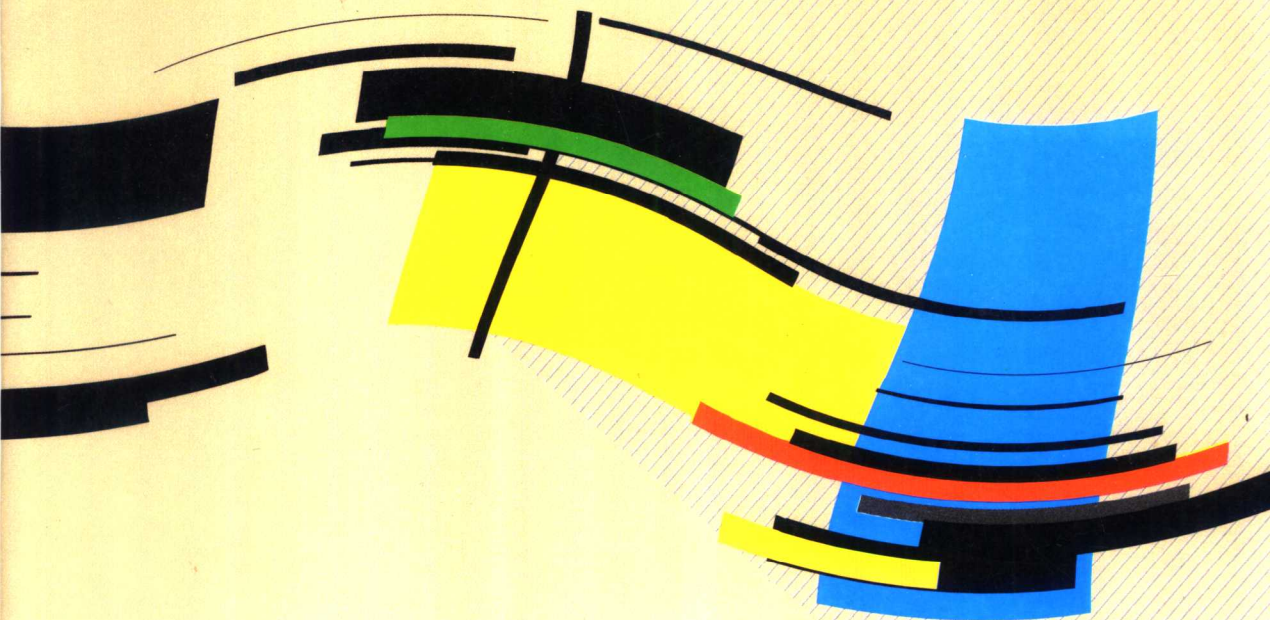


动力气象学

DONGLI QIXIANGXUE

吕美仲 侯志明 周毅 • 编著



气象出版社

China Meteorological Press

动力气象学

吕美仲 侯志明 周毅 编著



气象出版社

内 容 提 要

本书为高等院校大气科学专业本科生教材。主要讲述动力气象学中的基本概念和基本原理,同时也反映了一些动力气象学新进展。全书着重物理原理的阐述,数学处理过程较完整,并注重理论和实际的相互联系。本书内容全面,安排合理,逐步深入;物理概念清晰,数学推导严谨;叙述上准确清楚、深入浅出、简明易懂、便于自学。

本书可作为高等院校大气科学专业及相关专业的教材,也可作为气象、海洋、航空、环境等部门的科研人员和业务人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

