

# 轨道交通车载设备启动时间的测试方法

左登超, 李德祥

(中车青岛四方车辆研究所有限公司, 山东 青岛 266031)

**摘要:** 目前轨道交通车辆车载设备存在启动不起来或者启动时间过长的现象; 传统的设备启动人工测试方法完全依赖于人工手动测试, 需要人工上电断电、人工观察数据或者界面, 人工计算时间, 必然会存在较大的误差, 并且效率非常低, 易出错; 为了确保各类车载控制设备在运行过程中的稳定性, 并且使得测试过程做到自动化, 提升测试的效率以及准确度, 采用程控电源输出装置, 根据用户测试指令自动完成设备断电重启过程, 采用时间统计装置, 根据用户测试指令自动完成以 MVB、TRDP 为通讯方式的车载控制设备的启动时间测试; 借助轨道交通车载设备启动时间的测试方法, 可以自动化完成车载控制设备的长时间启动测试, 并且可以统计出每一次实验的结果, 为设备的稳定运行提供保障。

**关键词:** 自动化测试; 时间统计; 车载设备

## Method for Startup Time Test of on-board Equipment of Rail Transit

ZUO Dengchao, LI Dexiang

(CRRC Qingdao Sifang Vehicle Research Institute Co., Ltd., Qingdao 266031, China)

**Abstract:** At present, the on-board equipment of rail transit vehicles has the shortcoming of difficult to start or long time startup; The traditional manual test method of equipment startup completely depends on manual test, which requires manual power on and off, manual data observation or interface, and manual calculation time, which will inevitably have large errors, and the rate is low, very low, and prone to errors; In order to ensure the stability of various on-board control equipment in the operation process, automate the test process, and improve the efficiency and accuracy of the test, the program-controlled power output device is used to automatically complete the power-off and restart the process of the equipment according to the user's test instructions, and the time statistics device is used to automatically complete the start-up time test of on-board control equipment with the MVB and TRDP as the communication mode according to the user's test instructions; With the help of the test method of the startup time of the on-board equipment of rail transit, the longtime startup test of the on-board control equipment can be completed automatically, and the results of each experiment can be counted to provide guarantee for the stable operation of the equipment.

**Keywords:** automated testing; time statistics; on board equipment

## 0 引言

轨道交通车辆控制系统一般包括网络系统、牵引系统、制动系统、辅助系统、空调系统、旅客信息系统、烟火轴温系统等<sup>[1]</sup>。目前轨道交通行业主流的控车通讯方式为 MVB 和 TRDP<sup>[2]</sup>, 各系统车载设备通过该种通讯协议向网络系统发送生命信号数据, 表明设备工作正常, 从而便于整车设备的管理<sup>[3]</sup>。

轨道交通车辆存在大复位断电再上电、局部断电再上电的情况, 车载设备便会随之断电重启。经过多次断电上电, 设备可能会有启动不起来的现象, 表现出设备离线, 报出故障<sup>[4]</sup>。为了确保各类车载设备在运行过程中的稳定性, 需要在设备装车运行前进行断电重启的稳定性测试工作。有些车载设备对启动时间有要求, 需要在设备装车运行前针对启动时间进行大量重复测试<sup>[5]</sup>。

轨道交通领域针对车载设备断电重启及启动时间的测试方法较少, 传统的测试方式为: 人工接通设备电源, 使

设备上电, 开始人工计时; 通过对应的通讯协议抓取设备发送的生命信号数据, 以抓到生命信号的时间与开始计时的时间作比较, 或者系统有人机交互界面的, 以界面出现的时间与开始计时的时间作比较, 得出系统的启动时间, 反复重复上述过程。这种测试过程完全依赖于人工手动测试, 需要人工上电断电、人工观察数据或者界面, 人工计算时间。人工观察并计算时间必然会存在较大的误差, 并且效率非常低, 易出错。当设备需要较长时间的测试时, 人工测试便无能为力。可能人工长时间执行断电上电, 设备启动故障依旧没有复现<sup>[6]</sup>。当车载设备软硬件变更后, 测试人员需要执行大量的重复测试, 而人工测试回归性差, 导致可能仍然存在缺陷<sup>[7]</sup>。借助轨道交通车载设备启动时间的测试方法, 可以自动化完成车载控制设备的长时间启动测试, 并且可以统计出每一次实验的结果, 为设备的稳定运行提供保障。

