

国家海洋局科学技术司 编



“向阳红五号” 船

耦合海洋 - 大气响应实验 科学报告



海洋出版社

“向阳红五号”船
耦合海洋-大气响应实验
科学报告

国家海洋局科学技术司 编

海洋出版社

1997年·北京

内 容 简 介

“向阳红五号”船于“热带海洋和全球大气——耦合海洋-大气响应实验”的强化观测期间，作为我国派出的3艘科学考察船之一，在热带西太平洋进行了耦合海洋-大气响应实验。本书论述了“向阳红五号”船在此项工作中的观测手段、方法和所获资料，以及由这些资料得到的一些科学分析结果。全书共分11章，主要包括：热带西太平洋暖池区上层海洋的温盐结构、海流和海洋生化要素的变化，海面降水量，海面辐射量，大气边界层特征，海气边界层碳化学分析，高空风异常和越赤道气流与暖池的耦合作用以及1991~1994年气候异常的分析结果等。本书资料丰富，内容新颖，适合海洋、气象科研部门、管理部门及大专院校有关人员参考阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

“向阳红五号”船耦合海洋-大气响应实验科学报告/
国家海洋局科学技术司编. —北京:海洋出版社,1997.12
ISBN 7-5027-4431-2

I. 向… II. 国… III. 海洋-耦合-大气-实验报告 IV.
P732.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 24951 号

海洋出版社

出版发行

(100081 北京市海淀区大慧寺路8号)

海洋出版社印刷厂印刷 新华书店发行所经销

1997年11月第1版 1997年12月北京第1次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 9.25

字数: 220千字 印数: 1—1000册

定价: 15.00元

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

热带海洋与全球大气的密切联系是近数十年来海洋学家和气象学家共同关心的前沿科学问题。为了探讨这个对世界气候预测极其重要的问题,国际科联理事会(International Council of Scientific Unions)、世界气象组织(World Meteorological Organization)、政府间海洋学委员会(Intergovernmental Oceanographic Commission)和海洋研究科学委员会(Scientific Committee on Oceanic Research)共同发起了自1985年开始、为期10年的“热带海洋和全球大气”(TOGA)计划。经过许多国家多年的努力,“TOGA”取得了丰硕的成果。但是随着“TOGA”计划的实施,人们感到对发生在热带西太平洋暖池(Western Tropical Pacific Ocean Warm Pool)区域的海气耦合过程的认识仍嫌不足。为此,上述4个国际组织又进一步提出了“热带海洋和全球大气——耦合海气响应实验”(TOGA-COARE)研究计划。因此,“TOGA-COARE”既是国际“TOGA”的一个重要组成部分,又是对它的一个必要补充。就科学意义而言,“TOGA-COARE”是继70年代的“大西洋热带实验”(“GATE”即GARP Atlantic Experiment)之后,又一个大型的热带研究计划。与“GATE”相比,“TOGA-COARE”的规模更大,研究的区域更为重要。为了执行这一计划,我国作出了巨大努力。1992年11月至1993年2月(“TOGA-COARE”的强化观测期,简称IOP),在国家海洋局的组织和支持下,中国派出了“向阳红五号”船(国家海洋局)、“科学1”号船(中国科学院海洋研究所)和“实验3”号船(中国科学院南海海洋研究所)3艘科学考察船前往热带西太平洋暖池区从事耦合海气响应实验。这3艘科学考察船载有国家海洋局、中国科学院、国家气象局和国家教育委员会以及美国有关方面300余名科学家和船员,并以“向阳红五号”船为总联络船负责对内协调和对外联络的工作,进行了长达4个月的连续作业,获得了极其宝贵的资料。更为可贵的是获得了1991~1994年厄尔尼诺期间的宝贵资料。本书主要说明了“向阳红五号”船的观测手段和方法、资料的精度,以及根据这些观测资料所得到的一些初步科学分析结果。这些结果包括:热带西太平洋暖池区上层海洋的温盐结构、海流和海洋生化要素的变化,海面降水量,海面辐射量,大气边界层特征,海气边界层碳化学分析,高空风异常等。书中最后还对越赤道气流与暖池的耦合作用和1991~1994年(厄尔尼诺期间)的气候异常进行了分析研究。如果这些结果能有助于从事海气耦合作用研究的科学工作者和教育工作者了解热带西太平洋暖池的海洋学和气象学特征,当他们在研究该海域的海气耦合过程并对世界气候变化作出诊断时,本书具有一定的参考价值,那就是编著者衷心的愿望和冀盼了。

