

文章编号: 2095-4980(2015)02-0332-05

基于系留气球的球控计算机设计

王 鑫

(中国电子科技集团公司 第38研究所, 安徽 合肥 230088)

摘 要: 系留气球具有长时间连续滞空工作的特点, 对控制系统的安全性和可靠性要求高。为此, 从球控计算机的冗余性、应急处置能力、快速可更换和电磁兼容性方面进行了设计。采用基于网络模块化的设计思想, 对计算处理、气球压力信号采集通道和数据传输通道进行了冗余设计, 考虑了系留气球的应急处置和电磁兼容性设计要求。最后通过数月连续无故障的工作验证, 本设计满足系留气球系统对球控计算机的高可靠性和安全性要求。

关键词: 系留气球; 冗余设计; 模块化; 电磁兼容性

中图分类号: TN02; TP272

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201502.0332

Design of control computer for the tethered balloon

WANG Xin

(The 38th Research Institute of CETC, Hefei Anhui 230088, China)

Abstract: Because the tethered balloon has the characteristic of floating for a long time in the sky, the control system must be of safety and reliability. Four aspects are considered including the redundancy, emergency response capability, fast replacement and electromagnetic compatibility for the design of ball control computer. The redundancy designs are conducted on the data processing, pressure detection channel and data transmission channel based on modularized network. The emergency response and electromagnetic compatibility are designed as well. Failure free operation lasting for several months has validated the high reliability and safety of the proposed control computer.

Key words: tethered balloon; redundancy design; modularization; electromagnetic compatibility

系留气球是一种自身不带动力, 依靠浮力升空的浮空飞行器。它通过系留缆绳滞留在空中预定的位置, 作为空中平台, 可适合搭载各种通信、干扰、侦察、探测等电子设备, 具有留空时间长、有效载重大、部署方便、费用低廉等优点。系留气球在军事和民用方面都具有广泛应用前景, 作为飞机和卫星不可替代的一种全新概念的空中平台, 可以在时间和空间上填补飞机和卫星的空白, 非常适合搭载各类电子任务装备^[1-2]。

1 需求分析

系留气球球控计算机负责采集气球各气囊压力、温度湿度、外界大气温湿压、风速风向、缆绳上端电压、汇流条上电流电压、备用电源电流、气球姿态及航向、气球位置、系留缆绳拉力等信息, 通过对以上信息进行综合分析、处理、补偿后通过网口或串口径光端机、光纤下传至地面监控中心, 也可以通过无线通道传输到地面; 球控计算机接受地面的控制指令, 控制气球的风机和阀门, 在自动控制的模式下, 球控计算机根据当前系统的状态、环境参数等自适应输出控制动作。除了具备以上功能外, 球控计算机的设计必须具备以下特点:

1) 冗余性

冗余技术可提高系统抑制和校正整体性故障的能力, 是大幅度提高整体系统的可靠性、安全性指标的有效手段, 通过配置同等功能的部件, 并通过一定的冗余逻辑使其协调同步运行, 使系统应用功能的实现得到多重保证。

2) 应急处置能力

系留气球出现气球脱系, 光纤通信出现故障以及球控计算机内部运算处理模块发生故障时能够检测故障, 并

可通过无线进行人工操控, 实现应急处理。

3) 快速可更换设计

为保持系留气球良好的气动外形, 在系统出现故障的情况下, 通过模块化设计, 球控计算机发送详细的故障信息, 实现故障快速定位及更换处理。

4) 电磁兼容性

球控计算机其任务系统的电磁环境、测控设备内部电磁环境均很复杂, 测控子系统作为可靠性要求高的设备部分必须根据电磁兼容理论, 通过对干扰 3 要素: 干扰源、传播途径、敏感源进行细致分析, 经过合理的设计, 达到电磁兼容的目的。

2 球控计算机的设计

2.1 冗余设计

冗余技术就是通过配置多余的同等功能的部件, 并通过一定的冗余逻辑使它们协调地同步运行, 使系统应用功能的实现得到多重保证^[3]。球控计算机的冗余性设计主要体现在 2 个方面: a) 核心处理器的冗余设计; b) 关键信息采集和传输的冗余设计。球控计算机的冗余信号流程图和外形结构分别如图 1 和图 2 所示。球控计算机包括: 2 块飞控计算机插件, 1 块飞控导航模块, 2 个数据交换模块, 2 个串口 Hub 模块以及 1 块电源转换模块。其中飞控计算机是核心部件, 对其进行双冗余设计。

