

南海上升流研究概述*

吴日升, 李 立

(国家海洋局第三海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘要:本文对近 40a 来南海上升流研究结果进行了概述, 重点介绍了南海北部陆架区上升流的时空分布特征, 及其消长和形成机制等研究成果. 这些研究成果揭示上升流是整个南海北部陆架区夏季的普遍现象, 具有南海海盆的空间尺度. 引起南海北部陆架区夏季上升流存在的动力因素是盛行的西南季风. 该上升流在空间和时间上的分布是不均一的, 海南岛东北和闽、粤边界海域是上升流中心区; 台湾浅滩周围的上升流呈多元结构, 各上升流区海水的理化性质存在着明显差异; 在粤东, 上升流的影响可达沿海港湾内部, 并支配着这些港湾的夏季水文条件. 南海除了在其北部陆架区存在着夏季上升流外, 夏季在越南东部沿岸和冬季在吕宋岛沿岸均存在着上升流.

关键词:海洋水文学; 沿岸上升流; 综述; 分布; 南海

中图分类号: P731

文献标识码: A

文章编号: 1000-8160(2003)02-0269-09

上升流是一类重要的海洋现象, 它通常指水体的一种上升运动. 这种上升运动将次表层水体(在某一最小时段和范围内)带至表层并被水平流带出上升区域. 一般说来, 上升流系表层辐散所至, 上升水体通常来自数百米深处, 沿岸上升流是上升流中最为常见的一类^[1]. 地球上主要的沿岸上升流多存在于大洋的东边界, 那里盛行风常年驱动上层水离岸运动, 造成秘鲁、北美和非洲西海岸等著名的大尺度近岸上升流区^[2]. 与上述海区不同, 南海的盛行风向受东亚季风控制, 冬、夏季有着很大差异, 每年 10 月到次年 3 月盛行东北季风, 6~8 月盛行西南季风. 因此, 南海沿岸上升流的发生大都有着明显的季节性, 属季节性上升流.

迄今为止, 有关南海沿岸上升流的研究主要集中在夏季. 早在 20 世纪 60 年代初国外便有南海近岸夏季上升流的零星报道, 涉及的海域主要有越南外海和广东外海^[2,3]. 1964 年管秉贤和陈上及在全国海洋普查报告中首先系统地讨论了南海北部的夏季上升流^[4], 其后有关南海上升流的研究主要集中在南海北部沿岸(图 1)^[5~10]. 最近, 萧平东等(1996)发现冬季在吕宋岛的西北外海也存在着季节性的上升流^[11].

从现有的研究结果看, 南海北部陆架、越南的东部沿岸和吕宋岛的西北外海是南海的主要上升流区. 然而, 除南海北部陆架区的夏季上升流外, 对南海上升流的研究还不多见. 即便是南海北部, 除闽南-台湾浅滩上升流区外, 也从未组织过系统的专题调查研究. 因此, 本文主要讨论南海北部陆架区上升流的研究进展, 而对夏季越南东部沿岸的上升流和冬季吕宋岛西北外海上上升流仅作简要介绍.

* 收稿日期: 2002-09-03

基金项目: 国家重点基础研究发展规划基金资助项目(G1999043807、G1999043805)

作者简介: 吴日升(1965~), 男, 研究员.

