

海军舰艇信息装备通用测试平台设计

张波, 李艳青, 闫晓萍

(海军青岛雷达声纳修理厂, 山东 青岛 266100)

摘要: 针对目前新型舰载信息装备保障需求, 从舰艇信息装备通用化、体系化发展要求出发, 以信息装备保障能力建设为中心, 采用了基于开放式综合诊断系统工程方法, 从能力需求、功能、结构、技术、接口和标准等方面进行综合论证, 提出舰艇信息装备通用测试平台的总体思路、软硬件结构框架、关键技术途径, 达到了提高舰艇信息装备维修保障系统系列化、通用化、综合化和模块化水平的目标, 具有较大的参考价值。

关键词: 信息装备; 综合诊断; 测试平台; 维修保障

Design of General Test Platform for Shipborne Information Equipment

ZHANG Bo, LI Yanqing, YAN Xiaoping

(Naval Radar and Sonar Repairing Factory, Qingdao 266100, China)

Abstract: In view of the current support requirements of new shipborne information equipment, starting from the requirements of generalization and systematic development on shipborne information equipment, focusing on the construction of information equipment support capacity, and based on the engineering method of open comprehensive diagnosis system, a comprehensive demonstration is developed from the aspects of capability requirements, functions, structures, technologies, interfaces and standards. The general idea, software and hardware structure framework and key technical approaches of the general test platform with ship information equipment is put forward, it provides the great reference value for improving the serialization, generalization, integration and modular combination of shipborne information equipment maintenance support system, which has great reference value.

Keywords: information equipment; comprehensive diagnosis; test platform; maintenance support

0 引言

随着海军新型主战舰艇的列装, 舰艇信息装备使用保障需求发生了根本性变化, 舰艇信息装备各项性能指标和信息化程度大大超过了前十年装备, 作战性能、技术先进性及信息化水平有了质的飞跃, 总体作战能力有了长足进步。但是, 伴随远航任务的不断增加和微电子、通信、网络、计算机等新技术在信息装备中的广泛应用, 舰艇信息装备保障的困难随之而来, 其远离岸基、系统庞大、设备密集、安装分散、技术复杂、接口多样的特殊性, 急需综合性自动化的通用测试诊断系统^[1-4]。如何提供有效、通用、经济的测试诊断系统, 保证舰艇信息装备有效性和完好性, 在装备发生故障时提高其现场测试效率(高效), 缩短其诊断维修时间(快速), 降低其维修成本(经济), 成为舰艇信息装备技术保障的难点和重点。

从舰艇信息装备系统化、体系化发展要求出发, 以信息装备保障能力建设为中心, 基于开放式综合诊断系统工程方法, 从能力需求、功能、结构、技术、接口和标准等方面进行综合论证, 提出舰艇信息装备通用测试平台^[5]的总体思路、软硬件结构框架、技术途径, 最终实现提升舰艇信息装备维修保障能力的目标。

1 硬件平台设计

1.1 硬件体系结构

舰艇信息装备通用测试平台硬件平台围绕着通用化、系列化、组合化的设计原则来进行设计。硬件平台利用软件无线电技术^[6-7]构建, 采用合成仪器, 收发一体综合测试技术, 硬件利用率高, 集成度高。硬件平台采用“标准总线+测试设备”的开放式、可灵活扩展/剪裁可重构的整体架构, 以 PXI/PXIe 总线为平台的核心总线。舰艇信息装备通用测试平台硬件平台由基本测试资源和扩展测试资源两大部分组成。

硬件平台中的基本测试资源共由两个功能单元组成, 分别为数字模拟测试单元、射频微波单元。这两个单元里主要集成了测控资源、总线测试资源、数字与模拟测试资源、开关测试资源、射频微波资源等五类测试资源, 用以支持平台完成整体控制、总线测试、数字模拟量测试、通道管理、射频微波测试等相应的测试工作。硬件平台中的扩展资源是由 3 个单元组成, 分别为射频微波扩展单元、特殊测试单元、扩展测试单元。这 3 个单元主要集成了射频微波测试资源和特殊测试模拟器资源、大功率供电电源资源, 用以支持平台完成更复杂射频微波参数测试及

收稿日期: 2022-08-05; 修回日期: 2022-09-30。

作者简介: 张波(1974-), 男, 山东安丘人, 研究生, 高级工程师, 主要从事电子装备自动测试与故障诊断方向的研究。

通讯作者: 李艳青(1983-), 男, 河北内丘人, 工程师, 主要从事雷达维修与电子装备自动测试方向的研究。

引用格式: 张波, 李艳青, 闫晓萍. 海军舰艇信息装备通用测试平台设计[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(4): 156-160, 193.

