

摘要

本作品为两台步进电机云台组成的系统，系统包括模拟目标运动的红色的光斑位置控制系统和指示自动追踪的绿色光斑位置控制系统。根据任务要求设计了两类不同系统，包括搭载光电门和编码器的红色光斑位置控制系统以及搭载相机的绿色光斑位置控制系统。

控制系统使用 STC32G12K128 主控制器，K210 模块进行机器视觉处理，完成对屏幕位置的识别及光斑追踪。云台方向控制采用了 MPU6050 进行姿态解算，利用模糊算法控制云台旋转过程中的方向控制。并用连续声光进行提示。机械结构采用上下步进电机实现全方位控制，编码器控制实时位置，光电门实现复位功能，摄像头捕捉运动光斑。经过多次测试，本作品可以完成各项任务。

关键词：云台；步进电机；机器视觉；追踪

1 方案设计

1.1 系统方案设计

在本次设计中，我们使用主控制器 STC32G12K128 完成运动目标控制与自动追踪。系统由电源模块、驱动模块、稳压模块、OLED 显示模块、光电门模块和图像识别模块组成，机械结构采用上下步进电机实现全方位控制，编码器控制实时位置，光电门实现复位功能，摄像头捕捉运动光斑。步进电机云台系统结构框图如图 1 所示。

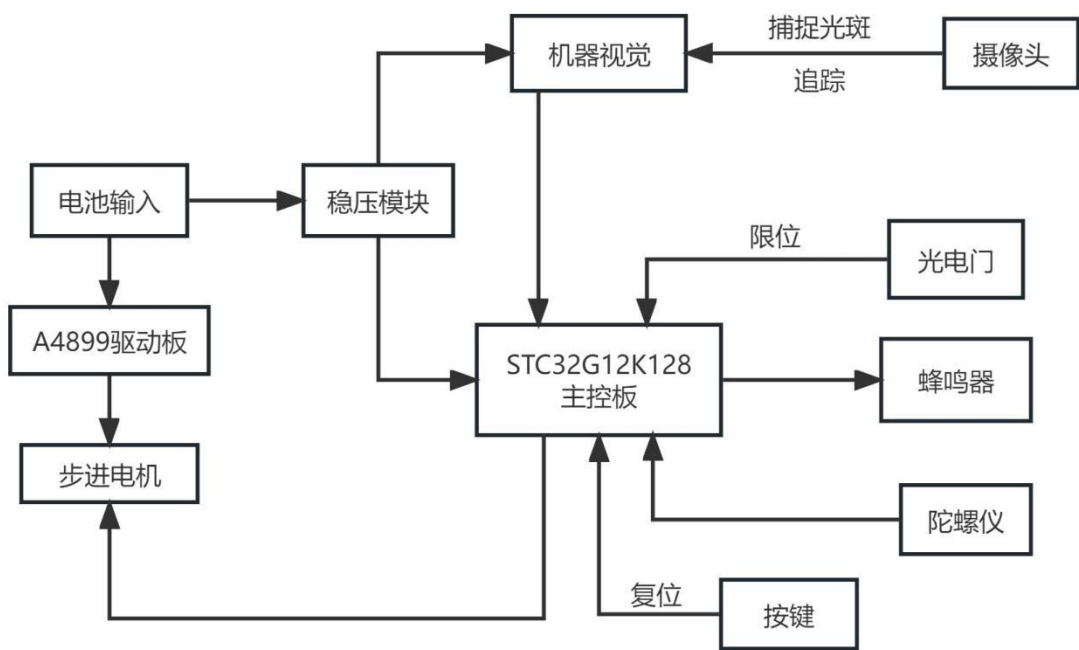


图 1 步进电机云台系统结构框图

1.2 机械结构设计与搭建

考虑到激光笔的固定、激光笔的水平和俯仰角度、摄像头装置、硬件的架设方式，本次利用 3D 建模设计了同步带传动、摄像头支架、电路板支架、光电门限位及电池盒固定装置和全方位云台装置。考虑到激光笔的复位功能，需要将激光笔安装在距地面 30cm 处，为节省打印时间选择使用钢管增加高度。安装两台步进电机实现激光笔的左右旋转及俯仰，设计摄像头支架略微高于装置，保证能捕捉屏幕任意位置光斑且不会被装置遮挡。云台机械结构模型如图 2 所示。为便于调试打印件的尺寸，使用 SolidWorks 软件建立云台 3D 结构模型仿真图，仿真图如图 3 所示。

