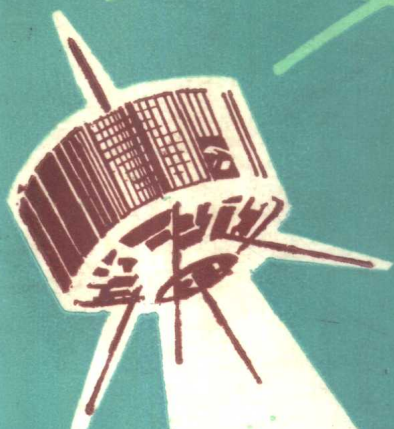


陈渭民
夏浣清
陈光宇



卫星气象学

高教出版社

卫星气象学

陈渭民
夏浣清 编
陈光宇

气象出版社

内 容 简 介

本书是根据南京气象学院大气探测专业多年使用的卫星气象讲义和十多年的教学验经,又进行了较大幅度的增删、调整和修改而写成的。既全面、系统地介绍了卫星气象学的基础知识,又反映了最新的研究成果,以及卫星资料在气象上的应用。

本书可作为高等院校师生的教学参考书,也可供气象台站的业务人员及有关人员使用。

卫星气象学

陈渭民 夏浣清 陈光宇 编

责任编辑 林雨晨

* * *

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京市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: 19.0625 字数: 492千字

1989年4月第一版 1990年8月第二次印刷

印数: 800—2,800 定价: 20.00元

ISBN 7-5029-0212-0/P·0218 (课)

前 言

近十多年来,卫星气象事业迅速发展,卫星资料在我国气象业务部门广泛使用,并在天气分析、监视和大气科学研究方面发挥越来越重要的作用。但是,目前国内有关这方面的著述尚少,系统全面介绍卫星气象学的书籍更少。为此我们根据南京气象学院大气探测专业多年使用的卫星气象讲义和十多年的教学经验编写了本书。该讲义在教学实践中曾多次修改。这次为加强卫星气象基础理论,反映最新卫星气象研究成果,适应卫星气象学科发展,又对讲义进行了较大幅度的增删、调整和修改。对一些重要的卫星气象基础知识作了补充,对同学最感困难的内容作了更深入的叙述。还删除了与卫星气象关系不大和某些不恰当的地方。

本书全面、系统地介绍了卫星气象学的基础知识,以及卫星资料在气象上的应用。全书共分十一章。第一章概要介绍卫星气象包括的内容、特点和卫星资料在各方面的价值;第二章介绍气象卫星轨道、技术和发展史概况;第三章介绍辐射基础知识、大气辐射传输理论、卫星观测原理和卫星云图观测仪器;第四章介绍卫星云图接收原理、设备和云图定位、图象处理;第五章叙述卫星云图特点和云的识别;第六章介绍如何运用卫星云图分析预报天气系统;第七章是卫星资料在热带地区的使用;第八章叙述卫星云图在冰雹、暴雨等灾害性天气分析预报中的应用;第九章讲述如何从卫星资料估计降水、风和云参数;第十章详细叙述大气垂直温度分布、湿度和表面温度探测的原理、仪器和反演方法;第十一章介绍微波遥感大气的原理及应用。