动力气象学/吕美仲,侯志明,周毅编著. —北京:气象出版社,2004.7
ISBN 7-5029-3809-5

I. 动… I. ①吕…②侯…③周… III. 理论气象学-高等学校-教材 IV. P43

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第072284号

Dongli Qixiangxue

动力气象学

吕美仲 侯志明 周毅 编著

责任编辑:陶国庆 终 审:周诗健

封面设计:世纪白马 责任技编:王丽梅 责任校对:王丽梅

出版发行:气象出版社

出版社地址:北京市海淀区中关村南大街46号

邮政编码:100081

出版社电话:68407112

传真号码:62176428

电子邮箱:CMP01@263.NET

出版社网址:HTTP://CMP.CMA.GOV.CN/

印 刷:北京昌平环球印刷厂
开 本:787mm×960mm 1/16
印 张:27
字 数:543千字

版 次:2004年7月第1版
印 次:2004年7月第1次印刷
印 数:1~5000
定 价:40.00元

版权所有 侵权必究

前 言

本书是为高等院校气象学专业本科生编写的一本教材。

动力气象学是大气科学中一门重要的分支学科,它的任务是依据物理定律,流体力学原理从理论上研究地球大气中不同尺度运动的规律。因此,动力气象学是大气科学的基础学科之一。在高等院校,动力气象学是作为气象学专业基础理论课程开设的。我们认为,虽动力气象学研究的问题愈来愈深入、广泛,然动力气象学作为专业基础理论课,课程内容应重点选择该学科中那些基本的、具有普遍意义的、并较成熟的理论和处理理论问题常用的数学方法,也要适当地介绍一些近代动力气象学理论知识及其新进展。具体内容的选择要体现出专业教学计划中所规定的基本要求。此外,选择的内容要注意与教学计划设置的其他专业课程内容相协调,要把握住教材编写的起点。动力气象学属数理性质学科,教材中应着重对物理概念和基本原理的阐述,但也要重视如何将数学方法应用到理论研究的阐述。教材对学生具有“示范”作用,要重视教材的科学性、系统性,对物理概念、数学概念的阐述要力求准确、严谨,以培养学生严谨的学风。此外,作为一本教材,内容安排要合理,要体系清楚、前后连贯、相互呼应、逐步深入。阐述问题要准确清楚、深入浅出、简明易懂、便于自学。我们基本上是按这一指导思想撰写的。

全书共分十五章。第一章是绪论;第二章至第九章讲述动力气象学中的基本概念和原理,这是动力气象学的基础;第十章至第十四章,讲述近代动力气象学的基本理论,其中也反映一些动力气象学新进展;第十五章是数值预报的基础内容。各章最后备有复习思考题与习题,以供教学和自学中选用。全书着重物理原理的阐述,教学处理过程较完整,若学生已基本掌握了经典物理学中的基本概念和原理,具有较完整的微积分知识,并有一定的推演能力,学习本书不会遇到太大的困难。书中某些地方用到矢量分析,但多数只是一些基本的矢量运算,即使学生对此不熟悉,通过复习或自学也易掌

握。有两处涉及到求偏微分方程解析解,估计讲授这门课时,数学物理方法这门课尚未讲授,这种情况下可不讲推演过程,只对结果进行分析。除最后一章外,预计全书约用100个学时即可讲完。

本书第一章至第五章、第七章至第十一章由吕美仲撰写,第六章、第十三章、第十四章由侯志明撰写,第十二章、第十五章由周毅撰写。全书初稿完成后,经三位作者讨论、修改,最后共同定稿。

编写本书得到教育部大气科学教学指导委员会的热忱支持与指导,教学指导委员会的专家还仔细审查了我们的编写纲目,并提出宝贵意见;气象出版社陶国庆先生对本书出版也给予我们许多帮助,对此我们一并表示言轻意重的感谢。我们还要感谢解放军理工大学气象学院的领导,以及气象学院一系的领导和动力气象教研室的老师们的关心与支持。

