

# 星载调焦机构地面专检设备设计

徐拓奇, 徐伟, 王绍举, 金光

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘要:** 为了保证星载一体化对地观测卫星调焦地面实验的可靠性和有效性, 对调焦机构专检设备进行了研究。分析了地面调焦专检设备的设计需求, 结合现有成熟技术, 设计了调焦机构地面专检设备, 实现了调焦地面实验。最后, 对该专检设备的控制进行了转动位移测试和转动速度测试。测试结果表明, 该专检设备能够满足地面实验要求。

**关键词:** 空间相机; 调焦机构; 步进电机

**中图分类号:** V475.2      **文献标识码:** A

**DOI:** 10.3788/OMEI20112811.0057

## Design of the Test Equipment for Focusing Mechanism in Satellite

XU Tuo-qi, XU Wei, WANG Shao-ju, JIN Guang

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,  
Changchun 130033, China)

**Abstract:** To ensure the test for incorporate design of satellite platform and payload focusing mechanism on the ground to be reliable and valid, the mechanism of the special test equipment was studied. This paper analyzes the needs of the ground special test equipment, and with the combination of existing mature technologies, designs a focusing mechanism adjustment special test equipment, and implements the experiment of focusing mechanism. At last, this paper shows the location and speed test result. The test results show that the special test equipment meets the ground experiment requirements.

**Keywords:** space borne camera; focusing mechanism; stepper motor

## 1 引言

由于空间相机所处的飞行器受所处的卫星轨道、温度、大气压力及在运载过程中所产生的震动等因素的影响,在焦平面上会产生一定程度的离焦。为了解决离焦对成像质量的影响,相机必须对成像机构产生的离焦现象进行补偿<sup>[1]</sup>。

星载相机一般采用调焦机构在轨进行焦平面位置的调整以及相机离焦量的补偿。调焦机构的调焦量是根据环境条件和控制精度的要求确定的,通过绝对式编码器的反馈和对步进电机的控制使调焦镜移动来补偿由各因素造成的离焦,从而使相机能得到清晰度的图像。

为了对调焦机构进行地面检测与标定,必须设计与之相配套的地面调焦机构专检设备。专检设备对可能通过按键或电脑串口发出命令,驱动偏焦机构按不同速率、不同方向进行移动,并在显示板或控制电脑屏幕上显示驱动效果。

## 2 专检系统设计原理

调焦机构采用步进电机为驱动,以多圈绝对式编码器为检测元件,利用滚珠丝杠将旋转运动转换为直线运动,同时配合使用直线导轨,既保证了结构的稳定性,又简化了传动链调焦精度。其中的步进电机及编码器为航天级产品,直线导轨和滚珠丝杠可采用镀 MoS 后组装的方式来解决冷焊问题,图 1 为该调焦机构试验件的设计方案图<sup>[2]</sup>。

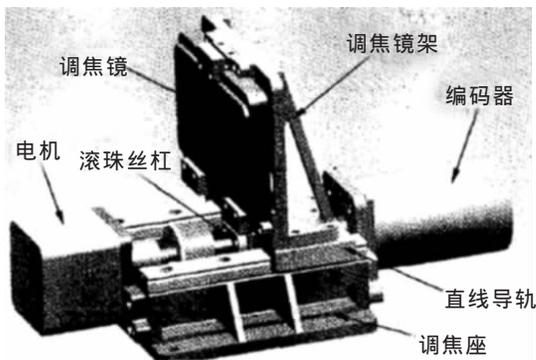


图1 调焦机构工作原理图

调焦机构专检设备的工作主要包括以下几个功能:

- (1) 控制调焦机构中步进电机的转动方向;
- (2) 控制调焦机构中步进电机的转动速度;
- (3) 控制调焦机构中步进电机的转动位移;
- (4) 具有过压保护和过流保护功能;
- (5) 可对步进电机进行细分控制;
- (6) 通过按钮控制读入用户指令;
- (7) 通过 UART 与计算机进行通信;
- (8) 通过按键控制专检设备工作;
- (9) 驱动 LCD 显示信息。

