

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)02-0153-08

卫星单机自动化通用环试监控平台

李玲,刘效宁,孔令波,陈茂胜

(长光卫星技术股份有限公司,吉林长春130000)

摘要:为解决单机环境试验带来的值班任务重、人力消耗大等问题,设计基于B/S架构的卫星单机自动化通用环试监控平台。平台共包括两大部分:自动化控制系统与远程监控系统。控制系统以通用化、自动化、并行化为设计思路,实现多种类单机环境试验的自动化控制。通过该控制系统,可以极大地降低对人员的依赖程度,并且保证试验的准确性。开发基于B/S架构远程监控系统,该系统采用前后端分离的服务框架,搭建云服务器,支持多试验同时进行。操作人员可以随时使用Web浏览器实现远程试验过程监控。平台对多种类单机均具有适配性,在环境试验中可以极大提升开发和测试人员的工作效率,减少因试验带来的人力紧张问题,适用于卫星批产工作,已成功应用在吉林一号批产卫星单机环境试验中。

关键词:自动化;通用化;B/S架构;环境试验;卫星单机;远程监控

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-7241(2026)02-0153-08

Satellite standalone machine automatic universal environmental test monitoring platform

LI Ling, LIU Xiaoning, KONG Lingbo, CHEN Maosheng

(Chang Guang Satellite Technology Co., Ltd., Changchun 130000, Jilin, China)

Abstract: To solve the problems of heavy duty tasks and high labor consumption caused by single machine environmental testing, a satellite single machine automated universal environmental testing monitoring platform based on B/S architecture is designed. This platform consists of two major parts: an automatic control system and a remote monitoring system. The control system adopts the design concept of generalization, automation, and parallelization to achieve automatic control of multiple types of single machine environmental tests. Through this control system, the dependence on personnel can be greatly reduced and the accuracy of the experiment can be guaranteed. It develops a remote monitoring system based on B/S architecture, which adopts a front-end and back-end separated service framework, builds a cloud server, and supports multiple experiments simultaneously. Operators can use a web browser to remotely monitor the testing process at any time. This platform has adaptability to multiple types of single machines, which can greatly improve the work efficiency of development and testing personnel in environmental testing, reduce the manpower shortage caused by testing, and is suitable for satellite batch production work, successfully applied in the single machine environmental test of Jilin No. 1 batch production satellite.

Keywords: automation; generalization; B/S architecture; environmental testing; satellite standalone; remote monitoring

随着卫星技术迅猛提升,在轨卫星数量剧增,大规模组网应用不断增多,军用、民用、商业卫星繁荣发展。批量生产、并行测试、一箭多星、密集发射已经成为当前卫星技术的发展趋势。单机环境试验是单机研制任务过程中不可或缺的重要环节,其目的在于通过高于实际工作环境的强度,验证单机在超过设计环境下的性能。通过环境筛选,筛选出不合格的或有潜在缺陷的单机。由于环境试验设备噪声大,所以周围环境并不适宜长时间停驻。但是环境试验流程较长,可达连续几百个小时,可能影响试验人员身体健康。并且在有其他工作任务时,无法做到兼顾,导致工作效率低下,并不符合批产工作需求。

羊铃霞等设计了基于模型驱动的Web应用自动化测试平台^[1],增加了测试脚本的复用性,提升了测试效率。李光等对卫星的桌面电接口设计自动测试系统,具有并行测试能力^[2]。程城等根据小卫星技术特点,设计了自动化测试系统,助力小卫星生产的批产化和自动化^[3]。魏许等设计开发了针对多型号飞轮的通用自动化测试系统,在卫星飞轮的测试工作中提升效率^[4]。当前航天行业,卫星单机环境试验多数采用的是各类卫星单机专用的半自动化测试软件加人工的测试方式,需要依赖大量人工完成。如将全自动化测试技术与B/S架构的远程监控技术相结合,完全实现对卫星单机环境试验的通用化、全自动化运

收稿日期:2024-07-27;录用日期:2024-10-21

基金资助:吉林省科技发展计划(20220201081GX)

作者简介:李玲(1992—),女,硕士,实习研究员,主要从事整星自动化设备研制相关工作。

引用本文:李玲,刘效宁,孔令波,等.卫星单机自动化通用环试监控平台[J].自动化技术与应用,2026,45(2):153-160.(LI Ling, LIU Xiaoning, KONG Lingbo, et al. Satellite standalone machine automatic universal environmental test monitoring platform [J]. Techniques of Automation and Applications, 2026, 45(2): 153-160.)

