

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01S 17/95

G01N 21/00



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200310106236.5

[43] 公开日 2004 年 11 月 3 日

[11] 公开号 CN 1542461A

[22] 申请日 2003.11.5

[21] 申请号 200310106236.5

[71] 申请人 中国科学院安徽光学精密机械研究所
地址 230031 安徽省合肥市 1125 信箱

[72] 发明人 钟志庆 戚福弟 范爱媛 岳古明
兰举生 江庆伍 周 军

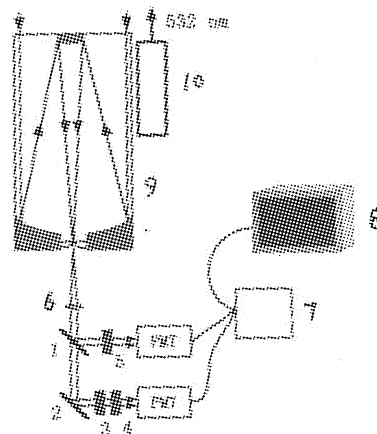
[74] 专利代理机构 合肥华信专利商标事务所
代理人 余成俊

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称 昼夜兼用的便携式米散射激光雷达及其探测方法

[57] 摘要

本发明公开了一种昼夜兼用的便携式米散射激光雷达及其探测方法，激光雷达总体由三部分构成：激光发射、接收光学、后继光学、信号探测这四个单元都装配成整体的一体化结构，此部分活动安装在一个支架上；信号采集、控制单元以及其它辅助电源仪器被集中安装在一台轻型仪器推车内；Nd: YAG 激光电源单独放置，目镜、分束片、全反射镜、衰减片、滤光片构成后继光学单元，分束片将大气后向散射光分成远近两个通道同时进行探测。本发明雷达具有结构紧凑、体积小、重量轻、快速探测、可昼夜连续运行、自动化程度高、工作稳定可靠和易于移动等优点，应用于白天和夜晚大气水平能见度、对流层气溶胶和卷云消光系数垂直廓线的探测。



1、昼夜兼用的便携式米散射激光雷达，总体由三部分构成：激光发射、接收光学、后继光学、信号探测这四个单元都装配成整体的一体化结构，此部分活动安装在一个支架上；信号采集、控制单元以及其它辅助电源仪器被集中安装在一台轻型仪器推车内；Nd:YAG 激光电源单独放置，其特征在于接收望远镜后安装有目镜，接收望远镜的箱体上安装有激光器，激光器和望远镜光路平行，目镜后面依次安装有分束片和全反射镜，经分束片反射的光路中安装有滤光片、带门控的光电倍增管；经分束片透射后，再通过全反镜反射的光路中，安装有衰减片、滤光片、带门控的光电倍增管，二路光电倍增管和双通道放大器连接，双通道放大器后连接 A/D 卡和工控机。

2、根据权利要求 1 所述的昼夜兼用的便携式米散射激光雷达，其特征在于目镜、分束片、全反射镜、衰减片、滤光片构成后继光学单元，后继光学单元安装在后继光路方箱内，后继光路方箱通过法兰盘与接收望远镜连为一整体，光电倍增管与后继光路方箱按光路确定的方位开孔连接，装一块直角弯板与方箱连接，入光孔上的套筒通过闭帽固紧与方箱连接。

3、昼夜兼用的便携式米散射激光雷达的探测方法，其特征在于采用双轴结构，接收望远镜光轴和激光器光轴平行设置，激光器发射的 532nm 波长激光入射到大气后，由接收望远镜接收大气后向散射回波信号，经过目镜及其后面依次安装的分束片、全反射镜，通过分束片将大气后向散射光分成远近两个通道同时进行探测：对于远距离探测通道，被分束片反射的大气后向散射光通过滤光片进入带门控的光电倍增管进行光电转换；对于近距离探测通道，从分束片透过大气后向散射光经全反镜反射以后，通过衰减片、滤光片后进入光电倍增管进行光电转换；两个通道的电信号经过双通道放大器放大后由双通道 A/D 卡采集，最后由计算机控制系统对采集的数据进行储存，并实时显示测量数据。

