

赤道大气 动力学

Е.М.Добрышман



气象出版社

P432
-1

赤道大气动力学

吕克利 蒋全荣 译
朱永提 余志豪 校

气象出版社

内 容 简 介

本书系统地论述了赤道地区大气动力学的主要方面,介绍了赤道带中风压场的相互作用、赤道带宽度的确定以及动力学方程组简化等问题,特别对赤道动力学的非线性问题和赤道带大气对热源响应作了比较深入的讨论。

本书可供大专院校气象、海洋学和流体力学等专业的高年级学生、研究生、教师以及有关科研和业务工作者参考。

Е. М. ДОБРЫШМАН
ДИНАМИКА ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ
АТМОСФЕРЫ

ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1980

赤 道 大 气 动 力 学

吕克利 蒋全荣 译

朱永提 余志豪 校

责任编辑 杨长新

* * *

高 等 出 版 社 出 版

(北京西郊白石桥路46号)

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

* * *

开本: 787×1092 1/32 印张: 11.875 字数: 266 千字

1987年3月第一版 1987年3月第一次印刷

印数: 1—1200

统一书号: 13194·0338 定价: 2.80 元

译 者 的 话

本书是根据苏联学者Е. М. ДОБРЫШМАН的专著ДИНАМИКА ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ АТМОСФЕРЫ译出。全书内容丰富，叙述简练，数学推导严谨，并广泛引用了苏联1972年和1974年两次大西洋低纬度地区的考察(ТРОПЭКС-72和ТРОПЭКС-74)以及全球大气过程研究计划大西洋热带试验(АТЭП)中所获得的资料。

全书共分九章。

一至五章为全书的基础。叙述了赤道带中风压场之间的相互作用，赤道带宽度的确定， $5-15^{\circ}$ 纬带中大气过程的若干特点，赤道带流体动力学方程组的简化，以及当温度场给定时，赤道带中的波动运动等问题。

六、七、八章具体求解了赤道动力学的有关非线性问题。其中第六章讨论了赤道带扰动对热源的响应，七、八章介绍了赤道带环流的定常和非定常模式及其相应的解案。

第九章是有关运动稳定性中的几个问题。

书中特别对非线性问题及赤道带大气对热源的响应问题作了较深入的讨论，堪称本书的特色。遗憾的是，对大尺度运动的非线性问题的讨论尚嫌不足。

我们对原书中明显的印刷和书写错误作了更正，除已标注的外，不再一一指出。

本书五至八章由吕克利翻译。其它各章及引言和结语等均由蒋全荣译出，并由余志豪同志作了协助和校阅。全书由朱永提同志总校和最后审定。在翻译过程中得到了黄士松教

授的热情关怀，谨致谢意。

由于我们水平有限，译文的错误和不当之处在所难免，
敬请读者批评指正。

一九八二年十二月于南京大学

原 编 者 的 话

热带气象学仍然是一个为人们所日益感兴趣的领域。需要注意到,近十年来进行了一系列的试验,АТЭКС(1969), БОМЭКС(1969), ТРОПЭКС-72(1972), ИСМЭКС(1973), АТЭП(1974)和《МУССОН-77》。在全球大气过程研究计划的第一次全球试验期间已完成了专门的试验——冬季和夏季的季风试验(MONEX),而热带风场的整个观测系统实际上可看作全球的热带试验。

这些试验的进行,使我们收集到了有关热带大气性质的广泛的观测资料。同时,按照ТРОПЭКС-72和АТЭП计划所完成的大西洋观测是最有用的。

在这些试验过程中以及刚刚完成试验之后,对观测所作出的科学分析揭示了低纬大气环流的很多有特点的特点。然而,观测资料如此广泛,致使世界上许多国家能够进行更为深刻和全面的分析,出了不少论文、会议文集及专著。

