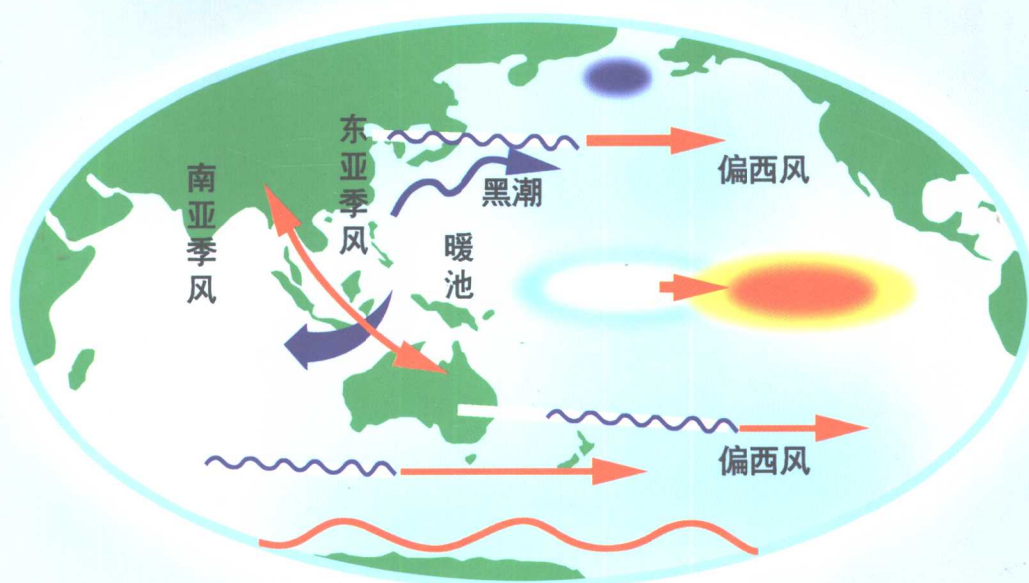


大洋暖池及其影响

—— 与 El Nino、西太平洋副高、中国降水
及中国沿海自然灾害的关系

周春平 著



气象出版社

大洋暖池及其影响

——与 El Nino、西太平洋副高、中国降水及
中国沿海自然灾害的关系

周春平 著

气象出版社

内容简介

本书主要研究大洋暖池及其与 El Nino、西太平洋副热带高压、中国降水及中国沿海自然灾害的关系。分析了大洋暖池区各种物理气候要素的时空分布特征,研究了大洋暖池的面积、中心、SST 的季节性和年际变化特征,初步探讨了大洋暖池的成因。从 SST、面积、界限、暖池中心、次表层和深层水温、云量、降水、风场、海流、热通量、水位等方面研究了热带西太平洋暖池对 El Nino 的响应、大洋暖池和西太平洋副热带高压之间的关系对中国降水及中国沿海自然灾害的影响。

图书在版编目(CIP)数据

大洋暖池及其影响:El Nino、西太平洋副热带高压、中国降水及中国沿海自然灾害的关系/周春平著. —北京:气象出版社,2001.8

ISBN 7-5029-3228-3

I. 大… II. 周… III. ①大洋环流:暖流—关系—降水—研究—中国②“厄尼诺”现象—关系—降水—研究—中国③热带—高压(气象)—关系—降水—研究—中国④气象灾害—沿海—研究—中国 IV. P426.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 060628 号

大洋暖池及其影响

——与 El Nino、西太平洋副高、中国降水及
中国沿海自然灾害的关系

周春平 著

责任编辑:吴庭芳 俞卫平 终审:纪乃晋

封面设计:创世佳图文 责任技编:吴庭芳 责任校对:寇红薇

气象出版社出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

北京市兴怀印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

2001 年 8 月第一版 2001 年 8 月第一次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:9.5 字数:200 千字

印数:1~500

ISBN 7-5029-3228-3/P·1138

定价:20.00 元



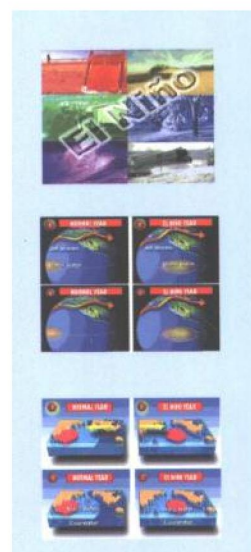
周春平 男, 1966年出生, 1992年毕业于北京大学遥感与地理信息系统研究所, 获硕士学位, 1993年入中国科学院地理研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 师从陈述彭院士, 1996年获得博士学位。之后, 在北京大学遥感与地理信息系统研究所做博士后工作, 1998年出站到北京市遥感信息研究所工作。已在专家系统、海洋气候、图像处理、遥感应用、地理信息系统 (GIS) 及全球定位系统 (GPS) 车辆导航的理论和技术研究等方面取得了国内外前沿水平的成果。在国内外各级学术刊物上发表论文 50 余篇, 获国防专利 1 项。现致力于对卫星图像超分辨率的理论和方法进行研究和探索。

