

# 城轨美式应答查询器状态分析与故障检测

黄愉华

(上海地铁维护保障有限公司 通号分公司, 上海 200235)

**摘要:** 城市轨道交通中应答器传输系统是对行进列车进行精确定位的关键系统, 列车定位是保证基于通信的列车控制系统(CBTC)安全高效工作的前提; 在运营过程中, 应答器传输系统在因线路老化、列车振动、设备故障等原因出现信标丢失的故障, 导致无法对列车进行定位而引起列车制动, 这对列车运行造成极大的影响, 更是线路运营的重大安全隐患; 目前城市轨道交通中针对车载设备的故障, 采取的检修方法是整体更换故障设备, 维修成本高且效率低下; 为减少车载设备故障情况, 文章通过对应答器传输系统中的美式应答查询器的工作状态进行研究, 旨在根据其工作状态判断应答查询器故障的具体位置, 提出了一种针对应答查询器故障的检测流程, 为城轨车载设备的故障检测提供了指导, 有良好的应用价值与实际意义。

**关键词:** 应答查询器; 信标; 列车定位; 工作状态; 故障检测

## Status Analysis and Fault Detection of Urban Railway American Transponder Interrogator

HUANG Yuhua

(Telecom& Signaling Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., Shanghai 200235, China)

**Abstract:** In urban rail transit, a balise transmission system is the key system for accurate positioning of moving trains. Train positioning is the premise to ensure the safe and efficient operation of communication based train control system (CBTC). During operation, the balise transmission system has the faults of beacon loss due to line aging, train vibration, equipment failure and other reasons, resulting in the failure to locate the train and cause train braking, which has a great impact on train operation, and it is a major potential safety hazard of line operation. Aimed at the failure of on-board equipment in the urban rail transit at present, the maintenance method is to replace the failed equipment as a whole, which has high maintenance cost and low efficiency. In order to reduce the fault of the on-board equipment, this paper studies the working state of American transponder in transponder transmission system, aims to judge the specific location of transponder fault according to its working state, and proposes a fault detection process for transponder, which provides the guidance for the fault detection of urban rail on-board equipment. It has the good application value and practical significance.

**Keywords:** transponder interrogator; beacon; train positioning; working state; fault detection

### 0 引言

随着城市化的发展, 轨道交通已经成为城市生活不可或缺的一部分, 是人们日常出行的重要交通工具。为保证城市轨道交通列车安全运行, 需要对列车进行实时定位。应答器传输系统是进行列车定位的关键系统, 其组成部分由车载应答查询器(TI子架, transponder interrogator)、车载定位天线与地面应答器(信标)组成<sup>[1]</sup>。

目前上海地铁5~9、11等多条线路均采用美式信标来保证CBTC对列车高精度定位的需求<sup>[2]</sup>。在运营过程中发现, 该系统常出现信标数据丢失的情况, 即定位天线扫过地面信标而车载主机却没有接收到解析的信标数据或者

信标数据不完整, 列控中心也就无法定位列车当前位置, 该情况如图1所示。在初期运行标准中, 列车连续丢失两个及以上的信标时, 列车进入降级模式, 这使得线路运营效率大大降低。随着线路运营年限的增加、设备老化, 列车因连续丢失两个信标造成的运行标准降级的情況越来越多, 很多线路已把信标丢失次数提升为连续丢失3个及以上时才进入降级模式。这样做虽减少了列车降级模式的发生概率, 但增加了列车在无定位状态下运行的时间和风险, 这是线路上的重大安全隐患。因此为减少信标丢失的故障, 对应答器传输系统的检测与维护是目前研究的热点和重点。

根据应答器传输系统的组成, 对其设备检测可分为3种

收稿日期: 2022-09-21; 修回日期: 2022-11-09。

基金项目: 上海申通地铁集团有限公司科研基金资助项目(JS-KY19R041)。

作者简介: 黄愉华(1988-), 男, 上海人, 大学本科, 主要从事城市轨道交通信号项目与维护方向的研究。

引用格式: 黄愉华. 城轨美式应答查询器状态分析与故障检测[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(8): 24-30.

