自然科学学科简介

大气物理学

（试行本）

科学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

自然科学学科简介

大气物理学

中国科学院大气物理研究所编

（试行本）

科学出版社

1973

出 版 说 明

为了向广大干部提供自然科学领域中主要学科的基本情况，以供工作参考，我们组织编写了《自然科学学科简介》。它简单地介绍自然科学主要学科的研究对象，研究目的，在社会主义革命和社会主义建设中的意义，以及当前国内外研究现状等基本情况。

目前，我们暂以试行本的方式出版，以期征求各有关方面的意见，待修改补充后正式出版。

自然科学学科简介

大气物理学

中国科学院大气物理研究所编

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行　各地新华书店经售

*

1973年8月第一版　开本：850×1168　1/32

1973年8月第一次印刷　印张：3 9/16

印数：0001—23,400　字数：89,000

统一书号：13031·140

本社书号：257·13—15

定价：0.36元

只限国内发行

前　言

地球上包围着一层大气，厚度在三千公里以上。人类就生活在大气的海洋里，但是与我们关系最密切的是从地面到十几公里的大气底层。许多主要的天气现象都发生在这底层大气中，如寒潮、台风、暴雨、冰雹和干旱等这些灾害性天气对人类的生产活动影响就很大，几千年来劳动人民在生产斗争的实践中，对天气的变化就积累了丰富的经验。随着科学技术的发展，在长期实践经验的基础上，逐渐发展和形成了气象学。气象科学是研究大气运动规律和各种大气物理现象的一门学科，有时也叫大气物理学。由于探测技术的不断发展，近代气象学的研究范围已扩展到高空 80 公里，而 80 公里以上就属于高空大气物理学的研究范围了。

气象学或大气物理学，作为一门重要的环境科学，对社会主义革命和社会主义建设事业有很大影响。农、林、牧、副、渔需要准确的天气预报；城市规划、工业布局、环境保护、土地使用、水库设计、房屋建筑、风能利用、交通运输、森林防火、国防施工等，也都离不开天气预报和各种气象、气候资料。如果我们能够适当地运用有关大气状况的知识，掌握天气变化的规律，则不仅能使不利天气条件对人类活动所造成的损失和危险减小到最低限度，而且还能从中得到很大收益。

此外，导弹、人造卫星的发射，喷气式飞机的航行，放射性尘埃和微粒的沉降轨迹，以及空气污染的预报，精确计算火箭及导弹的轨迹，远程弹道导弹重返大气层的估计等，无不需要气象资料，特别是风随高度分布的精确资料。又如在现代战争中，微波、红外和激光在大气中的传输和使用，部队活动和三军协同作战，也都需要气象保障工作的大力配合。总之，大气物理科学在各个领域中所起的作用是不胜枚举的。

China

大气物理学的任务是：定量地测量大气的物理性质；研究大气运动和大气物理现象的规律；运用已经掌握的规律，作未来大气状态变化的预报；最终按人们的意志来影响、甚至改变大气的状态。

大气物理学的研究工作主要从三个方面向前发展。即研究各种大气运动的规律，以提高天气预报的准确率；研究大气中发生的各种物理过程，例如大气声、光、电、云雾降水、大气湍流等，以掌握其变化规律，并进行人工影响；为上述两个目的以及国防建设和国民经济建设中监视危险天气的需要，研究各种大气探测的方法，以取得各种必要的气象资料。这三方面的工作近十多年来都取得了十分明显的进展。

在毛主席革命路线指引下，我国气象事业发展很快，各方面都取得了一定的成绩。在编写本书时，我们希望尽可能地反映出这些成绩。大气物理学的领域很广泛。本书只介绍其主要分支。全书共分四个部分。第一部分为天气学和动力气象学，主要介绍近代天气预报的现状和发展。其中一些分支，近十几年来发展十分迅速（如热带气象、高原气象和平流层气象等），所涉及的内容和范围与五十年代前相比大不相同。为了反映这些成果和发展，将它们列成专题论述。第二部分是卫星气象学。它是六十年代以后才发展起来的。卫星气象学既不同于第一部分，又不同于第四部分，是包括研究卫星探测方法和卫星资料应用的综合学科，应该作为单独的一部分介绍。第三部分是介绍研究大气物理过程的几个主要问题，其中有大气湍流学、大气电学、云物理学等。第四部分介绍大气探测方面的问题（卫星探测除外，已列入第二部分），重点放在新技术的应用，它包括微波雷达、声雷达、大气红外辐射和微波辐射技术、激光等。限于我们的实践经验和水平，错误和缺点在所难免，恳请同志们批评指正。

