

800153

827
7/4064



热带气象学

TROPICAL METEOROLOGY

[美] T.N.Krishnamurti 著

成都科学技术大学图书馆
基本藏书



064

气象出版社

800153

327

7/4064

327

7/4064

热带气象学

气象出版社

内 容 简 介

本书涉及到热带气象学领域的最新发展,基础理论与实际应用并重,内容比较全面。

全书共分二十一章,主要论述了纬圈对称和非对称的平均热带环流以及某些典型的大尺度热带扰动;讲述了有关的辐射过程、边界层过程和对流过程的一些基础知识,以及海风问题、热带的日变化问题和热带洋面上的信风逆温问题;讨论了大西洋、太平洋和印度洋上空的扰动,尤以台风的形成、运动和结构及人工影响台风的现状;综述了亚洲、非洲、南美和中美洲大陆上的天气系统,以及热带的云量、降水与热带卫星气象学;研究了热带对流层上部和热带平流层下部的现象及其它的热带现象;评述了热带现场试验及未来的热带观测系统;介绍了热带数值天气预报方法。附录给出了,对研究热带天气系统有用的数学基础知识。最后,附有近三百篇的参考文献。

本书可供从事热带气象工作(包括海洋和航空气象)的科技、科研人员以及气象院校师生和研究生阅读参考,

T. N. Krishnamurti
TROPICAL METEOROLOGY
(COMPENDIUM OF METEOROLOGY)
VOLUME II, PART 4
WMO—No. 364

Secretariat of the World Meteorological Organization—Geneva—Switzerland

1979

热 带 气 象 学

[美] T. N. Krishnamurti 著

柳崇健 朱伯承 译

陶诗言 校

责任编辑 刘宏勋

* * *

高 等 出 版 社 出 版

(北京西郊白石桥路46号)

常熟文化印刷厂排版 广益印刷厂印刷
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 1/16 印张: 18.5 字数: 460千字

1987年2月第一版 1987年2月第一次印刷

印数: 1—1,500

统一书号: 13194·0379 定价: 3.80元

译 者 的 话

目前,热带气象学是大气科学中比较活跃的一个分支。因为热带大气环流是全球大气环流的不可缺少的组成部分,而且热带又是全球大气热量和水汽的重要源地。人们要揭示大气运动的规律和研制正确的数值天气预报,必须对热带气象学作全面深入的研究。

长期以来,人们比较偏重于中纬温带的天气系统及大气环流的研究,热带气象学的研究在相当一个时期内发展极其缓慢。随着近代探测手段的不断进步,特别是气象卫星的出现和大规模的热带大气现场科学试验的实施,人们获得了大量的热带气象资料,使得深入研究热带地区的天气-动力学问题成为可能。近年来,在这方面已经取得了不少比较重要的研究成果。

美国佛罗里达州立大学 T. N. Krishnamurti 教授编写的《热带气象学》一书,内容全面,取材得当。他对热带气象学的各个领域进行比较全面的回顾和评述,并对新近发现的热带天气现象及当前比较成熟的动力学模式均有详细具体的介绍。该书是世界气象组织培训气象科技人员的教科书之一,也是一部从事热带气象学工作的科技人员值得一读的重要参考书。

我国华南地处热带和副热带,盛夏热带天气系统与我国这一地区的天气气候变化关系密切;其中比较强烈的热带天气系统,往往给国家建设和人民的生命财产带来严重的影响。我国对热带气象学的研究一直非常重视,我们做了大量的工作并取得了一定的进展。为使大家能系统全面地了解国外热带气象学研究的最新进展以及尚待解决的科学问题,我们征得原作者同意,特将全书译成中文以供阅读参考。本书中,为中译本作的序、前言、绪论及第一至十章由柳崇健同志译,第十一至二十一章及附录由朱伯承同志译,全书由陶诗言先生负责审校。

译文中错误之处,亟望读者不吝指正。

1983 年

5A-13607

为中译本作序

这部热带气象学教科书，是根据我在佛罗里达州立大学讲授的两门一年级研究生的课程讲义改编的。

本书力图包括热带气象学的新进展，以帮助学生在基础研究和应用方面进行创造性的思索。本书共分二十一章，其中辐射过程和对流过程这两章稍为难一些外，其余各章都较为简单易懂。如果愿意，教师也可以将难懂的这部份跳过去，这样做并不影响全书的连贯性。本书所涉及的材料，就热带天气学的整体而言，仍未能做到妥善处理。我在许多热带国家访问和工作过，发现了大量有趣而重要的问题，并企图提出一个能迅速查阅这些问题的思路。本书中许多未解决的问题，就是按照这种思路罗列出来的。希望广大读者和科研人员，为本书的再版提供修改意见。初版无疑存在一些错误，希望再版时能得到改正。我非常感谢陶诗言、叶笃正两位教授和丁一汇先生，感谢他们为出版本书的中译本所做的努力，并衷心希望此举将增进科学家们之间的交往。

