

# CBTC 系统车载设备常见故障原因分析及解决方案

张 焱

(成都地铁运营有限公司, 610058, 成都 // 高级工程师)

**摘 要** 基于成都地铁 1 号线、2 号线 CBTC(基于通信的列车控制)系统故障数据统计,车载设备故障约占 CBTC 系统故障总数的 75%。对 2017 年至 2019 年地铁 1 号线、2 号线 CBTC 车载设备故障原因进行了分类统计,主要的故障原因为车地无线通信中断、车地无线通信链路异常、丢失信标、加速度计自锁。对以上故障原因进行了分析并提出了相应的解决方案。

**关键词** 地铁; 基于通信的列车控制; 故障分析

**中图分类号** U231.7; U285.6<sup>+</sup>2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.09.049

## Cause Analysis and Solutions of Common Faults in CBTC System Onboard Equipment

ZHANG Yi

**Abstract** Statistics of CBTC (communication-based train control) system failures on Chengdu Metro Line 1 and Line 2 shows that onboard equipment faults take up 75% of the total CBTC system failures. Causes of CBTC onboard equipment faults of Metro Line 1 and Line 2 from 2017 to 2019 are counted in categories, and the main causes are train-wayside wireless communication interruption, train-wayside wireless communication link abnormality, loss of beacon, self-locking of accelerometer. Analysis is conducted on these causes and corresponding solutions are put forward.

**Key words** metro; CBTC; fault analysis

**Author's address** Chengdu Metro Operation Limited, 610058, Chengdu, China

## 1 信号系统车载设备常见故障统计

成都地铁 1 号线、2 号线信号系统是众合科技的 CBTC(基于通信的列车控制)系统,已投入使用约 8~9 年。该 CBTC 系统的车载设备主要由司机显示屏(TOD)、ATP/ATO(列车自动保护/列车自动运行)机笼、查询器主机(TI)、信标读取天线、移动无线设备(MR)及天线、模拟加速度计、数字加速度计、速度传感器、电源滤波板(BCB)、安全继电器等组成。

从成都地铁 1 号线、2 号线近 3 年信号故障数据统计来看,车载设备故障约占信号系统故障总数的 75%,占比最高。2017 年 1 月至 2019 年 6 月成都地铁 1 号线、2 号线车载故障原因分类统计如图 1 所示。由图 1 可见,车地无线通信中断、车地无线通信链路异常、丢失信标(读取信标失败)、加速度计自锁是车载信号设备故障中最为常见的故障,因此,解决这四大难题是迫在眉睫的任务,做好这四大常见故障的深入分析和整改尤为重要。

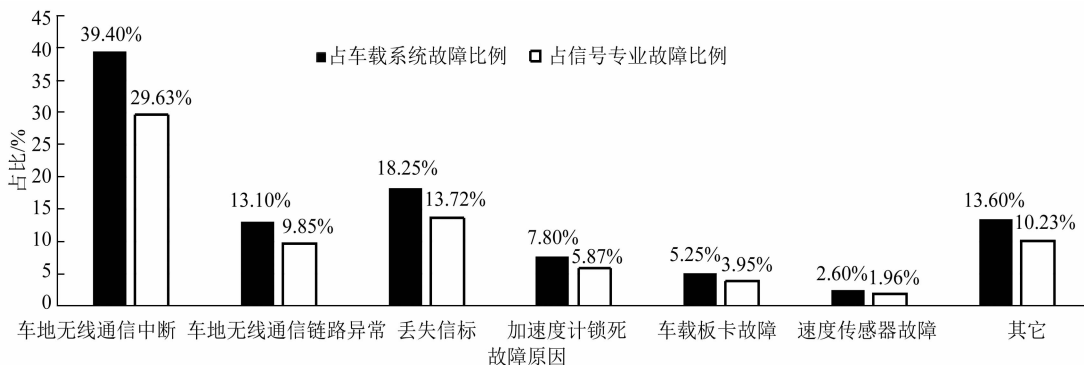


图 1 2017 年 1 月至 2019 年 6 月成都地铁 1 号线、2 号线车载故障原因分类统计图

## 2 车地无线通信中断原因分析及解决方案

车地双向通信网络是沟通车载数据通信网络

与轨旁数据通信网络的渠道,实现车地之间的双向通信,采用 IEEE 802.11 g 的 WLAN(无线局域网)技术。发生车地无线通信双网中断超过 3 s 时,ZC