作者就大洋暖池各种物理性质的地理分布的分析是当前最全面与最准确的,所做的大量相关分析证明了暖池对气候变化有重大的影响,有十分难得的预报意义。其中暖池与副高关系更是众多副高研究成果中的佼佼者,其中许多关系可直接引用到预报业务中。本项研究不但加深了科学界对暖池的认识,而且分析与资料成果有广泛的应用价值……

——**张家诚**·研究员,原
中国气象科学研究院院长

这可能是1989年美国夏威夷大学K·Wyrtki教授的大洋暖池工作以后,使用更新更全资料和GIS技术所作的最有价值的宏大工作……

——**杨华庭**·国家海洋局
海洋发展战略研究所研究员



目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 所用资料情况说明	(2)
1.3 大洋暖池研究简史及相关主要研究计划	(3)
参考文献	(6)
第二章 暖池区各种物理气候要素的时空分布特征	(11)
2.1 海面大气热力及水分状况	(11)
2.1.1 海表水温	(11)
2.1.2 海面气温	(11)
2.1.3 海气温差	(12)
2.1.4 海面湿度	(12)
2.1.5 总云量	(13)
2.2 海面大气运动学和动力学特征	(14)
2.2.1 海平面气压	(14)
2.2.2 纬向风分量	(14)
2.2.3 经向风分量	(15)
2.2.4 合成风速	(15)
2.2.5 海面失量风场	(15)
2.3 海面动量通量	(16)
2.3.1 海面纬向动量通量	(16)
2.3.2 海面经向动量通量	(16)
2.3.3 海面动量通量矢量场	(17)
2.4 海面热量收支	(17)
2.4.1 海面吸收的短波辐射	(17)
2.4.2 海面长波有效辐射	(18)
2.4.3 感热通量	(18)
2.4.4 潜热通量	(18)
2.4.5 海面热量净收支	(19)
参考文献	(20)
第三章 大洋暖池的变化特征	(22)
3.1 暖池的概念	(22)
3.2 暖池面积随季节的变化	(25)
3.3 暖池中心随季节的变化	(29)

3.4 暖池面积、中心季节性变化原因初探	(32)
3.5 大洋暖池 SST 和东太平洋 SST 的季节性变化关系	(34)
3.6 大洋暖池面积的年际变化	(40)
3.7 大洋暖池海表水温的年际变化	(42)
3.8 大洋暖池温度年际变化和面积年际变化的相互关系	(50)
参考文献	(50)
第四章 大洋暖池成因初探	(54)
4.1 太阳辐射	(54)
4.2 风和洋流的作用	(58)
4.3 暖池上空薄卷云的温室效应	(60)
参考文献	(62)
第五章 热带西太平洋暖池和 El Nino 的关系	(65)
5.1 ENSO 的概念	(65)
5.2 近 40 年来 El Nino 发生概况	(66)
5.3 热带西太平洋暖池的海表水温、面积、界线及暖池中心对 El Nino 的响应	(67)
5.4 热带西太平洋暖池次表层和深层水温对 El Nino 的响应	(76)
5.5 热带西太平洋暖池上空的云量及降水对 El Nino 的响应	(79)
5.6 热带西太平洋暖池区风及海流对 El Nino 的响应	(79)
5.7 热带西太平洋暖池热通量对 El Nino 的响应	(82)
5.8 热带西太平洋暖池水位变化对 El Nino 的响应	(84)
附:热带西太平洋暖池区初级生产力对 El Nino 的响应	(84)
参考文献	(86)
第六章 大洋暖池和西太平洋副热带高压之间的关系	(91)
6.1 西太平洋副热带高压的概念	(91)
6.2 热带西太平洋暖池和西太平洋副热带高压的季节性变化关系	(92)
6.2.1 热带西太平洋暖池面积和副热带高压面积指数季节性变化的关系	(92)
6.2.2 热带西太平洋暖池中心在纬线方向上的季节性变化和副热带高压西伸脊点季节性变化的关系	(93)
6.2.3 热带西太平洋暖池中心经线方向上的季节性变化和副热带高压脊平均位置季节性变化的关系	(93)
6.3 大洋暖池和西太平洋副热带高压的年际变化关系	(95)
6.3.1 大洋暖池面积和西太平洋副热带高压面积指数的年际变化关系	(95)
6.3.2 大洋暖池面积和其它西太平洋副热带高压指数的年际变化关系	(101)
第七章 大洋暖池对中国降水的影响	(106)
7.1 综述	(106)
7.1.1 热带东太平洋海域	(106)
7.1.2 黑潮海域	(107)
7.1.3 南海海域	(108)
7.1.4 热带西太平洋暖池海域	(108)

7.2 研究的基本思想及资料	(109)
7.2.1 基本思想	(109)
7.2.2 资料说明	(110)
7.3 分析方法及结果	(110)
参考文献.....	(121)
第八章 大洋暖池对中国沿海自然灾害的影响	(124)
§ 8.1 台风灾害	(124)
§ 8.2 风暴潮灾害	(126)
§ 8.3 灾害性海浪灾害	(128)
§ 8.4 海冰灾害	(130)
§ 8.5 海啸灾害	(133)
参考文献.....	(134)
第九章 回顾与展望	(136)
后记	(140)

