

厄 尔 尼 诺

余志豪摇杨修群摇任黎秀摇编著

河 海 大 学 出 版 社

摇图书在版编目(CIP)数据

摇厄尔尼诺 轶余志豪, 杨修群, 任黎秀编著 一南京:

河海大学出版社, 1999.

摇 晃 苑 缘 苑 员 员

摇 I 援 ① 援 ② 援 ③ 援 厄尔尼

诺'现象—研究摇Ⅳ援苑苑

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 047014 号

书摇摇名 轲厄尔尼诺

书摇摇号 轱辘·羣苑·缘·园·员·园·员·轱辘·园远

责任编辑 辕马文潭

责任校对 轶工摇南

封面设计 轶朱迎春

出摇摇版 轶可海大学出版社

地摇摇址 辖南京市西康路 员号(邮编 圆园圆愿)

电摇摇话 轱(园豫猿轱轱总编室)摇摇(园豫猿轱轱发行部)

经摇摇销 轼工苏省新华书店

印摇摇刷 轵丹阳市教育印刷厂

开摇摇本 轱辘毫米 伊尔厘米 摇摇毫米 轱辘厘米 源厘米 印张摇摇厘米 千字

版摇摇次 第 年 源月第 员版摇 年 源月第 员次印刷

印摇摇数 轱辘~ 缘缘册

定摇摇价 转 录 源 国 元 (册)

目摇摇录

前摇言	(员)
第一章摇厄尔尼诺(耘造葬藻燥 — 圣婴之名称由来)	(员)
员摇圣婴名称由来	(员)
圆摇厄尔尼诺的定量标定	(圆)
猿摇耘造葬藻燥(厄尔尼诺—南方涛动)	(猿)
第二章摇厄尔尼诺对人类社会的影响	(缘)
员摇厄尔尼诺与世界气候灾变	(缘)
摇员摇不该下雨地方下雨	(远)
摇圆摇该下雨地方不下雨	(苑)
摇猿摇该冷的地方不冷反而变热	(愿)
摇源摇原创气象极值	(愿)
圆摇厄尔尼诺与世界其他灾变	(怨)
摇圆摇厄尔尼诺带来海洋生物和食物链的破坏	(怨)
摇圆摇厄尔尼诺带来饥荒	(园)
摇圆摇厄尔尼诺带来瘟疫等传染病	(园)
摇圆摇厄尔尼诺带来空气污染等灾难	(园)
猿摇厄尔尼诺与中国气候异常	(园)
摇猿摇厄尔尼诺带来异常暖冬	(园)
摇猿摇厄尔尼诺与中国夏季北热南凉	(猿)
摇猿摇厄尔尼诺与中国南涝北旱	(源)
摇源摇厄尔尼诺与台风和暴雨	(缘)
第三章摇厄尔尼诺年谱	(苑)
员摇按仪器记录排列	(苑)

按其他方法排列	(四)
第四章 厄尔尼诺的监测	(四)
为什么要对厄尔尼诺进行监测	(四)
热带太平洋观测系统	(四)
观测数据的分析和利用	(四)
1982—1983年厄尔尼诺事件的监测	(四)
观测系统的未来发展	(四)
第五章 厄尔尼诺的要素分布及其变化	(四)
厄尔尼诺、南方涛动和 循环	(四)
厄尔尼诺—南方涛动的时间序列	(四)
厄尔尼诺—南方涛动的时空结构	(四)
第六章 厄尔尼诺的生命期及其特征	(四)
热带太平洋的正常季节变化	(四)
厄尔尼诺的‘锁相’性	(四)
合成的厄尔尼诺	(四)
20世纪八十年代以来的厄尔尼诺	(四)
厄尔尼诺的不规则再现性	(四)
第七章 厄尔尼诺的发生原理	(四)
热带太平洋大气和海洋的气候平均状态	(四)
厄尔尼诺形成的皮叶克尼斯假说	(四)
厄尔尼诺—南方涛动循环的形成机理	(四)
不稳定海气相互作用理论	(四)
‘延迟振子’理论	(四)
第八章 厄尔尼诺和天气、气候灾害	(四)
台风	(四)
江淮流域洪涝	(四)
特大风暴潮灾	(四)
暖冬和渤海冰情	(四)
结论	(四)

第九章 厄尔尼诺与全球变暖	(10)
全球变暖成因简述	(10)
近年来的全球变暖和厄尔尼诺	(10)
第十章 厄尔尼诺事件的预测	(10)
预测方法	(10)
国际上几种厄尔尼诺事件预测动力学模式	(10)
中国对厄尔尼诺事件预测的研究和实践	(10)
参考文献	(10)

内 容 简 介

厄尔尼诺是一种赤道中东太平洋大范围海水异常增暖的现象,是海洋和大气相互作用的结果,与全球气候异常和灾害有密切的关系。本书较全面地介绍了厄尔尼诺的概念、定量指数、历史序列、特征分布、时间演变、生成机理、预测以及它与全球变暖的可能关系,集中地反映了近 10 年来对厄尔尼诺研究的主要成果。本书可作为大气科学、海洋科学及地学专业的教材,也可供有关专业的科研工作者和其他人员阅读参考。

前摇摇头

对于人体的不适和健康状况的异常,常见的诊断方法是切脉量体温,由此来寻找初步确定病情的信息。那么,地球气候在短期或员~圆年内是否会发生异常并带来灾害,向何处去‘切脉量体温’呢?目前,较共识的方法之一,就是监测和预测热带中东太平洋地区原先的冷海水区是否异常变暖或发生厄尔尼诺。所以厄尔尼诺是未来员~圆年内地球气候尤其是热带地区将发生异常的一种显著征兆,或者说它是预示着即将发生气候异常和灾害的强信号。

厄尔尼诺事件与全球气候异常密切相关,对人类社会的粮食生产、渔业、水利、人民生活等各方面都有着深刻的影响。例如员愿圆-员愿猿年的厄尔尼诺,它引起全球不少地区尤其是非洲地区的严重干旱,造成全球人均粮食产量和储量的明显下降,受到联合国粮食组织的高度关注。由此,人们开始了从全球的战略观点,而不是以前的局部地区观点,把气候异常和灾害与厄尔尼诺联系起来进行研究,并把后者作为灾害发生前的信号。员愿圆-员愿猿年的厄尔尼诺事件造成的全球经济损失,估计为 圆园园-猿园园亿美元,使得世界各国政府和公众都深刻地感到研究厄尔尼诺及其影响的紧迫性。此后不久,厄尔尼诺即成为联合国世界气象组织(宰酝韵)和全球气象、海洋学界的热门研究课题。员愿源年,宰酝韵制定和实施了一个为期 员园年(员愿缘-员愿源)的国际合作研究计划,即‘热带海洋和全球大气计划’(简称 栽酝粤计划),该计划主要是针对厄尔尼诺现象进行研究的,其中一个重要的任务是发展和建立一个热带太平洋观测系统。栽酝粤计划的成功完成,其建立的观测系统及

获取的大量观测数据,极大地支持和促进了世界范围的研究机构和科学家对厄尔尼诺及其相关气候变化的研究进展,取得了重要的研究成果。在这些研究成果中,包括各国所建立的近 100 多个用来模拟和预测厄尔尼诺的先进完美的海洋—大气耦合数值模式,还有从 20 世纪 80 年代末开始向公众发布的厄尔尼诺业务预测系统。

开展 863 计划以来,尽管对厄尔尼诺的研究已取得丰硕的成果,对它的认识有了长足的进展,但是,厄尔尼诺事件对气候灾害的影响,还是相当复杂多变的。对某一区域而言,不同年份的厄尔尼诺事件也许会造成正好相反的气候灾害(旱或涝)。从统计意义上讲,还有相当的不确定性,厄尔尼诺的发生、发展和演变规律还需要进一步的认识和掌握,对它的研究仍是任重而道远。为此,有必要总结一本专著,全面、深入地介绍已有成果,吸引更多的学者来关心和研究这个问题。例如,巢纪平教授著《厄尔尼诺和南方涛动力学》,就是国内介绍厄尔尼诺方面的一本优秀著作。美国学者 詹姆斯·海曼著《厄尔尼诺·拉尼娜·南方涛动》,也是一本有关厄尔尼诺的优秀著作,他对 863 计划前五年(1986—1990)完成的研究成果作了介绍,该书已由余志豪和蒋全荣教授编译出版,其中增加了原书没有列入的中国学者对厄尔尼诺研究的成果。然而,我们注意到,进入 20 世纪 90 年代,出现了异常的厄尔尼诺现象。前期 1982—1983 年连续出现了 3 次厄尔尼诺过程,而 1987—1988 年甚至出现比 1982—1983 年更强的厄尔尼诺,为 20 世纪这 50 年中最强的。厄尔尼诺在全球变暖的基础上,引发了更频繁的全球气候异常和多种气候灾害。另外,巢纪平教授和 詹姆斯·海曼的著作理论性强,相对而言数理方面也比较高深。因此,还有必要编写一本著作,既及时反映 20 世纪 90 年代以后厄尔尼诺研究的成果,又避免采用艰深的数理方程分析求解手段,仅用文字叙述和丰富的图表资料来深入浅出地介绍厄尔尼诺,使其适应更宽的读者面。这就是编写此书的初衷,也是它与

以往已出版的有关著作的不同之处。

本书编写具体分工为：第一章任黎秀、余志豪教授，第二章任黎秀教授，第三章余志豪教授，第四、五、六、七章杨修群教授，第八章向元珍高级工程师，第九章潘守文、余志豪教授，第十章向元珍高工和周琴芳研究员。全书由余志豪教授作了统一的校阅修改。

在此要感谢国内外的同行们，在书中引用了他们宝贵的研究成果，有的列出了相应的参考文献，还有更多的未予列出。所引内容倘有不妥之处，乃是我们的学识水平所限。同样的原因，书中如有谬误及挂一漏万之处，敬请读者原谅，并欢迎提出批评指正。

余志豪

中国科学院南京地质古生物研究所

第一章 厄尔尼诺(El Niño) ——圣婴之名称由来

摇摇在人类历史进入到二十世纪的最后几年里,世界各国气候出现了诸多异常现象。如 1962—1963 年度,北欧冬季异常寒冷,被称为世界最大热带森林的亚马逊河流域遇到了本世纪最为干旱的一个冬天和夏天;中国 1961 年夏季南凉北热,1963 年夏季华南、江南、西南地区东部和东北西北部相继发生了百年一遇的特大洪水……经许多科学工作者认真研究与分析发现,这些灾害的发生都与“厄尔尼诺(El Niño)”、“拉尼娜(La Niña)”密切相关。由厄尔尼诺造成全球气候异常,导致许多国家自然灾害的频度、强度、影响面及由其造成的生产、经济等方面的损失不断加大的现象,已受到联合国和受灾国家的高度重视。世界气象组织(WMO) 1997 年 12 月 14 日,在瑞士日内瓦会议上发布的新闻公报指出,在造成全球气候异常的 3 个主要因素中,厄尔尼诺引起的气候异常现象已超过温室气体排放和森林毁坏这两个因素,成为首当其冲的“罪魁祸首”。

摇摇圣婴名称由来

人类对厄尔尼诺并不陌生,不少人从电视、报刊杂志、广播等各种传媒渠道中知晓了它,随着“1997 国际海洋年”的到来,人们更了解了它。厄尔尼诺一词来源于西班牙语“El Niño”的音译,原意为“耶稣之子——圣婴”。它是南美洲秘鲁沿岸的一种海洋现象。最早见之于 1891 年秘鲁利马地球物理协会主席 德·拉·维加博士先生在该协会公报上的一份报道,他请人们注意到这样一个事

实 即在 马尼拉和 马尼拉湾之间观测到和正常洋流相反的自北向南的暖洋流(逆流)。而正常洋流是自南向北的冷洋流。由于这股反向暖洋流,总是在每年的圣诞节后不久就出现,而且还会给当地渔民带来颇丰的渔获量,故被称之为厄尔尼诺(圣婴或上帝之子),意即上帝的恩赐或福音。显然,厄尔尼诺最初是指秘鲁沿岸每年一度的海水自然增暖现象。后来人们发现每隔几年这种增暖现象会异乎寻常的强,逆流(即反向暖流)也异常地往南伸展,同时在秘鲁沿岸一带也伴随着出现极其异常的降水。因此,后来人们将这种每隔几年的南美沿岸海水异常增暖现象特指为厄尔尼诺现象,才使之成为科学术语。可是,这还只是对厄尔尼诺的狭义界定。随着对整个热带太平洋海温变化热状况的了解,人们逐渐发现,每隔几年出现在南美沿岸的海水异常增暖并不是局部现象,而是和赤道中东太平洋大范围的海水增暖过程相联系。所以,厄尔尼诺现象或事件,现在的含义已不再是特指南美沿岸的局部海水增暖现象,而是把它扩展为在赤道中东太平洋更大范围内海水表面温度异常增高现象。

厄尔尼诺的定量标定

前述厄尔尼诺一词虽已扩充了当初的含义,但还只是一个定性的概念,即赤道中东太平洋大范围海表温度异常增高现象只是一个定性标准。但究竟在多大范围内海水增温,以及增温达到什么程度才算厄尔尼诺?这需要一个定量的界定。在第五章中对此有详细说明和规定,并定出一个“厄尔尼诺指数”的定量标准。目前统一的规定,是指赤道上南北纬 5°~5° 范围内,经度 180°~90° 之间的赤道中东太平洋的海域,作为考察或确定厄尔尼诺的海域。在此海域内对其平均海温再划分 5 个区域作为区域平均。其中第 5 区或称尼诺-5 区,它的平均(时间和空间平均)海表面温度的高低,经常作为确定厄尔尼诺的主要依

据。若是该区域海温持续(远)一个月以上)地比该区多年平均海温值高出 0.5°C 以上,或者该区域海温正距平值高于 0.5°C 时,则确定为厄尔尼诺,并把此距平值称作“尼诺指数”。为什么要正距平值达到 0.5°C 以上时,才定为厄尔尼诺?这主要是海温增暖到此等程度时,才会出现比较明显的对人类有影响的气候异常。因为,按大气海洋的密度和比热值可知,单位面积 1000m 深的海水每升温 1°C ,大致可使整个大气柱(单位面积)气温升高约 1°C ,从而产生热力驱动的大气环流异常和气候异常的显著影响。

赤道中东太平洋海域或尼诺—拉尼娜区的海温既可出现正距平,当然也可产生负距平,而负距平时表明赤道中东太平洋海域的平均海温,应当比多年平均值要低。这正好跟厄尔尼诺现象相反,故负距平又可称为“反厄尔尼诺”现象,而当初对此却称作拉尼娜(El Niña,即上帝的女儿之意,她与厄尔尼诺似乎成为一对金童玉女了。拉尼娜时期不仅赤道中东太平洋海温发生负距平,而且在秘鲁沿岸非但没有自北向南的反向暖流,反而是正常的自南向北的冷流变得更冷、更冷。若将厄尔尼诺和拉尼娜现象按出现时间先后连贯起来,它表明尼诺—拉尼娜区的平均海温随着时间的迁移,是在正距平和负距平之间起伏变化(振荡)的。于是人们采用“波动振荡位相”的概念,把正距平时段的厄尔尼诺称作海温时变的“暖位相”阶段,负距平时段的拉尼娜称作“冷位相”阶段。

El Niño (厄尔尼诺—南方涛动)

在第五章中还将进一步介绍,海洋中的厄尔尼诺—拉尼娜现象总是伴随着尼诺—拉尼娜区海温或赤道中东太平洋海域附近海平面大气压呈“变低—变高”上下波动现象出现,而后者在气象学中称作南方涛动(Southern Oscillation)。用海—气相互作用观点来分析,厄尔尼诺和南方涛动其实是自然界中同一物理现象在两个方面的表现,体现在海洋中即为厄尔尼诺现象,反映在大气中即为南方涛

动现象。所以,在自然界中这两种现象总是形影不离相伴出现的。将厄尔尼诺和南方涛动两个词合成一个新词 **厄尔尼诺-南方涛动**(即厄尔尼诺-南方涛动的英文缩写),即把厄尔尼诺的含义从海洋现象扩大到了‘大气—海洋耦合系统’中,赋有了更广义的内涵。在这样一个新词概念框架下,厄尔尼诺—拉尼娜只是 **厄尔尼诺-南方涛动** 的海洋分量,南方涛动则是 **厄尔尼诺-南方涛动** 的大气分量。

从 **1976** 多年前发现南美秘鲁沿岸异常的反向暖洋流现象,引入了厄尔尼诺—拉尼娜称谓。之后,将此现象扩大到了赤道中东太平洋广大海域的海温升高增暖和降低变冷,并给出定量指标即“**尼诺指数**”,建立了对应的暖、冷位相概念。最终,又把此现象扩大到了大气中,称之为 **厄尔尼诺-南方涛动**。这一系列称谓的不断演变及其含义的相应扩展,反映了人们对厄尔尼诺现象或问题的认识、了解在逐步的扩大和深入,这是科学研究发展的必然结果。但是也应当指出,当初此现象出现带给小范围颇丰渔获量的益处,如今从更大的范围或全球性的气候灾害来考察,厄尔尼诺—拉尼娜的称谓已几乎失去了‘上帝恩赐’福音的原意,而是成为全球性气候异常或灾害的不祥征兆了,也就是厄尔尼诺—拉尼娜由原先的赞誉褒意已转为给人类添麻烦的贬意了!

第二章 厄尔尼诺对人类社会的影响

随着对厄尔尼诺不断地监测、分析和研究,发现它已远不是南美秘鲁沿岸小范围的海水变暖及引起当地降水猛增的局部现象,而是由它可引起全球尺度的气候异常或年际变化。因而它几乎可作为全球气候变异并对人类社会造成巨大影响的征兆、强信号和源头之一。一般说来,厄尔尼诺造成的气候异常,在低纬度热带地区比较明显,也就是厄尔尼诺与该期间热带地区气候异常的相关性程度较高。在中、高纬度非热带地区,由于那里的气候异常还有其他的成因,因此与厄尔尼诺的相关性不高。历史上的每一次厄尔尼诺事件,在全球范围内造成的气候异常分布,基本上是大同小异的。如旱涝区或冷暖区的分布状况,都比较固定有规律。相反,历史上的每一次拉尼娜事件,它所引起的气候异常,在全球分布的状况,重复性很差,很难大致相同。本章主要以 1997 年最强的一次厄尔尼诺事件,即 1982—1983 年的厄尔尼诺事件所引起的全球气候异常或灾害为具体例子,来说明对人类社会的影响。其中,许多内容都是根据当时媒体报导的材料综合而成的。

厄尔尼诺与世界气候灾变

据资料记载,自 1950—1983 年的 33 年间,共发生了 3 次厄尔尼诺事件。人们记忆犹新的 1982—1983 年这次厄尔尼诺事件,被世界公认为本世纪中气候异常最严重的一次,创一百多年来最高记录。厄尔尼诺引发的世界气候灾变,具体说来就是打乱亚洲的季风规律,给亚洲一些地区带来飓风和暴雨,使南

美洲、南非、澳大利亚等地区和国家造成暴雨或干旱等灾害性天气。即在一些不该下雨的干旱气候控制的沙漠地区下了过多的雨,并暴发洪涝灾害,而原本多雨的湿润气候带控制的区域却出现降水量大减或严重干旱现象,甚至引起高纬度部分国家出现异常灾害性天气,以及由异常气候引发的各种自然灾害发生。

不该下雨的地方下雨

地球上一些常年不下雨的沙漠或干旱地区,在 1982 年度的强厄尔尼诺现象中,遇到了暴雨和洪水的袭击,直接影响了人们的日常活动、生活,并使许多人无家可归。如南美的智利、秘鲁、厄瓜多尔等太平洋东岸国家,厄尔尼诺在仅 10 个月时间里就向那里的沙漠地区倾泻了 1000 多毫米的超常降雨,使这块原来寸草不生的不毛之地成了湖泊密布的草原,并长满了鲜花。美国加州西南地区洛杉矶海滨,在 1982 年 12 月 1 日这天出现了入冬以来首场大暴雨(图 10-1,第二天 12 月 2 日,在美国加州南部海岸带暴雨成灾,洪水至膝,阻碍了交通,许多人只能在警察的帮助下离开住地(图 10-2)。东非索马里在 1982 年 12 月至 1 月受一个多月暴雨侵扰,



图 10-1 厄尔尼诺给美国加州及西部地区带来入冬首场暴雨(1982 年 12 月 1 日)

而成为东非受洪灾肆虐最重的国家,造成 员圆园多人死亡、圆猿万人无家可归、远万公顷良田被淹和 圆猿万头牲畜死亡的惨景,与其毗邻的埃塞俄比亚、乌干达等国家也相继受这场洪水侵扰。



图 圆瑶美国加州南部海岸地区受厄尔尼诺带来的暴雨袭击 (员怨苑年)

员圆该下雨的地方不下雨

分布于赤道西太平洋的印度尼西亚、巴布亚新几内亚和澳大利亚东北部地区,赤道带附近的赞比亚、马拉维、莫桑比克、博茨瓦纳、津巴布韦等南非诸多国家,以及一些降水十分丰富的热带雨林地区,在厄尔尼诺现象暴发时,均不同程度地出现降水显著减少的严重干旱气候,并带来一定灾害。如印度尼西亚是个雨量充沛、森林密布、热带雨林气候控制的岛国,其年均雨量为 圆园园毫~ 源园毫之间。受 员怨苑年度厄尔尼诺影响,往年 怨月前后开始的雨季推迟 猿个月才姗姗而来,造成印度尼西亚发生严重干旱缺水,使该国在 员怨苑年 苑月底至 员园月的两个多月时间里,发生了一场举世关注的森林大火。厄尔尼诺形成的持续干旱无雨天气,使大火一发而不可收拾。烧毁森林约 员源万亩,估计损失高达 员圆亿美元。

该冷的地方不冷反而变热

1997—1998年度发生的强厄尔尼诺现象,使靠近地中海区域的国家 and 东欧地区以及亚洲一些国家,一向比较凉爽舒适的气候变得热浪滚滚。如欧洲南部的阿尔巴尼亚、意大利、希腊等国,在1998年7月上旬的高温热浪中,使不少人丧生。尤其是意大利西西里岛上锡拉库萨的气温一度达到 46°C ,这也是意大利境内出现的最高气温。东欧的罗马尼亚、保加利亚、南斯拉夫、波黑等国家,遭到数十年来最为严重的热浪袭击,气温普遍超过 40°C ,造成一些人因酷热死亡和中暑,医院和医疗急救中心人满为患。匈牙利首都布达佩斯电车输电线因高温严重变形,全市电车被迫停止运行。乌克兰的气温达到1974年以来的最高水平,甚至一些东欧国家商店的空调和电风扇被抢购一空。俄罗斯首都莫斯科7月份平均气温常年仅 15°C ,1998年7月15日最高气温高达 38°C ,而俄罗斯的伏尔加地区则日最高气温达 40°C ,创历史最高纪录。亚洲的土耳其、塞浦路斯,日最高气温分别为 40°C 以上和 42°C 。日本最热地方气温则为 44°C ,比正常年份高出 3°C 以上。

原创气象极值

据新华社报道,1998年7月15日,墨西哥西部发生了自1955年7月15日至今1998年来最严重的暴风雪,大部分地区积雪达 10cm ,给人们的日常生活带来了不便。俄罗斯的莫斯科市,在1998年7月15日夜受寒流袭击,气温降至 -15°C ,打破了保持1954年的同期最低气温 -14°C 的记录,是俄罗斯自有气象记录以来气温最低的一夜。同日,莫斯科州气温降至 -16°C ,比1954年同期 -14°C 最低气温还低 2°C ,为20世纪之最。与此同时,在俄罗斯的阿尔汉格尔斯克,最低气温达 -20°C 。在北部的科米斯共和国为 -22°C 。而南非按常规在刚入夏的12月份,最热不过 35°C ,但1998年受强厄尔尼诺影响后,全国大部地区在12月15—17日3天内温度都超过 35°C ,比勒陀利亚市12月15日气温高达 38°C ,为1998年来所少见,17日,北开普和姆布朗加两省最高气温达 40°C ,创历史最

高记录,造成游泳池人满为患,汽车爆胎,交通事故猛增。巴基斯坦旁遮普和西北边境省,员怨苑年愿月圆苑日~圆苑日的暴雨打破了近年来最高雨量记录,其中拉瓦尔品第地区源愿小时降雨量高达猿圆毫米。

圆 厄尔尼诺与世界其他灾变

在厄尔尼诺期间,由于气候的恶变,给世界人类带来了海洋生物和食物链的破坏,发生了饥荒和传染病等除气候以外的其他灾变。

圆 厄尔尼诺带来海洋生物和食物链的破坏

据资料记载,员怨圆~员怨猿年厄尔尼诺现象引发的异常气候,使厄瓜多尔和秘鲁等南美海岸地区的海温升高,养料丰富的冷水区范围越来越小或消失,导致许多海洋生物消失,一些岛屿上的鸟类死亡,某些种类的海洋生物在水域中重新分布,从而影响了整个食物链。如秘鲁鳀(秘鲁鳀喜欢呆在浮游生物非常丰富的员益~员益冷水区内,由于厄尔尼诺不仅使该冷水区海温升高,而且上翻冷水带来的营养盐类亦减少,于是使鳀的数量明显减少,许多常见的海洋生物消失了。这又导致该区岛屿上许多海鸟因海上缺鱼少食而大批死亡,相应以鸟粪作为工业原料的企业遭到了致命打击。如员怨圆~员怨猿年秘鲁沿海鳀的捕获量比早先员年的员还少。美国因用作动物饲料的鳀鱼粉数量锐减,使鱼粉代用品的黄豆价格猛涨,超过员怨圆年厄尔尼诺时期的猿倍。饲料价格上涨,反过来又使鸡的零售价增加。但沿秘鲁海岸的虾和扇贝,由于海洋生物环境改变后的优越生长条件而迅速增加,并数量充足。这种由厄尔尼诺现象带来的海洋生态环境破坏,海洋生物锐减,直接破坏了海洋生物和人类食物链,实际上已构成对人类和生物生存的威胁。

厄尔尼诺带来饥荒

1982年11月,联合国粮农组织(FAO)在罗马发表的‘粮食展望’报告中指出,1982年的强厄尔尼诺现象,已造成全球部分粮食产地大幅度减产,世界粮食储备下滑,粮价上涨,部分地区将面临饥荒。如太平洋地区、东南亚、加勒比海和南美地区粮食总产量比1981年下滑15%,使全球粮食储备下降10个百分点,并且除大米外的各种粮食价格都有不同程度的上涨。美国的面粉价格已从1982年10月的每吨150美元涨到1983年1月的每吨165美元,比1982年同期平均每吨上涨15美元。而南半球的干旱和酷热,导致类似20世纪70年代初的大饥荒现象,在贫穷落后的国家尤为突出。1982年世界100个受饥荒国家中,100个在非洲、亚洲、东欧各10个,拉丁美洲10个。又如,亚洲的印度尼西亚、越南等国水稻减产15%~20%,既是产粮大国又是人口大国的印度减产15%~20%,朝鲜农业几近瘫痪,不得不向国际社会求援。撒哈拉沙漠以南非洲的莫桑比克多数农作物颗粒无收,赞比亚主要产粮区大部分玉米枯死,使10万户家庭面临饥荒,马拉维100万人口中有10万人需粮食救助,斯威士兰、莱索托及博茨瓦纳各国作物无水灌溉,津巴布韦100万人中有一半面临忍饥挨饿命运……

厄尔尼诺不仅使南非土地龟裂,庄稼枯死,还导致急剧增多的蝗虫与人争食,不少非洲土著人在深受干旱、饥荒和蝗虫困扰后,忍不住壮着胆子以蝗虫充饥救命。

厄尔尼诺带来瘟疫等传染病

厄尔尼诺会造成一些可怕的传染性疾病在全球范围内传播。江苏省气象专家在分析其原因时指出:由于厄尔尼诺年的冬季气温偏高,各种病虫冻死基数偏小,成虫繁殖基数加大,造成各种虫害增加,对人类的卫生健康带来危害。如瘟疫的传播载体——啮齿类动物(老鼠)、昆虫(蚊子和苍蝇)、微生物(一些有毒水藻),在上述适宜繁殖的环境中,数量急剧增加,从而导致人类被传染瘟疫的可能性大增,加上洋流和大气的大范围转移活动,将已形成的

瘟疫传染源从一个地方带至远隔千山万水的另一个地方。据美国科学促进协会主席、气象学家统计的结果,从1950年至今,世界范围内霍乱大流行的周期和厄尔尼诺现象出现的周期基本一致,这是升温的海水富含有机质和含盐量降低后,对霍乱弧菌的载体——浮游生物的抑制作用降低和繁殖作用加大而形成的。此外,厄尔尼诺还会造成钩端螺旋体病(外耳氏病)、流行性肝炎、疟疾、腹泻、痢疾及东方马脑炎等恶性传染性疾病的流行。

厄尔尼诺带来空气污染等灾难

1997年的厄尔尼诺年,印度尼西亚发生严重干旱,使当地烧荒垦地引起的森林大火所造成的污染性烟雾,不仅给本国带来了严重的经济损失,还引发了空难、海难事件,并对泰国、菲律宾、文莱、马来西亚、新加坡等东南亚国家的旅游业、电子工业、人们的身体健康及日常生活等,均造成了重要影响和难以估计的损失。

1997年12月15日,从印度尼西亚首都雅加达飞往苏门答腊东北部梅兰市的一架波音737客机,因森林大火的污染性烟雾导致能见度仅为100米,视线不清,在即将降落时撞上大树,坠毁在机场以西10公里的稻田里,机上100名人员无一幸免,全部遇难。在坠机事件发生不到十小时的15日晚8时,在印度尼西亚森林大火烟雾笼罩的马来西亚迪克森港附近的马六甲海峡,因能见度只有100米而导致排水量为10万吨的维克拉曼号轮和10万吨的芒特号轮二艘不同方向行驶的巨型货船发生相撞,并在几分钟内,使船身断为两截的小吨位船迅速下沉入海。船上除10人跳海获救外,其余100人生死不明。印度尼西亚森林大火不仅烧毁了大面积的热带丛林和耕地,引发了饥荒和疾病流行,而且还赶走了旅游者,电子企业因烟雾性大气污染而不得不运用空气净化设备。马来西亚成天笼罩在森林大火的烟雾中,白天如同傍晚,空气中飘荡着大量灰尘,商店被迫早早关门。为防止吸入有毒烟雾,尽管居民尽量待在家中,注意关闭门窗,行人上街大部分戴上口罩,但呼吸道发病人数仍超过10万。受烟雾侵袭最严重的沙捞越州首府古

晋市,怨月 圆日能见度仅为 员毫,污染指数超过 苑园点(超过 缘园点就对人体有害),导致航班延期,海上交通困难,渔船无法外出作业。在东南亚国家中,有着花园城市美称的新加坡、泰国、菲律宾和文莱等国,也不同程度地饱受了这场污染性烟雾之苦,并造成了一定的经济损失。因此,印度尼西亚森林大火被世界传媒称作“世纪环保灾难”。由于热带森林被人为地乱砍滥伐、毁林焚烧耕作、开发建设、过度放牧及采集新柴等,破坏生态环境的事件大量发生。世界已从 员怨愿-员怨怨年间平均每年失去 员园万公顷净森林,现全球拥有的 猿亿公顷森林已比 员怨园年时减少 圆缘。所以,必须保护被人们誉为“地球肺脏”的森林,让它通过吸收大气中二氧化碳调节气候,减少水土和资源流失,减少物种消失。

员怨苑-员怨愿年度的厄尔尼诺,带给巴西东北部、非洲东南部和西太平洋地区的干旱,使那些以生产和出口基本农产品——食糖、可可、咖啡和茶叶为主的国家造成巨大影响,经济损失严重。如泰国蔗糖产量从 缘园万吨降至 缘园万吨,比上年度下跌 员缘~员缘。肯尼亚茶叶产量下降至少 圆缘,澳大利亚农业的年度财政损失 员缘亿美元,印度尼西亚的咖啡豆产量比 员怨苑年度下降 源缘。

猿 厄尔尼诺与中国气候异常

厄尔尼诺现象引起全球性气候异常,并诱发各种自然灾害。在中国,带来的直接而显著的影响则是打乱季风规律,出现异常暖冬、南凉北热、南涝北旱、台风暴雨少的异常气候,给国民经济造成巨大损失。

猿 厄尔尼诺带来异常暖冬

自 员怨愿年以来,我国已连续出现 员个暖冬。其根本原因是现代工业排放二氧化碳气体形成的温室效应,使全球气温上升,出现气候变暖。全球气候变暖的特点是 北半球比南半球明显,高纬

度比低纬度明显,冬季比夏季明显,夜间比白天明显。我国地处北半球中、高纬度,冬季极易出现暖冬现象。从历史上看,厄尔尼诺年我国容易出现暖冬。在 1856 年以前 15 次厄尔尼诺现象中,除 1856 年外,14 次都是暖冬气候。如 1856 年年初,中国北部地区异常温暖,哈尔滨、沈阳、呼和浩特、乌鲁木齐和济南,1 月下旬气温为 1856 年来最高值。由上可知,暖冬不一定由厄尔尼诺现象引起,但厄尔尼诺发生时则一般出现暖冬现象。尤其进入 20 世纪 80 年代以后,随着人类活动的加剧,全球气候不断变暖,造成厄尔尼诺现象出现的频率加快。因此,必须十分注意保护人类生存的地球大气空间。

1856 厄尔尼诺与中国夏季北热南凉

按惯例,我国夏季一般呈现南热北凉格局,夏季高温地区历来在长江中、下游一线,其中以三大火炉著称的南京、武汉、重庆,常年最高气温达 35℃ 以上。但 1856 年厄尔尼诺年却出现“三大火炉”两个熄火、酷暑中心移至黄河流域、与往年完全相反的北热南凉的气候奇观。据气象部门实测天气记录,1856 年长江“三大火炉”不火,除重庆的气温与往年接近外,南京、武汉日最高气温竟无超过 35℃,两地 35℃ 以上高温日数分别为 8 天和 15 天,比以往炎热年份少 10~15 天。相反,北方几个城市个个赛似昔日“三大火炉”。35℃ 以上高温天数,济南 16 天,郑州 15 天,石家庄 15 天,西安 15 天,均破当地历史记录,连北京也出现 10 天的高温日数。1856 年我国整个夏季高温中心在冀中南、鲁西、豫北、晋南和陕西关中,日最高气温高达 35℃~38℃,刚好在黄河一线揭开,而整个华北、西北东部、黄淮地区和东北都保持大范围的晴热天气,从 7 月中旬一直延续到 8 月下旬,连续 8 旬平均气温高于常年。该年北热南凉气候,也反映在南北四大城市的气温越往北越热的现象。如 7 月 1 日广州、香港气温为 35℃,长沙 35℃,济南 35℃,这种南低北高的气温怪现象,为我国 20 世纪 80 年代以来所少见。7 月 1 日广州市最高气温仅 35℃,为 1856 年有气象纪录以来同期

最低气温,许多打惯赤膊的广东人在凉气袭人的暑天都穿起了长袖衫,一时间西瓜几乎无人问津。尤其夏季一向较为凉爽的华北、东北地区,却出现了罕见的高温酷暑天气和市民抢购空调现象。苑月员日,北京出现自员949年以来猿3.4℃的最高气温。同日,天津最高气温达猿3.4℃。一向不知热为何物的‘冰城’哈尔滨市民,也在猿3.4℃~猿4.4℃高温中苦度。

猿3.4℃厄尔尼诺与中国南涝北旱

我国东南沿海的大部分地区受季风气候控制,每年随着夏季风从南向北推进,而降水带也向北移动。每年源~远月华南地区出现连续阴雨天气的华南前汛期雨季。远月下旬至苑月上旬的初夏时节,降水带移至长江流域,出现持续性降水的梅雨季节。苑月下旬至愿月上旬的盛夏季节,降水带又移至华北、东北,出现降水集中的雨区。一般盛夏时节,北方雨季降临时,长江流域则进入副热带高压影响的高温伏旱晴热期,而华南地区常为台风等天气光顾的多阴雨天气,又称华南后汛期。

但在员997年厄尔尼诺中,以上夏季风和降雨带的规律分布呈南涝北旱紊乱势态,气候异常表现十分突出。如员997年华南地区自进入春季雨季后,一直被雨水天气困扰。缘月愿日在广东西北部和广州北部地区的从化、花都、清远三市交界处,持续员9多个小时骤降暴雨、大暴雨、局部特大暴雨,致使局部地区山洪暴发,河堤漫顶决口,造成严重的洪涝灾害,源万人受灾,几千人无家可归,源万多间房屋倒塌,员9人丧生,19万亩良田受浸,供电、电信、公路等设施被洪水毁坏,经济损失高达员3.4亿元。其中,从化(龙潭镇、鳌头镇)、花都(梯面镇)员9小时雨量均达源3.4mm以上,为缘49年不遇。清远市(源潭镇)在相同时间内降水竟为怨3.4mm,与江南、苏南等地区一年的总降水量相差无几。由于暴雨引发了山洪暴发,将初建于南北朝的梁代(公元缘49年)、迄今已员949多年历史并享有‘岭南三大古刹’之一美誉的广东清远市‘飞来禅寺’,在不到缘分钟时间内,受山体滑坡和汹涌倾泻的泥石流冲刷,顷刻

