

# 基于嵌入式的高稳定性相位式激光测距仪设计

邱仕强, 吴仕军, 吴何睿堃, 龚涛, 王依嵩, 周庆红\*

西南科技大学数理学院, 四川 绵阳

收稿日期: 2026年3月2日; 录用日期: 2026年3月27日; 发布日期: 2026年4月3日

## 摘要

针对市面上激光测仪在长期工作状态下测量稳定性下降的问题。因此本文以相位式激光测距技术为核心, 结合嵌入式系统的优势, 设计并制作了一款具有高精度、高稳定性和小型化的激光测距仪。该激光测距仪的核心在于设计了主动温控与被动隔热的温度控制系统, 具体内容包括提供稳定供电的外置电路; 采用低热导系数的PEEK材料作为隔热层材料, 以降低环境热传导对核心模块的影响; 搭建以PID温控系统为核心, 配合铝制外壳、TEC半导体制冷器和散热硅胶的主动温控系统。本文为优化和验证机械结构的热学设计, 使用了COMSOL Multiphysic软件建立了该系统的热学仿真模型, 仿真并分析了不同设计下的PEEK隔热层和铝制外壳对系统内部温度场分布的影响。为验证该系统的性能, 为此进行了长时间的连续测量实验, 实验结果表明该设计能限制抑制测量值的温漂现象, 提升了测量的稳定性。

## 关键词

激光测距, 长时间稳定性, COMSOL热仿真

# Design of a High-Stability Phase-Based Laser Rangefinder Based on Embedded Systems

Shiqiang Qiu, Shijun Wu, Heruikun Wu, Tao Gong, Yilun Wang, Qinghong Zhou\*

School of Mathematics and Physics, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan

Received: March 2, 2026; accepted: March 27, 2026; published: April 3, 2026

## Abstract

Addressing the issue of declining measurement stability in commercially available laser rangefinders under prolonged operation, this paper centers on phase-based laser ranging technology and leverages the advantages of embedded systems to design and fabricate a laser rangefinder characterized

\*通讯作者。

文章引用: 邱仕强, 吴仕军, 吴何睿堃, 龚涛, 王依嵩, 周庆红. 基于嵌入式的高稳定性相位式激光测距仪设计[J]. 应用物理, 2026, 16(4): 255-267. DOI: 10.12677/app.2026.164024

by high precision, high stability, and miniaturization. The core of this rangefinder lies in the design of a temperature control system incorporating active thermal management and passive insulation. Specific measures include an external circuit providing stable power supply; the use of PEEK material with low thermal conductivity as the insulation layer to mitigate the impact of environmental heat conduction on core modules; and the implementation of an active temperature control system built around a PID controller, complemented by an aluminum casing, TEC semiconductor coolers, and thermal silicone pads. To optimize and validate the thermal design of the mechanical structure, COMSOL Multiphysics software was employed to establish a thermal simulation model of the system. This model was used to simulate and analyze the effects of different designs of the PEEK insulation layer and aluminum casing on the internal temperature distribution. To evaluate the performance of the system, long-term continuous measurement experiments were conducted. The results demonstrate that this design effectively suppresses thermal drift in measurement values, thereby enhancing measurement stability.

## Keywords

Laser Ranging, Long-Term Stability, COMSOL Thermal Simulation

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 研究背景与意义

激光测距技术作为一种非接触式测距技术，有着优秀的便携性、抗干扰能力以及高精度远距离等优点。近年来嵌入式系统发展趋于成熟，随着工业上对自动化以及物联网的兴起，使得嵌入式在许多领域上得到结合，产生了许多功能模块，基于嵌入式系统的激光测距模块便是其中之一，它不仅在工程测量、地形测绘和航空领域发挥着重要作用，而且在日常生活中的智能家居、自动驾驶汽车等领域也愈发常见[1]。激光测距凭借其高精度和稳定性，在短距离和中远距离测量中都展现出卓越性能[2]。目前国内大多数激光测距仪相比于国外的激光测距仪，普遍存在重复测量稳定性低的问题，为提高激光测距系统的测量稳定性，因此本课题在相位式激光测距仪的基础上，通过基于嵌入式平台的硬件系统设计，考虑影响测距系统稳定性的多种因素，从硬件设计出发，研究设计具有小型化、高稳定性，可以保证亚毫米级稳定性的激光测距仪。

## 2. 测距仪系统设计

### 2.1. 系统结构

激光测距仪系统主要由激光测距模块、外置电路模块、热管理系统以及机械外壳组成。激光测距模块主要实现激光测距功能。本文所使用的激光测距模块大小约为宽 25 mm、长 40 mm、高 15 mm。激光光源为激光二极管，输出功率为 5 mW。其主控芯片为 STM32 芯片，输出信号为 TTL 信号。外置电路主要用于激光测距仪与外部设备进行通讯以及输入电压转换等功能，其中通讯协议包括 USB 协议、TTL 协议(Transistor-Transistor Logic)与 RS485 (Recommended Standard 485)协议。热管理系统包括主动温控部分与被动隔热部分，主动温控部分由 PID (Proportional-Integral-Derivative)温控系统配合设计的散热结构组成，散热结构包括 TEC (Thermoelectric cooler)散热器、散热硅胶、以及对应结构设计的铝制外壳部分。被动隔热部分则由 PEEK (Polyetheretherketone)材料组成，其机械结构根据激光测距模块和散热结构设计

而成。

## 2.2. 外置电路模块设计

外置模块主要功能包括将外部电压转为可供激光模块、PID 温控系统工作的直流电压以及满足多个通讯协议的协议转换电路。上述三个模块中，激光测距模块对电路噪声敏感因此设计上选择电路噪声更小的 LDO (low dropout regulator)线性稳压电路，PID 温控系统中 TEC 制冷片最大工作电流为 3 A，因此在设计时选择可以提供更大输出电流的开关电路，以满足 PID 系统对电流的需求。