插图和附表清单

图 1.1.1 大洋暖池示意图	(1)
图 3.1.1 大洋暖池示意图	(22)
图 3.1.2 热带太平洋多年年平均降水量(mm)	(23)
图 3.1.3 以 28℃ 等温线为界的暖池(3 月(实线)和 9 月(虚线))	(24)
图 3.1.4 由 XBT 观测结果所得的 28℃ 等温线平均深度(m)	(25)
图 3.2.1 大洋暖池面积季节性变化图	(28)
图 3.3.1 暖池中心随季节的变化图	(31)
图 3.5.1 西太平洋暖池区域选取示意图	(35)
图 3.5.2 区域不同的西太平洋暖池 SST 平均值随季节变化图	(37)
图 3.5.3 东印度洋暖池 SST 平均计算选取区(左侧)和东太平洋平均 SST 计算选取区(右侧)	(37)
图 3.5.4 东太平洋选取区多年平均 SST 季节性变化	(39)
图 3.5.5 东印度洋选取区多年平均 SST 季节性变化	(39)
图 3.5.6 不同范围的东印度洋暖池、西太平洋暖池及东太平洋 SST 季节性变化图	(40)
图 3.6.1 大洋暖池面积的年际变化(1949~1979 年)	(41)
图 3.6.2 大洋暖池面积指数年际变化距平图	(41)
图 3.6.3 大洋暖池面积指数年际变化图	(43)
图 3.7.1 第一模态的空间位相和振幅	(44)
图 3.7.2 第二模态的空间位相和振幅	(45)
图 3.7.3 第三模态的空间位相和振幅	(45)
图 3.7.4 热带东太平洋冷水舌区(180°~90°W, 0°~10°S)的 SST 年际变化与其它海区 SST 年际变化的相关系数分布($\tau = 0$, 同期相关)	(46)

图 3.7.5	热带东太平洋冷水舌区($180^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$, $0^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{S}$)的 SST 年际变化与其它海区 SST 年际变化的相关系数分布($\tau = -1$, 延时一个季度)	(47)
图 3.7.6	计算区选取示意图	(48)
图 4.1.1	晴天时总辐射量随时间及纬度的变化	(55)
图 4.1.2	(a)晴天总辐射量表征值季节性变化(b)实际 SST 平均值的季节性变化	(56)
图 4.1.3	晴天时各纬度总辐射量表征值的季节性变化	(56)
图 4.1.4	各纬度年晴天总辐射量的表征值	(57)
图 4.1.5	实际 SST 各纬度季节性变化图	(58)
图 4.2.1	赤道对流圈纬向环流图	(58)
图 4.2.2	赤道太平洋信风强弱与暖水分布关系	(59)
图 4.2.3	风场对暖水分布影响比较图	(60)
图 5.2.1	美国 CAC 的海温指示区	(67)
图 5.3.1	西太平洋暖池 1 区 SST 的平均变化对 El Nino 及 La Nina 的响应	(71)
图 5.3.2	大洋暖池面积指数及 El Ninio 和 La Nina 的发生时段及指数	(74)
图 5.3.3	西太平洋暖池年平均变化	(75)
图 5.3.4	西太平洋暖池中心(重心)在纬线方向上的年平均变化	(76)
图 5.3.5	西太平洋暖池东部边界的年平均变化	(76)
图 5.4.1	西太平洋海温敏感区海温变化曲线	(78)
图 5.4.2	西太平洋不同深度海温与东太平洋海表温度相关曲线	(78)
图 5.4.3	西太平洋暖池混合层深度(D)及海洋上层热含量(H)的年际变化	(78)
图 5.5.1	暖池区降水的长期变化曲线	(79)
图 5.5.2	1982 年 8 月至 1983 年 7 月年平均降水分布距平图	(80)
图 5.6.1	暖池区纬向风的长期变化曲线	(81)
图 5.6.2	1961~1989 年 Ponape 岛 850 hPa 纬向风距平和东太平洋赤道 SST 距平的时间变化曲线	(81)
图 5.6.3	El Nino 发生前后经向(a)、纬向(b)风距平的合成结果	(82)
图 5.7.1	El Nino 年热通量(b)和多年平均热通量(a)季节性变化	(83)
图 5.7.2	El Nino 年 3~7 月平均热通量多年变化图	(83)
图 5.8.1	(a) 东太平洋 Nino1+2+3+4 区 SST 距平曲线(1951~1987 年);(b) La Libertad 站 MSL 距平曲线(1951~1987 年);(c) Truk 站 MSL 距平曲线(1953~1986 年)	(85)
图 5.8.2	合成 ENSO 事件期间西太平洋表征岛水位距平	(86)
图 6.2.1	西太平洋暖池面积和副热带高压面积指数季节性变化关系图	(93)
图 6.2.2	西太平洋暖池经度中心(重心)季节性变化(虚线)和 500 hPa 西太平洋副热带高压西伸脊点季节性变化(实线)关系图	(94)
图 6.2.3	西太平洋暖池中心(重心)在经线方向上的季节性变化(虚线)和 500hPa 副热带高压脊线平均位置的季节性变化(实线)的关系图	(94)
图 6.3.1	副热带高压面积指数和大洋暖池 28°C 面积指数的年际变化关系图	(95)