倒塌成为一片废墟。远 苑月本应移至长江流域的雨带,在 灵 苑年的厄尔尼诺年中,却仍徘徊在华南地区,形成雨量南大北小、南涝北旱之势。如 远月 猿日至 苑月 圆日,三天的雨量广州市为 缘 缘毫米,香港为 圆 缘毫米。尤其是香港,自 远月 圆日至 苑月 愿日的 圆天持续大雨天气和 苑月 员日至 苑月 愿日下午 远点记录到的 远 毫米降水量,打破了自 灵 苑年有观测以来保持至今达百年以上的 远 毫米的记录,使得香港在百年回归祖国的庆典活动期间深受异常气候之苦。澳门以往每年平均降水量为 圆 缘毫米,但 灵 苑厄尔尼诺年期间的 员~ 愿月中,总降雨量已高达 圆 缘毫米,创 源年来年平均降雨量纪录。但同年北方在盛夏雨季来临时节,却遇到了持续干旱少雨的异常晴热天气。远月份北方许多省的降雨量为 缘年来同期最少,苑月份东北平原(中、南部)、华北平原(中、北部)月雨量比正常年份少 缘~ 怨成,愿月份华北(西部、南部)及汉水、渭水流域等地区雨量奇少,月雨量出现自 灵 苑年以来同期最少或次少。由于干旱少雨现象严重,造成黄河断流时间早、持续时间长和断流区段上溯至河南开封市附近,黄河下游及西北大部分地区雨量不足 灵 苑年的异常气候发生。此外,一向雨量适中的长江流域,灵 苑年的梅雨特征不突出,形成了入梅偏迟、梅雨期偏短以及大部分地区梅雨量偏少现象。据江苏省气象台测报,淮河以南大部分地区梅雨量偏少 圆~ 远成,沿长江以北的苏北梅雨量偏少 苑~ 怨成,江苏南部偏少 缘~ 苑成,江苏省梅雨期总降雨量比常年同期偏少 猿缘~ 缘缘左右。

源 厄尔尼诺与台风和暴雨

台风(也称热带气旋)是一种生成在热带洋面上的热带风暴,一般风力在 灵级以上称台风,愿~ 灵级称热带风暴,远~ 苑级称热带低压。我国是世界上受台风影响较多的国家之一,每年 愿~ 怨月,我国东南沿海地区经常受其侵袭。台风一旦登上大陆,便带来

大风、大浪潮及大暴雨灾害。据 1951—1980 年(1951 年)资料统计,在西太平洋和我国南海地区出现的台风总数达 1000 次,年均 100 次,但对我国有影响的只是其中的一部分。1981 年的厄尔尼诺现象,使我国受西太平洋和南海洋面上生成登陆的台风影响只有 50 次,比正常年份少一半左右。虽然较往年台风造成的灾害相对较少,但一般迟来的台风路径比较复杂,易造成较大损失。1981 年 8 月 15 日横扫我国福建、浙江、上海、江苏、山东等省的 12 号台风,是 20 世纪 80 年代以来影响最强的一次。由于 12 号台风恰值农历天文大潮,风、雨、潮“三碰头”呼啸而至,狂风夹着暴雨席卷华东沿海各地,其中浙江是受这次台风影响遭受灾害最重的省份。当台风于 15 日晚 19 时 30 分在浙江台州温岭市登陆时,带来了 12 级以上的大风和 100mm~200mm 的暴雨,使浙江沿海江堤大多漫顶、海塘决口、山洪暴发、海潮猛涨,椒江、临海、黄岩、三门等城区进水,有的进水深度达 1m 或被水围困,经济损失严重。

第三章 厄尔尼诺年谱

1982—1983年厄尔尼诺引发的气候灾害,肆虐全球,极大地引起了人们的普遍关注。在此期间,各种新闻媒体对其进行了大量的报道,于是乎一时间给人们带来这么一个感觉:似乎地球上突然间在人们面前冒出了一个大逆不道、犹如恶魔猛兽般的厄尔尼诺。其实大大地不然,厄尔尼诺并非今日有之,历史上它早已存在。事实上,厄尔尼诺是在地球海洋和大气中经常可出现的一种间发性的自然现象,大致每隔数年就要出现一次,间隔的年数可长可短。短的只间隔 4 年,长的可间隔 10 年。所以,在此以前地球上就曾不断地多次出现过厄尔尼诺现象。只不过 1982—1983 年的厄尔尼诺,是上世纪最强的一次罢了,它对人类造成的危害特别广泛和严重,新闻媒体报道也特别引人注目,给人们的印象也特别深刻,其实它本身并不是一件什么新鲜事。当然,厄尔尼诺的首次命名只是在 19 世纪末,但是自然界中此种现象却在这以前早已存在了。

那么地球上到底从何时开始,人们才“最早”发现厄尔尼诺的?“最早”发现厄尔尼诺现象,是 19 世纪末秘鲁沿海一带的渔民和船民等。关于厄尔尼诺,最早见之于科学文字记载和报道的,是 1892 年秘鲁的利马地球物理学会的公报。许多学者为了研究它,弄清它出现的时间规律,追踪它的历史,需要排列它出现的时间序列,即先后次序,进行年代学研究作出它的年谱。所谓厄尔尼诺的时间序列,就是从最近一次厄尔尼诺,例如 1982—1983 年的厄尔尼诺算起,把以前曾经在地球上出现过的厄尔尼诺,按年代一次一次地由近往远按顺序排列起来,这就构成了厄尔尼诺的时间序列,或历史序列。这里所指的“曾经在地球上出现过的厄尔尼

诺”，显然不是从 19 世纪末“最早”发现并命名的那次厄尔尼诺算起。因为，在这以前地球海洋中早已存在着厄尔尼诺现象。目前较科学的方法，是从仪器记录、史料记载及地质信息等多种渠道来往前追溯曾经在地球上出现过的厄尔尼诺。这样在人类和地球的历史长河中，现在还不能断定究竟哪一次厄尔尼诺是最早的了。

按仪器记录排列

要排出厄尔尼诺历史序列，就要收集和获取厄尔尼诺的观测记录。对于厄尔尼诺观测记载，比较科学定量的方法是用现代观测技术对海洋和大气的直接测量。这大概起始于一百多年前的西方产业革命，称作现代仪器观测时期。用仪器既可测量海温来定出厄尔尼诺，也可测量大气的压力即由南方涛动来间接确定厄尔尼诺。前者就是用仪器测量热带东太平洋区域表面的海水温度，求出它们的月平均海温值，简称海温值。如果该海温值比它长时间（如几十年）的平均值要高，称作海温正距平。这种海温正距平，在该区域持续近 12 个月或近一年以上，最大正距平值超过 0.5℃，就定为一次厄尔尼诺。图 1 就是 1950 年 1 月以前，近 100 年来尼诺 3.4 源区（即纬度 5°S~5°N，经度 170°E~120°E 所围区域）的海温距平值随时间的变化曲线，凡是正的峰值处，其对应的 1950、1957、1965、1972、1977、1982、1987、1991、1997 和 1998 年

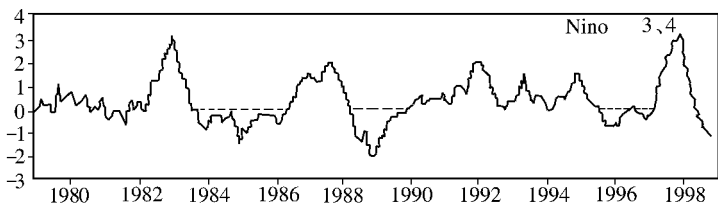


图 1 尼诺 3.4 源区海温距平值随时间变化曲线
(热带中东太平洋区域)

年,都是出现厄尔尼诺的年份。上世纪最后的 10 年,共出现 3 次厄尔尼诺。

由于在固定大范围区域内的海温测量的历史不太长久,依此排序的厄尔尼诺的历史序列也不会太长。为了弥补这个缺陷,可改用测量大气的压力求南方涛动指数的方法。因为大气中的南方涛动,是海洋中的厄尔尼诺在大气中的一种反映,因而就可用南方涛动指数来确定厄尔尼诺,而且用仪器测量大气压力要比测量大范围海温的历史久远一些。所谓南方涛动指数,一般简单情况下,就是热带太平洋东、西两部分区域的海平面气压的差值。差值为正,表示东部区域气压比西部区域高。反之,差值为负,东部比西部低。通常选取塔希堤岛(17°S, 149°E)测站代表东南太平洋地区,达尔文港(12°S, 130°E)测站代表印度洋印尼地区,观测这两站的海平面气压的月平均距平值并计算出相应的南方涛动指数。

图 3-1 就是从 1856—1982 年近 126 年的南方涛动指数(季距平值)随时间变化的分布。厄尔尼诺期间,海温为正距平,而南方涛动指数为负。因此,图中每一束向下的竖线均对应一次厄尔尼诺,由此可定出近 126 年期间的厄尔尼诺历史序列:1876、1898、

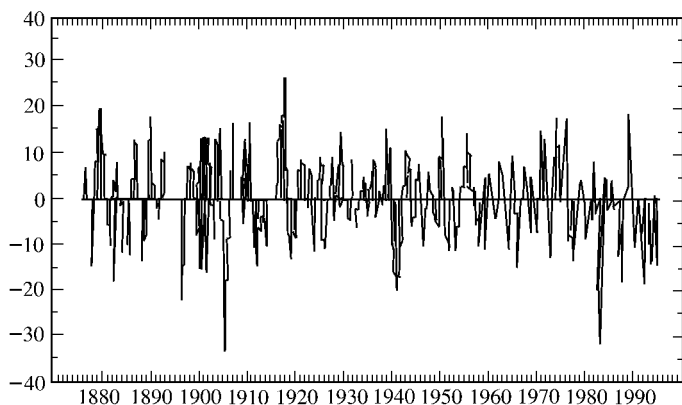


图 3-1 1856—1982 年的南方涛动指数

1525 年、1575 年、1603 年、1632 年、1687 年、1703 年、1735 年、1763 年、1783 年、1807 年、1816 年、1823 年、1834 年、1845 年、1857 年、1864 年、1877 年、1889 年、1907 年、1918 年、1926 年、1939 年、1947 年、1957 年、1965 年、1982 年、1987 年、1997 年。其中 1525 年、1575 年及 1583 年以后的厄尔尼诺不是从图 10.1 的资料确定的。

自 1525 年至今出现的厄尔尼诺序列,是一份用仪器探测的记录,应该是科学和可信的。在这 472 年间,大自然共出现了 18 次厄尔尼诺,在每一对紧邻的厄尔尼诺之间,一般会出现与厄尔尼诺相反的拉尼娜现象(又称反厄尔尼诺),有时两次间隔之间也可能达不到拉尼娜的标准。因此,地球海洋和大气中,厄尔尼诺和拉尼娜犹如封建王朝的朝代,在不断地更迭,构成了一个历史序列或年谱。虽然平均而言每隔 2.5 年有一次更迭,但细细分析每次更迭间隔是相当不规则的,最短的只有 1 年不到,最长的可达 4 年。由此可见,厄尔尼诺的出现具有相当的随机性和不规则性,要用厄尔尼诺历史序列来推测新一次的厄尔尼诺降临是非常困难的。有一个明显的特征要指出的,近年来厄尔尼诺的出现愈来愈频繁,也就是它们的间隔时间越来越短。例如,自 19 世纪 50 年代至今,间隔平均为 2.5 年;自 20 年代至今,间隔为 2.2 年。进入 21 世纪以来,全球变暖明显,有些科学家认为,近年来的厄尔尼诺频繁出现可能与此有关。此外,不仅厄尔尼诺出现的间隔无规律可循,而且每次的厄尔尼诺其强度和特征也不尽相同,它们之间有着显著的年际和年代际的变化不同。这些问题都正在引起许多学者苦苦探索。

按其他方法排列

在 19 世纪中叶以前,虽然厄尔尼诺观测还未进入仪器观测时期,但是人们还是用文字记载着各种自然现象。例如,干旱和洪涝

的记载。众所周知,南美秘鲁的太平洋沿岸地区,通常在一般情况下,那里是干旱缺雨的气候。但是一旦出现了厄尔尼诺,那里的干旱气候将会一反常态,出现大雨如注、暴雨洪涝猖獗的异常状态。这些洪涝灾害,给那里的老百姓带来了深重的苦难。许多当地的历史文献,经常会有醒目的记载。因此,在那里的各种文字历史记载中,或者类似的地方志中,只要记录了某年洪涝成灾,就可反推那年曾出现了厄尔尼诺。因为秘鲁太平洋沿岸干旱气候区的洪涝出现,主要就是由厄尔尼诺所引起的。又如,厄尔尼诺出现时,秘鲁沿岸的太平洋鳀鱼资源大量破坏,鱼获量显著锐减,所以在历史文字记载中,只要有鱼获量锐减的记录,也可推测此年为厄尔尼诺年。又如,仙尔斯(1952)根据秘鲁文字记载中的一次庆祝性行军,推测出了 1534 年曾经出现了厄尔尼诺。因为那次行军是一次穿越 400 哩的海岸沙漠的艰苦旅程,只有在厄尔尼诺丰雨年中才有可能。在平常年景,大队人马在干旱沙漠中长途行军,无雨缺水将艰苦难熬,甚至有极大的死亡威胁。类似种种,汉密顿(1959)等科学家综合审阅了历史记载,并将 16 世纪中叶以前推测出现的厄尔尼诺,重建历史序列如下:

1534 年, 1537 年, 1540 年, 1545 年, 1549 年, 1551 年, 1554 年, 1557 年, 1565 年, 1569 年, 1572 年, 1577 年, 1582 年, 1587 年, 1591 年, 1594 年, 1597 年, 1600 年, 1603 年, 1607 年, 1611 年, 1614 年, 1617 年, 1620 年, 1623 年, 1626 年, 1629 年, 1632 年, 1635 年, 1638 年, 1641 年, 1644 年, 1647 年, 1650 年, 1653 年, 1656 年, 1659 年, 1662 年, 1665 年, 1668 年, 1671 年, 1674 年, 1677 年, 1680 年, 1683 年, 1686 年, 1689 年, 1692 年, 1695 年, 1698 年, 1701 年, 1704 年, 1707 年, 1710 年, 1713 年, 1716 年, 1719 年, 1722 年, 1725 年, 1728 年, 1731 年, 1734 年, 1737 年, 1740 年, 1743 年, 1746 年, 1749 年, 1752 年, 1755 年, 1758 年, 1761 年, 1764 年, 1767 年, 1770 年, 1773 年, 1776 年, 1779 年, 1782 年, 1785 年, 1788 年, 1791 年, 1794 年, 1797 年, 1800 年, 1803 年, 1806 年, 1809 年, 1812 年, 1815 年, 1818 年, 1821 年, 1824 年, 1827 年, 1830 年, 1833 年, 1836 年, 1839 年, 1842 年, 1845 年, 1848 年, 1851 年, 1854 年, 1857 年, 1860 年, 1863 年, 1866 年, 1869 年, 1872 年, 1875 年, 1878 年, 1881 年, 1884 年, 1887 年, 1890 年, 1893 年, 1896 年, 1899 年, 1902 年, 1905 年, 1908 年, 1911 年, 1914 年, 1917 年, 1920 年, 1923 年, 1926 年, 1929 年, 1932 年, 1935 年, 1938 年, 1941 年, 1944 年, 1947 年, 1950 年, 1953 年, 1956 年, 1959 年, 1962 年, 1965 年, 1968 年, 1971 年, 1974 年, 1977 年, 1980 年, 1983 年, 1986 年, 1989 年, 1992 年, 1995 年, 1998 年, 2001 年, 2004 年, 2007 年, 2010 年, 2013 年, 2016 年, 2019 年, 2022 年, 2025 年, 2028 年, 2031 年, 2034 年, 2037 年, 2040 年, 2043 年, 2046 年, 2049 年, 2052 年, 2055 年, 2058 年, 2061 年, 2064 年, 2067 年, 2070 年, 2073 年, 2076 年, 2079 年, 2082 年, 2085 年, 2088 年, 2091 年, 2094 年, 2097 年, 2100 年。

这种由历史文字记载中推测出来的厄尔尼诺历史序列或年谱,称作历史文献时期出现的厄尔尼诺。显然,历史文献时期的厄尔尼诺时间序列,远不如仪器观测时期的直接和准确,但还是有一定的参考价值。奎恩(1959)曾由南方涛动指数推测强厄尔尼诺,把仪器观测时期的厄尔尼诺时间序列和历史文献时期的厄尔尼诺时间序列,同 1534 年那次厄尔尼诺年衔接起来,就可以从 1534 年开始直到 1998 年,排出长长的厄尔尼诺历史序列或年谱。在不同的历史时期,该长长的历史序列中相应的序列段,其可信度自然是不同的,越是靠近科技昌明的近代其可信度越高。

当然,地球上的厄尔尼诺最早的一次决不会是出现于 1534 年。

年。这一年只是人们目前用历史文献资料推测出来的最早一次。实际上,在 1598 年以前地球的海洋和大气中依旧存在着更多更早的厄尔尼诺现象,只是没有被仪器观测记录或历史文献记载而已。为此,人们就从跟厄尔尼诺有关的物候及地质信息中,较科学地去推测这些以前久远的厄尔尼诺。例如,最近美国和秘鲁的考古学家和气候学家对古生物化石进行研究后认为,厄尔尼诺现象至少在 1500 年前就已发生了。因为这些科学家发现,南美热带地区许多适合在气候变化不明显的环境下生长的物种,在 1500 年前突然大量灭绝,而只有那些能够适应气候剧烈变化的物种才得以保存下来,这就说明厄尔尼诺现象在那时就有了。这使得厄尔尼诺的年代学或年谱研究向前推进了几千年。

又如,将生长高大的树木锯断后,在其锯口断面上,可以看到类似同心圆的木纹痕迹,称作年轮。树木年轮一年生长一圈,成百年上千年的古树,就有很多很多圈数的年轮。细细察看年轮间的宽度或间距,其宽和窄是不等的。这是由于丰雨年树木生长旺盛年轮较宽,逢干旱年树木生长缓慢年轮就较窄。在厄尔尼诺年,经常可使某些固定多雨地区变成少雨干旱,同时又可使其他某些固定地区原先是少雨干旱气候变成多雨成灾。因此,从某些温带地区树木或树木化石年轮宽窄排列上可以推测出一次又一次的厄尔尼诺,或者从树木年轮排列上可以反映出厄尔尼诺历史序列或年谱。劳以及弗雷斯(1958)已证实从 1598 年至 1857 年期间,这些年轮宽度与南方涛动指数相关,因而年轮能提供有关过去早先年份的信息。但这些信息也许并不可靠,因为厄尔尼诺期间从低纬到高纬度的遥相关在不同厄尔尼诺年中的变化相当大,还因为遥相关在冬季最强,而年轮宽度主要取决于夏季天气。

在厄尔尼诺年份,不仅使得热带东太平洋地区的冷海水变暖,而且使得那里从深海向海表面上翻的海水大大减少。深海海水金属元素镉及多种化学变化,正常年景生长在上翻海流中的珊瑚,其表壳中就含有一定浓度的镉。当厄尔尼诺年出现时,上翻流就

明显减少,珊瑚壳中的镉浓度也减少。这样在漫长的历史进程中,随着珊瑚壳逐年生长增厚,在壳壁上就会出现无数镉浓度含量浓淡相间的叠加层,这非常类似树木的年轮。在珊瑚壳中,这一层层镉含量很淡的层就是大自然记载下来的一次次的厄尔尼诺,于是构成了厄尔尼诺的历史序列或年谱。因此,有人曾从加拉帕戈斯岛的珊瑚骨骼年增长的异常,来研究过去很长一段时间的厄尔尼诺历史。

用来考证或推测古代气候变化的,还有一种常用的方法,这就是冰川和冰芯分析法。冰川是由多年积雪经成冰作用后形成的流动冰体。由降水和温度决定的水热平衡关系控制着冰川的发育和演变。不同的气候形成不同的冰川类型,冰川累积区每年积雪形成的年层记录了降水量的变化,而冰层中冰晶体的特征反映了成冰的温度条件。在冰川累积区打钻提取的冰岩芯,记录了某一时段的比较详细的气候变化历史,测定冰层的稳定同位素组成、粉尘的通量以及冰芯中保存的化石空气(孢体),有助于重建过去气候要素值和某些大气成分变化的历史。具体地说,南美秘鲁高山处的降雪量多寡是与厄尔尼诺密切相关的,汤普森(T. Thompson)认为厄尔尼诺期间那里的年积雪量将受到抑制。所以从秘鲁奎尔卡雅冰帽中取出的冰芯上,因降雪量的多寡会留下许多历史的层次,这些反映了一次又一次的厄尔尼诺。因此用冰芯分析方法,可有助于确定早在距今 1500 年以前主要厄尔尼诺现象发生的时间。仪器观测时期和历史文献时期所确定的厄尔尼诺时间序列,可具体地排出它们的年份表。除此之外,所举种种方法推测到的厄尔尼诺时间序列,称作地质时期的厄尔尼诺时间序列,目前还没有相应的具体年份表。后者只能定性地排出它们间的相对次序,让人们了解到在远古时期早在人类文明时代以前,地球海洋和大气中的厄尔尼诺现象,早就一次又一次地不断出现着。

第四章 厄尔尼诺的监测

人类在 1500 多年前发现了海洋中的厄尔尼诺,随着科学的进步,厄尔尼诺的涵义不断地在扩展,相应地对它的定量观测也在日益完善。直到 20 世纪 80 年代,由于厄尔尼诺在人类社会的重要性,于是通过国际间的合作,提出了一个较庞大的厄尔尼诺监测计划,并已付诸实施。本章将介绍近 20 年才发展起来的厄尔尼诺的监测。

为什么要对厄尔尼诺进行监测

厄尔尼诺是全球尺度气候年际变化产生的主要源,可以造成世界上许多地区的气候灾害(如干旱、洪涝)。因此,为了掌握和弄清厄尔尼诺事件的成因和演变规律,必须对厄尔尼诺加以全面系统地监测,通过这种监测获得系统准确的数据,以满足科学家和研究单位对厄尔尼诺演变规律进行诊断分析、数值模拟和预测的需要。

厄尔尼诺是热带太平洋大尺度海洋大气相互作用的产物,其发生地位于空旷无人的海洋,其形成过程涉及热带太平洋的大范围地区。因此,和传统的在陆地上的观测相比,对大范围的海洋变化进行观测具有较大的困难。另外,虽然人们通常会更多地从海洋表面温度变化来确定厄尔尼诺的发生和发展,但正如以后章节所指出的,厄尔尼诺事实上涉及整个上层海洋(约 300 米深)的动力和热力结构的演变,尤其是厄尔尼诺产生的前期征兆往往发生于海洋的次表面层内。因此,厄尔尼诺的监测不仅需要获得海洋

表面的大气和海洋要素数据,而且也需要获得整个上层海洋的要素数据。这些均加大了厄尔尼诺观测的难度。

对地球表面海洋和大气变化的观测,一般有两种方法:一种方法是采用遥感的方法,这是一种间接的观测方法,如利用卫星等现代技术手段,对地球表面变化进行实时监测,由于地球表面物理量的不均匀性和变化性,卫星获得了数值不同的来源于地球系统的辐射信息,根据一定反演技术,这些信息可以被转换为某些地球表面要素值(如大气中的云量、水汽量和地球表面温度等);另一种方法是现场观测,这是一种直接的测量手段,因此能给出相当准确的观测数据,同时对于海洋可以进行三维空间的观测,但这种观测方法由于费用昂贵,一般只用于有限区域的观测。因此,厄尔尼诺监测的最佳途径应是遥感和现场观测的结合。

19世纪早些时期,有关厄尔尼诺的观测数据主要来源于一些有限的途径:如行驶于一些固定航线上船只的测量、沿海和岛屿附近潮汐观测站的记录以及一些有限区域的观测试验(如太平洋试验等)。不幸的是,这些早期的观测手段和积累的数据不足以提供对厄尔尼诺进行全面定量的描述。1870年,一批著名气象学家和海洋学家云集于美国普林斯顿,讨论厄尔尼诺的发生发展规律,就在他们利用基于过去有限观测资料总结出的厄尔尼诺模型声称该年将不会出现中等程度以上的厄尔尼诺事件时,一次当时属于19世纪最强大的厄尔尼诺事件正在热带太平洋发生发展,这就是1870—1871年厄尔尼诺事件。这次事件让所谓的经典厄尔尼诺模型遇到了严重挫折,也给这个领域的科学家上了“生动的一课”,它表明,人们当时对厄尔尼诺的真面目还远远没有认清。其主要原因是人们还没有对包括整个上层太平洋在内的热带太平洋海气系统进行全面的实时监测。这种全面的监测是必要的,也是极其迫切的,它会从根本上导致人们对厄尔尼诺形成认识的进步。

热带太平洋观测系统

1982年厄尔尼诺事件具有一种重要的标志性,因为自此以后,在大气和海洋科学领域掀起了研究厄尔尼诺的新高潮。这次事件的一个直接后果促使了一个重大国际合作计划的实施,这就是“热带海洋和全球大气计划”(简称“**热带海洋和全球大气计划**”计划)。**热带海洋和全球大气计划**是一个为期 5 年(1982-1987)的计划,它是世界气象组织(简称“**世界气象组织**”)实施的“世界气候研究计划”(简称“**世界气候研究计划**”)的一个主要子计划和研究活动。其主要任务之一就是发展建立一个热带太平洋观测系统,这个系统的主要任务就是对发生于热带太平洋的厄尔尼诺进行实时监测。这一观测系统实施的关键是在热带太平洋布置一个锚碇浮标列阵,称为“**热带大气海洋列阵**”(简称“**热带大气海洋列阵**”),其浮标列阵分布由图 1 所示。除了**热带大气海洋列阵**锚碇浮标列阵,热带太平洋观测系统还包括漂移浮标、义务观测船网(简称“**义务观测船网**”)、岛屿和沿岸潮汐仪、岛屿风廓线仪网络、以及业务和研究卫星的遥感测量。随着国际**热带海洋和全球大气计划**在 1987 年底的

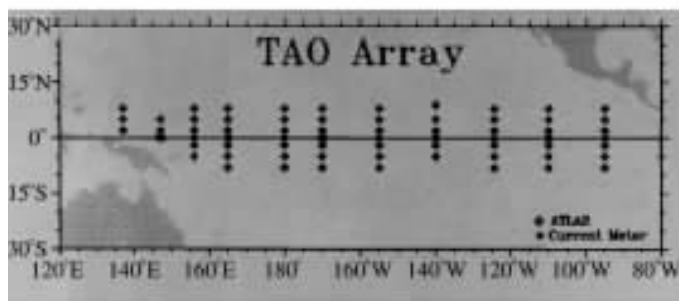


图 1 热带大气海洋锚碇浮标列阵(简称“**热带大气海洋列阵**”)分布
 摇摇摇(其中菱形表示自治的线式温度获取系统(简称“**自治的线式温度获取系统**”)浮标,
 而位于赤道上的方形表示洋流仪浮标)

结束,这一观测系统已基本成功建立,完全建立后的系统分布见图 4-1。

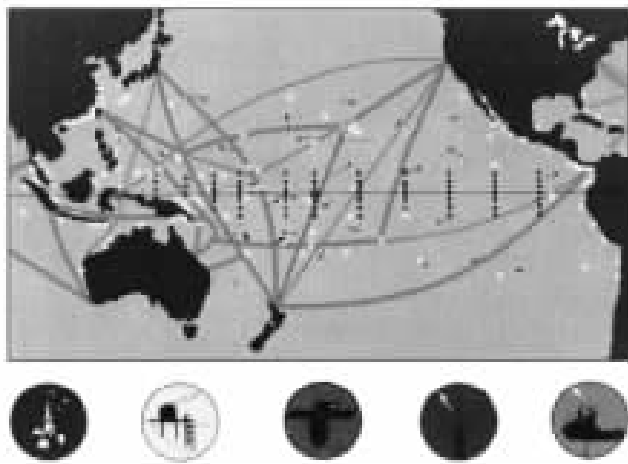


图 4-1 热带太平洋观测系统的核心是 TOPEX/Poseidon 卫星

其中红色方框表示锚碇浮标(即 TOPEX/Poseidon 卫星),黄色圆圈表示潮汐观测站,红色箭头表示漂移浮标,绿色弧线表示义务观测船航线,见图 4-1。

热带太平洋观测系统的核心是 TOPEX/Poseidon 卫星,这一大型浮标列阵的放置于 1992 年 10 月 1 日顺利完成(图 4-1),主要用于实时测量海表面风速、风向、空气温度、相对湿度、表面洋流、海表面温度以及达到 1000 米深的海洋次表层海水温度等气象和海洋要素数据。TOPEX/Poseidon 卫星共有近 100 个锚碇浮标,横跨赤道太平洋,东起 180° 经线附近,西至新几内亚沿岸附近的 150°E,占地球赤道圈的三分之一。这些浮标被分布于 5°S~5°N 的近赤道区域内,相互间隔为 5° 纬度和 10° 经度。在这 100 个锚碇浮标中,其中 10 个浮标是所谓的 TOPEX/Poseidon 浮标(图 4-1),主要用于测量表面风和海洋热力结构等。另外 10 个浮标是洋流仪浮标,被置于赤道上(图 4-1),主要用于测量洋流的速度。所有浮标也用于测量表面空气温度和相对湿度。



图 1 有关人员在热带太平洋放置自治的线式温度获取系统(粤桂粤东锚碇浮标)

锚碇阵列成功的实施应该归因于 锚碇浮标测量系统的发展,而谈到这一发展,又不得不提位于西雅图美国国家海洋大气局(NOAA)所属的太平洋海洋环境实验室(PMEL)。使用锚碇浮标测量技术的历史可以追溯到 20 世纪 70 年代后期,那时太平洋海洋环境实验室首次成功地在具有强烈切变的赤道洋流系统中放置并能维持锚定浮标。正是由于这种早期努力的成功, PMEL 才能从 1980 年开始,通过研制成功 锚碇浮标,在整个赤道太平洋地区成功设置 锚碇阵列。 锚碇是“自治的线式温度获取系统”的简称,其中基本结构如图 1 所示,它是一种由 PMEL 发展成功的价格低廉的锚碇浮标观测系统。由图可见,这个碇泊于海洋表面的浮标,具有多个传感器(探头),主要测量表面风、空气温度、海表面温度、5 个海洋次表面层温度和 4 个海洋次表层压力,最大测量深度达 1000 m。所有测量得到的数据通过美国 NOAA 极轨卫星的 锚碇系统被传送到陆地上,然后这些数据被存贮于磁



图 4-1 自主的线式温度获取系统(标准 ATLAS 浮标)结构示意图
(该浮标底端被置于深海达 7000 米处)

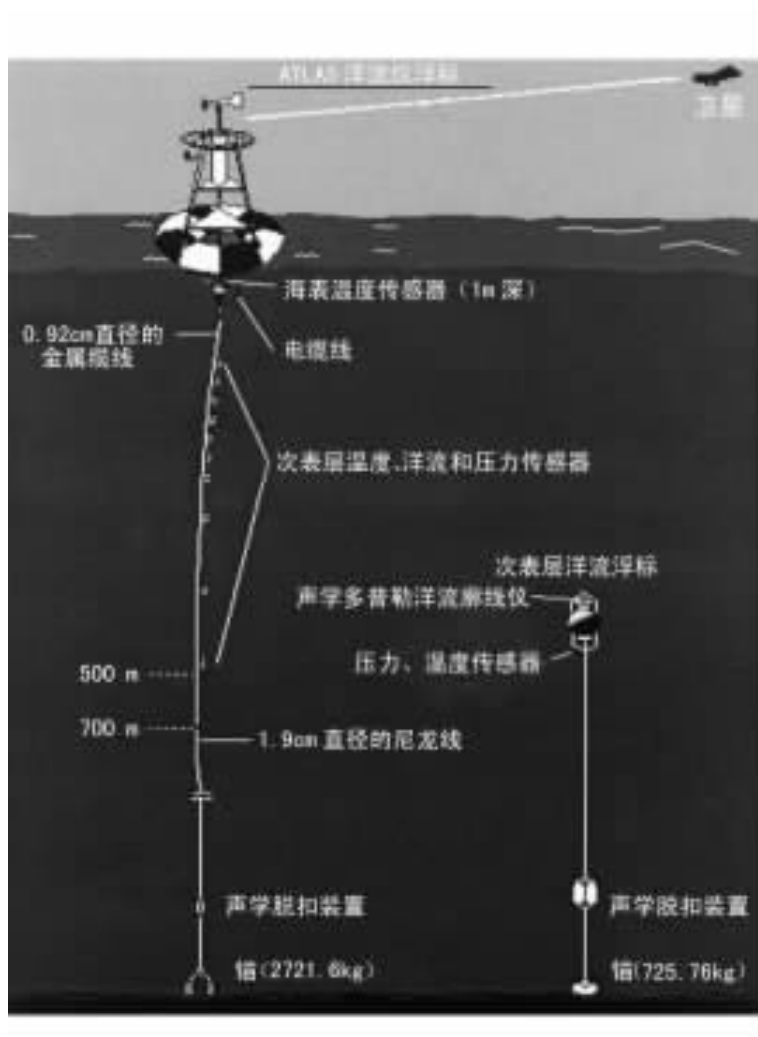


图 源 摇摇洋流仪锚碇浮标结构示意图

带上或是固态的电子存储器中。

粤系统测量数据的传送和存取系统见图 源在粤安装前后,所有的传感器均需校正,而被粤卫星接收的所有数据也必须校正。这些数据由粤系统进行处理,然后送到

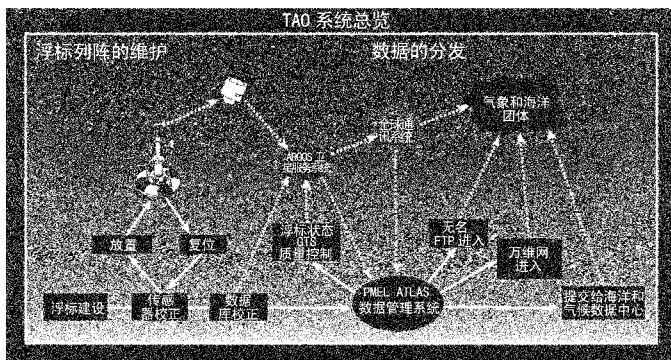


图 源 摇实时锚碇浮标观测数据传送和存取示意图

“全球通讯系统”(全球)中,供全球有关业务中心接收使用。与此同时,这些数据也直接由粤系统传送给 摇在 摇对数据进行了质量检验和存贮。在对所有传感器进行恢复和校正处理后,需要对粤的每个数据文件进行编辑、订正,如果可能的话,也对一些数据间断进行填补。经过这些复杂的处理后,具有较高质量的最终数据被提交给美国国家海洋数据中心(摇)和美国国家气候数据中心(摇),同时这些数据也被提供给国际“摇”中心。摇的项目鼓励通过发展复杂数据管理手段对这些实时观测数据进行科学的利用。当前,这些数据已有多年的积累,应用 摇的工作站软件可以对这些数据进行交互式图形显示,同时在 摇已经建立了数据库,这些数据可以通过国际互联网上的无名 摇途径和 摇途径下载获取。

以 摇的浮标阵列为核心的热带太平洋厄尔尼诺监测系统的成功建立,是国际 摇计划实施的结果,也是一个多国和地区参

加的国际性合作努力的结果。当前,在美国 专门设立了一个 项目办公室,负责管理和维护 浮标列阵,参加和直接支持这一观测系统建立和维持的国家或地区有 美国、日本、法国和中国台湾等。由于大多数 锚碇浮标的设计寿命为 15 年,因此,在 实施的 15 年中,被先后替换使用了的 浮标多达 100 个,使用了来自 20 个国家和地区的 15 条船。为了使这些浮标能够维持长期使用,自 1985 年开始,美国 专门用了一条船来维护 浮标。

观测数据的分析和利用

热带太平洋 浮标列阵实时观测系统获得了成功,观测数据及其积累的资料极大地支持和促进了世界范围内的研究机构和科学家对厄尔尼诺及其相关气候变化研究的进展。直接利用这些数据已经有数百篇有关发源于热带太平洋气候变率原因及后果方面的论文发表。这些研究论文涉及到气候研究中的诸多重要问题,其中包括:一些新现象的揭示(如 1976-1977 年的海洋赤道开尔文波)、近年来厄尔尼诺事件的观测特征描述(特别是最近一次 1982 世纪最强大的 厄尔尼诺事件)、对有关厄尔尼诺理论的检验、海洋环流研究、上层海洋热平衡以及大气边界层动力学等。观测数据还有其他一些重要使用价值:1. 利用这些数据可以检验用于气候研究的各种大气和海洋数值模式的能力,察看这类模式在多大程度上可以模拟观测的热带太平洋海洋大气结构和演变;2. 这些数据也可以作为观测场被同化进数值模拟的场中,以此作为一种接近于真实的模式初始条件,从而可能利用模式和初始条件对气候的未来演变作出成功的预测;3. 这些数据还可以用来检验卫星在海平面、海表面温度、表面风速和降水等要素方面观测的准确性。还有,观测列阵观测无论在地理区域上还是时间长度上都提供了一个较为宽广的范围,这将有助于一些短时间、

小范围、用于研究目的的测量结果的解释。近年来,这些较小区域、短时观测计划的试验有:用于研究东太平洋热带不稳定波的能源和生命史的“热带不稳定波试验”(赖特, 1982)、用于研究西太平洋暖池区海气相互作用过程的“菲律宾海气耦合响应计划”(赖特, 1982)、用于研究上层海洋生物地球化学循环过程的“联合的全球海洋通量研究赤道太平洋试验”(赖特, 1982)以及用于研究云和辐射相互作用的赤道中太平洋试验”(赖特, 1982)。

