

方宗义 吴国良 编著



空间气象观测站
——气象卫星

气象出版社

空间气象观测站——气象卫星

方宗义 吴国良 编著

气象出版社

1981

编者的话

地球上的风云变幻与人类的生产活动和生活息息相关。我们要预报未来的天气并最终控制天气，首先就要了解这些天气变化的原因。为此，就必须知道在这些天气现象发生过程中的温度、湿度、气压、风等气象要素的空间分布和随时间的变化情况。要了解这些演变情况，就得依靠观测。最早的观测方法是凭人的眼睛看天，后来才相继使用由简单到复杂的各种观测仪器，从定性估计发展到定量计算。随着科学技术的发展，人类探测大气的高度和广度都有新的提高。1960年以后，气象卫星的发射并投入业务使用是气象发展史上的一个里程碑。从此，人们可以在地球大气外层的不同高度上俯瞰大地，密切监视台风、强风暴、暴雨等灾害性天气系统的位置、强度变化和移动方向，同时还可观测到大气温度、水汽、云层、降水、海洋温度、海水状况等等。气象卫星不受地理条件的限制，能够获得人迹稀少的洋面、高原、沙漠、两极地区的资料，并且可以日夜对地球大气进行连续观测，这是它的优越性。气象卫星观测资料的应用，使天气预报的技术水平有了进一步的提高，从而引起了人们对气象卫星的浓厚兴趣。人们不禁要问，气象卫星的本体结构是什么？它的运行轨道有什么特点？它是怎样开展工作的？它与地面接收站的关系如何？气象卫星资料在天气分析和预报中有哪些应用？它对气象学科发展的贡献是什么？它还有哪些潜力可以发挥？今后发展的方向又是什么？等等。这些问题，读者可以从这本小册子里初步地得到解答。

目 录

编者的话

第一章 从探测大气谈起

1. 气象探测的发展简史..... 1
2. 常规探测的局限性..... 4
3. 大气遥感探测的兴起..... 7
4. 开辟了从宇宙观测大气的新时代..... 10

第二章 气象卫星概况

1. 气象卫星的简述..... 13
2. 气象卫星的种类..... 16
3. 不同轨道气象卫星的优点..... 22
4. 气象卫星探测仪器对卫星姿态的要求..... 29

第三章 如何用气象卫星探测气象资料

1. 气象卫星的观测特点..... 33
2. 气象卫星怎样拍摄云图..... 36
3. 用气象卫星测量大气要素..... 44

第四章 气象卫星资料的发送、接收和处理

1. 气象卫星资料的发送..... 48
2. 气象卫星资料的接收..... 54
3. 气象卫星资料的处理..... 64

第五章 气象卫星资料的应用

1. 灾害性天气的警报..... 77
2. 监视台风..... 81

3.	观测高原天气的变化.....	90
4.	为海洋事业服务.....	95
5.	为航空事业服务.....	98
6.	确定地表特征.....	103
第六章	气象卫星的发展和未来	
1.	极轨气象卫星的发展.....	106
2.	地球静止气象卫星的发展.....	111
3.	未来的气象卫星和资料处理系统.....	112
结束语		121
附录	美国气象卫星一览表.....	122

第一章 从探测大气谈起

1. 气象探测的发展简史

地球上的天气，每天都在激烈地变化。当热带遭受着狂风暴雨猛烈袭击的时候，寒带的人们也许在抗御暴风雪造成的严寒；在温带，一些地方风和日丽，景色明媚；一些地方则可能雷电交加，风雨大作。即使同一个地方，昼夜天气的变化有时也相当激烈。

长期以来，人们为了探测大气变化的规律，一直进行着不懈的努力。

在气象学萌芽时期，由于科学技术水平的限制，人们主要靠眼睛来观察各种天气现象的演变，凭感觉器官来感知寒热冷暖的变化。随着科学技术的发展，人们相继发明了气压计、温度计、湿度计、风速计等，来测量每天气压、温度、湿度、风向和风速的变化，使气象观测从定性估计发展到了定量记录。为了了解高空大气的状况，开始时有人利用风筝携带上述简单仪器进行观测。后来，一些勇敢有为的气象工作者冒着生命危险，乘坐气球吊篮升入高空，用仪器测量那里的气象要素，为气象探测开拓了新的眼界。

