

# 基于 1553B 总线架构的测试设备设计与实现

谢天乐, 冯尚聪, 董旭, 徐景辉, 徐慧庆

(北京机电工程研究所, 北京 100074)

**摘要:** 随着 1553B 总线在航空系统和地面车辆系统中分布式从属设备连接方式的广泛应用, 提高武器装备保障体系中的测试设备的设计灵活性、可靠性以及可确定性显得尤为重要; 因此, 提出了一种基于 1553B 总线架构的 PXI 总线测试设备的设计方法与实现方式, 满足了武器装备测试时间不大于 30 分钟、故障检测率不小于 98%、模糊度 1 时故障隔离率不小于 75%、模糊度 2 时故障隔离率不小于 98%、虚警率不大于 2% 等测试要求; 经过工程实际应用表明, 能够满足装备的测试需求, 具有良好的可扩展性、实时性和可靠性等特点, 对武器装备测试领域的设备研制有一定的参考价值。

**关键词:** 1553B 总线; 测试设备; PXI 总线; 武器装备

## Design and Implementation of Test Equipment Based on 1553B Bus Architecture

XIE Tianle, FENG Shangcong, DONG Xu, XU Jinghui, XU Huiqing

(Beijing Institute of Mechanical and Electronic Engineering, Beijing 100074, China)

**Abstract:** With the wide application of 1553B bus in the connection mode of distributed slave equipment in aviation system and ground vehicle system, it is particularly important to improve the design flexibility, reliability and certainty of test equipment in weapon equipment support system. Therefore, a design method and implementation of PXI bus test equipment based on 1553B bus architecture are proposed, which meets the test requirements of weapon equipment, such as no more than 30 minutes of the test time, no less than 98% of the fault detection rate, no less than 75% of the fault isolation rate, when the fuzziness reaches 1, the fault isolation rate is no less than 98% when the fuzziness reaches 2, the false alarm rate is no less than 2%. The engineering application shows that it can meet the equipment testing requirements and has the characteristics of good scalability, real-time and reliability. It has a certain reference value for the equipment development in the field of weapon equipment testing.

**Keywords:** 1553B bus; test equipment; PXI bus; weapon equipment

## 0 引言

测试设备主要用于在总装厂、技术准备阵地、地面大型试验时对装备的技术指标和总体功能性能进行自动检测、维护和故障定位。通常作为装备技术支援系统或综合保障系统的重要组成部分, 是装备功能性能试验验证的必要设备。同时, 测试设备是大型装备研制过程及列装定型后必须的设备, 伴随着装备的全生命周期, 是不可代替的重要角色。

在新时代的背景和外界复杂环境下, 装备型号的种类在增加、规模在增大、复杂程度也越来越强。作战装备的研制生产成本低、单个目标的爆破毁伤概率高、空中生存能力强, 这是我们对研制一款新型号装备的美好愿景<sup>[1-3]</sup>。但我们应该注意到的是, 装备的飞行试验成本过高、试错成本较大, 这就要求装备的飞行试验成功率要达到 100%, 不容有失。确保飞行试验的成功率较高则要求我们务必将飞行试验的风险化解在地面, 测试设备在其中体现了重要、关键的作用, 在装备总装测试、地面大型试验等阶段, 测试设备都是必不可少的, 而这也对测试设备的设计提出了

新的挑战<sup>[4-5]</sup>。

从第一代手动测试设备开始, 测试系统经过了基于 CAMAC 总线的半自动测试设备、自动测试设备以及基于 VXI/PXI 总线的测试设备和基于 LXI 总线的分布式测试设备等阶段, 逐渐地从手动测试、半自动测试演变到全自动测试, 为提高装备的综合保障能力和战斗力起到了举足轻重的作用。但随着装备的现代化程度不断推进, 测试设备也暴露出了一些不容忽视的问题<sup>[6-9]</sup>。

目前测试设备的定位基本上是在技术阵地的测试厂房对武器装备进行定期检测, 测试设备的研制以此为基础, 基本上为固定式。有些设备体积庞大, 重量较重, 展开及撤收工序繁琐、时间较长, 机动化能力较弱。此外, 测试设备的通用化工作在减少列装设备种类和数量的同时, 产生了一些冗余设备, 也是导致测试设备体积和重量加大、进而影响机动化能力的一个原因<sup>[10]</sup>。一些设备为了达到通用目的, 采取“大而全”的方法, 使测试设备的体积、重量居高不下, 严重影响了机动化能力<sup>[11-15]</sup>。

收稿日期: 2021-12-23; 修回日期: 2022-02-03。

作者简介: 谢天乐(1992-), 男, 内蒙古赤峰人, 大学本科, 工程师, 主要从事武器装备测试方向的研究。

引用格式: 谢天乐, 冯尚聪, 董旭, 等. 基于 1553B 总线架构的测试设备设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(6): 11-16, 52.

