

气象观测的新阶段——大气遥感探测

吕达仁

近年来，在气象业务和研究领域里，一系列新型的探测大气的技术系统正陆续出现，例如微波气象雷达、激光雷达、声雷达、以及气象卫星和微波、红外、可见光辐射等等，这类探测技术统称为大气遥感探测。它已经为我们提供了一系列丰富多采的大气图象和定量信息，逐步满足各部门对气象资料的迫切需要。

大气遥感探测是大气科学中一门新兴的分支学科，在探测原理、技术和分析方法等方面都和现用常规气象观测有着质的区别。大气遥感的发生发展既来自各部门对于了解大气状况的迫切需要，同时也密切依赖着现代科学技术的发展。可以说，它是物理学、数学和现代工程技术（光学、微波电子、声学和计算技术等）与大气物理学相结合的产物。它具有广阔的前途和强大的生命力，值得我们去熟悉它，并利用它更好地为实现我国四个现代化的宏伟目标服务。

常规（直接感应）探测的特点

为了了解遥感探测的特点，我们首先对现有常规气象观测的特点作一分析。百叶箱内的温度表等以及探空仪都是大家熟悉的常规气象仪器。这类仪器在观测原理上虽有许多差别，但在感应原理上却有一个共同点，即都是“直接感应”探测。这里所谓“直接”有两重含义。一是仪器所测量的是与感应器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

所发的信号是探空球升空路径上那部分大气的要素值。凡不与感应器相接触的空气就无法测出。二是所测要素直接作用于感应器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。

直接感应探测的优点很多，主要有三方面。一是原理简单、明了、直观；二是测量容易得到较高的精度；三是所测要素一般就是天气预报等气象业务所需的常规要素，例如温、湿、压、风等。由直接感应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。

常规（直接感应）探测的局限

近几十年来，由于生产和科学技术的迅速发展，人类活动领域日趋广阔，全球海陆以至高空都已成为人类频繁活动的场所，因而，对于大气环境的了解要求也相应提高，除温、湿、压、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含量、大气气溶胶分布、大气湍流、大气对光、声、电各类波动的传输特性等。此外，进一步掌握天气运动规律从而提高天气预报准确率也要求提供全球范围空间和时间足够密度的常规资料。这些迫切要求是现有站网常规观测所难以满足的，因而在以下几方面已经暴露出尖锐的矛盾。

首先是现有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约10000个，

平均间隔约130公里，但这些站绝大部分设在人口稠密地区，广大的高山、极地、沙漠等地区测站极为稀少。占全球面积70%的洋面测站更为稀少，仅有约4000艘商船作流动观测，许多地区经常是气象观测的空白区。至于探空站网更是如此，全球还不足1000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最低要求每500公里设一站，则总数要追加1500站，比现有站数还多。要实现这一点（特别要均匀分布）无论人力物力都难以做到。目前的站网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，限制我们从全球海洋、地表和大气的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问题。同时，许多中小尺度危险天气系统更难以用如此大尺度的资料网来研究和预报，经常成为“漏网之鱼”。总之，现有的站网密度太稀，限制了人们正确认识和掌握大气运动规律，作出可靠的天气预报。扩大观测区域和加密已有站网已十分迫切。

第二是现有常规观测要素与实际需要内容之间差距愈来愈大。许多要求是现有常规内容所缺少，也是直接感应探测难以做到的。例如了解强风暴系统云内外结构，虽然有飞机冒险穿云和一些特殊探测方式，但绝大部分要靠微波气象雷达这类强有力的遥感手段。

第三是时效问题。常规观测不仅站网空间密度太稀，而且时间间隔也长，不能适应许多实用要求。例如一天两次探空就不能满足危险天气预报的要求。一些部门更要求快速提供实时资料，常规观测也难以办到。

