

中层大气与全球变化*

Middle Atmosphere and Global Changes

吕达仁

(中科院大气物理研究所中层大气与全球环境探测实验室, 北京 100029)

处于 10~100 公里高度的中层大气,其范围包括对流层上部和对流层顶、平流层、中间层以及低热层。由于对大气臭氧减少、日地关系、低层对高层大气(电离层和热层)的作用,以及全球变化背景下中层大气气候性变化及其对低层大气气候的作用等方面问题的关注,中层大气研究变得十分活跃,形成了持续超过 20 年的先后几项国际研究计划,包括国际日地物理委员会主持的中层大气计划(PreMAP, MAP, MAC, 1976~1987)、“日地能量计划”(STEP, 1990~1997),世界气象组织(WMO)主持的全球臭氧研究和监测计划,世界气候研究计划(WCRP)主持的“平流层过程及其对气候的作用计划(SPARC, 1992~)”等,吸引了全球日地物理学界。大气科学界和光学、无线电信息技术界共同参与这一领域的研究。1995 年诺贝尔化学奖授予三位从事大气臭氧减少的化学过程的科学家,即 P. J. 克鲁参、M. J. 穆林纳和 F. S. 罗兰博士,足以表明中层大气研究的重要性与其研究成果的深远影响与价值。近年来中层大气研究在全球探测、数值模式研究和基础理论研究方面均十分活跃,其中中层大气探测具有举足轻重的地位,正是包括空间(卫星、航天飞机等)遥感、地基(光学、微波、激光雷达、MST、MF 雷达等)遥感和气球、飞机、火箭探测在内的综合探测体系的逐步形成,才形成当前对中层大气结构过程与作用的整体性认识。中层大气基本过程,包括以臭氧变化为中心的辐射—动力—化学过程、行星波、重力波和湍流等传播和生消的动力过程、电和离化过程以及相变微物理过程等均获得重视。因为这些过程或是在中层起独特作用,或是中层是研究这类过程较为理想的“实验场所”。由于中层大气过程的特殊性及其对来自上下的外强迫(地球表层和低层大气、人类活动、太阳活动与高层大气变化)扰动的敏感性,在中层大气的模式研究中需要考虑的因子多尺度、范围宽,许多过程参数化方案以及实际情况均还不够清楚,因此还需要很长

时间来逐步形成和完善。当前,零维、一维、二维和三维模式并用于不同过程和目的的研究,均能发挥自己的作用。

本文的目的在于从中层大气整体出发,提出几个较大的综合性的研究方向,以获得对中层大气更深的全局性认识。提出这些综合研究方向丝毫不意味着忽略单独的基础和基本过程研究的重要性和迫切性。相反,应该强调,为了解决这些综合性的研究,必须重视基本过程的研究。笔者认为,在学科研究上,大气臭氧层演化、控制过程与效应,中层大气的全球变冷,中层大气过程在太阳—天气气候关系中的作用是三个重要的方面,此外中层大气探测原理与探测技术也是一个关键的方面,它既渗透于三个方面的研究之中,又密切结合技术科学的发展。

中层大气臭氧持续减少及其效应

大气臭氧层变薄,即平流层中下部臭氧浓度减小及其引起的效应仍然是全球公众和科技界关注的中心问题之一。

1. 中层臭氧(O_3)减少趋势持续发展,并将继续到下个世纪

卫星和地面观测分析表明,中纬度($30^\circ\sim 60^\circ$)南北半球 O_3 气柱总量均有相当长期的减少,如北半球中纬度 1979~1994 年期间冬、春季每 10 年减少约 6%,而夏、秋季减少约 3%,南半球 O_3 的季节变化差异不明显,平均约为每 10 年减少 4~5%,在热带地区($20^\circ N-20^\circ S$)其减少趋势不明显。观测表明, O_3 减少主要出现在低平流层,高平流层也很明显。卫星探测结果表明, O_3 在北纬 $30\sim 50$ 度 1979~1991 年期间在 20~25 公里高度范围,每 10 年减少 $7\pm 3\%$,16~17 公里之间减少幅度变化每 10 年在 7~20%之间。卫星探测结果还显示,80 年代 35~45 公里的高平流层 O_3 每 10 年减少 5~10%。南极春季臭氧洞持续加深,逐年创造最低值新记录,

