

# CBTC 系统中静态信标读取失败的故障分析及处理

赵德生<sup>1</sup> 高思洋<sup>2</sup>

(1. 南京铁道职业技术学院通信信号学院, 210031, 南京; 2. 浙江众合科技股份有限公司, 310051, 杭州//第一作者, 讲师)

**摘 要** 在城市轨道交通运营过程中, 信号系统的稳定性尤为重要。针对信号系统中静态信标读取失败的故障率较高的问题, 分析了静态信标在 CBTC 系统中的应用, 总结了静态信标在调试和运营过程中的典型故障现象和故障原因, 并提出了静态信标读取失败的故障处理方法, 为城市轨道交通信号系统调试和维护人员提供了参考。

**关键词** 城市轨道交通; 静态信标; 故障处理; 信号系统  
**中图分类号** U231.7

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.08.044

## Fault Analysis and Treatment of Static Beacon Reading Failure in CBTC System

ZHAO Desheng, GAO Siyang

**Abstract** In the process of urban rail transit operation, the signal system stability is particularly important. Aiming at the high failure frequency of static beacon reading in signal system, the application of static beacon in CBTC system is analyzed, the typical fault phenomena and reasons of static beacon in debugging and operation are summarized. On this basis, a fault handling method for static beacon reading failure is proposed, which provides reference for the debugging and maintenance personnel of urban rail transit signal system.

**Key words** urban rail transit; static beacon; fault handing; signal system

**First-author's address** School of Communication and Signal, Nanjing Institute of Railway Technology, 210031, Nanjing, China

在轨道交通 CBTC(基于通信的列车控制)系统中, 静态信标又称为无源应答器或固定数据应答器, 主要起到列车定位功能。在运营过程中, 各厂商供货的静态信标读取失败故障率均较高。静态信标读取失败, 会对列车定位带来影响, 严重时会导致列车退出运营。本文以浙江众合科技股份有限公司的信号系统为例, 对静态信标读取失败的故障进行分析, 并提出相应解决方案。同类信号系统已在国内沈阳、西安、杭州、大连、郑州、重庆、温州及深圳等多个

城市的多条线路上投入使用, 案例较为丰富。

## 1 静态信标的功能及工作原理

### 1.1 列车位置初始化

当列车由车辆段进入正线时, 需在转换轨“登录”进入 CBTC 控制区域<sup>[1]</sup>, 参见图 1。

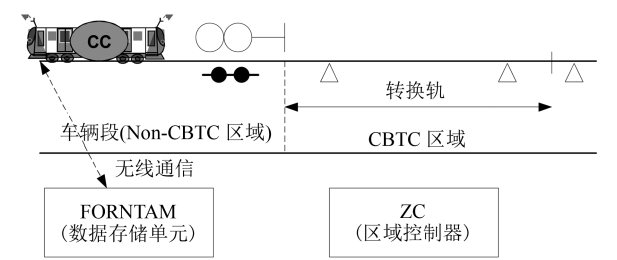


图 1 列车位置初始化示意图

在车辆段运行的列车以 RM(限制人工驾驶)模式运行。在进入转换轨之前, 列车需要进行自检: CC(车载控制器)发送 DB(线路数据库)版本目录请求给 FRONTAM(数据存储单元); FRONTAM 发回 DB 版本目录后, CC 检查 DB 的版本目录; 如果需要, 则申请下载 DB, 并由 FRONTAM 向 CC 发送已申请的 DB 数据, 列车完成自检。

列车驶入转换轨, 经转换轨上的信标触发后转换行车模式。列车分别经过第一、第二个信标后, 完成列车运行极性(即确认车载的 A、B 端)和列车位置的确定, 并通过无线将列车位置发送给 ZC(区域控制器), 此时列车便完成了初始化程序正式 CBTC 控制区域。

