

doi: 10.7690/bgzd.2024.10.002

2 维伺服平台一键测试系统

吴建刚, 张鑫, 蒋朝友, 马俊安, 毛富, 高玉文
(四川航天燎原科技有限公司科研部, 成都 610100)

摘要: 为适应弹载雷达导引头批生产的测试需求, 设计一款 2 维伺服平台一键测试系统。对雷达导引头 2 维伺服平台的测试需求进行分析, 对 2 维伺服平台的测试接口和测试流程进行梳理和统型, 建立通用的自动化测试过程数据处理方法, 开发参数化输入和统计结果自动输出的人机界面, 通过配置参数可实现不同型号的雷达导引头 2 维伺服平台产品的一键测试。验证结果表明: 该系统能够替代手工操作测试, 效率提升 5 倍以上, 能降低测试人员专业技术要求和操作难度, 提高产品测试的可靠性, 具有较高的工程参考价值。

关键词: 导引头; 伺服平台; 一键测试; 界面设计

中图分类号: TJ765.3⁺31; TP271 **文献标志码:** A

One-key Test System for Two-dimensional Servo Platform

Wu Jian'gang, Zhang Xin, Jiang Chaoyou, Ma Jun'an, Mao Fu, Gao Yuwen
(Department of Scientific Research, Sichuan Aerospace Liaoyuan
Science and Technology Co., Ltd., Chengdu 610100, China)

Abstract: In order to meet the test requirements of missile-borne radar seeker batch production, a one-key test system for two-dimensional servo platform is designed. The test requirements of radar seeker 2D servo platform are analyzed, the test interface and test process of 2D servo platform are sorted out and unified, the general data processing method of automatic test process is established, and the man-machine interface of parameterized input and automatic output of statistical results is developed. By configuring the parameters, the one-key test of different types of radar seeker 2D servo platform products can be realized. The verification results show that the system can replace the manual operation test, and the efficiency is improved by more than 5 times, which can reduce the professional technical requirements and operation difficulty of testers, improves the reliability of product testing, and has high engineering reference value.

Keywords: seeker; servo platform; one-key test; interface design

0 引言

伺服系统广泛应用于各行各业, 以美国为首的西方国家在测试领域的自动化水平已经很高, 很早已进入通用自动测试系统阶段^[1], 并且西方国家在进行导引头伺服部件研发的过程中, 也同步启动了测试设备的研发^[2-3]。近些年, 随着国内导引头技术的发展, 相关工业部门也意识到导引头自动化测试的重要性。目前, 在导引头自动化测试领域已取得部分成果且已应用于工程研制。文献[4]为解决导引头大批量生产的测试问题, 设计了导引头自动测试系统, 实现了测试过程、测试记录、测试结果分析的自动化处理。文献[5]以多种型号电视导引头为研究对象, 开发出电视导引头综合测试设备, 极大地提高了技术人员对电视导引头的维修与保障能力。文献[6]针对单脉冲雷达大盘水平传统人工标定方法的不足, 提出一种全新的单脉冲雷达大盘水平自动测量和标定方法。文献[7]为了提高相控阵天线测

试软件复用率, 提出了通用化、标准化的测试硬件和构件化、模块化的软件平台。文献[8]通过对天线方向图测试原理的分析, 在微波暗室和测量设备的基础上, 使用 VC++ 开发出一套天线方向图测试软件, 实现了天线的自动化测试, 提高了测试效率。在军用伺服系统测试方面, 对舵机伺服系统的测试研究较多^[9-12], 但在雷达导引头伺服系统测试方面的研究较少。文献[13]为适应当前雷达生产、维护需求, 针对雷达伺服系统结构及控制特点, 构建了一种雷达伺服系统自动测试及效能评估方案, 但该自动测试系统主要针对地面等非弹载平台伺服系统。文献[14]在认真梳理雷达伺服性能测试方法的基础上, 采用面向对象设计方法实现了雷达伺服性能在线自动测试。文献[15]设计了伺服机构性能测试平台。文献[16]采用单进程、多线程、并行多模块的结构, 设计遥感卫星伺服系统监控软件, 实现了伺服性能指标自动化测试。文献[17]主要侧重上

