

doi: 10.7690/bgzdh.2023.09.011

某型特种车辆加电控制系统检测诊断系统

杜国祥, 杨小龙, 刘洋, 王君

(中国人民解放军 32382 部队, 武汉 430311)

摘要: 为完成某型特种车辆加电控制系统的离线快速检测维修任务, 研制一套检测诊断系统。模拟产生输入分立信号、发送各分系统的故障码, 采集输出电压、输出分立信号, 以完成加电控制系统的功能检测; 在离线状态下复现加电控制系统加断电时序控制、开关控制、状态反馈及状态显示等功能, 能自动判定测试结果并给出维修作业指导。实际维修应用结果表明: 该系统具有操作简单、智能化程度高、检测诊断快速高效等特点, 能完成要求的测试项目, 测试结果均达到技术要求。

关键词: CPCI 总线; 检测诊断系统; 配电组合测试; 加电及配电测试

中图分类号: TJ07 **文献标志码:** A

Detection and Diagnosis System for Power-on Control System of Certain Type Special Vehicle

Du Guoxiang, Yang Xiaolong, Liu Yang, Wang Jun

(No. 32382 Unit of PLA, Wuhan 430311, China)

Abstract: In order to complete the offline rapid detection and maintenance task of a certain type of special vehicle power-on control system, a set of detection and diagnosis system is developed. Simulate the generation of input discrete signals, send the fault code of each subsystem, collect the output voltage and output discrete signals to complete the function detection of the power-on control system. Reproduce the power-on and power-off time sequence control, switch control, state feedback, state display and other functions of the power-on control system in an offline state, automatically determine the test results and give maintenance instructions. The actual maintenance application results show that the system has the characteristics of simple operation, high degree of intelligence, fast and efficient detection and diagnosis, and can complete the required test items, and the test results meet the technical requirements.

Keywords: CPCI bus; detection and diagnosis system; power distribution combination test; power-on and power distribution test

0 引言

随着信息化战争作战强度大、技术含量高、机动性强、速决性强等特点被逐渐认知, 如何高效地完成维修保障任务、提高武器装备战备完好性, 已成为近些年各国装备建设中关注的重要问题。目前测试领域公认技术成熟且被广泛使用的常见总线类型有 CPCI、PXI、CAN, CPCI 总线在电气、逻辑和软件功能方面兼容 PCI 标准, 具有支持热插拔、可靠性高、环境适用能力强、开发成本低等优点, 现已被广泛应用于工业自动化领域进行数据采集和处理^[1-5]; PXI 总线建立在 CPCI 核心规格上, 定义了更多的机械、电气和软件方面的需求, 增加了系统参考时钟、局部总线、星形触发、触发总线等, 适用于通信、伺服机构的测试、测量与控制^[6-7]; CAN 总线可作为现场设备级总线, 具有实时性好、通信方式灵活、可靠性高、容错性强和抗干扰性能

优异等特点, 特别适用于大型复杂仪器设备中需对多种信息进行采集、传输、处理、控制等操作^[8-9]。

某型特种车辆的加电控制系统主要负责各分系统加断电时序控制、开关控制、状态监测等, 在分系统工作异常时及时示警并断电保护。目前, 修理机构对加电控制系统不够重视, 未配备专用检测设备, 其检测维修主要通过观察其他各分系统的加电及工作状态来间接判断, 故障判断、定位难度较大, 遇到突发状况时还可能会对其他分系统造成损伤, 风险较大; 因此, 有必要研制一套专用离线检测诊断系统。