由于学识水平有限,书中肯定存在许多不足之处,殷切希望读者提出宝贵意见。

编著者共识

2004年5月

目 录

前言

第一章 绪 论	(1)
§ 1.1 基本假设	(1)
§ 1.2 地球大气的动力学和热力学特性	(1)
§ 1.3 大气运动的多尺度性	(3)
§ 1.4 动力气象学的发展简史与发展动向	(4)
第二章 描写大气运动的基本方程组	(9)
§ 2.1 全导数与局地导数	(9)
§ 2.2 旋转参考系中运动方程的矢量形式	(11)
2.2.1 绝对加速度与相对加速度	(12)
2.2.2 作用力——相对运动方程的矢量形式	(14)
§ 2.3 质量守恒定律——连续方程	(18)
§ 2.4 状态方程、热力学能量方程、水汽方程	(20)
2.4.1 状态方程	(20)
2.4.2 热力学能量方程	(21)
2.4.3 水汽质量守恒方程	(24)
§ 2.5 球坐标系中的基本方程组	(24)
2.5.1 球坐标系中的运动方程和连续方程	(25)
2.5.2 绝对角动量与机械能守恒原理	(29)
2.5.3 薄层近似	(30)
§ 2.6 局地直角坐标系中的基本方程组	(31)
§ 2.7 闭合运动方程组、初始条件和边界条件	(33)
2.7.1 闭合运动方程组	(33)
2.7.2 初始条件	(33)
2.7.3 边界条件	(33)
习题	(34)
第三章 尺度分析与基本方程组的简化	(37)
§ 3.1 尺度概念与大气运动的尺度分类	(37)
3.1.1 尺度分析法	(37)

3.1.2	大气运动的尺度分类	(42)
§ 3.2	基本方程组的尺度分析	(43)
3.2.1	连续方程的尺度分析	(43)
3.2.2	水平运动方程的尺度分析	(44)
3.2.3	状态方程和位温方程的尺度分析	(46)
3.2.4	绝热方程的尺度分析	(47)
§ 3.3	基本方程组的简化与中纬度大尺度运动的性质	(48)
3.3.1	水平运动方程的简化,地转近似	(48)
3.3.2	铅直运动方程的简化,静力平衡近似	(49)
3.3.3	连续方程的简化	(51)
3.3.4	平衡与非平衡简化方程组,大尺度运动的基本性质	(51)
3.3.5	地转参数的简化, β 平面近似	(53)
§ 3.4	无量纲方程与无量纲参数	(54)
习题	.....	(57)
第四章	p 坐标,铅直坐标变换	(59)
§ 4.1	静力平衡大气的结构	(59)
§ 4.2	等高面分析与等压面分析	(61)
4.2.1	等高面分析——海平面气压形势图	(61)
4.2.2	等压面分析——等压面绝对形势图	(62)
§ 4.3	p 坐标系中的大气运动方程组	(63)
4.3.1	p 坐标系的一般概念	(63)
4.3.2	铅直坐标变换—— p 坐标系中的大气运动方程组	(65)
§ 4.4	普遍的铅直坐标变换	(73)
4.4.1	铅直坐标变换的一般表达式	(73)
4.4.2	s 坐标系中大气运动方程组	(75)
§ 4.5	σ 坐标系	(77)
§ 4.6	θ 坐标系	(79)
习题	.....	(81)
第五章	自由大气中的平衡流场	(83)
§ 5.1	自然坐标系	(83)
5.1.1	自然坐标系的性质	(83)
5.1.2	流线与轨迹	(85)
§ 5.2	平衡流场的基本型式与性质	(87)
5.2.1	地转风	(87)

5.2.2	惯性运动	(89)
5.2.3	旋衡运动	(89)
5.2.4	梯度风	(90)
§ 5.3	地转风随高度的变化、热成风	(93)
5.3.1	正压大气与斜压大气	(93)
5.3.2	地转风铅直切变、热成风	(94)
§ 5.4	地转偏差	(96)
§ 5.5	铅直速度的计算	(97)
5.5.1	运动学方法	(98)
5.5.2	绝热法	(99)
习题	.....	(99)
第六章	环流定理与涡度方程	(103)
§ 6.1	绝对环流定理	(103)
6.1.1	速度环流	(103)
6.1.2	绝对环流定理	(104)
§ 6.2	相对环流定理	(107)
§ 6.3	涡度	(109)
6.3.1	涡度的定义	(109)
6.3.2	流函数与速度势	(113)
§ 6.4	泰勒-普劳德曼定理	(114)
§ 6.5	铅直涡度方程	(116)
6.5.1	z 坐标系中的涡度方程	(116)
6.5.2	涡度方程的尺度分析	(120)
§ 6.6	p 坐标系中的涡度方程和散度方程	(122)
6.6.1	p 坐标系中的涡度方程	(122)
6.6.2	散度方程	(123)
§ 6.7	位势涡度守恒定律	(124)
6.7.1	位涡守恒定律	(124)
6.7.2	位涡守恒方程的简化	(126)
6.7.3	位涡守恒原理的简单应用	(127)
习题	.....	(128)
第七章	大气能量学	(131)
§ 7.1	大气中的基本能量形式	(131)
7.1.1	内能	(131)