收稿日期: 2024-06-27; 修回日期: 2024-07-27

第一作者: 吴建刚(1986—), 男, 陕西人, 硕士。

位机的开发，离工程应用仍有一定差距。2 维伺服系统作为导引头的核心子系统，是典型的精密机电一体化产品，集处理芯片、驱动电路、电机、惯性敏感元件、精密测角器件于一体，每台产品均需经过温度、振动等试验，在试验过程中需要对产品进行监测，目前整个监测过程仍以人工操作为主。为了提高 2 维伺服系统的可靠性，提高温度、振动等试验过程的测试效率，降低测试人员的操作强度，有必要设计开发一套“一键”测试系统，实现导引头 2 维伺服系统的自动化测试。

1 硬件方案设计

雷达导引头 2 维伺服系统测试设备(以下简称“测试系统”)硬件主要包括测试柜柜体、直流稳压电源、计算机和显示器等，如图 1 所示。该测试设备对外通信接口主要设计有网口、USB 口、RS422 和 RS232，与被测产品之间通过 RS422 差分串口通信。测试设备配备 AC-DC 直流稳压电源，输入为 AC-220 V，输出电源接口支持 DC-28 V±2 V、DC-12 V±0.5 V、DC-5 V±0.3 V。可根据项目需要与打印机相连，实现测试结果的同步打印。

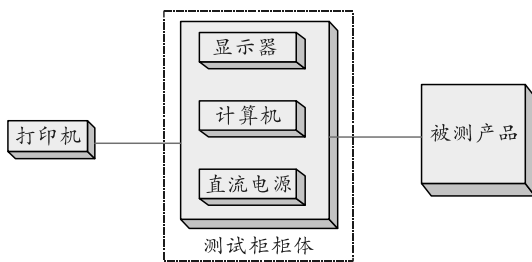


图 1 一键测试设备硬件组成

2 软件方案设计

2.1 界面设计

“一键”测试系统测控界面采用模块化分区设计，区域模块主要包括实时数据曲线显示区域、实时数据更新显示区域、参数配置区域、调试指令下发区域、实时状态显示区域、一键测试指令下发区域。其中，实时数据曲线显示区域和实时数据更新显示区域均用于实时数据的显示，便于调测试观察。调试指令下发区域用于调试和手动测试，可手动输入目标角、搜索范围等数据指令和装订、搜索等流程指令。实时状态显示区域用指示灯实时显示产品工作的状态。右侧的参数配置区域和一键测试指令下发区域主要用于一键自动测试，参数配置区域根据不同项目需求配置不同的方位、俯仰极限角度，装订、搜索流程的时间以及方位、俯仰的角度均值

误差、波动幅值等，一键测试指令下发区域可进行不同的测试试验，如点击常温试验开始便可进行常温试验的一键测试，该区域还可手动输入试验时的温度、测试人员姓名、测试地点、产品编号等，点击参数下发可将参数配置区域的参数生成对应的脚本文件并自动加载，用于测试过程数据的判据处理。

2.2 过程数据处理

该测试系统针对常温、振动和温度 3 个测试场景，对应设计有“常温试验开始”“振动试验开始”和“温度试验开始”3 个一键测试流程，3 个场景的测试流程相同，图 2 所示为常温试验自动测试流程，在测控界面点击“常温试验开始”，即可进行常温“一键”测试，测试过程中系统会根据所选测试场景自动加载配置好的对应参数模板进行数据判据处理。主要测试过程依次为上电自检测试、启动占空比测试、框架角测试、自检流程测试、装订流程测试、搜索流程测试等。主要的测试项如表 1 所示。

