

基于模块化设计的视频跟踪器 故障诊断检测工装研究

彭勇, 唐中和, 李俊, 曾晶, 游勇强, 陈思宇, 霍虹宇, 李玺

(西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘要: 随着电子与信息技术的飞速发展, 视频跟踪器一体化、集成化与智能化程度越来越高, 对故障的诊断与定位要求也越来越高, 单凭经验和定性分析已经无法满足维修需要; 为了提高视频跟踪器功能性能检验及故障定位的效率, 一种基于模块化设计的视频跟踪器故障诊断检测方法被提出, 并在所提方法的基础上设计了一种检测工装, 通过解耦模型将视频跟踪器的功能及数据流进行划分, 并利用故障树分析法自上而下进行测试与定性定量分析; 对比实验表明, 该工装具有较高的适用性, 能够简化检验与维修过程, 降低操作的难度。

关键词: 视频跟踪器; 故障诊断; 模块化设计; 功能解耦; 故障树分析

Research on Fault Diagnosis Tooling Based on Modular Design for Video Tracker

PENG Yong, TANG Zhonghe, LI Jun, ZENG Jing, YOU Yongqiang, CHEN Siyu, HUO Hongyu, LI Xi
(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: With the rapid developments of electronic and information technology, the level of integration and intelligence of video tracker is higher, and the difficulty of fault diagnosis and location is also higher. Experience and qualitative analysis alone cannot meet the needs of maintenance. In order to improve the efficiency of performance test and fault location for video tracker, a fault diagnosis method of video tracker based on modular design is proposed in this paper, and a detection tooling is designed based on the proposed method. The function and data flow of the video tracker are divided through the decoupling model, and the fault tree analysis method is used for the testing, qualitative and quantitative analysis from top to bottom. Comparison experiments show that the designed tooling has high applicability, can simplify the inspection and maintenance process, and reduce the difficulty of operation.

Keywords: video tracker; fault diagnosis; modular design; functional decoupling; fault tree analysis

0 引言

视频跟踪器是光电系统的重要组成部分, 主要功能是接收红外热像仪与电视摄像机输出的视频图像, 实现对目标进行搜索与跟踪, 输出目标相对于视场中心的位置信息, 驱动伺服完成稳定闭环跟踪^[1-5]。

作为一个纯电子设备, 视频跟踪器各模块间功能存在相互耦合, 其测试及诊断难度较大^[6-7]。文献 [8] 采用嵌入式边界扫描、非侵入式测试等先进的板级嵌入式测试技术, 设计了一种基于 FPGA 的嵌入式测试控制器设计方案, 能够实现测试自动化、提高测试效率, 从而能够更好地降低产品整个寿命周期的测试维修成本, 但该方法并不能定位板级故障。文献 [9] 构建了基于 PXI 总线的一体化硬件诊断资源平台, 通过信号量复合故障诊断及深浅知识推理机相结合的故障诊断策略完成故障诊断, 并在其基础上研制了一型便携式通用电路板故障诊断仪, 但实际应用中

只采用了基于电压/电流测试的故障诊断。文献 [10] 提出的诊断方法实现了对产线的全面改造升级, 选用工控机和 IO 卡来构成主控硬件平台, 并在在 Qt 软件开发环境下完成上位机开发, 最终完成对电路板的全自动检测。以上分析结果表明, 常见检测方法无法准确表达视频跟踪器故障变化特点。

针对目前对于视频跟踪器无标准的检测手段, 当图像电路出现故障后往往只能采用倒序排查法进行检测^[11]。当视频跟踪器发生故障的时候, 修理人员凭借修理经验, 再结合定性分析, 才能判断出故障点, 此类方法耗时较长, 已经无法满足诊断和测试的要求。为了化繁为简, 本文将跟踪器各功能模块进行解耦分析, 通过将传统检验方法中图像电路的结构和每个部分的作用进行功能划分, 并利用故障树分析法列举出图像电路中的测试点、测试顺序以及测试内容, 从而建立一种有效的测试流程与故障树分析模型, 从而快速完成图像电路的故障定位以及故障维修。

收稿日期: 2022-03-03; 修回日期: 2022-04-19。

基金项目: 装备预研兵器工业联合基金项目。

作者简介: 彭勇(1982-), 男, 四川乐山人, 大学本科, 高级技师, 主要从事图像处理组件测试及故障诊断方向的研究。

引用格式: 彭勇, 唐中和, 李俊, 等. 基于模块化设计的视频跟踪器故障诊断检测工装研究[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(2): 15-20.