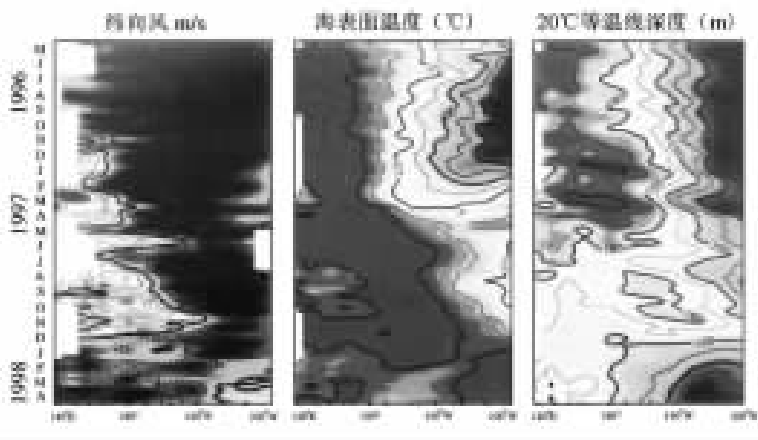
另外,赖特的观测数据也改进了一些主要机构的业务气候分析和预报产物的质量。由于赖特的观测资料可以从全球通讯系统(全球)中获取,所以世界各地的天气预报中心可以把这些数据结合到表面风的分析中去,以改善表面风的分析质量。例如,美国国家环境预报中心(美国)和位于英国的欧洲中期天气预报中心(欧洲)等机构均利用上述数据改善表面风的分析。再有,美国国家环境预报中心的基于海洋大气耦合数值模式的业务短期气候预测也在很大程度上依赖于赖特的浮标对海洋次表层温度测量的数据,这些数据帮助模式产生了较为正确的初始条件,从而帮助获得较好的厄尔尼诺预测技巧。在美国,赖特的海表面温度观测数据也被结合到业务卫星—现场混合分析中。赖特的观测也是美国佛罗里达州立大学一直进行的热带太平洋风应力分析的主要数据源。

1997-1998年厄尔尼诺事件的监测

1997-1998年厄尔尼诺事件是20世纪最强的一次事件,它被国际媒体广泛报道,引起了公众的广泛注意。之所以出现这种状况,一个十分重要的原因就是过去20多年来,科学家发展了新的观测手段,从而使人们比以前任何时候都能更加详细地追踪厄尔尼诺的发生、发展和演变过程。这种新的观测手段就是赖特的浮标阵列和卫星的结合。从这次厄尔尼诺事件在热带太平洋开始发生

起,位于热带太平洋的观测系统就提供了逐日的监测资料,从而使人们获得了热带太平洋海洋和大气相当准确的信息。通过这些信息,人们更加了解了什么是厄尔尼诺,以及厄尔尼诺是如何影响全球天气气候进而影响社会经济和人们的生活的。

图源苑显示了由裁的浮标列阵测量的几个要素在员愿年期间(源个月)的演变情况。图中给出的要素是纬向风速(图左)、海表面温度(图中)和海洋圆益等温线深度(图右)。对于每个要素,图形显示的是沿着赤道(圆益~圆益平均)的时间—经度剖面,其中横坐标为经度,纵坐标为时间。图中所用观测资料已作了缘天平滑处理。左图中,正值表示西风,而负值为东风。由图可见,在员愿年期间,赤道太平洋为东风气流所控制,这种东风气象上称之为信风。对应于这种正常的信风气流,海表温度(图中)在东部为低温区(最低温度低于圆益),而西部为高温区(最高达圆益左右),这种东冷西暖的水平温度结构基本存在于整个赤道



图源苑 表面纬向风速(皂)、海表面温度(益)和圆益等温线深度(皂)沿着赤道(圆益~圆益)的时间—经度剖面
横坐标为经度,纵坐标为时间(员愿年 缘月至员愿年 源月共 源个月),
资料来源于裁的浮标观测,并已作缘天平滑处理。

太平洋上层海洋。因此,位于上层海洋里的 20°C 等温线深度也对应地表现为东部浅而西部深(见图右)。这种信风分布及其对应的海洋热力分布,构成了热带太平洋最基本的平均结构,即所谓的正常状态。然而,自 1982 年年底到 1983 年初,有西风开始在赤道太平洋西部出现,伴随着这种西风,西部的高海温区(如 20°C 等温线)也明显地自西向东扩展,相应地上层海洋中的 20°C 等温线加深的信号也在向东扩展。到 1983 年底,西风已扩展到 180°,信风被强烈减弱,暖的海水也扩展到整个赤道太平洋。自 1984 年初,西风开始逐渐衰退,信风开始逐渐恢复,中太平洋暖海水也开始逐渐降温,东太平洋被加深的 20°C 等温线也开始明显变浅。以上三个要素在 1983 年期间的演变,正是反映了 20 世纪以来最强大的一次厄尔尼诺事件的发生、发展和衰亡。

图 4-1 更加清楚地展示了这一演变过程。这是和图 4-2 完全对应的图,即三个要素(纬向风、海表面温度和 20°C 等温线深度)的时间—经度剖面。所不同的是,这里给出的是各要素对正常值的偏差(或称异常),偏差分布反映了大气和海洋的反常状态。图 4-1 清楚地表明,自 1982 年春季开始,异常的海表温度在赤道中

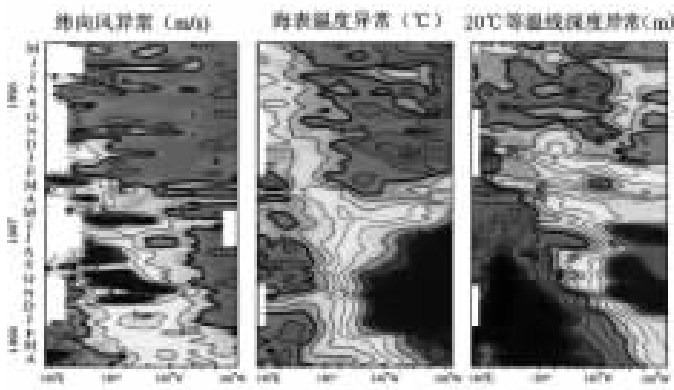


图 4-1 赤道表面纬向风速(皂)、海表面温度(益)和 20°C 等温线深度(皂)的异常值沿着赤道(180°-120°E)的时间—经度剖面

东太平洋发展和建立,并且这种异常海表温度首先产生于西部,并于 1982 年底达到顶峰,最大异常值可达 3°C ,然后开始逐渐减弱。对应于这种海温异常,大气表面风表现为西风异常,并且自西向东传播,图 10.10 等温线深度异常也自西向东扩展。

观测资料显示,这次厄尔尼诺事件发生的一个重要特点是发展迅速,并且前期信息明显地出现于表面风和海洋次表层热力场上。图 10.11 是观测的月平均海温及其异常沿着赤道的深度—经度剖面,这四组图组成的这种剖面反映了自 1982 年 1 月至 1983 年 12 月(其中 1982 年 12 月 1 日)的演变。在这组图中,上图为实际温度分布,而下图为对应的异常。可见,在 1982 年 1 月,已有较大(约 1°C 以上)的温度异常产生于赤道太平洋西部的海洋次表层(约 200 米深处),但这时海表面并没有对应的较大异常值分布。这种次表层的海温异常可能与图 10.10 中的西部西风异常的出现有很大关系。次表层温度异常,逐渐向东传播并振幅增大,至 1982 年底最大温度异常达 2°C 以上,并且位于赤道太平洋东部。值得指出的是,随着这种暖异常的向东传播和发展,其后也有冷异常伴随出现,它决定了暖异常分布将会被减弱。

和次表层海温异常的演变相对应,实际的总海温分布则表现为位于上层海洋中的等温线密集区(称为温跃层)的加深和向东移动,西太平洋的暖水区(称为“暖池”)则表现出逐渐向东扩展,这使得原先的东西向倾斜的温跃层结构,逐渐变得平坦,在东原西向趋于均衡。

上述反映这次厄尔尼诺演变特征的图形显示,热带太平洋海洋大气系统已经并且正在得到很好地监测。这种监测获得的实时和历史数据将会促进科学家对发源于热带太平洋的气候变率及形成机理的理解,并通过大量的科学研究,逐渐提高人们对厄尔尼诺及其造成的气候异常的预测能力。事实上,经过过去 15 年的努力,特别是热带太平洋观测系统的发展,利用观测获得的早期信号,特别是发生于海洋次表层的早期信号,科学家已有能力提前

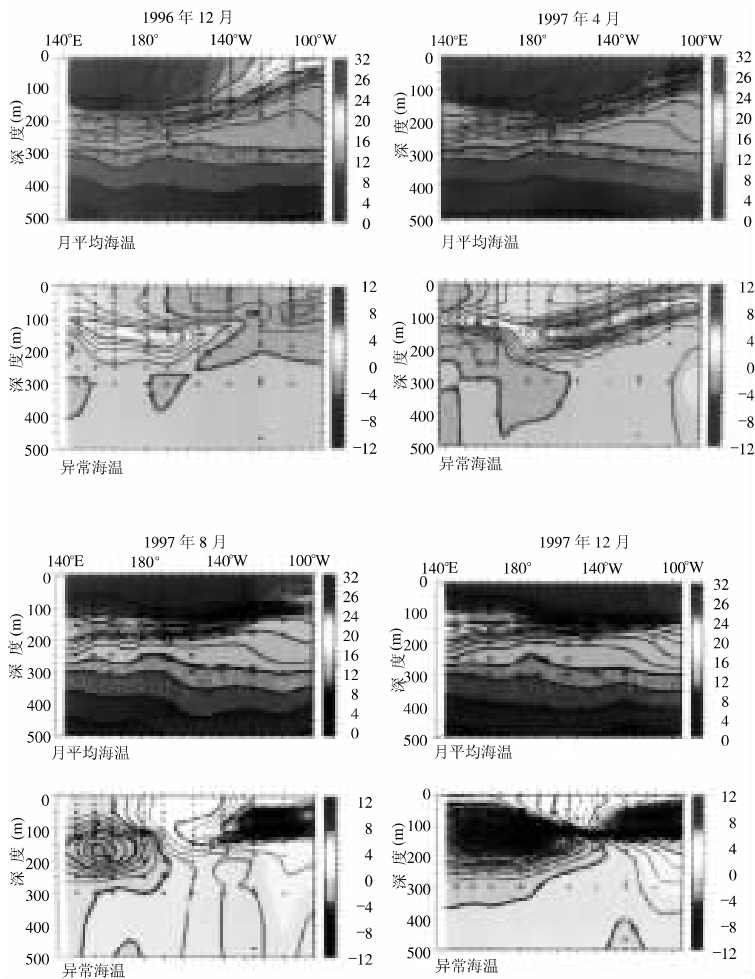


图 4-1 沿赤道月平均海洋温度(上图)及其异常值(下图)的深度-经度剖面

(时间为 1996 年 12 月、1997 年 4 月、1997 年 8 月和 1997 年 12 月,资料取自 1997 年浮标观测)

(时间为 1996 年 12 月、1997 年 4 月、1997 年 8 月和 1997 年 12 月,资料取自 1997 年浮标观测)

猿个月对厄尔尼诺作出可信度较高的预测。而这种预测的成功,将使人们对厄尔尼诺引起的全球尺度气候异常和气候灾害作出的预测显著提高。因为这样的预测将会为有关国家和地区制定防灾和减灾对策时提供科学依据。

缘观测系统的未来发展

尽管研究热带海洋和全球大气的国际 裁缘粤计划已经完成,并且以 裁缘粤浮标列阵为核心的热带太平洋观测系统又已经成功建立,但是相应的后续研究工作却没有就此停顿下来,一系列新一轮的国家和国际研究计划正在相继启动,例如美国的“全球海洋大气陆地系统计划”(裁缘粤)和世界气候研究计划的一个新的子计划——“气候变率和可预报性研究计划”(悦缘粤)。这两个计划均预期实施 员缘年(灵缘缘园),主要内容是继续和扩展 裁缘粤计划。因此,维持 裁缘粤浮标列阵以及其它 裁缘粤观测系统中的分量对于这些新的气候研究计划的进行是十分重要的。

另外,为了对这种气候观测进行长期支持,世界气候研究计划(宰悦缘)正在建立一个全球气候观测系统(裁缘粤)。鉴于 裁缘粤计划的成功实施以及 悦缘粤的观测需要,裁缘粤浮标列阵将会是 裁缘粤的中心部件。同时,为了响应 悦缘粤的科学目标,裁缘粤浮标列阵可能会扩展到其他热带海洋甚至较高纬度。为了满足这种未来的挑战,一种新一代的造价低廉的浮标观测系统正在被研制开发,这种新一代的浮标将会有更长的使用寿命和更高的测量能力。可以预计,通过对现有浮标列阵设计的评估,也将对未来浮标列阵的布置提出最佳的设计方案。

第五章 厄尔尼诺的要素分布及其变化

人类赖以生存的地球大气一直处于运动和变化之中,这种变化的最终驱动因子是太阳加热的强迫作用,由于这种加热具有日变化和季节变化,因此,天气和气候也明显地表现为有规则的日变化和季节变化。然而,地球气候除了这种人们习惯了的所谓正常变化外,还表现为年际变化(即年与年之间的差异)甚至更长时间尺度的变化。这种气候变化将给人类带来巨大的灾害,影响社会经济的发展,并可能改变人类社会的生存环境。因此,认识这类气候变化的特征及其成因是人类普遍关注的问题,更是科学家长期迫切需要解决的问题。

从根本上说,气候的变化不是仅仅由大气自身所产生的,而是地球大气和与其密切联系的海洋、冰雪及陆表面过程等发生复杂的相互作用的产物,其中海洋和大气的相互作用在气候变化的形成中占有突出重要的地位。人们已经普遍认为,海洋在各种时间尺度的气候变化的形成中均具有重要作用,这主要表现在两方面:一方面,海洋把大部分太阳能量接收下来并加以储藏,然后通过海水的运动进行空间分配,并以各种形式再输送给大气,使之成为大气运动的直接能源;另一方面,海洋的热力和动力学惯性使它自身具有“低通滤波”作用,它在空间和时间上的“平滑过程”,有利于大气—海洋系统中缓慢运动的维持和发展。科学家通过研究已经确信,海洋大气相互作用具有明显的地理区域差异,其中热带地区的海气相互作用表现得最为强烈,它在年际尺度的气候变化中表现得尤为明显,而厄尔尼诺—南方涛动现象正是这种热带海气相互作用的表现,它被公认为是全球年际气候变化的源。厄尔尼诺—南方涛动是迄今为

止发现的气候变化中明显高于气候噪音水平的强信号之一,大量研究证实,这一信号不仅存在于全球热带海表温度、气压、风和云量以及洋流强度等诸多要素之中,而且在世界许多地区的大气环流和气候年际变化中有明显的反映,与大范围世界性气候异常有重要的联系。因此,认识厄尔尼诺演变规律,探索其产生条件和形成机理,揭示其和全球气候变化的联系,进而预测它的发生和发展,是当前科学家正在研究的一个重大科学问题。

所谓厄尔尼诺演变,其实就是指厄尔尼诺存在期间诸多大气—海洋要素的变化。本章将着重介绍厄尔尼诺期间全球热带海表温度、气压、风和云量以及洋流强度等诸多大气—海洋要素的分布及其变化。

厄尔尼诺—南方涛动和 循环

厄尔尼诺(El Niño)现象是一个海洋学概念,但其含义往往会令人混淆。早在 1892 年,秘鲁利玛地理协会主席在该协会的一份公报上写了一篇文章,呼吁人们注意这样一个事实:即在 1891 年和 1892 年之间观测到一股和正常(即自南向北的冷洋流)相反的自北向南的逆流(即暖洋流)。由于它总是每年圣诞节后不久就出现,故当地航海者称之为厄尔尼诺(圣婴、上帝的儿子之意)流。显然,厄尔尼诺原意是指秘鲁沿岸每年一度的海水自然增暖现象。后来,人们发现每隔几年这种增暖现象异乎寻常地强,逆流也异常地往南伸展,同时也伴随极其异常的降水。因此,后来人们将这种每隔几年的南美沿岸异常增暖现象特指为厄尔尼诺现象,使之成为科学术语。不过,这还是对厄尔尼诺狭义的定义。随着对整个热带太平洋热状况的了解,人们逐渐发现,每隔几年出现在南美沿岸的海水异常增暖并不是局地现象,而是和赤道中东太平洋大范围的海水增暖过程相联系。因此,厄尔尼诺现象(或事件)现在的含义已不再是特指南美沿岸的局地增暖现象,而是指

发生在赤道中、东太平洋的大范围海表温度异常增高现象。

南方涛动(苏)是一个气象学概念,它是指大气表面气压场在东、西半球之间的一种‘翘翘板’式的振荡现象。在太平洋赤道地区有两大空气团,一个是中心位于东南太平洋复活节岛附近的高气压,另一个是位于澳大利亚—印尼附近的低气压。在太平洋赤道附近表面,吹着与这两个气团的气压差成正比的强劲东南信风。早在19世纪末,气象学家就发现了澳大利亚的悉尼和阿根廷的布宜诺斯艾利斯之间的表面气压异常具有反位相振荡关系。直到20世纪40—50年代,沃克(辛克莱)的系列经典性研究绘制了这种振荡的图象,并描绘了与之相应的表面气压、气温及降雨量的变化特征,指出:当东南太平洋气压偏高时,则从非洲到澳大利亚的印度洋气压偏低,而降雨量则和气压变化相反。沃克命名了上述气压振荡现象为南方涛动,之所以称之为‘南方’,主要是区别于当时在北半球已发现的两个气压振荡型,即北太平洋涛动和北大西洋涛动。

早期的海洋学家和气象学家是把厄尔尼诺和南方涛动分别作为独立的现象而各自进行研究的,由于受到当时观测手段的限制,没有人能意识到二者有什么联系。直到20世纪50年代,对厄尔尼诺、南方涛动的认识出现了重大转折,即开始意识到大气和海洋存在着相互作用。一方面,由于观测资料的增多,海洋学家逐步认识到秘鲁沿岸的异常暖海水可以离开海岸扩展数千里,该异常条件仅是整个热带太平洋上层海洋异常的一个方面,且这种异常的产生是整个太平洋上空大气环流变化驱动的结果。海洋学家乌尔基(辛克莱)在1958年根据潮汐观测资料进行的分析研究工作,就是这一时期上述发现者之一。因此,从海洋学观点来讲,把厄尔尼诺看成是热带太平洋表面风场变化所致的论述在当时已是很重要的进步。与此同时,另一方面,在20世纪50年代后期,气象学家也开始认识到热带东太平洋海表温度变化和南方涛动有明显的联系,并且把海洋作为南方涛动产生的一种可能‘记忆’机制而引

入。南方涛动和厄尔尼诺联系的早期证据是发现了印尼雅加达表面气压的年际变化和秘鲁沿岸的海表温度具有明显的联系,不过这些发现还具有局地海气相互作用的特点。具有里程碑意义的是 20 世纪 50 年代中后期,皮叶克尼斯(1957)的系列经典论文真正地推进了海洋和大气相结合的研究,提出了厄尔尼诺和南方涛动事实上是热带太平洋大尺度海气相互作用的一个现象两个方面的假说,奠定了现代海气相互作用研究的物理基础。

皮叶克尼斯关于厄尔尼诺和南方涛动是同一物理现象两个方面的假说,在后来的近 50 年中逐渐被大量的观测、数值模拟和理论分析研究所证实,并且由“厄尔尼诺”和“南方涛动”两词合成产生了一个新词“ENSO”(即厄尔尼诺—南方涛动),它作为一种热带太平洋大尺度海气相互作用的代名词已被广泛使用。在这样一个新的概念性框架下,厄尔尼诺是 ENSO 的海洋分量,而南方涛动则是 ENSO 的大气分量。热带太平洋大尺度海气相互作用产生了不规则的年际振荡,每隔 3~7 年,赤道中东太平洋会出现异常增暖或变冷现象,这种冷暖振荡被称为 ENSO 循环(即厄尔尼诺—南方涛动循环)。ENSO 循环的暖位相即为厄尔尼诺,其冷位相被称为反厄尔尼诺或拉尼娜(西班牙语上帝的女儿之意)。

ENSO 厄尔尼诺—南方涛动的时间序列

厄尔尼诺—南方涛动循环中的大气分量—南方涛动的典型结构见图 1.1。这是一张相关系数的全球分布图,它反映的是全球各个空间点的年平均海平面气压和澳大利亚北部的达尔文港气压的相关系数,其中负值区表示这些地区和达尔文港气压反位相振荡(即此起彼伏),而正值区域则表示这些地区和达尔文港气压同位相振荡(即此起彼起、此伏彼伏)。由图可见,相关型明显表现为分别位于东西两个半球的两个中心,其中澳大利亚—印尼附近的正相关区对应着低压系统,而负相关中心位于东南太平洋,对应

着太平洋高压系统。这种气压场的相关型分布清楚地显示了海平面气压的‘翘翘板’或‘驻波’型振荡。

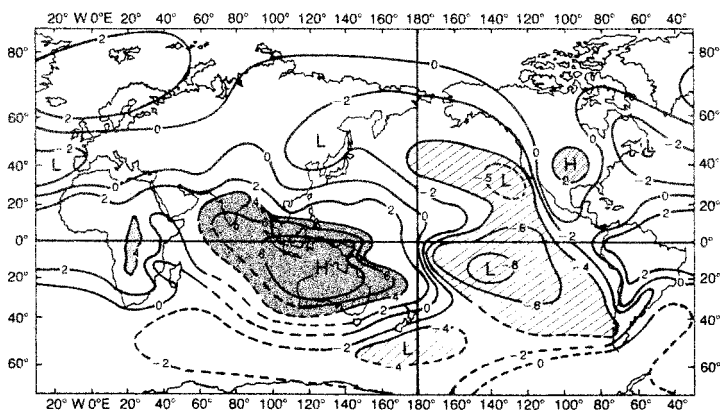
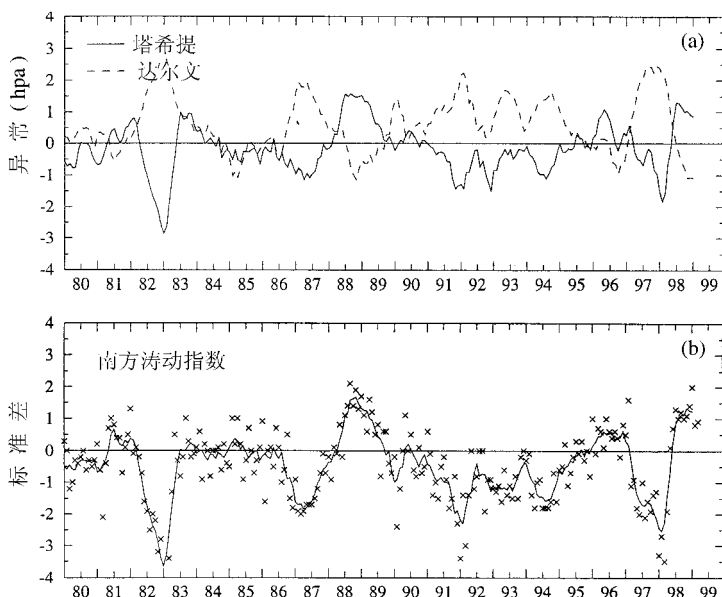


图 5-10 全球各个空间点的年平均海平面气压和澳大利亚北部的达尔文港气压的相关系数分布(其中相关系数已被放大 5 倍)

在南方涛动对应的两个大气活动中心(即东南太平洋高压和印尼低压)各选出一,作出这两点海平面气压的时间序列,将使我们更加清楚地看到热带太平洋东西向气压振荡特征。图 5-11 (显示了 20 世纪 50 年代以来观测得到的位于东南太平洋上的塔希提(Tahiti)和位于澳大利亚北部的达尔文(Darwin)港海平面气压(hPa)振荡的时间序列,其中实线表示塔希提岛气压,而虚线为达尔文港气压。这两个观测站的位置基本对应于两大环流系统的活动中心,其中前者对应于东南太平洋高压,而后者对应于印尼低压。由图可见,这两个测站的气压变化明显呈反相关系。它反映当东太平洋高压偏高时,则印尼附近低压偏低。因此,沿着赤道的东西向气压差偏大,东南信风增强;反之,当东太平洋高压偏低时,则印尼附近低压偏高,相应地,沿着赤道的东西向气压差偏小,东南信风减弱。热带地区这种东西向气压的‘翘翘板’式振荡即为南方涛动,它本质上反映了大气质量在东西向之间的交换。



摇摇图 缘 摇摇达尔文(虚线)和塔希提(实线)两测站海平面气压(葬)和南方涛动指数(遭)时间序列

皮叶克尼斯在 圆园世纪 远园年代提出,热带太平洋东西向气压差事实上是和赤道地区自东向西的信风联系在一起的。信风吹到西太平洋,由于暖湿气流在那里辐合上升,形成对流云和对流性降水,上升的一支气流在高层辐散,从而产生一支向东的回流,这支高层回流在东太平洋下沉,从而在赤道太平洋上空形成东西向垂直环流圈(图 缘 缘),皮叶克尼斯把这个东西向环流圈命名为沃克环流。沃克环流的强度是对应于南方涛动强度的。高层辐散也产生一支向北(或向南)的气流,该气流在副热带地区下沉,并在表面流回到辐合区,从而构成了南北向的垂直环流圈,这一环流圈被称为哈得莱环流。

人们已经习惯使用热带太平洋东西向气压差来定义南方涛动

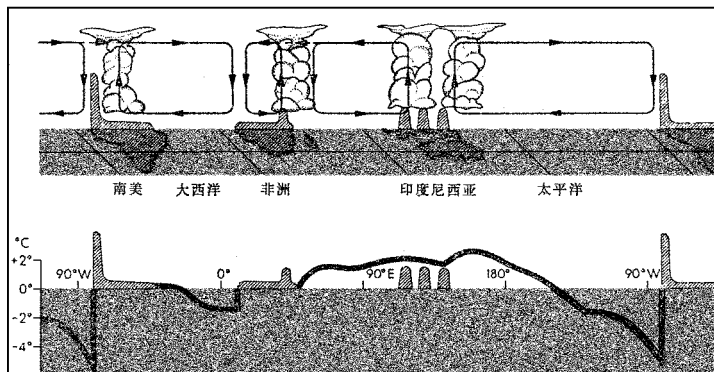


图 5-1 赤道东西纬向环流和对应的赤道海表温度

的强度,该气压差即所谓的南方涛动指数(简称,它是简单地用塔希提站地面气压减去达尔文站地面气压得到的。根据气压观测数据计算得到的南方涛动指数的时间序列见图 5-2,图中的曲线是 50 个月滑动平均的南方涛动指数(简称时间序列,它反映了 20 世纪 50 年代以来(1950 年 1 月至 1999 年 12 月)南方涛动强度的变化情况。南方涛动指数有低、高之分,低、高指数对应两种不同的大气状态。南方涛动低指数出现时,东西向气压差变小,沃克环流变弱;反之,则沃克环流变强。由图 5-2 可见,20 世纪 50 年代以来,南方涛动主要出现了 3 个低指数时期:1954—1955 年、1962—1963 年、1976—1977 年;2 个高指数时期:1958—1959 年、1982—1983 年。3 个低指数时期正是厄尔尼诺发生期,而 2 个高指数时期是拉尼娜发生期。事实上,下面将会看到,南方涛动强度是和赤道中东太平洋海表温度变化密切联系的。

厄尔尼诺—南方涛动循环中的海洋分量—厄尔尼诺(或拉尼娜)主要表现为赤道中东太平洋海表温度的变化,人们通常用一些区域平均的海表温度作为一种指数来定量地描述厄尔尼诺的强度,这些指数被称为尼诺指数。赤道中东太平洋传统上被分成 3 个区:即尼诺 1 区(10°S~5°S)、尼诺 2 区(5°S~0°)、尼诺 3 区(0°~5°N),

图 缘源、尼诺猿区(员圆宰~怨圆宰,缘源-缘源)和尼诺源区(员圆耘~员圆宰,缘源-缘源)。其中员圆区位于南美沿岸,猿区位于赤道中东太平洋,源区位于赤道中西太平洋。图 缘源反映了这些区的尼诺指数的时间序列,其中正值表示海温偏暖,负值则偏冷。可以看到,主要的海温异常是发生在赤道中东部,并且 圆世纪 愿年代以来最强的厄尔尼诺是 员愿-员愿年事件,其次为 员圆-员愿年事件,尼诺猿区指数均超过 猿。圆世纪 愿年代初期的海温变化有些特别,从 员愿年到 员愿年,海温基本处在暖态中并表现为振荡。另外,最强的拉尼娜是 员愿-员愿年的冷事件,不过,在强度上要比暖事件弱得多。

将图 缘源和图 缘圆 遭比较可以看出,海表温度的尼诺指数和南方涛动指数基本呈反相变化关系,其中厄尔尼诺事件是和南方

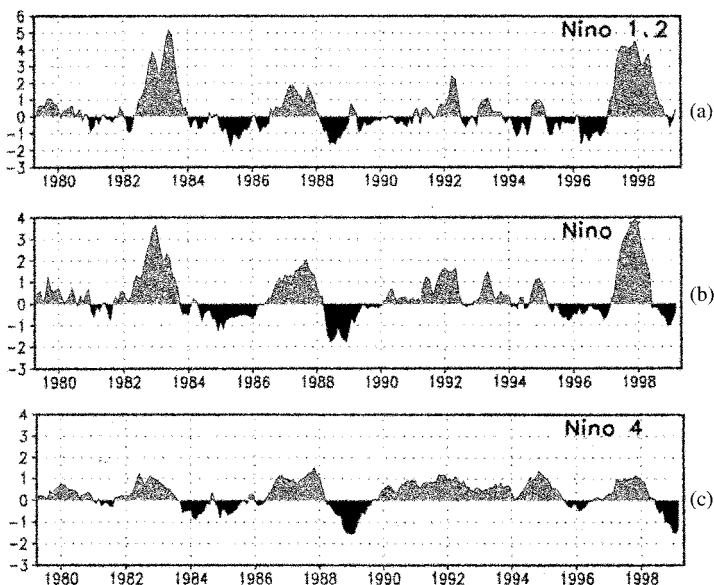


图 缘源 区域平均海表面温度异常(即尼诺指数)的时间序列
(葬 尼诺员圆区 ; 遭 尼诺猿区 ; 糟 尼诺源区)

涛动的极端低指数相对应的,而拉尼娜则和南方涛动的极端高指数对应。这种对应关系表明,厄尔尼诺事件发生时,太平洋东西向气压差减小,信风减弱,沃克环流减弱;而另一方面,沃克环流减弱,也是厄尔尼诺事件发生发展的原因。两者相互作用,互为因果。

厄尔尼诺—南方涛动的时空结构

厄尔尼诺—南方涛动是造成热带地区乃至全球范围内气候年际变化的支配性源,在太平洋甚至印度洋其变化具有最强的振幅。就厄尔尼诺—南方涛动变化的空间结构而言,不同的要素或变量其年际变化一般拥有不同的空间结构,每一个要素都有一个核心区。在这个核心区内,该要素的年际变化是由厄尔尼诺—南方涛动控制的。大气表面气压就有两个核心区(如图 5-1 所示),一个位于热带东南太平洋,另一个位于澳大利亚—印尼附近的海洋性大陆。但是,降水却只有一个核心区,该核心区并不和气压的任何一个核心区重合,它大致位于赤道中太平洋附近(约 160°E~120°E)。对于海表面温度,其核心区则位于赤道中东太平洋。为了定量地测量一个要素在其核心区的变化,人们常常定义一些指数,如前面提到的南方涛动指数、尼诺指数等,通过测量这些指数从而达到有效地监测厄尔尼诺—南方涛动的目的。不过,某些变量(如海平面气压)在比较短的时间尺度上(如一个月内)也有相当的变化,而这种变化可能和厄尔尼诺—南方涛动没有关系,因此,一个描述厄尔尼诺—南方涛动的有效指数则需要作一些时间上的平均或平滑。例如,图 5-2 中显示的南方涛动指数就作了 5 年的滑动平均,这样做既过滤了那些与厄尔尼诺—南方涛动没有关系的东西,又突出了我们所要关注的信号。

厄尔尼诺—南方涛动循环是热带太平洋冷暖态在年际时间尺度上的一种振荡,这种振荡的周期大致上是 2~7 年,但振荡并不

规则。最短的两次厄尔尼诺事件间隔为 圆年,最长的为 怨年。换句话说,厄尔尼诺事件在某些年代里发生非常频繁,而在另一些年代则很少出现。这表明,厄尔尼诺—南方涛动循环中可能存在多种周期的振荡,特别是可能存在更长时间尺度变化(如年代变化)的作用。不过这种长周期过程对厄尔尼诺—南方涛动循环产生怎样的影响现在还不清楚,科学家正在研究。

厄尔尼诺—南方涛动循环中最受关注的要素是海表面温度,图 缘缘为海表面温度沿着赤道的时间—经度剖面,它反映了沿着赤道等温线的年际变动,虽然,从总体上看,赤道太平洋始终为西暖东冷,但年与年之间的变化还是很明显的,基本的特征是位于西太平洋的暖表面海水(高温区)在厄尔尼诺期间向东扩展,而在拉尼娜期间则向西收缩。海表面温度水平结构在厄尔尼诺、拉尼娜期间表现出很大差异。图 缘远显示了两个极端不同的例子,以说明海温在范围和幅度上会产生怎样的年际变化。可以看到,当一个厄尔尼诺发展成熟时(员愿圆年 员圆月),热带西太平洋的暖水向东扩展并占据赤道的大部分区域,热带太平洋海温在东西向变得相对均匀。但在拉尼娜期间(员愿猿年 员圆月),大于 圆益的暖水区面积则变小,主要位于热带西太平洋(俗称‘暖池’)和东太平洋的赤道北侧,此时从南美沿岸到赤道东太平洋的狭长区域内被冷水所占据(俗称‘冷舌’),于是东、西赤道太平洋有极大的温度对比,东冷西暖,东西向最大温差可达 苑益~愿益。科学家通过使用经验正交函数展开,揭示了海温年际变化的最典型结构,指出海表温度年际变化在赤道中东太平洋(大致在 员圆缘~ 员圆缘之间,即传统的尼诺 猿区)振幅最大,并且赤道东、西太平洋海温变化符号相反。例如,在厄尔尼诺期间,海温在东部强烈上升时,在西部却有轻微下降。海温在西部的异常下降和进入海洋表面的局地热通量有重要关系,厄尔尼诺发生后,西部表面风加大,从而增强了表面的蒸发,蒸发带走了海水中的热量,因此减少了进入海洋的净热通量,所以海表温度降低。然而,海温在东部的异常上升,在早期阶段与

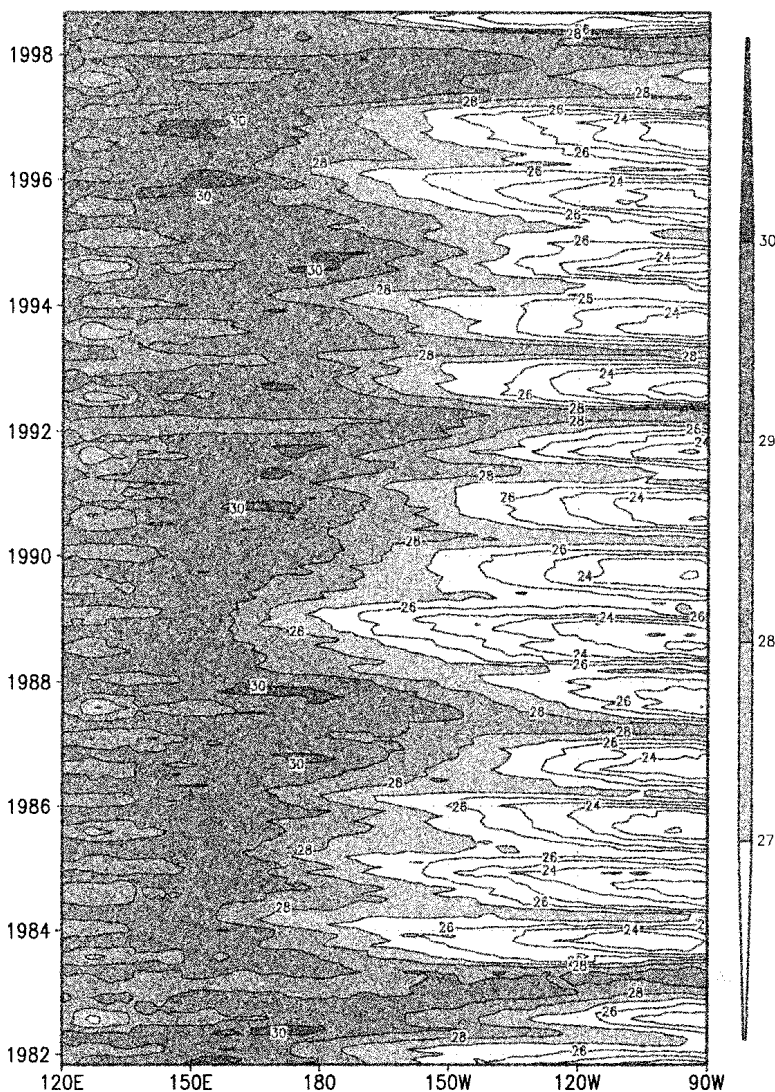


图 5.1 厄尔尼诺海表面温度沿着赤道的时-空剖面
(横坐标为经度, 纵坐标为时间)