为了实现上述功能,专检设备采用基于 C8051F040 控制芯片的专检控制器,驱动步进电机、控制 UART 通信、响应用户按钮控制、驱动 LCD 显示信息。该专检设备的具体结构框图如图 2 所示。C8051F040 作为控制器的核心,通过 UART 可与控制计算机通信,控制步进电机工作,同时它可以响应用户按钮的外部中断控制步进电机的工作并在 LCD 显示屏上进行显示。由于 C8051F040 采用的是 2.5 V 或 3.3 V 电源供电,而 LCD 显示屏和步进电机采用的是 5 V 供电,所以在两者之间通信需要进行电平转换。

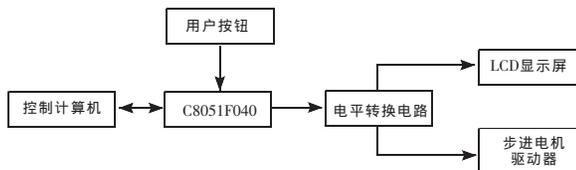


图2 偏焦机构专检设备原理框图

## 3 专检硬件电路设计

专检设备控制器采用基于 C8051F040 的控制芯片,采用流水线指令结构;70%指令的执行时间为一个或两个系统时钟周期;速度最高可达 25 MIPS;内部有 20 个中断源;系统内部有 4 352 字节内部 RAM,64 KB 的 FLASH;可以在系统编程,扇区规模为 512 字节;数字外设包括 8 个 8 位宽端口 I/O,耐 5 V;可编程的 16 位计数器/定时器阵列,有 6 个捕捉/比较模块;5 个通用 16 位计数器/定时器;专用

看门狗定时器；供电电压采用 2.7~3.6 V，内部校准的可编程振荡器是 3~24.5 MHz。具体芯片内部结构如图 3 所示。

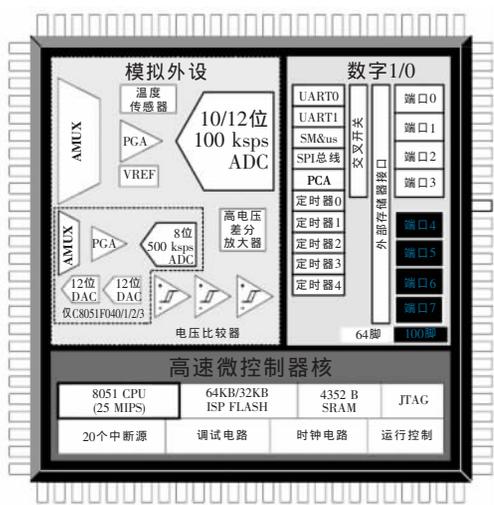


图 3 C8051F040 内部结构图

步进电机控制器选用的是 YKA2204MA 研控高性能二相混合式步进电机驱动器。它设有 10 档等角度恒力矩细分，最高 64 细分；最高反应频率可大于 200 Kpps；光电隔离的信号输入/输出；驱动电流在 0~1.5 A 之间连续可调；单电源输入，电源范围：DC 15~40 V；具有过流保护和过低压保护功能。具体连线图如图 4 所示，驱动器主要用于控制的信号有：PU——步进脉冲信号，用于控制电机转动的转

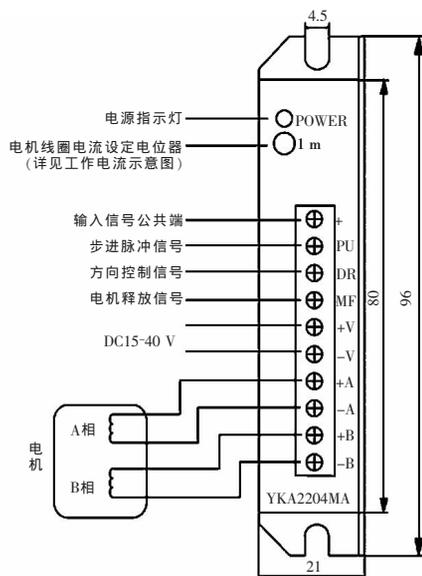


图 4 步进电机驱动器连线图

动速率，主要是通过信号的上升沿来驱动电机工作；DR——方向控制信号，用于控制电机的转动方向，当 DR 为高电平时电机正转，当 DR 为低电平时电机反转；MF——电机施放信号，也是电机驱动工作的使能信号，当需要驱动电机工作时或需要步进电机自锁时该信号为高电平，当需要释放电机驱动器时该电平为低电平，必要地释放电机驱动器可以有效降低能量消耗并减少产生不必要的热<sup>[3]</sup>。

