

# 基于 RapidIO 总线的简约化小型导弹测试设备设计

唐大林, 周庆飞, 毛鹏飞

(北京航天测控技术有限公司, 北京 100041)

**摘要:** 为了保障导弹机动灵活的特点以及发射成功率, 更加小型轻便简约的测试设备是提高部队平时战时导弹保障效率的重要手段, 基于 RapidIO 总线研制一种小型化测试设备, 不再依赖机箱架构, 仅依靠测试模块之间的堆叠连接, 利用串行通信手段以及数据交换功能实现所有测试资源的数据交换及通信, 可以大幅减小测试设备体积, 解决了导弹测试设备携带不方便、转场困难的技术问题, 同时对测试模块的选型, 硬件架构、物理架构及设计指标等进行了分析说明, 经过同某型 PXI 测试设备的对比测试, 不仅完成了对某型导弹模拟器的测试功能, 相比原 PXI 测试设备体积减小了 95% 以上, 重量减轻了 90% 以上, 功耗降低了 60% 以上, 不仅可以适应更多的导弹测试场景, 更可以大幅提高部队在日常训练维护以及战时精准保障的工作效率。

**关键词:** RapidIO 总线; 测试设备; 导弹测试; 武器保障; 便携式测试

## A Simplified Small Missile Test Equipment Based on RapidIO Bus Design

TANG Dalin, ZHOU Qingfei, MAO Pengfei

(Beijing Aerospace Measurement & Control Technology Development Company, Beijing 100041, China)

**Abstract:** In order to ensure the missile's flexibility and launch success rate, a more compact, portable and simple test equipment is an important means to improve the missile support efficiency in peacetime and wartime. A new miniaturized test equipment is developed based on RapidIO bus, which no longer depends on the chassis architecture, but only on the stacking connection between test modules. Using serial communication means and data exchange function to realize data exchange and communication of all test resources can greatly reduce the volume of test equipment and solve the technical problems of inconvenient carrying and difficult transition of missile test equipment. At the same time, the selection of test module, hardware architecture, physical architecture and design index are analyzed and explained. After the comparative test with a certain type of PXI test equipment, it not only completes the test function of a certain type of missile simulator, but also reduces the volume, weight and power by more than 95%, more than 95% and more than 60% compared with the original PXI test equipment. It can not only adapt to more missile test scenarios, but also greatly improve the work efficiency of troops in daily training and maintenance and wartime precision support.

**Keywords:** RapidIO bus; Test equipment; Missile test; Weapons support; Portable test

## 0 引言

无论攻防两端, 导弹都是未来战场上最重要的武器装备, 基于不同的战术战略目的, 导弹又根据射程、发射平台、飞行轨迹、制导方式、目标类型等不同方法方式分为多种类型, 各型导弹武器的使用、作训、维护、维修、保养的需求差异性很大, 导弹综合测试, 凭借其安全、可靠的实施过程, 成为检测导弹质量的重要手段; 凭借其全面、真实、精确的测试结果, 成为检测导弹整体性能的可信依据, 测试设备已逐渐成为部队平时维护及战时保障的重要工具<sup>[1]</sup>。不仅部队对测试设备的简单易用性的需求越来越强烈, 测试设备集成商及导弹研制生产厂家对测试设备通用性、扩展性等也提出了更高的要求。

目前针对导弹的离线测试一般需要给导弹单独供电, 受到大功率供电电源的体积影响, 测试设备相对体积较大,

重量较重, 但是主要的应用场景是在弹药库或维修车间, 一般可以适应其应用; 对于导弹的在线测试, 主要是针对其战前备战及战时保障的需求, 则需要测试设备体积重量等越小越方便。传统的 VXI、PXI 及 PXIE 等测试模块系列集成的测试设备是目前市场主流, 其主要集成方式是基于总线机箱架构, 根据激励及测试信号的需求叠加相应的测试模块, 由于其总线标准的定义, 基于此类总线的测试设备体积不至于太大, 但是绝大多数也不适于导弹长期加电测试或者战备随装、单兵携带等应用场景。电子技术、集成电路、计算机通信和芯片技术等领域的飞速发展, 测试设备将原有很多功能和设备集成化处理, 测试设备朝着小型化的方向不断发展, 但是受到传统 VXI、PXI 及 PXIE 等总线的标准定义, 基于此类总线的测试设备却无法更加有效的缩小体积, 在高度集成化和小型化问题上, 没有充分

收稿日期: 2021-09-03; 修回日期: 2021-09-17。

作者简介: 唐大林(1980-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士, 高级工程师, 主要从事测控系统及集成技术方向的研究。

引用格式: 唐大林, 周庆飞, 毛鹏飞. 基于 RapidIO 总线的简约化小型导弹测试设备设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(11): 127-131, 136.