### 1.2 列车的定位

CC 通过初始化定位信标来确定列车进入系统的位置, 之后根据实时计算的列车速度来计算列车行走的距离, 并在列车经过每个地面静态信标时, 对列车的位置进行修正。

列车速度的精确测算主要由 CC、测速电机和加速度计来实现。安装在车轴上的测速电机实时测量车轮转动。安装于 CC 机柜底部的加速度计,

主要对车轮的空转打滑进行监督和补偿:当探测到车轮发生空转打滑现象时,CC 会将根据加速计上的实际加速或减速率计算而得的速度值作为现有速度,并且在经过并检测到信标后,校正列车的位置<sup>[2]</sup>。CC 根据测速电机测得的车轮转动信号和加速度计的补偿信息,实时计算列车的速度。

CC 将列车位置信息通过轨旁 AP(无线接入点)发送给 ZC。ZC 基于从所有列车收到的信息来计算移动授权,并发送给每个车载;同时,ZC 还将列车的位置信息送给 ATS(列车自动监控)系统。最后,由 CC 计算列车的制动曲线,从而实现列车间的移动追踪。在此过程中,静态信标的列车位置修正功能显得尤为重要。列车追踪过程如图 2 所示。

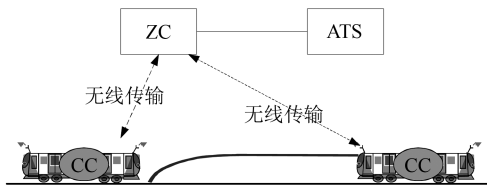


图 2 列车追踪示意图

### 1.3 轮径补偿

为了减小列车定位及测速的误差,在每次运营之前,车载设备需要完成轮径校准工作。校准过程为:用测速电机测量 2 个信标之间的车轮转数,并与数据库中 2 个静态信标之间的固定间距进行比较;由车载控制器计算出实际轮径,进而实现自动轮径校准。通常这 2 个静态信标要求安装在平直的轨道上,以避免因列车的空转或打滑而影响测量精度。

### 1.4 站台精确停车

在设置站台屏蔽门时,车门的开度和屏蔽门的开度要配合良好。安装有屏蔽门的地下车站允许停站误差为 $\pm 0.25\text{ m}$ ,其他车站允许停站误差为 $\pm 0.5\text{ m}$ 。这就需要精确定点。精确定点依靠 1 组地面信标(常称为“标志器”)来提供至停车点的距离信息。标志器的设置数量视定位停车精度而定,一般为 3~4 个。图 3 为地面停车标志器布置示意图。

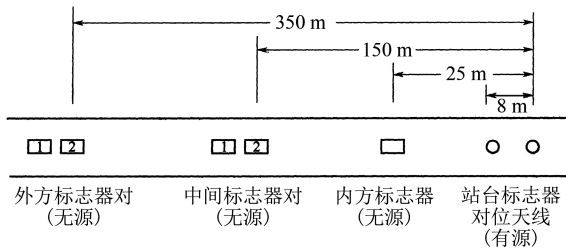


图 3 地面停车标志器布置示意图

当列车正向运行经过外方标志器时,列车接收停车标志器的频率信息,启动定点停车程序,产生第一制动模式曲线;当列车驶抵中间标志器时,产生第二制动模式曲线,并对第一阶段制动进行缓解控制;当列车收到内方标志器的停车信息时,产生第三制动模式曲线,列车再次进行缓解控制,使列车离定位停车点的距离更近;列车收到站台标志器送来的校正信息,即转入停车模式,产生第四制动模式曲线,列车再次缓解制动控制。经多次制动和缓解控制,可确保列车定位停车的精度控制在规定的范围之内。当车载定位天线与地面定位天线对齐时,会收到相应的信号,全常用制动立即实施,将车停住<sup>[3]</sup>。

## 2 静态信标读取失败的典型故障现象

### 2.1 精确停车故障

1) 故障现象:列车以 ATO(列车自动运行)模式在某站下行停稳后,无门使能信号。司机按规定手动开关车门和站台门,以 ATP 模式出站,并通知车载工区值班员。

2) 故障原因分析:列车进站后,未读取到 2 个用于列车精确停车的静态信标(F11423、F1425),导致列车位置不确定性增大;CC 没有给出门使能信号,未能向 ZC 发出开门请求;ZC 也无法向联锁发送站台门的开门指令。故需要司机手动开关车门和站台门。