电平转换芯片采用 74LVX4245，它是带三态门的 8 通道双向转换与接收器。它可以把 5 V 与 3.3 V 电平进行有效转换。它通过 T/R 引脚来控制信息传递方向。它的转换电流为在 5 V 电平小输出 24 mA，在 3.3 V 电平小输出 12 mA<sup>[4-5]</sup>。

本系统采用的液晶是字符型液晶 LCD1602，它是一种用 5×7 点阵图形来显示字符的液晶显示器，可以显示 2 行 16 个字符。它的工作电压为 4.5~5.5 V，工作电流为 2 mA<sup>[6]</sup>。

它一共有 16 个引脚，具体如下：

第 1 脚：VSS 为电源负极，接 GND；

第 2 脚：VDD 为电源正极，接+5 V；

第 3 脚：VL 为液晶显示器的对比度调整端，过高的对比度会产生“鬼影”，一般在电源与地之间接入 10 K 可调电阻，把引出端接入 VL 来调整对比度；

第 4 脚：数据/命令选择端，高电平时数据端输出数据，低电平时数据端输出命令；

第 5 脚：读写控制端，高电平为读操作，低电平为写操作；

第 6 脚：使能端，由高跳变为低电平时，LCD 执行命令；

第 7~14 脚：D0~D7 为 8 位双向数据线，用来传输数据和命令；

第 15 脚：背光电源正极；

第 16 脚：背光电源负极。

用户按键通过中断方式使控制器响应，进入中断后通过查询方式确认用户按下的是哪个键。具体用户按键电路如图 5 所示。

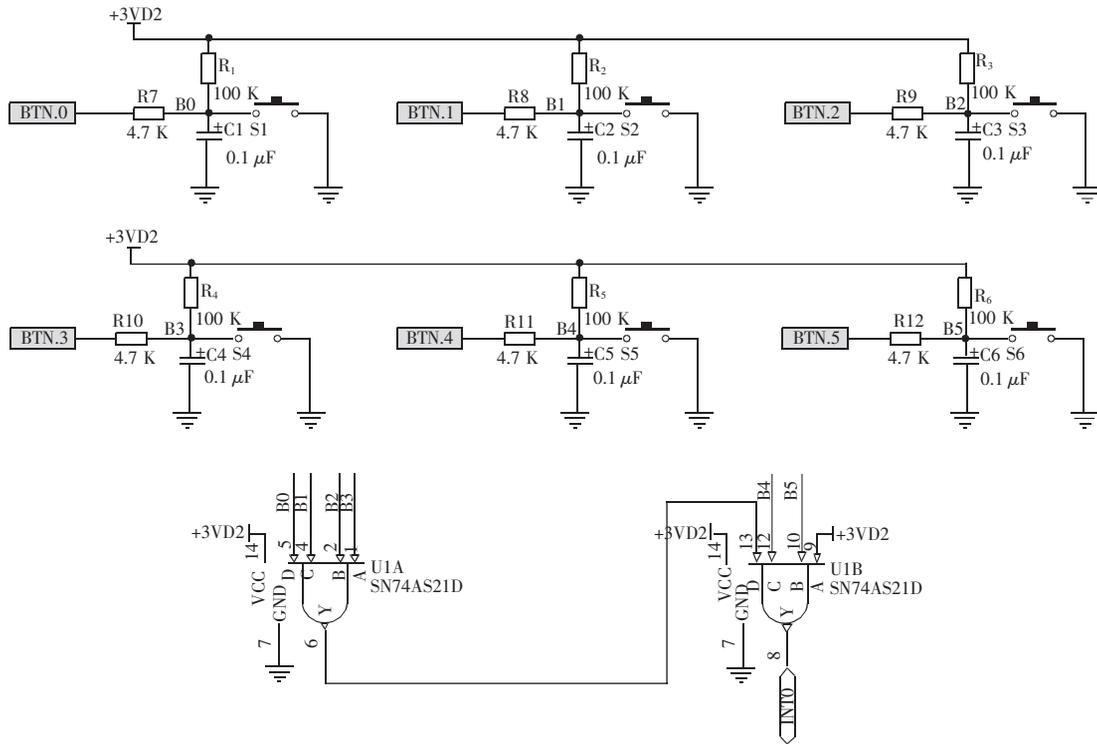


图5 用户按键电路图

### 4 专检软件程序设计

专检设备软件程序流程图如图6所示。首先，软件先进行初始化，对单片机晶振、I/O接口、外部