应用当前已有的科技成果,创新设计不足<sup>[2]</sup>。测试设备的体积越小,也一定程度上更加符合部队实际导弹测试、保障等使用需求,本文提出了一种脱离机箱架构式的基于 RapidIO 总线的简约化小型导弹测试设备,大大简化和缩小了传统的总线式导弹测试设备,同时可由测试模块叠加满足通用化、模块化、系列化的“三化”要求。

Rapid IO 互连技术是美国 Mercury Computer Systems 公司为其计算密集型信号处理器系统开发的总线技术,最初的开发动机是用于连接线路板上的芯片和机箱内的线路板。Rapid IO 采用包交换技术,可为由 CPU、网络处理器(NPU)和 DSP 等组成的复杂系统提供低延迟、高速、高稳定性的互连。Rapid IO 还具有接口引脚少,可靠性高(可靠性高达 99.999%)、单位端口成本极低,易于实现,可扩展性好等特性<sup>[3]</sup>。

### 1 简约化小型导弹测试设备设计指标

该设备体积小、采集精度高,可满足 -40~+75 ℃ 温度、30 g 随机振动及 50 g 冲击振动等恶劣环境,尤其适合飞机、导弹、火箭、装甲车辆等军事装备,可内置于武器装备的狭小空间中,在强冲击、强振动等恶劣环境下,完成整个试验过程中装备电信号、非电量信号、总线通讯信号以及传感器数据的采集、存储与处理,可以为装备设计、测试、保障、试验提供测试服务以及数据支撑。小巧的体积可以完成装备嵌入式测试,可以随装装备,实时监测装备运维数据,基于 Windows 系统的架构可以配合故障诊断算法和专家系统,实现装备状态检测、诊断、预测、健康管理及维修决策。

#### 1.1 尺寸

电源模块尺寸: 3.7 cm × 7.62 cm × 5.08 cm;  
其他模块尺寸: 1.08 cm × 7.62 cm × 5.08 cm。

#### 1.2 重量

电源模块重量: ≤330 g;  
其他模块重量: ≤115 g。

#### 1.3 整体功耗

设备总体功耗不大于 65 W (最多 8 个功能模块同时工作时)。

#### 1.4 环境适应性

工作温度: -40~85 ℃;  
存储温度: -40~85 ℃;  
冲击振动: 50 g/11 ms 冲击。

### 2 简约化小型导弹测试设备硬件架构设计

测试设备功能框图如图 1 所示,简约化小型导弹测试设备由电源模块、嵌入式控制器模块、数据交换路由模块、模拟量采集模块、总线模块、数字 IO 模块等组成,简约化小型导弹测试设备的模块种类数量可根据对象实际测试需求需要进行集成组合。

