

1998 年夏、冬季南海水团分析*

李 磊 李凤岐 苏 洁 许建平[†]

(青岛海洋大学海洋环境学院 青岛 266003)

[†](国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)

提要 为了解南海水团的特征和分布,基于 1998 年夏季和冬季两个航次的实测资料,采用聚类分析、判别分析和模糊分析方法,对南海的水团进行了分析。结果表明,南海外海水可划分为 6 个水团,即南海表层水团、南海次表层水团、南海次-中层混合水团、南海中层水团、南海深层水团和南海底盆水。越南附近夏季存在一个暖涡;1998 年夏季还可鉴别出黑潮表层水团和黑潮次表层水团,但在冬季观测期间无黑潮水越过 119.5°E 经线进入南海;这些现象可能与厄尔尼诺现象有关联。夏季有苏禄海海水在 50—75m 层经由民都洛海峡侵入南海。

关键词 南海,水团,水团分析

中图分类号 P731.16

南海海域面积广阔、深度大,且与邻近海洋的水交换复杂,因而引起人们的关注。早期,如 Sverdrup 等(1946),Wyrki(1961),Nitani(1970),Dietrich 等(1980),赫崇本等(1984)都曾对南海水团作过分析并指出:南海的次表层及其下方的诸水团,主要来源于巴士海峡以东太平洋中的各相应水层。后来,徐锡祯(1982)¹⁾、黄企洲(1984)、李凤岐等(1987a、b)和范立群等(1988)分别研究过南海中部、巴士海峡区域、南海北部海区的水团。

综观以往的分析,大多是针对局部海区的,且一般只使用温、盐曲线进行粗略的水团划分。作者用聚类分析(李凤岐等,1983;苏育嵩等,1983)、判别分析(李凤岐等,1987a)和模糊分析(李凤岐等,1986,1987b,2000)多种方法对南海整个海域的水团进行了划分。

1 资料与研究方法

1.1 资料

研究资料来自 1998 年夏季(6 月 12 日—7 月 6 日)和冬季(11 月 25 日—12 月 29 日)在南海的 2 个航次的 CTD 观测,其断面和测站位置见图 1。

1.2 研究方法

先用系统聚类方法(李凤岐等,1983)进行聚类,再用判别分析和模糊分析方法分析水团。在模糊分析方法中发展了如下两种计算隶属度的方法。

1.2.1 平行线切割法 根据浓度混合理论(Mamayev, 1975),分别以点(I、II、III)所代表

* 国家攀登计划 A 资助项目;国家重点基础研究发展规划项目, G1999043805 号;高等学校博士学科点专项科研基金资助课题, 2000042301 号。李 磊,男,出生于 1975 年 6 月,博士生, E-mail: lilei@mail.ouqd.edu.cn