1 总体设计

综合考虑 CPCI、PXI、CAN 总线技术特点和本测试诊断系统需求, 选用 CPCI 总线进行开发。该检测诊断系统硬件主要由测试计算机、信号调理箱、

收稿日期: 2023-05-19; 修回日期: 2023-06-25

作者简介: 杜国祥(1979—), 男, 湖北人。

显示器、键盘鼠标以及连接电缆等构成，系统总体设计原理如图 1 所示。

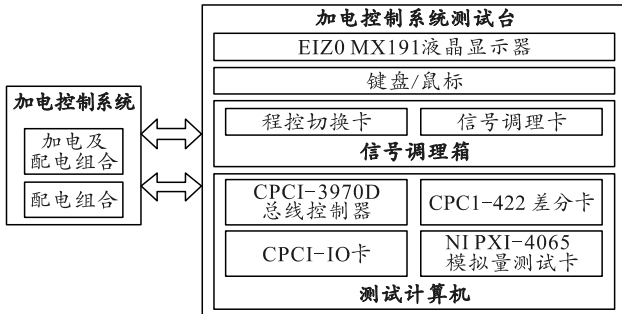


图 1 系统总体设计原理

测试计算机机箱选用 CPCIS-2633R 机箱，内部装有 CPCI-3970D 总线控制器、NI PXI-4065 模拟量测试卡、CPCI-422 差分卡、CPCI-IO 卡共 4 块板卡，其中：CPCI-3970D 总线控制器安装 WindowsXP 和 Labview，运行的测试软件运用 Visual Studio 2008 编程环境 C++语言开发^[10-11]；NI PXI-4065 模拟量测试卡实现输出电压的模拟量采集；CPCI-422 差分卡能够准确有效模拟产生各种差分信号；CPCI-IO 卡实现检测诊断系统与加电控制系统的电气隔离。信号调理箱内装有程控切换卡、信号调理卡、+28 V 开关电源等，采用测试电缆与待检测的加电控制系统相连接，可在拉出状态进行带电维护。

该检测诊断系统各板卡均自带隔离保护功能，采用标准的 PCI 接口，只提供加电控制开关，其他所有操作均由测试软件进行控制。

1) 输出电压测试。

加电控制系统输出的电压通过测试电缆送入检测诊断系统，首先进入信号调理卡为输出电压加入模拟负载后送入程控切换卡，测试软件依次控制选通输送到 NI PXI-4065 模拟量测试卡，自动完成输出电压的采集测试与判读。

2) 分立输出信号测试。

加电控制系统输出的分立信号经信号调理卡分压处理后输送到 CPCI-IO 卡完成分立信号的采集测试与判读。

3) 分立输入信号测试。

测试软件控制 CPCI-IO 卡模拟产生加电控制系统所需的分立信号，通过测试电缆将模拟信号加到加电控制系统的测试输入点上完成测试。

4) 通信模拟测试。

测试软件控制 CPCI-422 差分卡，模拟频综、高频头、中视频、发射机、雷达控制机等分系统与加电控制系统进行通信，发送各类故障码完成通信测试。

2 关键硬件设计

2.1 CPCI-3970D 总线控制器

CPCI-3970D 总线控制器为 3U CPCI 刀片式单板电脑，具有性能高、功耗低、环境适应性强的特点，板上搭载 Intel 第 2 代 Core™ i7/i5 4-core or 2-coe 处理器及 QM67 PCH 芯片组，4G DDR3 内存，1 TB SATA 硬盘，提供 VGA、DVI、以太网、USB、COM 等接口，其原理如图 2 所示。

