

张瑞生 著

山东科学技术出版社

天气微波遥感

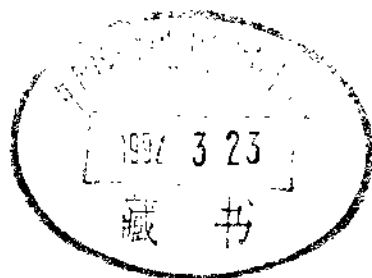


1407
ZRS

大气微波遥感

张瑞生 著

TU31/F9 1 TU31/F9



山东科学技术出版社

1 7370

大气微波遥感

张瑞生 著

山东科学技术出版社出版

(济南市玉函路)

山东省新华书店发行

山东人民印刷厂印刷

850×1168毫米32开本 3印张 169千字

1989年12月第1版 1989年12月第1次印刷

印数: 1—1,200

ISBN7—5331—0538—9/TN·16

定价 4.75元

“泰山科技专著出版基金”顾问、
评审委员会、编辑委员会

顾问 宋木文 伍 杰 苗枫林

评审委员会 （以姓氏笔画为序）

卢良恕 吴阶平 杨乐 何祚庥 罗沛霖 高景德
唐敖庆 蔡景峰 戴念慈

编辑委员会

主任委员 杜秀明 石洪印

副主任委员 梁 衡 邓慧方 王为珍

委员 （以姓氏笔画为序）

邓慧方 王为珍 卢良恕 石洪印 刘韶明 吴阶平
杨 乐 何祚庥 杜秀明 罗沛霖 林凤瑞 唐敖庆
高景德 梁 衡 梁柏龄 蔡景峰 戴念慈

我们的希望（代序）

进行现代化建设必须依靠科学技术。作为科学技术载体的专著，正肩负着这一伟大的历史使命。科技专著面向社会，广泛传播科学技术知识，培养专业人才，推动科学技术进步，对促进我国现代化建设具有重大意义。它所产生的巨大社会效益和潜在的经济效益是难以估量的。

基于这种使命感，自1988年起，山东科学技术出版社设“泰山科技专著出版基金”，成立科技专著评审委员会，在国内广泛征求科技专著，每年补贴出版一批经评选的科技著作。这一创举已在社会上引起了很大反响。

但是，设基金补助科技专著出版毕竟是一件新生事物，也是出版事业的一项改革。它不仅需要在实践中不断总结经验，逐步予以完善；同时，也更需要社会上有关方面的大力扶植，以及学术界和广大读者的热情支持。

我们希望，通过这一工作，高水平的科技专著能够及早问世，充分显示它们的价值，发挥科学技术作为生产力的作用，不断推动社会主义现代化建设的发展。愿“基金”支持出版的著作如泰山一样，耸立于当代学术之林。

泰山科技专著评审委员会

1989年3月

前 言

众所周知，大气是三维空间的流体，变化多端，气象万千。因此，世界各国的国防部门（海军、陆军和空军）、交通运输部门（航海、航空等）、宇航部门（卫星、飞船和火箭发射等）和工农业生产部门等，都需要掌握可靠的大气信息，以便完成它们各自的使命。

探索发生在地球周围大气层内的大气物理现象和研究大气的物理状态、化学状态、动力结构及其运动规律等内容的科学，叫做大气科学。实践表明，大气科学的基础是大气探测，大气科学中的许多科研成果都是基于大气探测的技术改进和设备更新。

现代大气探测的发展趋向之一，就是逐步走向“遥感化”，以大气为探测对象的遥感，叫做大气遥感。在大气遥感领域中，微波遥感可以弥补红外遥感和可见光遥感等在探测性能上的不足，并且具有“全天候”观测等突出优点。自从本世纪40年代出现了气象雷达和大气微波辐射计以来，特别是在本世纪60年代后期发射的气象卫星开始装载了以大气为探测对象的微波遥感仪器以后，大气微波遥感获得了蓬勃的发展。本世纪70年代中期以来，多普勒技术、计算机技术、可编程序信号处理机、联机（联接计算机）式数据处理技术、实时彩色显示技术、毫米波技术和偏振技术等逐渐广泛地应用于气象雷达；大气微波辐射计在接收机灵敏度、波谱响应范围、探测精度（指进行

低温标定后的绝对精度)、天线方向性(及其扫描方式)和整机工作的稳定性等技术上有了显著的进展;在多波长、多极化、多功能和新体制(指脉冲多普勒体制)等天气雷达和各种类型的大气微波辐射计尚不能完全满足大气科学与业务实际需要情况之下,苏联、日本、中国和美国等先后相继设计、研制和试验了从技术上将雷达(以及微波散射计、脉冲多普勒雷达)与大气微波辐射计有机结合而构成联合探测系统。可以这样说,近十年来,大气微波遥感的原理、技术、观测与分析等均产生了深刻的变革。为此,本书面向不同工作方面和具有不同专业水平的读者,综合叙述了现代大气微波遥感的原理、技术、应用与发展。针对我国的现实情况,试图为解决一些有关大气微波遥感的“知识老化”、“技术老化”、“设备老化”等实际问题做一点贡献。

