

激光探测平流层气溶胶层后 向散射系数分布

孙金辉 邱金桓 夏其林 张金定

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

1983年2月以来,利用红宝石激光雷达对平流层气溶胶层进行了一系列探测。结果表明:因受 El Chichon 火山爆发的影响,平流层气溶胶层后向散射比峰值和14—23.5公里高度范围内积分后向散射系数均明显增大。本文对部分探测结果进行了分析和讨论。

一、引 言

平流层气溶胶层是 Gruner 等人根据天空曙暮光的色彩在1927年提出的一个假设^[1],六十年代初, Junge 等人用直接取样的方法证实20公里高空附近存在着平流层气溶胶层^[2]。二十多年来,人们使用多种遥感技术和取样分析仪器对这一层进行了大量探测和研究。近年来,一些气象学家指出,平流层气溶胶层是影响地球上气候变迁的重要因素之一,例如, Robock 曾预言1982年3—4月爆发的 El Chichon (17°N, 93°W) 火山所形成的数密度极大的平流层气溶胶层可能引起北半球的平均气温在1984年和1985年下降约0.5°C^[3]。因此,研究平流层气溶胶层的物理、化学特性及其气候效应日益受到气象和大气物理学家们的关注。

六十年代初激光技术问世后,用激光雷达探测平流层气溶胶层受到人们的重视, Grams^[4], Fiocco^[5], Russell^[6] 和岩坂泰信^[7]等人做了大量有关的理论研究和实验观测工作,提供了很多有价值的结果。目前一些科技比较先进的国家都用多台激光雷达作常规观测。1983年2月25日以来,我们在北京近郊用一台激光雷达对平流层气溶胶层进行了一系列探测。本文将介绍这次观测使用的激光雷达系统及资料处理方法,并对观测结果进行讨论。

二、激光雷达系统

这次观测所用激光雷达系统如图1所示。主要由红宝石激光器及发射望远镜、接收光路及探测器、激光大气回波信号数据的采集及自动处理系统、机架及角度调节机构等四

1985年6月17日收到修改稿。

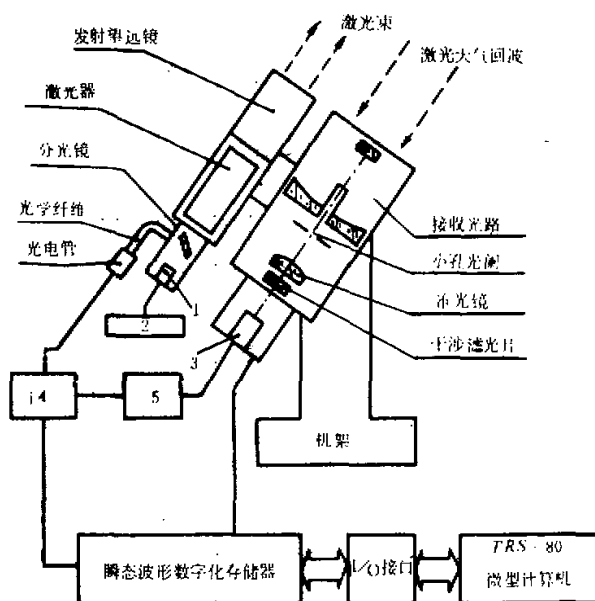


图1 激光雷达系统方框图

1. 光电管 2. 激光能量监测器 3. 光电倍增管 4. 同步信号发生器
5. 光电倍增管增益控制电路

表1 激光雷达系统性能参数

设 备 名 称	参 数
发射系统	
红宝石棒	$\phi 10 \times 175$ (毫米)
每个脉冲的能量	1~2焦耳
脉冲宽度	约25毫微秒
激光波长	0.6943微米
发射角	约2.5毫弧度
重复频率	最大1次/秒
发射孔径	10厘米
接收系统	
接收孔径	40厘米
视场角	3毫弧度
干涉滤光片带宽	10埃
发射-接收光轴间距离	35.2厘米
光电倍增管	RCA-7265
瞬态波形数字化存储器	
A/D转换器的最高采样速率	20兆次/秒
A/D转换器的最高灵敏度	50毫伏
精度	7位(双向)
微型计算机	TRS-80

