

船载无人机自稳定无线充电系统设计

陆智强^{1,2}, 李伟华^{1,2*}, 庄子昊², 张光于²

(1. 暨南大学 轨道交通研究院, 广东 珠海 519000; 2. 暨南大学 国际能源学院, 广东 珠海 519000)

摘要:针对海域作业无人机续航时间较短和充电平台易受扰动产生动态移动的问题,设计了一种船载无人机自稳定无线充电系统。该系统采用 STM32 单片机为主控核心,包括了载机端的 Stewart 自稳定平台和无线充电圆台,无人机端的电量监管模块以及 PC 端的监测上位机,其中平台姿态数据和电池电量数据都经过卡尔曼滤波算法的处理。经过测试,Stewart 平台在一定范围的扰动下能够实现无线充电圆台平台的稳定。无线充电圆台能够满足无人机无线充电需求,同时上位机能够接收到无人机的实时电量数据并对整个充电过程实时监控。

关键词:Stewart 平台;卡尔曼滤波;无线充电系统;STM32 单片机;锂电池电量监管

中图分类号:TP23;TP368.1

文章编号:1000-0682(2024)02-0025-05

文献标识码:A

DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.02.005

Design of self-stabilizing wireless charging system for shipborne unmanned aerial vehicles

LU Zhiqiang^{1,2}, LI Weihua^{1,2*}, ZHUANG Zihao², ZHANG Guangyu²

(1. Institute of Rail Transit, Jinan University, Guangdong Zhuhai 519000, China;

2. School of International Energy, Jinan University, Guangdong Zhuhai 519000, China;)

Abstract: In response to the short endurance time of unmanned aerial vehicles (UAVs) operating in the sea area and the dynamic movement of charging platforms that are susceptible to disturbance, a self-stabilized wireless charging system for ship-borne UAVs has been designed. The system uses the STM32 microcontroller as the main control core, including the Stewart self-stabilized platform and wireless charging round table on the carrier side, the power monitoring module on the UAV side, and the monitoring host computer on the PC side. The platform attitude data and battery power data are processed by Kalman filtering algorithm. Through testing, the Stewart platform can achieve stability of the wireless charging round table platform under certain levels of disturbance. The wireless charging round table can meet the wireless charging requirements of UAVs, while the host computer can receive real-time power data from UAVs and monitor the entire charging process in real time.

Keywords: Stewart platform; Kalman Filter; wireless charging system; STM32 microcontroller; lithium battery capacity monitoring

0 引言

近年来,无人机技术在海域作业和海事监管领域得到了广泛的应用^[1],但无人机的续航时间尚未得到明显提高,当前多旋翼无人机通常只能续航 20~40 分钟^[2],无法满足长时间连续作业的需求。

同时,传统有线充电方式还存在易产生火花、漏电、易磨损、触点可能发热等弊端^[3]。

无人机无线充电技术的应用可以一定程度上解决上述问题,文献[4]提出的一种无人机无线充电凸台能够帮助无人机精准降落并实现发射线圈与接收线圈的对接,但是载机平台在充电过程中会面临一定的海浪扰动,引起平台的动态错位,对充电系统的安全性造成一定的影响^[5]。

该文设计的无线充电圆台能够满足无人机无线充电需求,同时结合卡尔曼滤波算法,通过 Stewart 自稳定平台实现海浪扰动下无线充电平台的稳定。监

收稿日期:2024-01-15

基金项目:广东省大学生创新创业训练计划(S202310559038)

第一作者:陆智强(2003—),男,江苏宿迁人,本科,研究方向为嵌入式系统应用。

测上位机通过与载机端和无人机端的单片机通信,实时获取充电信息与充电画面,保障充电过程的安全。

1 系统整体设计

系统由 Stewart 自稳定平台、无线充电圆台、电量监管模块和监测上位机组成。稳定平台和无线充电圆台以 STM32G474RET6 为主控核心,包括了 MPU6050 陀螺仪、六路 PWM 舵机、电磁锁固定装置、逆变器和发射线圈。STM32G474RET6 通过串口与上位机进行通信,实现平台姿态数据的传输以及上位机控制指令的接收。无人机端的电量监管模块以 STM32F103C8T6 为主控核心,包括了整流模块、降压模块、TP4056 电量管理芯片、接收线圈和锂电池模块,STM32F103C8T6 通过蓝牙与上位机进行无人机电量数据的传输。整个系统的结构框图如图 1 所示。

