

# 能见度激光雷达虚拟仿真实验报告

宋熙喆 PB21000301

## 1 实验结果

实验成绩报告	
实验日期	2024年5月22日
1.米散射能见度激光雷达部分	
出错环节	无
成绩	100
实验用时	7分47秒
2.Raman/Mie气溶胶激光雷达部分	
出错环节	无
成绩	100
实验用时	21分23秒

图 1: 实验成绩

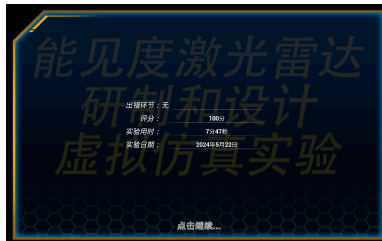


图 2: 实验成绩截图 1



图 3: 实验成绩截图 2

## 2 实验原理

### 2.1 能见度激光雷达的基本原理

激光束与大气发生多种相互作用，这些作用可分为 Mie 散射、Rayleigh 散射、Raman 散射、荧光散射和共振散射等。激光与气溶胶颗粒相互作用称为 Mie 散射，与大气分子相互作用称为 Rayleigh 散射。能见度激光雷达通过检测激光与气溶胶颗粒和分子的相互作用来进行遥感测量。系统向大气中发射激光束，激光与大气作用后产生散射光，系统接收这些散射光，通过激光雷达方程计算气溶胶消光系数，最后根据消光系数与能见度的关系得出能见度信息。

能见度激光雷达方程如下：

$$P(R, \lambda) = P_0 \frac{c\tau}{2} A \eta \frac{O(R)}{R^2} \beta(R, \lambda) \exp \left[ -2 \int_0^R \alpha(r, \lambda) r \right] \quad (1)$$

其中  $P(R, \lambda)$  表示接收到的波长为  $\lambda$ 、距离  $R$  处的回波信号功率； $P_0$  为激光发射功率； $c$  为光速； $\tau$  为激光脉冲宽度； $A$  为接收望远镜的面积； $\eta$  为系统效率； $O(R)$  为几何因子； $\beta(R, \lambda)$  为后向散射系数； $\alpha(r, \lambda)$  为消光系数， $\exp[-2 \int_0^R \alpha(r, \lambda) r]$  为双程透过率。Klett 方法求解。后向散射系数和消光系数满足  $\beta \propto \alpha^k$ 。 $k$  通常取值介于 0.67 与 1。对 532 nm 波长， $k$  可取 1，比例系数取 50。计算消光系数  $\sigma(r)$ ：

$$\sigma(r) = \frac{\exp[(S - S_m)/k]}{\sigma_m^{-1} + \frac{2}{k} \int_r^{r_m} \exp[(S - S_m)/k] r' dr'} \quad (2)$$

并通过  $V_h = 3.912/\sigma$  得到能见度。

### 2.2 激光雷达结构

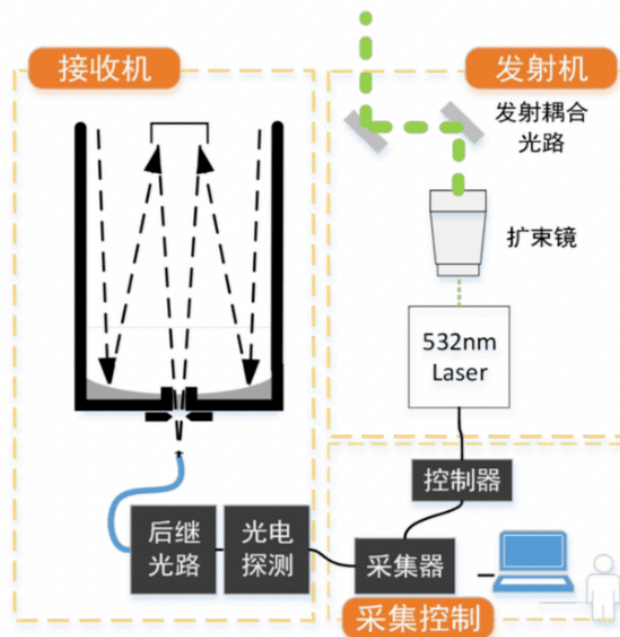


图 4: 激光雷达结构

---

激光雷达系统主要由三个部分组成：发射机，接收机和采集控制系统。

发射机：包括激光器，扩束镜（改善光束发散角），发射光学天线（调节光束方向）。

接收机：包括望远镜，传输光纤，后继光路（过滤背景噪声，将回波信号传输至光电探测器），光电探测器。

采集控制分系统：主要由机柜中的采集装置、采集或控制计算机及控制电源等设备组成，用于实现时序控制和数据自动采集。

Raman-Mie 激光雷达系统类似 Mie 散射能见度激光雷达，但其后继光路分离后向散射中产生 Raman 频移的成分，并分别分析这两种后向散射光。大气中的主要分子成分，氮气，对 Raman 后向散射贡献最大，通过其 Raman 频移  $\Delta\tilde{\nu} = 2331 \text{ cm}^{-1}$  可以计算出 Raman 散射波长公式为：

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{1 - \Delta\tilde{\nu}\lambda_0}, \quad (3)$$