部分构成。

脉冲激光束通过发射望远镜射入大气中, 激光大气回波被接收光路接收后经光电倍增管转换成电信号, 通过 50 欧姆同轴电缆将此信号送至瞬态波形数字化存储器的输入端, 在作为距离零点标志的同步信号触发下, 经高速 A/D 转换器将模拟信号数字化, 并将其存入容量为 4 KB 缓存器内。计算机系统可对回波信号进行计算和处理。激光雷达系统性能参数列于表 1。

三、数据处理方法

常用大气探测激光雷达方程可表达为

$$V(Z) = K[\beta_M(Z) + \beta_P(Z)]T^2(Z), \quad (1)$$

$$K = C_A \frac{E}{E_0} T^2(Z_1). \quad (2)$$

在气溶胶粒子含量可以忽略不计的理想分子大气中, (1) 式可以简化为

$$M(Z) = K\beta_M(Z)T^2(Z). \quad (3)$$

通常采用总的大气后向散射系数与分子大气后向散射系数之比 $R(Z)$ 来描述平流层气溶胶层的垂直分布, 即

$$R(Z) = \frac{V(Z)}{M(Z)} = \frac{\beta_M(Z) + \beta_P(Z)}{\beta_M(Z)}. \quad (4)$$

以上各式中: $V(Z)$ 是测得的经距离平方订正后高度 Z 处的激光大气回波值; $\beta_M(Z)$ 、 $\beta_P(Z)$ 分别是 Z 处大气分子和气溶胶粒子的体积后向散射系数; $T^2(Z)$ 是要探测的最低高度 Z_1 ($Z_1 = 8$ 公里) 至 Z 处的大气双程透过率; $T^2(Z_1)$ 是地面至 Z_1 处的大气双程透过率; $\frac{E}{E_0}$ 表征激光发射能量的起伏; C_A 是仪器常数。 $\beta_M(Z)$ 利用北京气象台的探空资料计算得到, $T^2(Z)$ 利用模式大气资料代入不会引入很大的误差。显然, 关键的问题是求得 K 值。由于每次观测时低层大气状态不可能完全一样, 尤其是霾层和卷云的影响, 很难对激光雷达系统进行绝对标定, K 值不可能是一个常数, 而且可能变化很大。因此, 每次观测时都需求出相应的 K 值。我们采用目前通用的“分子大气归一化”方法来确定 K 值^[6]。此方法基于一个基本假设, 即在探测高度范围内存在着一层粒子含量可忽略不计的分子大气, 在这一层高度 Z_0 处的后向散射比 $R(Z_0)$ 为最小值, 即在这层分子大气中 $R(Z_0) = 1$, 于是得到

$$K = \frac{V(Z_0)}{\beta_M(Z_0)T^2(Z_0)}. \quad (5)$$

许多研究人员通过直接取样测量和遥感探测都证明: 在对流层顶附近, 气溶胶粒子含量有一极小值, 可以近似地认为那个高度上的粒子含量可忽略不计^[4,6]。我们在处理资料时, 假定 9 至 14 公里高度范围内存在着一层理想分子大气, 首先任意设一 K 值, 通过计算即可求得与 $R(Z)$ 最小值对应的高度 Z_0 , 令 $R(Z_0) = 1$, 即求得 K 值。我们在观测中发现, 对流层上部经常存在一层浓度和垂直分布都变化大而且快的气溶胶层。此外, 对流

层顶高度也会因季节不同而有改变。因此,各次观测中 Z_0 值也稍有变化。由 (4) 式可得到

$$\beta_p(Z) = [R(Z) - 1]\beta_M(Z), \quad (6)$$

$$= N_p(Z)\overline{\Sigma_p(\pi)}. \quad (7)$$

式中, $\beta_M(Z) = C_R(\pi)N_M(Z)$, 对于激光波长 $\lambda = 0.6943$ 微米, 空气分子瑞利后向散射截面 C_R 为: $C_R(\pi) = 2.114 \times 10^{-28} \text{cm}^2 \text{sr}^{-1}$. $\overline{\Sigma_p(\pi)}$ 是气溶胶粒子平均后向散射系数, 为粒子谱分布的函数; $N_M(Z)$, $N_p(Z)$ 分别是 Z 处分子和粒子的数密度。

