

doi: 10.7690/bgzdh.2022.09.012

# 一种多工位共用自动测试系统

禹光华, 周城宇, 陈洲, 王十佳

(中国电子科技集团公司第十四研究所, 南京 210039)

**摘要:** 针对传统测试系统模式固定且不适用于小批量、多品种、多场景的特点, 设计一种多工位共用自动测试系统, 用于功率放大模块及组件等电性能调试、测试及维修。通过资源合理配置以最大化重点设备利用率、工位柔性化配置来满足多品种、多场景需求, 并进行实践论证。结果表明, 该系统实现了测试效率的提升及成本降低, 对其他类似测试系统搭建具有参考价值。

**关键词:** 测试系统; 多工位共用; 柔性化配置; 功率放大模块及组件

**中图分类号:** TP273.5 **文献标志码:** A

## Automatic Test System Shared By Multi Workstation

Yu Guanghua, Zhou Chengyu, Chen Zhou, Wang Shijia

(No. 14 Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210039, China)

**Abstract:** Aiming at the characteristics of the traditional test system that the mode is fixed and not suitable for small batch, multi-variety and multi-scene, a multi workstation shared automatic test system is designed, which is used for the electrical performance debugging, testing and maintenance of power amplification modules and components. Use the rational allocation of resources to maximize the utilization rate of key equipment, flexible allocation of workstations to meet the needs of multiple varieties and scenarios, and practical demonstration. The results show that the system improves the test efficiency and reduces the cost, which has reference value for other similar test systems.

**Keywords:** test system; multi workstation sharing; flexible configuration; power amplifier modules and components

### 0 引言

自动测试系统的概念形成于 20 世纪 50 年代。为解决对军用设备的维护问题, 美国海军提出了 SETE 计划<sup>[1]</sup>, 其设计的自动测试系统采用计算机或其他逻辑、定时电路进行控制, 设计了专门的接口电路用于实现各仪器与控制器之间的信息交换<sup>[2]</sup>。该系统具有通用性低、人机交互性低和维护成本高等特点。之后的测试系统在原有基础上设计了标准化的总线接口并出台了标准化操作文件, 提升了系统的通用性, 降低了维护成本。目前的自动测试系统主要以计算机为核心, 网络传输为信息交互纽带, 通过软件实现对仪器系统功能的分配、资源的合理调度和测试信息的汇总<sup>[3]</sup>, 实现对自动测试系统的优化管理, 而系统的升级也可以直接通过对软件的更新来实现。自动测试系统正朝着通用化、标准化、网络化和智能化的方向迈进<sup>[4]</sup>。

目前的实时自动测试系统, 多侧重研究对测试过程的控制以及响应的及时性, 如网络化测试系统及实时性研究<sup>[5]</sup>; 但对于如雷达功率放大模块及组件这种种类多、批量小的测试对象, 如何在保证测

试进程互不影响的情况下实现高效率、低成本的多工位并行测试, 这方面研究较少。

笔者介绍多工位共用自动测试系统的设计需求与特点, 搭建系统的软硬件框架, 分析系统搭建过程中存在的技术难点并提出解决方法, 并通过实践对系统的功能与性能进行了测试分析。

### 1 测试系统设计需求与功能特点

雷达功率放大模块及组件具备品种多、批量小、接口差异性大、测试占比小等特点。为满足当前雷达系统功率放大模块及组件的测试要求, 在提升测试效率的同时兼顾多种类功率放大模块及组件的测试需要, 对当前测试系统进行改进, 形成集中式设备和分布式工位的组织架构, 使改进后的系统满足工业网接入、智能调试的需要, 同时工位柔性化设计能够兼顾不同种类组件单元测试。

改进后的多工位共用自动测试系统应能实现以下功能:

1) 实现测试、调试、验证等多功能。

多个工位既可以进行一键分布式对各工位组件独立测控, 又可进行辅助式调控, 亦可分时测试对

收稿日期: 2022-05-27; 修回日期: 2022-06-25

作者简介: 禹光华(1977—), 男, 四川人, 高级工程师, 从事雷达工程化研究。E-mail: yuguanghua@cetc.com.cn。

产品进行验证。

2) 实现对测试仪器的集中管理和对测试系统的“云控制”。

对于各工位共用且使用频率相对较低或高精度、价格昂贵的仪表，由控制系统集中式管理进行资源分配。此外，能够实现各工位的任务管理、仪表的驱动安装以及测试调试数据收集和分析。

3) 实现分布式工位自主测控功能。

对于使用频率较高且价格相对较低的仪表，各个分布式工位都各自配备，由其对应工位工控机实现独立控制。此外，工控机还负责集中式仪表的使用申请、组件损耗标校、被测件控制以及测试调试

数据的上传。

4) 实现人工测试功能。

如遇到仪器故障或测试需要，可随时关停某仪器而不影响其他测试进程。针对特殊被测对象，可更改某项指标的测试标准。测试过程中可根据实际需要随时切换至人工测试模式。

## 2 测试系统设计方案

### 2.1 硬件设计

如图 1 所示，多工位共用自动测试系统的测试框架由数据中心、调试工位、仪表架、控制系统和智能网关 5 部分组成。

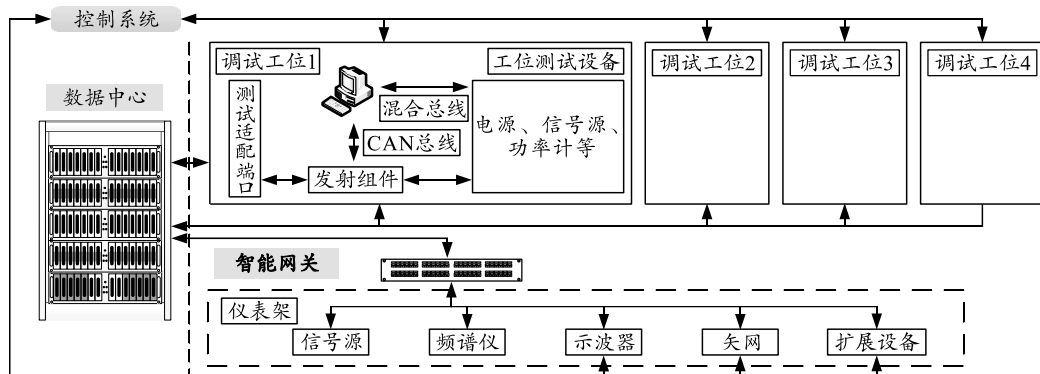


图 1 基于工业网的测试框架

工控机、仪器仪表和数据中心之间采用 LAN、GPIB、USB 等混合总线进行通信，工位上的工控机通过 LAN 总线与组件进行数据交互。调试工位上配有测试适配连接端口，连接端口配置有频谱仪、示波器、分布式测控等，连接相应端口即可使用相应的测试资源。测试使用频率较高的设备或特定设备如电源、专用信号源、功率计、负载、衰减器等配置到每个工位，使用频率较低并且价值高的设备如高性能信号源、频谱仪、示波器、矢网等配置到仪表架里，由测试管理软件进行统一资源分配调度。测试系统都接入控制系统中，对整个测试系统运行状态实时监测与管理，测试过程中产生的关键数据与指标实时上传数据中心，实现信息资源同步共享，方便后续生产管理的优化运行。

开关系统是自动测试系统实现自动测试的关键，也是以较小的硬件资源配置满足较大的测试需求的关键<sup>[6]</sup>。试系统集中式仪表与各工位间“一对一”式连接且互不干扰，设计了如图 2 所示的开关式架构，集中式仪表通过信号中枢将仪表端口配置到各个工位，信号中枢根据工位数量  $n$  配置 1:  $n$  型微波射频开关。各个工位可以分时申请使用集中

式仪表测试资源。控制系统根据软件输出的控制指令控制信号中枢开关，实现集中式仪表的资源分配。各工位仪表通过信号中枢与工位接口进行连接，控制系统可控制工位仪表跨平台使用，以适应多仪表并行使用的应用场景。