T. N. Krishnamurti

1980年11月

前 言

这本热带气象学讲义是为世界气象组织训练一、二级气象人员而编写的。全书共二十一章，涉及热带从海风至行星尺度运动的一个相当广泛的范围。本书根据作者在佛罗里达州立大学讲授热带气象学的教材写成。书中有许多观点来自作者自己的研究组，这个研究组得到了美国国家科学基金会连续十多年的大力资助；作者感谢 G. Bierly, R. Greenfield 和 J. Fein 诸博士为此所作出的支持。作者还要感谢 H. Taba 和 P. Obasi 两位博士，感谢他们尽力以世界气象组织的名义发起所给予的支持。最后还要感谢 R. P. Pearce 教授, A. Wiin-Nielsen 教授以及 Y. Ramanathan 博士，他们对全书的手稿作了细致的审阅。

T. N. Krishnamurti

1979 年 5 月 1 日

绪 论

第一章讲纬圈平均的热带环流,由此提出了一个过于简化的热带图象。我们都想知道,对时间和纬向平均的风、温度、湿度或其它大气特性的典型经向剖面图是什么样子?这种图象一般很受气候模拟者所欢迎,他们希望将整个环流型参数化。Lorenz(1967)关于大气环流的那部近著中有许多精彩的图例,这些图例表示纬圈平均的大气特性在经圈方向上的变化。值得注意的是,这部论述大气环流的名著没有提到大气环流中在纬圈方向上各个不对称的环流系统——即所谓大气环流角色——的维持问题。不同的人,对大气环流的含义有不同的理解。有些人认为:弄清时间平均图上显著的涡旋系统,如冻岛低压、阿留申低压、副热带高压、西伯利亚高压、西藏高压以及显著的辐合带(如ITCZ和季风槽等等),对理解大气环流是极其重要的。在本教科书中,我们将在我们的大气环流定义下讲解所有这些时间平均的大气特性(无论是经过纬圈平均的或是没有经过纬圈平均的)。

本书第一和第二章,分别讲纬圈方向对称和纬圈方向不对称的、时间平均的热带环流。纬圈方向对称的环流有许多局限性,其中某些局限性在讲到后面各章时将会清楚地显现出来。容易看出:经过纬圈平均以后,我们将区分不出(例如)赤道亚马孙区域、赤道东非和赤道印度尼西亚等。这三个地区,具有十分不同的环流性质。假如我们通过遥感技术来描绘1000万英里以外的某个行星大气的热带环流,也许根据少量的数据绘出的非常简化的沿纬圈方向对称的环流,我们就满意了。热带大气环流通常包括各种系统,如副热带高压、信风带、信风逆温、信风云系、海洋和大陆上的辐合带(ITCZ)、季风低压、热低压、赤道波、东风波、热带低压、热带急流、越赤道气流、高空冷低压、准静止扰动、飓风、台风、西(南)季风、季风爆发、洪水、干旱、陆上和海上的热带飑线、尘暴、海风等等。因此就产生一个问题,即上述这些现象是否是对热带大气环流的一种过分的夸大,热带大气环流或许可用比较简单的方法加以描述的。后一种看法,可能起因于准地转理论可以描述许多发生在中高纬的大气现象的缘故。但我们愈来愈清楚,即使在中高纬度,运动系统的成员也是极其复杂的。事实上在每天的数值天气预报中,这些成员并未得到合适的处理。低纬和高纬的运动系统,比我们想象的要复杂得多。热带系统从根本上讲是决定于对流,而对流对许多因子(如海面温度、陆地的热平衡、山脉以及各种尺度运动系统的相互作用等)是很敏感的。

上面所提到的种种热带现象,都有各种各样的结构。就目前的认识,各个现象的维持也是彼此有很大差异的。在有些现象中,下沉和浅对流起主要作用;而在另一些现象中,则大规模垂直运动和深对流是决定性的。在某一个地区内所出现的主要物理过程,往往与别的地区略有不同,因此各种各样的热带运动系统形成了极其复杂的热带大气环流。这不禁使人怀疑,是否能提得出一个满意的考虑到各种热带运动系统所起作用的大气环流理论。目前的水平,尚不足以提出这种热带大气环流的统一理论。

近年来,进行了一些热带现场试验。重点是了解对流、气-海相互作用、飓风雨区的结构、大气辐射、热带边界层以及季风环流等。在后面,我们会看到,即使看来很简单的问题,如解释不发展的热带波状扰动的向西传播,也并不是一件简单的事情。我们也将发现,在尺度达数千公里的大尺度扰动中包含有积云和积雨云。这类系统看起来单纯的向西运动,这是与质量、水

分、动量、热量和动能错综复杂的平衡有联系的。这种种平衡，是靠大尺度运动和大尺度系统中的积云尺度运动来实现的。现已设计出大规模的现场试验方案，来解答某些在初步研究中所提出的问题。但还需要更多的这种现场试验，来进一步弄清热带的运动系统。