在编著《大气微波遥感》一书之前,本人已经编写了“大气遥感”的初稿。后来,由于时间关系和业务水平所限,只好根据国内外的有关文献及本人在杂志上发表的一些文章和多年来搞的一些科研与技术工作,将“大气遥感”原稿的微波部分改写成《大气微波遥感》一书。

由于本人时间紧、水平低,书中难免有缺点错误,敬请读者指教。

编著者

1988年8月

目 录

第一章 概述	1
第一节 大气探测	2
一、大气探测的发展	3
二、大气探测的现状	4
三、大气探测的趋势	6
第二节 大气遥感	9
一、大气遥感的兴起	9
二、大气遥感的物理基础	11
三、大气遥感的应用与试验	13
四、大气遥感的发展与前景	17
第三节 大气微波遥感	21
一、微波遥感的优点	21
二、微波遥感的物理基础	22
三、大气的微波辐射	22
四、大气微波遥感的种类	23
五、主动式大气微波遥感的应用	24
六、被动式大气微波遥感的应用	25
七、主被动式大气微波遥感的试验与进展	26
第二章 大气微波遥感的探测原理与设备应用	27
第一节 微波技术的最新进展	27
一、毫米波大气衰减的研究概况	28
二、毫米波元器件及其技术	29
三、毫米波系统的应用	31

第二节 大气微波遥感的探测原理	33
一、大气微波辐射	33
二、大气微波遥感的物理基础	35
三、大气微波遥感的探测原理	36
第三节 雷达在大气微波遥感中的应用	42
一、气象雷达的应用与发展	42
二、雷达回波中的气象信息	46
三、气象雷达应用的局限性	51
第四节 微波辐射计在大气微波遥感中的应用	54
一、测量大气温度廓线	56
二、观测云、雨、雾和水汽	58
三、遥感晴空湍流和高空风	60
四、观测大气成分廓线	60
五、观测大气污染	61
六、观测地球表面的微波特征	61
七、应用于无球探空	63
第三章 主动式大气微波遥感	66
第一节 气象雷达的现状及其发展趋势	67
一、雷达的出现与气象雷达的兴起	67
二、气象雷达的现状	68
三、气象雷达的发展趋势	73
第二节 天气雷达	75
一、概述	76
二、天气雷达的回波	78
三、新一代天气雷达	80
第三节 气象脉冲多普勒雷达	85
一、气象目标回波中的多普勒信息	87
二、脉冲多普勒雷达的技术特征	96
三、早期的气象脉冲多普勒雷达	102
第四节 气象雷达的信号处理	104

一、气象雷达信号的处理必要性	106
二、非相参气象雷达的信号处理	107
三、相参气象雷达的信号处理	119
第五节 气象脉冲多普勒雷达在空中交通管制方面的应用	130
一、利用多普勒信息揭示航危问题	131
二、观测微型猝发气流	132
三、多普勒信息在航危中的应用	136
四、英国的联合航空港气象研究(JAWS)计划	137
第六节 典型的现代气象雷达	139
一、双频率气象脉冲多普勒雷达	139
二、双偏振气象脉冲多普勒雷达	143
三、无线电-声探测系统	147
四、MST雷达	158
第四章 被动式大气微波遥感	165
第一节 大气微波辐射计的工作原理	165
一、遥感背景	166
二、观测特点	167
三、典型结构	169
四、性能限制	171
第二节 大气微波辐射计的主要技术	174
一、大气微波辐射计的系统分析	174
二、大气微波辐射计的技术要求	177
三、大气微波辐射计的主要技术	179
第三节 狄克型大气微波辐射计	186
一、非零平衡式狄克型大气微波辐射计	187
二、准零平衡式狄克型大气微波辐射计	191
三、零平衡式狄克型大气微波辐射计	196
第五章 主被动式大气微波遥感	203
第一节 主被动式大气微波遥感的探测原理	204

一、雷达与微波辐射计测雨原理的分析.....	205
二、雷达/微波辐射计联合探测云雨参数的原理.....	207
三、主被动式大气微波遥感的兴起.....	210
第二节 雷达/微波辐射计联合探测系统.....	212
一、基本结构.....	213
二、技术性能.....	215
三、技术特点.....	219
四、观测结果.....	221
五、科研价值.....	221
第三节 微波散射计/微波辐射计联合探测系统.....	222
一、基本概况.....	223
二、技术特征.....	225
三、数据分析.....	233
主要参考文献	236