为保证测试系统具有较强兼容性并降低资源调度过程中资源调用难度，测试过程中使用的仪表将使用标准化的仪表类型并附有完善的仪器仪表驱动库，能够使用计算机操作系统内置的用于仪器编程的标准 I/O 函数库 VISA 库进行仪表控制。

### 2.2 软件设计

多工位共用自动测试系统的软件架构如图 3 所示，其具体组成架构包括应用操作层、数据交互层和仪表接口层 3 部分。

仪表管理层主要用于多工位共用自动测试系统和频谱仪、功率计、信号发生器等仪表进行数据交互。通过 LAN、GPIB、USB 等混合总线对仪表控制和通信，不仅控制仪表资源的管理分配和对数据的采集，而且包含仪器的驱动程序、命令集等，能够根据应用操作层给出命令生成仪表控制指令，控制仪表工作状态，并接收仪表所采集到的数据信息。

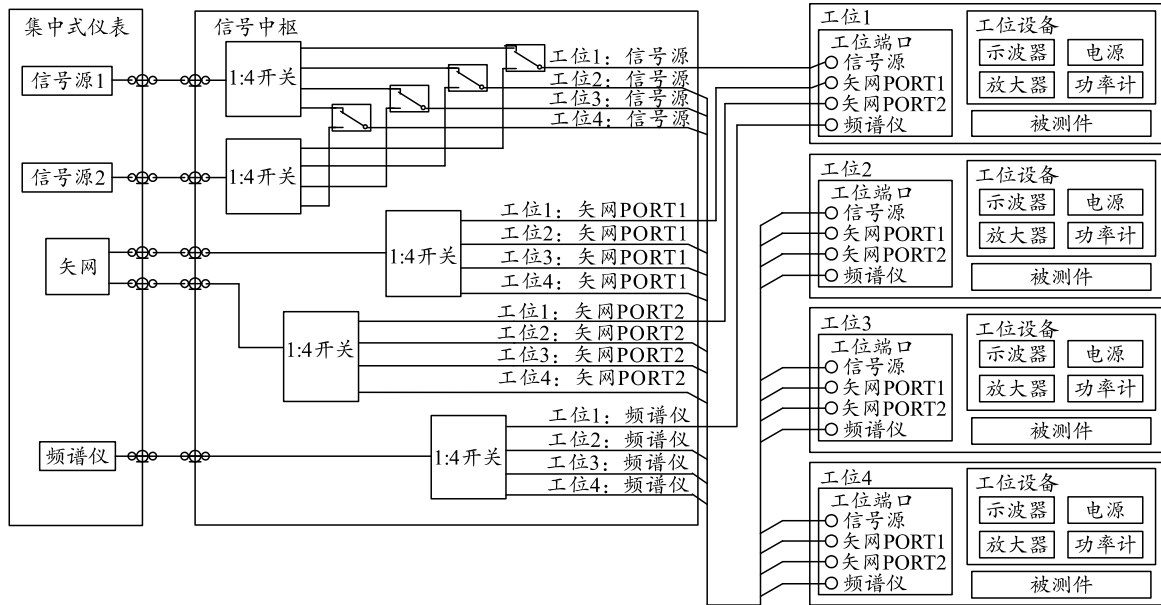


图 2 测试系统开关式架构

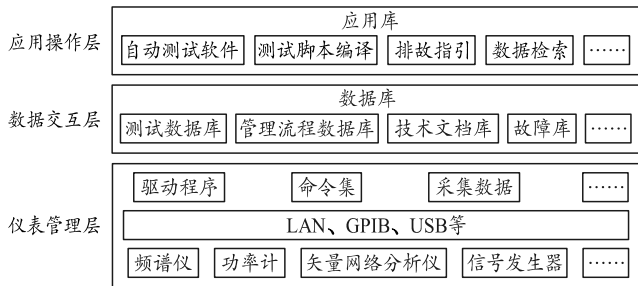


图 3 仪表控制通用软件框架

数据交互层作为多工位共用自动测试系统的中间层，其功能为存储测试相关的数据信息以及与其他层级间的信息交互，组成包含测试数据库、管理流程数据库、技术文档库等。该层不仅接收仪表管理层仪表的测量数据，而且负责向应用操作层提供必要的文件并保存其发送的数据。