热带气象学的学生们，常常希望研究他或她的国家中一次强降水或洪水或干旱天气。但很快就会明白，看起来是一次简单的事件，事实上则是种种尺度相互作用的复杂过程。然而，经验有时候是不起多大作用的。有人认为，应提炼出几条描述这类事件的简单而基本的原理。当我们对复杂的相互作用茫然无知时，这种途径无疑是可取的。当然，这需要良好的直觉和对问题的认识。彻底弄清在某个现象中起支配作用的物理过程，我们就能通过物理模型对这种现象加以描绘，而物理模型又有助于预报类似的现象。可惜，认识和预报似乎并不是齐头并进的；即使我们知道了（比如说）描绘非洲波状扰动的基本动力和热力过程的简化图象，我们仍不能在24—36小时前预报出在尼日利亚北部是否会有降水。预报问题是一个完全不同的问题。在预报问题中，除了知道物理过程外，还需要其它条件如计算程序、初始资料和足够的计算机贮存量等。同时，预报问题还受到可预报性内在的限制。

第三章，综述某些典型的大尺度热带扰动。读这一章时，学生应设法将它们的结构与温带天气系统的结构进行对比。

第四、五、六章，讲述有关的辐射过程、边界层过程以及对流过程的一些基础知识。这些过程，对了解热带天气系统的细节是很重要的。第七章讲海风问题和热带的日变化问题，并以简单的形式引入热带动力学的种种概念。

第八、九、十章，讨论大西洋、太平洋和印度洋上空的扰动。第十一章专论台风，深入讨论其形成、运动和结构以及人工影响台风的现状。有关在热带洋面上始终存在着的信风逆温问题，单独放在第十二章中讲。第十三、十四和十五章，讲亚洲、非洲以及南美和中美洲大陆上的天气系统。这三章详细研究了世界上受季风影响的地区和热带雨林区中引起降水的天气系统。第十六章，讨论热带云量、热带降水以及热带卫星气象学。第十七和十八章，研究热带对流层上部和热带平流层下部的现象。第十九章，讲述其它各章未曾强调过的其它热带现象。这一章讲得比较粗略，列举了许多值得进一步研究的仍未解决的问题。在许多情况下，这些问题或许正是来自热带国家的学生希望研究的问题。但很遗憾，目前对此所知甚少。

前面曾经提到，由于热带地区普遍缺少气象观测资料，因而近年来在热带地区进行了几次现场试验。第二十章从近代观测系统的观点对这些试验进行了评述，并说明了他们想要解决哪些问题。

本书最后一章（第二十一章），讲热带数值天气预报方法。本章所构思的要点，旨在为能在较小的电子计算机上进行运算的一些简单预报模式提供基础知识。

附录给出对研究热带天气系统有用的数学基础知识。

目 录

译者的话

为中译本作序

前言

绪论

第一章 纬圈平均的热带环流	(1)
§ 1.1 引言	(1)
§ 1.2 纬向速度	(2)
§ 1.3 平均经圈环流	(2)
§ 1.4 温度场	(3)
§ 1.5 水分场	(4)
§ 1.6 由纬向对称环流引起的经向输送	(4)
第二章 热带纬向非对称的环流特征	(7)
§ 2.1 引言	(7)
§ 2.2 梯度风高度的风	(8)
§ 2.3 对流层上部的风场	(8)
§ 2.4 温度场	(10)
§ 2.5 热带的东-西环流圈	(12)
§ 2.6 水分场	(13)
§ 2.7 海平面气压	(15)
§ 2.8 其它参量	(15)
第三章 热带扰动概论	(17)
§ 3.1 引言	(17)
§ 3.2 热带扰动的一些例子	(18)
§ 3.3 热带扰动的向西运动	(20)
§ 3.4 综合的热带扰动	(21)
§ 3.5 西太平洋上的云团	(21)
§ 3.6 Reed和 Recker 的综合波	(24)
§ 3.7 综合的西非波动	(27)
第四章 热带的辐射过程	(28)
§ 4.1 引言	(28)
§ 4.2 辐射过程的数值计算	(28)
§ 4.3 短波辐射	(28)
§ 4.4 长波辐射	(30)
§ 4.5 地球表面的热量平衡	(33)
§ 4.6 大气顶部的辐射热平衡	(36)
§ 4.7 用载有仪器的飞机进行的辐射测量	(39)
§ 4.8 用球载辐射仪进行的辐射测量	(40)
§ 4.9 在地面使用的辐射仪	(41)