本书是在所党委的领导、鼓励和支持下编写成功的，初稿完成后又得到中央气象局有关同志的认真阅读并提出许多宝贵的意见，在此表示衷心地感谢。

参加本书编写工作的同志有：丁一汇（第一章第一、二、七节，

China需要全本请访问 www.ertongbook.com

第四章第三节)，周晓平(第一章第三节)，王宗皓(第一章第四节)，朱抱真(第一章第五节)，高登义(第一章第六节)，杨鉴初(第一章第八节)，丁一汇、曾庆存(第二章)，周明煜、周乐义(第三章第一节)，周秀骥(第三章第二节)，何珍珍、阮忠家(第三章第三节)，杨培才(第四章第一节)，周明煜(第四章第二节)，阮忠家(前言、第四章第四节)，陶诗言(结语)。

目　　录

前　言 …… iii

第一章　天气学和动力气象学 …… 1

第一节　大气中的各类天气系统 …… 1
第二节　天气图预报方法 …… 4
第三节　数值天气预报 …… 6
第四节　概率统计天气预报 …… 11
第五节　热带气象学 …… 17
第六节　高原气象学 …… 26
第七节　平流层气象学 …… 31
第八节　中长期天气预报与日地关系 …… 42

第二章　卫星气象学 …… 49

第一节　气象卫星的作用——从宇宙观测天气 …… 49
第二节　卫星气象学的一般问题 …… 51
第三节　气象卫星的红外遥测方法 …… 56
第四节　气象卫星资料的应用 …… 58
第五节　卫星气象学的发展方向 …… 61

第三章　大气物理过程的研究 …… 63

第一节　大气湍流 …… 63
第二节　大气电学 …… 71
第三节　云物理学及人工影响天气 …… 77

第四章　新技术在大气探测中的应用 …… 88

第一节　微波雷达的气象应用 …… 89
第二节　声雷达的气象应用 …… 91

China

第三节　大气红外辐射和微波辐射的测量在气象探测上的应用…… 94
第四节　激光在大气探测中的应用…… 96
结　语 ……104

第一章　天气学和动力气象学

第一节　大气中的各类天气系统

一个地方的天气变化，是由于大气里面一个个移动着的大大小小的系统所引起的。气象台发布寒潮警报，这是因为从西北方有一股冷空气移过来；台风警报告诉人们从太平洋上有一团凶猛的暴风雨移过来。在气象上把它们统称为天气系统。大气里面大大小小的天气系统很多。如果我们用气象卫星从高空向地球大气拍摄一张照片，就可以看到这些大大小小的天气系统交杂在一起运动着，最大的天气系统范围可达 5,000 公里以上，最小的天气系统其影响范围还不到一公里。我们可以按照系统大小的次序，粗略地把大气中常见的各类天气系统列成一个表。

表 1-1-1　各种尺度的天气系统

尺度分类 / 地区	半球尺度	洲际尺度	大尺度	中尺度	小尺度	微尺度
	大于10,000公里	10,000—5,000公里	5,000—500公里	500—50公里	50—1公里	小于 1 公里
中纬度	极地东风带 中纬度西风带	长波 副热带反气旋	温带气旋和反气旋 高空急流	锋面 飑线	积雨云，冰雹、阵雨、高空晴空湍流	近地面的小旋涡、湍流霜冻。
热带	低纬信风带	赤道辐合带	台风 云团 东风波	对流云	对流云细胞	近地面的小旋涡、湍流

表中各类尺度的名称和它们的意义，将在以后各部分中详细说明。

尺度愈大，系统的生命史也愈长。洲际尺度的天气系统可维持五天以上。大尺度系统的生命史可达 1—5 天。中尺度的生命史是 1 小时到 12 小时。小尺度的生命史可不到 1 小时。各类尺

