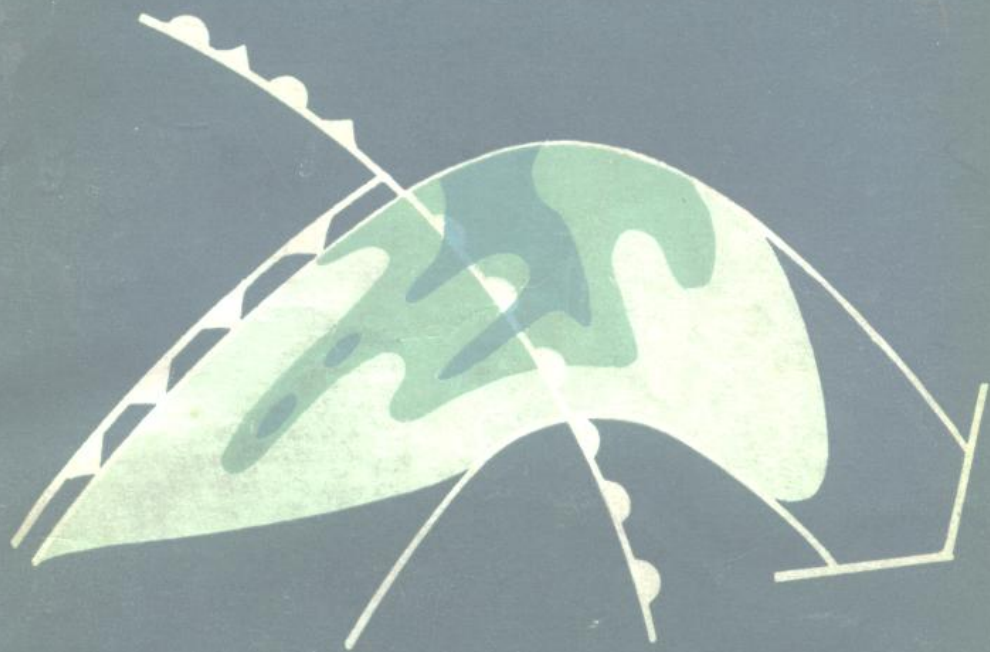




大气 中尺度 环流

〔美〕B. W. 阿特金森

气象出版社

大气中尺度环流

[英]B.W.阿特金森著

《大气中尺度环流》翻译组译校

气象出版社

内 容 简 介

本书是一部全面论述中尺度气象学的著作。它系统地介绍了近三十年来关于中尺度环流研究的成就。包括从下垫面引起的中尺度环流(背风波、下坡风、尾流、海陆风和山谷风等)到自由大气中的中尺度系统(重力波、局地强风暴以及气旋内的中尺度环流等),内容涉及到中尺度系统的各个领域。全书共分十章,每章都有四个部分(定性概述、观测事实、理论研究和实验室模拟)组成,并在其后附有大量参考文献。

本书可供高等院校有关气象专业师生、科研工作者和气象台、站人员学习参考。对于从事甚短期和现时预报的工作人员更是一本很好的参考书。

B.W. ATKINSON

Meso-scale Atmospheric Circulations

ACADEMIC PRESS

1981

*

大气中尺度环流

《大气中尺度环流》

翻 译 组 译 校

责任编辑 康文骅

*

气象出版社 出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京昌平环球科技印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 15.75 字数: 406千字

1987年12月第一版 1987年12月第一次印刷

印数: 1—1300

统一书号: 13194·0391 定价: 4.40元

译 者 的 话

中尺度气象学是近年来发展较快的一个气象学分支。许多国家相继开展了耗资巨大的中尺度观测试验，揭露了许多有意义的事实，推动了理论研究工作。日益发展的中尺度研究和实践工作迫切要求较为系统地介绍中尺度气象的有关知识。B.W. Atkinson的《大气中尺度环流》是近年来这方面比较全面的书。它收集了较为齐全的文献与资料，并对理论与观测事实都给了足够的重视和充分的讨论。作为入门者和研究者都可从中得到益处。