强化观测现场考察中方首席科学家 蒲书箴

1995年5月26日

目 次

第一章 “TOGA-COARE” 概况	(1)
第一节 “TOGA-COARE” 的科学目的	(1)
第二节 “TOGA-COARE” 的总体实验设计	(2)
第三节 “向阳红五号” 船的使命和考察概况	(4)
第二章 “TOGA-COARE” 强化观测期间温盐结构的变化	(9)
第一节 上混合层的时间变化	(9)
第二节 海洋温度结构的时间变化	(12)
第三节 暖池中心盐度的时间变化	(15)
第三章 “TOGA-COARE” 强化观测期间的海流变化	(22)
第一节 海流剖面资料	(22)
第二节 海流基本特征	(23)
第三节 “TOGA-COARE” 强化观测期间的海流状况	(23)
第四节 海流对西风突发的响应	(29)
第四章 海面辐射观测及个例分析	(31)
第一节 仪器安装与布置	(31)
第二节 数据采集与处理系统	(31)
第三节 辐射测量仪器的主要性能	(32)
第四节 观测资料的可信度	(34)
第五节 海面辐射个例分析	(35)
第五章 高空风异常的分析	(37)
第一节 仪器资料说明和观测期的气象学背景	(37)
第二节 低空强风带与急流	(40)
第三节 异常西风的基本特征分析	(45)
第六章 暖池洋面降水	(50)
第一节 自动降雨速率测量系统	(50)
第二节 “TOGA-COARE” 区域降水的气候特征	(51)
第三节 强化观测期间降水特征及其诊断	(53)
第四节 降水的天气学分析	(55)
第五节 降水与表层温盐的关系	(58)
第七章 海气边界层特征及其时间变化	(64)
第一节 海洋大气边界层特征的多普勒声雷达探测	(64)
第二节 “TOGA-COARE” 强化观测期间的通量观测及初步结果	(69)
第三节 气溶胶的化学特征及其时间变化	(74)

第八章 暖池区大气和海洋碳化学分析与研究	(79)
第一节 调查目的和观测量	(79)
第二节 取样概述和分析方法	(81)
第三节 分析结果和分布特征	(85)
第九章 暖池及其附近海域生化要素的变化	(93)
第一节 各形态磷的时空变化	(93)
第二节 叶绿素和初级生产力特征	(101)
第十章 越赤道气流与暖池的耦合作用	(105)
第一节 淡水透镜的形成与消失	(106)
第二节 淡水透镜形成的天气条件	(108)
第三节 越赤道气流对暖池上层热盐含量的影响	(110)
第十一章 1991~1994 年的气候异常变化	(113)
第一节 资料	(113)
第二节 世界主要气象灾害	(114)
第三节 海气异常特征的诊断分析	(115)
第四节 强化观测期间强化通量区域天气特征	(118)
第五节 大气对 ENSO 的异常响应	(122)
第六节 90 年代初期我国气候异常原因的分析	(126)
附录 1 中国“TOGA-COARE”协调组和科学组	(134)
(一) 中国“TOGA-COARE”协调组	(134)
(二) 中国“TOGA-COARE”科学组	(134)
附录 2 “向阳红五号”船“TOGA-COARE”科学考察人员	(134)
(一) 中国科学考察人员	(134)
(二) 美国科学考察人员	(134)
参考文献	(135)
结 语	(140)

第一章 “TOGA-COARE” 概况*

第一节 “TOGA-COARE” 的科学目的

“TOGA”(热带海洋和全球大气计划的英文缩写)是“世界气候研究计划”(World Climate Research Program)的一个重要组成部分,属于海洋学和气象学的前沿性的研究项目。它的执行将对世界气候预测水平的提高产生划时代的影响。本项目自1985年实施以来已经取得了重要进展。这些进展可以概括如下:

1. 太平洋有着明显的 ENSO (厄尔尼诺-南方涛动的英文缩写)尺度的变化。与这种尺度有关的大气和海洋扰动从热带西太平洋的暖池区沿着赤道向东传播。其中,海面温度的扰动最为明显,直接影响到对大气的加热,并改变了大尺度的大气环流。引起年际尺度的世界气候异常。

2. 上述的大气环流变化可以引起热带大西洋和印度洋海面温度的明显变化。两大洋的这种异常变化不仅发生在太平洋的异常变化之后,而且强度也较弱。

3. 许多有关 ENSO 形成和变化的理论已得到发展。概括而言,可将这些理论分为两类:(1)不稳定理论;(2)准周期理论。这两种理论都建立在耦合海洋-大气系统具有某种基本稳态的基础上。

4. 数值气候预报模式和海洋总环流模式有了长足的进展。“TOGA”监测网提供的实时数据为这些模式的常规业务奠定了基础。

综上所述,可以看到“TOGA”所取得的成就在海洋和气候预测方面具有重大意义,是人们向着预测数月数年的海洋和大气变化这一宏伟目标迈进的关键一步。

虽然“TOGA”的成就是举世瞩目的,但是人们对耦合海洋-大气系统的认识仍然有着明显的不足。这些不足如得不到克服,必将成为最终实现“TOGA”宏伟目标的障碍。

概括起来,这些不足之处是:

1. 数值模拟结果说明大气对暖池区的海表面温度(SST)的响应极为敏感,而目前几乎所有的海洋模式对海温的预报结果都太高。出现这些问题的原因在于海洋和大气之间的动量、热量和水汽通量的估计值远远不够精确。

2. 目前虽有许多人对热带西太平洋暖池域的热量平衡做出了定量估计,但是这些估计的差异甚大,差值范围可高达 $80 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,根本不能满足耦合海气模式的要求。此外,人们对影响热量平衡的物理过程,仍然存在着模糊认识。例如,信风带的慢变化或是赤道区域的异常西风和超级云团等较高频的变化是怎样参与暖池域的热量平衡过程的?

