文章编号 1674-2915(2010)02-0133-07

基于 LabVIEW 的空间相机试验测控系统设计

梁九生[1,2],吴清文[1],黄 涛[1,2]
(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院,北京 100039)

摘要:在 LabVIEW 开发环境下,基于虚拟仪器和 PXI 总线,采用 National Instrument(NI)公司的数据采集卡,设计了一个空间相机试验测控系统,实现了硬件设计和软件功能。该系统具有多个通道,可测试温度、应力、应变等多种参数,能实现测控参数设置、数据采集与处理、数据及曲线显示、信号分析与处理、远程通信等多种功能。在某空间相机分系统热平衡试验中,用于测试、控制 36 个热敏电阻测温点和 14 个热电偶测温点的温度。结果表明,系统达到了 0.5 ℃的控温要求;热电偶的标定和标准水银温度计的比对结果表明,本系统测温精度可达到 0.15 ℃。与传统的文本语言相比,利用 LabVIEW节省了大约 80% 的时间。本系统具有延续开发能力和可移植性,其设计方法能为其它测控系统的开发提供参考。

关 键 词:空间相机;测控系统;LabVIEW;PXI;虚拟仪器;多通道;多参数
中图分类号:V475.2; V416 **文献标识码**:A

Design of measurement and control system in space camera test based on LabVIEW

LIANG Jiu-sheng[1,2], WU Qing-wen[1], HUANG Tao[1,2]

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130033, *China*;
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100039, *China*)

Abstract: On the basis of technologies of virtual instruments and a PXI bus, a measurement and control system including its hardware buildup and software realization in LabVIEW was designed to measure and control multicenter physical parameters in a synchronization method in a space environment test. By using National Instrument(NI) multicenter data acquisition(DAQ) devices, the system has the functions of measuring and controlling parameter setting, data acquisition and processing, data and chart displaying, signal processing and analyzing and remote communication *etc*. It was successfully used in a thermal balance test of space camera subsystem to measure and control the temperatures of 36 thermistors and 14 thermocouples, and the experimental results show that it can meet the needs of an automatic temperature control accuracy in 0.5 ℃ and measuring accuracy in 0.15 ℃. As compared with traditional text languages, the system design economizes

收稿日期:2010-01-07;**修订日期**:2010-03-25
基金项目:中国科学院"优秀博士学位论文、院长奖学金获得者科研启动专项基金"资助项目

much time and can be applied in other related experiments and developments further. The designing method provides some references for the designs of other measurement and control systems.

Key words: space camera; measurement and control system; LabVIEW; PXI; virtual instrument; multichannel; multicenter parameter

1 引 言

空间相机是空间遥感领域最重要的有效载荷,它在太空的工作环境条件与地面大为不同,多涉及真空、冷黑空间、太阳辐照、粒子辐照、磁场、静电场、微重力等环境,其中真空、冷黑空间和太阳辐照环境最为重要,它们会直接影响到空间相机的热性能、电性能和力学性能。为保证空间相机能在上述环境下正常工作,必须进行热控制,使其各部分温度保持在仪器正常工作温度范围内[1]。为了验证相机热设计的正确性、检验组件的热性能,考核热控系统对在轨飞行热环境的适应能力及确定最佳热控参数,在研制过程中须进行充分的地面模拟试验[2]。

空间相机的地面模拟试验主要包括力学环境模拟试验、模态试验、热试验等,其中热试验占了相当大的份量,主要包括热平衡试验、热真空试验和热循环试验(包括老练热试验)。在这些试验中,准确地测控相关参数尤为重要,因此,对仪器智能化要求也越来越高,通常采用虚拟仪器。本文采用 NI 公司的硬件设备,结合 LabVIEW 开发环境和 PXI 总线技术,突破传统仪器在数据处理、显示、传送、处理等方面的限制,设计了一个稳定、可靠的多参数综合测控系统。

2 系统总体设计

2.1 测控系统基本原理

完整的测控系统由传感器、信号调理部分、数据采集卡、系统总线、计算机等构成。如图 1 所示,传感器用于获取测控对象的有用信息,并转换为适于测量的变量或信号。信号调理部分用于对传感器输出的信号做进一步加工处理,包括对信号的转换放大、滤波、隔离、线性化等。然后,通过接口总线把采集卡采集到的数据传到计算机,由计算机软件控制信号的采集及相关控制命令的发送,完成系统测控[3]。

