征

#### 3.1.1 南部流幅窄，北部流幅宽

冬季，沿岸流在南海西南部流幅最宽，到了夏季，则迅速变窄：马来半岛东部由冬季的370 km，减少到90 km；只有湄公河口因泰国湾水的排出，才逐渐变宽，最宽处也不到250 km。

冬季，广东沿岸流幅最窄，夏季迅速变宽：主流轴由冬季的100 km，普遍增加到200 km左右，特别是海南岛东北部增加最为迅速，由30 km增加到100 km。它表明，沿岸流流幅总是由上游向下游增加的。海南—广东沿岸流的流幅，基本上是200 m以内的大陆架宽度（见附图1-3）。

#### 3.1.2 流路弯曲呈3个“S”型

夏季沿岸流流路也弯曲呈3个“S”型，但是湛江湾那个弯曲基本消失，代之以东沙群岛弯曲：在东沙群岛西北部，主流轴向岸弯曲50 km，它是由于等深线向北弯曲所致。虽然这个弯曲很小，但对粤东上升流和侧向反气旋涡形成有重要影响；在弯臂中多出现反气旋结构：泰国湾口出现一个反气旋式涡旋，空间尺度约为400 km。北部湾口，出现一个小尺度反气旋

式涡旋, 空间尺度约为 100 km. 东沙群岛西北部出现一个小尺度反气旋式涡旋, 空间尺度约为 150 km, 但是南部未闭合.

### 3.1.3 全程流通量变化不大

根据积分结果, 马来半岛以东沿岸流的通量为  $1.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ , 越南金兰湾东部通量为  $1.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ , 海南东部通量为  $1.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ , 广东珠江口外断面通量为  $2.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ . 首尾相差不到 1 倍. 由此可见, 夏季沿岸流全程通量变化不大. 这可能是由于在西南风吹刮下, 海水总的运动方向从南向北、从西向东, 沿岸流缺乏大量水体补充所致. 即使如此, 南海西部、北部的陆架区仍然形成明显的强流带, 西部流速普遍在  $0.3 \sim 0.4 \text{ m/s}$  之间, 北部也在  $0.1 \sim 0.15 \text{ m/s}$  附近变化. 成为夏季南海最显著特征. 强流带的形成, 得力于夏季沿岸上升流: 由于上升流造成近岸显著斜压效应, 斜压流与近岸风海流之间夹角小于  $45^\circ$ , 两者合成结果, 流速自然增大.

### 3.1.4 巴拉望岛、加里曼丹岛沿岸流与冬季反向

冬季, 在表层以下, 沿岸流流向东北; 夏季, 受西陆架沿岸流的牵引, 沿岸流则转向西南. 季节变化很明显.

## 3.2 夏季沿岸流分层结构

### 3.2.1 表层环流

沿岸流在台湾海峡西南部, 受到地形约束, 形成一支较强的、穿过海峡流向东北的海流. 其输送水量约为  $2.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ . 这些结果与前人的观测和计算结果<sup>[3,6,7]</sup>颇为一致.

广东沿岸流和珠江冲淡水, 在北部沿岸流中具有重要特点. 由于珠江径流由多个口门入海, 加上横陈在珠江口外诸多岛屿影响, 因此珠江口外海流复杂多变. 夏季, 粤东沿岸流流向东北, 流幅宽, 携带珠江冲淡水, 可以穿过台湾海峡对东海沿岸流施加影响.

越南和海南岛东部沿岸流, 是夏季沿岸流中最强者, 流速可达  $0.6 \sim 0.8 \text{ m/s}$ . 在强大沿岸流的影响下, 6~7 月, 湄公河冲淡水可以影响到海南岛南部, 甚至影响到南海北部近岸区域. 马来半岛东部近岸区域沿岸流强度仅次于越南东部, 一些月份流速甚至超过越南东部, 这是由于水深变浅之故 (见附图 4-1).

### 3.2.2 下层环流

20 m 层, 其环流结构形式, 基本与表层同, 只是流速比表层略小 (见附图 4-2).

50 m 层, 基本保持表层和 20 m 层特征. 在台湾海峡处, 由于近中国大陆一侧地形变浅, 所以水体只能通过澎湖深槽、从台湾岛一侧进入东海; 中南半岛以南水浅陆出, 沿岸流特征基本消失 (见附图 4-3).