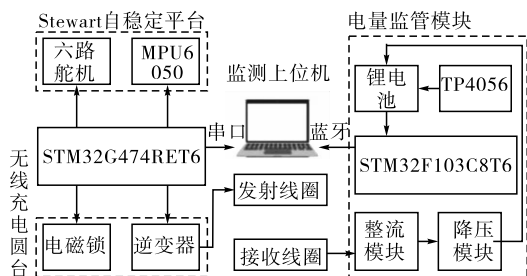


图 1 系统整体结构框图

2 系统各部分设计

2.1 Stewart 自稳定平台设计

Stewart 平台是一种六自由度并联平台,具有结构刚度好、承载能力大、控制精度高等优点^[6],适宜作为车载设备的自稳定平台。

2.1.1 Stewart 自稳定平台硬件设计

系统采用基于舵机驱动的 Stewart 自稳定平台方案,包括了 MPU6050 陀螺仪、六路 PWM 舵机、六个球头连杆、以亚克力板为材料的一个上平台和两个下平台,如图 2 所示。

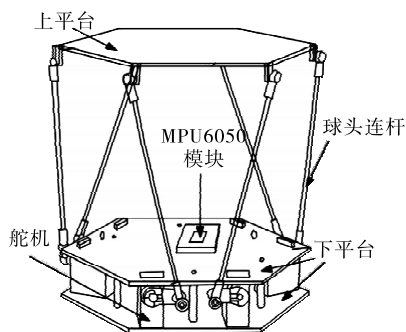


图 2 Stewart 自稳定平台

Stewart 自稳定平台通过放置在下平台的 MPU6050 模块读取平台的姿态数据,MPU6050 模块内部自带有 7 路 16bit 的 ADC 转换电路,其中 3 路为陀螺仪、3 路为加速度计、1 路为内部温度传感器。数据通过 DMP 处理后,存储在 FIFO 里。STM32G474RET6 主控核心通过对 MPU6050 模块内部的寄存器进行读写操作,完成对芯片的控制。MPU6050 模块的电路图如图 3 所示。

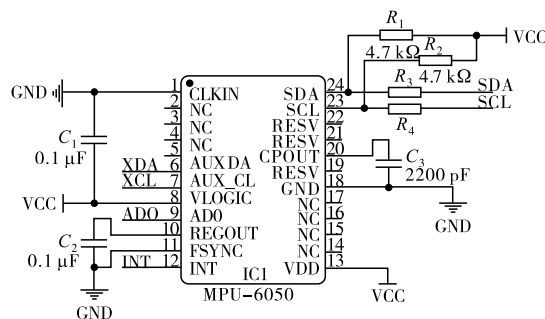


图 3 MPU6050 模块电路图

2.1.2 Stewart 自稳定平台软件设计

卡尔曼滤波是一种基于状态空间模型的最优估计算法,主要用于处理带有噪声的动态系统。它能够融合传感器测量值和系统动态模型,以提供对系统状态的最优估计^[7-8],适用于 MPU6050 模块的数据处理。

系统的状态向量 \mathbf{x} 包括了下平台的横滚角 $roll$ 、俯仰角 $pitch$ 和偏航角 yaw 。 x, y, z 三轴所对应的角速度信息为 p, q, r 。因此系统的状态变量可以表示为:

$$\mathbf{x} = [roll, pitch, yaw, p, q, r]^T.$$

系统的状态预测方程:

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{B}\mathbf{u}_k + \mathbf{w}_k \quad (1)$$

测量方程:

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \quad (2)$$

状态更新方程为:

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_k^- \mathbf{H}^T (\mathbf{H} \mathbf{P}_k^- \mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1} \quad (3)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^- + \mathbf{K}_k (\mathbf{z}_k - \mathbf{H} \hat{\mathbf{x}}_k^-) \quad (4)$$

$$\mathbf{P}_k = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}) \mathbf{P}_k^- \quad (5)$$

其中: \mathbf{F} 是状态转移矩阵; \mathbf{B} 是控制输入矩阵; \mathbf{u}_k 是控制输入; \mathbf{w}_k 是过程噪声; \mathbf{H} 是测量矩阵; \mathbf{v}_k 是测量噪声; $\hat{\mathbf{x}}_k^-$ 是预测状态; \mathbf{K}_k 是卡尔曼增益,用于调节预测值和测量值权重; \mathbf{P}_k^- 是预测误差协方差矩阵; \mathbf{R} 是测量噪声的协方差矩阵; \mathbf{I} 为单位矩阵。通过反复迭代预测和更新步骤,卡尔曼滤波算法能够提供对自稳定平台三轴姿态角的最优估计。

