

南海环境与资源 基础研究前瞻

苏纪兰 主编



海洋出版社

南海环境与资源 基础研究前瞻

苏纪兰 主编

海洋出版社

2001年·北京

内 容 简 介

本书收录了“南海环境和资源战略研讨会”的会议论文及会议总结 22 篇文章。会议论文从不同重要基础研究方向总结了南海环境与资源基础研究已经取得的科学进展,分析了各重要基础研究方向的学科前沿,并从战略高度分析了亟待解决的重大科学问题;在学术研讨的基础上,通过国内外调研活动,形成了反映南海环境与资源基础研究重要研究方向分析的总结文章。

本书可供涉及南海的地学领域的科研人员、大专院校师生及科研计划管理部门有关人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

南海环境与资源基础研究前瞻/苏纪兰主编. —北京:
海洋出版社, 2001.6

ISBN 7-5027-5272-2

I. 南… II. 苏… III. 南海-自然资源-概况
IV. X371.827

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 26200 号

责任编辑 陈茂廷

责任印制 刘志恒

<http://www.oceanpress.com.cn>

海洋出版社 出版发行

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京海洋印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月北京第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 9.75

字数: 243.4 千字 印数: 1~600 册

定价: 40.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

序

我国地球科学发展有利条件之一就是独特的地域优势，比如西部青藏高原具有最大的地壳厚度，东部地壳减薄，广阔的陆架海之外为西太平洋边缘海。从全球角度看，这些不同的地域单元是新生代地质作用的产物，具有内在的关联。因此，南海的形成演化和青藏高原隆升及其之间的联系，又成为国内外地球科学家十分关注的重大科学问题。然而，南海之所以为国际地学界所关注，其原因远非如此，作为西太平洋典型的边缘海，是研究地球系统各圈层（大气圈、水圈、生物圈、岩石圈）相互作用及人文影响的理想区域，已被学术界认定为发展地球系统科学的野外实验基地之一。可以预计，未来十年，南海完全有可能成为带动地球科学突破的区域。我国对南海的综合科学调查与研究已积累了丰富的基础数据和资料，并已形成一支老、中、青结合的、多学科的、具有科学创新潜力的研究队伍。只要认真谋划、选准主攻目标和核心科学问题，周密组织实施，一定能有所发现，有所突破。我提出下述几个问题供同仁们考虑：

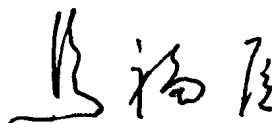
1. 创新是基础研究的灵魂，因此南海研究的思路上要有创新，要从地球系统科学的角度，即将南海放在全球大背景之中，以不同圈层相互作用为突破口，开展海陆气综合研究，同时要重视提高观测、探测手段，保证观测资料的国际可比性；

2. 要把长期科学目标和近期科研工作相结合，制定科学研究规划要从长远着眼，要把南海研究现状调研清楚，明确哪些问题已经解决，还有哪些问题没有解决，可能的突破点在哪里等，在此基础上明确“十五”做什么；

3. 要加强学科交叉与融合，南海研究的跨度比较大，涉及的学科面宽，不仅涉及地球科学的方方面面，还涉及其他学科，开展学科交叉研究很有必要；

4. 积极开展国际合作，尽快形成若干在南海以我为主的国际合作计划，以提高我国在南海研究上的国际地位。

“十五”期间国家自然科学基金委员会将十分重视南海环境和资源的基础研究，我相信经过广大科学家的共同努力，南海研究将会上一个新的台阶。



2001年2月28日

前 言

南海，又称南中国海。南海总面积约 350 万平方千米，约占渤海、黄海、东海、南海总面积的 74%，其中南海中国管辖海域约 201 万平方千米，约占中国管辖海域面积的 66%。

近年来，南海研究方兴未艾。由国家自然科学基金委员会地球科学部主办的“南海环境和资源战略研讨会”于 2000 年 9 月 20~21 日在广州召开，国家自然科学基金委员会马福臣副主任出席了此次会议并做了重要讲话。参加会议的有中国科学院苏纪兰院士、汪品先院士、刘瑞玉院士、汪集旸院士和中国工程院丁德文院士以及来自中国科学院、教育部、国土资源部、国家海洋局等部门的近 50 名科学家。与会专家进行了广泛和深入地学术交流和讨论，总结了这一区域已经取得的科学进展，并从战略高度分析了亟待解决的重大科学问题。与会专家一致建议，“十五”期间国家自然科学基金委员会应不失时机地通过重大科学研究计划促进对国家经济发展具有特别重要意义的南海环境和资源的基础科学研究。

南海背靠大陆，外绕岛弧，是一个半封闭的边缘海，其地理位置十分独特。同时，南海位于热带季风区，既是热带气旋形成的源地之一，又是南北半球赤道气流交换的重要通道，对东亚地区特别是我国东部的天气、气候有重要影响。南海海洋的物理过程非常复杂，在其周边的若干海峡处存在着与东南亚其他海域以及热带大洋之间的水交换。南海边缘海形成和演化与青藏高原隆升一样一直是科学家关注的重大科学问题，南海的深海沉积保存了全球气候变化的良好记录。南海有着丰富的油气资源和巨大的生物资源，开发前景广阔。