### 2.2 列车定位故障

1) 故障现象:在某站前 200 m 处(上行进站),以 ATO 模式运行的列车突然产生 EB(混合制动模式)紧急制动,司机将列车运行模式转换为 RM 模式,以缓解 ATO 动车。

2) 故障分析:列车运行过程中,由于丢失 1 个用于定位的静态信标,轮径校准后的不确定性偏大(最大最小轮径差达 39 mm)。在丢 1 个信标后,运行到第二个信标之前时,累计误差超限会产生列车定位丢失,进而引发 EB 紧急制动。

### 2.3 信标连续丢失故障

1) 故障现象:据行车调研报告,当列车停在某站上行站台时,TOD(列车司机显示屏)显示车地通信故障(显黄),已通知车载综合工区值班员。

2) 故障分析:根据日志可确认,列车在 4 min 之内丢失了 9 个静态信标(无源应答器)。由于并非连续的静态信标,所以列车并没有丢失定位。但由于丢

失多个信标,CC 累计计数错误,导致车地通信故障。

### 2.4 列车初始化定位故障

- 1) 故障现象:列车由车辆段或停车场经过转换轨进入正线运行时,无法正常登陆 CBTC 控制区域,即列车初始化定位失败,故列车在 IATP(点式列车自动保护监督下的人工驾驶)模式下运行。
- 2) 故障分析:列车进入转换轨后,未能正确读取到静态信标,无法完成列车运行极性(车载 A、B 端)和列车位置的确定。

## 3 故障处理方法

静态信标读取的信号系统链路包括车上和车下两部分。车上部分由 TIA(查询器天线)、TIA 与 TI(查询器主机)间的电缆、TI,以及 CC 内部板卡(TIC、Tach、PMC 和 CCTE)组成。链路中任何一部分故障都会导致信标读取故障问题。车下静态信标能否被顺利读取主要由施工安装、信标本身、周围电磁环境决定,不由 CC 所控制。

### 3.1 静态信标读取系统链路(车上部分)故障处理

信标读取系统主要包括 TI、TIA、同轴电缆、CC 处理系统和电源部分。信标读取系统利用 TIA 发出的无线电频率来激活布置在轨道上的信标。当读取到被激活信标的 ID(编码)信息后,定位系统对信标 ID 进行解码,确认有效的 ID 信息并发送给 CC 处理系统,用于 CC 进行实时处理和定位。

链路中任何一部分发生故障都会导致静态信标读取失败。信标读取链路示意如图 4 所示。

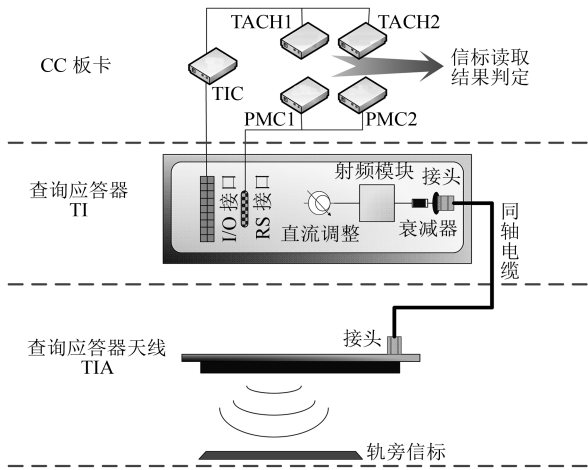


图 4 信标读取链路示意图

通过分析总结大量信标读取失败案例发现,引发故障率较高的问题有:同轴电缆问题、TIA 驻波比问题、TI 发射功率问题,CC 机柜内板卡问题等。

#### 3.1.1 同轴电缆问题

信标读取失败故障,多因同轴电缆存在电缆折断或压接工艺的问题。因此,检查同轴电缆时需重点关注护套是否有破损,内部电缆的铠甲和铜芯是否有损坏。

内部电缆的检查关键点有两个:TIA 侧出线处,车体靠近 TIA 的第一个内部电缆固定点。故障排查时,可借助 S331D 驻波比测试仪来测量电缆的回波损耗,进而确认同轴电缆是否破损。

#### 3.1.2 TIA 的驻波比问题

将 S331D 设备和 TIA 直接连接,测量并记录电压驻波比(VSWR)。TIA 的 VSWR 值应小于标准值 2。如果该值大于 2,则应通过万用表对 TIA 的接地情况进行检查,以确认 TIA 与列车车体接地点是否接触良好。

