

文章编号: 1672-8785(2016)05-0007-03

高精度激光动态测试技术研究

叶道焕 黄庚华 程鹏飞

(中国科学院上海技术物理研究所空间主动光电技术与系统实验室, 上海 200083)

摘 要: 在星载激光测距仪的研制过程中, 如何通过地面检测方法对测距仪的各项性能指标进行测试, 是一项重要的工作内容。根据脉冲式激光测距仪的工作原理, 设计了一套基于光电延时法的高精度动态测试系统, 并对影响系统精度的系统误差进行了分析, 最终实现了对激光测距仪测距精度的测量。与传统的测试方法相比, 该方法具有模拟距离动态范围大、精度高等特点。实验结果表明, 这种测试系统的模拟距离范围可达 15 m ~ 30 km, 模拟精度优于 0.15 m。由于操作简易且实用性强, 该系统可以满足目前各种激光测距仪的测试需求。

关键词: 激光测距; 动态测试技术; 距离模拟; 高精度

中图分类号: TN247 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.05.002

Research on High Precision Laser Dynamic Testing Technology

YE Dao-huan, HUANG Geng-hua, CHENG Peng-fei

(Laboratory of Space Active Electro-optical Technology and Systems, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: In the development process of a spaceborne laser range finder, how to test the performance indexes of the range finder on the ground is critical. According to the operation principle of a pulse laser range finder, a high precision dynamic testing system based on the photoelectric time delay method is designed. The system error which may affects system precision is analyzed. Finally, the measurement of the ranging accuracy of the laser range finder is realized. Compared with the traditional testing method, this method has the features of large dynamic range and high precision. The experimental results show that the testing system has its simulation range of 15 m to 30 km and its simulation accuracy better than 0.15 m. Because of easy operation and strong practicability, the system can meet the testing needs of all kinds of current laser range finders.

Key words: laser ranging; dynamic testing technique; distance simulation; high precision

0 引言

星载激光测距仪具有单色性好、相干性强、准直性好等特点^[1], 可以精确测量测距仪与被测物体之间的距离。近年来, 随着科学技术的不断

断发展和人类探索宇宙的执着追求, 星载激光测距仪已经得到各国政府和航天机构越来越多的重视。与此同时, 激光测距仪在测距范围和测距精度等方面也取得了长足的进步。

收稿日期: 2016-04-04

作者简介: 叶道焕(1985-), 男, 福建人, 硕士研究生, 主要研究方向为激光主动探测。

E-mail: y307004272@163.com

根据激光测距仪所要达到的测距精度和测距稳定性,在激光测距仪的研制过程中,需采用相关的地面测试方法对测距仪的各项技术指标进行充分的测试实验。因此,只要研制出高精度、高稳定性的地面测试设备,在室内即可对激光测距仪进行快捷、方便、有效、充分的性能测试与评估,这点显得尤其重要。

目前,比较典型的激光测距方法有相位法、脉冲法和干涉法等。其中,脉冲式激光测距方法因其结构简单、功耗低、测距范围大的特点而得到了广泛应用^[2]。本文基于脉冲式激光测距方法的基本原理,结合现有的地面测试方法,提出了基于光电延时法的高精度激光动态测试技术,研制了一种高精度激光动态测试系统,并对系统误差和系统性能进行了分析和试验验证。

1 工作原理

1.1 脉冲式激光测距仪的工作原理

脉冲式激光测距仪通过测量激光束在测距仪与目标之间的往返时间来确定距离。首先,由激光测距仪在 T_0 时刻发出一束激光脉冲,经目标反射后在 T_1 时刻被测距仪的接收望远镜所接收,则探测时间 $\Delta T = T_1 - T_0$ 。脉冲式激光测距仪的探测距离为

$$R = \frac{\Delta T \cdot c}{2} \quad (1)$$

式中, c 为光在真空中的传播速率, $c=2.99792458 \times 10^8$ m/s; ΔT 为时间间隔; R 为目标与测距仪之间的距离。图 1 为脉冲式激光测距仪的工作框图。