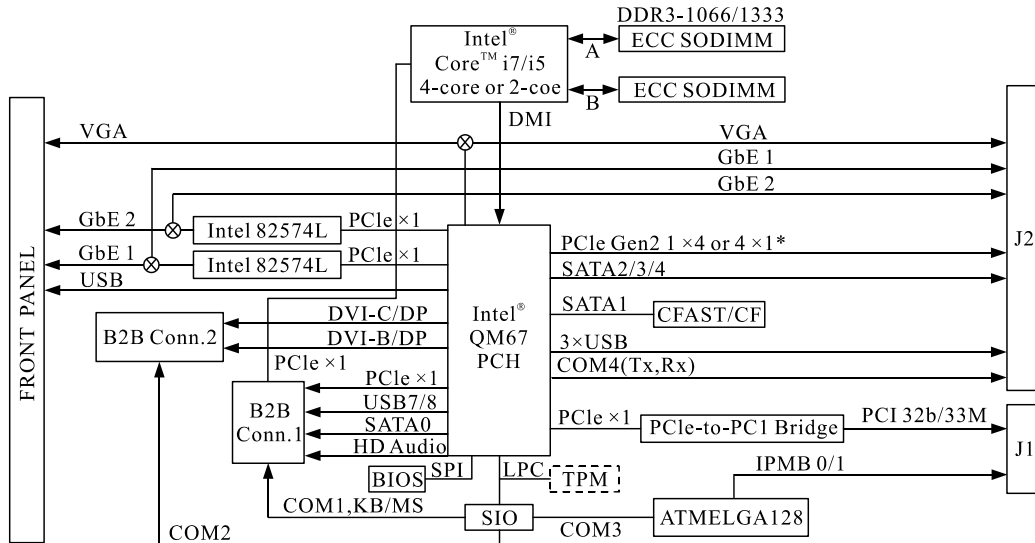


图 2 CPCI-3970D 总线控制器原理

2.2 NI PXI-4065 模拟量测试卡

NI PXI-4065 模拟量测试卡是一款 6½位 PXI 数

字万用表，内置 AC/DC 电压测量、AC/DC 电流测量、2 线或 4 线电阻测量以及二极管测试等 7 项测

量，±300 VDC/Vrms 隔离，6½位數位下读取速度最高达 10 次/秒，4½位數位下读取速度最高达 3 000 次/秒，通过 NI PXI 开关，可创建高通量数据采集系统。模拟量测试卡如图 3 所示。

2.3 CPCI-422 差分卡

CPCI-422 差分卡的核心处理部分采用 FPGA 实现，通过逻辑软件的控制，能准确有效模拟产生各种差分信号，板卡带有隔离芯片，实现检测诊断系统与加电控制系统的电气隔离，其原理如图 4 所示。



图 3 NI PXI-4065 模拟量测试卡

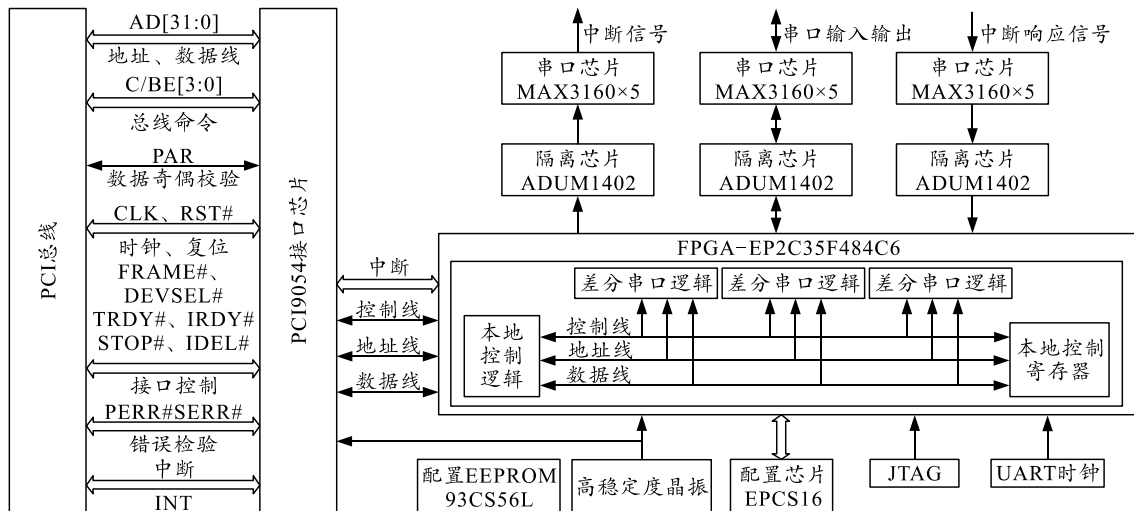


图 4 CPCI-422 差分卡原理

该板卡主要负责实现 3 方面内容：

1) 差分串口通信。

负责模拟频综、高频头、中视频、发射机、雷达控制机等分系统与加电控制系统间的串口通信时序，自动模拟各分机的故障状态。

2) 差分中断信号。

模拟雷达控制机的差分中断信号，该信号具有周期设置功能，测试软件通过 FPGA 提高的周期设置寄存器来完成脉冲周期的设置工作，最小周期可设为 1 ms。

3) 差分信号采集。

负责中断响应信号的接收和对 80 ms 封闭信号进行实时状态采集。

2.4 CPCI-IO 卡

CPCI-IO 卡核心是 FPGA 技术和 PCI 总线技术，板卡带有隔离芯片，实现测试设备与被测对象的电气隔离，各种功能模块提供给主机的是标准 PCI 接口，测试软件通过驱动程序控制访问各个功能模块。CPCI-IO 卡原理如图 5 所示。