本书第五、六、八、九、十一章由陈渭民编写,第一、二、三、四章由夏浣清编写,第七章由陈光宇、肖稳安编写,第十章

由陈渭民、夏浣清编写。初稿完后由陈渭民进一步修改、补充和调整，负责全书的统一。

本书承蒙广东省气象台吕晋文、江苏省气象台桑凤章和南京气象学院王振会老师仔细审阅全稿，提出许多宝贵意见。顾松山老师对本书的编写给予关心和支持，在此表示感谢。

卫星气象学是一门正在迅速发展中的新学科，我们的业务水平十分有限，又缺乏经验，因而书中肯定存有不少缺点和错误，衷心希望广大读者在学习使用中提出宝贵意见。

目 录

第一章	绪论	(1)
§1	气象卫星遥感的意义和内容	(1)
§2	气象卫星遥感的特点	(3)
§3	卫星资料在气象研究中的作用	(5)
第二章	卫星的运动和气象卫星	(10)
§1	卫星的运动规律	(10)
§2	气象卫星轨道	(23)
§3	卫星的发射和卫星技术	(31)
§4	气象卫星的发展概况	(36)
第三章	气象卫星遥感大气的基本原理	(50)
§1	电磁波谱和辐射度量	(50)
§2	辐射基本定律	(62)
§3	太阳和地球-大气系统辐射及其在大气中的传输特性	(74)
§4	大气吸收的理论计算	(88)
§5	辐射在大气中的传输及卫星接收到的辐射	(105)
§6	卫星云图观测原理	(118)
§7	卫星云图观测仪器	(125)
§8	静止气象卫星观测仪器和资料处理系统	(141)
第四章	卫星云图的接收和处理	(153)
§1	地面接收设备和处理系统	(153)
§2	APT地面接收范围和卫星位置的确定	(164)
§3	卫星轨道预报和接收区轨道的计算	(176)
§4	卫星云图定位网格的制作	(186)
§5	云图资料的处理	(201)
第五章	卫星云图的识别	(215)

§1	卫星云图的基本特征	(217)
§2	卫星云图上识别云的判据	(228)
§3	卫星云图上云的识别	(232)
§4	地表特征分析	(245)
第六章	卫星云图上天气尺度云系的分析	(255)
§1	大尺度云系	(255)
§2	利用卫星云图分析槽线和脊线	(269)
§3	锋面云系	(282)
§4	温带气旋云系	(296)
§5	急流云系	(314)
第七章	卫星云图在热带天气和台风分析预报中的 应用	(323)
§1	卫星云图在热带地区的作用	(323)
§2	热带天气系统的云系特征	(328)
§3	台风发生发展的云图特征	(346)
§4	应用卫星云图确定台风中心和强度	(352)
§5	利用卫星云图预报台风路径	(365)
第八章	卫星资料在对流性天气分析预报中的应用	(371)
§1	卫星云图在强对流天气分析预报中的使用	(371)
§2	卫星云图在暴雨分析预报中的应用	(399)
§3	中纬度地区的局地性云系分析	(416)
第九章	由卫星资料估计降水、风和云等气象要素	(421)
§1	利用卫星云图估计降水	(421)
§2	由卫星云图估算风	(441)
§3	由卫星资料估计云参数	(461)
第十章	利用卫星资料推算大气温度、湿度分布和 海面温度	(473)
§1	大气温度的遥感原理	(473)
§2	星载红外大气测温仪器	(483)
§3	晴空无云时大气温度的反演方法	(493)
§4	有云时大气温度廓线的遥感	(504)

§5 临边扫描观测	(513)
§6 红外遥感大气的水汽分布	(517)
§7 海面温度的求取	(522)
第十一章 微波遥感大气	(534)
§1 微波辐射的基本特点	(534)
§2 微波辐射计	(552)
§3 微波遥感大气温度	(565)
§4 微波遥感水汽和降水	(574)
§5 微波遥感自然界的表面特性	(588)
参考文献	(594)
附录 卫星及其仪器的缩写及缩拼词解释	(596)

第一章 绪 论

§1 气象卫星遥感的意义和内容

二十世纪五十年代后期，空间技术迅速发展，出现了人造卫星。人造卫星是进行科学研究的重要工具。目前，人造卫星已广泛地应用于天文、气象、地质地理、海洋、农业、军事和通讯等各个领域。在1960年4月1日，美国第一颗气象试验卫星泰罗斯-1号发射成功，开创了人造卫星应用于气象探测的新纪元，自那时至今的二十多年，卫星探测技术得到迅速发展。在卫星上携带各种气象观测仪器，测量诸如温度、湿度、风、云和辐射等气象要素以及各种天气现象，这种用于气象目的的卫星称做气象卫星。气象卫星的出现促进了气象科学的发展，在探测理论和技术、灾害性天气监视、天气分析预报等方面发挥了重要作用。

一、气象卫星的遥感

气象卫星在几百公里、甚至几万公里的太空对地球-大气系统进行观测，是一种以遥感探测为主的技术。所谓遥感，就是在一定距离之外，不直接接触被测物体和有关物理现象，通过探测器接收来自被测目标物发射或反射的电磁辐射信息，并对其处理、分类和识别的一种技术。收集电磁辐射信息的装置（如扫描辐射仪或相机）称做传感器。装载传感器的设备（如卫星、飞机、火箭）称做运载工具。