图 6.3.2	副热带高压面积指数和大洋暖池 29℃ 面积指数的年际变化关系图	(97)
图 6.3.3	6、7、8 月副热带高压面积指数分别与当年 1、3 月大洋暖池 28℃ 面积指数的 年际变化关系图	(99)
图 6.3.4	6、7、8 月副热带高压面积指数分别与当年 3 月大洋暖池 29℃ 面积指数的年 际变化关系图	(100)
图 6.3.5	6 月副热带高压面积指数与上一年 6 月大洋暖池 28℃、29℃ 面积指数的年 际变化关系图	(101)
图 7.2.1	160 降水站站点分布图	(111)
图 7.3.1	中国 160 站 6 月降水和上一年 3 月暖池 28℃ 北界指数相关图	(113)
图 7.3.2	中国 160 站 7 月降水和当年 3 月暖池 28℃ 面积指数相关图	(114)
图 7.3.3	中国 160 站 6 月降水和当年 9 月暖池 28℃ 面积指数相关图	(115)
图 7.3.4	中国 160 站 6 月降水和当年 7 月暖池 28℃ 面积指数相关图	(116)
图 7.3.5	中国 160 站 8 月降水和当年 8 月暖池 29℃ 面积指数相关图	(117)
图 7.3.6	中国 160 站 8 月降水和当年 4 月暖池 29℃ 面积指数相关图	(118)
图 7.3.7	中国 160 站 7 月降水和当年 5 月暖池 28℃ 北界指数相关图	(119)
图 7.3.8	中国 160 站 6 月降水和当年 5 月暖池 28℃ 北界指数相关图	(120)
图 8.1.1	大洋暖池 28℃ 面积指数(虚线)与西北太平洋热带气旋(实线)关系图	(125)
图 8.1.2	大洋暖池 28℃ 面积指数(虚线)与中国沿海登陆台风(实线)发生次数关系图	(125)
图 8.2.1	大洋暖池 28℃ 面积指数距平变化图	(128)
图 8.3.1	大洋暖池 28℃ 面积指数与中国沿海灾害性海浪发生次数关系图	(129)
图 8.4.1	大洋暖池 28℃ 面积指数(虚线)与中国沿海灾害性海冰(实线)发生关系图	(132)
表 3.2.1	热带西太平洋暖池多年平均逐月面积	(26)
表 3.2.2	东印度洋暖池多年平均逐月面积	(27)
表 3.4.1	热带西太平洋暖池随太阳辐射的变化	(33)
表 3.4.2	东印度洋暖池随太阳辐射的变化	(34)
表 3.5.1	表征西太平洋暖池的 6 个区多年平均 SST 月平均值	(36)
表 3.5.2	东太平洋及东印度洋暖池区不同范围 SST 多年平均值	(38)
表 3.6.1	大洋暖池 28℃ 和 29℃ 面积指数逐月相关系数	(42)
表 3.7.1	选择计算区的范围及选取原因	(47)
表 3.7.2	各海区 SST 相关系数结果(504 个样本)	(47)
表 3.8.1	大洋暖池面积和各区 SST 年际变化相关系数	(50)
表 5.2.1	El Nino 和 La Nina 特征时间序列	(67)
表 5.3.1	表征不同尺度西太平洋暖池的区域参数	(68)
表 5.3.2	1950~1979 年 9 次 El Nino 过程中三个区域 SST 变化	(69)
表 5.3.3	1950~1987 年 11 次 El Nino 过程中西太平洋暖池中心、边界变化 的序列	(72)
表 6.3.1	副热带高压面积指数和上一年大洋暖池 28℃ 面积指数相关系数	(95)

表 6.3.2	副热带高压面积指数和当年大洋暖池 28℃ 面积指数相关系数	(96)
表 6.3.3	副热带高压面积指数和上一年大洋暖池 29℃ 面积指数相关系数	(98)
表 6.3.4	副热带高压面积指数和当年大洋暖池 29℃ 面积指数相关系数	(98)
表 6.3.5	副热带高压特征量与上一年大洋暖池 28℃、29℃ 面积指数相关系数	(102)
表 6.3.6	副热带高压特征量与当年大洋暖池 28℃、29℃ 面积指数相关系数	(103)
表 6.3.7	副热带高压特征值与暖池 28℃、29℃ 面积指数关系特点表	(104)
表 7.2.1	站名与站号对照表	(112)
表 8.2.1	风暴潮灾害等级表	(126)
表 8.2.2	台风风暴潮及潮灾统计(1951~1990 年).....	(127)
表 8.3.1	1966~1990 年中国海 $\geq 6\text{m}$ (包括 $\geq 9\text{m}$)灾害性海浪各年发生次数	(130)
表 8.4.1	中国沿海(1950~1990 年)冰情表.....	(131)
表 8.5.1	中国沿海海啸(1950~1990 年)表.....	(133)