该板卡主要负责实现 3 方面内容：

1) 为被测组合提供 TTL 电平；

2) 采集经信号调理卡调理后的加电控制系统输出的分立信号；

3) 提供 RS232 串行接口，负责与程控切换卡进行通信，控制其输入信号的切换。

2.5 程控切换卡

程控切换卡的核心处理部分采用 AVR 单片机实现，板卡程序主要负责接收并解析由串口发送的控制指令，控制单片机相应 IO 口输出高电平，然后经驱动芯片驱动继电器实现输入信号的选通切换。程控切换板原理如图 6 所示。

该板卡主要负责实现 3 方面内容：

1) 实现对加电控制系统输出电压信号的选择切换，并将信号输送到 NI PXI-4065 模拟量测试卡进行采集；

2) 实现真实通信接口与模拟通信接口的切换；

3) 负责与测试主机进行串口通信，接收控制指令。

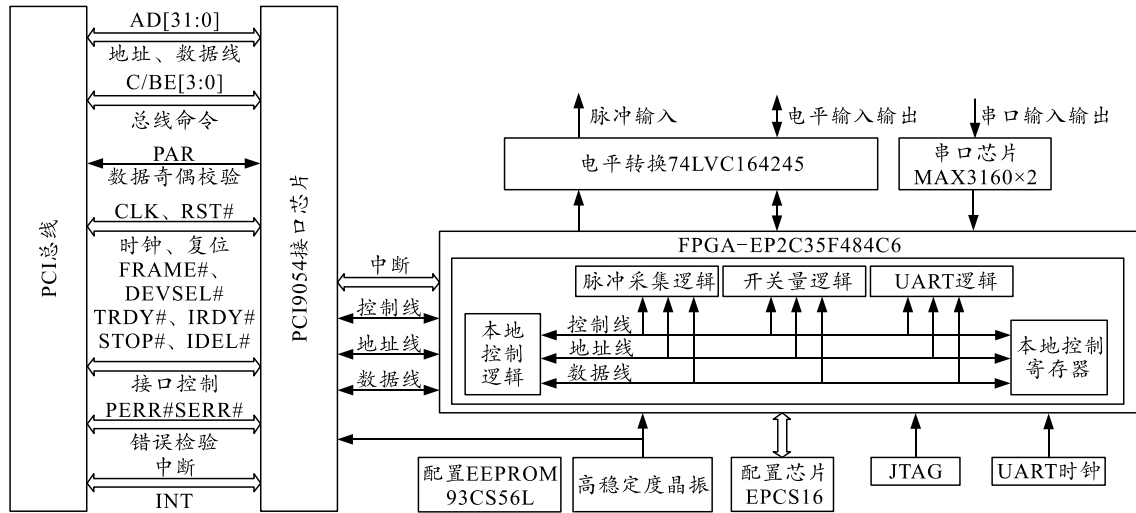


图 5 CPCI-IO 卡原理

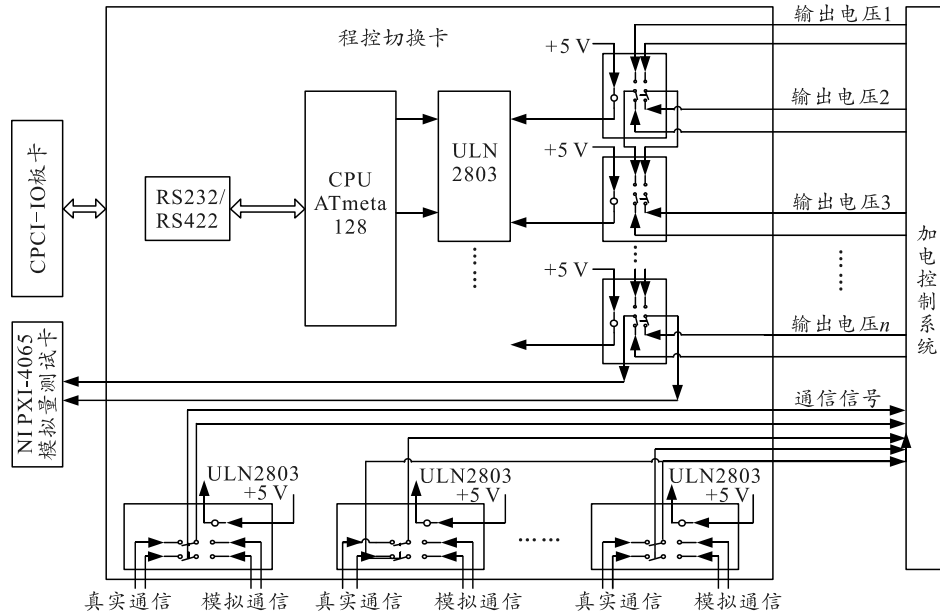


图 6 程控切换卡原理

2.6 信号调理卡

信号调理卡主要实现以下功能：

- 1) 对加电控制系统输出的分立电压信号进行分压处理，然后送入 CPCI-IO 卡进行信号采集；
- 2) 给继电器触点检测的 1 端口提供+5 V 电压输入信号，通过测试另一端口的输出电压来检测继电器触点闭合状态；
- 3) 为加电控制系统由固体继电器控制输出的电压信号提供负载电阻。

该板卡原理如图 7 所示。

3 软件设计

3.1 自检测试