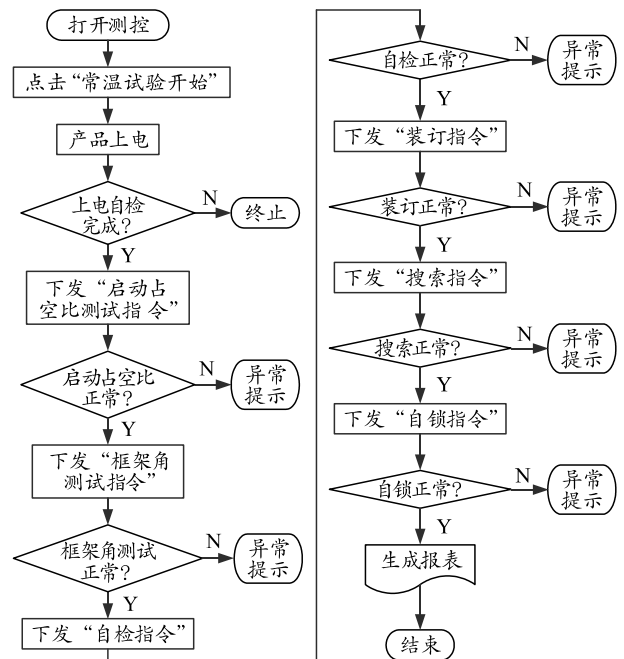


图 2 常温试验测试流程

表 1 常温试验测试

测试类别	测试项
基础测试	启动占空比
	框架角范围
自检流程	自检完成时间
装订流程	角度均值误差
	角度波动幅值
	装订完成时间
搜索流程	搜索周期
自锁流程	角度均值误差
	角度波动幅值
	自锁完成时间

测试过程数据的处理方法依次为:

1) 启动占空比。

测控收到上电自检完成标志后, 定时 2 s 下发启动占空比测试指令, 并以 1% 为步进 (步进间隔时间为 200 ms) 逐渐增大正向方位启动占空比。同时, 记录并统计到伺服机构运动到极限位置过程中最大的占空比, 往复 2 次后, 取 2 次统计数据中的最大占空比作为启动占空比测试值, 如果该值小于合格判据要求值, 则启动占空比测试正常, 否则, 测试界面显示启动占空比测试异常提示。启动占空比合格判据要求值为多台产品大量测试基础上的一个经验值, 与伺服机构的力矩裕度、传动形式相关。

2) 框架角范围。

框架角范围的测试过程与启动占空比测试类似。测控收到启动占空比测试正常标志后, 定时 2 s 下发框架角测试指令, 并以 10% 为步进 (步进间隔时间为 400 ms) 逐渐增大正向方位启动占空比到 50%。同时, 记录此时角度值, 即为正向极限角度, 该值如果大于合格判据要求值, 则按照上述过程反向控制伺服机构运动到负向极限位置。同时, 记录此时角度值, 即为负向极限角度, 该值如果小于合格判据要求值, 则框架角范围测试正常, 否则测试界面显示框架角范围测试异常提示。

3) 自检流程。

测控下发自检指令后, 在要求时间内收到被测产品上报自检完成标志, 则自检流程正常, 否则产品自检异常。自检时间按项目任务书要求确定, 通常与自检角度范围和自检速度大小相关。

4) 装订流程。

测控收到自检完成标志后, 定时 2 s 向被测产品下发装订指令, 同时下发调用配置参数文件中的装订目标角。在要求时间内收到被测产品上报的装订完成标志且角度均值偏差和角度幅值满足判据要求, 则装订流程正常, 否则产品装订异常。装订完成时间按项目任务书要求确定, 通常与最大装订角度和装订速度大小相关。角度均值偏差和角度波动幅值与角位移传感器精度、伺服机构传动方式相关, 且由于伺服机构是振动敏感产品, 在振动过程中, 角度波动幅值会增大; 所以, 在合格判据参数设计时, 振动时的合格判据参数要比常温测试时的参数裕量大一些。角度均值偏差和角度波动幅值的求取以图 3 为例进行说明, 测控在收到装订完成标志信息 2 s 以后, 对收到的角度数据进行统计, 统

计时间约为 10 s, 即求取图 4 中矩形框中的平滑曲线数据。

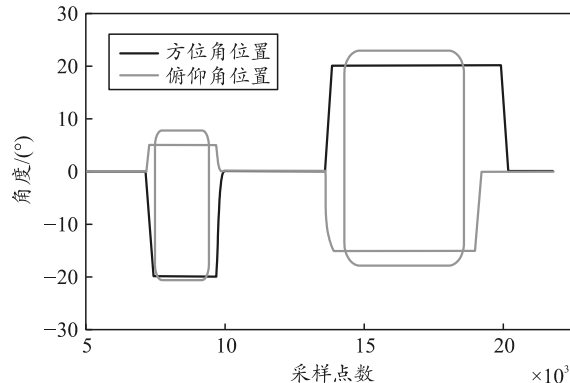


图 3 某产品装订数据

5) 搜索流程。

测控收到装订完成标志后, 定时 2 s 下发搜索指令, 在收到被测产品上报的第一个搜索半周结束标志时开始计时, 收到 10 个搜索半周结束标志后结束计时; 求取 10 个搜索半周的平均时间即为搜索周期, 如果求取的搜索周期小于判据参数要求, 则搜索流程正常, 否则搜索异常。