当下平台受到扰动影响时,MPU6050 模块通过

IIC 协议与 STM32G474RET6 进行通信,将下平台经过卡尔曼滤波处理后的三轴姿态角数据传输至主控核心。数据传输完后,三轴姿态角作为位置反解函数的输入,进行位置反解算法的解算,解算出六组角度对应于六路不同舵机的值。位置反解完后进行线性公式的换算,通过定时器 1 的输出比较通道输出 6 路 PWM 波至对应的舵机,下平台的 6 路舵机运动至指定位置,从而改变上平台的姿态,实现上平台的自稳定。

这一过程的相关单片机程序如下:

```
while(1)
{
//读取三轴姿态角数据
Read_DMP(&Roll,&Pitch,&Yaw);
//进行位姿反解函数的计算
Self_balance(Roll,Pitch,Yaw);
//将计算出的值经线性变换后输出至对应的舵机
```

```
PWM_1(1500 - a1/180 * 2000);
PWM_2(1500 + a2/180 * 2000);
PWM_3(1500 - a3/180 * 2000);
PWM_4(1500 + a4/180 * 2000);
PWM_5(1500 - a5/180 * 2000);
PWM_6(1500 + a6/180 * 2000);
}
```

2.2 无线充电圆台设计

现有的无人机续航电池多为锂离子电池,锂离子电池的充电需要先后经过恒流输出和恒压输出两个阶段^[9]。为了满足锂离子电池充电模式的需求,并确保无线充电系统的轻便与高效,系统采用 S/SP 补偿拓扑,整体补偿元件较少,能够在两个固定频率点分别实现恒流恒压输出^[10]。

无线充电圆台采用耦合感应式无线充电技术,主要由圆台发射端、无人机接收端和电磁锁固定装置三个部分组成,无线充电圆台的实物图如图 4 所示。

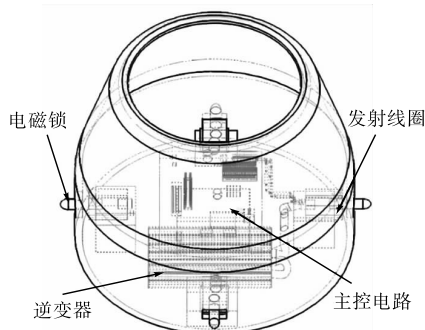


图4 无线充电圆台组成图

STM32 单片机可作为主控制器进行充电频率的切换^[11]。无线充电圆台使用 STM32G474RET6 单片机来实现充电频率的切换,由单片机输出四路两两相同、两两互补的 PWM 波来控制发射端的逆变器。当接收端电压达到预定值后,单片机通过改变输出 PWM 波的周期,实现恒流频率到恒压频率的改变,将无线充电系统的恒流输出模式切换为恒压输出模式,实现锂离子电池充电模式的切换,整个程序流程图如图 5 所示。

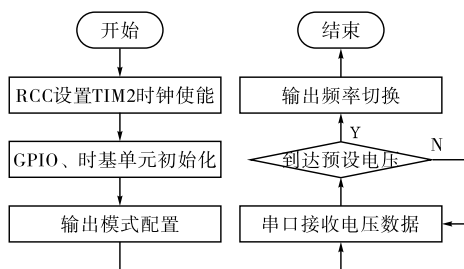


图5 无线充电程序流程图

2.3 无人机电量监管模块设计

2.3.1 无人机电量监管模块硬件设计

无人机电量监管模块采用 STM32F103C8T6 单片机作为主控核心,包括了蓝牙模块、锂电池管理电路和降压模块,将主控核心和各个模块整合在一块 PCB 板上,便于无人机携带。PCB 板实物图如图 6 所示。

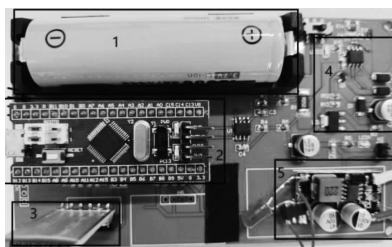


图6 自制电量监管模块

在采集无人机机载锂电池的电量上,用到了单片机引脚的 ADC 采样,采用 50 mΩ 电阻作为采样电阻与电池直接串联,使用单片机 ADC1 外设的通道 1 与通道 5 测量采样电阻两端电压,ADC 采样的电路图如图 7 所示。