众所周知,测试设备的设计、研制通常会滞后于武器装备的研制,只具备对武器装备进行测试的能力,故障定位到基层级现场可更换单元。不能够检测武器装备的潜在故障,必须在故障发展到了一定的阶段,才能够检测到并进行“事后维修”;武器装备在部队使用时进行定期维护测试,发现故障进行维修,即“计划维修”。这种“事后维修”与“计划维修”的维修方式,很难预防、避免灾难性的故障。此外,武器装备生产期间的测试数据、试验数据以及定检测试数据分属于不同的单位,无法实现共享<sup>[16]</sup>。同时,测试数据具有系统结构复杂、试验流程复杂、试验成本高、测量参数多、试验时间跨度大、数据量大、试验数据共享困难、资源分散、试验设备种类繁多等特点。传统的测试数据往往都分散存储在不同的计算机、仪器设备或者是其他载体上,数据的种类繁多,对数据检索、重新利用、数据共享造成了困难,也严重影响试验数据的安全性。同时,数据处理时也面临着格式不一致、数据结构复杂等困难,往往需要对数据进行手动的挑选、整理,再转换成相应的格式进行数据分析<sup>[17-18]</sup>。工作效率不高且易产生错误,因此采集、存储装备的全生命周期内的测试数据并统一时间戳就显得弥足珍贵。

随着装备低成本要求的提出,一体化设计技术在装备研制过程中得到越来越广泛的应用。一体化技术包括结构一体化和功能一体化。该技术的应用导致武器装备分系统设备功能的高度融合与交叉,已经很难从物理意义上对“现场可更换单元”定位,因此出现故障后故障定位难度会大大提高,现有的测试系统很难满足新一代装备测试要求,这就对设计一种测试设备时功能的可拓展性要求较强,在不改变原有系统的软硬件架构的情况下,通过增加或减少相应的软硬件模块实现不同的测试功能<sup>[19-20]</sup>。

对任何一型武器装备系统而言,其保障要求均是“好保障、保障好”。“好保障”的要求之一是装备具有良好的测试性和维修性水平,便于使用人员利用测试设备对其进行检测与维护;“保障好”则要求配套的测试设备功能强大、使用方便、可靠性高。本文对现有的测试系统的缺点及未来武器装备测试设备的发展趋势和关键技术进行分析的基础上,纵观测试系统的现状与发展趋势,提出并设计了本系统。

## 1 设计思想

设计一款好用、管用的测试设备,测试设备的可靠性、维修性、安全性、保障性、测试性和环境适应性应该是我们展开设计考虑的几个主要因素。具体如下:

1) 考虑到可靠性的特点,测试设备设计应尽可能地采用规范设计和成熟设计,并在设计时采取降低系统复杂程度的措施,提高测试设备的可靠性,并使产品具有较好的继承性;

2) 测试设备的维修性,则要求我们开展信号监测、准确故障隔离等措施保证设备的维修性设计,同时让整个设

备具有良好的可达性、互换性,以达到良好的维修性目的;

3) 测试设备的安全性,应是我们设计产品、使用设备时考虑的首要因素,这关系着人员的安危和装备、设备的安全,因此,我们应开展安全性设计,如过压保护、过流保护及初始安全状态检查等,采取多种措施,将不安全因素化解在源头;

4) 测试设备的保障性即设备应具有良好的机动能力和转场运输能力,可考虑采用人机工程设计的思想即分机设备装入移动机柜,同时,机柜兼具包装箱的功能。通过以上措施实现保障性设计,降低了对保障资源的要求,并具有良好的机动能力和转场运输能力。