中断、定时器、UART、液晶显示模块进行初始化；然后，液晶显示模块进入等待状态；关闭电机驱动器的输入端，等待中断出现。

在中断出现后首先判断是否为UART中断，如

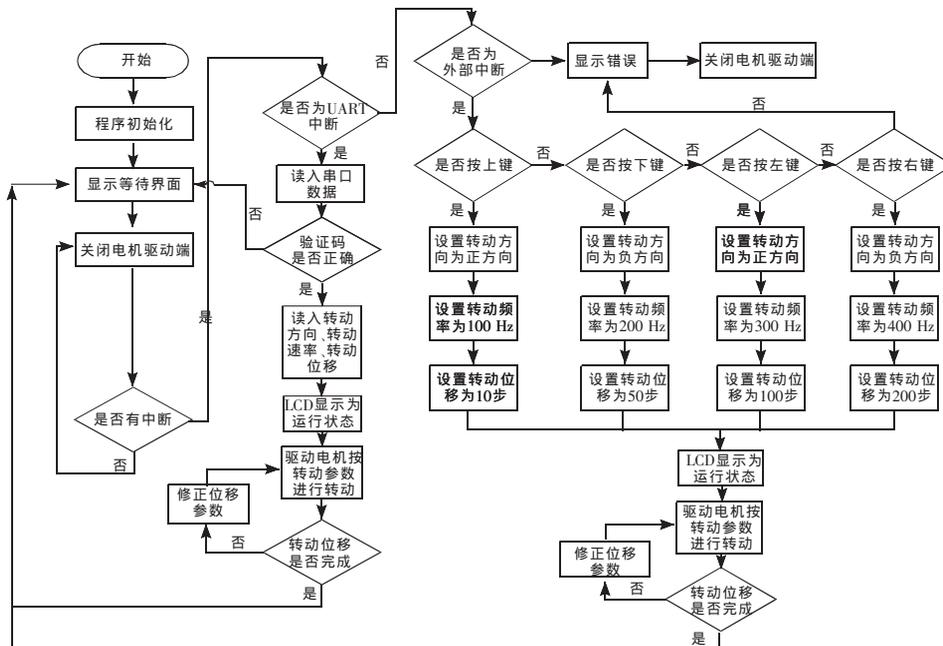


图6 专检设备程序软件流程图

果是 UART 中断就先读入 UART 输入的数据, 判断其验证码是否正确。如果不正确就进入显示等待模式界面, 如果正确就顺序读入转动方向、转动速率、转动位移信息; 然后, 在 LCD 显示模块上显示进入运行状态; 以当前的转动方向和转动速率向目标转动 1 步, 判断是否达到转动的目标位移。如果达到目标转动位移就进入等待显示界面, 如果目标转动不够则调整目标位移量, 然后重新执行转动并再次判断。

在中断中如果不是 UART 中断, 则判断是否为外部中断, 如果不是外部中断则在 LCD 上显示错误, 等待用户更正。如果是外部中断则判断用户按下了哪个按键, 如果用户按下的是“上”, 则设置转动方向为正, 转动速率为 100 Hz, 转动位移为 10 步; 如果用户按下的是“下”, 则设置转动方向为正, 转动速率为 200 Hz, 转动位移为 50 步; 如果用户按下的是“左”, 则设置转动方向为正, 转动速率为 300 Hz, 转动位移为 100 步; 如果用户按下的是“右”, 则设置转动方向为正, 转动速率为 400 Hz, 转动位移为 200 步; 然后, 在 LCD 显示模块上显示进入运行状态; 以当前的转动方向和转动速率向目标转动 1 步, 判断是否达到转动的目标位移。如果达到目标转动位移就进入等待显示界面, 如果目标转动不够则调整目标位移量, 然后重新执行转动并再次判断。