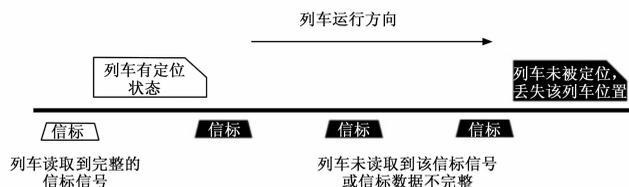


图 1 列车丢失信标示意图

情况：地面信标检测、TI 子架检测、定位天线及传输电缆检测。天线和连接件的检测相对比较简单和成熟，主要采用部件替换的方式<sup>[3]</sup>。针对地面信标的检测可使用综合检测车进行检测和便携式的应答器检测设备<sup>[4-6]</sup>，文献 [4] 中车载应答器利用无线电感应技术，通过非接触的方式实现与地面信标之间的能量传递和数据通信。文章给出了一种有效解决应答器天线的年检、半年检等定期检查工作的检测设备，无需动车，安装简单，操作便捷，可广泛应用于国内安装使用应答器天线车辆的测试维保工作中。文献 [5-6] 分别介绍了两种便携式应答器的检测工具。检测设备可以方便快捷地对应答器进行报文的读出和写入，能有效降低成本，提高灵活性，从而以实现对应答器检测和信息更新的便捷化操作。遗憾的是，这些检测设备的主要检测对象是应答器传输系统中的地面信标。然而，应答传输系统中的车载查询器的检测更为关键。目前国产的应答器系统仍有诸多不足，大部分高铁线路采用的是欧式应答器传输系统。所以目前针对车载应答器的讨论和研究主要都集中在对高铁线路所采用的欧式应答器传输系统进行研究，特别是对车载应答器传输模块 (BTM, balise transmission module) 进行测试。文献 [7] 中主要白盒检测对软件进行功能以及性能测试，传统的研发测试使用代码走查和整机测试等方式，适用性低，灵活性差。白盒测试中需要掌握系统的源代码，从中找出不足与缺陷，进而修改这些问题，因此白盒测试主要用于设备厂商的产品自测。由于目前使用的应答器传输系统依赖国外进口，难以掌握核心代码与技术，因此针对 BTM 检测利用白盒测试难度较大。文献 [8] 中主要采用黑盒检测技术，只需将 BTM 正常供电，将已知信号输入 BTM，检测 BTM 是否正常输出即可。黑盒检测无需掌握 BTM 内部核心代码与技术，是当前主流的检测手段，但黑盒测试也存在无法精确定位设备故障位置的局限性。

城市轨道交通的很多新线路都采用美式应答器传输系统，但是由于投入时间相对较短，目前主要是由国外设备厂商提供维护，针对车载应答器的检测方法及设备非常少。目前针对车载设备的故障处理主要是通过整体更换故障设备，其维修成本较高、工作效率低下且十分依赖设备供应商<sup>[9]</sup>。本文对 TI 子架工作状态进行研究，判断出设备故障的具体位置，有针对性地进行检测与维护，可降低维修成本，提升工作效率。

本文第一章阐述了应答器传输系统的工作原理；第二章对 TI 子架的工作状态和端口功能进行分析，提出状态检测方法，并通过实验验证；第三章对 TI 子架报文数据进行

接收与解析，并通过实验验证；第四章根据 TI 子架的工作状态，可对 TI 子架进行故障位置判断，提出了一种针对 TI 子架故障的检测流程；第五章总结全文。

## 1 应答器传输系统结构及原理

应答器传输系统应用的主要技术为 RFID (radio frequency identification) 技术<sup>[10]</sup>，通过 TI 子架发射无线射频信号来激励信标，信标利用电磁感应能量来回传自身携带的 ID 信息，查询器无需与信标直接接触来获得信标的信息，从而实现列车定位。在城市轨道交通中，为实现列车精确定位，将 RFID 信标布置在轨道线路中。应答器传输系统的技术标准属于 ETCS 的一部分，起初应答器有 3 种技术方案，分别是磁性应答器、声波应答器以及微波应答器。由于磁性应答器抗干扰能力强、成本低、使用寿命较长，最终在 1994 年确定使用磁性应答器。Form Fit Function Specification Interface ‘A’，Euroblise Transmission Sub-System (FFFS) 是应答器传输系统的第一套标准规范，该规范于 1995 年 4 月发布。随着第一套标准规范的出现，应答器传输系统的功能也在不断发展与完善，2002 年发布了 SUBSET-036 应答器功能接口规范以及 SUBSET-085 应答器测试规范。随着轨道交通行业的不断发展，SUBSET 规范也在不断更新与完善，如今已经成为轨道交通应答器领域内权威的标准规范。根据设计标准及信号处理平台可将 RFID 信标分为美式应答器传输系统和欧式应答器传输系统，本文主要研究美式应答器传输系统。

应答器传输系统的工作原理为车载天线持续发送 902~928 MHz 的高频激励信号，在列车经过地面信标上方时，根据电磁感应原理，天线发出的激励信号驱使信标内部感应电路工作，将信标携带的线路信息发送出去，车载天线进行接收<sup>[11]</sup>。车载应答查询器对接收到的信号进行解调、解码并实时传送给列控中心，实现列车定位。应答器传输系统的结构如图 2 所示。