中尺度气象所涉及的许多系统如暴雨、大风、冰雹和龙卷等都是公认的重大灾害性天气。这些系统也是近年来新兴起的现时预报(Nowcasting)和甚短期(0—12小时)预报的主要对象。从理论上说，中尺度系统介于静力与非静力平衡两大运动系统之间，波的频谱宽，具有一定的复杂性，也是中尺度天气至今尚无明确而完善的定义的原因。此外，由于中尺度系统出现频率不高且有非静力平衡性质，又不易被常规观测网所捕捉。因此对它的研究和预报都带来很大的困难。本书从观测、实验和理论方面对上述这些问题的发展状况都作了详细的回顾和介绍，对于进一步深入这方面的研究将起到促进作用。

由于定义的选取不一，作者认为有一些天气尺度系统里的中尺度结构，(例如锋面结构、低空急流、城市气象等)不属于中尺度气象而忽略了，但这种结构往往与中尺度天气关系十分密切，而且这种结构的中尺度分析告诉我们，它可能与一般中尺度系统受同样因子所支配，许多国家的学者都认为可属于中尺度气象的范畴。另一方面，大多数学者认为几公里尺度的积云在实用与理论上都应属于中尺度的范畴，它在对流泡与强风暴云中起承

上启下的作用。忽略上述这两个方面，对中尺度气象学的全面性来说是很可惜的。

本书对地形与下垫面状态引起的中尺度环流讨论较为详尽，对背风波、下坡风与地形尾流都有专节讨论。但把这三者作为一个统一的观点来考察尚嫌不够。局地强风暴本应是中尺度气象学的一个重点，近年观测与理论发展较快，在本书中也有较多讨论。本书对中尺度气象的一个基础部分——重力波有专章介绍，写得不错，但对另一个基础工作，即对流理论的介绍却稍嫌不够。

我国地形复杂，又处在东亚季风区，是一个中尺度天气系统极其活跃的地区，大量工作有待开发。这方面除观测工作要按照财力逐步提高外，在全国各地开展数值模拟试验是一条重要而又可行的途径，因为在八十年代的今天，计算机已相当普遍，计算数学有较大发展，地球物理学因为不能做实验而不易提高的问题也因可用数值实验而部分地得到解决。这本书在这一方面作了介绍，可供借鉴。但又不够详尽，仍需进一步工作。

本章的翻译工作具体由下述同志承担：序言，孙淑清；第一章，周晓平，孙淑清；第二、七章，赵思雄；第三章，刘苏红；第四、六章，孙淑清；第五、十章，方宗义；第八、九章，蔡则伦。总校，丁一汇。

序

同几乎所有其他科学一样，对大气的研究在过去三十年中十分活跃。当然对地球大气的气象学研究也发展迅速，旨在阐明其特征尺度从几毫米到全球尺度的整个大气环流系列。包含各种尺度运动的谱是非常宽的，这促使人们的兴趣从熟知的中纬度天气系统转移到更大和更小的系统——即大气环流和中尺度环流上去。在近三十年中，这两个课题已成为气象研究中日益重要的角色，而且看来在未来十年中仍然如此。