行监控,真正做到无人值守、解放人力,将推动航天行业向智能化、数字化转型。

为解决以上问题,拟设计一种基于 B/S 架构的环试监控平台。该平台可满足多种单机的自动化试验需求。研发基于遥控遥测通用化配置的自动测试技术,解决不同种类单机在试验过程中,因通信协议不一致等原因导致的遥控指令发送和遥测参数解析无法自动选择和设置的问题,从而使平台真正做到通用化^[5]和自动化^[6]。为了最大程度减少试验对值班人员的依赖,设计基于 B/S 架构的远程实时监控方法,满足工作人员对于远程监控的需求。该平台可真正做到自动化多种类单机的环境测试工作,最大程度减少人力成本,进一步助力单机批产工作的推进。

1 测试平台总体设计方案

1.1 测试平台架构

该环试监控平台包括基于 labview 的自动化控制系统和基于 B/S 架构的远程监测系统。

监测系统采用 B/S 架构^[7],即服务器/浏览器架构。较传统的 C/S 架构的监测系统,B/S 架构只需用户安装任意一款浏览器即可方便地对系统进行监测,操作简单、易于管理。

自动化控制系统和远程监测系统均部署在地面测试设备中。

平台整体可分为三大部分:控制层、网络服务层、用户应用层。平台架构如图 1 所示。

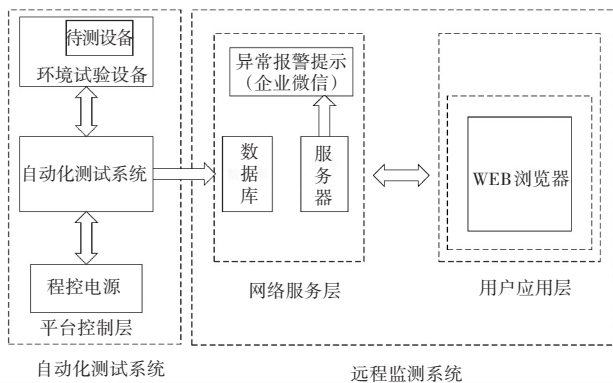


图 1 平台架构

Fig. 1 Platform architecture

自动化控制系统主要对单机在环境试验过程的全流程进行自动化控制,包括测试单机的各项功能、单机上下电、试验数据解析、数据推送至服务器,远程监测系统完成数据的存储及处理、异常报警、实时显示试验进程情况。环试监控平台在控制层对环试进行全流程控制并向网络服务层实时推送数据;在网络服务层进行数据的存储和数据处理以及异常报警;在用户应用层通过浏览器进行试验过程远程监控。通过自动化测试平台可实现无人值守的自动化测试,最大程度解放人力。

1.2 监控平台工作流程介绍

环试监控平台自动化控制系统采用虚拟仪器 labview

软件开发,远程监测系统采用前后端分离的开发模式,分别使用 Vue 和 Spring Boot 框架搭建,并使用 GaussDB (for Influx) 数据库进行数据存储。环试监控平台全自动化监测试验状态,满足无人看管环境试验的需求。测试平台的主工作流程如图 2 所示。

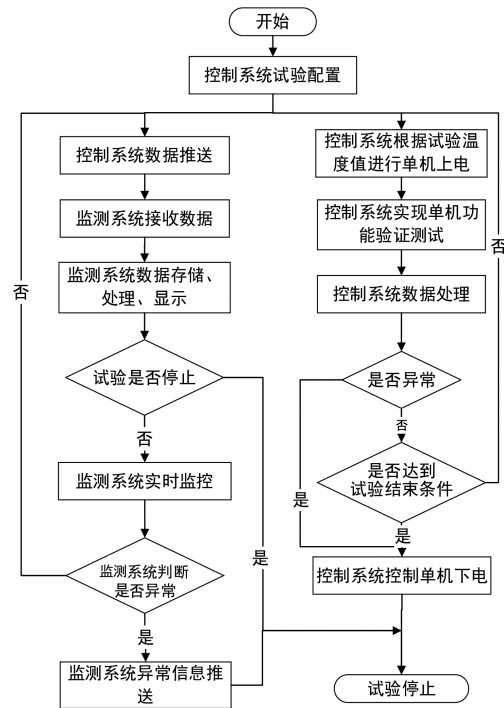


图 2 平台整体主工作流程图

Fig. 2 Overall main workflow diagram of the platform

试验开始时,首先进行试验配置(包括试验参数信息配置、试验配置文件配置等),然后一边自动化系统控制端根据试验要求的温度值进行单机上电,同时按照约定协议格式向服务器推送数据信息,其次进行单机功能测试、数据处理,判断试验是否异常,如异常则单机下电、停止试验;如无异常,继续进行试验,直到达到试验结束的条件,单机下电,自动停止试验,否则,一直在进行环境试验测试。另一边数据库服务器一直在读取指定端口数据,服务器进行数据接收,进行数据存储、处理,同时进行数据实时监控,首先会进行判断是否有试验停止标志,如已完成试验,则平台停止工作;如没有完成试验,监测是否有电流、电压、温度、单机遥测参数等异常情况发生。如果发生异常,则会在服务器端通过企业微信的形式进行信息推送,结束试验进程。如果没有异常情况,则继续运行,一直不断循环。整个过程都通过 WEB 浏览器进行试验状态展示,如有异常状态,网页端也会有异常提示。

