

南海季风试验研究^{*}

丁一汇¹⁾ 李崇银²⁾ 柳艳菊¹⁾ 张锦¹⁾ 宋亚芳¹⁾

1) (国家气候中心, 北京 100081)

2) (中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

P425 A

摘要 介绍了“九五”国家攀登项目“南海季风试验”外场观测系统和主要结果。该试验是一次旨在了解南海季风爆发、维持和变化主要物理过程的大气与海洋联合试验, 是由十几个国家与地区参加的一次大型国际合作项目。通过1998年5~8月的外场观测试验, 取得了大量和多种大气与海洋的加密观测资料, 为南海和东亚季风及其与海洋的相互作用研究提供了比较完善的资料集。目前研究正在深入阶段。作者只是对这个试验的一般情况作了说明。

关键词: 南海季风; 试验; 外场观测; 季风爆发; 海气相互作用

1 引言

南海是连接西太平洋、爪哇海和印度洋的重要纽带, 南海地区也是世界经济发展最重要的地区。掌握并改善南海地区的天气与气候预报, 对东亚和东南亚一些国家及地区的农业和社会经济发展起着重大作用, 因此无论是从科学研究还是经济发展的需求上, 均需在南海地区进行一次较大规模的季风试验。南海季风试验研究是一个多国和多地区协作的大型大气—海洋联合观测计划, 也是这个地区第一次大规模的气象和海洋学家的联合研究。南海季风试验是由东亚及其邻近国家的气象部门和其他科研机构紧密合作共同完成的项目, 它同正在进行的中国、美国和国际性的外场试验是同步的。例如, 全球能量和水循环试验 (GEWEX) 以及气候变率和可预报性计划研究试验 (CLIVAR)。参与南海季风试验外场加强和加密观测的有中国大陆南方10省市、美国、日本和澳大利亚、东南亚7国 (泰国、越南、马来西亚、新加坡、文莱、印度尼西亚、菲律宾) 以及台湾、香港、澳门等地区。

2 科学目标和研究任务

南海季风试验的主要科学目的是:

更好地了解东南亚和中国南部地区的季风爆发、维持和变化的主要物理过程, 从而改进对季风的预报¹⁾。

为了达到这一目的, 制定了如下具体的科学目标:

(1) 论述和确证与南海季风有关的大尺度大气环流、热力场, 基本的海流型和温盐

2002-02-24收到, 2002-03-12收到修改稿

^{*} 科学技术部攀登预研项目“南海季风试验” (SCSMEX) 资助

1) 南海季风试验项目办公室, “南海季风试验”科学计划, 1995

结构等时空演变特征。

(2) 确定南海和周围地区之间的热力差异, 南海早期(4~5月)季风对流和多尺度过程对东亚季风爆发以及随后演变的影响。

(3) 阐明南海地区海洋对季风强迫响应的物理过程, 海气相互作用过程及其与邻近海洋的关系。

(4) 评估和改进区域模式、全球模式在模拟和预报华南、东南亚季风爆发及其演变的能力。

南海季风试验的3个组成部分如下:

(1) 前期预研究阶段主要是进行观测平台的前期部署以便加强监测工作, 并借助于诊断和模拟研究方法检验观测方案的可行性。

(2) 外场试验阶段包括在加密观测期(IOP), 用大批气象、海洋观测平台和卫星进行观测。

(3) 充分利用从区域到全球各种尺度的模式, 在观测的基础上研究季风的物理机制, 并且通过四维资料同化增加外场试验部分的观测资料。

3 外场观测

南海季风试验研究的核心内容之一是进行为期4个月(1998年5~8月)的外场观测(大气观测、海洋观测、海气界面观测、卫星观测等)¹⁾。观测项目包括无线电探空、地面观测、雷达、科学考察船、无人飞机、卫星观测、海洋边界层和通量测量、综合探空系统(ISS)、辐射、ATLAS浮标、漂流浮标、声学多普勒海流计(ADCP)、温度电导率测温仪(CTD)、空投式温深仪(AXBT)等大气、海洋最先进的观测手段和观测平台。在参试国家、地区的大力支持下, 历时4个月的外场试验圆满结束, 按预定计划成功地观测到了南海北部的早期季风爆发, 全面爆发和季风气流北推至江南和长江流域的过程, 取得El Niño事件影响下东亚季风区大量宝贵的资料, 为后期的研究工作奠定了坚实的基础。

3.1 试验观测网

南海季风试验设大尺度观测区和加密试验区。大尺度观测区(70~150°E, 10°S~40°N)主要以常规观测为主; 加密试验区为南海及其附近地区(10°S~30°N, 95~130°E), 试验区内设南北两个通量观测阵(IFA), 进行探空、ISS、无人飞机、双多普勒雷达、辐射、边界层通量及海洋综合观测。