局地信风的减弱以及减少的蒸发有关,在后期阶段,暖海水的向东平流以及减弱了的冷海水从底层的上翻等过程,维持了东部的异常高海温。

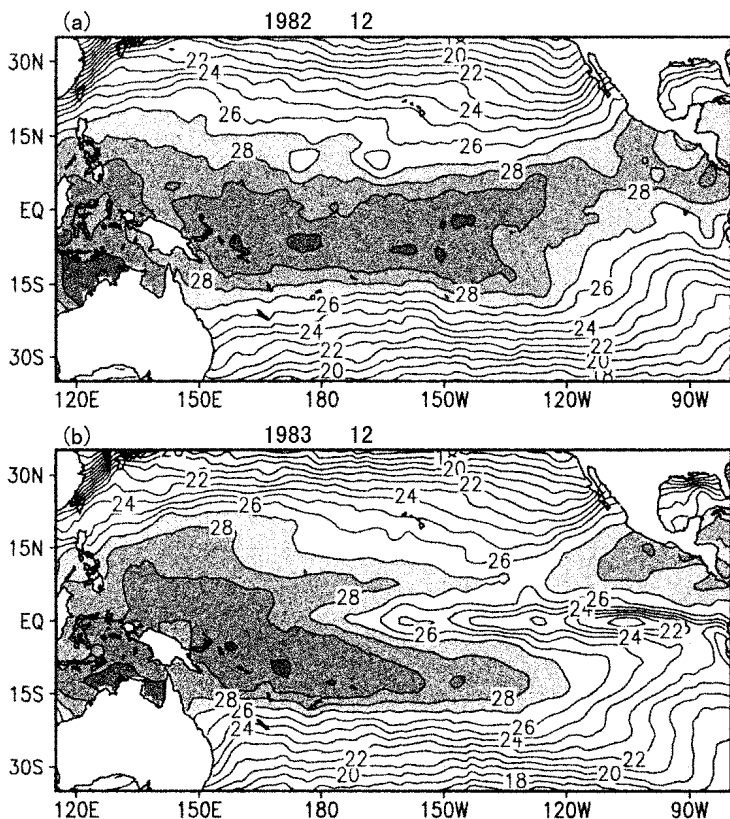


图 缘 葬 (葬厄尔尼诺和(遭拉尼娜期间的热带太平洋海表面温度分布

海表温度的年际变化强烈地影响着热带大气环流、对流区位置及相应热带降水的年际变动。在正常情况下,热带太平洋地区由于信风的辐合存在两条辐合带(见第七章图 苑 葬),即位于赤道以北的赤道辐合带(厄尔尼诺)和位于赤道以南的南太平洋辐合带

(~~东移~~位),这两条辐合带在西太平洋相交,其位置主要是由暖的海温区决定的。在厄尔尼诺期间,赤道太平洋海温东西向相对均匀(图 ~~缘起~~葬),这将使得热带太平洋的两条辐合带向赤道靠拢,即 ~~南移~~在北移,而 ~~东移~~在北移。同时,东西向海温差减小,向西吹的信风减弱,纬向沃克环流因此减弱,而此时经向哈得莱环流却增强。在拉尼娜期间,形势与上述相反,此时表面冷水从热带东南太平洋向赤道延伸,并沿着赤道一直向西扩展而形成一异常强的冷水舌(图 ~~缘起~~遭),对应这样的海温分布,两条热带辐合带则表现为相互分离,即 ~~南移~~在北移,~~东移~~在西缩。对应着上述两种情况,热带对流云量也表现出尖锐的对比,在拉尼娜盛行时(如 ~~灵验~~缘年),日期变更线(~~灵验~~缘以东的赤道太平洋上空基本上是晴空无云,烈日高照;而在厄尔尼诺盛行时(如 ~~灵验~~缘—~~灵验~~缘年),原先在西部的对流区东移,使得几乎整个赤道太平洋都是密云蔽日,对流翻腾。

热带对流区的变化则直接影响降水量的变化。在厄尔尼诺期间,在太平洋的赤道中、东部地区出现异常暴雨,而在印度尼西亚、菲律宾、夏威夷以及澳大利亚东部等地区则出现干旱;在南美西部,~~南移~~自北向南向赤道偏移,给厄瓜多尔、秘鲁北部等地带来暴雨,但给玻利维亚和中美洲部分地区却带来干旱。另外,厄尔尼诺也会造成印度季风降水减弱以及东南非洲偏旱,但却造成斯里兰卡和赤道东非的降水增加。在拉尼娜期间,降水形势基本上和上述情形相反。

热带对流区的变化也直接影响海平面气压,而气压梯度的变化又和风的变化联系在一起。从热带太平洋到热带印度洋存在着两种不同的风系:在太平洋尤其是中、东太平洋,风是自东向西吹,是信风,它是由东西向海温梯度驱动和维持的;在印度洋、南海,春、夏季风是自西向东吹,是季风,它是大气环流的季节变化和海陆对比形成的。一般来说,这两种风系的变化范围是反相的,即你退我进,或你进我退。在暖位相(即厄尔尼诺)时,季风(即西风)增强并向太平洋扩展,最远可伸展到日期变更线附近,而信风(即

东风)则减弱并向东撤退,在冷位相(即拉尼娜)时,则变化相反。不过,上述特征是从大范围而言的,但在一些小范围内也有例外。例如,在阿拉伯海,那里的西南季风在厄尔尼诺期间是减弱的;而在秘鲁沿岸,东南风的强度在厄尔尼诺期间并没有被减弱,这是由于那里的风部分是由海洋和邻近沙漠之间的温度对比决定的。因此,在厄尔尼诺期间,即使太平洋大范围的信风减弱了,但在离开秘鲁沿岸的较小范围内,风还保持着一定的强度。

第六章 厄尔尼诺的生命期及其特征

厄尔尼诺是热带太平洋厄尔尼诺—南方涛动循环中的一种暖位相,就这种单个暖事件而言,有其发生、发展、成熟和衰亡的生命期,也有其不规则再现的年际变化。也就是说,在厄尔尼诺演变过程中,至少存在着两个重要的时间尺度,一个是厄尔尼诺自身的生命期(约 3~5 年),另一个就是相邻两次厄尔尼诺的间隔期(约 3~7 年)。认识厄尔尼诺的这两种时间尺度变化特征是本章要介绍的主要内容。

厄尔尼诺热带太平洋的正常季节变化

厄尔尼诺的发生和发展对季节有明显的依赖性,和季节变化的循环有密切联系。热带太平洋地区大气和海洋条件的正常季节变化主要表现为热带辐合带、热带对流区的季节性移动以及信风、海表温度的变化。

气象卫星拍摄到的地球照片清楚地显示,热带某些地区总是非常白亮且具有高度反射性,这些地区事实上是热带的云区,那里湿空气上升并且凝结形成降水,也是对流发展区。这些区域在陆地上主要位于中美洲、南美洲、东南亚以及澳大利亚至印尼附近的海洋性大陆,而在海洋上则位于热带辐合带区域,这种辐合带即是位于赤道北侧的东北—西南向的赤道辐合带(NEC)和位于赤道以南的东南—西北向的南太平洋辐合带(SPCZ),这两条辐合带在热带西太平洋交会,热带辐合带的位置可参见第七章图 7.1。热带对流活动常可以用卫星测得的地球外逸长波辐射(OLR)或等价的黑体辐射温度(T_{eff})来定量表示。在对流区,由于对流云

的形成和发展,卫星测得的 $\bar{Q}_{out}$ 事实上是来自对流云云顶的辐射,由于那里温度相对较低,因此测得的 $\bar{Q}_{out}$ 相对较小,而在晴空区, $\bar{Q}_{out}$ 则主要由地表温度决定,由于地表温度总是高于云顶温度,故晴空区 $\bar{Q}_{out}$ 的值较大。因此, $\bar{Q}_{out}$ 的低值区常常可以表示为对流活动区。图 2.10 反映了平均的 $\bar{Q}_{out}$ 在冬、夏季的水平分布,一般来说, $\bar{Q}_{out}$ 小于 200 W m^{-2} 的区域为强对流和降水旺盛区,并且在海洋上基本对应两条辐合带。由图可见,强对流区的正常季节变化主要表现为对流区从印度北部向西南热带太平洋的移动。在北半球夏季,南太平洋辐合带(Q_{out} 很弱,强对流主要位于印度北部的大陆上(对应印度夏季风降水),同时,位于赤道北侧太平洋上的辐合带 Q_{out} 也增强。在由北半球夏季向冬季的转换中,强对流区表现为向东南方向移动,以致到了 1 月份,南太平洋辐合带(Q_{out} 变得强盛,而 Q_{out} 则变得很弱。源月份以后,

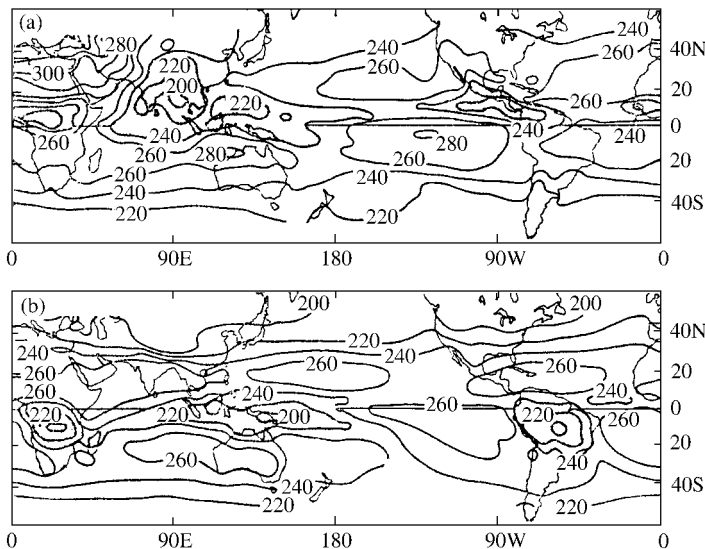


图 2.10 极轨气象卫星测得的平均外逸长波辐射($\bar{Q}_{out}$)
通量分布(单位: W m^{-2})
(源: 1 月, 7 月, 1 月, 7 月)

强对流区又从东南向西北回撤,槽在逐渐增强,而脊则在向西、向赤道的收缩过程中也逐渐变弱。

热带太平洋对流区及辐合带的季节性移动将伴随降水和海平面气压的季节变化。一般来说,热带东太平洋是干旱区,只有槽的季节性移动才会带来季节性降水,这是因为降水区总是和槽的位置相重合的。海洋上的槽位于北半球,在正常情况下,每年的猿~源月份,槽在自北向南移动到它的最南位置,即赤道附近,而在愿~怨月份则移到最北位置(约 5°N)。在陆地上(包括海洋性陆地),对流区则总是位于夏半球。因此,该对流区每年跨越赤道两次。中东太平洋的赤道地区降水必须依赖于槽的出现,这一般发生在猿~源月份,因为那时槽在最南,最接近于赤道。而在 5°N ~ 15°N 地区的最大降水则发生在愿~怨月份,因为那时槽在位置最北。由于槽在南北方向非常狭窄,所以相联系的降水型的南北梯度也非常之大。

湿空气在对流区上升,那里表面气压低而降水强,而干空气在干旱的高气压带下沉。因此,热带太平洋的信风和印度洋的季风都是从高气压带吹向低气压带对流区的(当然,这种流向还要受到地球旋转效应的影响,不过在低纬度地区这种影响比较小)。对流区位置的季节变化因此也意味着表面风的季节变化。发源于东南太平洋的东南信风和发源于东北太平洋的东北信风的辐合形成了赤道辐合带(槽),由于南北半球大气环流的非对称性,形成的槽并不正好位于赤道上,而是偏在赤道北侧(见第七章图苑源)。由于这种非对称性,平均而言,就会有一个越过赤道向北的表面气流,也就是东南信风侵入北半球。热带太平洋信风的季节变化是和槽的季节移动联系在一起的,并且东南信风和东北信风的季节变化总是位相相反的。在怨月份,槽在位置最北,东南信风最强,而东北信风最弱;而在猿~源月份,由于槽在接近于赤道,则形势变得相反,东北信风最强,而东南信风最弱。

与对流区、风场季节变化相对应的是海表面温度的季节变化,图远圆显示了热带太平洋平均的海表温度在不同季节的空间分

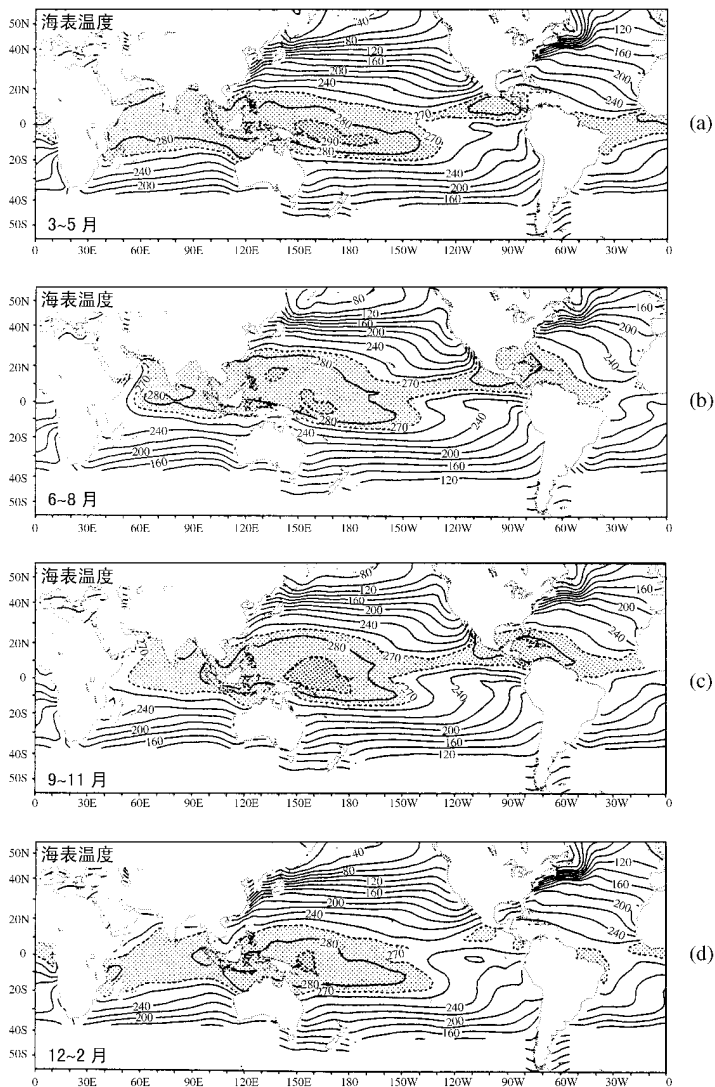


图 1 热带太平洋不同月份平均海表温度分布
(葬猿-缘月；遭远-愿月；糟怨-员月；苗圆-圆月)

布。一般来说,赤道西太平洋的暖水海温季节变化较小,而赤道东太平洋海温季节变化较大,且有一种年循环变化规律,即在春季为季节性最暖,而在秋季为季节性最冷。将海温分布同对流区分布(图 2-10 中 赤道附近 0°~5°S 的热带区域)比较可以知道,湿空气总是在高海温区上升,而干空气在低海温区下沉。最暖的海水位于热带西太平洋和赤道北侧的几个纬度带内,那里正是 对流区所在地,并且大于 0.5°C 的暖水区正好与有组织的大气对流区(赤道附近 0°~5°S)相重合。热带辐合带的季节性移动是和海表温度的季节变化联系在一起的,在赤道中东太平洋,当海温在 1 月达到最暖时,则 对流区位置最南并接近于赤道。而当海表面温度从 1 月开始季节性下降后,对流区也开始从最南位置向北面暖水区移动。在西太平洋,当暖水区从冬半球(即冬季的半球)偏向夏半球(即夏季的半球)时,对流区也跟着进行同样的季节性移动。

因此,我们可以得到,海表面温度影响了热带辐合带的季节性移动,进而影响了表面风型的季节变化;反过来,表面风型又影响了海表面温度的季节变化。这是一种海洋和大气在季节变化时间尺度上的相互作用,通过这种相互作用,形成了热带太平洋的季节变化基本特征:即正常情况下,1 月赤道中东太平洋海表温度季节性最暖,东南信风最弱,而 7 月份海表温度季节性最冷,东南信风最强。

厄尔尼诺的‘锁相’性

观测研究发现,尽管每一次厄尔尼诺事件的发生、发展在具体细节上有差别,但有一些共同的特征,即厄尔尼诺的发生和发展总是倾向于固定的季节,特别是和正常的季节变化循环有依赖关系。图 2-11 反映了在南美沿岸航线上测得的自 19 世纪 80 年代以来 7 个主要厄尔尼诺事件平均海温随时间的演变,其中图 2-11 中的实线表示 厄尔尼诺事件的平均海温,虚线为多年平均海温的

季节变化,图 遭 灾 为各个厄尔尼诺事件海温对平均季节变化的偏差(即异常)。由图 灾 葬 可见,平均的厄尔尼诺事件中暖海温的发生和发展是和正常的季节性增暖一致的,它实际上表现为

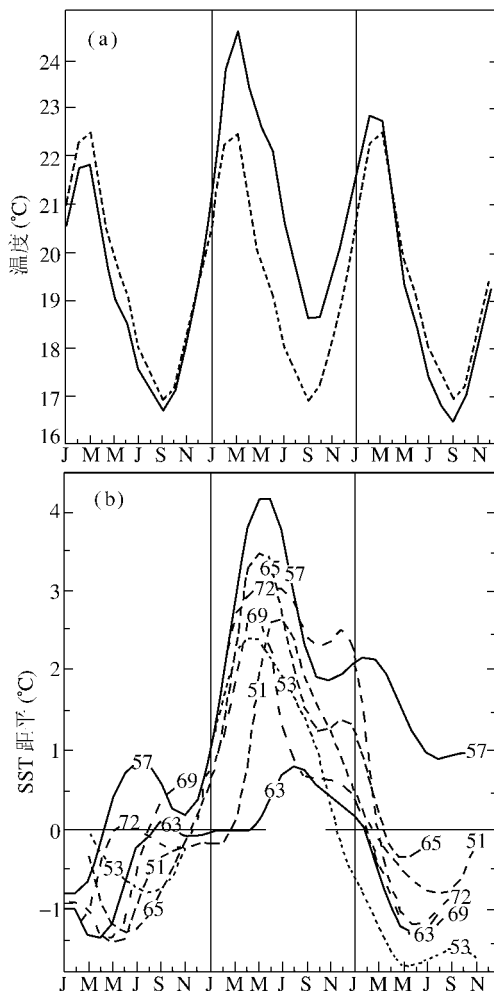


图 灾 葬 厄尔尼诺事件时位于南美沿岸附近的海表温度变化(实线)和正常季节变化(虚线)及(灾 对季节变化的偏差

增强的季节性增暖。这意味着,极端的高海温和强降水总是出现在它们季节变化最大值的时候。由图 2.1.1 进一步可以看到,在这类厄尔尼诺事件中,除 1957 年的弱事件外,每一次厄尔尼诺事件中的海温正异常都起始于同一季节。厄尔尼诺的建立对季节循环的这种依赖关系,一般被称为厄尔尼诺的发生和发展对季节变化的‘锁相’性特征。

合成的厄尔尼诺

厄尔尼诺对季节变化的‘锁相’关系给我们研究厄尔尼诺带来了方便。不同厄尔尼诺事件的振幅可以是非常不同的,但‘锁相’性使得不同事件的位相具有相似性,正因为这样,对厄尔尼诺进行合成分析是可能的。

气象学家拉斯姆森(Rasmusson)和卡蓬特(Caplan)在 1982 年对 20 世纪 50 年代以来(1950—1982)发生的 5 次主要厄尔尼诺事件的海表温度和海平面风场进行了合成分析,并作了合成图,试图综合出厄尔尼诺的生命期(即发生、发展、成熟和衰亡)中各个阶段的共同点。图 2.1.2 为厄尔尼诺生命期中海表温度随时间演变的合成图,根据这些合成图,厄尔尼诺事件的生命期可以被分成不同的阶段。拉斯姆森和卡蓬特把厄尔尼诺事件分成了前期条件、初始位相、峰值位相、过渡位相和成熟位相 5 个阶段。

费南德尔(Fernandez)概括地把一个典型厄尔尼诺事件的发展分成 4 个阶段:(1)先兆阶段。在厄尔尼诺事件发生的前一年 10 月和 11 月,沃克环流的上升分支东移到新几内亚和日期变更线之间。因此,澳大利亚达尔文附近的海平面气压升高,日期变更线附近的信风减弱,海表面温度有微弱的正异常出现,印尼附近的降雨量减少,而日期变更线附近降雨量增加。在东南太平洋在更早一个季度,海平面气压已有所下降。当沃克环流东移时,哈得莱环流也已开始变化,这主要反映在赤道辐合带南移上。在厄尔尼诺年

的年初月份,东太平洋的 暖水 在向 南移动,甚至可越过赤道。暖水 的这一移动伴随着赤道东南太平洋信风减弱,海表温度升高,而温跃层加深;(图 异常条件的发展阶段。在这一阶段即 猿~ 缘月份,厄瓜多尔和秘鲁沿岸增暖的海温向西扩展(见图 透源 葬),速度在 缘~ 员园 厘米/秒之间。在日期变更线以西已出现的异常条件继续发展,但在时间上落后于东部异常条件的发展。当 暖水 在进一步向南移动,哈得莱环流进一步加强,到 愿~ 员园月份,异常的暖海温已覆盖赤道中东太平洋大范围地区(图 透源 遭)。此后,信风减弱、消失甚至转为西风时,厄尔尼诺在年底进入它的成熟位相(图 透源 糟)。此时,沃克环流的上升支已移到赤道中太平洋,那里对流活动旺盛,而日期变更线以西的赤道西风向在这一对流区辐合;(猿 回到正常条件。南美沿岸处的异常条件,其振幅在厄尔尼诺发生后的头几个月后就开始减弱(如图 透源 所示),低的海表温度和强的信风首先在东南太平洋出现,然后向西传播,在事件发生后的 员~ 员愿个月,海温场恢复到一个弱的冷态(图 透源 凿)。在日期变更线以西,从 员圆月和 员月开始向正常条件恢复,西风逐渐转为东风。

在厄尔尼诺事件中,其他海洋条件也有明显变化,信风的减弱和赤道西风的出现,减弱了向西的南赤道洋流。而在整个事件中,东太平洋的温跃层经历了变深到变浅的过程,而西太平洋则与之相反。与此对应,海面高度也有明显的变化,图 透源 显示了热带东、西太平洋中两个观测点的海面高度变化情况,这两个点分别是 秘鲁 海岸和 印度尼西亚 海岸(图 透源 葬和 透源 遭),图内容和图 透源 类似,上图是 远个厄尔尼诺事件海面高度的变化,下图是 远个个例合成后的变化(实线)和正常的季节变化(虚线)。由合成曲线可以看到,当厄尔尼诺处于顶峰位相时,西太平洋的海面高度开始下降(图 透源 左),到成熟位相达最低值,然后急剧上升,到次年 源月回到正常高度。东太平洋呈相反变化趋势(图 透源 右),峰值位相时达最高值,过渡位相时下降到一个谷值,然后又上升,到成熟位相达到第

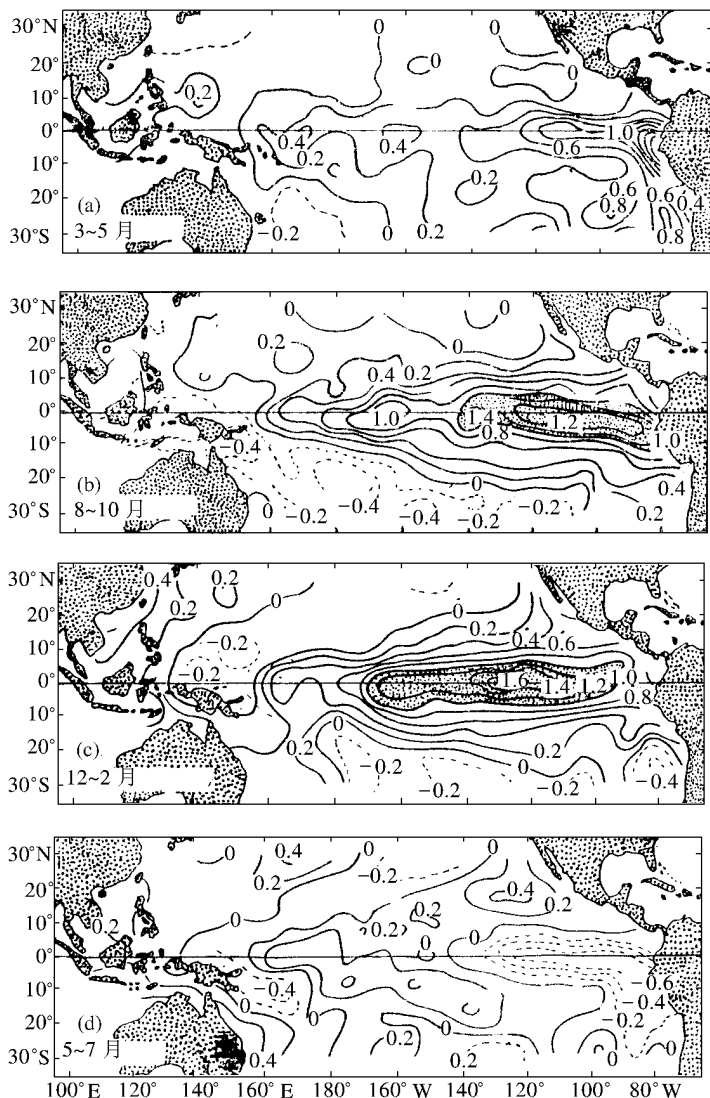


图 6-10 厄尔尼诺生命期中海表面温度异常的合成图

(a) 爆发年的 3~5 月 ; (b) 爆发年的 8~10 月 ; (c) 爆发年的 12~2 月 ; (d) 爆发后一年的 5~7 月

以及最近的一次厄尔尼诺-厄尔尼诺年事件,其中厄尔尼诺-厄尔尼诺年和厄尔尼诺-厄尔尼诺年两次事件最为强大。在第四章中,我们已经介绍了厄尔尼诺-厄尔尼诺事件的主要观测特征,因此,这里将主要介绍其他的厄尔尼诺事件,其中特别介绍厄尔尼诺-厄尔尼诺年事件。

厄尔尼诺-厄尔尼诺年厄尔尼诺事件是 20 世纪以来发生的仅次于厄尔尼诺-厄尔尼诺年事件的特别强的事件,不仅在强度上,而且在时间演

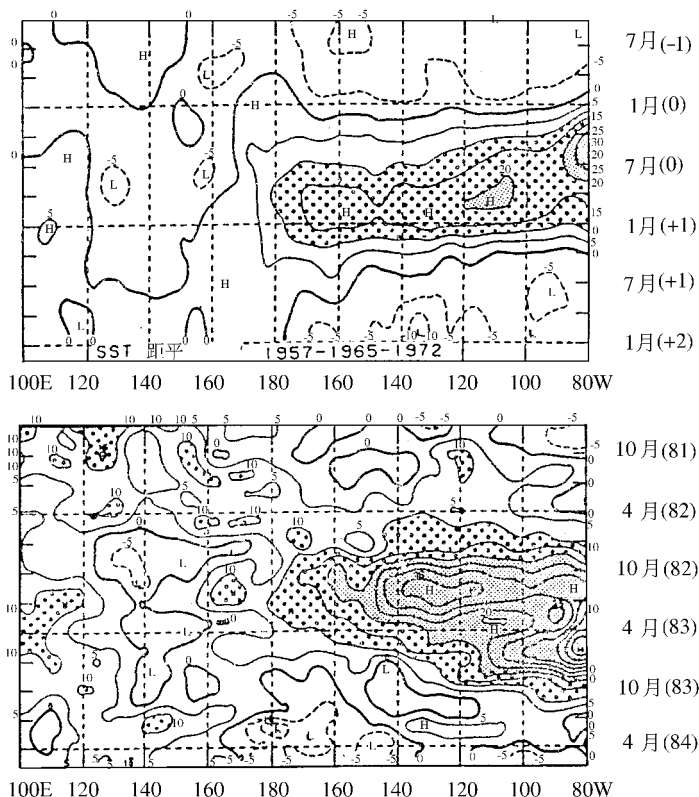
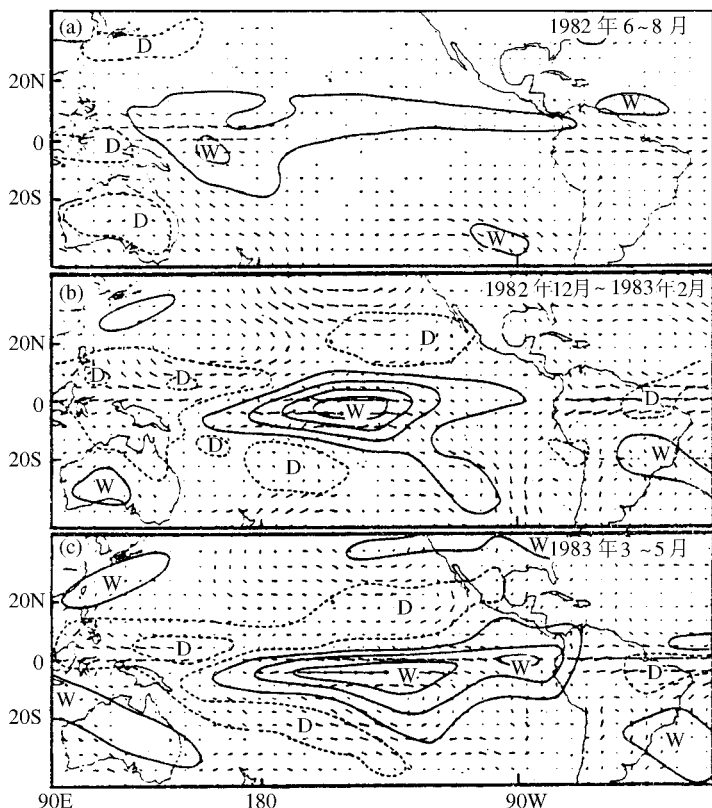


图 6-2 厄尔尼诺海表面温度异常沿赤道的时间—经度剖面

上图 厄尔尼诺-厄尔尼诺年厄尔尼诺事件的合成

下图 厄尔尼诺-厄尔尼诺年厄尔尼诺事件

变上也和传统合成的所谓典型厄尔尼诺事件不同。如前所述,在典型的合成厄尔尼诺事件中,海温的异常增暖年初首先在南美沿岸出现,到苑月份向西扩展到员园园以东的赤道中东太平洋,异常海温是从东部的南美沿岸向西传播的(图远苑上)。员园园年初,在秘鲁和厄瓜多尔沿岸并未出现增温现象,增温的第一个峰值是在



图远苑 厄尔尼诺年大气风场异常(用箭头表示)和外逸长波辐射(虚线)异常(用等值线表示,其中实线表示负异常,“宰”区为湿的异常对流降水区)

(葬 员园园年远~愿月;(遭 员园园年愿月~员园园年愿月;(糟 员园园年猿~缘月)

年底出现的,并在 1982 年 1 月出现了第二个峰值,其局地强度高达 2.5°C ,然后迅速下降。事实上,这次事件的海表温度正异常是在日期变更线以西首先出现的,如图 6-1 所示。在 1982 年 1 月份左右,日期变更线以西已有零星的增温异常出现,这些增温信号逐渐发展,并向东传播,到 1983 年 1 月份,在东太平洋形成大范围的海温增暖区。即使这时,正海温异常中心也不在南美沿岸。直到 1983 年初夏,正的海温异常才向东传到南美沿岸。

1982 年 1 月在赤道中东太平洋海表面温度突然大范围上升前,大气条件已有所反映,南方涛动强度的减小要比传统的厄尔尼诺事件晚,且变化急剧,塔希提和达尔文的海平面气压差在 1982 年 1 月要比正常值下降了 1.5hPa 。图 6-2 显示了这次厄尔尼诺事件过程中的大气低层(850hPa)风场异常和对流降水活动(以 5mm/day 表示)异常的演变,其中矢量箭头表示风的异常,等值线表示 5mm/day 的异常(实线区表示 5mm/day 减小、降水增加区)。1982 年 1 月,在日期变更线以西沿赤道的东风转为西风,异常西风强度超过以往的事件,风的突变造成中太平洋出现暴雨,1 月异常的风和降水见图 6-2 所示。到 1982 年 1 月至 1983 年 1 月,异常西风向东扩展过了日期变更线到 180° 附近,相应的对流性降水异常也加强并向东移动(图 6-2)。这种向东的传播过程一直继续到 1983 年 1 月(图 6-2),这时达到厄尔尼诺事件的成熟期。

由此可见,1982—1983 年的厄尔尼诺事件与典型的事件不同,海洋和大气中的先兆均在中、西太平洋地区首先出现,然后异常条件自西向东传播。图 6-3 是这次厄尔尼诺事件中 5mm/day 异常、大气风速异常以及海表温度沿赤道的时间—经度剖面。由图可见,这些物理量构成一个内在有机的整体,同步地向东传播,每月大约向东传播 5° 个经度。

像 1982—1983 年这种异常发展的厄尔尼诺事件,反查历史,1957—1958 年的厄尔尼诺事件也很相似,但这次事件的强度远没

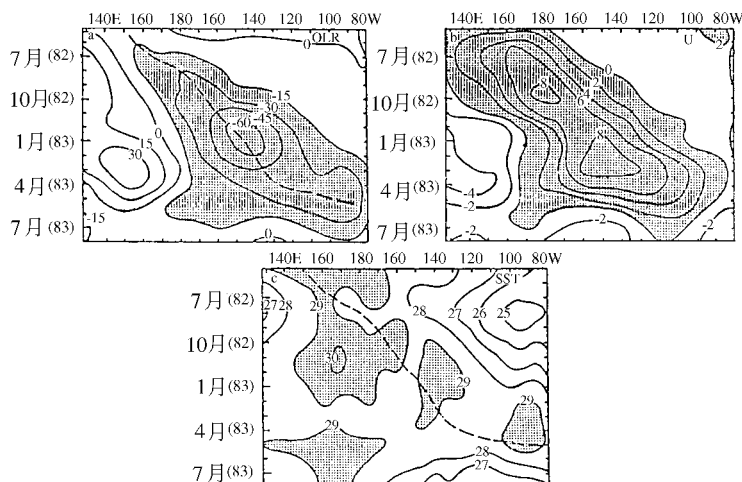


图1 1982—1983年期间物理量沿着赤道的时间—经度剖面
(a) 外逸长波辐射(阴影)异常(单位: W/m^2) ; (b) 纬向风速异常(单位: m/s) ; (c) 海表温度(单位: $^{\circ}\text{C}$)

有1982—1983年的事件大。另外,1982年的弱厄尔尼诺事件,海温的正异常也是首先在中太平洋开始后向东传播的。因此,传统合成的典型厄尔尼诺事件的发展模式只代表了一类的厄尔尼诺事件。事实上,首先从中、西太平洋开始的事件并非鲜见,20世纪80年代以来,随着人们对热带太平洋观测能力的提高,发现厄尔尼诺事件几乎都是发源于中、西太平洋。1982—1983年的厄尔尼诺事件的先兆是从中、西太平洋低层西风的爆发开始的,而20世纪最强大的1982—1983年厄尔尼诺事件,正如第四章介绍,其先兆也是西风异常最早在西太平洋出现,并且由于通过 锚碇浮标对热带太平洋上层海洋的实时监测,人们清楚地看到,伴随着西太平洋西风异常,海水增暖在西部的次表层首先形成,并且向东传播和发展,导致了一次最强大的厄尔尼诺事件。

20世纪80年代以后的厄尔尼诺事件所具有的不同特征,是对根据20世纪80年代以前厄尔尼诺事件总结出的典型厄尔尼诺

事件特征的补充,它表明事件的先兆可以先在东太平洋出现,也可以首先在中、西太平洋出现,可以首先表现在大气的异常上,也可以首先表现在海洋的异常上。厄尔尼诺事件中物理量传播方向的差异可能表明控制厄尔尼诺演变的机理有差异。为什么 20 世纪 80 年代以前和 80 年代以后厄尔尼诺事件的特征有如此差别?这可能与气候的更长时间尺度变化有关系(如温室气体造成的全球背景气候增暖、50 年际气候变化等),特别是年代际(即 30 年际)气候的变化对厄尔尼诺—南方涛动年际变化可能有一定的调控作用,不过这些问题现在还不清楚,有关科学家目前正在研究。

缘 厄尔尼诺的不规则再现性

前面我们介绍了厄尔尼诺的生命期,一般来说,一次厄尔尼诺从其发生到其消亡大概经历约 5~10 个月。除了生命期,我们还要关注厄尔尼诺的再现问题,即两个相邻的厄尔尼诺事件的间隔期。厄尔尼诺—南方涛动循环是热带太平洋冷暖态在年际时间尺度上的一种振荡,这种振荡的周期大致上是 3~5 年,但振荡并不规则。最短的两次厄尔尼诺事件间隔为 2 年,但最长的为 8 年。换句话说,厄尔尼诺事件在某些年代里发生非常频繁,而在另一些年代则很少出现。这表明,厄尔尼诺—南方涛动循环中可能存在多种周期的振荡。

