

A. H. 佩里 J. M. 沃克 著

海洋—大气系统

科学出版社

海洋-大气系统

A. H. 佩里 J. M. 沃克 著

张立政 等 译

科学出版社

1983

内 容 简 介

本书是一部评述海洋-大气系统科研成果的学术性著作,较全面地论述了海洋-大气系统的特性及获取资料的方法,海洋环流及大气环流,风对海洋的作用,海-气边界层发生的各种物理过程,海面温度异常与气候反应,国际规划和数值模式及其展望等方面的问题。书中对过去已获得的知识进行了回顾,对理论和研究成果作了历史性的论述,概述了当前海洋-大气系统方面的科学进展。本书可供气象、海洋、地理、环境和航海专业的科研、教学人员学习和参考。

A. H. Perry and J. M. Walker
THE OCEAN-ATMOSPHERE SYSTEM
Longman Inc., 1977

海 洋-大 气 系 统

A. H. 佩里 J. M. 沃克 著

张立政 等 译

责任编辑: 赵徐露

科学出版社 出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1983 年 9 月第 1 次印刷 开本: 787×1092 1/16
1983 年 9 月第一次印刷 印张: 11 1/4
印数: 0001—1,800 字数: 253,000

统一书号: 13031·2354

本社书号: 3226·13—17

定价: 1.80 元

译 者 的 话

人类赖以生存的地球表面大部分为海水所覆盖，大陆象是突出海面的岛屿，水陆相间，蔚为奇观；地球表面还被大气层所环绕，风云变幻，气象万千。海洋是巨大的热发动机，它推动着大气循环。在海洋中，除潮汐以外，几乎一切运动都直接或间接地为大气的作用所驱动，而来自海洋的潜热又是一切大气环流的主要能源。所以，如果不了解海洋和大气及其共同边界所起的各种作用，就难以说明海洋和大气所发生的各种现象。

众所周知，气象学和物理海洋学是大气和海洋的基本学科。随着现代科学技术的发展，人们对气象学和物理海洋学提出了更高的要求，从而促进了大气和海洋科学的发展。因为海洋-大气系统与人类的关系极为密切，所以对海-气相互作用的研究已成为当前极为重要的课题。目前，虽然有大量的观测资料，有计算机可资处理数据，又有很多科学概念和理论模式，但要真正了解海洋-大气系统还有很大距离。为便于读者深入了解国际上海-气相互作用方面的研究成果及其进展情况，我们翻译了 A. H. 佩里和 J. M. 沃克著的《海洋-大气系统》一书。

本书作者以简洁的文字、基本的物理概念和一般的流体力学知识较全面地论述了海洋-大气系统的性质、特征及获取资料的方法，海洋环流及大气环流，风对海洋的作用及其边界层所发生的各种物理过程，海面温度异常与气候反应，国际规划和数值模式及其展望等方面的问题。本书是一部全面评述海洋-大气系统科研成果的学术性著作，对过去已获得的知识进行了回顾，对理论和研究成果作了历史性的论述，概括了当前海洋-大气系统方面的科学进展。无疑，本书的出版对从事气象学、物理海洋学、地理学和环境科学、航海科学的科研、教学人员，特别是研究生、大学高年级学生都有重要的参考价值。

本书由侯建勤（第一、六章及附录）、姚岁寒（第二章）、张立政（第三章、英汉名词对照表）、徐立（序言、第四章）、郑秀灵（第五章）分工译出，并由陈英仪、薛德镛、乐肯堂、钟元昭等分别校订。限于译者水平，译文难免错漏，望读者批评指正。

译 者

1982 年 4 月于北京

序 言

本书论述了大气和海洋之间的相互作用以及大气环流和海洋环流的依赖关系。综合论述气象学、气候学和物理海洋学问题的书为数极少。的确,我们还没看到具有一定水平而又能满足那些研究地理学、地球物理学、环境科学、海洋生物学和航海学科这些广阔领域的研究生以及大学二、三年级学生需要的书,而本书正是为他们所写的。E. B. Kraus (1972)所著的《大气和海洋的相互作用》和 H. U. Roll (1965) 所著的《海洋大气物理学》水平很高,若要从那两本书中充分获益,则需要有物理学上有相当的造诣。而且, Kraus 要求读者熟悉流体力学的基本原理。不过, J. G. Harvey 的《大气和海洋》则是大学生的入门课本,我们尚未看到还有其它综合探讨大气和海洋科学而又适用于大学或专科院校的书籍。可资利用的文献因而也明显地缺乏。

在描述大气-海洋系统时,我们涉及的范围是很广的,即对微观范围及至全球范围的现象和过程进行观察。其目的始终是对已经获得的知识进行回顾,对其理论和研究成果作一历史性的论述。在选择参考文献时,我们注意优先考虑评论性的论文、“经典著作”以及讨论最新研究情况的研究报告和论文。所引用的参考文献有一半以上是在近十年内发表的。

本书共有六章:

第一章介绍了海洋-大气系统的主要特征,回顾了其历史,讲述了获取大气和海洋行为资料的一些方法。

在第二章中,我们对“海流的成因”这个问题作了探讨。借助于实例研究,我们发现,海洋最上层中的海流主要是由风引起的,而深层环流基本上是由温盐过程引起的。

第三、四两章论述海-气界面上以及湍动的大气和海洋边界层内所发生的物理过程。为此,我们对第二章里使用过的机理作了详细说明。

第五章对海面温度异常与天气尺度天气系统的行为模式之间的相互关系作了探讨,还讨论了海洋在气候变化中的作用。

最后,我们在第六章中对当前正进行着的国际研究计划的目的和目标作了观察和分析,并使大家对海洋-大气系统的数值模拟发展引起注意。我们这样做,是因为我们设想读者是熟悉数值模拟的基本原理的,他们已认识到数值方法的潜力和限度。我们认为这种设想是合理的,因为大多数有科学头脑的大学生现在都需要学习计算机课程,而这些课程一般都包括了模拟方法。

我们非常感谢在本书编写过程中曾予以大力协助的同仁, R. G. Barry 教授(科罗拉多大学)和 S. Gregory 教授(谢菲尔德大学)对全书作了校阅, C. H. Cotter 博士(威尔士大学科技研究所)除第五章外也都作了校阅, L. Draper (海洋研究所)校阅了波浪和涌浪部分。对于他们提供的有益的建议和建设性批评,我们十分感激。如果还有错误的话,那定是我们自己造成的。我们也感谢斯旺西学院、威尔士大学科技研究所图书馆以及大英图书馆和英国气象局的工作人员给予的好意和高效能的帮助。我们也向海洋研究所的

• • •

A. R. Bugden 小姐和她的同事们表示谢意，感谢他们向我们提供有关海洋的详细资料。最后要感谢 G. Whitehouse 夫人（威尔士大学科技研究所），她耐心细致地完成了打字稿。

当然，如果没有我们的妻子的宽恕和耐心，这本书也是写不成的。

A. H. 佩里 J. M. 沃克

1976年7月

目 录

译者的话	iii
序言	v
第一章 海洋-大气系统的性质和特征	1
研究海洋-大气系统的理由	1
海洋-大气系统的性质	3
历史背景概述	5
海洋观测	12
第二章 海洋环流	16
太阳辐射	16
地球辐射	17
辐射平衡	18
大气环流	19
海流的成因	20
印度洋的风和海流	24
阿拉伯海上空的气流	24
印度洋季风影响的范围	26
印度洋海面的形态	28
索马里海流	31
湾流的起源	32
湾流系统的意义	35
湾流的性质	36
北大西洋海流	40
北冰洋	42
南大洋	45
底层水的形成	49
深层水环流的意义	50
温盐作用对海洋环流所起的作用	52
第三章 风对海洋的作用	54
波浪的产生和成长	54
波浪预报	57
波浪谱	59
涌浪传播	60
破碎波	61
破碎波的气象意义	63
海面污染	65
漂流的起因	67
艾克曼理想风海流理论	69

上层海洋中的湍流	71
艾克曼假定的进一步发展	72
上升流——艾克曼理论的应用	75
风暴潮	77
第四章 海洋-大气的热量交换	81
辐射分布	81
能量收支的各个分量	85
全球海洋表面蒸发图	87
感热通量	89
海洋内部的热通量	93
能量收支分量的年变化	94
海洋-大气系统的能量收支	96
大气边界层的特征	101
大气边界层中的热输送	102
海冰的形成	104
海冰的成长和消亡	106
平流雾和海烟	106
积云对流	108
中尺度有组织的积云	110
中尺度对流组织的一个例子	112
热带气旋风暴	113
温带气旋	117
第五章 海洋-大气系统的热状况和气候反应	119
海洋温度的监测和预报	119
北大西洋温度记录	123
海水温度距平的持续性	124
海水温度的短期变化	125
海水温度距平场的分类	125
海-气温差	127
海洋上空的气温	127
热量收支的综合研究	129
北大西洋水温与欧洲气压间的滞后组合	130
温带地区复杂的耦合大气-海洋系统	132
热带地区的大气-海洋系统	134
气候变化和海洋-大气系统	137
第六章 国际规划和数值模式	141
全球大气研究计划	142
一些先进的气候数值模式	148
附录 温度-盐度图	153
英汉名词对照表	154
参考文献	158