由 (6) 式可求得一定高度范围内气溶胶粒子积分后向散射系数 B_T ,

$$B_T = \int_{Z_1}^{Z_2} \beta_p(Z) dZ. \quad (8)$$

式中, Z_1 是积分下限, Z_2 是积分上限。

四、探测结果和讨论

从 1983 年 2 月 25 日开始, 我们使用前述的激光雷达系统对平流层下部和对流层上部进行了一系列探测。探测在晴空夜晚进行。每次探测发射 40 炮激光, 重复频率约为 1 次/分, A/D 转换器的采样速率为 10 兆次/秒, 即每间隔 15 米取一个数据。处理观测资料时, 对数据已进行平滑处理, 在每一个高度上求 20 个相邻测量数据的平均值, 即距离分辨率由观测时的 15 米降为 300 米。图 2 是部分不同日期测得的后向散射比 $R(Z)$ 的垂直剖面。图 3 是不同日期测得的 14 至 23.5 公里高度范围内月平均气溶胶粒子积分后向散射系数。从观测结果, 我们可以得出以下基本结论:

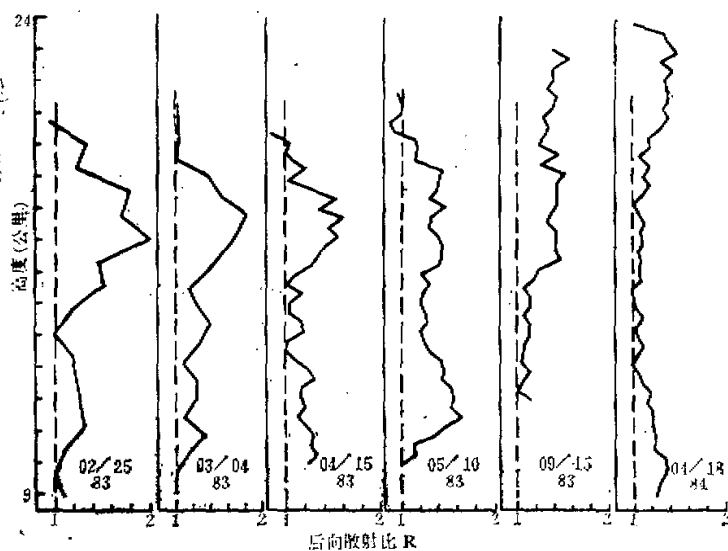


图 2 1983 年 2 月—1984 年 4 月观测得到的后向散射比垂直剖面

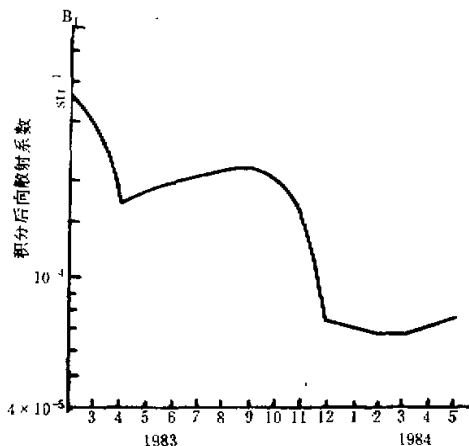


图3 14—23.5 公里高度范围内气溶胶粒子积分后向散射系数

1. 从图2可以清楚地看出,1983年2月初至3月,平流层气溶胶层主要分布在15—20公里高度范围内,后向散射比峰值 $R(Z)_{\max}$ 约为2,最大后向散射系数出现在17公里高度附近。1983年2月,14—23.5公里范围内气溶胶粒子积分后向散射系数约为 $3.2 \times 10^{-4} \text{ sr}^{-1}$ 。图2和图3还表明,后向散射比峰值 $R(Z)_{\max}$ 和气溶胶粒子积分后向散射系数 B_T 均随着时间的向后推移而逐渐减小。类似1983年2—3月间出现在平流层的这种数密度很大的气溶胶层被称之为“神秘的云”。到1984年4月,气溶胶层主要集中在20公里以上,后向散射比峰值约为1.4。据 Russell^[6] 的观测结果,未受强烈火山爆发扰动的平流层气溶胶层,其后向散射比峰值 $R(Z)_{\max}$ 约为1.1—1.15。我们在1983年2月至1984年4月间测得的 $R(Z)_{\max}$ 均远大于此背景值,其原因是1982年3月至4月初墨西哥 El Chichon 火山爆发时大量火山灰喷入平流层,使平流层气溶胶粒子含量急剧增加引起的。日本名古屋大学在这次火山爆发后使用一台波长为0.6943微米的红宝石激光雷达对平流层气溶胶层做了大量探测研究工作^[8]。他们测得,1982年5—6月,24—25.5公里高度上的后向散射比峰值曾达到44;7—8月,24公里以下高度范围内的最大后向散射比曾达到4~5;5月末,14—24公里高度范围内气溶胶粒子积分后向散射系数曾达 $3 \times 10^{-3} \text{ sr}^{-1}$ 。1982年4到12月,基本上是以20公里高度为界分为上下两层,到1983年1月,分界消失。峰值后向散射系数在18公里高度附近。我们的观测结果与此相符。后向散射比峰值和积分后向散射系数虽有起伏,但可以看出,我们的观测结果正是平流层气溶胶层受 El Chichon 火山爆发扰动后粒子数密度由大变小衰减过程的一部分。

2. 关于理想分子大气假定引入的误差,计算 $R(Z)$ 时,我们是基于对流层顶附近高度上为分子大气这一假定的。据 Russell^[6] 的计算,基于此假定求得的 $R(Z)_{\max} - 1$ 约比实际值偏小0.1。本文给出的 $R(Z)$ 值未作订正。