## 1 设备启动时间测试系统结构及原理

轨道交通车载设备启动时间测试系统的结构如图 1 所

收稿日期: 2022-06-29; 修回日期: 2022-08-16。

作者简介: 左登超(1989-), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事轨道交通电子设备的开发与测试方向的研究。

引用格式: 左登超, 李德祥. 轨道交通车载设备启动时间的测试方法[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(11): 59-64.

示。测试系统包含测试主机，测试主机内运行工具软件、电源控制软件；MVB 时间统计装置；TRDP 时间统计装置；电源输出装置；系统向外提供 MVB 接口、TRDP 类型的以太网接口、电源（0~150 V）接口。

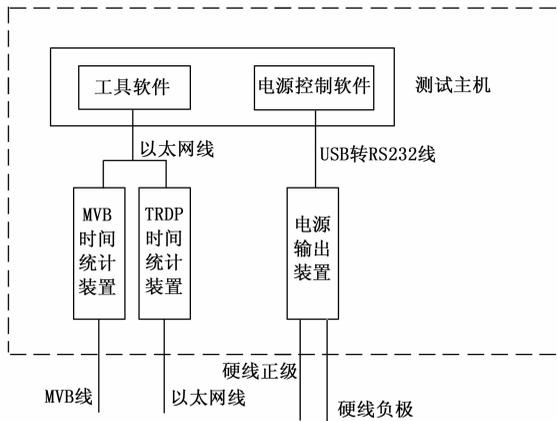


图 1 轨道交通车载设备启动时间测试系统

电源控制软件通过发送指令，使得电源输出装置可以向被测设备提供 0~150 V 的直流电源。电源控制软件向电源输出装置发送 0 V 电压指令，使得外接被测设备断电，发送 110 V、24 V 等电压指令，使得外接被测设备上电。

MVB、TRDP 时间统计装置内运行时间统计软件，一方面与被测设备以 MVB 或者 TRDP 通讯方式进行数据收发，另一方面接收工具软件的指令，统计被测设备的开机时间，返回至工具软件；或者接收被测设备的数据，返回至工具软件。

## 2 设备启动时间测试系统硬件设计

### 2.1 测试主机硬件设计

测试主机采用 X86 架构，Win10 操作系统，对外接口包含千兆以太网口以及 USB 接口，测试主机通过 USB 转 RS232 线缆，与电源输出装置相连。测试主机内运行工具软件与电源控制软件，通过以太网接口与时间统计装置通讯。

### 2.2 电源输出装置硬件设计

电源输出装置采用艾德克斯 IT6723B 型号程控电源。电源额定功率 850 W，电压范围支持 0~150 V 可调，电流范围支持 0~20 A 可调<sup>[8]</sup>。

程控电源协议方面，使用 SCPI (standard commands for programmable instruments)，也称为可编程仪器标准命令，定义控制器与仪器的通讯方式，是一种基于 ASCII 的仪器命令语言，供测试和测量仪器使用<sup>[9-10]</sup>。

程控电源具备 RS232 标准接口，电源控制软件通过 RS232 接口发送 SCPI 指令，从而控制电源的输出电压。

### 2.3 MVB 时间统计装置硬件设计

MVB 时间统计装置由电源板卡、CPU 板卡组成。电源板卡接入直流 110 V 电源，通过机箱背板给 CPU 板卡供电。CPU 板卡有一个 M12-4 芯以太网口、一个 M12-4 芯串

口、两个 DB9-MVB 通讯冗余接口。CPU 板卡采用 ARM 架构，QNX 操作系统。板卡内运行时间统计软件，通过以太网口接收测试指令，通过 MVB 接口与被测设备进行 MVB 数据收发，通过串口可以登录设备终端，对设备进行维护。

