

doi: 10.7690/bgzd.2015.12.010

## 导弹发射车车控设备故障诊断仪

李田科<sup>1</sup>, 于仕财<sup>2</sup>, 范辉<sup>1</sup>, 李伟<sup>1</sup>

(1. 中国人民解放军 91980 部队, 山东 烟台 264001;  
2. 海军航空工程学院电子信息工程系, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 针对车控设备缺少故障诊断设备, 影响部队战训任务的问题, 设计并实现复杂车控设备的智能自动诊断系统。设计基于原理和故障树分析的车控设备故障诊断硬件平台, 综合运用故障树诊断、模块化并行软件控制等技术, 开发诊断软件。实际应用结果表明: 该系统实用、检测全面, 能实现复杂车控设备的智能自动诊断, 节约维修时间和经费, 满足车控设备故障诊断定位及维修支持的需求, 对提高发射车的完好率和出勤率具有重要的军事经济效益。

**关键词:** 车控设备; 故障诊断; 故障树分析  
**中图分类号:** TJ768.2 **文献标志码:** A

## Fault Diagnosis Equipment of Missile Launch Vehicle Control System

Li Tianke<sup>1</sup>, Yu Shicai<sup>2</sup>, Fan Hui<sup>1</sup>, Li Wei<sup>1</sup>

(1. No. 91980 Unit of PLA, Yantai 264001, China; 2. Department of Electronic & Information Engineering, Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China)

**Abstract:** According to the deficiency of fault diagnosis equipment of the vehicle control system, it influences readiness and training of the army. Design and realize intelligent automatic diagnosis system of complex vehicle control system. Hardware platform of the vehicle control system based on principle and fault tree analysis and diagnosis software is designed, and develop diagnosis software by comprehensive using technology of fault tree diagnosis and software control based on modular parallel. The application results show that the system is practical and comprehensive, it realizes intelligent automatic diagnosis of complex vehicle control equipment, save maintenance time and cost, and satisfies requirements of fault diagnosis location and maintenance support of vehicle control equipment. The system has important military economic benefits for improving launch vehicle availability and attendance rate.

**Keywords:** vehicle control system; fault diagnosis; fault tree analysis

### 0 引言

某导弹发射车车控柜设备主要实现发射车调平起竖等电气控制功能, 其组成结构复杂, 设备各部件之间相互关联密切, 任一元器件故障都可导致整个发射车无法调平起竖, 进而导致无法实现作战和训练任务。而且该设备故障率较高, 3 年来共出现 8 次插板故障和 4 次其他故障。目前, 出现故障时, 没有对车控设备进行故障诊断、定位及维修支持功能的设备, 使得部队直接修复武器装备困难。操作维修人员要么不敢动手修理, 要么盲目修理, 经常把小故障修成大故障。修理厂和装备生产厂则用专用的故障诊断设备按照维修工作的复杂程度逐级承担, 需要大量的技术人员现场提供技术支持或返厂维修, 不仅装备得不到及时修复, 影响战备值勤, 而且往返维修费用也比较高。研发导弹发射车车控设备故障诊断仪, 可实现自动测试、故障诊断定位及维修引导功能, 并可根据故障模式结合已有的维

修引导信息, 给出合理的解决方案, 方便使用者在检测地点对设备进行修理、维护。

### 1 车控设备故障诊断系统总体方案

车控设备故障诊断系统的诊断采用基于原理的故障诊断和故障树分析法, 使用 delphi 编制诊断软件, 采用上位计算机和下位单片机构建硬件。把上位计算机与检测机箱内的下位机融合为一体, 搭建故障诊断平台, 通过对信号的采集、对比、分析, 实现快速故障检测、分析, 并给出故障维修建议。

故障诊断仪的基本工作原理: 检测仪由上位机和下位机 2 大分系统组成。上位机以计算机为硬件平台, 利用计算机强大的数据处理、显示和存储功能, 承担信息处理、人机交互界面、信号检测、数据处理以及与下位机的通信工作。下位机箱内集成控制信号处理、数据采集和信号模拟等功能, 承担着数据前期预处理, 信号模拟、数据的传送以及与上位机的通信工作。系统结构如图 1 所示。

收稿日期: 2015-07-22; 修回日期: 2015-08-29

基金项目: 国家自然科学基金(61179017)