在 20 世纪初,人们就指出了南方涛动年际变化时间尺度特征,证实了南方涛动的振荡周期约为 3~5 年,随着观测资料的不断积累,人们认识到,单个暖(或冷)事件的时间间隔为 2~8 年,表现出较宽的谱带特征。进一步分析表明,单个冷暖事件的出现对季节变化循环有部分的“锁相”关系,且部分地表现为具有两年周期现象。季节变化和厄尔尼诺—南方涛动循环的关系一直受到人们注意。赤道以外的季节变化主要随纬度变化,这是太阳加热年循环强迫的结果。而沿着赤道季节变化则主要随经度变化,如海

表温度季节性最暖在 猿~ 源月,位于南美沿岸,然后随时间向西推移。厄尔尼诺—南方涛动循环中的暖(或冷)事件事实上是叠加在平均季节循环上的极值态,且具有准两年变化的特征,即若当年为季节循环增幅,则下一年为季节循环减幅,而其转换季节为北半球春季。因此,可以看到,季节循环对于厄尔尼诺—南方涛动循环中的准两年分量起着最基本的作用,它主要是固定或至少是强烈地影响着厄尔尼诺的位相。后来,谱分析进一步揭示出热带变量如海表面温度、海平面气压、纬向风以及降雨量等的谱均具有两个显著的峰值,其主周期为 猿~ 远年,而次周期对应于准两年振荡。特别指出的是,拉斯姆森在 员愿园年根据观测分析提出了厄尔尼诺—南方涛动循环主要由三种时间尺度组成的概念性框架:一是 猿~ 远年的甚低频振荡,二是准两年振荡,三是季节变化循环。厄尔尼诺—南方涛动循环中这种多重时间尺度的概念性框架已得到越来越多的观测资料的证实。

最后,结合前文介绍的厄尔尼诺锁相性,可以认为在厄尔尼诺的时间演变历程中,它既有锁相性(规律性),同时又具有不规则(随机)再现性。这就是说,每一次新的厄尔尼诺总是起始于海温增暖季节(约春末夏初),是锁相性的,比较有规律。而任意两次邻近厄尔尼诺的间隔期,亦即前一次厄尔尼诺结束后紧接着新一次厄尔尼诺究竟需要隔几年才出现,这是不规则的,具有一定的随机性,短的是 圆年,长者可达 怨年。所以,厄尔尼诺的两个特征时间尺度(即生命期和间隔期)是不同的,前者具有确定的锁相性特征,后者具有随机无规则特征。这给预测厄尔尼诺出现的年份带来相当的困难,但是一旦预测出确定的年份后,基本上就可以确定厄尔尼诺大约在那年的春末夏初出现。

第七章 厄尔尼诺的发生原理

在第五章中曾指出厄尔尼诺—南方涛动(ENSO)是热带大气和海洋相互作用产生的一种自然现象,它在海洋中的分量就是厄尔尼诺,在大气中的分量就是南方涛动。早期的海洋学家认为是由于南方涛动或者信风减弱驱动表层暖水向西流的减弱,引起了厄尔尼诺。早年的气象学家却认为是由于赤道太平洋海温东西不对称的变化或者厄尔尼诺,才导致了大气中的南方涛动。其实,它们是互为因果的,类似于一个“先有蛋还是先有鸡”的问题。所以,本章将以相互作用和互为因果的观点,来具体介绍厄尔尼诺发生的原理。

§7.1 热带太平洋大气和海洋的气候平均状态

厄尔尼诺—南方涛动(ENSO)现象的存在,主要是由热带太平洋大气和海洋的气候平均态结构所决定的。这种气候平均态涉及热带太平洋东西向海表面温度的对比、海表面温度和表面气压(表面风)的关系、主要热带降水区以及支配热带大气的直接热力环流等许多方面。因此,要理解厄尔尼诺的发生发展原理,必须首先认识热带太平洋大气和海洋的正常状态。

图 7-1 显示了正常情况下(即气候平均态)年平均的海表面温度分布。由图可见,在热带太平洋,典型的海表面温度结构是一西暖东冷型的分布型。其中,热带西太平洋是全球最暖的表面海水聚集区,这种暖海水可以向下扩展到 500 m 深,因此,被称为西太平洋暖池。相对地,热带东太平洋特别是赤道地区则有一明显的

冷舌分布。赤道东太平洋冷舌有非常显著的季节变化,正常情况下,每年的 1 月达最强(即最冷),而 7 月则最弱。相反,西太平洋暖池则相对稳定,季节变化较小。

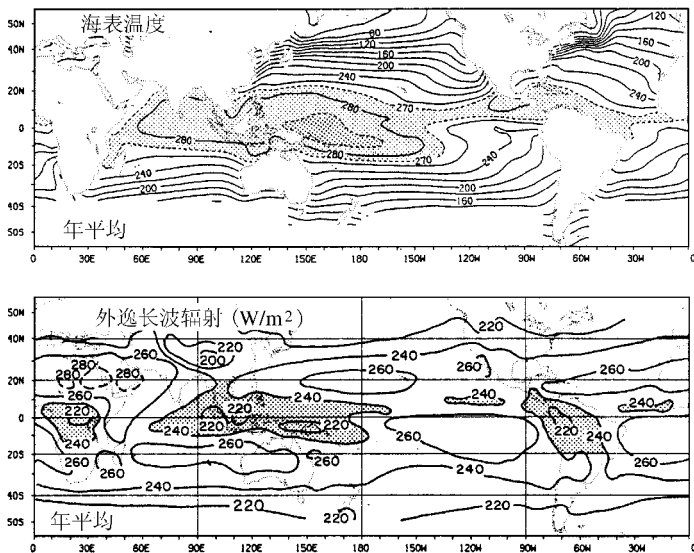


图 1 热带太平洋平均的海表面温度(℃)分布和
年平均的外逸长波辐射(W/m^2)分布

上图 图中数值已被放大 10 倍,阴影区表示暖海水区;

下图 单位为 W/m^2 ,阴影区表示长波辐射的低值区,对应大气对流活动区。

热带太平洋海表面温度的这种分布型是与表面风的分布及强烈的太阳辐射相对应的。在西部,表面风相对较弱,从而允许太阳辐射加热海洋并减少由于蒸发所造成的热量损失,而东部的表面东风(即信风)驱动的向西流动的表面洋流造成海水在西部堆积。与此同时,发源于南半球的东南信风造成南美沿岸和东太平洋赤道地区的下层冷海水向表面涌升(上翻)。上述两方面在赤道太平洋海表面造成了一个东西向的坡度,即海水表面西高东低,落差达 1 米。与此相对应,也造成了下层冷水和上层暖水的界面在东

西向的倾斜。该界面在西部位于 $1000\text{m} \sim 1500\text{m}$ 的深处,而在东部则非常浅,只有 100m 左右。这种下层冷水和上层暖水的界面对应于图 7-10 中的等温线密集区,被称为温跃层或斜温层,这是一层薄薄的海水,垂直温度梯度最大。在温跃层的上方是一层在垂直方向上充分混合了的暖海水,这一层一般被称为混合层。赤道太平洋温跃层或斜温层深度的西深东浅的倾斜结构,表明西太平洋暖池深厚,而东太平洋冷舌则比较浅。科学家研究表明,温跃层深度的这种倾斜结构是造成赤道海洋动力学在东西向上差别的主要原因,也是厄尔尼诺在赤道中东太平洋发生发展的重要因素。

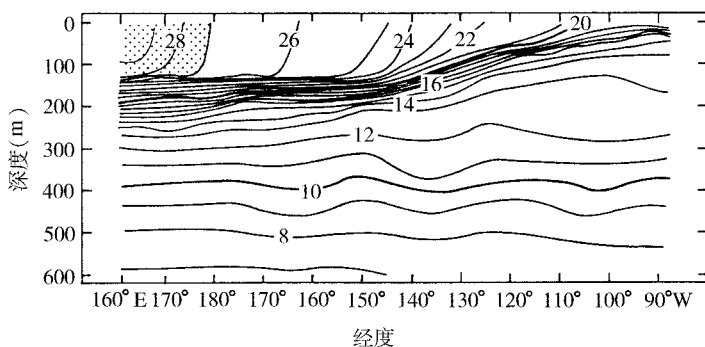


图 7-10 气候平均的海洋温度沿着赤道太平洋的深度-经度剖面
(其中横坐标为经度,纵坐标为海洋深度,等值线上数值单位为摄氏度)

赤道东太平洋冷水舌的维持涉及多方面的过程,其中向西流动的表面南赤道流(强流)、深层的向东赤道潜流以及上翻流和表面辐散是引起东部表面冷却的支配性过程。这些引起表面冷却的支配性过程抑制了东部表面由于太阳辐射造成的加热效应,从而维持了冷水舌的存在(图 7-11)。向东赤道潜流的产生是与横跨太平洋的海表面坡度有关系的,表面向西的信风驱动了向西的表面洋流并造成海水在西部堆积,从而在表层以下形成了一压力梯度,由于赤道上缺少地球旋转造成的科氏力效应,这种压力梯度驱动

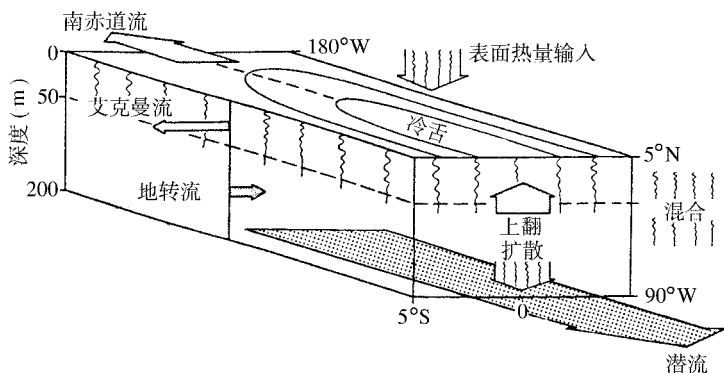


图 维持赤道东太平洋冷水舌的主要过程示意图

了一与表面流相反的向东潜流。通过东部沿岸的上翻流,向西的表面流和向东的赤道潜流构成了一个质量循环或环流圈。需要指出的是,图 显示的洋流分布仅是复杂的热带洋流系统的一部分,事实上,除了表面向西的南赤道流外,还有一支位于 晕~

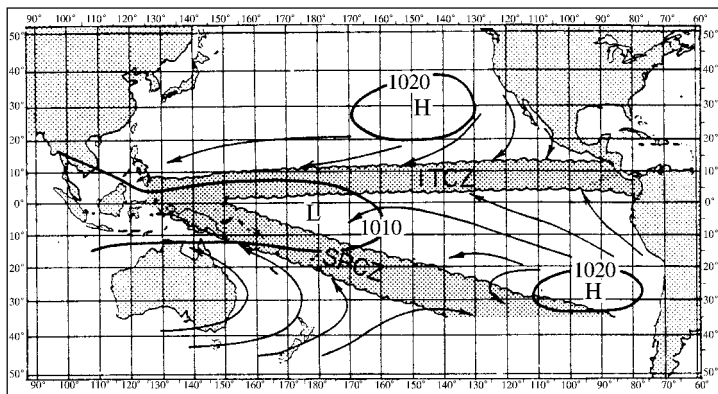


图 热带太平洋大气表面气压场、风场和辐合带示意图

(其中等值线表示年平均海平面气压,“H”表示高压,“L”表示低压,带箭头线条表示风场,阴影区表示大气辐合带,“ECZ”表示赤道辐合带,“SCZ”表示南太平洋辐合带)

图 7-1 的向西流动的北赤道流(图 7-1)以及一支介于南赤道流和北赤道流之间的位于赤道左右的狭窄的向东流(称为逆流)。这些流的存在完全是由热带地区的表面风型所决定的(图 7-2),发源于东南太平洋高压的东南信风和发源于北太平洋的东北信风及其在赤道北侧的辐合是造成热带洋流系统如此复杂的主要原因。

虽然海洋温度和洋流分布是受大气风场决定的,但另一方面,大气风场及其对应的环流和降水又受到海洋温度的制约。图 7-3 显示了热带太平洋地区表面大气基本流场示意分布,三个海平面气压系统即东南太平洋高压、北太平洋高压和印尼附近的低气压决定了表面大气风场的基本特征,其中东南信风和东北信风在赤道北侧形成了赤道辐合带(图 7-3),而东南信风和澳大利亚附近的西南气流在南太平洋上形成了南太平洋辐合带(图 7-3)。海平面气压的这种分布是和海表面温度相对应的,低气压形成于西太平洋的暖水区,而沿着赤道的信风则顺着高压向低压的气压梯度方向吹。热带大气降水主要是由积云对流性过程造成的,对流性降水主要发生于辐合带,由于大气辐合带位于暖水区,因此,大气中强的对流性降水也主要位于暖水区。

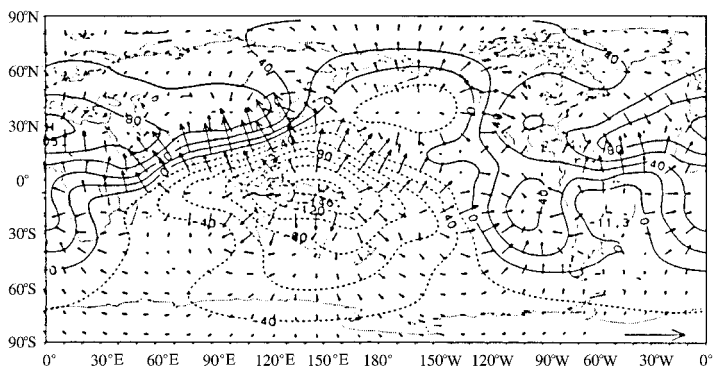
为了说明热带大气降水分布型,我们可以看由卫星观测得到的年平均外逸长波辐射(图 7-4)分布(图 7-4 见下图)。图 7-4 测量的是地球向外的辐射量,当大气无云时,它反映的是表面向上的长波辐射;当有云时,则反映从云顶向上的长波辐射。由于热带地区的云主要是对流云,因此图 7-4 分布可以作为热带对流降水活动的一种指数。图 7-4 的低值区对应对流降水活动强盛区,而高值区则对应晴空或少云区。由图可见,海表面温度的高值区和图 7-4 的低值区有相当一致的对应关系,尽管附近陆地效应和季风环流有一定的干扰。图 7-4 低值区在热带陆地上(包括非洲、南美、澳大利亚、东南亚和印尼)有一定的季节性移动,但赤道辐合带全年则始终维持在赤道北侧。位于北半球的赤道辐合带在 1 月份最弱,但此时位于南半球的南太平洋辐合带则最强。值得注意的是,位于东

太平洋的赤道地区则总是 强 的高值区,那里正常情况下,一年四季总是晴空少云,是所谓的赤道干旱带。这一赤道干旱带是和赤道东太平洋的冷水舌相对应的。

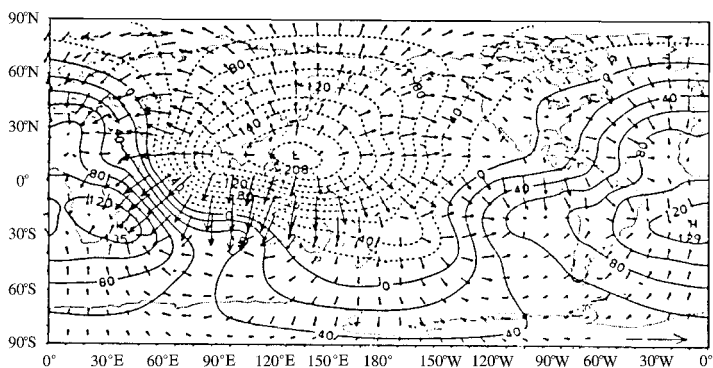
当表面信风沿着气压梯度向西吹到暖海区时,空气被增暖并变得潮湿,这将为一种热力驱动的东西向环流提供“燃料”。暖而湿的气流在西部广阔的对流旺盛区辐合上升并形成降水,而降水则产生潜热释放并加热大气。此时,在大气上层则产生向四周辐散的气流,其中有一股向东的回流,这股气流到达东部时变得冷而干燥,并在东部冷海水区下沉。这种低层向西的信风气流和高层向东的回流,在赤道太平洋构成了一东西向的垂直环流。这一环流即是沃克环流,沃克环流正是赤道太平洋东西向海表温度差异(梯度)所驱动的。

当然,东西向的沃克环流仅是热带地区热力驱动的直接环流中的一部分,事实上,热带西太平洋对流活动造成的上层辐散气流是向着四面八方的,向东的回流仅是这种流的一股分支。由图 显示的高层辐散气流分布可以看出,在高层,气流总是从热带西太平洋的热源区流出,并且气流总是从热源区流向热汇区。东西向的环流并不仅仅限于赤道,在范围上表现得相当宽。与这种东西向环流相对应的是存在一南北向环流,这种热力驱动的南北向环流就是哈得莱环流。在北半球冬季,西太平洋热源区位置偏南,高层经向气流是向北的;而在北半球夏季,西太平洋热源区位置偏北,高层经向气流是向南的。低层经向气流则和高层相反。热源区对应于哈得莱环流的上升区位置,并和赤道辐合带相联系。

综上所述,关于热带太平洋大气和海洋的气候平均态,我们已经看到了这样一种事实:热带海表面温度分布极大地受大气风场的控制,反过来,热带大气环流又是热带海表面温度分布所决定的。这就是说,大气和海洋在热带地区是发生强烈耦合和相互作用的。



冬季 (1985-1986)



夏季 (1986)

图 7-1 厄尔尼诺季节平均的赤道东太平洋风场的速度势(等值线)和相应的辐散风(箭头)分布

厄尔尼诺形成的皮叶克尼斯假说

上一章已经指出,厄尔尼诺是指赤道中东太平洋海表温度每隔 2-7 年的大范围异常增暖现象,它在大气中的反映则是热带太

平洋东西向气压差的减小,即南方涛动现象。气象学家沃克在 19 世纪初就对大气中的南方涛动现象进行了图象描绘,并且在这之后的近 100 年里,又对这种热带地区东西半球气压场之间‘翘翘板’式的振荡关系进行了系统研究,遗憾的是,沃克没有能把大气中的这种现象同海洋中的厄尔尼诺联系起来。显然,早期的研究是把厄尔尼诺和南方涛动分别作为海洋和大气中的两个独立现象进行的,由于受到当时的观测手段限制,没有人能意识到两者有什么联系。

直到 19 世纪 70 年代,人们对厄尔尼诺—南方涛动的认识出现了新的提高,即考虑了大气和海洋的相互作用。一方面,由于观测资料(如潮汐观测资料)的增多,海洋学家逐渐认识到,秘鲁沿岸的异常暖海水可以离开海岸向西扩展数千里,该异常条件仅是整个热带太平洋上层海洋异常的一个方面,且这种异常的产生是整个太平洋上空大气环流变化驱动的结果(从海洋学观点而言,把厄尔尼诺看成是热带太平洋表面风场变化所致的观点在当时已是很重要的进步)。与此同时,另一方面,在 19 世纪 70 年代后期,气象学家也开始认识到南方涛动和热带东太平洋海表温度变化有明显关系,并且把海洋作为南方涛动产生的一种可能‘记忆’机制而引入。例如,人们发现印尼雅加达表面气压的年际变化和秘鲁沿岸海表温度具有紧密关系,而海表温度和赤道太平洋干旱带降雨量之间有正相关关系,不过这些发现作为厄尔尼诺和南方涛动联系的早期证据还具有局地海气相互作用的特点。具有里程碑意义的是 19 世纪 70 年代中期,气象学家皮叶克尼斯的系列经典论文真正地推进了人们对海洋和大气相互作用的认识。

在他的系列经典论文中,皮叶克尼斯并不是仅仅指出了热带太平洋地区海洋和大气的经验统计关系,而是对这种关系提出了一种物理上的解释(或称假说),这种解释的关键是需要热带大气和海洋的双向耦合。可以这样说,皮叶克尼斯对热带太平洋地区海洋和大气相互作用的解释,导致了人们对厄尔尼诺—南方涛动认识的重大进展。皮叶克尼斯假说的核心是认为厄尔尼诺和南方

涛动事实上是热带太平洋大尺度海气相互作用导致的一个现象的两个方面。这一假说奠定了现代厄尔尼诺—南方涛动动力学的物理基础。自此之后,“厄尔尼诺—南方涛动”(即“厄尔尼诺—南方涛动”的合成词)作为一种热带太平洋海气相互作用的代名词已广泛为人们所公认。同时,皮叶克尼斯的研究成果也标志着对厄尔尼诺—南方涛动的研究从以前的统计分析途径向物理过程诊断研究过渡的一个新时期的到来。

皮叶克尼斯假说的提出首先得归因于对1982—1983年厄尔尼诺事件的观测分析。这一年是国际地球物理年,正巧这一年有一次主要的厄尔尼诺事件发生了。所有相伴随的大气变化都和南方涛动的低指数相对应,即印尼低气压增强、东南太平洋高压减弱、热带太平洋东西向表面气压差变小。如果海表面温度异常增高仅仅限于南美沿岸,那么就是一个局地性的海水增暖现象,能造成热带全球尺度的如此大范围的大气条件发生反常,是令人难以理解的。事实是,1982—1983年观测数据表明,海表面温度的异常上升现象沿着赤道从南美沿岸一直向西扩展到日期变更线(即180°经线)附近,具有明显的大范围(大尺度)特征。这期间的大尺度海气异常特征具有明显的一致性,并且指出该一致性并非这次现象所独有,具有年际再现性。

厄尔尼诺发生时,热带太平洋大尺度海洋和大气条件处于一种异常状态,但关于厄尔尼诺形成的皮叶克尼斯假说的提出,则是从认识热带太平洋正常状态这样一个关键事实开始的(图7-1-1上)。皮叶克尼斯指出,热带太平洋东部的海水在这样低的纬度还是这样的冷(由于强的太阳辐射,热带地区海水一般比高纬地区海水来得暖),既然热带西太平洋海水是如此地暖,则沿着赤道太平洋必然存在着一个大的海表面温度梯度。这种海洋东西向热力差的结果是在大气中造成一个对应的沿着赤道的直接热力环流:即位于赤道东太平洋冷水区上方的相对冷而干燥的空气沿着表面向西流向西太平洋暖水区,在那里空气被加热,获得大量水汽并参与大尺度的热上升运动,形成对流云并产生对流性降水,这种

上升的气流在大气高层部分地向极地方向流动,和哈得莱环流相联系,另外一部分高层气流向东并在东太平洋作下沉运动。因此,在赤道太平洋形成一垂直环流圈。对应这一环流圈,存在一个纬向表面气压梯度,东部气压高而西部气压低。因为皮叶克尼斯感到正是这一环流的变动激发了南方涛动,因此,他把这一环流命名为沃克环流,以纪念沃克在揭示南方涛动方面的贡献。

与此同时,皮叶克尼斯也指出,当东西向的海表面温度梯度驱动表面风沿着赤道向西吹时,这种赤道表面东风同时也起着产生和维持东太平洋冷水舌的作用,正是这种表面东风产生和维持了赤道太平洋东西向的海表温度梯度。造成海表面温度变化的因素主要包括:表面热通量、水平平流、垂直平流以及扩散等。尽管在计算进入海洋的表面热通量方面存在着不确定性,但可以断定的是,进入赤道太平洋东部的热通量要比西部的多。但海表温度却是东冷西暖,这主要是表面风驱动造成的。表面东风驱动海洋的各个方面是形成赤道东部冷海温的主要原因:即水平平流作用、赤道上翻作用和温跃层的向上位移(图 9-15)。表面东风驱动形成了表面向西的海洋洋流,这种洋流把东部海水的热量平流到西部,造成东部冷却而西部变暖。地球旋转作用形成的科氏力作用于洋流,使之在北半球总是偏向于右侧,而在南半球总是偏向于左侧,结果位于赤道上的风驱使向西,洋流就要发生向地球两极偏离,从而造成中东部赤道上的海水向赤道两侧的辐散。为了补偿这种表面海水辐散,海洋下层冷的海水将上翻(或称涌升),从而造成表面海水冷却。热带海洋可以被看成两层流体,即深处的冷水层和位于其上的一层薄的充分混合了的暖水层,在海洋中,这两层海水被极薄的温跃层所分隔(图 9-16)。沿着赤道的表面东风把暖的上层海水推到西部,于是把东部的温跃层拉得接近于海表面,从而把整个沿着赤道太平洋的温跃层结构变得东浅西深,其结果造成海水上翻的冷却效应具有明显的经度依赖性,即愈是东部,海水上翻愈容易造成表面海水冷却。

因此,热带太平洋大气和海洋环流的状态是海洋和大气共同维持的。换句话说,如果有人要问:为什么赤道太平洋海温表现为东冷西暖?答案是:因为大气表面风为向西吹的信风,信风的驱动造成了海温东冷西暖。如果继续要问:为什么赤道太平洋表面为向西吹的信风?答案是:因为海洋表面温度为东冷西暖,这种热力差的直接强迫形成了东风。因此,这完全是一个“先有蛋还是先有鸡”的问题,是一个互为因果的命题。它表明热带海洋和大气是相互作用的,正是这种相互作用,形成了热带海洋和大气的正常态。

热带太平洋海洋和大气的正常态是一个不稳定态,就好比一个人站在平衡木上,一定的扰动就可能使之向某一方向偏离,从而产生一种不同于正常态的异常态。异常态有两种:即赤道中东太平洋比正常偏冷或偏暖,在这种偏离过程中,海洋和大气经历着一种不稳定的正反馈发展过程。皮叶克尼斯把这种相互作用比作一种“链式反应”。例如,若某种原因使信风增强,则增强的信风必然使赤道东太平洋海温降低,从而加大东西向海温对比,沃克环流增强,信风因此进一步增强。这种进一步增强的信风则会进一步使东太平洋海水变冷,如此往复,信风增强和海温变低构成了一正反馈,则赤道东太平洋海温经历一个不稳定发展过程。最终赤道中东太平洋海温达到一个极端冷态,这时东西向气压梯度最大,对应于南方涛动的高指数位相,这一冷态和正常态在结构上比较类似,是一增幅了的正常态。相反,热带太平洋海气相互作用系统也可以向另一方向偏离(图 7-2),即如果某种原因使信风发生了减弱,则减弱的信风通过减小水平温度平流、垂直上翻以及使温跃层向下移位等过程,使得正常情况下的东太平洋冷舌减弱,海水温度升高,从而减小了东西向海温对比,沃克环流减弱,信风因此进一步减弱,这种进一步减弱的信风则会进一步使东太平洋海水变暖。如此往复,信风减弱和海温增暖构成了一正反馈,最终赤道东太平洋海温达到一个极端暖态。这时东西向气压梯度最小,对应于南方涛动的低指数位相,这一暖态和正常态相当不同,原先位于西太

平洋暖池区的对流降水区随着暖水区的向东扩展也向东偏移。这种极端暖态正是厄尔尼诺态,而和它相对应的极端冷态则是拉尼娜态或反厄尔尼诺,它们是热带海气相互作用正反馈不稳定发展的结果。

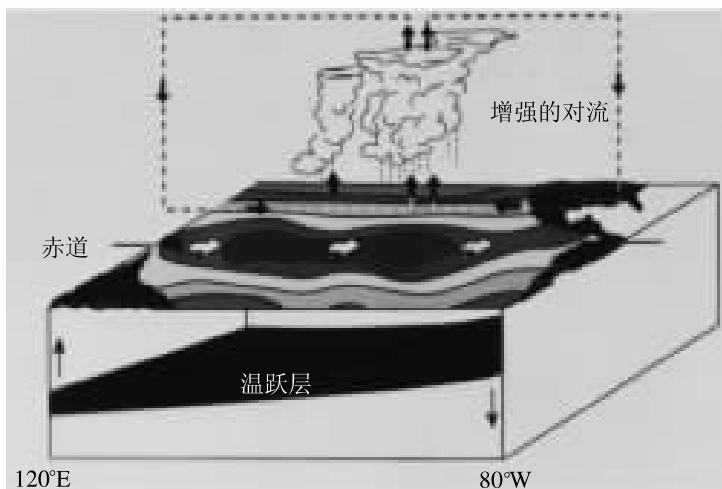
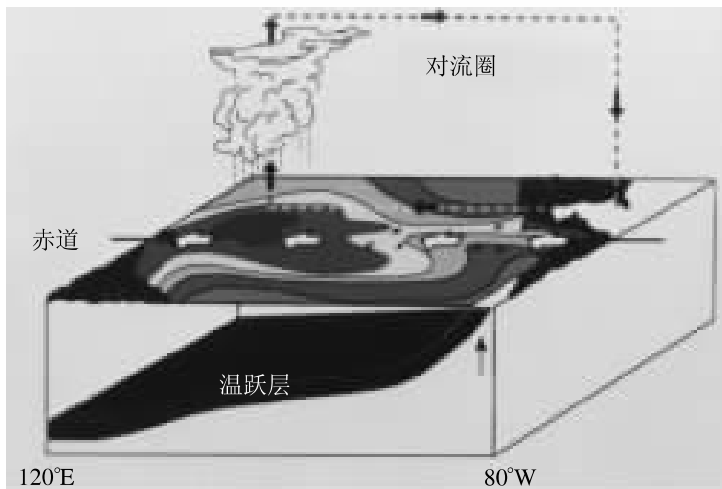


图 9-2-1 热带太平洋海气正常态(上)和厄尔尼诺态(下)

皮叶克尼斯建立了大尺度海气相互作用的框架,成功地解释了厄尔尼诺的发生原理。皮叶克尼斯关于厄尔尼诺—南方涛动形成假说中的各个分量虽不是全新的概念,但他把它们组成了一个具有合理动力学和热力学意义的统一性的概念性框架则是全新的。尽管这一假说仍存在不完善,如无法解释厄尔尼诺和拉尼娜之间的位相转换,但它对现代厄尔尼诺—南方涛动的研究,甚至对海洋和大气科学的发展均起到了重要的推动作用。

20世纪 40年代至 50年代初,许多观测、理论和模拟研究成果证实了皮叶克尼斯假说,同时修正了其中的一些不合理部分,也发现了一些新的观测事实。其中,具有代表性的工作是海洋学家乌尔基在 20世纪 40年代中期根据海面风应力、海平面高度、海表温度、温跃层结构及赤道洋流变化等观测资料分析,提出了厄尔尼诺发生的海洋学模型,并据该模型成功地预报了 1957年厄尔尼诺事件,因而一度广为流传。这一模型的主要点是把注意力从海表温度转移到海平面高度上,并且强调厄尔尼诺发生的前期征兆。早期的许多研究指出厄尔尼诺的发生是信风减弱的结果,例如,皮叶克尼斯提出东南太平洋反气旋减弱伴随的东南信风的减弱是厄尔尼诺发生的基本条件,后来纳米阿斯(1953)提出北太平洋反气旋减弱伴随的东北信风的减弱也可导致厄尔尼诺发生。而乌尔基提出的厄尔尼诺海洋学模型要点认为,厄尔尼诺发生的条件不是前期信风的减弱而是信风持续增强的结果。如图 7-1所示,在正常情况下(图 7-1a),赤道太平洋海面高度呈西高东低趋势,斜温层西太平洋为 1000m,而东太平洋为 2000m,这种结构和西暖东冷的平均海温相一致。在信风偏强时(图 7-1b),西太平洋发生暖水堆积,海平面升高,斜温层变深,上翻流减弱,但东太平洋与西部相反,若信风持续性增强,则西高东低的海面坡度不断增大,因而不断积累位能。一旦信风发生松弛即减弱(图 7-1c),则导致位能释放,表层暖水回流,东太平洋斜温层变深,海表面变高,上翻流减弱,从而出现海表面增暖。

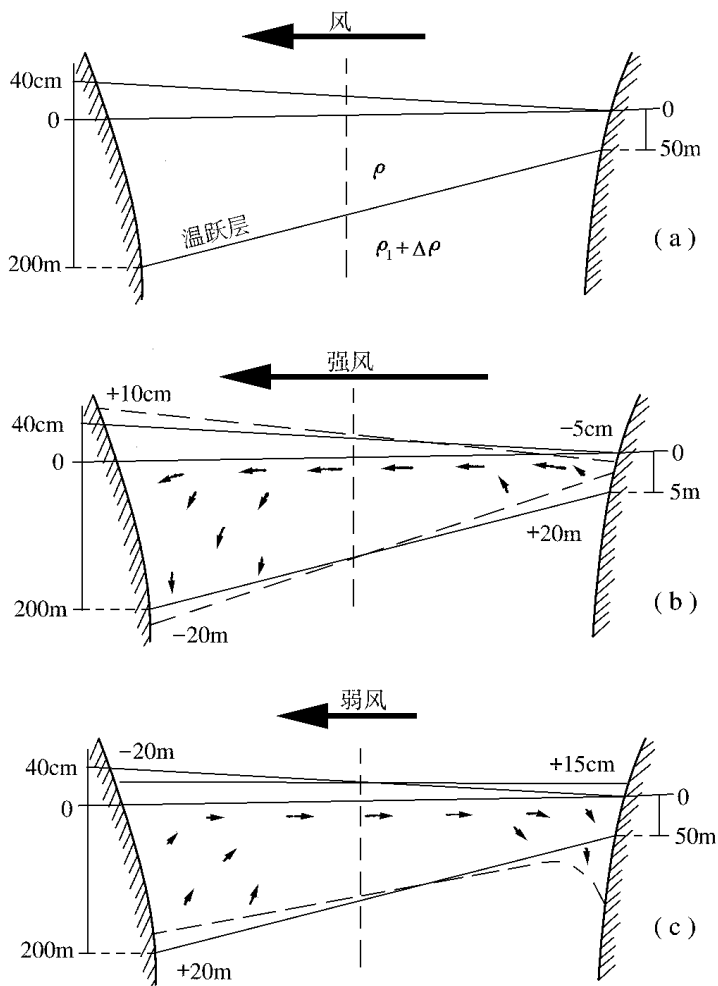


图 10-10 赤道太平洋热力结构对海面风场变化的响应
(葬 平均状况 ; 遭 强信风 ; 糟 信风松弛)

20 世纪 70 年代中和 80 年代初分别由海洋学家和气象学家总结出的厄尔尼诺发生发展模型,确实比较真实地描述了传统类

型的厄尔尼诺基本特征,但经典模型也束缚了人们对厄尔尼诺形成的本质的了解。1982年厄尔尼诺事件使经典模型遭到严重碰壁,其强度之大,发生发展方式和传播的方向等均与传统类型有明显不同。人们对这次事件的过程作了详细分析,指出其最显著的特点就是厄尔尼诺的起源并不是传统认为的在东太平洋,而是在赤道中西太平洋,从而修正了经典的厄尔尼诺模型。人们从1982年厄尔尼诺事件中深深地感到对厄尔尼诺—南方涛动的发生发展、演变规律、形成机制的了解还相当薄弱。厄尔尼诺现象并不仅限于太平洋,必须全面了解全球热带海洋特别是赤道西太平洋和大气环流相互作用的物理规律,需要建立全球热带海洋和大气的监测系统并开展广泛的国际合作。厄尔尼诺现象不仅仅是一种单个事件,而是一种循环,即发生、发展、衰亡和再现的过程,而研究这种循环的形成机制是关键,研究方法也应由观测研究为主转向观测、理论和数值模拟研究等多种途径。因此,世界气候研究计划提出了一个自1985年实施的为期10年的研究热带海洋和全球大气环流关系的“热带计划”。1982年厄尔尼诺事件的发生及“热带计划”的实施,掀起了研究厄尔尼诺—南方涛动形成机制和海气相互作用动力学特征的高潮。在观测分析方面,除了修正了厄尔尼诺的经典模型以外,还特别注意研究了厄尔尼诺—南方涛动的变化性,指出了年循环、准两年振荡和甚低频振荡等多重时间尺度相互作用在厄尔尼诺—南方涛动过程中的作用;自20世纪80年代中后期至今,更为活跃的是借助海气耦合模式对厄尔尼诺—南方涛动动力学过程的研究以及对厄尔尼诺—南方涛动循环的数值模拟,一些简单的海气耦合模式和少数的海气耦合环流模式已能较成功地捕捉到类似于厄尔尼诺—南方涛动过程的变化性,人们对模式厄尔尼诺—南方涛动循环的形成机理已进行了探索,并提出了一些基本理论。理论研究尤其是不稳定海气相互作用理论以及海气相互作用波动力学已得到发展。因此,现代厄尔尼诺—南方涛动动力学过程的研究成果已日渐丰富。

厄尔尼诺—南方涛动循环的形成机理

前文已经指出,厄尔尼诺现象不仅仅是一种单个事件,而是一种循环,即发生、发展、衰亡和再现的过程,而研究这种循环的形成机理是关键。研究厄尔尼诺—南方涛动循环形成机理的手段有观测分析、数值模拟和理论分析。与观测资料分析研究不同,数值模拟和理论研究是建立在一个物理模型或模式(即一组支配方程)基础上的,通过对模式方程组的求解,从而弄清物理问题的规律。在数值模拟中,求解是通过计算机途径近似完成的,而在理论分析中,则通过各种近似,方程组的解是通过解析方式得到的。和观测研究历史类似,早期关于厄尔尼诺—南方涛动的数值模拟或理论研究也是没有把海洋大气作为耦合问题来考虑的,采用的方法常常是在研究某一分量时,把另一方作为已知强迫函数引入方程。例如,乌尔基、侯尔伯特、麦克雷里以及费南德尔等提出的海洋学理论均把厄尔尼诺的发生、发展归结为风应力强迫激发的热带海洋波动传播的结果。该理论认为:信风的减弱所产生的赤道异常西风应力可以激发产生赤道开尔文波向东传播,该波动到达东太平洋及南美沿岸时使得斜温层加深并抑制平均上翻流,从而使海表面变暖。与此同时,东传的开尔文波遇到东边界后会产生波反射,形成缓慢西传的罗斯贝波,其综合结果可以在东太平洋形成一较厚的混合层,从而使海表温度升高,而反射西传的罗斯贝波也可以用来解释传统模型中海温异常的西传现象。而此时气象学理论(如吉尔)研究也表明:正是海表温度增高引起了信风的减弱,热带太平洋异常的海温引起了局地加热场异常,造成了该地区低层风场的水平辐合,从而在热带中西太平洋产生了异常的西风分量。显然,上述研究结果预示着:不稳定的海气相互作用是完全有可能的。