在电压设计中选择使用 LM2594 芯片组合 LM1117 芯片作为激光测距模块的供电电路。供电电路原理图如图 1 所示，电路中 LM1117 作为线性稳压芯片，输出低噪声的 3.3 V 电压传输给激光测距模块，LM2594 模块作为前置电路，将外部输入的电压转为可供 LM1117 工作的 5 V 电压。

PID 温控系统的供电电路如图 2 所示，在供电芯片上选择输出电流更大的 LM2596 芯片，外部输入

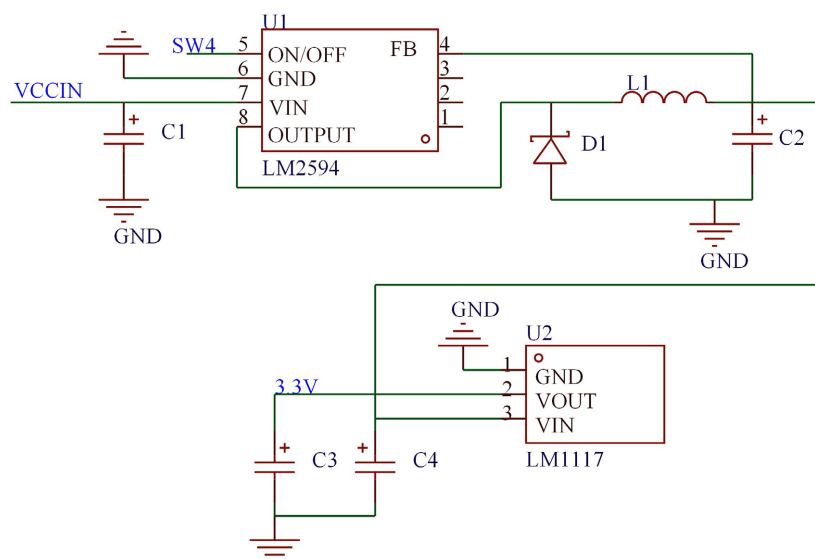


Figure 1. Schematic diagram of the power supply circuit for the laser ranging module  
图 1. 激光测距模块供电电路原理图

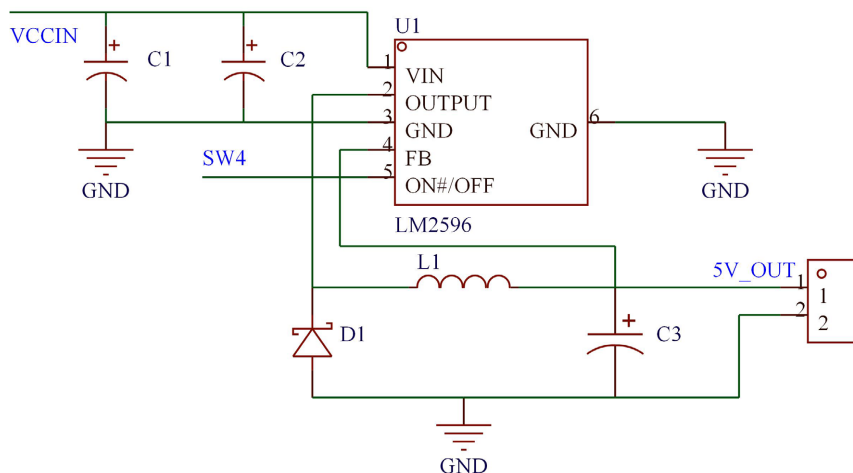


Figure 2. Power supply circuit of the PID temperature control system  
图 2. PID 温控系统供电电路

电压经 LM2596 芯片转换为 PID 系统的工作电压后传输至 PID 温控系统。在通讯协议转换电路中的供电则选择另外一枚相同电路设计的 LM2594 芯片进行。

为使激光测距仪能够适配不同使用场景下数据传输的需求，设计了不同的信号转换电路。在转换芯片选择上分别选择了 CH340E 用于转换 USB 信号，SP3485 用于转换 RS-485 信号。在输出接口上保留了 TTL 原始信号的输出通道。硬件上通过控制 CH444G 上 SW1 与 SW2 的高低电平实现不同通道的切换。上述两个芯片的原理图如图 3 所示。选择 USB 通道时，TTL 信号传输至 CH340 芯片，芯片自动完成对信号的电平转换，将数据转换为 USB 信号，再通过 USB 接口向上位机传输。由于 SP3485 芯片不能同时工作于接受信号和发送信号的状态，因此设计上使用了一个三极管控制 SP3485 的使能端，让芯片可以自动在两种工作状态下切换。在选择 RS-485 通道时，TTL 信号通过端口 RS485\_TXD 输入至三极管上，通过控制三极管的导通与否，完成对 SP3485 的工作状态切换。

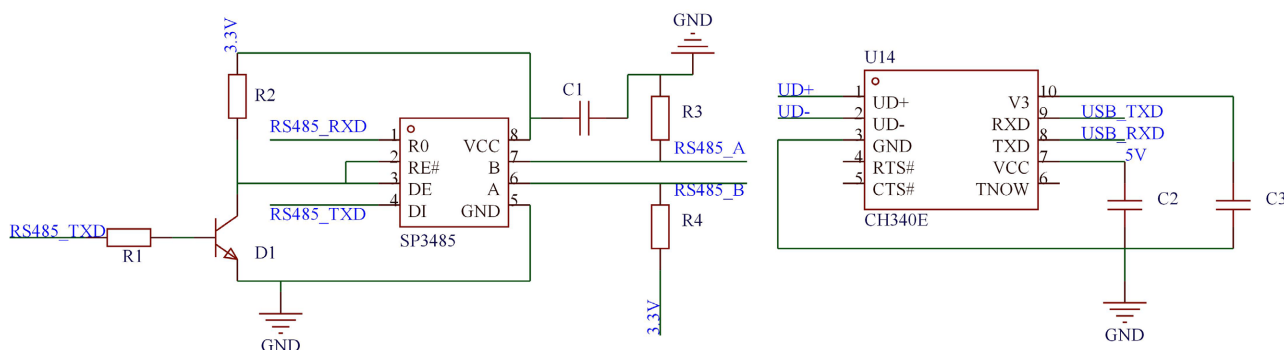


Figure 3. Schematic diagram of the communication conversion circuit  
图 3. 通讯转换电路原理图