作者简介: 李田科(1976—), 男, 山东人, 硕士, 高级工程师, 从事兵器发射理论与技术研究。

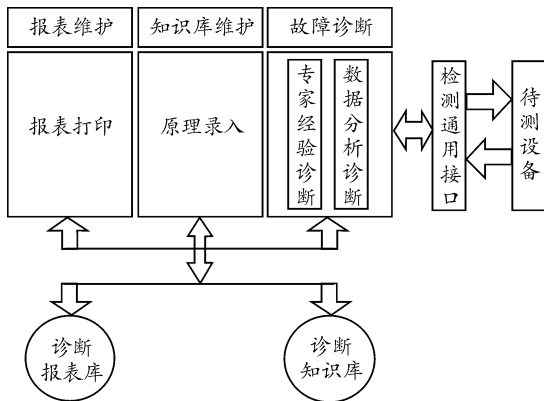


图 1 系统结构框图

## 2 故障检测点的筛选

### 2.1 检测点的选择原则<sup>[1]</sup>

为了对系统进行故障诊断，确定有无故障以及

故障的部位，需要检测故障的激励和响应情况，需确定检测点。故障诊断系统选择检测点的原则是：

- 1) 选择对故障最敏感、最有代表性的检测点；
- 2) 选择可以诊断出多个故障，对故障检测隔离能力强的检测点；
- 3) 选择可及检测点，由于故障诊断系统是以各独立功能组件为故障单元，所以只能选各设备接口插座的信号为检测点；
- 4) 尽可能减少检测点数，以便减少诊断系统与待诊断系统间的连线，减轻数据采集系统的工作量。

### 2.2 检测点的确定及信号形式

为便于利用，将故障块所有可及激励和响应都作为检测点，以确定本系统的检测点及其信号形式，如表 1 所示。

表 1 故障检测点及其信号形式

| 序号 | 检测反馈信号  |       |          | 输出到被测设备 |        |          |
|----|---------|-------|----------|---------|--------|----------|
| 1  | XCH1/7  | 锁定    | 27 V+ 或断 | XCH2/1  | 右锁定到位  | 27 V+ 或断 |
| 2  | XCH2/8  | 关到位   | 27 V+ 或断 | XCH2/2  | 左锁到位   | 27 V+ 或断 |
| 3  | XCH2/9  | 开到位   | 27 V+ 或断 | XCH2/3  | 关到位    | 27 V+ 或断 |
| ⋮  | ⋮       | ⋮     | ⋮        | ⋮       | ⋮      | ⋮        |
| 90 | XCH3/51 | 3 号湿度 | 27 V+ 或断 | XCH3/21 | 3 号位检测 | 27 V+ 或断 |
| 91 | XCH3/52 | 横倾    | -5~+5 V  | XCH3/22 | 横倾     | 2~10 V   |
| 92 | XCH3/53 | 俯仰    | -5~+5 V  | XCH3/23 | 俯仰     | 2~10 V   |

## 3 车控设备故障分析及诊断方案分析

在车控设备工作状态检测结束后，如检测正常，则设备无故障；如检测不正常，则具体判断车控设备哪部分故障。根据状态分析，通过逐个测试设备的办法查找故障设备。故障诊断时，先将车控设备的故障树结构编程存入故障库中，然后采用从上而

下的方式进行故障定位搜寻，测试时，软件不断更换测试点，同时将测试结果与故障库中各种标准情况比较，找出部件故障的各种可能起因，并逐个判断其真实性，最终搜寻到故障的真正原因，找出故障的元器件<sup>[2-3]</sup>。以车控设备的 30 板为例，信号逻辑关系如表 2 所示。

表 2 30 板信号逻辑关系

| 序号 | 输出     | 信号名称 | 信号性质  | 反馈信号   | 反馈信号   | 信号性质  | 器件    |
|----|--------|------|-------|--------|--------|-------|-------|
| 1  | 无输入    | 无    | 无     | 无      | 无      | 断开    | V7,K7 |
|    | XCH2/1 | 右锁到位 | 27 V+ | XCH2/7 | 锁定到位   | 27 V+ |       |
| 2  | XCH2/2 | 左锁到位 | 27 V+ | XCH2/8 | 关盖锁定到位 | 27 V+ | V9,K9 |
|    | 无输入    | 关盖到位 | 无     |        |        |       |       |
|    | XCH2/1 | 右锁到位 | 27 V+ |        |        |       |       |
| 3  | XCH2/2 | 左锁到位 | 27 V+ | XCH2/9 | 开盖解锁到位 | 27 V+ | V8,K8 |
|    | XCH2/3 | 关盖到位 | 27 V+ |        |        |       |       |
|    | 无输入    | 无    | 无     |        |        |       |       |
| 4  | XCH2/4 | 解锁到位 | 27 V+ | XCH2/6 | 供电     | 27 V- |       |
|    | XCH2/5 | 开盖到位 | 27 V+ |        |        |       |       |