第一章 绪 论

1.1 引 言

近年来,全球气候变化和区域持续发展越来越受到国际社会的普遍关注,成为科学研究的新热点^[1~10]。特别是海洋,是生命的摇篮,资源的宝库,交通的要道,也是兵戎相见的战场^[3],它占整个地球表面的 71%,具有巨大的质量和热容量,是大气的主要热源、水汽源、CO₂吸收源和存贮库^[57]。例如,海洋的热容量比大气大 1200 倍,当 100m 深的海洋有 0.1℃ 的温度异常时,所释放的热量可导致其上空的气柱气温变化 6℃^[4],海洋对气候的形成、稳定 and 变化起着举足轻重的作用^[19,28,41~44,76,77]。特别值得提出的是,最近几十年的研究成果证明,大洋暖池(包括东印度洋暖池和热带西太平洋暖池)对全球气候变化及 ENSO(El Nino and Southern Oscillation)的形成具有十分重要的作用^[7,10,58,78]。

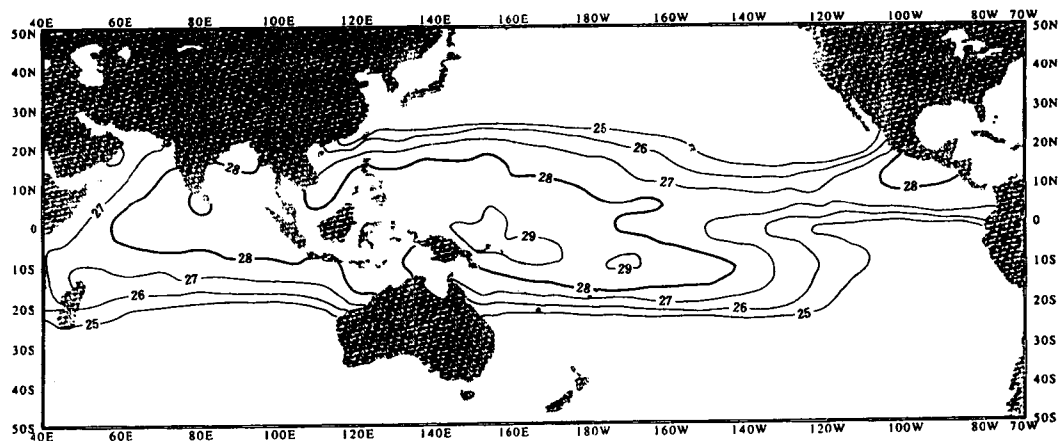


图 1.1.1 大洋暖池示意图

大洋暖池(Oceanic Warm Pool)又称“热库”或“暖堆”,如图 1.1.1 所示,指的是热带西太平洋及印度洋东部多年平均海表水温(Sea Surface Temperature,即 SST)在 28℃ 以上的暖海区。它的总面积占热带海洋面积的 26.2%,约占全球海洋面积的 11.7%。大洋暖池(指西太平洋暖池和东印度洋暖池)东西跨越约 150 个经度,南北伸展约 35 个纬度。由于被自东向西的信风吹送,大量的暖水逐渐积蓄在暖池区(指西太平洋暖池,东印度洋暖池则有所不同),致使暖池区的海表温度比东太平洋高 3~9℃^[5]。同时,由于风的作用,东太平洋的水位一般比西太平洋暖池的水位低^[27]。大洋暖池区是全球空气对流活动最强烈的地区,而且活动持久,是气候异常的根源。目前已知,在赤道附近存在三个大气加热区,一个是南美亚马逊

河流域,一个是非洲,而热带西太平洋暖池则是这三个加热区中最强的一个^[11]。通过分析卫星遥感资料可以发现,西太平洋暖池区最大对流中心、最大降水中心、绝热加热高中心和暖池中心是一致的。暖池区还经常出现带有大的盾状卷云层的超级云团系统,自西向东移动,随着超级云团的移动常有西风的爆发^[5]。大洋暖池的变化制约着亚洲和太平洋区域的气候变化和自然灾害的形成^[5,11,19,35,37,41,57,68,70,71]。例如:中国、印度、印尼、菲律宾、澳大利亚、新西兰等大范围的旱涝^[59],特别是干旱,几乎都与暖池的强弱兴衰及位置变动有关。同时,大洋暖池是侵袭我国的台风及影响东中国海海洋热动力和渔业状况的黑潮的发源地^[29],对我国具有重要的科学、社会经济和战略意义。

我国是一个农业大国,农业生产受气候因素,特别是降水、台风等的制约非常强,黄荣辉等^[20,47,60,61,83]的研究证明,热带西太平洋暖池的 SST 与我国降水有很大的关系。但是,目前人们对暖池的研究还存在着以下的问题:

- (1) 研究资料不足,特别是有关暖池的数字资料不多。
- (2) 和对东太平洋的研究相比,研究工作较少,研究起步较晚。
- (3) 研究零散、缺乏系统性。

因此,人类对暖池的了解并不很深,有关暖池的各种气候要素的时空分布情况及变化规律还很模糊,暖池对亚太地区各种气候灾害的影响还不太清楚。本文作为对暖池的基础性研究,作为起步,希望初步讨论和解决以下问题:

- (1) 大洋暖池本身到底是什么?大洋暖池区各种气候要素的空间分布的详细情况如何?空间分布随时间的变化规律又如何?
- (2) 大洋暖池及其海表水温的变化特性,大洋暖池面积和中心的季节性及年际变化如何?
- (3) 大洋暖池 SST 和东太平洋 SST 年际变化的关系如何?
- (4) 大洋暖池的成因。
- (5) 大洋暖池和 El Nino 的关系及和西太平洋副热带高压的关系。
- (6) 大洋暖池和中国旱涝降水的关系。
- (7) 大洋暖池对中国沿海自然灾害的影响。

解决了以上问题,人们对暖池及其对我国的影响才能有一个初步认识。这些研究不仅在科学上具有重大的理论和实践意义,也可对我国的农业发展、经济持续增长及国防事业做出贡献。

1.2 所用资料情况说明

为了对暖池进行全面系统的研究,笔者到中国科学院地理研究所图书馆、中国科学院图书馆、中国气象局、国家海洋预报中心图书室、海洋出版社、气象出版社、国家科技情况研究所、北京图书馆、北京大学图书馆、北京大学地球物理系图书室进行资料文献查阅,共得到国内外期刊论文 300 多篇,各种科技报告 17 份,研究生毕业论文 5 篇、图书 30 多种,还有其它内部资料。并且在国家科技情报研究所、北京图书馆、中国科学院图书馆分别进行了针对性

不同的计算机联机检索,获得了许多珍贵的文献资料。数据有 MITNewell 教授和中国学者提供的约 1800 多兆的 COADS 及其它数据;全国 160 站的温度和降水数据;有关副热带高压和各种环流指数的数据;还有来自热带西太平洋实地考察和观测数据。另外,美国二氧化碳信息分析中心(The Carbon Dioxide Information Analysis Center 即 CDIAC)给我们提供的三种数据也非常珍贵(①NDP-022/R2(1991):Globe and Hemispheric Annual Temperature Variations between 1854-1990;②NDP-035(1991): A Global Geographic Information System Data Base of Storm Occurrences and Other Climatic Phenomeno Affecting Coastal Zones;③NDP-039(1991): Two Long-Term Instrumental Climatic Data Bases of the People's Republic of China)。

1.3 大洋暖池研究简史及相关主要研究计划

热带海洋是全球接受太阳辐射最多的地区,在全球能量收支中具有特殊的地位,是运转大气热机的主要燃料供应地。大量事实表明,热带地区的海气相互作用不仅对热带地区有直接意义,而且对全球的气候变化有特殊的重要作用。关于热带地区大尺度海气相互作用的研究,应当首推 J. Bjerknes^[74]。1966 年,他将赤道太平洋 SST 的变化与南方涛动合理地联系起来,认为沿赤道东西向温度梯度存在的年际变化与信风有关,并首次将纬圈方向的热力环流圈命名为 Walker 环流,提出大气遥相关(Teleconnection)的概念,指出赤道海区 SST 的异常可影响到中纬度西风。

80 年代以前,人们并不特别关注大洋暖池,对大洋暖池的调查工作也不多^[29],1935~1942 年日本军国主义者向太平洋区域扩展势力范围进行过一些调查,二次世界大战后,在 1957 年的国际地球物理年、1966~1967 年苏联、法国以及在 1975~1977 年日本的黑潮联合研究计划中,日本在 137°E 和 155°E 及法国在 165°E 剖面进行了部分考察。

国外对大洋暖池的研究大体上从 80 年代开始的,科学家对太平洋的海气研究中,首先关注的是 El Nino 和南方涛动,因为研究证明这二者对全球气候异常的影响大,并直接影响到一些国家的社会经济。研究中,许多事实表明,东、西太平洋关系密切,特别是暖池与 El Nino 的形成和发展有直接关系,于是 80 年代后特别是最近几年,暖池成了人们关注和研究热点,人们试图从研究暖池入手找到 El Nino 的成因以及暖池异常变化对全球气候异常变化的影响。

在对大洋暖池的研究中,我国科学家作出了特别重要的贡献,我国科学家一直追踪世界先进研究水平,在许多领域都独占鳌头,成为研究大洋暖池的重要力量。笔者曾在 1994 年到中国科学院图书馆进行一次全球性联网检索,以 Warm Pool 为关键词的文献中,中国人写的大约占 80%以上(36 篇中有 28 篇为中国人所写)。实际上,我国科学家对海洋气候的研究基本上和全球性的方向是一致的。在 80 年代以前,我国科学家一直比较关注北太平洋和西北太平洋,取得了许多研究成果。从 80 年代开始,由于 El Nino 对世界气候变异的巨大影响,吸引了全球海洋学家和气候学家的浓厚兴趣,对东太平洋的研究成了热点。随着热带海气作用研究的飞速发展,越来越多的证据表明,热带西太平洋在海气耦合系统中占有重要的