### 2.3. 热学仿真及温度控制系统设计

激光测距仪在长期工作的过程中，电路板必定会产生热量并升温，而升温则会导致激光二极管出现温漂效应，进而使得激光测距仪的测量稳定性下降。为保证激光测距仪能在长时间工作中保持测量稳定，对其进行温度控制是有必要的。为实现对电路板的精确温度控制，本文设计了一种主动温度控制加被动隔热与的结构。同时本文采用了基于物理场仿真方法，通过使用 COMSOL Multiphysics 软件分析散热结构的热分布状况，并以此为指导优化铝制散热外壳的设计。

#### 2.3.1. 温度控制系统设计

温度控制系统包括主动和被动部分，主动部分包括 PID 控制系统和 TEC 散热器，被动部分则由 PEEK 隔热层、散热硅胶、铝制散热外壳三者共同组成。TEC 制冷片作为主要控温元件，利用帕尔贴效应在器件两端产生显著的温差，利用这一主动的热交换技术实现对电路板的精准控温，同时还具备无制冷剂泄漏风险和快速热响应的优点[3][4]。

在主动散热部分中，电路板作为主要热源，紧贴散热硅胶，通过散热硅胶将热量被动的传导到 TEC 散热器的冷端上，TEC 散热器热端再经过与铝制外壳的热交换进行散热。其中 PID 控制器通过热敏探头实时采集电路板的温度，调节 TEC 散热器的工作电流，实现对电路板的制冷或加热。

被动部分的设计思路则是尽可能的减小环境热源对电路板的热影响，因此设计了填充铝制外壳到电路板之间空隙的可以覆盖住电路板的 PEEK 隔热层。通过使用远低于金属材料热导效率的 PEEK 材料作为隔热层，增大外部环境到内部电路板的热阻，从而减小环境热源变化对电路板的影响。

### 2.3.2. 散热结构的热学仿真

为探讨散热结构对温度的影响,利用固体传热模块,多物理场模块,其中多物理场模块包括热电效应以及电磁热,对设计的简化二维结构进行分析。图 4 为初步设计的简化后的二维散热结构图,最底层为铝制散热底座。上层的倒扣 U 型结构为 PEEK 材料的隔热层。内部则是简化电路板、导热硅脂以及 TEC 散热器组成的从上而下的堆叠结构。TEC 制冷片分冷热两端,其中冷端贴着散热硅胶,热端则紧贴铝制散热底座。

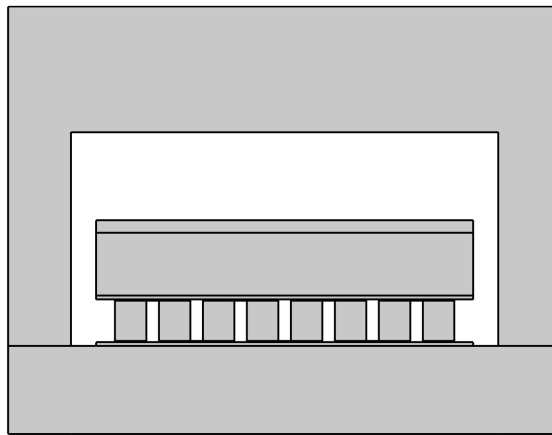


Figure 4. Simplified two-dimensional heat dissipation structure diagram  
图 4. 简化二维散热结构图

由于模型中各部位适用的物理场不同,因此要对不同模型的物理场进行划分。其中 TEC 制冷片模型适用热电效应以及电磁热,其余部分的模型均适用固体传热。考虑到热源的散热对象是空气,因此在模型上划定了一定空间的空气。对于模型的网格划分,为方便计算,使用物理场控制网格划分。初始温度设定为 293.15K,电流设置为 1 A。选择空气边界设置为固定温度的边界热源,用于模拟空气温度,选择电路板的边界设置为固定发热量的热源,用于模拟工作状态下电路板的发热情况。

