



热带气象学

● 梁必骐等 编著

● 中山大学出版社

TROPICAL METEOROLOGY

热带气象学

梁必骐 王安宇 梁经萍 编著
吴池胜 冯志强

中山大学出版社

热带气象学

梁必骥等 编著

*

中山大学出版社出版发行
广东省新华书店经销
广州红旗印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 25印张 59.9万字

1990年12月第1版 1990年12月第1次印刷

印数1—1300册

ISBN7-306-00284-8

P·I 定价：5.60元

序

对比中高纬度气象学的研究，热带气象学是落后的，进展是缓慢的，但却是当前气象学界相当重要的前沿科研领域。

由于热带地区广阔，约占全球总面积的一半，其中海洋面积占了将近80%，加上处在热带地区国家的经济文化落后，气象观测资料稀少，使对热带气象的认识在本世纪40年代以前相当长的时期里一直停留在初浅的感性阶段。第二次世界大战至60年代，由于战争的需要和热带地区独立国家发展的要求，才对热带气象开始有了较多的研究。60年代以来，人们从提高天气预报的准确率和延长预报时效的要求出发，认为应重视海洋，特别是热带海洋的作用，因此在70年代相继进行了各种不同规模和不同科学目的的海气相互作用实验，特别是1979年的第一次全球大气研究实验，使人们对热带气象有了更全面、更系统的认识，从而真正认识到热带海洋对全球大气运动作用的重要性。

我国劳动人民早在一千年前已知道台风、季风现象，但有计划地进行热带气象研究是在解放以后开始的，特别是70年代以来相继开展了热带天气、台风、季风、华南暴雨等研究或实验，取得了大量的科研成果，并召开了多次热带气象学术会议。这些科研成果再一次强调了我国早在50年代提出的“海洋对天气、气候异常的作用”，并进一步强调海洋能源的重要作用，同时指出，从能量学观点看，研究大气运动的异常，首先要着眼于南亚和热带季风区的能源变化。

现在看来，热带海洋是全球大气运动的最重要的能源区和水汽源地。热带地区能量变化的明显反常将导致全球大气环流和天气、气候的异常，也就是将出现全球性大范围的冷、热、旱涝灾害。然而对其中一些问题，尚待深入研究。例如，为什么热带地区，特别是热带海洋地区的能源会发生大规模的反常？这种反常是通过怎样的机制传输给全球不同地区？是不是就是通过“不同尺度”、“南北半球”、“高低纬度”、“高低层”等相互作用来完成？而这些作用又是通过什么机制（如季风环流、哈得莱环流或沃克环流）来实现？

全球性天气、气候反常是否可能存在某些预警信号？比如大家熟知的厄尼诺现象发生前期的东太平洋赤道附近海温明显异常，可能是预警全球性气象灾害的信号。又如赤道平流层准两年变化中西风型的出现，也可能是预示某些反常气候出现的信号。在亚洲热带季风区也发现某些“信号”，如冬春青藏高原积雪、西南热带太平洋对流云、西北太平洋黑潮等等变化，都在一定程度上预示着来夏可能出现旱涝。

总之，近20多年来，热带气象的研究成果很多，提出有意义的问题也不少，应该有人进行总结。梁必骥教授根据他多年在热带地区的生活经验、工作实践和自己的系统研究成果，以及对国内外这方面进展认识的累积，从1974年起开始编著《热带天气学》教材，以后经过

多次进一步的修改补充；1989年又在原编著的《热带天气学》的基础上，增加篇幅，编著了国内第一本《热带气象学》。应该说这是一本内容丰富，重点明确，特色鲜明，系统性强，文字简炼，行文流畅，可读性很强的好书。可作为大专院校学生、研究生的教科书，也可作为科研人员和技术人员的参考书。同国外同类书籍相比，在内容和组织安排的系统性上，都有自己独到的特色。