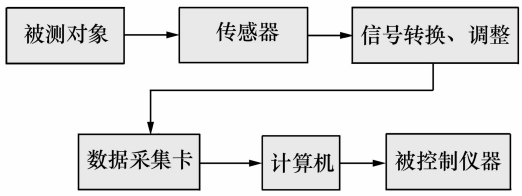

图 1 测控系统原理示意图

Fig. 1 Principle of general measurement and control system

2.2 PXI 总线技术

PXI 总线以 CompactPCI 为基础,由具有开放性的 PCI 总线扩展而来。PXI 总线符合工业标准,在机械、电气和软件特性方面充分发挥了 PCI 总线的全部优点,其构造类似于 VXI 结构,但它的设备成本更低、运行速度更快、体积更小。基于 PCI 总线的软硬件均可应用于 PXI 系统中,从而使 PXI 系统具有良好的兼容性。PXI 还有高度的可扩展性,其传输速率已达到 132 Mbit/s(最高为 500 Mbit/s),是目前已经发布的最高传输速率。PXI 的设计吸取了 PCI 规范的优点,增加了多种触发、同步信号,又足够坚固,完全符合工业应用的要求。目前,基于 PXI 总线的仪器硬件已广泛地应用于通信领域、汽车测试、半导体测试、功能性测试、航空设备测试以及军事方面。

2.3 系统的虚拟仪器结构

目前,以 LabVIEW 图形化软件为开发环境的虚拟仪器已经比较成熟,它是以计算机为基础,软件为核心,配以相应的硬件(如数据采集卡),完成高度智能化的信号采集调理、数据测试分析、仪器控制等众多功能的高新仪器技术。在虚拟仪器系统中,硬件用于控制信号的输入、输出,软件是整个仪器系统的关键。

本文所述系统,利用了虚拟仪器技术和 PXI 总线的优点,虚拟仪器基本构成如图 2 所示,以 PXI 标准总线仪器与计算机为仪器硬件平台组成数据采集系统,以 GPIB 标准总线仪器与计算机为仪器硬件平台组成控制系统,从而达到测试、控制相关参数的目的。

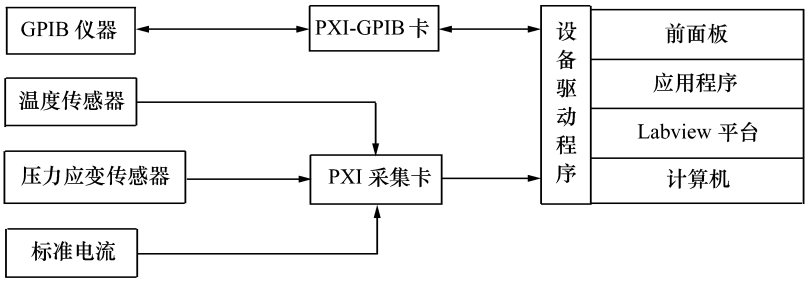

图 2　虚拟仪器结构

Fig. 2　Component mode of virtual instrument

3　系统硬件设计

3.1　空间相机试验中传感器的选择

空间相机是长时间对地观测卫星的主要有效载荷之一,卫星的轨道寿命与任务性质决定了它必须在严酷的空间环境下具有可靠的光学性能。在发射卫星之前要对空间相机做很多试验,试验中传感器的精度直接影响相关参数测控精度,因此合理选择相关传感器十分重要。本系统在试验中主要测控温度、应变等参数,设计时需合理选择温度传感器和力学传感器。

3.1.1　温度传感器

目前国际上在航天器研制中所用的温度传感器主要有热电偶和热敏电阻两种。热电偶稳定性好、价格便宜、工艺实施方便,在地面试验中被大量采用,但由于需要进行冷端补偿,其测温精度受冷端校准精度影响较大。当航天器在轨运行时,冷端补偿方式较难实现,而且热电偶因温度变化所产生的电信号反应较为微弱,易受干扰,克服该问题所需的星上电路复杂,存在较大偏差。此外,热电偶的测温偶丝容易受损折断,其可靠性较热敏电阻低,因此在航天器的在轨运行中很少采用热电偶。与热电偶相比,热敏电阻精度高、可靠性高,但价格昂贵,对温度的反应有一定的滞后。由于在航天器的应用中,保证测量精度和高可靠性最为重要,且在轨温度的监测主要侧重于稳态温度水平,因此热敏电阻具有一定的优势,目前国内外航天器上用于飞行试验的温度传感器主要采用热敏电阻[4]。本系统主要用于地面试验,综合两种传感器的优缺点,同时选用了热电偶传感器和热敏电阻传感器两种温度传感器来测试相关位置点的温度参数。