1)徐锡祯, 1982. 南海中部的温、盐、密度分布及水团特征. 南海海区综合调查研究报告(一). 见:中国科学院南海海洋研究所编. 119—127

收稿日期:2000-10-23, 收修改稿日期:2001-07-20

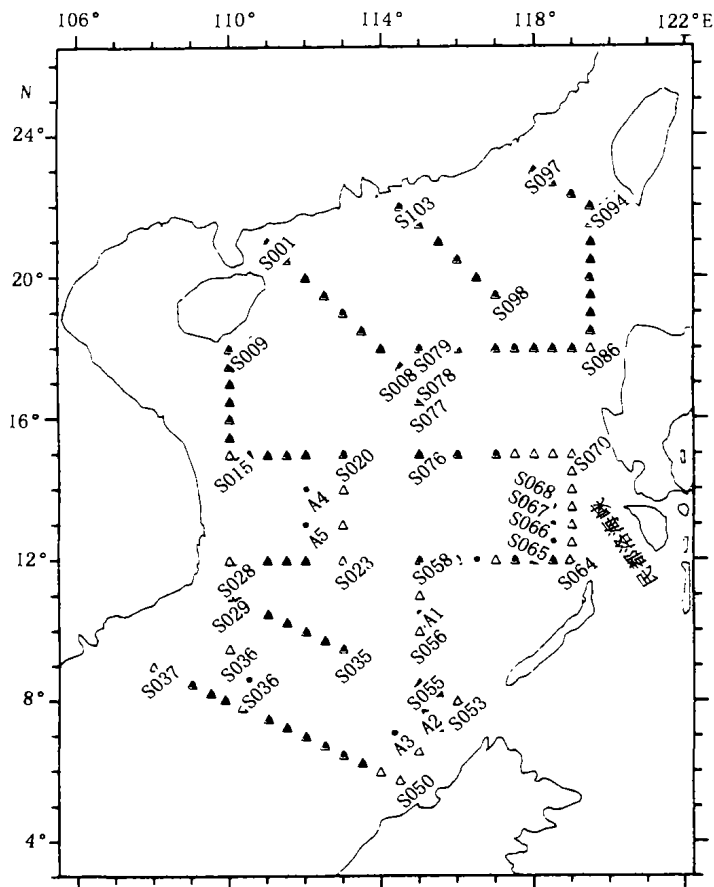


图 1 断面和观测站位图(△ 夏季; ● 冬季)

Fig. 1 Locations of sectional and observational stations (summer: △; winter: ●)

点集若为直线型带状点集,先以此直线为新的横坐标进行坐标变换(李凤岐等,1987b),如图 2b。然后用平均法计算出直线型点集的核心值 b_s ,取隶属函数为:

$$\mu = \exp[-(y_s - b_s)^2 / G_s] \quad (2)$$

式中

$$G_s = \begin{cases} [y_s(I) - b_s]^2 / \ln 2, & y_s \leq b_s \\ [y_s(II) - b_s]^2 / \ln 2, & y_s > b_s \end{cases}$$

2 计算结果分析

2.1 夏季水团分析

2.1.1 水团的温、盐特征

夏季在观测海区共分出 10 个水团;沿岸冲淡水团(F)、近岸

的温盐值为特征的 3 个水团垂向叠置混合,其混合过程曲线如图 2a 所示。图 2a 中 C 是线段 I-III 的中点,也称混合终点,水团 II 在此消亡,曲线 S1、S2 是混合过程中不同时刻的 θ -S 曲线。可以证明,如果过线段 II-C 与 S1、S2 的交点作 S1、S2 的切线,则切线都平行于线段 I-III。因此,可以用这些平行线代表水团 II 的等隶属度线。

先在点聚图上找出 I、II、III 三点,然后以直线 I-III 为新的横坐标轴 y_s 轴进行坐标变换, (y_s, y_θ) 为新的坐标系(李凤岐等,1987b),取隶属函数为:

$$\mu = \exp[-(y_\theta - b_\theta)^2 / G_\theta] \quad (1)$$

式中, $b_\theta = y_\theta(II)$, $G_\theta = [y_\theta(I) - b_\theta]^2 / \ln 2 = [y_\theta(III) - b_\theta]^2 / \ln 2$ 。

1.2.2 直线型点集的隶属函数计算方法

水团的对应

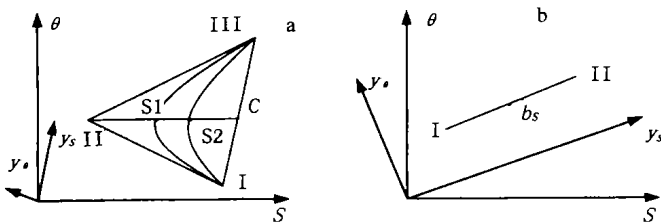


图 2 θ -S 点集及坐标变换(a)曲线型点集;(b)直线型点集

Fig. 2 θ -S points set and transformation of coordinate system: (a) Curvilinear θ -S points set; and (b) linear θ -S points set

混合水团(M)、南海表层水团(S)、南海次表层水团(U)、南海次-中层混合水团(UI)、南海中层水团(I)、南海深层水团(D)、南海底盆水(B)、黑潮表层水团(KS)和黑潮次表层水团(KU)。各水团的温、盐特征如表 1。

图 3 是经 Bayes 判别分析得到的点聚图(对于沿岸冲淡水团,已把低于 31 的盐度值都赋值 31)。图 3 中实线所包络或分割的点分别属于不同的水团。由图 3a 可见,夏季调查海域内存在着黑潮水,因为在其高温、高盐部分,显然有相应的点集。