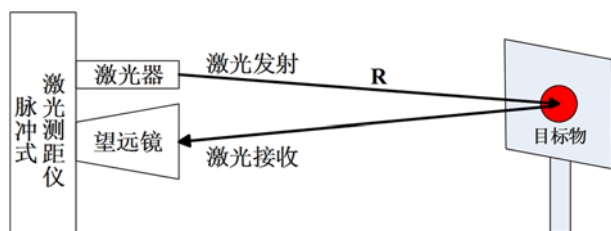


图 1 脉冲式激光测距仪的工作原理图

1.2 动态距离模拟器的工作原理

使用动态距离模拟器对脉冲式激光测距仪进行测试,就是采用动态距离模拟器将激光测距仪发出的激光脉冲精确地延迟一段时间后,

输出一束激光脉冲作为回波输入测距仪的接收望远镜。通过比较测距仪所测得的距离值与动态距离模拟器的设定值,便可标定激光测距仪的测距精度。图 2 为动态距离模拟器的工作原理图^[3]。

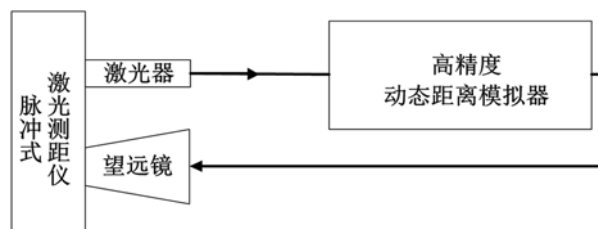


图 2 动态距离模拟器的工作原理图

2 动态距离模拟器的系统设计

动态距离模拟器由激光接收单元、时间延迟单元、激光发射单元和控制单元等四部分组成。图 3 为动态距离模拟器的系统结构图。

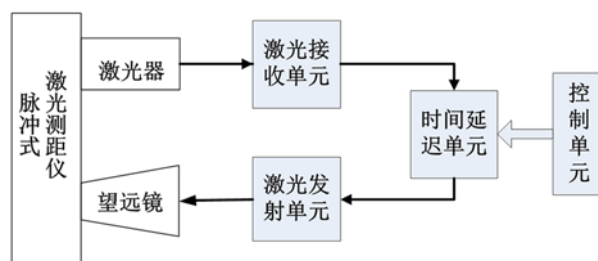


图 3 动态距离模拟器的系统结构图

动态距离模拟器的工作流程如下:激光测距仪发射的激光脉冲通过光学系统输入激光接收单元的光电探测器,然后光电探测器输出的电信号经整形后形成 LVTTTL 脉冲信号,并触发时间延迟单元开始计时;时间延迟单元的延迟时间可通过控制单元调节和控制。当延迟时间达到设定值时,时间延迟单元触发激光发射单元发射激光,而激光器输出的激光则作为回波信号被脉冲式激光测距仪的望远镜接收。

2.1 激光接收单元

激光接收单元由高速 PIN 管探测器、阈值比较电路、恒比定时电路以及 LVTTTL 输出电路组成。其中, PIN 管探测器选用美国 Thorlabs 公司生产的 DET10A 型高速光电探测器,其响应时间小于 1 ns,波长范围为 200 ~ 1100 nm。该探测器的灵敏度极高,其光谱响应曲线见图 4。阈