该检测诊断系统加电后，首先完成各个功能板

卡自检，检测正常后再进行测试，避免由于其自身故障导致损害加电控制系统。硬件板卡的自检包括：

- 1) NI PXI-4065 模拟量测试卡自检。

该检测诊断系统将+5 V 电压提供给模拟量测试卡，测试软件读取模拟量测试卡采集的数据，判断采集电压是否为+5 V 完成板卡的自检测试。

- 2) CPCI-422 差分卡自检。

采用自发自收的形式，控制自检输出端发送一组特定数据给自检输入口端，判断收发数据是否一致完成检测。

- 3) CPCI-IO 卡自检。

采用自发自收的形式，控制自检 IO 口输出高电平给其他 IO 口，检测其他 IO 口是否接受到高电平。

4) 程控切换卡自检。

通过串口发送程控切换卡自检指令，程控切换卡接收到自检指令后返回自检状态字，判断返回的状态字完成板卡的自检测试。

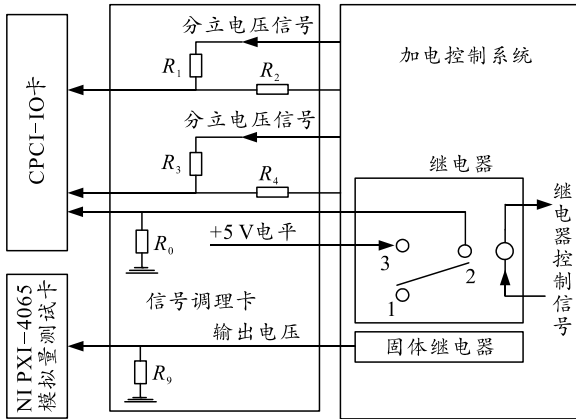


图 7 信号调理卡原理

3.2 配电组合测试

主要完成加电控制系统中配电组合输出电压的采集测试，各测试项目具体技术要求如表 1 所示。

表 1 配电组合测试技术要求

序号	信号名称	指标要求
1	配电 X1 交流 Va-b	160 V ± 10%
2	配电 X1 交流 Vb-c	160 V ± 10%
3	配电 X1 交流 Vc-a	160 V ± 10%
...
7	配电 X6 交流 Va-b	160 V ± 10%
8	配电 X6 交流 Vb-c	160 V ± 10%
9	配电 X6 交流 Vc-a	160 V ± 10%

