

武汉上空钠原子层结构短期演化特征

艾勇 鲁述

(武汉大学电信学院无线电物理系, 武汉 430072)

张训械 龚顺生

(中国科学院武汉物理与数学研究所, 武汉 430071)

摘要 对1996年3月1日~3日钠荧光散射雷达获得的观测数据进行了分析与处理, 得到了武汉($30^{\circ}32'N$, $114^{\circ}22'E$)上空钠原子层结构的短期演化特征分布图, 并对它作了初步分析。结果指出, 武汉上空钠原子层结构具有显著的时空变化特点, 钠原子数密度的变化在1h之内可达50%。

关键词 中层大气 钠原子层 激光雷达

1 引言

大功率、频率可调激光源的出现使激光雷达探测技术得到迅速发展, 它很适合对具有不同光谱特性的中高层大气微量成分的探测。第一例激光雷达观测高层大气中的微量金属元素(例如钠)的实验是由Bowman等^[1]于1969年完成的。后来又有一些小组对钠层进行了更多的探测研究, 发现了钠层的空间尺度和结构是随时间变化的。

钠原子层高度范围在80 km~105 km之间。以前对该区域的研究只能靠探空火箭或卫星搭载遥感装置或地基遥感装置进行, 飞机和卫星都无法接近该区域。地球大气中人们了解最少的区域也许就是该区域。该区域内充满了复杂的光化学和动力学过程, 有第二“对流层”之称。它还具有许多其他特征。例如, 在90 km高度中层顶部附近的温度是大气层中最低的部分, 电离层D层和偶发E层处于该区域, 100 km附近是湍流层顶, 夜光云(NLC)和极地中层大气回波(PME)也发生在该区域。除了有钠原子层外, 还存在有锂、钾等碱金属原子层。随着激光技术和电子接收系统的迅速完善, 1969年提出的共振荧光散射光雷达技术在80年代已得到很好的应用。1979年以前对钠层的观测主要集中于钠层总含量的长期演化情况和钠层宽度及峰值分布情况^[1,2]。钠层短期演化情况的观测开始于80年代^[3~5]。另外, 钠原子还可以作为某些大气参数(例如温度、湍流系数和风场等)的示踪物, 因此钠层的观测研究具有很重要的意义。

中国科学院武汉物理与数学研究所于1996年研制成功我国第一台钠共振荧光散射激光雷达, 并用来对武汉地区上空钠原子层进行了观测与研究。文中所采用的数据即是该激光雷达的部分探测数据。有关该激光雷达的结构及性能参数可参阅参考文献[6]。

2 观测数据的获得与处理

观测实验于 1996 年 3 月 1 日~3 日的三天晚上在武汉进行, 这三天都是晴好大气。每 4800 个发射激光脉冲的回波信号组成一组数据, 即每组光子信号的积分时间为 4 min, 每天实验连续进行 144 min, 共采集 36 组, 三天共得到 108 组数据。利用这些数据和激光雷达方程可求出钠原子密度分布等有关参数。

由于大气透射系数随天气而变, 并且不容易测量, 通常是将钠原子散射光子对大气气溶胶分布高度的瑞利散射光子数作归一化而求出绝对钠原子数密度。采取归一化的另一个优点是如果实验期间激光发射功率有一定波动的话, 它并不影响钠的计算结果。一般 30 km 以上已不存在气溶胶。将归一化高度选为 30 km, 计算中选用了 1986 年中层大气参考模式的 3 月份 30°N 大气温度和压力数据, 从而得到了 80 km 以上钠层密度分布图。钠原子数密度可由下式求出^[7]:

$$\rho_s(z) = \frac{z^2 \sigma_R \rho_a(z_R)}{z_a^2 \sigma_{\text{eff}}} \frac{[N_s(z) - N_B R_L \Delta t]}{[N_R(z_R) - N_B R_L \Delta t]},$$