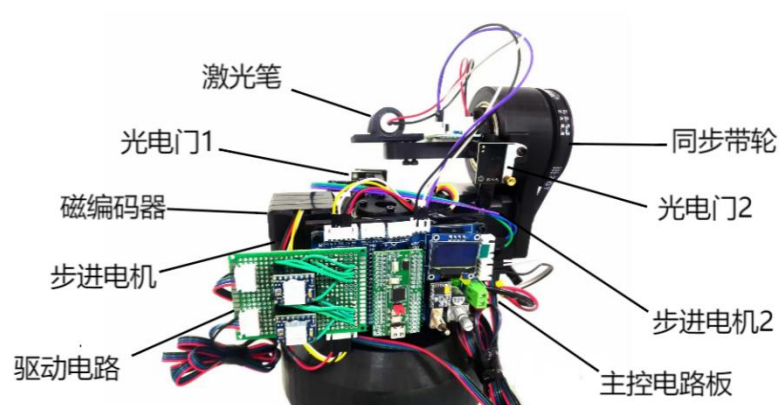


图 2 云台机械结构实物模型图

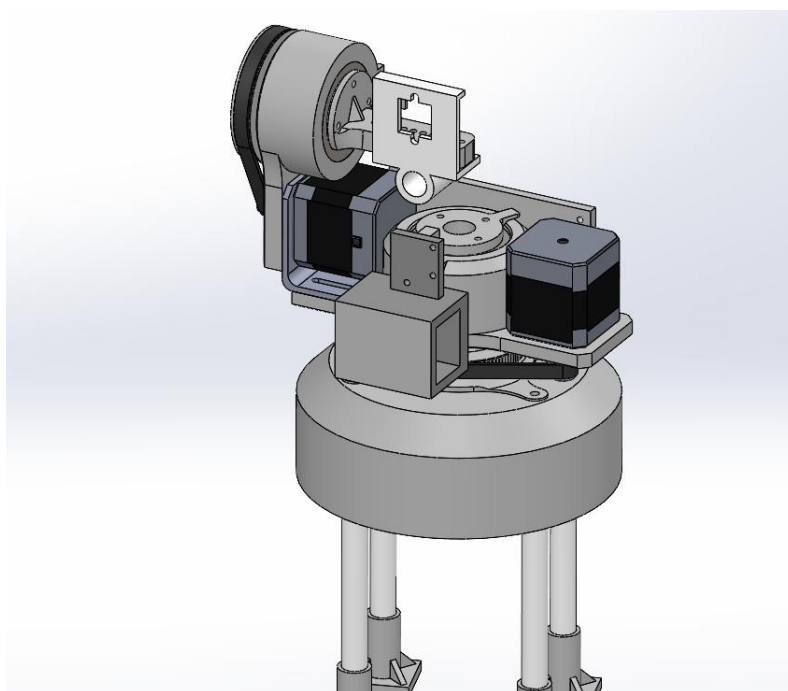


图 3 云台 3D 结构建模装配体图

1.3 方案论证与选择

1.3.1 主控系统的论证与选择

方案一：采用 51 系列型号单片机。

方案二：采用 32 位的 STC32G12K128。

51 单片机芯片架构简单，片内外设资源有限多数功能需要外部扩展，I/O 口较少，时钟精度低，运算速度缓慢，存储容量小，缺少 AD、EEPROM 等功能需要靠扩展，增加了硬件和软件负担。

STC32G12K128 采用 ARM Cortex-M 系列架构，STC32 的架构和外设接口相对简单，具有高速、低功耗、超强抗干扰特性，对于制作步进电机云台性能足够，且价格较便宜。

