

大气辐射和气象卫星遥感 研究的进展与展望

许丽生*

摘要 本文论述了: (1) 大气辐射与大气环流、气候的形成与变迁的物理机制及与此有关的一些重要课题; (2) 大气辐射基础理论研究和卫星遥感发展的现状与展望。在上述基础上, 对我国有关的基础研究提出了一些建议。

近 30 年来, 国际上关于大气辐射与气象卫星遥感的研究取得了很大的进展, 这是现代大气科学中非常重要而又非常活跃的研究领域。大气辐射是现代气候学的理论支柱之一, 又是气象卫星遥感的理论基础。因此, 本文拟从辐射-气候-遥感这一体系来论述国外一些重要的进展, 并对今后 20 年我国有关的基础研究提出一些建议。

一、大气辐射研究的进展

大气辐射主要是研究地球大气中的辐射传输问题。在传输的过程中, 辐射与大气中的气体分子、云和气溶胶等粒子发生吸收、散射、发射和透射等物理过程, 从而增加了辐射传输方程的求解问题的复杂性和困难性。这是大气辐射的理论基础, 也是大气辐射的基本研究内容。另一方面, 由于辐射在传输过程中与上述物质的相互作用, 使得大气辐射的研究又大量地与大气环流、气候预报及其变迁的物理机制的研究紧密相连, 从而构成了现代大气辐射研究的重要方面。

(一) 大气辐射主要综合课题研究的进展

1. 稀有气体的气候效应

大气辐射研究三大理论问题之一的稀有气体的气候效应问题, 起始于 70 年代初期对大气中 CO_2 含量的稳定增加, 及其对大气温度和地气系统气候变迁的影响, 这方面的研究迅速蔓延到了世界范围; 对大气中 O_3 含量的减少的担心以及 Rarnanathan (1975) 发现了氟利昂重要的温室效应进一步推动了这类问题的研究。此外, 进一步的研究还发现, N_2O 、 CH_4 和其它易挥发的有机物等稀有气体都有气候效应, 它们在大气中的含量与 CO_2 一样正在增加, 而且, 据 WMO 预测, 到 2000 年, 它们的气候效应将要等同甚至超过 CO_2 。

由于这些稀有气体的重要性, 现在, 大气环流模式越来越考虑 CO_2 的辐射过程对动力学、能量传输、降水以及海洋环流的影响; 大气化学和平流层动力学越来越紧密地联系在一起, 并正在建立平流层的辐射-动力-光化学模式。在现代大气科学中 CO_2 的问题变得如此之突出以致于一些形式上独立的分支, 例如海气交换和太阳科学等, 都纳入了它的关系轨道。因此,

* 成都气象学院教授。

可以这样说, CO₂ 的问题帮助我们统一观察大气科学, 卫星则帮助我们找到了一种整体地探测地球大气的有效途径。

2. 云的辐射

云的辐射问题随着 70 年代初期 GARP 把它列为一系列的关键的和急需的项目之一而迅速突出出来, 使其成为大气辐射研究领域中的第二重大理论问题。

目前重要的理论研究课题有: 微物理学: 辐射对云滴生长的直接影响; 宏观物理学: 已知云的微物理特性, 计算其光学特性, 例如反照率等; 平面平行和有限云模式; 云的吸收率的增大; 真实大气中详细的光谱模式; 基于液态水含量和太阳角的参数化; 卷云问题; 云-气候反馈; 成层云中辐射-动力学的相互作用等。

对这些既独立又相互关联的重要理论研究课题, 就其解决这些问题的重要性而言, 认识是一致的; 但就某个具体课题而言, 存在着采用模式, 理论与观测事实有争论式争议, 存在着问题复杂, 进展难度大等问题。这些都须在研究中解决和突破。

3. 辐射收支

Vonder Haar/Suomi (1969), Eblis 等 (1978) 指出, 当考虑的时间尺度为年以上时, 地气系统吸收的太阳能与发射的能量近于平衡。而太阳和地球的辐射由于自然的和人类的活动的影响所造成的很小变化, 都可能导致到很大的气候变异。辐射与大气过程的相互作用具有许多正负反馈的机制而变得非常复杂。E. N. Lorenz (1967) 和 Oort/Vonder Hoar (1976) 指出, 对于较短的时间尺度和较小的区域(非全球区域), 地气系统吸收的和发射的能量则存在不平衡, 从而导致了大气环流和海洋环流系统。因此, 研究由于辐射过程的变化所引起的地球能量平衡的可能变化乃是现代气候模式化的基石; 由于能源与上述大气和海洋环流紧密相连, 辐射收支的测量就提供一个重要的手段用于检验大气数值模式的有效性。