#### 2.1 电源模块

电源模块 AMC7243 选用 28 V 直流供电,输出 3.3 V, 5 V, ±15 V 等多路电源用于系统各模块的供电,电源模块

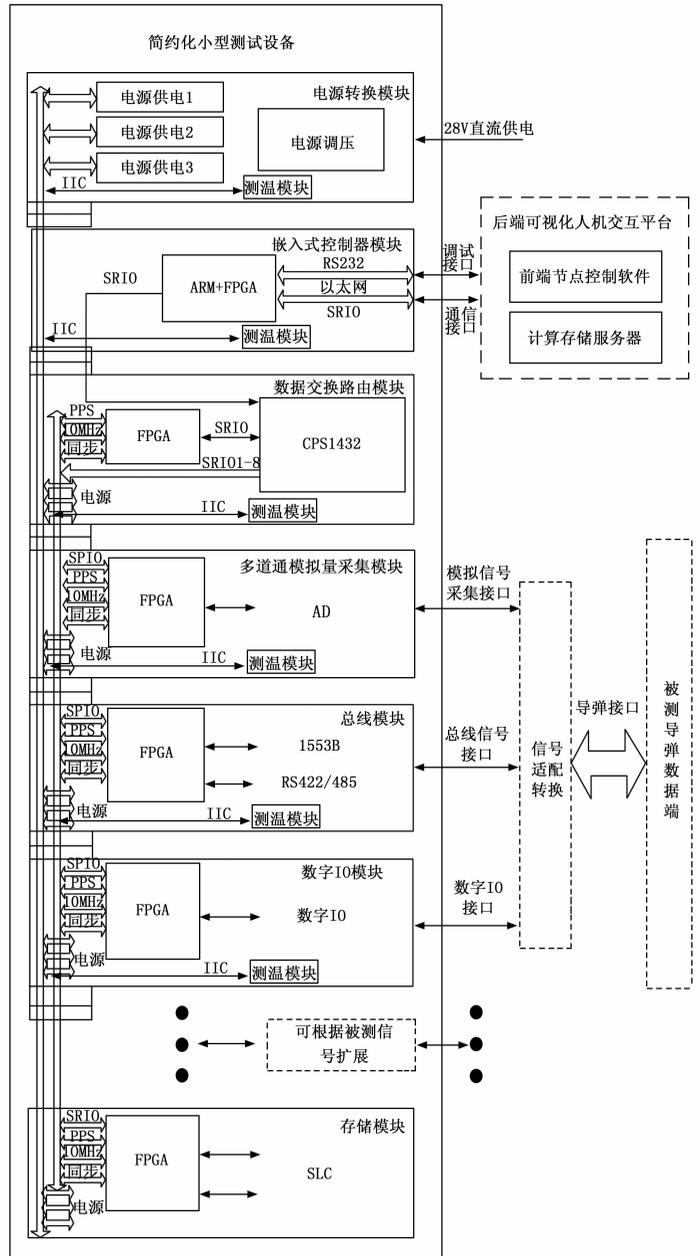


图 1 简约化小型导弹测试设备硬件架构图

内部设有输入电源电流监测电路,用于监测设备总体功耗信息,可以支持设备在不多于 8 个功能模块同时工作时总体功耗不大于 120 W 的功耗需求,板载 MCU 采集板载温度、电压、电流信号,通过背板 IIC 总线进行功能模块间数据交互。

#### 2.2 嵌入式处理器

嵌入式控制器作为测试设备中枢实现各个功能模块的参数配置、信号算法处理、被测对象状态监测与诊断等功能。嵌入式控制器模块对外具有人机交互或串行通讯接口,实现系统配置与应用程序的下传,配置程序将在设备开机时通过 RapidIO 总线由数据交换路由模块分发到各个功能模块,并能够接收各个功能模块传递的数据信息进行应用

程序处理和上传。

### 2.3 数据交换模块

由于整个测试设备没有采用机箱+模块的配置模式,各模块间的通信以及数据交换均由数据交换路由模块完成。AMC7100 数据交换路由模块与各功能模块的通信总线摒弃了传统设备以 CPU 为中心的数据交换架构,采用了基于 1.25 GbaudRapidIO 高速串行总线的 16 通道 Switch 数据交互架构。串行 RapidIO (SRIO, serial RapidIO) 主要是用于板上或通过背板的器件之间的电气连接,SRIO 能够支持全双工模式,在每个方向上使用单向差分信号,并定义了器件间的串行链路。SRIO 也支持 RapidIO 器件之间的包传送,其包括的功能有包与控制符号的传送、错误管理、流量控制以及一些其他的器件到器件的功能<sup>[9]</sup>。

选用 RapidIO 总线,将整个系统组成以数据交换路由模块为中心的星型通信结构,用来实现系统内模块间的互通功能。数据交换路由模块为系统内部提供 RapidIO 通信总线、同步信号、秒脉冲及时钟等功能,并对外提供调试接口与调试设备对接,同时提供通信接口与机上主控系统进行通信。

