

基于 CBTC 车地无线通信系统 2.4 GHz 频段 抗干扰性能提升和改造的应用

占礼辉 陈抒华 王 磊

(杭州地铁运营有限公司, 310017, 杭州)

摘 要 [目的]城市轨道交通的信号系统使用 2.4 GHz 频段车地无线通信系统,但其极易受到通信运营商、民用 Wi-Fi、个人热点、蓝牙、RFID(射频识别)技术等设备的干扰,导致车地通信中断故障频发,甚至影响列车的正常运营。因此,需研究 CBTC(基于通信的列车控制)车地无线通信系统 2.4 GHz 频段抗干扰性能和应用改造措施。[方法]介绍了因车地通信中断而导致的列车紧急制动故障问题;介绍了抗干扰性能提升方案;以杭州某地铁线路为例,通过现场测试等方法开展 5.8 GHz 频段改造工程。[结果及结论]通过采取固定干扰源排查整治、加装屏蔽装置、通信运营商频段调整等多种措施以提高抗干扰性能。结合现阶段 5.8 GHz 频段应用情况及线网内 5.8 GHz 频段信道占用情况,将车地无线组网方式由 2.4 GHz(A 网)+2.4 GHz(B 网)改造为 2.4 GHz(A 网)+5.8 GHz(B 网)的组网方式。在采取多种抗干扰措施后,车地通信故障得到了缓解,通过 5.8 GHz 频段改造应用,解决了杭州地铁某线路因车地无线通信中断导致列车产生紧急制动的问题。

关键词 城市轨道交通;车地通信系统;抗干扰性能

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.12.043

Application of 2.4 GHz Frequency Band Anti-Interference Performance Improvement and Transformation Based on CBTC Vehicle-Ground Wireless Communication System

ZHAN Lihui, CHEN Shuhua, WANG Lei

(Hangzhou Metro Operation Co., Ltd., 310017, Hangzhou, China)

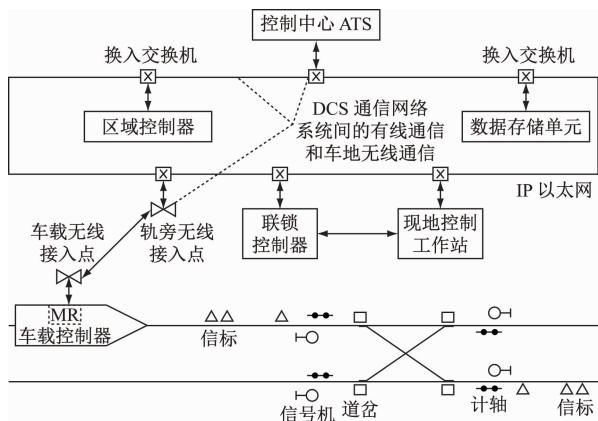
Abstract [Objective] Urban rail transit uses a 2.4 GHz frequency band vehicle-ground wireless communication system for the signal system, which is extremely susceptible to interference from communication operators, civilian WiFi, personal hotspots, Bluetooth, RFID (radio frequency identification) technology and other equipment, resulting in frequent vehicle-ground communication interruptions and even affecting the normal operation of trains. Therefore, it is necessary to study the anti-interference performance and application transformation

measures of the 2.4 GHz frequency band in CBTC (communication-based train control) vehicle-ground wireless communication system. [Method] The problem of train emergency braking failure caused by vehicle-ground communication interruption, as well as the solution to improve anti-interference performance are introduced; taking a certain metro line in Hangzhou as example, a 5.8 GHz frequency band transformation project is carried out through on-site testing and other methods. [Result & Conclusion] The anti-interference performance is improved by taking various measures such as investigating and rectifying fixed interference sources, installing shielding devices, and adjusting the frequency bands of communication operators. Based on current situations of the 5.8 GHz frequency band application and channel occupancy in the line network, the vehicle-ground wireless networking mode is transformed from 2.4 GHz (A network) + 2.4 GHz (B network) to 2.4 GHz (A network) + 5.8 GHz (B network). After taking a variety of anti-interference measures, vehicle-ground communication failures are alleviated. Through the transformation and application of the 5.8 GHz frequency band, the train emergency braking problem caused by vehicle-ground wireless communication interruption on a certain line of Hangzhou Metro is solved.