模拟得到的温度分布图如图 5 所示,TEC 在工作状态下 TEC 内部结构出现了明显的温度差,其中

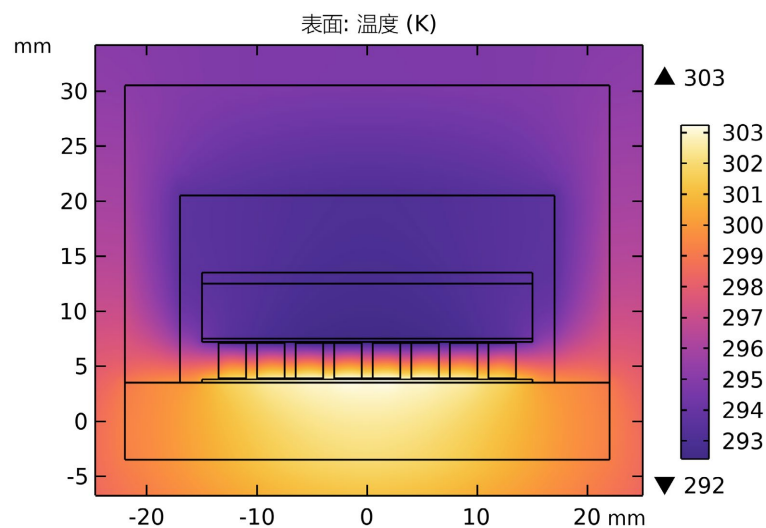


Figure 5. Simulated temperature field distribution diagram  
图 5. 仿真温度场分布图

最高温度在 TEC 的热端。模拟电路的表面平均温度则为 294.50 K，铝制散热底座的平均温度则为 301.52 K。可以看出热量主要通过热端向下方的铝制散热外壳传导，再向空气进行散热。在 TEC 的冷端，温度保持在一个相对较低的水平，验证了该 TEC 散热结构的可行性。图中倒扣的 U 型 PEEK 结构形成了有效的热阻屏障。由于 PEEK 材料的低热导率抑制了热量再通过外部传导回电路板。通过温度变化可以看出 PEEK 层内外两侧有着一定的温度差，验证了该 PEEK 材料结构在热量屏蔽上的作用。

为进一步分析不同散热底座结构对散热性能的影响，并验证结果优化的有效性，本文在保持材料属性不变的条件下，在原有的 U 型平整底部的基础上，设计了具有更高表面积的鳍片状底座。如图 6 所示，即为新设计的底座结构，由原本的 U 型结构改为等间距的鳍片型结构，底座的厚度不变，鳍片之间间隔 2 mm。

温度场模拟所得结果如图 7 所示，利用 COMSOL 边界探针功能可测得模拟电路板表面平均温度为 295.58 K，鳍片型散热底座平均温度 302.50 K。

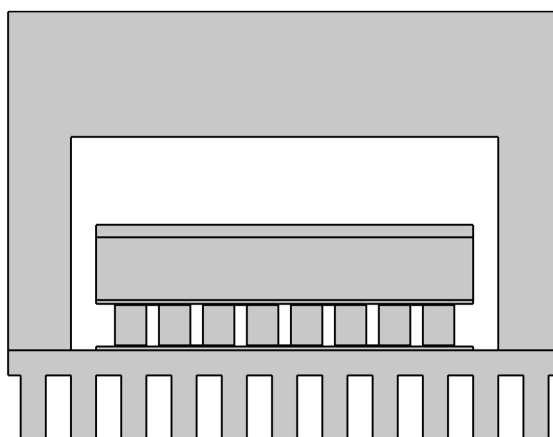


Figure 6. Structural diagram of the fin-type heat dissipation base  
图 6. 鳍片型散热底座结构图

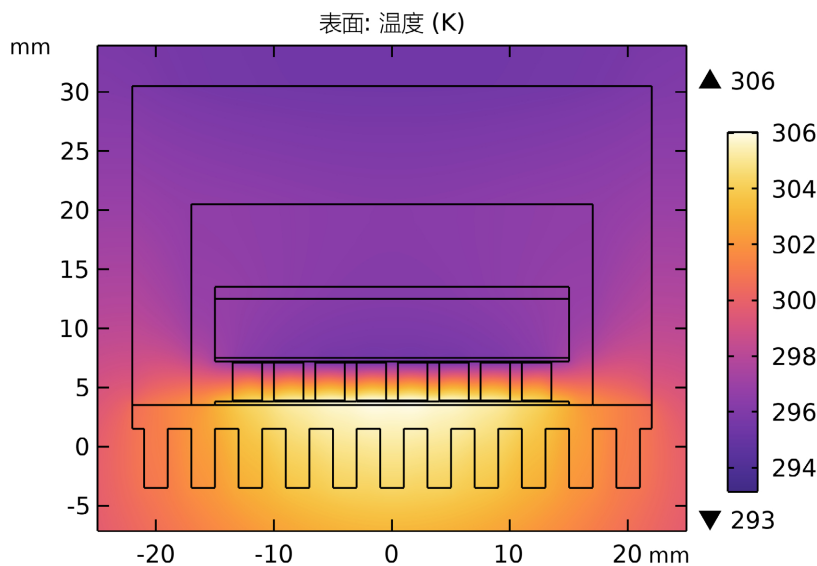


Figure 7. Simulation diagram of the temperature field of the fin-type base  
图 7. 鳍片型底座温度场仿真图

通过对比平整散热底座与鳍片型散热底座的仿真数据，可以看出，引入鳍片型结构后，系统的最高温度以及控制对象的温度并未出现显著的下降。从这一对照结果可得出，该系统散热能力的极限并不取决于散热底座与空气之间的对流热交换，而是受限于 TEC 热端至散热底座之间的传导热阻[5]。基于仿真结果，本文对系统的整体机械结构进行了优化设计，不再设计鳍片型外壳，增加 PEEK 隔热层对控制对象的封装。

## 2.4. 主动温控系统设计

本设计采用 PID 控制系统完成对 TEC 的调节，该系统的结构图如图 8 所示。主控芯片通过温度采集控制反馈至 PID 算法，完成对 TEC 制冷片的控制。

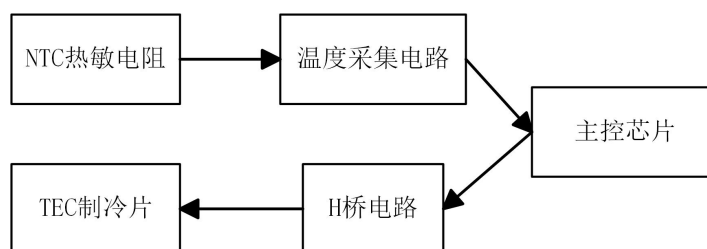


Figure 8. PID temperature control system block diagram  
图 8. PID 温控系统框图

在该温控系统中 H 桥电路由四个场效应管组成，通过四个场效应管的导通与否控制 TEC 制冷片的电流方向，实现加热或散热功能。温度采集系统则通过高精度的 NTC 热敏电阻配合 ADC 电压采集电路实现，通过采集 NTC 热敏电阻电压实现对温度的采集。