2 自动化控制系统

自动化控制系统是本平台的核心部分。剖析试验的整体流程,设计环境试验周期变化原则。同时采用通用化、自动化、并行化的设计思路提升环境试验的效率和准确性,保证平台的稳定运行。

2.1 试验流程

在整个试验流程围绕试验罐的温度变化展开,试验依

据的单周期温度变化曲线如图 3 所示。

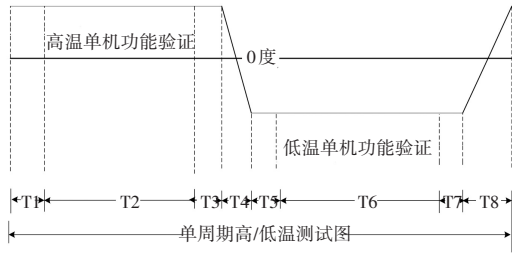


图 3 试验罐温度曲线图

Fig. 3 Temperature curve of the test tank

环境试验罐模拟卫星发射后的环境状况,卫星单机环境试验持续时间通常大于 100 个小时^[8]。如图 3 所示展示了单个周期的温度变化曲线,每个周期高温恒温时间为 $T1+T2+T3$ 小时,低温恒温时间为 $T5+T6+T7$ 小时、变温时间为 $T4/T8$ 分钟。卫星单机进行环境试验时有如下要求:第一个循环及最后一个循环,在每一循环高/低温中进行若干次热/冷启动,进行测试记录,记录数据后关机,待一定时间后再次开机重复测试,以此完成若干次热/冷启动测试;其他周期循环试验时,单机在达到恒温状态时上电,试验罐温度稳定 $T1/T5$ 小时左右,进行单机功能验证测试,在到达 $T3/T7$ 时间点时进行断电前测试,待测试后单机下电, $T4/T8$ 时间内单机一直处于断电状态。

2.2 通用化设计

不同类型单机存在通信协议和试验流程不一致的情况,导致在环试过程中需要针对性设计不同的试验方法以匹配不同单机的试验需求^[9]。为此,自动化控制系统以通用化为设计思路,在一个环试平台中适配不同的单机环境测试需求,即通过遥测配置文件、遥控指令集文件 2 种配置文件兼容不同通信协议、不同测试项的单机环境测试过程。

综合分析当前单机所使用的各通信协议,设计了通信协议通用化格式,如表 1 所示,即统一格式的遥测配置文件。主要包括了参数名称、参数开始位置、参数长度、参数编码方式、参数格式、状态码、工程参数帧数等基础信息。通过对应参数帧的解析,即可得到该型号单机在试验过程中的测试状态,具体的通用化遥测数据处理如流程图 4 所示。

表 1 通用化通信协议信息及适用单机型号

Tab. 1 General-purpose communication protocol information and applicable unit models

通信协议信息	飞轮	数字太阳敏	中心机	配电
参数名称	√	√	√	√
开始位置	√	√	√	√
参数长度	√	√	√	√
编码方式	√	√	√	√
参数格式	√	√	√	√
状态码	√	√	√	√
参数帧数	√	√	√	√

首先读取配置遥测配置文件,对实时采集到的工程参数帧长度进行判读,如果长度为本类型单机单帧长度,进

行参数名称获取,判断参数名称是否为空,如果为空,则表示本帧数据已完整解析完成,进行下一帧工程参数帧进行遥测处理解析;如果参数名称不为空,则根据遥测配置文件对参数长度进行截取、解析方式进行获取,根据解析方式完成单帧工程参数帧的单个参数解析,直至完成本帧数据的全部解析。

单机指令遍历模块主要实现的是在环试试验中,根据单机的不同需求,完成单机不同的测试项目。通过分析,可以把测试项集中管理在一个配置文件中,即遥控指令集文件。遥控指令集文件主要解决不同单机在实际试验过程中测试功能项不同而导致测试不兼容的问题。遥控指令集按顺序记录了该类型单机在整个试验过程中所有测试项的测试指令^[10]。指令集根据温度可分为高温测试指令集和低温测试指令集,在各子集中包含各功能测试项指令。在测试的过程中,加载与该型号单机对应的指令集,即可在各测试流程中进行测试。通过该文件即可支持不同型号单机在试验过程中针对性进行功能测试的需求,满足对于不同单机测试的需求。具体的执行流程如图 5 所示。