7.1.2	重力位能	(132)
7.1.3	动能	(132)
7.1.4	潜热能	(132)
7.1.5	基本能量形式的组合能量	(132)
§ 7.2	大气能量平衡方程	(133)
7.2.1	动能平衡方程	(133)
7.2.2	位能平衡方程	(135)
7.2.3	内能平衡方程	(136)
7.2.4	能量转换、能量守恒定律	(136)
§ 7.3	静力平衡大气中的能量转换	(138)
7.3.1	静力平衡大气中的内能与位能	(138)
7.3.2	p 坐标系中的能量平衡方程	(139)
§ 7.4	有效位能	(142)
7.4.1	有效位能的概念	(142)
7.4.2	有效位能的分析表达式与近似表达式	(143)
7.4.3	有效位能平衡方程	(147)
习题		(148)
第八章	大气行星边界层	(151)
§ 8.1	湍流平均动量方程,混合长理论	(152)
8.1.1	平均动量方程	(152)
8.1.2	涡动通量密度,涡动应力	(154)
8.1.3	参数化,混合长理论	(156)
§ 8.2	行星边界层中风随高度的分布	(159)
8.2.1	近地面层	(160)
8.2.2	埃克曼层	(162)
§ 8.3	埃克曼抽吸与旋转衰减	(167)
§ 8.4	湍流扩散方程、热量和水汽的湍流输送	(169)
8.4.1	湍流扩散方程	(169)
8.4.2	热量和水汽的湍流输送	(170)
8.4.3	浮力对感热湍流输送的影响	(171)
§ 8.5	湍流发展的判据, Ri 数	(173)
习题		(175)
第九章	大气中的基本波动	(179)
§ 9.1	波动的基本概念	(179)

9.1.1	波动的数学模型、波参数	(179)
9.1.2	傅里叶原理,简谐波的复数表示	(182)
9.1.3	二维、三维平面波	(183)
9.1.4	群速度	(185)
§ 9.2	微扰动法,基本方程组的线性化	(187)
§ 9.3	声波和兰姆波	(190)
9.3.1	声波	(190)
9.3.2	兰姆波	(193)
§ 9.4	重力外波,重力惯性外波	(195)
9.4.1	重力外波	(196)
9.4.2	重力惯性外波	(198)
§ 9.5	重力内波,惯性内波,重力惯性内波	(201)
9.5.1	浮力振荡,重力内波形成的机制	(201)
9.5.2	布西内斯克近似	(202)
9.5.3	重力内波	(207)
9.5.4	惯性内波、重力惯性内波	(208)
§ 9.6	罗斯贝波	(210)
§ 9.7	“噪声”与滤波	(212)
	习题	(217)
第十章	地转适应理论	(225)
§ 10.1	准地转运动产生的物理背景	(226)
§ 10.2	大尺度运动过程的阶段性	(229)
§ 10.3	正压大气中的地转适应过程	(231)
10.3.1	地转适应过程的定性分析	(231)
10.3.2	正压适应方程组	(232)
10.3.3	波动解,地转适应的机制	(235)
10.3.4	定常解,地转适应的例子	(237)
10.3.5	地转适应与初始扰动尺度的关系	(239)
§ 10.4	斜压大气中的地转适应过程	(241)
10.4.1	斜压适应过程的定性分析	(241)
10.4.2	斜压适应过程的一般性质	(242)
	习题	(245)
第十一章	中纬度大尺度运动的准地转理论	(249)
§ 11.1	准地转运动的分类	(250)