应用管理层为整个测试系统的中枢，包含自动测试软件的运行、测试脚本的编译、数据的检索等功能。根据测试对象以及测试要求向仪表管理层发送测试指令，调用仪表对测试对象进行数据测量，从数据交互层内获取仪表测量数据和其他相关数据，经数据处理分析后得到最终的测试结果，并将测试数据和结果同时存储至相关数据库中。

多工位共用自动测试系统采用 C#语言进行编程，在 VS2005 环境下开发，采用 MVC 模型即 Model(模型)-View(视图)-Control(控制)的 3 层结构<sup>[6]</sup>。Model 主要处理程序数据逻辑部分，View 主要处理数据显示部分，Control 主要处理用户交互部分。用户通过操作软件界面，可以实现仪表自动设置和读取、自动测试、数据实时记录并保存、故障

辅助诊断等功能。

采用动态调度方法合理分配共用资源的使用，提升测试效能，并采用多线程多任务并行控制、总分控制相结合的调度模式，既保证各个分工位间测试进程互不干涉影响，又能总体调控分配共用资源，同步、异步执行各测试任务，完成测试要求。

### 3 技术难点及解决方法

#### 3.1 测试管理及资源调度

由于测试系统有多工位并行测试的要求，每个工位随时可以调用配置到该工位的仪表资源，但如需使用仪表架里共用仪表如高性能信号源、频谱仪、示波器、矢网时，每台仪表每一时刻只能响应一个工位测试请求，就存在 2 个以上工位同时调用同一台共用仪表导致冲突的情况。如果不能合理分配共用仪器使用时段，测试过程中将会产生竞争，导致程序逻辑冲突陷入卡死或者某些工位测试结果产生异常。

并行测试系统有 2 种工作方式，即同步被动方式和非同步自主方式<sup>[7]</sup>。同步被动方式面向对象的测试指标之间不能存在时序要求，通过调度算法给各被测对象分配测试资源实现多工位同步测试；非同步自主方式则对时序没有要求，能根据被测对象的增减随时动态调整资源分配。

由于被测对象种类不同，测试指标要求以及对测试时序要求也各不相同，因此测试系统采用非同步自主方式。针对同时调用共用仪表产生冲突的情况，可以根据被测件测试过程中的时序要求设置测

试优先级。对于时序要求较高的被测对象，由于测试顺序不能轻易更改，具有较高的优先级，在即将需要使用共用仪表测试且该仪表未被其他工位占用时，优先将该仪表分配给该测试对象所在工位使用。对于时序要求较低的被测对象，由于可以在不影响正常测试的条件下更改测试顺序，具有较低的优先级，可以先进行其他指标测量，等到所需使用的共用仪表处于空闲时段时再进行此项指标测试。对于同优先级的被测对象竞争使用某一共用仪表时，采用先到先得制，优先发出调用申请的被测对象优先使用测量，其他被测对象则转为等待状态或先测量其他指标。

### 3.2 电磁兼容性设计

功率放大模块及组件的主要指标要求包含工作频率、输出功率、脉冲宽度、信号稳定度或频谱纯度等<sup>[8]</sup>。对于多工位共用自动测试系统而言，由于不同工位间同时对不同对象进行指标测量，不可避免地会存在不同对象工作在同一频段上，造成发射机的发射信号互相干扰，导致测试结果与实际情况产生出入。