本文所设计的检测工装能够使用多种视频输入输出接口与通信接口，可手动或自动进行功能与性能测试，并快速定位故障，无需搭建复杂的检测平台，适合产品校验与外场排查故障，缩短维修时间，提高维修效率，对图像处理组件具有非常好的推广价值。

1 视频跟踪器原理

视频跟踪器由图像处理硬件制成板、结构冷板与相关软件组成，其中制成板采用 FPGA + DSP 架构。DSP 芯片采用高速数字信号处理芯片实现图像数据数据，并通过通信接口输出目标相对于中心的取差数据^[12]；FPGA 实现与板外设备接口、通讯等功能。图像处理板是视频跟踪器的关键单元，通过接收外部输入的视频信号，经过处理进行后，再输出成像电路进行显示。视频跟踪器处理的图像格式千差万别，不仅有模拟 PAL 视频，还有 CML、CameraLink、SDI 等数字视频。虽然输入输出接口芯片存在差异，但处理流程类似。本文对模拟 PAL 视频的接口进行描述^[13]。

根据电路的结构框架，分为视频信号输入，A/D 转换、数字信号处理、D/A 转换、视频信号放大、同步信号分离、视频信号输出等部分，其系统组成如图 1 所示。接下来，本章将对各功能模块进行简要描述。

1) 多路开关电路：将视频信号分为三路，其中一路信号作为原始视频信号与波门及系统参量（如字符、图形）叠加后形成跟踪画面复合视频信号输出送监视器显示或录像；另一路去解码器，转换成数字视频信号，同时分离出系统所需的各种同步信号；还有一路驱动后送出原始视频^[14]。

2) 钳位电路：将视频信号的同步肩钳位于某一电平使叠加字符图形后的视频信号稳定。

3) 图像解码：将模拟视频信号经内部的低通滤波电路、增益控制电路、数字钳位电路等处理后转换成数字视频信号输出，供后续的数字信号处理模块使用。同时也分离出行同步、场同步、复合同步等视频跟踪器所需的各种同步信号。

4) 像素时钟产生：以视频信号的行同步信号作为基准相位信号，产生一个锁相像素时钟信号，供图像解码、波门同步和高速图像帧存储器等使用。

5) 视频信号放大：对图像电路中的模拟视频信号进行放大处理，其放大倍数为反馈电阻和信号输入端电阻阻值之比。其作用是对输入的微弱视频信号加以放大，以便输送到后续电路中进行校正和补偿。

6) 同步信号分离：同步信号分离是为了让电路处理后的视频信号与监视器的行扫描和场扫描同步，保证图像画面能够正常显示而在原始图像外增加的同步信号。在视频图像电路中，外同步信号是由晶振和同步分离器分频来产生的。

2 视频跟踪器功能性能测试及维修流程

视频跟踪器的性能测试及故障诊断无标准的检测手段，当图像电路出现故障后往往只能采用倒序排查法进行检测^[15]。修理测试人员大都凭借行业经验，通过搭建庞大的测试平台，才能判断出故障点。为了梳理传统的维修测试方法，便于后续建模分析，本章通过解耦模型将视频跟踪器的功能及数据流进行划分，并利用故障树分析法自上而下进行建模，形成合理的模块化测试模型。通过对不同装载平台类型产品的图像电路共性分析，依据图像电路结构及对应的功能性能，图像电路的测试顺序大致分为三大部分。