5) 测试设备的测试性,通常指的是其能准确、及时的确定自身可以工作、不可以工作或工作性能下降,并能够隔离内部故障的特性设计。为了提高设备的测试性,可以从测试性设计和测试覆盖性设计两个方面着手,如设备具有自诊断设计、上电初始化自检结果反馈、工作状态数据实时采集监控、单机设备自检、设备自检等措施;

6) 设备的环境适应性对设备的使用环境提出了较高的要求,以适应室内、野外等多种环境条件的工作。具体可采用如下设计:机柜内设备进行专门的通风散热设计,同时机箱采用利于热传导的金属壳体,机柜底部安装带减振功能的橡胶轮车。

## 2 方案设计与实现

### 2.1 系统功能及架构

根据对装备的测试需求进行分析,测试设备应具有如下功能:1) 通过控制电源设备,向被测装备供电;2) 通过 1553B 总线实现测试设备与被测装备进行指令和数据交互;3) 通过测试设备中的状态量等模块采集资源对被测装备发出的状态量等信号进行采集和记录;4) 通过设计专用测试设备实现对被测装备的分系统进行专项测试;5) 通过测试设备软件调度、管理硬件资源,按照被测装备测试流程配置控制时序,可实现被测装备专项测试和系统级自动化测试。

基于以上测试设备功能,测试设备架构设计如图 1 所示。被测装备通过测试线缆与测试设备实现电气连接,被测装备的对应信号与测试设备内部的测试资源进行匹配和信号调理,完成电气匹配;单机专用设备配合完成被测装备分系统的专项测试。为了提高测试设备运行过程中数据的可追溯性以及完成性,各分机和分设备均采用统一 1553B 总线进行控制,所有过程数据均由后台全程记录并标记相应的时间标识,以便对数据进行全程追踪和分析。

### 2.2 总体方案设计

#### 2.2.1 技术指标

测试设备各分机外形结构采用 19 英寸标准机箱装载于测试设备机柜内部,以实现整体运输,同时单个机柜质量不大于 100 kg;测试设备在开展综合测试时,准备时间不大于 10 分钟,测试时间不大于 30 分钟,故障检测率不小于 98%,模糊度 1 时故障隔离率不小于 75%,模糊度 2 时故