目前大规模的 TOGA、WCRP、GARP 等研究实验正在全世界兴起，预计今后热带气象科研成果将更丰富、水平更高，并可能出现某些突破。希望作者及有兴趣的同行们，一方面密切注意国内外的进展动态，另一方面有重点地组织对某些热带气象课题进行研究突破，争取今后十年内再编著一本更高水平的《热带气象学》，为人类为国家做出更大的贡献。

中国科学院学部委员
中国气象学会热带气象学委员会主任

高由禧

1989年7月

前 言

热带气象学是当前气象学领域的重点研究方向之一。为了适应国内开展热带天气分析与预报以及热带天气研究的需要,作者于1974年开始,为中山大学大气科学系本科生开设了《热带天气学》课程,并编写了教材,后来又为研究生开设了《热带大气环流与系统》等课程,并长期从事这方面的科学研究。本书主要就是根据作者十余年来在教学实践和科学研究中所积累的资料和讲课教材改编而成的,其中也包括作者多年来在这方面的主要研究成果。在编写过程中,我们着重综合总结了国内外在70年代以来对热带气象研究的主要成果,力求能反映近二十年来热带气象学的最新进展。

全书共分十五章,重点阐述热带气象学的基本概念、原理和方法。第一章介绍了热带气象学的发展历史、研究内容和进展。第二至五章讲述热带大气动力学和热带大气环流的主要特征,其中包括季风环流和热带大气低频振荡的最新研究成果。第六至八章综述了热带主要大型环流系统,包括副热带高压、热带辐合带、热带东风急流、热带对流层高层槽和热带波动等。第九至十一章论述了热带气旋和主要热带涡旋(季风低压和中层气旋等)的活动规律和结构特征,及其发生发展机制,同时介绍了几种不同观点,以利开阔思路。第十二章讨论了热带地区的主要对流系统,包括热带云团、飑线、积云对流及其对大尺度运动的作用。第十三、十四章讨论了青藏高原和海洋对热带环流的影响。第十五章介绍了热带数值天气预报的主要模式和方法。

本书由以下人员分工撰写:第一章梁必骐,第二章梁经萍,第三章梁必骐、冯志强,第四章梁必骐、王安宇,第五至七章和九至十一章梁必骐,第八章吴池胜,第十二章梁经萍、梁必骐,第十三至十五章王安宇。全书各章节和内容的拟定以及最后定稿均由梁必骐负责。

在本书编写过程中,得到中山大学出版社和大气科学系以及南海海洋研究所学报编辑室的关心和支持。书稿完成后,承蒙中国科学院学部委员、中国气象学会热带气象学委员会主任高由禧教授审阅,并为本书作《序》。中国科学院大气物理研究所李崇银教授审阅了第五章,并提出宝贵意见。邹美恩、谭锐志、赵星平同志为部分章节的编写提供了资料。邹滨、蔡民、何雅琪等同志绘制了本书插图。温之平、谢鸿昆、杨荣前等同志协助作者做了许多具体工作。我们谨在此表示衷心的感谢。

鉴于我们所收集和掌握的文献资料有限,学识水平也有限,所以本书难免存在错误和不完善之处,欢迎读者批评指正。

作 者

1989年7月于中山大学

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 热带气象研究的意义.....	(1)
第二节 热带气象研究的历史.....	(1)
第三节 热带气象研究的内容和进展.....	(2)
一、热带大气环流的研究.....	(3)
二、热带天气系统的研究.....	(3)
三、热带天气分析和预报方法的研究.....	(4)
第四节 热带气象研究存在的问题和展望.....	(4)
第二章 热带大气特性和气象要素分布特征	(6)
第一节 热带大气运动系统的尺度特征.....	(6)
第二节 热带大气的动力学基本特征.....	(7)
一、热带大气运动的主要能源.....	(7)
二、热带大气的热力学特征.....	(8)
三、热带大气的动力学特征.....	(10)
第三节 热带平均温度场和湿度场.....	(11)
一、平均温度场.....	(11)
二、平均湿度场.....	(13)
三、信风逆温.....	(15)
第四节 热带地区的云和降水分布.....	(15)
参考文献.....	(20)
第三章 热带大气环流特征及其物理量收支	(21)
第一节 热带大气环流的基本特征.....	(21)
一、地面风系和平均环流特征.....	(21)
二、对流层高层平均大气环流特征.....	(23)
三、经向剖面平均环流特征.....	(25)
第二节 热带地区的平均垂直环流.....	(26)
一、经向垂直环流.....	(26)
二、纬向垂直环流.....	(29)
三、经向和纬向垂直环流的联系及其与大气冷热源的关系.....	(31)
第三节 热带大气环流的物理量收支.....	(34)