3.2 试验观测期

南海季风试验(SCSMEX)的外场试验加强观测阶段为1998年5月1日~8月31日, 其中5月5日~25日和6月5日~25日为加密观测的两个时期(IOP)。第一个IOP重点监测南海夏季风爆发前后季风的演变及其对华南降水的影响。第二个IOP重点监测东亚季风盛期和北推时期南海上空的大气和海洋条件及其对长江流域降水的影响。

1) 南海季风试验项目办公室, “南海季风试验”外场观测总结汇编, 1998

3.3 外场观测平台

外场观测试验主要由大气观测网、海洋观测网、海气界面观测网和卫星观测网 4 部分组成。

3.3.1 大气观测网

(1) 探空观测

探空观测是测量 30 km 以下大气结构的主要手段。参加 SCSMEX 的陆地和岛屿探空测站共有 66 个, IOP 期间加密探空站为 36 个, 实际每天进行 4 次观测的有 33 站, 两个 IOP 之间的 10 天仍连续加密观测的有 11 站。科学 1 号 (Kexue#1) 和实验 3 号 (Shiyan#3) 按预定计划分别定位于南海南部 ($109^{\circ}50'E$, $60^{\circ}13'N$) 和北部 ($116^{\circ}50'E$, $20^{\circ}22'N$) 进行探空观测, 海研 1 号在 IOP1 期间按计划进行探空加密观测。

(2) 综合探空系统观测

综合探空系统 (ISS) 又称集合探测系统。它集地面观测、边界层观测与高空观测于一体, 用一个集装箱高强度布设上述各种观测设备, 同时进行综合观测, 以获得连续的二维的气象要素分布资料。南海季风试验 ISS 布置在南海北部的东沙岛上, 这个系统包括 UHF 风廓线仪, 气球携带的 OMEGA 探空仪, 进行热力廓线探空的 RASS 系统和地面气象观测设备等。主要用于监测南海季风突然爆发和加强时期边界层和对流层气象要素的连续变化, 并配合卫星和雷达监测网, 提供南海及其下游地区的风场变化、云系演变和降水时间序列等观测资料。

(3) 光学雨量仪观测

3 部光学雨量仪分别安装在东沙、ATLAS 浮标和实验 3 号船上, 同热带测雨卫星 (TRMM) 的观测一起提供南海北部上空比较精确的降雨量测量。

(4) 风廓线仪观测

香港、新加坡和东沙站分别布有风廓线仪, 它们均按计划完成了连续测量高空风 (12~15 km 以下) 的观测任务。

(5) 无人飞机观测

东沙岛无人飞机在科学家们的精心策划下, 5 月 8 日至 25 日成功地进行了 19 次飞行。大部分在东沙岛南侧海上进行 300~1500 km 的垂直探空观测, 或进行以东沙机场、C-Pol 雷达、Shiyan#3 TOGA 雷达为中心的大圆飞行。有 3 次是配合 C-Pol 回波观测海上季风云雨系统, 5 月 15 日在雷雨单体中飞行了 6 h, 最长的飞行行为 5 月 23 日 9:20 至 24 日 10:30, 连续 25 h 进行垂直探空观测, 获得了描述东沙海域稳定天气形势下大气边界层特征的重要资料。

(6) 地面观测

参加 SCSMEX 的地面站共有 237 个, 其中在 IOP 期间每天加密观测至 24 次的有 105 站, 其余测站每天进行 8 次观测。海上 Kexue#1、Shiyan#3、海监 74 号、向阳红 14 号和海研 1 号均按计划进行了地面气象观测; 分布在南海北部的 3 个 ATLAS 浮标和南沙水暑礁、太平岛等岛屿站也取得了非常宝贵的海面大气观测资料。

(7) 雷达观测

雷达观测网由 34 部数字化天气雷达、东沙 C-Pol 雷达和 Shiyan#3 船载 TOGA

多普勒雷达组成。东沙 C-Pol 雷达成功地观测到线性对流云系及中尺度对流系统的结构资料, 实验 3 号 TOGA 多普勒雷达在 IOP 期间与东沙 C-Pol 雷达组成双多普勒雷达观测阵, 成功地测得季风爆发和对流发展过程中多个对流系统的演变生命史, 还获得了珍贵的热带飑线、对流云团和水龙卷资料。