根据上述分析，我们选择方案二。

1.3.2 图像处理系统设计方案论证与选择

方案一：基于 OpenMV 的多模板匹配方式。

方案二：基于 K210 的硬件加速神经网络的图像识别方案。

应用 OpenMV 方法的优点是参数易于调整，模板易于获得与初步处理。缺点是其基础镜头视角窄，神经网络处理能力差。

K210 能在较高帧率下进行图像识别，更适合追踪和巡线，具有较强的性能且价格更为便宜。

根据上述分析，我们选择方案二。

1.3.3 驱动方案论证与选择

方案一：舵机驱动方案。

方案二：步进电机驱动方案。

舵机灵活度较高，但精度较低。步进电机可以在低速时提供更大的转矩，它们对于移动精确的距离非常有用。

根据上述分析，我们选择方案二。

1.3.4 控制算法的论证与选择

方案一：采用模糊控制算法。

方案二：采用 PID 控制算法

模糊控制算法有许多良好的特性，它不需要事先知道对象的数学模型，具有系统响应快、超调小、过渡时间短等优点。PID 控制算法按比例、积分、微分的函数关系进行运算，最后将其运算结果用以输出，PID 控制算法是控制系统非常普遍的运算方法，但更适用于直流电机的控制。

根据上述分析，我们选择方案一。

2 理论分析与计算

2.1 二维视觉云台控制算法

将相机安装在多自由度云台上，通过云台带动相机运动，可实现对目标的快速跟踪。视觉伺服跟踪分为两个子任务：图像中目标跟踪和云台的伺服控制。图像中目标跟踪算法可以分为生成式跟踪算法和判别式跟踪算法，其中判别式算法是目前研究最多的方向。判别式跟踪算法通过训练分类器来分离目标和背景，通常把该过程看作二分类问题。判别式跟踪算法中，由于相关滤波的

算法具有出色的跟踪性能和较高的计算速度。最小均方误差波器算法以选定的模板图像为目标，训练标外观模型，根据模型计算出待检测图像的响应矩阵应最大值是目标位置。为追求更高的性能采用判别式跟踪算法。

2.2 MPU6050 姿态解算

MPU6050 是整合性 6 轴运动处理组件，其内部整合了 3 轴陀螺仪和 3 轴加速度传感器。主控芯片由 IIC 接口得到 MPU6050 传回的四元组数据后，将加速度计的三维向量转成单维向量，之后把四元数换算成方向余弦矩阵中的第三列的三个元素，根据余弦矩阵和欧拉角的定义，地理坐标系的重力向量，转到机体坐标系，正好是这三个元素。将其映射到当前的欧拉角（即四元数）的机体坐标参照系上，换算出重力单位向量。欧拉角微分公式姿态解算如式 1 所示（其中右侧表示本次更新后的欧拉角，左侧是上个周期计算得到的角度）。

$$\begin{bmatrix} \dot{\gamma} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sin \theta} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \gamma \sin \theta & \cos \gamma \sin \gamma \\ 0 & \cos \theta \cos \gamma & -\sin \gamma \cos \theta \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_{EbX}^b \\ \omega_{EbY}^b \\ \omega_{EbZ}^b \end{bmatrix} \quad (1)$$

得到数据后，为保证数据有效，我们需要对上述计算到的速度与加速度卡尔曼一维滤波公式进行滤波（其中 g_k 为卡尔曼增益， p_k 为本周期预测误差， r 为噪音平均值， h 为缩放系数），之后再进行一次一阶互补滤波，减少干扰，保证数据的有效性。

2.3 电机控制

步进电动机能将外来输入的驱动脉冲信号转变成电机转子相应的角位移，一个脉冲信号驱动一个对应的角位移，这就是电机的一步。假如步进电机接收符合要求的连续驱动脉冲则步进电机将会连续的转动，步进电机的驱动脉冲频率越大其转速越快，频率越小其转速慢。

外部输入的基本控制脉冲可以使电机转过一个基本单元的角度，通常把这个角度叫步距角 θ_b ，其步距角的大小由转子齿数 Z_p 和拍数 N 来决定，如式 2 所示。

$$\theta_b = \frac{2\pi}{N \cdot Z_p} \quad (2)$$

改变电机驱动的脉冲频率可以直接改变电机的转动速度，如果给多台电机输入同一种驱动脉冲那么可以使这些电机同步运行与停止。步进电机的最大优点是：电机每转一周都有固定的步数，在不转动失步的前提下，步距误差不会长期的产生积累效应。如上优点完全使它适于在数字控制的开环系统中当做伺服元件来用即使整个系统大大的简化又可保证运行可靠。本系统装载速度和位置检测装置，所以该系统也能用于闭环系统。