3. 虽然不稳定理论、准周期理论都强调海-气耦合系统具有某种基本状态。但是,维持这种基本状态的机制是什么?为什么暖池内部的温度梯度相差极小,其温度总是维持在 28°C ~

* “TOGA-COARE”是耦合海洋-大气响应实验的英文缩写。本章由蒲书箴、李杨猷编写。

30℃左右（即使在 ENSO 期间，其温度变化也不会超过 1℃，这与东太平洋适成对照）？是否正是暖池温度的这种量级微小的改变，可以诱发大气的大尺度剧烈扰动？

4. 虽然模式研究和观测结果都证实了不同频率的异常变化之间发生相互作用，但是 10~60d 振荡、2~6d 的变化以及日变化等短周期的波动究竟是怎样影响更长期的异常变化和暖池上空的水汽辐散的呢？

5. 虽然科学数据说明，赤道陷波会引起太平洋的异常变化，但是人们对激发这种陷波的真正成因仍然不能确定，它们是太平洋两岸的周期性反射波还是耦合海气系统固有的不稳定性引起的？或者是高频的大气强迫力而引起的呢？

为了解决上述这些问题，“TOGA-COARE”便应运而生了。它的研究目标主要在下述几个方面：

1. 在热带西太平洋暖池区域的海气耦合作用中，哪些物理过程是主要的？
2. 在暖池上空引起对流活动的主要大气过程是什么？
3. 在暖池区域，海洋是怎样对风应力和浮力做出响应的？
4. 热带西太平洋暖池区域的海洋和大气与其他区域的多尺度相互作用过程和机制是什么？

第二节 “TOGA-COARE” 总体实验设计

上节对“TOGA-COARE”的目的、意义和科学背景做了简短的说明。根据上节介绍，“TOGA-COARE”所有的 4 个方面的目标都与热带西太平洋的暖池区域有关。因此实验的总体设计，显然将以热带西太平洋暖池作为实验的中心区域。

第一，众所周知，热带西太平洋暖池与其上空的大气有着明显的相互作用，两者之间的热量和水汽交换多以对流单体（convective cell）的形式出现。因此在实验设计时，必需考虑对流单体的日变化和与这种时间尺度相应的空间尺度。换言之，测点的分布密度和观测时间间隔必须满足对流单体的这种观测要求。

第二，由于超级云团等对流活动与天气尺度（诸如季内振荡和西风突发，即 intraseasonal oscillation and westerly burst）的现象与 ENSO 的发生有关，而人们对于这些现象的出现与热量、动量和水汽通量之间的联系还不甚了解，因此，在季内振荡和西风突发期间的观测则更加重要。

第三，已有的研究表明，东亚季风对热带西太平洋区域的海气相互作用有明显的调制作用。这种调制作用可以解释为什么 ENSO 往往在年变化的某个特定季节发生，由此可了解暖池区的上层海洋是怎样对东亚季风作出响应的。如果能在东亚季风的盛行期间，注意观测将是很有意义的。

从上述 3 点来看，由于这些有关的现象具有不同的时间尺度和空间尺度，因此总体设计的思想必须兼顾这些不同时间尺度和空间尺度的现象，这就决定了“TOGA-COARE”不仅在测点的分布密度上需有不同的观测层次（见图 1-1），而且在观测方法和手段上还必须多样化的。此外，为了达到研究耦合海气系统的目的，还必须对大气和海洋进行同步观测。这就是“TOGA-COARE”曾经先后动用了 5 个国家的 14 艘海洋考察船，3 个国家的 7 架探测飞机，以及 10 余个国家的锚碇浮标及 CTD、ADCP、雷达探测、全球定位探空系统、光学雨量

计等若干 90 年代的先进设备的原因。

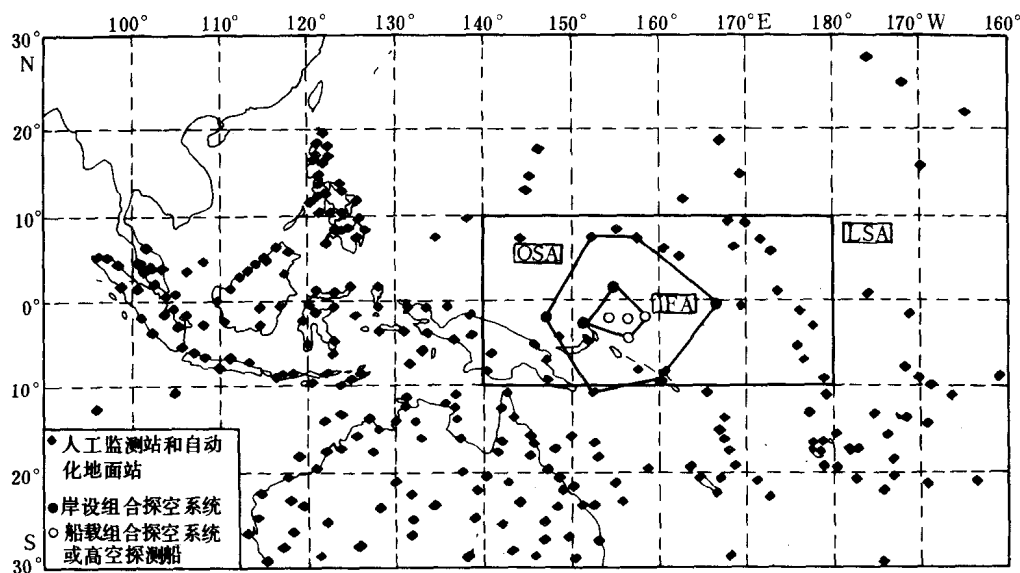


图 1-1 “TOGA-COARE” 的观测区域

OSA: 外国探空阵列 LSA: 大尺度探空阵列 IFA: 强化通量观测阵列

为了保证“TOGA-COARE”的顺利进行,实验区域分为外区(Outer “COARE” Domain, 也称 Large-Scale Soundings Array, 见图 1-1 所示)、内区(Inner “COARE” Domain, 也称 “COARE” Large-Scale Domain, 又称 Outer Soundings Array, 图 1-1 中的矩形域)和强化通量阵列域(即 Intensive Flux Array, 图 1-1 中的 6 边形区域, 缩写为 IFA)。每个区域的站位布设如图 1-1 所示。