《南海环境和资源基础研究前瞻》一书收录了此次研讨会的论文。中国科学院南海海洋研究所王东晓研究员为本书的出版做了大量工作，在此表示感谢。

编 者

2001 年 2 月

目 次

序	I
前言	II
会议论文	
南海北部环流动力机制.....	苏纪兰 1
黑潮源地及邻区的古环境演化研究.....	秦蕴珊 李铁刚 8
关于南海环流系统研究的几个问题	甘子钧 王卫强 蔡树群 16
南海上层海洋环流和热结构季节变化特征及形成机制研究综述.....	
.....	刘秦玉 杨海军 贾英来 22
南海中尺度现象探讨	李 立 32
南海环流多时空尺度与局地海气相互作用	王东晓 38
南海上层生物地球化学过程及其与海-气界面过程的相互作用研究展望.....	
.....	戴民汉 洪华生 朱 彤 商少凌 48
上层海洋与低层大气的生物地球化学循环在全球变化研究中的作用	张海生 57
南海典型生态系统与生物资源研究战略思考	黄良民 60
南海生物-物理过程的耦合研究	孙 松 68
南海夏季风活动及其异常和影响	李崇银 73
南海季风试验与南海环境	丁一汇 柳艳菊 81
南海气候环境演变的地球化学记录	韦刚健 李献华 88
关于南海形成演化的环境效应研究的设想	周 蒂 94
西菲律宾海盆的增生、消减过程与南海的形成演化	吴时国 付永涛 秦蕴珊 100
近海海洋立体监测系统研制及河口海岸科学发展.....	吴超羽 106
海洋声学逆问题研究.....	王 宁 李 琪 112
宇宙射线成因核素 ¹⁰ Be 和 ²⁶ Al 在南海海洋研究中的应用	杨永亮 112
利用海底大地电磁探测研究南海地壳电性结构的必要性	
.....	魏文博 邓 明 谭捍东 金 胜 123
天然气水合物研究中的几个重要科学问题.....	樊栓狮 133
会议总结	
南海环境和资源基础研究背景和意义.....	王 辉 140
南海环境与资源基础研究重要研究方向分析	
.....	“南海环境和资源战略研究调研”秘书组 145

南海北部环流动力机制^{*}

苏 纪 兰

(国家海洋局海洋动力过程与卫星海洋学重点实验室; 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012)

摘 要 本文总结国内外对南海环流所做的工作, 对南海北部环流的主要动力机制制作一简述。

关键词 南海 环流 近海 海洋动力学

1 引言

南海的面积几乎是渤海、黄海、东海面积总和的 3 倍。其中部北侧有一很大的深海盆, 最大深度超过 5 000 m。南海通过数个海峡和邻近海区相连, 其中巴士海峡最深, 其海槛深度大约为 2 400 m, 限制了太平洋深层水向南海入侵; 其次为连接苏禄海、海槛深度超过 200 m 的民都洛海峡; 其他的海峡都浅于 100 m。珠江从中国大陆流入南海北部, 湄公河则从中南半岛流入南海南部。

南海有明显的环流特征。由于缺少长期锚系测流资料, 这些环流特征的认识主要是通过大量的水文调查、简单的过程模式和三维数值模拟结果所得到的。以下将综述这些海区环流动力机制的研究工作和成果。有关评述也可参阅 Su 等 (1990) 和曾呈奎等 (1993) 文献。

为讨论方便起见, 图 1 给出了中国近海季节性环流分布, 黑潮沿吕宋岛东岸向北流, 途经巴士海峡, 从台湾东岸向北进入东海, 接着沿东海陆坡北上, 直到 30°N 转向东, 经吐噶喇海峡重新进入太平洋。作为大洋对陆缘浅海区环流的一个驱动力, 黑潮对中国近海

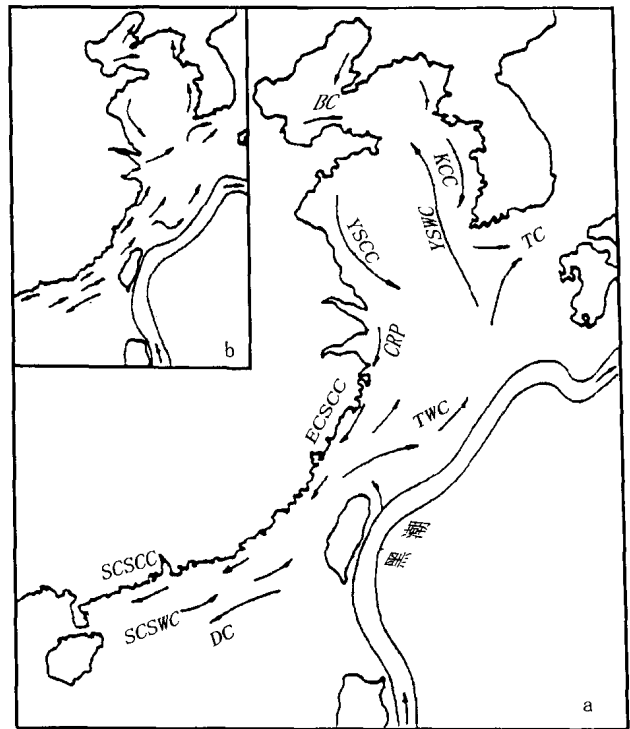


图 1 中国近海的季节性环流路径

a. 冬季; b. 夏季. 南海局地海流有: 台湾暖流 (TWC)、南海沿岸流 (SCSCC)、南海暖流 (SCSWC)、东沙海流 (DC)

^{*} 本文摘自“中国近海的环流动力机制研究”一文; 本研究工作得到国家重点基础研究发展规划项目 (G1999043805) 资助。

环流起着十分重要的作用。

自 Wyrki (1961) 的经典性南海环流研究后, 对南海 18°N 以南环流的系统研究尚不多。方文东等 (1997) 总结了“南沙调查”的结果。苏纪兰等 (1999) 结合模式分析, 总结了“南海季风试验”对整个南海的观测结果。后者调查发现南海南部一些有趣现象, 如越南外海的强反气旋涡、吕宋以西的上层大面积略高盐高温水池等。其他较多的是有关风生环流的数值模拟, 如 Shaw 和 Chao (1994)、Metzger 和 Hurlburt (1996) 的工作。本文主要讨论研究较多的南海北部环流的一些特征问题。

2 巴士海峡的水交换

菲律宾海西部海域 (WPS) 的北太平洋水是进入南海的惟一重要大洋水来源, 虽然由巴士海峡进入南海的净流量可能高达 $4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上 (Metzger 和 Hurlburt, 1996), 但巴士海峡两侧的水文和化学特征是十分不同的。南海海盆水的 T-S 关系虽然和 WPS 的一样呈反 S 型, 但南海的次表层极高盐水的值明显较 WPS 的低而中层极低盐水的值则明显较 WPS 的高 (Nitani, 1972; Gong 等, 1992)。