一、角动量收支	(34)
二、热量和水汽收支	(38)
第四节 大气能量的收支与转换	(43)
一、能量学基本方程	(43)
二、大气环流中的能量循环	(46)
参考文献	(49)
第四章 季风环流	(50)
第一节 季风的定义和地理分布	(50)
第二节 季风的成因和季风环流系统的配置	(51)
一、驱动季风的海陆热力差异	(54)
二、大地形的热力和动力作用	(54)
三、南北半球环流的相互作用及季风环流系统的配置	(56)
第三节 冬季风环流	(57)
一、冬季风的建立	(58)
二、东北季风的变动和南海冷涌	(58)
三、冬季风对南海积云对流和天气的影响	(61)
第四节 夏季风环流	(62)
一、夏季风的爆发和建立	(63)
二、夏季风的进退与雨季的起讫	(64)
三、夏季风的活跃与中断	(65)
第五节 中国的热带季风及其对天气的影响	(66)
一、影响中国的热带夏季风来源及其活动特点	(66)
二、南海热源结构及其对季风环流的作用	(67)
三、中国南方夏季降水的水汽来源和水汽输送	(67)
参考文献	(72)
第五章 热带大气低频振荡	(73)
第一节 热带大气中的低频变化及其时空分布	(73)
第二节 热带大气低频振荡的基本特征	(74)
一、低频振荡的波谱特征	(77)
二、低频波的传播特征	(78)
三、热带低频振荡的结构特征	(79)
第三节 大气低频振荡的能量平衡和可能机制	(87)
一、低频振荡的能量平衡	(87)
二、30—60天周期振荡的可能机制	(88)
第四节 大气低频振荡与遥相关和 ENSO 事件的关系	(90)
一、大气遥相关和遥响应	(90)
二、大圆理论	(92)
三、低频遥相关及其活动波列	(94)

四、大气低频振荡与 ENSO 事件的关系·····	(95)
参考文献·····	(96)
第六章 低纬度行星尺度环流系统·····	(98)
第一节 副热带西风急流·····	(98)
第二节 热带东风急流·····	(101)
一、热带东风急流的气候学特征·····	(101)
二、热带东风急流的结构·····	(102)
三、热带东风急流对台风发生发展的作用·····	(104)
第三节 热带对流层高层槽和高空冷涡·····	(107)
一、热带对流层高层槽·····	(107)
二、热带高空冷涡·····	(110)
第四节 副热带高压·····	(112)
一、副热带高压概述·····	(113)
二、副热带高压的形成与维持·····	(113)
三、副热带高压的结构·····	(114)
四、西太平洋高压的变动及其对天气的影响·····	(116)
五、南海高压及其对天气的影响·····	(120)
参考文献·····	(123)
第七章 热带对流层中低层大型环流系统·····	(124)
第一节 热带辐合带·····	(124)
一、热带辐合带的一般特征·····	(124)
二、热带辐合带的活动规律·····	(128)
三、热带辐合带的结构和天气·····	(131)
四、热带辐合带的演变和形成机制·····	(135)
五、热带辐合带与热带气旋活动的关系·····	(136)
第二节 越赤道气流·····	(137)
一、越赤道气流的通道·····	(137)
二、西印度洋和南海的越赤道气流·····	(138)
三、越赤道气流与季风和热带气旋的关系·····	(141)
第三节 对流层低空急流·····	(142)
一、低空急流活动概况·····	(142)
二、华南低空急流的结构和特性·····	(143)
三、低空急流的形成和维持·····	(145)
四、华南低空急流对暴雨的作用·····	(146)
第四节 赤道缓冲带和赤道反气旋·····	(147)
一、赤道缓冲带和赤道反气旋的一般特征·····	(147)
二、赤道缓冲带和赤道反气旋的演变过程·····	(148)
三、南海赤道反气旋的结构·····	(151)