§ 4.10 热带的辐射气候学	(42)
第五章 热带边界层	(44)
§ 5.1 经验概念	(44)
§ 5.2 边界层的观测事实	(46)
§ 5.3 最近的观测结果	(47)
§ 5.4 一个简单的热带边界层模式	(50)
§ 5.5 大尺度热带边界层的尺度分析	(51)
§ 5.6 越赤道气流和行星边界层动力学	(52)
第六章 热带的积云对流	(54)
§ 6.1 引言	(54)
§ 6.2 气块法和薄层法	(55)
§ 6.3 一个简单的云模式	(56)
§ 6.4 收支研究	(61)
§ 6.5 参数化理论	(70)
第七章 热带的风和海风日变化	(77)
§ 7.1 引言	(77)
§ 7.2 海风模式	(77)
§ 7.3 关于日变化方面的一些观测事实	(82)
§ 7.4 季风带的日变化	(84)
§ 7.5 后记	(87)
第八章 大西洋扰动	(88)
§ 8.1 引言	(88)
§ 8.2 信风带中的波动	(88)
§ 8.3 倒V云的形成	(95)
§ 8.4 大西洋上的飚线	(95)
§ 8.5 信风中的气压波	(95)
§ 8.6 大西洋中的 ITCZ (热带辐合带)	(97)
§ 8.7 副热带气旋	(98)
§ 8.8 其它大西洋扰动	(98)
第九章 太平洋扰动	(99)
§ 9.1 太平洋海水表面温度(SST)的变化和大尺度遥相关	(99)
§ 9.2 对流层下部的移动性扰动	(102)
§ 9.3 近赤道反气旋涡旋的形成	(103)
§ 9.4 太平洋东部	(107)
第十章 北半球冬季的印度洋扰动	(110)
§ 10.1 南印度洋上的平均流场	(112)
§ 10.2 北澳洲低空东风急流	(112)
第十一章 飓风	(116)
§ 11.1 引言	(116)
§ 11.2 飓风的形成	(116)
§ 11.3 成熟飓风的观测结构	(119)
§ 11.4 轴对称的飓风	(122)
§ 11.5 对称飓风的数值模拟结果	(126)

§ 11.6	非对称飓风	(127)
第十二章	信风逆温	(131)
§ 12.1	观测事实	(131)
§ 12.2	信风逆温的理论分析	(136)
§ 12.3	逆温层上的热量和水分收支的计算	(139)
§ 12.4	信风逆温的维持机制	(141)
§ 12.5	总结	(144)
第十三章	亚洲的天气系统	(146)
§ 13.1	引言	(146)
§ 13.2	行星尺度季风	(147)
§ 13.3	冬季风和夏季风系统中相应的成员	(147)
§ 13.4	关于季风的一个简单理论框架	(148)
§ 13.5	驱动季风的差异加热	(150)
§ 13.6	海-气相互作用	(150)
§ 13.7	季风逆温层	(152)
§ 13.8	季风的爆发、活跃和中断	(156)
§ 13.9	季风降水	(159)
§ 13.10	100 年的季风雨量	(161)
§ 13.11	季风扰动	(163)
§ 13.12	西南季风中的中层气旋	(168)
§ 13.13	后记	(171)
第十四章	非洲的天气系统	(172)
§ 14.1	引言	(172)
§ 14.2	雨量分布	(172)
§ 14.3	冬夏非洲地区的时间平均流场	(176)
§ 14.4	冬夏非洲地区的时间平均温度场	(179)
§ 14.5	非洲的地面流型	(181)
§ 14.6	撒哈拉沙漠的一些气候特征	(182)
§ 14.7	非洲沙漠上的热低压	(183)
§ 14.8	西非波动	(185)
§ 14.9	西非扰动线	(185)
§ 14.10	中非	(188)
§ 14.11	东非海岸附近的跨赤道气流	(191)
第十五章	南美洲的近赤道雨带与干区	(194)
§ 15.1	雨量与低层流场	(194)
§ 15.2	2 月份低层的最大东风带	(195)
§ 15.3	巴西东北地区	(197)
§ 15.4	雨季的天气图	(198)
第十六章	热带云量、雨量与卫星气象学	(201)
§ 16.1	引言	(201)
§ 16.2	热带雨量的气候概貌	(204)
§ 16.3	由卫星亮度资料推得的降水率	(207)
§ 16.4	由微波辐射资料得出的雨量图	(211)

第十七章 热带对流层上层中的现象	(212)
§ 17.1 冬季副热带急流	(212)
§ 17.2 热带高空急流的正压不稳定性	(214)
§ 17.3 西藏高压的季节性北移	(218)
§ 17.4 热带海洋的高空冷低压	(218)
§ 17.5 北半球夏季热带对流层上层的能量学评述	(224)
§ 17.6 对流层上层气候学的准稳定性	(227)
第十八章 热带平流层下层	(229)
§ 18.1 准两年振荡(QBO)	(229)
§ 18.2 热带平流层下层的谱分析	(232)
§ 18.3 大型准静止涡旋	(234)
第十九章 热带的其它现象和问题	(235)
§ 19.1 近赤道内陆地区的日变化	(235)
§ 19.2 大洋上的日变化	(235)
§ 19.3 季风槽的日变化	(238)
§ 19.4 波动的第二类条件不稳定机制	(239)
§ 19.5 热带海面温度距平与热带天气	(239)
第二十章 热带现场试验以及未来的热带观测系统	(241)
§ 20.1 热带现场试验简介	(241)
§ 20.2 热带观测系统	(241)
第二十一章 热带数值天气预报	(247)
§ 21.1 引言	(247)
§ 21.2 过滤正压模式	(247)
§ 21.3 正压模式的基本动力学	(247)
§ 21.4 正压气流的一些性质	(249)
§ 21.5 数值预报技术	(250)
§ 21.6 一层原始方程模式	(253)
§ 21.7 多层原始方程预报模式	(260)
附录	(261)
A1 湿和干静力能量方程	(261)
A2 第一类条件性不稳定	(263)
A3 联系饱和比湿和湿静力能的 Arakawa 恒等式	(265)
A4 正压不稳定性存在的必要条件	(265)
A5 研究热带正压不稳定性的差分方法	(267)
A6 混合的正压-斜压不稳定性的必要条件	(268)
A7 用三角形格网计算运动学的垂直速度	(271)
A8 Ekman 垂直速度	(272)
A9 能量方程中各项的解释	(272)
参考文献	(274)