TIA 的紧固螺栓需保证与车体同处同一等势体。如果接地不良,需处理接地问题;如果接地良好,但电压驻波比(VSWR)仍大于 2,考虑更换 TIA。在日常维护过程中,还需定期对 TIA 进行硬件检查。

通常情况下,TIA 损坏的可能性较小。TIA 的损坏多由以下几种情况导致:

- 1) TIA 受到外力撞击,使天线内的振子损坏或变形,从而影响了天线的性能。
- 2) TIA 接头损坏。TIA 接头座的孔芯为 2 瓣半圆组成的圆环。如果其中 1 瓣损坏,则会影响电缆接头的针与天线接头座的接触,从而影响 TIA 的性能。
- 3) TIA 接头松动。如果电缆与 TIA 的接头没拧紧,或出现松动,也会影响天线的性能。
- 4) 电缆出现破损,或电缆外铜皮有损坏。
- 5) 电缆转弯敷设时,如其转弯半径小于电缆参数所定的值,就会影响电缆的性能,从而影响天线的性能。

#### 3.1.3 TI 发射功率问题

根据 MCT(场控晶闸管)或日志计算列车所读取的信标波形,与正常波形(如图 5 所示)对比。如果信标波形有异常波动,则可以通过调整衰减器、调整 TI 电压、缩短同轴电缆长度来调整 TI 发射功率。

发生 TI 发射功率问题时,对 TI 的输入电压和输出功率进行检测尤为重要。

故障检测时,可用数字万用表测后板的检测端子 23(+) 和 20(-) 脚。TI 输入电压的正常范围为

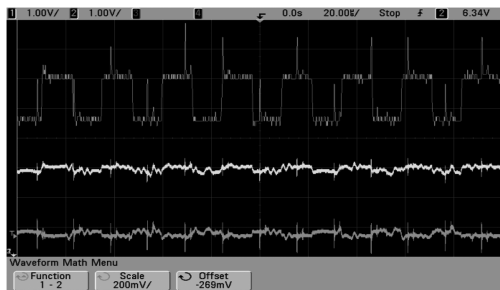


图5 信标正常波形图截图

DC 13.5 V $\pm$ 1.0 V。如果超出这个范围,可通过调节后板上的电阻 R1 来控制电压。如果调节电阻后的 TI 输入电压仍偏离正常电压范围,则应考虑更换 TI。

如果 TI 的输入电压正常,则需利用中功率计来测试 TI 的射频功率。TI 射频功率的正常值为  $1.6\pm 0.1$  W。如果 TI 射频功率正常,则应测量 TI 至天线端之间的微波电缆(含增加的衰减器)射频功率(正常范围是在  $0.3\sim 0.4$  W<sup>[3]</sup>);如果测量值明显低于正常范围,则需要检查并更换 TI 内部衰减器或射频同轴小电缆;如换后仍未达到范围,则应更换 TI。

### 3.1.4 CC 机柜问题

如果从 TIA 读取信标,到 TI 能正常接收到信息,波形均正常,那么信标读取失败的问题极有可能出在 CC 机柜内。一旦 CC 机柜出现问题,可能是和定位有关的板卡(如 TIC、PMC 和 CCTE)出现故障,也有可能是板卡间的配线存在问题。

板卡排查可采用排除法,通过一步步更换板卡,来查找故障板卡;也可观察板卡上的状态指示灯,并结合维护说明书,以判断板卡是否发生故障。

### 3.1.5 故障判断的其他方法

在运营维护人员和开通调试人员熟悉链路读取系统的结构和检测工具使用的情况下,可根据故障处理流程图,快速进行故障定位并处理。处理流程如图 6 所示。

如果发现读取信标的链路无故障,可通过打磨车上车下同轴电缆的接头铜芯来提高传输效率。

## 3.2 静态信标读取系统链路(车下部分)故障处理

1) 如果多车经过同一信标时的读取均较差,则需依照静态信标的安装规范,检查信标安装情况;必要时考虑调整信标架高度,或增加吸波材料。

2) 如果多车对同一信标的读取均失败,则可考虑将更换该信标。维护时,应检查故障信标外壳有无裂纹、化学锚栓有无松动、位置有无偏移、支架有无机械损伤及锈蚀、螺母有无脱落等<sup>[4]</sup>。