Key words urban rail transit; vehicle-ground communication system; anti-interference performance

随着通信技术行业的发展,CBTC(基于通信的列车控制)系统逐渐成熟并得到广泛应用。CBTC系统基于列车高精度主动定位和车地双向实时通信实现了移动闭塞高密度的安全追踪,典型CBTC系统架构如图1所示。可靠、大容量的双向车地无线通信是CBTC系统的关键技术之一^[1]。在CBTC系统推广应用的初期,受通信技术和频段制约等影响,绝大多数CBTC系统选择了运行在2.4 GHz公共开放频段的WiFi(无线局域网)技术^[1]。

CBTC系统在使用初期,均采用免费公用频段



注:ATS 为列车自动控制;DCS 为数据通信系统;IP 为互联网协议;MR 为车载无线台。

图1 CBTC 系统架构示意图

Fig.1 Schematic diagram of CBTC system architecture

2.4 GHz,频率范围为 2.4 GHz ~ 2.483 5 GHz。该频段不需要许可,只需满足国家规定指标,获得工信部颁发的型号核准证即可,当前使用非常广泛,主要有 WiFi、蓝牙、RFID(射频识别)、数字无绳电话、无线视频传输等设备。近年来,行业内使用 2.4 GHz 频段信号系统的地铁公司,频繁发生 CBTC 系

统车地无线系统受扰导致列车急刹车、无人机“逼停”地铁列车等事件。应用越来越广泛的 WiFi 设备也成为对 CBTC 系统干扰的重要源头^[1]。由于建设较早,但又尚未达到系统改造期,无法将整个无线通信系统更新改造为采用专用频段的 LTE(长期演进)系统。杭州地铁某线基于 CBTC 车地无线通信系统 2.4 GHz 频段的抗干扰性能提升和改造应用对我国广泛应用的 CBTC 系统性能提升和安全运行保障具有重要的意义^[2]。

1 因车地通信中断导致列车紧急制动故障的问题分析

杭州地铁某线信号系统采用 2.4 GHz 开放的公共频道,为 A/B 双网独立架构。开通初期,未出现车地无线通信系统中断的问题。随着通信行业的飞速发展、外部环境的不不断变化,车地通信中断问题逐渐出现,并随时间推移而日渐严重。自 2019 年以来,该线车地通信中断故障频发,多次导致列车紧急制动,大客流时段车地通信受扰尤为严重(见图 2),影响了客服质量。

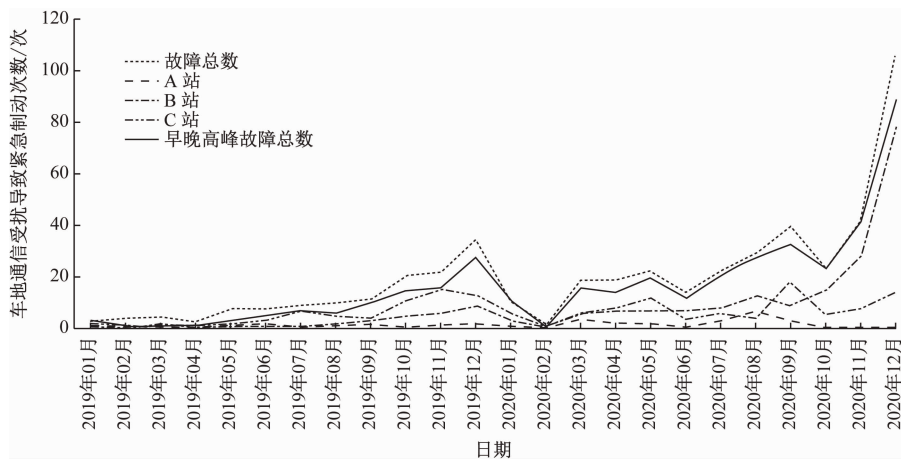


图2 杭州地铁某线车地通信受扰导致列车紧急制动故障情况

Fig.2 Train emergency braking failure caused by vehicle-ground communication interruption of a certain line in Hangzhou Metro

根据该线路历年车地无线受扰情况分析,存在以下特点:① 站点相对固定,集中在带有地铁商业街的站点;② 位置相对固定,集中在列车进出站过程中或站台区域;③ 故障发生时间段相对固定,主要集中在早晚高峰大客流时间段。

2 抗干扰性能提升方案

针对车地通信站点相对固定,集中在带有地铁商业街的站点及换乘站点等问题,通过扫频发现干

扰源并进行整改,以缓解固定的干扰设备对车地无线的影响。

针对位置相对固定,集中在列车进出站过程中或站台区域问题,通过在站台扫频、添乘列车抓取数据,以排查干扰信号。结合车地通信中断时的具体位置,在故障高发站对民用通信漏缆及站台端门处加装屏蔽层。