* 国家自然科学基金支持课题

在“洞”内 14~19 公里高度上的 O_3 几乎全部消失。由于过去两年太阳活动、大气准二年振荡以及菲律宾 1991 年爆发的皮纳图博火山云均参与作用, O_3 值更低。在北极冬季, 平流层同样发现 O_3 减少, 1991/1992 和 1992/1993 年的晚冬早春, 在一些高度上 O_3 减少 15~20%。值得注意的是, 我国科学家发现在青藏高原地区 O_3 减少较同纬度其他地区上空更为明显, 并提出了高原对 O_3 减少作用的新课题, 引起了国际重视。

根据现有数值模拟结果和对人类活动排放氟里昂物质的趋势估计, 科学界预测今后几年内全球 O_3 有可能达到极小值。与 60 年代值相比, 北半球中纬度冬季约减少 12~13%, 夏秋减少 6~7%; 南半球中纬度减少 11%。这是因为虽然氟里昂等减少排放, 而已有存留在大气中的这类分子具有极长的寿命, O_3 减少的现实至少还要维持数十年。

2. 与 O_3 减少相联系的地表紫外辐射增强已在实际观测中证实

过去几年在南极地区(包括我国中山站)均观测发现在晴空天气下地面紫外辐射大幅度增加, 与该地上空 O_3 的减少呈现明显的反相关。在南半球新西兰等地, 以及北半球中高纬 1992~1993 年的观测亦有同样的结论。作为晴空条件下的上述观测与辐射传输模式的预测是一致的。由于 O_3 持续减少引起的紫外-B(波长 280~320 纳米)辐射增加会长期存在, 有可能导致人类皮肤受损致病。美国已开始试验发布紫外辐射指数, 以引起人们的警惕。但由于地表紫外辐射同时受到云和气溶胶的重要作用, 其定量化模式研究尚待完善。目前紫外观测缺乏长期变化的监测资料, 已有的一些探测器大部分是宽带的, 不适用于定量模式的验证。为此欧美等国均在开展光谱辐射测量及其仪器对比。我国也已开展这方面的实验与辐射传输模式研究, 要建立与 O_3 变化监测一样的紫外监测和绝对定标, 并与模式计算相结合, 建立紫外辐射气候学是当前基础和应用研究共同关注的热点。

3. 对 O_3 生消的化学过程研究与 O_3 分布变化分析进一步加强了已有的一些认识, 并提出了一些新的问题

观测和反应过程研究表明, 与氮氧化物 NO_x 相比, 卤素(Cl、Br)类化合物对 O_3 的破坏作用比预计的更强, 以单个分子作比较, Br 又比 Cl 对 O_3 的破坏作用要强 50 倍, 因此对溴化物的排放更需要控制; 平流层气溶胶表面的异相化学的重要作用得到了进一步的证实, 其中一个证据就是皮纳图博火山云的出现使热带地区上空也出现了 O_3 减少。观测与定量模式研究对比表明, 对一些反应和反应速率的研究仍须深入; 破坏臭氧层的人为排放物, 由于蒙特利尔公约等国际条件约束, 其在大气中的增长

率已经减缓, 如对流层有机氯增长率 1992 年较 1989 年减少约一半, 而溴则减少 2/3, 相反氟里昂的替代物在大气中含量增加, 这类物质不会破坏 O_3 , 但它们也是一种温室气体; 关于极区和中纬的相互作用, 在 16 公里以下, 两区之间的输运很容易存在, 而这种输运对中纬臭氧减少的影响尚不明朗, 在 16 公里以上, 极地涡旋与较低纬度的大气分界是十分清晰的, 但行星波活动导致极地涡旋边缘崩溃并与中纬大气混合的时间尺度(约 3~4 个月)期间内部化学混合的作用尚不清楚。当前已经有许多数值模式研究 O_3 变化, 然而对许多过程(化学、混合、输运、辐射)及其间耦合的研究, 对臭氧和影响臭氧减少的大气微量成分、辐射以及地表紫外辐射的监测仍然是前沿问题。卫星仪器的长期监测和地基高精度监测在今后长时间内仍在加强。