位置,并且季节或年际时间尺度的全球大气环流异常与热带海洋 SST 距平相联系,这些联系有可能是可预报的。热带海洋和全球大气(Tropical Ocean and Global Atmosphere)(TOGA)计划正是根据上述思想于 1985 年起实施的。与此同时,中国科学院在 1985~1990 年期间,连续 5 年组织了六所 10 个航次的现场观测与基础研究,对暖池进行了许多学科的综合考察,取得了相当好的成果,得到了国内外专家的极大重视和高度评价。国家海洋局等单位也于 1985~1990 年间开展了“中美热带西太平洋海气相互作用的研究”^[59],进行了 8 个航次沿三条纬向和三条经向剖面的现场考察。这次考察中、美双方科学家感兴趣的是:(1)西太平洋海-气热通量(特别是辐射和潜热)变化对南方涛动的影响;(2)西太平洋表层温度(赤道区域)分布类型和变化对副热带高压演变,台风的生成、强度和发生频数及路径的影响;(3)赤道太平洋表层水温的变化对中纬度气压场扰动的影响;(4)赤道潜流强度、温跃层倾斜度和区域性风应力方向之间的关系;(5)由区域性海面风应力半年振荡所引起的近表层海流和温度起伏的原因;(6)研究和发展已有的海-气相互作用模式(包括描述海流和热量场对大气扰动的响应以及赤道潜流变化对南方涛动的响应等模式)等六个课题进行合作研究。

这次考察,是迄今在热带西太平洋进行的时空尺度最大、观测系统最完整、仪器设备最先进和垂直空间范围(从海面以上 23 km 至海面以下 5.6 km)内获取资料最多的考察。其中尤为宝贵的是,获取了 1986~1987 年厄尔尼诺发生、发展和消衰的全过程系统的海洋与大气资料以及 1990 年弱厄尔尼诺的资料。这些资料,是迄今国际上首次获取的宝贵资料,同时也首次发现在厄尔尼诺盛期时西太平洋赤道潜流不仅消失,而且反其道而行之——即向西流(原来是向东流)。这些资料,对于研究导致全球气候异常的厄尔尼诺发生机理,具有重要科学价值^[36,39]。

TOGA 计划^[80,81]:它始于 1985 年 1 月,预定进行为期 10 年(1985~1995 年)的现场观测和研究,它是世界气候研究计划(WCRP)的重要组成部分之一,目标是:

(1) 把热带海洋和全球大气作为一个时间相关系统进行描述,确定以年和月为时间尺度对该系统进行预报的可能程度,确定预报的机制和过程。

(2) 确定海气耦合模式的可行性,预报以月和年为时间尺度该模式的变化情况。

(3) 奠定模式设计、资料观测、数据转换系统的科学基础,以便利用海气耦合模式进行实用预报。

TOGA 计划执行以来,包括中国在内的许多国家积极参加了该计划的实施,已取得了极大的成功。其中包括建立一个具有完整体系的 TOGA 观测系统。很难使人相信,因为观测系统不完善而使 1982 年所记录的迄今最大的 ENSO 在许多月里都未被识别出来,科学家们已经研制了几种测量海洋上层和地面大气变量的仪器,人们不必再担心不能识别厄尔尼诺(El Nino)的到来了。观测系统的主体是测量洋面风、洋面温度和深度达 500 m 处的海洋温度的热带大气海洋(TAO)系泊浮标阵列。TOGA 还建立了一个沿主要航线而均匀覆盖大部分热带太平洋的 EXBT(Expendable Bathythermography)深水温度仪网,目前,海洋温度是在最深可达 500~800 m 的深度处进行测量的,将来盐度测量也会成为现实。通过近年来对赤道地区,特别是热带太平洋海气相互作用的诊断研究已揭示了 ENSO 及其影响的许多新的事实和各种基本的物理过程。在研究热带海气耦合模式方面亦取得显著进展,一大批模

式已用于 ENSO 的模拟研究,在准实时的基础上已将模式投入业务使用。并且:

① 明确了太平洋在 ENSO 中的决定作用。海洋和大气的扰动是以西太平洋暖池区沿赤道向东太平洋扩展,太平洋海表温度(SST)的扰动使热带大气的加热大范围改变,导致热带大气基本环流的大尺度扰动。

② 大气环流的扰动促使大西洋和印度洋的海表温度(SST)按 ENSO 的时间尺度进行变化,当这些变化非常大时,会引起太平洋的气候要素有较小的变化。

③ 根据耦合系统的特性,建立了二种以 ENSO 为时间尺度变化的理论体系。一种是“不稳定性理论”;另一种是“准循环平衡理论”。

④ 建立了气候预报模型,完成了第一个可运行的海洋模型。

尽管取得了以上成就,但研究中也发现了不少问题,主要问题如下:

① 当海表温度变化,特别是海表水温较高时,大气对 SST 变化的响应极为敏感,但海洋模式对海表温度的预报值总是太高,一般高出 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$,这可能是对海-气之间的热量、动力和水汽的估算不对。

② 对西太平洋暖池的热平衡了解不够,估算值和实际值相差 8 W/m^2 。

③ 热带海-气耦合系统的基本状态是如何维持的?为什么暖池的温度总在 $28\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间?在 ENSO 周期中的热阶段,暖池区的温度变化小于 1°C ,而在同一时期东太平洋海温却大幅度变化,难道说暖池区很小的温度变化会鲜明地影响大气环流吗?对这些问题,人们还不甚了解。

④ 长期平均大气辐合中心、长期平均最大降水中心、对流活动中心都在海表水温 28°C 线以内的同一地方,这是为什么?

