

地铁电气柜通用测试仪的硬件设计

虞君彪¹, 苏晓¹, 闫莉¹, 汪静², 单梁²

(1. 南京南车浦镇城轨车辆有限责任公司, 南京 210031;

2. 南京理工大学自动化学院, 南京 210094)

摘要: 地铁控制系统是一个庞大的电气控制系统, 在控制系统中包含大量的控制电路和逻辑器件; 在地铁系统出厂投入运行之前必须确保控制系统的安全性以及其逻辑功能的准确性, 为此对控制系统中所有电气柜的检测是一个必不可少的工序; 而以往大多采用人工检测方法, 效率低也容易引起人为操作错误; 为了能够高效、准确地对电气柜内的接线和元件的逻辑组态进行检测, 文章研究并设计开发一种通用电气柜逻辑测试仪, 测试仪提供 1 000 个普通测试点和 10 个大功率测试点, 接线使用标准的接线器, 检测操作简单、可靠性高; 文章研制的测试仪已成功应用于地铁电气柜的测试中。

关键词: 地铁控制系统; 逻辑测试; 电气柜; 信号采集

Hardware Design of Subway Electrical Universal Tester

Yu Junbiao¹, Su Xiao¹, Yan Li¹, Wang Jing², Shan Liang²

(1. CSR Nanjing Puzhen CO., LTD., Nanjing 210031, China;

2. School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The subway control system is a large electrical control system, consisting of many control circuit and logic devices. Safety and accuracy must be ensured before the system is put into operation, so it is an essential procedure to check all electrical cabinets in the control system. While in the past the electrical cabinets were checked by labour, leading to inefficiency and misoperation. In order to improve the levels of efficiency and accuracy, the paper researches and designs a new universal electrical cabinet logic tester, which can provide 1 000 general test points and 10 high-power test points with standard connector. Meanwhile the operation process is simple with high reliability. The tester has been applied in test of the subway electrical cabinets successfully.

Keywords: subway control system; logic test; electrical cabinet; signal acquisition

0 引言

随着社会的不断进步, 城市人口逐渐增多, 轨道交通出现在许多城市的规划之中。目前中国有超过 28 个城市正在建设或者准备建设地铁交通, 到 2020 年, 中国将有至少 40 个城市拥有地铁交通系统。地铁交通的快速发展, 方便了出行, 但也经常出现事故, 为人们的生命安全埋下了隐患。因此, 地铁车辆的可靠运行逐渐受到了关注和重视。

地铁控制系统是一个庞大的电气控制系统, 是地铁车辆安全运行的控制中心, 地铁车辆的运行、制动、开关门以及灯光等都有控制系统统一控制。在控制系统中, 电器柜是主要的组成单元, 各类逻辑元件在电气柜中按照一定的方式进行逻辑组态。控制系统是通过电气柜内部复杂的逻辑组态实时的对车辆实施控制^[1]。因此, 电气柜的正常运行是控制系统正常工作的前提和保障。目前, 地铁车辆厂商主要采用人工的方式对电气柜进行检测, 按照电气柜的设计原理对电气柜中的所有回路进行逐个检测, 这种方式费时费力, 也存在错检和漏检的可能, 特别是对于这种具有复杂逻辑的电气柜, 这不仅带来经济上的损失, 也会给地铁车辆的运行带来严重的安全隐患^[2]。所以, 设计开发一种可靠、准确的电气柜测试系统是十分必要的。

1 测试原理

电气柜主要是控制电路以及控制元件的集合, 控制电路和原件的组态都是为了实现逻辑控制功能, 那么电气柜内部的接线细节的时候我们便可以通过给某些点加电压并测试其他点的方法进行导通和逻辑的测试^[3]。如图 1 为测试逻辑电路图, 图中为对于一个测试点的测试原理图, 整个系统包含若干个测试点。可以对测试点注入 24 V 或 110 V 电压, 也可以对测试点进行电压采集, 其中开关 1 和开关 2 为电压注入开关, 开关 3 和开关 4 为电压采集开关。