针对故障发生时间段相对固定,集中在早晚高峰大客流时间段等问题,对比整体故障趋势与客流

的关系,分析出干扰源主要来自乘客携带的通信、WiFi、蓝牙等设备,通过现场扫频,联合通信运营商尝试关闭故障高发站点相关频段,故障有所缓解。

经过对车地通信硬件设备的排查及干扰源整治,车地通信故障得到了缓解,但干扰源主要来自乘客携带的通信、WiFi、蓝牙等设备,因此干扰问题导致采用 CBTC 通信系统列车紧急制动的现象无法完全避免。

3 频段改造应用

3.1 5.8 GHz 频段改造方案

针对因外界干扰导致车地无线通信中断的问题,结合杭州地铁 4 号线使用 5.8 GHz 应用现状(见表 1),提出对杭州地铁某线的信号系统 B 网进行 5.8 GHz 频段改造的解决思路。

表 1 在既有运营环境中 5.8 GHz 频段的信道使用情况

Tab.1 Channel usage of 5.8 GHz frequency band in existing operation environments

使用对象	5.8 GHz 频段的使用信道
乘客信息系统(杭州地铁某线)	149 + 153、157 + 161
信号系统(4 号线)	157(A 网)、165(B 网)

注:5.8 GHz 频段内共有 5 个信道:149、153、157、161、165。

通过将杭州地铁某线路组网方式由 2.4 GHz(A 网) + 2.4 GHz(B 网)改造为 2.4 GHz(A 网) + 5.8 GHz(B 网)的组网方式,B 网信道使用 161 信道。该方案涉及全线所有 B 网轨旁 AP(无线接入点)天线的改造、列车车载 B 网 MR 的改造及全线网络优化,且要求整个改造期间不影响地铁 CBTC 正常运营。因此要求软件上实现(2.4 GHz)与 2.4 GHz、2.4 GHz 与 5.8 GHz、5.8 GHz 与 5.8 GHz 的频繁切换,改造共分为三个阶段。

1) 第一阶段:软件开发,试车线改造测试,可行性、可靠性评估。

2) 第二阶段:选取故障最高发站点 A 站进行正线改造测试。确认该站 5.8 GHz 运营测试效果良好后,优先在其余故障高发站推广,将干扰严重的车站站台区域 B 网优化为 5.8 GHz,列车只优化 MR-B(1 端单天线)支持 2.4 GHz + 5.8 GHz 混合组网,形成全线 2.4 GHz(AB 网) + 重点站台 2.4 GHz(A 网) + 5.8 GHz(B 网)的组网方式。

3) 第三阶段:将全线 B 网优化为 5.8 GHz 及列车 MR-B(1 端双天线)优化为仅支持 5.8 GHz,形

成 2.4 GHz(A 网) + 5.8 GHz(B 网)的组网方式及信道迁移。

改造前后车地无线系统的整体部署如图 3、图 4 所示。

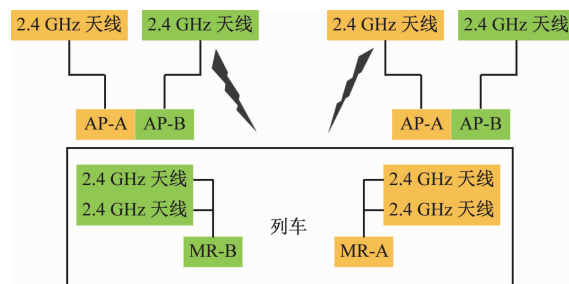


图 3 频段改造前杭州地铁某线车地通信部署图

Fig. 3 Vehicle-ground communication deployment diagram of a certain line in Hangzhou Metro before frequency band transformation

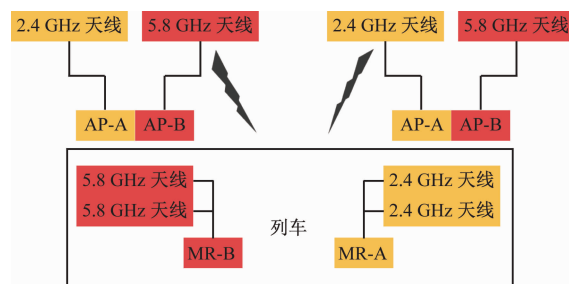


图 4 频段改造后杭州地铁某线车地通信部署图

Fig. 4 Vehicle-ground communication deployment diagram of a certain line in Hangzhou Metro after frequency band transformation

3.1.1 试车线测试

为验证 5.8 GHz 频段改造方案的可行性及软件可靠性,在试车线搭建运营场景下的测试环境,模拟车头切换、尾端切换。经测试确认该软件支持现场使用的 MR 主机,测试期间丢包率小于 1%,连续丢包小于等于 3 个,满足信号系统要求,具备正线测试条件。