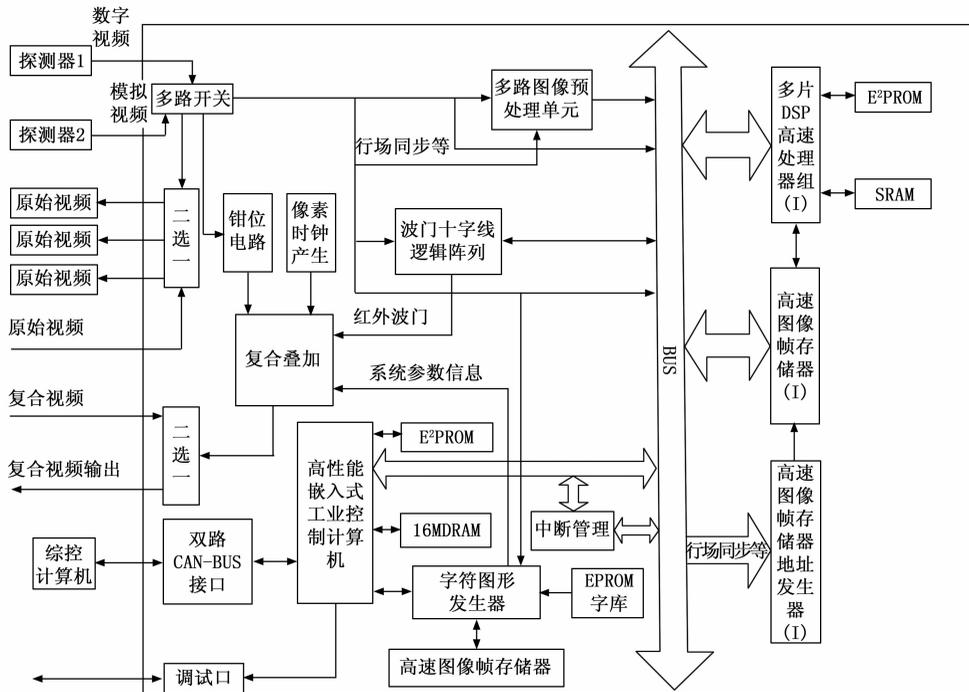


图 1 图像跟踪板原理框图

1) 视频信号输入: 视频信号输入部分的作用是为图像电路提供未经处理的原始视频信号, 输入视频信号正常与否会直接影响输出视频信号的质量, 导致成像画面无法正常显示。因此需要测试输入电路的视频信号, 排除外部信号对图像电路的干扰。

2) 视频信号处理: 根据图像处理电路的原理和结构, 视频信号处理部分又划分为视频信号放大、数字信号处理和同步信号分离 3 个小部分。视频信号处理部分是图像电路的核心部分, 其中的每个小部分有异常都会影响到最终成像画面的质量以及产品功能的实现。通过测试相应位置的信号电平判断电路是否正常^[16]。

3) 视频信号输出: 视频信号输出到监视器等成像设备上成像, 输出的视频信号正常与否直接影响成像画面的质量。通过测试输出的视频信号, 排除外围成像设备的干扰, 从而判断视频图像电路是否正常。

在视频图像信号电路的实际应用中, 很容易发生图像失真、图像干扰以及图像扭曲、抖动的问题, 影响视频图像的质量以及产品功能的实现, 因此需要对电路进行测试和调试。为了确保图像画面清晰、稳定, 视频信号波形的频率、幅值、波形都有相应的要求。由于视频图像信号的测试基本上都是依靠示波器来进行的, 因此要求调试测试作业的操作者必须能够熟练使用示波器。根据电路的结构, 通用视频图像电路可以分为视频信号输入、视频信号处理和视频信号输出三大部分, 其中视频信号处理又分为视频信号放大、数字信号处理和同步信号分离 3 个小部分。根据结构中每个部分的作用, 当出现图像显示异常的现象后可以按以下步骤进行检测调试。

2.1 复合视频信号输出

输出视频信号是模拟信号, 包括了图像信号、字符叠加信号与同步信号, 信号整合后称为复合视频信号。在跟踪器正常工作情况下使用示波器测试出的信号波形中, 黑电平以上为图像显示信号波形, 以下是行、场同步信号以及消隐电平信号。图像信号幅度(调节输入的目标信号亮度)设为 0.7 V, 行、场同步脉冲幅度为 0.3 V(与图像信号反向), 峰—峰值 V_{p-p} 为 0.9~1.2 V 之间。输出的视频信号已含有叠加字符等信号, 从示波器的波形上看, 字符的电平信号和目标图像的视频信号混合在一起, 波形比较杂乱。为了便于观测, 可以把输入目标的对比度增大, 将目标信号与其他信号区别开来, 正常情况下可以看到目标电平的幅值增大。本步骤测试的是图像电路的最终输出信号, 由于该信号输出后会直接进入图像显示设备进行成像, 化繁为简, 测试视频信号的电平幅度、行/场同步脉冲信号幅度以及电平峰—峰值达到以上要求, 则显示的图像就会完整、清晰^[17]。如测试的图像信号未达到以上要求, 则需要排查相关线路及原始输入。