实现各种特殊测试功能。硬件平台的每个单元都安装于一个 10U、19 英寸标准军用组装箱内, 多个军用组装箱可以根据测试需求灵活拼装实现不同的测试功能, 如图 1 所示。平台测试附件包括: 为系统整体供电的交流配电箱, 自检适配器、计量校准适配器、微波附件等。

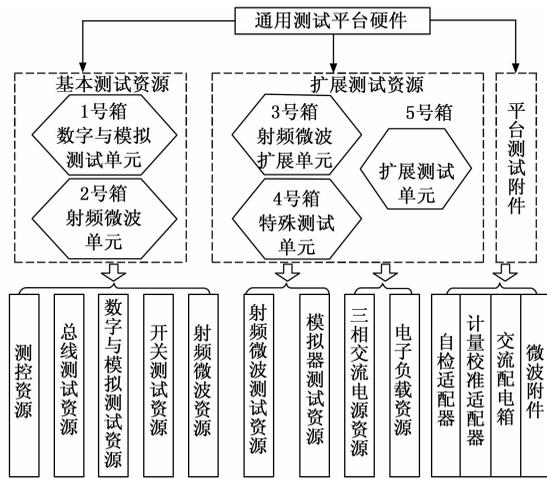


图 1 通用测试平台硬件平台架构图

1.2 硬件设计方案

在舰艇信息装备通用测试平台硬件设计中, 硬件资源与控制总线体系的选择, 以 PXI 总线为舰艇信息装备通用测试平台的核心总线, 以 LAN 总线和 GPIB 总线台式测试设备为辅进行系统构建, 并保留 GPIB、LAN、USB 等总线的对外扩展接口, 实现系统的扩展性和灵活性。舰艇信息装备通用测试平台硬件组成如图 2 所示。

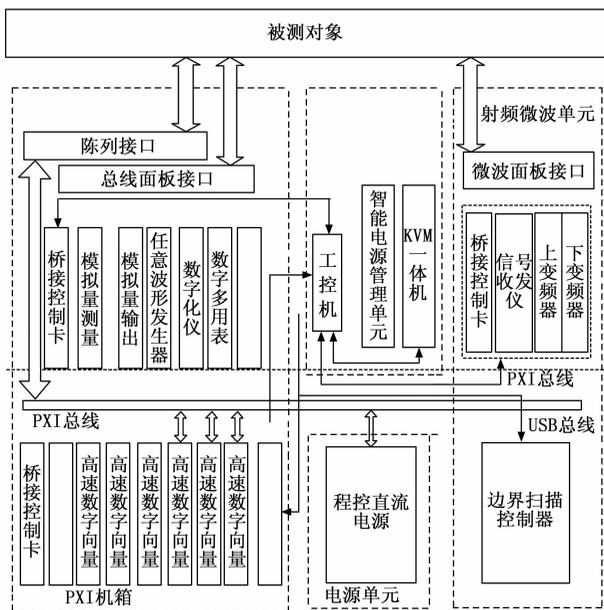


图 2 舰艇信息装备通用测试平台硬件方案框图

舰艇信息装备通用测试平台配置了 1 台工业控制计算机 (以下简称 TCC)、12 种模块化仪器 (装入 3 个 PXI 机

箱内)、2 种台式仪器, 以及测试附件等组成, 其中 2 个 PXI 机箱留有充裕的可扩展槽位, 确保舰艇信息装备通用测试平台具有模块化仪器资源的扩展能力; 台式仪器主要包括供电电源类, 采用 LAN 总线与主控计算机进行通信。系统中共配置了三台 PXI 机箱, 为了实现对 PXI 总线模块仪器的控制, 在工控机中配置了两套 PCI-PXI 扩展控制套件, 在 PXI 机箱中安装有桥接控制卡, 实现对 PXI 机箱内设备的控制, 大幅提升系统对 PXI 仪器的兼容性, 提升互换性。

