

文章编号: 1001 - 893X(2012)09 - 1422 - 05

## 复合材料无人机航电系统的改进设计\*

王尔申<sup>1</sup>, 张芝贤<sup>1</sup>, 雷虹<sup>2</sup>, 孙延鹏<sup>1</sup>

(1. 沈阳航空航天大学 电子信息工程学院, 沈阳 110136; 2. 电磁环境效应航空科技重点实验室, 沈阳 110035)

**摘要:**以复合材料无人机的航电系统为研究对象, 根据无人机整体设计要求, 设计满足需求的航电系统。该系统以自动驾驶仪为控制核心, 采用内部集成的 A/D 转换器采集工作电压, 实时监测无人机的电源电压; 内部集成的姿态测量系统和 INS/GPS 组合导航系统, 采集无人机的姿态与位置数据; 通过串口与无线数据电台相连, 实现无人机与地面控制站之间的通信; 通过 I/O 口连接超声波测距仪, 实时测量无人机与地面的相对高度; 其输出的 RS485 控制信号与各个舵机等执行部件相连, 实现对无人机执行部件的控制。该复合材料无人机的航电系统功能齐备, 采用模块化设计, 接口方便。在此硬件平台上开发控制算法, 可满足本复合材料无人机系统的工作要求。此外, 给出了航电各子系统间的布局、电缆敷设的优化方法, 并对航电系统联合调试需要注意的问题进行了讨论。

**关键词:**复合材料无人机; 航电系统; 电缆敷设; 机载传感器; 数据链; 电磁兼容性设计

**中图分类号:** V243      **文献标志码:** A      doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2012.09.002

## Improved Design of Avionics for Composite Material UAV

WANG Er-shen<sup>1</sup>, ZHANG Zhi-xian<sup>1</sup>, LEI Hong<sup>2</sup>, SUN Yan-peng<sup>1</sup>

(1. School of Electronic Information and Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China;  
2. Electromagnetic Environment Effect Top Laboratory of Aviation Industry, Shenyang 110035, China)

**Abstract:** According to the overall design requirements of UAV (Unmanned Aerial Vehicle), the avionics system is designed to meet low cost needs by using the avionics system of composite material UAV as object. The whole system uses autopilot as the control core of the avionics, and uses the internal integrated A/D converter (ADC) to collect operating voltage. The voltage signal is used to monitor the battery voltage value in real time. The internal integrated AHRS (Attitude and Heading Reference System) and INS/GPS system are adopted to collect the status and position data of UAV. The wireless digital radio connected to the autopilot by serial communication port is applied to achieve data transmission between UAV and ground control station. The ultrasonic rangefinder connected to the autopilot by I/O port measures the relative altitude to the ground for UAV in real time. The steering engines are controlled through the RS485. The avionics system of the composite material UAV has many advantages, such as its full-featured, modular design and conveniently extendable interface and so on. In order to meet the requirements of avionics for the UAV, the appropriate control algorithm can be applied on this hardware platform. In addition, optimization methods for layout and cable routing are discussed. The problems need to be paid attention to during the associated debugging of the avionics are given.

**Key words:** composite material UAV; avionics system; cable routing; airborne sensor; data link; EMC design

### 1 引言

无人飞机(UAV), 包括无人作战飞机(UCAV)是当今世界军用武器发展的一个热点, 同时其在民用

领域亦有广阔的应用前景。无人机正朝着微型化、长航时、中高空作业、太阳能供电等趋势发展。高效、可靠的数据传输系统, 通用的地面控制系统, 机

\* 收稿日期: 2012-03-12; 修回日期: 2012-05-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61101161); 航空科学基金项目(2011ZC54010); 辽宁省博士启动基金项目(20101081); 沈阳航空航天大学博士启动基金项目(10YB01)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China(61101161); The Aeronautical Science Foundation of China(2011ZC54010); The Startup Foundation for Doctors of Liaoning Province(20101081); The Startup Foundation for Doctors of Shenyang Aerospace University(10YB01)

载通信情报侦察系统高性能的任务载荷设备都是无人机系统研究的热点技术<sup>[1]</sup>。由于无人机具有的低成本、轻结构、高隐身、长航时等特点,决定了其对复合材料有特殊的需求。在各种无人机上几乎无例外地大量使用了复合材料,如美国的“捕食者”除机身大梁外全机由复合材料制成,著名的高空长航时无人侦察机“全球鹰”除机身主结构外,其余均由复合材料制成,包括机翼、尾翼、大雷达罩等部件<sup>[2]</sup>。