4、根据权利要求 3 所述的昼夜兼用的便携式米散射激光雷达的探测方法，其特征在于所述的计算机控制系统是工控机，A/D 卡安装在工控机内。

5、根据权利要求 3 所述的昼夜兼用的便携式米散射激光雷达的探测方法，其

特征在于所述的分束片为 90%反射，10%透过。

6、根据权利要求 3 所述的昼夜兼用的便携式米散射激光雷达的探测方法，其特征在于接收望远镜的主镜和副镜均镀 532nm 波长全反的介质膜，反射率达 99%。目镜由 K9 玻璃制成，镀有 532nm 增透膜，它将来自接收望远镜焦点后的发散光会聚成平行光，光斑直径 10mm。

昼夜兼用的便携式米散射激光雷达及其探测方法

技术领域

本发明涉及一种激光雷达，更具体的说一种米散射激光雷达。

背景技术

激光雷达是以激光为光源，通过探测激光与大气相互作用的辐射信号来遥感大气。激光与大气的相互作用，产生包含气体分子和气溶胶粒子有关信息的辐射信号，利用反演的方法就可以从中得到关于气体分子和气溶胶粒子的信息。

激光雷达是传统雷达技术与现代激光技术相结合的产物。激光问世后的第二年，即1961年，科学家就提出了激光雷达的设想，并开展了研究工作，40多年来，随着激光技术日新月异的发展，先进的信号探测和数据采集系统的应，激光雷达以它的高测量精度、精细的时间和空间分辨率以及大的探测跨度而成为一种重要的主动遥感工具。

目前，探测对流层气溶胶的米散射激光雷达系统一般存在以下三个方面的不足：首先是系统比较复杂、体积较大、重量较重、不易移动和运输，限制了它的应用区域范围；其次探测高度有限，大部分局限在5~6 km以下的边界层内，白天探测高度更底，第三长时间连续运行往往可靠性较差。

为了克服常规米散射激光雷达的上述缺点和不足，国际上，一种微脉冲激光雷达（Micro Pulse Lidar，简称MPL）问世。但是由于其输出能量在 μJ 量级，依靠高重复率（数千Hz）提高探测信噪比，因此探测时间长，白天探测高度也仅6km，而且如果其过长的几何重叠因子（4 km左右）不能精确确定，会给气溶胶探测结果带来较大的误差。

发明内容

本发明的目的是提供一种新型的昼夜兼用的便携式米散射激光雷达，关键器件都采用轻小型全固化结构或模块化结构，加上独特的发射和接收光学系统的设

计, 具有结构紧凑、体积小、重量轻、快速探测、可昼夜连续运行、自动化程度高、工作稳定可靠和易于移动等优点, 应用于白天和夜晚大气水平能见度、对流层气溶胶和卷云消光系数垂直廓线的探测。

本发明的技术方案如下:

昼夜兼用的便携式米散射激光雷达, 总体由三部分构成: 激光发射、接收光学、后继光学、信号探测这四个单元都装配成整体的一体化结构, 此部分活动安装在一个三角支架上, 可以作俯仰或方位运动; 信号采集、控制单元以及其它辅助电源仪器被集中安装在一台轻型仪器推车内; Nd:YAG 激光电源因有一定的体积单独放置, 其特征在于接收望远镜后安装有目镜, 接收望远镜的箱体上安装有激光器, 激光器和望远镜光路平行, 目镜后面依次安装有分束片 and 全反射镜, 经分束片反射的光路中安装有滤光片、带门控的光电倍增管; 经分束片透射后, 再通过全反镜反射的光路中, 安装有衰减片、滤光片、带门控的光电倍增管, 二路光电倍增管和双通道放大器连接, 双通道放大器后连接 A/D 卡和工控机。

昼夜兼用的便携式米散射激光雷达的探测方法, 其特征在于采用双轴结构, 接收望远镜光轴和激光器光轴平行设置, 激光器发射的 532nm 波长激光入射到大气后, 由接收望远镜接收大气后向散射回波信号, 经过目镜及其后面依次安装的分束片、全反射镜, 通过分束片将大气后向散射光分成远近两个通道同时进行探测: 对于远距离探测通道, 被分束片反射的大气后向散射光通过滤光片进入带门控的光电倍增管进行光电转换; 对于近距离探测通道, 从分束片透过大气后向散射光经全反镜反射以后, 通过衰减片、滤光片后进入光电倍增管进行光电转换; 两个通道的电信号经过双通道放大器放大后由双通道 A/D 卡采集, 最后由计算机控制系统对采集的数据进行储存, 并实时显示测量数据。

所述的计算机控制系统是工控机, A/D 卡安装在工控机内。

所述的分束片为 90%反射, 10%透过。

接收望远镜的主镜和副镜均镀 532nm 波长全反的介质膜, 反射率达 99%。目镜由 K9 玻璃制成, 镀有 532nm 增透膜, 它将来自接收望远镜焦点后的发散光会聚成平行光, 光斑直径 10mm。