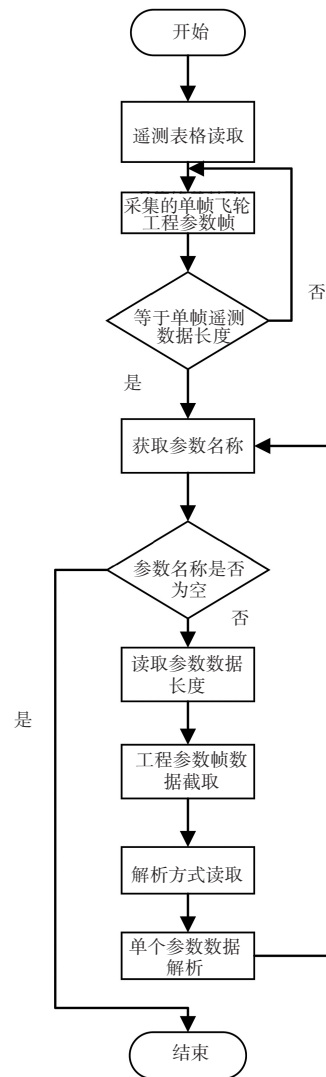


图 4 通用化遥测数据处理流程图

Fig. 4 Flowchart of generalized telemetry data processing

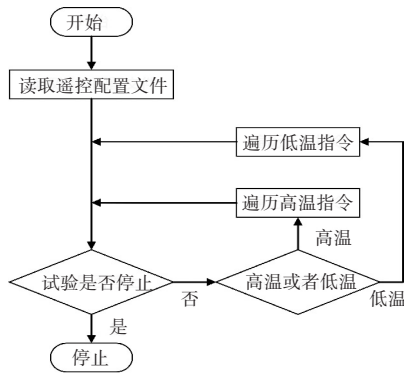


图 5 通用化遥控指令集执行流程图

Fig. 5 Flowchart of generic telecommand execution

首先进行遥控配置文件读取,判断试验是否要继续进行,如果进行要进行的高温测试还是低温测试,高温测试则进行高温试验的逐项测试,如果是低温,则进入低温环试的各项测试,直至环试试验完成。

通过两种配置文件可兼容不同通信协议、不同测试项的单机,大大提高平台的通用性。在试验前只需选择单机的型号,在平台运行时,自动读取配置文件,并按照配置文件内容进行单机功能验证以及遥测信息解析,完成环境测试。配置文件的可修改性和可扩展性,也使得平台可以根据实际需求随时调整和修改配置文件,以适应新的测试需求和新的测试单元,进一步提高了平台的灵活性和适应性。

2.3 自动化设计

平台控制层综合考虑多种类单机环境的实际测试情况,划分过程中的细节流程,设计统一的测试方式。并依据本平台设计的工作流程,进行自动化测试,以满足对于工作人员工作量的降低要求。

根据单机环境试验的温度曲线变化设计环试监控平台的控制部分工作流程图 6。

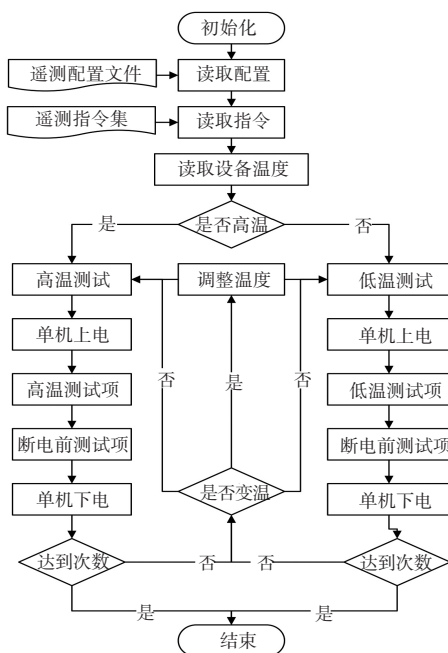


图 6 环境试验工作流程图

Fig. 6 Environmental test workflow diagram

在平台进行工作过程中,首先根据所选单机读取对应的配置文件,并对整体试验流程进行初始化。再通过读取遥控指令集获取测试过程中对单机的控制指令。以上述 2 个文件为基础,明确平台的自动化工作流程。读取环境试验罐的当前温度,根据温度曲线决定测试流程。如果是高温,首先进行单机上电操作。根据预配置的测试流程,进行高温测试项的功能测试。完成后,进行断电前测试项的功能测试。然后进行下电操作。判断是否达到试验要求次数,如果达到则结束试验流程,否则判断接下来的试验是否需要变温,如果正在变温,进入等待温度调整,调整完成后进入低温流程测试,进入判断是否达到次数,如果达到则停止试验,否则进入温度调整阶段,再次进入高温流程测试,如此循环直至达到约定次数,结束试验。如果首次进入试验为低温,则其下一次进入高温,再次进入低温,试验流程与高温测试相同,直至达到试验次数,结束试验。