“TOGA-COARE”的现场观测可分为 3 个方面:

1. 大气科学: 组合探空系统 (ISS) 观测、声雷达探空系统观测、Omega 探空系统观测、多普勒天气雷达观测、飞机观测。
2. 海洋科学: CTD 剖面观测、XBT-XCTD 观测、近海面 T-S 观测、Atlas 浮标的测温链和电导率观测、锚碇海流剖面观测、拉格朗日漂流浮标观测、SST 和 SSS 的遥感观测、海面高度观测、卫星高度计测量、湍流观测、海洋考察船的综合观测。
3. 海气界面观测: 海气通量观测和辐射观测。

“TOGA-COARE”的执行时间是 1990~1996 年,在整个 7 年的时间里,根据总体设计的要求需做如下 5 个方面的工作: (1) 模式研究 (Modelling); (2) 预研究 (Pilot Studies); (3) 加强监测 (Enhanced Monitoring); (4) 强化观测期 (Intensive Observation Period); (5) 资料分析 (Data Analysis)。上述 5 个方面的时间表如图 1-2 所示。

“TOGA-COARE”的模式研究将主要考虑海洋的水量交换问题(其中包括暖池的水量平衡、越洋流水量交换和边界反射等水的循环、盐度变化的浮力效应、混合层的变化、降水、超级云团、大尺度的大气环流以及海气通量等),随着观测资料的取得,耦合海气模式将不断改进和完善,因此模式研究贯穿于“TOGA-COARE”的始终。

项目	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
模式研究							
预研究							
加强监测							
强化观测期							
资料分析							

图 1-2 “TOGA-COARE”的时间示意图

“TOGA-COARE”的预研究主要是为后来的强化观测期（即 IOP）提供科学信息，以便有针对性地指导“TOGA-COARE”的现场实验和模式研究，克服盲目性。

“TOGA-COARE”的强化观测期是其中最关键性的一项工作。它集中了各参加国的人力、物力和财力，投入大量仪器（甚至包括了船只和卫星的同步观测）进行前面所述的有关大气、海洋和海气边界层观测。我国派出的 3 艘考察船在“TOGA-COARE”强化观测中发挥了重要的作用。

加强监测是指强化观测前后的一段连续观测时期。在这段时间里，考察船和飞机的现场工作未开始或已经结束。但是卫星和大多数的台站、锚碇浮标、漂流浮标仍在监测着“TOGA-COARE”区域，以便掌握大尺度变化的信息。

由图 1-2 可看到，资料分析也是一项长期的工作，它将从预研究开始 1 年之后，直至 1996 年。实际上，根据目前情况可能维持得更长。

第三节 “向阳红五号”船的使命和考察概况

“向阳红五号”船的主要使命是参加强化期观测期间的观测，并与“Vickers”船及美国海洋大气局（即 NOAA）所有的南加利福尼亚大学管理的考察船一起在强化通量观测域的中心点（2°S、156°E）附近担任强化观测的综合观测（见图 1-3）。“TOGA-COARE”国际办公室还决定把仅有的两台 5cm 船载多普勒天气雷达（其余皆为岸基雷达）分别安装在两艘船上。中国“TOGA-COARE”协调组和科学组（见附录 1）确定“向阳红五号”船为中方海上指挥船，担任对内、对外的联系和协调。

一、“向阳红五号”船的人员、装备和作业时间*

参加“TOGA-COARE”强化观测期间，在“向阳红五号”船上参加工作的单位有：国家海洋局机关、南海分局、第一海洋研究所、第二海洋研究所、第三海洋研究所、国家海洋环境预报中心、国家海洋信息中心，以及中国气象科学研究院、国家教委所属青岛海洋大学等单位的科技人员和船员，共 123 人。其中指挥员 1 名、研究员 1 名、副研究员 8 名、工程师 34 名、助理工程师 8 名、技术员 8 名、船员 63 名。美国航天航空局等单位共 18 人次随船参