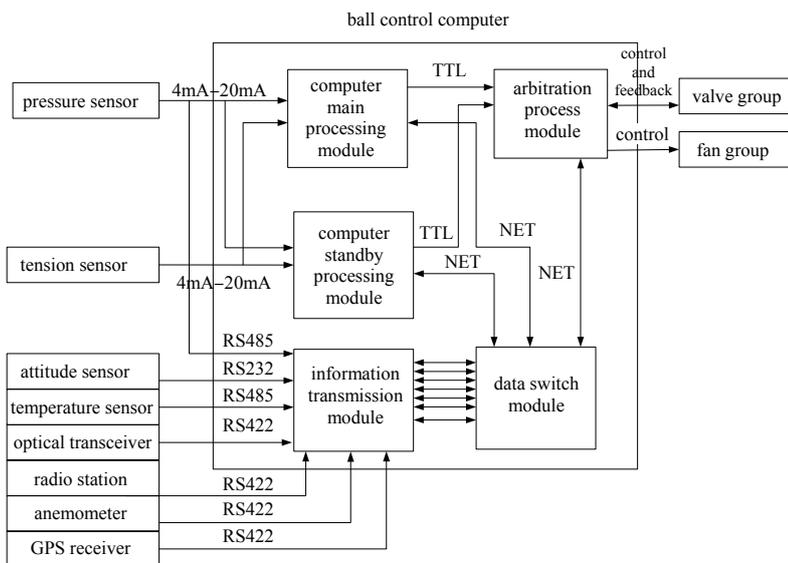


Fig.1 Flow of the control computer
图 1 球控计算机信号流程图

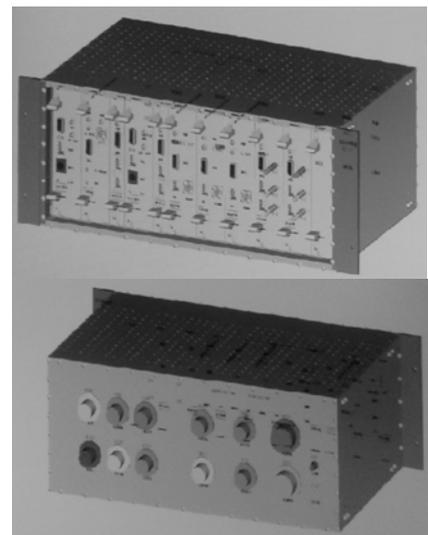


Fig.2 Redundant structure of the control computer
图 2 球控计算机冗余结构图

1) 核心处理器的冗余设计

冗余构型是核心^[4], 球控计算机的数据处理和单元采用主动冗余结构以满足故障无缝切换的需求, 冗余模块在待命状态下和工作模块一样施加全额供电电源和所有的系统工作信号, 即“热备件”冗余的设计, 核心部件设计如图 3 所示, 单个部件采用 PC104+FPGA(Field Programmable Gate Array)的硬件架构。对于 4 mA~20 mA 的模拟量, 通过运算放大器滤波处理和放大后得到 0~5 V 的电压信号, 经 AD7891 采样后输入到 FPGA 的 FIFO 中^[5], 最后通过 MSM586SEV 模块进行端口的读取。对于开关控制的离散量输出, FPGA 输出的离散控制信号经过 IDT74FCT162244ATPV 芯片驱动后输出至 MAX4427ESA, 经过该芯片的隔离输出到 IRF7380 的控制端, 最终实现风机和阀门的操纵。核心部分的晶振由 SG-8002JC-40M 产生, 并且能够通过 Max6673 温度芯片实现核心部件当前温度的采集。如图 2 所示, 球控计算机内部包含 2 块球控计算机模块。

