

高灵敏度中红外激光雷达关键技术及系统集成

袁胜伟^{1,2} 王书斌^{1,2}

1 零八一电子集团有限公司, 四川 广元 628017

2 精密测量雷达系统技术四川省重点实验室, 四川 成都 611731

[摘要] 经过 40 多年的持续发展, 红外激光雷达理论变得越来越成熟。但是, 就像其他红外测量系统一样, 红外激光雷达仍然很难从系统误差中得到关于大气红外的准确信息。这篇文章是关于建立一个精确的红外激光雷达系统。矢量矩阵理论创造了红外激光雷达的数学模型。因此, 对红外激光雷达系统的误差进行了详细分析, 研究了系统中关键光学元件的红外特性, 并努力消除影响激光雷达探测精度的主要障碍。文章提出一些关键技术, 以提高激光雷达探测的准确性, 并开发高灵敏度红外激光雷达系统, 研究背景和大气值, 作为自然和人类生存的基础。

[关键词] 高灵敏度; 红外激光雷达技术; 系统集成

DOI: 10.33142/sca.v6i4.9010

中图分类号: TN958.98

文献标识码: A

Key Technologies and System Integration of High Sensitivity Mid infrared Lidar

YUAN Shengwei^{1,2}, WANG Shubin^{1,2}

1 Lingbayi Electronics Group Co., Ltd., Guangyuan, Sichuan, 628017, China

2 Precision Measurement Radar System Technology Sichuan Provincial Key Laboratory, Chengdu, Sichuan, 611731, China

Abstract: After more than 40 years of continuous development, the theory of infrared lidar has become increasingly mature. However, like other infrared measurement systems, infrared LiDAR still finds it difficult to obtain accurate information about atmospheric infrared from system errors. This article is about establishing an accurate infrared LiDAR system. The vector matrix theory created a mathematical model for infrared LiDAR. Therefore, a detailed analysis was conducted on the error of the infrared LiDAR system, the infrared characteristics of key optical components in the system were studied, and efforts were made to eliminate the main obstacles that affect the detection accuracy of the LiDAR. The article proposes some key technologies to improve the accuracy of LiDAR detection, and develops a highly sensitive infrared LiDAR system to study the background and atmospheric values as a foundation for natural and human survival.

Keywords: high sensitivity; infrared LiDAR technology; system integration

引言

激光雷达是探测大气科学数据的重要工具。极地激光雷达是激光雷达的重要组成部分, 因为它可以接收到有关大气红外的关键信息。根据微波雷达红外想法, 首部激光雷达开始, 人们就试图理解这种氛围, 甚至希望预测和控制它。当时, 大气危险主要是由肉眼观察云和天空中的阳光造成的, 即被动远距离探测。随着历史进程的继续发展, 工业化时代到来了, 化石能源被大量使用, 导致全球气候发生重大变化。不寻常的情况, 如雾、沙尘暴、台风和全球变暖, 对每个人的生活都有越来越大的影响。对自然和人类的未来来说, 探索全球大气层变得越来越重要和紧迫。激光雷达将激光器发射到大气中, 激光与分子、气溶胶、云和大气中的其他粒子相互作用改变传播方向、强度频率等特征。

1 研究重要意义

随着科学和技术的发展, 人们尝试越来越多的资源来了解大气, 这使得我们掌握的大气信息更及时、更全面、

更准确、更客观。大气探测工具主要包括被动和主动遥感气球, 包括激光雷达, 如太阳光度计、光谱仪等活跃的远程探测技术, 使当前信息全天候和高时空分辨率, 激光雷达通过探测变化来接收大气信息, 并将其与预先计算的理论模型结合起来分析。通过添加红外激光特征, 可以识别重要信息, 如云中的气溶胶颗粒、冰和水云。根据微波雷达红外技术, 激光和微波之间的波长差异使大气中的气溶胶比微波更有效, 使红外激光雷达比微波接收信号和噪声比优。这一关键优势导致了远程大气探测领域红外激光雷达的迅速发展。当红外光进入球体粒子(如: 水云)时, 反向散射光仍然是红外光。然而, 当红外光进入非红外粒子(如: 冰晶体)时, 反向散射光的一部分会转移到非红外光。根据信号反射状态的变化, 激光雷达可以区分大气中的球面和非球面粒子。因此, 激光雷达最初被广泛用于探测大气中的水和冰云。此外, 激光雷达在研究极地气候、确定大气气溶胶和云的类型、分类气溶胶及其微观物理特性以及研究气溶胶和云相互作用方面发挥着不可或缺的重要作用。红外激光雷达的基本原理和设计是红外激光雷

达最常见和最广泛使用的类型。在这个系统中，我们使用双通道红外激光雷达作为红外激光雷达的基础。一旦激光器发射并正确膨胀光束，它首先会通过偏转器得到高吸收系数的线性红外光，如果激光系数足够高且红外状态稳定，则无需添加偏转器。