* 本段文字由国家海洋局南海分局李畅猷供稿，国家海洋局第一海洋研究所蒲书箴作了删节。

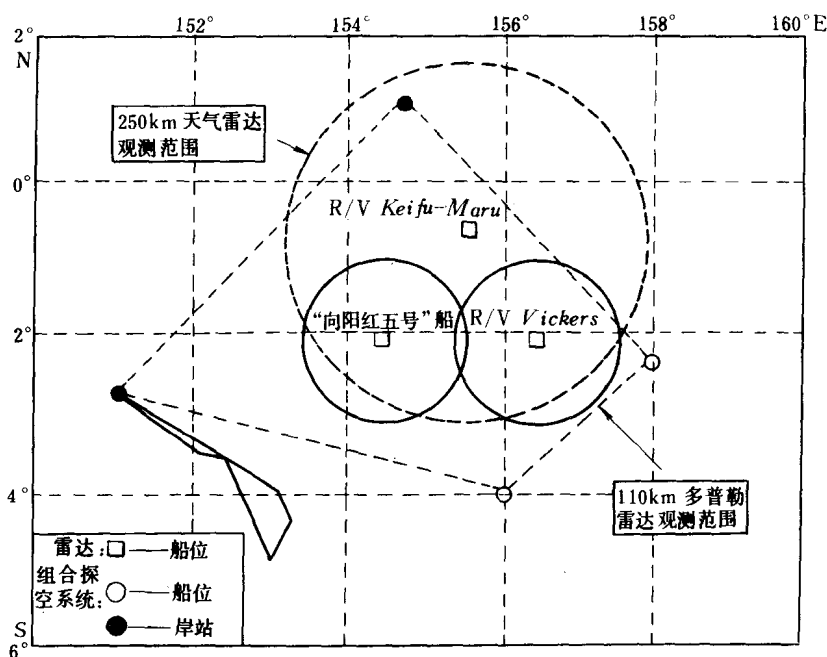


图 1-3 IFA 的布置示意图

加了出海考察（详见附录 2）。

为完成“耦合海-气响应实验”，提供高质量的现场资料，中、美双方科技工作者所采用的探测仪器都具有技术新、精度高、稳定性好的特点，是当前世界上最先进的仪器设备。例如美国科技人员采用了 5cm 多普勒天气雷达、欧米加探空系统和自动降雨速率测量仪 (ARRMS)。中国科技人员采用了多普勒声雷达 (DPAR)、梯度仪、SEA-BIRD19 型 CTD 仪、Mark II 型 CTD 仪、RD 多普勒海流剖面仪 (ADCP) 等（见巢纪平等，1993）。这些探测仪器均可作连续性的观测记录，并将资料输入电脑进行资料处理，现场绘制各要素变化图，随时监测实验结果，以便于中美科学家指导实验的进程，并将主要的发现以传真形式报告位于澳大利亚的“TOGA-COARE”指挥中心。

根据国家海洋局海洋科发（1992）293 号文《关于落实热带西太平洋“耦合海气响应实验”任务的通知》，南海分局“向阳红五号”船于 1992 年 10 月 23 日从广州启航，10 月 31 日抵达卡维恩港外锚泊，接美国科技人员和仪器设备上船，并对多普勒天气雷达进行检测调试，11 月 5 日到达强化观测站（2°05'00"N、155°00'00"E）（见图 1-4）。按实施工作计划，海上强化观测共分为 3 个航段进行。第一航段强化观测自 1992 年 11 月 5~30 日，第二航段自 1992 年 12 月 15 日至 1993 年 1 月 9 日，第三航段自 1993 年 1 月 24 日至 2 月 19 日。在此期间“向阳红五号”船先后进入霍尼亚拉港两次，然后停靠关岛阿普拉港一次进行休整和补给。返航途中，于 14°00'00"~14°20'00"N、132°40'00"~141°20'00"E 海域（见图 1-4）同时进行了国家“八五”重点科研攻关项目的鳗鱼苗产卵区域生态环境等项目的调查。1993 年 3 月 11 日结束了全部科学考察工作返抵广州。全过程共计 140d，安全航行 14 100n mile，圆满完成 21 个强化观测项目和鳗鱼产卵区域生态环境调查任务。

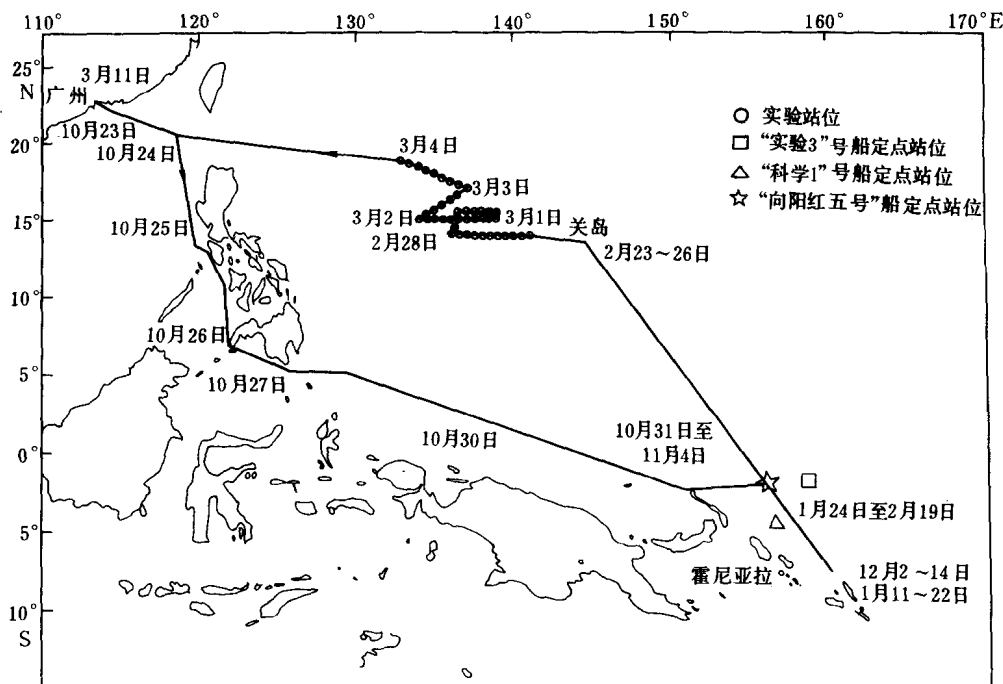


图 1-4 “向阳红五号”船航行路线

二、观测及资料概况*

本航次考察内容可归纳为气象、水文、化学和生物四大学科，共有 21 个项目。除了多普勒天气雷达和大气探测项目由我方派有专人协同美方科技人员完成外，其余 19 个项目均由我方科技人员独立完成。进行的强化观测项目及其获得的宝贵资料如下：