第一章 概 述

60年代以来，遥感技术获得了迅猛的发展，它在国防、农业、气象、海洋、森林、空间科学、大地测量、环境保护和地球资源考察等方面的应用都展现了无限广阔的前景。

遥感是一门涉及范围极为广泛、技术非常复杂的新兴科学技术。采用现代科学技术的遥感，不但在国防与国民经济的各个有关部门中得到了越来越广泛的应用与发展，而且正在继续显著地发挥着经济效益。所谓遥感，是指用远距离遥测方法来获得有关目标的信息，以及对必要的目标信息进行识别与分类的技术。遥感的优点在于不需要实际接触目标，就能探测和测量它的一些特性（如物理特征、化学特性等）。现代的遥感技术大概包括以下4个方面的内容：遥感设备，用它来传输（或直接接收）和处理目标信息；信息传送，如将卫星遥感到的目标信息进行初步整理之后，以一定的传输方式送到有关地面站；积累目标的波谱特征，如用某种专门仪器收集目标的波谱特征，从而得到判读目标信息的依据；对遥感到的目标信息进行处理、判读和分类。

显而易见，遥感技术的首要内容是遥感设备。然而，目前的遥感设备真可以说是五花八门、种类繁多。尽管如此，还是可以对现有的遥感设备进行分类。按工作方式，可以将遥感设备分为主动式（有源式）、被动式（无源式）和主被动式三种；按工作波段，可以将遥感设备分为微波、光波和声波等多种。

气象学是以大气为研究对象的一门应用科学，其任务是认识大气运动的规律和预报大气的行为，进而对天气与气候进行人工影响和控制，从而达到为国防和国民经济服务的目的。因此，能否获得准确而又足够的气象资料，关系到能否不断改进对大气运动规律的认识、天气预报和人工影响天气等大气科学的进展及各种气象业务工作是否能够做得更准确和更及时等一系列问题。实践证明，气象科学与气象业务的工作基础是气象观测，气象观测中的一个重要技术就是大气探测技术。然而，随着现代遥感技术的发展而兴起的大气遥感技术，正在大大地改变着大气探测技术的面貌。

第一节 大气探测

为了获得数量更多、质量更高、时间和空间分辨率更能满足要求和更加适用的气象观测资料，科学技术比较发达的国家无不在发展与应用大气探测技术，并且在研究和掌握必要的大气探测手段上投进了大量的人力、物力和财力。目前，大气探测可以分为如下几类：地面气象观测、高空气象观测、大气遥感探测、气象卫星探测和特殊观测（指中高层大气探测、环境监测、农业气象观测等）。多年来，国际气象界对大气探测技术的应用与发展十分重视，并且把它看作是开展气象科研与业务工作的一个重要手段。例如，在多普勒雷达出现以前，靠常规的大气探测手段探测和预报龙卷风几乎是不可能的。要是不发展极轨气象卫星，就很难把气象观测的范围扩展到全球的每一个角落。若是没有静止气象卫星的观测资料，要监测台风和飓风并且做到象近几年那样一个不丢，显然是不可能的，等等。

一、大气探测的发展

若是从1643年托里拆里发明气压表并且随后出现了世界上第一个大气探测网时算起,大气探测技术的发展已经有300多年的历史了。概括地说,大气探测的发展历史可以分为如下4个阶段:

1. 初始阶段(1643~1914年)

在1643~1914年期间,大气探测技术的主要特点是:技术水平低、发展速度缓慢、大多采用机械技术和靠人工操作。然而,那时的大气探测内容已经发展到了目前地面气象观测的大多数项目,如探测大气的温、湿、压、风等气象要素,以及降水、蒸发和日射等。

2. 发展阶段(1915~1944年)

在赫兹(德国物理学家,1857~1894年)于1886年验证了电磁波的发生、接收和发射之后,气象科技工作者于1915年开始逐步将当时的无线电技术引入到大气探测中。在1915~1944年期间,根据当时科学技术的发展情况,气象科技工作者开始使用电缆风筝(1917年)、无线电探空仪(1928年)、气象雷达网(1944年)等手段进行大气探测。

3. 成形阶段(1945~1959年)

在第二次世界大战后期,德国发射了V—2型火箭。战后,科技工作者引入纳粹德国这个军事上的重要技术成果,制造成功了气象火箭和地球物理火箭,并应用到高空大气探测中。在1948~1949年期间,世界各国先后施放气象火箭,美国、苏联等在此期间还建立了专门为大气探测服务的火箭探测协作网。

4. 成熟阶段(1960年以后)

自从苏联在1957年发射成功了人造地球卫星之后,美国于

1960年4月成功地发射了世界上第一颗气象卫星。此后,美国、苏联、日本和西欧等相继发射了数颗极轨气象卫星和同步气象卫星。装载多种遥感设备的气象卫星,能够在监测台风等灾害性天气和改进天气分析方法等方面发挥突出的效能,并且实际上已经成为天气预报业务的重要手段,从而将大气探测技术推进到了成熟阶段。