巴士海峡的海槛深度 (大约 2 400 m) 阻止了 WPS 的底层水进入南海。温-盐分析表明南海的底层水来源于 WPS 的深层水 (1 500~2 000 m)。从水文分析 (Wang, 1986) 和直接测流结果 (Liu 和 Liu, 1988) 的估算得出, 此深层水进入南海流量分别为 0.42×10^6 和 $1.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。基于这个估计值, 南海深层水的滞留时间约为 40~115 a (Gong 等, 1992)。韩舞鹰和林洪瑛 (1992) 的盒子模式给出南海 2 000 m 以下的深层水滞留时间为 76 a, 与前者估算相当。

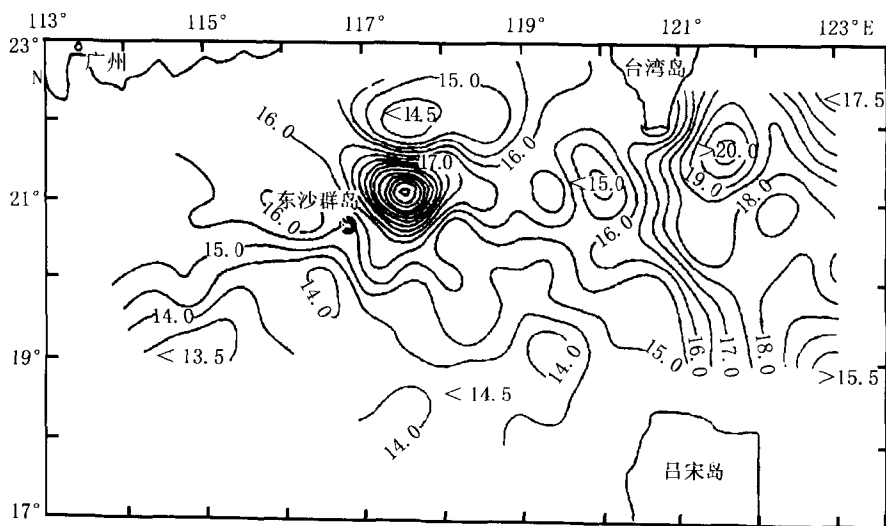


图2 1994年8~9月南海北部200 m水深的温度 ($^{\circ}\text{C}$) 分布
(取自许建平和苏纪兰, 1997)

南海盐度的特征支持 WPS 的热带水和中层水入侵南海的看法, 但是至今仍不清楚它们是如何进入南海的。早期的研究曾提出黑潮有直接分支进入南海 (Nitani, 1972; 南海综合调查报告, 1985), 但到目前为止, 尚无水文证据支持这个看法。最近两次覆盖整个

南海东北部的调查（1992 年 3 月，1994 年 8~9 月）和两次覆盖整个南海的调查（1998 年 4~5 月，1998 年 6~7 月）都表明，WPS 水入侵南海仅限于巴士海峡附近，且无证据表明黑潮有直接分支进入南海（Xu 等，1995；许建平和苏纪兰，1997；苏纪兰等，1999）。1 000 m 层以上 WPS 海水的入侵可能是由黑潮锋面的不稳定引起的。

在南海东北部的台湾西南角经常出现与 WPS 的极高盐水团性质相近的水（如 Fan 和 Yu，1981）。从历史资料来看，这种极高盐水也出现在南海北部陆坡区，最远离巴士海峡达 800 km（Shaw，1991）。WPS 的极低盐度水有时也能在南海北部东北角找到（Shaw，1989）。上面所提到的 1994 年资料表明存在与黑潮锋面水文特征相似的两个反气旋涡（见图 2），一个已西移到南海北部陆坡，中心位于 21°N、117.5°E；另一个小涡似乎刚在巴士海峡形成，中心位于 21°N、121°E（Li 等，1998）。但其他的几次较全面的调查均未发现类似情况。

Gong 等（1992）通过化学特征分析得出，盐度极小层到 1 500 m 之间可能是南海水输出的主要途径，这和 Wyrski（1961）基于季风作用所得的结论是一致的。

3 “东沙海流”

在香港东南 200 km、水深为 320 m 的锚系测流结果显示（Oceanographic Company of Norway，个人通信），从 1987 年 8 月到 1988 年 10 月该处全年有一支稳定的西南向流。在观测期间，该测流站水深 50、100、200 m 的平均速度分别为 0.11、0.13 和 0.11 m/s，方向约为 225°（正北为零）。300 m 层的测流仪至调查期间一半以上时失效，失效之前测得的流向与上层相似，但流速减半。这支海流最先在 1979~1982 年获得的 7 组水文资料