遥感探测技术可包括下面三个重要组成部分：

- （1）遥感信息获取手段的研究，主要是研究在各个电磁波工作波段的各类传感器的特性；
- （2）各类物体的辐射波谱特性，以及这种信息传输规律的

研究；

(3) 遥感数据的处理以及分析判读技术的研究。

因而遥感技术体系由包括地面控制、接收在内的卫星观测体系和数据处理系统，以及资料分析应用等部分组成。

二、卫星气象学的主要内容

气象卫星探测技术的迅速发展和探测资料的广泛应用，促进了一门新的学科——卫星气象学的形成和发展。卫星气象学主要研究六十公里以下大气中的各种气象要素，它的内容有两方面：

(1) 寻找从卫星上探测和获取大气中主要气象要素和大气现象的理论和方法；

(2) 研究卫星资料的处理和使用方法。

具体地说，卫星气象学研究的是：

(1) 被测物体（如地表、云和大气中主要吸收气体）的辐射特性及电磁辐射在大气中的传输规律；

(2) 选择测量各种气象要素和推断物体特性的最佳光谱段；

(3) 能满足气象观测要求的遥感仪器的最佳设计；

(4) 卫星资料的接收、最佳处理、存贮和各种气象要素的计算；

(5) 卫星资料在气象各领域内的分析使用，和卫星资料精度的估计。

三、遥感的分类

遥感的分类方法很多，有按工作方式分的，有按探测波长划分的，有按被测对象分的。

(1) 按工作方式分为主动式和被动式。所谓主动式就是测量由人工发射然后经被测物体反射回来的电磁辐射能量，再根据测量的反射电磁辐射特征来识别和推断目标物的特征。对于这种探测方式需要有能发射电磁辐射的系统和接收系统，所以整个设备系统的体积大、重量重、消耗功率大，一般适用于地面遥感。

例如目前气象部门使用的测雨雷达就是这种工作方式。由于这种工作方式需要有人工电磁辐射源,故又称有源遥感。被动式则是测量目标物自身发射的电磁辐射或反射太阳辐射来推测目标物的特性,对这种方式只需要一套感应电磁辐射的接收系统,所以其体积小、重量轻、耗能少,这种方式又称无源遥感。一般卫星遥感都采用这种被动式探测。

(2) 按探测器选用的电磁波波段划分可分为紫外遥感、可见光遥感、红外遥感和微波遥感。随着卫星测量技术的发展,在探测某一目标物时常采用几个波段同时观测,这种观测称多光谱遥感。

(3) 按被测对象分类,有大气遥感、海洋遥感、农业遥感和地质地理遥感等。对于大气遥感,根据测量的气象要素又称为温度遥感、大气成分遥感、风的遥感等。

(4) 按信息表现形式划分,有图象方式和非图象方式两类。图象方式是把获得的辐射以黑白色调的图象表示。非图象方式则是把测量的辐射用数据或图表表示出来。

§2 气象卫星遥感的特点

气象卫星从空间观测地球大气,作为新型的气象观测平台,经过二十多年的实践,发现其与常规气象观测和其它气象观测相比较,有许多特点和优越性。

一、气象卫星在固定轨道上进行观测

气象卫星一旦进入轨道,便只能在固定的轨道上观测地球大气,而不象飞机那样可以自由选择观测区域。卫星的轨道不同,其观测范围和区域都不同,所以对于一定观测目的,轨道的选择是重要的。由于卫星入轨后,不再需要象飞机那样提供飞行动力,所以其工作时间长达几年以上。

二、实现了全球观测和大范围观测

气象卫星在几百公里到几万公里的高空，不受国界和地理条件的限制，对地球大气可进行大范围观测，取得大范围的观测资料。例如泰罗斯-N 卫星在 850 公里高空对地球东-西向扫描观测可达 2—3 千余公里；地球同步卫星的观测面积达 1 亿 7 千万平方公里，约为地球表面的 $\frac{1}{3}$ 。

由于卫星在固定的轨道上运行，地球不停地自西向东旋转，所以当卫星绕地球转一圈的同时，地球也相应地自西向东转过一定角度，从而使卫星能周期地观测地球上的每一个地点，实现卫星的全球观测。而地面观测只能得到一个地点的资料，雷达只能对局地小范围观测，飞机只能对飞行路线上的地区观测。气象卫星就避免了这些观测方式的局限性。卫星的大范围观测，使得占地球的 $\frac{4}{5}$ 的海洋、荒无人烟的沙漠、高原等地区，都可以从卫星上获得气象资料，从而可以了解全球大气活动情况。