随着复合材料技术的发展,特别是先进复合材料,具有比强度高、比刚度高、耐腐蚀、疲劳性能好、可设计性强等一系列独特的优点,使得复合材料在无人机结构设计上起到了不可代替的至关重要的作用。

航空电子系统作为无人机重要的组成部分,其性能的好坏是无人机能否安全飞行、完成预定任务的关键。随着电子技术、计算机、信号处理以及微电子机械(MEMS)等技术的飞速发展以及无人机技术的不断发展,无人机航电系统正朝着智能化、模块化、综合化和高性能化的方向发展<sup>[3-5]</sup>。

本文结合复合材料无人机总体指标要求:具备自主起飞、自主安全着陆功能;具有手动、自动控制功能;具备实时保持与地面进行通信等性能,以减少机载设备的重量、体积、成本和提高飞行的整体性能为设计原则,对其中的航电系统深入分析的基础上进行了改进设计,并针对复合材料是一种非金属材料,具有特殊的电磁性能,对航电系统各设备的安装、电缆

敷设以及系统联合调试等相关问题进行了探讨。

## 2 航电系统的整体设计

复合材料无人机航电系统采用综合模块化设计思想,其功能主要实现对各种通信传感器的控制管理,接收各种导航传感器的导航数据,并根据飞行任务实现对执行机构的控制管理,确保无人机安全飞行,并完成规划任务。为了满足上述功能,其组成主要包括三大部分,即电源系统、机载系统(飞控系统、GPS 导航接收机、舵机、数据链路终端)和地面站系统<sup>[6]</sup>。其中,电源系统为无人机航电系统提供合适的电压;飞控系统根据 GPS 导航信息控制伺服机构进行飞行控制,再通过集成的速度压力传感器、高度压力传感器、三轴陀螺和加速度计等传感器测得的数据通过数据融合算法得到飞机姿态,如飞行速度、高度、航向、俯仰角、滚动角等,不断对伺服机构进行调整,控制飞机按照预定的航线进行飞行;地面站系统包括地面控制站(数据链路终端、地面站硬件及配套软件),主要负责配置自动驾驶仪参数、规划飞行任务、显示航路点和实时修改任务规划、监视飞行姿态位置以及分析飞行数据等。系统各个组成部分通过相应的总线进行通信,机载系统与地面系统之间通过无线数据链路进行通信。其系统组成框图如图 1 所示,本文重点讨论机载航电系统的设计。