中层大气全球变冷及其效应

由于人类活动造成的温室气体(二氧化碳, 甲烷, 氟里昂等)排放增加正引起全世界公众、政府和科学界对全球气候变暖的严重关注, 围绕全球变暖的后果与对策的研究已经远远超出科学界, 而成为国际政界关心的主题之一。全球气候变暖指的是地表和对流层大气由于 CO_2 、 CH_4 等吸收地表红外辐射而增温。这一过程在中层大气的反映则是相反的一面, 即中层大气由于接收来自地表(较高温度)的红外辐射较少, 而大气中增加的 CO_2 成为更强的向空间的热辐射器导致降温, O_3 减少也减弱了中层大气吸收太阳紫外辐射的能力, 其结果很可能整个中层(平流层、中间层和低热层)均会出现变冷, 形成中层大气的全球变冷。科学界对平流层和中间层观测的分析已初步肯定了这个变冷的趋势。如美国科学家分析了全球探空资料和诺阿(NOAA)卫星微波探测通道(MSU)的长期资料得出全球平均 100~50 百帕气压高度的低平流层在 1963~1988 年期间降温率达到每 10 年 $0.4 \pm 1.2K$, 德国科学家对北半球探空资料 30~80 百帕气压高度平均温度 1965~1992 年期间降温率为每 10 年 $0.2 \sim 0.4K$ 。这些温度变化具有较大的地区和季节的起伏。法国科学家分析激光雷达观测资料得到中间层每 10 年降温 $4K$ 的结果。美国太阳风年探测 SMM 卫星探测结果亦得到了中间层降温的结果。高平流层的卫星、火箭、激光雷达观测结果还未得出明确的温度变化趋势。

科学界对已经存在的中层大气全球变冷这一趋势已开展了模式研究。对于低平流层的降温, 无疑 O_3 减少起到了重要作用, 但其他因素如其他微量气体、冰云、水汽、对流层气溶胶等作用亦须全面考虑。根据温室气体(包括 CFC)持续增加引起的中层大气变化, 美、德科学家的模式研究预测最大的

冷却会出现在平流层顶,其降温幅度达 16~22K,而 20~60 公里高度范围内均变冷。美国国家大气研究中心(NCAR)的科学家进一步用一维模式研究了在上述变化背景下 60~500 公里的中高层大气的变化,在 CO₂ 和 CH₄ 浓度倍增的条件下,中间层和热层均产生重大的变冷,全球中间层平均温度降低 10K,而热层平均温度降低 50K。90 年代以来已经有更多的模式研究得到类似的结论,并对全球变冷中的纬度变化作了进一步分析。应当指出,上述模式计算中尚有多方面的不确定性需要改进,包括动力学相互作用与参数化,全球变冷引起的化学成份结构、化学反应速率,非局地热力平衡条件下的吸收谱线结构,太阳活动周期输入变化,以及远未解决的对流层的云、气溶胶反馈作用,人类活动造成的其他微量气体排放(如 H₂)等,因此这些正是中层大气研究的新热点,须用观测、室内实验和模式研究三者结合解决。

中层大气全球变冷可能引起一些现象和重要变化。近年来发现中间层顶(85~90 公里高度)附近的夜光云出现频数增加,据分析可能是人类活动排放 CH₄ 增加,进入中层大气,通过氧化形成的中间层大气水份增加,并在中间层顶的降温条件下形成云,这是中层成分与温度变化的综合标志。全球变冷的另一个结果是某一高度以上的中高层大气密度会降低。对在该高度范围运行的航天器而言,大气阻力减少会降低维持轨道的燃料需求,延长其寿命。但另一方面,对航天具有破坏力的空间碎片的寿命也随之增长。对高层大气而言,电离层 E 和 F 层的峰值高度有可能降低,而变冷对电离层 D 区结构的作用则还未得到研究。事实上,整个大气层,包括磁层电离层在内,在全球变化背景下的调整正是一个十分重要的研究方向,至少以下几方面的问题需要深入研究。