第一章 纬圈平均的热带环流

§1.1 引言

为了刻画大气变量在纬圈方向的对称分布，常常对一个季或一个月求长期平均。我们用记号

$$[Q] = \oint Q dx / \oint dx \quad (1.1)$$

表示 Q 围绕一个纬圈的纬向平均值，而记号

$$\overline{Q} = \int Q dt / r \quad (1.2)$$

表示 Q 对时段 r 的时间平均值。

$[Q]$ 是 y, p 的函数，亦即它是在经向垂直平面内变化的。

在这一章中，我们先看一看以下这几个物理量在经向垂直平面内的等值线分布情形：

- (i) 纬向速度 $[\bar{U}]$,
- (ii) 平均经向环流 $[\bar{\Psi}]$,
- (iii) 温度 $[\bar{T}]$,
- (iv) 水分 $[\bar{q}]$.

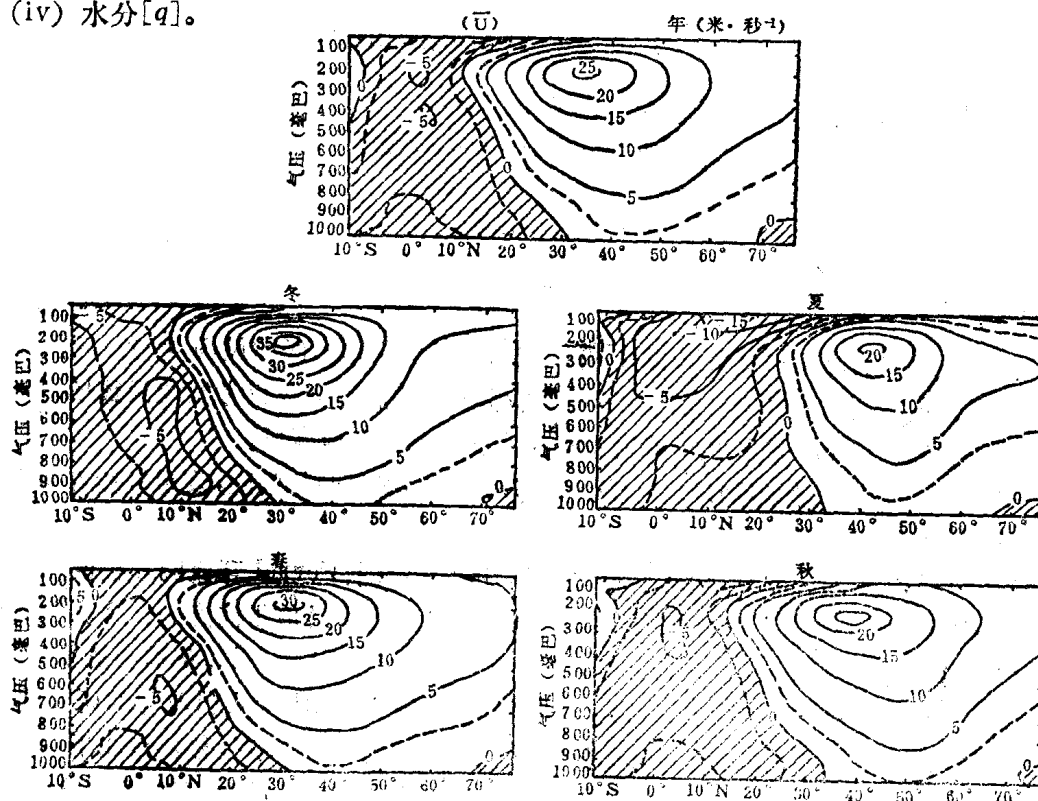


图 1.1 平均纬向风速 $[\bar{U}]$ 的年与季分布 (单位: 米·秒⁻¹)

描绘这种等值线图的重要目的之一,在于能迅速看出热带大气随纬度变化的垂直结构。在下一章中,我们将讨论热带大气的纬向不对称性这个重要问题。以下各章的图例,可参看 Newell 等人(1973)以及 Oort 和 Rasmussen(1971)的著作。

§ 1.2 纬 向 速 度

图 1.1 给出了四季纬向速度 $[\bar{U}]$ 的东-西风分布。在赤道上空,从地面直到 100 毫巴盛行东风。应注意平均的西风急流,它在冬季 200 毫巴附近达到最强。最强西风的位置,从冬季的 30°N 附近移到夏季的 45°N 附近。这种纬向气流的其它值得注意的地方,是它的垂直切变分布。夏季在 $0-20^\circ\text{N}$ 纬度带内,东风随高度增强。在这个纬度带内,北半球冬季地面和 850 毫巴之间东风是向上增强的,而 850 毫巴以上则随高度减弱。在不同纬度带的东、西风切变,具有重要的动力学含义。在秋季,热带东风在 300 毫巴附近最强,而春季则出现在对流层下部 700 毫巴附近。