## 4 硬件设计

### 4.1 硬件设计需求

1) 实现设备的加、断电控制，并通过指示灯显示设备的加电状态。

2) 驱动并控制 77 路继电器，每路继电器可独立控制，继电器驱动电压为+27 V。

3) 对测试对象反馈的开关量信号进行检测，开关量共有 3 种信号状态：

- ① 接通+27 V，即测试对象送出直流 27 V 电压；

② 接通+27 V 地，即测试对象送出直流 0 V 电压，该电压为+27 V 对应的地线电压。

③ 断开+27 V 或断开+27 V 地，即测试对象处于高阻断开状态。

这 3 种信号状态在测试对象中以 3 种电路状态出现：

- ① 接通+27 V 和断开+27 V；
- ② 接通+27 V 和接通+27 V 地；
- ③ 断开+27 V 地和接通+27 V 地。

4) 为测试对象提供 2 路直流电压激励信号，电压范围为 2~10 V，为便于测试选取 3 个测试点，每路激励信号设置为+2、+6 和+10 V。

5) 可对测试对象反馈的 2 路直流电压信号进行检测，反馈电压范围为-5~+5 V，每路信号与+2、+6 和+10 V 对应的电压值为-5、0 和+5 V。

系统的信号类型及需求如表 3 所示。

表 3 信号类型及需求

| 输入/输出        | 信号类型 | 电路特性        | 数量 |
|--------------|------|-------------|----|
| 输入检测(共 92 路) | 开关量  | 27 V+或断开    | 66 |
|              | 开关量  | 27 V+或 27V- | 15 |
|              | 开关量  | 27 V-或断开    | 9  |
|              | 模拟量  | 5~-5 V      | 2  |
| 输出控制(共 77 路) | 开关量  | 27 V+或断开    | 75 |
|              | 模拟量  | 2~10 V      | 2  |

### 4.2 硬件电路

#### 1) 主控电路设计。

主控电路采用单片机 C8051F120 和 RS-485 通信电路，原理如图 2。MAX3485ESA 为 RS-485 通信芯片，RS-485 接口的数据传输速率设为 9 600 bit/s。用 RS-485/USB 转换器将 RS-485 接口转换为 USB，与上位机匹配。