2) 关键信息采集和传输的冗余设计

对于气球压力等关键信息采用双通道采集和传输以及滤波处理, 压力采集采用模拟和数字 2 种冗余采集的方式。球载设备数据的传输通过无线和双通道光纤 2 种方式, 确保数据传输的鲁棒性。设计采用霍利韦尔的 ppt100 型气球差压传感器, 该传感器的输出通过模拟量和数字量 RS485 两种方式。如图 4 所示, 系留气球的缆绳内部

包含有双光纤以确保数据传输的鲁棒性。球控计算机内部集成有无线电台，以确保缆绳脱系情况下的应急通信。

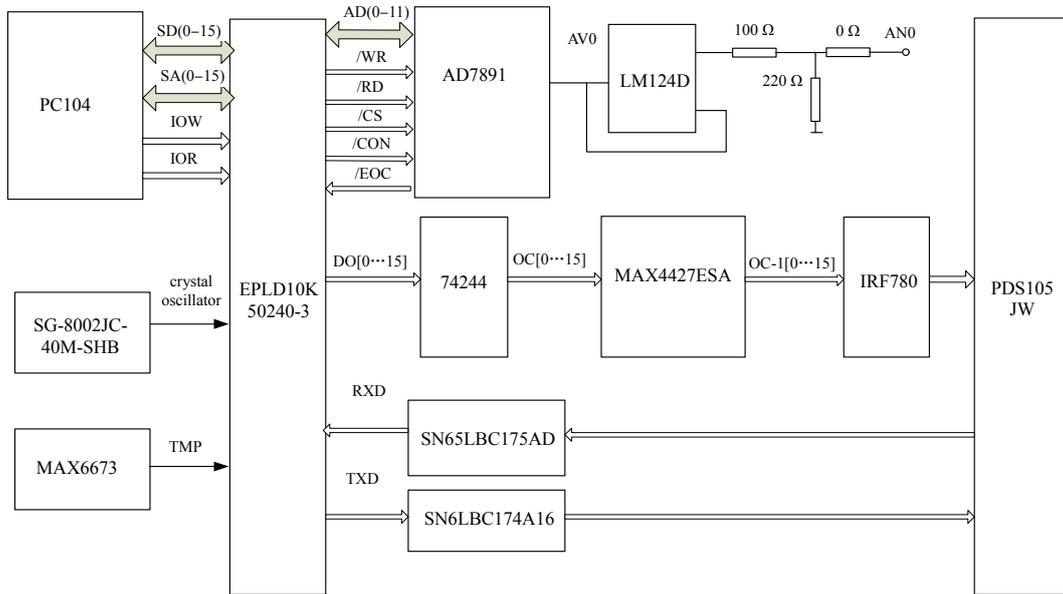


Fig.3 Schematic diagram of the circuit
图 3 核心部件设计示意图

2.2 应急处理设计

球控计算机的应急处理设计主要是针对可能存在风险的预备处理方案的设计，主要包括 2 方面：a) 核心处理模块故障处置；b) 系留气球脱系处置。

1) 核心处理模块故障处置

当同时通过仲裁管理模块监听 2 个核心处理模块的状态，在默认时长内两计算处理模块发出看门狗信号给仲裁管理模块，两计算处理模块正常工作，仲裁管理模块默认将控制权交给主计算处理模块，主计算机控制执行件正常工作，备计算机能获得外部状态和环境信息，并与主计算机保持同步运行^[6-7]。当主处理计算机出现故障跑飞时，将控制权交与备处理计算机。当两处理计算机都出现故障时，由仲裁管理模块进行气球外型的应急处理，此时仲裁模块响应通过地面无线和光纤发送的应急控制指令。

2) 系留气球脱系故障处置

由于正常通信是通过光纤进行，当系留气球脱系时，只能执行紧急通信的功能，仲裁管理和应急处置模块中的 FPGA 能够通过信息传输模块和数据交换获得气球姿态、压力和位置等状态，并且能够通过无线电台发送至地面监控中心，由地面人员抉择是否开启撕裂副或者主气囊阀门。

2.3 快速可更换设计

球控计算机的设计根据功能的需求，进行模块化的划分，将其分为 4 个模块：a) 计算处理模块；b) 仲裁管理和应急处置模块；c) 信息传输模块；d) 数据交换模块。各个模块的功能相对独立，通过网络便于实现电子设备间系留气球数据的通信和设备 BIT(Built In Test)信息的检测。球控计算机各个功能模块都基于以太网的架构，每个功能模块在网络之中主要由终端系统、交换机和链路 3 部分组成，便于故障的定位。