PID 控制算法是通过将控制量的实际值反馈至 PID 控制系统中与设定好的目标值进行反馈调节。通过比例控制参数 P、积分控制参数 I、微分控制参数 D，三者共同作用控制系统的输出。在该 PID 温控系统中，热敏电阻采集实际温度值反馈给主控芯片，PID 系统通过不断的反馈调整输出值，使最终的实际值逼近目标值，达到设想的控制效果。

本文所使用的激光测距模块大小约为宽 25 mm、长 40 mm，为确保激光测距模块有足够的散热面积，因此选用尺寸略大于测距模块的 TEC 制冷片，其大小为 30 mm \* 40 mm。

## 2.5. 机械外壳设计

基于仿真结果与温控设计，本文对系统的整体机械结构进行了优化设计，不再设计鳍片型外壳，而是增加 PEEK 隔热层对控制对象的隔热效果。通过加装紧固件，提高紧固压力降低各部件与导热硅脂的接触热阻，并利用 PEEK 材料的倒扣结构对电路板空间进行封闭式隔离。

如图 9 所示，即为激光测距仪的整体 3D 模型结构图，在激光测距模块部分保持了与模拟设计相同的叠层结构。

为兼顾隔热效果与模块固定的需求，设计了分层式的 PEEK 隔热层。该结构的 3D 模型图如图 9 中黄色零件所示，分为上下两层结构，下层用于 TEC 制冷片和导热硅脂的安装与固定，上层用于对激光测距模块的定位。

两层材料均通过螺孔与铝制散热底壳固定，通过使用紧固件安装 PEEK 层对 TEC 散热片施压，使其能与铝制散热底座保持良好的接触，从而降低接触热阻，提高热量向底座的传到效率。该结构有助于保证 TEC 散热片在工作过程中的散热稳定性与结构稳定性。隔热层上层用于对激光测距模块的固定。通过

覆压以及紧固件安装的方式,使激光测距模块能与导热硅脂保持紧密接触,同时让导热硅脂与下方的 TEC 散热片保持良好接触,为激光测距模块提供稳定的散热路径[6]。

上述隔热层结构在实现各部件可靠安装固定的同时,兼顾了热传导与隔热的需求,为激光测距仪在有限空间条件下的稳定工作提供了有效的机械结构与热学性能保证。

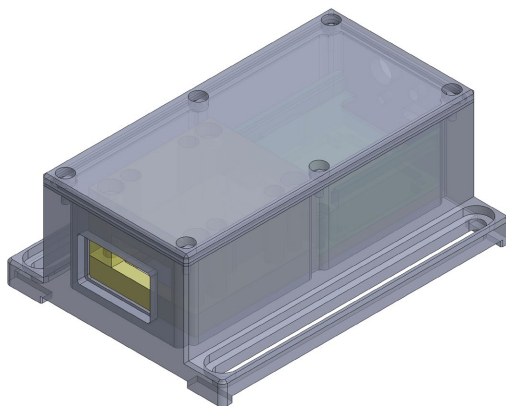


Figure 9. 3D modeling diagram of the mechanical structure  
图 9. 机械结构 3D 建模图

### 3. 系统稳定性测试与分析

在完成外置电路模块设计、热学仿真分析以及机械结构设计后,为验证本文所提出的高稳定性激光测距仪在实际工作条件下的性能表现,有必要对测距仪进行系统性的实验测试。系统测试将着重于测距仪在长时间连续工作状态下的测量稳定性。

本节在固定仪器与被测物相对位置不变的条件下,进行长时间的测量实验,通过对测量数据的统计分析,评估激光测距仪的测量稳定性。

#### 3.1. 系统测试平台与实验条件

##### 3.1.1. 测试平台搭建

系统测试在实验室环境下进行。激光测距仪安装固定在光学平台上,降低外界振动对仪器测量结果的影响。测距仪在测量过程中保持相对位置不变,被测物选择为距离测距仪大约 4 M 范围内的固定墙面,以保证测量距离在测试过程中不会出现移动,避免因待测物引入其他误差。

此测量条件的设置,目的在于测试激光测距仪在固定条件下的长期测量稳定性,使测量结果的变化主要来源于测距仪系统内部原因,而非外部环境的干扰。

##### 3.1.2. 测试环境与工作参数

测试过程中,实验室环境温度为 25 摄氏度,相对湿度约为 29%,在测试过程中不增加其他散热条件。激光测距仪内部使用 PID 温控系统控制 TEC 进行散热,此次控制温度设置为 20 摄氏度,以保证激光测距模块在稳定的温度下工作。

测距仪的测量频率约为 3 Hz,在该频率下进行固定测量并记录测试数据,为后续的统计分析和时间序列分析提供数据基础。

##### 3.1.3. 数据可视化分析

测试所得的原始数据首先导入 Origin 软件进行可视化分析处理。为能直观的分析测量数据随时间变

化的情况，绘制了以横轴为测量次数，纵轴为测量距离的折线图，用于反映测量数据的整体稳定性以及可能存在的漂移情况。

同时对测量数据进行频数分布处理。以测量距离为横轴，出现频数为纵轴绘制分布直方图，从统计意义上分析测量结果的离散程度。为进一步分析测量数据的误差特性，对直方图进行高斯函数拟合。在此基础上，引入置信区间宽度  $\omega$  作为评价指标。该参数可用于描述测量结果在统计意义上的波动范围，为系统重复性分析提供定量依据。