舰艇信息装备通用测试平台硬件仪器资源放置原则: 性能最佳性、使用方便性、系统可靠性、成本经济性、方便维修性等方面考虑组合放置。舰艇信息装备通用测试平台硬件资源主要由工控机、KVM 一体机、交换机、智能电源管理单元、高速数字向量仪、边界扫描^[8-9]控制器、数字化仪、模拟量输出、模拟量输入、数字多用表、任意波形发生器、信号收发仪、上变频器、下变频器、开关矩阵、程控直流电源等组成。这些测试资源分别安装于两个 10U、19 英寸标准军用组装箱内, 分别编号为 1 号军用组装箱和 2 号军用组装箱。

其中, 1 号组装箱内安装的主要是数字测试资源和模拟测试资源, 主要集成了数字多用表、数字化仪模块、模拟量输出、模拟量测量、高速数字向量仪、边界扫描控制器等, 用于支持系统完成通道管理、数字与模拟量测试、边界扫描测试等; 2 号组装箱内安装的主要是测控资源和微波资源, 主要集成了测控计算机、KVM 一体机、智能电源管理单元、开关矩阵、信号收发仪、上变频器、下变频器等。

1.2.1 1 号组装箱设计

1 号军用组装箱实现数字矢量信号的产生与接收、模拟信号的基本参数测量、波形参数测量、模拟信号的产生、边界扫描功能测试等方面的功能。1 号军用组装箱由: 前面板、组装箱内部、后面板三部分。组装箱内部, 配备两台 18 槽 PXI 机箱, 安装有高速数字向量模块、模拟量输出模块、模拟量测量模块、数字化仪模块、任意波形发生器模块、数字多用表模块, 在 1 号军用组装箱内还配备有边界扫描控制器, 实现边界扫描方面的测试; 后面板配备智能电源管理单元从机 2, 实现电源通断控制; 配备 4 个风机于内侧上方, 并从通风口排风。

组装箱内部, 1 号 PXI 机箱位于组装箱最上方, 安装有 PXI 桥接卡模块、模拟量测量模块、模拟量输出模块、任意波形发生器模块、数字化仪模块、数字多用表模块等 PXI 模块, 实现模拟信号的产生和测试。边界扫描控制器是标准 1U 高, 位于 2 号 PXI 机箱的下方, 通过 USB 接口与工控机连接, 实现边界扫描测试的功能。3 号 PXI 机箱位于机柜最下方, 内安装 PXI 桥接卡模块、高速数字矢量仪模块, 实现数字矢量信号的信号产生、分析能力。