鉴于地球辐射收支的测量对从各种时空尺度了解气候的形成和变异具有非常重要的意义, 从卫星发射的初始阶段起, 就企图进行地球辐射收支的测量, Vonder Haar/Suomi (1971) 报道了全球辐射收支的卫星观测结果。然而, 利用单一卫星进行辐射收支的测量不是一件简单的事情。任何辐射收支测量系统不仅包括星上的辐射计, 而且还包括资料处理软件, 从而 (i) 把卫星资料转换成探测器的瞬时辐射估计值; (ii) 把卫星高度的辐射场转变成大气顶高度的辐射场; (iii) 对辐射场进行时空和空间的平均。上述的每一步都包含有潜在的不稳定性。地球辐射收支试验 (ERBE) 是第一个用于测量地球辐射收支的多卫星系统, 它第一次使用主动空腔辐射计观测地球, 使用一个完全星上定标系统, 和一系列改进的反演和时空平均技术, 从而大大地改进了区域的以致全球的辐射收支的测量精度。

4. 气溶胶辐射

与云一样, 目前在国外气溶胶在大气辐射过程和大气探测过程中作用的研究, 是一个既重要又活跃的领域。从广义上讲, 气溶胶可以分为两类, 一类为对流层气溶胶, 另一类为平流层气溶胶。对流层气溶胶的驻留时间通常少于几个星期, 而且, 受不同的下垫面的特性、不同气团的控制及其变性, 以及天气系统的移动等影响很大, 因此, 它的化学组成以及时空分布变化较大; 平流层气溶胶的驻留时间通常为几年, 从 Junge 在 50 年代第一个发现平流层中粒子层的存在开始, 30 年来通过采用地面的、飞机、空间观测平台和激光雷达等手段对大气中的气溶胶, 特别是平流层气溶胶的来源, 成分和浓度、尺度谱和垂直分布, 以及它们的光学特性等进行

了大量的观测和广泛的研究。

在气溶胶辐射问题中,迫切需要解决的问题是,煤烟与非煤烟混合气溶胶的平均辐射影响;非球形质点的散射和吸收;气体和粒子的转换过程;在气溶胶的情况下辐射和动力学的耦合等等。

(二) 大气辐射基础理论研究的进展

1. 气体吸收和分子光谱学

自 70 年代以来,美国空军地球物理实验室 (AFGL) 的 Mc Clatchey 和他的同事们在分子光谱学的领域里,做了许多卓有成效的工作。

1972 年,他们整理了所有现存的吸收线资料,从微波到可见光,并把目标对准所需要的重要谱区,以惊人的速度完成了与地球大气相关联的每一根吸收线的重要参数的第一次汇编,这些参数,包括线中心波数、线强、半宽、基态能量、量子数等。以后,经过多年的修改和补充,现在已增加到 159,000 多根线。他们建立了著名的“Mc Clatchey 大气”, LOWTRAN 模式和“Mc Clatchey 磁带”,还有 FASCODE, 供计算不同模式大气中任意倾斜路径的透过率和辐射强度等。在 LOWTRAN 中,已考虑了气溶胶和一些稀有气体的作用。这样,红外辐射工作者就能够从 AFGL 的产品中以任何的分辨率建立自己的带模式。

2. 一次散射理论

当电磁辐射通过某一介质时,一般入射能量都会受到衰减。这一方面是由于介质内有吸收,另一方面,则由于发生散射。散射辐射的特征由入射波长,介质的复折射指数、粒子的形状,大小及其在空间中的取向等因子决定。因此,测量和分析散射辐射的特征,就能提供一个很好的机会获取介质状态的信息。故散射理论的研究及其一些特征量的数值计算,在很多科学研究领域中都是非常重要的。

1980 年,德国的 G. Mie 在经典电动力学基础上建立了球形粒子的光散射理论,即 Mie 散射理论。至今, Mie 理论仍然是我们处理一次散射理论支柱。

自 60 年代以来,复角动量理论(‘Complex Angular Momentum theory’,简称 CAM 理论)开始广泛地应用在核物理学的领域中以解决高频散射问题。Nussenzweig 和 Wiscombe (1980)应用这个理论到 Mie 散射中来,解决了甚至连散射理论的大师、著名的天体物理学家 Van de Hulst 也感到困惑的难题,即半径很大时包括表面波项的渐近公式。根据 CAM 理论建立的新的公式是 Mie 理论的一个极好的近似,并且清除了令人烦恼的“绮缝”,计算机时大大减少。