第一章 海洋-大气系统的性质和特征

虽然古希腊哲学家和十六、十七世纪文艺复兴时代的科学家们的确在概念上已熟知系统一词,认为系统即“物体以及连同物体间、其属性间关系的总集合”(Hall 和 Fagen, 1968),但是深入地研究系统的结构和性质、认识到它们的复杂性,仅是第二次世界大战以后的事。其结果产生了大批的研究论文和大量的书籍,一些论文和著作表明:通过系统这一思想的运用,人们熟知的学科领域是可以转换的(例如,参见 Chorley 和 Kennedy, 1971)。而且,从对系统发生兴趣的高潮中逐渐形成了一门新的科学——控制学(参见 Wiener, 1968),这门新学科是研究控制方面的数学结构和电系统以及自然形成系统中的信息传递的。虽然,用系统概念阐明事物的重要性或许有所夸张,但 Ludwig von Bertalanffy 1956 年的观点今天看来还是适用的,即:“若对时髦的流行语作一分析人们就会发现,‘系统’一词名列前茅。”

三十年来,在与本书关系最大的地球物理学和自然地理学的研究当中,强调了系统,这不仅一反了过去为人重视的描写式汇编资料的做法,而且在理解大气与海水间关系方面也取得了重大进展。但是在我们开始讨论这些进展之前,必须先对海洋-大气系统的概念作一介绍,对其历史情况作一回顾,并对获得此系统信息的手段进行研究。

研究海洋-大气系统的理由

象其它各个系统一样,海洋-大气系统基本由单元及联系单元间的链环组成,并且通过内部反馈机制的作用调节其本身的活动变化。

直至最近,海洋学家和气象学家们还把他们的注意力集中于海洋-大气系统的单元,而对于链环和反馈过程不怎么注意。引述 Roll (1972) 的话:

几十年来,海洋学家和气象学家们在调查各自对象的结构和行为时,通常遵循不同的研究途径。前者主要考虑海洋深处的变化过程,而后的兴趣集中在大气上层。海洋与大气间的交界面却得不到注意。然而,近 20 年来,这种情况显著地改变了,现在研究海-气相互作用成了“热门”,而且研究的人员越来越多。

在一些研究所里,海洋学和气象学是合在一起研究的,例如马萨诸塞州坎布里奇的海洋-大气研究所和乌得勒支的气象和海洋研究所。

对于从事纯理论科学研究的人来说,他们出于知识分子的好奇心以及对困难任务的不屈斗志,想努力了解海洋-大气系统。但对于应用科学家以及为研究项目分配资金的人来说,调查研究海洋-大气系统另有更为迫切的理由。例如,世界大洋正日益变为军事活动的场所,现在防御战略家们对大气和海洋行为的各个方面都十分关心(譬如说,他们对影响水下声音传播的因素方面就很关心)。此外,正如 Couper (1974) 所强调的,在与开发近海碳氢化合物资源有关的探索和开拓活动期间,由于人员安全、污染危险以及昂贵设备可能毁灭等一类问题的卷入,对这些活动可能要遭遇到的天气和海洋活动情况予以恰

当考虑是十分必要的。天气和海浪预报对海上工业特别重要。要做到预报准确，很大程度上取决于对海洋-大气系统的更多了解。

要全面论述对这复杂而迷人的海洋-大气系统产生兴趣的理由，需要写出一本篇幅比本书大许多倍的书。Hidy (1972) 的论文可作为这些理由的综合，他提出：从海洋上大量吸取热量和水汽的飓风与从“知识的海洋”上吸吮并由此演变出许多应用领域的，他称之为“海-气相互作用的有效旋动”(图 1.1)之间有相似之处。

