

# 城市轨道交通列车控制子系统测速与定位装置的 常见故障及预防措施

王 鹏 陈永莉 彭 溪

(上海申通轨道交通研究咨询有限公司, 200070, 上海//第一作者, 工程师)

**摘 要** 根据城市轨道交通信号系统轨旁应答器的工作原理,分析了应答器读取故障的成因及其影响。根据测速与定位系统的工作原理,对该系统的常见故障原因进行了分析。给出了测速与定位装置故障的预防措施。

**关键词** 城市轨道交通; 列车控制子系统; 测速与定位装置; 常见故障; 预防措施

**中图分类号** U231.6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.02.022

## Common Faults and Preventive Measures of Urban Rail Transit TGMT System Speed Measuring and Locating Device

WANG Peng, CHEN Yongli, PENG Xi

**Abstract** In the signaling system of urban rail transit, according to the working principle of wayside balise, the causes and effects of the balise reading-related faults are analyzed. According to the working principle of the speed measurement and locating system, the common causes of the system failure are analyzed. The preventive measures for the fault of speed measuring and locating device are given.

**Key words** urban rail transit; TGMT system; speed measuring and locating device; common fault; preventive measures

**Author's address** Shanghai Shentong Rail Transit Research & Consultancy Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

西门子 CBTC(基于通信的列车控制)信号系统中的 TGMT(Trainguard MT,列车控制子系统),已广泛应用于北京、广州、重庆、南京、西安、福州、徐州及苏州等多个城市轨道交通线路中。TGMT 系统中测速与定位装置故障分析在车载故障维护中具有十分重要的作用。由于该装置的复杂性,测试人员和维护人员往往不能通过列车的故障现象准确推断出其发生的原因。

本文通过理论联系实际,描述了测速与定位装置故障的可能原因,可为新线路开通前的调试期以

及既有线路的维护期提供参考。

## 1 测速与定位装置的常见故障

### 1.1 轨旁应答器读取故障原因及分析

#### 1.1.1 轨旁应答器的工作原理

应答器定位系统由车载应答器天线、轨旁应答器和 LEU(轨旁电子单元)组成。应答器铺设在轨道中央,车载应答器天线安装在机车上与应答器相对应的位置。应答器分为有源应答器和无源应答器,其中有源应答器与 LEU 连接。应答器内部寄存器按协议存放列车速度监控和列车定位所需的数据<sup>[1]</sup>。

轨旁应答器是一种用于地面向列车传输信息的点式设备,可分为 FB(固定应答器)、VB(可变应答器)、IB(填充应答器)及 FB(重定位应答器)。每种应答器均包含相应的报文(见表 1)。

表 1 不同功能应答器所具有的报文包

Tab.1 Message packets in balises of different functionalities

| 类型     | 定位报文包 | 信号机灯位报文包 | 重定位报文包 |
|--------|-------|----------|--------|
| 固定应答器  | √     |          |        |
| 填充应答器  | √     | √        |        |
| 可变应答器  | √     | √        |        |
| 重定位应答器 | √     |          | √      |

1) 定位报文包:包含应答器的 ID(标志)、位置、所在区段、版本及种类等相关信息,用于列车定位。

2) 信号机灯位报文包:包含灭灯、红灯、绿灯、黄灯及红黄灯等不同灯位的报文包。其报文直接来自于 LEU,因此拥有此报文的应答器需要使用 1 根电缆连接到 LEU,故而亦称其为有源应答器。

3) 重定位报文包:当 1 个黄灯信号有 1 条以上

进路方向时需使用 FB 确定进路方向。点式控制级别下的列车接收到此报文包后可以确定列车的进路方向。

对于一个实际应用中的应答器,线路数据库会在不同的方向上将同一个应答器定义成不同的功

能。如一个应答器在正向线路上属于 VB,但在其反向线路上可能属于 FB。同时线路数据库定义了每个应答器的报文内容,车载 ATP(列车自动防护)系统读取到这些应答器的报文信息后,会对列车的如下内容进行验证,详见表 2。