四、赤道反气旋的活动对热带气旋和夏季风的影响·····	(153)
参考文献·····	(154)
第八章 热带波动 ·····	(156)
第一节 热带波动的波谱特征·····	(156)
第二节 东风波天气模式·····	(158)
一、经典东风波模式·····	(158)
二、非调波动·····	(159)
三、太平洋东风波·····	(161)
四、影响我国的东风波·····	(161)
第三节 东风波的形成机制·····	(165)
一、波动的能量学特征·····	(165)
二、东风扰动的启动机制·····	(167)
第四节 热带平流层波动·····	(172)
一、观测事实·····	(172)
二、热带波动的线性模式·····	(176)
参考文献·····	(180)
第九章 热带气旋的活动规律和天气 ·····	(182)
第一节 热带气旋的分类及其统计特征·····	(182)
一、热带气旋的定义和分类·····	(182)
二、全球台风活动概况·····	(183)
三、台风的源地·····	(186)
四、台风的尺度和强度·····	(187)
五、登陆我国的台风·····	(189)
第二节 台风的移动及其预报·····	(190)
一、台风移动的基本路径·····	(190)
二、影响台风移动的物理因子·····	(191)
三、大型环流的调整对台风移动的影响·····	(199)
四、台风路径的预报·····	(205)
五、台风的异常路径及其诊断·····	(208)
第三节 台风天气及其强对流系统·····	(211)
一、台风暴雨·····	(211)
二、台风大风·····	(212)
三、台风中的强对流系统·····	(213)
四、台风暴潮·····	(216)
第四节 南海台风和孟加拉湾风暴·····	(217)
一、南海台风活动的气候特征·····	(217)
二、南海台风的结构和天气·····	(219)
三、南海发展与不发展低压的对比分析·····	(222)

四、孟加拉湾风暴及其对我国天气的影响	(225)
参考文献	(228)
第十章 热带气旋的结构和形成机制	(229)
第一节 热带气旋的结构	(229)
一、台风结构的基本特征	(229)
二、台风温压场	(230)
三、台风流场	(234)
四、台风眼	(235)
五、台风云墙和螺旋云带	(237)
六、成熟热带气旋的综合结构模式	(239)
第二节 台风形成的基本条件	(240)
一、热带扰动的存在与台风发生发展的关系	(241)
二、暖洋面和位势不稳定与台风发生发展的关系	(242)
三、纬度因子与台风发生发展的关系	(242)
四、风速垂直切变与台风发生发展的关系	(243)
五、高空辐散场与台风发生发展的关系	(243)
第三节 台风发生发展的物理过程和形成理论	(245)
一、台风形成和消亡的物理过程	(246)
二、CISK 和台风发展理论	(249)
三、积云动量垂直输送在台风发展中的作用	(252)
第四节 热带气旋中的物理量收支	(252)
一、台风边界层的热量、水汽和动量输送	(253)
二、热带气旋的能量平衡	(255)
三、热带气旋中的角动量输送	(258)
第五节 热带气旋的数值模拟	(260)
参考文献	(263)
第十一章 热带涡旋扰动	(265)
第一节 热带扰动概述	(265)
第二节 季风低压的活动和结构	(267)
一、孟加拉湾季风低压	(267)
二、南海季风低压	(270)
三、南海季风低压与孟加拉湾季风低压的特征比较	(273)
第三节 季风低压的能量学和动力学机制	(274)
一、概述	(274)
二、季风低压发展过程中的涡度平衡	(275)
三、季风低压的动能收支	(276)
四、季风低压发生发展的动力学诊断	(278)
第四节 对流层中层气旋	(286)