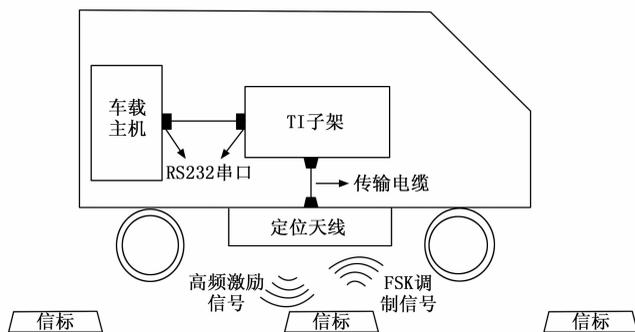


图 2 应答查询器系统结构图

## 2 车载美式查询器端口功能分析与工作状态检测

### 2.1 TI 子架前面板简介

应答器传输系统的车载部分由车载定位天线和 TI 子架组成，两者通过电缆相连接。TI 子架的前面板如图 3 所示。最初不清楚 TI 子架前面板各端口功能，为研究 TI 子

架的工作状态，对其进行离线测试，检测 TI 子架各端口功能。

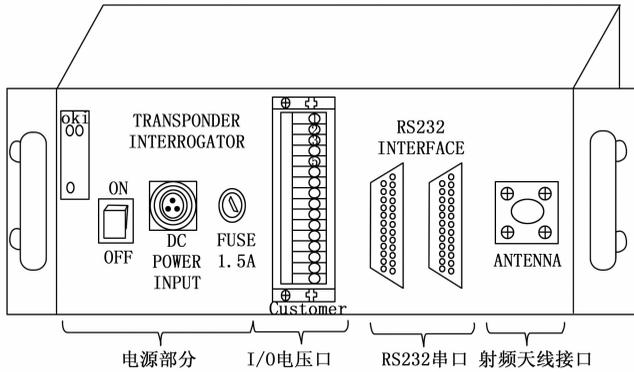


图 3 车载美式查询器前面板示意图

## 2.2 供电测试

TI 子架厂商标定的供电的电压范围是 28~140 V，最大功率不超过 45 W。为研究电源对 TI 子架的影响，利用可编程电源为 TI 子架供电，统计在不同供电电压下 TI 子架的工作状态，结果如表 1 所示。

表 1 不同供电下 TI 子架的工作状态

| 设定电压/V | 设定电流/A | 实际电压/V | 实际电流/A  | ok 灯 | i 灯 |
|--------|--------|--------|---------|------|-----|
| 30     | 1      | 29.979 | 0.710 3 | 绿色   | 不亮  |
| 29     | 1      | 28.978 | 0.716 3 | 绿色   | 不亮  |
| 28     | 1      | 27.967 | 0.746 2 | 绿色   | 不亮  |
| 27     | 1      | 26.976 | 0.779 3 | 绿色   | 不亮  |
| 26     | 1      | 25.976 | 0.817 9 | 绿色   | 不亮  |
| 25     | 1      | 24.172 | 1.001 6 | 绿色   | 不亮  |
| 24     | 1      | 23.976 | 0.882 8 | 绿色   | 红色  |
| 23     | 1      | 22.976 | 0.428 2 | 不亮   | 红色  |
| 22     | 1      | 21.975 | 0.026 9 | 不亮   | 红色  |
| 21     | 1      | 20.967 | 0.028 3 | 不亮   | 红色  |

测试过程中发现随着供电电压的降低，TI 子架的电源指示灯由绿色变为红色。

情况一：当工作电压不低于 25 V 时，TI 子架的电源指示灯显示为绿色时如图 4 所示，信标扫过定位天线后 TI 子架的串口有报文数据输出，证明查询器在正常工作，因此绿色的 ok 灯表示查询器处于正常工作状态。特别需要说明的 25~28 V 为临界状态，有一定不能正常工作的概率。

情况二：随着电压的降低，当输入电压低于 24 V 高于 23 V 时，TI 子架电源指示部分的两个指示灯同时点亮如图 5 所示，此时信标扫过定位天线时，查询器串口仍有报文输出。此时查询器虽可以正常工作，但输入电压明显低于额定电压范围，表明查询器此时处于一个临界的工作状态，i 灯显示为红色是在警示输入电压较低，需要及时维护。

情况三：输入电压低于 23 V 时，电源指示灯只有 i 灯



左侧ok灯显示为绿色

图 4 正常供电状态



ok灯显示为绿色，i灯显示为红色

图 5 临界工作状态

点亮为红色如图 6 所示，此时查询器输入电流明显降低，查询器不能正常工作。利用信标扫过定位天线进行测试，查询器串口无报文输出。当只有 i 灯显示为红色时，表明查询器的供电电压严重不足，查询器此时无法正常工作。



右侧i灯显示为红色

图 6 供电不足状态

## 2.3 I/O 电压引脚测试

I/O 电压口为 16 个电压引脚的接口，如图 3 所示的对应部分。利用示波器对 16 个 I/O 电压引脚的电压进行检测，测试后发现，有明显电压变化的为 1、2、3 号引脚，5 号引脚为接地，其余引脚无明显电压变化。