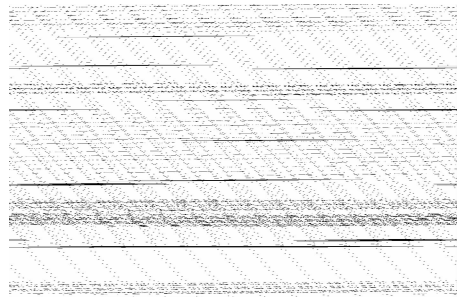


图 1 测试原理图

比如对于导通测试, 假设有 n 个测试点, 测试点 1 到测试点 n 都是导通的, 那么根据上述原理只要在其中一个测试点 x 注入电压, 对于其他所有测试点都应该能够采集到电压, 从而进行判断该条支路的正确性。对于逻辑测试的原理也是类似, 比如给测试点 a, b, c 注入电压, 按照电气柜内部该条支路的

收稿日期: 2014-10-13; 修回日期: 2015-03-19。

作者简介: 虞君彪(1986-), 男, 江西景德镇人, 工程师, 主要从事轨道交通车辆电气工艺方向的研究。

逻辑组态, 应该得到测试点 e , f , g 也有高电压, 那么对这些测试点进行检测和验证从而判断逻辑功能的正确性。

2 通用测试柜硬件系统概述

由于地铁系统属于大型控制系统, 电气柜内部电路复杂逻辑原件数量庞大, 因此对于测试系统来说必须要能提供足够多的测试点, 同时测试点具有通用性, 才能对一个电气柜进行测试^[4-5]。硬件系统提供 1 000 个测试点, 通过标准端子连接器与被测电气柜上的所有被测点连接起来。上位机软件导入电气柜接线图(表)后, 根据硬件提供的测试点和被测测试点的对应关系进行测试点的分配, 比如哪些点需要注入电压, 哪些点需要进行电压采集。硬件系统按照软件指令进行电压注入和电压检测并上传结果。

测试系统有 5 个测试箱, 每个测试箱提供 200 个测试点, 因此设计逻辑采集输出板卡每个板卡提供 20 个测试点。由于整个系统的逻辑采集输出板卡有 50 块, 如果都直接和上位机通信难免为出现通信上的问题, 因为每个测试箱配备一个通讯控制板。即每 10 个逻辑采集输出板卡为一组经过一个通讯控制板的转发和上位机进行通信。

另外有些电气柜内部还存在一些大功率的测试点, 所以测试系统提供 10 个大功率测试点, 进行大功率测试的电压注入。这 10 个大功率点配备在大功率机箱上。大功率机箱除了提供 10 个大功率测试点, 还对测试系统的电源进行控制以及对被测电气柜进行供电。另外系统需要 110 V 的电源, 所以再加上一个 110 V 的直流电源箱。由此可以看到硬件系统由四大部分组成, 即电气测试箱、大功率机箱以及工控机, 所有箱体集中于测试电气柜内, 硬件组成如图 2。

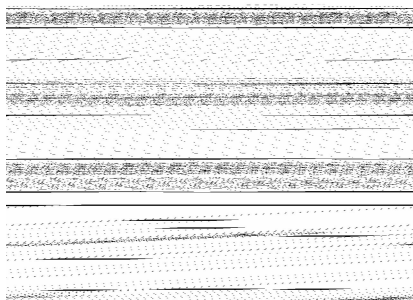


图 2 测试柜结构

2.1 电气采集控制箱

系统一共有 5 个电气采集控制箱, 每个控制箱由 10 块逻辑采集输出板卡和一块通信板卡组成, 提供 200 个测试点。逻辑采集输出板卡主要任务就是对测试点注入电压和采集电压如图 1 的原理, 通信控制板主要进行通信控制和转发, 管理每个采集箱内的 10 块逻辑采集输出板有序可靠地和上位机进行信息交互。电气采集控制箱结构如图 3 所示, 包括提供测试用和工作电源的电源模块和采集和通信板卡, 通信控制卡通过 CAN 总线直接和上位机通信, 箱内 10 块采集输出板通过 RS485 和通信控制板通信。

2.1.1 逻辑采集输出板

逻辑采集输出板主要由以 MSP430 芯片为核心的 CPU 电路、485 通讯电路、电源变换电路、输出采集电路等组成。以 MSP430 控制芯片为核心的采集输出板主要负责对被测电气柜的被测点进行上电操作以及采集操作。采集箱中 10 块采集输出板以拨码开关编码从 1 到 10, 所有板子的电源端通过底板