在试验的过程中,自动化测试系统通过网络通信读取环试箱子的温度,从而确定测试流程。根据预先配置的测试项,按流程进行各项功能测试。其中测试项目与测试时间均自动化控制,保证试验流程符合要求,替代人工参与。并且可以自动进行变温操作,转换高/低温测试流程。在试验满足次数要求后,结束试验。

2.4 并行化设计

自动化控制系统采用的混合多线程并行处理架构可以高效地利用多核处理器的硬件资源,以提高程序的并行处理能力。

在测试时,每个测试单元都是独立运行的,并包含多个线程,通过上锁/解锁等技术手段来确保线程之间不会发生冲突。本文利用独立的测试管理引擎和公共数据引擎来管理测试单元和共享资源,从而避免了竞争和资源冲突。数据管理引擎则用于管理所有公共资源,并限制只有该线程才能对全局变量进行写操作和对采集数据进行更新。同时,每个测试单元只能读取文件内容,而不能对文件进行更改,从而确保了数据空间的安全性。这种并行化测试的设计思想可以提高测试效率和可靠性,有效减少测试过程中的时间和资源浪费,为测试人员提供更加高效、可靠和智能的测试手段。

3 远程监测系统

3.1 系统总体介绍

远程监测系统采用 B/S 架构, B/S 架构 (Browser/ Server 架构) 是基于 Web 技术的一种软件架构, 具有高度的灵活性、可扩展性和安全性, 目前普遍应用于网络应用程序开发的一种架构方式。本方案中的系统架构主要由 Web 浏览器、Web 服务器、应用服务器及数据库等组成。采用前后端分离的开发模式^[11-13], 分别使用 Vue 和 Spring Boot 框架搭建, 并使用 GaussDB (for Influx) 数据库进行数据存储。在前后端分离的模式下, 前端代码与后端代码是

分离的,前后端通过 API 进行数据交互,后端提供 API 接口,可使用 Swagger 来生成 API 文档。前端通过 Axios 等工具来调用 API,并将后端返回的 JSON^[14] 数据展示给用

户。两种框架的结合充分发挥各自的优势,共同构建一个高效、高稳定性的 Web 应用,从而实现更高的灵活性和可维护性。系统架构和工作流程如图 7 所示。

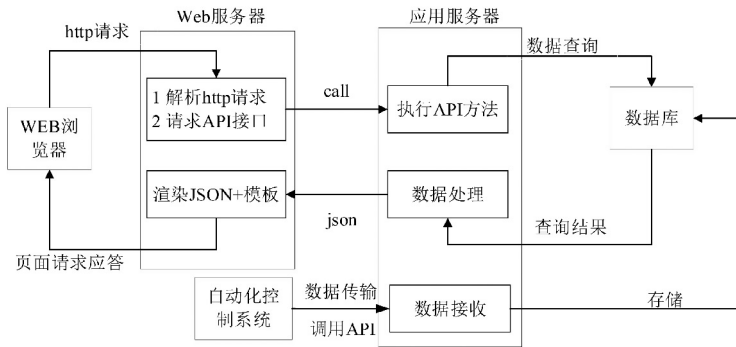


图 7 系统结构及工作流程图

Fig. 7 System structure and workflow diagram

当平台开始工作时,自动化控制系统会调用数据推送 API 将试验数据传输到服务器端。应用服务器进行数据接收,同时根据数据类型存储到数据库中,以供后续使用。

当 Web 浏览器向 Web 服务器发送数据获取请求, Web 服务器接收到请求后,根据 http 协议解析请求,并将请求转发给应用服务器。应用服务器通过业务逻辑和数据访问层处理方法,对数据库中存储的信息进行查询并加以处理,将结果返回到 Web 服务器。Web 服务器将结果传递给 Web 浏览器,最后由 Web 浏览器进行信息展示。

这个过程中,应用服务器可以根据业务需要连接到一个或多个数据库,从而保证应用程序的高效运行。

3.2 后台服务器搭建

本平台中后端使用 Spring Boot 框架进行开发,使用 Spring MVC 来实现 Web 服务^[15-16],并配合使用 Spring Data JPA 和 Mybatis 等技术来操作数据库。在这个过程中, Spring Boot 可以自动配置多种环境,从而帮助开发者快速搭建起后端服务,并通过自动化配置来提高开发效率。

后台服务器主要负责业务逻辑处理及数据接收,不仅要自动化控制系统传输来的数据进行处理,并根据数据

类型存储至数据库。响应来自 Web 浏览器的请求,调用对应的 API 连接数据库,查询数据库内可用的信息反馈给 Web 端,实现前端用户对数据库的数据调用。服务器提供访问接口并返回结果信息, Web 前端页面只需进行简单数据处理。