1 号引脚测试：在 TI 子架电源指示灯为绿色或者处于临界状态时，无信标扫过天线时，1 号引脚的电压利用示波器测得电压值为 0.2 V，信标经过时电压变为 5 V，信标扫过之后又恢复到 0.2 V。因此当查询器可正常工作时，1 号引脚表示信标的读取状态，有信标扫过时电压变为 5 V，无信标时一直稳定为 0.2 V。1 号引脚的电压波形如图 7 所示。

2 号引脚测试：在 TI 子架电源指示灯为绿色或者处于临界状态时，有无信标扫过 2 号引脚的电压一直是 5 V，电压波形如图 8 所示。当 TI 子架电源指示灯为红色时，2 号引脚的电压变为 0.2 V，电压波形如图 9 所示。2 号引脚表

示 TI 子架电源的工作状态，正常工作时 2 号引脚电压稳定为 5 V，电源供电不足时 2 号引脚电压为 0.2 V。



图 7 1 号引脚电压波形图

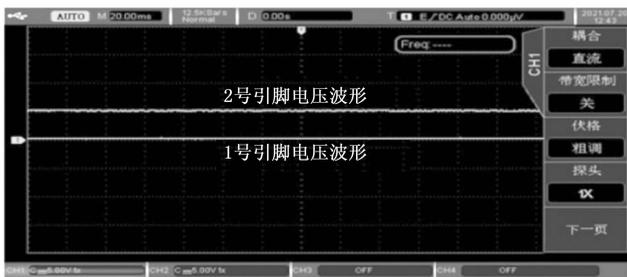


图 8 正常供电或临界状态时 2 号引脚电压

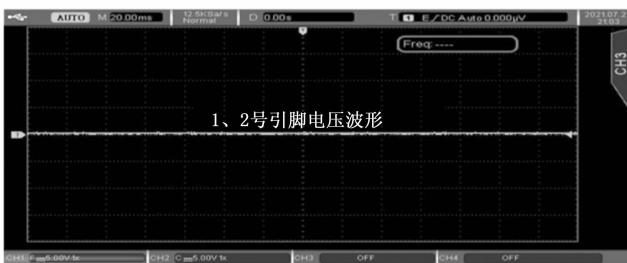
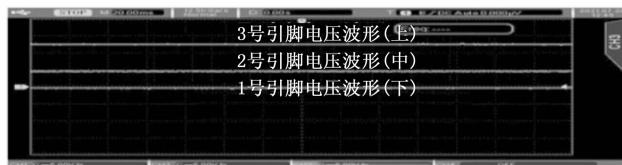


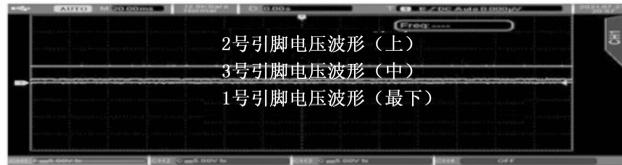
图 9 供电不足时 2 号引脚电压

3 号引脚测试：在 TI 子架电源指示灯为绿色时，有无信标扫过 3 号引脚一直处于 12.8 V 的高电平；当 TI 子架处于临界工作状态时，有无信标扫过 3 号引脚一直处于 8.8 V 的高电平；当 TI 子架供电不足时，3 号引脚电压变为 0.2 V。TI 子架串口与电脑连接，通过串口调试软件输入“! ~ ~ CC”后 TI 子架进入调试状态，此时外接电源输入给 TI 子架的电压稳定，但电流迅速降低，此时测得 1 号引脚的电压为 0.2 V，2 号引脚的电压为 5 V，3 号引脚的电压为 1 V，信标扫过后 3 个引脚的电压均无变化；在串口调试软件输入! 642 后 TI 子架的电流恢复正常，1、2 号引脚的电压不变，3 号引脚的电压变为 12.8 V，信标扫过天线后 1 号引脚的电压有变化。3 号引脚表示 TI 子架射频开关的开关情况，正常情况下射频开关处于常开状态，3 号引脚

的电压一直处于 12.8 V，其电压波形如图 10 所示。



射频开关打开



射频开关关闭

图 10 3 号引脚电压波形图

根据 1、2、3 号引脚的测试结果，对其进行汇总分析后得出 1、2、3 号引脚的工作状态以及功能如表 2 所示。

表 2 I/O 电压引脚的工作状态

| I/O 电压引脚 | 功能       | 电压波形数据                                  |
|----------|----------|---|
| 1 号引脚    | 指示信标读取状态 | 天线扫过信标时 1 号引脚的电压为 5 V，未扫过时为 0.2 V       |
| 2 号引脚    | 电源供电状态   | 正常供电时 2 号引脚电压为 5 V，供电不足时 2 号引脚电压为 0.2 V |
| 3 号引脚    | 射频接口开关状态 | 射频接口打开时 3 号引脚电压为 12.8 V，关闭或者故障时为 1 V    |