11.1.1	准地转运动概念	(250)
11.1.2	准地转运动的分类	(250)
§ 11.2	准地转方程组	(253)
11.2.1	摄动法	(253)
11.2.2	摄动法用于简化基本方程组	(254)
11.2.3	第一类斜压准地转方程组及性质	(257)
11.2.4	第二类准地转运动方程组	(263)
§ 11.3	准地转位势倾向方程与 ω 方程	(264)
11.3.1	准地转位势倾向方程	(264)
11.3.2	准地转 ω 方程	(267)
§ 11.4	发展着的斜压扰动理想模式	(270)
§ 11.5	Q 矢量, 非热成风产生的二级环流的诊断	(271)
	习题	(275)
第十二章 大气运动的稳定性理论		(277)
§ 12.1	流体动力学稳定性概念	(277)
§ 12.2	惯性不稳定	(279)
§ 12.3	正压不稳定	(280)
§ 12.4	斜压不稳定	(283)
12.4.1	斜压不稳定, 准地转两层模式	(284)
12.4.2	斜压不稳定波的结构	(288)
§ 12.5	中尺度对称不稳定	(291)
12.5.1	对称不稳定的概念	(292)
12.5.2	对称不稳定的判据	(293)
12.5.3	对称不稳定运动的水平尺度	(294)
	习题	(295)
第十三章 罗斯贝波的传播与演变		(299)
§ 13.1	缓变波列, WKB 方法	(299)
13.1.1	缓变波列	(299)
13.1.2	波的多尺度展开法	(303)
§ 13.2	罗斯贝波的能量和能量通量	(305)
13.2.1	缓变罗斯贝波列的传播, 群速	(305)
13.2.2	罗斯贝波的能量和能量通量	(306)
§ 13.3	β 平面上罗斯贝波的频散——上游效应	(308)
13.3.1	罗斯贝波的群速特征	(309)

13.3.2	上游效应,外源强迫	(310)
§ 13.4	罗斯贝波的波特特性方程,波作用量守恒	(314)
§ 13.5	球面上罗斯贝波的频散——大圆理论	(318)
§ 13.6	罗斯贝波的经向和铅直传播	(322)
13.6.1	罗斯贝波的经向传播	(322)
13.6.2	罗斯贝波的铅直传播	(323)
§ 13.7	罗斯贝波的演变——波与基流的相互作用	(324)
13.7.1	罗斯贝波的发展	(325)
13.7.2	局地瞬时波数的演变	(326)
13.7.3	扰动尺度的演变	(326)
13.7.4	槽线斜率的演变	(327)
13.7.5	罗斯贝波与基流相互作用	(328)
习题	.....	(329)
第十四章	低纬度大气动力学基础	(331)
§ 14.1	热带天气尺度运动的尺度分析	(331)
14.1.1	对数压力坐标系	(331)
14.1.2	热带大气运动的尺度分析	(333)
§ 14.2	热带波动	(337)
§ 14.3	条件不稳定性与积云对流	(343)
14.3.1	相当位温与条件不稳定性	(343)
14.3.2	凝结加热,积云对流加热参数化	(347)
14.3.3	郭晓岚积云对流加热参数化方案	(350)
§ 14.4	热带扰动发生发展的物理机制	(352)
14.4.1	热带运动系统概述	(352)
14.4.2	热带扰动发生发展的机制之一——正压不稳定	(354)
14.4.3	热带扰动发生发展的机制之二——第二类条件不稳定	(357)
§ 14.5	台风发展的CISK理论	(358)
14.5.1	台风的结构	(358)
14.5.2	台风发展的CISK理论	(359)
习题	.....	(366)
第十五章	数值天气预报基础	(367)
§ 15.1	差分法概述	(368)
15.1.1	平流方程初值问题的差分解法	(368)
15.1.2	差分近似的截断误差	(369)