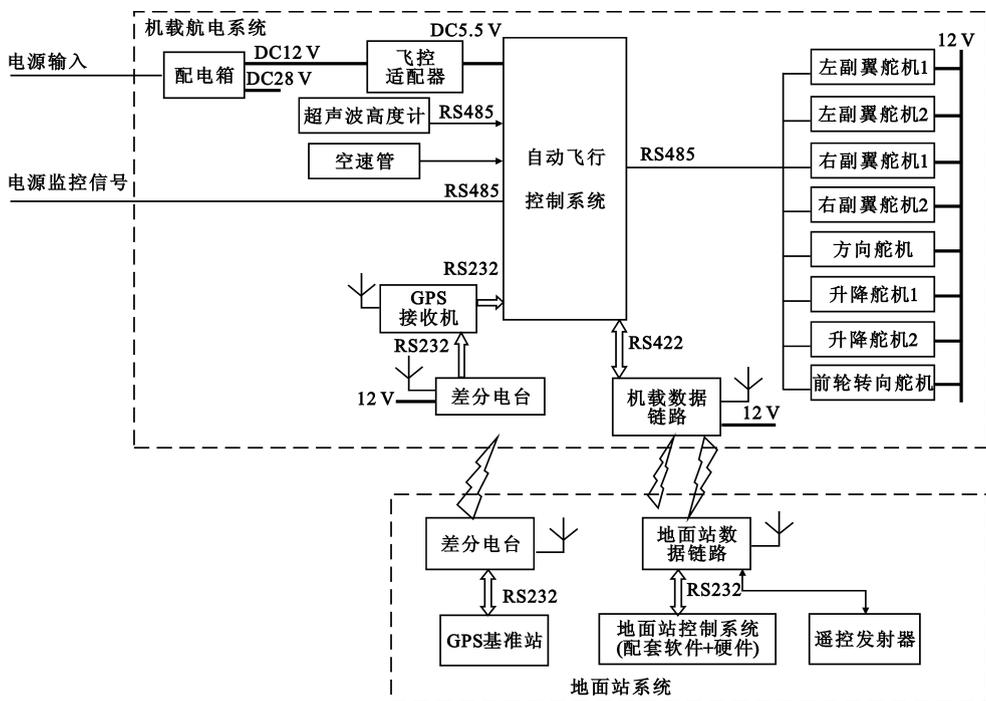


图 1 复合材料无人机航电系统原理框图

Fig. 1 General architecture of the avionics system for composite material UAV

## 2.1 航电系统电源的设计

电源为无人机机载设备提供正常的工作电压。机载系统中电子设备的种类繁多,设备内部电路的供电需求也各异。另外,考虑系统设备工作的稳定性和可靠性需要,设计中将大电流与小电流设备的电源分别供电。因此,需要多个电源转换器进行电压转换。本电源电路其中一路将锂电池输出的28 V电压通过开关电源转换为12 V电压,采用线性稳压器,得到5.5 V电压提供给飞控系统、超声波高度计等设备作为电源。另一路将锂电池输出的28 V电压通过开关电源转换为12 V电压,为各种舵机供电。同时,本系统在电源设计时采用滤波和吸收方法来抑制电源引入的干扰<sup>[7]</sup>,电源系统框图如图2所示。

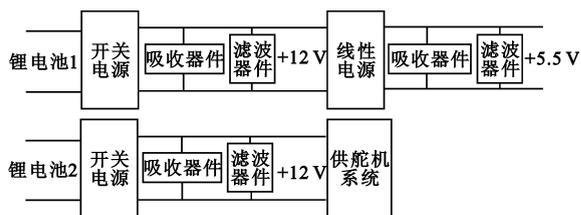


图2 无人机航电系统电源设计原理  
Fig.2 Design principle of power for UAV

根据无人机的飞行任务要求,针对航电系统中各个模块设备的工作状态,对其耗电情况进行理论分析和计算。为了安全起见,在满足飞行任务要求的前提下,锂电池的容量留有30%的余量。选定锂电池参数特性为30 AH、28 V、5.4 kg。此外,由于复合材料自身导电性能较差,无法将其作为机载供电电源的负母线,在进行电源布线设计时需要将单线制供电方式设计为双线制供电方式。

## 2.2 自动飞行控制系统的设计

自动飞行控制系统选用的是STA3X自动驾驶仪系统,该系统集成了姿态航向参考系统(AHRS)和INS/GPS组合导航模式,是无人机航电系统的核心部分,用于接收各种传感器的数据,通过相关控制算法得到舵机控制参数,实现对无人机的实时控制;并接收数据链路的数据,接受地面站的指令控制飞行;并将飞行的飞行状态通过数据链传递给地面站。该自动驾驶仪为用户提供了良好的控制律开发环境。其系统硬件采用工业级TI系列DSP处理器、集成24 bit ADC、三轴速率陀螺、三轴加速度计、三轴磁力计、双嘴空速传感器、气压高度计、5 Hz GPS接收机。此外,可选配PWM/离散信号扩展器等。系统接口

有RS-232、RS-485,可方便与舵机等其他外设进行连接。

## 2.3 舵机系统的设计

根据气动力实验提供的铰链力矩相关参数,舵机选用大功率无刷舵机DA26,该舵机最大的特点是:在恶劣的环境下,工作具有高可靠性。该舵机将无触点、无磨损、无刷电动技术相融合,降低噪声电磁干扰(EMI),提高了使用寿命和效率。控制接口选取RS-485接口,与飞控系统接口灵活,控制方便。

## 2.4 超声波传感器的设计

超声波测距传感器由自动飞行控制系统控制发出超声波,通过检测超声波发射后遇到障碍物所反射的回波,进而测出发射和接收回波的时间差,从而根据声波传输速度求出距离。超声波测距仪主要是用于无人机自动起飞和降落过程中测量无人机相对地面的高度,进而为无人机自动起飞和降落提供可靠的高度数据。本设计采用美国Senscomp公司的超声波模块600,测量精度1%,重量19 g,供电电压6~24 V,供电电流55 mA,发射超声波时要求供电电流能提供2 A的负载能力,超声波发射频率50 kHz,标称测量范围从15.24 cm~10.668 m,符合无人机在起飞、降落时对高度测量范围和精度的要求。