### 2.4 其他采集模块等

其他各采集模块对外提供信号采集接口,采集模拟信号通过模块内部 AD 转换为数字信号,经过 FPGA 信号处理,通过 RapidIO 总线实现数据传输,且通过同步信号可实现同步采集功能。设备还可以根据需要配备总线模块,通过微处理器芯片及外围功能电路实现 RS422/485 及 CAN 总线通信功能。由于此次测试对象仅需要一路 RS422 通信测试,嵌入式处理器 AMC7101 模块本身提供一路 RS422 通信接口,所以此次测试不配备总线模块。由于模块体积小,散热面积和散热手段有限,所以对模块的温度需要进行实时监控,所有模块内部都设有温度采集电路,用于采集各个模块内部温度状态,电流信号和温度信号转换为数字信号后发送到背板的 IIC 总线,由嵌入式控制器模块进行工作状态监测,其中各个模块的 IIC 总线以从模式工作,嵌入式控制器模块的 IIC 总线以主模式工作。

### 2.5 接口适配器设计

由于各种导弹接口及信号特点不尽相同,需要在简约化小型导弹测试设备与导弹之间设计专用的适配器进行桥接,适配器是导弹通用测试设备的重要组成部分,目前,成熟应用的导弹通用测试设备均采用通用接口+专用适配器形式,对于不同型号的导弹,采用各自不同的专用适配器及测试电缆,实现对导弹的各项测试<sup>[12]</sup>,适配器一方面可以将物理信号按管脚进行重新分配同导弹测试接口相连接,供导弹实际测试需要,同时也可在内

部设计调理电路以实现测试信号的转接、调理、隔离、保护等功能,如图 2 所示。适配器可以根据应用场景的不同,将适配器同测试设备与导弹之间设计成无电缆的刚性连接,更加符合简约化设计需要。

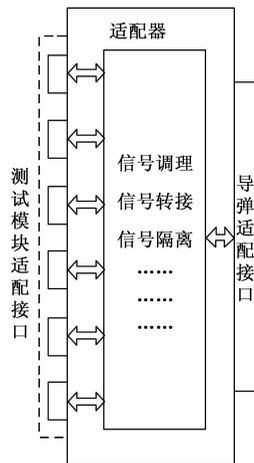


图 2 接口适配器设计接示意图

## 3 简约化小型导弹测试设备物理连接架构

硬件模块之间的物理级联如图 3 所示,简约化小型导弹测试设备的特点是不依赖机箱做测试模块间的数据交换,所以没有单独背板设计,嵌入式控制器模块、数据交换路由模块和功能模块之间的控制通信是通过模块间连接器的互联来实现。

数据交换路由模块与嵌入式控制器和功能模块互联来实现嵌入式控制器与功能模块之间的数据路由通信,嵌入式控制器与数据交换路由模块通过一路 RapidIO 实现互通,而数据交换路由模块与功能模块互联的连接器的连接上会有 8 组 RapidIO 通信端口信号,最大可对接 8 个功能模块来实现对 8 个模块的数据通信。

为了实现不同功能模块与数据交换路由模块间的随意对接,且模块间使用的数据交换路由模块通信端口不冲突,在功能模块连接器信号定义设计上,如图 4、图 5 所示,将模块 PCB 板两面的连接器公母头通信端口按公端口 8 接母端口 7,公端口 7 接母端口 6 以此至公端口 1 接母端口 8 的对接方