(一) 气象

1. 探空仪施放：284 次。
2. 太阳辐射：获得观测数据 9 500 个。
3. 大气与海水二氧化碳：取样 1 361 个。
4. 天气预报：航渡和作业期间每天预报 1 次，共 123 次。
5. 气溶胶：采用 KB-120 型单级采样器（国产）和 KA-200 九级采样器（日本产）对该海域空气中的气溶胶总样和不同粒径的气溶胶粒子采集，共采集了 60 个样品。
6. 大气边界层：采用国家海洋环境预报中心研制的多普勒声雷达（DPAR）对大气边界层进行探测。每航段探测 2~3 次，每次持续时间为 2~3d，共获得 216h 探测记录。
7. 海面梯度：采用青岛海洋大学研制的梯度仪对距海面以上的 3、6、10、15m 处的风、温、湿梯度进行观测。数据采集频率为 1min 采 7 个通道数据，1min 数据和 15min 平均值记

* 本段文字由国家海洋局南海分局李畅猷供稿，国家海洋局第一海洋研究所蒲书箴作了删节。

入 RAM, 共获得了1 500h 观测记录。

8. 降雨量: 采用美国制造的“自动降雨速率测量系统 (ARRMS)”测量调查海区降雨量。始于1992年10月4日, 止于1993年1月4日, 获得降雨量数据记录1 050个。记录降雨持续最长时间为1h, 最大降雨速率达62.0mm/h。

9. 海面气象: 海面气象观测项目有气压、风速、风向、湿度、露点、气温、能见度、云量、云状、云高、表层水温、波型、波高、波浪周期等。每天观测时间为02、05、08、11、14、17、20、23时(北京时)。共进行了600次观测, 获得各要素数据5 600个。

(二) 水文

1. 测深: 采用万米测深仪测定作业海区水深, 共获得测深数据285个。

2. 表层海水温、盐度: 采用SEA BIRD19型CTD仪器对表层海水温、盐度进行周期性和非周期性的连续观测, 选定每隔30s采集1次数据, 共获得了500余小时的温、盐度记录。

3. 温、盐、溶解氧: 采用美国制造的Mark III型CTD仪对海水温、盐、溶解氧垂直变化进行探测。该仪器投入过程中每秒钟采集23个数据, 并作分层水样采集进行盐度和溶解氧的比测。比测样品采集分为深、浅层两种, 前者为大于等于1 000m, 后者为500m, 各分为11层采集(详见CTD比测水样参考深度表)。CTD观测时间为04、10、16、22时(当地时)。共获得了温、盐、溶解氧三要素数据9 405个, 垂直变化曲线图292张。

4. 海流: 采用美国制造的“多普勒海流仪 (ADCP)”作连续性的观测。该仪器在投放期间作连续性的数据采集, 每相隔5s作1次平均值记录。共获得了2 160h的海流流速、流向的观测记录。

(三) 化学

化学项目样品采集规定深度为300m, 分层采样为0、25、50、75、100、125、150、175、200、250、300m, 共为11层(见表1-1)。每3天采集1次, 时间为上午07时(当地时)。共采得营养盐样品270个(硝酸盐、磷酸盐、亚硝酸盐、亚硅酸盐); 磷酸盐形态样品300个(活性磷酸盐、溶解态磷、总磷)。样品分析使用美国制造的“营养盐快速流动自动分析仪”(RFA12型)进行, 绘制出各要素垂直变化曲线图。

(四) 生物

1. 生物拖网共进行118次。

2. 叶绿素采样264次。

3. 初级生产力采样94个。

三、鳎鱼苗产卵区域生态环境调查

该项目于1993年2月28日至3月4日进行, 共7d。获得15个项目的海面气象观测资料, 营养盐(4项)要素数据544个, 水温、盐度、溶解氧、压力等数据各55个, 化学要素数据136个, 拖网43次, 捕获了鳎鱼苗若干条, 为研究确定鳎鱼苗产卵区及其环境条件提供了科学依据。

表 1-1 “TOGA-COARE” CTD 比测水样参考深度 (m)

投放深度	500	1 000	1 500	2 000	>2 000
11	500	1 000	1 500	2 000	离底 200
10	400	750	1 000	2 000	2 000
9	350	500	750	1 500	1 500
8	300	400	500	750	1 000
7	250	300	300	500	500
6	200	250	250	300	300
5	150	200	200	200	250
4	100	150	150	150	200
3	75	100	100	100	100
2	50	50	50	50	50
1	10	10	10	10	10