针对测试过程中的电磁干扰问题，采用物理隔离和频段隔离的方法进行处理。物理隔离即为在物理层面隔离电磁干扰的影响，通过计算确定测试回

路各通道间隔离度要求，将功率放大模块及组件大功率输出通过衰减器弱化及负载吸收，将工位测试过程中对其他工位的电磁干扰降到最低。频段隔离的方法是合理细化功率放大模块及组件的工作具体频段，保证每个时段上不同工位间的功率放大模块及组件工作在不同细分频段，这样可以有效隔离不同发射机测试的互相影响。通过物理隔离和频段隔离并行使用的方式，有效消减测试过程中工位间电磁干扰问题。

### 3.3 系统校准验证

系统的校准验证包含系统校准和系统的自检及校验 2 部分。

#### 1) 系统校准。

系统校准主要为对通路的幅相补偿。如图 4 所示，使用矢量测试出从设备端口到工位端口间通道的幅相差值即为当前通路的补偿数据，可以将其分段为 3 部分分别测其损耗：① 设备到信号中枢段；② 信号中枢内开关通路前后；③ 信号中枢到各工位测试端口段。最终将测试所在线路的 3 部分叠加，即为该通路的补偿数据。通路补偿数据也可以使用软件自动化测试方法，软件控制资源控制开关拨到对应路进行自动测试，计算其补偿数据并记录。

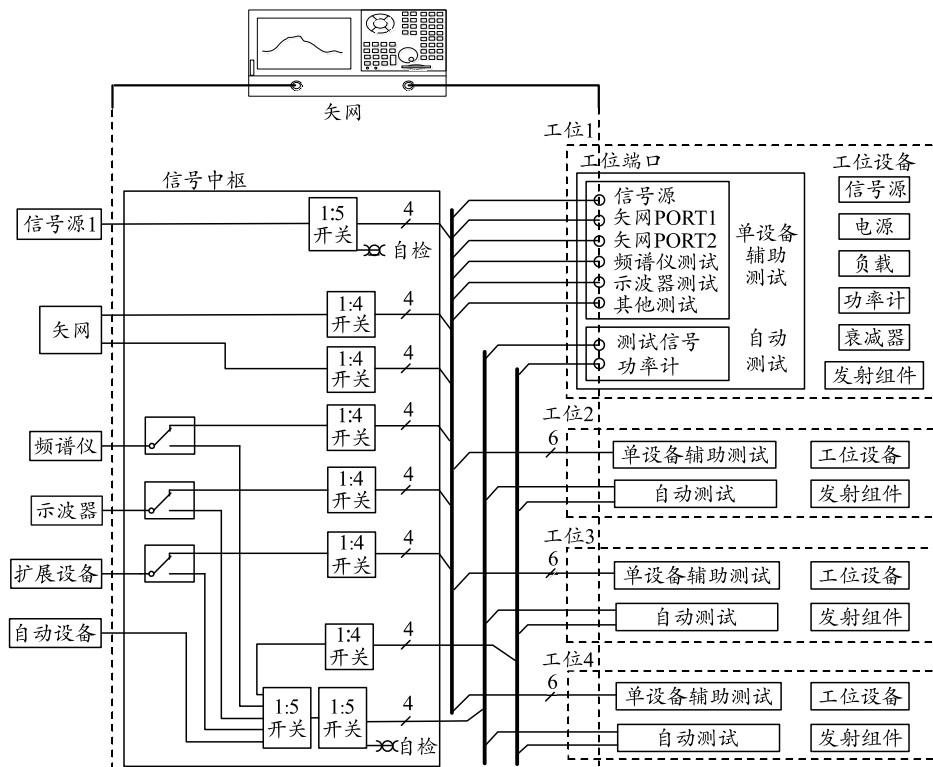


图 4 系统校准验证

### 2) 系统的自检及校验。

系统完成补偿后，需定期进行自检及校验。自检及校验主要是利用系统自闭环进行测试，通过系统信号源发射模拟信号，经中枢开关将信号源信号分别接到系统内的测试仪表，利用仪表测试对应指标的输出值并与信号源输入值对比，通过判别测试结果的准确性和与历史记录的差异，完成系统自检和校准验证。这样不仅可以实现对系统内仪表的自检和校准数据验证功能，还可检验系统的稳定性。通过使用软件自动化测试方法可迅速完成系统的自检及校验。