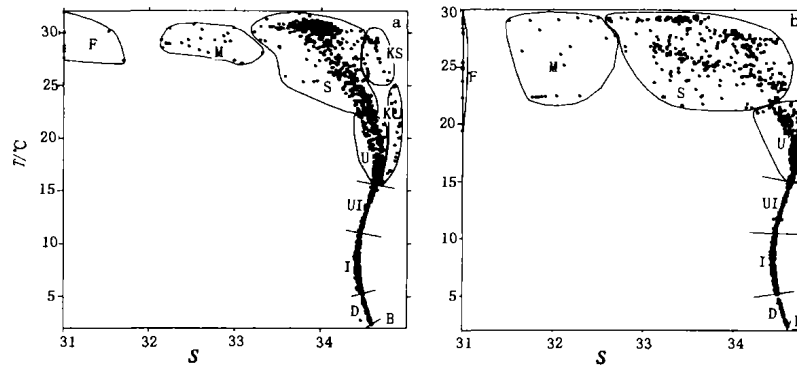


图 3 夏季(a)和冬季(b)的 θ -S 点聚图

Fig. 3 θ -S diagram in summer(a) and winter(b)

实线为水团本体的外包络线

表 1 夏季各水团的 θ -S 范围

Tab. 1 θ -S ranges of the water masses in summer

水团	温度范围(°C)	盐度范围	水团	温度范围(°C)	盐度范围
F	27.37—32.02	< 31.70	I	5.48—11.08	34.39—34.49
M	27.04—30.83	32.14—33.31	D	2.35—5.46	34.45—34.60
S	22.25—31.88	33.22—34.63	B	2.35—2.39	34.60—34.60
U	15.65—22.22	34.44—34.73	KS	25.44—29.69	34.48—34.79
UI	11.00—15.57	34.44—34.66	KU	15.86—24.85	34.70—34.92

2.1.2 水团的分布 图 4 和图 5 是依模糊分析结果绘制的水团分布图。图中阴影部分是各相应水团的核心,黑点区是水团之间的混合区,点划线是等深线,虚线是因资料不足而推测的水团边界。

由图 4、5 可见,水团 F、水团 M 仅分布于广东近岸的狭小海域,分布深度也很浅。水团 S 在南海分布很广,北部海区一般深约 50m,中部则深约 100 m。水团 U 的深度一般为 75—150m,111.5°E,12°N 附近则可深达 200m(图 4d)。相比于典型的黑潮次表层水,其最高盐度值大为降低,达 34.73。在海南岛附近观测到盐度高于 34.70 的海水(10—12 站的 100m、S010 和 S013 站的 150m),这不可能是本地生成的,很可能是来源于入侵巴士海峡的黑潮水(袁叔尧等,1999),其具体的形成机制有待于进一步探讨。水团 UI 多位于 200—350m。水团 I 的深度约为 400—800m,相比于典型的黑潮中层水,其最低盐度值明显升