三、在空间自上而下进行观测

气象卫星在空间自上而下对地球大气观测，这与从地面自下而上观测是不同的。如对云的观测，在有几层云时，卫星首先看到的是高云；若高云很薄，则可透过高云看到中低云；若高云很厚，且遮住中低云，则卫星只能见到高云。如果卫星看到的云很白，说明这云很厚，而地面观测这块云常是较暗的色调。

气象卫星不仅可以作大范围水平观测，而且可以作垂直观测，为研究天气系统的结构提供了有用的资料。

四、卫星进行的观测是遥感探测

气象卫星对地球大气只能进行遥感测量。遥感探测具有观测速度快、项目多、信息量大，测量系统不干扰被测目标物，资料代表性好等优点。如卫星可以用多个光谱段，以较短的时间间隔进行观测，及时掌握云系的演变和各种气象要素，为天气预报提供依据。卫星资料比地面观测更具有内在的均匀性，在全球表面是连续的，不象现有的常规地面观测是不均匀和间断的。

五、便于新的探测技术的使用，受益面积广

气象卫星作为新型的气象观测平台，在上面可以安放用于各种目的的仪器进行试验和工作，因而新技术推广快。同时，由于气象卫星能通过世界任一地区，所以其取得的资料可以实时发送给各国，即卫星资料不仅为本国接收使用，还可供其它国家接收使用，受益面积广。

对于某一探测内容，气象卫星用同一仪器对地球大气观测，因而资料统一，便于比较和研究。

§3 卫星资料在气象研究中的作用

从六十年代初第一颗气象卫星成功发射至今二十多年内，卫星探测在天气分析预报和大气研究等领域发挥了重大的作用，取得了明显的效果，主要表现为以下几方面。

一、增加了气象资料的内容和范围

气象卫星观测体系的建立，大大地丰富了气象观测的内容和范围，使大气探测技术和气象观测进入了一个新的阶段，突破了人类只能在大气底层观测大气变化的局限性。一些难以观测的资料和地区，现在都能从气象卫星上得到实现。目前气象卫星可以提供如下几种资料：

① 每日昼夜的可见光、红外等各种云图；② 云顶温度、云顶高度、云量和云的相态等；③ 吹沙、浮尘、冰雪覆盖等陆地表面状况；④ 海面温度、海冰、洋流等海洋表面状况；⑤ 全球一定时间间隔（如 6 小时）的垂直温度廓线；⑥ 全球大气中水汽总量及各个高度上的湿度分布，降水区和降水量分布；⑦ 给定区域内高、低空风场；⑧ 大气中臭氧含量及其在各个高度上的分布；⑨ 太阳质子、 α 粒子和电子通量密度、能量谱以及卫星高度上的粒子总能量；⑩ 太阳入射辐射和地气系统的反射总辐射，以及地气系统的长波总辐射量。

二、青藏高原天气分析预报的重要依据

由于青藏高原地广站稀,气象资料十分缺乏,所以在应用卫星资料之前,人们对高原上的一些大气物理过程和天气现象不很清楚,天气分析和预报也很难作好。但是在应用卫星资料之后,大大改善了青藏高原地区的天气分析和预报,揭露了一些天气系统、解释了一些以前无法说明的天气现象。如在过去认为青藏高原上无冷、暖锋等天气系统活动,但卫星云图指出:这些天气系统都有清楚的表现,夏季季风云系也可以侵入到青藏高原上。孟加拉湾风暴也影响青藏高原上的天气,并造成大范围降水。

三、监视暴雨和强雷暴天气

暴雨和强雷暴对人们的生命和财产具有危害性,但这类系统的空间尺度小、生命短,用常规观测资料很难抓住它,因此对它们的观测、分析预报成了一个特殊问题。由于静止气象卫星云图观测范围大、观测时间间隔可以较短、具有较高的分辨率,所以它是及早发现和连续监视这种危险天气的有效工具。近几年来,我国气象台站预报员用卫星云图监视暴雨和强对流的发生发展,并作出这种中小系统的天气预报,减少了人民生命和财产的损失。

四、监视海洋上的天气系统

在热带海洋地区,资料稀少,所以用常规气象资料不容易追踪洋面天气系统的发生发展和移动。卫星云图是监视洋面上天气系统,特别是台风活动的重要工具。在使用卫星云图以来,热带洋面上的台风没有漏掉一个,特别是近几年来,已经总结出一套行之有效的预报台风强度和路径的方法,提高了台风预报的准确性,延长了预报时效,保障了人民生命和财产的安全,减少了经济损失,其效益是难以用金钱来估量的。

