

厄尔尼诺， 反厄尔尼诺 和南方涛动

余志豪 蒋全荣 编译



南 京 大 学 出 版 社

号110期字复海(卷)

厄尔尼诺,反厄尔尼 诺和南方涛动

余志豪 蒋全荣 编译



南京大学出版社

1994·南京

(苏)新登字第011号

内 容 简 介

本书系统介绍了季节和年际气候变化中最为突出的现象，即厄尔尼诺——反厄尔尼诺——南方涛动问题。这也是海洋-大气相互作用方面的一个重要问题。本书不仅叙述了此问题的有关历史状况，且着重介绍了自80年代以来该问题的重大突破和研究进展，亦介绍了未来对ENSO事件预报的可能性。

本书可供大气科学、海洋学、水文学、环境科学、农业及能源计划等方面的工作者、研究人员、教师和学生参考。

厄尔尼诺，反厄尔尼诺和南方涛动

余志豪 蒋全荣 编译

南京大学出版社出版

(南京大学校内 邮政编码: 210008)

江苏省新华书店发行 阜宁印刷厂印刷

开本850×1168 1/32 印张13.75 插页1 字数361千

1994年4月第1版 1994年4月第1次印刷

印数1—500

ISBN 7-305-02384-1

P·93 定价 12.00元

责任编辑 蒋顺余

编译者的话

为了建立季节和年际变化的业务预报模式以及与之相应的观测系统,人们经过30多年的海洋-大气相互作用研究的经验积累,提出了一个所谓TOGA(热带海洋和全球大气,1985—1994年)计划。该计划的核心问题之一,就是要弄清楚ENSO(厄尔尼诺—南方涛动)现象。

ENSO事件,约每隔3—5年出现一次,或者以时间尺度为 ε 年量级的周期变化振荡及其有从2年到10年那么宽的谱峰。它伴随发生澳洲、印度和非洲的干旱,南美的洪水,美国冬季强风暴和东亚的一系列气候异常,这从70年代以来更为严重。所以引起了联合国组织以及有关国家的农业、能源、水利、渔业、海洋和气象等部门的重大关切!

在TOGA计划刚完成前半部(1984—1989年)任务之际,美国普林斯顿大学地球物理流体动力实验室S. 乔治·菲兰特尔教授出版了“厄尔尼诺·反厄尔尼诺·南方涛动”一书,这是一个很及时的和重要的小结。他系统地叙述了这个当今热门课题的历史状况,着重展示了自80年代以来这个问题突破性的进展,以及未来对ENSO事件预报的可能性。菲兰特尔教授还本着“抓住一个主题写一本短书”的原则,精心处理和撰写了有关内容,并附了一份广泛详尽的参考文献目录。但是,非常遗憾,遗漏了我国对ENSO研究的大量成果。

因此,为了及时向我国有关读者介绍当前对ENSO研究的进展,我们不仅依据菲兰特尔教授的ENSO专著,而且还尽可能填补上我国在这方面的研究成果,编译成这本书,书上全文附上了菲兰特尔教授所写的前言,为统一完整,另附一份有关我国对