### 2.4 TRDP 时间统计装置硬件设计

TRDP 时间统计装置由电源板、CPU 板卡、TRDP 板卡组成。电源板卡接入直流 110 V 电源，通过机箱背板给 CPU 板卡、TRDP 板卡供电。CPU 板卡采用 ARM 架构，QNX 操作系统，一路 M12-4 芯以太网口、一个 M12-4 芯串口。TRDP 板卡具有两路 M12-4 芯以太网口，通过背板 PCI 总线与 CPU 板卡相连。CPU 内运行时间统计软件，通过以太网口接收测试指令，通过 TRDP 板卡与被测设备以 TRDP 通讯方式进行数据收发，通过串口可以登录设备终端，对设备进行维护。

## 3 设备启动时间测试系统软件设计

### 3.1 电源控制软件设计

电源控制软件通过向电源控制装置发送 RS232 指令，使电源输出装置可以向被测设备提供 0~150 V 范围的直流电源。电源控制软件向电源输出装置发送 0 V 电压指令，使得外接被测设备断电，发送 110 V、24 V 等电压指令，使得外接被测设备上电。电源输出控制实现方式如图 2 所示。

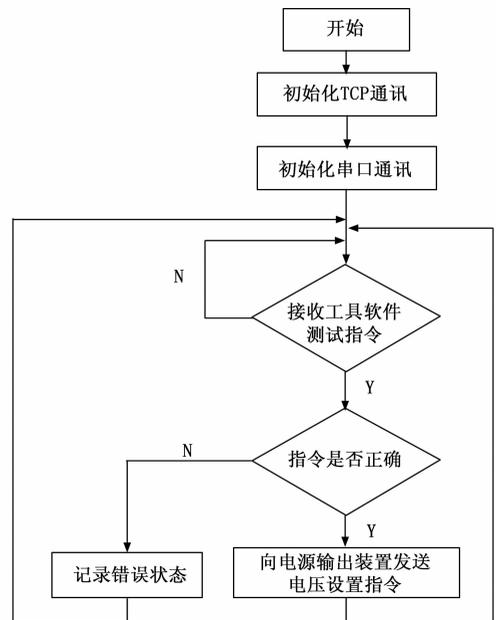


图 2 电源输出控制流程

步骤 1：电源控制软件运行，初始化与工具软件的 TCP 通讯，接收测试人员在工具软件中设置的以太网电压值协议；由于两者运行于同一台设备，使用回环地址 127.0.0.1 进行通讯；

步骤 2：初始化与电源输出装置的 RS232 通讯；

步骤 3：当电源控制软件接受到工具软件指令时，首先

判断指令的正确性; 若正确, 则将工具软件通过 TCP 设置的电压协议转化为电源识别的 RS232 通讯协议, 发向电源输出装置; 若不正确, 则记录错误状态。

### 3.2 时间统计装置软件设计

时间统计装置分为 MVB 时间统计装置与 TRDP 时间统计装置, 可分别与 MVB、TRDP 为通讯方式的车载设备进行通讯, 进行数据收发; 接收工具软件的测试指令, 统计被测设备的开机时间, 返回至工具软件, 或者接收被测设备的数据, 返回至工具软件, 由工具软件判断是否满足要求。MVB、TRDP 时间统计装置控制实现如图 3 所示。