但频数分布和高斯拟合仅能反映测量数据的总体统计离散特性与重复性，无法反映体系在不同时间尺度上的特征。为更进一步分析系统的噪声成分，本文采用 Allan 方差对测量数据进行分析[7]。Allan 方差通过改变平均时间  $\tau$  对数据进行分段处理，可呈现系统在不同积分时间下的稳定性变化趋势，从而定量评估测距系统的短期随机噪声水平及长期稳定性特征。

综上，本文采用了统计分布分析结合 Allan 方差分析的评价方法。前者用于描述总体统计上的离散度与重复性，后者用于描述不同时间尺度下的噪声类型和稳定性特征。

### 3.2. 长时间稳定测量结果

在 3.1 节中的条件下，对固定物长时间测量所得的测距结果如图 10 所示。横轴为测量数据序号，纵轴为测量距离。该次测量数据共计  $1 \times 10^5$  个数据点，测量时间约为 9 个小时。

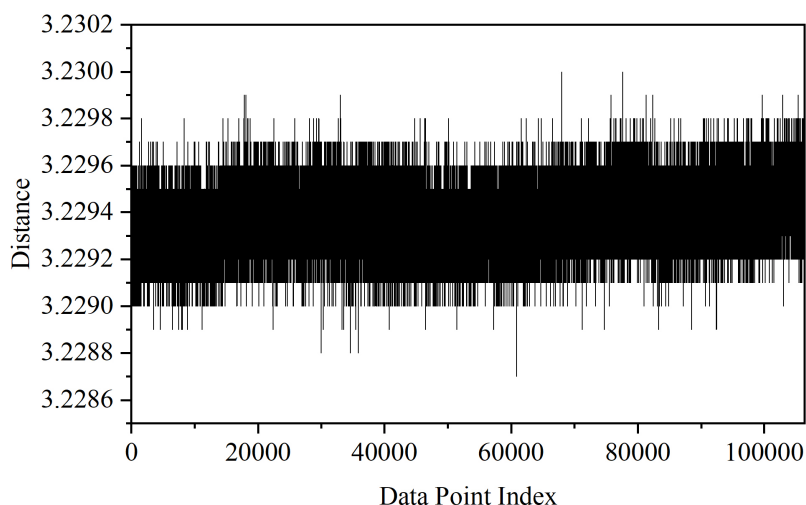


Figure 10. Time series plot of long-term measurement results

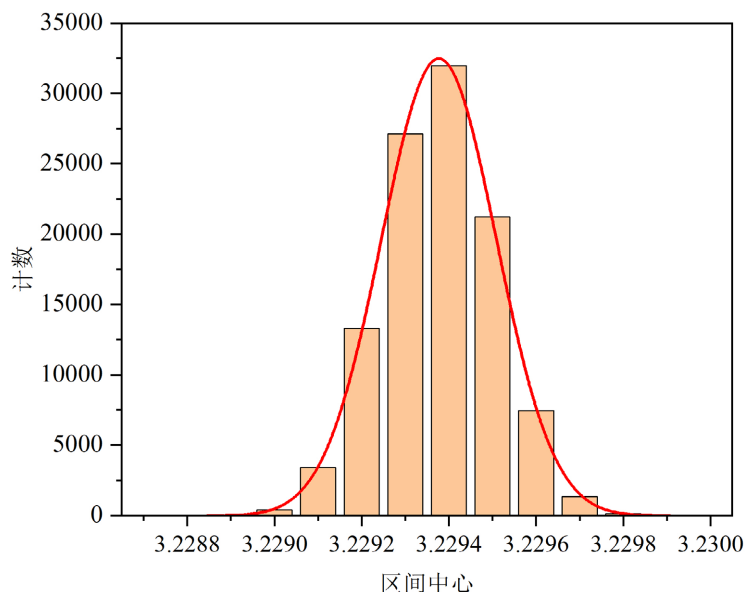
图 10. 长时间测量结果时间序列图

从图中可看出，测量数据保持在 3.2287 至 3.2300 的区间内。在整个测量时间内，波形呈现出极高的时域稳定性。这一平稳的时间序列证明了本文设计的主动温控结合被动隔热的温度控制系统能够有效的抑制激光器升温引起的漂移，保证了长期测量的稳定性。

为进一步分析测量数据的统计分布特性，对全部数据进行了频数分布统计，并利用高斯函数对数据分布进行了非线性拟合，结果如图 11 所示。横轴为测量区间中心，纵轴为对应的出现频数。

由图 11 可看出，测量数据整体上呈现出标准的钟型特征，分布轮廓基本对称，表明系统在长时间测量过程中的误差来源主要受随机噪声影响，符合正态分布规律。拟合得到的  $\omega$  参数为  $2.63 \times 10^{-4}$ ，在 95% 置信概率条件下，置信区间宽度为

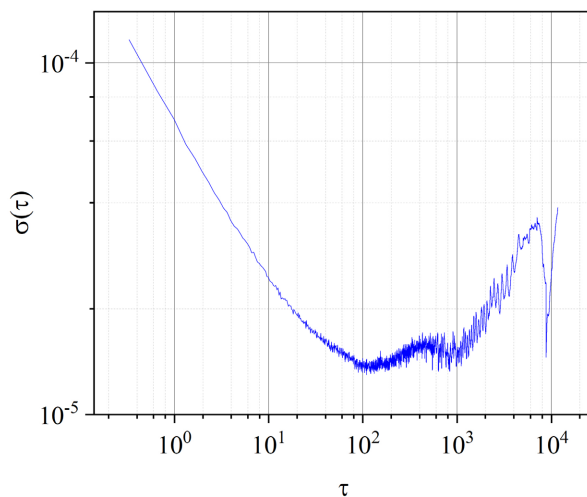
$$2\sigma = \omega = 0.26 \text{ mm} \quad (1)$$