### 3 串口数据解析

#### 3.1 串口数据接收

TI 子架对接收到的信标信号进行放大、解调、解码后得到十五位的十六进制报文数据，其结果如图 11 所示。这十五位报文中，前两位为报文开头，第三位为信标类型，第四位为读取到信标的次数，第五位到第十四位为信标携带的线路信息，第十五位为停止位<sup>[12-13]</sup>。



图 11 串口输出的报文数据

#### 3.2 报文解析与验证

报文解析过程为将第五位到第十四位报文数据依次排列转换为二进制数据，每一位十六进制报文转换后可得到 8 位二进制数据，每个二进制序列中忽略最高两位。信标 ID

的解析为表加粗的二进制序列，将其转化为十进制后得到信标 ID。线路号的解析为表中加粗的二进制序列，将其转化为十进制后就得到线路号。报文解析结果如表 3 所示。

表 3 信标报文解析表

| 报文位数 | 十六进制报文 | 二进制报文           | 报文解析结果   |
|------|--------|-----------------|--|
| 第五位  | 20     | 0 0 1 0 0 0 0 0 | 无意义  |
| 第六位  | 20     | 0 0 1 0 0 0 0 0 |  |
| 第七位  | 20     | 0 0 1 0 0 0 0 0 |  |
| 第八位  | 20     | 0 0 1 0 0 0 0 0 | 信标 ID(二进制):<br>0000101011010100<br>信标 ID(十进制):2772 |
| 第九位  | 2B     | 0 0 1 0 1 0 1 1 |  |
| 第十位  | 54     | 0 1 0 1 0 1 0 0 | 线路号(二进制):<br>10001011 线路号<br>(十进制):139             |
| 第十一位 | 22     | 0 0 1 0 0 0 1 0 |  |
| 第十二位 | 37     | 0 0 1 1 0 1 1 1 | CRC 校验   |
| 第十三位 | 48     | 0 1 0 0 1 0 0 0 |  |
| 第十四位 | 57     | 0 1 0 1 0 1 1 1 |  |

在某地铁基地利用测试线进行信标 ID 的解析测试，将 TI 子架的串口与电脑连接，通过串口软件接收测试线上的报文数据并记录，将报文数据解析出信标 ID，验证上述方法解析出的信标 ID 是否与实际线路上的信标 ID 一致。测试线路部分线路如图 12 所示。

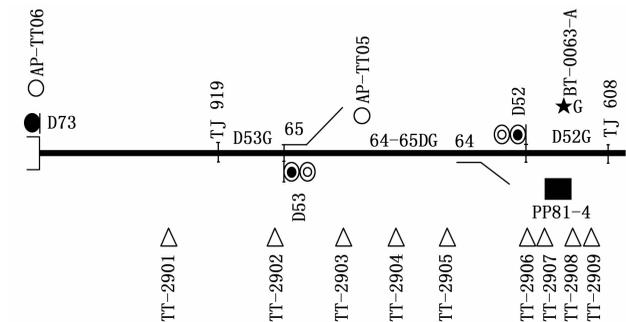


图 12 测试线线路图

对在测试线上运行时 TI 子架串口输出的报文进行统计，并解析出每条报文对应的信标 ID，如表 4 所示。与实际信标布置图上的信标 ID 进行对比，可以看出其结果一致。

表 4 信标 ID 解析结果线路信标 ID

| 线路信标 ID | TI 子架串口报文                                    | 解析出的信标 ID |
|---------|--|-----------|
| 2901    | 7E 7E 01 01 20 20 20 20 2D 15 3B 3C 5E 5A 47 | 2901      |
| 2902    | 7E 7E 01 02 20 20 20 20 2D 16 3B 3C 53 29 3D | 2902      |
| 2903    | 7E 7E 01 03 20 20 20 20 2D 17 3B 35 4A 38 32 | 2903      |
| 2904    | 7E 7E 01 04 20 20 20 20 2D 18 3B 35 47 4B 75 | 2904      |
| 2905    | 7E 7E 01 05 20 20 20 20 2D 19 3B 35 47 4B 1B | 2905      |

## 4 故障检测流程与实测案例

### 4.1 故障检测流程

一般情况下，列车运行过程中列控中心只能发现信标丢失，但无法确定具体原因，因此在列车检修过程中无法针对具体故障进行检修，只能整体更换设备。这样费时费力，针对这种情况，通过上述研究分析得出的车载美式应答查询器的工作状态，可判断出具体的故障位置，有针对性的进行故障检修与维护。因此，针对应答查询器的故障检测，本文提出如下检测流程：

步骤 1：观察 TI 子架电源指示部分，如果电源指示灯的 ok 灯显示为绿色且 i 灯不点亮，说明查询器供电充足，TI 子架的供电正常；如果两个电源指示灯同时点亮或者只有 i 灯点亮为红色，说明 TI 子架供电不足，需要对 TI 子架供电部分进行检修<sup>[14]</sup>。