China

度天气系统之间相互有作用。较小尺度系统是在较大系统中孕育起来，并由较大系统哺育成长的。而较小尺度系统在发育成长后，反过来又影响较大尺度系统，使其维持下去。所以它们中间的关系非常复杂。天气预报和将来的天气控制的任务，就是要抓住这许多系统，摸清它们的规律性，并预报它们和控制它们。就目前水平讲，人们对各类尺度系统的认识还很不够，对洲际尺度和大尺度系统的认识比较多一些，但还谈不上完全掌握。对中纬度的系统比低纬度系统认识多一些。后面讲到的数值天气预报基本上是针对这两类尺度的。

对中、小、微三类系统，认识很不足。而许多凶猛灾害性天气（如冰雹、暴雨）都是和这些尺度有联系。目前在天气预报中对这些系统常常报不准。

在气象学中，有一门学科，专门研究这许多天气系统活动的规律性，这门学科叫天气-动力学。天气-动力学由两部分内容组成，一部分称作天气学，另一部分称作动力气象学。这两部分有些类似于物理学中的物理实验和理论物理学。因为大气附着在地球周围，它跟着地球一起转动，因此，大气的变化非常复杂。我们不能象物理学一样，可以在实验室里对各类尺度的大气运动和相互影响做很细致的实验，而只能在地球上观察大气的变化。这就要求地球上许多地点每天定时和同时进行气象观测（包括地面和高空观测），各地把这些观测资料编成电码，集中到各国的气象局。各国的气象局经过整理，又向全世界公开广播。这样各地就能及时收集到全球（或半球）的气象资料。有了这些资料可以绘成天气图，并根据一定的理论和经验分析天气图，就可以进行预报了。因而天气图是天气学的基础。天气学中的许多规律和理论，就是通过天气图的应用和实践总结出来的，这在下一节中还要详细说明。

动力气象学是从理论的途径来研究大气中各种天气系统的活动。它是建筑在这样一个前提上的：即大气中的种种现象可以用物理学中的一些基本定律和基本概念来分析和认识。这里所指的物理学中的基本定律主要是热力学定律、辐射的定律和流体力学

China

的定律。这些定律或概念都可表示成数学公式。动力气象学的任务就是把物理学上的这些数学公式改变成为能描写大气变化的数学公式，然后根据这些数学公式进行种种推导，求出大气中各种系统的变化和运动情况。这样做有两个目的：第一，认识大气中各种系统是怎样变化的；第二，用来预报天气系统的未来发展。后面二章中所讲的数值预报，就是动力气象学中的一个部门。由于大气过程非常复杂，动力气象学的基本数学公式非常复杂，在数学处理时困难很多。过去人们只能把大气变化作种种简单化的假设，便把数学式子简化，然后求出结果。这样求出来的结果与实际大气的变化大体上是一致的，因此，它们为天气预报提供了有用的依据。最近二十年来由于计算技术的发展，给动力气象学在作数学处理时提供了有力工具。通过电子计算机所算出来的未来的天气变化，与实际变化就比较接近。估计在今后动力气象学将会有更大的进展。

在动力气象学的发展中，还包括另外一个重要的部门，这就是大气环流的研究。大气环流是综合研究各种天气系统的运动规律和相互之间的内在关联特性。从目前来看，所研究的主要是一些大尺度运动的系统，其水平范围在数千公里以上，垂直范围在 10 公里以上，时间在 1—2 天以上。这种大范围大气运动的现象很多，它们构成了大气运动的基本状态，不但可以影响各地的天气类型及其变化，也可影响气候的形成。因而关于大尺度天气运动的研究不但具有理论意义，而且还具有实际意义。

关于大尺度大气运动的研究包括：平均环流的分布，世界上主要风系（东西风带）的生成理论，西风带中平均槽脊的形成理论，平均温度分布的形成理论，大气中各种物理量（例如水汽、热量、动量等）的输送、转换和平衡，大气长波和长波的不稳定理论等。最近二十年来，随着高空探测网的增密，探测工具的改进，新的观测事实和现象不断发现，使得大气环流的研究也更加广泛和更加深入。