ENSO研究的参考文献目录。

在此要感谢我国的同行们，在书中引用了他们宝贵的研究成果，倘有不妥之处，乃是我们的学识水平所限。我们的心愿是希望让有关的读者们能对ENSO问题获得较详尽的信息。

同时还要感谢石宗祥先生为本书绘制了插图，孙照珠同志誊抄全书手稿。

余志豪、蒋全荣

1993年春节

前 言

1988年北美经历了一个异常罕见的干热夏季；印度出现了少见的季风灾难性的衰退；在非洲，大面积的酷旱长时间地持续着。所有这些都是气候变化的例子，而这种气候变化是由大气和紧挨其下面的水、冰及陆面间复杂地相互作用所引起的。对于理解和模拟这些相互作用，特别是海洋和大气间的相互作用所作的努力，迄今已集中到一个称之为南方涛动的现象上来了。南方涛动就是暖厄尔尼诺和冷反厄尔尼诺状态之间的不规则年际振荡。这种振荡在热带太平洋和印度洋中以及在其以上的大气中具有最强的信号，它影响到全球的海洋和大气的状况。1983年当南方涛动的暖厄尔尼诺位相达到罕见的大振幅，以及热带西太平洋区毁灭性的干旱、热带东太平洋区奔腾的洪水以及世界各地的危险天气型出现时，它引起了广大公众的关注。这个事件令海洋学家和气象学家们惊诧万分。然而，在1982年10月一大批专家聚会新泽西州的普林斯顿讨论研究厄尔尼诺方案的规划时，谁也没有意识到此时正发生着过去一个世纪最严重的事件。虽然到1982年人们对导致南方涛动的海洋与大气间的相互作用已有了较好的认识，但是还尚未把这些认识运用于实际。到1987年的又一次厄尔尼诺发生时，情况就大大不同了。在那时，华盛顿的国家气象中心已开始发布月的公报，公报详尽地描述了跟南方涛动有关的当时的海洋和大气状况。当1987年的厄尔尼诺发生后，已有可能对其反复无常的发展进行跟踪。这种跟踪观测的信息目前可常规地得到，因为热带太平洋正被各种仪器所监视着。在观测之后，资料被卫星迅速传向各个中心。海洋资料补充了由全球电信系统得到的气象资料。但对于要绘制一张连贯的热带太平洋的海流和密度场图来

说，海洋资料实在是太稀少了，因此逼真的海洋环流模式正被用来与测量结果相结合，并提供与天气图相当的海洋状况图。

不仅可以逐月地跟踪1987年厄尔尼诺事件发展的情况，而且自1982年发展起来的耦合海—气模式也成功地预报了未来几个月的事件。模式能用来确定暖事件是否可能在未来几个月中发展的问题，但是在这个阶段对于要预报事件将如何演变或者它将达到怎样的振幅来说，模式还太粗糙，能逼真模拟的高级复杂的模式正在发展之中，并且将很快用于日常预报。科学家们希望，成功地解释和预报南方涛动将使得对其它现象也获得类似的成功，而这些其它现象影响着许多不同时间尺度的气候变化。

本书将概括总结当前所知的有关厄尔尼诺，反厄尔尼诺和南方涛动，以及引起这些现象的海洋与大气间的相互作用方面的内容。本书从这个活跃研究的领域里余留的许多问题中亦识别出一些问题。本书的引论是这个课题研究情况的一个简要的历史回顾，它叙述了在洛杉矶加利福尼亚大学J. Bjerknes教授指出南方涛动和厄尔尼诺是同一个现象的两个方面之前的近100年中是如何独立地进行南方涛动的气象学研究和厄尔尼诺的海洋学研究的情况。前两章叙述了跟南方涛动有关的大气变率和海洋变率的观测事实。以下三章讨论了解释这些观测事实的理论根据。自Bjerknes的研究工作以来所取得的进展，是以实际观测工作者与理论学家之间富有成效的相互影响作为标志的。因此，在叙述观测事实的几章中包括了定性的解释，而在理论解释的几章内叙述了促进海洋和气象模式的某些观测事实。最后一章涉及海洋与大气间的相互作用，并阐明了长期预报的基础。

我认为我的读者希望本书写得简要些。正如神父Sydney Smith所说：“请给我一本抓住主题的短书。”为此，本书有许多插图和许多脚注，以指导读者获得更详细的信息，并有一份广泛详尽的参考文献目录。