2 高灵敏度中红外激光雷达关键技术

(1) 为提取大气中大量的成分和信息，许多不同类型的激光雷达被制造出来。主激光雷达只探测到光信号强度的变化，通过增加激光器的波长或频率特征，可以获得大气中特定粒子的浓度、大小、速度和温度的信息，大气散射后发射的激光会产生回波信号，散射过程可能会改变光信号的红外特性。望远镜接收回波信号，并行红外光学元件通过分析透射传输光，而垂直红外元件反射光。每个通道的光信号通过光电倍增器转化为电信号，并由终端计算机处理。信号强度与反射通道和透射通道的关系称为位移比。根据散射理论，如果大气中只有球体粒子，那么散射过程不会导致退化，回波信号仍然是完全的红外光。在这个阶段，如果红外激光雷达系统的参数是完美的。有关故障的消息将出现在日程表上，以便工作人员能够及时进行维修。必须检查连接状态，以防止附近的计算机出现异常或故障。问题出现的显示器的替换也通常伴随着备用显示器。设备起动电路缺陷箭头上的指示灯在照明时具有清晰的模式和顺序，在检查时必须与正常情况相匹配；如果在大气中发现非球体粒子，回波信号的一部分将被拒绝，因此反射流信号将超过偏差比；因此，发现位移系数可以通过区分球面和非球面粒子来确定大气中散射粒子的形状。此外，不同粒子表面的差异导致了相应的位移系数变化，帮助我们识别和分类粒子。除了散射粒子表面的形状外，位移系数与粒子的大小、折射率等密切相关，因此位移比是提高气溶胶颗粒微观物理特性反转准确性的重要指标。红外激光雷达显然是将红外元素添加到传输通道中，并将红外元素添加到接收通道中。

(2) 为确定系统是否有问题光的红外是横波、电场和磁场在平面上不断振动，垂直于光的方向。当光线与物质相互作用时，通常电场占主导地位。红外决定了光波的电场随着时间的推移是如何振动的。根据光的红外特性，它可以分为去红外、全红外和部分红外。非红外光是红外光学中的一个重要概念。在红外光学的发展过程中，虽然传输模块中系统参数的任何单独出现对模块影响较小，但如果它们同时出现可能会对测试的结果产生重大影响。在实践中，系统的每个参数都可能同时出错，因此传输模块的系统错误不能被忽视。这表明，为了建立精确的激光雷达，需要减少传输模块的不完美。考虑到红外激光雷达中的传输模块并非不可或缺，很有可能在发射轨迹的尽头会放置非红外光的性质引起了许多讨论，即非红外光的性质被定义为非红外光的两个完全红外部分，使用时均不会影

响光强度的元素。非红外光被认为由两束正交红外光组成，强度相同但没有相关性。完全红外的光是椭圆红外的光；线性红外光和圆形红外光是椭圆红外光的特殊条件，即椭圆红外光。研究人员的心理变化和行为变化可以有效地降低人为失误的可能性，进行源管理措施。反映在工作开始前的想法和对工作前必须完成的任务的全面分析中为事故做准备，提前通知工作场所可能出现的问题这意味着他看到的是光源，而不是光源的方向，随着光线的运动，电流矢量振动的轨迹显示了椭圆。路线和射手相互依赖参与封锁操作的站数据库故障不会出现在内部操作电路中；当测量系统的道岔机制无法检测时，一般来说主要包括圆盘压缩法、浮动冲洗比较法、替代方法和监测检测法等。部分红外光与非红外和完全红外光混合，使光场向量，并非垂直于特定方向。自然界中的红外光在自然界广泛传播；例如光垂直下降四分之一波，如果光的方向与快速四分之一波的轴平行，那么射出的光显然仍然是线性光，此为进一步提高偏振激光雷达探测精度的关键。

(3) 自然界中红外的光主要是由反射和散射过程产生的；我们都知道散射是蓝天的主要原因。根据对自然界红外光的描述，红外光几乎总是伴随着反射和散射过程。主要原因是，反射和散射过程通常是光学效率和或相位变化的正交红外成分光谱的下降；因此，物体表面结构和质地的差异影响红外状态。通过测量反射或散射光的红外特性，可以获得关于物体表面形状的信息；因此，光学远程探测中被广泛使用。在被动遥感中，太阳光谱线的红外是探测太阳磁场及其状态的重要工具。激光雷达回波信号是分布在有限的角度范围内，且角度分布不均匀，与被动遥感有明显差别，且不同系统中望远镜视场角从几百微弧度到几毫弧度分布；此外，极光在资源勘探、植被分类、海洋状况和全球大气气溶胶等领域起着重要作用。在主动遥感中红外激光雷达成为激光雷达的重要组成部分，因为它探测气溶胶表面的形状，解析云的状态和云粒子的方向。极地元素在旋转中心通常不对称，这意味着红外装置在相对于入射光的红外状态的不同方向具有红外特性，通常是半波、四分之一波等。因此，红外元素通常在主轴上，红外元素被光电元件将红外光转化为电信号后进入系统，分析激光雷达系统误差的激光雷达探测结果不仅取决于大气偏差的参数，还取决于几个系统参数；如果这些系统参数不完美，可能会导致系统错误。为了创建精确的激光雷达需要分析不同系统错误对激光雷达探测结果的影响，是对光直径下系统错误来源的定量分析。由于大多数远程大气探测激光都是线性的，我们只分析线性激光的一个位移晶体来消除传输模块不完美特征的阴影。不协调的角度是激光雷达系统错误的一个重要来源。然而据我所知，目前还没有有效的方法将角盘压缩到目前，最常见的平衡方法是延长传输路径中旋转的半波增加或接收光使反馈最小