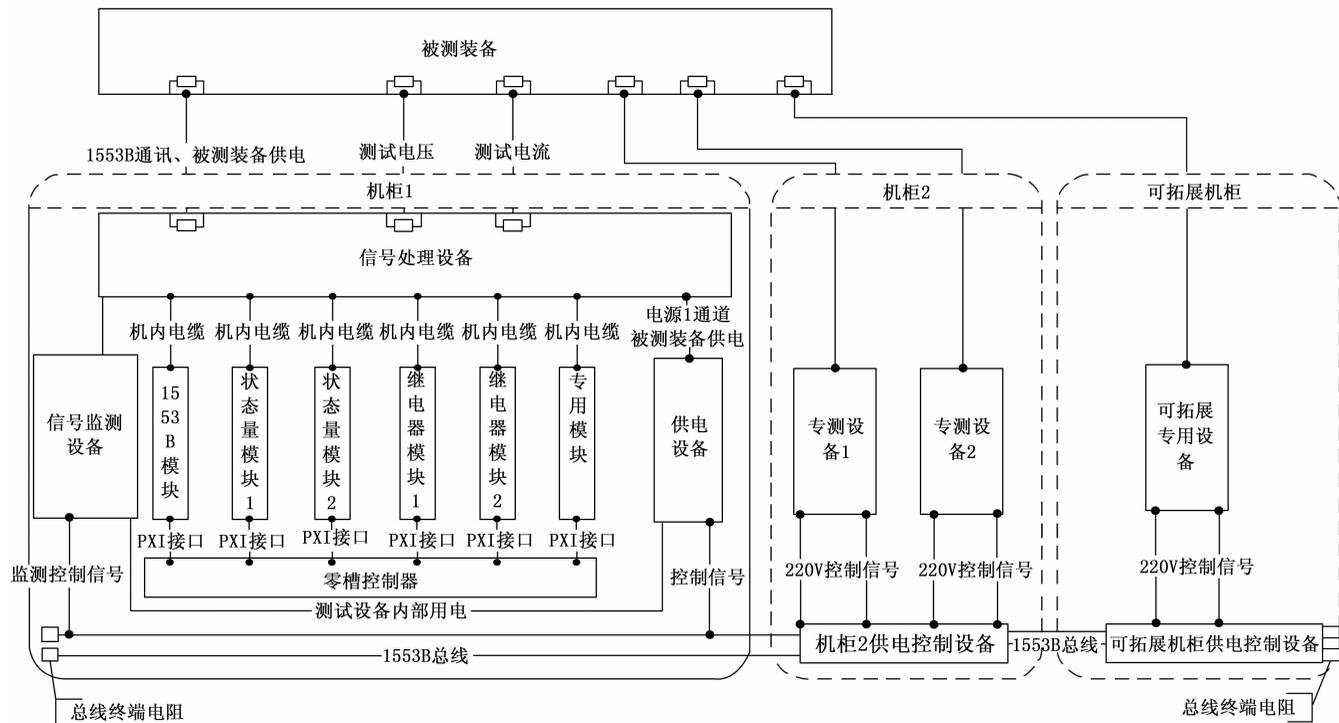


图 1 测试设备架构设计图

障隔离率不小于 98%，虚警率不大于 2%；测试设备记录测试数据、武器装备状态数据，能够对武器装备进行快速故障定位，对设备故障定位到现场可更换单元，且故障诊断定位时间不大于分钟；设备寿命在可更换短寿件的条件下不小于 30 年。

### 2.2.2 测试设备主要硬件组成及其工作原理

测试设备是由多台设备通过 PXI 测试总线构成的多功能测试系统，主要设备包括：PXI 总线系统、综合信号处理设备、信号监测设备、供电控制设备、专用测试设备 1、专用测试设备 2 等，在结构形式上由 2 个 12 U 加宽机柜及相关外围设备组成。

在机柜 1 内安装有 PXI 机箱、零槽控制器、仪器仪表资源、综合信号处理设备、供电设备、信号监测设备及显示器等。各设备的功能如下：

1) 仪器仪表资源包括 1553B 模块、开关量模块、继电器模块等。配置 1553B 通讯模块负责与被测装备进行指令和数据交互；开关量模块用于对被测装备发出的状态信号、测试设备模拟发出的状态信号进行采集和记录；继电器模块用于控制、模拟数字信号。

2) 显示器采用工业上架键盘、鼠标一体化显示器。

3) 零槽控制器作为测试设备的“大脑”，主要用于运行测试软件，控制各测试专用设备按照测试脚本输出激励信号，控制 PXI 仪器仪表资源输出指令和开关量、模拟量的实时采集、被测装备与测试设备间的实时通讯以及测试数据的处理等，负责整个系统控制、通讯、数据采集、处理、判断、存贮、结果查询、输出等。

4) 综合信号处理设备主要功能是将测试设备资源进行

调理以适配被测装备测试的信号需求，实现 PXI 机箱到被测装备的信号分配和转接等功能。主要由信号调理部分、开关控制部分等组成。完成测试设备向被测装备的供电控制、向被测装备提供安全保护。同时，作为被测装备与 PXI 机箱内仪器仪表模块的“信号中介”。

5) 信号监测设备用于对 1553B、状态量等重要信号进行全程记录、监测和安全控制，可根据被测装备测试监测的需要，完成关键参数实时测试和显示。同时，信号监测设备也是故障诊断的重要诊断支持工具。

6) 供电控制设备完成测试设备机柜内部设备供配电管理，并能够完成测试设备 1553B 总线拓扑结构中的总线扩展和转接。

在机柜 2 内安装有供电控制设备、专测设备 1 和专测设备 2。供电控制设备功能同上；专测设备 1 和专测设备 2 通过模拟、仿真、转发等方式，完成被测装备配套分系统的专项测试。

### 2.2.3 结构布局及系统连接

根据测试设备功能和系统架构，以及充分考虑系统可扩展性，对组成系统的各分设备进行合理布局，如图 2 所示。为了提高设备的使用便捷性和外观美观性，将各分设备集成至机柜内。1 号机柜主要功能为向被测对象供电、模块资源信号调理以及测试过程数据监测与记录；2 号机柜主要是由专测设备和供电管理设备组成，其中，供电管理设备作为除机柜 1 以外其他机柜的供配电管理设备，其采用市电供电作为输入，对外提供电源输出及 1553B 总线中继。专测设备功能是为被测装备分系统开展专项测试。可拓展机柜作为拓展测试资源的重要途径，通过机柜间的通用接