3.3 数据库存储设计

本平台选用 GaussDB(for Influx) 数据库管理系统,数据库中创建单机信息表 Satellite-standalone、试验单机数据信息表 test data、试验环境信息表 environment、温度信息表 temperature、日志记录信息表 log、异常信息表 abnormal 等试验主要存储对象的基本信息,主要内容如表 2 所示。试验信息记录表 test data 存储每个单机环试试验的实时数据,自动化控制系统每秒上传一次数据,为优化数据存储,每结束一次试验,平台都会将数据定期转移备份到历史数据表中,并建立数据索引,以备单机负责人对试验数据的查看及追溯。报告生成是以试验数据为基础,每次试验结束后,单机负责人可以根据需求,自动选定时间段,平台根据要求自动报告生成,减少单机负责人的报告撰写工作。数据库设定备份计划,定期进行备份。

表 2 主要信息说明

Tab. 2 Key information description

表名	说明
Satellite-standalone	单机信息表,包括单机编号、单机类型、单机名称、单机所属项目名称等单机基本信息;
test data	试验数据信息表,包括试验单机电流、电压、供电电源电压、电流、试验单机遥测工程参数帧、试验当前温度、试验当前周期个数、试验当前恒温时间等单机负责人关注信息;
environment	试验环境信息表,包括当前试验所使用设备编号、试验类型、试验箱设定高低温值、试验周期个数等;
log	试验日志记录表,包括试验开始时间、操作时间、操作内容、操作对象等信息。
abnormal	异常信息表,包括的单机电流状态、电压状态、遥测参数状态、试验温箱温度状态、电源电压状态、电流状态、通信状态等记录。
User	用户信息表,包括使用用户名称、使用时间等相关信息。

3.4 Web 前端页面设计

前端使用 Vue 框架进行开发,Vue 是当前 Web 开发

中非常流行的前端框架,具有优秀的框架设计和开发经验。在实际应用中,Vue 为前端开发提供了强大的模板渲

染和组件化开发支持。使用 Vue Router 进行路由管理,而使用 Vuex 进行状态管理。这个过程中,Vue 主要应用了组件化开发思想,通过构建多个组件来实现页面效果。前端通过 Axios 等工具来调用 API,并将后端返回的 JSON 数

据展示给用户。卫星单机自动化通用环视监控平台前端页面每秒自动刷新一次,已完成试验实时状态的显示监测功能。Web 前端的基本信息管理页面如图 8 所示,管理员用户可以对基本信息进行添加、修改和删除操作。



图 8 平台效果图

Fig. 8 Platform rendering

3.5 远程监测业务功能

BAS 架构模式主要对卫星单机环境试验状态进行实时监测和预警,不仅能够显示正在进行的试验单机名称、试验个数、试验温度、当前试验周期、单机实时电流和电压值、单机遥测状态及试验是否异常等信息。同时还提供后台管理,环试单机试验信息历史数据查询、平台操作记录查询、统计分析服务,对试验单机、试验设备、用户等基本对象信息进行管理,对数据库中大量试验历史数据进行统

计、分析,及提供详细的试验报告生成。

最重要的是不需要人工 24 小时在试验场地进行值班,当有单机试验异常时,能够及时发出预警,通过企业微信通知到试验负责人进行试验处理,真正实现不限地点无人值守。系统业务功能如图 9 所示。监控终端涵盖功能主要包括用户注册登录、试验数据监控、试验数据查询、试验温箱温度展示、设备基本信息管理和用户角色权限控制等功能。