§1.3 平均经圈环流

平均经圈环流,通常用流函数 $[\bar{\Psi}]$ 来描写。

对于这种纬向对称的运动,质量连续方程可写成

$$\frac{\partial[\bar{V}]}{a\partial\phi} - \frac{[\bar{V}]\tan\phi}{a} + \frac{\partial}{\partial p}[\bar{\Omega}] = 0 \quad (1.3)$$

或

$$\frac{\partial[\bar{V}]\cos\phi}{a\partial\phi} + \frac{\partial}{\partial p}[\bar{\Omega}]\cos\phi = 0 \quad (1.4)$$

可以用下面两个关系式来定义平均经圈环流的流函数:

$$\frac{\partial[\bar{\Psi}]}{a\partial\phi} = -[\bar{\Omega}]\frac{2\pi a\cos\phi}{g} \quad (1.5)$$

$$\frac{\partial[\bar{\Psi}]}{\partial p} = [\bar{V}]\frac{2\pi a\cos\phi}{g} \quad (1.6)$$

注意 $[\bar{\Psi}]$ 满足连续方程,其量纲为 $\text{千克}\cdot\text{秒}^{-1}$ 。

一般说来,风的观测资料是可以获得的;即先用风的资料作出经向风场 $[\bar{V}]$ 然,后根据连续方程(1.3)作出垂直运动场 $[\bar{\Omega}]$ 。我们并不考察 $[\bar{V}]$ 场和 $[\bar{\Omega}]$ 场,而仅仅考察流函数场 $[\bar{\Psi}]$ 。流函数的分布(通过方程 1.5 和 1.6),给出了经向速度场和垂直速度场。

图 1.2 给出各季的平均经圈环流数值。相邻两等 $[\bar{\Psi}]$ 线之间的间隔,表示每秒有 10^9 千克的质量在这些通道内流过。

应注意,图 1.2 中的各图是用来说明所谓 Hadley 环流圈、Ferrel 环流圈和极区环流圈这三个平均经圈环流圈的。从热带观点看,Hadley 环流圈是其中最值得注意的一个。我们在图 1.2 中来考察这个环流圈;它的上升支流和下沉支流是很容易辨认出来的。冬季和夏季的 Hadley 环流圈,要比其它两个季节的来得强。这个图解,是根据 Newell 等人(1973)的研究结果得出的。Hadley 环流圈的上升支流,其所在位置有一个令人注目的季节位移:在北半球夏季它位于 10°N 附近,冬季位于 5°S 附近,而春季则位于赤道附近。在 Hadley 环流的上升支流中,上升运动的强度具有 $0.4 \text{ 厘米}\cdot\text{秒}^{-1}$ 的量级,而南-北分量的量级达 $1-3 \text{ 米}\cdot\text{秒}^{-1}$ 、根据温度

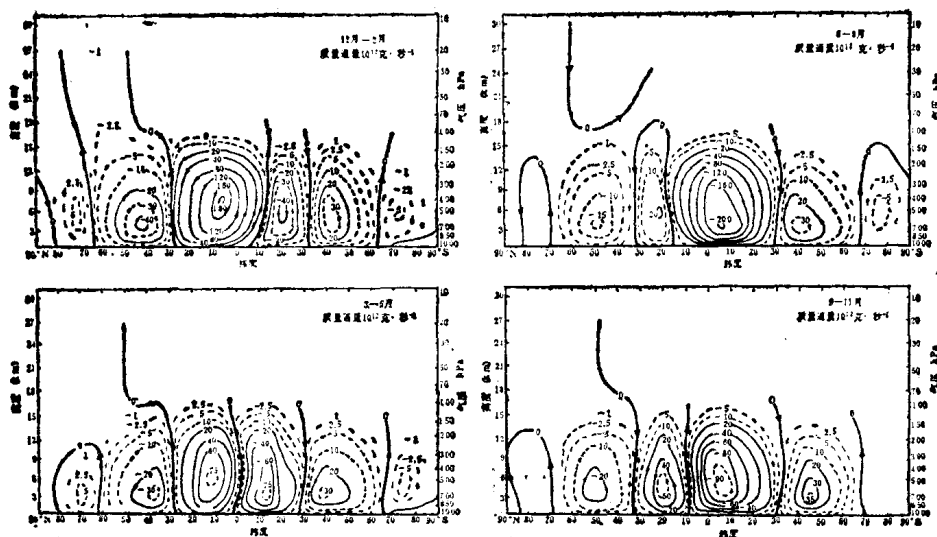


图 1.2 平均经向运动

[$\bar{T}$]分布, 我们可以看出, 这些 Hadley 环流是热力学上的直接环流; 即在同一等压面上, 上升支流的温度比下沉支流的温度要稍微暖一些。这种直接环流, 对于从纬向有效位能产生纬向动能具有重要意义。