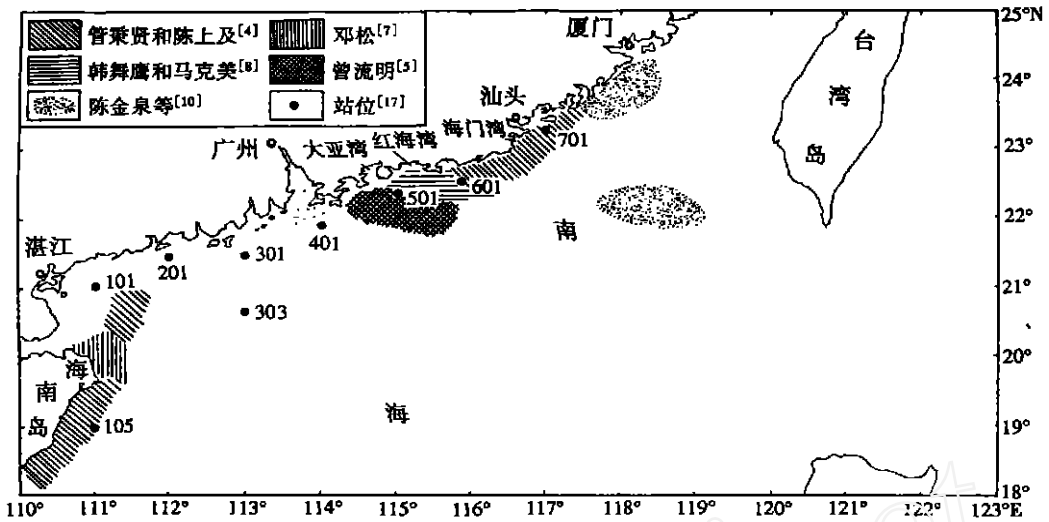


图 1 南海北部陆架区已报道上升流的分布

Fig. 1 Distribution areas of upwelling over northern shelf of the SCS

文中南海北部陆架区指中国大陆南部,从海南岛东岸到台湾岛西岸(包括台湾海峡南部)200m等深线以浅的宽阔海域.这一海域南临南海深水海盆,在北经台湾海峡与东海连接,纬向跨度约13个经距,经向跨度约2个纬距.根据地势又可将其分为广东及海南岛东部外海和台湾海峡南部两部分加以讨论.

1 南海北部陆架海域上升流

1.1 广东及海南岛东部外海上上升流

广东外海陆架地形比较规则,等深线走向大致与岸线平行,陆架宽度在海南岛外约100km,向东逐渐展宽,在粤西一带陆架宽度约280km,在汕头外海又缩小至150km左右.

早在20世纪60年代初,Wyrtki(1961)便推测夏季在香港附近海域可能出现局部暂时性上升流^[2].Niino和Emery(1961)也指出在海南岛东边海域,可能还有汕头以南局部海域有上升流发生^[3].与此同时,我国科学家在1959~1960年间对广东外海进行了首次海洋综合考察.根据这次全国海洋普查的结果,管秉贤和陈上及(1964)首次系统地分析了广东外海的夏季上升流现象,指出在南海北部近岸存在着3个上升流区,其位置分别在海南岛东岸、汕头沿岸一带及广州湾以南雷州半岛以东海域^[4].其后的一些海洋调查进一步证实了他们的结果.曾流明(1986)根据中国科学院南海海洋研究所和国家海洋局在南海北部的海洋调查资料,分析了1979年夏季粤东沿岸上升流的结构特征.其结果表明,夏季粤东离岸断面温、盐、密度和溶解氧含量等要素的等值线分布从外海向岸抬升(图2^[5]);上升流区位于大鹏湾至神泉湾沿岸,约20~60m等深线之间,中心位置位于115°E断面附近;在大亚湾至红海湾之间上升流可直达表层^[5].于文泉(1987)利用多年海面 and 断面水温观测资料求得南海北部夏季的多年月平均水温场,进一步证实了就多年平均而言,汕头、琼南沿岸近海和湛江港外附近海域存在着上升流^[6].邓松(1987)根据20世纪80年代初国家海洋局南海北部断面水文观测资料,报道了海南岛东北七洲列岛南部海域的上升流^[7].