式中, $N_s(z)$ 为高度 $(z - \Delta z/2, z + \Delta z/2)$ 范围内, 包括背景噪声的探测光子数。 $\rho_s(z)$ 为高度 z 处的钠密度 (m^{-3}), $\rho_a(z_R)$ 为归一化高度 z_R 处的大气密度 (m^{-3}), Δz 为雷达最小分辨高度 (距离门), N_B 为两相邻激光脉冲时间间隔内, 来自某个距离门内的光子噪声, σ_{eff} 为钠等效后向散射截面 (m^2), $N_R(z_R)$ 为高度 $(z_R - \Delta z/2, z_R + \Delta z/2)$ 范围内, 包括背景噪声的探测光子数, σ_R 为瑞利散射截面, R_L 为脉冲重复频率, Δt 为信号积分时间。

图 1 为 1996 年 3 月 2 日晚 19:56 到 22:20 之间测得的钠原子数密度随高度的分布与时间之间的三维变化关系。曲线簇是按线性时间轴画出的, 每条曲线之间的时间间隔是 4 min。为尽可能减小噪声的影响, 我们对数据进行了空间和时间滤波。空间滤波波长为 1000 m, 时间滤波周期为 20 min。图 2 给出了 21:57 到 22:00 之间测得的钠原子数密度随高度的分布情况。

3 结果讨论

从图 1 中可明显地看到钠原子数密度分布随时间变化很大。根据数据分析, 钠层柱密度 (1 m^2 底面积垂直柱中总钠原子数) 在 1 h 内可由 $4.2 \times 10^{13} / \text{m}^2$ 增加到 $6.8 \times 10^{13} / \text{m}^2$, 变化幅度达 61.9%。它可能是由多种因素所引起。其中中层大气层中的各种波动包括重力波和对流活动可能是引起上述变化的最主要因素。从图 2 可明显地看到中高层大气层中存在波动现象。其次, 计算中所使用的中层大气层参考模式与实际测量环境可能不完全一致, 以及探测期间的归一化高度处的大气密度 $\rho_a(z_R)$ 会有一定的变化, 这些因素都可能导致钠密度的变化。但是更详细的分析表明, 这些因素所造成的探测误差在 10% 以内。另外国外还有文献认为钠层由“基本钠层”和“偶发钠层”组成。关于偶发钠层有几种解释, Von Zahn 等^[13]认为通过电子反应一些相对简单的含钠原子

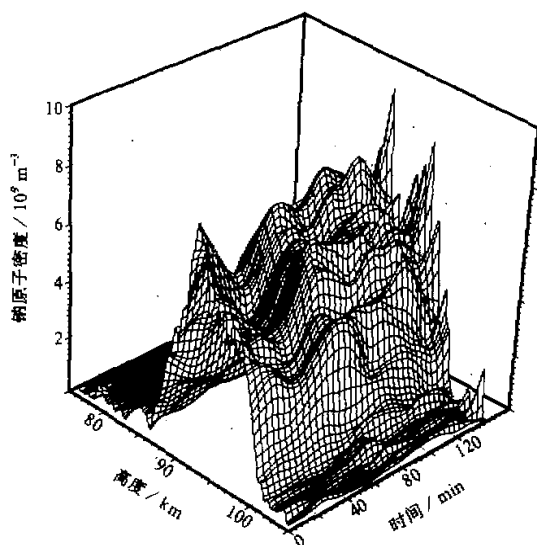


图1 3月2日晚测得的钠密度分布随时间变化图

分子能够释放出中性钠原子(例如: $\text{NaHCO}_3 + \text{e}^- \rightarrow \text{Na} + \text{HCO}_3^-$); Mathews 等人^[4]认为当大量电子流进入钠层高度的离子层时会产生加热效应, 从而导致钠密度突然上升; Kane 等^[5]从化学反应角度考虑了此问题, 认为中性钠原子产生率正比于电子与含钠原子的分子浓度之乘积, 而反比于钠原子与中性含钠原子的分子浓度之乘积; Zhoo 等^[8]认为中层顶部的动力学结构和温度结构对偶发钠层和偶发 E 层的产生具有重要作用。Mathews 等^[9]在 1989 年 3 月 30 日的实验中曾观测到钠层柱密度在 1 h 内由 $3 \times 10^{13} / \text{m}^2$ 突增到 $18 \times 10^{13} / \text{m}^2$ 的情况, 变化幅度达 500%。