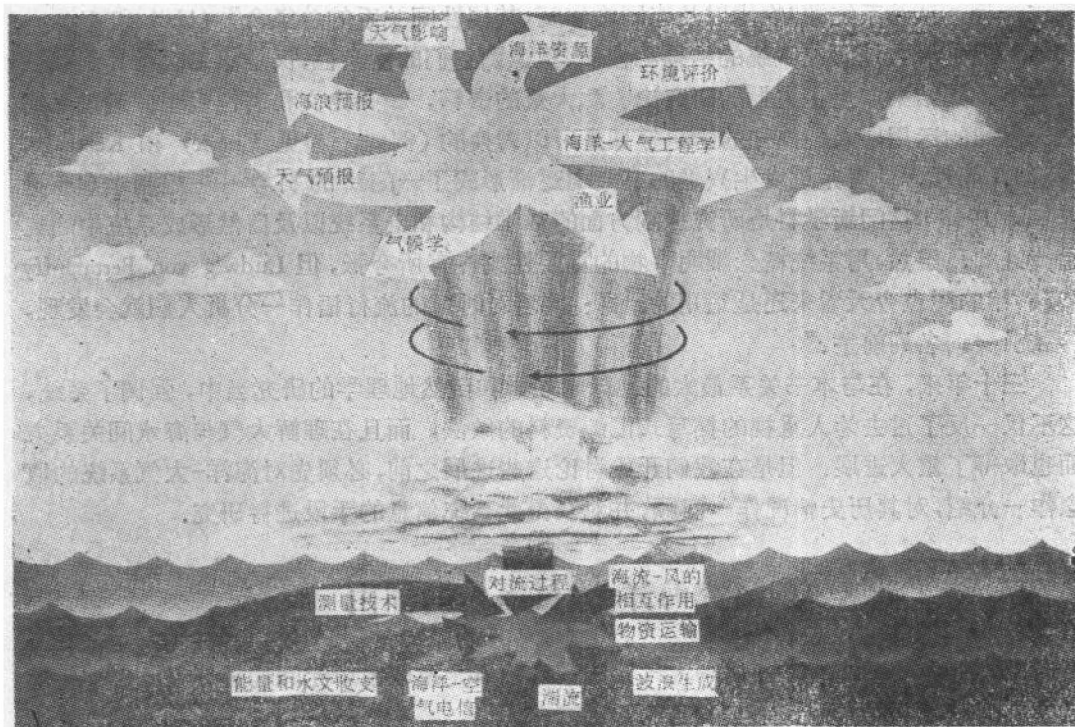


图 1.1 Hidy (1972) 海-气相互作用的有效旋动

大气和海洋污染与每个人都休戚相关。每年有 50 多万种不同物质排放到自然环境之中，海洋是大多数排放物的最终场所，其中包括空气中的气体和固体，因为它们迟早会通过降水从大气层冲刷到海里。大气和海洋的传输如此有效，以致整个地球的所有部分都污染了；甚至南极洲企鹅的脂肪中也含有 DDT (参见 Woodwell, 1967)。但不幸的是，对污染物在海洋-大气系统中传输扩散知识的了解还非常不够。

近年来有许多关于利用海洋解决人类饥荒的谈论(例如，参阅 Ricker, 1969)，但是，当人类能利用的生活资源正受到存在于海水和浮在其表面的油及未经处理的工业产品中的有毒、致癌物质威胁时，引导人们朝着那个目标积极努力看来是没什么意义的。正如 Ehrlich 和 Ehrlich (1972) 所写：

谁也不知道，人类继续用氯化烃农药、多氯化联苯、油、汞、镉以及上千种其它污染物污染海洋能持续多久而不致引起一场全球性的生态灾难。许多渔场，特别是因倾倒垃圾而严重污染了的地区的渔场产量日衰，这就说明，觉察不到的变化也许已经朝此方向开始了连锁反应。

人类正在努力了解海洋-大气系统，为的是最大限度地从海洋中提取食物(参阅 Budyko, 1974)，但这同时又干扰了生态系统，因而事与愿违，不过，Bascom (1974) 对在海洋中处

置废物一事还是持乐观态度的。

海洋-大气系统的性质

Jonathan Swift (1667—1745) 在他的《诗论》(*On Poetry*) 中揭示了生态系统的—个基本的特征:

博物学家看到,
小虫为害大虫;
这些小虫
又被更小的叮咬,
如此下去
没完没了。

Augustus de Morgan (1806—1871) 在 *A Budget of Paradoxes* 中意译了这首诗*。数学家 L. F. Richardson (1881—1953) 根据大气的运动把它改写为:

大旋涡有消耗其速度的小旋涡,
小旋涡又有更小的旋涡,
如此等等形成粘滞性。

我们不再削足适履改写 Swift 的诗句用以说明组成海洋-大气系统的一套相互联系的、不同规模的系统,而引用 Malkus (1962) 的话,以科学术语概括大气和海洋各种尺度涡流间的动能输送,他写道:“在包含有多种相互作用运动尺度(从微小的旋涡到行星的旋转)的每一液体介质中,它们的共存是以稳定及不稳定相互作用的环相结合,彼此间供给或消耗能量。”下面摘录的 White 和 Barnett (1972) 文章既介绍了主要相互作用的性质,而且也论证了现今所认识到的反馈在海洋-大气系统中的重要性:

人们发现,在北太平洋中纬度上空,描述大气环流的月份和年度指标在时间和空间上有巨大变化(量级分别为年和千公里)。而气象学的天然时间尺度与这些指标的涨落相比是短暂的。因此,在维持这些变化方面海洋可能起着很大的作用,它通过大洋环流使海气两种流体介质产生热交换作用从而影响大气。这种热交换能对大气中的风系统产生很大的影响;反过来,海洋上层的环流又受着风系统的推动。这种彼此相互作用的结果可以被认为是联结两种流体介质的一种伺服机制作

表 1.1 大气和海洋的运动尺度(引自 Roll, 1972)

名 称	特 征	尺 度	
		时 间	水平距离
微尺度	湍流运动(海表面的分子交换)	几分钟以下	100 米以下
对流尺度	显著的垂直运动	几分钟—1 小时	100 米—10 公里
中尺度	有组织的运动趋势	几小时	10—100 公里
天气尺度	围绕垂直轴的气旋和反气旋的旋涡	几天	100—1000 公里
大尺度	准静止环流、行星波、大型天气形势异常、气候变动	几星期—几十年	1000 公里—整个海洋

* 未再译出,原文为:

Great fleas have little fleas upon their backs to bite'em,
And little fleas have lesser fleas, and so ad infinitum.