不稳定海气相互作用理论

前章观测事实部分已经指出,在 1982 年暖位相发展期间,大气和海洋的异常往往表现为同时性地增幅,而这些增幅性的扰动往往伴随着移动,有时向西(如 1982 年),有时向东(如 1987 年),是什么机制促使这种最先的扰动在时空上迅速发展呢?其移动发展方向又取决于什么?为什么这种强的扰动总是偏爱在热带太平洋发生?已有的理论结果表明:海气相互作用系统中存在一类不稳定模态,且该模态具有传播的特征,其传播方向可能取决于决定海表温度变化的因子。不稳定模态的形成受限于海盆的纬向宽度。

刘家铭在 1985 年较早地利用海气耦合模式发现了海气相互作用系统中存在不稳定模态,不过使用的是高度简化的方程,因而只得到了驻波不稳定解。费南德尔等在 1989 年利用海洋是线性但带有约化重力的浅水方程,而大气是具有第一斜压模特征的准定态的吉尔模式的海气耦合方程组,并采用下列耦合过程,即海洋由大气风应力异常所驱动,而大气由海温异常所产生的凝结潜热释放所强迫,闭合了模式方程组。其中采用了传统的假设,即海表温度异常正比于温跃层深度的扰动,在非旋或 零涡平面近似条件下,通过简单的解析分析指出,该系统确实存在不稳定模态。在不简化的条件下,若给定一个初始扰动,对系统进行数值积分后表明,这种扰动具有不稳定发展的开尔文波特征,且伴随着海气相互作用缓慢地向东传播。

不稳定海气相互作用可以通过下述过程描述:假设有一片局地加热大气的异常暖水区,由于加热区表面风场的辐合,将使暖水西侧的信风减弱,而东侧加强。在信风减弱区,由于海洋的一系列响应,将使海温增暖,增暖的海温又进一步使信风减弱。如此相互作用,大气和海洋的异常将逐步增幅。但此时暖区东侧情况较为复杂,因为有两个因子决定了海温的变化,一是局地信风的增强,将增强赤道冷海水上翻,因此使海表温度减小(即局地响应);另

一是暖区信风的减弱(即西风异常)激发的东传开尔文波可以抑制上翻,使海表温度升高(即遥响应),而最终这里海温是否升高将取决于这两个因子哪个是主要的。

另外,费南德尔进一步指出,大气平均辐合带及其季节移动对不稳定海气相互作用的发生和维持起到制约作用。如当赤道辐合带季节性地向北移动时,可以结束上述不稳定相互作用过程。再如大西洋的赤道辐合带比较偏北,因而不利于不稳定的发生。因此,这一观点也可部分地用来解释厄尔尼诺发展的季节依赖性原因。

当假设海表温度由东冷西暖的基本海温场中的平流过程决定时,吉尔等的理论分析则得到一类和费南德尔不同的不稳定模态,该模态具有罗斯贝波结构且缓慢向西移动。侯斯特在 1985 年利用数值求解模式特征值问题的方法,更详细地讨论了引起海表温度变化的不同因子对不稳定模态性质的影响,指出,若海表温度变化既与平流过程有关又与斜温层深度扰动成正比时,则可得到一种介于费南德尔和吉尔结果之间的不稳定缓慢东传模态,但移速要小得多。巢纪平等在 1985 年从海气相互作用波动的角度也讨论了不稳定海气相互作用现象,指出即使从模式中滤去了开尔文波,通过海气相互作用形成的耦合波动也可以向东传播,且可以产生不稳定。

杨修群和黄士松 1985 年研究表明,热带海洋大气相互作用中扰动不稳定发展的重要条件之一是扰动必须具有较大的纬向空间尺度范围。这表明厄尔尼诺的形成和发展受限于海盆的东西向宽度,热带太平洋海盆东西向较宽,适合海气相互作用的不稳定发展,而热带印度洋和热带大西洋海盆东西向较窄,不适合这种不稳定发展。这在一定程度上解释了为什么厄尔尼诺总是偏爱在热带太平洋发生。

由此可见,海气相互作用系统中的波动及其不稳定性具有其独特性质,这些性质并不能仅仅由海洋或大气单个分量的动力学

过程所解释,而必须是海气耦合相互作用的产物。不稳定海气相互作用理论基本证明了皮叶克尼斯在 1942 年确定的大尺度海气相互作用过程。该理论解释了厄尔尼诺—南方涛动循环中的暖态(或冷态)的发生发展机理。

延迟振子理论

无论是皮叶克尼斯假说或乌尔基模型,还是不稳定海气相互作用理论,都不能解释厄尔尼诺—南方涛动循环中的暖态向冷态或冷态向暖态的转换机理。研究表明,要对这种循环过程作出合理的解释,必需首先弄清在几年时间尺度上支配热带上层海洋变化的赤道海洋动力学的某些特别的特征。对于这种特定的问题,为了更清楚地看清物理本质,可以把上层海洋看成一个两层的系统,即一个活跃的暖的上层和一个冷的下层,温跃层或斜温层把两者分隔。下层的海洋运动是相当缓慢的,以致于和活跃的上层相比,其运动可以不考虑。同时,我们还可以作出一些有用的假定,如假设线性的物理过程支配着上层的特征演变(包括温跃层的上下移位以及上层传输等),因此,控制方程组可以简化为海洋动力理论中的浅水方程组。

这种简化了的热带海洋模式的响应问题可以用一组自由和强迫波动来加以分析。对于和厄尔尼诺相关的时间和空间尺度,只有两类波运动起作用:即罗斯贝长波和赤道开尔文波。其中后者被强烈地陷于赤道,其存在源于科氏力在赤道上的消失。在赤道附近几个纬度以外,科氏力和压力梯度力的地转平衡支配着海洋动力学。这种平衡是罗斯贝波的特征,并且在风强迫的响应中,这种平衡强烈地约束着罗斯贝波的传播速度和振幅。赤道开尔文波是向东传播的,并且是低频海洋运动中一种传播最快的波动,它能在少于三个月的时间内穿越太平洋,其速度是最快罗斯贝波的 4 倍。

当赤道开尔文波向东传播时,位于赤道两侧的罗斯贝长波则向西传。当开尔文波碰到海洋东边界后,它被反射成无限个罗斯

贝波的和,其总体效应是在东边界附近把赤道波向两半球高纬度扩展。但此时在低纬度的最快罗斯贝波则把由开尔文波带到东部的能量和质量中的大部分沿着赤道两侧向西带回。波动在海洋西边界的反射则更加有效,所有向西传播的罗斯贝波所携带的质量通量在西边界都被边界流所收集并被带向赤道,在那里这种质量通量又以赤道开尔文波的形式向东回传。

以上所述的海洋赤道波动的特别特征对于理解厄尔尼诺现象是相当重要的。只有在低纬度低频波动穿越海洋的时间可以和风场的季节变化时间相匹配时,海洋对风场的响应在低纬度要比高纬度强,并且赤道波动不容易受到平均流和摩擦的影响。我们将看到,这些赤道波在东西边界的非对称性行为以及它们在边界的反射性质对于厄尔尼诺—南方涛动循环的形成是至关重要的。目前对厄尔尼诺—南方涛动循环形成的理论解释一般都基于数值模拟结果分析。

早期的数值模拟结果(例如,凯恩等,1991)揭示,暖事件(厄尔尼诺)开始的一个前提条件是赤道上层海洋暖水(热容量)在中西部的积累,这和乌尔基根据海平面资料分析得到的结论一致。一次厄尔尼诺过后,沿着赤道的温跃层比正常变浅,赤道热容量变低,海表温度变冷,这是拉尼娜位相。几年之后,赤道上层海洋暖水再次被慢慢地积累,一旦赤道上层海洋有足够的暖水,则线性赤道海洋动力学决定的赤道海洋开尔文波就会迅速地把这些暖水向东输送,从而触发下一次暖事件。

后来,进一步的数值模拟结果使我们能够清楚地描述这种数值模式模拟的厄尔尼诺—南方涛动循环的图象(图 9.1)。就像观测事实一样,当海表温度变化主要限于赤道太平洋东部时,主要风场的变化发生在赤道中太平洋。并且由东西向海表温度梯度决定的表面风的振幅则随着东部海表温度的变化而变化。东部海表温度主要是由温跃层的深度变化所控制的,而温跃层深度变化则是由表面风应力所驱动的。当东部海表温度变暖,即温跃层加深

(深度正异常)时,则产生西风异常,这种西风异常强迫产生海洋开尔文波向东传,进一部加深温跃层,从而加强了表面增暖。通过这种正反馈,导致厄尔尼诺的发生和发展。

然而,这种赤道上额外的暖水必定被某个区域的冷水补偿,这个冷水区应对应于温跃层变浅(深度负异常)。赤道动力学决定这种冷水区是以赤道罗斯贝波的形式出现的,主要位于赤道两侧,并且罗斯贝波一定是从风强迫区向西传播的。当这种使赤道两侧温跃层变浅的西传罗斯贝波到达西边界后,即被反射成令赤道温跃层变浅的‘冷’的赤道开尔文波,其东传穿越太平洋到达东部,从而减弱那里的海表温度。因此,东部原先的通过海气耦合不稳定发展形成的增暖信号注定要被一个来自西部的变冷信号所伴随,不过这种变冷信号的到来有一个滞后或延迟。通过上述赤道海洋波动的传播,东部海温变化就会产生一种暖原令和冷原暖的振荡,其中,冷态和暖态的发展机理是基于皮叶克尼斯假说的海气

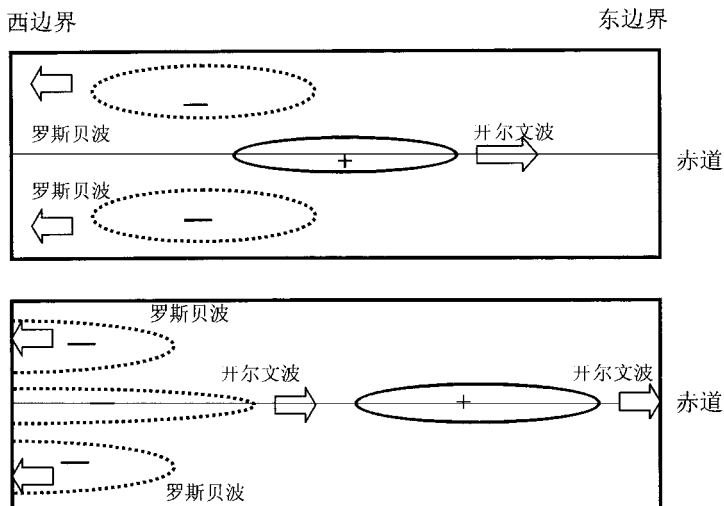


图 7.10 “延迟振子”理论中赤道波动传播和在边界反射示意图
(图中“+”号表示温跃层加深,海表面温度增暖,“-”号则相反)

耦合不稳定,而冷态或暖态的恢复机理则是西边界波反射产生的延迟效应。这种延迟效应产生的海表面温度振荡,可以比作物理上的一种‘延迟振子’,显然,“延迟振子”机制解释了厄尔尼诺—南方涛动循环中冷暖态的转换,并且厄尔尼诺—南方涛动循环的时间尺度取决于延迟的时间,即罗斯贝波从中太平洋传播到西边界和开尔文波穿越赤道太平洋所需的时间之和。

为了进一步说明赤道波动在维持厄尔尼诺—南方涛动振荡中的作用,我们可以考虑一种特别的位相状态,即当东部温跃层和海表面温度异常为零时(例如,在一次暖事件结束时),表面风异常也应该为零,所以,此时没有直接的驱动使耦合系统演变到下一个位相。然而,上一暖事件一定会遗留残余的冷罗斯贝波在西部海洋,其最终会在西边界反射成向东传的冷的开尔文波,而在东部导致海表温度继续下降,出现冷的海温异常,从而导致东风异常出现。因此,厄尔尼诺—南方涛动循环得以继续。

虽然可能存在其它补充机制解释热带海气耦合模式的不稳定振荡,但‘延迟振子’机制被广泛公认能说明许多数值模式中的厄尔尼诺—南方涛动行为。当然,现在还不能下结论,实际系统中就一定总是这种机制在起主导作用。但可以肯定的是,利用这种机理,数值模式对 20 世纪 80 年代以来大多数的厄尔尼诺事件具有相当的预报能力。

如果‘延迟振子’机制控制着实际系统中的厄尔尼诺—南方涛动循环,则意味着该循环是受确定性过程决定的,因而是可预测的。但实际上,观测的厄尔尼诺—南方涛动循环并不是很有规律,“延迟振子”机制还不能解释所有的厄尔尼诺事件,“延迟振子”理论需要进一步完善和发展。

厄尔尼诺—南方涛动循环不规则性或非周期性的形成原因仍然是没有解决的问题。据研究推测,造成厄尔尼诺—南方涛动循环非周期性或不规则性的主要原因可能有:①高频“噪音”,即与厄尔尼诺—南方涛动循环没有关系的大气和海洋的高频变化过

程。例如,大气中的 30~60 天振荡。一些研究指出,30~60 天大气季节内振荡在海气耦合相互作用下有可能触发厄尔尼诺的发生。噪音的作用将降低厄尔尼诺的可预报性。背景态的调制,即与年代际变化和长期趋势变化相联系的气候背景态缓慢变化的作用。气候背景态的缓慢变化可能造成厄尔尼诺出现的频率、强度和可预报性表现为年代(约 50 年)际差异。近年来,许多研究正在试图揭示随机过程和背景态的缓慢变化对厄尔尼诺的影响机理。可以预计,这些努力将不断加深人们对厄尔尼诺现象的本质认识。

第八章 厄尔尼诺和天气、气候灾害

1982年发生了自1957年以来几乎最强的厄尔尼诺事件。在这期间,异常天气导致前苏联、西非、埃塞俄比亚、印度、南非、澳大利亚、中美洲、巴西和印度尼西亚发生了严重干旱,许多地区热浪肆虐。全球人均粮食产量和储量明显下降。这在1982多年来还是第一次。如前苏联谷物破记录的短缺,不得不大量从美国进口粮食。由此人们开始把极具破坏力的天气气候异常与厄尔尼诺事件联系起来。

到20世纪90年代初,1997年发生了百年一遇的最强的厄尔尼诺事件。全球性气候异常和气候灾害造成的损失极为惨重。据美国国家海洋大气管理局统计的灾害损失如下:

(1) 印度尼西亚严重干旱,粮食严重减产,发生饥荒。死亡10万人,损失10亿美元。打断了该国粮食自给的进程。

(2) 澳大利亚遭受本世纪以来最严重的干旱,东南部丛林大火,死亡100人,损失10亿美元。

(3) 美国出现10多年来最温暖的冬季,节省燃料费约10亿美元。但加利福尼亚的风暴、环墨西哥湾各州的洪水、中北部的干旱,共计死亡100人,损失超过10亿美元。中美洲和墨西哥干旱损失10亿美元。

(4) 南美各国异常洪水,死亡100人,损失约10亿美元。有些地区还遭受严重干旱。

(5) 非洲广大区域再次遭受严重干旱,尤其西非的萨赫勒地区已是多年连续干旱。粮食生产形势极为严峻。

(6) 南部非洲遭受本世纪以来最严重的干旱。损失10亿美元。

元以上。原来的粮食出口国南非和津巴布韦都要大量进口粮食。

(苑 位于东北太平洋的夏威夷群岛和东南太平洋的塔希提岛都意外地受到台风袭击,损失惨重。

(愿 这次事件创下了许多历史记录,例如最强的台风,最强的降水,最暖的冬季,最长的干旱,数目最少的登陆美国东部的飓风等。

从1950年到1982年的厄尔尼诺事件造成的经济损失估计为1000~1500亿美元。这次事件使世界各国政府和公众都深刻感受到研究厄尔尼诺事件及其影响的紧迫性。从此,热带海气相互作用的厄尔尼诺现象成为世界气象组织和全球气象学界和海洋学界的热门研究课题。进入20世纪90年代,出现了异常的厄尔尼诺形势。前期1982~1983年连续出现3次厄尔尼诺过程,而1987~1988年甚至出现比1982~1983年更强的厄尔尼诺事件。在整个全球气候变暖的基础上,出现更频繁的全球气候异常和多种气候灾害。

总之,厄尔尼诺事件与全球气候异常密切相关,对人类社会的粮食、渔业、水利、人民生活各方面都有深刻的影响。但厄尔尼诺事件对气候灾害的影响又是复杂多变的。对某一区域而言,不同年份的厄尔尼诺事件也许会造成正好相反的气候灾害,干旱或洪涝。从统计意义上讲,还有相当的不确定性。

台风摇摆风

热带赤道太平洋的海温分布呈现显著的东低西高现象。东太平洋为著名的赤道冷舌—干燥带,西太平洋为全世界最大最强的暖池区,空气潮湿。海温变化则呈明显的跷跷板现象。在厄尔尼诺事件发生时,东太平洋为显著的海温增暖正距平区,西太平洋为明显的海温变冷负距平区。在反厄尔尼诺事件发生时,海温变化东西向距平区分布正好相反(图8-1)。图中实线为海温正的距平等值线,虚线为负的。这种海温分布和变化,直接影响着西太平洋台

风的发生和发展。

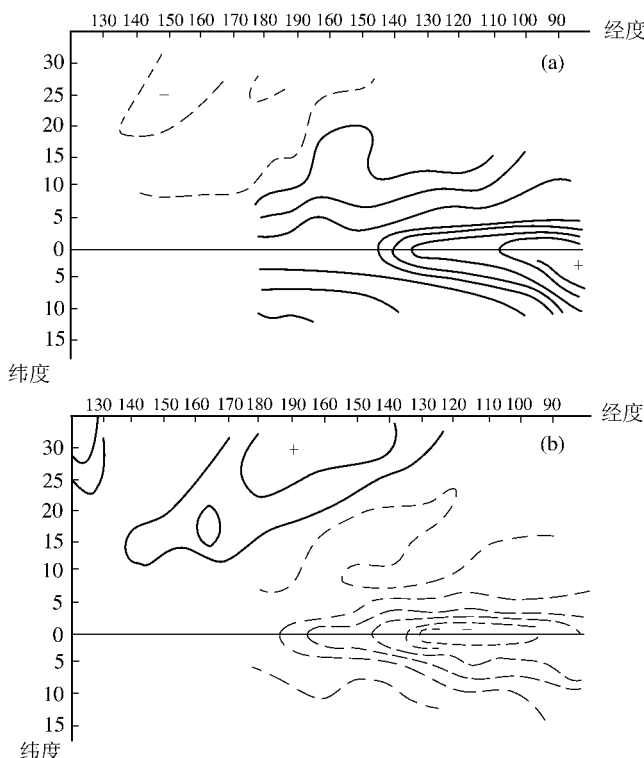


图 10-10 厄尔尼诺(葬与反厄尔尼诺(遭年合成的海温距平分布

台风是发生在热带海洋上的一种猛烈的灾害性天气系统。它生成的必要条件之一是在海温超过 26°C 的洋面上。所以,西北太平洋广阔的暖池区成为全球热带气旋发生频数最高、强度最大的海区(图 10-10, 图中实线为平均的台风年生成数等值线。而东南太平洋则没有热带气旋发生和发展。显然,在厄尔尼诺年,西北太平洋海温变冷,必然会抑制台风的发生和发展。而在反厄尔尼诺年,西北太平洋海温增暖,必将促进台风的发生和发展,事实也基本是如此。

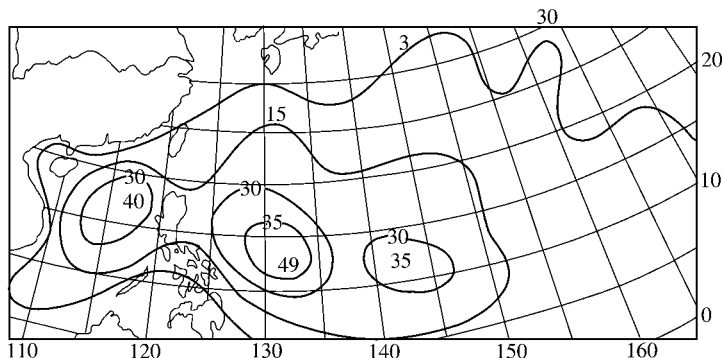


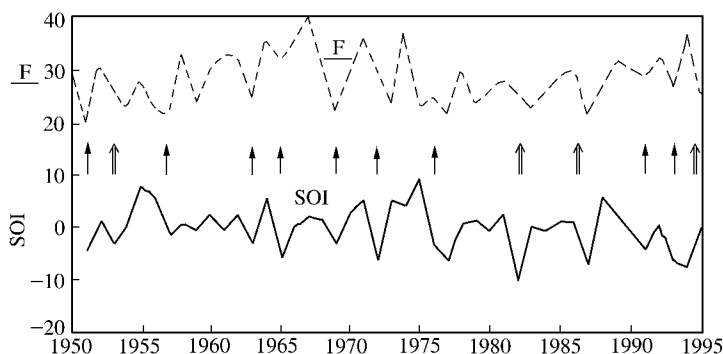
图 8-10 台风生成源地

表 8-10 厄尔尼诺与台风发生总数 (单位: 个)

	平均值	最多值	最少值
厄尔尼诺年	35	49	30
正常年	35	49	30
反厄尔尼诺年	49	30	35
多年平均	35		

如表 8-10 所示, 多年长期平均的西北太平洋—南海台风生成总数 (个) 为 35 个。厄尔尼诺年最少, 平均为 35 个; 反厄尔尼诺年最多, 为 49 个; 正常年居中, 为 35 个, 与多年平均值几乎一样。而多年中的各年, 厄尔尼诺年, 正常年和反厄尔尼诺年生成台风的最多值和最少值, 也有几乎相同的顺序分布特征。

图 8-11 显示 1950 年以来的现象与台风生成总数的密切关系。通常, 厄尔尼诺年的南方涛动指数 (SST) 往往达负值的低谷。图 8-11 表明, 于春季或夏季发生的厄尔尼诺事件正好与 SST 低谷一致时, 这一年的台风发生总数也是最小谷值; 当两者相差一年时, 云的最小谷值出现在较迟的一年; 当厄尔尼诺事件发生在秋季时 (1957 年、1962 年), 次年夏季云为最低值; 如果两者相差二年以上时



摇摇图 厄尔尼诺事件和西太平洋台风生成总数 (云
(摇摇- 愿月南方涛动指数总和; → 始于春季
的厄尔尼诺 ⇨ 始于秋季的厄尔尼诺)

(员缘, 员愿, 员愿年), 则与 云没有什么显著相关。

更有意义的是在 圆世纪 愿年代前期连续 猿次厄尔尼诺期间, 台风生成总数大起大落。缘年中竟有 猿个低谷和 圆个高峰。员愿年和员愿年 圆个低谷正对应前 圆次厄尔尼诺年, 员愿年的低谷则正好与员愿年秋季发生的厄尔尼诺年相对应。员愿年秋发生的特强厄尔尼诺事件, 正好与 员愿年特少的台风生成总数 (只有 员个) 对应。

厄尔尼诺事件还与登陆中国的台风数 (晕) 密切有关。如表 愿愿所示, 厄尔尼诺年登陆中国的台风较少, 正常年次之, 反厄尔尼诺年较多。不仅如此, 圆世纪 愿年代的登陆台风路径变化特别明显 (表 愿愿)。尤其是在 员愿年, 远个台风全部登陆中国华南沿海, 而且竟有 苑个台风反常地连续地登陆日本, 加上前期持续的梅雨, 使日本出现严重的冷夏。在 员愿年, 创记录之多的 员圆个台风登陆中国, 远个集中于粤西和海南岛, 源个袭击福建省, 员个登陆浙江温州造成特大风暴潮灾, 员个登陆山东半岛和辽宁。结果中国江淮流域和朝鲜、日本夏季酷暑, 最高气温达 猿益 ~ 源益 以上。员愿年也有 愿个台风登陆华南, 只有 员个登陆台湾。这几年古怪

异常的台风形势可能与 20 世纪 80 年代罕见的连续厄尔尼诺事件有关。1982 年创记录之少的只有 3 个台风登陆中国东部沿海,主要是特强的厄尔尼诺事件的影响。

表 8-1 厄尔尼诺与登陆中国台风数 (个) (1951—1982)

	平均值	最多值	最少值
厄尔尼诺年	3.2	8	0
正异常年	3.4	8	0
反厄尔尼诺年	3.6	8	0
1951—1982 年平均	3.4		

表 8-2 20 世纪 80 年代前期登陆台风个数

	华南—中国东部	朝鲜—日本	日本—菲律宾
多年平均	3.2	1.2	3.6
1981	3.2	1	3
1982	3.6	3	3
1983	3.4	2	3
1984	3.6	2	3
1985	3.6	2	3
1986	3.6	1	3

8.1 江淮流域洪涝

全世界气象学家关心和讨论最多的是厄尔尼诺与大范围旱涝灾害的关系。南亚和东亚是显著的季风气候区,发生最频繁、危害最严重的自然灾害也是大范围旱涝。由于夏季风自南往北推进,中国东部地区先后进入雨季(图 8-1),图中等雨量线中心和斜线分别对应着 5—6 月的华南前汛期雨季、6—7 月的江淮流域梅雨雨季、7—8 月的华北和东北暴雨雨季以及 8—9 月的台风雨季。如果雨季长,雨量集中,就会发生洪涝;如果雨季短,雨量少,就会发生干旱。

其中,江淮流域梅雨季节由于范围广,变化复杂,对工农业生产影响严重,而且正与东亚大气环流远月突变期相对应(日本也有梅雨季节),因而倍受关注,研究也颇多。

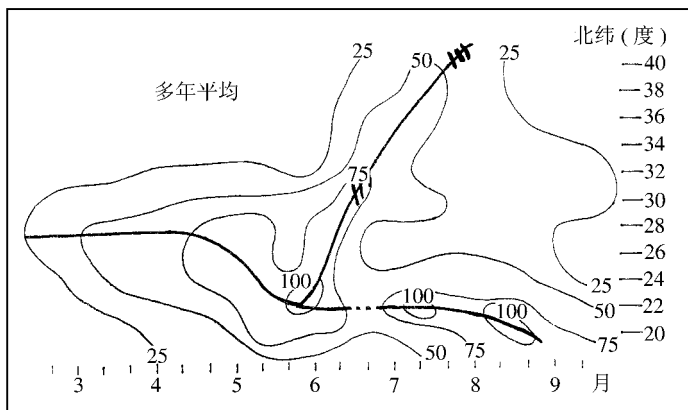


图 1 我国东部地区(20°N~40°N)5~9月主要雨带变动
(细线为等雨量线,粗线为最大雨量轴线,斜线为梅雨季和华北雨季)

通常认为,厄尔尼诺事件发生后,西太平洋的印度尼西亚和澳大利亚地区易出现干旱,而江淮流域则易出现洪涝。从现象上统计得出表 1 在厄尔尼诺事件当年夏季,江淮流域发生洪涝的机会较多,而在厄尔尼诺的次年洪涝机会很少。各次厄尔尼诺事件开始生成的时间有早有迟,如果厄尔尼诺事件生成于秋季,则与当年夏季洪涝的相关就没有什么意义。因此,按照厄尔尼诺事件生成的季节再重新统计,就得到较明确的结果(表 2)。

表 1 厄尔尼诺与江淮流域夏季旱涝(1950~1999)

厄尔尼诺年	1950~1959	1960~1969	1970~1979	1980~1989	1990~1999	1950~1999	1950~1999
	正常	涝	旱	涝	涝	涝	涝
	1950~1959	1960~1969	1970~1979	1980~1989	1990~1999	1950~1999	1950~1999
	正常	涝	特涝	旱	涝	特涝	

摇摇续表 愿源

厄尔尼诺次年	愿缘源	愿缘愿	愿缘愿	愿源源	愿源远	愿源园	愿源猿
	特涝	旱	特旱	正常	特旱	正常	涝
	愿源苑	愿源猿	愿源源	愿源苑	愿源愿	愿源园	
	正常	特涝	正常	涝	旱	旱	

表 愿缘 摇摇厄尔尼诺发生季节与江淮流域夏季旱涝 (愿缘源原愿缘员)

厄尔尼诺始发季节		旱摇摇涝摇摇情摇摇况				
春季	当年	愿缘苑	愿源猿	愿源缘	愿源愿	愿缘员
		涝	涝	涝	涝	特涝
	次年	愿缘愿	愿源源	愿源远	愿源园	愿源园
		特旱	正常	特旱	正常	旱
夏季	当年	愿源园	愿源远			
		涝	正常			
	次年	愿源猿	愿源苑			
		涝	正常			
秋季	当年	愿缘猿	愿源园	愿源远		
		正常	涝	旱		
	次年	愿缘源	愿源猿	愿源苑		
		特涝	特涝	涝		

从表 愿缘 可以看出,在 愿缘源原愿缘员 年间总共 愿园 次厄尔尼诺事件中,苑次始发于春季或夏季,当年夏季江淮流域都是洪涝年,只有 员次例外(愿源远年为正常年)。而厄尔尼诺的次年则基本上都是正常年、旱年,甚至是特旱年,也只有 员次例外(愿源猿年为涝年)。另外猿次厄尔尼诺事件形成于秋季,理所当然与其前的当年夏季江淮流域旱涝没有明显相关。但在次年夏季都发生了洪涝,甚至特大洪涝。更有甚者,在这 愿园 年中,江淮流域共遭受过 猿次特大洪涝(愿缘源、愿缘缘、愿缘员,缘次大洪涝都发生在厄尔尼诺事件的当年或次

年夏季。

1954年是长江流域百年一遇的全流域性特大洪涝年(国家气候中心,1988)。该年雨季来得早,暴雨过程频繁,持续时间长,降雨强度大,受灾范围广。源月份鄱阳湖水系即开始出现大到暴雨,缘月份雨区在长江以南,远月份主要雨区仍然在长江干流以南地区。苑月份雨区往北推移,降雨中心分布在长江干流以北和淮河流域。愿月份雨区主要在四川盆地和汉水流域。从源~苑月降水总量分布来看(图 1954,江西中北部、湖南北部、湖北南部、安徽南部和浙江西部等地,总雨量都在 1500~2000 毫米之间,局部地区超过 2000 毫米。如此长时间大范围连续性暴雨,终于酿成长江罕见的特大洪水。宜昌站 苑月 10 日水位高达 200.0 米,洪峰流量为 100000 立方米/秒。愿月 苑日宜昌站水位 200.0 米,为 1954 年以来第二高水位。汉口站 愿月 15 日最高水位 200.0 米,为 1954 年有实测记录以来的最高值。尽管修建了荆江分洪工程,加固了堤防,加上汛期军民全力抗洪抢险,保证了荆江大堤和武汉市的安全,但长江干堤仍决口 10 多处垸圩,江汉平原一片汪洋,洞庭湖和鄱阳湖周围 10 多处堤圩,绝大部分溃决。湖北、湖南、江西、安徽和江苏缘省

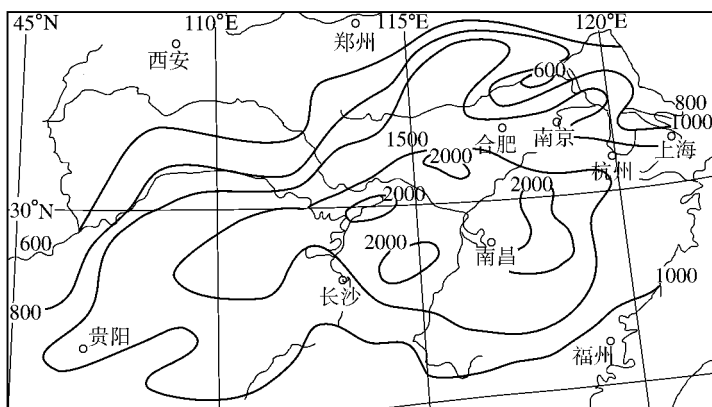


图 1954 年源~苑月降水量图(单位:毫米)

有 15 个县受灾,淹没农田 100 万亩,受灾人口 150 万人,死亡 1 万多人,造成了极其巨大的经济损失和社会影响。

更为重要的是,进入 20 世纪 80 年代,随着连续和强烈的异常厄尔尼诺形势的出现,江淮流域的旱涝情况也表现得异常频繁而严峻。如表 8-1 所示,20 世纪 80 年代前期 3 年中 3 次连续的厄尔尼诺事件,伴随着 3 次洪涝,其中 1 次为 1983 年夏季长江中下游,特别是武汉地区、太湖流域和淮河流域的特大洪涝(图 8-1),最大梅雨总量超过 1000 mm。1983 年特大洪涝主要由 3 个阶段强降水组成,缘月 15~20 日雨区位于长江中下游及淮河流域大部分地区,雨量一般为 300~500 mm。远月 20~25 日,主要雨带在淮河以南地区,但南北摆动较大,雨量一般有 500~1000 mm。远月 26 日至 28 日,雨带又稳定于江淮流域和太湖地区,向西南延伸到湖南西北部至贵州东北部,降水量一般有 300~500 mm。安徽黄山和梅山水库,湖北罗田和麻城地区在 1000 mm 以上,江苏兴化超过 1200 mm。其中湖北汉口 5 天内总雨量 1000 mm,是自 1954 年以来的 5 天过程总雨量最大的一次。淮

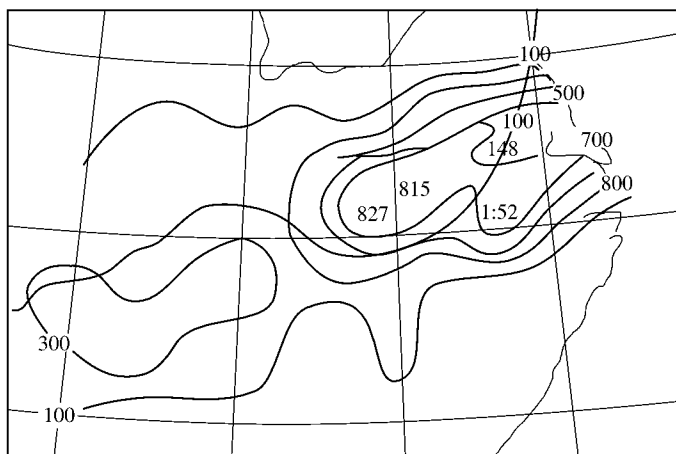


图 8-1 1983 年远月 20~25 日和远月 26~28 日江淮流域雨量总和

河中游高水位的天数超过历史上所有大水年。太湖流域平均水位 苑月 苑日突破 1954 年历史最高记录 19.5 米,苑月 15 日竟达 19.6 米,超过历史最高记录 19.5 米。太湖地区的无锡、常州、宜兴、溧阳和金坛等地水位都超过历史最高记录 19.5 米~19.6 米。汉口水位 苑月 苑日达 19.6 米,最大流量为 10.5 万立方米,仅次于 1954 年的流量。安徽、江苏、湖北、河南、湖南、浙江和上海等省市受灾人口达 1 亿以上,受灾农田 1 亿亩,其中绝收 1000 万亩,死亡 1000 多人,直接经济损失 100 多亿元。

表 1950 世纪 50 年代厄尔尼诺事件与江淮流域洪涝

厄尔尼诺始发季节		旱涝情况	
春季	当年	1951	1952
		特涝	涝
	次年	1953	1954
		旱	特旱
夏季	当年	1955	
		正常	
	次年	1956	
		特涝	
秋季	当年	1957	
		特旱	
	次年	1958	
		涝	

1955 年初夏,长江干流及其以南地区再次出现雨量超过常年一倍以上的大洪大涝。日本则因持久的梅雨和连续 苑次台风登陆,造成显著的冷夏和洪涝。1956 年初夏(正好在 1955 年秋季形成厄尔尼诺以后),长江中游,特别是两湖盆地出现持续性大暴雨,长江中下游水位超过历史最高记录。反之,在两次厄尔尼诺事件之间的 1953 年初夏,江淮流域偏旱;1954 年夏季江淮

流域直至韩国、日本则是特旱酷暑,韩国甚至发生空调和电风扇脱销的现象。

最为严重的是,灵苑原灵愿年发生 圆世纪最强的一次厄尔尼诺事件,而长江流域也在 灵愿年夏季出现了自 灵缘年以来最强的全流域性特大洪水。灵苑年秋末至 灵愿年初春,中国南方异常多雨,部分地区出现罕见的冬、春汛。远月中下旬强降雨带位于江南北部与华南西部。远月底至 苑月初,雨带向北、向西推移到四川盆地和长江中游。苑月中旬,长江中下游再次出现持续性强降雨(图 愿苑)。长江大部分地区旬雨量 怨皂皂~猿园皂皂;湖南西北部、江西北部、湖北南部达 猿园皂皂~缘园皂皂;局部地区达 愿皂皂~怨皂皂。一般比常年同期偏多 员~缘倍。愿月份,长江上游频繁降雨,结果,整个汛期长江流域出现长时期的特大洪