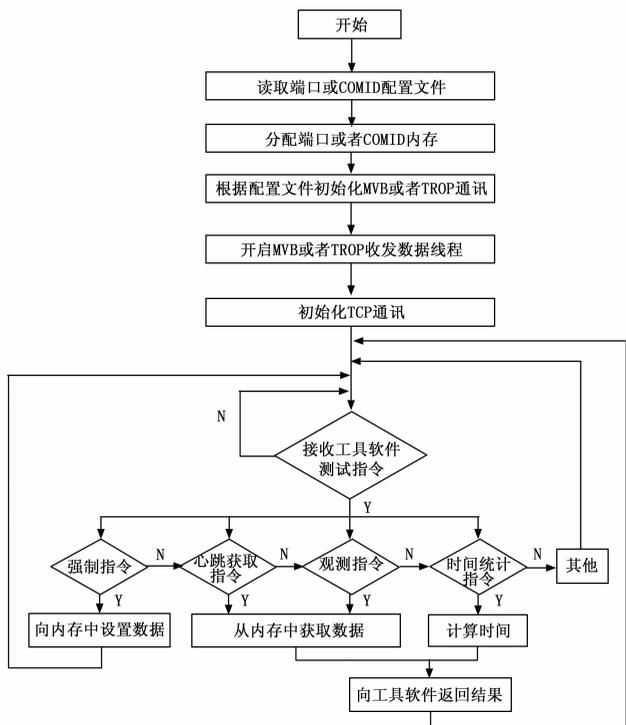


图 3 MVB、TRDP 时间统计装置控制流程

步骤 1: 时间统计装置上电, 读取 MVB 的端口或者 TRDP 的 COMID 文件, 用以初始化与被测设备的通讯。其中 MVB 的端口配置文件内容如表 1 所示。

表 1 MVB 端口配置文件

Type	Port	Size	Cycle
output	0x115	16	1 024
input	0x116	32	64
...	...	...	...

文件第一列表示端口的方向信息, output 表示装置主动发出的端口数据, input 表示装置接收的端口数据; 第二列表示端口的地址信息; 第三列表示端口的大小信息; 第四列表示端口的刷新周期信息, 单位毫秒<sup>[11-12]</sup>;

TRDP 的 COMID 配置文件内容如下所示:

文件第一列表示 COMID 信息; 第二列表示本机的 IP 地址; 第三列表示通讯方式, UDP 组播或者 UDP 单播; 第

表 2 TRDP COMID 配置文件

COMID	Host	Mode	Size	Type	Cycle	DestIP	SrcIP
10030	10.1.1.200	Multicast	100	output	50	239.255.1.14	/
21020	10.1.1.200	Multicast	120	input	200	239.255.1.50	10.1.1.7
...	...	...	...	...	...	...	...

四列表示 COMID 的包大小, 单位字节; 第五列表示 COMID 的方向, output 表示装置主动发出的数据, input 表示装置接收的数据; 第六列表示 COMID 的刷新周期信息, 单位毫秒; 第七列表示 COMID 的目的地址信息; 第八列仅在数据方向为 input 方式时有效, 表示 COMID 发送者的 IP 地址信息<sup>[13-14]</sup>;

步骤 2: 根据读取的配置文件中的 MVB 的端口、TRDP 的 COMID 大小信息, 分配数据存储内存, 存放与被测设备之间发送及接收的数据;

步骤 3: 开启 MVB 或者 TRDP 收发线程, 将步骤二的数据发送出去, 或者将接收到的数据进行存储;

步骤 4: 初始化 TCP 通讯, 用以接收工具软件的测试指令;

步骤 5: 判断接收的测试指令类型并执行, 装置可以接收四种类型的测试指令:

**强制指令:** 工具软件将具体端口或 COMID 下的指定字节、位偏移信息发送给时间统计装置, 装置接收到该数据信息后, 将对应内存中的数据更新, 由后台线程自动获取内存数据进行发送, 强制指令只能设置方向为 output 的数据<sup>[15-16]</sup>;

**心跳获取指令:** 工具软件将具体端口或 COMID 下的指定字节、位偏移的信息、采样频率  $f$ 、采样个数  $n$  信息发送给时间统计装置, 装置接收到该数据信息后, 从对应内存中以采样频率  $f$  进行采集, 一共采集  $n$  次实时数据, 然后通过 TCP 通讯向工具软件发送结果<sup>[17-18]</sup>;

**观测指令:** 工具软件将具体端口或 COMID 下的指定字节、位偏移的信息发送给时间统计装置, 装置接收到该数据信息后, 从对应内存中取出一次实时数据, 然后通过 TCP 通讯向工具软件发送结果, 观测指令只能设置方向为 input 的数据<sup>[19-20]</sup>;

**时间统计指令:** 工具软件向装置发送时间统计指令, 装置记录收到命令的时间为  $T_1$ ; 被测设备发出的工具软件指定的变量变化或者为预期数据, 装置记录此刻时间为  $T_2$ , 将计算结果  $T_2 - T_1$  通过 TCP 通讯向工具软件进行发送; 工具软件查看该值是否在要求的时间范围内, 判断被测设备的开机时间是否通过测试。