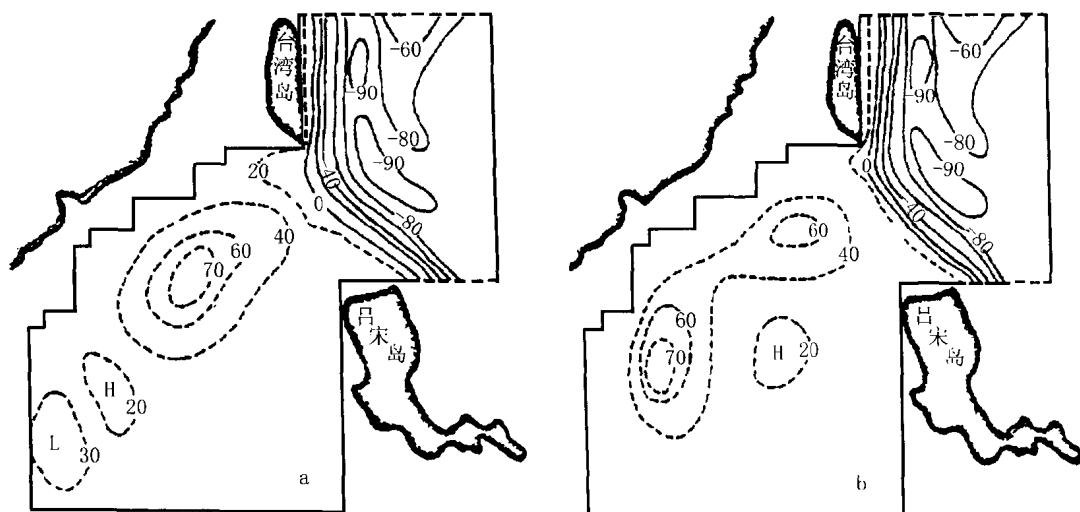


图 3 约化模式给出的南海密跃层深度异常分布（m）

（a）的分布领先于（b）80 d（取自刘先炳和苏纪兰，1992）

由动力计算结果发现（南海综合调查报告，1985）。计算得到夏季流量约 $4 \times 10^6 \sim 8 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，冬季流量为 $6 \times 10^6 \sim 10 \times 10^6 \text{ m}^3$ （参考层为 50 000 hPa）。《南海综合调查报告（1985）》认为该流是黑潮通过巴士海峡进入南海的一个分支，因此称之为南海黑潮分支。

如上一节所述,从水文特性分析,目前所掌握的水文调查资料皆不支持这个观点。因此,对东沙群岛附近陆坡上的这支长年存在的西南向流,本文称之为“东沙海流”。Su 等(1990)曾称之为“巴士海流”,似不恰当。

刘先炳和苏纪兰(1992)利用只考虑黑潮驱动的约化重力模式,发现在南海北部存在着海盆尺度的气旋环流,它通过平流作用从黑潮获得正涡度,并有约半年的准周期性振荡(见图3)。当这个气旋环流周期性增强时,它的中心先会向西再向西南移动,并最终从主体脱离出来,形成向西南移动的气旋涡。若用2.5层约化重力模式,所得到的振荡周期约为120 d(苏纪兰等,1999)。最近1998年4~5月和6~7月两次覆盖整个南海的调查都似乎支持上述海盆尺度气旋涡的存在(图4)。可以认为,这个海盆尺度气旋环流的受西方强化作用的西边界流,是对“东沙海流”的一个贡献(模拟所得的“东沙海流”流量为 $4.5 \times 10^6 \sim 7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)。

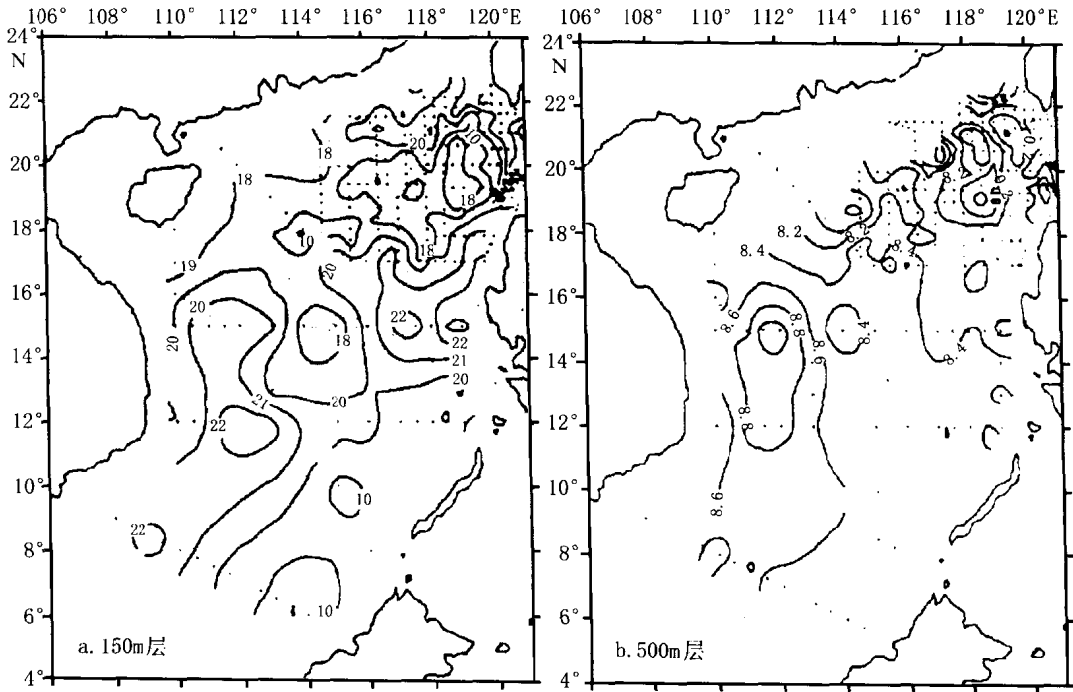


图4 1998年4~5月南海(a)150 m和(b)500 m水深的温度分布
(取自苏纪兰等,1999)

应当指出,不考虑地形及密度场而仅用平均季度风应力旋度场所计算出的Sverdrup输送,无论夏、冬季在南海 $15^{\circ} \sim 20^{\circ} \text{N}$ 皆形成大尺度气旋环流(杨海军和刘秦玉,2000),其西边界流也是对“东沙海流”的另一个贡献。在Shaw和Chao(1994)的工作中,“东沙海流”只出现在东北季风情况下,而西南季风时却不出现,其原因不详。Metzger和Hurlburt(1996)没有给出环流的季节变化,但他给出的年平均环流明显有“东沙海流”的存在(流量未给出)。有意义待研究的是,黑潮和季风这两个动力因子对这个气旋性环流及其“东沙海流”的相对贡献如何。