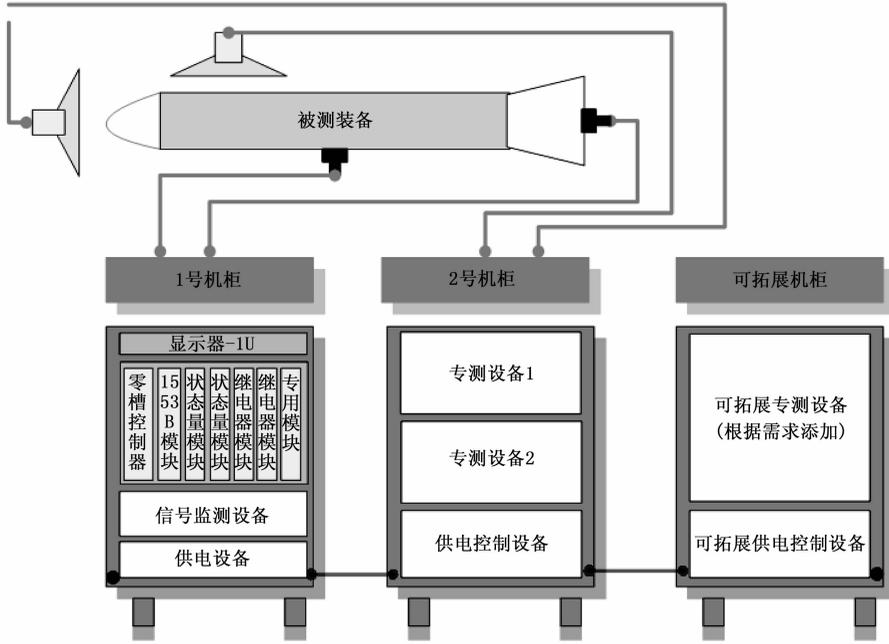


图 2 测试设备系统连接状态

口连接到测试设备系统内，并连接总线终端电阻，组成完整的 1553B 拓扑结构。

### 2.2.4 测试设备数据交互设计

如图 3 所示，测试设备内部以及与被测装备之间数据交互分为通讯数据和状态数据，其中 1553B 总线既是被测装备和测试设备间通讯总线，也是测试设备主机与各分设

备之间的控制总线，测试设备 PXI 总线控制计算机作为总线 BC 控制总线。状态数据分为被测装备上发出的状态信号、测试设备模拟发出的状态信号和被测装备与测试设备供电线路的电压、电流等信息；以上信息统一由测试设备后台完成数据的采集以及时间戳管理，使所有信号全部处于统一时间域中，为被测装备在研制期间以及后续使用过程中的问题排查提供具有时间相关性的原始数据信息，可实现在地面测试过程数据的全程记录和事后分析。

### 2.2.5 1553B 总线设计

1553B 总线拓扑结构如图 4 所示，在该总线上，机柜 1 内的机箱模块作为总线 BC 控制，测试设备其他专用设备以及被测装备作为 RT，信号监测设备作为 MT 设备实时监测并记录总线数据，并为每一条数据标示相应的时间标识。

机柜内部电缆连接采用总线—子线的方式，机柜通用接口输入和输出均设计为 1553B 总线，内部设备以子线形式挂接到 1553B 总线系统，各子通信控制接口、供电接口通用，可以互换，各接口以编号区分。机柜内部通信控制接口和供电接口选用应标准统一，各接口定义相同，如表 1 所示。