步骤 2：在 TI 子架电源正常供电的情况下，信标扫过定位天线时检测 TI 子架 I/O 电压引脚的 2 号引脚稳定在高电平，3 号引脚的电压值一直稳定在低电平，说明查询器射频接口关闭或者故障，通过串口输入操作命令“! 642”重启射频开关。若重启之后 3 号引脚仍处于低电平，证明查询器射频模块故障，需进行检修<sup>[15]</sup>。

步骤 3：在 TI 子架电源正常供电的情况下，检测 TI 子架 I/O 电压引脚的 1、2、3 号引脚的电压值。使用信标扫过定位天线时检测 1 号引脚的电压值是否有变化。若 1 号引脚在信标经过时会有高低电压的跳变，2 号、3 号引脚始终稳定在 5 V 和 12.8 V 的高电压值，说明 TI 子架的工作状态正常；若 1 号引脚无电压跳变，2、3 号引脚电压正常，说明车载定位天线或者传输电缆故障，需对其进行检修<sup>[14]</sup>。

步骤 4：在 TI 子架正常供电、I/O 电压引脚的状态指示正常的情况下，对 TI 子架的 RS232 串口输出的报文数据进行解析。检测串口输出的报文是否有 7E7E 的报头且报文数据是否满足十五位，若该 TI 子架输出的多个报文报头有误或者报文位数不足，表明查询器 TI 子架解析信标信号时出现故障，需要对查询器进行检修<sup>[16-17]</sup>。

步骤 5：在 TI 子架电源正常供电、I/O 电压引脚的状态指示正常以及串口输出十五位报文数据，对报文数据进行解析得到信标 ID。将解析得到的信标 ID 与实际线路上的信标 ID 进行对照，判断 TI 子架解析的报文数据是否正确。若 TI 子架串口输出的报文数据得到的多个信标 ID 都无法与线路上的信标 ID 相配，表明查询器解析信标信号时故障，需要对查询器进行检修与维护<sup>[18-20]</sup>。

步骤 6：在查询器电源正常供电、I/O 电压引脚的状态指示正常、查询器串口输出的报文以及解析后的信标 ID 都无误，表明车载设备正常工作。若仍然出现信标丢失的故障，进一步检测地面信标是否出现故障。

检测流程如图 13 所示。

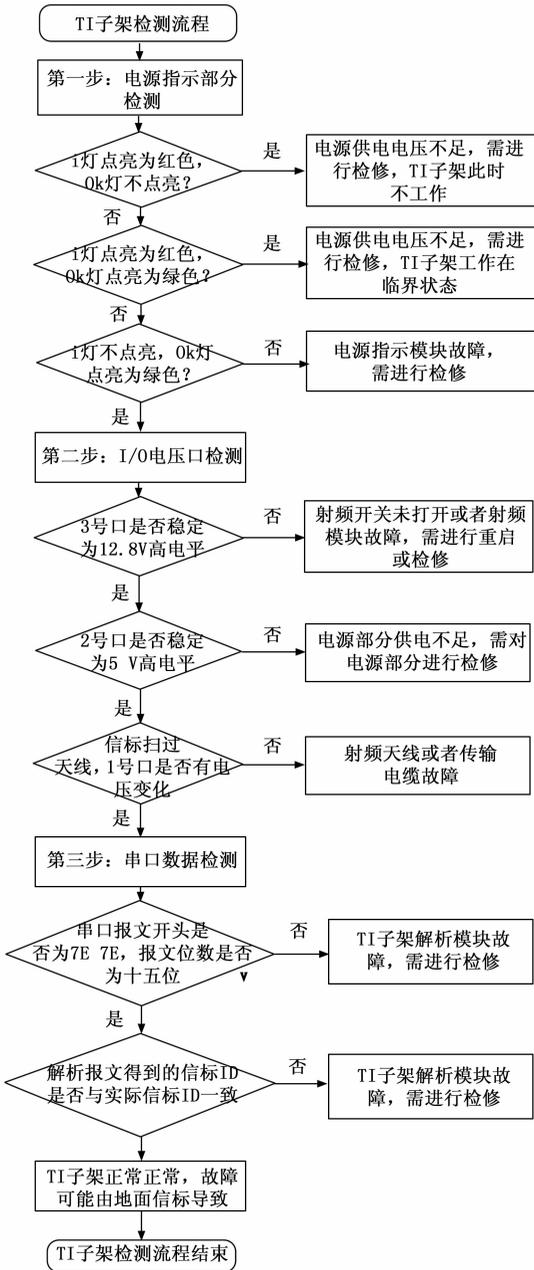


图 13 TI子架检测流程图

### 4.2 实测案例

故障检测系统开发完成后，利用实验室环境对其进行功能测试，验证故障检测系统的功能与可靠性，对故障检测系统在运行过程中出现的问题及时排查与处理，确保故障检测系统可以稳定高效的运行。