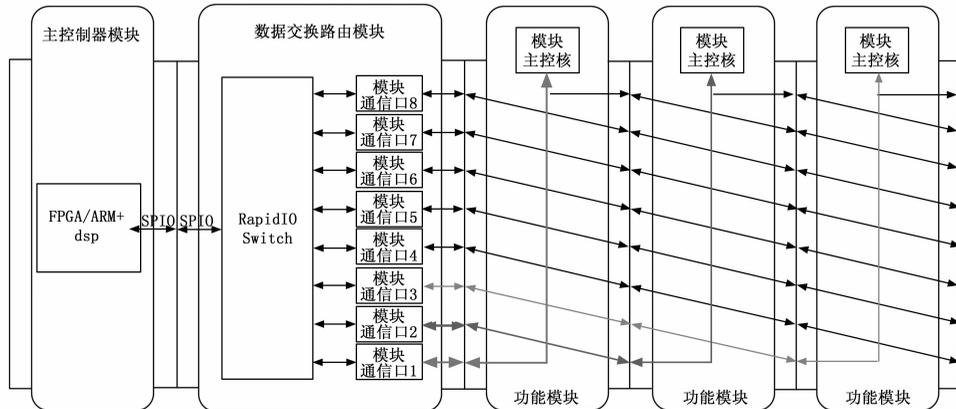


图 3 控制器模块与功能模块通信端口信号连接示意图

式互联，而所有功能模块都取公头端口 1 的信号为通信端口，以此来实现控制器 8 个端口与 8 个模块的单一互通。

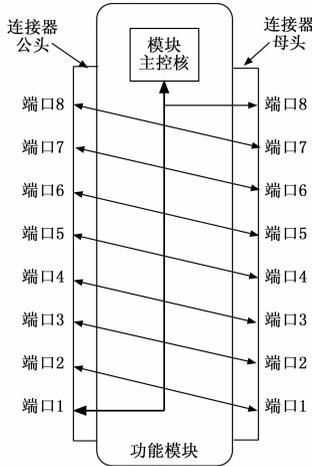


图 4 单功能模块连接器公母头信号连接示意图

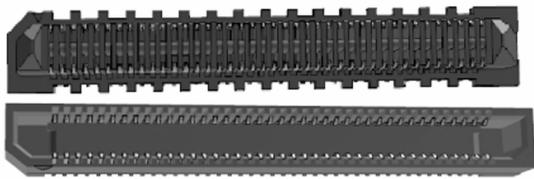


图 5 连接器公母头示意图

采用无机箱的模块直接叠加的物理连接方式，特点是不受机箱的物理限制，可根据被测需求任意叠加模块，体积小巧简约，便于组装集成。

如图 6 所示，每个模块包括前端接插件和后端连接器，前端接插件主要用来与设备外部信号进行接口交互，后端连接器主要用来实现设备内部模块之间的信号需求和信号数据传递。

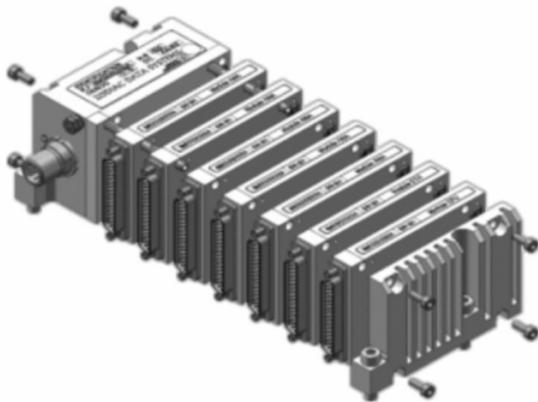


图 6 模块集成连接示意图

后端连接器，通过一侧公、一侧母的板对板接插件实现模块与模块之间的物理和信号互联。

每个模块包括前端接插件和后端连接器，前端接插件主要用来与设备外部信号进行接口交互，后端连接器主要用来实现设备内部模块之间的信号需求和信号数据传递。

后端连接器，通过一侧公，一侧母的板对板接插件实现模块与模块之间的物理和信号互联。

#### 4 对比试验

为测试简约化小型导弹测试设备设计指标，将其同 PXI 测试设备以相同测试流程为基础，进行对比验证测试，以某型导弹模拟器作为被测对象，两种测试设备选择同样的软件环境，操作系统为 WINDOWS 7，测试软件选用航天测控 VITE3.0。在测试过程中使用相同供电电源，选用基于各自总线的模拟量采集模块、总线模块、数字 IO 模块。测试验证的同时对两种测试设备功率进行监测。模拟器检查项目测试流程以及测试资源需求统计见表 1。

表 1 某型导弹模拟器测试流程及测试资源需求

编号	测试流程名称	测试资源需求		
		总线	数字 IO (0~10 V)	模拟量测试 (0~10 V)
1	检查弹型		5	
2	供电及供电电压检查			1
3	点火状态检查		2	2
4	自检检查	RS422		
5	故障检查	LAN		
合计测试资源需求		RS422/LAN	7	3