本世纪三十年代末、四十年代初，由于无线电技术的发展，不久便发明了无线电探空仪。从此，用气球携带的无线电探空仪探测开始普遍采用。气球在上升过程中，探空仪中的仪器把测量到的周围大气的温度、湿度、气压等要素以无

线电信号不断传至地面接收站。现在，全球约有1000多个无线电探空站，但分布很不均匀。气球探空的高度一般约30公里（10毫巴），少数可达40公里。后来，飞机探测也开始应用，飞机携带气象仪器穿入空中进行探测，可直接观测到云内的微结构、上升气流和温度及气压等分布情况。第二次世界大战期间，雨云反射回波的现象，起初在雷达的军事应用上，是作为噪声来处理的，后来这种所谓的“噪音”引起了气象工作者的兴趣和注意。他们发现雨云对电磁波的散射所产生的回波能够较好地反映云体的结构和活动情况。从此，微波雷达探测大气的方法就开始应用了。

五十年代以后，空间技术迅速发展，使探测技术向前迈进了一大步。1958年后，许多国家相继发射气象火箭，有些国家还组成气象火箭探测网，定时定点进行业务观测。火箭探测的高度一般是30—80公里，较大的火箭可达100公里，地球物理火箭则可达300公里。利用火箭探测资料，可以绘出2毫巴、0.4毫巴、0.1毫巴的高空天气图，从而扩大了气象业务范围，有助于提高天气分析和预报的水平。气象火箭和地球物理火箭的出现，使大气探测出现了新局面。特别是人们从火箭拍摄的照片上，发现大气中的云系组织非常有规则：风暴的巨大涡旋状云系，寒潮爆发前绵延几千公里的云带，……。这一切对于仅局限于地面的观测者来说都是十分新奇的。这种新的发现极大地鼓舞了气象工作者，当时人们就曾设想在大气外空建立各种各样的空间气象观测站，来观测大气错综复杂的变化。

六十年代以后，在电子技术高度发展的基础上，一门新的学科——遥感技术逐步发展起来了。一系列新型的探测设

备，例如微波气象雷达、声雷达、激光雷达以及红外线湿度计、红外线测云仪、声波测温测风仪、激光风速仪等，都是遥感技术在气象方面的应用。所有这一切，使整个气象探测面貌焕然一新。特别是空间技术和遥感技术相结合的气象卫星的应用，开辟了从宇宙空间探测大气的新途径。卫星上带有各种新型的探测气象要素的仪器，遨游太空，俯瞰大地，索取资料。现在，天空已有很多气象卫星不停地围绕着地球运转，日日夜夜监视着地球上的天气变化，并且不断地向地面发送大量的资料、数据和照片……，使人类认识天气的能力空前提高。七十年代末，世界气象组织计划建立全球气象卫星观测系统，主要由2—3个近极地太阳同步轨道气象卫星（统称极轨气象卫星）和5个地球同步轨道气象卫星（又叫地球静止气象卫星）组成，从而构成全球气象卫星观测网。图1是目前已经投入日常业务使用的气象卫星观测网。5个地球静止气象卫星分别位于 0° 、 70°E 、 140°E 、 140°W 、