**Figure 11.** Frequency distribution histogram and Gaussian fitting curve  
**图 11.** 频数分布直方图与高斯拟合曲线

该数据表明,在当前条件的测量数据下,测量结果在统计意义上的重复性范围约为 $\pm 0.26$  mm。该数据来源于对全部数据的统计处理,由于数据中存在缓慢漂移的成分,该结果可能同时包含高频噪声与低频噪声的贡献,以此置信区间仅能反映在整个观测时间长度内的总体统计重复性。以此系统在不同时间尺度下的稳定性特征还需要通过 Allan 方差来进一步分析。

为深入分析不同时间尺度下的稳定性特征,使用 Allan 方差对原始数据进行不确定度评价,结果如图 12 所示。



**Figure 12.** Allan variance curve plot  
**图 12.** Allan 方差曲线图

由图 12 可看出,Allan 方差曲线在双对数坐标系下表现出先下降后趋近于平缓的曲线,完整呈现了系统从短时随机噪声到长时系统漂移的过程。从图可知,在短时间尺度上曲线随着采样周期增加呈现明显的下降趋势,在到达约  $10^2$  的采样周期时,系统稳定性达到极值点,此时 Allan 方差降至最低,表示系

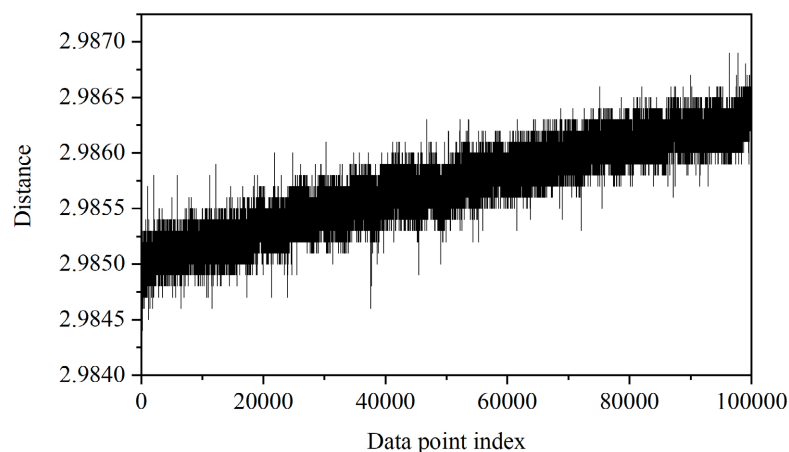
统在当前条件下能到达的稳定性极限。

在短期内， $-1/2$  斜率的主要噪声来源于 APD 探测器的散粒噪声以及放大电路的热噪声，噪声随着积分时间增加而相互抵消，在  $10^2$  s 至  $10^3$  s 区域内出现了震荡，反应了温控系统在反馈过程中的滞后效应。

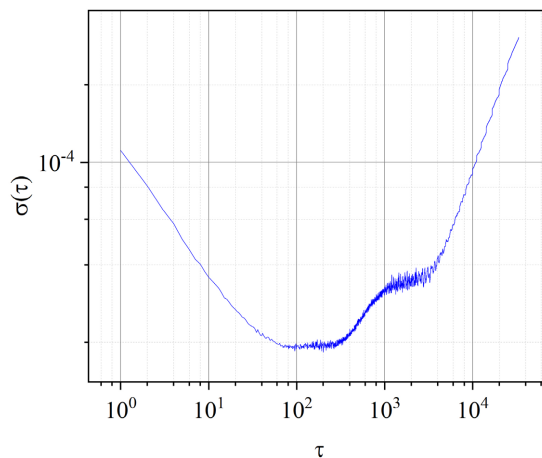
这一结果表明，系统在短时间尺度下主要受到随机噪声的影响。随着采样周期的进一步增大，曲线开始转向上升，但曲线斜率被有效压制，证明了温控系统对低频温漂噪声的抑制能力。

为验证主动温控系统对测量结果的影响，研究增加了一组在关闭 TEC 制冷器条件下的长期测量数据，旨在观察激光测距仪在仅有被动散热的情况下性能的退化程度。该实验的测试环境相同，测量数据长度与上一组实验相同，测量结果如图 13 所示。

由图 14 所示的时间序列图可以明显看出，在关闭 TEC 散热器的情况下，随着测量时间的推移，测量结果呈现明显的线性漂移趋势。在  $1 \times 10^5$  个数据点的长度下，中心值漂移量超过 1 mm。对该组数据同样进行 Allan 方差计算，所得结果如图 14 所示。



**Figure 13.** Long-term measurement results without active temperature control  
**图 13.** 无主动温控下长时间测量结果



**Figure 14.** Allan variance curve of data without active temperature control  
**图 14.** 无主动温控下数据的 Allan 方差曲线

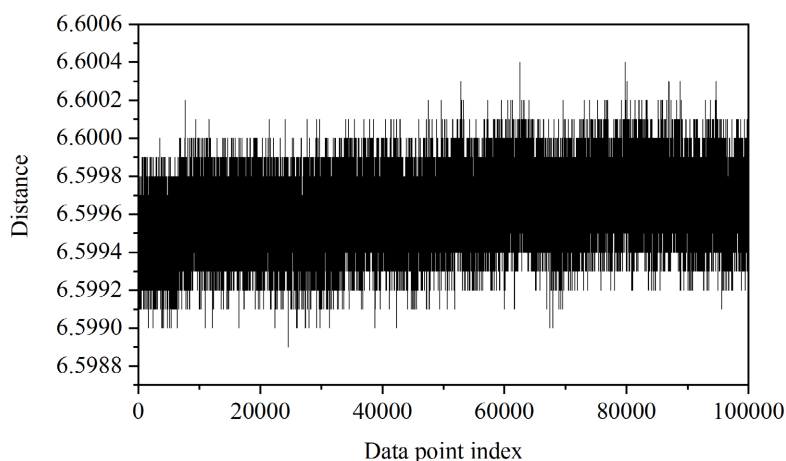
对比开启温控时的 Allan 方差曲线图可看出，在短期内，两组曲线都随积分时间的增加而下降，斜率都接近  $-1/2$ ，表面系统在未开启温控状态下，所受噪声影响相同。当积分时间超过  $10^2$  后，曲线斜率开始