### 3.3 工具软件及测试指令设计

工具软件作为向测试人员提供的操作装置内设备的统一接口, 接受测试人员输入的指令, 并将指令发送给时间统计装置及电源控制软件。

测试人员控制电源的电压输出指令，在工具软件中的写法如下：

setvoltage=110；（注：电源输出 110 V，使得被测设备上电）

setvoltage=0；（注：电源输出 0 V，使得被测设备断电）

当工具软件执行此测试指令时，将如下信息发送给电源控制软件：

动作名称 控制类型 值；

set setvoltage 110/n 或者 set setvoltage 0/n

电源控制软件接收到工具软件的电压设置指令后，将该指令转换为程控电源识别的电压值，通过串口转发至电源输出装置。

统计设备开机时间是否在规定的最大时间内，或者验证被测设备是否存在断电重启故障，不关心设备精确的开机时间，在工具软件中的写法如下：

delay=50 000；

lifesignal（端口号/COMID，字节偏移，位偏移，采样频率，采集总次数）；

当工具软件执行该测试指令时，先延时 50 000 毫秒的时间，然后向时间统计装置发送心跳信号采集指令，装置开始以采样频率进行采集，一共采集总次数次，并将采集到的所有结果打包返回给工具软件，lifesignal 数值 1，数值 2，数值 3.../n。

工具软件收到结果后，判断每次的数值较前一次变化，则认为设备在规定的时间内启动成功，如果数值不变化，则认为执行失败。

统计设备开机的精确时间、判断开机时间是否在指定范围内，并且想要测试设备断电重启是否存在故障，在工具软件中的写法如下：

boottime（端口号/COMID，字节偏移，位偏移，预期的开机最小时间，预期的开机最大时间，检测超时时间，比较值，采样频率）。

当工具软件执行此测试指令时，应将如下信息发送给时间统计装置：

动作名称、端口号/COMID、字节偏移、位偏移、采样频率、检测超时时间、协议类型（mvbpd、trdp）、相等或不等、默认值/比较值；

boottime 116 5 0 1000 50 mvbpd 1 0/n

时间统计装置采集时间到后，如果满足判断条件（参考“比较值”字段含义），则时间统计装置将收到时间统计指令的时刻到满足条件的时刻之间的差值（以秒为单位）返回给工具软件，如果此时不满足判断条件，则下位机超时停止检测，返回 65535；

boottime 端口号/COMID 字节偏移 位偏移 实际时间数值/n

boottime 端口号/COMID 字节偏移 位偏移 65535/n

工具软件收到时间统计装置返回的数据时，记录 boot-

time（端口号/COMID，字节偏移，位偏移，接收值）提供给工具软件；

判断依据为，当接收到 65535 时（超时），则未通过；当接收到非 65535 的数据时，判断此数据是否在指令动作的（预期的开机最小时间，预期的开机最大时间）范围内（闭区间），如果在则通过，不在则未通过。

表 3 时间统计指令各字段说明

序号	字段名	含义
1	端口号/COMID	由工具软件发送给时间统计装置，装置检测被测设备发出的该位置的数据是否变化或者满足比较值，来判断被测设备正常运行所需要的时间；
2	字节偏移	
3	位偏移	
4	预期的开机最小时间	时间统计装置返回被测设备的实际开机时间给工具软件，工具软件利用此字段检测被测设备实际开机时间是否在此范围内，来判断是否执行通过；注：时间单位为秒；
5	预期的开机最大时间	
6	检测超时时间	由工具软件发送给时间统计装置，时间统计装置以采样频率开始采集指定位置的数据，当采集到“检测超时时间”后，将统计时间信息保存，准备发送给工具软件；注：时间单位为秒；
7	比较值	当指令中不填写比较值时，网关判断标准为该位置数据的实时值与上一时刻值不等；当指令中填写比较值时，网关判断标准为该位置数据的实时值与比较值相等；
8	采样频率	由工具软件发送给时间统计装置，时间统计装置收到后，开始以此频率判断指定位置的数据是否变化或者等于比较值；注：采样频率时间单位为毫秒；