2.2 原始视频信号输入

根据视频电路的框架及原理, 视频电路本身是根据外围输入的原始视频信号进行处理, 因此需要确认输入的原

始视频信号是否正常。为减少复杂的视频图像信号对示波器波形的干扰, 须保证输入的目标图像信号尽量简单、形状要规则, 其次目标背景要干净。在调试中一般使用目标发生器为产品提供规则的正方形目标的模拟视频信号。此时传送的视频信号中只有背景色和图像目标信号, 我们称为原始图像信号, 在标准的视频图像信号波形中有同步信号、消隐信号以及图像信号的波形。其中消隐信号分为场消隐信号和行消隐信号, 其中行逆程期传送行消隐信号, 场逆程期传送场消隐信号。场同步信号电平与行同步电平一致, 脉宽为 2.5 个行周期, 场同步脉冲前沿滞后场消隐脉冲前沿 2.5 个行周期, 即 1 604 μs , 场同步信号周期为 20 ms^[18]。用示波器测试电路板的视频输入端, 检测输入的视频信号, 如视频信号异常则表明产品本身正常, 如视频信号正常则转至测试视频放大电路。

2.3 视频信号放大电路

视频信号放大电路作为一个统称, 也是电路中的关键部分, 很容易受到各种因素的干扰, 从而影响图像画面的显示。其主要作用是对输入的微弱视频信号加以放大, 以便输送到后续电路中进行校正和补偿, 该功能是由运算放大器实现的, 其放大倍数与运放外接的反馈电阻大小有关(放大倍数为反馈电阻和信号输入端电阻阻值之比), 结果直接影响视频图像的亮度和清晰度。用示波器测试运算放大芯片的视频输入端和输出端的视频信号波形(波形形状与步骤 2 中原始视频信号输入波形)进行对比, 正常状态下可以看到信号的形状无变化, 而信号波形的幅值有明显增加。如测试点的信号出现异常, 检查该测试点匹配电阻阻值, 若阻值与图纸一致则更换运算放大器; 如该项检测的信号波形无问题则转至测试同步信号。

2.4 同步信号分离测试

在电路中, 同步信号分离是通过晶振和同步分离器分频产生的, 可以用示波器直接测试同步分离器的行、场同步信号波形(在电路图中行同步信号用 HS 表示, 场同步信号用 VS 表示), 行同步信号是一个幅值为 +5 V, 频率周期为 64 μs , 脉冲宽度为 4 μs 的负脉冲信号, 场同步信号则是一个幅值为 +5 V, 频率周期为 20 ms, 脉冲宽度为 164 μs 的负脉冲信号。用示波器测试晶振的频率信号、同步分离器的同步信号的波形以及电路板最后输出级的 HS 信号和 VS 信号, 如测试点的信号异常则更换该测试点元器件, 如信号的频率周期和宽度满足上述要求则转至测试数字信号处理电路。

2.5 数字信号处理

数字信号处理部分包括 A/D 转换、数字信号处理、D/A 转换。在图像处理电路中需将输入的模拟视频信号转换成数字视频信号才能够对视频信号进行编辑, 而处理后的视频信号必须转换成模拟视频信号才能通过显示器显示图像。A/D 转换电路的作用就是将模拟视频信号转换成数字信号, D/A 转换则相反, 是将数字信号转换成模拟视频信号。一般来说, A/D、D/A 转换是通过 A/D、D/A 芯片来

完成的, 在这里, 我们要测试的就是 A/D 芯片中视频的输入信号、输出的电平信号和 D/A 芯片中输入的电平信号、视频输出信号, 其中 AD 信号和 DA 信号会有多路信号 (信号分为几路根据集成电路的型号来确定) 输出和输入, 模拟视频信号只有一路输入和输出, 需对照相应的模数及数模集成电路的管脚定义使用示波器进行检测, 主要检测时钟信号、数据信号和同步信号是否对齐, 若模/数集成电路的输入的视频信号正常而输出的 AD 信号异常, 则更换对应的模/数转换集成电路; 若模/数转换集成电路的输出 AD 信号正常而数/模转换集成电路的 DA 信号异常, 则更换数字信号处理集成电路; 若数/模转换集成电路的输入 DA 信号正常而输出的视频信号异常, 则更换对应的数/模转换集成电路^[19]。