一、东北太平洋的副热带气旋	(286)
二、阿拉伯海气旋	(287)
三、南海中层气旋	(288)
四、中层气旋的形成机制	(291)
参考文献	(293)
第十二章 热带云团和局地对流系统	(294)
第一节 热带云团	(294)
一、云团的统计特征	(294)
二、云团的分类	(295)
三、热带云团的结构	(296)
四、云团的发展及其与环流系统的关系	(298)
第二节 热带飚线	(298)
一、热带飚线的定义和活动特点	(298)
二、热带飚线的形成和演变过程	(299)
三、热带飚线中的气流和结构	(300)
四、热带飚线和中纬度飚线的特征比较	(302)
第三节 积云对流加热及其参数化	(303)
一、“热塔”和“冷塔”概念	(303)
二、云温差方案	(304)
三、水汽辐合方案	(305)
四、对流调整方案	(307)
五、Arakawa-Schubert 参数化方案	(308)
第四节 积云对流的垂直输送及其对大尺度运动的作用	(309)
一、积云对流对大尺度水热场的作用	(309)
二、积云对流对大尺度运动场的影响	(310)
三、用云模式诊断积云的垂直输送作用	(313)
参考文献	(316)
第十三章 青藏高原对热带环流的影响	(317)
第一节 青藏高原加热作用对热带垂直环流的影响	(317)
一、夏季	(317)
二、冬季	(319)
第二节 青藏高原对南亚高压形成的作用	(321)
一、南亚高压的平均结构	(321)
二、青藏高原对南亚高压形成的作用	(322)
三、南亚高压对北半球夏季热带对流层高层环流的影响	(325)
第三节 青藏高原对热带季风的影响	(326)
一、青藏高原加热对季风建立和发展的影响	(327)
二、青藏高原地区环流日变化对季风发展的影响	(330)

第四节	青藏高原对冬季热带水平环流的影响	(331)
一、	青藏高原对亚洲冬季地面冷高压的影响	(331)
二、	青藏高原对西风带的绕流作用	(331)
三、	青藏高原对东亚大槽形成的作用	(331)
四、	青藏高原对平流层太平洋高压发展的影响	(331)
	参考文献	(334)
第十四章	热带海洋与大气的相互作用	(335)
第一节	南方涛动与 Walker 环流	(335)
一、	南方涛动	(335)
二、	Walker环流	(339)
三、	南方涛动、Walker环流与赤道海面温度变化的关系	(339)
第二节	厄尼诺与 ENSO 事件	(340)
第三节	季风区的海气相互作用	(348)
一、	季风对阿拉伯海海温和洋流的影响	(348)
二、	热带印度洋海面温度变化对环流的影响	(349)
第四节	热带海气作用与中纬度环流的遥相关	(351)
一、	海温距平场	(352)
二、	海平面气压 (SLP)距平场	(353)
三、	风场、位势高度场和温度场距平场	(353)
第五节	热带海洋对大气环流作用的数值模拟	(356)
一、	大气环流模式和数值模拟方案	(357)
二、	数值模拟结果	(357)
三、	数值模拟的不足之处	(361)
	参考文献	(361)
第十五章	热带数值天气预报	(363)
第一节	概述	(363)
第二节	正压模式	(363)
一、	SANBAR模式	(364)
二、	快速SANBAR模式	(366)
第三节	多层原始方程模式	(371)
一、	模式的坐标系和基本方程	(371)
二、	模式的边界条件和差分格式	(372)
三、	模式中的物理过程	(373)
四、	模式的初值化	(377)
五、	模式的预报实例	(378)
第四节	可移动的套网格模式 (MFM)	(380)
	参考文献	(382)

第一章 绪 论

第一节 热带气象研究的意义

我国的幅员辽阔，地跨中、低纬度，既受中高纬度西风带天气系统影响，也直接受低纬度东风带天气系统的影响。因此，我们不但要了解和研究中高纬度，而且必须了解和研究低纬大气环流和天气。