## 5 系统检测与数据分析

为了验证地面专检设备的正确性、有效性和控制程序是否满足系统要求, 焦平面偏流角调整机构专检设备连接电机后, 通过读入编码器的数值来测

试专检设备的工作情况。具体实验结果如表 1, 表 2 所示。

表1 专检设备位置测试结果

理论位置 (°)	实际位置 (°)	误差 (°)
720	720.1	0.1
2 160	2 163.8	3.8
5 400	5 404.8	4.8

表2 专检设备速度测试结果

理论速度 (°/s)	实际速度 (°/s)	误差 (°/s)
90	90.2	0.2
180	178.4	1.6
270	272.4	2.4

通过表 1, 表 2 可以看出, 星载一体化焦平面偏角调整机构专检设备具有控制性能优良、精度高等特点, 可以满足地面实验要求。

## 6 结 论

星载一体化调焦机构专检设备在地面高精度像移补偿实验设备中占有极为重要的地位, 对保证相机地面实验的有效性有着重要意义。本文介绍的焦平面偏流角调整机构专检设备具有以下几个优点:

(1) 控制精度高, 可以有效地模拟在轨运行时调焦机构电机的工作状态。

(2) 可靠性高, 该地面专检设备具有过流保护、欠压保护等多种保护措施, 可以有效地保护电机免受损害; 另外该设备内部加入了看门狗和故障模式, 对软件上的错误可以自行进行纠正。

(3) 结构紧凑, 体积小、重量轻。本系统尽量采用集成技术, 不仅提高了系统的可靠性, 还使专检设备的体积和重量都大大降低。

## 参考文献

- [1] 王书新, 李景林, 刘磊, 等. 大尺寸焦平面空间相机调焦机构的精度分析[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(10): 2439-2443.
- [2] 安源, 齐迎春. 空间相机直线调焦机构的设计[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(3): 609-614.

- [3] 王家骥. 光学仪器总体设计[G]. 长春: 长春光学精密机械与物理研究所研究生部教材, 1998.
- [4] 张保, 许艳玲, 朱红永, 等. 基于单片机的步进电机控制系统及串行通信设计[J]. 上海电器技术, 2008, 4(1): 48-52.
- [5] 林煜, 唐依珠. 三轴步进电机控制系统[J]. 现代电子技术, 2008, 12(1): 176-177.

作者简介: 徐拓奇 (1980-), 男, 吉林长春人, 博士, 助理研究员, 2010年于中科院长春光机所获得博士学位, 主要从事星载一体化电源系统和载荷地面检测设备等方面的研究。E-mail: xubuoqi@126.com

## Fiberguide 超大芯径光纤助力某重点大学国家实验室激光雷达项目

近日, 华中某重点大学国家实验室激光雷达项目采用Fiberguide 公司 FS1500/1650N 超大芯径石英光纤, 并且顺利通过设备验证, 于9月份通过内部验收。该激光雷达项目的顺利验收将填补国内空白, 在保密通信、气象预报、环保监控、航空航天等多项领域发挥重要作用。

激光雷达具有时空分辨率高、探测灵敏度高、不存在大气探测盲区等诸多优点, 已成为大气探测的重要手段, 在大气科学、气候变化、天气预报、空间物理和空间环境监测等领域获得了广泛应用。其中大气探测激光雷达按高度可分为低、中、高层激光雷达, 分别用于探测指定的大气层段, 在航天、环保、气象、航空和国防中有重要的技术应用。

该激光雷达项目存在3个技术难点: 1. 如何高效收集特定波段微弱到光子量级的信号; 2. 如何稳定可靠、方便灵活地传递信号; 3. 如何传输大光斑信号。该项目负责老师进行了广泛的市场调研, 向兄弟单位学习借鉴后, 决定与 Fiberguide 公司合作, 采用1 500  $\mu\text{m}$  超大芯径石英光纤方案, 完美地解决了以上问题。在项目前期阶段, Fiberguide 公司提供多种石英光纤解决方案供项目组专家比较, 在反复技术磋商中, 各位专家对 Fiberguide 产品、技术、服务并不了解到有一定的认知并最终确定 Fiberguide 为光纤供应商; 在随后的设备验证阶段, 专家们则对 Fiberguide 产品的产品质量、技术能力、专业服务有了充分认识。

项目组研究人员说, 与其他光纤厂商不同, Fiberguide 公司能够完全领会项目组的技术目的, 提供完整光缆技术方案, 保证各项关键指标参数, 提供“按需定制”的技术服务。项目负责人评价道, “Fiberguide 产品‘物有所值’, Fiberguide 不愧是‘提供完整光纤技术解决方案’的光纤供应商。”