这些研究结果对于天气预报有重要的意义。它是天气图预报

China需要全本请访问 www.ertongbook.com

方法的物理依据，也是数值天气预报的基础。随着今后对大气运动规律的认识不断加深，可以深信天气预报的水平将会有显著的提高。

天气学和动力气象学是相辅相成的。天气学需要动力气象学作为它的理论指导，而动力气象学在对数学式子作种种处理时，要依据天气学的结果。而从数学式子推算出来的最后结果，也需要用实际天气图资料来检验。在五十年代以前，天气学和动力气象学是两个独立学科。最近二十年来，这两门学科逐渐靠拢，合并成一门天气-动力学。下面几节将介绍它所包括的一些主要内容。

第二节　天气图预报方法

从第一张天气图的诞生到现在已有近百年的历史。虽然气象学在近二十年来有很大的发展，并且出现了一些新的预报方法，但以天气图作为主要工具来研究天气规律，并进行不同时期的预报，仍然是目前各国大多数气象台站的主要预报方法。

天气图有两种，应用地面观测记录所绘制出来的天气图，叫做地面天气图；应用高空观测记录绘制出来的叫做高空天气图。地面天气图的制作，是把同一时间各地观测到的气象情况，包括气压、温度、湿度、风向风速、云状、能见度等等填绘在同一张地图上，然后把气压相等的台站用联线绘出等压线，温度相等的台站用联线绘出等温线。并把下雨的区域用绿色铅笔描出，把出现 6 级以上大风的台站用棕色铅笔标出，在温度和风有明显差异的地方，就可以绘出锋面来。

高空天气图是把同一时间的各地无线电探空仪观测记录和高空测风记录填绘在同一张地图上，一般规定制作固定等压面上的高空图，如700 毫巴或 500 毫巴*等压面上的高空图。把等压面高度相等的地区用联线绘制出等高线，把等压面上温度相等的地区

---

* 毫巴是气象学上常用气压单位，1013 毫巴相当于一个标准大气压 760 毫米水银柱高。

China

用联线绘出等温线，再根据等高线和等温线的分布就可以分析出低压槽和高压脊，以及它们是暖性的还是冷性的。

一般较大的气象台，每天要作 4 次地面天气图，1—2 次高空天气图。天气图的地区范围视气象台要预报的区域而定。例如中央气象台要预报全国性的天气，它的天气图就要绘制全亚洲范围的，甚至整个北半球范围的方才够用。预报员根据前后连贯的几张天气图，识别出各种天气系统，追溯它们是怎样生成和发展的以及它们是怎样移动的，经过综合研究和判断，再参考其它资料（如本站资料、民间谚语、雷达资料、卫星资料），最后作出它们未来的移动和发展以及它们所带来的天气现象（晴、雨、风、雪等）的预报来。预报员从天气图分析出天气的变化，一方面是根据他们的经验，另一方面是根据由动力气象提供的理论依据。由于这种预报方法的准确性与预报员的经验有很大的关系，所以有时这种方法也叫主观经验预报方法，以便和下一节介绍的客观数值预报方法相区别。

天气图预报方法所根据的动力气象理论主要有两个：锋面和气旋发展理论与大气长波理论。这两个理论在天气学发展史中具有划时代的意义。

地面天气图上需要分析锋面。锋面是指冷暖空气团之间的狭窄边界区域，沿锋面，天气变化最激烈，可出现大风、降水、降温等天气现象。锋面理论是在第一次世界大战之后，有了较多的地面观测，在分析和总结大量事实的基础上才总结出来的。锋面理论比早期的一些理论（如气团理论）有很大的进步，它更为明确地揭示了天气变化的原因和地区。尤其是 1918 年根据锋面理论提出的气旋波发展理论更具有重要意义。气旋波理论说明在锋面上，在一定外界条件下，通过锋面两边冷暖空气的相互运动，可以产生气旋波（气旋波是气旋——大气中的涡旋系统——早期发展阶段），它可影响几百公里甚至上千公里范围内的天气。近代卫星观测也证明了气旋波理论的正确性。现在有关锋面和气旋的理论已成为现代天气预报理论基础之一，它使天气预报的时效得到延长，使三