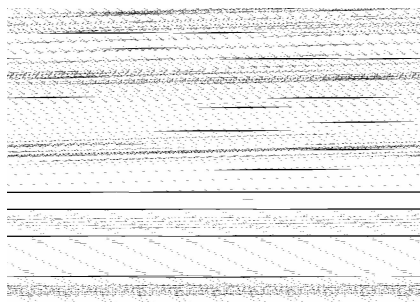


图 3 电气采集控制箱

与箱内工作电源相连, 所有板子的 485 通讯接口通过地板与通讯控制板的 485 接口相连接, 以地址作为识别标志进行通信。所有采集板通过接受由通讯控制板转发的上位机上电信息进行对特定测试点的上电, 包括 110 V 和 24 V 的上电。并且通过接受通讯控制板转发的采集指令进行特定测试点的电压采集, 并将采集信息通过 485 通讯电路上传给通讯控制板, 由通讯控制板综合整个箱体的采集信息之后上传给上位机进行逻辑分析。

逻辑采集输出板的设计结构如图 4。其中电源转换电路实现将 24 V 直流电压变换为 3.3 V 单片机最小系统可用的电压; 485 通讯模块以串口的通信方式和通信控制板进行通信, 每块板卡有自己的地址, 以地址来识别通信控制板是否是和本板卡通信, 通信协议为 8 字节并带奇偶校验字节; 由外部拨码开关对板卡编码, 单片机读出编码的值便为该板卡的地址; 进行测试点采集和输入的电路分为信号输入电路、信号切换电路和状态采集电路, 可参看图 4, 信号输入电路是控制给测试点注入测试电源(24 V 或者 110 V), 控制图中开关 1 和开关 2; 信号切换电路是将测试点输出的 24 V 和 110 V 电压信号转换为最小系统的信号, 采用光耦进行转换; 采集电路使用多路锁存器对状态进行锁存由单片机采集。



图 4 逻辑采集输出板结构图

2.1.2 通讯控制板

通讯控制板主要由以 TMS320LF2407A 的 DSP 芯片为核心的 CPU 电路、CAN 通讯电路、485 通讯电路、电源变换控制电路、数码显示电路等组成。通讯控制板的电路结构如图 5 所示。DSP2407 为核心的电路负责实现与工控机、采集输出板的通讯工作, 同时完成工控机指令的分解和对采集板上传信息的整合。通讯控制板主要有两部分功能: 1) 实现 24 V 工作电源到 5 V 和 3.3 V 电源的转换工作; 2) 根据工控机下发的指令信号, 将逻辑采集控制板测试所需的 24 V 或 110 V 对应电源, 切换控制输出, 并通过底板送至逻辑采集输出板。通讯

控制板是逻辑采集输出板和上位机通信的桥梁, 通讯控制板需要将上位机下发的指令进行截取和解析并分别对应发给箱体内各个采集输出板。箱体内 10 块逻辑采集输出板将信息都发送到通讯控制板之后, 由通讯控制板进行整合, 按照约定格式上发给上位机。箱体内通讯控制板和逻辑采集输出板的通信为 485 通信, 通讯控制板与上位机的通信为 CAN 总线通信。

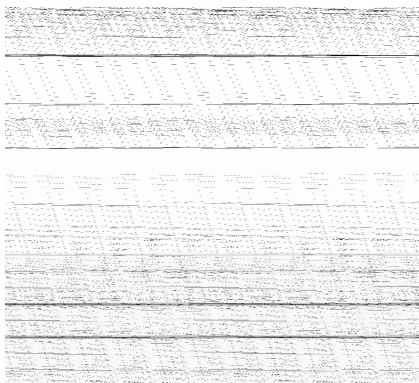


图 5 通讯控制板结构图

2.2 大功率测试箱

大功率控制箱由一块核心控制板和 17 个接触器以及 5 个继电器构成。核心控制板以 DSP2407 作为控制芯片, 通过 CAN 接口与上位机通信, 接收上位机指令进行外部大功率点的 110 V 上电, 另外实时的给被测电气柜以及电气采集控制箱上电。由大功率控制箱提供 5 个电气采集控制箱 110 V 上电接口、一组电气柜 110 V 和 24 V 上电接口、10 组大功率点上电接口。对外部 10 个大功率点的操作与采集输出板对一般测试点的上电操作类似, 接上位机指令对特定的大功率点进行上电操作; 当采集箱需要 110 V 供电的时候, 由大功率控制箱接上位机指令进行 5 个采集箱的 110 V 上电; 电气柜进行测试的时候需要对被测电气柜上 110 V 和 24 V 的电, 大功率控制板接上位机指令对电气柜上不同规格的电压。包括对电气柜进线端和地线端上 24 V 的电压进行进线端和地线端的导通测试。如图 6, 为大功率箱的设计结构。箱体主要有大功率控制板和接触器继电器构成, 主要通过大功率控制板对接触器继电器的开合进行控制, 从而将接进箱体的电源通过不同的借口提供给外部。

