

文章编号: 2095-2163(2020)09-0100-04

中图分类号: TN247

文献标志码: A

基于 MATLAB 的陆基激光雷达信号分析

文心怡¹, 李 静¹, 梁广宇², 倪晓昌¹, 曲 芳¹

(1 天津职业技术师范大学 电子工程学院, 天津 300222; 2 天津职业技术师范大学 自动化与电气工程学院, 天津 300222)

摘要: 本文结合北京气象局提供的陆基激光雷达信号数据, 通过 Mie 散射理论算法提取有效参数, 着重分析 Backscatter coefficient(后向散射系数)。通过 MATLAB 以及 Excel 软件实现对数据的批量整理和可视化分析, 根据图像结果, 结合某地区观测时间段内信号采集的实际气象情况进行对比分析, 得到了符合现实情况的分析结果, 验证了算法的合理性, 为后期雷达数据处理、应用提供了数据处理基础。

关键词: 激光雷达; Mie 散射; 后向散射系数; MATLAB

The signal analysis of ground-based Lidar based on MATLAB

WEN Xinyi¹, LI Jing¹, LIANG Guangyu², NI Xiaochang¹, QU Fang¹

(1 College of Electronic Engineering, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China;

2 College of Automation and Electrical Engineering, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

[Abstract] In this paper, the Backscatter coefficient (Backscatter coefficient) was emphatically analyzed by means of Mie scattering theory algorithm based on the land-based LIDAR signal data provided by Beijing Meteorological Bureau. Through MATLAB and Excel software to realize batch finishing and visual analysis of the data, according to the result of image, combining with the actual meteorological observation period signal acquisition in a given area situation analysis comparison, accord with the reality of the results of the analysis, the rationality of the proposed algorithm, for the application of radar data processing in the late provide the foundation data processing.

[Key words] LIDAR; Mie scattering; Backscattering coefficient; MATLAB

0 引言

随着激光、光电及信号处理等领域相关技术的快速发展, 激光雷达技术日益成熟, 在大气探测特别是气溶胶探测中起到越来越重要的作用。激光雷达接收设备能够获取雷达架设地点低空的云和气溶胶信息, 通过整理信息, 对激光雷达的原始回波信号数据进行解析, 筛选出后期应用单位能够使用的具体信号。通过编制 MATLAB 雷达信号的处理程序, 进行有效信号的转化, 提取出相应的 Excel 数据并形成可视化回波图像, 这样的处理使数据结果得以直观地呈现, 使气象事件简洁明了地体现。结合整合数据和图像, 分析在不同时间段内发生事件的情况, 通过参考某地区观测时间段内大气气候的具体情况, 验证信号分析结果的合理性。

1 理论基础

1.1 激光雷达与光散射法

基于高亮度、高方向性、高单色性和高相干性等

特点, 激光具有非常精确的测距能力。而激光雷达是一种可以精确、快速获取地面或大气三维空间信息的主动探测技术。通过激光雷达获取的数据成果可广泛应用于资源勘探、气象探测、环境监测、交通通讯等方面, 为社会发展和科学研究提供了极为重要的原始资料, 激光雷达技术有着良好的应用前景。

光散射法主要利用光的散射原理。即当光束穿过某一粒子时, 部分光的传播方向会发生改变, 进而能够向空间各个方向散射。光束改变的角度及光强会因为粒子本身具有的一系列性质而改变。通过测量光束的变化情况, 利用公式计算出粒子的相关特性。

相比于其它方法, 光散射法适用性广、测量精度高、速度快、性能稳定、可对粒子进行远距离、实时、准确地测量。

1.2 后向散射原理

本文主要利用后向散射原理进行研究。一束光

基金项目: 天津市大学生创新创业训练计划项目(202010066024)。

作者简介: 文心怡(2000-), 女, 本科生, 主要研究方向: 光电信息科学与工程; 李 静(2000-), 女, 本科生, 主要研究方向: 光电信息科学与工程; 梁广宇(1999-), 男, 本科生, 主要研究方向: 自动化; 倪晓昌(1974-), 男, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 光电信号采集与处理; 曲 芳(1979-), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 光电与计算机信息处理。

通讯作者: 倪晓昌 Email: nixiaochang@tju.edu.cn

收稿日期: 2020-10-19

强强度为 I_0 的入射光通过某粒子后强度值会减弱, 粒子将其散射到各个方向, 当散射光与入射光方向的夹角介于 $90^\circ \sim 270^\circ$ 范围内时, 这部分散射光被称为后向散射光。后向散射原理如图 1 所示。假设散射粒子直径为 D , 其尺寸参数为 $k = \frac{\pi D}{\lambda}$, 研究可知, 颗粒散射光的特性主要取决于尺寸参数。