热带通常是指 30°N — 30°S 之间的地区，但不同的学科有不同的划分标准。如地理学是以回归线为界，把南北回归线所包括的地区(23.5°N — 23.5°S)称为热带；气候学一般把南、北纬 30° 之间的地区划为热带；天气学则是从热带天气系统活动及其对天气影响的角度来划分的。一般来说，副热带高压脊线可作为东、西风的分界线，这也就是天气学的低纬度和中高纬度的分界线。就北半球而言，在冬季，该分界线大约位于 15°N 附近，这时在我国除华南地区外，一般不受热带天气系统的影响；在夏季，分界线北移到 35°N 附近，我国长江流域及其以南地区，甚至北方沿海地区都可直接受到热带天气系统的影响。例如，每年夏秋登陆的台风带来狂风暴雨；太平洋副热带高压的异常变动常使我国广大地区造成严重的旱涝；还有热带辐合带、东风波、云团等热带天气系统直接影响华南一带的天气。所以，从国家经济建设和国防建设的需要，必须深入研究热带环流和系统及其对天气的影响。

我们知道，大气环流和天气过程是相互联系和相互制约的。热带大气环流是全球大气环流不可分割的重要组成部分。由于热带地区 (30°N — 30°S) 占全球面积的一半，其中热带海洋约占 $3/4$ ，大气的质量、热量和水汽的相当大部分都集中于这一地区，所以热带是全球大气运动的热量、动量和水汽的主要源地。另外，热带大气的热力和动力特性以及环流系统的活动规律都与中高纬度大气和系统有着明显的差异，如果不加区别地把中高纬度天气学的观点和方法机械地搬用于热带，必然会导致天气预报的失败。正是由于它们是相互联系和相互制约的，又是相互有着本质区别的，所以对于热带大气环流和系统的了解，必将促进我们对整个大气环流和天气的更深入、更全面的了解，有助于全球数值天气预报水平的提高。正因此，不仅地处低纬度的国家，即使地处中高纬度的国家在考虑较长时效的天气预报时，也不能忽视热带大气的作用。所以，近年来，国内外都把热带气象的研究放到十分重要的地位。

第二节 热带气象研究的历史

热带气象学是随着生产发展的需要而逐步发展起来的。在热带地区，由于洋面广阔，而

海洋上测站稀少，资料缺乏，这就使开展热带气象的研究甚为困难，因此人们对这一地区天气的研究远不如对中高纬度地区天气的研究那样广泛、深入。第二次世界大战以前，在生产落后的热带地区，气象学的研究基本上未能开展。在第二次世界大战中，由于战争的需要，有一些国家集中人力开始了热带气象的研究工作。战后，亚非热带地区的许多国家先后独立。在这些新兴国家中，由于航空交通的发展，高空观测站日益增多，天气预报愈益加强，因而有关热带天象的研究才有了较大的进展。

60年代以来，由于生产发展和国防军事的需要，加上现代科学技术的应用，进一步推动了热带气象的研究。气象卫星和电子计算机的应用，以及资料加工技术的不断革新，为详细、客观地探测和研究热带大气运动及其发展规律提供了可能条件。通过气象卫星探测和多次热带气象试验，发现了一连串新的事实，使得热带气象研究极为活跃，热带气象学术会议频繁地举行，热带气象研究机构也陆续建立。近年来，除全球大气研究计划第一次全球试验(FGGE)外，在热带地区进行的国际性大规模热带气象考察主要有：国际印度洋探险(IIOE, 1963—1965年)，莱恩群岛试验(LIE, 1967)，大西洋信风试验(ATEX, 1969年)，巴巴多斯海洋和气象试验(BOMEX, 1969年)，大西洋热带试验(GATE, 1974年)，气团变性试验(AMTEX, 1974—1975年)，季风试验(MONEX, 1979年)。此外，美国开展了人工控制台风的试验，东亚地区进行了台风业务试验(TOPEX, 1981—1983年)。这些试验以及正在实施的全球大气研究计划(GARP)、世界气候计划(WCP)和热带海洋全球大气试验(TOGA)为热带气象研究提供了丰富的资料，它必将大大促进热带气象研究的深入开展，而使之进入一个崭新的阶段。实际上，热带气象学已成为当前气象学研究中最为活跃的分支之一。