3.1.2　力学传感器

力学传感器是利用材料受力变形后电阻值发生变化的原理制成的敏感元件。电阻应变式传感器由弹性敏感元件和电阻应变片组成,测量时将电阻应变片安装在弹性敏感元件上,弹性敏感元件受压时其表面会出现变形,致使其表面所附的电阻应变片随着产生应变,通过测量此时电阻应变片的电阻值的变化,可以测量应变、应力等各种参数。应变式传感器常用的测量电路有单臂电桥、差动半桥和差动全桥,其中差动全桥可提高电桥的灵敏度,消除电桥的非线性误差,并可消除温度误差等共模干扰。应变式传感器和其它类型传感器相比,具有测量范围广、精度高、输出特性好、性能稳定、工作可靠以及能在恶劣环境下工作等优点,因此,本系统采用电阻应变式传感器测控相关力学性能参数。

3.2　系统的硬件设计

根据温度传感器和力学传感器的优缺点,考虑到系统的功能需求和成本因素,并兼顾系统的扩展性和再开发能力,采用了 NI 公司的 PXI 系列硬件,整个系统框图如图 3 所示,包括 PXI1042Q 机箱、PXI8106 主控制器、PXI6280 数据采集卡、SCXI 信号调理模块、SCXI 接线端子等。系统中

各个传感器测量到的信号,经过 SCXI-1001 信号调理模块进行放大、滤波、隔离等处理后,由计算机软件控制数据采集卡 PXI6280 采集相关数据,再根据采集到的数据发出相关指令控制仪器。其中,SCXI 信号调整模块通过 SCXI-1349 电缆和 PXI6280 数据采集卡连接起来,再用 MX-2 光缆(长 200 m)把 PXI8106 主控制器和相关计算机连成网络,来实现远程控制。机箱上插有 PXI-GPIB 卡,通过电缆连接 GPIB 设备,控制相关仪器。系统具有很好的扩展性,可根据需要购买不同的板卡插在机箱的扩展槽上添加相关仪器,实现不同仪器的测控,从而降低系统开发成本。