本发明激光雷达的激光器、分色镜和 532nm 全反镜构成激光发射单元, 接收

望远镜构成回波信号接收单元，目镜、分束片、全反射镜、衰减片、滤光片构成后继光学单元，光电倍增管、前置放大器、A/D 采集卡构成信号探测和数据采集单元，光电倍增管的门控装置、信号延迟脉冲发生器、工控机构成运行控制单元。

本发明激光器采用的是法国 Quantel 公司生产的 Brilliant 型 Nd:YAG 激光器，将它背负在接收望远镜和后继光学单元的箱体的上部，可随着接收望远镜一起进行俯仰和方位的转动，以进行水平或垂直方向上的测量。

接收望远镜是由中国科学院安徽光学精密机械研究所生产的直径为 200mm 的 Cassegrain 型望远镜，主镜和副镜均镀 532nm 波长全反的介质膜，反射率达 99%。

工控机采用台湾研华公司生产的 IPPC-9150，内部带有两个 PCI/ISA 插槽，数据采集卡可以直接插入，使用方便。IPPC-9150 工控机抗干扰能力强，体积小（402×302×127mm），重量轻，仅有 10kg，适合携带外场工作。

光学后继单元安装在后继光路方箱内，后继光路方箱通过法兰盘与 Cassegrain 型接收望远镜连为一整体。

光电倍增管与后继光路方箱按光路确定的方位开孔连接，为保证其稳定性，其安装方式，装一块直角弯板与方箱连接，入光孔上的套筒通过闭帽固紧与方箱连接。

放大器、工控机、数据采集卡、信号延迟发生器及其光电倍增管和放大器的电源一起有序地安置在一个轻型仪器推车内。

后继光学单元中的目镜由 K9 玻璃制成，镀有 532nm 增透膜，它将来自接收望远镜焦点后的发散光会聚成平行光，光斑直径 10mm。

由于在整个对流层的高度范围里，激光雷达接收到的 532nm 波长大气后向散射回波信号的动态范围达到 7 个数量级以上，而 A/D 卡的精度是 12bit，不能采集这么大的动态范围的信号，同时，近距离的大气后向散射光很强，会导致光电倍增管饱和引起信号失真，所以通过分束片（90%反射，10%透过）将大气后向散射光分成远近两个通道同时进行探测。对于远距离探测通道，被分束片反射的 90% 的大气后向散射光通过滤光片进入带门控的光电倍增管进行光电转换。

对于近距离探测通道，从分束片透过的 10% 的大气后向散射光经全反镜反射以后，通过衰减片、滤光片后进入光电倍增管进行光电转换。

两个通道的电信号经过双通道放大器放大后由双通道 A/D 卡采集，最后由工控机对采集的数据进行储存，并实时显示测量数据。

本发明昼夜兼用的便携式米散射激光雷达，它具有以下特点：

1). 可进行大气水平能见度、整个对流层气溶胶消光系数垂直廓线和卷云消光系数垂直廓线的探测。水平能见度的探测误差 15%；消光系数垂直廓线探测误差 20%。

2). 实现了白天和夜晚的连续运转。通常天气条件下，无论白天或夜晚，水平探测距离为 10 km，垂直探测高度达到 15km。

3). 具有快速探测的特点，通常天气条件下，大气水平能见度的探测周期为 3 分钟，气溶胶和卷云消光系数垂直廓线的探测周期为 15 分钟。

4). 结构紧凑、重量较轻，便于携带和移动，适用于外场使用。

附图说明

图 1 为本实用新型结构示意图。

图 2 为本发明便携式米散射激光雷达探测的 $\ln(P(R)R^2)$ 和 R 的关系曲线。

图 3 为本发明便携式米散射激光雷达（实曲线）和 L300 米散射激光雷达（虚曲线）同时探测的 532nm 波长气溶胶消光系数垂直廓线的比较结果。

图 4 为 2003 年 5 月 8 日夜 20:00 本发明便携式米散射激光雷达测量的气溶胶消光系数的垂直廓线。

图 5 为 2003 年 4 月 16 日上午 10:05 本发明便携式米散射激光雷达测量的气溶胶消光系数的垂直廓线。

图 6 为 2003 年 3 月 21 日 19:33 本发明便携式米散射激光雷达测量的气溶胶和卷云消光系数的垂直廓线

具本实施方式

结构见图 1。昼夜兼用的便携式米散射激光雷达，其结构是接收望远镜 9 后安装有目镜 6，目镜 6 后面依次安装有分束片 1 和全反射镜 2，经分束片 1 反射的光路中安装有滤光片 5、带门控的光电倍增管；经分束片 1 透射后，再通过全反镜 2 反射的光路中，安装有衰减片 3、滤光片 4、带门控的光电倍增管，上述部件一并安装在箱体内，箱体上安装有 Na: YAG 激光器 10，激光器 10 和望远镜 9 光路平