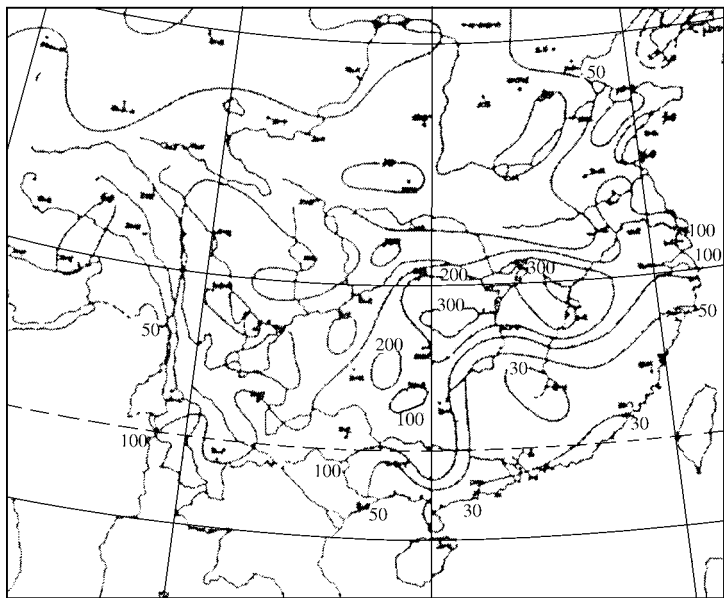


图 愿 萨 瑶 县 愿 年 苑 月 下 旬 降 水 量 图 (单 位 : 毫 米)

涝。宜昌三峡地段出现 愿次洪峰。宜昌以下的长江干流超过警戒水位的天数竟长达 圆个月之久。其中,监利和石首水文站超历史最高水位 员圆毫~员圆毫;武穴、九江、莲花塘、湖口、螺山站超 员圆毫~员圆毫;沙市和城陵矶站超 员圆毫~员圆毫。与此同时,东北的嫩江—松花江流域也发生了百年不遇的特大洪水。全国共 圆个省市遭受洪涝灾害,受灾面积 猿亿亩,成灾面积 员亿亩,受灾人口 圆亿人,死亡 猿万人(其中长江流域 员万人),估计直接经济损失 员亿元。据水利部统计,员年江淮流域、松嫩流域以及福建等省的洪涝,总经济损失达 员亿元。

由此可见,厄尔尼诺事件与中国长江流域的洪涝灾害有极其密切的关系。但必须指出,这种统计意义上的关系并不是惟一的肯定性的,造成异常的长江流域降水原因是多方面的。厄尔尼诺事件仅是其中主要的一个因子。

特大风暴潮灾

台风和强气旋可以引起沿海潮位暴升 员~员以上的风暴潮,造成严重灾害。孟加拉国、中国和美国是全世界三个受台风风暴潮危害最严重的国家。风暴潮的最高记录为:员年 愿月 悦尔曼飓风在美国造成的增水 员,员年 员月孟加拉国的 苑。中国最高记录为 员年 苑月 愿号台风在广东南渡站造成的 缘,占世界第 缘位。从历史资料(表 员)可以看出,进入 世纪以来,每隔 年左右,全世界都会出现一个特大风暴潮灾的重现期,每一个重现期中包括 员~猿次特大潮灾。每次特大潮灾动辄死亡成千上万人。上一个重现期是 员~员年。员年 苑月底,中国广东大潮灾死亡 员千余人;员年 愿月中旬,来自墨西哥湾的飓风 悦尔曼给美国造成有史以来最严重的直接经济损失 员亿美元(折算到 员年价格);员年 员月中旬,孟加拉国

特大潮灾,死亡 猿万人(有新闻媒体报道估计死亡 员圆万人)。

表 愿 历史上特大风暴潮灾

序号	年 月	国家	地点	死亡人数
员	员怨 年 远月	中国	江苏	员圆 万人
	员圆 年 源月	中国	江苏	苑 万人
圆	员圆 年 圆月	中国	珠江口	愿 万人
	员怨 年 远月	孟加拉国		员圆 万人
猿	员怨 年 苑月	孟加拉国		员圆 万人
	员圆 年 怨月	美国		远 万人
源	员圆 年 愿月	中国	汕头	苑 万人
缘	员缘 年 愿月	中国	浙江	源 万人
	员缘 年 怨月	日本	伊势湾	缘 万人
远	员怨 年 苑月	中国	浙江	员 万人
	员怨 年 愿月	美国		圆 万人
	员圆 年 员月	孟加拉国		猿 万人

表 愿 最近的特大风暴潮灾

序号	年 月	国家	地点	死亡人数	经济损失
员	员怨 年 愿月	美国		圆 万人	怨 亿美元
圆	员怨 年 源月	孟加拉国		员 万人	圆 亿美元
猿	员怨 年 愿月	美国		圆 万人	圆 亿美元
源	员怨 年 愿月	中国	沿海 愿省市	圆 万人	怨 亿元
缘	员怨 年 愿月	中国	浙江	员 万人	员 亿元

更值得注意的是,时隔 圆年之后的最近依次重现期中,竟连续地出现了 缘次特大风暴潮灾(表 愿)。员 年 月一个世纪性飓风—“桑迪”袭击美国南、北卡罗来纳州,尽管由于风暴潮预报非常准确(图 愿),防灾措施极为有力,大大减少了灾害造成的人员伤亡,只死亡了 圆万人,但直接经济损失达到创记录的 怨 亿美元。

接着在 1991 年 9 月 13 日,一个强热带风暴登陆孟加拉国(图 1-10)。该风暴的最大风速,造成 20 英尺以上的风暴潮增水。这意味着 10 层楼高的潮水排山倒海地冲向恒河三角洲的低洼平原地区,横扫一切土堤和泥墙茅屋。这一次当地的气象警报虽然比较准确,但因过去几年有过不准确的空报,大部分老百姓不太相信气象预报。加上当地通信条件较差,防灾措施不力,结果造成了当地的世界末日式的灾难。官方统计有 15 万人丧生,经济损失也高达 10 亿美元。



图 1-10 1991 年 9 月飓风 戈弗雷卫星云图

1991 年和 1992 年两次大潮灾,说明最近一次重现期已经如期出现,但却没有按期结束。1992 年 9 月 13 日,一个比 戈弗雷更强的飓风 安德鲁横扫过佛罗里达州的最南部。最大风速达 20 英里/小时,最高风暴潮 15 英尺。该州南端的 门罗县大部分地区变成一片废墟。尽管因为预报准确,10 多万人撤离危险地段,使死亡人数减少到最低程度即 1 人,但直接经济损失却再创新记录,达 10 亿美元。不幸中的大幸是,该飓风只要再偏北 1 个纬度,世界金融中心都市之一的迈阿密将直接受害,其损失

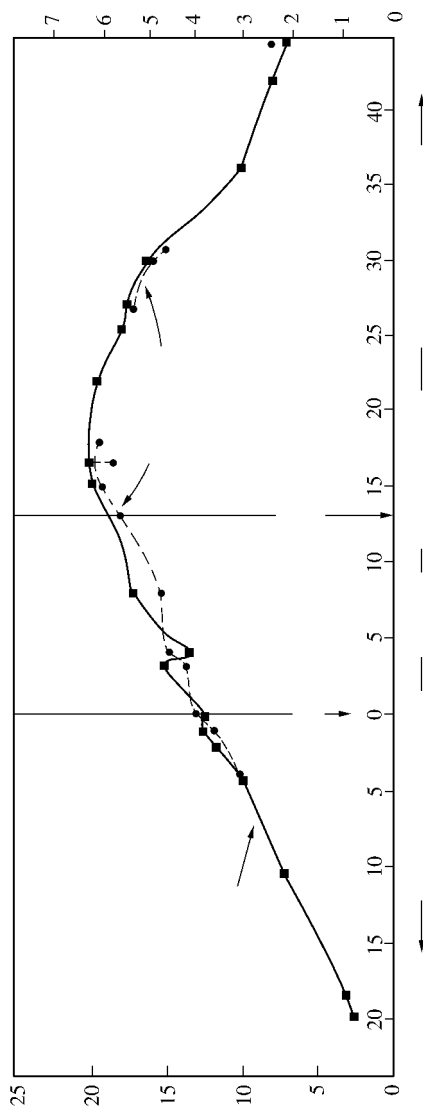


图 8.9 1989 年 9 月飓风 Hugo 的风暴潮分布

—— 预报值 - - - - 实测值



图 1991年 12月 10日孟加拉湾飓风云图

将增大到不可想象的天文数字。

一个星期以后的 1991年 12月 10日至 12月 11日，超强号台风登陆福建省，先在福建、浙江、上海、江苏等省市造成特大风暴潮。虽然台风登陆后 1小时就已迅速减弱为低气压，但在北上到达安徽—江苏交界处时，由于北侧有一东西向的高气压坝横亘在东北地区至日本海一带，二者之间极大的气压梯度使黄海北部和渤海海面突然吹起 10—12级大风，使山东、河北、天津和辽宁等省市突然遭到特大风暴潮袭击。中国东部沿海 10个省市有 15个潮位站的潮位破历史最高记录（图 1991），经济损失创记录地达到 100亿元。

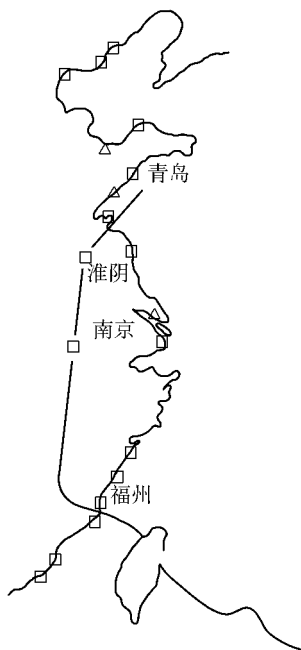


图 8-1-1 中国沿海台风风暴潮

□ 最高潮位记录(月均值)

△ 次最高潮位记录(月均值)

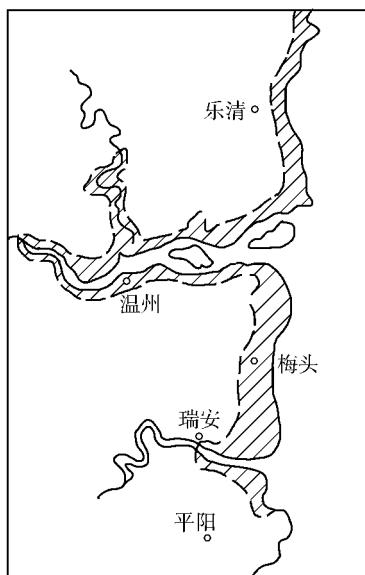


图 8-1-2 台风在温州地区沿海淹没区域(斜线阴影)

1991年8月15日夜间,1991号强台风登陆浙江温州地区,温州市区平地水深0.5~1.0m,机场候机楼水深1.5m,还淹没了沿海大片地带(图8-1-2)。虽然这次台风和风暴潮预报相当准确,但因半个月前曾预报1991号台风将正面登陆浙江、上海,而实际上却在近海转向北上,使很多群众存在侥幸心理,更因温州市外来人口极多,相当一部分居住在河滩地区,加上近半夜突然风急潮涨,来不及防御,结果死亡150人,为近10年来一次台风死亡人数最多者,经济损失高达1.5亿元。

其后,1991年8月,1991号台风登陆浙江后北上,在河北省造

成特大暴雨和洪涝,死亡 苑万人,经济损失高达 远亿元,创中国之最。员愿年 愿月,一个加勒比海飓风在中美洲登陆,狂风暴雨加上泥石流,山体滑坡,造成 员万余人死亡。

如此之多的特大风暴潮灾,出乎意料地、集中地、连续地出现在一个重现期内,不能不认为它与 圆世纪 怨年代前期反常的连续发生的厄尔尼诺形势有密切的关系。

源暖冬和渤海冰情

解思梅和包澄澜根据 员缘—员愿年的资料研究发现,中等或强的厄尔尼诺事件后期的冬季,中国北方气温都较暖,渤海冰情较轻。反厄尔尼诺事件后期的冬季,北方气温较冷,渤海冰情较重。并指出厄尔尼诺事件是有别于二氧化碳增多导致全球气候变暖的另一个造成东亚冬季气候变暖的因子。

圆世纪已出现很强的(员缘—员愿)和中等的(员愿—员愿)两次厄尔尼诺事件,仅 员愿年出现过一次中等的反厄尔尼诺事件。怨年代前期则出现了 猿次连续的厄尔尼诺事件和 员愿年本世纪最强的一次厄尔尼诺事件。结果,渤海冰情只在 员愿年的冬季才达到中等程度,其余年份都是连续地异常偏轻或特轻冰情年。在这期间,亚洲中高纬度连续出现暖冬。员缘年 员月的最大气温距平竟达 垣元以上,而 员愿和 员缘年的 员月份,北京的月平均气温连创 员愿年和 员愿年以来的同期最高记录。可见,厄尔尼诺事件与东亚冬季气候变暖密切相关。

缘结摇摇论

圆世纪 愿年代出现了一次当时为百年来最强的厄尔尼诺事件(员愿—员愿),它所引起的全球气候异常和各种自然灾害,以及造成的巨大损失,引起了各国政府和人民的极大重视,全世界气

象学家和海洋学家开始对厄尔尼诺现象进行深入的研究。到了20世纪20年代前期,连续出现了两次厄尔尼诺事件,1957年又发生了比1952年更强的厄尔尼诺事件,成为百年来真正最强的,在它们之间没有出现典型的反厄尔尼诺事件。这种大范围长时期反常的厄尔尼诺形势在历史上是极为罕见的。它造成了一系列同样极为罕见的气象—海洋灾害现象:台风生成和台风路径异常;江淮流域(以及孟加拉国等地)特大洪涝;极其频繁的特大风暴潮灾;连续异常暖冬等等。这两者之间在生成时间上的同时性和连贯性,说明它们之间必然存在着某种内在的因果关系。我们的研究表明,厄尔尼诺现象通过与行星尺度副热带高压的密切相关以及二维厄尔尼诺波列的大气遥相关,影响到全球大气环流的异常,造成了全球范围的气象—海洋灾害。但是,反常的厄尔尼诺形势造成异常的自然灾害的物理机制目前尚未研究清楚,还有待于进一步的研究和探讨。

还须指出,厄尔尼诺事件局部地区也可能有趋利的影响。从董敏列出的表8-1可以看出,在山东省的几个地方,厄尔尼诺年的小麦产量远比反厄尔尼诺年为高。其中,菏泽和济南甚至比正常气候年份还要高。显然,如何利用对厄尔尼诺事件的研究、了解和预报,尽可能地趋利避害,已成为世界上的一个重大课题。

表 8-1 不同年份的气候背景下的小麦产量(吨/公顷)

	德州	菏泽	济南	潍坊
厄尔尼诺年	1957	1957	1957	1957
反厄尔尼诺年	1952	1952	1952	1952
正常年	1952	1952	1952	1952

第九章 厄尔尼诺与全球变暖

人类文明发展到今天,似乎有多种方法和技术来应付各种各样的自然灾害,但是全球变暖和厄尔尼诺现象对人类社会的侵袭却还是让人感到颇有些力不从心。自 19 世纪中叶以来,由于人类活动导致大气中二氧化碳等温室气体含量不断增加,从而使地球大气层的温室效应逐年加大。与此同时,近 100 年来厄尔尼诺现象也频频发生,导致全球各地灾害频发。那么,人们不禁要问:厄尔尼诺与全球变暖是否具有某种内在的联系?是厄尔尼诺现象的频发导致全球变暖的加剧,还是全球变暖导致厄尔尼诺现象的不断出现?要弄清这个问题并不是一件易事。目前,只能从两者各自不同的成因方面来了解它们的一些联系。

全球变暖成因简述

在 20 世纪最后一二十年间,全球气候变暖的问题成为世界各国人民最为关注的热点问题之一,也是不争的事实。为此,各国政府间频繁接触商讨对策,科学家和政治家们呼唤,试图减缓全球变暖造成的可怕后果。于是,世界各国从政府首脑到专家学者都在想方设法采取各种良策,以摆脱气候变暖造成的灾难。

为了协调各国政府对付全球变暖及其对人类社会环境的影响,1988 年成立了评估全球变暖的全球科学团体,即政府间气候变化委员会(简称 IPCC),其第一次会议提出了一个科学报告,确认有关全球变暖的科学事实。1990 年 IPCC 发表了第一次评估报告,它为 1992 年召开的联合国环境与发展大会作了准备,并对签署

《气候变化框架公约》起了推动作用。1992年又在巴西里约热内卢召开了有150多位国家元首和政府首脑参加的联合国环境与发展大会。会上通过一项具有法律约束力的公约,即《防止全球气候变暖公约》,以及《气候变化框架公约》,共有150多个国家在公约上签字。1995年,第二次评估报告,更新了第一次报告的内容,增加了适应和减缓影响的对策知识,证实了1992年报告的真实性和准确性,且突出了两个新的科学发现。1996年10月中旬,在意大利首都罗马召开的联合国政府间气候变化委员会第5次会议上作出了令人不安的结论,认为近年来全球平均气温不断上升,将会对世界各国未来的社会 and 经济发展产生明显的影响,而对某些部门和某些地区的影响可能达到危险的程度。1997年12月份,在日本京都又召开了一次由150个国家的领导人参加的联合国气候变化框架公约和具体目标会议,讨论制定限制温室气体排放的国际公约,即《京都议定书》,希望进一步遏制气候变暖的趋势,特别是要求发达国家在减少温室气体排放量方面做出更大的贡献。1998年12月,在波恩召开了公约缔约方部长会议,对《京都议定书》作了调整充实。由此不难看出,全球变暖的问题已经引起世界各国人民的极大关注,因为它不仅关系到21世纪全球经济是否能持续发展的问題,而且还关系到与人类生存密切相关的地球环境质量问題。

现在人们关注的全球变暖问题,实际上是指地球大气温室效应加剧引发的全球平均温度升高所产生的气候灾害。地球平均温度的升高或降低,原本是一种自然现象。地球自15亿年前生成以来,在各个不同的地质时期曾出现过多种时间尺度的温度起伏变化。同样在人类有文字记载以来的各个历史时期,温度的变化也是时高时低。只有到了19世纪中叶,由于工业化发展的步伐加快,人们在发展生产的同时向大气层排放出超量的能产生温室效应的气体,结果造成意想不到的全球变暖现象。因此,地球温度的改变可以区分为自然变化和人为变化两种类型,人们关注的全球

变暖现象,可以说只是针对近百年来由于人为因素而造成的全球变暖加剧的特定现象。

关于全球气候的自然变化,可以简单地归结为几个地质时期的变化。地球诞生至今已有 45 亿年,对地球气候的了解却只有不到 1 亿年的时间。在此前这漫长的地质时期,地球气候基本上可区分为两大类,即大冰期和大间冰期。在大冰期和大间冰期内又存在时间间隔相对较短的亚冰期和亚间冰期,以及时间间隔更短的副冰期和副间冰期。大冰期和大间冰期的时间长度以亿年为单位,亚冰期和亚间冰期的时间长度以百万年到千万年为单位,而副冰期和副间冰期的时间长度则以万年到 10 万年为单位。

纵观地球气候的演变史,不难发现,地球气候在其发展的过程中基本上是以温暖气候为主,温暖气候约占地球发展史的 80%。在大冰期或大间冰期内,虽然全球温度普遍降低或升高,但仍会有一些地区出现相对的冷暖和干湿交替的气候,这就为地球上最终有生命的形成和延续提供了适宜的外部环境。

在最近的 1 万多年中,与温暖期相间的是四个寒冷期,即公元前 11500—8500 年,公元初到公元 450 年,公元 550—850 年和公元 950—1150 年。寒冷期的趋势是经历的时间长度越来越长,寒冷程度越来越强。例如,在第二个寒冷期内淮河流域封冻,此后两个寒冷期内连太湖和长江流域也相继出现封冻。从近代有气象记录以来,地球温度的变化大体可分为两个阶段,即从 19 世纪初到 19 年代为一温暖期,此后温度开始下降,到 20 年代达到最低点,21 年代温度又开始回升。在近一个世纪中,全球平均温度约升高 0.5℃。

地球温度的升降是依照其自身的规律在变化的,就地球气候的演变进程来看,现在仍然处于第四纪大冰期气候的影响下,只不过是一个相对较暖的时期。地球温度的高低,主要取决于地球所接受的太阳辐射能的大小,而地球大气层的存在又使得地球温度与没有大气时的温度有一个明显的差别。例如,一个光秃的没有

任何大气的地球,因受来自太阳辐射能的照射以及地球自身向宇宙发射的红外热辐射,两者相平衡,其表面的平均温度约等于圆缘云即原云益。倘若在地球外面包围一层仅含氧和氮的大气,不含仅是微量的温室气体,则辐射平衡的地球平均温度可升至圆愿云即原云益。而根据实际测量资料计算出来的地球平均温度为圆愿云即员云益,两者相差竟达猿云益以上,其原因就在于大气层尤其是温室气体所产生的温室效应。

对于太阳辐射来说,大气就像一层透光的玻璃,它允许各种不同波长的太阳光射进来,但它又阻挡了地球向外发射的波长较长的红外光跑出去。这样,地球大气层类似于密不透风的玻璃花房一样,尽管花房外面冰天雪地,寒风刺骨,花房里面却温暖如春。地球大气层的这种温室效应,对于地球上生命的起源与发展是一种得天独厚的环境因子。

大气层是由各种气体成分所组成,大气的温室效应主要是由大气组成成分中的水汽和二氧化碳等气体来完成,这两种气体既是长波辐射的良好吸收体,又是良好的辐射体。在大气中水汽所占的比例较大,按容积百分比计,水汽最多时可高达源豫,按质量百分比计则为园圆豫,其余各种气体成分所占的百分比都远小于此。大气中水汽含量虽然很大,又能很好地吸收和辐射长波辐射,自然水汽在地球大气的温室效应中所作的贡献最大。大气中水汽含量增加时温室效应使地面温度增高,地面温度增高又使地球表面蒸发更多的水汽进入大气。随之而来的是天空云量增加,云量的增加使得到达地面的太阳辐射减少,地面温度随之降低,结果蒸发量减小,大气中水汽含量的进一步增加受到限制,温室效应的增强受到遏制。这就是说,大气中水汽所产生的温室效应不可能无限制的增大。水汽的增减对其自身所造成的温室效应起到自动调节作用。再则,地球大气中的大部分水汽源于海表蒸发,是不受人类活动直接影响的。所以,近百年来的全球变暖,显然与作为温室效应的水汽无多大关系。与水汽不同,大气中二氧化碳所造成的

温室效应,随着含量的人为增加可以无限制的增加,并称作“增强”温室效应,这才是当今广为世人瞩目的环境污染引起全球变暖的问题。二氧化碳在大气中所占的比例,近期按容积计为 0.035% 或 350 ppm,按质量计为 0.055% 或 55 g/m³。

在地球大气的形成与演化过程中,一直有二氧化碳存在,它在地球生物圈的生态平衡中起着重要作用。通过分析冰川中所含的微量气体可以看到,在 1800 世纪前,大气中二氧化碳的含量约为 0.028%,进入 1800 世纪后其含量不断增加。特别是 1850 年以来,西方开始进行所谓工业化革命,大量燃烧化石燃料和滥毁森林,使得海陆之间、海气之间保持了长时间的生态平衡状态遭到严重破坏,大气中二氧化碳含量人为地急剧增加,造成非自然的“增强”温室效应。自 1850 年至今,大气中二氧化碳含量由最初的 0.028% 增加到目前的 0.035%,大约在 1850 多年的时间里平均每年增加近 0.0001%。但进入 20 世纪 50 年代以来,这个增加值显著变大,每年约增加 0.0002%。尤其是西方工业化比较发达的国家,年增幅都超过这个数字,如日本 1950—1959 年间平均年增长量为 0.0003%,意大利 1950—1959 年为 0.0004%,澳大利亚 1950—1959 年为 0.0005%,美国的增长率比这个数字还要大。据估计,如按目前的增长率继续下去,到 2050 年将达到 0.045%~0.055%,最可能值是 0.045%。所以,大气中的水汽及 0.035% 含量的二氧化碳,起着自然温室效应,使得地球平均温度从没有大气和二氧化碳时的 -18℃,升至 15℃ 左右。而由于人为因素自 1850 年至今的 180 多年来,大气中的二氧化碳含量从 0.028% 增加至 0.035%,于是相应人为作用的“增强”温室效应,又使地球年均温度近 180 多年来上升了约 0.5℃,这才是我们关注的全球变暖。这就是说自然温室效应,维持了正常的地球平均温度(约 15℃),乃是地球上一

① ppm 是计量混合比的单位之一,表示百万分之一或称兆分率(10⁻⁶),在其后加一英文缩写 增 表示按容积计,或在其后加小写字母 皂 表示按质量计。

切生命存在的得天独厚的环境条件,而人为的“增强”温室效应,使地球平均温度异常升高(近百年升高 0.5°C),这才是引起全球变暖的主要成因。

大气中除二氧化碳含量增加会导致温室效应外,由于人类大量使用氟利昂等致冷剂、燃烧化石燃料和大量使用化肥,使大气中氧化亚氮、甲烷、氨、氟氯烷等微量气体的含量也在不断地增大,这些微量气体的增加对温室效应的加剧也是不可忽略的。根据科学家研究的结果,如果大气中包括二氧化碳在内的各种微量气体的含量增加一倍的话,地球温度将会上升 3°C ,极地地区可达 15°C 。由于北半球陆地面积大于南半球,北半球温度变化的幅度将超过南半球,而变化最大的地区将出现在北半球中高纬度地区。

当然人类活动致使全球变暖不限于二氧化碳等微量气体增加所造成的影响,世界上人口急剧膨胀所带来的一系列严重后果也是不容忽视的。实际上,人类活动对地球气候的影响自人类出现以后就已开始,但是从18世纪以来,由于人口的急速增加和工业的发展,这种影响才开始明显地表现出来。人口膨胀必然导致耕地和牧场的迅速扩大,从而造成森林被大量砍伐。工业化的进展又使废气、废水、废渣严重地污染环境,改变大气成分,加剧地球变暖的进程。

作为人类活动影响地球气候的一个例子,毁田造林也是造成全球气候变暖的一个重要方面。18世纪初,全世界耕地面积仅有 1.5×10^7 公顷,约占全球陆地面积的 10% 。此后,随着人口的急剧增长,耕地面积也在迅速扩大。目前,在全球陆地面积中,耕地约占 15% ,达 2.25×10^7 公顷,牧场约占 20% ,达 3×10^7 公顷,沙漠、冻土约占 10% ,即 1.5×10^7 公顷,森林覆盖面积仅占 10% ,即 1.5×10^7 公顷。但是,现在每年毁林面积却以 10^6 公顷的速率在增加,换句话说,每年约有 10^6 公顷的森林被砍伐。照此行事,整个地球上的森林覆盖面积只需要再过 10 年就将荡然无存,地球将变成一个像火星表面一样的光秃秃的星球了。毁林最为严重的主要是原始热带雨林的

迅速减少。全球热带地区现有森林面积不到 10 亿公顷，其中 50% 以上在南美。每年被砍伐掉的热带雨林面积约有 1 亿公顷，而造林速率却远远落后于森林砍伐，两者之比在热带美洲为 1:10，在热带非洲为 1:15，在热带亚洲为 1:20。例如，在非洲的埃塞俄比亚，原来是一个森林茂密的国家，1980 年森林覆盖率高达 50% 以上，1985 年用资源卫星拍出的图片得出的结果真是使人惊愕不已，整个国家的森林覆盖率只剩下 10% 多一点，短短的 5 年光景，森林面积已所剩无几了。在南美洲的哥伦比亚，情况也大致差不多，近几十年来森林覆盖率面积已减少 50% 左右。毁林的直接结果是改变了陆地表面的性质，使得长久以来完全处于平衡状态的地球生态环境遭到了严重的破坏，尤其是低纬度热带雨林地区，大片原始森林被毁坏后，陆地表面的温度不断升高，不仅当地的气候发生了急剧的改变，而且还涉及到地球上的其他地区。

总之，在地球演变过程中，自然因子引起的全球温度变化是一个客观规律，人类无法改变其总体变化进程，但人为因子或‘增强’温室效应却是一个可以认识和驾驭的主观因素。另一方面，虽然目前人类活动对地球气候影响尚不足以与自然因子相提并论，但由于人类活动的广度和深度正在急剧地增大，它作为影响地球气候的一个重要因子只是一个时间问题。例如，人类在 18 世纪中叶开始的工业化进程，已经为人类自身的生存环境带来了严峻的后果。这一事实已越来越多地引起各国政府和人民的严重关注，并积极寻求对策。人类在努力提高自身生活质量的同时，也应当把自身当作地球自然生态环境系统中的一员，并与之不断地协调，这样人类才能更好地生存、发展和繁荣下去。

近年来来的全球变暖和厄尔尼诺

当今世界，在全球变暖已备受关注的同时，另一个同样引起各国人民注目的重大灾害在最近一二十年内频繁出现，这就是厄尔

厄尔尼诺现象。厄尔尼诺现象的出现带有突发性,并且很难有规律可循,大体上是每隔 3~5 年重复出现一次,每次持续时间约 12~18 个月以上。但无论持续时间长短,其影响范围之广,造成的灾害之大,都是不可小视的。有关厄尔尼诺各方面的内容,前面各章均已作了介绍。值得注意的是,在 20 世纪的最后 20 多年内,厄尔尼诺现象发生的频率明显加大,除个别年份外,几乎每隔 3~5 年都要爆发一次。这就向人们提出一个值得关注的问题:近年来的全球变暖和这段时期内厄尔尼诺频发的现象之间,是否存在联系?

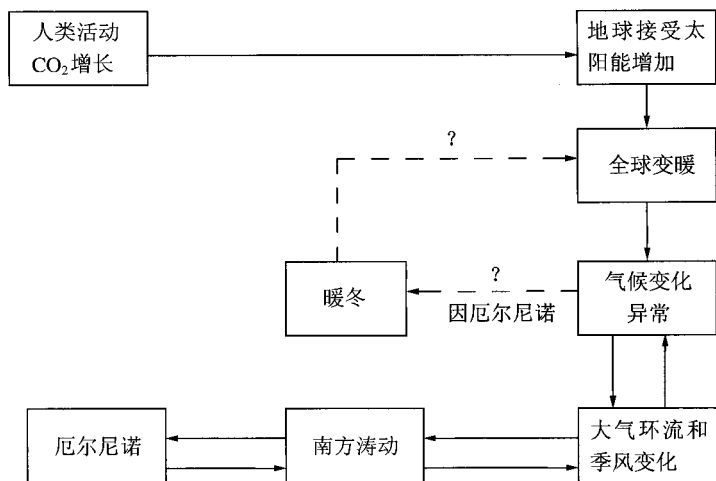


图 9-1 全球变暖和厄尔尼诺关联示意图

全球变暖是一个不争的事实,它是大范围气候异常现象,它的成因是人类活动造成温室气体主要是 CO_2 超量不正常增长的结果。厄尔尼诺事件是赤道中东太平洋地区海—气相互作用的结果,它会引起全球尺度范围内的气候异常。两者的成因显然不同,但它们导致的全球气候异常,是彼此独立的还是相互关联的?值得思索。在全球变暖和厄尔尼诺关联示意图(图 9-1)中,厄尔尼诺—南方涛动与气候变化异常是双向箭头连接的,体现了海—气

相互作用。人类活动的 增加和全球变暖、气候变化异常是用单向箭头,似不存在反果为因的作用。但是,它通过气候背景的变化,自然会影响到海—气相互作用或厄尔尼诺。所以有人认为在整个全球气候变暖的背景基础上,可能会出现频繁的厄尔尼诺现象和各种全球尺度的气候灾害。也有人指出:为什么 20 世纪 80 年代以前和 80 年代以后的厄尔尼诺事件的特征有明显的差别?这可能与气候的更长时间尺度变化有关,如温室气体造成的全球背景气候增暖和 50 年际气候变化等有关。反过来,厄尔尼诺是否对全球变暖有影响,据我国渤海湾内的冰情资料分析,似可得出结论:厄尔尼诺与东亚冬季变暖有关。有人更进一步认为,厄尔尼诺带来了我国的暖冬,自 1952 年以来,我国已出现了 5 个暖冬。因此,图 1-1 中的虚线单向箭头是惟一可沟通全球变暖和厄尔尼诺之间的联系。亦即若厄尔尼诺带来暖冬,则用虚线箭头,它可能影响或加剧全球变暖现象。否则,是否存在此虚线箭头或联系,值得推敲。

总之,从现有的初步研究结果还很难说清楚是全球变暖加剧了厄尔尼诺现象的频频出现,抑或是厄尔尼诺现象加剧了全球变暖。但是有一点是明白的,那就是这两种现象均是人类文明社会的大敌,不可掉以轻心。

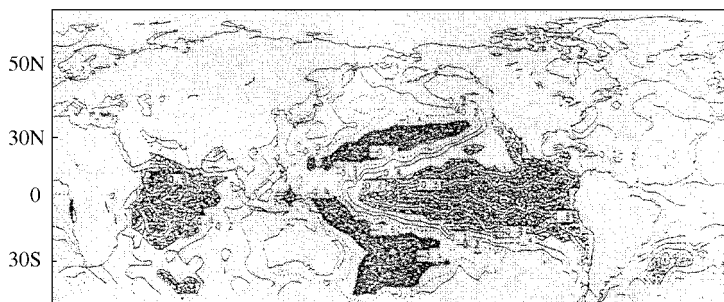
第十章 厄尔尼诺事件的预测

厄尔尼诺事件作为全球气候异常和各种自然灾害的主要引发者之一,我们不仅要研究它的表现、特征、演变规律以及所造成的危害,更要研究它的发生、发展规律,进而预测、预报厄尔尼诺事件的发生、发展、强盛以至消亡的全过程,从而设法尽可能避免或减轻厄尔尼诺事件造成的灾难,充分利用它可能的有利影响。

厄尔尼诺预测方法

全球天气气候是大气环流和天气系统变化的直接产物。对于短期天气现象,我们可以根据天气图、气象卫星、天气雷达,甚至局地天象和物象的反映,直观地或客观地作出预报。目前,短期和中期数值天气预报已达到相当高的准确率。但对于长期天气预报即长期气候预测来说,由于全球气候系统的极端复杂性,其预报准确率尚不够高。

厄尔尼诺事件从现象上看,是赤道中东太平洋大范围海温异常升高或降低的现象,是全球至少是热带—赤道太平洋区域海—气相互作用的结果。其形成因子极为复杂,至今尚未完全研究明白。厄尔尼诺预测属于气候预测范围,目前预报准确率还不够高。从图 10.1 可注意到,赤道东部的海温与赤道中—东太平洋海温以及印度洋海温有明显正相关,而与南北半球热带—副热带太平洋海温有明显负相关。厄尔尼诺预测可以预测整个赤道太平洋海温,也可以用赤道东太平洋海温预测来代表。



摇摇图 摇摇摇摇区海温全球各海区海温相关系数分布
(图中浅阴影区为显著正相关,深阴影区为显著负相关)

目前主要的预测方法,大致有 数理统计预报方法、海洋—大气动力学方法、统计和动力学相结合的技术方法等三大类。

数理统计方法,主要有 : (员 利用相关与各类回归方法得到厄尔尼诺与大气环流、海洋以及气候诸因子之间满足一定信度水平的预测模型,如一元或多元回归方程 或利用逐步回归筛选因子,最后确定回归方程。(圆 利用判别和逐步判别方法,寻找与厄尔尼诺有关的明显的判别因子,建立判别方程。(猿 利用经验正交函数分析(摇摇)或主成分分析等方法,将海温场展开,取其前几个分量对应的系数,再利用各种统计方法,如时间序列或相关和回归等,建立相应的预测模型。(源 目前使用较多的是典型相关模型(摇摇),即将海温场与相关的因子场作 摇摇展开,再利用相关等方法建立其间的关系式,从而建立预测模型。(缘 各种时间序列预测方法。如谱分析—自回归模型和马尔可夫链等方法,建立预测模型。这些统计预测模型在实际预测中已取得一定进展,且计算方法简单,较为经济。

海洋—大气动力学方法,包括全球环流模式和简单动力学模式两类 : (员 全球环流模式,主要有两种 : ①全球海洋环流模式(摇摇)和太平洋海洋环流模式。通过对描述海洋的动力学和热力学方程进行数值计算。一般在垂直方向分 员圆-猿层,水平分辨

率在热带区域取 5° 经纬度格距,向极地网格逐渐增大。这类模式可预报各层海温、水平流速、垂直运动及盐份等,因而可作热带太平洋海温预测。②全球海洋—大气耦合模式(简称 GCM),也即复杂的耦合模式。一般有三种耦合型式。第一种是全球多层大气耦合全球多层海洋环流模式。第二种是较为简单的全球大气环流模式和全球复杂的多层海洋环流模式耦合。第三种是较为复杂的全球大气环流模式和简单的全球海洋模式耦合。由于它由全球大气环流模式和全球海洋环流模式两部分组成,因而机理和模式结构相当复杂,但它可以同时预测大气和海洋的多种变量。从物理意义上看,全球环流模式更为逼近全球气候系统,是更为科学的方法。这类模式的研制,需要更先进的计算机系统和较多的经费,这在许多国家和单位尚难以实现。(3)简单动力学模式,主要有:①简单大气耦合简单海洋动力学模式。对于大气和海洋的许多物理过程作参数化处理。一般大气模式为箱式(层)模式,海洋部分取 1° 或 2° 层,一般直接取在热带太平洋海盆,因而可以预测热带太平洋海温距平。②统计大气耦合简单海洋动力学模式,其海洋模式与上述类似,大气模式则利用数理统计方法来计算大气的风应力场,提供海洋模式运行。这类模式简单易行,在实际预测中已取得较好效果。