200 m 层, 南海东南部至越南金兰湾近岸海域, 海流从北向南, 与冬季 1 月相似. 越南北部海流由北而南. 两者在  $13^\circ\text{N}$  处相遇, 从而形成东向流. 其他近岸海域沿岸流基本消失 (见附图 4-4).

由此可见, 夏季环流与冬季有很大区别. 这与南海面积大、且具有很高的封闭性有关.

## 4 过渡诸月环流

### 4.1 冬季向夏季过渡月环流

3 月, 流弱而乱. 尽管南海北部和西南部海域表层仍然保持冬季环流形式, 但势力已大大减弱, 特别是越南和海南岛的东南部近岸区域流向已与冬季相反, 呈现从南向北的运动形势. 在北部湾口, 20 m 层竟出现一个以湾口为尺度的反气旋式涡旋. 50 m 以下, 这个区域

仍然保持冬季特征。它表明，在转换季节，只有上表层受到影响。

4月，基本完成季节转换。从气候学角度看，4月是冬季风场向夏季过渡的缓变阶段。虽然沿岸流已经转变成夏季型，但是环流形式还带有明显的过渡特征（见附图3-1）。

从图中可以明显看出， $12^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 这个海域已经完成冬季向夏季的转变，即沿岸流顺着海岸向北流动，在越南东部，最大流速可达 $0.5\text{ m/s}$ 左右。但是，南海北部、广东沿岸一个狭窄的带状区域，沿岸流方向仍然自东向西，所以在琼州海峡东口和湛江湾这个海域，形成一个小尺度气旋式涡旋。从珠江口向西，仍然为低盐水盘据； $12^{\circ}\text{N}$ 以南海域，沿岸流还在调整之中，其夏季特征不明显。因此，湄公河冲淡水仍然盘踞在河口以西至泰国湾口一带。20 m层甚至仍然保持冬季环流形式（见附图3-2）。一般来说，季风场由南向北推移， $12^{\circ}\text{N}$ 以南海域，沿岸流应该调整完毕。但是4月非常特殊，随着太阳辐射在北半球增强，高气压中心已经移到东太平洋上。因此， $12^{\circ}\text{N}$ 以南风矢量自东向西，而 $12^{\circ}\text{N}$ 以北，则开始向北转向，从而造成南部海域海流转向缓慢的结果。

5月，尽管环流完全是夏季形式，但是仍可以看出季节转换的某些特点。例如，珠江口和湄公河口冲淡水，并不像6~7月那样，顺着环流向东北方向扩散，而是向河口两边呈等距离传送。它表明季风不断变换的特点。正如我们前面讲到的那样，5月上旬，开始进入季风初级阶段， $15^{\circ}\text{N}$ 以南的东风分量减少，而南风分量增加，到5月中旬，夏季风场才基本定型。

由于5月份 $15^{\circ}\text{N}$ 以南的东风分量开始减少，而南风分量逐渐增加，所以泰国湾口和中南半岛南部沿岸流普遍偏低，沿岸流特征不明显。

由此可见，从冬季向夏季转换，要历时3个月，持续时间最长。它与夏季前期风向多变、风场弱有关。

#### 4.2 夏季向冬季过渡月环流

10月，夏季风场已基本消失，冬季风型已初步建立（见附图5-1）。东北季风已深入到 $12.5^{\circ}\text{N}$ ，但是风力还不够强大和稳定。环流形式与4月极为类似：南海北部的广东近岸区域，沿岸流已经从东向西，珠江冲淡水西向影响可达琼州海峡附近； $12^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 这个海域，夏季特点已经消失，流从北向南运动； $12^{\circ}\text{N}$ 以南海域，流向很乱，是典型的过渡阶段。

### 5 沿岸流季节长度

广东沿岸流，5~9月，是夏季型的，即一年中有5个月时间保持自西向东的流动；从10月至翌年4月，是冬季型的，即一年中有7个月时间保持自东向西的流动。

在 $12^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 这个海域中的沿岸流，3~9月，是夏季型的，即一年中有7个月时间保持自南向北的流动；从10月至翌年2月，是冬季型的，即一年中有5个月时间保持自北向南的流动；在这个海域中，夏季型流动比北部提早2个月时间，是与这个海域东部存在一个强大反气旋有关。整个夏季，由于中南半岛的高山地形影响，在越南的东南端海面上，存在强风速带。根据缪启龙等人计算<sup>[8]</sup>，距大陆100 km的越南东南方海面上，风应力的值超过 $2\times 10^{-5}\text{N}$ 以上，与南海冬季海面平均风应力相当。这一强的风应力切变，可以造成反气旋运动，从而形成海水的反气旋式环流。冬季则相反，在海面上形成气旋式运动。