中尺度气象学是在本世纪的五十年代初期开始这样称呼的。从那以后，大量的文献使得它的学科分支范围、研究的侧重点以及构成中尺度气象学主要课题的环流本质等各个方面已趋定型。然而研究成果是如此的层出不穷，使我们还未能对中尺度大气环流的了解综合成全面的认识，这同我们对天气尺度和微尺度环流的完善的认识是迥然不同的。按照日益增长的对中尺度环流重要性的认识，在以后十年会涌现出一批新的文献，并且无疑要消化它们将变得越发困难，因此在这以前先记录下过去的成就看起来是明智的。对于我们现有的关于中尺度大气环流知识的这样一种回顾就是本书的宗旨。本书的范围是有意加以限制的，在本书中只包括那些本质上是中尺度的环流，而不包括一般具有不同尺度但是在适当的强迫力下又可以属于中尺度的环流。类似地，在题目前冠有“中尺度”前缀的研究工作也略去了。因为这些文章只是给我们对较大尺度系统的知识增加一些更多细节，而不是提供真正的中尺度系统的资料。他们的结果更多决定于中尺度观测分辨率而不是中尺度大气结构。应用这些密切有关的取材标准就意味着本书包括诸如低空急流、锋面、飑线、都市环流、晴空湍流

和开尔文-赫姆霍兹波等类环流。这种对环流的限制是由于我们确信大气运动对所有的天气和气候学是最根本的，这与动力气象的中心思想是一致的。这样限制的结果对标量气象要素，诸如构成城市气象学的大多数要素的中尺度研究，本书就没有涉及，除非它们对了解气流有所帮助。最后，本书也没有包括某些环流（如热带云团），因为在写此书时它们刚被发现，因此还没有很好了解。

本书包括三个部分：第一部分包括一个关于中尺度的引言性的章节；第二部分讨论了地表引起的环流；第三部分则是关于自由大气的环流。当然大气环流最终都受地表的影响，所以第二部分就讨论那些地表变化引起的结果，如海陆间热力差异引起的海风，空气过山引起的背风波。其他一些系统如由中尺度胞状对流产生的系统，其起源得归因于来自明显的均匀面（如海洋）的热量输送。但是它们不同的形态学和动力学是由于大气特征引起而不是由地形差异引起。因此关于浅薄细胞对流一章就放在本书的第三部分。我们应注意，地形引起的系统不一定是边界层系统。

在第二和第三部分中又都包含了机械和热力引起的环流。在所有章节的标题中省去了不必要的词。因而，比如第三章中的下坡风应理解为既是中尺度的又是由地形的机械作用引起的。类似的，在第九章中所描述的则是中尺度对流性并且发生在自由大气之中的环流。但是，我们应注意到，虽然本书所述的环流本质上是中尺度的，但有些环流，如气旋（第十章）和尾流区（第四章）仍可以不是中尺度的。这种环流在本书中没有讨论。

不论哪一章，只要可能，都以类似的四个部分组成。按次序包括：特定环流机制的定性说明，接着是观测，理论和实验室模拟等研究的评述。在观测和理论这两节中，力图给出协调一致的表达方式。在理论讨论部分，相当充分地给出解析结果，而数值研究的物理和数学的处理细节则作了一些必要的缩减。在理论结果的介绍中，应用解说的方式，以便使理论的发展和改进较容易理

解，当然大部分理论结果最终是由热力学和动力学方程导出的。

在写这本书的整个过程中，我头脑中一直认为这本书是很需要的。在我涉猎文献堆时，的确几乎没有发现这类很有用的出版物，即综合而深入的评论文章。因而在本书的范围和组织方面很少借助于别的评论者的工作。本书中查阅到并具体引用的大量文献大部分是英文的，但是有一部分是德国的、法国的、挪威的、西班牙、苏联以及日本的文献。引证的绝大部分文献是在1950年以后的。但在适当之处，我一直追溯到十九世纪。为了力图给出一个首尾一贯的图象，我把所有的单位都遵照气象中公认的公制进行了标准化。

我最感谢布拉克内尔 (Bracknell) 气象局 (即英国气象局——译者注) 的 A.A.White 博士，他仔细地阅读了一些章节并提出了有益的建议。作为乐于讨论产生于我头脑中的某些问题，气象局的 A.J.Gadd 博士和 P.A.White 博士和伦敦帝国理工学院的 J.S.A.Green 博士和 M.W.Moncrieff 博士也帮助了我，即使他们并没有意识到这一点。图表是由玛丽女王学院中的制图组制作的，主要是 L.Cooper-Grundy, R.Hines, G.McCarthy, S.pratt 和 D.Shewan 所作。照片工作由 P.A.Newman 承担。手稿由 L.Agombar 小姐和 M.Putt 小姐打字。对所有这些技术性的协助我皆表示衷心感谢。