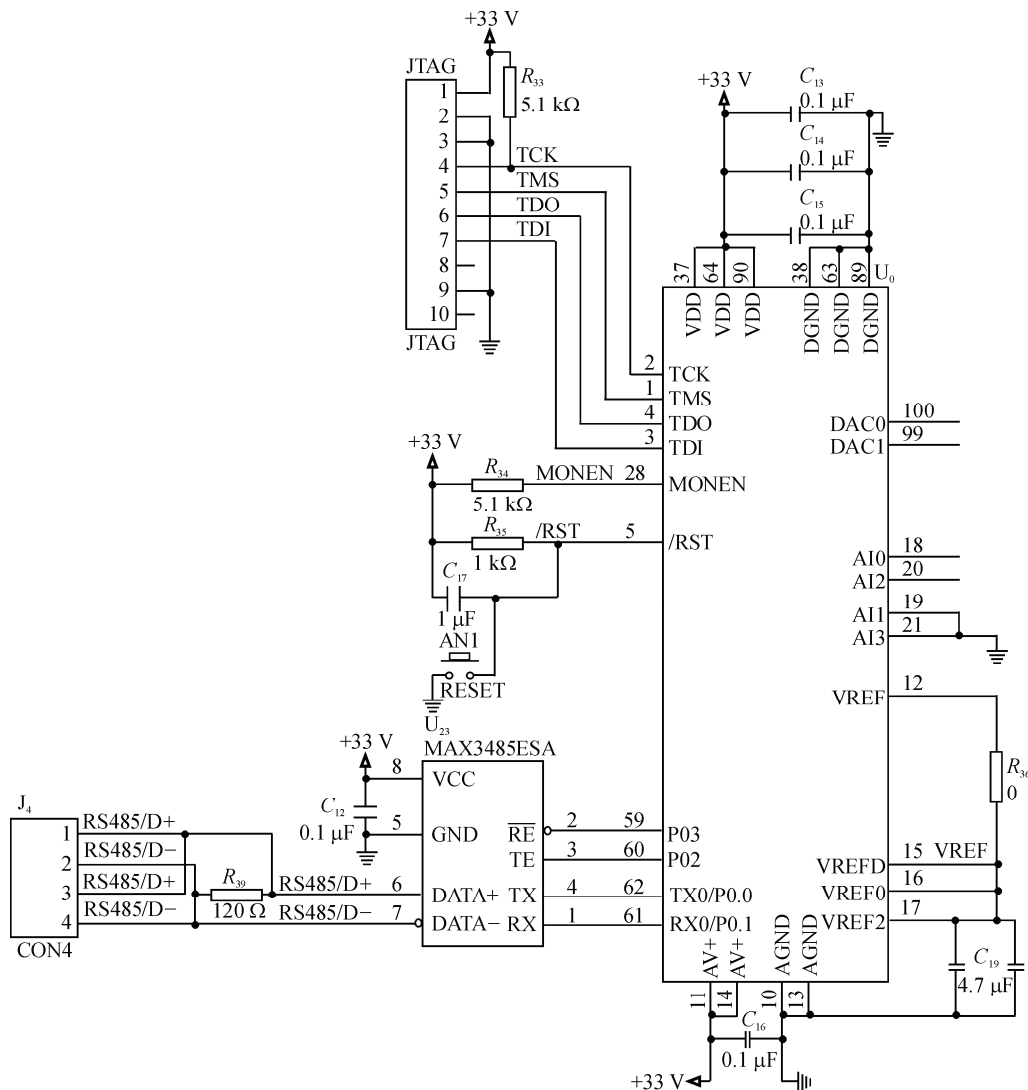


图 2 主控模块原理

#### 2) 继电器驱动电路设计。

每路输出通道均用达林顿构成驱动电路，对单

片机输出的开关量进行功率放大，以驱动外部的继电器，如图 3 所示。由于单片机的高电平为+3.3 V，低电平为 0 V，为了实现电平匹配和电气隔离，应用了光电耦合器。当单片机输出低电平时，光电耦合器工作，达林顿管导通工作，为继电器提供+27 V 驱动电压。当单片机输出高电平时，光电耦合器不工作，断开+27 V 驱动电压。

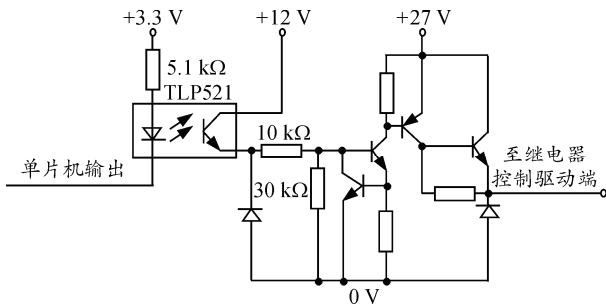


图 3 继电器驱动电路

3) 开关量输入接口。

在电路板设计时，采用如图 4 电路，该电路可依据收集信号类型灵活配置，采集开关量输入为断开+27 V 地和接通+27 V 地形式的信号时，在  $R_1$  位置接入 0 Ω 电阻，在  $R_2$  位置接入 10 kΩ 电阻；采集开关量输入为接通+27 V 和断开+27 V 以及接通+27 V 和接通+27 V 地形式的信号时，在  $R_1$  位置接入 0 Ω 电阻，在  $R_2$  位置保持断开状态，如图 4 所示。

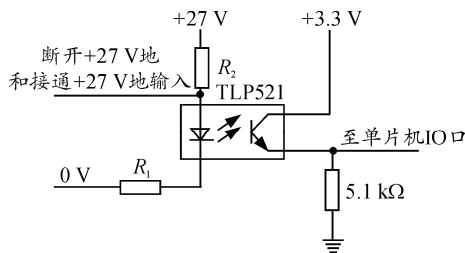


图 4 开关量输入调理电路

4) 激励电压设置电路。

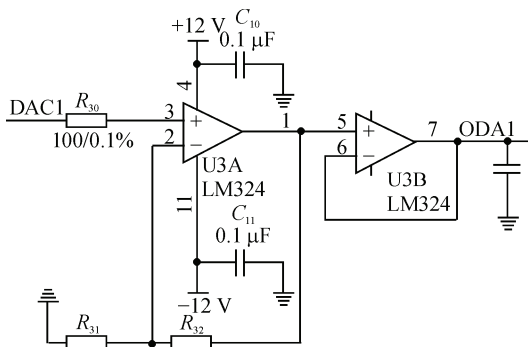


图 5 激励电压设置电路

激励电压设置电路利用单片机的 DA 输出和 LM324 运算放大器构成。单片机的 DA 可在 0~2.4 V 之间任意设置，运算放大器的放大倍数取 5，通过设置 DA 的输出，即可得到+2、+6 和+10 V 的电压激励信号。激励电压设置电路的输出采用跟随器的形式，减小了电路的负载效应，提高了电路的驱动能力。激励电压设置电路如图 5 所示。