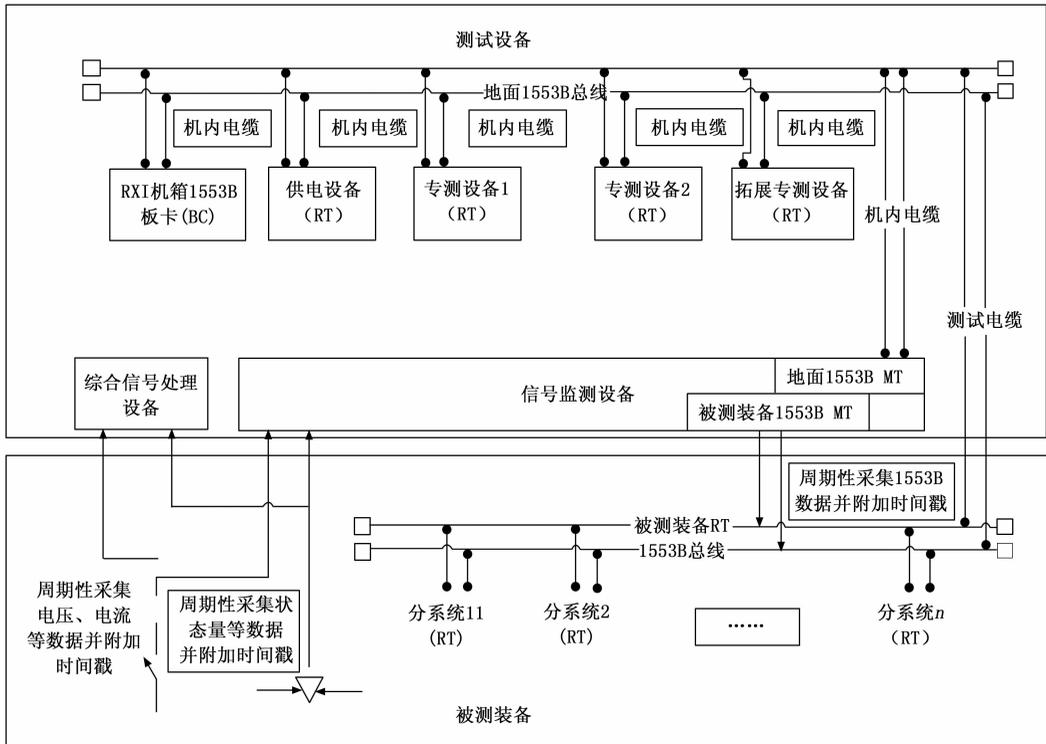


图 3 测试设备数据交互示意图

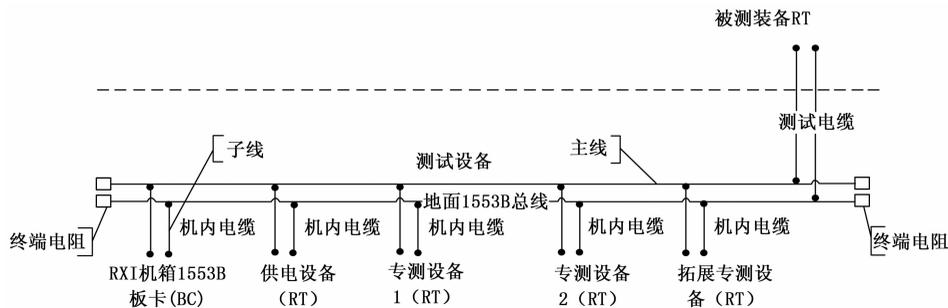


图 4 1553B 总线拓扑结构

表 1 机柜扩展接口定义

型号	点号定义	备注
J599/20FJ31SN	j: 火线 L1	交流供电接口
	b: 火线 L2	
	d: 火线 L3	
	f: 零线 N	
	h: 保护地 (PE)	1553B 主线通信
	K: MAX A	
H: MAX B		

### 2.2.6 扩展设计

基于自动化测试设备模块化和通用化设计, 可通过扩展机柜和增加组件的方式实现设备功能扩充, 进而满足被测装备新的测试需求。

自动化测试设备以机柜为单位进行设计, 机柜对外接口即为扩展接口。每个机柜底部设计两个通用扩展接口, 对称布局, 两端均可扩展。接口定义包括供电、双冗余 1553B 总线, 连接器型号选用应统一。

在机柜内部, 通过供电控制设备为机柜内部用电设备提供配电功能, 满足模块化设备的供电需求, 实现在不改变其他机柜连接关系的情况下对自动化测试设备进行功能扩充。

## 2.3 软件设计

测试设备开发配置专用测试软件, 与硬件系统配和调度、管理硬件资源按照被测装备测试脚本控制时序, 实现被测装备的专项测试和系统级自动化测试; 本测试软件要求以中文 Windows7 为开发环境, 开发工具采用 Microsoft Visual, 编程语言采用 C++ 语言。软件采用模块化设计, 采取测试软件与测试脚本分离的架构, 将测试流程和测试结果存入数据库表格。数据库使用 ACCESS 2003 以上版本。