国际上从 20 世纪 80 年代开始研究各种厄尔尼诺预测模式和方法。80 年代末开始,美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的国家环境预测中心(NCEP)在气候诊断公报(Climatological Diagnostics Bulletin)上,正式发布用各种模式和方法得出的提前 3~6 个月赤道太平洋平均海温距平的预报值,即厄尔尼诺预测。图 10-1 为其一例,显示 1982 年 5 月发布的其后 3 个月的热带—赤道太平洋 3 个月平均的海表面温度及其距平值分布的预报值(图 10-1 为 1982 年 5 月发布的其后 3 个月的热带—赤道太平洋 3 个月平均的海表面温度及其距平值分布的预报值)。

中国气象局于 1982 年建立了全球气候监测、诊断业务系统,加强了对热带大气—海洋状况和厄尔尼诺现象的监测、研究和预

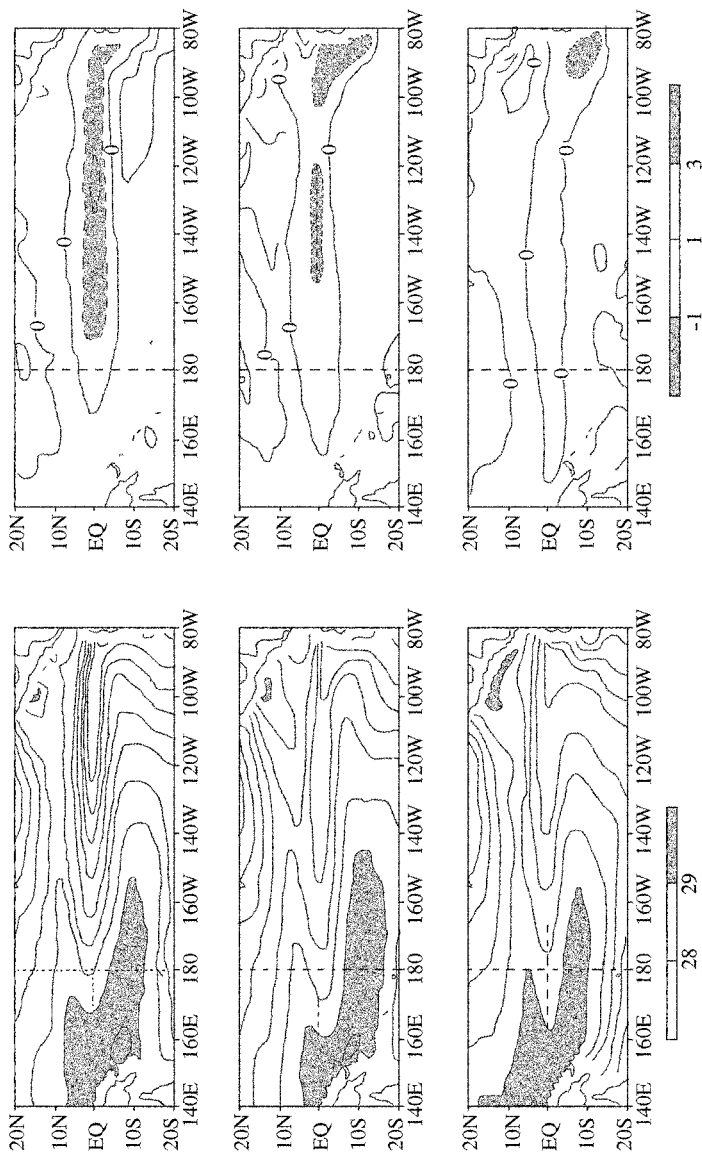


图 10.2 美国国家环境预测中心根据耦合模式所作的 3、6、9 个月赤道太平洋海温和距平预测分布

测,每月出版“月气候监测公报”。1982年起,正式发布厄尔尼诺事件的试验性预测报告。

国际上几种厄尔尼诺事件预测动力学模式

国际上许多先进的国家,如美国、英国、德国和日本等,都从20世纪70年代起开展了厄尔尼诺事件模拟和预测的研究。美国对第一个海气耦合动力学模式作了太平洋海温模拟的对比试验。主要有以下几个模式:

(1) 耦合模式。美国普林斯顿大学地球物理流体动力学实验室第一个大气环流模式,由奈尔逊于1974年设计,以后由奈尔逊等人不断加以改进,使用多层大气环流模式和高分辨率海洋环流模式相耦合。大气模式用菱形截断,5个波和垂直方向取15层,包括各种物理过程,海洋模式限于热带太平洋区域,范围为 180° ~ 110° W,最高水平分辨率为 1° 经度,垂直方向取15层。

研究表明,复杂的全球大气耦合海洋环流模式的模拟结果与观测事实相对较接近。图10-1显示了耦合模式(1974年)的结果,在10年的长时间积分中,系统异常在空间有发展。例如,系统暖状态开始前会向东传播,冷状态开始前会向西传

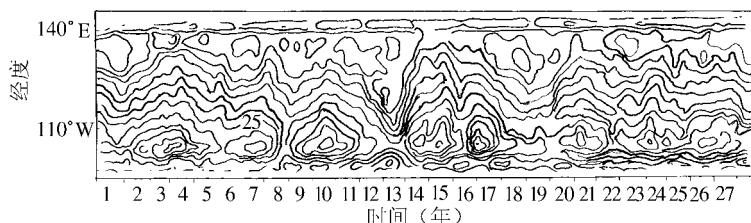


图 10-1 耦合模式积分 10 年的结果图
 摇摇摇 (实线为海表温度等值线,图顶 140°E 为西太平洋暖池,图底为 110°W 东太平洋冷水区)

播。暖冷状态间的间隔是不规则的,暖或冷状态异常的年际振幅与实际的厄尔尼诺和反厄尔尼诺事件十分相似。漂移相对小,近东部边缘出现观测所没有的一个较暖水区。

(四) 英国模式。英国气象局气候动力学部第一个大气环流模式,由英国气象局于1970年提出,再由英国气象局气候动力学部等人不断加以改进。大气模式采用英国气象局10层气候模式,水平分辨率为 2.5° 经度 $\sim 5^{\circ}$ 纬度,包括各种物理过程。海洋模式采用英国气象局模式的一个高分辨方案,仅覆盖热带太平洋区域,范围为 10° ~ 30° N,有一个非均匀的水平网格空间,在赤道地区的分辨率为 1° 经度 $\sim 2^{\circ}$ 纬度,在海岸地区的分辨率为 1° 经度 $\sim 2^{\circ}$ 纬度,垂直方向10层。

(五) 德国模式。德国马克斯—普朗克气象研究所的大气环流模式,由德国马克斯—普朗克气象研究所等人发展而成。大气模式使用欧洲中期天气预报中心框架加上汉堡的物理过程,用三角形截断 10° 和垂直方向10层或15层。海洋模式覆盖热带太平洋区域,范围为 10° ~ 30° N,垂直方向10层,水平分辨率可变,近赤道处为 1° 。

(六) 美国国家大气研究中心的气候模式方案。海洋模式是一个重力逆流原始方程模式,平均深度取 1000 米,其下为静止海洋,密度为常数。因为模式中没有盐度,常数密度也意味着常数温度。覆盖热带太平洋区域,范围为 10° ~ 30° N,垂直方向10层。水平分辨率为 1° 经度,纬度是可变的。

(七) 美国加利福尼亚大学洛杉矶分校的大气环流模式垂直方向10层,水平分辨率 1° 经度 $\sim 2^{\circ}$ 纬度。海洋模式用了位于太平洋的10层模式。

(八) 日本气象研究所的大气模式,垂直方向10层,水平分辨率为 1° 经度 $\sim 2^{\circ}$ 纬度。海洋模式是热带太平洋区域模式,用了实际的海岸线和在 1000 米处一平坦底部,水平分辨率同大气模式,垂直分层为10层。

(苑 韵裁模式。由 韵裁与 韵裁于 韵裁年完成。大气模式包括了各种物理过程,水平分辨率为 韵裁(纬度) 韵裁(经度),垂直方向 韵裁层。海洋模式垂直方向为 韵裁层,水平分辨率同大气模式。

(愿 蕴韵韵模式。美国纽约州哥伦比亚大学 蕴韵韵对 蕴韵韵地球观察台的简单大气模式和低垂直高水平分辨率海洋模式。耦合模式由 蕴韵韵和 蕴韵韵发展而成。大气动力学取稳定的形式,在赤道 β 平面上为线性浅水方程组。通过加热异常来强迫海洋环流。一部分依赖于海温异常的局地加热,一部分依赖于表面风场参数化的低层水汽辐合。观测事实表明,低层水汽辐合对于整个热带的热平衡极为重要。而 韵裁异常对于热带辐合带和南太平洋辐合带则有重要作用。模式海洋取为矩形,范围为 韵裁~ 韵裁, 韵裁~ 韵裁。模式动力学取线性简化动力模式,该模式能成功地模拟出海洋斜温层深度距平和地面气压变化。但它只能产生深度平均的斜温层流,必须加上一个等深度(韵裁) 韵裁的浅摩擦层,以便模拟出实际海洋表面增强了的风驱动海流,而表层气压梯度只随斜温层深度而变。热力学描述了模式表面层海温异常的演变。控制方程组包括了由指定平均流和计算的距平流造成的三维温度平流。而表层热通量距平则与局地 韵裁距平成正比。在耦合计算时,海洋动力学的时间步长取为 韵裁天。大气模式为稳定状态,以指定的月平均运行。但在计算时仍取 韵裁天平平均的风场。在每一步长时都要计算加热的变化,而假定的背景辐合场取前一步长的总辐合。最简单最有效的方法是根据现有的 韵裁距平场在稳定模式中周期性地重复计算加热场。

研究表明,采用最简化的海气耦合模式如 蕴韵韵模式,也可能成功地模拟出厄尔尼诺事件的发生发展。图 韵裁显示了 蕴韵韵模式(在 韵裁年对 韵裁年积分 韵裁年的结果。在一个 韵裁年的模拟周期中的 韵裁沿赤道随经度—时间演变图表明,该模式在结合热带海—气相互作用中具有代表性的性能,强度变化着的暖事件是非周期性的。在模拟的 韵裁年结果中,大致 韵裁—源年周期出现一次明

显的暖状态,园猿年和园缘年周期间有很弱的异常,在第缘年、第怨年和第员年出现三次强暖事件。

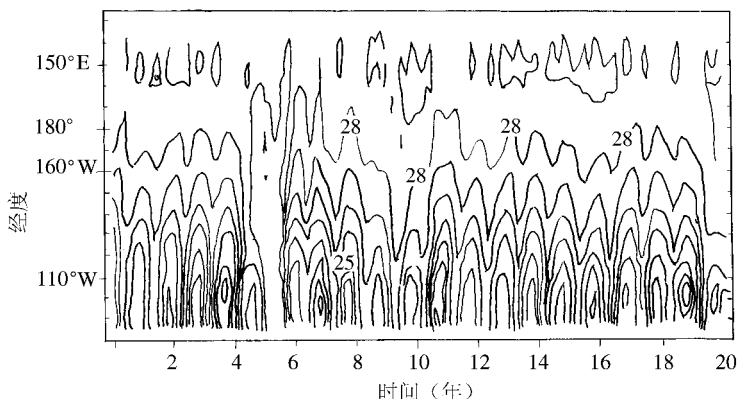


图 员 摇摇由 悦猿藻和 在 的耦合模式积分 圆年的结果图
(说明同图 员)

从 园世纪 愿年代后期开始,各国先后进行了厄尔尼诺事件预测的研究和实际应用。其中,以美国 晕粤粤的研究最为全面先进。表 员 是美国使用的各类模式和模型。其中,后 愿种为数理

表 员 摇摇美国气候预测中心作 晕粤粤的预测的模式和模型

作摇摇者	模式模型特征	预 测 项 目	超前 远个月 晕粤粤区 晕粤粤预测相关系数
(员) 月 摇摇员 摇摇 漂皂, 摇摇	摇摇摇摇层 摇摇云 统计大气模式	热带太平洋海温	园园园-园园园
(圆) 悦猿藻在 摇摇	摇摇的简单海-气耦 合动力学模式	热带太平洋海 温距平	园园园
(猿) 猿运宅刺 摇摇	晕粤粤 摇摇云	全球海温	园园源
(源) 运宅刺与 摇摇 晃 晃 晃 晃 晃	悦猿藻 晕粤粤云, 晕粤粤 摇摇 摇摇 摇摇 摇摇 摇摇 伊 摇摇 太平洋	太平洋海温	

作播播者	模式模型特征	预 测 项 目	超前远个月 预测相关系数
(缘 运 望 社)	月面悦简单海—气耦 合动力学模式	热带太平洋海温距平	园缘-园援缘
(远 月 建 察 群 粤世前社阅报赠)	韵望背简单动力海洋 耦合统计大气模式	热带太平洋海温距平	园援园
(苑 马 减 当 辛 鄯 望里社东望录)	悦愿云格悦线 性 反 演模式	太平洋与印度洋海温距平	
(愿 耕 昂 与 焉 耕里)	哉悦中性网模型	晕数蒙区海温	
(怨 阅 隔 赠 赠)	相似预报模型	南方涛动指数	
(园 允 登 郎 隆 晕露社)	哉花聘单谱分析—最大熵谱模型	晕数蒙区海温， 南方涛动指数	
(员 运 嘉 杜 奠 蕴造)	允盛裁截复谱分析—多选择回归模型	南方涛动指数	
(员圆 在 森 昂 牙 社)	隅孕招悦耘约云迭代模型	热带太平洋海温	
(员猿 阅 翠 造)	悦悦悦相似预报模型	热带东中太平洋海温	
(员源 月 孰 肆 社 砾露造署)	悦孕悦悦悦	热带太平洋海温	

一般来说,简单的海—气耦合模式最容易引起重视。因为这种模式考虑了海—气相互作用的简单动力学过程,具有明确的物理意义,结构简单,运算比较经济省事,实际效果也较好。美国哥伦比亚大学的 在 建 模 和 忧 忧 所 发 展 的 简 单 动 力 学 模 式 (建 模 的 模 式) 作 了 超 前 一 个 月 的 预 报 , 对 某 些 区 海 温 距 平 的 预 报 效 果

很好(表 10.10),超前远~ 5个月的预报水平也远高于持续性预报。

表 10.10 摇摇摇的模式对 摇摇区海温距平预报相关系数

	摇摇摇摇摇摇摇摇摇摇								
	园	猿	远	怨	10	11	12	13	14
摇摇摇		0.85	0.80	0.80	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85
持续性	0.80	0.85	0.85	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85

事实上,对厄尔尼诺事件人类第一次成功的预测,就是由哥伦比亚大学的 摇摇和 摇摇在 1982年初用简单的海—气耦合动力学模式完成的。结果在 1982年末至 1983年,确实发生了一次中等强度的厄尔尼诺事件(摇摇,1983)。这一成功及其造成的广泛影响,使得许多学者深受鼓舞,于是在 20世纪 80年代末,开始了向公众发布厄尔尼诺事件的预测业务。1985年,摇摇和 摇摇又再次成功地预报出 1985年的厄尔尼诺事件(尽管在时间上相差几个月)。美国国家气象中心的预报员利用统计模式,也正确地预报出了这次事件。1986年初期,美国和中国都成功地预报出了该年新一次厄尔尼诺事件即将发生,但都没有预期到会超过 1982—1983年那一次的最强的厄尔尼诺事件。

正确的厄尔尼诺事件预测,会产生重要的积极影响。1982年末,埃塞俄比亚国家气象局根据美国的预报,特别是刚开始出现的厄尔尼诺现象,以及 摇摇对当地气候影响的统计研究,预报 1983年汛期将发生较严重的干旱。政府据此采取措施,鼓励农民在 10月中到 11月中的“小雨季节”全力进行生产。这样,尽管在远~ 11月的“大雨季节”的确是严重干旱,损失巨大,但政府前期的正确措施还是大大减少了所需救济粮的数量,而在严重干旱季节没有一人死亡。巴西塞阿腊州在 1983年(没有预报)和 1984年(有正确预报并被利用)两次厄尔尼诺事件中,粮食生产有显著的差异,减少了灾害的损失(表 10.11)。

表 10-1 巴西塞阿腊州的粮食生产

年	降水(平均值的豫)	谷物生产 (吨)	谷物生产 (平均值的豫)
1982	1.0	1.0	1.0
1983	1.0	1.0	1.0

当然,由于大气和海洋的变化极为复杂,对厄尔尼诺事件的预测仅处于初级阶段,迄今为止,不成功的例子还占多数。如早期厄尔尼诺事件在 1982 年预测将有一次厄尔尼诺事件发生,实际却出现了一次反厄尔尼诺事件。1983 年年中,在美国迈阿密和普林斯顿举行过两次有关厄尔尼诺研究的会议,所有与会科学家都同意,当年不会发生厄尔尼诺事件。但仅仅几周以后,事实就证明他们全都错了,当年却发生了一次较强的厄尔尼诺事件。1984 年初,美国一位教授根据近 15 年来厄尔尼诺与农作物产量的关系,公开预测伊利诺伊州的农作物产量将非常高。但实际上这一年谷物产量减少约 10%。进入 20 世纪 90 年代以来,厄尔尼诺事件预测模式研究有了很大发展。但 90 年代前期连续 3 次厄尔尼诺事件的发生过程,几乎所有模式预报都不成功。最近这次强厄尔尼诺三事件,美国国家环境预测中心的复杂海—气耦合模式和典型相关统计模式,在 1997 年 5 月就预报出 1998 年将有一次厄尔尼诺事件发生。令人吃惊的是,曾经成功地预报出了 1997—1998 年和 1999—2000 年厄尔尼诺事件发生的 1997 年和 1999 年的简单模式,对这次事件的预报却失败了。我们只能盼望,随着科学的进展,对厄尔尼诺事件的预测能力将会有明显而迅速的提高。

中国对厄尔尼诺事件预测的研究和实践

中国对厄尔尼诺事件预测的研究和实践,主要由中国气象局国家气候中心、国家海洋局国家海洋环境预报中心、中国科学院大气物理研究所、地理研究所、北京大学地球物理系、南京大学大气

科学系、南京气象学院等承担。中国气象局于 1980 年起建立厄尔尼诺事件监测研究小组,1981 年建立了气候监测、诊断业务系统,以监测厄尔尼诺事件的发生、发展和消亡过程,并向全国发布监测公报。1982 年后,在国家“九五”攻关项目中专门设立了有关厄尔尼诺监测、预测及厄尔尼诺对气候影响的研究等专题。研究成果在 1983 年投入初步试验应用,成功地预测了 1982—1983 年本世纪最强的一次厄尔尼诺事件的发生、发展和消亡过程,并正确地预测了 1983 年秋季拉尼娜事件的发生(国家气候中心,1983—1984)。国家海洋环境预报中心于 1983 年也成立了厄尔尼诺研究预测组。1984 年 1 月间,这个研究组对外公开发表了 1984 年即将出现厄尔尼诺现象的成功预测。

中国关于厄尔尼诺预测的方法主要有 3 类:大气环流—海洋现象与厄尔尼诺事件相关统计研究、数理统计预报方法、动力学预报方法。国家海洋环境预报中心的宋家喜、王彰贵根据东亚大气环流指数与 1950—1979 年的 12 月距平作为预报量,用回归统计方法构造厄尔尼诺预报方程。图 1 是用 1950—1979 年 12 月资料作样本,对 1980—1984 年时段的厄尔尼诺现象作后报和预报的结果。可见,这一时段内 1 次强厄尔尼诺事件及 1980 年的弱厄尔尼诺事件均被模拟出来,但模拟值大约是实际观测值的一半。1983 年弱厄尔尼诺事件没有模拟出来,因为增温只出现在春季。根据这一统计预报模式,于 1984 年初预测 1984 年下半年至 1985 年将有一次较强的厄尔尼诺现象发生。所预报的 1950—1979 年 12 月距平及实际观测值如表 1 和图 1 所示。预报增温转折期在 1984 年 1 月,远月份明显增温,1984—1985 月达到增温的最大值。实际情况是:大致趋势相似,但增温转折期和明显增温都提前 1 个月,而增温幅度又比预报值大出很多。显然,作为厄尔尼诺事件发生的预测,在定性上是正确的,定量上则远远不够。

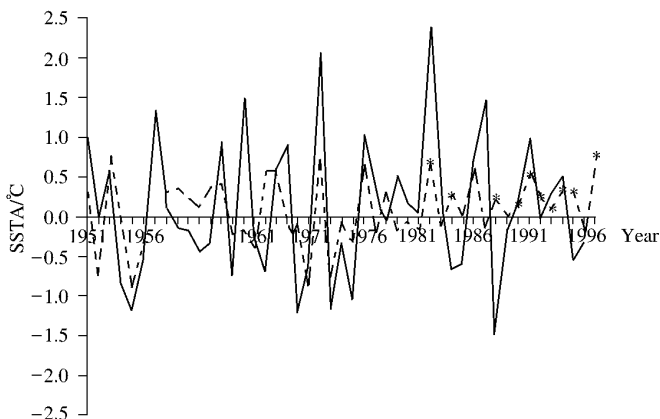


图 10-1 厄尔尼诺区 3.4 区 5 月平均海表温度距平的时间变化
(实线为观测值, 长虚线为拟合值, 短虚线为后报和预报值)

表 10-1 厄尔尼诺年 5 月至 1995 年 3 月 3.4 区的 SSTA 距平预报值和观测值(益)

年	厄尔尼诺												厄尔尼诺		
月	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
预报值	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
观测值	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

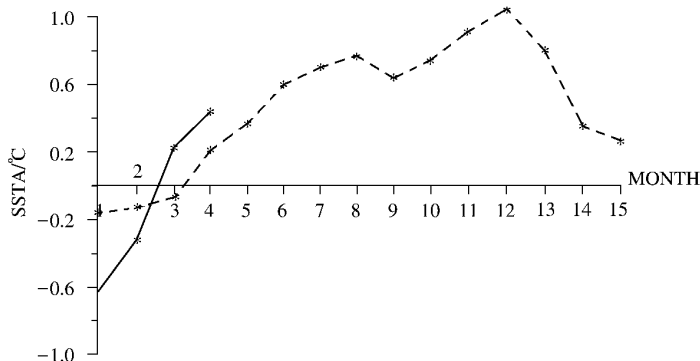


图 10-2 厄尔尼诺年 5 月至 1995 年 3 月 3.4 区平均海表温度距平
(实线为观测值, 短虚线为预报值)

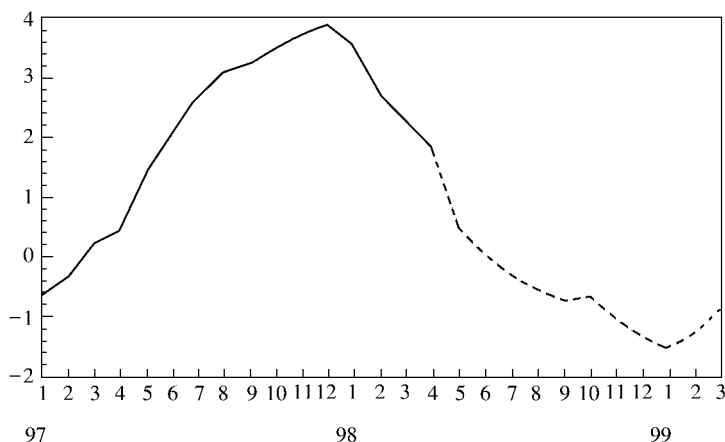


图 1 1997 年 1 月至 1998 年 12 月热带太平洋海表温度距平
(实线为观测值 虚线为预报值)

王彰贵通过对近 10 年太阳活动和厄尔尼诺事件资料分析，发现厄尔尼诺现象与太阳黑子 11 年周期的位相有关（图 1）。强烈的厄尔尼诺事件发生在太阳黑子的峰值、谷值和下降位相。而在上升位相很少出现厄尔尼诺现象。特别是在资料较好的近 10 年内，没有一次厄尔尼诺事件发生在太阳黑子上升位相期。另外，在一个完整的太阳黑子周期内（约为 11 年左右），一般发生 1~2 次厄尔尼诺事件。在最近 10 年内，每个太阳黑子周期都有 1 次事件（如果包括 1992 年的弱增暖事件）。据预测，太阳黑子将在 2000 年达到峰值，2002 年达到谷值。又考虑到 1982—1983 年的厄尔尼诺事件是一百多年来最强的一次，这可能使下一次厄尔尼诺现象发生的时间间隔变长。因此，预计 2000 年以前不可能再发生厄尔尼诺现象；下次厄尔尼诺现象将发生在 2004—2005 年；而且，2001—2002 年之间是厄尔尼诺现象多发期，可能发生 1~2 次。

南京气象学院的江志红、丁裕国提出一种基于主成分典型相关

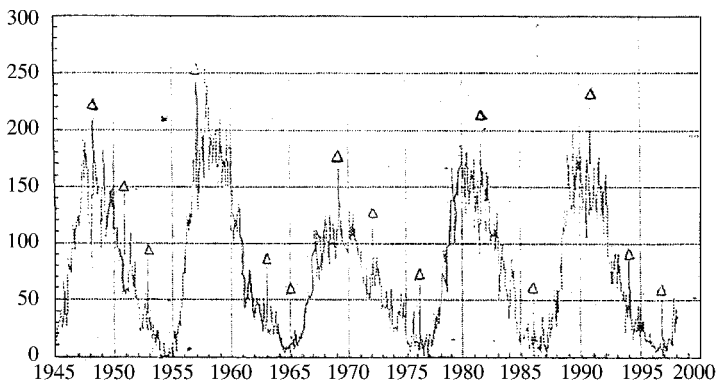


图 10-1 太阳黑子数和 1950 年以来的厄尔尼诺现象(三角形号所示)的合成图

分析(李锐、沈悦)的广义典型混合回归模式,用于建立 1950 年以来的厄尔尼诺现象的预报方案。优选出如下 5 种预报因子场: 1950 年以来的海温指数, 1950 年以来的海温指数, 1950 年以来的海温指数, 1950 年以来的海温指数, 南方涛动指数, 1950 年以来的地面气压, 达尔文地面气压, 赤道西太平洋 1950 年以来的纬向风, 赤道中东太平洋外逸长波辐射(1950 年以来的), 赤道太平洋 1950 年以来的纬向风。取前期 1 个月滑动平均值的要素场作为预报因子, 分别按提前 1 个月、3 个月、6 个月、9 个月、12 个月拟定预报方案。江志红等的模式取得了很好的预测效果,如表 10-1 所示。提前 1 个月、3 个月的预测值和实况值的相关系数,除 1950 年以来的厄尔尼诺略低外,1950 年以来的厄尔尼诺、1950 年以来的厄尔尼诺、1950 年以来的厄尔尼诺都在 0.8 以上。其中,提前 1 个月的预报水平,已经与美国 1950 年以来的厄尔尼诺的模式预报技巧(图 10-2)大致相当。

表 10-1 1950 年以来的厄尔尼诺现象提前 1 个月、3 个月、6 个月、9 个月、12 个月的预报值和实况值的相关系数

海温区	1950 年以来的厄尔尼诺	1950 年以来的厄尔尼诺	1950 年以来的厄尔尼诺	1950 年以来的厄尔尼诺
提前 1 季	0.85 0.85	0.85 0.85	0.85 0.85	0.85 0.85
提前 3 季	0.85 0.85	0.85 0.85	0.85 0.85	0.85 0.85
提前 6 季	0.85 0.85	0.85 0.85	0.85 0.85	0.85 0.85

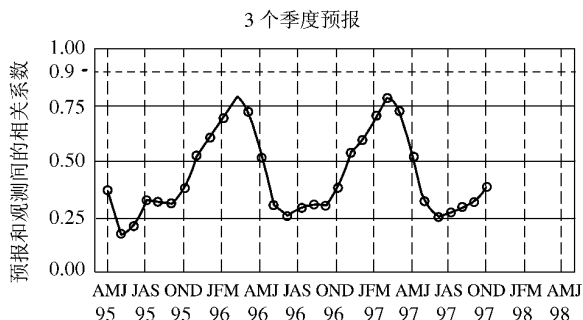
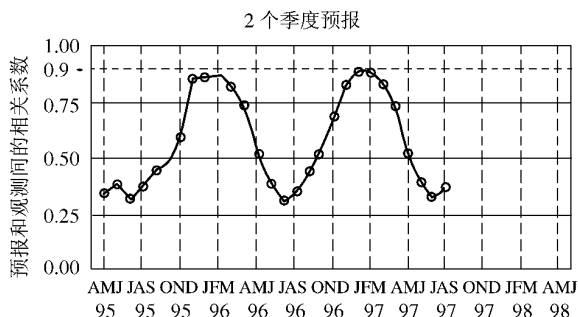
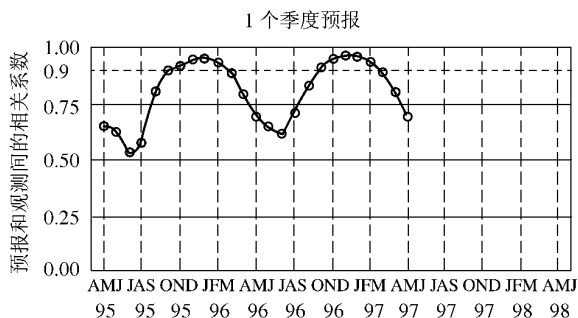


图 5 美国 气候诊断公报中所用 模式 区域预报技巧的变化

提前 源季	源季 源季	源季 源季	源季 源季	源季 源季
-------	-------	-------	-------	-------

摇摇进入 世纪 年代以后,国家气候中心致力于厄尔尼诺预测模式的研究和应用。赵宗慈等利用美国俄勒冈州立大学()的全球大气环流模式耦合全球混合层海洋与海冰模式,作赤道太平洋海温预报。 年 年共 个月预报距平符号正确率大致为 %。李清泉与丁一汇用 的简单模式,输入佛罗里达州立大学自 年的月平均距平风场和海表温度场,计算和模拟出该时段的海表面温度距平场,如图 所示。使用该模式成功地模拟了 世纪 年代几次厄尔尼诺和反厄尔尼诺事件。

国家气候中心在国家“九五”科技攻关项目中有一个子专题:“ 预测业务系统研究”,旨在研制和建立中国的 预测业务系统,发布 预测产品。猿年来已取得以下主要阶段性成果:(员 设计了 预测业务系统总体结构,由专用资料库、预报模式(包括动力学和统计模式)、评估系统、综合预报 源部分组成。(圆 分析研究了大气、海洋关键区参数之间的关系,寻找到厄尔尼诺现象临近发生的先兆指标。这是对统计模型临近预报可靠性的补充。(猿 研究并提出 源种 统计预报方法,并进行了 年的预报试验。① 研制了奇异谱最大熵模型();② 研制了 模型(已见上述);③ 研制了海温滤波最优叠合模型。首先对海温序列进行滤波分解,提取年循环、准 年振荡和 年低频振荡分量,再采用自回归 阶、 阶(责择、非线性门限自回归、非线性稀疏系数门限回归等动态模型,分别对各分量建模预报,然后进行最优叠合,建立最优叠合预测模型;④ 研制了相似预报的方法。从事件的动态全过程入手,寻找能够反映原序列、趋势变化发展速度等不同侧面的相似性的 个单一相似指标,通过集成方法产生一个全面、客观、有效的综合相似指数,最后建立相似预报模式。这 源种统计预测模型于 年相继投入

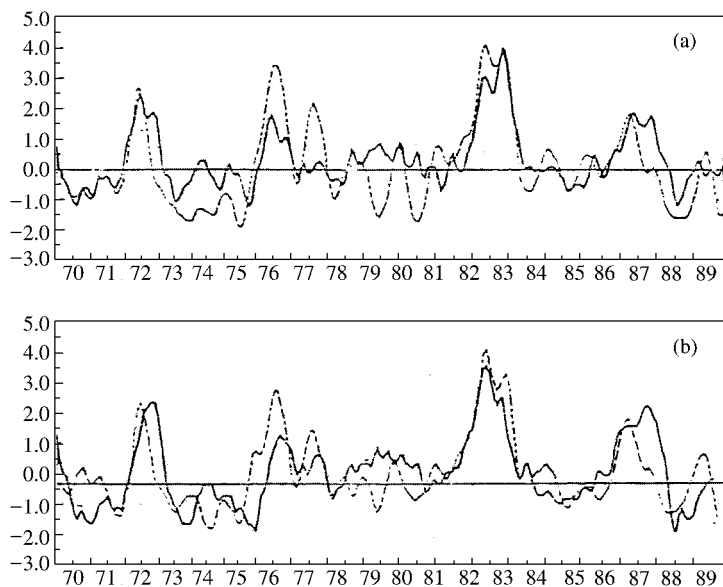


图 1 1970—1989 年赤道太平洋海温距平
摇摇摇摇 (上图 东赤道区, 下图 西赤道区, 实线为观测值,
摇摇摇摇 断线为 模型的模拟值)

业务预报,取得了较好效果。(源完成了大量的模式个例计算和预报试验。(缘系统研究了 1982 年预测的客观评估方法。

国家气候中心在 1987 年 猿月底向全国汛期天气预报会商会发布了预测意见:冷事件消失,暖事件酝酿发展。估计未来 圆~ 缘个月内(即 1987 年 缘~ 怨月)可能出现一次新的 1982 年的事件。1987 年 缘月 10 日,国家气候中心又在第 源期 1987 年监测简报上发布:一次新的厄尔尼诺事件已经形成。其特点是发展迅速,来势凶猛,值得注意。某些参数如风指数强度已超过 1982—1983 年强厄尔尼诺时的值,可能是一次强事件。这些均与实况符合。1987 年 猿月预报厄尔尼诺事件已逐步衰减,预计事件持续到春末,夏季结

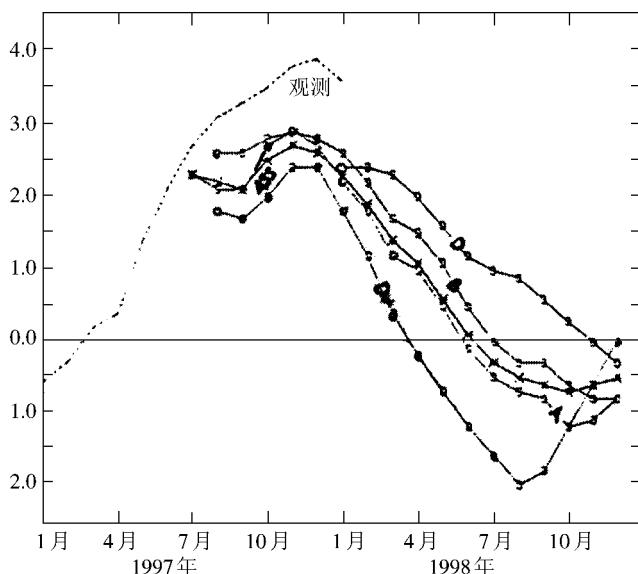


图 10-10 1997 年 1 月~1998 年 1 月赤道中东太平洋海温偏差预报曲线

束。实况是：厄尔尼诺事件持续到 1997 年 12 月，远月结束（图 10-10）。

对 1997 年~1998 年世纪性最强厄尔尼诺事件的发生、发展和结束的过程，国内外一些模式作出了比较准确的预报，但在发生的时间和强度上都有不足之处，有效预报时效仅 5 个月左右。至今，国内外还没有一个公认的模式可以每次都正确地作出厄尔尼诺事件预报。对厄尔尼诺事件准确的预报仍然任重道远。因此需要加强对厄尔尼诺事件的监测，加深对厄尔尼诺现象机理的认识，发展动力学和统计相结合、监测和预测相结合的综合预报技术，才能不断地提高厄尔尼诺预测的水平。

参 考 文 献

- [员] 巢纪平援厄尔尼诺和南方涛动动力学援北京:气象出版社
- [圆] 孕耀世策片援厄尔尼诺,反厄尔尼诺和南方涛动援余志豪,蒋全荣编译援南京:南京大学出版社
- [猿] 叶笃正,曾庆存,郭裕福援当代气候研究援北京:气象出版社
- [源] 倪允琪援气候动力学援北京:气象出版社
- [缘] 李崇银援气候动力学引论援北京:气象出版社
- [远] 余志豪援风雨的故乡援南宁:广西教育出版社
- [苑] 匀燥早燥燥允援全球变暖援戴晓苏,等译援北京:气象出版社
- [愿] 李克让,等援中国气候变化及其影响援北京:海洋出版社
- [怨] 郇建勋,配援变化的洋流—厄尔尼诺对气候和社会的影响援王绍武,周天军译援北京:气象出版社
- [员园] 包澄澜援热带天气学援北京:科学出版社
- [员员] 包澄澜援海平面上升对中国三角洲地区的影响和对策援北京:科学出版社
- [员圆] 王绍武援缘年厄尔尼诺事件援气象援北京:气象出版社
- [员猿] 姜达雍援热带海气相互作用的模拟研究援气候通讯援北京:气象出版社
- [员源] 周琴芳援全球气候监测、诊断业务系统援气象援北京:气象出版社
- [员缘] 杨修群,黄士松援热带海气耦合波动力学性质研究援

[illegible]