2.4 激光追踪方法

目标检测追踪的任务是识别图像中的激光位置及边框位置，可分为定位和追踪。通过识别的图片中待追踪物体的位置，将其数据返回主控芯片，进而达到识别判断的目的。

经过多年发展，基于深度学习的目标检测技术目前已成为主流算法。本文采用 YOLO 算法。YOLO 算法的主要原理可以从网格进行分析，在图片合适的框中找出目标，框中心的网格对应预测特征图，可得出框的坐标、目标得分、分类得分，再与预测框进行计算，得出最终结果。运动目标识别过程如图 4 所示。

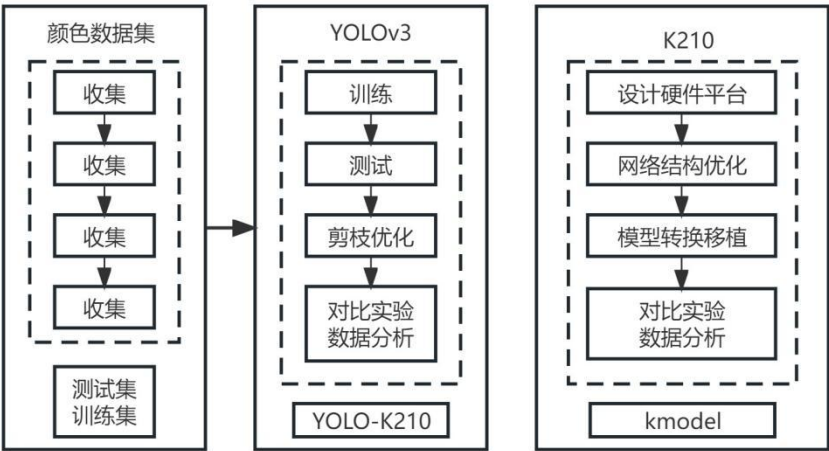


图 4 目标识别过程图

3 系统软硬件设计

3.1 系统组成

本次设计采用的主控芯片为 STC32G12K128，通过该芯片连接 OLED 显示模块、MPU6050 传感器模块、电机驱动模块、K210 图像处理模块和稳压模块及蜂鸣器。主控板原理图如图 5。

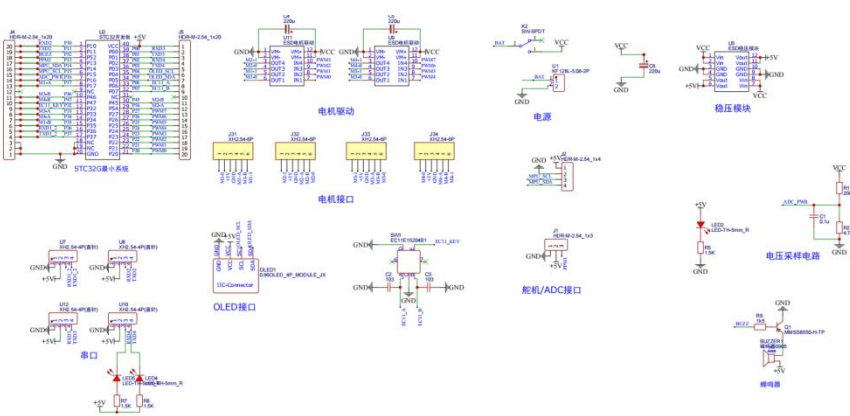


图 5 主控板原理图

3.3 电源模块

本次设计采用 12V 的 3s 航模电池作为外部电源为整个系统供电。采用 12V 电源为电机直接供电，驱动电机，之后通过稳压模块将 12V 电压降为 5V 后为主控芯片模块、K210 图像处理模块等进行供电。稳压模块使用的是 TI 公司的 TPS5450 芯片进行降压，支持 5.5–36V 的宽电压输入，可提供高达 5A 的输出电源，稳压模块的原理图如图 6 所示。