§ 1.4 温度场

图 1.3 给出纬圈平均的温度场 [$\bar{T}$] (季节平均)。温度场表明: 在中纬度的经向温度梯度

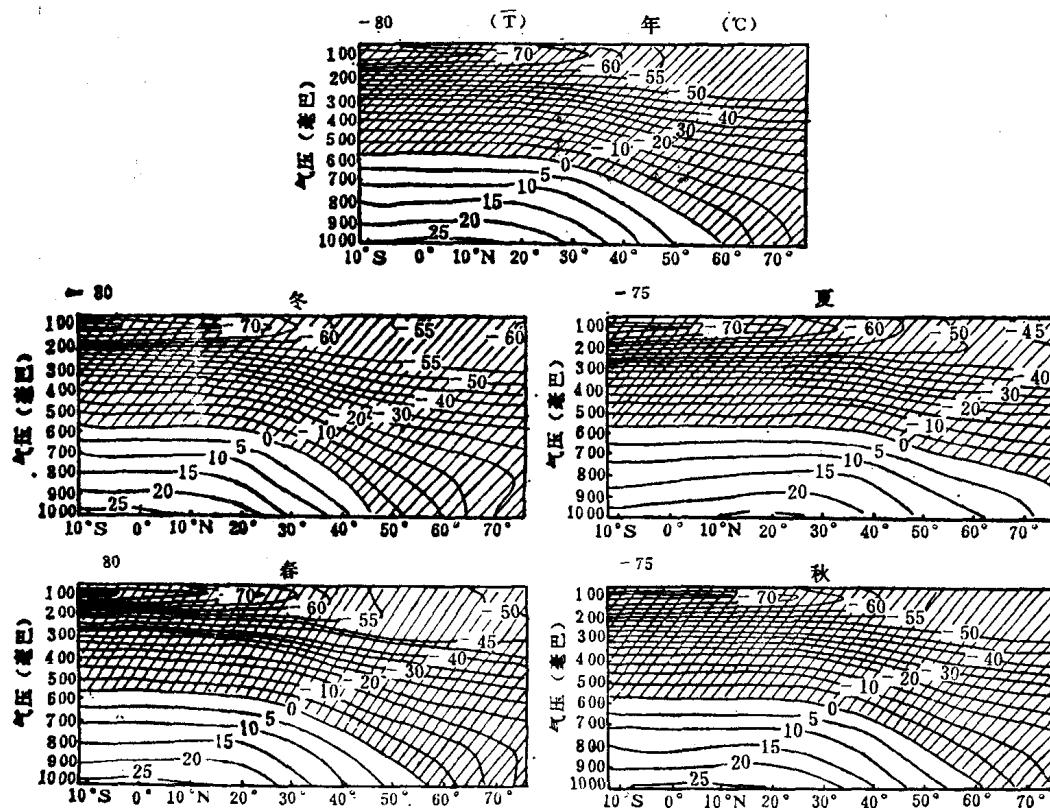


图 1.3 全年和各季平均温度 [$\bar{T}$] 的分布 (单位: °C)

甚强,而在热带则没有经向温度梯度。此外热带对流层顶全年都是冷的,北半球夏季在对流层下部的副热带地区是高温区,这些特征都是值得注意的。同时也应注意,纬圈平均将海-陆差异消除了,它既不代表陆地,也不代表海洋。这一点在北半球夏季特别重要,因为在该季的纬向不对称性很大,而如图 1.3 所示的对称部分并不能很好代表经圈方向的变化;或许,在由 Hadley 环流圈制造纬向动能这方面是有些代表性的。

§ 1.5 水分场

图 1.4 表示比湿场 $[\bar{q}]$ 。最大比湿值约 $18 \text{ 克} \cdot \text{千克}^{-1}$, 出现在赤道附近。赤道附近的最大值,应与中纬 45°N 附近的值($6 \text{ 克} \cdot \text{千克}^{-1}$)比较一下。由于低纬存在如此之多的水分,所以对温度要进行所谓虚温订正。设地面气温为 20°C , 则相应的订正值可达 3°C , 这个订正,在大气热力学计算上是很重要的。在热带水分的经向梯度很大(见图 1.4), 因而虚温的经向梯度亦相当大,虽然热带的经向温度梯度较小(见图 1.4)。