(区域控制中心)发给该列车的移动授权会被回收,列车定位丢失,进而导致紧急制动(EB),列车以非ATO模式运行;无线通信恢复后,可升级为ATO模式运行。

### 2.1 车地无线通信中断原因分析

通过现场调查和分析发现,造成车地无线通信中断的主要原因是无线干扰,其干扰形式主要是阻塞干扰和交调干扰。

1) 阻塞干扰:是由通信运营商的通信基站发射的高功率 E 频段造成的阻塞干扰。通过测试分析发现,中国移动的 2.3 GHz 频段 4G(第 4 代移动通信技术)信号和 2.5 GHz 频段 5G(第 5 代移动通信技术)信号,对信号系统使用的 2.4 GHz 频段均有显著的影响,抬升了 CBTC 系统中车地无线通信 2.4 GHz 频段的空口占用率,超过了空口占有率小于 20%的要求。

2) 交调干扰:中国移动的 2.3 GHz 频段 4G 信号和 2.5 GHz 频段 5G 信号同时存在时,产生的交调信号对 CBTC 系统中车地无线通信 2.4 GHz 频段的空口占用率影响较大,尤其是当运营商的无线通信基站安装在区间的 POI(多系统合路平台)处时,空口占用率抬升约 20%~30%。

### 2.2 无线干扰问题解决方案

根据多起案例分析和现场处理情况,目前主要是通过调整轨旁 AP(无线接入点)速率、加装滤波器、调整优化 AP 位置和功率等方式解决无线干扰的问题。

1) 调整车地无线通信设备参数。通过将干扰区域轨旁 AP 速率由 9.0 Mbit/s 调至 5.5 Mbit/s,将车载 MR 调整为 9.0 Mbit/s 和 5.5 Mbit/s,提高抗干扰能力。表 1 为成都地铁 2 号线某站车载 MR 与轨旁 AP 速率调整前后信噪比值对比表。由表 1 可见,调整后的信噪比(SNR)小于 20 dB 的次数明显减少。

表 1 成都地铁 2 号线某站车载 MR 和轨旁 AP 速率调整前后 SNR 值对比表

AP 编号	SNR<20 dB 的次数/次	
	调整前	调整后
AP0101-B	7	0
AP0112-B	36	0
AP0114-B	9	1
AP0115-B	9	11
AP0209-B	0	0
合计	61	12

2) 在车载 MR 和轨旁 AP 上加装带通滤波器,放大 2.400~2.483 GHz 间的信号,滤除其他频段的信号,减少阻塞干扰,提高抗干扰能力。

3) 在通信运营商 POI 设备上加装带阻滤波器,同时协调运营商,适当降低邻近地铁线路基站的发射功率,以减小对车地无线通信的影响。

4) 在地铁车站和列车客室内引入公共服务 Wi-Fi 热点,减少个人热点源的干扰。

## 3 车地无线通信链路异常原因分析及解决方案

车地通信链路主要是 ZC 与车载 CC(车载控制器)主机间数据通信链路,路径为:车载 CC 主机→MR 及 MR 天线→AP 天线及馈线→AP 及光电转换器→接入和骨干交换机→光传输平台→骨干交换机等→ZC。车地通信链路中的高发故障主要是车载 CC 主机与 MR 间、MR 与 AP 间通信异常。当车地通信链路双网中断超过 3 s 时,ZC 发给该列车的移动授权会被收回,同样会导致列车 EB,信号模式不可用。车地通信链路异常时恢复通信的概率非常小,故障后列车以非 ATO 模式运行,常常引起列车晚点,影响运营效率。

### 3.1 车地通信链路异常原因分析

判断 CC 主机与 MR 间是否通信不良时,常常通过 Frontam(数据存储单元)工作站调阅 ESE(车载交换板)、MR 等是否有报警信息的方式来确认。通过 TOD 上显示的异常图标或报警提示,也可分析判断 CC 主机与 MR 通信是否中断。其中 ESE 板宕机是 CC 主机与 MR 通信异常的主要原因。

MR 与 AP 间通信异常时,常常通过测试 AP 功率、丢包率、无线场强等方式,并会同车载日志综合分析,确定 MR 与 AP 间通信是否异常。AP 输出功率低会直接降低车地通信质量,而无线场强覆盖不均也会使 MR 关联 AP 受影响。AP 天线长期在室外工作,受环境、震动等影响,天线方向可能会出现偏移,天线腐蚀可能会导致性能降低,这些因素常常会降低车地通信质量。