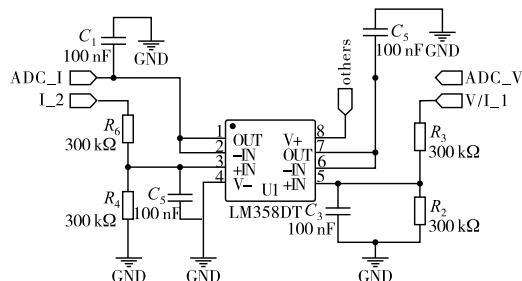


图7 ADC 采样电路电路图

在设计无人机充电管理电路时采用了 TP4056 芯片,这款芯片可以根据锂电池的电压自动切换恒流充电模式与恒压充电模式。TP4056 芯片成本低廉、性能可靠、体积小,适合模块化整合并集成至无人机上,TP4056 的电路图如图 8 所示。

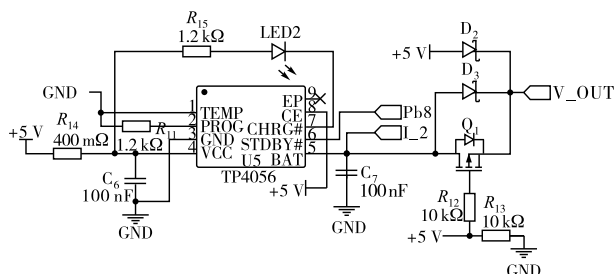


图 8 TP4056 电路图

2.3.2 无人机电量监管模块程序设计

单片机的通道 1 直接采集电池电压,然后通过欧姆定律计算得到经过采样电阻的电流,即为经过电池的电流 I 大小。根据电量计算公式:

$$Q = I \cdot dt \quad (6)$$

可以较为快速地计算出电池消耗与充入的电量 Q ,但由于受限于单片机自身的 ADC 测量精度,测得的数据有小幅度波动,因此需要合适的滤波算法对数据进行处理。

常用的滤波方法有平均滤波和卡尔曼滤波。平均滤波速度快,只要采样点足够多,就可以达到较好的滤波效果,但对锂电池电压 - 电量关系曲线的精度要求高,适用性一般。

卡尔曼滤波能够提供较好的精度,同时具有自动收敛的性质,适用于对电量数据的滤波处理。在数据处理时,状态向量 x 代表了电量信息,即 $x = [Q]^T$,用公式(1)~(5)对数据进行实时更新。模块的整体程序流程图如图 9 所示。

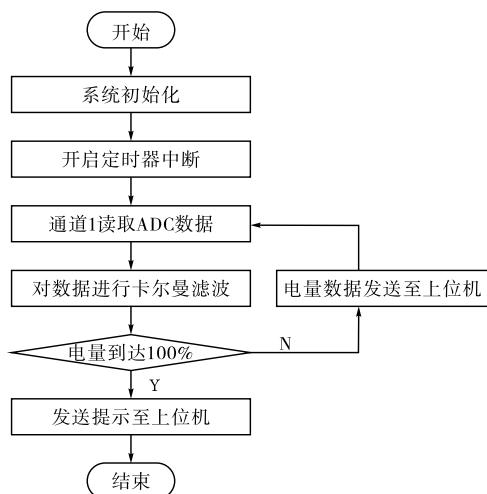


图 9 电量监管模块程序图

2.4 上位机监测平台设计

上位机能够将计算机和控制器相结合,在系统监测领域有着广泛的应用。系统的上位机以 C#作为开发语言,在 Visual Studio2022 环境下开发完成。上位机包含了充电画面实时监控、无人机电量实时显示、指令信息显示、充电进程控制和稳定平台数据监测功能等功能,上位机的运行界面如图 10 所示。