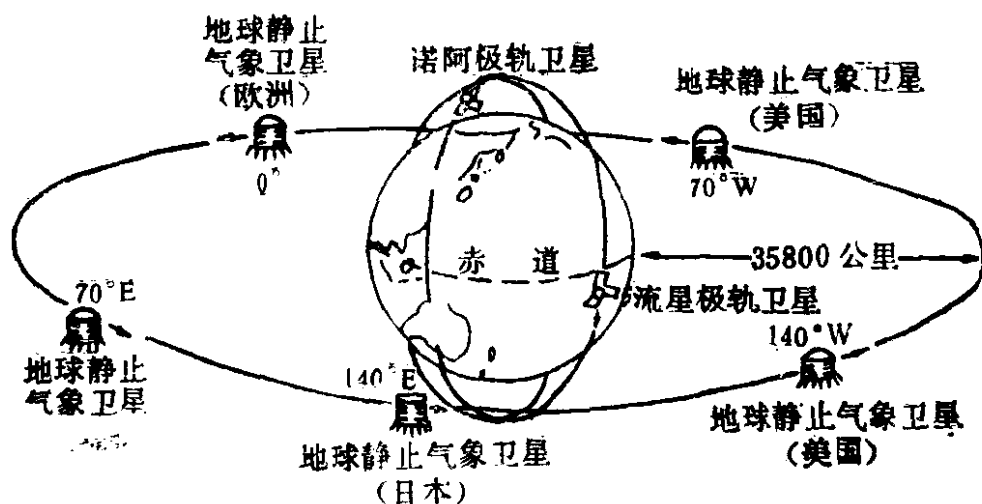


图1 1978—1979年全球大气研究计划第一次全球实验的气象卫星网

70°W的赤道上空。2个极轨气象卫星分别在地方时09时和14时通过赤道。实践证明，气象卫星探测技术的发展，为进一步揭示天气变化的规律和提高天气预报的准确率，创造了十分有利的条件。目前，气象卫星尚在迅速发展阶段，预期今后5—10年间将会有更大的进展。

随着先进通讯设备、高速大容量电子计算机的广泛应用，现在有些国家气象观测自动化程度就更高了。日本就是一例。目前它以地球静止气象卫星为中心，组成了海陆范围、立体综合的全国气象自动测报网，这个自动测报网把日本全国1000多个地面气象自动测报站连接在一起。目前挂在这个测报网上的，已有1317个测报站了。这些自动测报站可以自动测报雨量、气温、风向、风速与日照等气象要素，也可以利用超声波自动测报积雪的深度，还可以监测局部地区暴雨的出现并及早发布可能随之发生的自然灾害警报。全国气象自动测报网中心是用电子计算机装备起来的，采用双机系统工作，可以在十分钟內把全国均匀密布的1000多个自动测报站观测到的实时气象资料收集起来，又能在十分钟內进行处理分发，自动转送到60个左右的使用单位，过去花几个小时才能完成的观测与分析工作，现在十分钟就完成了。

2. 常规探测的局限性

到目前为止，探测大气的方法不外乎两种：一种是常规探测；另一种是遥感探测。

常规探测，它的特点是气象仪器在观测原理上虽然各有差别，但在感应原理上却有一个共同点，即都是“直接感应”。所谓“直接”，它有两层含义，一是仪器所测量的是

与它的感应器件直接接触的那一小块空气的特性。例如百叶箱内温度表测得的是与温度表球部相接触的那部分空气的温度；探空仪所发出的信号是探空气球升空路径上那部分大气的要素值，凡不与仪器感应器件直接相接触的空气就无法测得。二是所测要素直接作用于仪器的感应器件，使之发生某种特征量的变化，然后以适当的方式标示出来。例如气温变化使温度表球部产生胀缩；气压变化造成空盒的伸缩等等。

常规探测的优点很多，主要有三个方面：一是观测原理简单、明了、直观；二是测量气象要素精确度比较高；三是所测要素一般都是天气预报等气象业务所需的常规要素，例如温度、湿度、气压、风向、风速等。由常规探测仪器构成的全球性气象站网，为初步揭示大气运动规律和天气预报服务工作提供了坚实的基础。

近几十年来，由于生产和科学技术的迅速发展，人类的活动范围日趋广阔，全球海陆以至高空都已成为人类频繁活动的场所，因而对大气了解的面就更宽了，除温度、气压、湿度、风等常规要素外，还需要了解大气的其他许多特性，如平流层臭氧的含量，大气气溶胶分布，大气湍流、大气对声、光、电及电磁波各个不同波段的传输特性等。此外，为进一步掌握大气运动规律，提高天气预报准确率，也迫切要求提供全球范围内空间和时间上密度足够大的气象资料。这些要求是现有气象台站网常规探测所难以满足的，这就暴露出常规探测仪器有如下一些局限性：