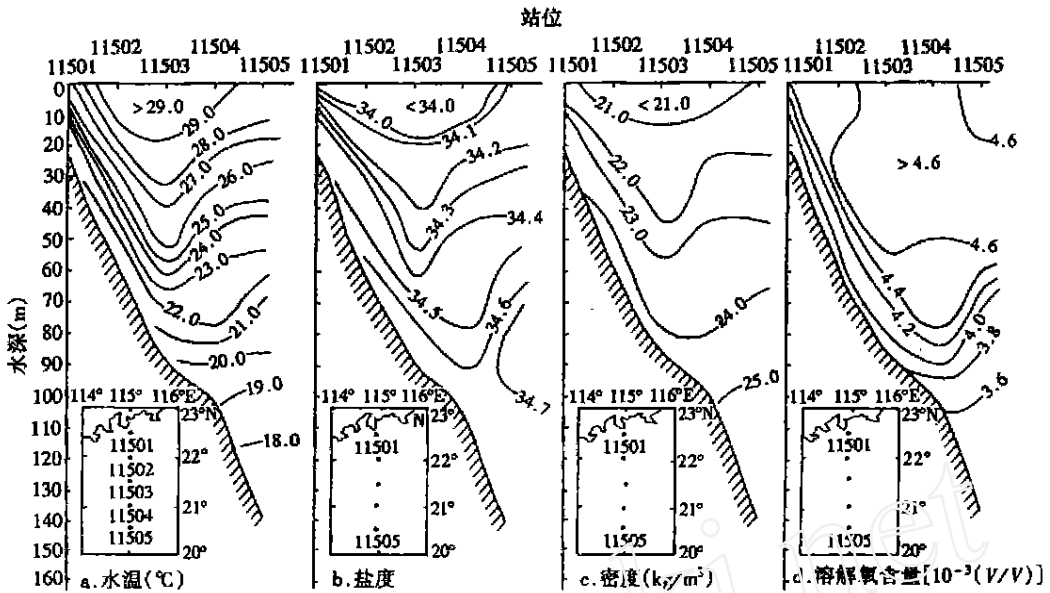


图 2 1979 年夏季粤东上升流区 105°E 断面温度、盐度、密度和溶解氧含量的断面分布

Fig. 2 Vertical distribution of t, S, ρ, DO at 105°E section in upwelling area of the eastern of Guangdong in summer, 1979

鉴于上述研究所依据的资料多在 20m 等深线之外,韩舞鹰和马克美(1988)根据 1982 ~ 1983 年广东省海岸带调查的资料,深入分析了夏季粤东沿岸上升流区 20m 以浅海域的水文和理化特征,指出粤东上升流的中心位置紧靠岸边,一般位于 20m 以浅水域,但其时空变异较大,中心位置会发生变动,并会形成若干个中心区^[8]。他们给出的水体理化特征(表 1^[8])表明,与多数上升流区类似,粤东上升流区水体具有低温、高盐、低氧、高磷等基本特征;此外,他们还报道了上升流区近岸一侧的贫氧现象,以及其外侧的逆温现象^[8]。

韩舞鹰等(1990)还利用 1984 ~ 1985 年琼东海岸带四季的调查资料,并参考 1984 ~ 1985 年国家海洋局南海分局的调查资料,研究琼东沿岸上升流。其指出琼东沿岸上升流中心位置紧靠岸边,一般在 30m 以浅出现强烈的上升流。该上升流使琼东沿岸成为夏季全国表层海水温度最低的海区,水温呈半年周期变化,7 月份的低于 1 月份,形成独特的季节变化^[9]。

1.2 台湾海峡南部上升流

台湾海峡是沟通南海与东海的浅水通道。台湾南部的地形与其西侧的开阔陆架相当不同。台湾浅滩一带水很浅,不仅把闽南内陆架区与陆架坡折分开,而且把海峡南部分成东西两个水道,即台湾浅滩东侧为较深的水下峡谷和靠大陆一边的西侧水道。由于这一特殊的地形分布,以及该区域存在着多种水系^[12],使这一海域的上升流显得比较活跃、复杂。

陈金泉等(1982)用历史水文参数均值资料研究了闽南-台湾浅滩渔场的上升流现象,指出夏季在厦门-汕头海岸与浅滩之间,秋、冬季在浅滩西南外斜一带各存在着一支上升流^[10]。1984 和 1985 年国家海洋局第三海洋研究所在台湾海峡西部海域综合调查中发现了夏季台湾浅滩西北侧的上升流现象。该上升流发生的位置与陈金泉等报道的夏季近岸的一支上升流的

相符^[13]. 李立、李达 (1989) 进一步指出台湾海峡南部上升流存在着多元结构^[14]. 洪华生等 (1991) 对该上升流生态系的多学科、多途径的研究结果^[15] 也支持了这一观点.