配电组合测试流程如图 8 所示。

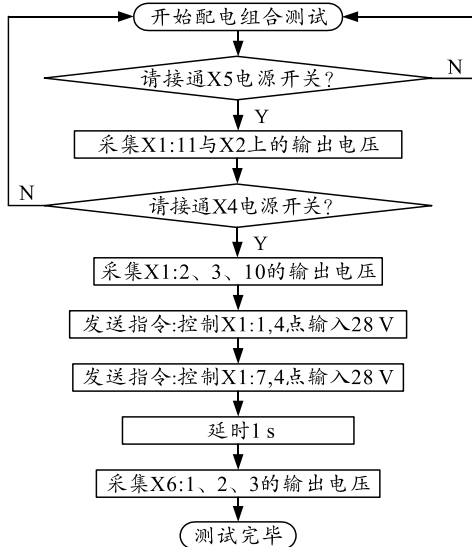


图 8 配电组合测试流程

3.3 加电及配电组合测试

主要完成加电控制系统中加电及配电组合分立

信号输入控制测试、分立信号输出采集测试、模拟采集测试及通信测试等 4 项测试，各测试项目具体技术要求如表 2—4 所示。

表 2 分立信号输入控制测试技术要求

序号	信号名称	指标要求
1	发射机故障	发射机故障指示灯灭
2	电源故障	电源故障指示灯灭
3	中视频故障	中视频故障指示灯灭
4	发射机故障	发射机故障指示灯灭
5	发射机+15 V 正常	发射机+15 V 正常指示灯灭
6	发射机+5 V 正常	发射机+5 V 正常指示灯灭
7	发射机+10 V 正常	发射机+10 V 正常指示灯灭
8	频综组合故障	频综组合故障指示灯灭
...
25	伺服控制故障	伺服控制组合故障灯灭
26	方位功放故障	方位功放组合故障灯灭
27	俯仰功放故障	俯仰功放组合故障灯灭
28	伺服电源故障	伺服电源组合故障灯灭
29	天线/负载控制	控制 X4B:34 点输出本机 28 V
30	加电安全旁路	加电安全旁路已接通

表 3 分立信号输出采集测试技术要求

序号	信号名称	指标要求
1	高频头 5 V+	5 V ± 10%
2	止档复位(公用 28 V)	28 V ± 10%
3	旁通阀(公用 28 V)	28 V ± 10%
4	波导充气控制(车载 28 V)	28 V ± 10%
5	保险旁路(车载 28 V)	28 V ± 10%
6	安全旁路(车载 28 V)	28 V ± 10%
7	接触器控制 IN+(本机 28 V+)	28 V ± 10%
8	保护使能(本机 28 V)	28 V ± 10%
9	机柜风扇+(本机 28 V)	28 V ± 10%
...
17	复位(TTL)	5 V ± 10%
18	加电机柜本机 28 V	28 V ± 10%
19	发射机允许发射+	导通
20	加电正常报告+	导通

表 4 模拟采集测试技术要求

序号	信号名称	指标要求
1	加配 X3B 交流 Va-b	200 V ± 10%
2	加配 X3B 交流 Vb-c	200 V ± 10%
3	加配 X3B 交流 Vc-a	200 V ± 10%
...
10	加配 X5A +5 V	200 V ± 10%
11	加配 X5B +18V ₁	200 V ± 10%
12	加配 X5B +18V ₂	200 V ± 10%
13	加配 X5B 光瞄用 115 V/400 Hz	200 V ± 10%

加电及配电组合测试流程如图 9 所示。

3.4 通信测试

该检测诊断系统模拟频综、高频头、中视频、发射机、雷达控制机等分系统与加电控制系统间的串口通信时序，自动模拟各分系统的故障状态，以此检查加电及配电组合通信功能是否正常。