1. 在全球低层变暖和高层变冷造成的大气结构变化下,重力波、潮汐波和行星波传播特征会如何变化。

2. 在中层变冷和收缩条件下大气各层间能量、质量和动量交换率如何变化。在上层大气和电离层结构变化后,现有的日地耦合关系是否会改变。

3. 大气结构变化后是否会使某些大气化学和物理过程变得更加重要(例如臭氧洞区内的异相化学等)。

4. 中高层大气结构的变化对对流层气候天气系统的反馈如何,中高层大气变化对空间技术系统的影响如何。

日地关系的继续探索

中层大气作为中性大气的上部,对于日地关系

的建立是必经的通道,太阳对地球大气输入的其变化活跃的成分,即紫外及更短的电磁辐射、太阳风粒子,均在该层大气产生重要的效应,并可能进而影响低层大气。因此,对于太阳活动—地球天气气候关系(即通称的日地关系)的实质性探索而言,中层大气研究是必要的,相对而言容易研究其实际过程。由于其极大的重要性和极大的不确定性,特别是对定量过程的无知,日地关系研究一直是大气科学界的探索和争议领域。80 年代以来,德国科学家拉别茨克、美国科学家冯龙首先从太阳黑子(以及射电)周期活动和大气准二年周期振荡(QBO)的联合分析中对中低层大气对太阳活动的响应得出了高相关系数的结果,引起了科学界对这个问题的新的关注。与此同时,对于太阳常数记录,关于气候系统对太阳常数变化响应的数值模拟也在以不同的模式进行。有关太阳活动的粒子成分与中层大气相互作用并进而调制低层大气天气气候的探索也在开始,并提出有关太阳风在中层大气造成的离子化粒子会促进对流层冰云发展的不同机制。但总体而言,太阳与地球气候的关系仍处于探索之中。

1. 空间多个探测器对太阳常数高精度(精度达到 0.1%)长时间探测表明,太阳常数在第 21 周到第 22 周的 11 年周期内的变动幅度约为 0.1%。虽然各卫星探测器在平均绝对值上略有差异,但对变化分量的测量是同步的,幅度是相同的,因而也是可信的。用最简单的能量关系估算,这一变化可能造成全球平均地表温度 0.2K 的变化。但由于海洋的热惯性,达到热平衡的时间长于 11 年,因而实际引起的地表温度变化可能远小于此。因此,从太阳常数即太阳总辐照能流变化引起气候变化这一联系在 11 年时间尺度上可能不会引起气候的相应变化。但从更长时间尺度上看,太阳常数有可能产生较大一些的变化,因而可能造成气候的长期变化(这里不讨论地球轨道平面变化这种更长时间尺度的问题)。根据对与太阳同类恒星的观测对比,学者们分析在 17 世纪晚期太阳活动的孟德(Maunder)极小期间,太阳常数比目前值会小 0.15~0.35%(或 0.1~0.7%),那一期间正对应地球小冰期气候。事实上要真正搞清这一问题,仍有许多环节需要研究。

2. 虽然观测表明太阳常数 11 年周期内变化幅度很小,大量研究继续集中于平流层、对流层要素和太阳活动相关的分析,除了与准二年周期振荡的相关外,大气要素还表现出与太阳活动周期相接近的周期性,称为 10~12 年振荡(TTO),北半球 7~8 月对流层温度在太阳活动极大时高,极小时低。虽对某些分析结果在统计显著性检验上尚有一定争议,但许多相关分析还是可信的。因此最主要的还是缺乏适当的物理解释,这方面需要找出一个切实

的探索途径。

3. 太阳风粒子(热等离子体)对中层大气和低层大气的作用,以及对于带电能量粒子的作用,均处在探索阶段。从70年代以来提出了太阳风粒子穿入地球大气层(主要在高纬,受到地磁场的调制)会在中层大气形成更多的离化粒子,并在向下输运的过程中充当高云的冻结核,促进高云增加,从而影响对流层气候。近几年又有学者提出全球电路(地表—电离层)中的电流不同对于云底云顶粒子的荷电速率及在云顶处过冷水的冻结有重要作用,太阳风粒子的穿入会大大改变中层大气的电导率和地面—电离层之间的电位差从而改变云顶的电荷状态,促进高云发展。当前这两种假说均有许多环节需要深入研究,包括中层大气与粒子相互作用、云的微物理与起电以及大气垂直输运,特别是给予定量化。由此可见,太阳与天气气候关系的探索仍将是长期的十分活跃的研究方向。