从观测结果来看, 钠层宽度约为 20 km, 位于 80~105 km 之间, 钠密度最大值高度在 90~95 km 之间。钠密度分布随时间的变化十分显著, 在 1 h 之内, 钠原子数密度的变化可达 50%。这证明钠层内存在着复杂的光化学过程和动力学过程。钠层的活动无疑对整个中层、热层及平流层的活动产生一定的影响, 因此详细了解钠层的活

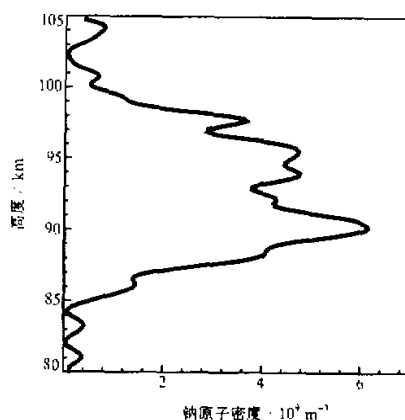


图2 3月2日晚 21:57~22:00 测得的钠密度随高度分布图

动对整个大气科学的发展是十分有意义的。

参 考 文 献

- 1 Bowman, M. R., Gibson A. J. and Sandford M. C. W., 1969, Observation of mesospheric Na atoms by tuner laser radar, *Nature*, **221**, 456~457.
- 2 Megie, G., 1978, Simultaneous nighttime lidar measurements of atmospheric sodium and potassium, *Planet Space Sci.*, **26**, 27~30.
- 3 Von Zahn, V. and Murad, E., 1990, NaHCO_3 : a source of Na atoms for sudden sodium layers? *Geophys. Res. Lett.*, **17**, 147~149.
- 4 Mathews, J. D., Morton, Y. T. and Zhou, Q., 1993, Observations of ion layer motions during the AIDA campaign, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **55**, 447~457.
- 5 Kane, T. J., Gardner, C. S. and Zhou, Q., 1993, Lidar, radar and airglow observations of a spectacular sporadic Na / sporadic E layer event at Arecibo during AIDA-89, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **55**, 499~511.
- 6 龚顺生、曾锡之、薛新建等, 1997, 中国武汉上空钠层的首次激光雷达观测, *中国科学 (A)*, **27**, 269~373.
- 7 Gardner, C. S., Senf, D. C., Beatty, T. J. et al., 1989, Rayleigh and sodium lidar techniques for measuring middle atmosphere density temperature and wind perturbations and their spectra, *World Ionosphere / Thermosphere Study*, Volume 2, Chapter 6, University of Illinois, 148~187.
- 8 Zhou, Q., 1993, A proposed temperature dependent mechanism for the formation of sporadic sodium layers, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **55**, 513~521.
- 9 Mathews, J. D., Q. Zhou, C. R. Philbrick, et al., 1993, Observation of ion and sodium layer coupled processes during AIDA, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **55**, 487~498.

Short Period Evolvemantal Characteristics of Sodium Layers over Wuhan, China

Ai Yong, Lu Shu

(Department of Radio Physics, Wuhan University, Wuhan 430072)

Zhang Xunjie and Gong Shunsen

(Wuhan Institute of Physics and Mathematics Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071)

Abstract The mesospheric sodium data, observed from 1 March to 3 March 1996 in Wuhan ($30^{\circ}32'N$, $114^{\circ}22'E$) by a lidar, have been analyzed, and the short period evolvemantal profile of distribution of Na atom density with the altitude have been obtained. The results show that the distributions of Na atom density changes apparently. The variation of Na atoms density can reach 50% within one hour.

Key words mesosphere sodium layer lidar