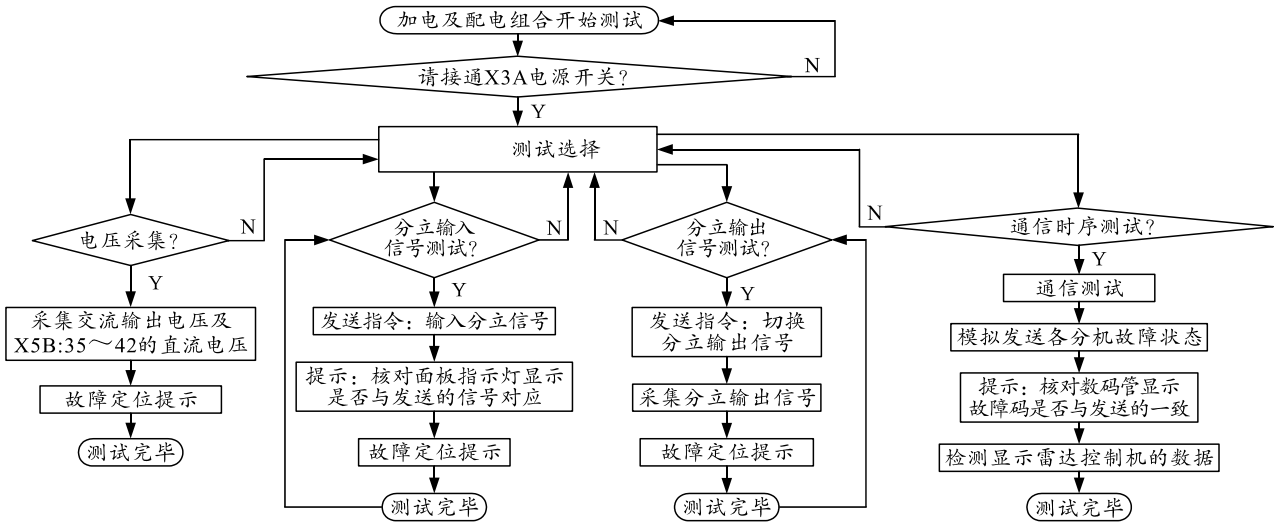


图 9 加电及配电组合测试流程

4 实验验证

该检测诊断系统实物如图 10 所示,经实际维修检测验证,其能够完成加电控制系统要求的配电组合测试、加电及配电组合测试、通信测试,测试结果均达到技术要求。其中:配电组合测试线缆连接和测试效果如图 11、12 所示,加电及配电组合测试线缆连接和测试效果如图 13、14 所示,通信测试线缆连接和测试效果如图 13、15 所示。



图 10 检测诊断系统实物



图 12 配电组合测试效果

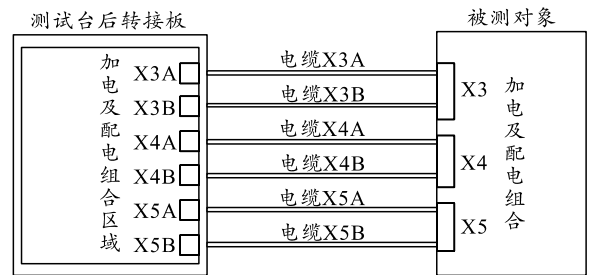


图 13 加电及配电组合测试线缆连接

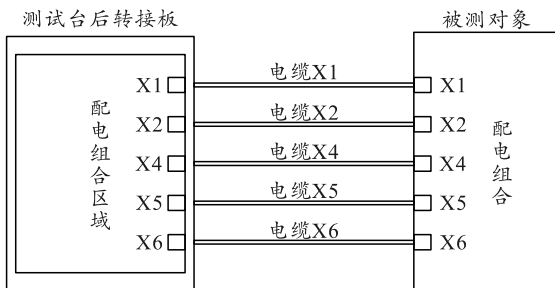


图 11 配电组合测试线缆连接



图 14 加电及配电组合测试效果



图 15 通信测试效果

5 结束语

笔者研制的某型特种车辆加电控制系统检测诊断系统，能够在离线状态下复现加电控制系统加断电时序控制、开关控制、状态反馈及状态显示等功能。经实际维修验证，实现了加电控制系统输出电压、输入输出分立信号、通信性能的离线测试，能自动判定测试结果并给出维修作业指导。该检测诊断系统操作简单，可辅助维修技术人员快速完成维修检测任务，提高维修保障效率，具有较高的经济效益。

参考文献：

[1] 朱永兴, 翁明远, 张波. 基于 CPCI 总线的数据采集与处理系统[J]. 计算机工程, 2008, 34(S1): 4-7.