15.1.3	差分近似解的误差分析·····	(371)
15.1.4	差分近似的相容性、收敛性和稳定性·····	(376)
§ 15.2	差分格式的性能与线性计算稳定性·····	(377)
15.2.1	谐波分析法·····	(377)
15.2.2	欧拉格式·····	(377)
15.2.3	蛙跃格式·····	(378)
15.2.4	后差隐式格式·····	(379)
15.2.5	欧拉后差格式·····	(379)
§ 15.3	非线性计算不稳定·····	(380)
15.3.1	混淆误差与能量自反馈·····	(380)
15.3.2	克服非线性计算不稳定的方法·····	(382)
15.3.3	平滑与滤波·····	(382)
§ 15.4	正压准地转模式·····	(384)
15.4.1	正压准地转模式的基本特性·····	(385)
15.4.2	地图投影放大系数·····	(385)
15.4.3	正压准地转模式的数值求解方案·····	(388)
§ 15.5	正压原始方程模式·····	(390)
15.5.1	正压原始方程模式的基本特性·····	(390)
15.5.2	差分格式与地转适应·····	(393)
15.5.3	守恒差分格式的构造·····	(397)
15.5.4	水平侧边界条件·····	(399)
15.5.5	正压原始方程模式的计算方案·····	(402)
§ 15.6	初值形成的原理和方法·····	(404)
15.6.1	客观分析·····	(405)
15.6.2	初值处理的必要性·····	(407)
15.6.3	资料同化·····	(408)
习题	·····	(410)
附录 1	物理量纲和国际单位制(SI)·····	(411)
附录 2	物理常数·····	(413)
附录 3	动力气象学中常用符号表·····	(414)
附录 4	矢量分析中的主要公式·····	(417)
主要参考文献	·····	(419)

第一章 绪 论

动力气象学(Dynamic Meteorology)是气象科学的一个分支,是应用物理学定律和数学方法研究大气运动的动力过程、热力过程,以及它们之间的相互关系,从理论上探讨大气环流、天气系统演变和其它大气运动过程的学科。空气是一种流体,如果说流体力学研究的是流体运动的一般规律,那么动力气象学研究的则是发生在自转地球上且密度随高度递减的空气流体运动的特殊规律。从这个意义上来说,它又是流体力学的一个分支——地球流体力学。

§ 1.1 基本假设

天气和气候的变化是和大气运动联系在一起的,当我们研究地球大气的宏观运动时,完全可以不考虑那些离散分子的结构,把大气视为连续流体。表征大气运动状态和热力状态的各种物理量,例如大气运动的速度、气压、密度和温度等,一般认为是空间点和时间的连续函数,并且经常假设这些场变量的各阶微商也是空间点和时间的连续函数。

研究大气宏观运动时,还把大气作为理想气体来处理(在无水汽凝结时),气压、密度、温度之间的关系将满足理想气体的状态方程。大气是可压缩流体,大气受热后,温度场变化会引起气压场变化,从而也会引起大气运动的变化。这就是说,大气热力状态变化会引起大气运动状态变化,反之亦然。因此,大气动力学过程与热力学过程不能截然分开,它们之间是相互影响而又相互制约的。

将大气视为可压缩连续流体,这是研究大气运动的基本出发点,因而可以广泛地应用流体力学和热力学原理探讨大气运动的具体规律。

§ 1.2 地球大气的动力学和热力学特性

将大气作为流体力学研究对象时,应该注意到地球大气本身的一些基本特性。

——大气是重力场中的旋转流体

地球大气时时受到重力场作用,在重力场作用下,90%的大气质量集中在厚度仅为

10km 左右的对流层中。这一特征大气厚度与地球半径相比是微不足道的。大气所固有的这一铅直厚度,决定了水平尺度以千公里计的大范围大气运动一定是准水平的,铅直速度远小于水平速度。重力场抑制了铅直运动的发展,使得在铅直方向上气压梯度力与重力近似地相平衡,这种近似平衡关系称作静力平衡。静力平衡是大气运动的重要性质之一。