行，二路光电倍增管和双通道放大器 7 连接，双通道放大器 7 后连接工控机 8（内装 A/D 卡）。

工作原理是：通过分束片 1 将大气后向散射光分成远近两个通道同时进行探测；对于远距离探测通道，被分束片反射的大气后向散射光通过滤光片进入带门控的光电倍增管进行光电转换；对于近距离探测通道，从分束片透过大气后向散射光经全反镜反射以后，通过衰减片、滤光片后进入光电倍增管进行光电转换；两个通道的电信号经过双通道放大器放大后由双通道 A/D 卡采集，最后由计算机控制系统对采集的数据进行储存，并实时显示测量数据。

本发明便携式米散射激光雷达的技术参数

单元名称	技术参数
激光发射单元	
激光器	Nd:YAG
波长(nm)	532
单脉冲能量(mJ)/ 能量稳定性 (%)	180/±4
脉冲重复频率(Hz)	10
光束发散角(mrad)	0.5
回波信号接收单元	
接收望远镜型号	Cassegrain
直径(mm)	200
焦距 (m)	2
视场(mrad)	1~3
后继光学单元	
滤光片中心波长(nm)	532
半宽度(nm)	0.3
透过率(%)	45
信号探测和采集单元	
光电倍增管频谱响应(nm)	300~650
放大器	
增益	40
带宽(MHz)	200
A/D 采集卡	
采集精度(bit)	12
采集速率(MHz)	5
运行控制单元	
光电倍增管门控装置	
信号延迟脉冲发生器	
工控机主频	PIII850

使用本发明装置得到的各种典型探测结果:

1、大气水平能见度

使用斜率法 (slope) 对便携式米散射激光雷达的探测数据进行处理即可得到大气水平能见度。

图2给出2003年4月16日下午15:51便携式米散射激光雷达探测的 $\ln(P(R)R^2)$ 和距离 R 的关系曲线。其中, $P(R)$ 为便携式米散射激光雷达探测到的距离 R 处的大气后向散射回波信号。图中圆点为测量值, 直线为最小二乘法拟合的结果。

从图2中可以看出, 在 $1.5\text{ km} \sim 10\text{ km}$ 范围内, $\ln(P(R)R^2)$ 和 R 呈很好的线性关系, 虽然, 随着探测距离 R 的增加, 接收的大气后向散射回波信号的信噪比变小, 回波信号起伏逐渐增加, 但都围绕拟合直线上下起伏。 $\ln(P(R)R^2)$ 和 R 的相关系数在 99.87% , 拟合直线的标准误差在 0.049 。它反映了这天的大气气溶胶的水平均匀性很好。回归直线斜率的一半为 532 nm 波长的大气水平消光系数 $\alpha_H = 20\text{ km}^{-1}$, 对应当时的大气水平能见度 R_v 为 19.56 km 。

2、对流层气溶胶消光系数垂直廓线

使用 Fernald 方法对便携式米散射激光雷达的探测数据进行处理即可得到对流层气溶胶和卷云消光系数垂直廓线。

为了检测便携式米散射激光雷达探测大气气溶胶消光系数的性能及其可靠性, 2003年1月23日夜晩, 与另一台 L300 米散射激光雷达同时进行了大气气溶胶消光系数垂直廓线的探测。

图3给出了便携式米散射激光雷达 (实曲线) 和 L300 米散射激光雷达 (虚曲线) 同时探测的 532 nm 波长气溶胶消光系数垂直廓线的比较结果。图中的点划线是大气分子 Rayleigh 消光系数垂直廓线。显然, 两个激光雷达系统探测的对流层气溶胶消光系数垂直廓线是相当一致的, 同一高度区域上细微的结构也基本相似。

图4给出了便携式米散射激光雷达在2003年5月8日夜晩 20:00 探测的 532 nm 波长气溶胶消光系数垂直廓线 (实曲线)。图中的点划线是大气分子 Rayleigh 消光系数垂直廓线。可以看出, 该晚的大气具有明显的边界层结构, 高度约 2 km 。同