表 2 车载 ATP 系统对应答器的验证  
Tab.2 On-board ATP system verification of balise

| 项目         | 验证内容  | 可能原因   |
|------------|---|--|
| 应答器 ID     | 当应答器 ID 不在线路数据库中,车载 ATP 将主动忽略此应答器   | ①应答器报文错误;②此应答器已从线路数据库中删除   |
| 应答器报文版本号   | 当应答器报文版本号与线路数据库版本号不一致时,车载 ATP 将主动忽略此应答器,并产生应答器版本号错误的报警,可以在车载数据中查找到。如有车地无线连接,则可以在 S&D(服务与诊断服务器)和 ATS(列车自动监控)系统中同时查找到                         | ①应答器报文错误;②线路数据库软件中应答器改动了其位置信息,因此需修订报文版本号,但轨旁应答器未进行相应的升级  |
| 应答器所在区段 ID | 若车载 ATP 判断此应答器区段的 ID 不属于此线路时,车载 ATP 将冗余到后端;若后端车载 ATP 也判断此区段 ID 不属于此线路时,列车将发生紧急制动  | ①应答器上传了错误的报文信息;②将含有其他线路应答器报文的应答器错误地安装到了本项目   |
| 应答器预期读取窗口  | 车载 ATP 会根据线路数据库中应答器的位置信息,对读取下一个应答器的距离范围作出预期计算,即为应答器的预期窗口。如果在预计窗口之外读取到了对应的应答器信息,则列车会发生紧急制动或冗余,同时在车载数据、S&D 及 ATS 系统的报警信息中均会读取到某个应答器在预期窗口之外的报警 | ①轨道上的应答器安装位置有误;②列车轮径值不准确;③列车的雷达因子不准确;④列车的测速与定位系统硬件发生故障;⑤对于未开通的轨道交通项目,应重点考虑应答器的位置是否正确;⑥对于运营期间的轨道交通项目,应重点考虑列车测速与定位系统是否有故障,特别是列车轮径值是否准确 |

1.1.2 应答器故障对车载 ATP 系统的影响

如果列车在应答器的预期窗口内外都未读取到对应应答器信息,则说明应答器已丢失。不同的列车控制等级对于丢失不同类型的应答器都会有

不同的表现,见表 3。

若有源应答器( IB 或 VB)出现 LEU 故障或 LEU 与对应的应答器未连接(见表 4),需到现场检查 LEU 板卡或电缆连接是否正常。

表 3 各种应答器丢失对车载 ATP 系统的影响  
Tab.3 Impact of various balise loss on on-board ATP system

| 列车控制等级 | 固定应答器      | 填充应答器                                    | 可变应答器                          | 重定位应答器                              |
|--------|------------|--|--------------------------------|-------------------------------------|
| 点式     | 可以丢失,会产生报警 | 丢失后相当于未设置填充应答器,列车将不能预知前方信号机的灯位信息,同时会产生报警 | 不可以丢失,因丢失主信号应答器而产生紧急制动,同时会产生报警 | 不可以丢失,丢失后由于超出最大重定位距离而产生紧急制动,同时会产生报警 |
| 连续式    | 可以丢失,会产生报警 | 可以丢失,会产生报警                               | 可以丢失,会产生报警                     | 可以丢失,会产生报警                          |

表 4 有源应答器的 LEU 故障  
Tab.4 LEU fault of active balise

| 列车控制等级 | IB 的 LEU 故障或 LEU 与对应的应答器( IB)未连接  | VB 的 LEU 故障或 LEU 与对应的应答器( VB)未连接   |
|--------|---|--|
| 点式     | 相当于未设置填充应答器,列车将不能预知前方信号机的灯位信息,同时会发出接收到默认报文的报警,可以在车载数据中查找到;如果车地通信正常,则可以在 S&D 与 ATS 系统的报警信息中查找到 | 立即触发紧急制动,同时会发出接收到默认报文的报警,可以在车载数据中查找到;如果车地通信正常,则可以在 S&D 与 ATS 系统的报警信息中查找到 |
| 连续式    | 不影响,仅发出接收到默认报文的报警,可以在车载数据、S&D 及 ATS 系统的报警信息中查找到   | 不影响,仅发出接收到默认报文的报警,可以在车载数据、S&D 及 ATS 系统的报警信息中查找到                          |

站台附近的应答器有更高的安装精度要求,在线路数据库中被定义为精确定位应答器,用于精确

计算 ATP 的安全停车窗口,确保车门与站台门精确对齐。但需注意,这些应答器与应答器天线之间必

须保证有适当的距离,以确保应答器天线只读取到应答器的主瓣信号。如果应答器的旁瓣信号被读取到,应答器天线读取的位置就会变得模糊。出于安全考虑,ATP 停车窗口将采取另一种算法,其对列车位置不确定性的要求更加苛刻,这样很容易导致列车停稳后未输出车门释放信号。应答器主瓣、旁瓣信号的接收如图 1 所示。