纬向对称的水分分布亦是光滑的,它不能反映海-陆的差异。

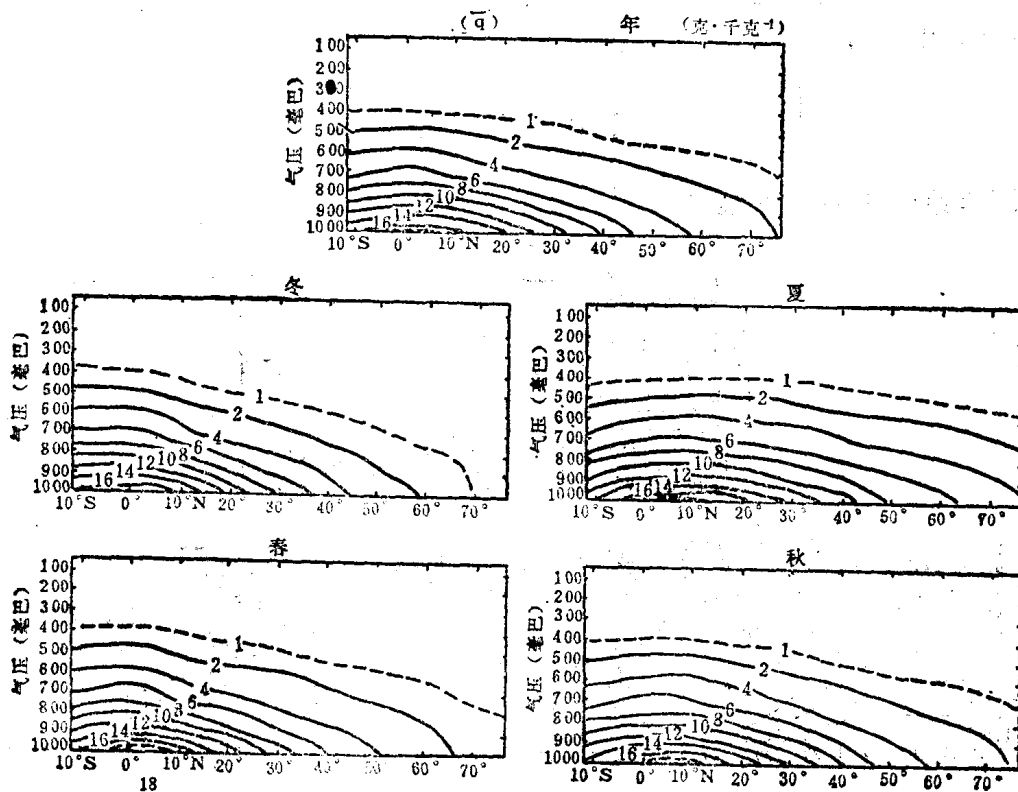


图 1.4 全年和各季平均比湿 $[\bar{q}]$ 的分布
(单位:克水汽/千克空气)

§ 1.6 由纬向对称环流引起的经向输送

众所周知, Hadley 环流对向极地的通量起着重要作用,这里拟对此加以说明。采用

Lorenz(1967)的记号,考虑变量 Q , 令

$$Q = \bar{Q} + Q'$$

此处 $\bar{Q}$ 是对时间的平均值, Q' 是对时间平均值的偏差。我们还可以写成

$$Q = [Q] + Q^*$$

此处 $[Q]$ 是沿纬圈的平均值, Q^* 是对纬圈平均值的偏差。利用上面两个关系式, Q 的总的经向输送量可写成下式:

$$[\overline{QV}] = [\bar{Q}] [\bar{V}] + [\overline{Q'}V'] + [\overline{Q^*V^*}]$$

总输送量 =

 由平均
经向环
流引起
的输送

 +

 由移动性
涡旋引起
的输送

 +

 由准静
止涡旋
引起的
输送

在表 1.1—1.5 中, 我们给出 1 月和 7 月以下几个物理量的经向输送量(根据 Oort 和 Rasmussen“1971”的结果):

- (i) 动量,
- (ii) 显热,
- (iii) 位能,
- (iv) 潜热,
- (v) 动能。

由上述三种过程所引起的输送, 采用下列字母表示:

- TE 移动性涡旋,
- SE 准静止涡旋,
- MMC 平均经圈环流。

这里只对北半球进行计算。对于热带大气来说, 我们比较关心赤道, 15°N 和 30°N 三处的输送量。在北半球冬季, 赤道到 30°N 之间的平均经圈环流特别强。我们注意到, 在赤道和 15°N 处, 平均经圈环流所引起的输送占有很大比重, 其中尤以显热、位能和潜热的输送最大。至于动量和动能的通量, 在 15°N 及更高纬度, 则由移动性涡旋所引起的输送开始变大了。在夏季, 赤道和 30°N 之间的 Hadley 环流圈相当弱。表 1.1—1.5 中由平均经圈环流所引起的输送仅在赤道上空占优势。

表 1.1 动量的经向输送*(单位: 米²·秒⁻²)

月 份	赤 道	15°	30°	45°	60°N
1 月					
TE	-0.1	3.4	13.3	11.2	2.8
SE	-0.7	0.1	4.6	0.9	-11.8
MMC	-0.8	4.9	-1.7	-2.3	0.5
7 月					
TE	1.4	1.1	4.4	7.2	-0.4
SE	0.7	2.5	3.1	0.3	-0.4
MMC	2.4	-0.2	-0.0	-0.9	-0.1

* 表中数值代表 1012.5 毫巴和 75 毫巴之间这一气层的平均数, 如将其换算成角动量输送单位, 则乘以 $(2\pi a^2 \cos^2 \phi)(p_0 - p_r)g^{-1}$ 。