5) 电压反馈测试电路。

由于电压反馈信号在不同激励下对应的理论电压值为-5、0 和+5 V，单片机的 AD 只能测量 0~2.4 V 的正电压，故必须对反馈信号进行变换。设计了加法电路和分压电路，以保证输入信号在-5~+5 V 之间变化时，电路的输出在 0~2.4 V 之间，如图 6 所示。

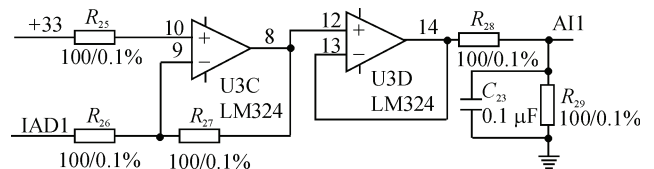


图 6 反馈测试电路

5 通信协议

1) 设置开关量输出数据。

先发送下位机(数据采集板)地址数据，再发送输出端口数据，设置完毕后下位机没有回传数据。

① 发送下位机地址。共发送 1 个数据，该数据即板地址为 0x61(0x62 或 0x63)，数据格式为 unsigned char。校验为 mark 检验、数据位 8 位、停止位 1 位。

② 发送输出端口数据。

共发送 6 个数据，数据格式为 unsigned char。串口的设置，波特率 9 600 bit/s、校验为 space 检验、数据位 8 位、停止位 1 位。

2) 读取输入数据。

先发送下位机(数据采集板)地址数据，再发送读取输入数据指令，下位机收到指令后，开始采集数据，采集完毕后向上位机回传数据。

① 发送下位机地址。

共发送 1 个数据，该数据即板地址为 0x61(0x62 或 0x63)，数据位 8 位、停止位 1 位。

② 发送读取输入数据指令。

共发送 6 个数据指令，数据格式为 unsigned char。该数据送到下位机后，下位机开始采集数据，采集完毕后向上位机回传数据。校验方式为 space

检验、数据位 8 位、停止位 1 位。

### ③ 读取回传数据。

发送完读取输入数据指令后，上位机接受下位机数据。

## 6 故障诊断软件编制

故障诊断是指上位机系统软件通过对指定流程测量结果的处理，并结合相应的故障判定分析，来判断是否存在故障。软件的工作流程：对下位机发出检测指令，接收从下位机采集到的信号；对上传的检测数据进行故障分析判断，通过界面给出相应的操作提示，并将判断结果以报表形式给出相应的

维修引导信息，供用户参考<sup>[4-5]</sup>，如图 7 所示。

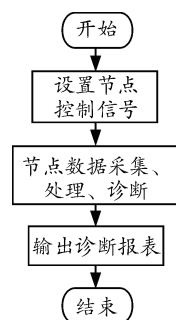


图 7 软件工作流程

软件界面如图 8 所示。



图 8 软件界面

## 7 结束语

该诊断仪以发射车车控设备为对象，采用模块化设计和综合集成技术，应用先进的软硬件平台，实现了车控设备的智能自动诊断，大大提高了车控设备的故障定位精度和维修效率，降低了对维修人员专业技能和操作经验的依赖性。经实际应用考核证明：系统实用、检测全面，能够满足用户对车控设备故障诊断定位及维修支持的需求。该诊断系统的研制成功，对提高发射车的完好率和出勤率具有较为重要的军事经济效益。

## 参考文献：

- [1] 樊水康, 郭会兵, 郭慧鑫. 火控系统故障检测与智能诊断[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(6): 143-146.
- [2] 翟颖焯, 周越文, 梁学明, 等. ATE 中的故障诊断系统设计与实现[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2014, 15(1): 24-28.
- [3] 郑丽娅, 康林, 刘瑶华, 等. 便携式火控计算机综合检测设备设计[J]. 兵工自动化, 2014, 33(8): 8-10.
- [4] 袁润, 汪建业, 李亚洲, 等. 基于故障树的复杂系统故障诊断软件设计研究[J]. 核科学与工程, 2012, 32(1): 74-78.
- [5] 殷明勇, 孔思洪, 刘爱民, 等. 基于故障树分析的网络系统可靠性研究[J]. 兵工自动化, 2014, 33(11): 44-45.