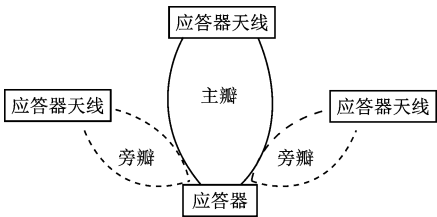


图 1 应答器主瓣、旁瓣信号的接收

Fig. 1 Reception of main lobe and side lobe signals of balise

当列车在运营线路上读取到任何一个应答器时,车载 ATP 便会生成车载位置报告报文。当车地无线输出正常时,此车载位置报告将会被无线系统传输给轨旁 ATP,轨旁 ATP 则会根据该位置报告发送相应的轨旁移动授权信息。轨旁移动授权信息包含了轨旁 ATP 集成的线路数据库版本,所以车载 ATP 此时能够通过移动授权来自行判断源自 ITF (接口信息采集板) 中的线路数据库是否正确。如果不正确,列车会主动冗余到另一端。如果另一端车载 ATP 的线路数据库版本验证仍然错误,则列车会触发紧急制动。如果列车车地无线未连接,则无法验证线路数据库的正确性。

## 1.2 测速与定位系统故障原因及分析

### 1.2.1 测速与定位系统的工作原理

车载的测速与定位装置有 OPG (测速电机) 和雷达两个主要硬件。

OPG 与车轴联动,当车轴转动时,OPG 会产生

离散的脉冲信号。脉冲信号分为正向和反向信号,通过这些信号可以判别列车的运行方向,通过脉冲数量和轮径值可以计算出位移<sup>[2]</sup>,通过位移与相应的时钟系统可以计算出列车运行速度。

雷达固定在车体上,利用多普勒效应可以计算出列车移动速度,利用列车移动速度的积分运算同样可以得到位移<sup>[2]</sup>。由于雷达硬件之间的差异性,所有雷达电磁波的频率偏移量测量值均需乘以雷达因子,用于修正误差。

### 1.2.2 测速电机和雷达故障分析

1) OPG 安装于列车非动力轮上,利用光栅盘产生脉冲,测速处理单元结合轮径值与脉冲数计算得出列车速度。常见的轮轴式速度传感器故障有轮径值未校准、传感器硬件故障、传感器通道虚接和列车空转/打滑。

2) 通过测速雷达测算列车的相对位移。此故障类型主要分为雷达安装角度偏差和雷达硬件故障。

对测速与定位系统的两种测速传感器的优、缺点进行综合对比,列车高速行驶时,OPG 因为空转打滑易产生误差,更多参考雷达测速值;列车低速行驶时,由于多普勒效应雷达对于低速物体测速偏差相对较大,则考虑 OPG 较多,见表 5。车载 ATP 系统有一种特殊的算法,叫做传感器融合。利用该算法可得到列车最大安全速度、预计速度和最小安全速度等 3 个实际速度,这些速度值分别在测速与定位系统中起不同的作用。相应的测速与定位系统对于列车位置亦有 3 个不同的值,分别是最大值、估计值和最小值。列车位置的最大值和最小值之差即为位置不确定值,其增加的速率和当前测速传感器精度有关。

表 5 测速传感器的特点以及输入的安全数据对其测量数值的影响

Tab. 5 Characteristics of speed sensors and impact of the input safety data on their measurement values

| 测速传感器 | 输入的安全数据           | 安全数据对各测速传感器最终测量数值的影响        | 特点   |
|-------|-------------------|-----------------------------|--|
| OPG   | 轮径值 (来自于镲轮值)      | 如果轮径输入值比实际值大,计算出的速度值变大,反之变小 | 优点:列车低速运行性能优异,不受道床影响;缺点:车轮存在空转或打滑情况,影响测量的精度          |
| 雷达    | 雷达因子 (来自于雷达校准程序值) | 如果轮径输入值比实际值大,计算出的速度值变大,反之变小 | 优点:列车高速运行性能优异,不受轮轴空转或打滑影响;缺点:弯道、道岔、雨雪天气对雷达信号强度有一定的影响 |