## 4 实践论证

在测试工作开始前，需要在工位的操作界面设置好使用仪表的测试参数，仪表设置界面如图 5 所示，可以对仪表进行初始化、参数设置、获取仪表数据等。在预先固化好仪表参数的情况下，可以通过直接调用参数固化文件，实现一键式初始化仪表设置的功能。

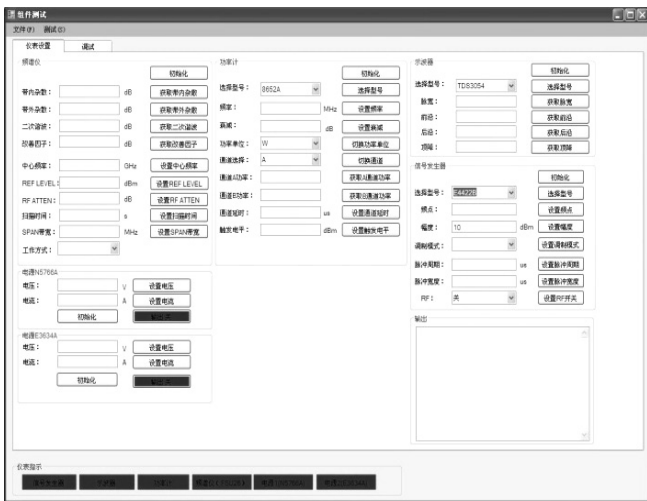


图 5 仪表设置界面

在设置好仪表参数后，即开始对组件进行测试。测试系统交互界面如图 6 所示，在固化完测试所需的指标流程后，输入测试的频点，勾选需要测试的数据类型，点击“开始测试”按钮，系统将根据仪表架仪表的使用情况和其他工位测试频段，自动分配测试任务，并在数据记录窗口实时显示测得的数据，在测试结束后将测试数据自动保存并上传至数据库中，方便需要时调用。

为测试搭建完成的多工位共用自动测试系统的测试性能，通过对一组 24 个组件分别使用普通工位测试和多工位(4 工位)共用自动测试系统进行测试，多工位共用自动测试系统可以提升测试效率约

31%，贵重仪表投入减少 75%。在实际运行中，多工位共用自动测试系统通过多工位的并行测试，实现多项目、多目标、多批次同时进行辅助调试与维修以及自动测试的功能，具有在同等效率下仪表投入少、平台转换灵活和良好的可扩展性等优点，不仅避免了繁琐的仪器仪表操作流程，而且合理的测试任务安排分配保证了不同工位对共用仪表的充分利用，降低了各工位的仪表成本，提升了实际测试效率。



图 6 测试系统交互界面

## 5 结束语

多工位共用自动测试系统是一种柔性化的多工位并行的测试系统，可根据实际需求增减测试工位、更改测试流程，其设计初衷是用于提升功率放大模块及组件测试工位的测试效率及资源利用率，在适当调整后也适用于其他类型组件测试。该测试系统通过合理的框架结构设计，解决了系统搭建过程中存在的资源管理调度、电磁兼容性以及系统校准验证等难题。软件方面采用层次化设计，分为应用操作层、数据交互层和仪表接口层，保证了系统的兼容性和拓展性。多工位共用自动测试系统面向的对象包括但不局限于功率放大模块及组件，通过实际测试证明：该系统可以提升测试效率，对整个多品种、小批量、多场景测试系统的测试技术发展具有推动作用。

### 参考文献：

[1] XIONG W, SHI W S, DONG J W, et al. Design of embedded automatic test system for radar transmitter[C]//Electronic Measurement & Instruments(ICEMI), 2011 10th International Conference on. IEEE, 2011: 259-262.  
 [2] 马功蓉, 孟凡军, 叶明. 自动测试系统技术发展综述[J]. 测控技术, 2018, 37(S2): 20-21, 25.