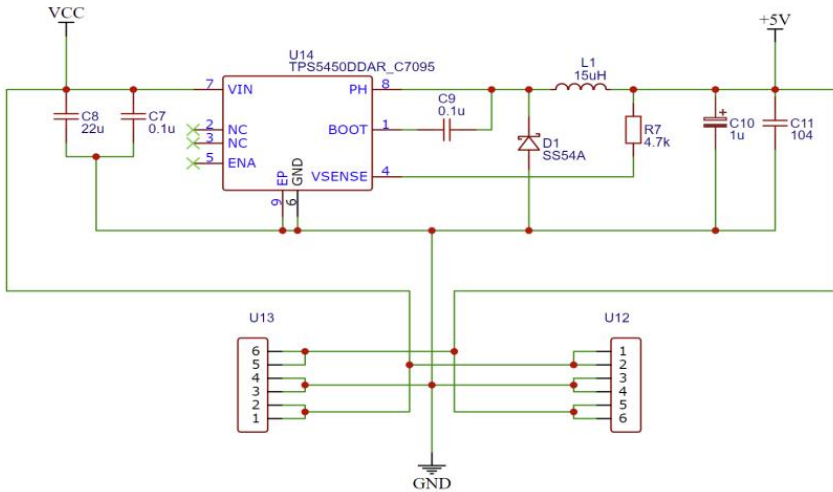


图 6 稳压模块原理图

3.4 电机驱动模块

本次设计采用的电机驱动芯片为 A4989，A4989 是一款将电脉冲转化为角位移的执行机构。当步进驱动器接收到一个脉冲信号，它就驱动步进电机按设定的方向转动一个固定的角度(称为“步距角”)，它的旋转是以固定的角度一步一步运行的。本次采用以 A4989 为驱动芯片的电机驱动模块，模块使用两个 A4989 芯片，驱动两个电机转动，带动云台转动。并加装散热片提高工作电流。电机驱动模块原理图如图 7 所示。

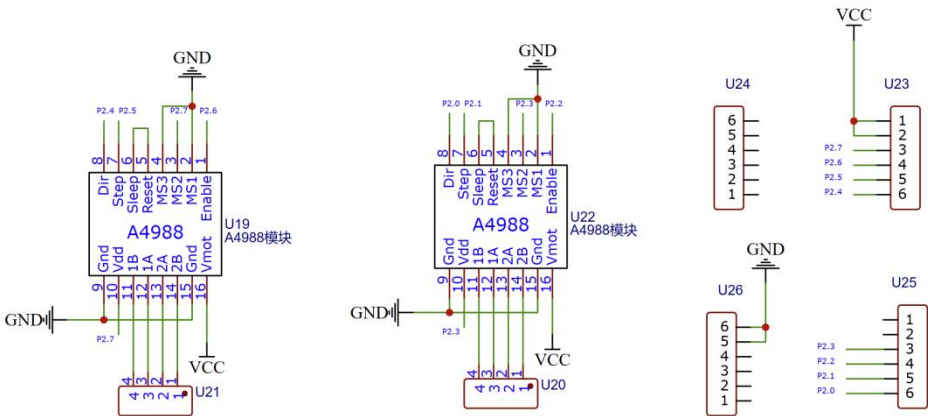


图 7 电机驱动芯片原理图

3.4 程序流程图

本次系统软件设计采取了顺序控制的设计方法，根据每个任务的需要完成的步骤，按步设计相应函数，完成控制任务。首先对各个外设进行初始化，保证其能够完成相应任务，之后图像处理模块采集和处理，根据编码器进入不同的程序，完成控制任务，软件流程图如图 8 所示。