#### 4 启动时间测试实验步骤及结果分析

设备启动时间测试系统支持以下两种测试方式。

方式 1：操作电源输出装置使得被测设备上电，设置可接受的最大延时等待时间；待延时时间到后，收取被测设备通过 MVB 或者 TRDP 回复的心跳数据；若收到，则本次设备启动成功，断电进行下一次测试，重复执行；若没有收到，则停止执行；

方式 2：通过电源控制装置使得被测设备上电，此时工具软件向 MVB 或者 TRDP 时间统计装置发送时间统计指令，当装置检测到被测设备启动成功后，回复被测启动的精确时间至工具软件；若返回的精确时间在指定范围内，则本次设备启动成功，断电进行下一次测试，重复执行；若不符合要求或者接收时间结果超时，则停止执行；

方式 1 适用于比较粗略的统计设备开机时间是否满足要求，或者验证被测设备是否存在断电重启故障；方式 2 可以精确统计设备的开机时间，对于设备的稳定性更具有参考意义。以上两种测试方式可以针对被测设备的测试需求进行选择。

### 4.1 启动时间测试实验步骤

当被测设备为 MVB 通讯时, 系统的连接方式如图 4。

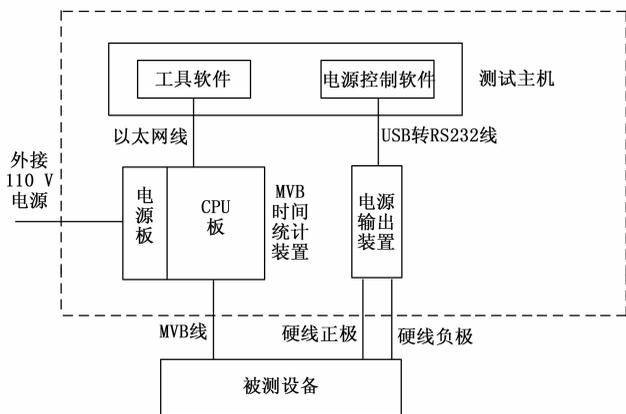


图 4 MVB 设备启动时间测试系统连接

将时间统计装置的电源板卡外接 110 V 电源, 此电源在测试过程中不断电; 将 CPU 板卡的 MVB 接口连接至被测设备的 MVB 接口; 将被测设备的电源正负极接至电源输出装置。

当被测设备为 TRDP 通讯时, 系统的连接方式如图 5 所示。

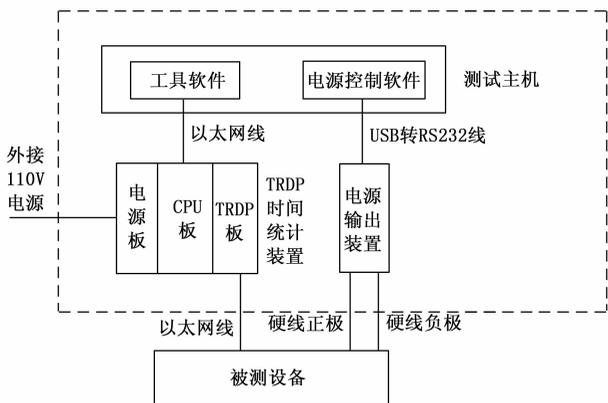


图 5 TRDP 设备启动时间测试系统连接

将 TRDP 时间统计装置的电源板卡外接 110 V 电源, 此电源在测试过程中不断电; 将 TRDP 板卡的网口与被测设备的网口相连, 将被测设备的电源正负极接至电源输出装置。

以 MVB 为例, 介绍具体的实验步骤。

步骤 1: 生成 MVB 时间统计装置使用的配置文件, 该配置文件设置输入方向的端口信息, 端口号为 118, 字节大小为 32 字节, 刷新周期为 64 ms;

表 4 MVB 端口配置文件

Type	Port	Size	Cycle
input	118	32	64

将此配置文件下发到 MVB 时间统计装置中;