在实验室中为车载查询器搭建故障检测系统如图 14 所示，检测系统搭建完成后使应答器传输系统开始工作，硬件采集设备采集查询器 Lock 端口电压数据以及串口数据发送给上位机，将上位机中存储的数据导入故障诊断软件进行故障分析与诊断，检测在无任何外界干扰情况下查询器的工作情况。

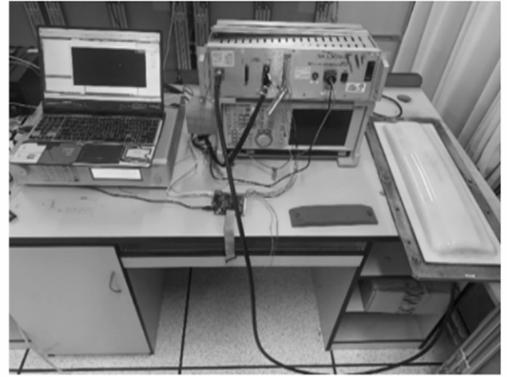


图 14 实验室测试环境

故障检测系统功能实验验证：在实验室使用信标扫过车载定位天线，10 次信标扫过为一组实验数据，累计测试 10 次。对每组实验数据进行统计分析，绘制每一组实验的 Lock 端口波形图，并在图中以红色竖线标注信标报文解析时间点，如图 15 所示。从波形图中可以看出 Lock1 端口出现 10 个高电平为 5.1 V 的方波，在方波的持续时间中有红色竖线标记，10 条红色的竖线表明故障检测系统采集到了

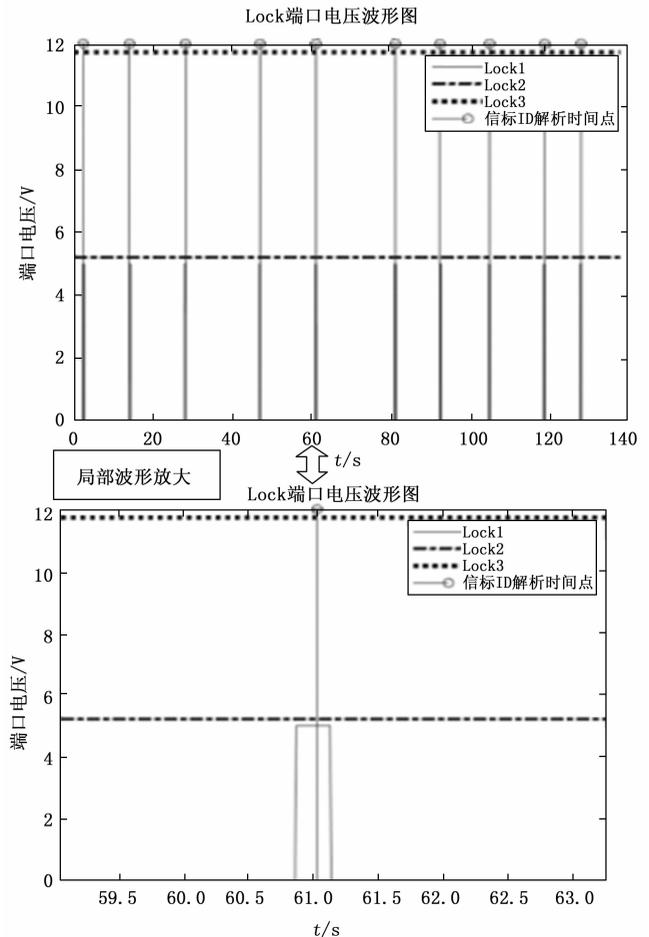


图 15 Lock 端口电压波形图

表 5 测试结果统计表

| 组别 | Lock1 端口波形持续时间/s |      |      |      |      |      |      |      |      |       | 信标个数 | Lock2 端口电压/V | Lock3 端口电压/V |
|----|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|--------------|--------------|
|    | 1                | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10    |      |              |              |
| 一  | 0.37             | 0.28 | 0.33 | 0.25 | 0.26 | 0.32 | 0.29 | 0.28 | 0.29 | 0.32  | 10   | 5.18         | 11.73        |
| 二  | 0.29             | 0.26 | 0.28 | 0.25 | 0.32 | 0.33 | 0.36 | 0.29 | 0.26 | 0.351 | 10   | 5.16         | 11.68        |
| 三  | 0.34             | 0.28 | 0.29 | 0.27 | 0.36 | 0.34 | 0.38 | 0.29 | 0.28 | 0.312 | 10   | 5.21         | 11.76        |
| 四  | 0.37             | 0.32 | 0.29 | 0.28 | 0.26 | 0.35 | 0.36 | 0.27 | 0.28 | 0.296 | 10   | 5.14         | 11.68        |
| 五  | 0.36             | 0.34 | 0.31 | 0.35 | 0.31 | 0.28 | 0.29 | 0.28 | 0.27 | 0.332 | 10   | 5.07         | 11.93        |
| 六  | 0.28             | 0.28 | 0.31 | 0.32 | 0.34 | 0.28 | 0.29 | 0.26 | 0.35 | 0.315 | 10   | 5.17         | 11.68        |
| 七  | 0.35             | 0.33 | 0.26 | 0.28 | 0.24 | 0.25 | 0.29 | 0.31 | 0.38 | 0.289 | 10   | 5.23         | 11.47        |
| 八  | 0.25             | 0.25 | 0.24 | 0.33 | 0.38 | 0.34 | 0.37 | 0.28 | 0.29 | 0.296 | 10   | 5.15         | 11.48        |
| 九  | 0.26             | 0.22 | 0.28 | 0.24 | 0.29 | 0.32 | 0.33 | 0.29 | 0.33 | 0.334 | 10   | 5.16         | 11.89        |
| 十  | 0.25             | 0.26 | 0.33 | 0.34 | 0.25 | 0.29 | 0.36 | 0.29 | 0.33 | 0.321 | 10   | 5.17         | 11.81        |