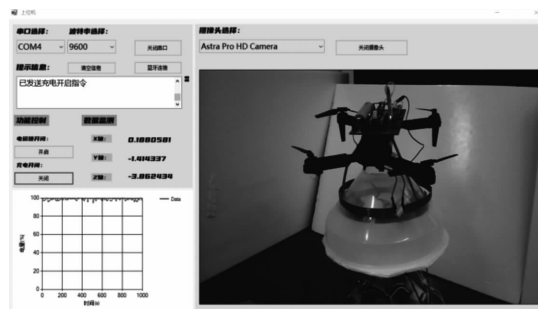


图 10 上位机监测平台

上位机通过串口与载机端的单片机进行通信,实时获取稳定平台的姿态数据,通过连接摄像头可以看到摄像头传输的实时画面,实时监测整个充电过程。当无人机降落后,上位机可以控制电磁锁伸出,固定无人机。当无人机端的蓝牙模块与上位机连接成功后,上位机能够控制整个充电进程的开始,同时接收到来自无人机端发送的电量数据,并以折线图的形式实时显示至上位机上。通过监测上位机,可以更好地保障整个充电过程的安全进行,实时控制无人机的充电进程。

3 测试验证

在 Stewart 平台自稳定性测试时,安装放置另一个 MPU6050 模块至上平台,对下平台进行海浪模拟的扰动,扰动改变了下平台的横滚角和俯仰角。在扰动的同时,通过串口接收上下平台横滚角与俯仰角的数据,多次实验后,实验数据如表 1 所示,可以看出在扰动影响下平台位姿发生变化时,上平台能够保持较好的稳定。

表 1 上下平台横滚角与俯仰角数据

组数	下平台 横滚角	下平台 俯仰角	上平台 横滚角	上平台 俯仰角
1	5.23°	6.04°	1.25°	1.16°
2	8.36°	19.10°	1.36°	1.29°
3	19.63°	15.36°	1.01°	1.06°
4	20.36°	16.69°	0.93°	1.16°
5	15.63°	26.82°	1.23°	0.96°

再将无线充电圆台固定至 Stewart 自稳定平台

上,然后对无线充电系统进行测试,在输入电压为15 V的情况下,得到的接收线圈两端波形如图11所示,此时最大电压达到56 V,波形与正弦波类似,发射线圈能够与接收线圈进行稳定的电能传输。

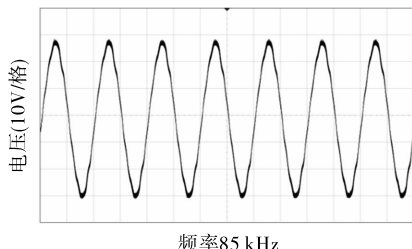


图11 接收线圈两端电压波形

最后将电量监管模块与测试无人机自身电路相连接,启动监测上位机,如图12所示,对整个系统进行功能测试。



图12 系统整体功能测试

系统启动后,监测上位机能够获取摄像头传来的整个系统的充电实时画面和 Stewart 平台的实时姿态数据。在监测上位机发送充电开始的控制指令后,监测上位机端能够接收到来自无人机端电量监管模块的电池电量数据。同时继续模拟海浪扰动,整个系统能够在一定的扰动下稳定工作,实现对无人机的充电。

4 结束语

该文基于 STM32 单片机设计了一种船载无人

机自稳定无线充电系统,论述了系统的整体设计、各部分硬件设计和软件设计方案。最后将各部分结合,进行了系统的功能测试,验证了系统的可行性。本系统的设计兼顾实用性与安全性,能够为解决海域作业无人机的续航问题和充电平台受扰动而影响充电效果的问题提供一定的参考。接下来可以针对稳定平台的控制和圆台型无线充电机构的效率进行研究,提高稳定平台的性能,减少作业无人机的充电时间,更好地满足实际工作场景的需求。

参考文献:

- [1] 修健. 无人机在海上监管方面的作用[J]. 数字通信世界, 2023(07): 101 - 102 + 116.
- [2] 张植勋, 夏庆锋, 曹洋. 多旋翼无人机的续航优化[J]. 兵工自动化, 2020, 39(10): 93 - 96.
- [3] 武帅, 蔡春伟, 陈轶, 等. 多旋翼无人机无线充电技术研究进展与发展趋势[J]. 电工技术学报, 2022, 37(03): 555 - 565.
- [4] Obayashi S, Kanekiyo Y, Shijo T. UAV/drone fast wireless charging FRP frustum port for 85 kHz 5.0 V 10 A inductive power transfer[C]//2020 IEEE Wireless Power Transfer Conference, Seoul, Korea, 2020: 1 - 4.
- [5] 马振超, 李会通, 司江舸. 基于 PLC 技术的海洋自升式平台中控系统自动化控制方法[J]. 工业仪表与自动化装置, 2022(02): 8 - 12 + 20.
- [6] 黄海涛, 刘统, 彭国朋. 六自由度并联平台的设计与应用[J]. 现代雷达, 2022, 44(07): 92 - 97.
- [7] 邓洪明, 贺勇, 於小杰, 等. 卡尔曼滤波在无人机姿态中的应用研究[J]. 自动化技术与应用, 2019, 38(11): 1 - 4.
- [8] 卢颖鹏, 陈曦, 杜忠华, 等. 基于自适应无迹卡尔曼的目标跟踪算法研究[J]. 电子设计工程, 2024, 32(2): 12 - 16.
- [9] 张光宗. 无人机户外光伏供电无线充电系统的研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2022.
- [10] 许钊合. 具有圆台形磁结构的恒输出切换无线充电系统研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2022.
- [11] 王宁, 杨庆新. 电动汽车动态无线充电系统设计[J]. 现代电子技术, 2020, 43(10): 25 - 29.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎刊登广告!