零部件的老化会造成车载各板件、轨旁 AP 设备的电气性能降低,从而导致车地通信质量降低。同时车载复杂电磁干扰、板件上灰尘等微小颗粒物也会加大板卡异常工作的概率。

### 3.2 车地通信链路异常问题解决方案

在处理车地通信链路故障中,主要通过优化 AP

功率、调整 AP 位置或技改升级换代等方式解决。

1) 轨旁 AP 位置和功率优化。根据设备现场场景,优化调整地面 AP 点的位置。AP 分布间距为 200 m 左右,弯道处分布间距约 150 m,高架、共线路段、线路交叉坡道路段等环境,根据实际情况确定 AP 数量和间距。同时,调整 AP 功率达到无线场强全覆盖。在地下“一洞双线”区域,调整上下行 AP 功率,防止无线场强覆盖不均导致的上下行互扰。

2) 定期重启 MR 和 AP。MR 通过列车停运后断电已达到重启目标。定期重启 AP,防止出现“假死”状态,提高 AP 可靠性。

3) 均衡分配 AP 注册控制器数量。控制器中某些注册 AP 数量较多,导致控制器 CPU 和内存占有率均较高,影响设备稳定性。

4) 当测试发现某一个或离散几个 AP 通信质量降低时,调整 AP 八木天线方向和角度,可部分解决车地通信质量低的问题。当 Frontam 工作站出现 ESE 板卡报警时,重新刷写板卡程序,可部分解决 ESE 板程序宕机的问题。

5) 车地通信功能和性能是城市轨道交通所面临的挑战,目前 LTE-M(城市轨道交通车地综合通信系统)技术已日趋成熟,如条件允许可将早期 WLAN 技术替代为 LTE-M 技术。

6) 制定车地无线通信相关设备的大中修规程,及时对关键零部件进行更换或换代。定期对 CC 机笼和 AP 箱内进行除尘,同时做好屏蔽地线的测试和检查,确保环境良好。

## 4 丢失信标原因分析及解决方案

信标是安装在轨道沿线并反映线路绝对位置的物理标志。信标通过接收车载天线传递的载频能量获得电能使地面信标中的信号发生器工作,将存储在信标中的数据报文发送至列车上。丢失信标(即读取信标失败)会导致列车定位丢失,导致列车 EB,影响运营效率。

### 4.1 丢失信标原因分析

丢失信标主要原因为 TI 及信标读取天线(TIA)输出特性变化导致其无法正常读取地面信标指示的绝对位置,当列车不确定度大于 30 m 时产生 EB。根据车载读标工作原理分析可知,输出功率变化的原因主要涉及到 TI、衰减器、同轴电缆和 TIA 硬件电气和机械特性不良。

TI 不良的主要原因是内部电子设备老化且受车载电磁干扰,电气特性发生变化,进而导致输出载波功率频率发生变化,TI 发射功率会超过 20~40 W 标准。衰减器不良的主要原因是其内部电容老化,输出特性波动、输出功率超标,进而导致地面信标天线接收到信号后,线圈产生的电压不足以驱动信号发生器发送报文。TIA 不良的主要原因是输出阻抗不匹配导致输出功率降低,同时 TIA 机械特性不良,如安装高度不满足  $(300 \pm 10)$  mm,天线中心线与车辆中心线误差超过  $\pm 5$  mm、纵向发射夹角小于  $120^\circ$ ,横向发射夹角小于  $90^\circ$ ,以及安装工艺不达标等变化也会导致读取距离不符合要求。对于同轴电缆,主要是其接头工艺不符要求导致输出特性变化,无法与地面信标正常通信。

### 4.2 丢失信标问题解决方案

由上述分析可见,有必要对 TI 及 TIA 输出功率变化、输出频率变化和读标距离这 3 个参数进行在线监测,提前对设备工作状态做出预判,达到降低故障的目的。当无法实施监测时,可定期对其进行电气特性和机械特性测试,并结合车载日志进行趋势分析。根据趋势分析结果,适当进行零部件更换或实施大中修,从而提高读标性能。

## 5 加速度计自锁原因分析及解决方案

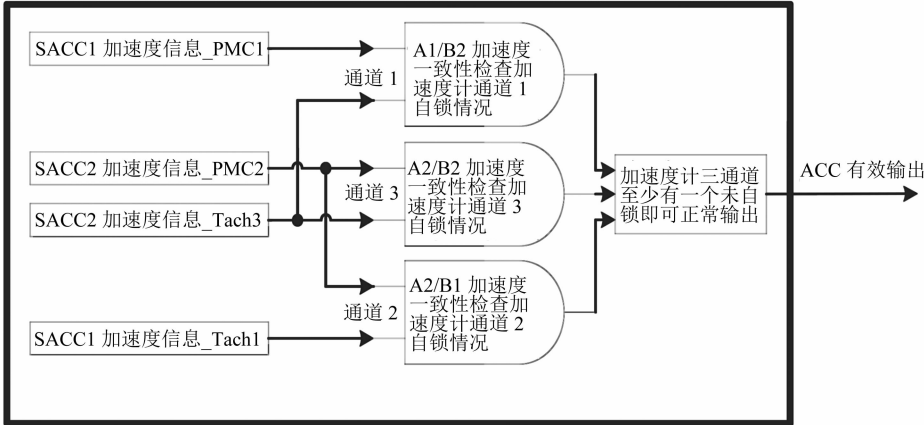
加速度计为两套,两套互为冗余,每套由两个不同类型的加速度计组成。CC 在接收加速度信息时,需要通过这两套设备交叉检查测量来保证数据可靠性和系统安全性。当加速度测量无效时,CC 能继续测量列车的速度和列车的位移。在滑行情况下,不能以加速计测量的方式进行速度补偿,因为这会严重影响 CC 对列车位置不确定度的计算,不确定度超过阈值时,列车定位丢失、发生 EB。