10 个信标报文, 不存在信标丢失; Lock2 端口电压稳定在 5.1 V, Lock3 端口电压稳定在 11.6 V。根据绘制的波形图可初步判断在采集数据期间查询器正常工作。统计十组实验数据如表 5 所示。

从表格中的数据可以看出故障检测系统可实时采集查询器 Lock 端口电压与串口数据; 同时根据采集到的数据在故障诊断软件中绘制波形图可判断查询器的工作状态。综上所述, 本次设计的故障检测系统功能实现成功。

## 5 结束语

目前国内针对车载应答查询器的故障检修仍是整体更换车载设备, 无法找出故障的具体位置进行针对性的检修, 检修成本较高且效率低下。通过对车载应答查询器工作状态的研究, 根据其工作状态来判断具体的故障位置, 同时提出了一种针对应答查询器故障的检测流程。利用该检测流程, 可有效判断车载设备的故障位置, 有针对性的进行故障检修与维护, 提升工作效率, 节约设备检修成本。提出该检测流程为今后车载设备的故障检测有一定的指导作用, 便于将来开发便携式的故障检测设备。

### 参考文献:

- [1] 刘国栋. 车载应答器传输模块仿真研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2014.
- [2] 乔志远. 美式应答器的在线动态监测诊断系统设计与研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (S2): 104-106, 110.
- [3] 徐效宁, 褚伊郎君, 刘磊, 等. 关于应答器接收天线的安装位置探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (2): 18-21.
- [4] 李薇薇, 程庆, 许琰, 等. 应用于车辆段现场的便携式欧标应答器天线测试平台设计与实现 [J]. 电子世界, 2019 (17): 133-135.
- [5] 陈献彬. 基于 FPGA 的便携式应答器检测设备的设计与实现 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2018.
- [6] 冉亮. 便携式应答器检测工具的研究与设计 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2018.

- [7] 王潇濛. BTM 测试工装软件硬件设计 [D]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- [8] 周宁. BTM 产品测试系统研究 [J]. 列车运行控制系统技术交流会专刊, 2013: 103-105.
- [9] 赵银锋, 张辉, 王鑫, 等. 应答器传输系统常见故障及解决措施 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50 (8): 70-72.
- [10] 占礼辉, 黄璞, 刘小磊, 等. 冰雪天气对 RFID 美标的影响及防范探究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (9): 74-77.
- [11] 周儒, 钱路路, 孙中东, 等. 查询应答器原理及其应用 [J]. 铁道通信信号, 1995 (12): 3-6.
- [12] 杜运峰, 李永善. 便携式应答器报文读写器的设计与应用 [J]. 铁道通信信号, 2013, 49 (8): 18-20.
- [13] 杨文杰. 应答器报文传输模块检测装置研究及设计 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2016.
- [14] 王立丹. 应答器电缆故障检测系统设计与实现 [D]. 北京邮电大学, 2017.
- [15] 王立, 段恒毅. 射频连接器振动对信号相位噪声的影响 [J]. 电讯技术, 2014, 54 (7): 1002-1005.
- [16] 许庆阳, 杨吉, 孟景辉, 等. 基于检测数据的应答器动态特性影响因素分析 [J]. 铁道标准设计, 2021, 65 (9): 166-172.
- [17] 戴翌清, 徐焯. 上海轨道交通 2 号线车地通信环线与应答器的电气兼容性分析与测试 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (S2): 52-55.
- [18] 李正交, 蔡伯根, 杨吉, 等. 基于双链路监测的地面应答器健康状态动态检测与评估 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (3): 1-5, 8.
- [19] 赵德生, 高思洋. CBTC 系统中静态信标读取失败的故障分析及处理 [J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (8): 181-184, 189.
- [20] SHANGGUAN W, YU Z, WANG H S, et al. Board-level lifetime prediction for power board of balise transmission module in high-speed railways [J]. IEEE Access, 2020, 8: 135011-135024.