我们认为,不久前水文气象出版社出版的А. И. Фалькович的《赤道辐合带动力学和能量学》和现在呈献给读者的Е. М. Добрышман的《赤道大气动力学》是第一批专著,在这些专著中反映出了在ПИГАП国际试验中所获得的新结果。

《赤道大气动力学》一书的出版是非常及时的。首先需指出,赤道地区大气过程的特点在大气环流的全球模式中几乎是不考虑的。由于实现了ПИГАП第一次全球试验,对这些模式作了特别细致的研究。书中总结了赤道地区动力学的

资料，并研究了赤道地区狭窄范围内大气环流机制的模式，根据这些模式能够提出和解决更为一般和更为精确的物理学和数学方面的问题。书中所讨论的问题有一些是新的，而另一些则以不同于传统的观点进行了解释。书中对非线性问题予以很大注意。所有这些均可认为，本书不仅对气象工作者，而且也会对物理学其它领域的专业人员有所帮助。

М. А. Петросянц

原 书 绪 言

在大气环流的全球模式中，通常是不注意发生在范围狭窄的宽约1000公里的赤道地带内大气过程的特点的，或者至多作一些十分粗略的考虑。其原因有三个方面。首先，赤道带较狭小，其气象参数的变化比中纬度要小10—20倍。其次，在半球大气环流的数值模式中，人们较简单地把壁“放”在赤道上，而在全球模式中“跨过”了赤道。最后，对于其它地方的大气通常所用的流体动力学方程的分析方法反映不出赤道地带过程的特点，在赤道地带不容易建立物理过程的模式，也很难把这些过程相互联系起来，或者把它们和发生在赤道带以外地区的过程相联系起来。同时，在赤道带边界上存在着赤道辐合带，离赤道带边界不远的地方，存在台风的活动，台风在发展过程中，总“避开”赤道，任何一个台风都不会穿越过赤道。这未必仅能以 β 效应的作用来对此作出解释。有些风暴（1975年7月2—11日的卡尔罗塔，1975年7月4—15日的丹尼丝）生成在 $8-10^\circ$ ，移动到 $17-18^\circ$ ，而后又回到 13° 。风暴丹尼丝7月10日在 13° 附近打转^[193]。气象要素变化非常小的赤道带“吓跑”了台风。为什么？目前要回答这个问题还很难。首先需要对赤道带过程作出仔细的分析。同时，必然会碰到一系列的困难。困难之一是和要周详地考虑热通量问题相联系的。所以，作为一级近似，通常把热通量看作是已给定的，或者提供一个“背景”。这时，剩下的仅是研究动力学的问题了。

为了较清晰地阐明赤道带过程的特点，首先简单地阐述

了有关大气中风压场相互作用的研究结果,继而叙述了在 $5-15^{\circ}$ 过渡带内的特点。只有在此之后,我们才能来研究赤道带的过程。显然,被挑选的资料和所作出的解释在很大程度上反映了作者的观点,这些观点当然也不是无懈可击的。对不同的问题用不相同的风格来进行叙述,这表明了作者的趣味。

很遗憾,本书的篇幅不允许包括详尽的计算,这些计算有时是很长的且又不能一目了然。我们尽可能用同一种方法来解不同的问题,对于一些简单的情况,原则上也不难把计算推导出来。

我们希望,本书能使更多的与气象有关的专家对研究低纬大气中的艰巨而又具有重要意义的问题引起注意。精通气象学比学会应用某一种解决问题的数学方法要来得困难,而正确地解释解的结果,往往需要物理学家的帮助。

本书不希望涉及赤道大气动力学的全部问题。有关边界层中的相互作用及状况、辐射输送过程、对流层中大气环流机制以及其它一系列问题,几乎都没有被提到。

本书对热力学过程注意很少。这是因为不久前出版的A. И. 法里柯维奇的专著中^[178],对很多与赤道辐合带相联系的基本问题已作了十分细致的剖析。

本书不能将有关的大量文献都一一列出。关于大西洋热带试验(ATЭП)已出版了专门的文集《GATE Bibliography》,在本书出版之前,已出了两个分册:ТРОПЭК-72和ТРОПЭК-74。ATЭП中资料分析的初步结果发表在文献[169,170,207,263,28*-50*]中。