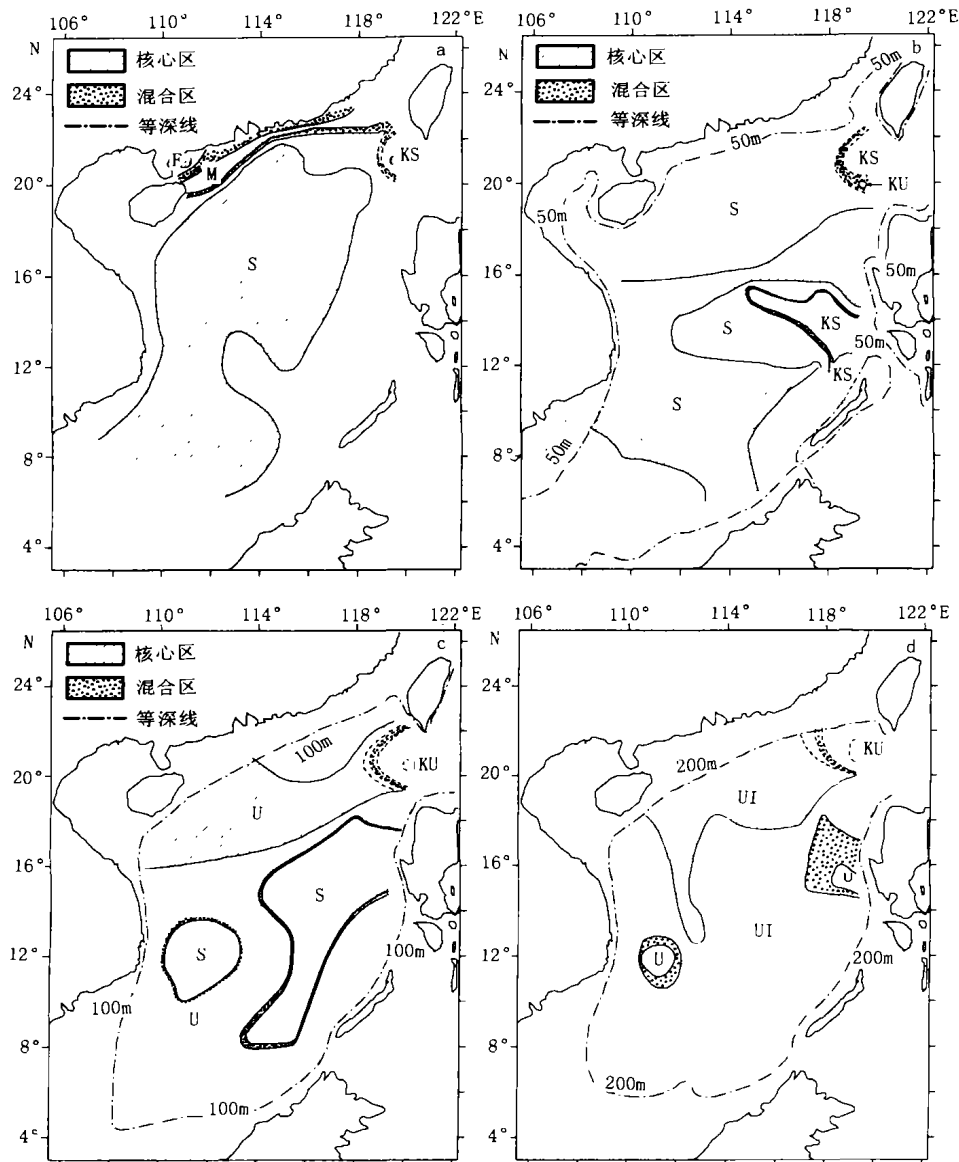


图 4 夏季水团的平面分布(图 4d 图例同图 4c)

Fig. 4 Horizontal distribution of water masses in summer

a. 10m; b. 50m; c. 100m; d. 200m

高,达 34.39。水团 D 的深度在 1000—2500m。南海底盆水的分布在 2500m 以深。本航次观测到的最低温度是 2.351℃(在 S098 站 3000m 层)。

李凤岐等(1987a、b)在分析南海北部海区时曾划出了南海次-中层混合水团,并讨论了它与副热带温跃层水的关系。现就南海全海区分析,再次证实该水团存在。经 *F*-检验,也表明该水团的确达到了与其上下的水团有显著性差异的要求。它与次表层水团和