用。

伺服机制是一个反馈控制系统。

表 1.1 将大气和海洋的运动尺度作了小结。一般说来,大气的,特别是对流层低层大气的的不稳定情况与海洋的上层相类似;但是,因为海水密度大约是海平面附近空气密度的一千倍,因此在相似的大气与海洋现象之中,存在着空间和时间尺度上的区别。例如,大洋锋占据的尺度一般为其对应的大气锋的百分之几,而且能将其特性维持几个星期,而大气锋只能维持几天。

只是在海-气的边界,大气层覆盖之下的海洋和大气交换能量的地方,发生着诸如风应力、热传输及蒸发之类的小尺度过程。在产生及维持整个大气和大洋环流方面,这些过程是十分重要的。Stewart (1975) 是这样说的:

从海洋表面蒸发出来的全部水汽必定要通过边界层进入大气,感热可以以多种途径进入和离开大气,由于这个缘故它较之动量甚至较之水汽(由于其他一些原因,水汽很复杂,因这涉及到相态变化)来更为复杂,但是通过边界层的感热的传输通常非常重要,而且在某种情况下是起支配作用的。

不应该忘记边界层还起着另外的作用,特别是在气候方面。海洋通过边界层获得绝大部分动量。在那里也失去了大量的水,其结果增加了表面的盐浓度。由此而产生的动量输入和密度的变化是形成海洋环流的主要原因。而大洋环流又对大气起作用,这一作用是将热能从地球一处转向另一处,尤其是在跨越纬线、且在跨越经向大陆边界时又得到加强的热能转移而进行的。这些经向大陆边界对大气不象对海洋那样有类似的作用。虽然人们认为海洋对气候的影响完全可以与大气对气候的影响相比,但是真正区别它们的影响实际上不大可能,因此应当把海洋与大气作为联合系统来讨论。

然而,正如 Stewart 所指出的:“研究边界层不仅很重要,也很艰难!其困难之处既在概念上也在观测上。概念上的问题在于,除极少情况外,边界层都是湍流。”海-气边界层本身是一个非常复杂、难于调查研究的运动表面。因此,关于海洋表层及大气紧挨海洋表面一层中的过程问题,还有许多情况有待了解。在第三章中,我们讨论海上风的作用,第四章讨论海洋-大气热交换。

穿过海-气边界层的,不仅有动量和热能传输,而且还有固体和气体的输运。Kraus (1972)曾经注意到:“海洋表面的作用就象一个膜一样,这个膜调节着运行在我们这个行星系统内的许多物质循环的速率”。热通量和动量通量的研究越来越为气候工作者所关注;正如 Hare (1966) 所说:“气候学的一个显著变化是,它已从测量诸如温度、相对湿度这类参量改变到测量通量。从对大气拍快照和长时间曝光拍摄当中,我们发现了解能量和水分交换机制很有意思。”海洋表面面积是陆地面积的两倍多,因此,海面上的能量输运对全球气候有决定性影响。

我们可用意译 Benton 等人(1963)的话来总结这一节里海洋-大气系统的性质:大气和海洋将两种耦合流体组成了单一的力学和热力学系统,它们极其复杂地相互作用着,什么是因什么是果一直难以分辨。

Adem (1973) 所描述的海洋-大气系统相互作用如图 1.2 所示。正如 Aristotle (公元前 384—322) 所说:“当我们考查一事物的细节时,它显得比作为一个集合整体大得多。”这种说法是否符合于海洋-大气系统,当然可以讨论。但把它说成是整体论的一个范例,总还是可以的吧。

历史背景概述

现在我们来讨论人类对海洋-大气系统努力进行了解的历史过程。对于用一定篇幅讲述我们所讨论的主题的历史,我们不作辩解。我们认为遗憾的是,学校讲课时科学史竟如此被人忽视,正如 Forbes 和 Dijksterhuis (1963) 所评论的:

当人们懂得了,我们现在的知识和能力是怎样从非常肤浅的认识开端成长起来,而且是多种见解之间不屈不挠共同协作的成果和已经完成了的事物再不断地聚集发展的结果时,他们才会充分正确地理解它并怀着尊重感激的心情学会去应用它。