上述三方面的尖锐矛盾，促进了气象观测产生革命性的变革。一方面直接感应探测得到了进一步发展，例如地面遥测自动气象站和海洋飘浮气象站正在大力推广，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，而另一方面，一类本质上完全不同的新型大气探测方法应运而生，日趋成熟，逐步从根本上克服直接探测的局限性，从而解决探测现状与资料要求之间的尖锐矛盾。

大气遥感探测的兴起

生产和科学技术的发展，不但对了解大气环境提出了多方面的迫切要求，同时也为大气探测的变革提供了理论和技术基础。在这方面打先锋的是微波气象雷达探测。早在二次世界大战期间利用雷达搜索空中飞机的时候，人们就发现云雨对搜索有很大的“干扰”，云雨和飞机一样也会散射雷达波，从而被雷达接收到并显出“回波”。这种“干扰”立即引起气象工作

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，而在此之前人们无法探测视线以外的云雨。从那时以来已有三十多年。在这期间，围绕着研究大回波的成因、回波结构与天气系统的关系，研制各种波段的气象雷达以扩大探测要素等方面的工作蓬勃开展，已经形成了一门雷达气象学。在中小尺度天气研究、危险天气警戒和云雾降水物理研究等工作上，微波气象雷达都起着不可缺少的重要作用。

如果说微波雷达探测是大气遥感探测的先锋和劲旅，那么六十年代开始出现的气象卫星探测则可算是遥感探测的主力军。人造地球卫星为我们提供了一个十分理想的观测大气的运载工具。一颗极轨卫星一般能在24小时内两次飞越同一地区上空，从而把它的视野覆盖全球。而一颗地球同步卫星可相对地球静止地停留在赤道上空三万六千公里处，它的视野遍及南北东西各50个经纬度，可以连续地俯瞰如此广阔地区内的大气活动。只要配以适当经度间隔的五颗同步卫星和几颗极轨卫星，人们就可连续监视、探测全球大气的风云变幻，其观测的空间既可覆盖全球总体，同时对局地天气观测的空间分辨率也可达到1公里至几十公里。正是这种吸引人的前景，使空间遥感技术的研究和应用有了飞速的发展。

由于卫星处于地球大气之外，它了解地球大气的唯一方式就是接收来自大气的各个波段的电磁波辐射。因此气象卫星探测大气的中心课题就是研究如何从卫星上可能接收到的电磁辐射信息中“提取”人们所关心的各种大气物理量。

这方面最直观的是给地球“照相”，据此得到的就是大家熟悉的可见光和红外卫星云图。根据卫星云图，人们获得了全球范围内的云系分布的准确图象，特别是生动地了解了与各类天气系统相联系的云系特征。气象工作者很快就利用云图来监视台风等危险天气，并揭示了许多天气系统的演变规律。

气象卫星的功能当然不只是提供云图，更为重要的还在于它能测定全球范围内各种大气要素的垂直分布以及海陆地表特征。从五十年代开始就有人提出利用大气某些波段的红外辐射来推算大气温度垂直分布的理论方案。近二十年间，对此问题进行了大量的研究试验工作。目前在美国的气象业务卫星上已经开始试播（主要是洋面上空大气的）红外辐射所推算的大气温度廓线。同时利用红外辐射测定大气水汽总量和垂直分布的研究试验也有了很大进展。在发展红外遥感的同时，利用大气微波辐射遥感大气的研究试验也正在进行。这是由于大部分云都是红外辐射的强吸收

体，因而从卫星上无法测出云下大气的红外辐射特性。而微波则有很强的穿透云雨的能力，对于广大的有云区域，需要利用微波遥感。而且微波还能够遥感云中含水量、降水强度以及测定地表冰雪特征等。目前红外和微波两种遥感手段在气象卫星上结合使用，取长补短，为快速探测全球大气展示了成功的前景。