## 2.5 数据链路系统的设计

数据通信链路采用美国MDS的产品TransNET900的无线数传模块EL805,用于实现无人机和地面站之间的信息传输,将地面站操控终端的飞行指令、飞行路径数据等控制信息传输到无人机上,并将无人机位置、方向、飞行状态和姿态等参数回传到地面站。该模块具有接收灵敏度高、抗干扰和保密性强的特点。同时,无线数传模块EL805可进行组网设计,用于扩大监控区域。该模块工作频率900 MHz,传输速率115.2 kbit/s,工作电压6~30 V DC,接口为RS-232。

## 2.6 差分GPS定位系统的设计

无人机安全着陆是非常重要的,飞控系统自身集成的单频GPS接收机定位精度在10 m(CEP)范围内,不能满足无人机的自主起飞和自主着落要求,为了使无人机安全着陆并且精确地执行任务,根据实际需要,在本航电系统中建立了GPS差分定位系统,通过进行实时差分进一步提高定位的精度。

在此设计中,选用美国的PDL专业数传电台,基准站部分采用35 W的大功率发射电台,移动站采

用 2 W 的数据接收电台。设计中 GPS 差分接收机采用 NovAtel FlexPak - V1 做为基准站,用来生成 RTCM SC - 104 差分校正数据。GPS 差分电台和飞控系统的接口关系以及地面站 GPS 基准站和数传电台的接口如图 3 和图 4 所示。

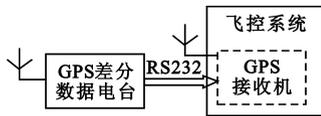


图 3 GPS 差分电台与飞控系统的接口框图  
Fig.3 Interface between DGPS and autopilot

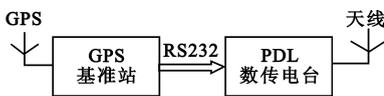


图 4 GPS 差分接收机与数传电台的接口框图  
Fig.4 Interface between DGPS and data link

### 3 航电系统设备的布局

随着电子、电气、计算机、控制理论与控制工程等科学技术的发展,飞机电子设备类型、数量和工作方式愈来愈多,频率覆盖范围不断扩展,发射功率愈来愈大,接收灵敏度愈来愈高,机上设备共用的电磁环境也越来越复杂,复杂的电磁环境对机上电子设备提出更为苛刻的电磁兼容性要求。因此,对航电系统设备的布局提出了更高的要求。

机载电子设备的安装布局要考虑工艺要求和 EMC 设计两方面的因素<sup>[6-7]</sup>。如数据链路天线反射板的合理尺寸设计。考虑到发动机点火时瞬间产生火花以及工作时产生的振动,将敏感设备比如自驾仪、超声波高度计远离发动机,并避免与大功率无线收发机靠近。无人机航电系统电缆敷设主要考虑航电飞控系统与其他系统之间的电连接关系之外,考虑满足电磁兼容性要求。着重考虑以下几点:机载航电设备的电搭接、负线板的设计与安装、静电防护、电磁辐射防护、电缆通路的合理设计和接地等<sup>[8-9]</sup>。

### 4 航电系统调试需要注意的问题

机上航电设备较多,整个系统在同一个电磁环境下正常工作,任何设备的工作都不应造成其他设计性能的下降。为此,在进行航电系统联合调试时需要考虑以下问题。

(1)检查空速传感器:用注射器和一段油管在空

速传感器上或用手指压住空速管,以产生一个正的气压,检测空速管的读数。

(2)检查超声波高度计:将安装超声波的机体举起,离开地面,超声波高度表的读数应该增加,正比于机体离开地面的高度。

(3)检查 GPS 接收机:在室外对自动驾驶仪加电,观察 GPS 接收机是否工作正常,用多长时间锁定,能够正常给出定位数据。如果接收机是冷启动,可能需要几分钟才能锁定;如果在当天已经加电,可能定位得快,约 1 min 以内。

(4)检查俯仰陀螺和滚转陀螺:将机头抬起或滚动飞机一定角度,观察其相应的读数是否正常。

(5)检查舵机:通过对机体姿态调整,观察相应舵机(包括升降舵、方向舵、副翼等)动作是否合理。

(6)检查干扰:对所有安装在飞机上的 RF(射频)发射机进行干扰检查。由于系统上安装了无线数据链路,需要检查数据链路工作时是否影响其他的传感器工作。如果舵机、自动驾驶仪等传感器工作异常,则重新考虑安装无线数据链路的的天线以消除干扰。