此外下落中的大水滴、云中的冰晶粒子和气溶胶粒子都不是球形的,因此,非球形粒子的散射问题就成为一个很重要的研究焦点。70 年代初期, K. N. Liou (廖国男)首先把这个课题引进大气科学中来,他用圆柱状体来逼近卷云中的冰晶粒子。并从理论上求得了椭球体散射问题的精确解。还有许多气溶胶粒子都具有粗糙的表面, Mugnai/Wiscombe (1980)研究了具有中等程度凹度的波浪起伏的粒子,并发现这些凹度具有显著的影响。Wendbing 等 (1979)、Coleman/Liou (1981)和 Cai/Liou (1982) 还从理论上研究了六角柱状体散射,推导出了新的解。但是,考虑到自然界中冰晶粒子的形状多样性,要解决这类散射问题还有很长的路程要走,看来,只用经典的电磁散射理论是很难解决的。

几十年来,不少的天体物理学家、核物理学家和大气物理学家等对这个问题进行了大量的

研究,寻求了在各种不同情况下的种种解法。

3. 多次散射的辐射传输理论

近年来,由于在许多遥感、大气环流和气候的模式应用中迫切需要计算平面反照率、大气层总的透射函数和分数吸收随光学厚度和太阳天顶角的变化,多次散射辐射传输理论研究的焦点之一就是发展简单的和快速计算的技术来求解辐射传输方程,以满足云和气溶胶的辐射物性的参数化。由于 Meador/Weaver (1980) 和 Zdunkowski (1980) 等工作已开始取得重要的突破; M. D King (1986) 研究了平面反照率、总的透射函数和分数吸收的 8 种不同的辐射传输的近似解法与 doubling 的计算结果——作为光学厚度、太阳天顶角和单次散射反照率的函数之后指出,发展一种混合的二流近似模式 (hybrid two-stream method), 对很厚的大气该模式化为渐近理论,对较薄的大气渐近理论仍然有效,将是非常有价值的。发展这样一种模式对未来的研究仍然是一种挑战。

此外,下述一些问题,诸如粗糙的表面,例如海洋;球面几何; 2-D 或 3-D 的辐射传输(考虑水平的不均匀性);对吸收带的光谱积分等,都是需要进一步研究和解决的。

二、气象卫星遥感的进展

从 20 世纪的年代以来,空间技术和其它新的、尖端技术的出现、应用和发展,不仅对气象科学提出新的要求,而且也气象科学技术的发展开辟了新的途径。

1957 年 10 月 4 日,苏联第一颗人造地球卫星上天,开辟了从空间探测地球大气的新纪元。以后,美国加速了它的空间计划,遂于 1960 年 4 月 1 日发射了世界上第一颗气象卫星 TIROS-1。

从 60 年代以来,卫星的遥感系统作了一系列的改进,因而在下列问题上提高了卫星遥测大气的的能力且取得重要的进展:云图分析;大气运动的估计;强风暴的预报;热带风暴的监测;数值天气预报的输入;温度和水汽的定量探测;预报的应用。

现在,研究和发展的焦点集中在设计和采用新的大气探测仪器,和从定性的分析过渡到定量的探测。

1. 温度和水汽的定量探测及其在天气预报中的应用。

早在 1958 年, Kaplan 等就提出了利用地球大气光谱热辐射的物性来推断温湿的垂直结构。1969 年,美国在 NIMBUS-III 号卫星上进行了高质量的探测温度和水汽(稍晚一些)的第一次试验。此后,美国把 18 个实验的和业务的探测仪器装在 NIMBUS、和 TIROS 和 NOAA 等极轨卫星上,最后,发展为现在业务上使用的 TOVS (TIROS 业务垂直探测器)。从 1980 年开始,地球静止卫星也携带 VAS 仪器,这是一种可见光和红外探测系统,能够提供高时间分辨率的温度和水汽廓线资料。