步骤 2: 在工具软件中输入测试指令;

1) 当需要统计被测设备开机启动时间是否满足小于某一时间时:

编写方式 1, 不需要统计被测设备确切开机时间:

```
setvoltage=110;
delay=50000;
lifesignal (118, 1, 0, 500, 10);
setvoltage=0;
```

工具软件控制电源输出 110 V 电压, 使得被测设备上电; 然后延时 50 s 的时间, 等待设备正常工作; 延时时间到后, 向 MVB 时间统计装置发送心跳获取指令, 装置以 500 ms 的频率保存端口 118, 字节偏移为 1, 位偏移为 0 的数据的值, 共保存 10 次; 保存次数到后, 将结果返回至工具软件, 由工具软件判断测试是否通过;

编写方式 2, 需要统计被测设备确切开机时间:

```
setvoltage=110;
boottime (118, 1, 0, 50);
setvoltage=0;
```

工具软件控制电源输出 110 V 电压, 使得被测设备上电; 然后向 MVB 时间统计装置发送时间获取指令; 装置收到指令后, 首先记录此刻时间  $T_1$ , 然后以默认频率 500 ms, 检测端口 118, 字节偏移为 1, 位偏移为 0 的数据的值; 检测到的数据较默认值有变化, 则记录此时时间  $T_2$ ; 将  $T_2 - T_1$  的值发送至工具软件, 检测超时时间到后, 仍未检测到有变化, 则将 65535 发送至工具软件; 由工具软件判断是否执行通过;

2) 当测试被测设备开机启动时间是否满足在某一时间范围内, 并且统计确切的开机时间:

```
setvoltage=110;
boottime (118, 1, 0, 30, 50, 60);
setvoltage=0;
```

工具软件控制电源输出 110 V 电压, 使得被测设备上电; 然后向 MVB 时间统计装置发送时间获取指令; 装置收到指令后, 首先记录此刻时间  $T_1$ , 然后以默认频率 500 ms, 检测端口 118, 字节偏移为 1, 位偏移为 0 的数据的值; 检测到的数据较默认值有变化, 则记录此时时间  $T_2$ ; 将  $T_2 - T_1$  的值发送至工具软件, 检测超时时间 60 s 到后, 仍未检测到有变化, 则将 65535 发送至工具软件; 由工具软件判断是否执行通过;

步骤 3: 触发工具软件循环执行测试指令, 设置连续重复执行一周的时间 (具体执行时间视测试需求而定), 以充分验证设备的稳定性; 当执行失败时, 工具软件自动停止执行;

步骤 4: 工具软件能够记录每次执行的结果, 当执行完毕后将结果保存;

### 4.2 实验结果及分析

针对编写方式 1, 不需要统计被测设备准确的开机时

间,在执行完启动时间测试后,工具软件会将测试结果保存成表格的形式,结果如表 5 所示。

表 5 不需要统计准确开机时间的测试结果记录

循环索引	执行动作	实际结果	测试结论
1	setvoltage=110; delay=50000; lifesignal(118, 1,0,500,10);	lifesignal 1,2,3,4,5,6, 7,8,9,10	Pass
2	setvoltage=110; delay=50000; lifesignal(118, 1,0,500,10);	lifesignal 1,2,3,4,5,6, 7,8,9,10	Pass
3	setvoltage=110; delay=50000; lifesignal(118, 1,0,500,10);	lifesignal 0,0,0,0,0,0, 0,0,0,0	Fail
...	...	...	...

保存的结果记录中,会记录工具软件每次执行的动作,收取时间统计装置返回的心跳数据,以及工具软件根据心跳数据的变化情况,可以自动判断测试的结果是否正确,并在结果中给出 Pass 或者 Fail,方便测试人员查看测试结果。

针对编写方式 2,需要统计被测设备确切的开机时间,在执行完启动时间测试后,工具软件会将测试结果保存成表格的形式,结果如表 6 所示。

表 6 需要统计准确开机时间的测试结果记录

循环索引	执行动作	实际结果	测试结论
1	setvoltage=110; boottime(118,1,0, 30,50,60); setvoltage=0;	46	Pass
2	setvoltage=110; boottime(118,1,0, 30,50,60); setvoltage=0;	45	Pass
3	setvoltage=110; boottime(118,1,0, 30,50,60); setvoltage=0;	65 535	Fail
...	...	...	...