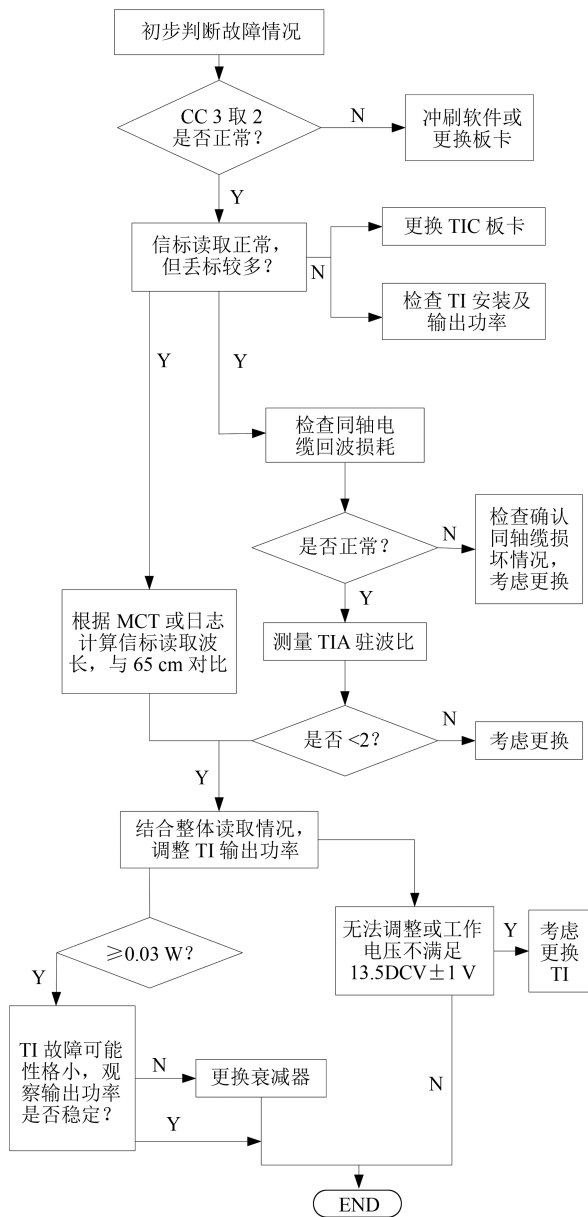


图6 故障处理(车上部分)流程图

3) 着重检查应答器周边是否有金属物,以避免干扰源对信标的信息传输产生影响。

## 4 结语

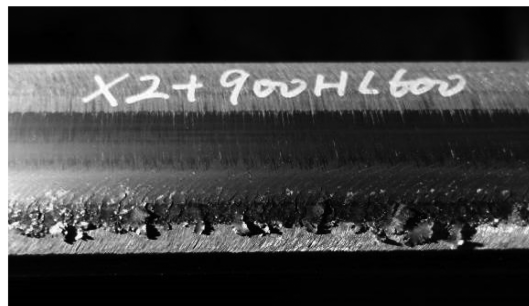
静态信标读取失败情形在各线路中均属于常见故障。此类故障严重影响了列车的正常运行。快速进行故障定位并及时处理的前提是维护人员应熟悉信标链路读取系统的结构、熟悉信标安装维护标准、熟悉检测工具的使用。

本文针对信标读取失败的典型案例,分析了常见问题的故障处理流程和处理细节,为运维人员提供参考。

(下转第 189 页)



a) 上股波磨



b) 疲劳伤损

图 13 对比段钢轨打磨后 5 个月的曲线钢轨表面状态

### 3 结语

本文针对北京地铁某半径 350 m 曲线段钢轨波磨及疲劳伤损问题,采用个性化钢轨廓形打磨技术对其进行了打磨,修正了其钢轨廓形,整治了波磨及疲劳伤损病害。

基于实测车轮踏面、实测打磨前后钢轨廓形,以及实际车辆和线路资料,建立了车辆系统动力学模型,对打磨前后的车辆动力学性能进行了仿真分析。仿真结果表明:实施个性化钢轨廓形打磨后,轮径差、轮轨接触几何关系、接触应力及磨耗水平等关键动力学性能指标均明显改善。