China

天以内的短期预报也有了可能。

在地面天气图上，人们看到天气系统比较零乱，尺度较小(约在 1,000—3,000 公里)。而到了 3—5 公里以上高空，却是另一种景象，气流场中闭合系统大大减少，以波状的系统为主，尺度也比低空大，经常围绕整个半球有 3—6 个波动。这种系统叫大气长波。大气长波理论是三十年代以后在高空观测发展基础上才提出来的。大气长波理论一方面说明了这种长波移动和发展的规律，同时还揭示出，低空的锋面和气旋大多是在高空大气长波的引导下运动的。因而有了长波理论，不但可以更大范围地掌握气流场的变化，而且通过掌握锋面和气旋移动的规律，还可以更正确地预报出某地的天气，使 3—5 天的中期预报有了可能。

近一、二十年来，天气图预报方法所依据的理论除了上述两个以外，并没有本质的突破。这也是天气图预报方法准确率提高缓慢的原因之一。今后，为了从根本上提高天气预报的准确率，除了主要向数值天气预报发展以外，还应在揭示和提出新的大气运动规律和理论上有所创新，以便更有效地指导天气预报的实践。

第三节　数值天气预报

数值天气预报也叫做流体力学方法天气预报，它是把力学、运动学和热力学的基本原理应用于大气，从而得出一个数学方程组，再用电子计算机对这个方程组求解。这样做出来的天气预报就叫做数值天气预报(以下简称数值预报)。它主要的目的是使得天气预报能够做得更客观化与更定量化。

一、数值预报的基础

大家知道，刮风下雨等天气现象，都是和地球表面上的一层空气活动有关，而空气也和水一样是一种流体，因此流体力学上的一些规律在很大程度上也可以用来描写大气运动的规律。例如一小团空气的加速度和四周加给这个小气团的压力有关（牛顿运动定

China

律：质量 × 加速度 = 外力和)。又如一小团空气温度的增加等于外界给它的热量和外界压力对这个小气团所做“功”之和(能量守恒定律)等。

根据大气实际情况和这些基本定律，我们就可以建立一整套描写大气运动的方程组。这个工作是气象学基础理论工作的一个重要组成部分。研究这些气象基础理论是理论气象学(又叫做动力气象学)的任务,而数值预报就是理论气象学发展的直接结果之一。

二、数值预报的问题

大气运动的方程组可以描写大气中各种大小很不一样的运动;从声音在大气中的传播到一小朵云块的发展;从几米或几公里的龙卷风和几百公里的台风，直到几千公里甚至全球范围的大规模空气运动。大家知道，声音在大气中的传播或一小朵云块很难使得未来天气有本质的改变。这样，我们就要在方程中排除这些非本质的因素，而去寻找导致天气发展的主要矛盾。如何才能抓住预报天气的主要矛盾呢？这是数值预报需要解决的第一个问题。为了解决这个问题,我们可以从物理和数学两个方面来分析。在物理上,我们知道声音主要是由于空气的可压缩性所引起的。如果我们在方程中假设空气密度不能变化，那么这个方程自然就不能描写声波现象了。又如一小朵云块主要是由于浮力（和氢气球上升时的浮力一样）使含有水汽的空气上升遇冷凝结而成。如果我们令方程中浮力为零，那末在这个方程中就不可能出现小朵云块的发展，从而就有可能使这个方程排除了这些对天气现象发展的非本质的次要矛盾。从数学上来说，我们在对大气中各种运动进行分析时,发现不同大小的运动在方程中表现也不一样,有些方程中的项在运动尺度大时数量大，有些项在运动尺度小时数量大。根据这种分析,我们在方程中有意识地抛弃一些项,这样就使方程集中描写我们所需要的那种尺度的运动上去。这种分析在数值预报中叫做“尺度理论”。根据这种理论，我们就可以象无线电学中滤去“干扰”或“噪音”一样,把大气中对天气现象不起主要作