$12^{\circ}\text{N}$ 以南海域，4月和10月，的确是它的转变月，在这两个月中，流速较弱，流型混乱。

## 6 珠江冲淡水的运移

计算表明, 夏季珠江冲淡水可以随着沿岸流进入台湾海峡, 影响到东海海域. 这是对于平均态而言的. 实际调查结果是, 夏季珠江冲淡水运移路径受多种因子制约, 形成复杂多变的局面. 根据 1967 年 5~6 月在香港东面 ( $22^{\circ}\text{N}$  以北、 $114^{\circ}\sim 116^{\circ}\text{E}$ ) 释放的漂流瓶回收结果来看, 37% 的漂流瓶是向东的, 63% 漂流瓶则向西漂移.

首先, 南海北部陆架区为上升流所盘踞. 上升流水体来自陆架外深层低温、高盐水, 密度显著高于近岸水 (特别是河口冲淡水). 根据文献[9]研究结果, 海南岛东部上升流控制范围在  $20^{\circ}30'\text{N}$  以南、 $112^{\circ}\text{E}$  以西海域, 但是上升流可以影响到  $113^{\circ}\text{E}$  附近, 即珠江口南面 100 km 范围内的广阔海域, 从而在粤西近岸形成特殊的斜压结构: 上层是高温、低盐水, 下层是低温、高盐水; 近岸以低盐水为主, 外海以高盐水为主. 总体结果, 形成海面自岸向外降低的趋势.

其次, 海面高度还受到降水、径流、风的综合影响. 海面高度逐年、逐月都是变化的. 我们用粤西近岸台站 3 个不同年份中不同的月平均海面高度、风和降雨量来研究珠江冲淡水扩散方向 (表 2). 表中降雨量之距平值有两种, 一是当月与前 2 个月降雨量距平和, 二是当月与前 3 个月降雨量距平和. 从表中可以看出风、海面高度对珠江径流运动方向存在很明确的相关关系.

表 2 3 个典型年份海面高度 (mm)、风和降雨量 (mm) 对珠江径流扩散影响

要素	1979 年 7 月	1981 年 6 月	1982 年 8 月
海面月平均高度距平	15	113	-157
风速 (m/s)	3.1	3.1	2.2
S-SSW 向风天数 (d)	22	14	14
当月与前两月降雨量距平和	-71.0	160.4	-165.4
当月与前 3 月降雨量距平和	27.5	196.4	-353.7
珠江径流扩散方向	NE	SW	NE

### 6.1 风

1979 年 7 月, SSE-S-SW 向风占 22 d, 平均风速为 3.1 m/s. 风力强, 延续时间长. 海面高度接近平均值. 根据美国海洋资料中心 (NODC) 的温盐资料分析结果, 珠江冲淡水显著向东扩展: 盐度 28.0 的水舌, 从珠江口向东延伸 220 km 以上, 平均宽度为 40 km; 盐度 30.0 的水舌, 从珠江口向东延伸 330 km 以上, 平均宽度为 50 km (见图 1). 可以认为, 南风是珠江冲淡水东移的主要动力.

### 6.2 海面高度

1981 年 6 月, S-SW 向风为 14 d, 平均风速为 3.1 m/s. 风况接近平均值, 但是近岸海面高度高出多年平均值 113 mm. 由于外海无观测资料, 我们只能假定外海海面平均高度年际变化不大. 那么, 由于岸边海面升高而产生的压强梯度力的作用, 使珠江冲淡水向西南方向显著运移. 由图 2 可看出, 27.0 等盐线可以达到湛江湾附近, 粤西近岸基本为低盐水占据. 可以认为, 自西向东的压强梯度力的作用是主要的.