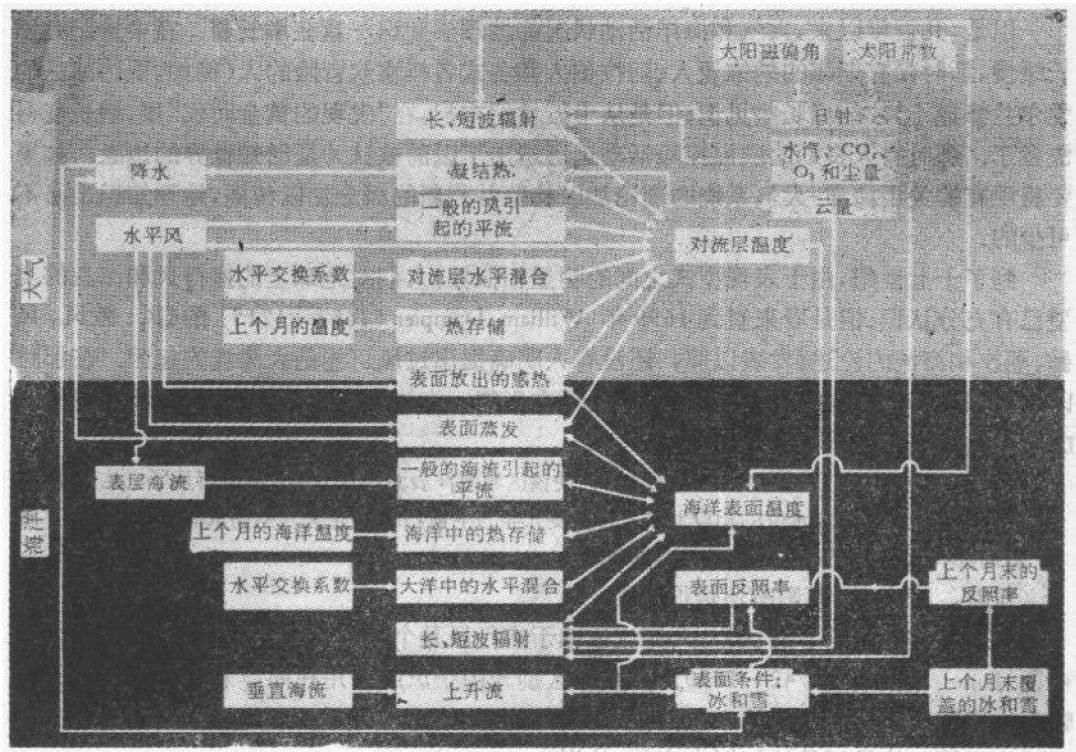


图 1.2 Adem (1973) 的海洋-大气系统中的相互作用图示

按照 Herdman (1923) 的说法:“海洋学虽然源远流长,然而却是近代才发展起来的一门学科。”这也适合于气象学。这两个研究领域在希腊科学里都有其源头。而且,气象学这个词就是从希腊语 $\tau\acute{\alpha}\ \mu\epsilon\tau\acute{\epsilon}\omega\rho\alpha$ 派生出来的,意思为“空气里的东西”,按希腊人的说法 $\acute{\omega}\kappa\epsilon\alpha\nu\omicron\varsigma$ (oceanos) 是一条设想的、环绕地球圆面的、象大西洋、海格立斯*天柱(即现在称之为直布罗陀海峡的两侧山脉)以外的辽阔外海那样的大河巨川。

古希腊人无疑已经十分了解大气与海水之间的相互作用,因为 Aristotle 在他著名的有关大气现象的论文《气象》(Meteorologica) 中就已认定,由于阳光的作用,水从海洋表面蒸发;并且他重申了克拉佐米纳 (clazomenae) 的 Anaxagoras (约公元前 500—428) 所提出

* 海格立斯 (Hercules), 希腊神,主神宙斯之子,力大无穷,曾完成十二项英雄事迹。——译者注

的假设：水蒸气升入空中，在那里冷却而凝结，随即以雨的形式落下。Aristotle 写道：“我们总能清楚地看到，蒸发上去的水又降落下来。即使在一年内或在某个特定的地区降下来的雨量与蒸发上去的不相同，然而在某段时期之内，所有蒸发上去的水量又都回来了。”水分循环就这样获得了大家的公认¹⁾。

从 Aristotle 时代到中世纪后期科学复兴时代，对于海洋-大气系统的了解进展十分缓慢。正象 Deacon (1971) 在她令人赞美的海洋科学的历史中写的那样：

十七世纪以前，Aristotle 一直主宰着科学思想，其著作的范围如此之宽、其观点对于各学科的影响如此之广，以致在新的著作取代他自己的著作之前，他一直被认为是实际上无所不知的一个人。与此说法相一致的情况是，由于没有更确切的知识，任何关于海洋的概念只要附上了 Aristotle 的名字，即使实际上并不是他的，也会被认为是很有份量的。

但是，几百年以来，大气和海洋活动状况的地理学知识一直在增长着。在中世纪时增长缓慢，那时仅有斯堪的纳维亚人、阿拉伯人和各式各样喜欢冒险的人（例如，抵达冰岛的爱尔兰修道士）才能增长些见识；但是从十五世纪末起，在“发现的黄金时代”里，增长变得快多了。那时有人资助的航海探险活动远远超出了以前被认为是已知世界的边缘。如果要将现有的关于海洋-大气系统的理论加以检验并将新的概念加以传播，地理知识是必不可少的。

到了十七世纪，由于表现型式之间的明显相似性，人们对地球上的盛行风和海流的类型已有充分认识；但是看来直到 1699 年 William Dampier (1652—1715) 的《风、微风、风暴、潮汐和海流的论述》发表以前，还没有人明确提出过风可能是大海流的起因。在那时以前，人们一直认为风仅仅对水的暂时运动有影响。海流的类型一般用水分循环来解释。Deacon (1971) 说：