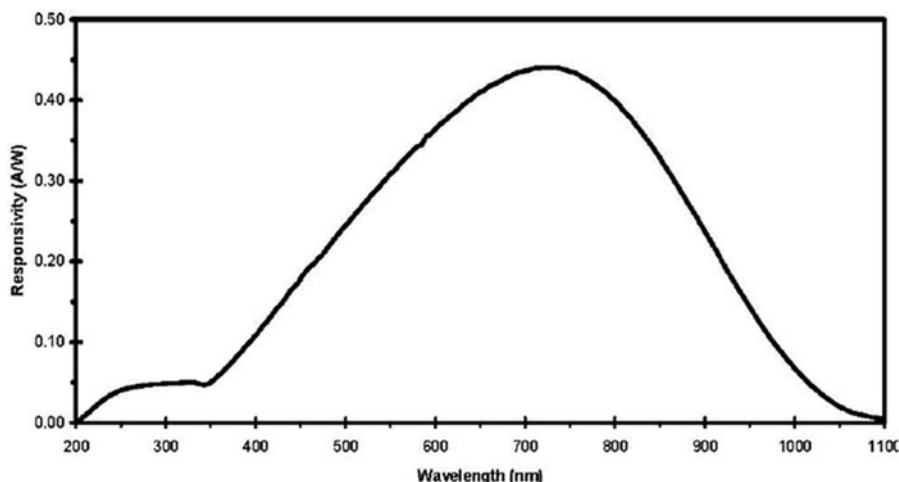


图 4 DET10A 型高速光电探测器的光谱响应曲线

值比较电路和恒比定时电路由 MAX9601 型高速比较器和 MC100LVEL51 型差分 D 触发器构成。作为一款基于 LVPECL 电平的比较器, MAX9601 型高速比较器的电路传输延迟时间为 500 ps, 输出抖动为 300 fs。LVTTL 输出电路采用 MC100EPT21 型电平转换器, 最终输出 LVTTL 电平的数字脉冲信号。输出的数字脉冲的上升时间不到 2 ns, 可保证电路的快速性能。

2.2 时间延迟单元

为了提高延迟时间的精度和稳定性, 时间延迟单元选用美国 HighLand Technology 公司生产的 Model P400 型高精度数字延时脉冲触发器, 其主要技术参数如下: 具有 4 个触发通道; 可提供多种触发模式, 且外部可编程控制; 具有最大 1000 s 的延时量程; 抖动小于 25 ps; 分辨率为 1 ps。

2.3 激光发射单元

激光发射单元的作用是在收到时间延迟单元输出的触发脉冲后发出一束激光, 然后使其作为回波信号返回到激光测距仪的接收望远镜。激光发射单元选用深圳明鑫科技发展有限公司生产的 MXFLTMP-1064-1K-010-100-2-M 型 1064 nm 光纤脉冲激光器。该激光器采用 +5 V 供电, 可通过 BNC 接口直接触发, 使用方便, 且便于系统集成。

2.4 延迟控制单元

延迟控制单元用于设定模拟距离、实时显示模拟距离信息以及存储实验数据等。采用由 Labview 程序编写的控制界面, 并通过上位机控

制实现对时间延迟单元的延迟时间的设定和对模拟距离的校正。

3 动态距离模拟器的精度测试及实验

3.1 精度测试^[4]

动态距离模拟器的精度用于表征模拟距离值的稳定度, 主要受激光接收单元输出脉冲的抖动 σ_1 、时间延迟单元输出延迟脉冲的抖动 σ_2 和激光发射单元出光时间的抖动 σ_3 等三个参数的影响。动态距离模拟器输出脉冲的时间抖动由系统各单元输出脉冲的时间抖动引起, 可由式 (2) 求得:

$$E = 3\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} \quad (2)$$

式中, σ_1 、 σ_2 和 σ_3 分别为激光接收单元、时间延迟单元和激光发射单元的时间抖动的标准差。

根据实测数据可得, 激光接收单元输出脉冲的抖动 σ_1 为 150 ps, 信号延迟单元输出脉冲的抖动 σ_2 为 50 ps, 激光发射单元出光时间的抖动 σ_3 为 200 ps。将以上数值代入式 (2), 得到动态距离模拟器输出脉冲的时间抖动 E 为 0.764 ns, 相应的距离抖动 ΔL 为 0.115 m。

3.2 系统实验

在系统实验中, 分别将模拟距离设定为 28 m、50 m、100 m、200 m、400 m、800 m、2000 m、4000 m、10000 m、20000 m 和 30000 m, 每个设定距离各测 100 次 (测量结果见表 1)。

(下转第 16 页)