1982 年 8 月, SSE-S-SW 向风为 14 d, 平均风速为 2.2 m/s. 属于风力较弱的月份. 但是, 岸边海面高度为 -157 mm, 即岸边海面显著低于多年平均值. 基于上面相同理由, 由于自东向西压强梯度力的作用, 珠江冲淡水向东北方向运移 (见图 3). 由图中可以看出, 冲淡

水紧贴岸边向东北流动，到了汕尾附近，转而向东和东南方向运动。朝东可以到 118°E，向南可影响到东沙群岛附近。香港东面是一片盐度低于 21.0 的低盐区。

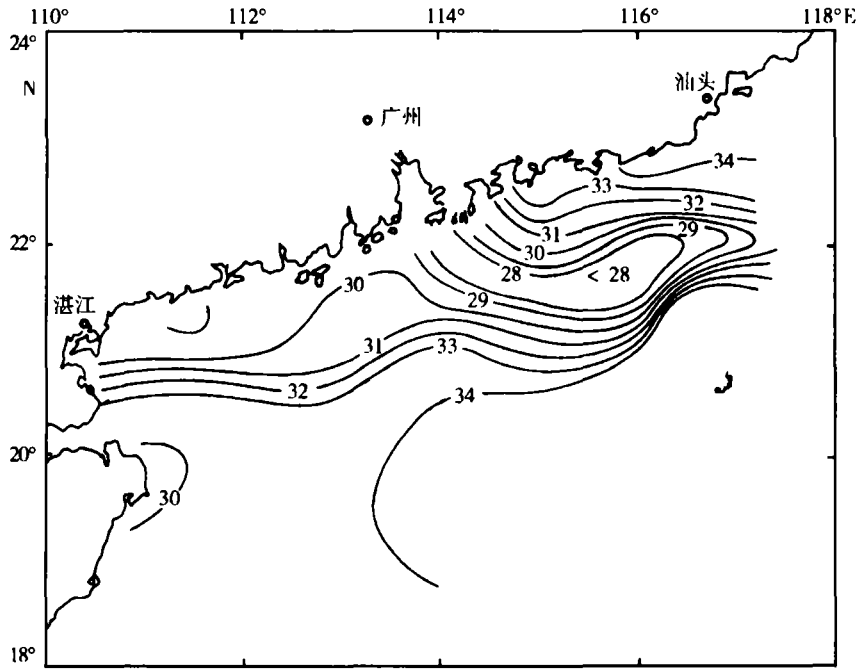


图 1 1979 年 7 月表层盐度分布

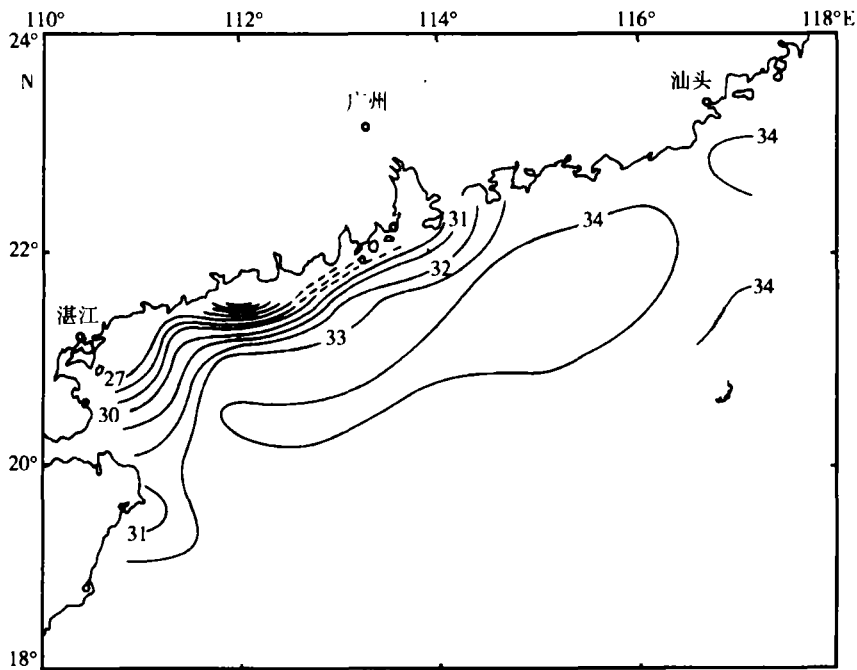


图 2 1981 年 6 月表层盐度分布



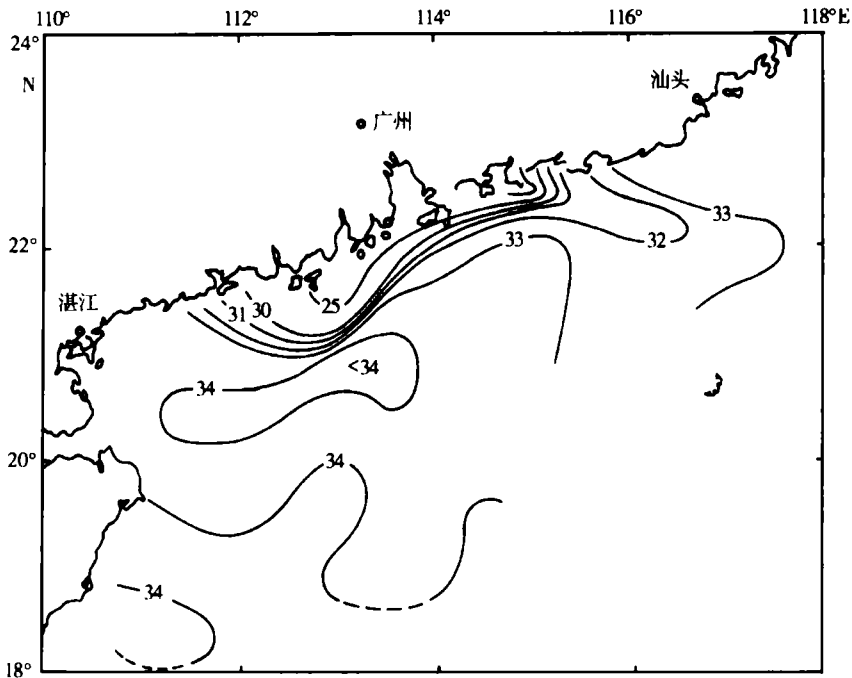


图3 1982年8月表层盐度分布

由此可见，当夏季南海北部岸边海面高度接近或偏低多年平均值时，珠江冲淡水主要向东北方向扩散；当夏季北部岸边海面高度显著高于多年平均值时，珠江冲淡水主要向西南方向运移。

那么，南海北部海面逐月距平又是怎样产生的，我们认为有以下几点原因：

(1) 陆地降水增多，入海径流加大，大量冲淡水在岸边堆积结果，使海面升高。例如，1979年7月之前4月、5月、6月3个月陆地降水量之和的距平为27.5 mm，接近常年，海面高度也是如此；1981年6月之前3月、4月、5月的陆地降水量之和的距平为196.4 mm，显著多于常年，因此海面高度为正距平；1982年8月之前5月、6月、7月陆地降水量之和的距平为-353.7 mm，显著少于常年，因此海面高度为负距平。虽然这只是岸边3个站统计结果，但也能看出降水与海面高度之间关系。我们也统计当月降水量与前2个月降雨量距平和，上述所讲的关系仍然存在。当然，降雨量与海面高度关系是复杂的，降水量入海（地面和地下径流）要有一段延迟时间，而这时间是很难计算的。