极轨卫星垂直探测资料的主要应用在于为全球数值天气预报 (NWP) 模式的初始化提供海洋上空温度和水汽的分析。

卫星遥感反演问题是个困难的问题,过去 10 多年来对卫星遥感的反演理论给予了极大的注意和努力,提出了许多温湿廓线的反演理论与技术,归纳起来可以分为两大类,一类是统计的,另一类是物理的。目前业务上 TOVS 所用的就是统计方法。由于仪器的噪音和其它原因,

温度廓线的反演具有一定的误差,典型的方根差值为 1.5°C 左右,水汽廓线的反演精度比温度的要低。为了达到 GARP 的目的,卫星探测必须同时具有三维的优良的空间分辨率和较高的辐射测量精度,这就极需发展辐射传输理论,分子吸收理论,物质与辐射的相互作用,有关重要气体、液滴和固态粒子的物理的和光谱的物性,而其中大多数仍然是不知道的。

2. 卫星遥感发展的展望

美国在航空与宇宙航行的合同计划中已经制定和发展了近期的更先进的卫星遥感仪器,将于 1990 年前装到卫星上。但更长远的发展计划要到下一世纪。

1984 年 12 月发射的 NOAA-9 卫星乃是两种全新的大气探测的开端。

装在极轨卫星 NOAA-K-L-M 上(1990—1992)的下一代的大气探测仪器,它将提供第一个从空间探测的全天候的温度资料,并具有相当于目前晴空大气探测的精度。这种穿透云层的探测将能更好地分析和预报大气的活跃区。

1989 年开始的下一代静止卫星 GOES-NELT 将同时具有云图拍照和定量探测的能力,这种云图拍照将进一步改进研究中尺度现象的能力;它的定量探测,对云的干涉比极轨卫星更灵敏,此外,威斯康星大学的 Smith 等正在发展一种新的高分辨率的相干探测器(HIS)。准备放在未来的静止卫星上。已在飞机上进行过大量试验的 HIS 将使温湿廓线的探测具有更大的垂直分辨率。

此外,极轨卫星还将出现另一些重大的变化。在美国,一系列改进的仪器正在研究中。航天飞机的使用将为携带有大量的系列仪器、同时探测若干种参数的空间飞行器提供巨大的空间平台。这一系列的新仪器将提供大量新的或改进的大气测量。

从 90 年代以后到下一世纪,主动式大气遥感技术将越来越多地被应用于航天大气探测。由于外层空间激光传输衰减减小,卫星探测范围大,激光雷达装在卫星上易于实现等,将使航天激光探测成为引人注目的发展方向。Atlas/korl (1981) 经过理论探讨后预言,未来终将会由光学、红外和微波的,以卫星为主体的被动/主动遥感相结合的新的探测体系取代目前每年消费巨资的地面观测网。

到目前为止,大多数的卫星都是利用近于天顶的俯视红外光谱法的厚层探测大气廓线。另外,美国还进行了一系列的所谓“临边辐射”探测系统的实验研究。高空飞行已证明,临边辐射仪通过鉴别水平切向的大气路径上的吸收和发射将给出稀有气体成分的垂直廓线;临边扫描多谱干涉仪将使遥感技术达到最佳的程度。临边辐射技术是一种重要的,有发展前途的遥感技术,它将为平流层和高层大气的探测开辟新的途径。

随着遥感探测的不断进展,高速率的数据和多种来源的数据的联合将推动建立一种以卫星为链杆、包括计算机技术和新的资料处理技术在内的、新的通讯技术系统。未来,数量巨大的探测资料的处理对我们将是最大的挑战。

三、对今后 20 年我国有关基础研究的建议

从上面的回顾和展望我们可以看到,大气辐射-动力气候-卫星遥感是互相紧密联系的,它们对现代大气科学的发展具有重要的地位。这方面在国际上发展很快,美国处于领先的地位。

我国无论在现代气候、卫星遥感或大气辐射的领域里(特别是后二者),与国际上的先进水

平相比较尚有相当差距。因此,从现在起,我们就必须站在发展战略的高度上,瞄准国际上的先进水平和发展动向,奋起直追。为此,我建议:

1. 大力开展大气辐射的基本理论的研究,诸如吸收和分子光谱学,散射理论,特别是多次散射的辐射传输理论的研究。

2. 为了更好地研究大气环流的变化,异常气候的形成,以及长期天气过程的物理基础,必须开展有关大气辐射综合理论课题的研究,诸如:稀有气体(特别是 CO_2 、 H_2O 和 O_3)的辐射特性和气候效应、云和辐射的相互作用、地气系统的辐射收支与能量平衡、气溶胶(特别是平流层气溶胶)的辐射研究等。