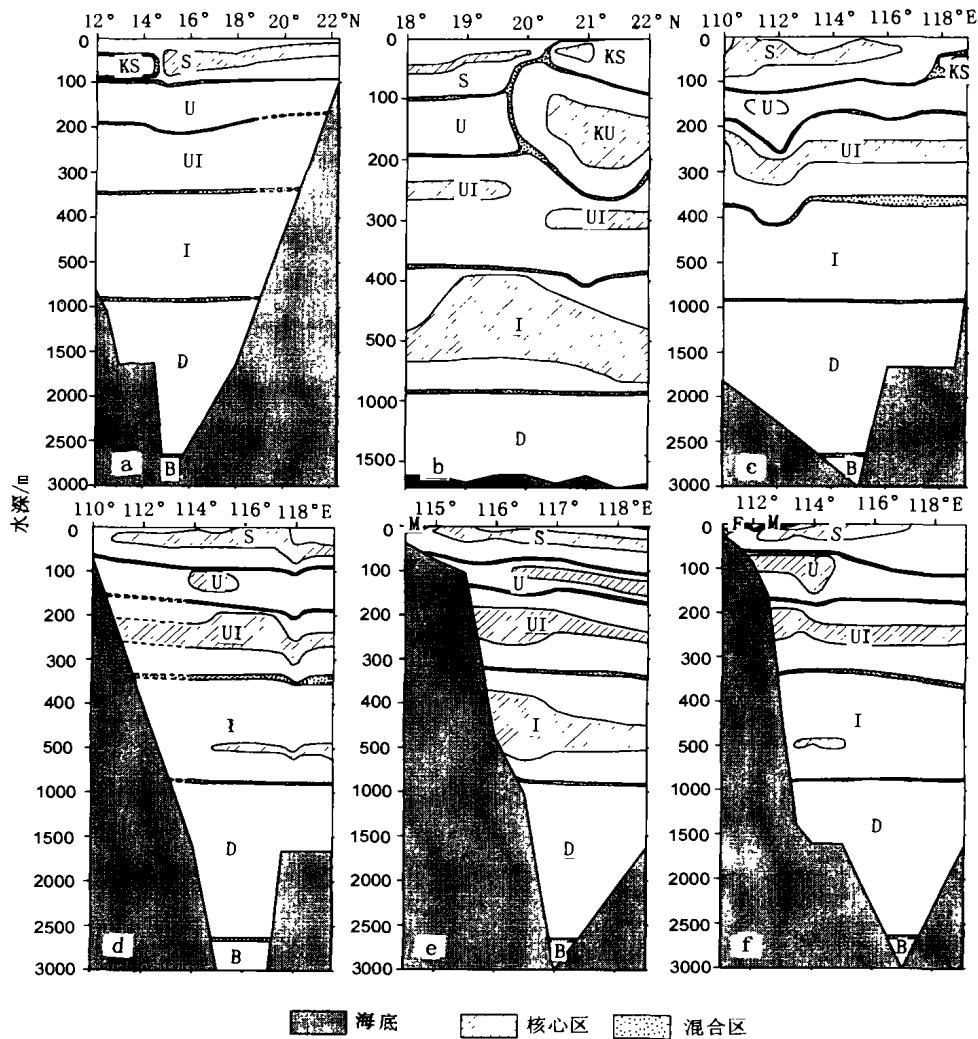


图 5 夏季水团的断面分布

Fig.5 Distribution of water masses at each section in summer

a. 119°E; b. 119.5°E; c. 12°N; d. 18°N; e. S103—S083 站; f. S001—S066 站

中层水团的 F 值分别为 29.27 和 58.98 (对应于置信度 $\alpha = 0.01$ 的临界值为 4.68 和 4.65), 差异的显著性确认无疑。

归入黑潮表层水团的测样实际上来源于两处: 巴士海峡附近和民都洛海峡附近。因为只根据温、盐两个属性划分水团, 两处的温、盐性质相近, 所以划归同一水团。至于两者之间的关系, 比如是否都是远源于北赤道流水变性所致, 尚待进一步研究。后者分布于 64—72 站的 50—75m 层附近 (图 5a), 应当是苏禄海的海水入侵所致。借助于印度尼西亚贯通流的运输, 此处的海水呈现出与北赤道流水相近的温盐特征, 也是可以理解的 (李凤岐等, 2000)。

夏季航次的观测资料显示,黑潮次表层水团仅分布于巴士海峡附近的 90—94 站,深度大致为 75—250m(图 5b)。

鉴于水团分布与环流系统的关系,根据图 4 和图 5c 可以推测,可能存在一个以 111.5°E、12°N 为中心的暖涡。许建平等(2001)¹⁾的工作证实,这里确实存在一个暖涡。

2.2 冬季水团分析

2.2.1 水团的温、盐特征 冬季在本海区共分出 8 个水团:沿岸冲淡水团、近岸混合水团、南海表层水团、南海次表层水团、南海次-中层混合水团、南海中层水团、南海深层水团和南海底盆水。各水团的温盐特征如表 2。

表 2 冬季各水团的 θ -S 范围

Tab. 2 θ -S range of the water masses in winter

水团	温度范围(°C)	盐度范围	水团	温度范围(°C)	盐度范围
F	19.40 左右	< 31.00	UI	10.49—14.86	34.45—34.64
M	22.31—22.45	31.81—32.30	I	5.27—10.37	34.41—34.50
S	20.95—29.50	32.59—34.61	D	2.35—5.16	34.48—34.61
U	14.81—21.82	34.50—34.73	B	2.34—2.39	34.61—34.61

由图 3b 可见,冬季调查海域内没有观测到黑潮水。一般情况下,冬季黑潮水入侵南海比较强烈(李立等,1989)。本次观测是在 20 世纪最强的厄尔尼诺影响期间,没有观测到黑潮水是否与厄尔尼诺有关,值得进一步研究。