表 1 粤东上升流区水体的理化特征

Tab. 1 Physical and chemical characters of water in upwelling area in eastern of Guangdong

季节	层 次	温度 (°C)	盐度	氧溶解度 [$10^{-3}(V/V)$]	氧饱和度 (%)	pH	活性磷酸盐含量 (mmol/m ³)
冬	表层	14.91	31.18	6.03	103.3	8.18	0.92
	底层	14.64	31.32	5.95	101.5	8.19	1.29
	各层平均值	14.69	31.20	6.00	102.4	8.19	1.05
春	表层	22.03	26.57	5.59	106.8	8.11	0.24
	底层	20.70	33.19	4.72	91.6	8.14	0.71
	各层平均值	21.14	31.40	5.07	98.1	8.13	0.45
夏	上升流区表层	23.28	33.47	4.38	89.3	8.13	0.64
	上升流外表层	27.04	30.18	4.76	101.1	8.09	0.39
	底层	21.66	34.46	3.33	66.3	8.13	1.59
	各层平均值	22.13	34.19	3.72	74.6	8.14	1.10
秋	表层	25.86	33.18	4.78	101.5	8.16	0.53
	底层	25.83	33.39	4.65	98.8	8.17	0.81
	各层平均值	25.82	33.33	4.70	99.9	8.16	0.62

1.3 南海北部区陆架上升流系统的整体性

上述的研究多属局域性工作,作者因而常将所研究的上升流冠之予局地名称,如闽南-台湾浅滩上升流、粤东上升流等等.南海北部陆架区各个局部海域的上升流是相互独立还是一个整体在不同海域的表现,它们之间的关系如何呢?李立(1990、1993)^[16,17]及洪启明(1991)^[18]根据二十多年来我国科学家在南海研究项目中得到的历史资料,分析南海北部陆架区域的几个典型测站的水温、盐度、溶解氧饱和度的年际变化(图3^[18]),并对整个陆架区的温

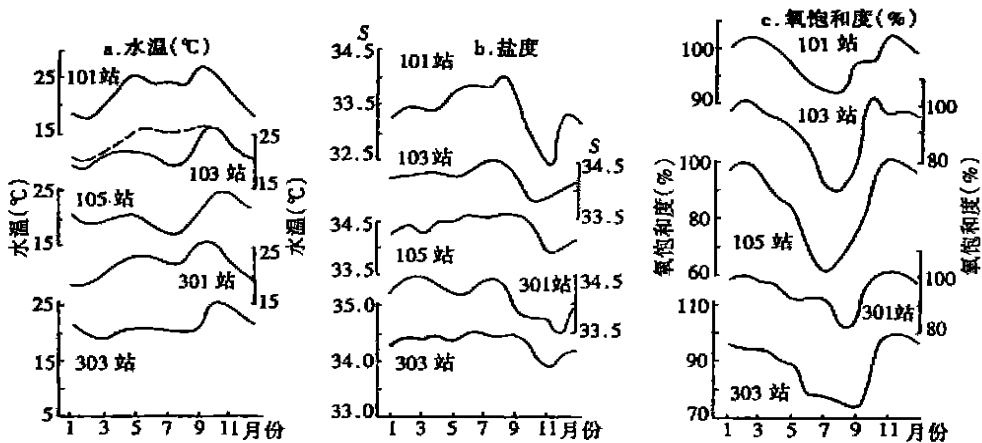


图 3 南海北部陆架区底层水温度、盐度、溶解氧饱和度多年平均值的年变化

Fig. 3 Mean multi-annual variations of t , DO (%) and S at bottom layer over northern shelf in the SCS

度、溶解氧饱和度及其标准偏差 (SD) 的分布进行了比较(图 4^[16]),得到夏季整个南海北部陆架区下层海水受上升流的影响非常显著的结果^[16~18]. 即其在夏季呈现出低温、高盐、低溶解

氧含量的特征,而且上升流的时空分布不均一(图 5^[18]),广州湾海域和汕头外海为上升流中心区.他们认为夏季南海北部陆架区上升流的范围可用底层 22 等温线的位置识别,并且给出了 1977~1987 年间 5~9 月冷水的演变过程(图 6^[17]).他们同时参考国外 20 世纪 80 年代上升流研究中引入的中尺度变异观点指出:夏季上升流是南海北部陆架区的共同现象,属同一个上升流系;南海北部陆架区夏季上升流在时间和空间上都不是均一的,不同作者所报道的实际上是夏季上升流系的若干个中心;南海北部陆架区的上升流系的空间尺度在沿岸方向上应为海盆尺度,在离岸方向约为 100~200km,各上升流中心尺度大致相近^[16~18].