国际与国内计划

从目前至本世纪末,与中层大气研究有关的国际研究计划在几个国际学术组织中均有安排。有关全球臭氧变化问题的研究,在世界气象组织(WMO)和联合国环境署(UNEP)有长期监测和效应评估安排。作为日地物理系统的整体研究计划,国际日地物理委员会(SCOSTEP)安排了期限为1990~1997年的日地能量计划(STEP),在该计划中安排了中层大气对其上下层大气的响应与强迫以及低层大气对太阳和高层大气扰动的响应方面的内容作为五个主要研究内容的两个方面。为充分利用STEP期间所得的结果,SCOSTEP又安排了S-RAMP计划(1998~2002年),扩展其应用和数值模拟,强调实验、理论和计算机数值模拟的结合,集中于日地系统各层圈之间的耦合机制研究。

当前正在活跃执行的另一项国际计划是“平流

层过程及其在气候中的作用”(SPARC)。SPARC的四个重点是:平流层在气候中的作用、平流层臭氧减少相关的物理和化学、平流层变动性及其监测和紫外辐照及其变化。显然,SPARC更多注重于对流层气候和生态环境直接有关的科学问题。

我国中层大气基础研究90年代以来受到国家自然科学基金委的重要支持,资助了“大气臭氧研究”重大项目和“中层大气基本过程及其在上下层大气耦合中的作用”重点项目。国家南极“八五”科考也组织了“南极地区日地系统整体行为研究”,其中对中层臭氧、气溶胶和地外紫外辐射进行了监测研究。这些项目以及一些面上基金项目有效地组织了中国科学院、高校、部委研究院的科学家充分利用了有关基础条件投入中层大气研究工作。“九五”期间,以中层大气与全球变化为主题期望得到进一步的列项支持。

结 语

中层大气研究在我国已有一定的基础。近十年来在基本观测技术理论和模式研究等方面均有较好的进展。在中国科学院、国家自然科学基金委、有关部委支持下,在大气臭氧观测与分析、平流层气溶胶与火山云(如皮纳图博火山云)的监测与效应研究、重波传播的理论研究、日地关系的气候分析、中层大气变化的非线性过程等方面已经有比较出色的工作。当前,中层大气探测的甚高频多普勒雷达、中层探测臭氧激光雷达、中间层顶观测用光度计等一批新的设备已初步投入观测,用于中层研究的数值模式已有一定的工作。我国中层大气研究在继续开展各方面课题研究的同时,宜针对上述重要方向形成相对集中的课题体系,将探测、分析、模式和理论研究更好地结合起来,在一个或几个方面作出系统性的贡献。

(责任编辑 刘先曙)

科技动态

“自通”汉字输入平台正式 发布上市

[本刊讯]在前不久召开的全国计算机京交会上,北京隆光威尔新技术公司总经理蒋子刚高级工程师发明的“自通中文低冗余序列输入平台”(AUTOWAY)正式发布面市。该技术攻克了马尔可夫信源理论模型的技术难关,在计算语言学与应用语言学领域取得了突破性进展。其技术先进性主要表现在以下三个方面:(1)它可适应多种操作系统环境,如中文Windows,中文之星、利方、OS/2等。(2)它可将键盘输入、语音识别输入、手写识别输入系统联成一体,并使技术指标大幅度提高。(3)它将支持汉字编码(形码和音码)的低冗余改造,使原编码的效率和速度提高一倍,规则去掉80%。AUTOWAY使用起来方便快捷,克服了以往输入法人机关系别扭的

毛病,只要会拼音(全拼或双拼)即可轻松实现“盲打”、“想打”,无须进行汉字编码,系统可自动进行词语切分、自动二次编码、自动译码等智能化处理。其词语库可自举建立并能随机动态维护。目前的AUTOWAY1.0版的智能测度可达96%。鉴于AUTOWAY在中文输入以及今后在机器翻译、多文种信息处理的广泛应用前景,国家已将其列入“火炬计划”,今后将予以大力扶植。

为扩大销售,该公司现正在全国诚征代理商。AUTOWAY1.0版含三张高密盘,定价每套620元(含邮费,如快寄加邮费15元)。邮购地址:北京市海淀区五道口15号,北京隆光威尔新技术公司市场部。邮政编码:100083。开户行:北京工商银行海淀区东升分理处。帐号:62—462408—08。联系电话:(010)62383165,62084007。传真:(010)62385755。

(本刊记者 孙立明)