2.2.2 水团的分布 图 6 和图 7 是依模糊分析结果绘制的水团分布图。

水团 F 和水团 M 分布于广东近岸海域(图 6a)。与夏季相比,水团 F 的分布范围反而有所扩大(夏季只在 S001 站观测到水团 F,而冬季在 S103 站的表层和 5m 层也能观测到水团 F),其原因尚需探讨。水团 S 分布广泛,深约 75—100m,比夏季要深(图 7e、f),可能与东北季风强盛有关。然而,111.5°E、12°N 附近,水团 S 分布的水层与夏季相比要浅得多,只有 30 m(图 7a、d),可能是这里次表层水抬升所致。南海次表层水团深度一般为 100—200m,相比于典型的黑潮次表层水,其最高盐度值大为降低,仅达 34.73。南海次-中层混合水团深度约为 200—350m,它与次表层水团和中层水团的 F 值分别为 31.72 和 40.36(对应于置信度 $\alpha = 0.01$ 的临界值为 4.68 和 4.65),表明该水团与另两个水团的差异达到了显著性的要求。南海中层水团深度约为 400—800m,相比于典型的黑潮中层水,其最低盐度值大大升高,达 34.40。南海深层水团深度在 1000—2500m。南海底盆水分布在 2500m 之下。本航次观测到的最低温度是 2.344°C(S007 站 3000m 层),低于以往观测到的最低值 2.35°C。中层及其下的水团性质比较稳定,基本无季节变化。

3 结果与讨论

3.1 在调查海区内可划分出 10 个水团,其中沿岸冲淡水团和近岸混合水团在北部近岸海域。外海水域有南海表层水团,南海次表层水团,南海次-中层混合水团,南海中层水团,南海深层水团,南海底盆水;此外,黑潮表层水团和黑潮次表层水团也对本海区有影

1) 许建平,李金洪,刘增宏等,2001.1998 年夏季风爆发前后南海海洋水文特征及其变异.(待刊)