### 2.3.1 体系结构

测试软件开发设计分为几个部分: 1) 平台部分, 主要有 UI 显示, 通用函数, 测试脚本开发、解析、执行, 数据处理、数据推送等; 2) 测试程序集, 测试程序集是与被测装备密切相关的, 由于针对同一类测试对象的测试方法相似, 因此测试程序集也可以通过使用同一方法规范编制做到一定程度的通用, 测试程序集的通用将大大提供测试软

件的通用性; 3) 专用数据文件, 包括流程数据库即测试脚本与配置文件, 为专用部分, 通过填写型号专用流程库与配置文件, 实现测试策略。测试软件体系结构如图 5 所示。图中的专用函数部分是针对硬件平台和被测对象, 根据需求开发。

### 2.3.2 功能设计

测试软件的功能包括用户管理、参数设置、自动测试、数据处理、退出等功能。其中, 用户管理功能主要用于用户身份的验证和用户权限设置, 保证系统的安全性; 参数设置功能, 主要用于设置系统的相关参数等, 如被测装备编号、型号、状态等; 自动测试功能, 是测软件的核心部分, 加载测试脚本解析测试流程, 并能够对测试结果进行自动判断, 以此来判断被测装备的性能状态; 数据处理部分, 用于回放、查询历史测试数据等; 退出功能则是释放系统申请的软件和硬件资源, 结束测试。

### 2.3.3 开发方式

测试系统软件由通用软件平台、测试脚本组成。通用软件平台由 VC 开发而成, 包括调度模块、接口模块、命令执行模块、结果处理模块及仪器驱动程序库 5 部分, 负责与人机交互设备、测试仪器、型号测试脚本以及显示打印设备交联, 具有与被测装备无关的特点。

被测装备测试脚本直接与被测对象相关, 根据被测装备测试流程编写, 由若干数据库表格组成。每一个表格对应一个单元的测试, 表格由若干记录组成, 每一个记录完成一个参数测试。每个记录由若干个字段组成, 分别代表被测参数的名称、激励信号及其加载顺序、技术要求、结果的上下限、超时控制、故障诊断索引信息等。自动测试过程实际上就是通用软件平台对测试脚本中的命令进行解释与执行的过程。

测试时, 通用软件平台根据操作人员的指令选择测试单元后, 与相应数据库连接, 读出命令, 并分解、执行, 将测试结果保存在数据库中, 直到测试流程结束。

这种测试流程开发方式, 对于新的测试对象, 在不增加硬件设备的前提下, 只需填写新的测试流程库表格和故障诊断库, 不需要任何编程; 数据库的开发和测试设备硬件及其驱动程序的开发可同时启动, 大大加快了软件工程的开发进度。