Liu和Su(1993)采用的考虑侧向密度梯度的正压模式(以500 m为平底,但考虑黑

潮和北向风的共同作用)也得到一个海盆尺度的气旋式涡,其西部和东沙海流相似(如图 5.1.2)。正如所意料的,与斜压结果相比,正压模式所得的东沙海流在东沙群岛的更东边(即在东沙平台的下坡面),正压的振荡周期也更短些。

无论是哪一个机制在起主导作用,这个气旋环流的存在,有利于诱导出在南海东北角台湾西南方生成反气旋环流,也有利于很快地将巴士海峡附近入侵的 WPS 水输送到南海的东北角和陆坡一带,即 Shaw (1989, 1991) 从历史数据中发现 WPS 水常出现的海区。

从稀疏的历史数据得到的重力位势图来看,黑潮有时似呈流套状(loop)进入南海 118°E 以西(如 Nitani, 1972)。不考虑风场的两层模式试验表明,只有当黑潮流量或流幅相当小时流套才会出现,但模拟结果没有出现流套被掐断的情形(蔡树群和苏纪兰, 1995)。事实上,至今尚无水文特征的观测依据,支持黑潮曾经以流套形式进入过南海,也未发现过流套被掐断后留在南海的黑潮环(ring)。

4 南海暖流

从 1958 年到 1961 年,中国在其邻近陆架进行了广泛的海洋调查。该次调查获得的许多 25 h 的连续测流站资料显示,在冬季东海南部到南海沿岸流的外侧均为一致的北向流或东北向流。南海的一支称为南海暖流,管秉贤(1978)首先在公开杂志上报道此流,并以历史水文资料的动力计算结果来支持此看法。苏纪兰和王卫(1990)指出,黑潮(更确切地说,北太平洋副热带环流)所带来的海面高度场可能是南海暖流的主要驱动力,即横跨陆架的海面梯度驱动着北向的南海暖流,而沿陆架的海面梯度则与底摩擦、风应力相平衡(见图 4)。Fang 和 Zhao (1988) 的水位分析,很好地说明了沿陆架方向各种力的平衡关系。夏季时西南季风导致南海暖流比冬季宽。也有观测记录表明珠江水能被南海暖流带向东北(南海综合调查报告, 1985)。

虽然南海暖流和“东沙海流”同时存在,但尚没有研究它们相互作用的论文。另外,一般认为南海暖流可穿过台湾海峡继续北上,然而仍不清楚这种流态是如何完成。台湾西南存在的反气旋涡(王胄和陈庆生, 1987)会使得这个问题十分复杂。该反气旋涡也可能是由前一节所讨论的南海北部大尺度气旋涡所诱导而形成。

5 南海北部主要的独特环流特征

中国近海的环流受强季风、大量淡水输入、强烈的潮汐混合以及很强的外海(大洋)驱动力驱使。然而,外海驱动力及中国近海独特地形的相互作用,是导致这个地区存在着许多独特环流特征的主要因素。上述物理过程在南海北部的主要表征如下:

(1) 黑潮在巴士海峡向西入侵有限。黑潮锋的正涡度由平流向西输入南海,在南海北部形成一个横跨海盆尺度的周期性振荡气旋环流,其西侧表现为在东沙群岛附近的一支长年存在的西南向强流。风应力旋度对此气旋环流的形成可能有同等的重要作用。另外,可能有从黑潮锋脱离出来的反气旋涡不时地向西传播进入南海。

(2) 南海通过台湾海峡和东海相连。台湾海峡不是黑潮的一个通道,但它为副热带环流的压力场驱动南海到东海的北向陆架流提供了场所,这支北向陆架流仅在强北风作用下才会暂时中断。

参考文献

- 方文东, 郭忠信, 黄羽庭. 1997. 南海南部海区的环流观测研究. 科学通报, 42: 2 264~2 271.
- 蔡树群, 苏纪兰. 1995. 南海环流的一个两层模式. 海洋学报, 17(2): 12~20.
- 管秉贤. 1962. 中国近海海流研究的一些问题. 海洋与湖沼, 4: 121~141.
- 管秉贤. 1978. 南海暖流. 海洋与湖沼, 9: 117~127.
- 韩舞鹰, 林洪瑛. 1992. 南海的水通量. 海洋通报, 11: 89~90.
- 刘秦玉, 杨海军, 刘征宇. 2000. 南海 Sverdrup 环流的季节变化特征. 自然科学进展, 10: 1 035~1 039.
- 刘先炳, 苏纪兰. 1992. 南海环流的一个约化模式. 海洋与湖沼, (6): 1~22.
- 南海综合调查报告. 1985. 1979~1982 南海北部多学科研究报告, 第二卷. 北京: 科学出版社, 432.
- 苏纪兰, 王卫. 1990. 南海域台湾暖流源地问题. 东海海洋, 8(3): 1~9.
- 苏纪兰, 许建平, 蔡树群, 等. 1999. 南海的环流和涡旋. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用 (主编: 丁一汇, 李崇银). 北京: 气象出版社, 66~72.
- 王 胄, 陈庆生. 1987. 中国南海北部的暖涡: I. 暖涡的初步观测结果. 台湾大学海洋学刊, 18: 92~103.
- 王 胄, 陈庆生. 1989. 冷季台湾海峡东部冷水入侵. 台湾大学海洋学刊, 22: 43~67.
- 许建平, 苏纪兰. 1997. 黑潮入侵南海的水文分析 II. 1994 年 8~9 月航次调查结果. 热带海洋, 16(2): 1~23.
- 曾呈奎, 周海鹄, 李本川. 1993. 中国海洋科学研究及开发. 青岛: 青岛出版社.
- Chern C S, Wang J. 1990. On the mixing of waters at a northern offshore area of Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 1: 297~306.
- Chern C S, Wang J, Wang D P. 1990. The exchange of Kuroshio and East China Sea shelf water. *J Geophys Res*, 95: 16 017~16 023.
- Csanady G T. 1976. Mean circulation in shallow seas. *J Geophys Res*, 81: 5 389~5 399.
- Fan K L, Yu C Y. 1991. A study of water masses in the seas of southernmost Taiwan. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 12: 94~111.
- Fang G H, Zhao B R. 1988. A note on the main forcing of the northeastward flowing current off the southeast China coast. *Progress in Oceanography*, 21: 363~372.
- Gong G C, Liu K K, Liu C T, et al. 1992. The chemical hydrography of the South China Sea west of Luzon and a comparison with the west Philippine Sea. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 3: 587~602.
- Li L, Nowlin W, Su J L. 1998. Anticyclonic rings from the Kuroshio in the South China Sea. *Deep - Sea Research, Part I*, 45: 1 469~1 482.
- Liu C T, Liu R J. 1988. The deep current in the Bashi Channel. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 20: 107~116.
- Liu X B, Su J L. 1993. A numerical model of winter circulation in shelf seas adjacent to China. In: *Proceedings of the Symposium on the Physical and Chemical Oceanography of the China Seas* (eds: Su J L, Chuang W S, Hsueh Y), Beijing: China Ocean Press, 288~298.
- Metzger E J, Hurlburt H. 1996. Coupled dynamics of the South China Sea, Sulu Sea, and the Pacific Ocean. *J Geophys Res*, 101: 12 331~12 352.
- Nitani H. 1972. Beginning of the Kuroshio. In: *Kuroshio: Its Physical Aspects* (eds: Stommel H and Yoshida K). Seattle: University of Washington Press, 129~163.
- Shaw P T. 1989. The intrusion of water masses into the sea southwest Taiwan. *J Geophys Res*, 94: 18 213~18 226.
- Shaw P T. 1991. The seasonal variation of the intrusion of the Philippine Sea water into the South China Sea. *J Geophys Res*, 96: 821~827.
- Shaw P T, Chao S Y. 1994. Surface circulation in the South China Sea. *Deep - Sea Res earth Part. I*, 41: 1 663~1 683.
- Su J L, Guan B X, Jiang J Z. 1990. The Kuroshio, Part I, Physical Features. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 28: 11~71.
- Su J L, Pan Y Q, Liang X S. 1994. Kuroshio intrusion and Taiwan Warm Current. In: *Oceanology of China Seas* (eds: Zhou Di, Liang Yuan - Bo, Zeng Cheng - Kui), Vol. I. Kluwer Academic Publishers, 59~70.