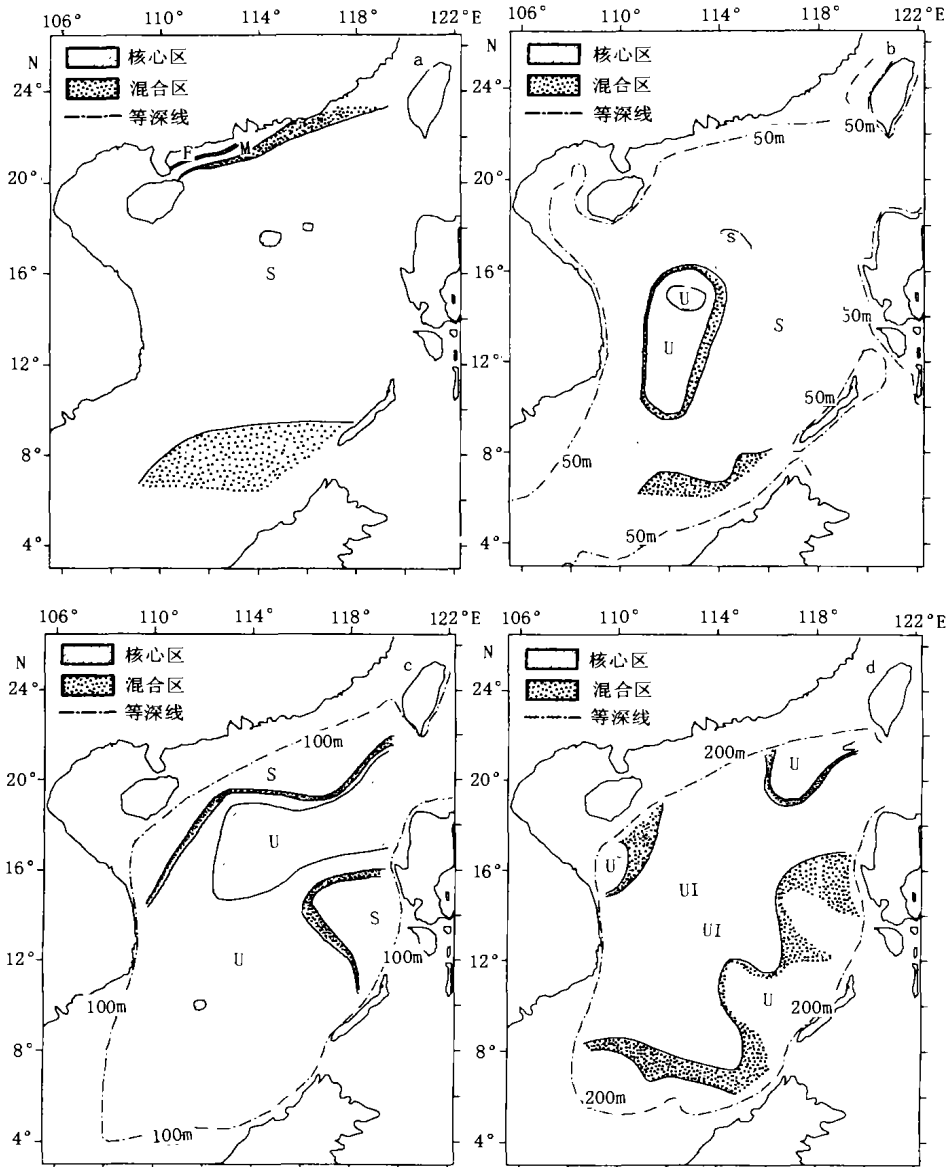


图 6 冬季水团的平面分布

Fig. 6 Horizontal distribution of water masses in winter

a. 10m; b. 50m; c. 100m; d. 200m

响。F-检验表明南海次-中层混合水团可以单独划为一个独立的水团。

3.2 水团分布与环流系统关系密切,从水团分布能推测夏季越南附近存在一个暖涡。

3.3 1998 年夏季有部分黑潮水在巴士海峡北端、台湾岛西南进入南海,而在冬季观测期间则无黑潮水越过 119.5°E 经线进入南海。再者,夏季越南附近存在一个暖涡。这些现象是否与厄尔尼诺有关,需要进一步研究。