3. 从图2可以看出,对流层上部,即10—12公里高度范围内的后向散射比 $R(Z)$ 变化既大而且快,这表明在此高度范围内经常存在着一层多变的气溶胶层。Hofmann^[10], Takao Takeda^[9] 等人都指出在对流层上部存在着多变气溶胶层这一事实,但目前对它的

认识还远远不够,我们相信这将是一个值得研究的问题。

4. 这次观测结果证明,用我所新近研制成的大接收孔径激光雷达探测平流层气溶胶层是可行的,但现有这个系统的探测高度不够,我们正在研制一个探测高度可达 30 公里以上的激光雷达系统。

致谢: 这项研究工作得到赵燕曾、吕达仁等的指导和支持,何阜华等参加了雷达系统的研制,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Gruner, P. and Kleinert, H., 1927, Die Dämmerungserscheinungen, Probleme der Komischen Physik, 10 Henri Grand, Hamburg, 1—113.
- [2] Junge, C. E. and Manson, J. E., *J. Geophys. Res.*, 66(1961), 2163—2182.
- [3] Alan Robock, 1983, *IAMAP Programme and Abstracts*, R-2, 596.
- [4] Grams, G. and Fiocco, G., *J. Geophys. Res.*, 72(1967), 3523—3542.
- [5] Fiocco, G. and Grams, G., *J. Atmos. Sci.*, 21(1964), 323—324.
- [6] Russell, P. B. et al., *Quart. J. R. Met. Soc.*, 102(1976), 675—695.
- [7] Yasunobu Iwasaka, et al., *J. of the Met. Soc. of Japan*, 59(1981), 439—445.
- [8] Sachiko Hayashida and Yasunobu Iwasaka, 1983, *IAMAP Programme and Abstracts*, R-2, 582.
- [9] Takao Takeda, et al., *J. of the Met. Soc. of Japan*, 57(1979), 362—366.
- [10] Hofman, D. J., et al., *J. Atmos. Sci.*, 32(1975), 1446—1456.

VERTICAL DISTRIBUTION OF STRATOSPHERIC AEROSOL BACKSCATTERING RATIO MEASURED BY LIDAR

Sun Jinhui Qiu Jinhuan Xia Qilin Zhang Jindin

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

The observations of stratospheric aerosols have been made by lidar in Beijing, since February 1983. The results show that there is a noticeable increase of backscattered light from the stratospheric aerosol layer during the period from February 1983 to April 1984 because of the volcanic eruptions of Mt. El Chichon. Some results are further discussed.