第二章 “TOGA-COARE” 强化观测 期间温盐结构的变化*

第一节 上混合层的时间变化

一、资料的获取

热带海洋上层温度结构的时间变化是“TOGA-COARE”的一项重要研究内容。“向阳红五号”船按照耦合实验的要求,进行了3个航次的CTD定点时间序列观测,时间分别是1992年11月5~30日、1992年12月16日至1993年1月8日和1993年1月24日至2月19日。其中每天的观测时间是00、06、12和18时(世界时)。按照“TOGA-COARE”办公室的要求,当美国考察船“Vickers”号靠港补给期间(每月10d)，“向阳红五号”船应移至强化通量区域的中心区。因此“向阳红五号”船在每个航段的预定船位是:第一航段为 2°S 、 $155^{\circ}45'\text{E}$ 和 $2^{\circ}05'\text{S}$ 、 $154^{\circ}30'\text{E}$;第二航段为 $2^{\circ}05'\text{S}$ 、 $155^{\circ}45'\text{E}$ 和 $2^{\circ}05'\text{S}$ 、 155°E ;第三航段为 $2^{\circ}05'\text{S}$ 、 $155^{\circ}45'\text{E}$ 和 $2^{\circ}05'\text{S}$ 、 155°E 。由于大洋深水漂泊作业受风和海流的影响,“向阳红五号”船需每天调整船位,力求不至于偏离预定站位。因此,实际平均站位是:第一航段为 $1^{\circ}58.4'\text{S}$ 、 $155^{\circ}45.4'\text{E}$ 和 $2^{\circ}5.2'\text{S}$ 、 $154^{\circ}29.5'\text{E}$;第二航段为 $2^{\circ}4.4'\text{S}$ 、 $155^{\circ}43.1'\text{E}$ 和 $2^{\circ}05'\text{S}$ 、 $154^{\circ}56.7'\text{E}$;第三航段为 $2^{\circ}0.6'\text{S}$ 、 $155^{\circ}46.4'\text{E}$ 和 $2^{\circ}4.6'\text{S}$ 、 $154^{\circ}57.4'\text{E}$ (见图2-1a、b、c)。经过计算,实际测点离预定船位的均方差为9.40~9.66n mile,平均距离只有8.8n mile,在大洋漂泊作业的前提下已达到相当好的定位精度。此外,由于赤道附近水文要素的纬向变化远不如经向变化明显,因此纬向的偏离并不能造成大的误差。

CTD的时间序列观测是用Mark III型CTD系统实现的(关于这套系统的技术说明见巢纪平等,1993)。取样深度大于500m。由于校准CTD的需要,每天至少有1次深水观测(>1000m)。

二、海面风场的变化

“向阳红五号”船的站位在 2°S 附近,恰是暖池的中心区,因此大气的对流发展旺盛。此外,大气的环流形势有利于西风的突发(westerly burst)。这种强的西风突发,一般出现在北半球的冬季和早春,即11月至翌年的4月和ENSO事件前及ENSO期间。根据本航次海上气象观察,在第一航段期间,东北风较弱,南向越赤道气流亦弱。强化通量区以北热带气旋活动频繁,赤道涡旋亦经常存在。第一航段的开始和结束前时段有较强的西风。第二航段期间西风加强,南向越赤道气流大为增强。强化通量区以南经常存在自东向西移动的热带气旋(或低压),并有台风出现。因此,第二航段期间西风较强,西风的持续时间亦长。整个第二

* 本章由国家海洋局第一海洋研究所刘占沛、邹娥梅、杨克奇供稿,蒲书箴对文字作了删节和增补。

航段, 观测点均为西南风和西北风 (见图 2-2)。第三航段期间, 除 1993 年 1 月 24~25 日有东风外, 其余时间均为西风。因此, 除第一航段西风持续时间较短和出现东风外, 第二、三航段存在强而持久的西风 (见图 2-2)。

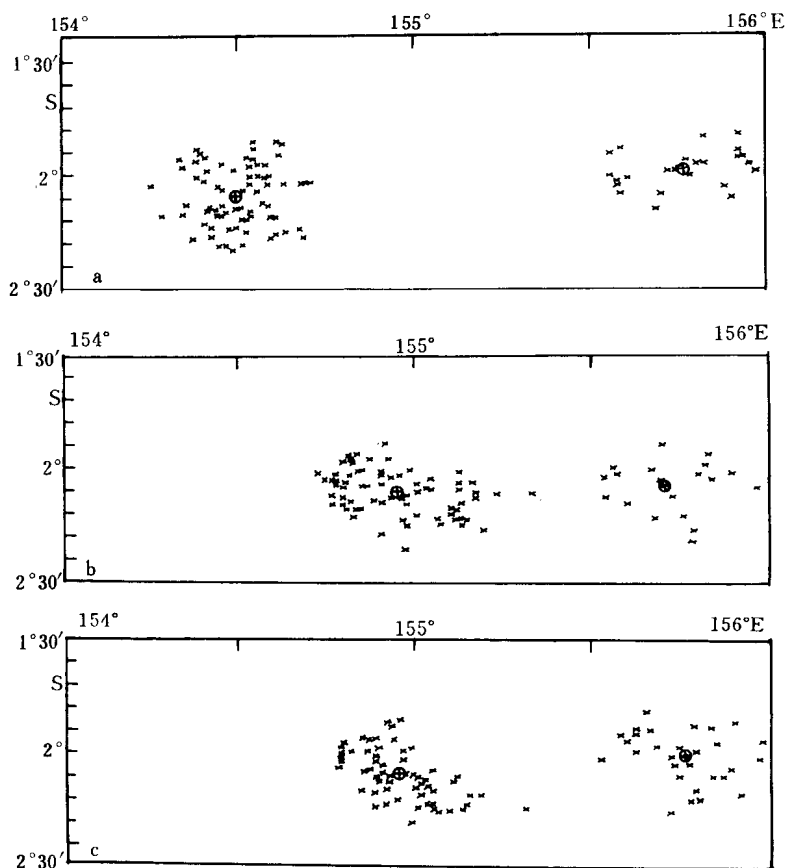


图 2-1 “向阳红五号” 船漂泊站位置
a. 第一航段 b. 第二航段 c. 第三航段

三、上混合层的变化及其对西风的响应

“TOGA-COARE” 强化观测期间热带西太平洋上层温度结构有明显的时间变化 (见图 2-3), 图中的圆点将每个航段东西两个测点的时间序列分开 (图 2-3 中圆点左边的曲线对应于图 1-1 中东边的测点, 而图 2-3 中圆点右边的曲线对应于图 1-1 西边的测点)。如图 2-3 所示, 第一航段期间, 图 2-3a 左边观测点 75m 以浅的表层水温均低于 29°C , 但第二航段期间 50m 以浅的表层海水变暖, 水温大于 29°C (图 2-3b 左侧)。第三航段该测站大于 29°C 的水层变薄, 仅位于 30m 以浅的近表层 (图 2-3b 左侧)。图 2-3 中右边测点, 近表层水温于第一航段期间, 50m 以浅均大于 29°C (图 2-3a 右侧)。但第二航段期间, 大于 29°C 的近表层水消失, 近表层水变