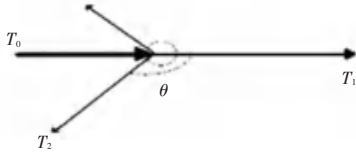


图 1 后向散射原理图

Fig. 1 Schematic diagram of backscattering

1.3 Mie 散射

当颗粒直径与入射光波长相当时, 散射光的强度可由 Mie 散射理论来描述。气象测量的大气悬浮颗粒物直径一般处于微米量级, 与常用的探测光波长处于同一数量级, 所以可用 Mie 散射理论来计算大气悬浮颗粒物的直径, 以达到对高空气象的初步推断。根据 Mie 散射理论, 当光波长为 λ , 强度为 I_0 的平行光束入射到直径为 D 的粒子上时, 在空间中与该散射粒子距离为 r 处的散射光强 I_1 可表示为式 (1)、(2):

$$I_1 = \frac{I_0}{r^2} \sigma, \tag{1}$$

$$I_1 = \frac{I_0 \lambda^2}{8 \pi^2 r^2} [i_1(k, m, \theta) + i_2(k, m, \theta)]. \tag{2}$$

式中, σ 为单颗粒的散射系数^[2]。

由于大多数情形下要研究由无数个粒子所组成散射体的散射, 所以需要考虑散射体中每个粒子都暴露在其周围粒子散射光之下的情况, 可以理解为每一个粒子不仅会对原始光束进行散射, 还对周围粒子的散射光进行二次散射。但实际中在低粒子浓度下进行测量时, 多次散射对于第一次散射来说的影响微乎其微, 在实际计算中, 可以忽略。

粒子在散射体中的空间分布是随机的, 因此散射具有互相独立的不相干性, 所以当某一方向上的散射强度增强时, 在这一方向上的各个粒子散射强度都增强。假设单位体积内的粒子数为 N , 则单位散射体的散射系数为 $N\sigma$ 。用颗粒的平均粒径来表示散射体中颗粒的粒径分布。那么当光入射到一个单位散射体上时, 则在距离为 r 处的散射光强 I_2 为式(3)、(4):

$$I_2 = \frac{I_0}{r^2} N\sigma, \tag{3}$$

$$I_2 = N \frac{I_0 \lambda^2}{8 \pi^2 r^2} [i_1(k, m, \theta) + i_2(k, m, \theta)]. \tag{4}$$

式中, m 为被测颗粒折射率, θ 为散射角 ($90^\circ < \theta < 270^\circ$), $i_1(k, m, \theta)$ 和 $i_2(k, m, \theta)$ 为散射强度函数, 式(5)和式(6)分别表示平行于与垂直于散射面的强度分量, 可用散射振幅函数 $S_1(k, m, \theta)$, $S_2(k, m, \theta)$ 来分别表示为式(7)和式(8):

$$i_1(k, m, \theta) = |S_1(k, m, \theta)|^2, \tag{5}$$

$$i_2(k, m, \theta) = |S_2(k, m, \theta)|^2, \tag{6}$$

$$S_1(k, m, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} \{a_n \pi_n(\cos \theta) + b_n \tau_n(\cos \theta)\}, \tag{7}$$

$$S_2(k, m, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} \{a_n \tau_n(\cos \theta) + b_n \pi_n(\cos \theta)\}. \tag{8}$$

a_n, b_n 是与 k, m 有关的量, 其值由 Riccatic - Bessel 函数决定, 式(9)和式(10):

$$a_n = \frac{\varphi_n(mx) \varphi_n(x) - m \varphi_n(mx) \varphi_n(x)}{\varphi_n(mx) \xi_n(x) - m \varphi_n(mx) \xi_n(x)}, \tag{9}$$

$$b_n = \frac{m \varphi_n(mx) \varphi_n(x) - \varphi_n(mx) \varphi_n(x)}{m \varphi_n(mx) \xi_n(x) - \varphi_n(mx) \xi_n(x)}. \tag{10}$$

故在其它参数已知时, 散射光强 I_2 就与粒子数浓度成正比^[1], 这就是利用光后向散射法测大气悬浮颗粒物浓度的理论依据。

2 数据分析

本文对收集到的原始回波信号进行数据整合与解析, 筛选出后期应用单位能够使用的具体信号。将雷达收集到的二进制代码经程序处理后形成十进制文本, 如图 2 所示。



图 2 十进制文本图像

Fig. 2 Decimal text image

利用 MATLAB 编制雷达信号的预处理程序对原始信号进行数据整合与解析, 通过算法提取有用信号, 选取合适的参考点作为数据起始点, 计算分子和大气回波的拟合系数, 以此为后期雷达数据处理的应

用提供一个数据预处理基础。同时形成一系列可视化调研结果图像,如 RCS(雷达散射截面、Rader-Cross-Section) signal、Molecular(分子)电压随高度变化的图像、Backscatter coefficient(后向散射系数)随高度变化的图像,使处理后的结果图像化地直观呈现出来。

通过对比不同时刻的图形变化来研究气象的变化对不同系数的影响。

通过选取某晴朗天气中一个时段的原始数据,经初步筛选后利用 MATLAB 程序处理,得到了图 3 的 RCS signal、Molecular 电压随高度变化的图像。由图 3 可知,随高度的增加,Molecular 的电压的减小相对缓慢且有规律,RCS signal 的电压逐渐靠近 Molecular 的电压,在 4000m 左右最为接近,后波动幅度变大,但始终在 Molecular 电压周围。通过观察得知,该时刻 RCS signal 的电压波动幅度整体变大,通过查阅资料对比可得,此时大气气候与之前相比,发生了明显的变化。