- Wang J. 1986. Observation of abyssal flows in the northern South China Sea. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 16: 36~45.
- Wyrski K. 1961. Scientific results of marine investigation of the South China Sea and Gulf of Thailand. NAGA Report 2, 195.
- Xu J P, Su J L, Chou D Z. 1995. Hydrographic analysis on the intrusion of Kuroshio Water into the South China Sea. In: *Proceedings of the Symposium on Oceanography of the Taiwan Strait and Adjacent Seas*. Beijing: China Ocean Press, 30~44.

黑潮源地及邻区的古环境演化研究

秦 蕴 珊 李 铁 刚

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

摘 要 位于菲律宾以东 $11^{\circ}\sim 13^{\circ}\text{N}$ 至巴士海峡的黑潮源地及邻区既是赤道热能向西北太平洋边缘海输送的重要通道和源区, 又是南海与西北太平洋水体交换的主要入口处, 其沉积物所蕴藏的古环境信息将有助于加深和印证对南海、东北亚地区乃至全球的一些重要古环境演化问题的理解和认识。此外, 黑潮源地及邻区亦处在东亚季风系统的控制之下, 因此也是研究晚第四纪温盐环流及其热传输、海洋-陆地-大气间的耦合作用演化过程等重要古环境问题的理想靶区, 这里对目前古海洋环境研究领域的研究背景及我们的对策进行了陈述和分析, 并就南海和西太平洋古环境研究的成果及现状提出了黑潮源地及邻区未来需要解决的科学问题。

关键词 古环境 晚第四纪 黑潮源地及邻区

1 引言

全球变化的实质是全球环境变化, 它是以 20 世纪 80 年代新兴的地球系统科学理论为基础, 研究人类所面临的影响生命生存环境的一系列重要的全球尺度的环境问题, 探明造成这种环境问题的物理、化学和生物响应特征及其相互作用过程, 藉此提高对全球生命支持系统未来变化的预测能力, 进而提出减缓或适应全球变化的技术措施。由于占地球表面 $2/3$ 的海洋是调节和控制地球环境的主要因素, 所以诸如北大西洋传送带、北大西洋湾流、北太平洋深部水体、西太平洋暖池及西北太平洋边界流(黑潮)以及其他重要的对全球气候环境产生巨大影响的海洋过程, 成为人类深刻揭示地球环境系统过去、现代和未来的变化及其控制因素和机制的首要靶区和学科研究领域的重中之重。

2 研究背景

海洋沉积物蕴涵着完整的海洋变迁、气候变化和生物演化的大量历史记录, 其各种有效的环境替代指标为研究地球环境变化的过去、现在和未来, 提高预测能力提供了有力的支持。基于此, 1995 年启动的由 SCOR 支持的国际地圈-生物圈计划(IGBP)的核心计划之一“过去的全球变化(PAGES)”中的“国际海洋全球变化研究(IMAGES)”拟在 10 年内通过 30 个航次在世界各海区获取 1 000 个以上沉积柱状岩心, 旨在定量描述大洋在各种时间尺度上气候和化学变化, 研究它们对已识别的内部和外部驱动力的灵敏度和在控制大气 CO_2 浓度的作用。这是迄今正在执行的国际上最重要的有关过去海洋古环境研究的核心项目。

该项目主要解决的科学问题是：表层及深层海水性质的变化与全球热平衡及气候演变的关系；大洋环流、海洋化学和生物活动变化与过去 300 000 a 大量 P_{CO_2} 记录之间的相互作用关系；大陆气候与海洋表层和深层水特征之间的相关关系。概括地说，即着重解决海洋热传输、海洋碳循环及海洋与陆地间的气候联系等重要的科学问题。在这宏大的国际计划目标指导下，全球最大的热源——太平洋低纬度海区以及海陆能量和物质交换最强的西太平洋越来越受到全球的关注。