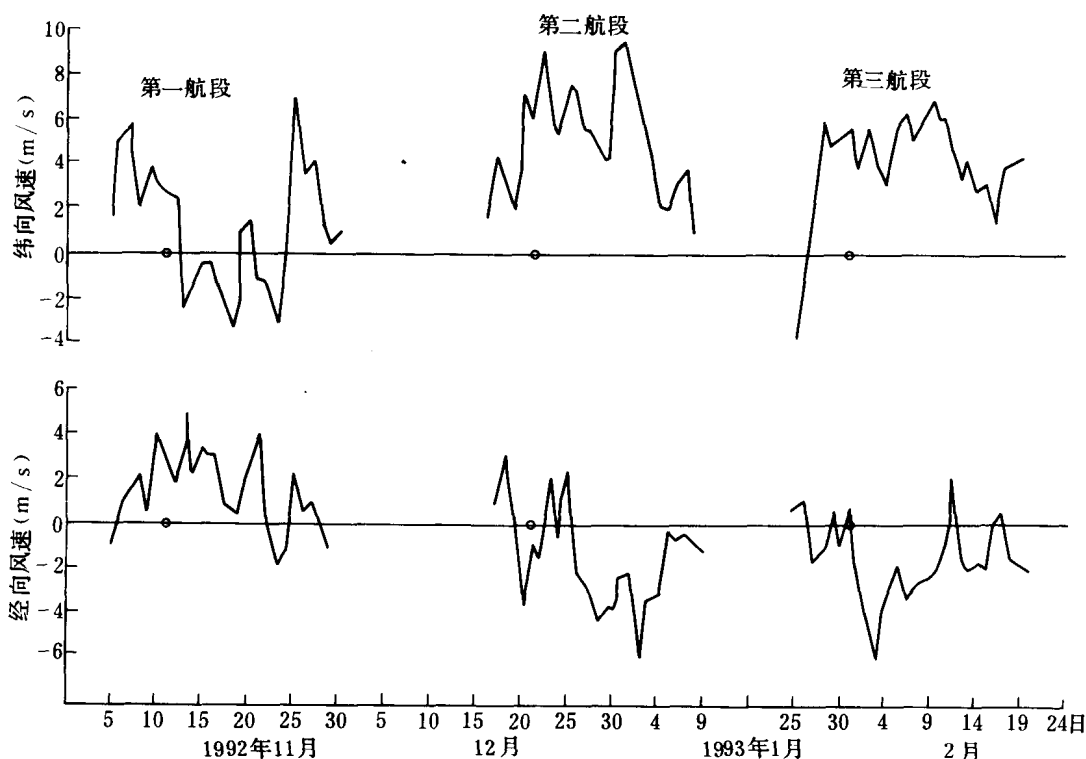


图 2-2 海面日平均风的变化

上图, 纬向风速 下图, 经向风速

冷(图 2-3b 右侧)。这种变冷可能主要由两种过程支配, 其一是由于西风增强引起的东向赤道急流增强, 因而引起表层暖水东移; 其二则是由于西风增强引起的潜热释放增加。另外可能与降水有关。前一原因, 对比图 2-3a、b 或许能清楚地加以理解, 即在图 2-3a 右边观测点, 第一航段期间 50m 以浅水温均大于 29°C , 但在第二航段期间, 它的近表层海水变冷, 大于 29°C 的近表层水消失。而在其邻近的东边观测点于第二航段, 50m 以浅的表层水变暖, 并已为大于 29°C 的暖水所盘踞, 这就表明, 西边点的暖水, 通过赤道季风急流向东输送, 因而使其东边点的近表层水变暖。关于热带海洋对西风突发的这种响应, 以及近表层东向赤道季风急流的形成的关系, 可参阅 McPhaden 等人 (1992) 的文章。在此不予赘述。

此外, 海洋上层温度结构对西风的响应, 引起了上层温度梯度和上混合层厚度的变化, 由图 2-3 还可看到, 东边测点(图 2-3 的左侧)在第一航段期间, 28°C 等温线均大于 75m, 上均匀层较深。但第二航段期间, 28°C 等温线上浮, 75m 以浅温度垂直梯度增大。第三航段 28°C 等温线已上升至 50m 以浅, 温度垂直梯度增大, 上均匀层变浅。西边测点(图 2-3 右侧)第一航段期间, 75m 以浅存在较大的温度垂直梯度, 且 50m 以浅有大于 29°C 的近表层暖水存在。至第二航段, 50m 以浅大于 29°C 的暖水消失, 上均匀层加深。温度结构的这种变化与西风的加强是一致的。第三航段期间, 西风仍然较强, 50m 以浅大于 29°C 的暖水大部分时间仍然存在。