列车位置不确定性值随着列车的移动而增加。当读取到正确的应答器之后,列车的位置被校正,

列车位置不确定性值被重置到设定值。同时测速与定位系统可判断两个有效应答器之间的距离,并

将其与线路数据库中定义的距离作对比,从而判定测速与定位系统目前的实际精度。如果误差较大,测速与定位系统会将测速传感器的精度降低,从而使列车位置不确定性值以更快的速度增加,这可能会导致如下结果:①列车最大安全速度值会变得更小,从而触发超速紧急制动;②列车位置不确定性值超出了系统设定极限,列车定位丢失,触发紧急制动;③列车在站台停稳时其位置不确定性值过大,影响 ATP 对停车窗口的计算,导致列车超出 ATP 安全停车窗口,从而无法输出车门释放信号。

## 2 测速与定位装置故障的预防措施

1) 为了提高 FAO 线路中车载测速与定位系统的精确性、可用性和可靠性,与传统 CBTC 系统相比,FAO 系统的车载设备在单端各增加了 1 个 OPG 和雷达,这样车尾冗余设置的车载信号系统将具有 4 个 OPG 和 4 个雷达。因此,须使用双 OPG 才能保证测速与定位系统的精度满足 FAO 的要求。

2) 在安装调试期间利用测速与定位系统表现优异的列车对所有应答器位置进行验证,采用软件对人工确认的安装结果进行再次确认,确保所有应答器安装的位置都是准确的。

3) 注意站台前后应答器的安装高度,以及每列列车应答器天线的安装高度,确保列车不会读取到精确定位应答器的旁瓣信号,减少车门释放信号丢失概率。

4) 定期检查报警信息:①是否有应答器被漏读,对于经常漏读的应答器,应检查其是否有硬件故障;②是否接收到应答器默认报文故障,有此类报警证明有源应答器连接的 LEU 有故障,为防止 ITC(点式列车控制等级)控制等级的列车故障,应尽快检查对应的 LEU;③是否读取到应答器在预期窗口之外,判断其原因是安装位置不准确还是测试与定位系统测量不准确,并分别对其进行不同的分析和处理。

5) 在车辆段或者正线某区域设置轮径值自动校准区域,定期进行轮径值修正<sup>[3]</sup>。轮径值随着使用过程中的磨损会出现误差,就以往的维护经验来看,轮径值的变化有以下特点:①轮径值越小,磨损速度越快,列车位置不确定性值误差越大;②处于同一根车轴的车轮在运行时具有相同的角速度,轮径值越小的车轮磨损越严重。测速与定位系统要

求轮径值的误差在  $\pm 0.5\%$  以内,在实际运营中发现,一般轮径值的误差在  $\pm 0.8\%$  以上时,测速与定位系统发生故障的概率会增加。车载 ATP 系统在轮径值误差较大时可能做出如下反应:①紧急制动,其原因为预期窗口外读取到应答器信息;②冗余,其原因可能为车载 ATP 宕机,LRU(最小可更换单元)记录中有 OPG 故障,事件信息中有测速故障。所以设置轮径值自动校准区域后会大大降低因轮径值变小而导致的故障发生。

6) 更换雷达硬件后应校准雷达因子。校准时应保证:①轮径值的准确;②轨道条件符合要求,如无弯道、无雨雪积水、无道岔等;③列车匀速平稳驾驶,确保车辆与轨道无滑动。

7) 合理调整雷达传感器的位置,使得雷达在直道及弯道线路上,其波速都能覆盖到轨道的扣件位置。

## 3 结语

测速与定位装置故障为轨道交通较为常见的故障。该故障受外界条件和自身设备性能的局限,一直困扰运营维保部门。通过系统理论联系实际,对测速与定位装置故障进行了分析。建议安装、调试人员以及后期维护人员能将本文提出的预防措施融入到既有的工作中,从而减少测速和定位装置不必要的故障,使列车在线路上运行得更加流畅,有效降低列车晚点率。

## 参考文献

- [1] 夏青. 应答器与测速组合定位在地铁中的应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2012, 9(2): 50.  
XIA Qing. Application of balise and speed measuring device combined for train positioning in metro[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2012, 9(2): 50.
- [2] 刘广泽. 地铁列车测速及定位技术研究[J]. 中国科技纵横, 2017(8): 65.  
LIU Guangze. Research on metro train speed measurement and locating system[J]. China Science & Technology Overview, 2017(8): 65.
- [3] 孙林祥, 房坚. 城市轨道交通的列车定位技术[J]. 电子工程师, 2002, 28(7): 30.  
SUN Linxiang, FANG Jian. The technique of train position determination in mass transit[J]. Electronic Engineer, 2002, 28(7): 30.

(收稿日期:2022-09-15)