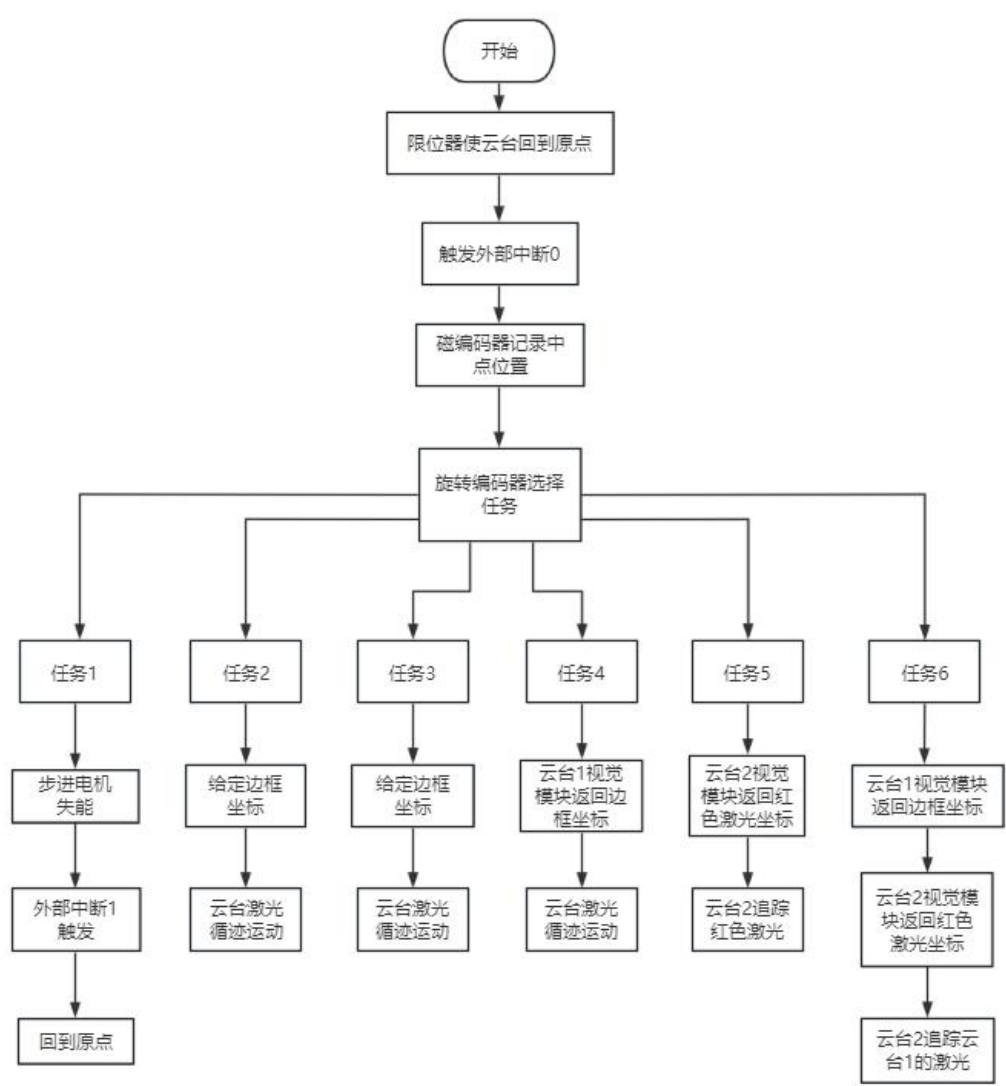


图 8 主程序流程

4 测试方案与测试结果

4.1 测试方案

本次测试使用秒表作为计时工具，使用一台步进电机云台模拟目标运动，另一台指示自动追踪。云台 1 放置在距屏幕 100cm 处，在云台调整好位置及角度后，开始计时，OLED 屏幕上显示捕捉到的位置信息。首先一键执行复位功能，再摁旋转编码器选择需要执行的任务。

4.2 测试结果

4.2.1 基本要求测试结果及分析

表 1 基本要求测试结果表

项目	结果	分析
(1) 设置运动目标位置 复位功能	能够自动复位在原点 用时 0.93s，误差 0.5cm	能够完成指定功能
(2) 沿屏幕四周边线顺 时针移动一周	能够沿屏幕边线顺时针移动一周 用时 2.55s，误差<1cm	能够完成指定功能
(3) 自定位置沿胶带顺 时针移动一周	将边框粘贴在左上角能够顺时针沿胶带 移动用时 1.65s，光斑未离开边线	能够完成指定功能
(4) 旋转角度沿胶带顺 时针移动一周	任意倾斜角度能够顺时针沿胶带 移动用时 1.77s，光斑未离开边线	能够完成指定功能

4.2.1 发挥部分测试结果

表 2 发挥部分作品测试表

项目	结果	分析
(1) 一键自动绿色光斑追踪 红色光斑	能够追踪红色目标，用时 0.23s，成 功后发出连续声光提示	能够完成指定功能
(2) 红色运动目标沿胶带移 动且绿色光斑自动追踪	能够追踪红色光斑，连续声光提 示，光斑中心距离<2cm	能够完成指定功能
(3) 红色激光绘制 5 次 ∞ 标 志且绿色光斑自动追踪	能够沿指定路径移动，用时 13.87s	能够完成指定功能