(2) 与上升流向北部岸边侵入的强弱有关。如果入侵强，海面密度跃层也强，岸边冲淡水和下层混和很难，海面高度相对高一些；否则海面高度要低一些。

(3) 风的影响。风引起离岸Ekman运输越强，岸边水位越低。从1981年的个例看出，风力属于正常年，岸边水位才起作用。

## 7 结论

### 7.1 冬季沿岸流

整个南海西部构成一个大尺度、强盛的气旋式西边界流。如果顺着沿岸流运动方向看去，总体运动特征如下：

### (1) 流速不断加强

广东沿岸流速约为 0.1 m/s, 海南岛南流速部约为 0.15 m/s, 越南沿岸—马来半岛流速约为 0.2~0.3 m/s.

### (2) 流幅不断扩大

广东和海南岛东北沿岸流幅小于 100 km, 到越南金兰湾附近, 流幅增加到 100 km 以上, 在中南半岛以南海域, 流幅可达 400 km.

### (3) 流量不断增加

广东沿岸流量约为  $0.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ , 海南岛南部约为  $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ , 越南沿岸约为  $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ , 到了马来半岛以东, 增加到  $4.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### (4) 流路弯曲呈 3 个“S”型

第一个 S 型出现在湛江湾口, 第二个 S 型出现在北部湾口, 第三个 S 型出现在泰国湾口, 从北向南逐渐增大. 在湾臂中间 (流轴东面), 产生气旋式涡旋.