覆盖在地球表面上的大气随地球一同绕地轴以常值角速度($\Omega = 7.29 \times 10^{-5}$ rad/s)不停地旋转着。因此,研究相对于地球的大气运动时,必须要考虑科里奥利力(Coriolis force)的作用。科里奥利力的作用大小和大气运动的水平尺度有关,在较小尺度的运动中,科里奥利力的作用相对而言并不重要,常可以忽略不计,但在大尺度运动中科里奥利力作用就显得很重要。特别是在中纬度大尺度运动中,科里奥利力与水平气压梯度力基本上相平衡。这种近似平衡关系称作地转平衡,这是旋转地球上大尺度运动的又一重要性质。

地球近似于正球体,它的旋转角速度矢量在垂直于地表面方向上的分量($\Omega \sin \varphi$, φ 表示纬度)是随纬度变化的,这对大尺度运动具有重要的动力作用。每日天气图上看到的西风带中的波动就与此作用有关(参见第九章)。地球旋转对大气运动来说还是一个稳定因子,大尺度运动中科里奥利力总是力图与水平气压梯度力相平衡,使得大气内能、位能转化为动能的可能性减小。

锋面的存在,说明了本来在非旋转系统中可以释放出的位能,在旋转大气中就不能完全被释放出来了(参见第七章)。

此外,在斜压扰动不稳定发展中,地球旋转对波长较长的波动也具有很强的稳定作用(参见第十二章)。

——大气是层结流体

大气的密度随高度是改变的。对于均质流体,若像大气一样没有“自由面”,这时重力对运动几乎不起重要作用。然而对于层结流体,与重力相联系的阿基米德净浮力对运动却有重要影响。在不稳定层结大气中,阿基米德净浮力可使积云对流得以发展,在稳定层结大气中可以产生重力内波(参见第七章)。即使对于大尺度扰动的斜压不稳定发展,大气层结也有重要作用(参见第十二章)。

——大气中含有水份

水份在相变过程中会使大气得到热量或失去热量,因而为大气运动提供了另外一个能源、能汇。例如,低纬度扰动和台风的发展就与积云对流释放的凝结潜热有关,对流凝结释放的潜热是低纬度扰动发展的重要能源(参见第十三章)。

——大气的下边界是不均匀的

地球陆地表面不但起伏不平,而且其热力性质也不完全一样,使得边界层中的大气运动具有明显的湍流性质。海陆分布所决定的非均匀加热,起伏不平的大地形对大尺度运动的热力和运动强迫作用,对大气环流的形成有重要影响。

大气本身的一些特性和外界环境的影响,决定了大气运动的复杂性,这固然给我们研究大气运动具体规律带来了困难,但也激起了人们对它研究的兴趣。

§ 1.3 大气运动的多尺度性

前已提到运动的尺度。所谓运动的空间尺度,是指运动系统的空间范围。因为大气运动系统的水平范围与铅直范围往往有较大的差异,所以空间尺度又区分为水平空间尺度和铅直空间尺度,或简称为水平尺度和铅直尺度。运动的时间尺度是指运动过程经历一个阶段所需的时间,例如,对于波动,时间尺度可认为就是它的周期。

大气运动无论在时间尺度上还是水平尺度上都具有很宽的尺度谱,其范围从边界层中的湍涡,直到遍及全球的平均纬向环流。积雨云或对流单体的水平尺度为1~10km,飚线、背风波和低纬的对流群(云团)的水平尺度为数十公里到二三百公里;温带气旋反气旋以及西风带中的长波,其水平尺度以千公里计;超长波和几乎环绕地球的热带辐合带的水平尺度可以和地球半径相比拟,等等。

不同尺度运动系统在性质上有很大差异,对天气的影响也不同。例如,西风带中的长波具有准水平、地转平衡性质,它对天气影响的范围较广;强烈的局地风暴,是一种小尺度强对流运动,一般说来它是非静力平衡的,铅直上升运动极强,造成的天气很严重,但范围较小。