6) 自锁流程。

自锁流程是装订目标角度为 0 的特定装订流程, 所以, 自锁流程的数据处理方法参考装订流程。

2.3 测试结果输出设计

测试结果输出分 2 部分: 1) 原始测试数据输出; 2) 报表输出。测控按照通信协议对接收到的测试数据依次解析并保存, 数据保存格式为 (.txt) 文本格式, 用 origin 数据处理软件打开后的部分数据如表 2 所示, 依次为方位角位置、俯仰角位置、方位陀螺数据、俯仰陀螺数据等。输出的测试报告如图 4 所示, 包括 3 个试验项目的 7 个报表, 常温试验测试过程和结果报表如图 5 和 6 所示, 其中结果报表和交检报表测试完成后需打印用于存档, 过程数据报表作为测试记录用于分析数据或排查故障。振动试验、温度试验测试报表与常温报告类似。

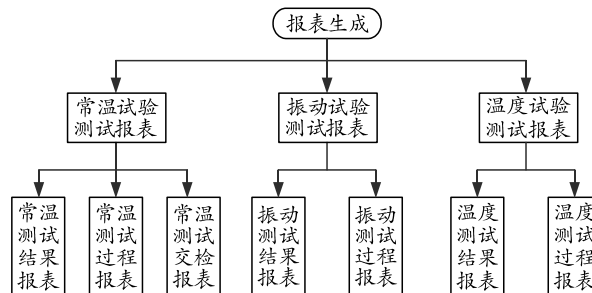


图 4 测试表报构成

表 2 保存的数据

序	方位角	俯仰角	方位陀螺数据	俯仰陀螺数据	方位视线角速度	俯仰视线角速度
1	-7.68	-3.15	0	0.01	0	0.279
2	-3.69	-3.15	0.03	0	0	0.270
3	-7.59	-3.15	0	0.03	0	0.297
4	-3.41	-3.15	0.01	0.04	0.03	0.306
5	-7.76	-3.15	0	-0.02	0.02	0.252
6	-3.69	-3.15	0.01	0.01	0.12	0.279
7	-7.65	-3.15	-0.07	0	-0.12	0.270
8	-3.40	-3.15	0	-0.06	-0.06	0.216
9	-7.78	-3.15	0.05	0.01	0.06	0.279
10	-3.68	-3.15	0.08	0.01	0.02	0.279
11	-7.58	-3.15	-0.01	0.02	0.05	0.288
12	-3.35	-3.15	-0.05	0	0.06	0.270
13	-7.65	-3.15	0.07	-0.03	-0.01	0.243
14	-3.71	-3.15	0.06	0	0.07	0.270
15	-7.54	-3.15	-0.01	0.02	0.03	0.288
16	-3.40	-3.15	-0.01	0.04	0.05	0.306
17	-7.69	-3.15	0.03	-0.05	-0.13	0.225
18	-3.68	-3.15	0	-0.04	-0.08	0.234
19	-7.45	-3.15	0.07	-0.05	0.05	0.225
20	-3.42	-3.15	0	-0.04	-0.10	0.234
21	-7.62	-3.15	0	0.03	0.03	0.297
22	-3.68	-3.15	0.06	-0.05	-0.07	0.225
23	-7.54	-3.15	0.05	0	0	0.270
24	-3.40	-3.15	0.02	0.02	-0.13	0.288
25	-7.66	-3.15	0.03	-0.01	-0.05	0.261
26	-3.69	-3.15	0.02	0.02	0	0.288
27	-7.49	-3.15	0.03	0.03	-0.01	0.297
28	-3.40	-3.15	0.04	-0.02	-0.10	0.252
29	-7.67	-3.15	0.02	0	0	0.270
30	-3.64	-3.15	0	-0.08	-0.08	0.198
31	-7.43	-3.15	0	-0.02	0.07	0.252
32	-3.39	-3.15	0.04	0.01	0.05	0.279
33	-7.54	-3.15	0.10	-0.10	-0.11	0.180
34	-3.70	-3.15	0.05	0.08	0.13	0.342
35	-7.42	-3.15	0	-0.04	0	0.234
36	-3.42	-3.15	0.02	0.10	0.20	0.360
37	-7.65	-3.15	0	-0.01	-0.02	0.261
38	-3.67	-3.15	0	0	0	0.270
39	-7.45	-3.15	0.02	0.01	0	0.279
40	-3.37	-3.15	0.07	-0.04	0	0.234