在实施打磨 6 个月后进行观测,试验曲线段的上下股钢轨光带宽度位置合理,波磨基本消除,钢轨表面疲劳伤损情况控制良好。现场观测结果与仿真分析结果相吻合。

综上所述,地铁小半径曲线采用个性化钢轨廓形打磨是合理且必要的。个性化钢轨廓形打磨可以改善轮轨接触关系,消除或抑制轮轨黏滑振动、减小轮轨接触应力,达到控制钢轨波磨和疲劳伤损等病害产生和发展的目的。

### 参考文献

- [1] 刘维宁,任静,刘卫丰,等.北京地铁钢轨波磨测试分析[J].都市轨道交通,2011(3):6.
- [2] 李克飞,刘维宁,张厚贵,等.地铁钢轨波浪形磨耗的研究分析[J].都市轨道交通,2010(2):1.
- [3] ZAREMBSKI A M. Type of rail corrugation[J]. Railway Track & Structures, 1989: 13.
- [4] 李伟,杜星,王衡禹,等.地铁钢轨一种波磨机理的调查分析[J].机械工程学报,2013(16):26.
- [5] 曹亮,许玉德,周宇,等.城市轨道交通钢轨波浪形磨耗特征分析[J].城市轨道交通研究,2010(2):46.
- [6] 沈钢,张学华,郭满鸿.地铁曲线波浪型磨耗的机理分析[J].同济大学学报,2011(3):381.
- [7] GRASSIE S L, KALIOUSEK J. Rail corrugation: characteristics, causes and treatments[J]. Part F: J. Rail and Rapid Transit, 1993, 207(F): 57.
- [8] 谷爱军,刘维宁.国外城市轨道交通钢轨波浪形磨耗病害研究及治理[J].城市轨道交通研究,2011(12):51.
- [9] 李文勇.钢轨波浪磨耗的调查分析及减缓措施[J].技术与市场,2010(2):46.
- [10] MAGEL E, RONEY M. The blending of theory and practice in modern rail grinding[J]. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 2003(10):921.
- [11] 肖乾,方骏.铁道车辆轮轨滚动接触疲劳裂纹研究综述[J].华东交通大学学报,2015(1):16.
- [12] RINGSBERG J W, JOSEFSON B L. Investigation of the rolling contact fatigue resistance of laser clad twin-disc specimens[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail and Rapid Transit 215(4):243.
- [13] 金学松,杜星,郭俊.钢轨打磨技术研究进展[J].西南交通大学学报,2010(1):1.
- [14] 雷晓燕.钢轨打磨原理及其应用[J].铁道工程学报,2000(1):28.
- [15] 周清跃,田常海,张银花,等.高速铁路钢轨打磨关键技术研究[J].中国铁道科学,2012(2):66.
- [16] 张铭达,刘学毅.钢轨预防性打磨原理及应用[J].铁道建筑,2006(7):86.
- [17] 中国铁路总公司.高速铁路钢轨打磨管理办法:铁总运[2014]357号[S].北京:中国铁道出版社,2014.

(收稿日期:2018-12-20)

(上接第 184 页)

### 参考文献

- [1] 高嵘华.应答器在基于通信的列车控制系统中的应用[J].城市轨道交通研究,2015(11):118.
- [2] 浙大网新众合轨道交通工程有限公司.杭州市地铁四号线 ATP 子系统技术规格书[R].杭州:杭州市地下铁道有限责任公司,2019.

- [3] 林瑜筠.城市轨道交通信号工程设计[M].北京:中国铁道出版社,2018.
- [4] 赵跟党,李乐.点式列车自动保护(IATP)模式下车载信号丢失、无推荐速度故障分析及处理[J].城市轨道交通研究,2013(10):104.
- [5] 杨建福.高速铁路列控系统中应答器维护[J].铁路通信信号工技术,2012(3):66.

(收稿日期:2019-10-10)