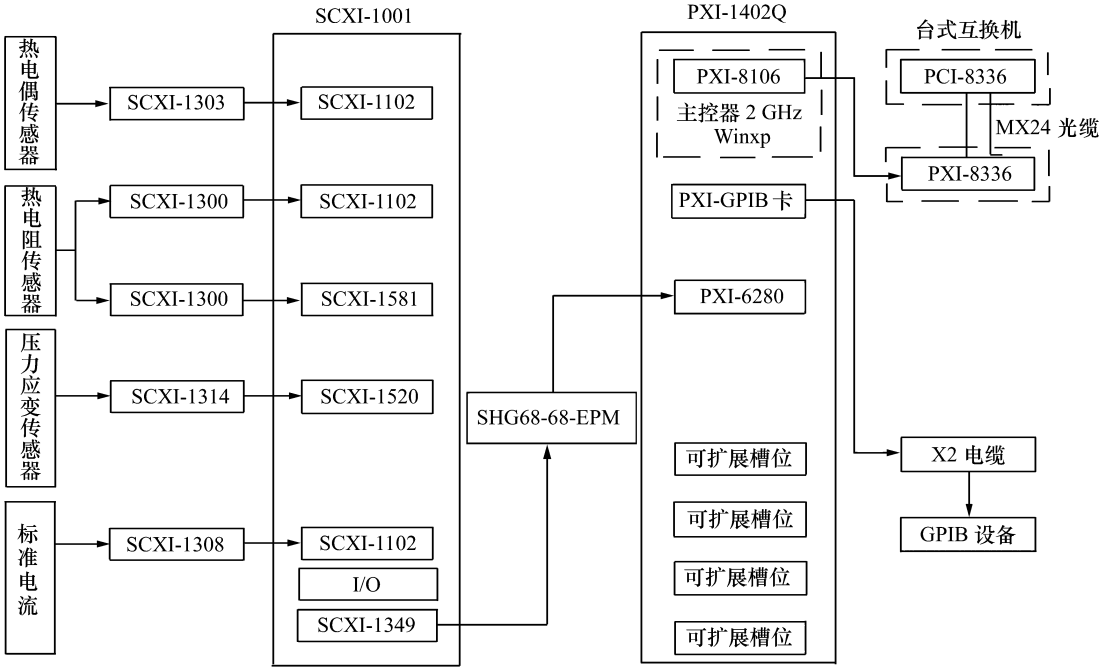

图 3 多参数综合测试与控制系统框图

Fig. 3 Illustration of measurement and control system for multicenter parameters

其中,热电偶采用了精度高、稳定性好、反应快的铜-康铜热电偶(T 型),其连线采用二线制。该设备是根据试验所需长度,参照有关技术规范自行制作的,使用前按照相关技术规范进行严格的标定和筛选,共有 5 个 32 通道 SCXI-1303 和 SCXI-1102 接线端子,可同时测试 160 个热电偶测温点的温度。

热敏电阻采用成都宏明电子股份有限公司生产的标准热敏电阻器,其连线采用四线制,其中 SCXI-1581 提供 100 μA 激励电流源,可同时测试 64 个热敏电阻器测温点的温度。热敏电阻的阻温特性系数 A,B,C 是根据 Steinhart-Hart 公式:

$$1/T = A + B(\ln R) + C(\ln R)^3 \quad (1)$$

用 Matalab 进行曲线拟合。式(1)中 T 为开氏温度,R 为温度 T 时的电阻,A,B,C 是要确定的系数。表 1 是 MF761 热敏电阻用 Matalab 曲线拟合出来的系数 A,B,C。

表 1 MF761 热敏电阻的阻温特性

Table 1 Temperature characteristics of MF761 thermistors

参数代号	A	B	C
参数值	0.001 055	0.000 272	9.176E-08

系统使用两套 SCXI-1314 和 SCXI-1520 可同时测试 16 个应变式传感器的应变值,并能通过 32 通道 SCXI-1308 和 SCXI-1102 测试标准电流。在 LabVIEW 温度采集程序中根据热电偶的类型和热敏电阻的阻温特性系数进行初始参数设置,而应变片可根据具体情况选择全桥、半桥、1/4 桥等桥式电路,配置相关初始参数。

4　系统软件

系统所有程序采用实验室虚拟仪器集成环境（Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench，LabVIEW），LabVIEW 是 NI 公司的创新软件产品，可提供便捷、轻松的图形化设计开发集成环境。

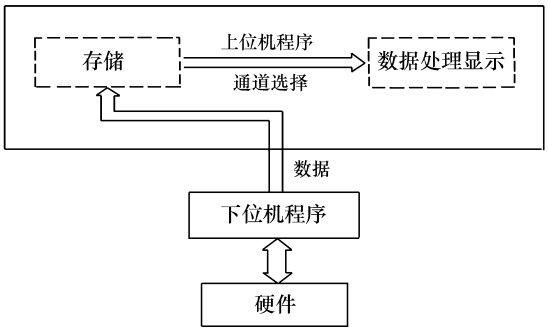

图 4　系统软件流程图

Fig. 4　Flow chart of software system

整个系统软件程序流程如图 4 所示，下位机程序包括温度、应变、电流数据的测试程序和仪器的控制程序；上位机程序为数据的处理显示程序。考虑程序的通用性，所有数据的存储文件都保存为数据库文件，利用 LabSQL 工具包和数据库连接；采用了 LabVIEW 的状态机结构和生产消费者模式编写数据采集和处理显示程序，并根据网络共享相关数据实施数据处理和过程监控。

LabVIEW 采用直观的前面板与流程图式的编程技术，设计者只需将虚拟仪器所需的显示窗口、按钮、数学运算方法等控件从 LabVIEW 工具箱内用鼠标拖到面板上，布置好布局，然后在 Diagram 窗口将这些控件、工具按设计的虚拟仪器所需要的逻辑关系，用连线工具连接起来即可。图 5为数据采集程序框图的一部分。