本书的目录已说明了书中的内容,故不再一一叙述了。

* 带*的文献均为参考文献附录中的文献。

在生活飞速发展的时代，要为写一本“边缘”专业的书提供必要和充足的条件，比写本书困难得多，我对我妻子的感激之情也正是出于这一点。书评尽管是一件不太会使人感激的事情，但严格的客观的评论家A. M. 法里科维奇仍获得了我的衷心感谢。这一点在很大程度上要归结为严肃细心的科学编辑M. A. 彼得罗香茨的劳动。

书中以不同的方式提出了很多问题，对这些问题作者未能作出完全的回答。本书的目的之一是热忱希望科学界对具有重要意义的热带气象学问题引起关注。作者将诚恳接受任何批评和建议，并致以谢意。

符号表

$\gamma_0 = 6.37 \times 10^6$ 米——地球平均半径

$\omega = 7.25 \times 10^{-5}$ 秒⁻¹——地球自转角速度

$l_1 = 2 \omega \sin \varphi$ ——第一（或主要）柯氏参数，其中 φ 为地理纬度

$l_2 = 2 \omega \cos \varphi$ ——第二柯氏参数

$\beta = \frac{2 \omega \cos \varphi}{r_0}$ ——罗斯贝参数

x, y, z ——右手规则三维坐标： x 指向东， y 指向北， z 指向天顶

u, v, w ——对应 x, y, z 轴的风速分量

T ——温度

$\gamma = -\frac{dT}{dz}$ ——温度垂直梯度

γ_a ——干绝热温度垂直梯度， $\gamma_a = 9.8$ 度/公里（对整个大气）

γ_m ——湿绝热温度垂直梯度（依赖于高度）

缩写表

АТЭП——全球大气过程研究计划的大西洋热带试验

ВЗК——赤道辐合带

ВМО——国际气象组织（上属联合国）

МСНС——国际科学联合委员会（非政府组织，苏联科学院是该委员会成员）

ОЦА——大气环流

ПИГАП——全球大气过程研究计划

ПГЭП——ПИГАП 的第一次全球性试验

ТРОПЭКС-72——苏联组织的一次联合考察，1972年它在低纬地区按照专门计划进行了观测

ТРОПЭК-74——苏联参加АТЭП的一次联合考察

БОМЭК——巴巴多斯海洋气象试验

《МУССОН-77》——1977年季风试验

МОНЭК(MONEX)——季风试验*

* 原文缺——校注

引 言

在地球的不同地区，人们对大气过程的研究程度是很不相同的，这主要取决于大陆的分布情况。进行各种常规气象要素观测的台站网分布很不均匀，北半球的台站数量比南半球要多3—4倍。在欧洲约有200个可测到30—40公里高空的常规探空站，而在整个太平洋上，探空站仅是欧洲探空站数的十分之一。很明显，天气图上主要的空白区是在极区和热带。关于极区，卫国战争刚一结束，就立即开始对它进行了紧张的研究工作并在很多问题上早已开展了国际间科技人员和资料的合作。但对热带地区的研究，直到六十年代中期还未拟定出大范围的合作计划来。

很多自然科学问题都需要了解全球范围内的大气、海洋以及下垫面（特别是大气）的状况，详细地掌握周围介质在水平方向和垂直方向上的情况是十分必要的。这正是所有部门气象工作者们早有的宿愿。就在1966年，斯德哥尔摩大学的Bolin教授首先发出了倡议，他的倡议得到了地位不同的两个组织的支持：一个是官方的——国际气象组织（BMO），这是联合国（OOH）的下属机构，另一个是非官方的——国际科学联合委员会（MCHC），号召联合各国科技力量，开展全球大气的研究工作。1967年倡议委员会邀请了约100名各国气象学家到斯德哥尔摩附近的瑟巴霍尔明共同讨论和确定全球大气研究计划（ПИГАП）的主要任务：