伦 敦 大 学
玛丽女王学院

B.W.阿特金森
1981年1月

符 号 表

下面是本书常用的符号表。其他符号已在本书中第一次出现时作了定义。

c	空气中的声速, 除非有别的规定
C	环流
c_p, c_v	定压比热和定容比热
f	科氏参数
$F_{x,y,z}$	在 x, y, z 方向的单位质量的摩擦力
F_r	弗劳德数
g	重力加速度
i	$(-1)^{1/2}$
k	波数, 除非有别的规定
k_e	热传导数
k_f	戈德曼-莫恩(Goldman-Mohn)表示法 (ku) 中表示摩擦力的常数
k_v	冯·卡曼常数
$K_{x,y,z,n}^H$	在 x, y, z, n 方向上热量的涡动扩散
$K_{x,y,z,n}^M$	x, y, z 和 n 方向上动量湍流输送的涡动粘滞或交换系数
$K_{x,y,z,n}^w$	x, y, z 和 n 方向上水的涡动扩散
L	一种特征长度; 边界长
$L_{v,w}$	蒸发潜热
N	布伦特-维赛拉频率
p	大气压力
P_r	普朗特数

P_x, P_y	大尺度气压梯度力分量
q	空气比湿
q_r	水汽混合比
q_w	空气的液态水含量
Q	热量
R	比气体常数
Ra	雷利数
Re	雷诺数
Ri	理查孙数
$Real$	某数的实部
St	斯特劳哈尔数
t	时间
T	绝对温度, 周期
u	沿x轴空气速度分量
u_g	沿x轴地转风速分量
u_*	摩擦速度
U	一种代表性风速
v	沿y轴的空气速度分量
v_g	沿y轴的地转风速分量
w	沿z轴的空气风速分量; 任何其他指定的方向
x	笛卡尔坐标的距离; 在切向平面中全球尺度的向东的坐标; 任何其他指定的方向
y	笛卡尔坐标的距离; 全球尺度中为向北坐标; 任何其他指定的方向
z	笛卡尔坐标的距离; 切向平面系统中的垂直距离; 指定资料基点以上的高度
$\sim$	量级
$\approx$	近似等于
α	热扩张系数, 角

β	定义成 $\left(\frac{1}{\theta}\right)\left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)$ 的稳定度系数, 林氏参数
γ	温度递减率, 等压和等容比热容量的比值
Γ	绝热垂直温度递减率(如有下标 d 表示干绝热, 下标 s 表示饱和绝热)
ζ	一条流线对其非扰动位置的位移, 围绕垂直方向的相对涡度
η	绕 y 轴的相对涡度的侧向分量
θ	位温, 角
λ	波长
ν	运动粘滞性
ξ	绕 x 轴的相对涡度的侧向分量
ρ	空气密度
σ	斯蒂芬-波尔兹曼常数
ϕ	纬度, (y, z) 平面的流函数
ψ	(x, z) 平面的流函数
Ω	地球旋转角速度

目 录

译者的话

序言

符号表

第一部分 绪 言

第一章 中尺度	1
I. 引言	1
II. 观测事实	1
III. 理论	11
参考文献	21

第二部分 地形引起的环流 (一)

(机械作用引起的环流)

第二章 背风波	23
I. 引言	23
背风波的一般机制	24
II. 观测事实	26
A. 波的特征	28
B. 适合于产生波的大气条件	37
III. 理论	39
A. 小振幅理论	40
B. 大振幅理论	67
IV. 实验室模拟	69
V. 背风波对动量的输送	72
参考文献	77
第三章 下坡风	81