由激光波长  $\lambda_0 = 532 \text{ nm}$  可得  $\lambda = 607.31 \text{ nm}$ 。因此，需要使用相应波长的二向色镜与滤光片分离这两种波长的散射成分。

## 3 实验过程

### 3.1 Mie 散射能见度激光雷达

首先按下 SYSTEM ON 键以预热激光器。在激光器出口处安装扩束镜，并在镜前安装两个发射天线。传输光纤一端接望远镜，另一端连接后继光路，点击传输光纤两端旋紧。后继光路中依次安装准直透镜，滤光片和汇聚透镜。依次按下 PUMP ON, LASER ON 和 SHUTTER OPEN 按钮出光。

调整激光出射范围，使其与望远镜视场重合。

完成准直后，在电脑上选择要采集的脉冲数，点击 Start 按钮开始采集回波信号，实验完成。

### 3.2 Raman-Mie 气溶胶激光雷达

Raman-Mie 气溶胶激光雷达的激光器预热，出光等步骤与 Mie 散射能见度激光雷达部分相同。接收器原理如图 ?? 所示，其中 L1 为准直透镜，DM 为 550 nm 短波通二向色镜，F1 为 532 nm 滤光片，F2 为 607 nm 滤光片，L2 和 L3 为汇聚透镜。安置各光学仪器，如图 ?? 所示。经过与上一实验相同的准直步骤后，点击“盖上遮光罩并开始采集”按钮，进入数据采集，实验完成。

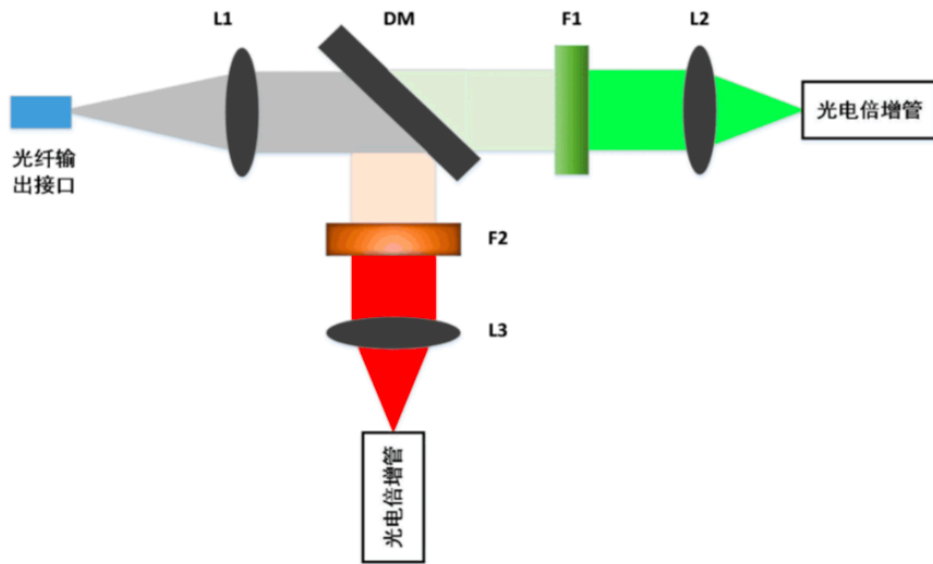


图 5: Raman-Mie 气溶胶激光雷达后继光路

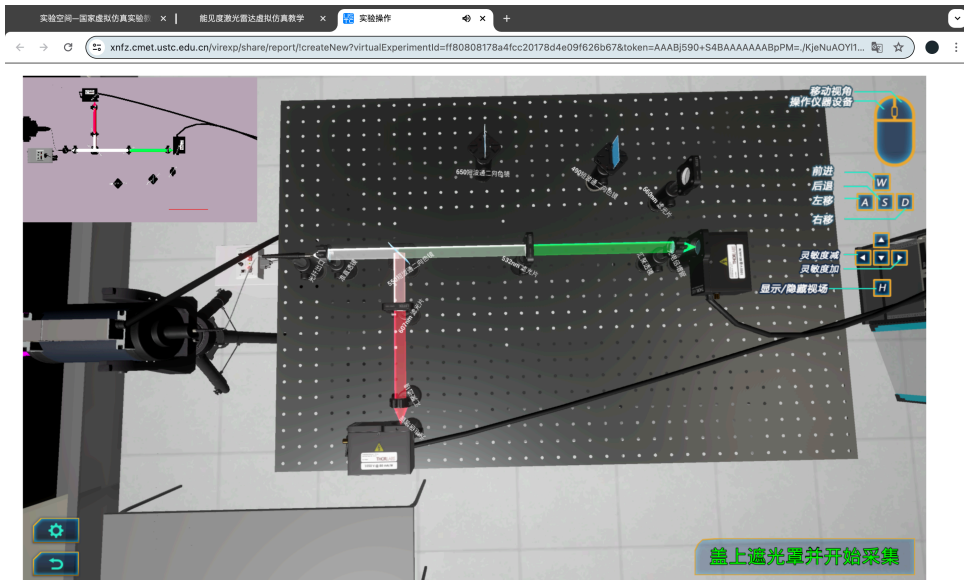


图 6: Raman-Mie 激光雷达后继光路组装