第一是现有的地面和高空站网密度太稀，而且分布极不均匀。据统计，目前全球地面气象站10000多个，平均间隔约130公里，这些测站绝大部分设在人口稠密的地区，广大

的高山、极地、沙漠等地区测站极为稀少，占全球面积百分之七十的洋面测站就更为稀少了。整个洋面仅有约4000艘商船作流动观测，甚至还有许多地区是气象观测的空白区。至于探空站网则更是如此，全球还不足1000个站，而且大部分分布在北半球大陆。若按大范围数值天气预报的最低要求即每500公里设一站，则总数应追加到1500个站，也要比现有的站数多三分之一。而要实现这一点（特别是均匀分布），现在无论是人力还是物力都难以做到。目前气象站网的密度大大限制着我们去正确认识全球大气环流的概貌和活动规律，限制着我们从全球海洋、地表和大气之间复杂的相互作用这一整体角度来认识天气变化和气候变迁等问题。还有许多中小尺度天气系统，就更难以用那种大尺度的资料网来进行研究和预报，常常出现“漏网之鱼”。总之，现有的气象站网密度太稀，限制着人们正确认识 and 掌握大气运动规律。所以，扩大观测区域和加密现有站网已显得十分迫切。

第二是现有常规观测要素与实际需要内容之间的差距愈来愈大。许多要求是现有的常规探测难以做到的。例如要了解强风暴系统中云的内外结构，虽有飞机冒险穿云和有一些特殊的探测方法，但绝大部分还得靠微波气象雷达这类强有力的遥感手段。

第三是时效问题。常规观测不仅气象站网的空间密度太稀，而且时间间隔也过长，不能适应许多实用的要求。例如一天两次探空就不能满足危险天气预报的要求。一些部门非常希望快速提供实时资料，但常规探测难以办到。

第四是常规观测都是从地面或大气下层自下而上进行的，而且观测高度也较低（最高的是气象火箭也只不过300

公里)。所以它对于有些要素的观测就不太合适(如辐射观测),同时也看不到某些大气现象的上部情况。再说常规观测的范围也十分有限,仅限于本站或本站附近几十公里的地区,这就大大限制了对大范围天气现象揭示的可能性。

常规探测在上述几个方面的局限性,促进了气象观测的重大变革。一方面常规探测得到了进一步发展,例如地面自动气象站和海洋飘浮气象站的创建和大力推广;气象火箭、平流层定高气球和投掷式探空仪以及装备完善的气象飞机等特殊探空方式也在应用。但是,另一方面,一类本质上完全不同的新型的探测方法——遥感探测应运而生,日趋成熟,逐步从根本上克服了常规探测的局限性,从而解决了探测现状与资料要求之间的矛盾。

3. 大气遥感探测的兴起

遥感探测,顾名思义是指观测仪器不直接接触被测物体,而是在一定距离以外,通过仪器的感应元件感测和识别被测的物体特性的一种探测方法。所以遥感探测也常称之为间接感应探测。大气遥感探测的原理是鉴于大气的基本特性上的,即大气既是光波、微波、无线电波、声波和次声波的发射源,同时又是这些波的传播介质。如果我们对大气发射这些波的基本规律以及影响这些波传播的物理性质进行研究,并求出这些波在大气中的传播规律,那么就可以从这些波的形成或性质中得出有关大气中温度、湿度、风、云、雷电等物理状态的资料。

人们不禁要问,大气遥感探测是怎样产生的呢?这就要追溯到第二次世界大战期间。当时利用雷达搜索空中飞机的

时候，人们发现云雨对搜索有很大的“干扰”，因为云雨和飞机一样也会散射雷达发射的电磁波，从而被雷达接收到并显示出回波来。这种“干扰”立即引起了气象工作者的重视，因为凭借这类“干扰”回波可以立即确定几百公里范围内大气中云雨的分布。在此以前，人们对于视线以外的云雨是无法探测的。这种别开生面的探测方法就是大气遥感探测的起始。从那时以来已经过了三十多年，在这期间围绕着研究大气回波的成因、回波的结构与天气系统的关系，研制各种遥感探测仪器以扩大探测要素等方面的工作也随之蓬勃开展，遥感探测就这样兴起了。