反转并快速上升，呈现出典型的随机游走噪声特征，表明系统在长期测量下随着热量的积累，测量结果产生不可控的偏差。

综上所述，通过时间序列、统计分析以及 Allan 方差的综合分析，该激光测距仪在长时间的测量中表现出较好的稳定性。平稳的 Allan 方差曲线和时间序列图，证明了系统对随机噪声的抑制有明显效果。实验结果表明，该系统在经过热漂移补偿后，能够补足在长时间上的稳定性问题。

为验证测距仪在变化温度情况下的稳定性，将测距仪放置于自然环境中进行同样的长时间测量，在测量过程中，以固定每一小时的时间间隔进行一次温度测量，记录温度变化情况。该测试环境初始温度约为 12.2 摄氏度，结束温度约为 17.2 摄氏度，环境最高温度为 18.8 摄氏度。

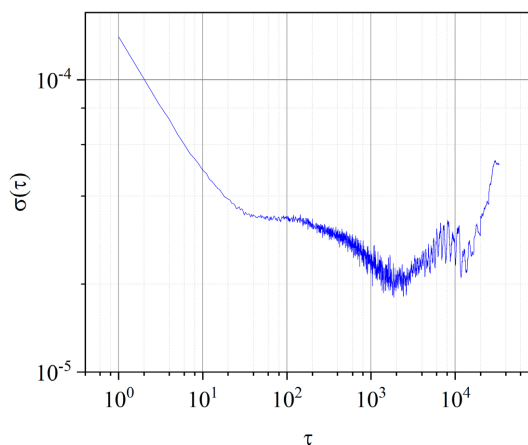
测量时长与前两次相同，装置固定于小型移动光学平台，放置于室外，测量目标同样为楼体的固定墙面。测量结果如图 15。



**Figure 15.** Long-term measurement results under varying temperature conditions  
**图 15.** 变化温度情况下长时间测量结果

由上图可看出，测量结果出现较为明显的小幅度波动，但长期上测量并未出现较大程度的漂移现象，说明在自然环境下，测距仪的温度控制系统可以有效减低温度变化带来的影响。

该数据的 Allan 方差曲线如图 16 所示，对比在实验室环境测量中的数据结果，两组数据均在积分



**Figure 16.** Allan deviation plot under varying temperature conditions  
**图 16.** 变温情况下 Allan 方差曲线图

时间超过  $10^3$  后出现抬升, 即 Allan 方差曲线斜率为  $1/2$ 。该组数据相较于第一组实验, 在积分时间超过  $10^2$  后仍存在较长的  $-1/2$  斜率的区间。说明在更长时间的测量中, 环境温度变化对测距仪产生了一定影响, 主动温控系统对温度进行补偿修正, 使曲线在更长时间尺度重新回到稳定状态。

#### 4. 总结

本研究针对在工业测量领域对长时间测量下高稳定性激光测距仪的需求, 系统地展开了基于嵌入式技术的相位式激光测距仪的设计与研究。本研究所设计的激光测距仪在长期测量中, 测量的波动范围可达到  $\pm 0.26$  mm 的亚毫米范围, 具有极高的测量稳定性。

尽管本研究在测量稳定性上取得一定的成果, 但受限于硬件成本, 激光二极管光源较低的功耗和较大的发散角, 使得在较远距离测量下激光回波信号过于微弱导致无法完成正常测量, 后续研究中可以考虑采用其他光源进行设计开发, 提升测距仪的测量范围。受限于主控芯片的频率, 测距仪的测量频率不到 5 Hz, 后续可以考虑通过采用更高主频的芯片以提升测量频率。

#### 致 谢

在此向所有支持我完成研究工作的人致以诚挚谢意。

#### 参考文献

- [1] 邱志刚, 沈萌萌, 贾春荣, 等. 激光测距技术研究现状及发展趋势[J]. 激光杂志, 2023, 44(8): 1-8.
- [2] 张德斌, 江清波, 王晔, 等. 国外地面激光测距目标指示器的发展现状[J]. 激光技术, 2021, 45(1): 126-130.
- [3] Rowe, M.D. (1995) CRC Handbook of Thermoelectrics. CRC Press.
- [4] Bell, L.E. (2008) Cooling, Heating, Generating Power, and Recovering Waste Heat with Thermoelectric Systems. *Science*, **321**, 1457-1461. <https://doi.org/10.1126/science.1158899>
- [5] Prasher, R. (2006) Thermal Interface Materials: Historical Perspective, Status, and Future Directions. *Proceedings of the IEEE*, **94**, 1571-1586. <https://doi.org/10.1109/jproc.2006.879796>
- [6] Gwinn, J.P. and Webb, R.L. (2003) Performance and Testing of Thermal Interface Materials. *Microelectronics Journal*, **34**, 215-222. [https://doi.org/10.1016/s0026-2692\(02\)00191-x](https://doi.org/10.1016/s0026-2692(02)00191-x)
- [7] Allan, D.W. (1966) Statistics of Atomic Frequency Standards. *Proceedings of the IEEE*, **54**, 221-230. <https://doi.org/10.1109/proc.1966.4634>