我们对海气研究所取得的进展归功于各类科学家之间的紧密

合作，其中有海洋学家，气象学家，观测专家和理论专家。为了协调大量的个人所作的努力，需要组织一些大的计划。这些大计划通常以一些人所共知的或以一些难以发音的首字母缩略词（例如GATE，INDEX和FGGE）来命名。这些计划的参加者，已不象当年传统海洋学家那样浪漫，单独乘船（这些船起名为挑战者号（Challenger），流星号（Meteor）和大西洲洋号（Atlantis）），去探索海洋秘密，但是收益甚丰。经常地举行会议，来准备计划和综合成果，为跨越制度和国家的界线形成紧密的专业和个人的联系提供了许多机会。本书奉献给各种大计划的所有参加者，正是他们无私的合作使我们对海洋和大气的认识有了长足的进步。特别要热忱感谢我在地球物理流体动力学实验室（普林斯顿）的朋友们和同事们，他们营造了一个良好无比的研究环境；感谢Don Hansen, David Halpern, Ant's Leetmaa, Stan Hayes和Gene Rasmusson，他们使EPOCS成为一次愉快和有得益的经历；感谢Eli Katz, Robert Weisberg, Jacques Merle, Philippe Hisard, Christian Colin, Silvia Garzoli和Phil Richardson，他们在海洋观测方面的积极性推动了我们大家；感谢Dennis Moore，他介绍我们中许多人参加到这个课题中来，他还和Jay McCreary, Jim O'Brien和David Anderson一起使INDEX理论专门小组会议气氛热烈，使人激奋，本书中所论述的许多观点都在讨论会上展开了讨论；感谢Mark Cane和Ed Sarachik，他们总是提出问题并有时给出回答。

感谢Stan Hayes和David Neelin，他们读了我的手稿并提出了许多有助于改进的建议。一些杂志，出版单位和机构允许我复制先前已出版的图片。他们是：美国气象学会，美国地球物理联合会，Elsevier科学出版公司，Gordon和Breach出版公司，Pergamon杂志有限公司，Wiley Interscience，科学杂志，自然杂志，Tellus杂志，英国皇家气象学会和海洋研究杂志。本书

完全是在家中进行写作的，手稿和原图的准备亦均由我本人承担。

George Philander

乔治·费兰德尔

目 录

编译者的话	(i)
前言	(iii)
引论	(1)
第一章 南方涛动: 热带大气的变率	(10)
§1.1 引言	(10)
§1.2 季节循环	(14)
§1.3 年际变率	(23)
§1.4 一个“合成”的厄尔尼诺	(33)
§1.5 1982—1983年的厄尔尼诺	(37)
§1.6 大西洋的年际变率	(40)
§1.7 遥相关	(48)
§1.8 季节内的振荡	(50)
注释	(56)
第二章 热带地区的海洋变率	(59)
§2.1 引言	(59)
§2.2 平均状况	(62)
§2.3 季节循环	(76)
§2.4 年际变率	(80)
§2.5 大西洋	(83)
§2.6 印度洋	(95)
§2.7 不稳定	(97)
§2.8 混和过程	(101)
注释	(103)
第三章 海洋调整 (I)	(106)

§ 3.1 引言.....	(106)
§ 3.2 浅水模式.....	(109)
§ 3.3 赤道急流.....	(111)
§ 3.4 波动.....	(114)
§ 3.5 Sverdrup流的产生.....	(135)
§ 3.6 赤道调整.....	(140)
§ 3.7 对遥强迫的响应.....	(145)
§ 3.8 耗散作用.....	(150)
§ 3.9 平均流作用.....	(152)
§ 3.10 不稳定性.....	(157)
§ 3.11 讨论.....	(159)
注释.....	(161)
第四章 海洋调整 (II)	(163)
§ 4.1 引言.....	(163)
§ 4.2 连续层结模式.....	(165)
§ 4.3 铅直驻波模式.....	(167)
§ 4.4 铅直传播模式.....	(172)
§ 4.5 赤道表层急流.....	(178)
§ 4.6 赤道潜流.....	(181)
§ 4.7 对时变强迫的响应.....	(188)
§ 4.8 对越赤道风的响应.....	(192)
§ 4.9 海洋环流模式.....	(207)
注释.....	(210)
第五章 热带大气模式	(215)
§ 5.1 引言.....	(215)
§ 5.2 波动.....	(217)
§ 5.3 对定常加热的响应.....	(219)
§ 5.4 热带地区的对流.....	(223)
§ 5.5 大气对海温变化的响应.....	(225)