话又要说回来，遥感探测与常规探测，两者的目的是一致的，都是为了更多更好地提供天气变化的信息，索取气象资料。但就达到目的的途径来说，两者之间却有很大差别。遥感探测的途径可以用图2中的几个环节来加以概括。图2

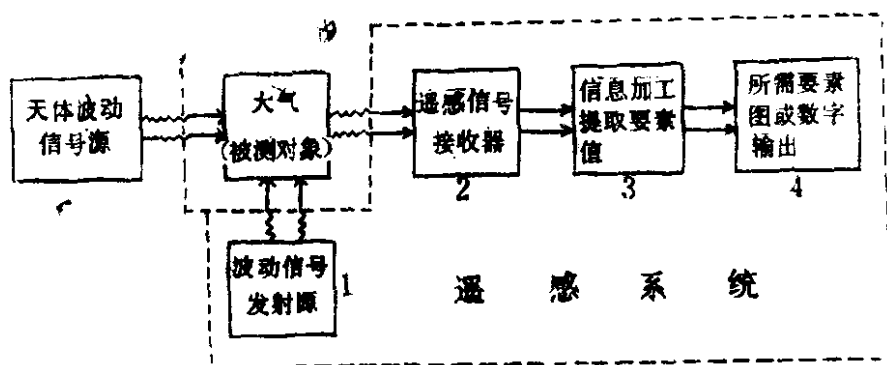


图2 遥感探测过程示意图

中1—4单元总称为遥感系统。带有单元1的称为主动式遥感，例如微波气象雷达其本身向大气中的云雨发射微波脉冲，然后又接收云雨对发射脉冲的反射信号。不带有单元1的称为被动式遥感，它接收的是大气本身发射的波动信号。

此外，还有一种利用太阳等天体作为信号源，接收的是被大气作用了的天体波动源信号，这一类也可算为被动式遥感。

从以上看出，遥感探测具有以下三个明显的特点：①探测器远离被测对象，因而克服了常规探测的局限性，某些遥感手段如气象雷达和次声感应器等还可接收视野以外的大气信息；②探测器一般不是直接接收或显示大气中的气象要素，而是大气本身发射的或经过大气作用了的电磁波信号，如光波、声波等；③由于以上原因，所测到的波动信号一般都很弱，同时由于大气中经常存在其他信息，形成很强的背景干扰，需要在强噪声背景中提取信号，这对接收系统提出了很高的要求。另外，所测波动量与所需大气要素值之间还有一个“转换”过程，这个过程也十分复杂。所以说遥感系统是很复杂的，要求也很高。但在科学技术迅速发展的今天，解决这些问题的条件已基本具备。

需要强调一下，现有常规探测和遥感探测绝不是矛盾的，恰恰相反，两者是相互配合、互相补充的。特别是目前，遥感技术还很年轻，资料的验证和应用都需要常规探测配合。所以说，在发展遥感探测的同时，我们还要十分重视发展常规探测技术，包括地面无人气象站、气球探测以及飞机探测。目的是为了建成一个完善的大气探测系统。当然，随着科学技术的发展，遥感探测必然越来越占居主导地位。不过，要在技术上完全实现遥感探测大气的目的，还必须依赖气象卫星这样的探测工具以及卫星通讯、电子计算机等许多条件。

4. 开辟了从宇宙观测大气的新时代

在大气遥感探测中，如果说早期的雷达探测是先锋，那么现今的气象卫星探测该是主力军了。

在空间技术高度发展的今天，地球上空运行着数以千计的人造卫星，它们根据设计的需要，每天都在按照人们的意志，执行着各种各样的任务。卫星的种类很多，有环境勘测卫星、地球资源卫星、通讯卫星、侦察卫星、导航卫星、气象卫星等等。

气象卫星是一种主要为气象目的服务的卫星。它采用遥感探测技术，居高临下，接收来自地球、大气和海洋发出的电磁辐射以及它们对太阳辐射的反射信号。气象工作者从这些辐射信息中，可以分析出云、雨、风暴等天气演变的规律，推测出全球范围内的温度、湿度、风等气象要素的分布，从而为天气预报提供数量可观和质量较好的气象资料，提高了预报时效和准确率。