时在 5 km 处有一层厚度约 2km 的气溶胶层。

图 5 给出的是便携式米散射激光雷达于 2003 年 4 月 16 日上午 10:05 探测的 532nm 波长大气气溶胶消光系数垂直廓线。可以看出当天的对流层气溶胶具有相当丰富的多层结构。它表明该激光雷达具有很强的白天探测大气气溶胶消光系数垂直分布的能力。该天白天的探测高度达到 10km 以上。

3、对流层气溶胶和卷云消光系数垂直廓线

图 6 给出的是便携式米散射激光雷达于 2003 年 3 月 21 日晚上 19:33 探测的 532nm 波长气溶胶和卷云的消光系数垂直廓线。可以明显看到在 9.7km 左右有一层卷云，峰值消光系数达到 0.09km^{-1} 。图 6 给出便携式米散射激光雷达接收的大气回波信号随时间的变化特征，从中可以清楚地看出卷云的云层厚度和中心高度在整个测量过程中在不断地变化。

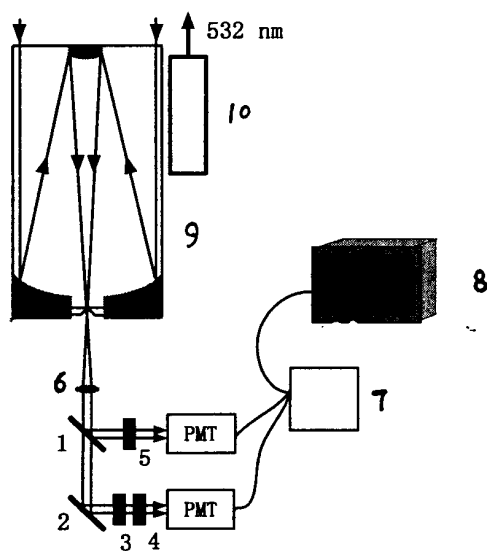


图1

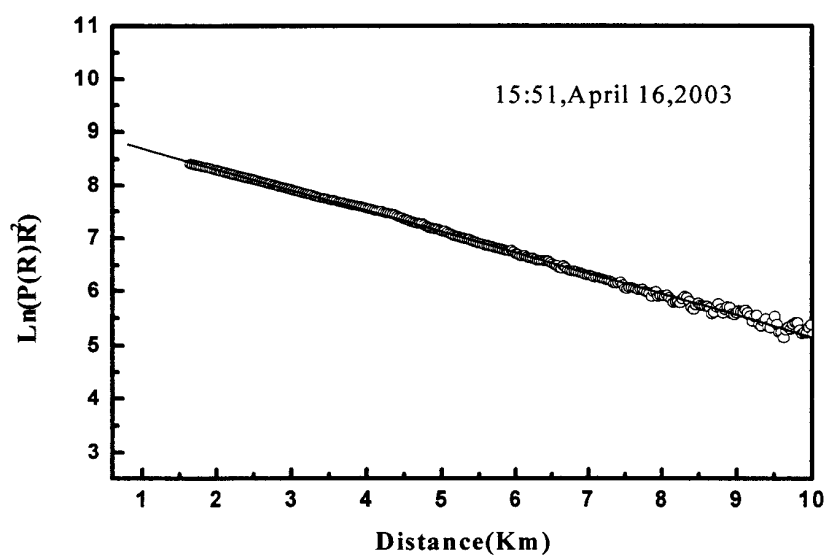


图 2

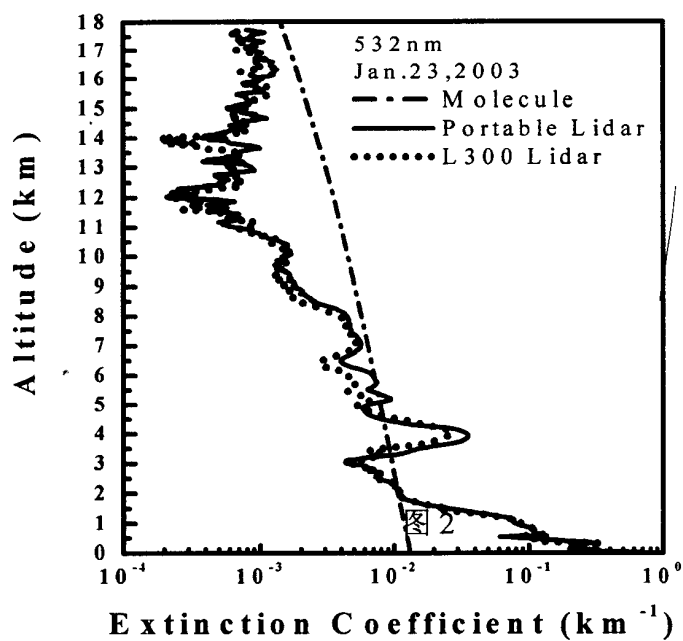


图 3

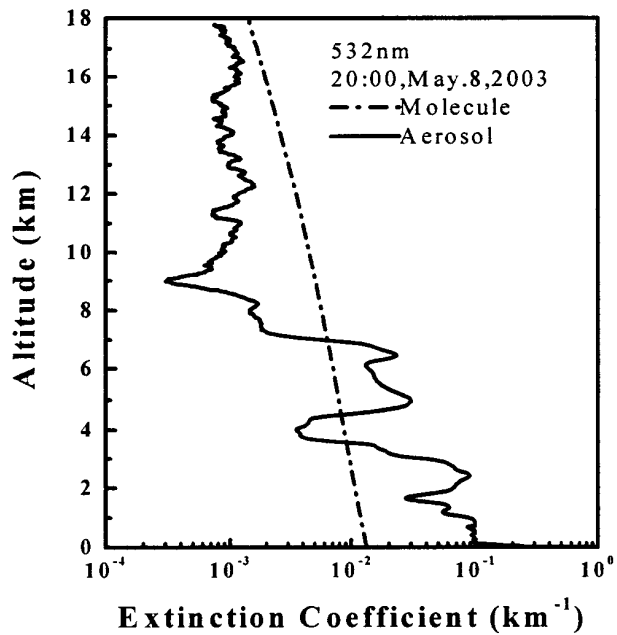


图 4

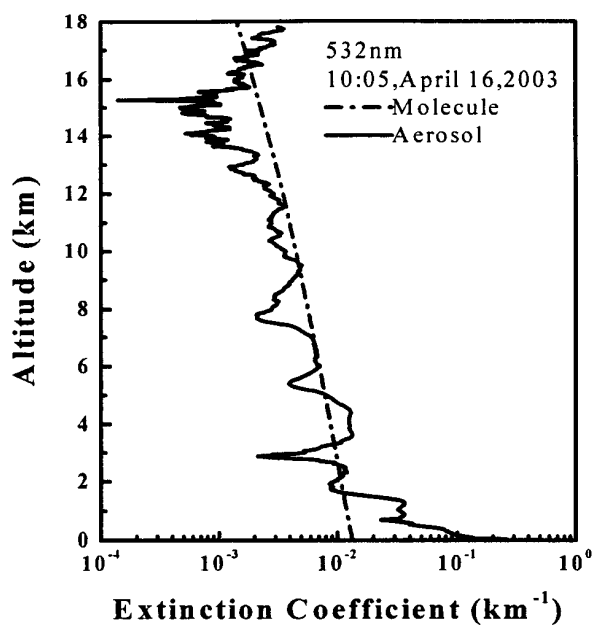


图 5

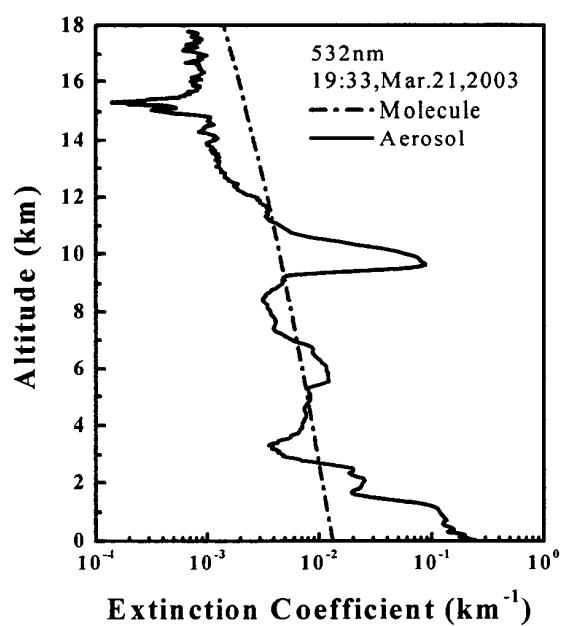


图 6