[2] 刘德望, 龙兵, 刘震. 基于 CPCI 总线的雷达发射机自动测试系统的设计[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(6): 1260-1261, 1265.

[3] 李震. 基于 CPCI 的车载多通道调试系统[J]. 电子技术应用, 2014, 40(2): 71-73.

[4] 范利军, 杜国祥. 基于 CPCI 的某电源设备多通道测试诊断系统[J]. 兵工自动化, 2016, 35(2): 52-55.

[5] 刘军辉. 一种通用装甲车辆串行总线性能测试方法[J]. 兵工自动化, 2016, 35(2): 32-34.

[6] 康云, 刘松平, 夏明旗. 基于 PXI 总线的电台板级故障自动诊断系统[J]. 兵工自动化, 2011, 30(6): 75-77.

[7] 张晓雨, 何华锋, 郑建飞, 等. 基于 PXI 总线的伺服机构测试系统[J]. 兵工自动化, 2016, 35(12): 1-3.

[8] 卢宁波, 齐亮, 姜泽伟. 一种便携式低成本通用并行测试设备研制[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(10): 60-65, 71.

[9] 胡道畅. 基于 CAN 总线的特种车辆状态数据采集系统[J]. 兵工自动化, 2021, 40(4): 30-32, 68.

[10] 史蒂芬·普拉达. C++ Primer Plus: 第 6 版, 中文版[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2020: 392-433.

[11] 孙鑫. Visual C++深入详解[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 219-307.

[12] 新型装甲装备通用质量特性评价指标体系构建研究[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(6): 2048-2052.

[13] 张根保, 庞继红, 任显林, 等. 机械产品多元质量特性重要度排序方法[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(1): 151-158.

[14] 王海伟, 刘更, 杨占铎. 机械产品设计方案多指标综合评价方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2014, 46(3): 99-103.

[15] THOMAS L S. Decision making—the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP)[J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2004, 13(1): 1-35.

[16] KRISHNENDU S, RAVI S, SURENDRA S Y, et al. Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain[J]. Expert Systems with Applications, 2012(39): 8182-8192.

[17] 瞿丰, 黄高明, 黎铁冰. 基于模糊 AHP 的岸基侦察预警能力评估[J]. 高技术通讯, 2016, 26(7): 698-702.

[18] 任云良. 基于 1-9 标度法的交互性资产绩效管理评价体系[J]. 实验技术与管理, 2017(11): 259-262.

(上接第 10 页)

[8] 马超. 基于 ISM 的作战指挥方式影响因素分析[J]. 军事运筹与系统工程, 2021, 35(1): 11-15.

[9] 魏国敏, 陈兆仁, 李玥, 等. 基于 ISM 的应急投送保障基地综合效能指标体系研究[J]. 军事交通学院学报, 2014, 16(8): 60-64.

[10] 陆宁, 徐菲, 赵磊, 等. 基于 ISM 模型的可持续建筑评价分析[J]. 建筑节能, 2010, 38(6): 29-32.

[11] 李琳, 肖艳玲. 基于 DEMATEL-ISM 的 EPC 项目成本控制影响因素分析[J]. 工程管理学报, 2021, 35(4): 117-122.

[12] 谢飞, 刘明, 聂青. 基于 ISM-ANP-Fuzzy 的城市轨道交通 PPP 项目界面风险评价[J]. 土木工程与管理学报, 2018, 35(3): 167-172, 191.

[13] 余瑾. 加强装备通用质量特性管理探析[J]. 标准科学, 2017(8): 89-91.

[14] 祝华远. 武器装备通用质量特性管理综述[J]. 兵工自动化, 2021, 40(2): 13-17.

[15] 刘彦, 陈春良, 石文华, 等. 基于 RST-QFD-Bayes 的