3. 开展和加强气象卫星遥感理论,特别是反演理论的研究,除了晴空大气的反演理论外,要特别注意和加强云和气溶胶存在时的反演理论的研究,使之与数值天气预报、大气环流和气候变迁的研究联系起来。临边辐射的遥感理论和星载激光雷达的探测理论研究应该引起足够的重视。

4. 由于卷云的问题是个公认的难题,它对大气环流和动力气候的模式化,以及卫星遥感都很重要,又是国际上不少科学家的兴趣和注意力集中点之一。因此,我们必须大力开展有关卷云问题的理论研究。

5. 大气化学是一门新兴的边缘学科,它与稀有气体的辐射和气候效应有着密切的联系,而且,实质上气溶胶的问题也属于大气化学的范畴。大气化学、辐射和动力学是现代气候学中的三个理论支柱。在国外,大气化学兴起不久,专家预言,在未来它可能与大气遥感一样重要。

6. 建立一个国家级的大气辐射和气象卫星遥感的研究机构,采取有力的措施,促进人才的流动,相对地集中现有力量,大力地培养足够数量的研究生,特别是博士研究生,造就一支宏大的辐射专家队伍,建立起具有自己独特风格的理论体系。广泛开展国际学术交流。

7. 国家自然科学基金在政策上要体现出能吸引更多的大气科学家、物理学家、数学家、天体物理学家、电子工程专家和计算机专家,集中到上述领域里来。

ADVANCES IN ATMOSPHERIC RADIATION AND REMOTE SENSING OF METEOROLOGICAL SATELLITES

XU Lisheng

(Chengdu Institute of Meteorology)

Abstract

This paper discusses:

(1) Research advances in the physical mechanism of atmospheric radiation and atmospheric circulation, the formation of climate and its changes, and some major closely related topics. (2) Progress in the studies of the fundamental theories of atmospheric radiation, the prospects for the development of satellite remote sensing. On the basis of what has been mentioned above, the author

makes proposals on China's related fundamental researches.

鼓励和促进交叉学科发展的一项措施

——激光医学、激光生物学学术讨论会侧记

近年来,激光技术在医学、生物学的研究与应用所取得的突破性的进展,以及所改造的巨大社会和经济效益,得到人们的广泛关注和高度重视。我国自 60 年代末开始的激光育种研究,现已成功地培育出粮食、油料、棉花作物和果树、蔬菜、家蚕等 30 多个新品种。这些新品种以其高产、适应性强和较高的抗病能力等优点,得到迅速推广。生物科学工作者利用激光优良的相干性而获得的激光微束,对分子、细胞与亚细胞、组织与器官的各个层次进行的基础研究,已经在动物卵细胞融合、分析细胞分裂机理、染色体切割、核仁组织者的定位等方面取得可喜进展。激光技术在医学上已获广泛的应用,如对眼科疾病的治疗已成为重要医疗手段之一。目前,这一技术已从体表治疗深入到体腔内各器官的治疗。激光医学为皮肤科、内科、儿科、五官科的病前诊断和治疗开辟了广阔而美好的前景。

为了促进激光医学和激光生物学的发展,我委生物科学部与信息科学部于 6 月初在杭州共同召开了首次学术讨论会。来自全国 40 个单位的 52 位专家出席了会议,有 33 人在会上报告了研究进展,交流了工作经验。通过彼此交流,加强了从事不同学科领域间的信息沟通和了解,增强了物理学、生物学、医学和化学等不同学科领域的科学技术人员相互合作、深入研究的愿望和积极性。专家们认为,目前影响激光技术在生物学和医学研究与发展工作深入开展的关键问题是许多基础性研究工作跟不上,对发现和存在的大量基本效应和现象缺乏机理性研究和理论分析,致使激光在临床医疗和育种技术中可靠性还不高。从而影响其推广应用。同时对激光医学和激光生物学科的发展缺少得力组织与引导,科研投资较少,致使各个层次研究工作发展不平衡。与会专家认为,我委两个科学部组织的这个学术讨论会非常及时,并期望我委在支持交叉学科的研究与发展上发挥积极作用,做出更多的贡献。

近年来科学基金申请项目中交叉学科项目日趋增加。边缘学科的发展十分活跃,仅仅几年的探索,便取得一些令人瞩目的进展。

(摘自本委“信息”)