我国大约早在1000年前，在一些史书和地方志上就有关于“台风”和“飓风”的记载。对于台风的研究和预报工作也开展较早。但对台风和热带气象的广泛研究，主要是70年代以后才逐步开展起来的，尤其是近年来在这方面的研究有了很大的进展。气象台站更广泛地建立了台风预报业务，一些气象台开展了台风路径客观预报工作，中央气象台和广东省气象台还建立了热带天气图分析的日常工作，并已着手开展热带数值天气预报工作。我国自己设计的卫星云图接收设备的广泛应用，以及沿海台风雷达探测网的建立，更为我国热带气象研究提供了有利条件。1977—1980年开展的华南前汛期暴雨实验研究和1979年进行的青藏高原气象科学实验，是我国在低纬地区进行的两次较大规模的气象试验。近十年来，我国不仅继续对台风进行了深入研究，而且对热带气象的许多方面也广泛地进行了专题研究，已在热带大气环流中期变动、台风和热带环流系统、季风、华南暴雨和热带数值预报等方面取得大量有意义的研究成果，这些成果初步填补了我国在热带气象研究方面的空白。

此外，我国在上海、广州等地先后建立了有关台风和热带气象研究的机构，中山大学等有关高等院校加强了对热带气象高级人才的培养。这些都为进一步深入开展热带气象研究创造了条件。目前，我国对热带气象的研究工作正在更广泛、更深入地开展。

第三节 热带气象学研究和进展

热带气象学的研究，主要包括热带大气环流、热带天气系统以及热带天气分析和预报等

天气学和动力学方面的内容。近年来，由于热带天气预报和中高纬度天气预报时效延长的需要，加之探测技术的发展、热带气象实验的开展和资料显著增多，使得对热带气象的研究有了明显的进展。

一、热带大气环流的研究

随着高空资料的增多，人们发现热带大气环流并不是简单的单环模式，也不完全是纬向对称的，而是具有强烈的区域性特点，存在着很不均匀的大尺度风系，例如高空东风急流、副热带急流、副热带高压、热带辐合带、季风环流等。这些大尺度风系的结构、形成、变动及其机制，都是热带环流本身要研究的问题。热带大气环流对全球大气运动的作用，其中包括中低纬环流的相互作用、南北半球环流的相互作用、高低层环流的相互作用以及海气相互作用等，都是重要的研究内容。尤其是热带大气低频变化和遥相关问题，更是近年来引人注目的研究课题。上述问题的研究，对于中长期天气预报是非常重要的。

近年来，热带大气环流研究的主要进展表现在以下几个方面：首先是关于热带大气环流对全球环流作用的了解。观测发现，在赤道槽区常有高达十几公里的塔状积云发展，据估计，如果在热带海洋上有2 000个直径5km左右的积云“热塔”，就可以把积云凝结潜热带到热带高空，并通过高空扰动向中高纬度输送，从而维持那里的大气运动。其次，对于副热带急流、东风急流、热带辐合带等大尺度纬圈风系的结构及它们的相互影响，已有了比较清楚的了解，对热带辐合带的动力学研究也有较大进展。第三，对于季风环流的结构及其变动机制有了新的认识，尤其是对东亚夏季风和南海冬季风的研究有了新的进展。第四，对热带与中高纬度环流相互作用和海气相互作用的研究取得了明显的进展。近年来通过集中对热带大气低频变化和遥相关与 ENSO（厄尼诺和南方涛动）现象的研究，揭露了许多新的观测事实，提出了一些理论解释。此外，对热带大气热源及其作用、热带环流的数值模拟以及热带平流层大气环流等方面的研究都取得了新的成果和进展。