有人曾辩解过，太阳运行通过热带时，使该区域海洋表面的水分蒸发并且降低了它的总水位，而极地附近降水引起水位的相应上涨。为恢复大洋的平衡，海流（定义为从高水位向低水位的水的运动）从极区朝向热带并沿赤道往西流动。

显然，Aristotle 的影响还是很大的。

十八世纪时人们普遍认为，大海流依赖于盛行风是个不言自明的真理；而且十九世纪初期 James Rennell (1742—1830) 少校还区别开由于风的作用在海洋表面产生的漂流和障碍物使漂流偏斜时形成的窄急海流这两种海流。不过，Redfield (1834) 对仅是风产生海流这样简单的见解是持怀疑态度的，他说：

人们通常把海流完全归因于风的作用，但是海水与它上面的大气一样都受到同样的推动，所以这两种流体的主要运动很可能都源于同一起因。

按他的观点，维持大海流的某种动力是由水团之间的密度差别产生的。

令人惊奇的是，密度差别可能引起大尺度海洋运动的看法竟如此长期地被忽视，因为自十七世纪末以来在地中海一带普遍接受的是对流环流概念；由密度差别维持海洋环流的观点，直到十八世纪后期才由著名的科学家 Richard Kirwan (1733—1812) 和 Benjamin Thompson, Count Rumford (1753—1814) 强有力地提出。

根据 Kirwan (1787) 所说：

由于寒冷，南、北高纬度的水比暖和的低纬度的水重得多，这就出现了一个从极地到赤道的恒

1) 关于 Aristotle 的 *Meteorologica* (《气象》) 的全面总结请参见 Shaw (1926)。

定海流,这海流有时携带着大量的冰块,在很大程度上冷却着空气。

Thompson (1798) 注意到纯水的密度在大约 40°F 时最大,而盐水在较低温度时密度最大。他写道:

海水(甚至在它达到淡水的冻结点以后)一边继续变冷一边不断地收缩,当水团冷到 40° 左右后,表面的盐水粒子并不是留在那里阻止下面暖粒子接着到来并向冷空气散发其热(如同我们所见到的淡水或纯水冷却那样),这些盐水冷粒子一放出热就下降,并且在其向下运动的同时迫挤其它的暖粒子向上运动;由于暖粒子连续不断地来到海洋表面,因此大量的热传送给空气。

太阳辐射是海洋的唯一的热源,在高纬度区域主要是冷风的作用使海表层变冷,因此,Thompson 推断:

下降到海洋底层的水在它所沉降的区域不可能被加热,由于它的比重比温暖地区同样深处的水大,因此它便立刻在海底扩散,流向赤道,这样就势必在海面上产生一个方向相反的海流;并且有极确切的证据可证明这两股海流都是存在的。

为支持他的假设,Thompson 指出,已经知道在海洋极深处存在着冷水。然而,七十年快过去的时候,他那显然有理有据的大洋环流模式才获得普遍的承认。

Alexander von Humboldt (1769—1859) 提出过一个基本类似的模式。Humboldt 曾前往南美洲考察,著有《1799—1804 新大陆赤道地区旅行记》,他(1814)发现:“在赤道海区深处,温度只有摄氏七、八度。”他解释道:“低纬度海域冷水层的存在,表明有一支从两极流向赤道的潜流。”他继续道:“这还表明,散布于海洋中能使水的比重发生变化的盐分不能抵销温度差异所产生的影响”¹⁾。

在第二章里,我们将对地中海环流加以阐述。这里,我们只提一下 Henry Sheeres (死于 1710 年),Luigi Ferdinando Marsigli 伯爵 (1658—1730) 和 Edmond Halley (1656—1742) 的功绩,他们证实,驱动环流运动的是温盐过程,我们同时也提一下 Deacon,他(1971)详细叙述了人们对地中海海流(尤其是直布罗陀海峡海流)所作的种种解释。现在,我们就谈谈信风和与之相关的海流问题。

在科学史的记载中,对于海洋-大气系统知识的贡献,没有什么比 Halley 1686 年发表在伦敦皇家学会哲学学报中的论文《关于在回归线之间及其附近海域观测到的信风和季风的历史概述,并试图找出该风物理成因》更著名的了。Halley 在论文中首先详细地、有条理地描述了大西洋、印度洋、西北太平洋和东南太平洋上的表面风(图 1.3),同时,他还提出了“很值得敏锐的博物学家好好考虑的几个问题。”接着,他没有按诸如著名的哲学家 Galileo Galilei (1564—1642) 和 Johann Kepler (1571—1630) 所持有的那种见解去解释信风,这种见解就是“当地球向东运转时,空气中松散的流体粒子由于非常轻而被丢在后面;因此就地球表面而言这些粒子是向西运动的,结果就变成了一股恒定的东风”;Halley 写道:

因此,对此问题还要找出另外的原因加以解释,这种解释要能够产生同样的较为持久稳定的作用,不致被持同样的反对理由的人所驳倒,而且,还要符合众所周知的空气和水成分的性质和流体运动的规律。由于太阳每日都在海洋上空通过,再考虑到土壤的性质和毗邻大陆的情况,也许太阳光束对于空气和水的作用就是这样的一种原因。首先,根据静力学定律,受热不多的空气不那么稀薄、不那么膨胀,因而较重,为了维持平衡,这样的空气必定朝较稀薄、不那么重的区域运动;其次,太阳不断西移,由于太阳在当顶最热因而此处空气稀薄,空气运动的方向也朝向西。于是便使得整

1) 若要了解对深海环流研究的详细历史,应当参考 Wüst (1968) 的评论文章。

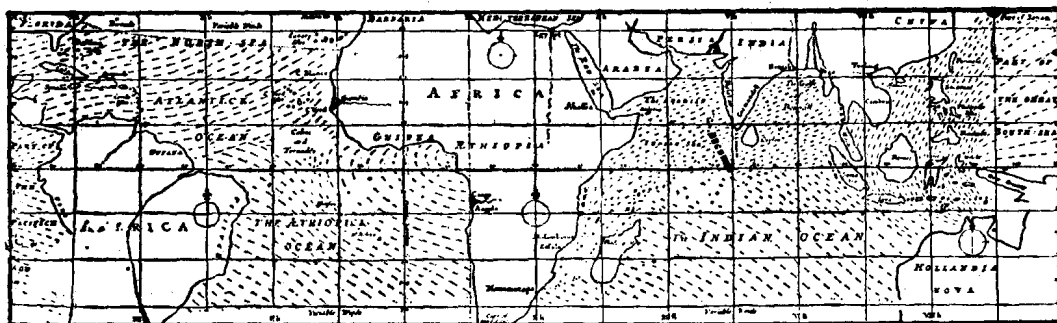


图 1.3 Halley 的热带海洋上空的风图

个低层空气的运动趋势朝西,因而形成了普遍的东风,它吹拂在广阔海洋的整个上空,这些空气互相推动着,运动一直维持到下一次太阳转回来,等太阳再出现时又继续重复这样的运动,于是形成了永恒的东风。

Halley 成为认识到陆地和海洋的相对位置对大气环流模式的形成尤其对季风的产生是一个重要因素的第一个人,因而获得了荣誉。可是将信风的西分量归因于太阳在大洋上空向西移动的结果, Halley 的这种直观知识是讲不通的。还需应用 George Hadley(1685—1768)的解释 (Hadley, 1735), 即信风的西分量是因地球的旋转对流向赤道方向的气流的影响(科里奥利效应)而产生的。不过正如 Deacon (1971) 所讲的:“他 (Halley) 的一般解释以及他所强调的陆地与海洋相对位置的重要性,从未遭到非议。”的确,他的对流概念比起 Martin Lister (约 1638—1712) 的见解是一个改进, Martin Lister 1684 年在英国皇家学会宣读的一篇论文中把信风描述为如同马尾藻水生植物的“恒定的呼吸”那样,“因为这种风体仅是来自于(我们认为)一种植物的呼吸,它必然稳定、均匀;而大陆上多种植物和树木的呼吸则必定产生紊乱的风体。” Shaw (1926) 指出:作为风的起因,这种“解释”显然是建立在 Aristotle 的蒸发或发散理论基础之上的。他说:“假若 Lister 博士把信风描述为是从反气旋而不是从生长在那儿的植物上的一种表面蒸发或发散,那末,对这一题目他定会作出有深刻影响的贡献。”

虽然 Halley 曾声明,他的关于海洋环流的见解是建立在对于空气和水同样适用的物理学基本原理基础之上的,但在他的论文里没有一处提到海流。正如我们所知,直至十八世纪后期,对于海洋中存在对流性环流的可能性一直为人们所忽视。十八世纪大部分时间内,对于海洋-大气系统的理解确实都没有什么进展。1660—1690 年间海洋科学曾蓬勃发展,但以后的 60 多年时间内,比较说来,它被忽视了。

十八世纪后半期,才对墨西哥湾流引起了科学兴趣。激发起这一兴趣的主要原因应归功于 Benjamin Franklin (1706—1790), 因为:

(a) 1770 年他出版了描绘这支海流的第一张科学海图(参见第二章), 图中把海流描述为一条从佛罗里达海峡延伸到远超出纽芬兰海岸的暖水河流(参见图 1.4), 其距离远较迄今所了解的长(人们知道存在这条从佛罗里达流出的墨西哥湾流已有二百多年的历史了);

(b) 他提出这样的见解: 信风驱使北大西洋的表层水向西进入墨西哥湾, 水流通过狭窄的佛罗里达海峡, 因此形成墨西哥湾流(再请参见第二章);