I. 引言	81
II. 观测事实	85
A. 地面特征	85
B. 气候特征	88
C. 下坡风的天气学背景	91
D. 结束语	93
III. 理论	94
IV. 实验室模拟	106
V. 参考文献	108
第四章 尾流区环流	111
I. 引言	111
II. 观测事实	111
A. 中尺度背风低压	111
B. 中尺度背风涡旋	113
III. 理论	114
A. 中尺度背风低压	114
B. 中尺度背风涡旋	118
IV. 实验室模拟	121
V. 参考文献	123

第二部分 地形引起的环流 (二)

(热力作用引起的环流)

第五章 海陆风环流	124
I. 引言	124
海陆风的机制	124
II. 观测事实	125
A. 气候学	126
B. 热带海陆风的平均地面特征	135
C. 海陆风环流	142

D. 影响海陆风环流的因子	152
II. 理论	159
A. 解析结果	160
B. 数值结果	182
IV. 实验室模拟	212
V. 海陆风的作用	213
参考文献	215
第六章 坡风和谷风环流	221
I. 引言	221
坡风和谷风的机制	223
II. 观测事实	225
A. 坡风与谷风气候学	225
B. 坡风与谷风的地面特征	234
C. 坡风环流	239
D. 谷风环流	244
E. 山脉-平原环流	257
F. 稳定性和梯度风的作用	258
III. 理论	259
A. 下坡风	263
B. 上坡风	268
C. 谷风和山风	273
IV. 实验室模拟	285
V. 坡风和谷风的作用	285
参考文献	287

第三部分 自由大气的环流 (一)

(非对流性环流)

第七章 移动的重力波	290
I. 引言	290

I. 观测事实	293
II. 理论	305
参考文献	316

第三部分 自由大气的环流 (二)

(对流性环流)

第八章 局地强风暴 319

I. 引言	319
II. 观测事实	323
A. 气候学	323
B. 温带局地强风暴	325
C. 热带局地强风暴	368
III. 理论	372
A. 温带局地强风暴	374
B. 热带局地强风暴	395
参考文献	398

第九章 浅薄的细胞状环流 406

I. 引言	406
II. 观测事实	408
A. 二维单体	408
B. 三维单体	410
III. 理论	418
A. 静止介质	423
B. 流动介质	426
参考文献	427

第十章 气旋内部的环流 429

I. 引言	429
II. 观测事实	431
A. 温带环流	431

B. 热带环流.....	456
I. 理论.....	471
A. 温带环流.....	471
B. 热带环流.....	476
IV. 实验室模拟.....	481
参考文献.....	482
英汉缩写词索引.....	488

第一部分 绪 言

第一章 中 尺 度

I. 引 言

大多数气象学家认为大气科学中的主要问题是对大气运动作出圆满的解釋。这个问题摆在物理学家面前已三百多年，但迄今仍未完全解决。这几百年中发现大气环流是极端复杂的，这种复杂性随着每一个新的大量观测资料的涌现还在增加。对此，为了便于研究和理解，气象学者很自然地想把全球大气分成若干“部分”，这些“部分”经常称之为“运动系统”，即具有不同大小与生命期（或不同尺度）的运动的构造。这种对尺度的理解很快就变成正确认识大气环流不可缺少的东西。这对本书的内容是很重要的，本章既根据观测又根据理论分析讨论尺度概念，并特别参考传统的三段分类法：大尺度（macro-），中尺度（meso-）与微尺度（micro-）。空间尺度与时间尺度分别用波长与周期来表示。波长即相邻两个上升运动之间或两个高压中心之间的平均距离；同样，周期是相邻两个峰值之间或两次温度极值之间的平均时间。

II. 观 测 事 实

最明显的大气运动是使人感觉到的运动，这种运动在观测旋转的烟圈时或处在使人站立不住的旋风中都可感到。气象学家一般称这种空气运动为“微尺度”，其特征尺度从几毫米到几百米。