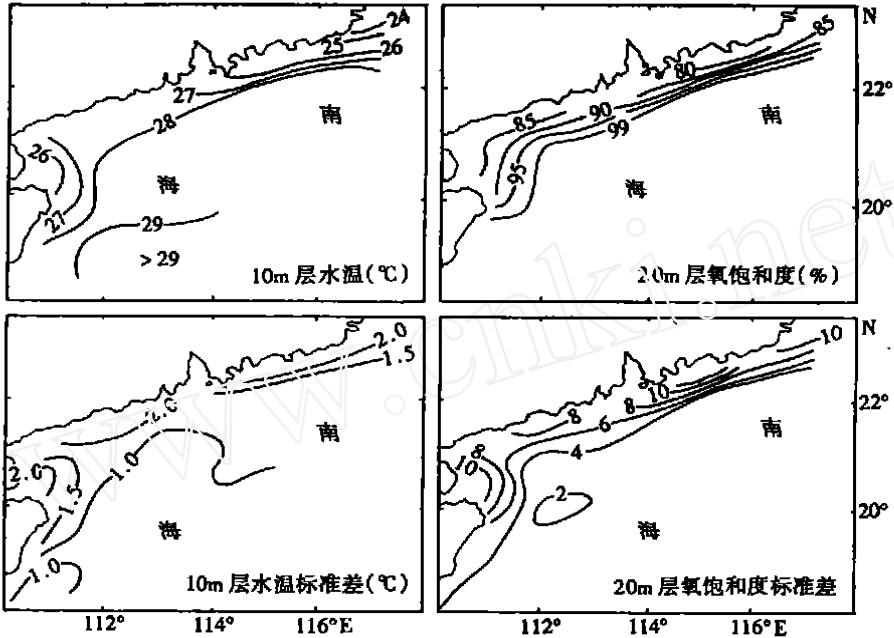


图 4 夏季南海北部陆架区水温和溶解氧饱和度均值及其标准差的分布

Fig. 4 Distribution of mean and standard deviation of temperature and DO in summer

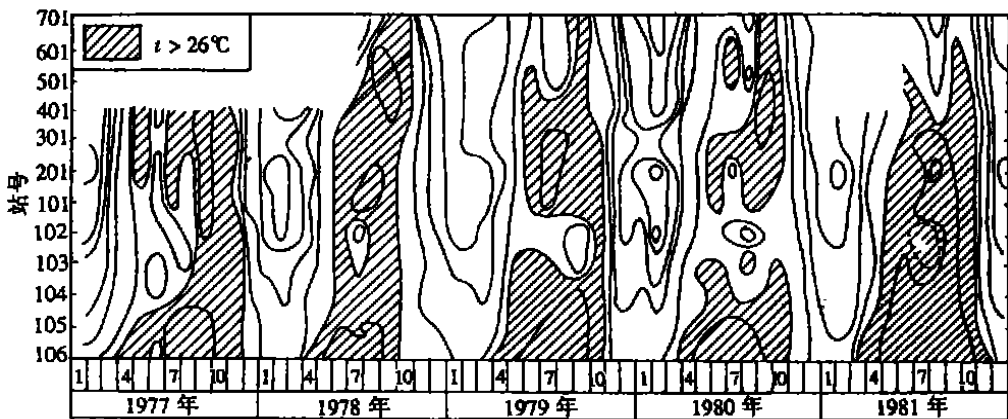


图 5 广东沿岸 10m 层水温的时空变化

Fig. 5 Temporal and spatial distribution of temperature at 10m layer along coast of Guangdong