通过利用故障树分析法, 列举出图像电路中不同故障的具体测试位置, 测试的方法。根据视频图像电路的特点, 按照输出视频信号测试、输入视频信号测试、放大信号测试、同步分离信号测试、数字信号测试的顺序步骤进行检测, 为图像电路中的视频信号检测、电路故障维修进行指导操作, 从而达到快速检测、快速故障定位和维修的目的。

3 检测工装设计与实现

结合上一章的设计要求及维修流程, 本章将对检测工装设计进行简要分析。检测工装由硬件平台及软件组成, 可以通过更换电缆实现对不同跟踪器产品的功能检测及故障诊断, 该工装以 PC 机为核心架构扩展测试资源进行设计。检测工装的软件采用 VC 开发, 具备相应扩展功能以适应不同产品的维修检测^[20]。

为了便于分析, 本章将对检测工装的设计及实现进行描述, 其功能要求及故障定位方法如下所示。

3.1 视频输出

检测工装可以输出不同对比度、大小的视频图像, 通过相应接口输出给视频跟踪器进行功能性能检测。故障诊断维修过程中, 视频跟踪器必须对满足指标的目标进行稳定跟踪。若出现跟踪失败, 检测工装可以对输出结果进行判断, 以判断跟踪性能。同时, 回环测试电路对视频跟踪器的 DSP 数据与 FPGA 采集数据进行判断, 初步定位图像接收故障还是信号处理软件故障等。然后结合通信接口中通信握手功能进行 DSP 状态判定。

3.2 视频输入功能

检测工装具备接收多路模拟或数字制式的视频输入信号, 并能在检测工装的显示终端显示。操作手可以通过图像的清晰度、跟踪框、系统参数等信息判断跟踪器的状态。同时, 检测工装具备对输出图像的有无, 及信号质量进行判断功能。

3.3 供电功能

视频跟踪器的电源一般具备拉偏功能, 检测工装必须稳定输出电压。例如, 要求输出 +26 VDC 电源, 最大功率 50 W, 电源纹波要求不大于 150 mV。检测工装就可以对电源进行供电。同时, 跟踪器上电后可以对内部各单元的电

压进行检测, 并通过测试口的串口上报给检测工装。

3.4 串口功能

检测工装对外的串口主要用于视频跟踪器通信及测试口内部状态进行数据采集。例如, RS422 串口采用标准电平, 全双工, 异步, 波特率: 9 600 bps, 起始、停止位各 1 位, 1 位奇校验, 有效数据 8 位, 低位在前, 可以模拟系统设备发送数据给跟踪器, 视频跟踪器根据相应协议执行不同的任务。内外闭环数据收发, 可以定位通信故障。

3.5 TTL 开关量输出

由于跟踪器通常具备数字量和模拟量输出, 其中早期跟踪器采用的模拟量比较广泛, 使用起来相对比较方便。为了兼容早期设备, 检测工装设计了至少 32 路 TTL 开关量输出。例如, 单极性模拟量输入的电压范围: 0~+5 V, 采用 A/D 变换方式检测数字信号, 精度 ±3% 等。

以上分析表明, 本文设计的检测工装, 接口简单, 不易损坏, 可靠性得到提高, 只使用鼠标点击发送指令, 并且还增加了自动测试功能, 自动依次完成所有测试项。同时, 该检测设备可以自动显示输出电压和信号, 从而达到快速检测、快速故障定位和维修的目的。

4 基于模块化设计的视频跟踪器故障诊断检测工装应用分析

本文在所提方法的基础上设计了一种检测工装, 该工装由工控机与上位机组成, 其中定制的工控机具备多种输入输出视频接口与通信接口, 可根据不同项目需求自由组合。图 2 为测试工装与测试设备连接示意图, 其中 XS1, XS2 与 XS3 为跟踪器面板上的电气接口, 可根据不同产品的差异进行定制, 从而实现检测工装能适应不同类型的产品。

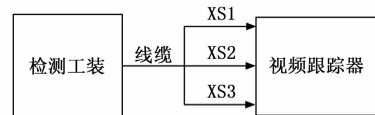


图 2 检测工装测试示意图

上位机的测试界面如图 3 所示。程序界面由“Channel A (第一通道视频采集)”、“Channel B (第二通道视频采集)”、“CCIR VF output”、“Power output management”、“Mono-polarity analogue input”、“TTL input”、“Serial Data”、“Handle Test”“Auto Test”、“Advance”十部分功能模块组成。