§ 5.6 大气环流模式.....	(229)
注释.....	(234)
第六章 海洋与大气间的相互作用	(235)
§ 6.1 引言.....	(235)
§ 6.2 不稳定相互作用.....	(240)
§ 6.3 南方涛动的不规则性.....	(251)
§ 6.4 统计预报.....	(255)
§ 6.5 动力预报.....	(257)
注释.....	(260)
第七章 中国近来对ENSO的研究	(262)
§ 7.1 与大气环流异常的联系.....	(262)
§ 7.2 与西太平洋副热带高压和台风的联系.....	(281)
§ 7.3 与我国旱涝和低温冷害的联系.....	(307)
§ 7.4 ENSO的形成机制.....	(325)
参考文献	(364)

引 论

1891年Luis Carranza博士先生——利马地球物理学会主席，在该学会的公报上刊登了一篇小文章，请大家注意这样一个事实：在派塔港和Pacasmayo港之间观测到了一支从北向南的逆流。

经常驾着小船沿海岸或朝港口以北或朝港口以南航行的派塔港海员，称这支逆流为厄尔尼诺（圣婴）海流，因为它是在紧随圣诞节之后出现的。

这支逆流在不同场合已被人们注意到，并且在它沿秘鲁海岸出现的同时还伴随着一些地区的降水，而这些地区在某种程度上几乎是很少有降水的。现在，我希望唤起会聚在这里的杰出的地理学家们注意这个现象，此现象无疑对世界这一部分地区的气候状况有着巨大的影响^[1]。

“世界这一部分地区”通常是邻近冷洋的荒芜的沙漠区，冷洋中有很多鱼类和其它形式的海洋生物^[2]。暖而向南的厄尔尼诺海流在年初的头几个月缓和调节了低海温。每隔几年这种海流要比正常年景强，南伸非常远且罕见地暖，还伴随着很强的降水^[3]。

1891年中的情况是：

虽然几乎在每个夏季我们到处都能看到沿海岸海流影响的痕迹，但在这一年却特别醒目，其影响非常明显，大量的死鳄鱼和树干从北面冲到了Pacasmayo，秘鲁该地区的温度这样的变化是由于热海流笼罩着海岸而引起的^[4]。

这样的年份称作丰年，

海洋充满着奇妙，陆地甚至更是如此。首先沙漠变成了绿洲……。土壤被倾盆大雨浸泡着，在几周内整个国家复盖着丰盛的牧草。羊群成倍地自然增长，棉花能生长在其它年份不长植物的地方^[5]。

异常强的厄尔尼诺有时带给秘鲁荒芜海岸的另一些奇妙情景是，出现了长长的黄水蛇和黑水蛇，香蕉和椰子。然而此时，通

常众多的鸟类和海洋生物却暂时消失了。

直到60年代，海洋学家才认识到在丰年期间秘鲁沿海的异常暖表层水可离岸伸展数千千米，而且它仅仅是整个热带太平洋上层异常状况的一个方面。夏威夷大学的Wyrski教授通过分析验潮仪资料给出了首批迹象中的一个迹象，即秘鲁沿海异常暖表层水的年际出现是整个海盆环流对驱动海洋的海面风场变化响应的改变结果。为了解释厄尔尼诺，就需要解释海洋是如何对海面风场的变化作出调整的。原先，海洋对可变海面风场响应的研究集中在印度洋而不是在太平洋。当剑桥大学的James Lighthill在60年代首次计算出海洋对风场变化的调整所需时间应该随着纬度减低而迅速减少时，注意力都集中在索马里海流上。索马里流的季节逆转，是对季风逆转的响应，被看作低纬海洋快速调整的主要例子，并且促进了许多观测计划的实施。但这时还没有充分意识到厄尔尼诺亦是赤道海洋对变化风场快速响应的一个例子。在过去的20年中，对三个热带海洋逐个研究了它们的季节和年际变率，使我们对低纬度海洋动力学的认识有了很大的进步。这就使得对厄尔尼诺有了令人信服的解释，并使能逼真模拟此现象的模式的发展。