### 5.1 加速度计自锁原因分析

车载子系统选用模拟加速度计(AACC)和数字加速度计(SACC)两种类型,两种加速度计各自测量结果通过科学的融合算法整合为列车加速度。当加速度计模块失效时,列车定位误差无法修正;当定位误差较大时,即出现列车定位丢失。加速度计测速值校验模块工作原理如图 2 所示。

一套加速度计模块由 2 个 AACC 和 2 个 SACC 组成,如图 3 所示。根据加速度计容错机制,任意一个加速度计故障不会导致整个加速度计模块失效,而当 2 个加速度计同时故障时,可能会导致整个加

速度计模块失效。根据加速度计模块内部组合原理,当 2 个加速度计同时故障的组合方式不是 AACC1 和 SACC2、AACC2 和 SACC1、AACC1 和 SACC1 时会导致加速度计模块失效。



注：PMC——通信板；Tach——传感器输入板；A1/B2——数字加速度计 1/模拟加速度计 2；ACC——加速度计。

图 2 加速度计测速值校验模块工作原理图

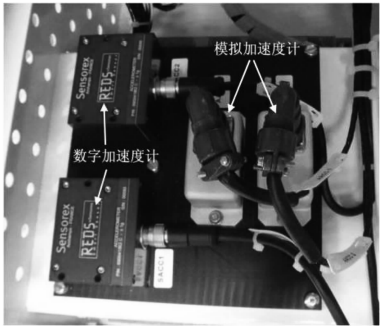


图 3 加速度计模块实物

5.2 加速度计自锁问题解决建议

根据以上分析,提出3点解决加速度计自锁问

题的建议:一是建议取消加速度计模块,选用其它更为可靠方式替代加速度计模块的非线性功能;二是实现 4 个加速度计的在线监测,以预防此类故障发生;三是优化加速度计内部组合及算法,提高加速度计的可靠性。

参考文献

[ 1 ] 成都地铁运营有限公司. 信号检修工[M]. 成都:西南交通大学出版社,2017.  
[ 2 ] 张建明. 城市轨道交通 CBTC 车-地无线通信的分析与思考[J]. 现代城市轨道交通,2014(1): 47.

(收稿日期:2019-09-05)

贵阳将成中国率先拥有“环”形市域快铁的省会城市

8 月 24 日,记者从贵阳市域快铁西南环线新闻通气会上获悉,随着贵阳市域快铁西南环线的建成,贵阳市域环城快铁真正形成,贵阳也将成为全国率先拥有“环”形市域快铁的省会城市。据悉,贵阳市域环城快铁建成开通后,贵阳市域内将形成“米字形+环”铁路网,大大增强了高铁及市域城际列车的通达通畅能力,将进一步巩固提升贵阳市在西南地区的铁路枢纽地位和功能,增强贵阳国家物流枢纽布局承载城市地位,进一步巩固提升贵阳市铁路枢纽功能。贵阳市域环城快铁西南环线建成通车后,将形成串联白云、观山湖、贵安、花溪、双龙、乌当等城市组团的便捷快速通道,对于贵阳贵安提升城市承载力、拓展城市发展空间、形成更加紧密的都市圈,助力打造千万级人口的经济体量大能级城市具有重要作用。贵阳市交通委调研员郑勇表示,市域环城快铁西南环线建成开通后,将积极推进市域快铁的公交化运营,与建成投运的轨道交通 1 号线、2 号线以及“十四五”将要陆续建成的 3 号线一期、S1 线一期,共同形成更加畅达、安全、便捷的快速轨道网络,共同构建以城市轨道交通、市域快铁为骨干,道路公交为基础,其他交通方式为补充的多层次公共交通体系,更好服务群众的生产和生活需要和出行需求。

(摘自 2021 年 8 月 24 人民网,记者 高华报道)