不同项目的视频跟踪器的电缆连接上检测工装后, 系统可自动检测跟踪器内部各线缆的通断情况。一切正常后, 由工控机为测试品供电, 并开始相关功能性能测试。本章将对其中几个主要功能模块进行分析。

4.1 供电功能测试与诊断

不同测试品具有不同供电电压与功耗要求, 本文设计的工装可以输出 5 V、12 V、28 V 等电压要求。图 4 展示了不同电压设置, 其输出电源可通过上位机控制切断和连接。例如 26 V 电源输出的最大功率 50 W, 电源纹波不大于 150 mV。



图 3 模拟视频输出软件图

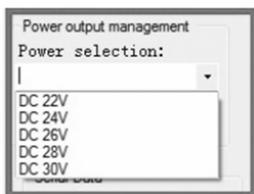


图 4 电源管理

在测试时, 通过“Power supply selection”对应的下拉菜单中可以根据需要选择不同的电压值, 然后点击“Power On”, 输出电源电压给被测设备供电。停止测试时, 点击“Power Off”断开电源, 切断被测设备供电, 如图 5 所示。

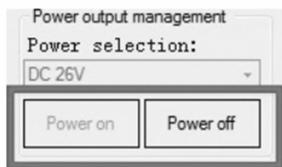


图 5 上电

4.2 视频输入输出功能测试与诊断

图 6 为模拟视频输出控制组件, 可以执行原始视频输入与复合视频信号输出测试。模拟视频输出 CH1 和 CH2 同时输出相同视频信号, 在输出信号时, 点击“...”, 弹出视频选择界面, 选择输出的 XXX.yuv 视频文件, 点击“Start”按钮发送视频数据, 在开始之后可点击界面“Stop”停止输出, 再次点击“Start”将继续刚才停止位置播放。点击“Replay”后, 点击“...”选择另一个进行视频文件发送或点击“Start”从头播放当前视频。显示屏收到输出的视频信号, 在显示屏上观察输出的视频信号是否存在抖动、波纹、失真现象。该工装还可以自动生成不同大小、对比度、运动速度的目标, 便于进行视频跟踪器的性能测试^[20], 如图 6 所示。

4.3 串口通信功能测试与诊断

视频跟踪器具有多种类型的通信接口、如 CAN、以太

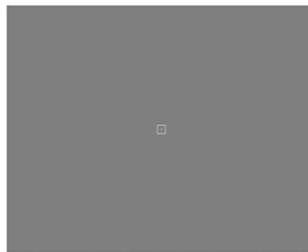


图 6 3×2@12%目标跟踪结果

网等, 本节主要分析串口通信功能测试与诊断。通信功能主要实现与外部组件信息交互。虽然不同产品通信协议不同, 但上位机提供了扩展插件, 可以为不同产品提供不同接口, 实现通信功能测试与诊断。进入到视频跟踪器功能测试之后, 可以打开对应插件选择需要发送一组数据^[21], 数据内容显示在如图 7 对话框。不同数据可以模拟光电系统给视频跟踪器发送控制指令与状态指令。若被测产品按照发送的数据实现相应的功能, 即合格, 否则为不合格。



图 7 串口数据

4.4 功能测试与诊断

本文设计的检测工装包含不同控制指令与状态指令的按键, 可以测试产品的功能^[22]。被测设备上电之后, 默认为“Handle Test”模式, 测试程序送出命令, 设置初始状态。图 2 右下区域为功能区, 其显示绿色的按钮为当前设置。改变输出信号时, 鼠标左键点击对应信号按键, 此按键将变成绿色, 其相反状态按钮变白色。点击“Auto test”按钮则会弹出图 8 所示的界面, 根据不同的被测设备显示界面内信号内容略有不同。

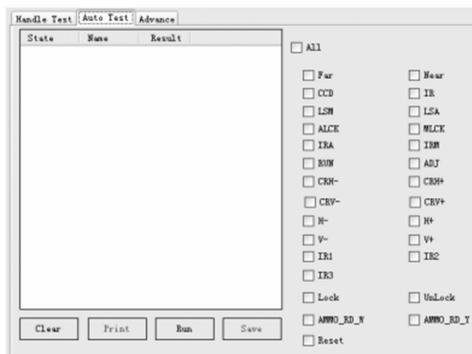


图 8 Automatic test 操作界面

在开始自动测试之前, 勾选需要测试信号, 左侧对话框将显示选择的信号, 选择完成后, 点击“Run”开始自动测