自 IMAGES 计划实施以来，继以北大西洋及挪威海古海洋研究和南部非洲大陆西侧南大西洋及印度洋水团交换及上升流区的古气候和古海洋研究为主题的两个航次之后，于 1997 年和 1998 年仍以古气候和古海洋研究为主题分别完成了太平洋的澳大利亚和新几内亚水域—苏禄海—南海及印度尼西亚水域—西菲律宾海—冲绳海槽的第三和第四个航次，并在南海和冲绳海槽北部成功地采集到长度超过 30 m 的长柱岩心。此外，德国与我国合作结束“太阳”号 95 航次之后，又于 1996 年底完成了南海南部的调查取样工作；同年，法国与中国合作进行了东海和冲绳海槽航次之后，单独对越南岸外进行调查；澳大利亚也已立项，着重研究南海到北澳之间的季风区的环境变迁；由于对生存环境认识的紧迫感，日本也结合国际全球变化项目 PAGES-IMAGES 等设立了一系列重要的研究课题，专门设立了海底柱状样沉积物研究小组，拟准备系统地研究西赤道太平洋和黑潮流经的西七岛海域的古海洋环境演变史，以提高其气候环境变化趋势的预测能力。

我国近年来对南海和东海第四纪古环境的研究也给予了足够的重视，在国家自然科学基金委员会重点项目的支持下先后实施了“南海晚第四纪古海洋学研究”、“东亚古季风的海洋记录”和“冲绳海槽及相邻陆架古环境演变的研究”等重要研究课题；1999 年以“东亚季风史在南海的记录及其全球气候意义”为主体的南海大洋钻探 ODP184 航次的成功，更是为我国进入国际深海研究的前沿开辟了途径，可见，关于西太平洋的古环境研究正方兴未艾，并已成为国际学术界在该领域竞争最激烈的区域之一。

3 研究战略分析

为有效地参与该学科领域的国际竞争，我们应以国际 PAGES 计划及其中的 IMAGES 项目的学术思想为指导，以确定我国现存的生存环境和气候在长期变化中所处的特有地位，检测环境和气候发生重大变化的早期信号及为未来中国大陆环境和气候变化预测提供历史背景资料为目标，就对我国和东亚地区乃至全球气候环境产生深刻影响的气候和海洋过程进行深入的研究。此外，从目前国内重要研究项目的分布格局来看，有关西太平洋古环境演化的研究主要集中在邻近大陆的边缘海区域。相对地，对边缘海以外的并与边缘海之间存在强烈物质和能量交换过程的西太平洋区域却了解甚少，这不仅影响了边缘海古环境研究的完整性和系统性，也可能使我们失去获得重要古全球变化记录并对边缘海关键古环境问题进行深入研究的良机。因此，在边缘海研究基础上，积极向大洋进军将是我国与国际古环境前沿迅速接轨，并在这场激烈的国际学术竞争中立于优势地位的重要决策。

我国地处欧亚大陆东部中、低纬度地区，东濒西太平洋，南邻印度洋，北部为大陆，地理位置十分特殊。西太平洋边界流（黑潮）和东亚季风的共同影响是其现代气候过程中的主要营力。西北太平洋的黑潮和北大西洋的湾流是世界上最强大的两个暖流系统。其中黑潮是中国近海海洋环流的主要驱动力之一，对黄海、东海和南海北部环流有着重要的影

响, 它们的分布和变化直接影响到中国近海的海况和气候 (国家海洋局科技司, 1995; 苏纪兰等, 1996)。

东亚季风和南亚季风是世界最大的季风系统。由于受地形的影响, 南亚季风以夏季风最为显著; 而东亚季风则冬、夏季风同样发育, 有着全球最强的冬季风。西太平洋及其边缘海区正是处在东亚季风系统的控制之下。由于陆海之间的热力梯度及地形差异是东亚季风形成的主要机制, 因此黑潮的变异与东亚季风的演化之间必定会存在某种必然的联系。如现代西北太平洋上空风场的作用会导致大洋环流强度的变化, 从而导致中国和日本以南海域近海环流强度的变化。反之, 黑潮向其邻近海域及其上空输送的热量多少会对翌年的大气环流的变异产生影响 (国家海洋局科技司, 1995)。因此发现和利用地质历史时期大范围的风暴和沙尘记录, 结合保存在海底沉积物的海洋温度场、底层水和表层水的结构和物质运移模式的演变, 开展东亚古季风演变与古海洋环流变异综合的对应研究, 将会成为我国地学界理论创新的重要切入点。

此外, 东亚季风是惟一可以追溯到西伯利亚冷高压源地的季风系统, 是北半球高纬度影响东亚中低纬度区域气候环境的变化变化的主要载体。因此进行东亚古季风演变与古海洋环流变异的对应分析对深入理解东亚地区的高频气候突变事件和边缘海的耦合效应的机制具有极其重要的理论意义。

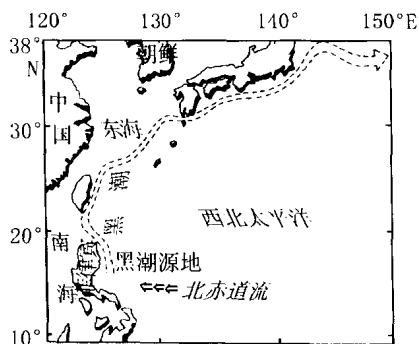


图1 研究区域的位置

开展该项研究课题的关键在于研究靶区的选择, 黑潮流系由黑潮源地、黑潮主体和黑潮续流 3 部分组成 (国家海洋局科技司, 1995)。黑潮起源于菲律宾以东的西赤道太平洋, 是北赤道流的一个向北分支的延伸 (图 1), 在向北流动过程中存在一支流通过巴士海峡进入南海北部, 且尤以冬季最为明显 (苏纪兰等, 1996), 其主干沿台湾岛东侧继续北上进入东海, 为黑潮主体, 往北在九州岛南部发生分支, 为黑潮续流。可见, 黑潮源区是赤道热能向西北太平洋边缘海输送的主要源地之一, 其沉积物所蕴藏的古环境演化