1) 计算处理模块

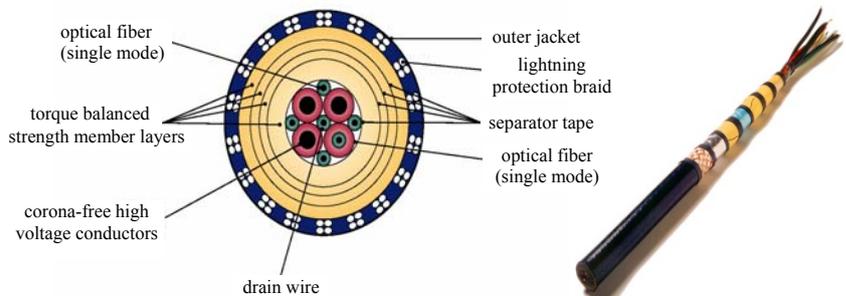


Fig.4 Structure of the tethered cable
图 4 双光纤缆绳示意图

球控计算机包括2块处理模块,每一块计算机处理模块由PC104+FPGA的构架组成,实现功能包括完成工作参数、状态、故障信息的下传;处理地面的上传指令,并对上传指令进行相应的解析、处理执行。

2) 仲裁管理和应急处置模块

仲裁管理和应急处置模块实现自动对计算处理模块的监控,主备机数据源的切换,完成球体位置信息的获取;具有应急处理的功能,也具有紧急通信的功能,可以通过数据交换将获得的传感器状态、故障信息,通过网络通道下传至地面显控中心。

3) 信息传输模块

信息传输模块由20个串口Hub组成主要功能,主要实现将RS232/RS485/RS422串口数据转换为10M/100M自适应网口的数据功能。

4) 数据交换模块

数据交换模块主要功能:具备20个10M/100M自适应网口的数据交换功能,实现计算机处理模块、航空电子传感器、仲裁管理和应急处置模块、信息传输模块等多个网络间的互联互通。

2.4 电磁兼容性设计

主要从2个方面来进行设计:

1) 线路板的电磁兼容设计

主要从以下3个方面进行线路板设计:a)利用多个相同容量的电容并联以抑制线路上电源线和地线上的噪声^[8];b)在印制板布板时,强辐射电路要尽量远离I/O接口电路;c)从电流大小、频率和环路面积方面考虑以减小差模辐射。

2) 滤波连接器的使用

滤波连接器通常在普通电连接器的基础上经过改进,增加滤波电路(滤波网络)研制而成。它既具备普通电连接器的所有功能,又兼具抑制电磁干扰的特性^[9]。通常屏蔽电缆仍不能满足电磁兼容标准,对于高频干扰的屏蔽,主要原因是屏蔽电缆是金属编织网,上面的孔洞会在高频时产生泄露;另外一个原因是屏蔽电缆的高屏蔽效能取决于电缆屏蔽层的端接情况,只有当电缆屏蔽层的端接为360°低阻抗搭接时,才会有较理想的高屏蔽效果,然而很多场合都无法保证。采用低通滤波连接器能够有效地滤除不必要的高频成分,弥补了屏蔽电缆对于高频干扰屏蔽的不足。

3 结论

本文根据系留气球的特点,在实际工程项目中,对球控计算机的功能需求进行了分析,设计了具备冗余性、应急处理、快速可更换和电磁兼容性等特点的球控计算机,保证了系留气球安全和可靠地运行。在连续长时间的工作中,球控计算机将采集到的数据发送到地面站,由地面站软件进行显示和保存,并通过Matlab软件取其中一个小时的数据进行分析,其结果如图5所示。由图可知,在离地高度400m情况下,系留气球能保持内外压差范围在25mmH₂O~35mmH₂O之间,能够保持气球的气动外形;俯仰角保持在6.5°~11°之间,能够维持系留气球纵向的稳定;滚转角保持在0°左右,能够保证气球的横侧向稳定。通过设计球控计算机,确保了系留气球的外形,以及球上数据的有效传输,通过数月不间断的工作,结果表明球控计算机满足系留气球的要求,能够可靠稳定地工作。