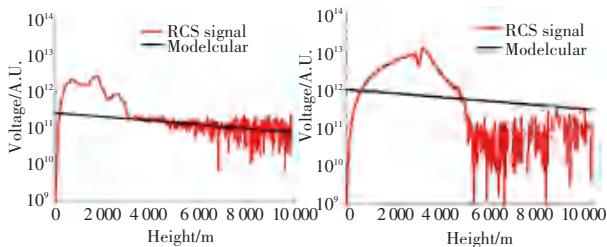


图 3 RCS signal、Molecular 电压随高度变化图

Fig. 3 Changes of RCS and Molecular voltage with height

选取了晴雨时 Backscatter coefficient(后向散射系数)随高度变化的图像,如图 4 所示。由图 4 可知,此时随高度增加,大气气溶胶的成分及含量变化不大,大气气候状况没有明显变化,Backscatter coefficient 随高度增加,变化幅度较大,没有明显的趋近值,与该时刻雨天的天气状况相符。

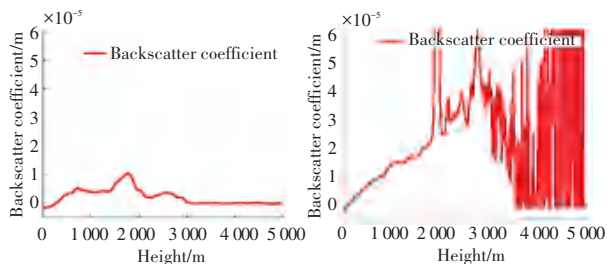


图 4 后向散射系数变化

Fig. 4 Backscattering coefficient variation

在对某天回波信号采集的有效数据进行 MATLAB 程序减背景噪声处理后所呈现出的伪彩图如图 5 所示。通过图 5 可清晰观察到大约在 10 时,高空的气候状况发生了较大的变化,可能存在:突发

降雨、降雪、强对流等天气状况,随后发生了更大的变化,大约在 14 时,气象状况渐渐回归稳定。

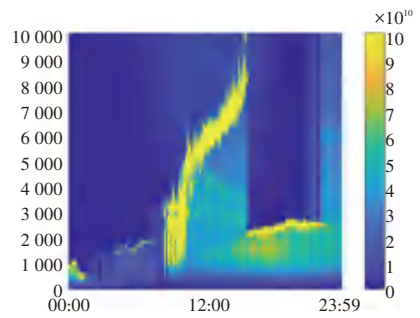


图 5 伪彩图

Fig. 5 Pseudo-color diagram

2019 年 10 月 1 日到 15 日天气的变化情况如图 6 所示,根据图 6 画出相应的温度及风速变化折线图,如图 7 所示。

日期	最高气温	最低气温	天气	风向
2019-10-01	30	15	晴	西南风 2级
2019-10-02	29	17	晴	东北风 2级
2019-10-03	29	13	多云	东北风 1级
2019-10-04	15	9	小雨	东北风 4级
2019-10-05	19	8	晴	东北风 2级
2019-10-06	19	9	多云	东南风 1级
2019-10-07	24	10	晴	西南风 2级
2019-10-08	20	9	晴	东北风 2级
2019-10-09	20	10	多云	东北风 1级
2019-10-10	22	12	多云	南风 2级
2019-10-11	18	13	阴	东南风 2级
2019-10-12	16	9	多云	东南风 1级
2019-10-13	13	5	小雨	东北风 2级
2019-10-14	16	4	晴	东北风 3级
2019-10-15	17	6	晴	东南风 1级

图 6 气象信息

Fig. 6 Meteorological information

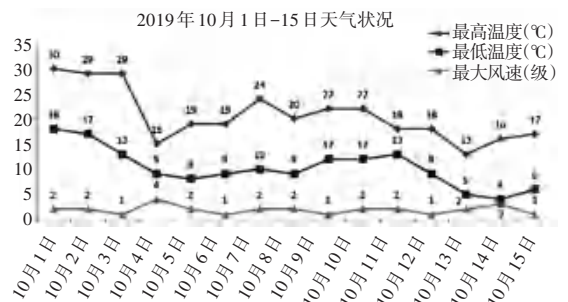


图 7 温度变化情况折线图

Fig. 7 Line diagram of temperature change

针对选定的该段时间,通过程序处理得到了一系列伪彩图如图 8 所示,图像结果能够反映出 10 月 1 日零时起至 10 月 3 日上午的天气状况比较温和,无特殊气象状况发生;气象状况自 3 日下午开始发生了变化,由晴转至多云;4 日多云且存在降雨情况,同时可以看出风速增强;5 日天气转晴,但下午过后云层增多;6 日全天多云;7 日与 8 日均为晴朗天气;9 日与 10 日再次出现多云天气;11 日至 13 日是阴天天气,其中 13 日有少量降雨情况;14 日天气转晴,直至 15 日傍晚高空出现多云情况。

(下转第 108 页)