从海洋学的观点来看，厄尔尼诺是由热带太平洋上海面风变化所引起的。那么，是什么原因导致了年际风的振荡呢？19世纪末，人们开始描述这些风的变化，并且更广泛地努力证实热带和全球大气环流的年际变化。Gilbert Walker开创了这方面的研究，这方面的研究原先不是被厄尔尼诺，而是被偶然的灾害性的季风中断所推动的。在1899年季风中断时的严重饥荒之后不久，Walker在1904年成为印度气象台的总台长。他打算预报季风的年际变化，这是他的前任在1877年大灾害的干旱和严重饥荒后开始做的事情。Walker可能没意识到1877年和1899年这两年都是沿秘鲁海岸的丰年（他可能没意识到厄尔尼诺），但是他清楚地知道印度洋和热带东太平洋上的年际气压振荡是反位相的。

“太平洋上气压高，从非洲到澳大利亚的印度洋上的气压低。”被他称之为南方涛动^[1]的这种不规则振荡支持了他的观点，即季风是全球现象的一部分。他怀着抓住季风预报要害的希望打算证实南方涛动的所有影响范围，为此，Walker组织了一支统计学家和工作人员的队伍，来计算许多变量间的相关，这些变量来自世界各地的许多测站。这些变量包括海平面气压，温度，雨量，太阳黑子以及甚至尼罗河年洪水总量。在1923年和1937年间发表的许多论文总结了这些成果，并认为南方涛动跟热带太平洋和印度洋上的雨量分布型和风场的主要变化是相关的，跟东南非洲，加拿大西南部和美国东南部的温度振荡也是相关的。然而，把这些发现转变成季风预报的尝试失败了。跟Walker同时代的一些学者对这些从相对短的记录序列中推测出来的且没有先前的假设或理论依据的统计关系表示了怀疑。许多年后，对更长记录的分析毫不含糊地证明了Walker的正确。但是因为他的同事们的怀疑，以及因为早期的研究者不能识别跟南方涛动相联系的异常状况持续存在几个季节所隐含的物理过程，所以在Walker的文章发表以后的几十年中，对这个现象的兴趣减退了。

Walker得到的海温资料对于确定海洋是否被包含在南方涛动之中的问题来说是不够的。一组较好的资料，以及Walker生命最后两年仍然坚持不懈的努力，最终使研究者发现了南方涛动和热带太平洋的海洋变化相联系的迹象。在1957和1958年的国际地球物理年期间，热带太平洋上的大气和海洋状况均具有显著的异常。秘鲁海岸出现了罕见强的丰年，它是自1941—1942年以来最强的一次。人们注意到暖表层水没有被局限于南美海岸而是远远向西扩展到了日界线。这与赤道中太平洋的弱信风和大雨量相一致，而在正常年间赤道中太平洋是一干旱区。Walker和其他学者先前已证明了在这个区域中微弱风场和强降水的关系，但是跟异常暖表层水的关系以前却未被注意到。

洛杉矶加利福尼亚大学的Bjerknes教授提出，1957—1958年

海洋和气象异常状况的一致性不是唯一的，而是年际地存在。情况确实如此。目前厄尔尼诺这一术语不是用来描述秘鲁沿岸的局地季节海流，而是指偶然出现的丰年以及热带太平洋和全球大气环流相应的变化。厄尔尼诺是南方涛动的这样一个位相，即信风弱以及在热带太平洋上气压呈东低西高。不仅我们所用的术语已经改变了，而且我们对厄尔尼诺的观点亦已变成贬意了。现在，厄尔尼诺主要与生态^[7]的和经济^[8]的灾难相联系，即热带西太平洋的荒芜干旱，热带东太平洋的奔腾洪水和世界各地的异常天气型。厄尔尼诺事件一般被温和期间隔开，温和期的海洋和大气状况补充了厄尔尼诺期间的海气状况。术语反厄尔尼诺指南方涛动的另一个位相。在这一位相中，热带中部和东部太平洋的海温异常地低，信风非常强。