### 5 结 论

本文结合复合材料无人机航电系统的设计,建立了一套完整的无人机航电控制系统的工程设计方案。对无人机系统的指标进行了理论分析,以此为依据通过计算选择合适的航电设备模块,将总线技术应用在无人机航电系统的设计实践中,有利于航电系统外围设备的接口连接和功能扩展,推动了无人机航电系统小型化、智能化和模块化的发展。研究表明,无人机航电系统设计过程中要自始至终注重 EMC 的设计才能确保系统的稳定性和可靠性。本文研究的复合材料无人机的航电系统设计,对复合材料无人机的应用以及其他翼型无人机低成本航电系统的设计具有一定的意义和参考价值。在本硬件平台基础上可以进行飞控系统软件改进算法的研究等工作。

#### 参考文献:

- [1] 梁德文. 外军无人侦察机系统的发展现状和趋势[J]. 电讯技术, 2001, 41(5): 116 - 121.  
LIANG De-wen. The Present Situation and Developing Trend of Foreign Military Reconnaissance UAV[J]. Telecommunication Engineering, 2001, 41(5): 116 - 121. (in Chinese)

- [2] 陈绍杰. 无人机上复合材料的应用与研究[J]. 飞机设计, 2003(3):26-30.  
CHEN Shao-jie. Application and Research of Composite for UAV[J]. Aircraft Design, 2003(3):26-30. (in Chinese)
- [3] 朱华勇, 牛轶峰, 沈林成, 等. 无人机系统自主控制技术研究现状与发展趋势[J]. 国防科技大学学报, 2010, 32(3):115-120.  
ZHU Hua-yong, NIU Yi-feng, SHEN Lin-cheng, et al. State of the Art and Trends of Autonomous Control of UAV Systems [J]. Journal of National University of defense Technology, 2010, 32(3):115-120. (in Chinese)
- [4] 李劲. 我国未来空天飞机综合电子信息系统的展发展建议[J]. 电讯技术, 2010, 50(3):102-106.  
LI Jin. Suggestions for Developing Integrated Electronics Information System for China's Future Aerospace Plane [J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(3):102-106. (in Chinese)
- [5] 程学军. 新航行系统及其在航空电子系统中的应用[J]. 电讯技术, 2009, 49(5):101-107.  
CHENG Xue-jun. Future Air Navigation System (FANS) and its Application in Avionics Systems [J]. Telecommunication Engineering, 2009, 49(5):101-107. (in Chinese)
- [6] Rosales J J, Toledo M, Bonardi L, et al. Development of a UAV Low-Cost Navigation System Prototype for ATM Applications [C]//Proceedings of the 22nd International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation. Savannah, GA: ION, 2009: 3471-3479.
- [7] 王尔申, 胡青, 张淑芳. 基于 GPRS 和 GPS 船载终端系统的电磁兼容设计[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(3):524-529.  
WANG Er-shen, HU Qing, ZHANG Shu-fang. Electromagnetic compatibility design of terminal system for ship based on GPRS and GPS [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2008, 29(3):524-529. (in Chinese)
- [8] Goleanu A L, Guichon J M, Dunand M, et al. Design and Optimization techniques for the current return path in a composite aircraft [C]//Proceedings of the 2011-14th European Conference on Power Electronics and Applications. Birmingham: IEEE, 2011:1-10.
- [9] 王尔申, 张淑芳, 雷虹, 等. 复合材料无人机电磁兼容设计[J]. 电讯技术, 2011, 51(11):107-111.  
WANG Er-shen, ZHANG Shu-fang, LEI Hong, et al. Electromagnetic Compatibility Design of a Composite Materials UAV [J]. Telecommunication Engineering, 2011, 51(11):107-111. (in Chinese)

### 作者简介:

王尔申(1980—),男,辽宁辽阳人,2009年于大连海事大学获博士学位,现为副教授,主要从事GPS接收机信号处理算法研究;

WANG Er-sheng was born in Liaoyang, Liaoning Province, in 1980. He received the Ph. D. degree from Dalian Maritime University in 2009. He is now an associate professor. His research concerns GPS receiver signal processing.

Email: wes2016@126.com

张芝贤(1959—),男,山东人,教授,主要从事航空电子系统方面的研究;

ZHANG Zhi-xian was born in Shandong Province, in 1959. He is now a professor. His research concerns avionics.

雷虹(1965—),女,辽宁沈阳人,研究员,主要从事电磁兼容方面的研究;

LEI Hong was born in Shenyang, Liaoning Province, in 1965. She is now a researcher. Her research concerns EMC.

孙延鹏(1973—),男,山东茌平人,教授,主要从事航空电子系统和电磁兼容方面的研究。

SUN Yan-peng was born in Renping, Shandong Province, in 1973. He is now a professor. His research concerns avionics and EMC.