⑤ 还没有了解短期气候变化对长期平均气候变化的影响。

正是要解决以上的问题,又提出了 TOGA-COARE (Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment) 新一代计划。

TOGA-COARE 研究计划^[80,81,86]:它研究的目的是:

- ① 进一步了解西太平洋暖池系统中海气耦合的主要过程;
- ② 暖池有组织对流的主要大气过程;
- ③ 西太平洋暖池区上,海洋对浮力和应力相结合的响应;
- ④ 研究暖池区海气系统在不同尺度上与其它地域的相互作用。

TOGA-COARE 计划的组成部分及实施阶段:

① 一部分重点在大气(ATM)。大气部分的主要目标为:确定暖池区大尺度大气对流缓慢变化背景下天气和中尺度大气环流的结构,特别要确定 $30\sim 60$ 天周期对流模式的机制;确定以上现象与海气界面热量、水分和动量通量的关系;确定西风爆发的机制;确定垂直加热分布以及天气事件和中尺度对流云团有关的过程;确定西太平洋大尺度大气对流季节变化特征,包括海面风场及其与行星尺度现象之间关系的细节;确定由东太平洋下沉区至西太平洋对流区热带边界层的过渡;确定暖池区加热及运动过程,以及它对热带和全球的影响。

② 一部分重点在海洋(OCE)。海洋部分的主要目标为:确定西太平洋暖池区 SST 和海

表盐度(SSS)的时空结构;确定暖池区由几天、几个月到几年时间尺度各种过程对 SST 和 SSS 变化的影响;确定发生在热带西太平洋上层的热量、盐度和动量的混合过程;确定哪些运动过程影响暖池上层海洋,反之亦然;确定进入 COARE 范围的净质量、热量和盐度通量。

③ 另一部分是大气与海洋两个系统之间的界面(INT)。它的主要目标为:建立暖池区高质量的热量、水分和动量通量的数据库;分析界面的物理和热力交换过程,特别是在低风速和强对流过程时的状况;改进各种用于估算暖池区海面净通量的经验公式;确定热量、水分和动量通量的数值与变率;了解风对海气热量、水分、辐射和动量通量的影响。

上述 ATM、OCE 和 INT 每一部分又分别包含五个阶段的工作,它们是:

试验研究期(1990 年春至 1992 年春);

加强监测期(1991 年冬至 1994 年);

集中强化观测期(1992 年 11 月至 1993 年 2 月);

模拟研究期;

资料分析期。

TOGA-COARE 的观测将重点研究南北纬 10° 和 $140^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$ 间的 750万 km^2 这一最暖的海域。主要内容包括试验研究和模拟研究两大部分。试验研究的主要内容为海洋湍流混合、混合层过程、海面气候学、海面辐射收支、高空历史资料以及卫星气候学。模拟研究的主要内容是海洋质量平衡、水文循环与盐度、混合层、降水、云团和大尺度环流以及海气通量。

(注:为了明确笔者所做工作在科学研究中的位置,本章只作了概要综述,详细综述见各章)

参考文献

- [1] 陈述彭,1990,地学的探索(地理学),科学出版社。
- [2] 陈述彭,1990,地学的探索(地图学),科学出版社。
- [3] 陈述彭,1990,地学的探索(遥感应用),科学出版社。
- [4] 陈述彭,1992,地学的探索(地理信息系统),科学出版社。
- [5] 陈述彭等,1994,亚太地区空间应用论坛(第一、二辑),国家遥感中心。
- [6] 陈述彭,1994,对地观测、全球变化与区域持续发展,亚太地区全球变化国际研讨会论文。
- [7] 陈述彭,1994,亚太区域持续发展与空间技术合作,地球信息科学与区域持续发展,69~87,测绘出版社。
- [8] 陈述彭,1994,地球科学计划在中国的进展,提交中国国际空间年筹备委员会地学专家组会议论文。
- [9] 陈述彭,1995,地球信息科学与区域持续发展,测绘出版社。
- [10] 陈述彭,1995,基础性研究的全球性,资源与环境信息系统国家重点实验室年报(1995)。
- [11] 吕炯,1950,海水温度与水旱问题,气象学报,Vol. 21, No. 1~4, 1~16。
- [12] 吕炯、张丕远等,1964,北太平洋温度场变异与长江中下游降水异常,中国科学,Vol. 13, No. 9, 113~142。
- [13] 郭琨,1984,海洋手册,海洋出版社,191~220。