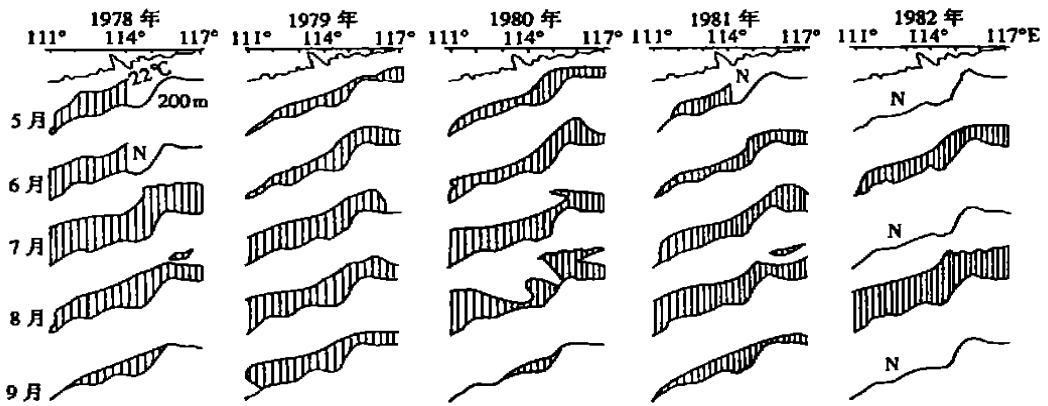


图 6 广东陆架区底层水 22 等温线的进退

Fig. 6 Evolution of 22 isotherm at bottom layer

N 表示底层不存在着水温低于 22 的水体

2 南海北部陆架区上升流的消长及其机制

南海北部陆架区上升流是一种季节性上升流,并且存在着明显的年度差异.该上升流的形成与消亡,以及年度间的变化主要取决于南海北部陆架区的风场变化.管秉贤、陈上及(1964)在分析比较 1959 年与 1960 年夏季琼东和广州湾附近上升流后指出,南海北部沿岸上升流的动力是西南风,而上升流的逐年变化主要决定于风场的变异^[4].于文泉(1987)和韩舞鹰等(1988)认为粤东上升流一般出现在 4 月底,10 月份消失;其通过对粤东沿岸夏季的风场和上升流区表层水的流动特征分析后指出,形成上升流的主要动力是西南风,而地形、河流、海流、潮汐等因素只是使上升流变得复杂而已^[6,8].陈金泉等(1982)也提出台湾浅滩西南大陆一侧沿岸上升流是由西南风引起的^[10].张国荣等(1991)利用陆架区上升流的二、三维数值实验表明台湾海峡南部上升流受风场的影响显著,风持续作用 4~5d 就可产生接近于稳定的上升流,海底坡度的增大将增强上升流的流速^[19].李立(1993)在分析南海北部陆架区的海水理化特性时得到,1977~1981 年间底层水温的平均年过程曲线呈双峰型(图 3);各站底层水温均以 2~3 月的为最低,其后呈上升趋势;6 月后水温下降至 9 月方始回升,并且在 9~11 月间先后达到年最高值,因而形成 5 月及秋末两个极大值^[17].底层水溶解氧含量多年平均值的年际变化过程(图 3)也清楚地显示了夏季贫氧海水对研究海区的影响^[17].该影响一般在深水测站比较明显,海南岛东侧一带尤其显著.通过平均过程滤除短期波动后可见,南海北部陆架区底层水盐度均呈春、夏季高于秋、冬季,随着夏季的到来盐度呈递增趋势并在 8 月达到年最高值.季节性上升流的重要效应之一是上升流区海水的理化性质呈显著的季节变化.水温年变化的双峰型即是其典型效应的一种.例如在印度洋北部因南亚季风导致夏季强烈的上升流,水温的年变化呈双峰型^[20].南海北部陆架区底层水温的季节变化双峰特征也应是夏季上升流所致.同时,李立(1993)通过分析 1977~1981 年间 5~9 月 200m 等深线以浅底层水温 < 22 海域范围的演变(图 6^[17]),指出 5 月份 22 等温线通常位于外陆架,在盛夏推进到岸边,然后在 9 月再退回外陆架.这一变化过程与南海北部陆架区西南季风的演变是一致的,西南季风在 4 月下旬开始,而后在 9 月衰退.

对于南海北部陆架海域上升流的形成机制普遍认为是由西南季风引起的. 由于埃克曼效应, 风引起表层海水的离岸运动, 促使深层水的涌升补充, 形成沿岸上升流, 而地形、河流、海流、潮汐等因素将使上升流的一些特征变得复杂. 南海北部陆架海区上升流一般在 4 月底出现, 在 9 月份减弱, 10 月初消失, 整个时间尺度大约 5 个月.

总之, 夏季在整个南海北部陆架区, 不论是近岸海域还是外陆架较深层水域均可观察到上升流. 上升流是整个南海北部陆架区夏季的普遍现象, 具有南海海盆的空间尺度. 引起南海北部陆架区夏季上升流的动力因素是盛行的西南季风. 然而该上升流在空间和时间分布上都不是均一的, 在海南岛东北和闽、粤边界近海是上升流中心区; 在台湾海峡南部, 上升流在台湾浅滩周围呈多元结构, 各上升流区海水的理化性质有着明显差异; 在粤东, 上升流的影响可达沿岸港湾内部, 并支配这些港湾的夏季水文条件.