1.2.2 2 号军用组装箱设计

2 号军用组装箱集工控机、KVM 一体机、智能电源管理单元、18 槽 PXI 机箱、PCI 桥接卡、信号收发仪、上变

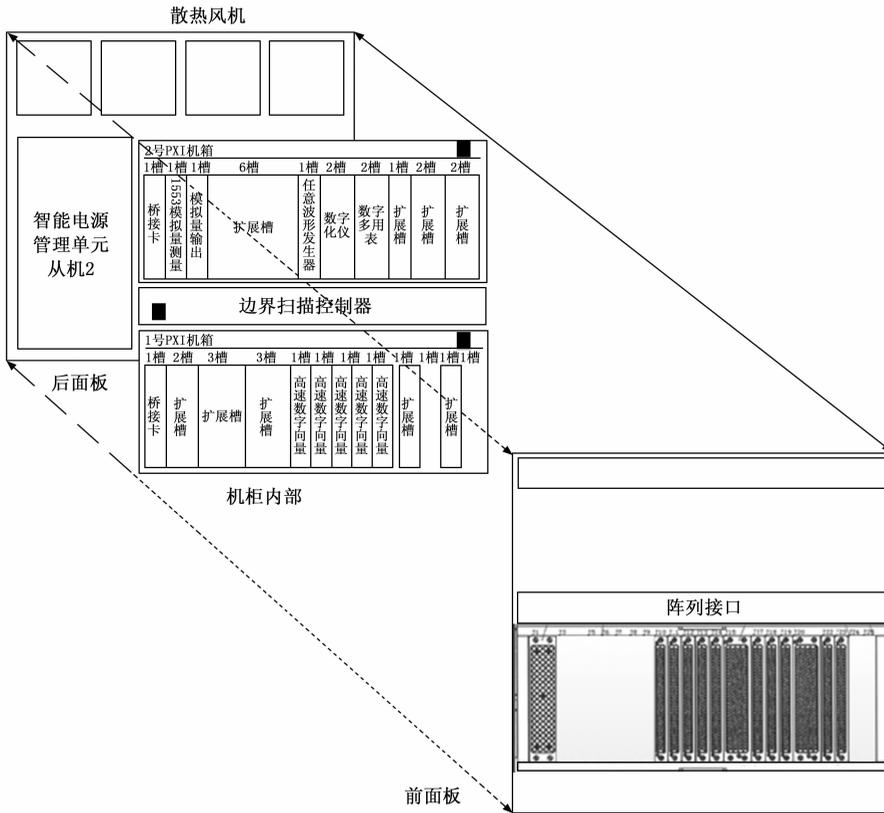


图 3 1号军用组装箱布局图

变频器、下变频器、交换机、程控直流电源等测控资源于一体，实现系统的测试控制、电源管理与微波参数测试功能，布局如图 4 所示。

2号军用组装箱内部共分为：前面板、组装箱内部、后面板三部分。前面板下侧为微波面板，前面板上侧集成智

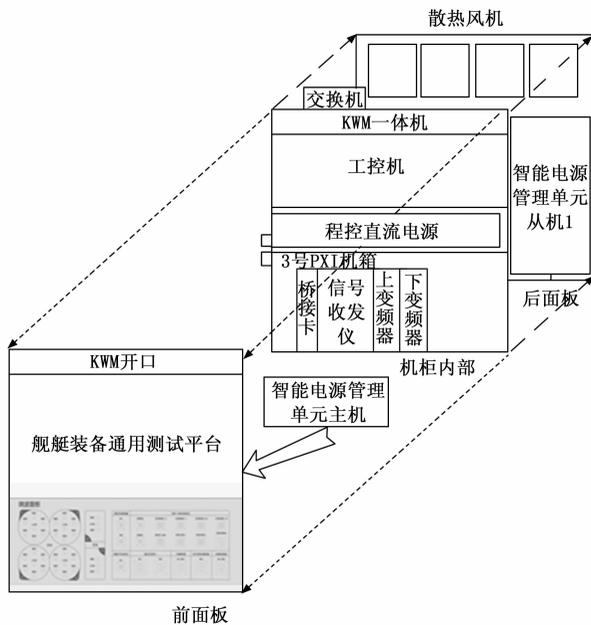


图 4 2号军用组装箱布局图

能电源管理单元主机；组装箱内部集成工控机（配有 PCI-桥接卡、以太网口、USB 口、RS-232）、KVM 一体机、交换机、18 槽 PXI 机箱、PXI 桥接卡、信号收发仪模块、上变频器模块、下变频器模块、开关矩阵模块、程控直流电源；后面板集成智能电源管理单元从机 1，外侧开通风口。智能电源管理单元主机，通过 RS-232 接口与工控机通讯；通过 RS-485 通讯接口控制从机动作、采集从机信息。智能电源管理单元从机 1 位于后面板，实现电源通断控制、频率、电压、电流监控；配备 4 个风机于内侧上方，并从通风口排风。

组装箱内部，KVM 一体机采用标准 1U 上架结构，位于组装箱最上方，距离地面约 1.3 m，方便测试人员进行观察和操作，并配有电磁屏蔽腔，有效防止电磁泄漏。工控机采用标准 4U 上架结构形式，位于 KVM 一体机的下方，内部配有两块 PCI-桥接卡（远控 3 台 PXI 机箱）、以太网卡（通过交换机远控 LAN 总线设备）、USB 接口（通过 USB 集线器实现 USB 口拓展）。程控直流电源位于工控机的下方，PXI 机箱位于机柜最下方，内安装 PXI 桥接卡模块、信号收发仪模块、上变频器模块、下变频器模块、开关矩阵模块，实现微波参数的信号产生、频谱分析等方面的测试。