### (5) 南部临岛区逆风流动

在吕宋岛、巴拉望岛、加里曼丹岛的西侧, 有比较明显的北向流.

## 7.2 夏季沿岸流

夏季, 在西南季风的作用下, 整个南海为一个海盆尺度的反气旋环流所控制. 其流动特点基本与冬季相反:

### (1) 南海西南部流幅窄, 广东沿岸流幅变宽

马来半岛东部由冬季的 370 km 减少到 90 km; 广东沿岸流幅迅速变宽: 主流轴由冬季的 100 km 普遍增加到 200 km 左右.

### (2) 流路弯曲呈 3 个“S”型

夏季流路弯曲也呈 3 个“S”型, 但是湛江湾那个弯曲基本消失, 代之以东沙群岛弯曲. 在湾臂中多出现反气旋结构.

### (3) 全程流通量变化不大

马来半岛以东通量为  $1.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ , 越南金兰湾东部通量为  $1.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ , 海南东部通量为  $1.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ , 广东珠江口外断面通量为  $2.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### (4) 巴拉望岛、加里曼丹岛沿岸流与冬季反向

冬季, 表层以下, 沿岸流流向东北; 夏季, 沿岸流则转向西南. 季节变化很明显.

## 7.3 珠江冲淡水运移路径

当夏季南海北部岸边海面高度接近或低于多年平均值时, 珠江冲淡水主要向东北方向扩散; 当夏季北部岸边海面高度显著高于多年平均值时, 珠江冲淡水则向西南方向运移.

## 参考文献

- [1] Dale W L. Wind and drift currents in the South China Sea. The Malayan Journal of Tropical Geography, 1956, (8): 1~31.
- [2] Hydrographic Department, Admiralty. The Surface Currents of the South China Sea, Sava, Celebas and Sulu Sea. H. D. 409, 1945, plate 1~12.
- [3] 马应良, 王名文, 陈庆贤, 等. 南海北部陆架临近水域十年水文断面调查报告. 北京: 海洋出版社, 1990, 215~241.
- [4] 徐锡桢, 邱章, 陈惠昌. 南海水平环流概述. 中国海洋湖沼学会水文气象学会学术会议 (1980) 论文集. 北京: 科学出版社, 1982, 127~145.

- [5] 黄志兴, 刘嘉玲. 南海大气低层风场的气候特征分析. 热带海洋, 1995, 14(4): 24~30.
- [6] 赵保仁, 方国洪. 东海主要水道流量的估算. 海洋学报, 1991, 13(2): 169~178.
- [7] Pohlmann T. Three-Dimensional Models of Marine and Estuarine Dynamics. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam-Printed in the Netherlands, 1987, 245~268.
- [8] 缪启龙, 周家翔, 董亚非. 南海海面风应力特征分析. 热带海洋, 1993, 12(1): 64~68.
- [9] 柴 扉, 薛惠洁, 侍茂崇. 南海升降流区域分布及形成机制分析. 中国海洋学文集, 第13集. 北京: 海洋出版社, 2001, 117~128.

# Characteristics and seasonal variation of the coastal currents in the South China Sea

Xue Huijie<sup>1,2</sup>, Chai Fei<sup>1,2</sup>, Xu Danya<sup>3</sup>, Shi Maochong<sup>2,4</sup>

1. *School of Marine Science, University of Maine, Orono, ME 04469 – 5741, U. S. A.*
2. *Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003.*
3. *South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301.*
4. *Key Lab of Ocean Dynamic Processes and Satellite Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012.*

**Abstract:** In winter, the strong northeast monsoon causes the water to accumulate on the western side of the South China Sea (SCS). The combination of the wind with the seaward gradient force drives a strong, cyclonic western boundary current system off the coasts of China and Vietnam. The Guangdong Coastal Current flows from northeast toward southwest and then splits northeast of Hainan. Part of it turns southward and becomes the Hainan and Vietnam coastal current. When the coastal current reaches Borneo, it turns northeastward. The strong boundary current system induces many mesoscale eddies on its left hand side. In summer, the southwest monsoon drives the water northeastward. The combination of the wind with shoreward gradient force results in a strong and anticyclonic western boundary current system, hence the coastal currents reverse their directions. Upwelling along Vietnam and China coasts is produced by the lateral Ekman transport.

**Key words:** monsoon; gradient force; coastal current; eddy; seasonal variation; South China Sea