3.3.2 海气界面观测网

(1) 通量观测

海气界面通量观测是了解海洋与大气相互作用的一种主要途径, 用以监测海气界面上热量、水汽与动量的交换。

西沙海气通量观测塔建在永兴岛西南距岛约 300 m 的海面上, 海面开阔, 塔高 18 m。梯度观测系统为 4 层: 2、4、8、16 m, 包括温、湿、风梯度观测, 温度、湿度风速脉动观测, 长波和短波辐射观测以及海温观测。本次观测完整地记录了季风爆发、中断、副高影响、冷空气入侵等过程资料, 这些资料可用于较精确地计算海气动量、感热和潜热交换。此外在东沙岛和科学 1 号、实验 3 号、海研 1 号海洋考察船上也布设了高精度的海气通量观测仪器。

(2) 辐射观测

东沙安装了美国航空航天局 (NASA) 先进的地面辐射收支观测仪, 大部分仪器元件能稳定地收录资料。东沙空气干净, 地势平坦, 观测平台周围空旷无遮蔽物, 资料有充分的代表性。根据这些资料可计算大气热量收支, 以此了解加热场对季风的推动作用。

3.3.3 卫星观测

卫星观测包括地球同步卫星 (GMS-5)、极轨卫星 (NOAA) 和热带测雨卫星 (TRMM)。它与探空观测共同构成南海季风试验高空大气观测网, 这些卫星测量得到的资料为南海季风试验和研究提供降水反演资料以及云、高分辨的黑体温度 (TBB)、射出长波辐射 (OLR)、水汽通道、海面温度和植被、陆面过程等方面的资料。相当黑体温度和射出长波辐射资料可以非常清楚地检测季风中对流云系的连续变化。

3.3.4 海洋观测

(1) 海洋科学考察船

海洋科学考察船是近代大气、海洋考察和观测的必备平台。在海洋考察船上, 不仅可以观测大气中的各种气象要素, 施放探空气球, 布设雷达, 而且是测量海气界面和海洋中各种要素的主要平台。先后有 6 艘海洋科学考察船参加 SCSMEX 观测, 并按计划圆满完成了大气和海洋学观测任务, 获得大量的大气、海气界面通量以及海洋中的温度、盐分与海流的资料, 同时得到数百个从海表直到深海的海洋剖面资料。此外, 海洋考察船作为大气观测平台, 施放了近 500 个 GPS 探空设备, 测得每隔 10 s 的大气要素。

(2) 浮标

锚碇浮标: 台湾科学家在东沙至太平岛之间投放了 3 个大型 ATLAS 浮标。1 号位于 (18°N, 115°E); 2 号位于 (15°N, 115°E); 3 号位于 (12°N, 114°E)。东沙附近也布置了一个浮标, 观测一直良好。此外在巴士海峡及南海北部施放了 9 个海洋锚碇浮标。这些浮标获得了连续、宝贵的大气和海洋观测资料。

漂流浮标: 海监 74 号船 4 月 28 日和向阳红 14 号船 6 月中下旬, 在南海南部分别投放了 4 个 ARGOS 漂流浮标。

(3) AXBT 飞机下投式温深仪

在南海区域由美方飞机投放了数百个温深仪, 可获得高空间密度的海表面温度资料, 这种资料对于监测南海海表温度的详细分布十分有价值。

4 组织机构与资料中心

SCSMEX 包括两个组织, 为组织委员会 (SOC) 和科学指导委员会 (SSC)。此外, 中国国内成立了由 11 人组成的专家委员会, 其他参与国家和地区也成立了相应的机构负责 SCSMEX 试验和研究工作, 美国成立了 SCSMEX 联络办公室。在 SCSMEX 外场观测期间, 广州建立了作业中心, 负责发布作业指令, 指挥各观测平台操作, 协调各国和各地区以及各观测平台之间的工作任务。该中心每天定时进行天气会商, 讨论季风活动的发展, 并通过 Internet 网和中国气象局 9210 网向国内外发布每日天气公报和作业公报, 同时通过中国气象局和广州区域中心局域网, 对各观测平台的工作进行实时监测。

SCSMEX 试验建立了两个类别的资料中心。第一类为国家级 (或地区级) 资料中心, 主要由各参加国 (或地区) 负责处理本国 (或地区) 范围内的试验观测数据, 和组织管理本国的试验资料。第二类为 SCSMEX 资料中心, 设在北京, 其任务是负责资料的收集与分发; 校验 SCSMEX 试验期间的所有观测数据并进行质量控制, 统一进行资料同化分析; 整编和确定最后的资料集, 建立最终完善的 SCSMEX 资料库, 提供便于使用的各类资料。另外, 广州也建立了大气资料和海洋资料分中心, 协助 SCSMEX 资料中心工作。