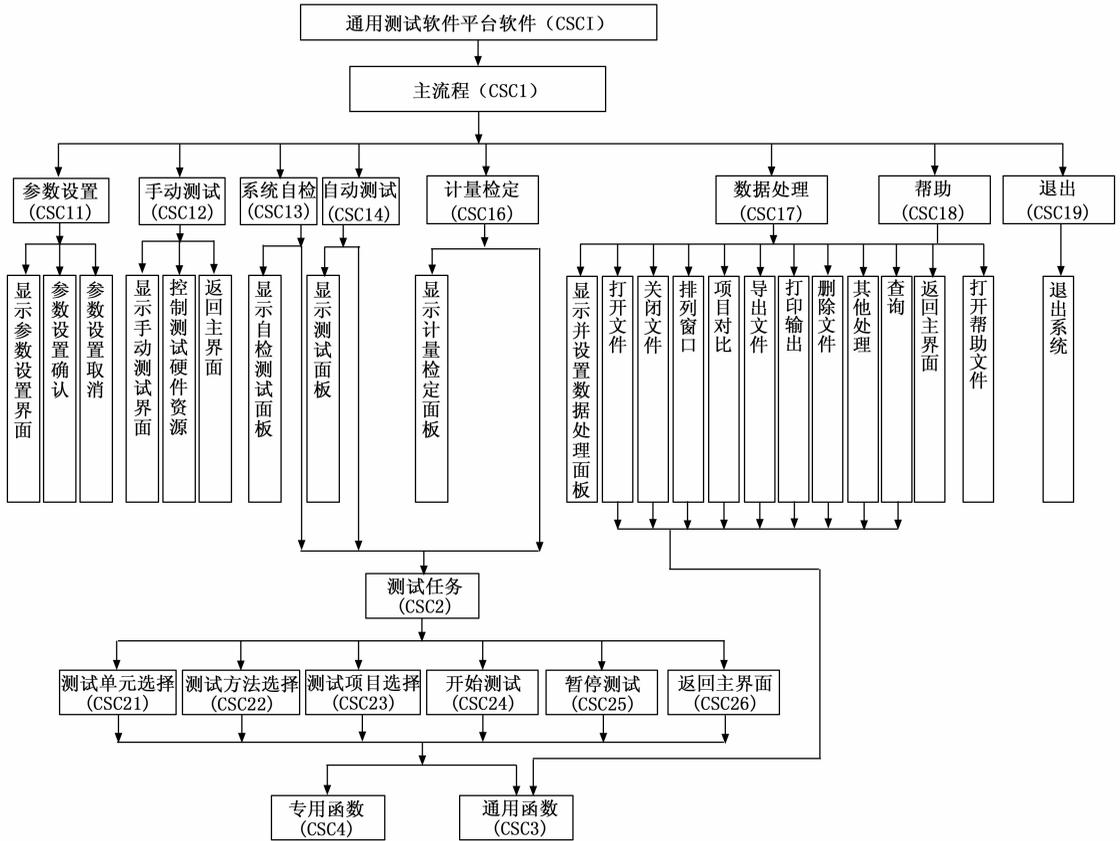


图 5 软件体系结构

### 2.3.4 测试脚本

测试脚本是独立开发的部分，脚本中包括测试单元索引表和各个专项测试流程表等，其中最重要的是专项测试流程表，表中记录着专项测试的项目名称、编号、技术条件、测试项目操作和方式、测试结果的正误判断标准、项目测试次数等。

测试脚本在测试过程中本身不进行任何操作，通过开放式数据源形式完全向测试通用平台开放，由通用平台控制其查询和读取。测试脚本使用数据库软件独立开发，不同被测装备的测试流程库各自独立，无相互交织关系，专项测试和系统测试流程的排布由测试人员设计，独立进行人工维护。

## 3 结果与分析

经过应用验证，基于 1553B 思想的测试设备设计与实现，满足了某型武器装备测试时间不大于 30 分钟、故障检测率不小于 98%、模糊度 1 时故障隔离率不小于 75%，模糊度 2 时故障隔离率不小于 98%、虚警率不大于 2% 等测试要求。很好的满足了武器装备的测试需求，实现了设备的模块化设计和通用化设计，在被测装备有新的测试需求的情况下具有良好的可扩展性、可靠性、实时性，并在实际应用中得到了证实。在本系统的应用过程中，在测试设备内监测并存储了大量的测试数据，包括总线数据、状态数据等，这为开展武器装备的故障预测和状态管理 (PHM)

维修管理技术提供了前提，为各种数据的收集和处理提供了必要的物质条件。因此，后续的测试设备设计，应加大垂直测试技术的应用，融入相关技术，助力新一代的武器装备的研制和使用。

## 4 结束语

随着数字控制技术和装备信息化技术的应用，武器装备的分系统设备间的信息传输已经逐步完成从模拟信号到数字信号的转变，装备分系统设备的现代通信智能化和高度集成化、一体化使得机内测试的能力和覆盖率大幅提高。装备模块化、快速装配技术及总装作业流水线的应用明显缩短了平均修复时间。装备不开箱测试技术的应用大大提高了用户的工作效率，在一定程度上避免了武器装备开、装箱操作过程中造成的意外损坏和附加工作。上述技术及其它新技术的综合应用显著提高了武器装备的综合性能，但同时也对早期基于模拟技术建立的武器装备保障体系配套的测试系统设备提出了革新的迫切要求，如装备的小型化、组合化、综合化趋势等。具体表现在以下几个方面。

1) 小型化机内测试能力的提高为地面测试设备的小型化创造了便利条件，简易测试场景下的便携式测试设备应运而生。便携式测试设备通常包括一台小型计算机、通用信号处理单元以及测试所需的供配电设备，是一种配备给现场维修点使用、可移动的计算机设备。便携式设备具有自

(下转第 52 页)