保存的结果记录中,会记录工具软件每次执行的动作,收取时间统计装置返回的被测设备的准确开机时间,以及工具软件根据期望的开机时间范围,可以自动判断测试的结果是否正确,并在结果中给出 Pass 或者 Fail,方便测试人员查看测试结果。

## 5 结束语

借助轨道交通车载设备启动时间的测试方法,可以测

试以 MVB、TRDP 为通讯方式的车载设备的启动时间,满足绝大部分车载设备的测试需求;可以一直循环进行测试,测试力度大,回归测试能力强,提高了测试的灵活性、通用性以及效率,为设备的稳定运行提供保障。

### 参考文献:

- [1] 孙梅玉,于庆斌. 动车组网络控制系统及技术分析 [J]. 计算机测量与控制, 2017 (10): 105-107.
- [2] 高枫,余博,李元轩. 城轨车辆列车网络控制系统技术方案及发展方向 [J]. 铁路技术创新, 2015 (4): 57-62.
- [3] 于浩然. 国外地铁列车网络系统应用分析 [J]. 国外铁道车辆, 2014 (5): 12-14, 26.
- [4] 朱红姣,贺强,赵林林. 城轨车辆常见网络故障分析与排查 [J]. 技术与市场, 2021 (5): 101-102.
- [5] 许力,章洁,刘博. 基于 MVB 的协议一致性测试系统设计 [J]. 控制工程, 2014 (1): 9-13.
- [6] 邓璐娟,李金萌,董东晓. 自动化测试框架技术及应用 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (9): 86-88.
- [7] 方垒,边涛. 工业控制软件平台自动化测试技术研究与应用实践 [J]. 自动化博览, 2022, 39 (5): 48-51.
- [8] 艾德克斯. 艾德克斯 IT6412 在锂电池安全测试中的应用 [J]. 中国集成电路, 2016, 25 (10): 91-93.
- [9] 张仪. 基于 SCPI 指令集的数据采集器自动化测试研究 [J]. 中国战略新兴产业, 2018 (32): 128.
- [10] 张元明,姚迪,颜晓明. 基于 SCPI 的运载火箭遥测系统自动测试平台设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (3): 1-2, 10.
- [11] 李熙. 基于 MVB 总线的机车网络中央控制单元软件设计 [J]. 内燃机车, 2005 (5): 5-7, 1.
- [12] 林沛扬,陈卓群. 广州地铁 7 号线 MVB 总线轻微故障原因分析 [J]. 机车电传动, 2019 (1): 137-141.
- [13] 张大林,郝梓腾,王洪伟,等. 基于 TRDP 协议的高速动车组列车通信网络检测平台 [J]. 高速铁路技术, 2021 (2): 91-95.
- [14] 郭文韬,李常贤,刘洋,等. 基于 TRDP 的动车组单车网络调试软件设计 [J]. 工业控制计算机, 2021 (2): 21-23.
- [15] 殷培强,孔佳麟,王曙. 列车网络控制系统自动化测试平台设计与研究 [J]. 铁道车辆, 2018, 56 (10): 26-28, 4-5.
- [16] 李德祥,徐磊. 可配置车载设备软件自动化测试台设计与应用 [J]. 装备制造技术, 2020 (11): 187-191.
- [17] 朱志承,陈志强. 车载软件自动测试系统的设计与实现 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018 (7): 1-5.
- [18] 孔佳麟. 列车网络控制系统半实物仿真平台研究 [J]. 科技创新与应用, 2019 (9): 63-64.
- [19] 王欣. 城轨列车半实物仿真测试台的设计与实现 [J]. 铁道机车车辆, 2016 (2): 101-106.
- [20] 余昌瑾. 一种列车网络应用层控制软件自动化测试系统 [J]. 装备制造技术, 2016 (4): 232-234.