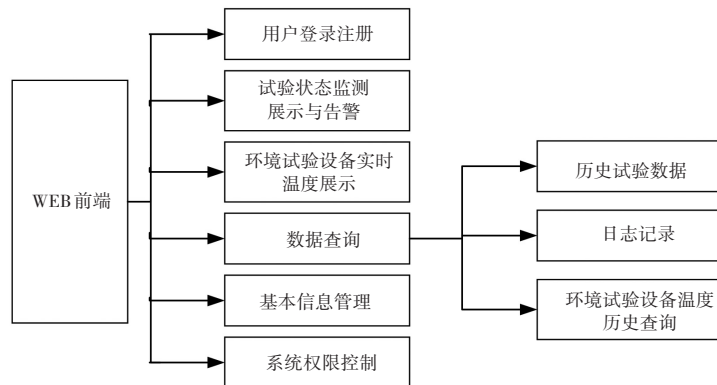


图 9 功能图

Fig. 9 Functional diagram

4 试验分析

本平台可以辅助值班人员完成繁复的试验工作,提升工作效率、提高试验的准确性。

为验证本软件在实际使用过程中的实用性及准确性,本文对飞轮、磁力矩器2种单机分别进行了20次试验,通过实际数据证明本平台在性能上的优势。

表3、表4分别是在2种单机试验中选取具有代表性的单次试验数据记录,以展示本平台在试验具体过程中的准确性。

在表3中可以观察到,在飞轮试验的过程中平台正确控制试验进度,试验设备运转正常,实验数据正常。在表4中可以观察到,在磁力矩器试验中,在T3时间段,实际

温度超过设定温度的误差范围,出现异常,平台正确捕捉到该错误并进行报警、停止试验。

表5中展示2种单机在分别进行20次试验过程中的试验正常情况与异常情况的记录,并分别记录本平台在不同情况下处理情况。

从表3中可观察到,在飞轮的20次试验中,出现1次异常情况,平台正确报警1次;在其余19次正常试验情况下未出现错误报警。在磁力矩器的20次试验中,出现3次异常情况,平台正确报警3次;在其余17次正常试验情况下未出现错误报警。本平台在试验过程中可以100%正确进行试验,可对异常情况进行正确处理,保证试验过程中的准确性,进而提升单机在实际使用的可靠性。

表3 飞轮试验数据

Tab.3 Flywheel test data

时间段	运行时间	设定温度/℃	实际温度/℃	理想电流值/A	实际电流范围/A	发送转速指令/rpm	实际遥测转速/rpm范围	是否符合要求	是否报警
T1	10	60	58.895~62.005	0.078	0.076~0.081	无	无	是	否
T2	220	60	59.998~60.009	0.122	0.120~0.214	1000	999.976~1000.098	是	否
T3	10	60	59.998~60.009	0.108	0.107~0.109	100	99.906~100.041	是	否
T4	20	变温(高至低温)	60.000~-20.000	0	0	无	无	是	否
T5	10	-20	-22.005~-18.985	0.076	0.074~0.078	无	无	是	否
T6	220	-20	-20.005~-19.998	0.118	0.116~0.120	-1000	-1000.040~-999.906	是	否
T7	10	-20	-20.005~-19.998	0.099	0.098~0.103	-100	-100.055~-99.930	是	否
T8	20	变温(低至高温)	-20.000~60.000	0	0	无	无	是	否

表4 磁力矩器试验数据

Tab.4 Magnetorquer test data

时间段	时间	设定温度/℃	实际温度/℃	理想电流值/A	实际电流范围/A	符合要求	报警
T1	15	55	53.003~57.856	0	0	是	否
T2	210	55	54.999~55.001	0.058	0.055~0.060	是	否
T3	15	55	69	0	0	否	是

表5 不同单机试验情况记录

Tab.5 Test records for different units

单机类型	试验情况	报警情况	正确处理率
飞轮	异常1次	1次	100%
	正常19次	0次	
磁力矩器	异常3次	3次	100%
	正常17次	0次	

5 结论

本文详细介绍了自动化测试平台的设计方法。从多种类单机的环境试验测试需求出发,通过深入分析,提炼出多种类单机在环境试验测试过程中测试流程的相似性和通信接口的差异性,使用基于温度曲线的控制架构、架构分层设

计、配置文件等方法设计出了灵活、通用的自动化环境试验测试平台。较以往单一产品的手动测试的定制软件相比。该软件不仅替代了人工,实现了自动化,而且适应性和通用性强。经过实际使用。该软件能够圆满兼容多种类单机的环境试验自动化测试。本平台使用基于B/S架构的远程实时监控方法,满足工作人员对于远程监控的需求。本平台在单机环境试验的通用自动化监测中,稳定可靠、通用性强,大大提高单机环境试验时单机异常状态监测的准确可靠性。已成功应用在吉林一号星座各型号卫星单机环境试验实践中,并已授权发明专利一项。

参考文献

[1]羊铃霞,陈元松,仵林博,等.基于模型驱动的Web应用自动化测试平台设计与应用[J].计算机测量与控制,2022,30(5):30-36.