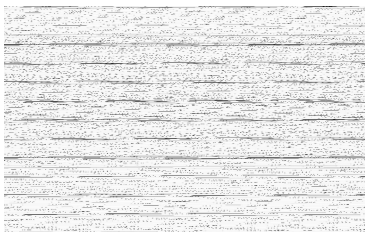


图 6 大功率测试箱结构

大功率测试版以 DSP2407 作为核心控制芯片, 包括电源系统、通信系统、输出电路和电压采集电路。电源系统主要有给最小系统供电的工作电源和作为输出电压检测的检测电源以及用以输出给外部的输出电源, 包括 24 V 和 110 V 电源。工作电源由 24 V 开关电源经过 DC-DC 得到 3.3 V 给最小系统供电。测试电源由另一路 24 V 开关电源提供; 输出电源为另一路 24 V 电源和来自于 110 V 电源箱的电源; 通信系统主要是为了和上位机进行通信, 大功率箱和逻辑采集输出箱一个级别所以都是用 CAN 总线进行通信; 输出电路主要是控制芯片经过光电隔离之后对接触器和继电器进行开合控制, 从而将不同的电

源送到不同的部分; 为了保证输出端的接触器和继电器能够可靠闭合和断开, 必须进行辅助触点的检测, 即给辅助触点一个电压然后进行采集, 同样适用光电耦合进行采集。当给某个开关元件闭合信号后然后对其辅助触点进行检测, 有电压便说明该开关元件可靠闭合, 反之以检测开关元件断开; 除了对开关元件是否可靠闭合和断开进行检测之外, 对电源的质量也要进行相应的检测^[6]。对于 110 V 给外界供电的电源, 不管是给采集箱或者是给被测电气柜供电都要检测该电源的电压是否有不稳定的情况, 是够过高或者过低。此部分检测电路使用电压比较器, 将输出电压分压后引到比较器, 和标准电压分压后进行比较后输出, 控制器采集比较器的输出便可以判断当前电压是否处于可接受的波动范围之内。大功率控制板原理如图 7。



图 7 大功率控制板

3 结果与分析

以南京三号线地铁电气柜为检测对象, 导入该电气柜的逻辑清单表, 选择自动模式或者手动模式对电气柜进行检测。

从实验结果可以看出, 该地铁电气柜逻辑检测系统能够正确有效的运行, 每次检测所需的时间大约为 45 分钟, 与人工检测相比, 极大的缩短了检测所需的时间, 提高了生产效率和准确性。

4 结论

电气柜逻辑功能测试仪设计原理简单可靠, 设计严密, 操作简单, 具有良好的实用性和高效的执行力。测试仪提供 1 000 个普通测试点和 10 个大功率测试点, 接线使用标准的接线器, 操作员接线简单。系统操作简单, 人机界面友好, 将被测电气柜的接线图导入之后测试过程完全自动化, 测试结果一目了然。硬件系统具有很高的通用性和灵活性, 维修方便简单为后期使用的方便打下了基础。本系统大大提高地铁系统电气柜出厂检测和故障诊断的准确性和高效性。

参考文献:

[1] 杨淑霞, 王 新, 吴东建. 电站控制柜检测系统的设计 [J]. 移动电源与车辆, 2011, 42 (1): 19-20.
 [2] 王 魏, 刘石川. 电力电缆故障测试技术研究 [J]. 电线电缆, 2013, 34 (1): 34-37.
 [3] 邹玉炜, 高永田, 孙玉胜, 等. 基于 CPLD 的多芯电缆测试仪控制系统研究 [A]. 第十八届电工理论学术年会论文集 [C]. 2006: 153-157.
 [4] 李 钰, 赵继德. 一种工业控制数据采集系统硬件平台设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (8): 1648-1650.
 [5] 梁 浩. 基于 ARM7 的便携式控制柜电器开关测试仪的技术研究及实现 [D]. 上海: 同济大学, 2008.
 [6] 任朝阳. 电力机车分布式逻辑控制与检测单元的研究与设计 [J]. 电力机车与城轨车辆, 2006, 29 (6): 15-18.