China

用的小尺度运动"滤"去,以免它们掩盖了主要矛盾。

数值预报碰到的第二个问题是，大气压力不易计算。大家知道,大气运动与大气压力是紧密地联系着的。如果压力计算不准，那末大气运动就会发生偏差，从而会影响未来天气预报的效果。大气压力实质上就是大气质量的堆集。质量堆集的改变是气流穿过气压等值线(即等压线)造成的后果。遗憾的是气流的方向与速度(即风向、风速)最不容易观测准确,这就大大地影响大气压力的准确度。为了解决这一类的困难,就出现了所谓"准地转近似"理论。这个理论从观测中所发现的风向和等压线基本平行这一事实出发,再根据"动力气象学"中对这一事实的分析,得出了一个风和气压之间的简单数学表达式,即风速正比于气压的坡度(在气象学上叫做气压梯度)。用这个表达式,把天气预报方程中所有出现风的地方全都用气压梯度来代替。这样一来，不仅避免了用观测不太准确的风来进行计算,而且大大地简化了方程,同时还"滤"去了干扰天气发展的"噪音"。这是因为如果风和等压线基本平行(不是完全平行)的话,那末气流穿过等压线所造成的和天气发展无关的那种质量堆集也大大地减少了,消去了这种堆集,也就消去了对天气发展过程的"干扰"。由于上述这种"准地转近似"理论,克服了前述的一些困难，从而使数值预报在五十年代到六十年代有了很快的发展。

"准地转近似"理论虽然对数值预报起了促进作用，使数值预报报出的温度与气压已达到熟练预报员的经验预报的水平，但是在赤道附近，"准地转近似"理论却不能准确成立。因为那里风向与等压线并不总是近于平行,有时甚至会出现很大的交角。另外,对于台风或尺度几百公里,在气象学上称之为小范围的暴雨来说,造成它们强烈发展的大气质量堆集却被"准地转近似"理论所"滤"去,因此,对这些小范围系统"准地转近似"理论就不适用了。从六十年代起,人们就开始放弃"准地转近似"理论,又回到最初使用的天气预报方程(数值预报的术语叫做"原始方程"或"完全方程")。这个方程组不仅求解时困难，而且常常碰到两个数相减后只剩下

China

一个零头。由于观测或计算不准，这个零头常常不可信。因此，我们也算不准确所需要算出的预报值。这一类困难现正在逐步解决中。采取的办法如改进初始状态，把误差大的点“磨平”（即光滑）等。目前这样做的预报，正在逐步接近“准地转近似”方法的预报。

数值预报问题之三，在于数学上还存在不少困难。预报天气的方程组大多是微分方程。由于这组微分方程的解找不到，因此不得不去找近似解，这就需要应用计算数学发展的成果。例如，用怎么样的近似代数方程组（即所谓差分方程）来代替原来的方程为最好，怎么样的解法不会发生“不稳定”现象（也就是近似解离真解差得太远，完全歪曲了原来的面目）等。这一类问题，都要依赖计算数学的发展，才能得到相应的解决。

三、数值预报的过去、现状和未来

1922 年，英国人理查逊第一次企图用人工做一次数值预报。但是失败了，失败的原因是对天气发展的物理过程、预报方程的性质认识不足，也没有找到较好的计算方法。但是，即使这些全不成问题，没有电子计算机进行数值预报也只能是“梦想”。到了五十年代，电子计算机的出现，这个“梦想”才变为现实。因此可以说，数值预报的发展，在很大程度上依赖于电子计算机的发展。与此同时，由于整个五十年代对数值预报在理论与实践上打下了一个基础，故到六十年代就蓬勃地发展起来了。到目前为止，已有苏联、美国、日本、英国、西德、瑞典、法国、挪威和澳大利亚等十几个国家相继开展了数值预报的研究与业务工作。我国在解放后的五十年代中期，就开始做数值预报的准备与研究工作。1959 年初步作出了一层的天气预报。由于刘少奇修正主义路线的干扰，六十年代进展不快。到了文化大革命中，数值预报才又重新受到重视。例如 1969 年以后进行了三层准地转近似天气预报的准备和试发工作等。

随着电子计算机运算速度的增快，内存增大，在垂直方向可以

China需要全本请访问 www.ertongbook.com