信息很可能在理解南海、东北亚地区乃至全球的一些主要环境问题上产生重要突破。此外, 黑潮源地及邻区正处于东亚季风系统的控制之下, 并通过一系列的西太平洋岛弧和边缘海与大陆相隔离, 从而可避免边缘海因河流作用而冲淡或掩盖了的陆源风尘记录。中国科学院海洋研究所研究人员在 1988 年对取自西菲律宾海盆的岩心进行观察时发现了一层厚达 1 m 的黄色沉积物。1989 年, 在该海区, 又发现了类似的沉积物。通过矿物学和地球化学研究, 已初步证明这层黄色沉积物属风尘沉积 (秦蕴珊等, 1995; 石学法和陈丽蓉, 1994, 1995)。因此, 菲律宾以东 $11^{\circ}\sim 13^{\circ}\text{N}$ 至巴士海峡的黑潮源地及邻区的沉积物包含了丰富的洋流演化和东亚古季风记录, 是研究温盐环流及有关热传输变化过程、海洋-陆地-大气间的耦合作用等重要古环境问题的理想靶区。

4 区域研究概况

以往对古黑潮变异的研究主要集中在黑潮的主体和续流区域。主要是对其路径的演化进行探讨 (Thompson, 1981; Ujiie 等, 1991; 苍树溪和阎军, 1992; Ahagon 等, 1993;

Sheieh 和 Chen, 1995; 李铁刚等, 1996; 翦知湜等, 1998; Xu 和 Oda, 1999; Ujiie 和 Ujiie, 1999)。尽管对晚第四纪, 尤其是末次盛冰期的古黑潮路径问题, 存在一些不同的看法, 却都证明了古黑潮在冰期的存在, 因此要回答古黑潮强度的演化及其相伴随的大气和海洋的耦合过程等深层次问题, 必须从黑潮源地及邻区寻求答案。但对这一重要区域有关沉积学和古环境研究还十分薄弱。Thompson (1981) 曾明确指出西北太平洋众多的重要的生物地层和古环境研究中, 一个被严重忽略的区域即是黑潮的源地。而与之邻近的南海、冲绳海槽和西赤道太平洋其他海域的古环境记录却为本区的研究提供了颇有价值的背景信息。

最具悬念的问题当属末次盛冰期时西太平洋低纬区海水表层古温度的变化。按“气候长期调查制图与预报”项目组估算, 高纬度表层水在末次盛冰期经历了 $6\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的强烈降温过程, 而赤道附近仅降低 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (CLIMAP Project Member, 1976, 1981)。Broecker (1986) 也认为西赤道西太平洋的表层水在末次冰期时降温不到 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。最近来自西太平洋暖池的浮游有孔虫“现代类比法”(MAT) 和 $\delta^{18}\text{O}$ 以及烯酮的古温度记录表明, 盛冰期与现代的表层海水温度仍然相差不到 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 表明西太平洋暖池在冰期和间冰期气候条件下都继续存在 (Ohkouchi 等, 1994; Thunell 等, 1994; Martinez 等, 1997)。而南海全新世与末次盛冰期表层水温差冬季在 $4.5\sim 7.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 平均 $5.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 夏季在 $0.8\sim 2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 平均为 $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, 而且在降温的同时, 南海的海面下降约 $100\sim 120\text{ m}$, 只能通过巴士海峡和民都洛海峡保持与太平洋的联系 (汪品先等, 1995)。南海与同纬度太平洋开放海域盛冰期古水温特征的较大差异, 被解释为盛冰期西北太平洋的极锋南移致使温带水也相应南移到达巴士海峡同纬度区域而进入南海, 导致南海表层水温偏低 (Wang 和 Wang, 1990; Jian 等, 1995)。这种推测在南海表层环流模型模拟结果中得到进一步证明 (汪品先和李荣风, 1995)。如果关于冰期时南海受温带水团影响的假设是事实的话, 那么肯定会伴随巴士海峡外侧及其以南黑潮源地流场的对应模式和效应。

又如发现于冲绳海槽和南海北部的“*Pulleniatina* 低值带”, 最初被认为是晚全新世的一次降温事件 (Jian 等, 1996; Li 等, 1997)。最近, Ujiie 和 Ujiie (1999) 认为这只是一一种区域性的海洋事件, 即与当时的古黑潮的演化有关。黑潮转向或强度的减弱都会导致冲绳海槽和南海北部出现“*Pulleniatina* 低值带”事件及海洋环境的变化, 对其源地和邻区的研究有助于进一步澄清该事件的成因。另外, 有关冰期时北太平洋是否有深层水的形成是一个存在争议的重要科学问题 (Berger, 1987; Shackleton 等, 1988; Curry 等, 1988; Duplessy 等, 1988)。对南海深部水体的研究表明北太平洋末次冰期可能存在“北太平洋深层水”并对南海和西太平洋的深度水团产生深刻影响 (王律江, 1992; 翦知湜, 1995), 黑潮源地及邻区的深部水体的演化研究将会提出进一步的证据加以验证。可见黑潮源地及邻区的古环境除本身的科学问题之外, 还涉及到对南海许多的重要科学问题进一步印证。

对亚洲季风的研究, 与南亚季风相比东亚季风的研究程度相对较低, 并且主要依靠陆地古气候记录, 直到 1994 年中德合作南海古季风的专题航次才开始古季风的海洋记录的研究。1999 年以东亚季风为主题的南海大洋钻探 ODP184 航次, 开始对较大时间尺度的古季风的海洋记录进行研究。最近对南海的古季风研究成果表明晚更新世以来东亚季风系统发生了明显的波动, 并伴随一系列海洋过程的变化 (Chen 和 Huang, 1998; Wang 等,