从17世纪到本世纪初期,由于受到当时科学技术水平的限制,大气探测技术的发展非常缓慢。此后,随着科学技术的发展,大气探测技术有三次突破性的进展:

(1) 无线电探空突破了300年来只能在大气底层观测大气的框框,把气象观测从地面发展到了高空。

(2) 火箭探空突破了无线电探空被限制在30km左右的高度,使大气探测发展到了高层大气的中间层和电离层。

(3) 气象卫星突破了无线电探空仪和大气探测火箭只能观测某一局部空间、某个孤立时刻大气状况的限制,开创了观测大范围天气的连续变化的新局面。

二、大气探测的现状

本世纪60年代以来,科学技术获得了飞速的发展。空间技术、遥感技术、电子技术、计算机技术、多普勒技术以及信号处理、数据处理和信息传输等新技术在大气探测中的广泛应用,不但使大气探测技术有了显著的发展,而且使大气探测网的组织、探测方法和探测理论等有了相当可观的进展。在本世纪80年代初期,大气探测的面貌与20年前相比,已经有了极其深刻的变化,其主要表现为:

1. 技术水平显著提高

具有较强的探测能力和较高的自动化水平的气象卫星、自

动气象站、多普勒雷达等重要的现代化大气探测设备及其观测系统，不但可供业务观测使用，而且在20多年的时间里大都经历了几代的发展。

例如，自动气象站从50年代只能观测少数几个气象要素，60年代采用晶体管电路和数字通信技术，发展到70年代后采用集成电路和微处理机等现代电子技术，使观测项目、观测精度、资料传输方式和运转的可靠性等都有显著提高。

常规气象雷达的元器件以电子管、晶体管为主体，而采用多普勒技术的新一代气象雷达在结构上广泛采用集成电路，配用小型或微型计算机，采用实时信号处理与彩色显示等，探测效能显著增强。

气象卫星的发展在技术上经历了3次更新换代，它的探测能力由只能以电视摄像方式获取白天低分辨率云图，发展到了采用可见光、红外和微波3种扫描辐射仪获取昼夜高和低分辨率云图、大气成分的浓度、天气系统的时空分布等气象资料，卫星资料的传输也从模拟制发展到传输速率更高、抗干扰能力更强的数字制。

大气探测设备配用计算机，在某些科学技术比较发达的国家里也经历了单机运算、大量信息处理、组成联机系统和计算机网络、计算机化4个发展阶段。

2. 观测手段最佳配合

大气探测技术的不断发展，为改进和加强气象观测工作提供了良好的条件。客观上，任何一种大气探测手段都不是万能的，必然各有所长，也各有所短。为了有效地弄清某些复杂的大气物理过程，大气探测工作者很注意观测方法的研究和观测网的设计，并且很讲究各种大气探测手段的综合应用与力求最

佳配合。例如，本世纪60年代以来，国际气象界一直在致力于着重解决全球范围和区域性的大气形势问题及暴雨、冰雹、龙卷、城市气象等中小尺度天气系统的问题。与这两个问题有关的科研工作，不论是世界气象组织还是某个国家的气象部门，无不对观测方法、观测网和观测手段作了精心的研究、设计和选择。大范围的大气探测，采用了气象卫星为主体，各种特殊观测手段和常规观测手段互相配合的全球观测体制。此外，日本的暴雨研究、美国的冰雹研究试验、大城市气象试验以及强风暴和中尺度天气试验等，除了利用卫星和雷达的探测资料以外，还注意了利用各种常规大气探测手段和自动观测系统增加站网密度，特别注意充分利用地面遥感设备开展声、光和电的大气遥感，以便获取对中、小尺度大气物理过程的研究有特殊意义的遥感资料。

3. 形成了直接观测、遥测和遥感三种大气探测技术

直接观测和遥测有很多的优越性，如原理简单、直观、测量精度较高、成本低廉、观测资料稍加处理就可以应用等，这就是目前这些大气探测技术仍然有很强的生命力和获得继续应用与发展的原因。然而，直接观测和遥测也有明显的局限性。在预报分析研究工作的发展对观测资料提出更多要求的今天，遥感技术的长处正好弥补了它们的不足之处。例如，遥感探测不必接触被测对象，不会扰动被测介质；获取的观测资料不仅时间、空间分辨率高，而且具有时间、空间连续性；遥感测量的参数范围很宽广，其中包括各种通量、涡度、大气辐合以及平均值；遥感设备大都可以自动操作等。正因为如此，目前遥感技术在大气探测中处于十分突出的地位。

三、大气探测的趋势