- 1) 必须开展对大气环流和全球范围气象要素场预报的流体动力学数值模式的研究。

2) 必须联合各国科学家的力量,开展对薄弱地区(其中首先是热带)天气过程的研究。

第二个问题是十分重要的,以至于人们花了六年时间,准备出一个叫做АТЭП的热带观测的专门计划,这一计划在1974年胜利完成。为了更确切地回顾制定热带子计划的历史,我们需要追溯到1963—1966年。在此期间,由于电子计算机的应用,气象要素预报的数值方法开始可靠地投入到许多国家的实际气象预报业务中去。但是,专家们也碰到了不少困难。困难之一是如何确定流体动力学方程积分区域的边界条件。即使把范围扩大到整个半球,收效也甚微,这不仅是因为赤道地带测站网稀疏而使初始资料缺少的缘故。精确解(如罗斯贝波)的计算表明,使解“变坏”的原因之一是赤道“壁”的影响(赤道上 $v=0$,而 u 直到赤道都是根据准地转关系式来确定的)。而低纬地区气象要素场的变率很小,这直接地促使我们在制定大气环流模式和数值预报方案时,不去考虑赤道大气过程的特点。

就在这几年中,人们根据卫星照片揭示了赤道辐合带和云团结构的某些特点。因此,世界气象组织高空气象技术委员会数值预报方法的一个工作小组,积极地参加了1966年10月在日内瓦召开的一次专家会议的筹备工作,专家们必须确定热带大气过程研究的主要任务。该委员会热带气象工作小组的专家们讨论了一些急待解决的问题。虽然专家们对大气环流问题的看法很不统一,但对热带气象的意见是一致的,即必须从理论和实践两个方面来探讨赤道带状况的特点,为此,需要很好地联合各国气象局的力量。甚至还预定把太平洋作为进行研究的地区^[40]。因而说,在制定ПИТАП之前就为АТЭП打下了基础,做了开创性的工作。热带试验

АТЭП原始计划中有关学术方面的不少地方都是以这个小组的专家们的意见为基础的。

1968—1973年进行了АТЭП的准备工作，АТЭП被正式列为 ПИГАП 的第一个主要的子计划。苏联科学家对 АТЭП 期间的观测系统的组织和其它准备工作作出了贡献，并于1972年按照全苏大西洋试验计划各部门联合进行了地球物理考察 (ТРОПЭКС-72) ^[169]。

从1974年6月17日至9月23日，在大西洋热带地区开展了全球大西洋热带试验。这次试验在各个方面如相互合作，任务的统一，行动的协调，执行预定计划的明确性，以及有组织有步骤地完成任务的效能等都是前所未有的。有七十个国家的科学家或技术人员正式参加了热带试验，另外还有十个国家的39艘船只和12架飞机投入了观测计划的实施。苏联根据全球大西洋试验计划而进行了联合考察 (ТРОПЭКС-74)。除有两颗“流星”气象卫星外，还派遣了13艘科学考察船、船舶气象站和两架实验飞机，这些配备组成了考察的基础。所获得的资料在试验期间和试验工作的野外阶段结束之后都得到了应用。大西洋热带试验区域和用来获得气象中尺度过程的多边形区见图1所示。

就象两年前一样，Петросьянц教授领导的热带试验 ТРОПЭКС-74 在各方面组织严密和效能良好，使初步总结材料 ^[169, 170] 能及时开展研究。

从热带气象学的观点来说，1972、1974年两次联合考察和大西洋热带试验的资料表明，研究大气中（特别在热带地区）物理过程是相当困难的。这就需要第一，对考察资料作深入的研究并继续出版经过科学总结的材料；第二，要把实验资料的分析和理论探讨互相紧密地联系起来。