这些不同尺度的运动系统之间还存在着相互作用。小尺度运动系统往往是在大尺度运动系统的背景条件下发生发展起来的,反过来,它对大尺度运动系统的发展变化又有反馈作用。例如,在低纬,小尺度对流往往在条件不稳定大气中热带扰动的某些部位上得以发展,而有组织的小尺度对流群凝结潜热的释放又为热带扰动的发展提供了能源,这种凝结潜热释放的反馈作用,可以造成热带扰动的不稳定发展(参见第十四章)。

依据流体力学和热力学原理建立起来的大气运动方程组,表征了大气运动的普遍规律。从物理上来看,它几乎描写了各种尺度运动和它们之间的相互作用,因而在数学形式上这组方程是高度非线性的。我们很难找到其一般解答并不足为奇。为了得到可供实用的结果,在动力气象学中常对各种运动系统进行尺度分类,利用尺度分析法(参见第三章)分析各类运动系统的一般性质,建立各类运动系统的物理模型(或称大气模

式),使得模式中只包含决定该类运动系统性质最本质的物理过程,然后再根据该大气模式研究该类运动系统的具体规律。所建立的大气模式显然比起原始的大气运动方程组要简单得多,这不但便于数学处理,而且所得结论物理意义也清楚。这种处理问题的方法对解决大气动力学问题具有原则意义。

§ 1.4 动力气象学的发展简史与发展动向

气象科学是一门古老的科学。17世纪以前,人们对大气中各种现象的认识仅是直觉的、经验性的。18世纪,力学、物理学、化学和数学等基础科学的发展,观测仪器陆续发明,才为人们定量描述大气中的现象和大气运动创造了条件。气象科学由纯定性的描述进入了可定量分析的阶段,这是气象科学发展过程中的一次飞跃。

19世纪初期,1820年,布兰德斯(Brandes, H. W.),在气压、温度、湿度和风等气象要素可以测定和气象观测网站逐步建立起来的条件下,绘制了气象历史上第一张天气图,创立了近代天气分析和天气预报的方法,这为气象科学向理性科学方向上发展开辟了途径。这是气象科学发展过程中又一次飞跃。

1835年提出的科里奥利力的概念,1857年白贝罗(Buys Ballot, C. H. D.)建立的风压场关系的经验定律,成为地球大气动力学和天气分析的基石。这样,天气学,动力气象学等气象科学的分支学科逐步建立起来。

动力气象学起源于北欧。19世纪末,1897年,V.皮耶克尼斯(Bjerknes, V. F. K.)建立了旋转地球大气中的环流理论;20世纪初,1904年V.皮耶克尼斯以力学和物理学的观点,制定了研究天气预报计划;同年他建立了描写旋转地球大气运动方程组,这是将流体力学、物理学的观点引入气象科学研究大气运动规律的开端。在1920年前后,以V.皮耶克尼斯为代表的北欧的气象学者,进行了一系列研究工作。V.皮耶克尼斯和J.皮耶克尼斯(Bjerknes, J. A. B.)概括了温带气旋生命史,提出了极锋气旋学说,这是形成以V.皮耶克尼斯为代表的气象科学挪威(卑尔根)学派的标志。在这个时期,V.皮耶克尼斯和J.皮耶克尼斯等人撰著的三卷巨著《动力气象学和水文学》(第一卷为《静力学》,第二卷为《运动学》,第三卷为《物理流体力学及其在动力气象学上的应用》),是对他们本人和本学派研究成果的系统总结。挪威学派对动力气象学的创建和发展作出了重大贡献。

在这个时期,前苏联也有以柯钦(Кочин, Н. Е.)为首的一些学者所做的一系列工作。到了20世纪30年代,无线电探空仪的使用,获得了高空气象探测资料,对高空大尺度运动有了新的认识。发现了高空的大气环流在具有自西向东的绕极气流(指北半球)之上,叠加有波长数千公里的波动,它们自西向东传播。这些波动除有自身结构和运动规律外,还与低空锋面气旋存在内在联系。