二、热带天气系统的研究

在热带和副热带的纬圈风系上，叠加着各种尺度的天气系统，除了行星尺度的风系外，还有天气尺度的热带气旋¹⁾、东风波、季风扰动，中尺度的积云群，小尺度的对流单体等。热带气象学研究的一个重要课题，就是研究这些热带天气系统的热力、动力结构，它们的发生发展机制和运动规律，以及这些不同尺度系统之间的相互作用。

人们借助日益增多的观测资料和卫星资料的分析，对热带天气系统的特点已有了进一步的认识，特别是对于热带气旋的源地、结构、活动规律和发生发展机制有了更深入的了解，并提出了一些更符合实际的天气学模式。通过气象卫星观测和多次热带气象考察，又发现了一些

1)从1989年开始，我国中央气象台已采用国际统一标准发布热带气旋的预报（分类标准见第九章），考虑到习惯用语，本书仍袭用过去的分类名称，书中的台风或热带风暴包括现行分类中的热带风暴和强热带风暴，强台风或飓风即相当新分类中的台风（或飓风）。

新的热带波动和扰动。应用数值模式成功地模拟出热带气旋等热带天气系统的结构和发展过程，进一步了解了热带系统的结构特征和物理过程。对于热带扰动发生发展的理论研究也取得了新进展。例如，积云对流参数化和第二类条件不稳定理论（CISK）的提出，开创了台风动力学研究，对于了解热带扰动发生发展机制具有十分重要意义。近年来对 CISK 的进一步研究和积云动量垂直输送理论的提出，是这方面的新发展。至于热带地区不同尺度系统相互作用的研究，尤其是对积云对流作用的研究也获得可喜的进展。在这方面的数值试验也取得了许多新的研究成果。

三、热带天气分析和预报方法的研究

在中高纬度地区，根据准地转理论，已建立一套普遍适用的天气分析方法，提出了许多可作天气预报依据的天气学模式。但在热带地区不存在简单的地转关系，至今还没有一套众所公认的天气分析方法，也缺乏合适的成熟天气模式，加上热带扰动的变化振幅较小，而天气变化快，所以热带地区的天气预报比中高纬度更困难。正因此，急需研究一套适合于热带地区的天气分析方法和具有普遍概括能力的天气学模式。

同中高纬度相比，热带天气分析和预报的进展是相应缓慢的。在天气分析上的进展主要表现在新技术的应用，特别是卫星探测资料和计算机技术的广泛应用，为热带天气分析和预报的改进开辟了广阔前景。例如，一些国家对天气图的人工分析和资料处理已为机器所取代，既准确又迅速。另外，通过综合利用各种天气资料和诊断分析，已概括出一些可供天气预报参考的天气学模式。热带数值模拟和数值预报也取得相当的成就，一些国家已建立热带数值天气预报业务，多层模式在热带地区的效能也已开始试验。

第四节 热带气象研究存在的问题和展望

近年来，热带气象学发展迅速，这方面的研究已取得很大进展，但也存在一些尚待解决的问题。例如：① 资料仍然缺乏，虽然气象卫星探测提供了大量热带气象资料，但现在仍难于获得广大热带海洋地区三度空间的温、压、风资料；② 热带天气分析仍没有一套普遍适用的方法，同时也没有合适的有普遍概括能力的热带天气模式，因而对热带天气的认识和预报都是不完全的、困难的；③ 对热带大气运动的动力学研究还是初步的，虽然这方面已取得一些进展，但目前对热带大气运动特点和规律仍不很清楚，对热带系统发生发展机制也存在不同认识，对热带大气有重要影响的边界层作用更研究不多。

展望未来，热带气象资料将日益增多，随着加工技术（如资料同化技术等）的改进，FGGE 资料将获得进一步处理和分析，正在进行的 GARP、WCRP、TOGA 计划和试验将提供更丰富的资料。通过同步气象卫星观测及其探测能力和资料处理能力的提高，将从云的运动间接获得更广泛的风场资料和温、湿度垂直分布资料。资料条件的改善，将促进热带气象学的研究，为建立适用的热带天气分析方法和天气模式创造了条件。

今后的研究方向是：低纬度不同尺度运动之间的相互作用，尤其是积云对流的作用及其