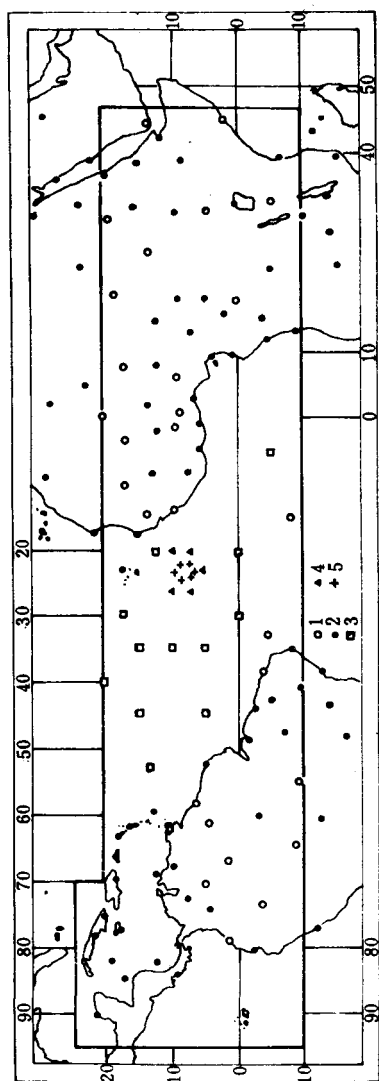


图 1 AT3II区域和主要观测
设施的布局

- 1——试验期间工作的站点 2——常
规进行观测的台站 3——为研究A和
A/B尺度过程而建立的船舶站点
4——研究B和B/C/D尺度过程的多边
形区 5——研究C和C/D尺度过程的
多边形区

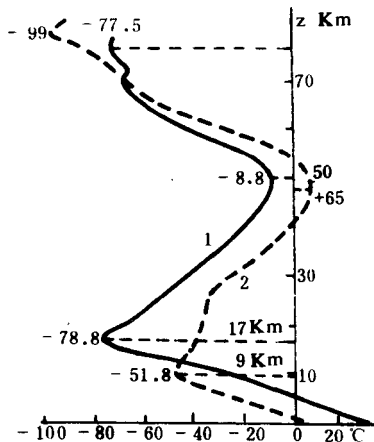


图 2 温度随高度的分布
(据 1972 年 1 月火箭探测资料^[157])

- 1 —— 印度的突姆帮 (8°31'N, 76°52'E)
2 —— 南极洲的青年站 (67°41'S, 45°51'E)

图中可明显看出, 赤道附近地区有着“尖锐”的冷对流层顶。青年站的地面气温年振幅约为 50°C, 而突姆帮却只有 2°C。

大西洋热带试验持续进行了三个多月(100天), 其中规定了三个时期(称为三个阶段), 按照总计划^[30*]和五个专门学科的子计划进行了紧张的观测。这五个专门学科的子计划是: 1) 边界层^[32*], 2) 对流过程^[34*], 3) 海洋学^[35*], 4) 辐射^[31*], 5) 天气尺度过程^[33*]。

每艘船上的主要气象仪器在试验开始和结束时都进行了检定。试验工作安排在最大范围内保证所有五个基本子计划任务的完成。从子计划本身名称中就可看出, 在资料的测量精度

及其在所取时间和空间的步长等方面, 对于不同的观测资料提出了不同的要求, 这些要求是由很多因子所决定的, 可把这些因子人为地分成三类: 1) 所研究现象的尺度; 2) 被测量参数的变率(时间变率、空间变率以及时空变率), 3) 用于不同目的的资料使用和分析方法的“灵敏度”。

例如对于天气尺度的过程来说, 水平方向上拥有步长为 200—300 km 网点上的资料已是足够了。但对于分析赤道辐