五、加深了对天气系统的理解

由于卫星观测范围大,能得到海洋、高原和沙漠等地区的气象资料,大大地改进了这些地区的天气分析,加深了对天气系统的理解。如影响我国东部地区的天气系统,大多是从青藏高原

上移来的。在卫星观测之前，高原上资料稀少，许多天气系统常被遗漏，造成天气预报的失败。使用卫星资料后，能及早发现和分析这些天气系统，从而提高了预报的准确率和服务水平。在目前，许多预报员作天气预报时已离不开卫星资料。

六、改进了长期天气预报

由于卫星能提供南北半球的环流和中低纬环流间相互作用的有关资料。又因这些作用在几天或几个星期后影响中纬度地区，所以应用这些资料可以帮助制作长期天气预报。另外，使用卫星观测的海面温度、地表和洋面上的冰雪覆盖资料，以及地球-大气和宇宙之间的辐射能交换资料，可以研究海气交换、整个地球的气候变迁等。

七、为海上活动提供有用的资料

全球广阔海洋上的大范围冰、水状态对全球天气有重要的影响，卫星观测到的海温、海冰、海面状态等对制作海洋天气预报有很大帮助。例如根据卫星资料提供的天气实况和天气预报，可以避免不利的天气和海上巨浪，改进海上航运业务。又如根据卫星资料制作的海冰分布图，可以寻找可通行水路的最佳航线，不仅绕过海上危险的巨大冰山，而且节省了时间和花费。在美国每年在海上航运事故造成的损失达5亿美元，在利用卫星资料后，可减少损失5—10%。在每年冬季，我国渤海湾地区也常出现冰冻。用飞机或船舶侦察海冰分布，不仅费用大，而且常不能满足要求。用卫星资料就能及时而准确作出海冰分布图，为我国航运事业提供有用的资料。

在卫星观测之前，由于缺乏资料，航空天气预报很难作准。在一张航线图上，标出哪里有强烈颠簸、哪里有积雨云、哪里能见度差、哪里有危险天气等是很困难的，即使能标出，误差也很大，应用卫星资料后便改善了这种情况，为飞机安全飞行提供了保障。

利用卫星资料可以发现海洋上较大范围的污染。如石油污染、热污染和固体垃圾污染等海洋污染对生态系统破坏极大，这

些都可以通过卫星资料进行检测，从而对海洋实现环境监视。

使用卫星资料还可以研究海岸、河口的形态及沿岸泥沙的搬运。为海港建设、保护海岸和浅海区域施工提供资料。

卫星资料可以帮助海洋捕捞。其提供的海洋信息，直接或间接反映鱼类生态情况。例如根据卫星提供的海面温度定出的冷暖洋流的边界位置，是鱼类活动的区域，由此可预报鱼群，从而提高捕鱼产量。

八、提供农业气象资料

卫星观测能为农业气象提供如日照、降水、温度和一些重要的天气现象等重要资料，根据这些资料可以进行农业区划，指导农业生产，作好产量预报。

九、在军事气象方面的应用

气象卫星资料广泛用于军事保障工作。如空军靶场，着陆场预报、远程轰炸机航线天气预报、危险天气警报、特种军事勤务保障、弹道导弹系统的计算、气象参数对通信和雷达系统的影响计算等，卫星资料起有重要作用。

在美国，还专门发射军用气象卫星，建立军事卫星观测体系，得到比一般气象卫星分辨率高得多的气象资料，在越南和中东战争中广泛使用军事卫星气象资料，发挥了作用。

随着我国现代化国防、空间科学和尖端武器的发展，对气象保障工作提出越来越高的要求。例如要保障卫星的发射或着陆回收，必须对这些地区的天气了解清楚，而这些地区人烟稀少，资料缺乏，气象卫星却可以为此提供及时而有效的资料。特别在战时，气象卫星可以获取敌区的气象资料。同时，若敌方对我实行封锁，气象情报来源一旦中断，气象卫星则可发挥更大的作用。

十、收集和转发各种气象资料

气象卫星不仅是一个空间观测平台，而且可以是资料收集和转发平台，它可以收集船舶、气球、漂浮站及自动气象站资料，

并传送给资料处理中心，然后通过卫星向世界各地播发。此外，气象卫星还可兼作通讯之用。

十一、空间环境监测

利用气象卫星可以进行空间环境监测，由其测量的太阳质子、 α 粒子、电子等资料，为研究外空提供了一些物理参数。