常温试验测试过程数据报表

时间: _____ 地点: _____ (温度: _____ 湿度: _____)

序号	检验项目	设计要求	结果	备注
1	基础测试	方位右极限: $-xx^{\circ} + xx^{\circ}$	。	。
		方位右极限: $-xx^{\circ} + xx^{\circ}$	。	。
		俯仰上极限: $-xx^{\circ} \sim +xx^{\circ}$	。	。
		俯仰下极限: $-xx^{\circ} + xx^{\circ}$	。	。
		方位启动占空比: $xx\%$	。	。
		俯仰启动占空比: $\leq xx\%$	。	。
2	自检	自检完成时间: $\leq x s$	。	。
3	装订	方位角度均值偏差: $\leq x^{\circ}$	。	。
		方位角度幅值: $\leq x^{\circ}$	。	。
		俯仰角度均值偏差: $\leq x^{\circ}$	。	。
		俯仰角度幅值: $\leq x^{\circ}$	。	。
4	搜索	搜索周期: $\leq x s$	。	。
5	自锁	方位角度均值偏差: $\leq x^{\circ}$	。	。
		方位角度幅值: $\leq x^{\circ}$	。	。
		俯仰角度均值偏差: $\leq x^{\circ}$	。	。
		俯仰角度幅值: $\leq x^{\circ}$	。	。
		自锁时间: $\leq x s$	。	。

产品编号: _____ 参试人员: _____

图 5 常温试验测试过程数据报表

常温试验测试结果报表

时间: _____ 地点: _____ (温度: _____ 湿度: _____)

序号	检验项目	设计要求	结论	备注
1	基础测试	方位右极限	。	。
		方位右极限	。	。
		俯仰上极限	。	。
		俯仰下极限	。	。
		方位启动占空比	。	。
		俯仰启动占空比	。	。
2	自检	自检完成时间	。	。
3	装订	方位角度均值偏差	。	。
		方位角度幅值	。	。
		俯仰角度均值偏差	。	。
		俯仰角度幅值	。	。
		装订时间	。	。
4	搜索	搜索周期	。	。
5	自锁	方位角度均值偏差	。	。
		方位角度幅值	。	。
		俯仰角度均值偏差	。	。
		俯仰角度幅值	。	。
		自锁时间	。	。

产品编号: _____ 参试人员: _____

图 6 常温试验测试结果报表

3 测试验证

测试验证以某伺服单机为验证实物进行了测试验证, 实物测试如图 7 所示, 包括自动化测试柜, 被测产品实物(伺服控制驱动+伺服机构), 自动化测试柜给被测产品通过电缆提供 DC-28 V、DC-12 V、DC-5 V 3 路电源, 并通过 RS422 差分串口通信。以常温测试为例, 测试时首先打开测试界面, 然后给被测产品上电, 在测控界面点击“常温试验开始”, 即可进行常温“一键”测试, 测试完成后生成的常温交检测试报表如图 8 所示。



自动化测试柜 被测产品

图 7 测试系统实物连接关系

常温交检测试报表

时间: _____ 地点: _____ (温度: _____ 湿度: _____)

序号	检验项目	设计要求	结论	备注
1	外观	无龟裂、变形等	。	。
		编号符合要求	。	。
		标识清晰、准确	。	。
2	基础测试	方位右极限	。	。
		方位右极限	。	。
		俯仰上极限	。	。
		俯仰下极限	。	。
		方位启动占空比	。	。
3	流程测试	俯仰启动占空比	。	。
		自检流程	。	。
		装订流程	。	。
		搜索流程	。	。
3	流程测试	自锁流程	。	。

产品编号: _____ 参试人员: _____

图 8 常温交检测试报表