5 主要成果

5.1 外场试验成果

在第一次外场试验中, 海峡两岸的科学家共出动了 6 条海洋科学考察船, 同时在南海北部布设了世界上最先进的双多普勒雷达和无人飞机, 在南海腹地布设了大型海洋浮标系统进行观测。中国科学家还在西沙附近海面建立了第一座边界层观测塔。通过 1998 年夏季外场观测取得了大量宝贵的第一手资料, 试验获得了空前成功¹⁾。2000 年第一季度召开的全美地球物理学学会 (AGU) 以及美国气象学会会刊上均全面介绍了南海季风试验的初步成果, 引起了世界气象和海洋界的关注, 在国内外产生了重大影响。

5.2 科学研究初步成果

南海季风试验已取得以下 6 项初步成果^[1]。

(1) 外场观测试验所取得的大量资料已被中、日、美等先进国家送入四维资料同化

1) 南海季风试验项目办公室, “南海季风试验”宣传画册, 1999

系统, 并制作了高精度的南海季风四维资料同化集。目前这些资料已在国内外科学研究中得到较广泛的引用。

(2) 南海季风试验以大量的观测事实, 确认了中国科学家提出的南海是亚洲夏季风爆发最早的地区这一科学论断, 并进一步揭示了南海夏季风爆发的确切演变过程和特征。尤其是研究揭示了海温变化和大气季节内振荡的活动对南海夏季风爆发的作用。在此基础上, 初步提出了南海夏季风爆发的理论见解。

(3) 研究并确定了几种有科学意义的描写南海夏季风活动和演变的季风指数; 并通过一系列资料分析和数值模拟试验, 指出了南海夏季风的强、弱异常是全球气候系统异常的重要组成部分。南海夏季风偏强(弱), 不仅会造成长江流域-日本南部一带夏季降水量偏少(多), 华北一带夏季降水量偏多(少), 而且, 因南海夏季风异常所引起的由南海/菲律宾沿东亚至北美的大气遥相关型(波列)的变化, 将影响北美地区乃至北半球的大气环流和气候异常。最近, 美国科学家也开始使用南海及邻近海区的季风和海温变化因子作为美国本土旱涝预报的指标。

(4) 南海海洋观测揭示了南海海洋与季风相互作用的特征。南海及其周边海洋与季风的爆发和演变存在着极其密切的相互作用: 这一地区前期的海温影响着季风爆发的早晚和强度; 季风爆发后, 季风的扰动又影响邻近地区的海温变动; 这种变动又通过不同尺度的海洋热力和动力学过程反过来再影响南海季风的演变, 并通过这种演变进而影响西太平洋、东南亚、甚至北美遥远地区的天气与气候状况。因而, 南海及周边地区是北半球天气气候发生的一个强迫源地和变化最敏感地区。抓住了这些变化, 特别是早期的变化就能改进季度甚至年度的天气气候预报。

(5) 南海季风计划研制出海气耦合的区域气候模式, 并取得初步试验的成功。这为我国和东亚季风的预报和机理研究提供了十分重要的方法和工具。目前国际上还没有这类模式, 如能得到进一步改进和完善, 将能达到国际先进水平。

(6) 南海季风试验建立了综合、完整的资料库。目前, 绝大部分资料已通过 Internet 网向国内外公开发布, 并已被广泛访问, 产生了极好的国际影响。其中, 美国科学家已用这些资料进行了深入的理论和数值研究, 并准备与澳大利亚合作(也希望中国参加), 检验他们的业务模式。其他不少地区和国家包括日本前沿研究计划和气象厅, 也使用这份资料来改进、检验他们业务预报系统的性能。

6 结论

南海季风试验是一次成功的国际性大气与海洋联合试验与研究。该试验以所取得的新资料证实了过去中国气象学家发现的事实, 并且通过最近的研究又揭示了不少新的成果。这些为亚洲季风预报与短期气候预测提供了重要的依据。

参 考 文 献

- 1 丁一汇、李崇银主编, 南海季风爆发和演变及其海洋的相互作用, 北京: 气象出版社, 1999.

South China Sea Monsoon Experiment

Ding Yihui¹⁾, Li Chongyin²⁾, Liu Yanju¹⁾, Zhang Jin¹⁾, and Song Yafang¹⁾

1) (*National Climate Center, Beijing 100081*)

2) (*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Abstract The present paper gives an overview of the key project "South China Sea Monsoon Experiment (SCSMEX)" operated by the Ministry of Science and Technology of China during the period of 1996~2001. The SCSMEX is a joint atmospheric and oceanic field experiment with aim at better understanding onset, maintenance and variability of the summer monsoon over the South China Sea (SCS). It is a large scale international effort with many participating countries and regions cooperatively involved in this experiment. With the field observation in May–August, 1998, a large amount of meteorological and oceanic data have been acquired, which provide excellent datasets for the study of the SCS and East Asian monsoon and their interaction with the ocean. The preliminary research results are very encouraging. The follow-up study is now underway.

Key words: South China Sea Experiment; observation; field experiment; monsoon onset; air–sea interaction