2 软件平台设计

2.1 软件体系结构

故障诊断是信息装备自动测试中一个重要的功能，用于配合自动测试进行故障定位。目前应用较多也较为成熟的故障诊断方法主要包括故障字典方法、引导探笔方法、专家系统故障诊断方法、神经网络故障诊断方法、故障树故障诊断方法、边界扫描方法^[10-12]。经过对几种故障诊断方法进行分析研究，本技术方案采用 IEEE 1232 标准^[13-14]基于故障树的故障诊断方法。

为满足项目功能要求，保证软件的通用性和先进性，舰艇信息装备通用测试平台中的软件平台将采用模块化、可扩展和层次化的设计思路。从功能内聚的角度，将软件平台划分为集成开发环境、通用运行环境以及系统维护工具三大功能模块，如图 5 所示。

集成开发环境：为用户提供系统集成、面向信号的 ATML TPS 开发^[15-18]、测试程序调试、系统资源管理、TPS 移植管理等功能，支持 IEEE 1445 国际标准的数字测试交换格式^[19]。通用运行环境：为用户提供 TPS 运行引擎管理、TPS 运行控制、ATML 和 ATLAS 程序运行、历程

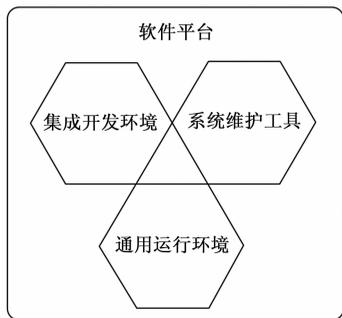


图 5 软件平台体系结构功能划分图

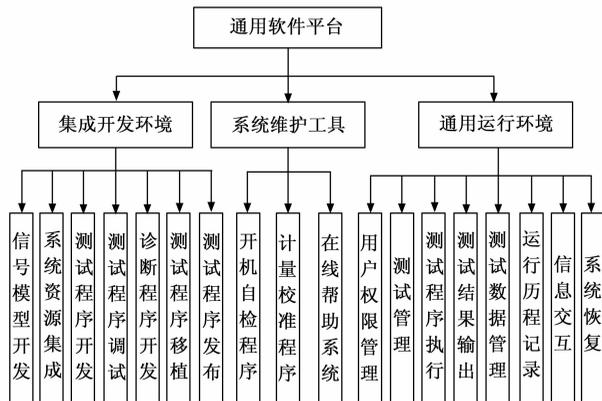


图 6 通用测试平台软件主要组成框图

记录、操作权限管理、测试程序管理、测试数据管理等功能。系统维护工具：为用户提供信息交互、系统恢复等功能。

从软件功能可扩展的角度，软件平台采用了“基础平台+扩展模块+二次开发接口”的可扩展体系结构。其中“基础平台”内置自动测试系统软件通用功能，包括用户管理、资源管理、测试开发和测试执行等。“扩展模块”是符合软件平台扩展接口的软件功能模块。在开发平台通过组装不同的软件模块，可快速开发出满足用户特定需求的测试程序。

从层次化的角度软件平台体系结构一共分为 5 层：用户接口层、核心层、组件层、数据层和驱动层。每一层为上层提供服务，同时又是下一层的客户，层次间服务与信息交互的规范有明确的定义。通过层次化设计降低了软件的复杂性、提高了软件的规范性、支持功能模块的重用和升级。

2.2 软件设计方案

通用测试平台软件是指运行在项目规范规定的操作系统之上，结合通用测试平台硬件平台完成海军舰艇电子装备的功能检查、性能测试、参数调整、故障诊断等任务的一系列应用程序和软件模块的集合。

通用测试平台软件具备系统集成支持能力、面向信号的 ATML TPS 开发、测试程序调试、系统资源管理、TPS 移植管理等开发功能；具备 TPS 运行引擎管理、TPS 运行控制、ATML 和 ATLAS 程序运行、历程记录、操作权限管理、测试程序管理、测试数据管理等运行功能；具备信息交互、系统恢复等高级功能。同时还具备良好的安全性和可扩展能力。