气象卫星的应用开辟了一个新的场所，即从宇宙空间来探测大气。它从很高的高空俯瞰地球大气，可以在很大的空间里和很长的时间范围内对天气变化进行观测。原来很多受观测时-空限制难以发现的天气现象，由于有了气象卫星，就一目了然了。气象卫星的出现使人类监视天气的能力大大提高，它做到点面结合，上下结合，开辟了从宇宙空间观测大气的新时代。这是六十年代以后气象学科的重大进展，也是至今空间技术在各学术领域内实际应用最有成效的方面之一。

从1960年到现在，各国已先后发射了100颗左右的气象

卫星，从1966年开始实现了每日的连续业务观测。实践证明，卫星观测的优点很多。主要有：①可以实现全球的天气观测。图3是气象卫星拍摄照片的示意图。卫星在空间轨道上绕地球一周时，它的视野可包括轨道下方一条很宽的条形区域。由于地球在不停地自西向东转动，因此卫星绕地球一周后，地球已转过一个角度，卫星继续观测，相应地面上的条状观测区域就自东向西移动了一段距离。如果卫星采用的是极地轨道（简称极轨气象卫星），则这两种运动的结果，可使卫星观测到地球上的每一个地区。如果有2—3个极轨气象卫星，再配以适当经度间隔的5个地球静止气象卫星，人们就可以连续监视、探测全球大气的变化。②从军事上看，气象卫星的观测资料有很强的保密性。因为卫星可以从空中飞越敌区，观测后可以把资料可靠地贮存于卫星体内，

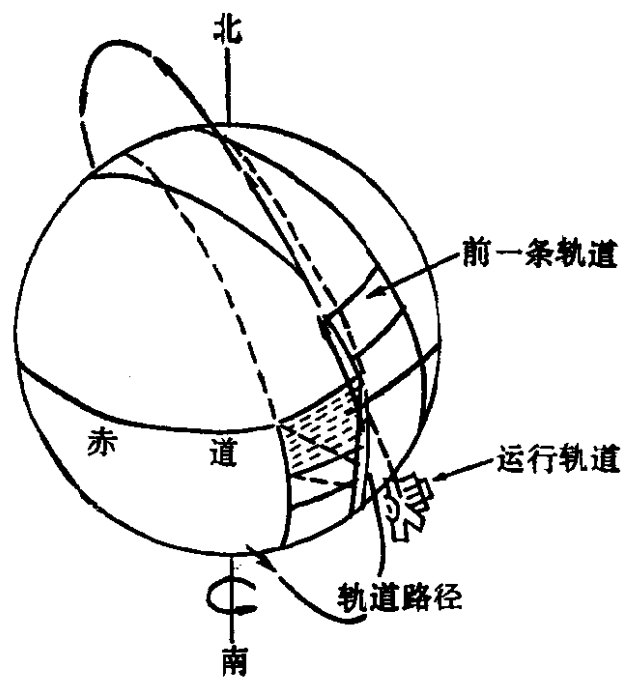


图3 气象卫星拍摄照片的示意图

当卫星飞经本国领土上空时，通过地面站的指令，可把资料回放给专门的卫星接收站，而其他国家则无法接收。这样一旦战争爆发，就可以打破敌人对气象资料的封锁。③从通讯上看，气象卫星不但可作为气象观测工具，而且它本身又可以作为通讯工具。例如，地球静止气象卫星可以作为通讯中继站专门传送气象资料（天气图、云图等），不但速度快，而且传输距离远。④从经济上看，发射一个卫星的花费固然昂贵，但总起来说，比维持庞大的常规观测所花费的代价要小得多。例如一个极轨气象卫星在空中运行一天，可以得到日夜两次全球的天气资料。若用常规探测方法，取得同样这些资料，全世界就必须施放成万个探空仪，这就需要很多工作人员，相比之下，显然卫星观测要经济得多。一个工作期限一年以上的卫星，在工作期间所取得的大量资料是一般常规探测仪器所无法相比的。

由于气象卫星有许多优点，所以尽管发射技术比较复杂，一时花费也较多，但是许多国家都在大力研制，积极改进，向更高要求、更高水平攀登。