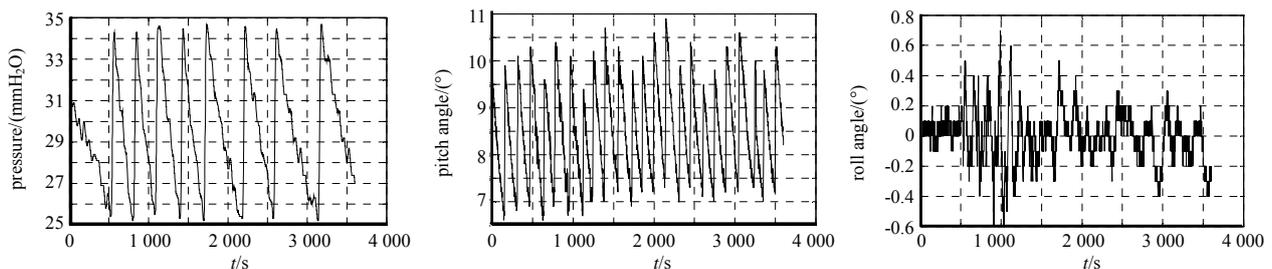


Fig.5 Analysis of the data
图5 保存数据的分析图

参考文献:

- [1] 陈昌胜,赵攀峰. 系留气球载雷达系统分析[J]. 雷达科学与技术, 2007(6):410-415. (CHEN Changsheng,ZHAO Panfeng. Analysis of tethered aerostat borne radar system[J]. Radar Science and Technology, 2007(6):410-415.)
- [2] 曹洁. 国外系留气球的发展与应用[J]. 高新技术, 2010(25):6-7. (CAO Jie. The development and application of tethered balloon on abroad[J]. Science and Technology Information, 2010(25):6-7.)
- [3] 黄文君,金建祥,冯冬芹,等. 控制系统的冗余策略和实现准则[J]. 仪器仪表学报, 2004,25(4):545-548. (HUANG Wenjun,JIN Jianxiang,FENG Dongqin,et al. Research on redundancy strategy and design rule in control system[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004,25(4):545-548.)
- [4] 潘计辉,张小林. 三余度飞控计算机关键技术研究及工程实现[J]. 计算机测量与控制, 2010,18(2):440-442. (PAN Jihui,ZHANG Xiaolin. Design and realization of treble-redundancy management method of flight control system[J]. Computer Measurement and Control, 2010,18(2):440-442.)
- [5] 张伟,顾强,田相林,等. 基于FPGA的煤粉浓度测量系统设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014,12(1):119-122. (ZHANG Wei,GU Qiang,TIAN Xianglin,et al. Design of pulverized coal concentration measurement system based on FPGA[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2014,12(1):119-122.)
- [6] 李平,俞承芳,李旦. 控制区域网络总线物理故障及冗余方案[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2009,7(1):61-65. (LI Ping,YU Chengfang,LI Dan. Controller area network bus physical faults and redundancy[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2009,7(1):61-65.)
- [7] 朱弘,谭剑波. 大型浮空器多级冗余协同控制策略[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2011,9(3):357-359. (ZHU Hong,TAN Jianbo. Multilevel redundancy and coordination control strategy for large-scale aerostat[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2011,9(3):357-359.)
- [8] Bernhard Konard. 电磁兼容性(EMC)保护措施[J]. 电子世界, 2001,2(10):29-35. (Bernhard Konard. Protection measures of electromagnetic compatibility(EMC)[J]. Electronic World, 2001,2(10):29-35.)
- [9] 金强,袁崎. 机载计算机电磁兼容性设计分析[J]. 航空电子技术, 2009,3(40):43-47. (JIN Qiang,ZHONG Qi. Analysis of the EMC design for airborne computer[J]. Avionics Technology, 2009,3(40):43-47.)

作者简介:



王 鑫(1982-), 男, 湖北省通城县人, 工程师, 主要研究方向为飞行器控制系统.email:wangxin_nuaa2001@163.com.