为了满足上述功能，提出如下通用测试平台软件技术方案的基本思路：以 ATML 测试信息模型（包含信号模型，以下简称 ATML 模型）为核心，采用开放、通用、可扩展的软件体系架构，提供基于 ATML 的测试信息建模环境，提供面向信号的 TPS 开发和运行环境，实现测试数据的共享和测试信息的融合，使得通用测试平台所有研发环节所产生的程序、文件，以及软件模块接口相互兼容，同时为通用测试平台提供自我维护的能力。因此，本技术方案将通用测试平台软件设计为主要由集成开发环境、通用运行环境以及系统维护工具 3 个部分组成，如图 6 所示。

集成开发环境是通用测试平台软件的核心，涵盖了信号建模、系统资源管理、测试程序开发和调试、诊断程序开发以及测试程序的移植和发布功能。集成开发环境利用统一简约的界面为开发自动测试系统软件各要素提供完整视图，方便用户对系统资源、测试程序等进行统一的组织管理。集成开发环境所开发出的软件制品通过测试工程的方式进行组织，包括信号模型、仪器模型、资源配置、测试程序、故障诊断程序等。测试工程文件可以理解为测试配置，记录了测试程序运行所需要的完整的软件配置信息。集成开发环境支持将测试程序导出为符合 ATML 标准的测试描述文件，同时可以将符合 ATML 标准的测试描述文件导入为测试程序，从而实现测试程序的移植。集成开发环境可以将测试程序发布出去，发布的测试程序对外暴露统一的接口，使得通用运行环境可以对测试工程完成安装、卸载、打开、执行等操作。

通用运行环境不仅是通用测试平台软件集成开发环境开发出的测试程序的运行软件，还是接纳符合项目规范规定的标准的其他软件平台开发出的测试程序的门户。通用运行环境涵盖了用户权限管理、运行环境管理、测试结果输出、测试数据管理、运行历程记录、信息交互和系统恢复功能。通用运行环境通过用户权限管理为不同级别用户分配相适应的操作权限，从而保证用户访问的合法性；测试管理包括运行引擎管理和面向被测对象的测试程序和诊断模型的管理。通用运行环境通过装载并执行已开发好的测试程序和故障诊断程序对被测对象进行功能、性能测试和故障诊断，产生测试结果，并把结果展示给用户；测试数据管理向操作人员提供不同范围和方式的测试数据浏览、检索、回放、导出、显示和打印等功能；运行历程记录能够自动记录通用测试平台软件的运行历程，并能由具备相关权限的操作人员查看；通用运行环境能够接入部队维修机构和基地修理机构的信息系统，进行信息交互；通用运行环境软件因故障不能工作时，可通过“一键恢复”功能将系统恢复到交付状态或最近一次可工作的状态。

系统维护工具包括开机自检、计量校准和在线帮助。通用测试平台软件提供自检程序用以保证系统自身的完整

及可靠性。计量校准是通过将标准量值连接到通用测试平台硬件平台的输入、输出端口，在通用测试平台主机上运行计量校准程序来实现。帮助功能用来提供测试操作帮助、功能提示、操作演示的图片、版本信息和联系地址等。

2.2.1 操作系统

通用测试平台软件可以运行在 Windows XP、Windows 7 和 Windows 8 等多个操作系统之上。同时，借助 MicroSoft.NET 的跨平台支持，通用测试平台软件还可以移植到 MicroSoft Windows 之外的系统平台，如国产系统、Linux 等。

2.2.2 集成开发环境

集成开发环境是测试程序开发平台，支持面向信号的 ATML 测试程序开发、故障诊断程序开发、信号模型开发、UUT/环境监控程序开发、异常处理程序开发功能，具备系统资源集成、测试程序调试、测试程序移植和发布功能。集成开发环境提供了高度融合的一体化开发环境，同时提供非编码、模块组装式现代开发方式，主界面如图 7 所示。