除了红外和微波外，其他新技术也正被迅速引入大气遥感领域。六十年代初激光新技术刚一问世，利用激光探测大气的研究试验工作就迅速发展，至今在测云高、能见度、低层大气逆温结构、大气污染扩散、风和湍流、气溶胶分布以至温度、水汽和其他大气成分等方面正进行着多方面的尝试。同时，利用声雷达已成功地探测到边界层大气的温度、风和各种波动结构，大大丰富了我们对边界层大气运动规律的认识。此外，对于雷暴闪电的遥感以及利用次声波探测远处风暴系统的工作亦有不少发展。

总的说来，以六十年代以来大气遥感探测已经逐步形成一个相对独立的领域，各国对此均十分重视，研究试验工作进展很快，在某些方面的常规应用已经卓有成效，它的发展前景和潜力很大。

遥感探测的特点

从以上的介绍可以看出，大气遥感探测和现有常规观测两者目标是一致的，都是为了更多更好地提供大气信息。但就达到目的的途径来说，两者之间具有很大的区别。大气遥感探测的途径可以用附图中的几个环节来加以概括。图中1—4单元总称为遥感系统。具有单元1的称为主动式遥感，例如微波气象雷达就是人工发射微波强脉冲进入大气，然后接收云雨对发射脉冲的散射信号。不具有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。此外还有一类情况，所利用的信号源是太阳等天体，接收的是被大气作用了的天体源波动信号，这一类也可称为被动式遥感。

从以上看出，遥感探测具有以下三个明显的特点：一、探测器远离被测对象，因而完全克服了直接感应

探测的局限，某些遥感手段如气象雷达和次声感应器等甚至可接收视野以外的大气信息；二、探测器所接收的一般不是直接显示的气象要素，而是大气本身发射的或是经大气作用了的其他波动信号如电磁波和声波等；三、由于上面的特点，所测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。同时，所测波动量与所需大气要素值之间的“转换”也需要较为复杂的解算过程。所以遥感系统比较复杂，要求较高。但在尖端科学技术飞速发展的今天，这些条件已基本具备。

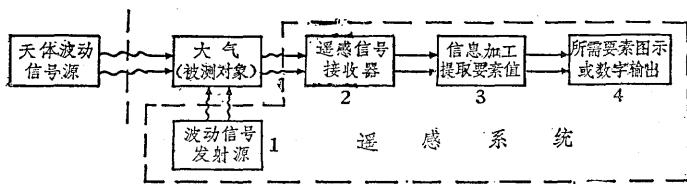
发展和应用遥感探测大气的工作牵涉到以下几个主要方面的研究和技术工作：一、研究大气和各种波的相互作用。例如研究总结大气的吸收光谱，大气对各类波的散射、吸收、衰减和发射等特性。只有逐步搞清这类物理问题，才能有可靠的遥感大气的理论基础。二、研制各类遥感技术设备，充分利用现代光学和电子技术的先进成果，研制适合于大气探测要求的技术系统，这是大气遥感得以实现的物质基础。三、研究和试用遥感大气的“反演”（亦即解算过程）理论和各种反演方法，把所测的量转换为所要求的要素值。这方面的理论工作可以说是崭新的，目前尚不很成熟，许多问题尚待解决。四、研究遥感结果的实际应用途径，并进而对遥感大气提出合理的改进要求。当然，为了在技术上完全实现遥感探测大气的目的，我们还必须依赖卫星这样的运载工具以及卫星通信、电子计算机等其他许多条件。

* * *

综上所述，大气遥感探测这一新领域在客观迫切需要的推动下，在现代先进科学技术的基础上应运而生，目前已经具有相当的规模。虽然离全面推广实用还有一段路程，但只要努力实践，这样的前景已经是指日可待了。

这里需要强调说明，现有常规探测和遥感探测绝不是矛盾的。恰恰相反，二者是相互配合，互相补充，共同提供气象资料。特别是在当前，遥感技术还年轻，

资料的验证和应用都需要直接探测的配合。在发展遥感探测的同时，我们还要十分重视发展各种直接探测技术，包括地面无人站、气球探测以至飞机探测。我们的目标是要建成一个完善的探测大气的系统。随着科学技术的发展，遥感探测必将越来越占主导的地位。



附 图