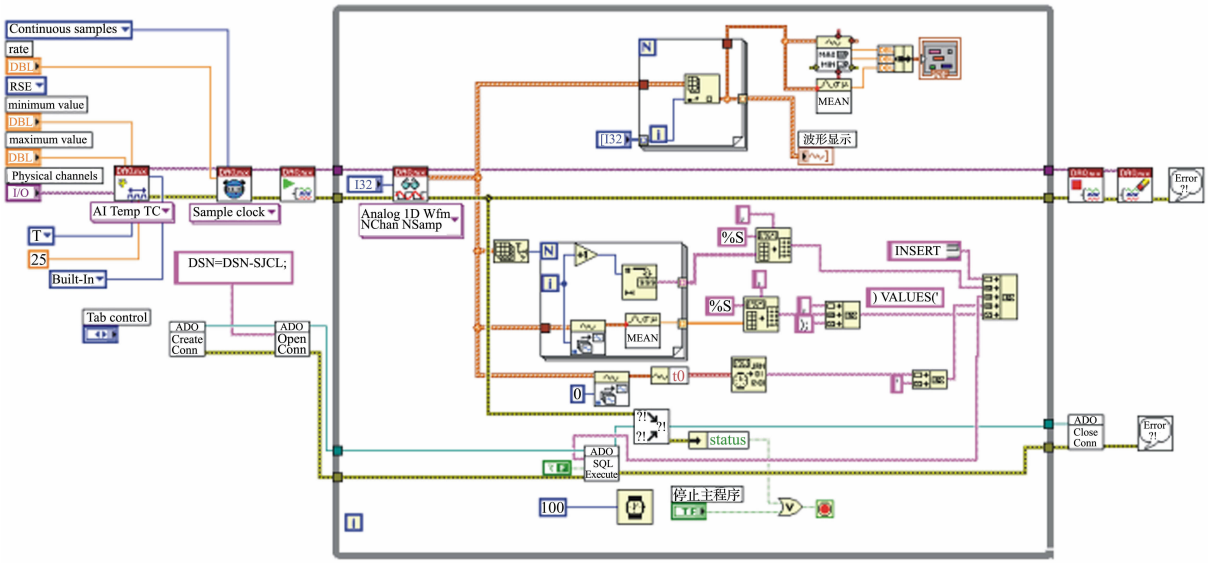

图 5　数据采集程序部分框图

Fig. 5　Block diagram of DAQ system

仪器控制程序用 VISA（虚拟仪器软件结构）和 SCPI 标准命令语言与计算机通讯，这是因为 VISA 是在 LabVIEW 平台上控制各种仪器的标准 I/O 应用程序接口（API），具有与仪器接口无关的特性，可以不考虑仪器的驱动软件。

5　系统工程应用

5.1　试验简介

本系统用于在某空间相机分系统热平衡试验

中测试36个热敏电阻测温点,14个热电偶测温点的温度,然后通过可编程电源控制加热器的功耗来控制相关测温点的温度。

该空间相机分系统主要由正视相机、前视相机、后视相机、多光谱相机、测绘基座、电气机箱等组成。试验主要目的是为了验证热设计的正确性和热控指标的合理性,同时考核相机在温控指标范围内的成像特性,具体分为:低温稳态、低温拉偏、高温稳态、高温拉偏4个工况。

5.2 试验结果分析

试验前按照相关标准标定了热电偶,对比标定结果和标准水银温度计测试值可知,系统的测温精度可达到0.15 ℃。以低温稳态工况测绘相机的前视相机温控为例,前视相机的前镜组区、安装区和驱动电箱温控目标为(16.5±0.5) ℃。由表2可知,前视相机的前镜组区、安装区和驱动电箱平均温度分别为16.505、16.68、16.26℃,可以看出,该系统能够很好地满足测温和控温的要求。

表2 低温稳态工况测绘相机温度数据

Table 2 Temperature data of mapping camera in low temperature and stable state conditions