- [2]李光,潘晓彤,汪灏,等.批生产卫星的桌面电接口快速自动化测试系统设计[J].计算机测量与控制,2021,29(4):86-89.
- [3]程城,仇梦宇.面向批产化的小卫星自动化测试系统设计研究[J].计算机测量与控制,2018,26(2):5-8.
- [4]魏许,张怡文.飞轮通用测试软件平台的设计与实现[J].计算机测量与控制,2017,25(12):129-132.
- [5]戴润峰,陈逢田,李培华,等.我国小卫星综合测试技术发展展望[J].航天器工程,2021,30(6):145-152.
- [6]张福桢,闫海平,曾志敏,等.适应于组网卫星的数字化及自动化测试技术研究[J].计算机测量与控制,2022,30(12):18-22,50.
- [7]倪智煜,李新亮,魏士皓.基于B/S架构的飞机功能试验数据链测试系统研究[J].自动化与仪表,2023,38(5):28-31.
- [8]王晓耕,扈勇强,东巴雷,等.小卫星环境试验技术回顾与展望[J].航天器工程,2021,30(6):135-144.
- [9]宛传友,侯飞,丁一宁,等.基于ARM+FPGA的卫星电源控制器通用测试系统[J].自动化与仪表,2022,37(9):53-56.
- [10]李畅,易进,袁建富,等.面向批产卫星的并行模飞自动化测试系统设计与应用[J].电子技术应用,2023,49(12):144-148.
- [11]李翔,刘轶.基于B/S架构的航空发动机试验远程监控系统的设计与开发[J].机械与电子,2013(9):57-59.
- [12]徐镇辉,郭里城,王燕贞,等.基于混合架构的智能农业远程监控系统设计[J].内蒙古科技大学学报,2021,40(4):382-387.
- [13]樊丹丹,于慧勇,刘晨.基于B/S架构的试验数据管理系统设计与实现[J].电子测量技术,2018,41(10):50-54.
- [14]刘亚伟,刘晓东,孙陆楠,等.基于B/S架构的试验装备健康管理系统设计及实现[J].电气传动,2020,50(11):101-105,116.
- [15]苏立伟,康峰,陈海燕,等.基于数据安全通信的电网营销运营监控平台[J].自动化技术与应用,2024,43(8):184-188.
- [16]郭涛,曹建,安晨光,等.基于BS架构的DGA在线监测数据平台设计与实现[J].计算机应用与软件,2014,31(8):82-85,89.

(上接第62页)

- [3]SOLUNKE B R, GENGAJE S R. A review on traditional and deep learning based object detection methods[C]//2023 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI). Pune:IEEE,2023:1-7.
- [4]WANG Pin, FA En, WANG Peng. Comparative analysis of image classification algorithms based on traditional machine learning and deep learning[J]. Pattern Recognition Letters, 2021(141):61-67.
- [5]CHEN X. Improvement and experimental analysis of remote sensing image edge detection algorithm based on wavelet transform and feature extraction[C]. 2024 IEEE 4th International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI). Changchun: IEEE, 2024:587-590.
- [6]MADEY A S A, YAHYAOUI A, RASHEED J. Object detection in video by detecting vehicles using machine learning and deep learning approaches[C]//2021 international conference on forthcoming networks and sustainability in AIoT Era (FoNeS - AIoT). [S. l.]: IEEE, 2021:62-65.
- [7]OBAID L, HAMAD K, KHALIL M A, et al. Effect of feature optimization on performance of machine learning models for predicting traffic incident duration [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2024(131):107845.
- [8]黄志强,李军.基于卷积神经网络的图像识别研究综述[J].汽车工程师,2020(10):11-13,31.
- [9]田宁.基于深度卷积神经网络的细粒度车型识别方法研究[D].西安:西安科技大学,2022.
- [10]FU H, MA H, WANG G, et al. MCFF-CNN: Multiscale comprehensive feature fusion convolutional neural network for vehicle color recognition based on residual learning[J]. Neurocomputing, 2020(395):178-187.
- [11]孙洁睿.基于深度学习的车辆颜色识别研究[D].西安:西安电子科技大学,2020.
- [12]田策.基于深度学习的车牌识别算法研究[D].重庆:重庆工商大学,2023.
- [13]ZAAFOURI A, MOUNIR S, WEI WU. A vehicle license plate detection and recognition method using log gabor features and convolutional neural networks[J]. Cybernetics and Systems, 2023, 54(1):88-103.
- [14]PUSTOKHINA I V, PUSTOKHIN D A, RODRIGUES J J P C, et al. Automatic vehicle license plate recognition using optimal K-means with convolutional neural network for intelligent transportation systems[J]. IEEE Access, 2020(8):92907-92917.
- [15]柴江云.交通监控中车辆属性的识别方法研究[D].西安:西安理工大学,2022.
- [16]赵旻,刘凯,鄢达铸,等.结合文本分类的业务自动化系统设计与应用[J].自动化技术与应用,2025,44(7):186-188.
- [17]DE OLIVEIRA I O, LAROCA R, MENOTTI D, et al. Vehicle-Rear: A new dataset to explore feature fusion for vehicle identification using convolutional neural networks[J]. IEEE Access, 2021(9):101065-101077.
- [18]贾世娜.基于改进YOLOv5的小目标检测算法研究[D].南昌:南昌大学,2023.
- [19]张志刚.基于深度学习的铁路通信继电保护测试异常诊断技术研究[J].自动化技术与应用,2025,44(8):98-101,114.
- [20]VAS A, DSOUZA G A. Object tracing with colour range filtering in HSV colour space and object following with ros2[C]//2023 Global Conference on Information Technologies and Communications (GCITC). Wuhan:IEEE,2023:1-6.