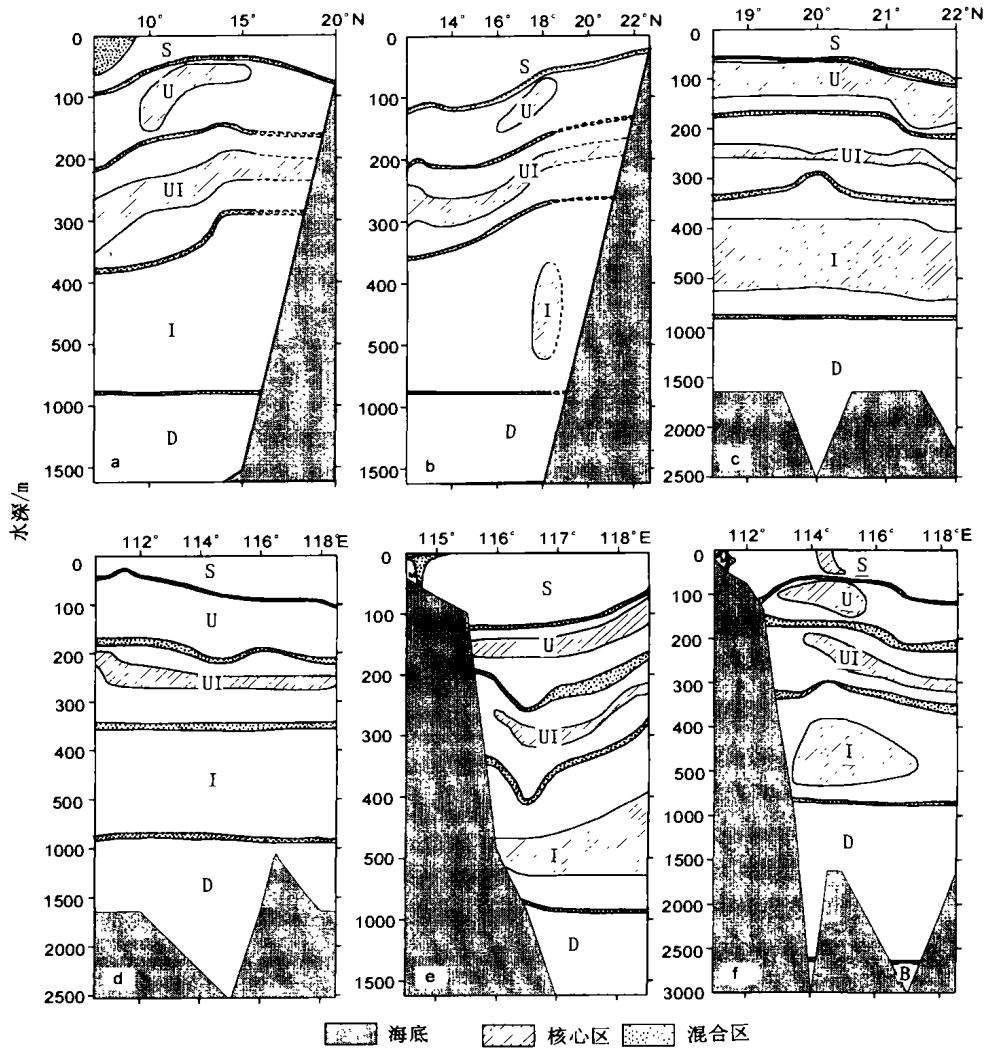


图 7 冬季水团的断面分布

Fig. 7 Sectional distribution patterns of water masses in winter

a. 112°E; b. 118.5°E; c. 119.5°E; d. 12°N; e. Sta. S103—Sta. S083; f. S001—S067

3.4 夏季有苏禄海海水在 50—75m 经民都洛海峡侵入南海。入侵的海水与黑潮表层水性质相近,两者之间可能存在关系,比如可能都远源于北赤道流。

3.5 海南岛附近夏季有盐度在 34.70 上下的高盐水出现。它不可能是本地生成的,很可能是来源于入侵巴士海峡的黑潮水,其具体的形成机制有待于进一步探讨。

参 考 文 献

李 立,伍伯瑜,1989. 黑潮的南海流套? ——南海东北部环流结构探讨. 台湾海峡,8(1):89—95
 李凤岐,苏育嵩,喻祖祥,1983. 聚类分析在浅海变性水团分析中的试验. 海洋学报,5(6):675—686
 李凤岐,苏育嵩,王凤钦等,1986. 用模糊集合观点讨论水团的有关概念. 海洋与湖沼,17(2):102—110

- 李凤岐,苏育嵩,范立群,1987a. 南海北部海区水团的判别分析. 海洋湖沼通报, 3:15—20
- 李凤岐,苏育嵩,范立群,1987b. 模糊数学方法在南海北部海区水团分析中的应用. 海洋学报, 9(6):669—680
- 李凤岐,苏育嵩,2000. 海洋水团分析. 青岛:青岛海洋大学出版社, 148—186, 210—266, 268—314, 348—397
- 苏育嵩,喻祖祥,李凤岐,1983. 聚类分析法在浅海水团分析中的初步研究. 海洋与湖沼, 14(1):1—12
- 范立群,苏育嵩,李凤岐,1988. 南海北部海区水团分析. 海洋学报, 10(2): 136—145
- 袁叔尧,邓九仔,1999. 巴士海峡水质点运动路径的分布特征. 海洋与湖沼, 30(2):219—223
- 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
- 赫崇本,管秉贤,1984. 南海中部 NE-SW 向断面海水热盐结构以及海盆冷水来源的分析. 海洋与湖沼, 15(5):411—418
- Dietrich G, 1980. General Oceanography. 2nd edition. New York, Chichester, Brisbane, Toronto: A Wiley-interscience publication, John Wiley and sons: 1—626
- Mamayev O I, 1975. Temperature-salinity analysis of the World Ocean waters. Amsterdam: Elsevier Sci Publ Co:1—374
- Nitani H, 1970. Oceanographic conditions in the sea east of the Philippines and Luzon Strait in summer of 1965 and 1966. In: John C. Marr ed. The Kuroshio-A Symposium on the Japan Current. Honolulu: East-West Center Press. 213—232
- Sverdrup H U, Johnson M W, Fleming R H, 1946. The Oceans, their physics, chemistry and general biology. New York: Prentice Hall, INC: 1—1087
- Wyrtki K, 1961. Physical oceanography of the southern Asian water. NAGA Report, 2: 1—195

ANALYSIS ON WATER MASSES IN THE SOUTH CHINA SEA IN SUMMER AND WINTER OF 1998

LI Lei, LI Feng-Qi, SU Jie, XU Jian-Ping[†]

(College of Physical and Environmental Oceanography, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003)

[†](Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou, 310012)

Abstract The data of cruises in summer and winter in 1998 with regard to the water masses in the South China Sea (SCS) were analyzed with three methods, i. e., clustering method, discrimination method and fuzzy sets method. The water system off shore can be divided into six water masses in SCS: the Surface Water Mass(S), the Subsurface Water Mass(U), the Subsurface-Intermediate Mixed Water Mass(UI), the Intermediate Water Mass(I), the Deep Water Mass(D) and the Bottom Basin Water Mass(B). There is a warm eddy in summer near Vietnam. The Kuroshio Surface Water Mass(KS) and Kuroshio Subsurface Water Mass(KU) can be distinguished in summer, but there is no Kuroshio Water entering into the SCS through 119.5°E in winter of 1998. Such a phenomena has probably some relation with El Niño. The Sulu Sea water enters into the SCS at the depth from 50m to 75m through Mindoro Strait in summer.

Key words South China Sea, Water masses, Water mass analyse