化。然而，由于大气波动和发射激光功率的波动及电子噪声干扰，仍难以精确定位最小的点。

3 系统集成

(1) 精确检测测量系统通常需要校准。总的来说，系统的校准方法有绝对的和相对的。绝对校准是公认的标准源，参数是已知或强制性的；即标准源被定义为常数的系统测量方法。相对校准适用于精确测量系统，而特定的系统用于比较测量的完成度。红外激光雷达的目标是大气。大气的一个重要特征是它一直在变化，不会重复。缺乏精确校准的标准来源是阻碍红外激光雷达精确测量的主要原因之一。与此同时，还有一个重要的问题如何量化红外激光雷达所能达到的探测精度，取决于反向散射信号的速度，这与系统的信号通过能力和大气温度密切相关。事实上，红外激光雷达很难探测到大气中的低偏差，这是红外激光雷达系统的高要求。此外，清洁的大气不受人类意志的影响，在城市里很难创造出非常干净的大气条件。因此，许多激光雷达被送往西藏等偏远地区，甚至极地地区进行观测。极地平流层云的连续特征也是激光探测校准的理想目标。根据经验，将部署角度降低到接收模块低效的部署方法在激光雷达上被认为是一个重要的系统错误，主要是因为接收模块中的光学元件如望远镜、镜子、光谱仪和过滤器的缺陷。因此，所有非均匀的回波信号都进入了通道，一半的偏转能量进入了反射通道，因此反射通道的强度要小得多。如果反射器损坏，就很难观察了。较低的数量可能会导致部分通道信号非偏转组件进入反射通道，造成持续的干扰接收望远镜主要用于收集大气中反向散射的回波信号，是红外激光雷达系统中不可或缺的光学元件。

(2) 正如激光雷达的回波强度与望远镜接收到的面积成正比。但折射望远镜很难处理，而且它们的成本远远高于同样口径的镜像望远镜；因此，绝大多数远程激光探测系统都使用镜像望远镜。目前最广泛使用的是反射望远镜，主要是牛顿和卡塞格林望远镜，这一章的研究也集中在这两个望远镜上。反射望远镜表面覆盖着金属薄膜通常是铝和银薄膜。根据弗涅尔反射系数，金属薄膜的复合折射率可能会导致偏振效率和延迟差之间的差异，从而改变偏振光的状态。这表明红外激光雷达中的望远镜可能具有

不完美的红外特性。然而，由于凯撒直径的限制望远镜的红外特性很难用实验方法精确测量；因此，需要对望远镜的红外特性进行理论分析，这对精确的红外激光雷达系统至关重要，这些措施非常不方便，尤其是对大型激光雷达系统来说这一比例很小；由于通道信号比反射通道大得多，连续干扰也会对回波信号强度产生重大影响，导致激光雷达探测信息的更大错误。另外，对于偏振激光雷达，可进行扫描至少能够在天顶角附近进行一定范围的扫描是非常必要的。原因在于可扫描功能能够帮助偏振激光雷达系统准确识别云相态，尤其是大气中出现非随机朝向粒子的情况下。在特殊的大气条件下，在长时间的降雪之后，在长时间的仰卧观测测量之后，精心设计的红外激光雷达能够接收到稳定的大气回波信号。例如，纯大气偏差必须比实际测量小一点；可能改进设计是：更换窄宽度激光，调整完整和半高干涉仪滤波器的中央波长，此措施是改进红外激光雷达系统的关键。在长期降雪后的特殊大气条件下，测量偏差系数是一个稳定的大气回波信号，非常接近纯大气偏差的理论比值。为了真实性，立即人为地改变了偏振角度，并旋转了半波板，创造了偏转到半波板偏转角度的曲线。人们发现这条曲线与理论非常一致，开发的红外激光雷达系统能够接收到大气红外的精确信息。

4 结束语

该系统使用了一个滤波器，其中心波长可能与系统发射的激光波长不相称，这意味着大气偏差远比系统中用来抑制偏振的方法大。假设当时测量了大气的稳定性，系统能够实现高精度的大气偏振测量。仍然有微弱的系统错误和随机测量错误。

[参考文献]

- [1]陈东鑫. 三维激光和单目视觉间的联合标定与数据融合[D]. 大连: 大连理工大学, 2019.
 - [2]潘涛. 红外/激光双模制导中激光雷达技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
 - [3]刘勇. 一种高效率主被动复合成像雷达分光系统设计[J]. 光学学报, 2018(8): 2293-2296.
- 作者简介: 袁胜伟(1989.1—), 毕业院校: 西安电子科技大学, 专业: 应用物理学, 当前就职单位: 零八一电子集团有限公司, 职务: 设计师, 职称: 工程师。