国内邮发代号: 52 - 49 国际发行代号: BM529 定价: 18.00 元/期 108.00 元/年
地址: 西安市高新区沣惠南路 8 号 邮编: 710075 电话: 029 - 81871277
网址: <http://yb-zdh.shaangu-group.com> 电子邮箱: gyybbjb@126.com

舱段柔性装配与测量一体化平台设计

曹红星,毛旦平,刘 驰,周思浩,朱鲲捷

(上海航天精密机械研究所,上海 201600)

摘要:针对某导弹总装车间采用传统人工装配舱段与测量方法,同时需要多种工装辅助作业,多人协同调整舱段姿态,导致生产劳动强度大、效率低及质量差等问题,在研究总结国内外舱段柔性装配与测量技术发展现状和趋势后,根据实际科研生产情况设计了一个适用于不同型号舱段柔性装配与测量一体化平台。主要分析了舱段柔性装配与测量需求,确定机械结构组成并对关键部件结构进行设计以及仿真和原理分析,建立系统网络架构;提出了控制系统软硬件等重要部件快速选型、设计、编程与组态工程方法,通过一系列舱段工艺装配、质量质心与长度及水平测量试验,验证了该设计可以满足舱段装配与测量自动化、柔性化及数据化等需求。

关键词:导弹舱段;质量质心;水平测量;柔性装配

中图分类号:TP23

文章编号:1000-0682(2024)02-0030-09

文献标识码:B

DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.02.006

Design of integrated platform for flexible assembly and measurement of cabin

CAO Hongxing, MAO Danping, LIU Chi, ZHOU Sihao, ZHU Kunjie

(Shanghai Spaceflight Precision Machinery Institute, Shanghai 201600, China)

Abstract: For a missile assembly workshop, the traditional manual assembly and measurement method is used, and a variety of tools are needed to assist the operation, and many people cooperate to adjust the attitude of the cabin, resulting in high labor intensity, low efficiency and poor quality, after studying and summarizing the development status and trend of flexible assembly and measurement technology at home and abroad, an integrated platform for flexible assembly and measurement of different types of cabin is designed according to the actual research and production situation. It mainly analyzes the requirements of flexible assembly and measurement of the cabin, determines the composition of the mechanical structure and the structural design, simulation and principle analysis of key components, and establishes the system network architecture. It proposes the rapid selection, design, programming and configuration engineering methods of important components such as the hardware and software of the control system. It passes a series of cabin process assembly, centroid of mass, length and level measurement tests. It is verified that the design can meet the requirements of assembly and measurement automation, flexibility and digitization.

Keywords: missile compartment; centroid of mass; horizontal measurement; flexible assembly

0 引言

随着我国航天武器事业快速发展,新型武器装备逐渐朝着大规模、多品种和高机动战术指标方向

发展,对舱段装配与参数测量效率、精度、柔性化以及质量等提出更高的要求^[1]。传统的人工舱段装配与参数测量方法,因测量精度、测量质量和测量效率受人工和工装架车影响很大,很难满足新型武器的舱段装配与测量需求;同时,随着先进装配与测量技术的不断发展,对新型武器快速研制与生产要求越来越高,人力成本占比大幅增加,舱段部件装配与测量的柔性化、自动化及数据化是其发展重要趋势^[2-4]。

收稿日期:2023-09-14

第一作者:曹红星(1990—),男,河南人,工程师,主要研究方向为弹上电缆网设计制造及导弹数字化智能装配技术。

E-mail:435994039@qq.com