1969年Bjerknes提出了热带太平洋中海洋和气象年际变化的一个物理关系。他解释了热带东太平洋冷水上干空气是怎样下沉的，又怎样作为信风的一部分沿赤道向西流动。当空气在逐渐增暖的水上移动时便变暖变湿，直到抵达热带西太平洋。在热带西太平洋空气在高耸的降雨云中上升，在对流圈高层空气返回向东，从而使这个Walker环流闭合。Walker环流是Bjerknes引入的术语。他提出，海温梯度即秘鲁沿岸的冷水和热带西太平洋的暖水，对于驱动Walker环流的大气压力梯度是必须的。热带东太平洋的增暖将减弱Walker环流并导致有大量降水的对流带的向东移动，即从热带太平洋西部移到中部和东部。换言之，南方涛动是由热带太平洋的海温年际变化所引起的。最近用逼真的大气环流模式所进行的计算亦进一步证实了这一结果。

热带太平洋中的海温年际变化引起了南方涛动，而从海洋学的观点海温变化是由跟南方涛动相联系的海面风振荡所引起的。从这种循环的互为因果的论证，Bjerknes推断海洋与大气间的相互作用是南方涛动的要害。他认为海洋的初始变化能影响大气的方式，而改变了的大气状态反过来又可引起海洋变化，从而使初始

海洋的变化增大。例如，信风向西驱动了暖表层水并在热带太平洋东部使冷水暴露到表层，因此当信风稍稍减弱时，即能引起太平洋中部和东部的适度增暖。这反过来又能引起风的进一步减弱和海水的进一步增暖，所以厄尔尼诺逐渐发展起来了。这些论证也能反过来解释反厄尔尼诺的演变。Bjerknes提出“在赤道带中永不终止的连续的海气相互作用的交替转向”可作为南方涛动的产生原因，但是他不能确定从暖位相转变到冷位相的机制究竟是什么？

Bjerknes的综合中没有完全新的东西，但是他把南方涛动，厄尔尼诺和大尺度海气相互作用的内在联系组成了一个新的概念框架，这个框架被动力学和热力学论据所证实。他承认他的某些论据是软弱无力的，但是自70年代早期以来的研究已给这些推论打下了牢固的基础，并且已探索出Bjerknes所没有考虑到的新东西。特别重要的是最近模式的发展，这些模式模拟了海洋和大气间的相互作用，用这些模式进行的研究揭示了相互作用能支持振荡模态，这些振荡模态是严格的耦合海洋—大气系统的特征。其中许多模态是暖厄尔尼诺和冷反厄尔尼诺状态间的年际振荡，因此相应于可能发生的南方涛动。在能捕获到这些模态中的一个模态的简单模式中，所模拟的南方涛动是周期性的，因而倘若没有“天气”，换言之，倘若没有跟海温变化无关的“随机的”、高频大气扰动的话，那末所模拟的南方涛动是完全可预报的。把“天气”引入这样的一个模式中去，能使规则振荡混乱，因此可产生逼真的不规则的、年际的南方涛动。

假如，那末是颇令人沮丧的，因为几天以上天气的不可预报性意味着如厄尔尼诺和反厄尔尼诺那样现象的不可预报性。然而还有另外一些情况，海洋和大气间的耦合强度，以及因而年际海洋—大气模态的振幅均随时间变化，这使天气对模态的影响也随时间变化，规则模态能被混乱到怎样的程度取决于季节循环的位相。对于给定的月份，混乱程度在不同的年份可以各不相同。当