测温点/统计	正视相机/℃			前视相机/℃			后视相机/℃		
	11:50	15:50	温差	11:50	15:50	温差	11:50	15:50	温差
遮光罩	13.43	13.43	0.00	6.38	6.69	0.31	-1.26	-2.24	-0.98
前镜组	16.40	16.40	0.00	16.72	16.29	-0.43	16.83	16.41	-0.42
安装区	16.87	16.87	0.00	16.68	16.68	0.00	16.48	16.48	0.00
后镜组	16.02	16.02	0.00	13.97	13.56	-0.41	15.07	15.07	0.00
电箱	16.77	16.77	0.00	16.43	16.09	-0.34	16.43	16.77	0.34
CCD焦面	17.81	25.60	7.79	15.42	23.63	8.21	17.46	25.60	8.14
温度水平	16.41	16.41	0.00	15.70	15.56	-0.14	16.20	16.13	-0.07
轴向温差	-0.85	-0.85	0.00	-2.75	-2.73	0.02	-1.76	-1.41	0.35
第一物镜(热偶)	14.65	14.73	0.08	14.55	14.74	0.19	12.89	12.76	-0.13
第六物镜(热偶)	17.58	17.23	-0.35	16.99	16.66	-0.33	16.88	17.23	0.35
最后物镜(热偶)	15.06	15.10	0.04	14.46	14.47	0.01	14.23	14.61	0.38

通过对试验误差进行分析,认为可从以下几个方面提高测温和控温的精度:

(1)由于测试通道和测试参数较多,应增强软件的通用性和数据处理能力。

(2)对于热电偶,须根据试验的要求对其进行标定和筛选,并根据电路连线,合理选择软件中的补偿方式(Built In、Constant Value、Channel)。

(3)对于热敏电阻,须根据相关数据准确地拟合出3个阻温特性系数A、B、C。

(4)不管是热电偶还是热敏电阻,都应根据需要选择合理的电路连线方式。

虽然力学试验中尚未采用NI公司的这套设备,但是在硬件的验收和软件的开发测试中,已经经过多次测试,结果表明本系统能够满足预定要求。

6 结 论

本文采用NI的PXI硬件设计了一个多参数综合测控系统,该系统通过PXI总线控制相关仪器,能精确地测试相关位置点的温度、应变、电流等参数。由于不论是软件和硬件均与具体试验系统无关,该系统简单易行,具有很强的通用性。与传统的文本语言相比,利用LabVIEW图形化软件开发相关程序,节省了大约80%的时间,又有直观的前面板,通过局域网、PXI总线控制相关仪器,体现了“软件就是仪器”的虚拟仪器技术。经过试验验证,该系统能够很好地满足空间相机环境试验中对温度等参数的自动测控要求,具有延续开发能力和可移植性,其设计方法能为其他测控系统的开发提供参考。

参考文献:

[1] 郭舜,闵桂荣. 航天器热控制[M]. 北京:科学出版社,1998:59-77.
GUO SH,MIN G R. *Spacecraft Thermal Control*[M]. Beijing:Science Press,1998:59-77. (in Chinese)

[2] 柯受全. 卫星环境工程和模拟试验(上)[M]. 北京:宇航出版社,1993:62-65.
KE SH Q. *Secondary Planet Environment Engineering and Simulation Tests*[M]. Beijing: Space Navigation Press,1993: 62-65. (in Chinese)

[3] 赵庆海. 测试技术与工程应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005:33-37.
ZHAO Q H. *Test Technology and Engineering Applications*[M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2005: 33-37. (in Chinese)

[4] 张加迅,王虹,孙家林. 热敏电阻在航天器上的应用分析[J]. 中国空间科学技术,2004,24(6):54-59.
ZHANG J X,WANG H,SUN J L. Application analysis of thermistor in spacecraft[J]. *Space Sci. Technol. China*,2004, 24(6):54-59. (in Chinese)

[5] 种挺,傅星,张师伟,等. 基于应变式传感器的料位测控系统[J]. 仪表技术与传感器,2008,(1):93-96.
ZHONG T,FU X,ZHANG SH W,*et al*.. Material level measurement system based on strain gauge sensors[J]. *Instrument Technique Sensor*,2008,(1):93-96. (in Chinese)

作者简介:梁九生(1982—),男,河南周口人,硕士研究生,主要从事 CAD/CAE/CAM 技术方面的研究。
E-mail: liangjiusheng2003@ yahoo. com. cn
吴清文(1968—),男,四川简阳人,博士生导师,研究员,主要从事光学精密仪器的 CAD/CAM/CAE 及空间相机热控技术和力学性能方面的研究。E-mail:wuqw@ ciomp. ac. cn
黄涛(1983—),男,湖北宜昌人,硕士研究生,主要从事 CAD/CAE/CAM 技术方面的研究。
E-mail:aihuangtao1983@ 126. com