根据某型导弹模拟器测试资源需求，针对简约化小型导弹测试设备以及 PXI 测试设备的相关模块选型如表 2 所示。

表 2 测试设备模块选型

序号	测试设备	模块代号	模块名称	主要功能
1	简约化小型导弹测试设备	AMC7243	隔离电源模块	直流电压输入，为 BDA 系统提供隔离供电
2		AMC7100	Switch 数据交互模块	提供 16 通道 RapidIO 高速 Switch
3		AMC7101	CPU 控制器模块	Cortex - A53/四核/1.5 GHz，以太网/CAN/422/232/USB
4		AMC7375	多功能应变信号采集	8 通道电压/应变/RTD/电阻信号调理采集
5			数字量输入/输出模块	16 路数字量输入通道，±40 V 输入，门限电压可单独配置，支持高/开/地测量
6	PXI 测试设备	PXI-1062Q	8 槽 PXI 机箱	系统带宽 3 GB/s，最大功率 353 W
7		PXIe-8840	嵌入式控制器	2.6 GHz Intel 四核处理器；4 GB 内存
8		PXI-8231	GIGABIT 以太网接口模块	支持 Windows 和 LabVIEW RT
9		PXIe-6584	RS-422/RS-485 总线模块	16 通道，16 Mbps，半双工
10		PXIe-6251	多功能数据采集模块	16 路模拟输入，24 路数字 I/O，2 路模拟输出

两种测试设备外观及体积对比如图 7, PXI 测试设备体积为 171 mm \* 271 mm \* 396 mm, 重量为 14.7 kg, 简约化小型导弹测试设备体积为 64.8 mm \* 76.2 mm \* 50.8 mm, 重量为 1.3 kg, 体积仅为原 PXI 测试设备的 2%, 重量仅为原 PXI 测试设备 8.8%, 两种测试设备基础参数对比如表 3。测试结果显示, 两种测试设备均能完成对某型导弹模拟器的正常测试, 测试结果如表 4。测试过程中简约

化小型导弹测试设备平均功率为 43 W, PXIE 测试设备平均功率为 118 W, 可以看出仅作数字测试时, 简约化小型导弹测试设备的平均测试功率仅为普通 PXI 测试设备的三分之一左右。

表 3 两种测试设备基础参数对比

序号	指标	简约化小型导弹测试设备	PXI 测试设备	对比
1	体积	64.8 mm * 76.2 mm * 50.8 mm	171 mm * 271 mm * 396 mm	1:73
2	重量	1.3 kg	14.7 kg	1:11
3	功耗	43 W	118 W	2.4:1

### 5 结束语

由上述设计指标及对比测试可见, 简约化小型导弹测试设备具有体积小、功率小、重量轻、可重构性及环境适应性强等特点, 可以满足不同导弹长期加电健康监测、日常维修维护测试、战时随装、装备狭小空间测试, 单兵便携保障等各种应用场景, 可以简化作战部队的导弹测试, 目前正在预先研究以及实验室中满足了部分导弹的实际测试需求, 在后续的实际应用中可以提高导弹部队的日常维护保养以及战时精准保障效率。



图 7 两种测试设备对比图

表 4 两种测试设备测试结果

序号	测试点名称	测试结果名称	结果范围	简约化小型导弹测试设备		PXI 测试设备	
				测试值	结果状态	测试值	结果状态
1	启动程控直流电						
2	启动电源						
3	提示	27 V 电源大功率电源启动	(4.20,5.50)	4.53	合格	4.43	合格
4	启动 U03AD 采集	U03AD 电压_1	(4.20,5.50)	4.63	合格	4.62	合格
5	启动 U03AD 采集	U03AD 电压_2	(4.20,5.50)	4.65	合格	4.43	合格
6	启动 U03AD 采集	U03AD 电压_3	(4.20,5.50)	4.85	合格	4.71	合格
7	启动 U03AD 采集	U03AD 电压_4	(4.20,5.50)	4.85	合格	4.78	合格
8	关闭电源						
9	被测对象供电正						
10	导弹加电拨码开关闭合测试设备	开关正常	(4.20,5.50)	4.95	合格	5.01	合格
11	关闭电源_1						
12	启动程控直流电源_1						
13	启动电源_1						
14	点火常开状态	开关正常	(4.20,5.50)	4.78	合格	4.98	合格
15	点火常开状态检	开关正常	(4.20,5.50)	5.03	合格	4.97	合格
16	关闭电源_2						
17	D 上机自检						
18	检查 D 上机自检	自检完成	(4.20,5.50)	5.09	合格	4.86	合格
19	取 D 上机自检结	自检结果显示					
20	向 D 上机发上装指令						
21	检查向 D 上机发上装指令						
22	取 D 上机故障结						
23	故障结果显示	故障检查完成					
24	测试流程结束						

(下转第 136 页)