然而, 关于南海北部沿岸的几个上升流强烈中心的形成机制目前还不清楚, 可能是由局部地形和局部风场导致的^[21]. 这有待于专门研究后确定.

3 越南东部夏季沿岸上升流

南海北部陆架区并非南海惟一的上升流区. 从有限的资料推测, 越南东部沿岸夏季上升流的强度应超过南海北部, 其空间尺度与北部的相当, 其海洋学上的重要性不在前者之下. 然而迄今为止, 有关越南东部沿岸夏季上升流的报道还十分少见. Wyrki (1961) 首先报道了越南东部夏季沿岸上升流^[2]. Chao 等 (1996) 也证实了该区域存在着强的上升流^[22]. 杨海军和刘秦玉 (1999) 利用 LEVITUS 资料对该上升流进行了初步的分析, 认为上升流造成表层海水为一相对冷区, 并且表层冷水还有向东扩散的趋势^[23]. 由于各种因素的限制, 我们掌握该海域的资料非常稀少, 尤其是近岸区域, 因此就目前的条件而言尚难开展深入研究.

4 冬季吕宋岛西北外海上上升流

南海除存在着北部陆架区和越南东部海域夏季上升流外, 最近还有冬季吕宋岛沿岸上升流的报道出现^[11]. Shaw 等 (1996) 利用台湾大学 1990 年 12 月南海东北部调查资料, 在分析温度、盐度、溶解氧含量分布并结合数值实验的基础上, 指出在冬季 10 月至次年 1 月吕宋岛西北 16°~19°N 之间约 100km 外海存在着一个强上升流区, 向上运动的低氧海水到 300m 的深度仍可观测到; 形成该上升流的因素并不仅是局地的风场, 还有海盆尺度环流的强迫作用. 上升流通过表层的离岸埃克曼漂流和底层聚合朝北流涌升补充得以维持^[11].

5 结语

上述研究成果揭示了上升流是整个南海北部陆架区夏季的普遍现象, 具有南海海盆的空间尺度. 引起南海北部陆架区夏季上升流的动力因素是盛行的西南季风. 该上升流在空间和时间上的分布是不均一的, 海南岛东北和闽、粤交界海域是上升流中心区; 在台湾海峡南部, 上升流在台湾浅滩周围呈多元结构, 各上升流区海水的理化性质有着明显差异; 在粤东, 上升流的影响可达沿岸港湾内部, 并支配这些港湾的夏季水文条件. 南海除了在其北部陆架区存在着夏季上升流外, 夏季在越南东部沿岸和冬季在吕宋岛沿岸均存在着上升流. 吕宋岛冬季沿岸上升流形成的主要因子是局地风场和海盆尺度环流的强迫作用.

必须指出, 迄今为止国内有关南海上升流的研究基本上停留在定常状态的描述上. 然而,

国际上 20 世纪 80 年代以来的研究业已表明由于风场的变化和沿岸(受迫或不受迫)波动的传播,沿岸上升流通常呈现明显的中尺度低频变化,常表现为若干断续的事件(上升流过程)。20 世纪 80 年代后期在广东大亚湾的观测也证明了这一点^[21]。这些问题都有待于进一步的调查与研究。

参考文献:

- [1] Smith R L. Upwelling[A]. Barnes H. Oceanography Marine Biology Annual Review 6[M]. London: George Allen and Unwin Ltd, 1968. 47 ~ 81.
- [2] Wyrtki K. Scientific Results of Marine Investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959 ~ 1961: Physical Oceanography of the Southeast Asia Waters (NAGA Report 2) [R]. La Jolla, Calif: Scripps Inst of Oceanogr, 1961. 195.
- [3] Niino H, Emery O. Sediment of shallow portions of East China Sea and South China Sea[J]. Geological Society of American Bulletin, 1961, 72:731 ~ 761.
- [4] 管秉贤, 陈上及. 中国近海的海流系统[R]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 1964.
- [5] 曾流明. 粤东沿岸上升流迹象的初步分析[J]. 热带海洋, 1986, 5(1): 68 ~ 73.
- [6] 于文泉. 南海北部上升流的初步探讨[J]. 海洋科学, 1987, (6): 7 ~ 10.
- [7] 邓松. 七洲列岛以南上升流分析[R]. 广州: 国家海洋局南海分局, 1987.
- [8] 韩舞鹰, 马克美. 粤东沿岸上升流的研究[J]. 海洋学报, 1988, 10(1): 52 ~ 59.
- [9] 韩舞鹰, 王明彪, 马克美. 我国夏季最低表层水温海区——琼东沿岸上升流区的研究[J]. 海洋与湖沼, 1990, 21(3): 167 ~ 275.
- [10] 陈金泉, 付子琅, 李法西. 关于闽南-台湾浅滩渔场上升流的研究[J]. 台湾海峡, 1982, 1(2): 5 ~ 13.
- [11] Shaw P D, Chao S Y, Liu K K, et al. Winter upwelling off Luzon in the northern South China Sea [J]. J Geophys Res, 1996, 101(C7): 16 435 ~ 16 448.
- [12] 李达. 多维模糊聚类方法试验——台湾浅滩附近海域水系分析[J]. 台湾海峡, 1988, 8(4): 353 ~ 359.
- [13] 国家海洋局第三海洋研究所. 台湾海峡西部海域综合调查报告(水文部分) [R]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 1987.
- [14] 李立, 李达. 台湾浅滩西侧水道夏季的水文特征与上升流[J]. 台湾海峡, 1989, 8(4): 353 ~ 359.
- [15] 洪华生, 丘书院, 阮五崎, 等. 闽南-台湾浅滩上升流区生态系研究概述[A]. 洪华生, 丘书院, 阮五崎, 等. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究[C]. 北京: 科学出版社, 1991. 1 ~ 17.
- [16] 李立. 珠江口以西陆架夏季上升流的研究[J]. 台湾海峡, 1990, 9(4): 338 ~ 346.
- [17] Li L. Summer upwelling system over the northern continental shelf of the South China Sea—a physical description[A]. Su J, Chuang W S, Hsueh R Y. Proceedings of the Symposium on the Physical and Chemical Oceanography of the China Seas [C]. Beijing: China Ocean Press, 1993. 58 ~ 68.
- [18] 洪启明, 李立. 粤东陆架区夏季的上升流[J]. 台湾海峡, 1991, 10(3): 272 ~ 277.
- [19] 张国荣, 胡建宇, 陈金泉. 台湾海峡南部上升流的数值研究[A]. 洪华生, 丘书院, 阮五崎, 等. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究[C]. 北京: 科学出版社, 1991. 121 ~ 133.
- [20] Monin A S. Variability of the Oceans[M]. New York: John Wiley and Sons, 1974. 242.
- [21] 李立, 陈义斌, 曾刚. 大亚湾 1987 年夏季冷水的入侵现象[A]. 国家海洋局第三海洋研究所. 大亚湾海洋生态文集(II) [C]. 北京: 海洋出版社, 1990. 95 ~ 99.
- [22] Chao S Y, Shaw P T. Deep water ventilation in the South China Sea[J]. J Geophys Res, 1996, 43(4): 445 ~ 466.

[23] 杨海军,刘秦玉.南海上层水温分布的季节特征[J].海洋与湖沼,1998,29(5):501~507.

Summarization of study on upwelling system in the South China Sea

WU Ri-sheng, LI Li

(Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen 361005, China)

Abstract: This paper summarizes the studies on upwelling system in the South China Sea in recent 40 years, especial introduce the results of temporal and spatial distribution and evolution of upwelling over the northern shelf of the SCS. These studies show that the upwelling is a common phenomenon in the area. And the upwelling scale is comparable to the scale of the SCS basin. Dynamical factor of causing upwelling in the area is strong southwest monsoon. It appears that the upwelling is not homogeneous either in space or in time. There are some upwelling centers in the northeast of the Hainan Island and the boundary area between Fujian and Guangdong. In the southern part of Taiwan Strait, the upwelling shows multi-cell structure around the Taiwan Shoals. Each upwelling water mass has different physical and chemical characters. In the eastern Guangdong, the influence of upwelling may reach inner part of coastal bay and dominates hydrographic condition of these bays in summer. In the South China Sea, besides upwelling over the northern shelf in summer, there are a upwelling along the eastern coast of Vietnam in summer and a upwelling along the coast of Luzon in winter respectively.

Key words: marine hydrology; upwelling; review; distribution; the South China Sea