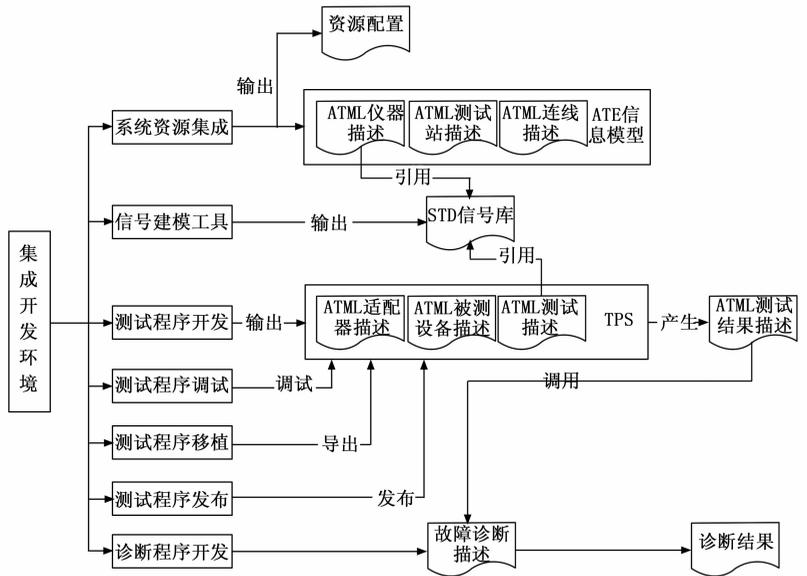


图 8 集成开发环境技术方案图



图 7 通用测试平台软件集成开发环境主界面

根据功能要求，本技术方案将集成开发环境划分为七个功能模块：1) 信号模型开发模块；2) 系统资源集成模块；3) 测试程序开发模块；4) 测试程序调试模块；5) 故障诊断程序开发模块；6) 测试程序移植模块；7) 测试程序发布模块。如图 8 所示。

3 实验结果与分析

以某型舰载雷达为开发对象，重点以编码分选模块作技术验证。模块中有 FPGA (2 片) 主要完成视频采集、自适应均衡控制、门线比较、参数测量、统计和排序等功能；DSP (4 片) 主要完成信号脉冲串的分选和信号脉冲串特征的统计；CPLD 主要完成故障检测。原理框图见图 9。

验证内容包括：

- 1) 系统运行检查发现异常的能力；

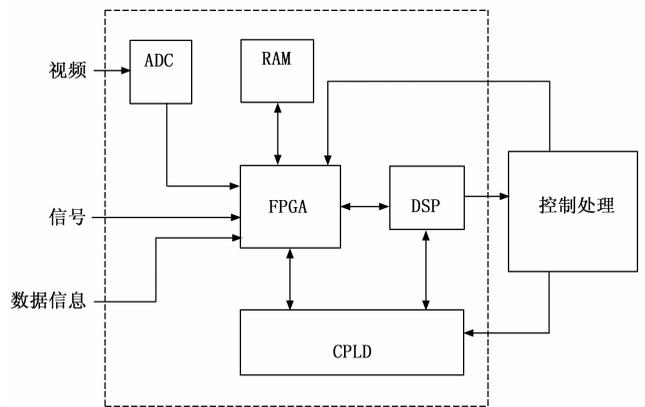


图 9 原理框图

- 2) 系统或设备 BIT 检测和隔离故障的能力；
- 3) 被测单元与所选择的测试设备的兼容性；
- 4) 测试设备和相应的测试接口组合检测和隔离故障的能力；

5) 有关故障字典、探测步骤、人工查找故障程序和工作原理等方面的技术文件的充分性；

6) BIT 故障检测和故障隔离指示与脱机测试结果之间的符合程度；

- 7) 用于预计测试性指标的模型的有效性；

通过测试表明，测试平台硬件设计指标满足了信息装备的功能检查、性能测试、参数调整、故障诊断等任务，软件模块测试程序开发、执行和发布移植等运行稳定，验证板故障覆盖率和隔离率达到 95% 以上，实现了较高的电路测试覆盖率和故障器件定位，满足相关军标要求。

4 结束语

结合目前海军新型舰载信息装备保障需求，提出了舰艇

(下转第 193 页)