3.1.2 正线测试

试车线验证软件可行性后,组织开展正线测试,选取故障最高发站 A 站进行改造测试,测试步骤为:① 在 A 站安装 B 网 AP 5.8 GHz 天线;② 利用夜间动车点开展测试;③ 正式启用 A 站 5.8 GHz 轨旁 AP 及车载 MR,开启相关软件配置。测试结论表明:夜间测试列车运行正常,切换正常,丢包小于 1%,中断时间不大于 1 s。启用 5.8 GHz 改造测试点位运营时段投入使用,3 d 内未发生车地通信中

断,具备正式改造条件,后续按照改造方案完成了全线 B 网 5.8 GHz 的改造。

通过信号系统车地无线 B 网由 2.4 GHz 频段迁移至 5.8 GHz 频后,杭州地铁某线车地无线通信受扰导致列车紧急制动故障大幅度地下降,单月车地通信故障由最高峰时的 100 余起降至平均单月 10 起以内,单日平均故障率下降了 95%。改造前后月故障次数对比图如图 5。

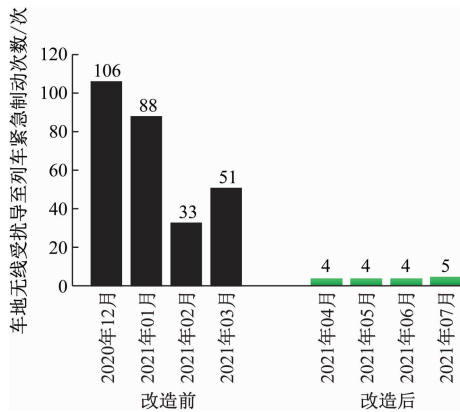


图5 5.8 GHz 频段改造前后车地无线受扰月故障次数对比图

Fig. 5 Comparison of monthly vehicle-ground wireless interference faults before and after 5.8 GHz frequency band transformation

3.2 B 网信道迁移

前期抓取数据分析出 5.8 GHz 频段内信号系统与 PIS(乘客信息系统)之间存在相互干扰情况,故提出在信号系统 5.8 GHz 频段改造的基础上对信号系统的 B 网信道进行迁移的解决思路。

在信号系统车地无线网 B 进行 5.8 GHz 频段改造的基础上,对信号系统的 B 网信道由 161 信道迁移至 165 信道(频宽设置为 20 MHz),从而解决信号系统与 PIS 之间同频干扰问题。由于邻线使用的同频段 B 网也使用 165 信道,为避免线路间存在干扰,选择在两线换乘站进行测试。

通过抓取运营高峰时段数据,分析出两线同时会车时单车 MR 的空口占用较高,峰值可达 35%,AP 的空口占用最低为 4%、最高为 20%。邻线单独会车单车 MR 的空口占用较低,总体平均在 10% 以下,轨旁空口占用最低为 3%、最高为 11%。夜间模拟两线上下行站台同时有车、某线上下行站台有车、邻线站台有车等多种情况下对应线路 AP 及 MR 空口的变化,测试发现杭州地铁某线列车 MR 及 AP

在 161 信道调整前 AP 及 MR 空口多数超过 20%,信道调整至 165 后,AP 及 MR 的空口值得到了较大幅度的下降,总体回落到 20% 以下,其中 AP 整体回落到约 10% 以内,且对邻线 MR 及 AP 空口无影响。

通过验证得出 B 网使用 165 信道不存在两线相互干扰问题,故对 B 网信道进行了迁移。信道迁移运营 8 个月后,未再次发生因外界受扰导致车地无线 B 网中断故障,从而解决了杭州地铁某线无线车地通信中断导致列车产生紧急制动问题。

4 结语

随着 WLAN 应用的普及,CBTC 系统所受到的干扰必将不断增加,本文提出的 5.8 GHz 频段改造与应用的解决方案,已在杭州地铁某线正式应用,适用于国内使用 2.4 GHz 频段车地无线通信系统的地铁运营线路。此方案在保证效果的前提下,大大降低了资金成本、时间成本,可为基于 CBTC 车地无线通信系统 2.4 GHz 频段的抗干扰性能提升和改造应用做参考。因通信行业的不断发展,5G 技术的广泛应用,5.8 GHz 频段可能也将面临不同程度的干扰,从长远考虑,建议后续建设的线路信号系统车地无线通信尽可能采用独立专用频段的无线通信系统(如采用 LTE 技术),为城市轨道交通安全可靠运行提供保障。

参考文献

- [1] 张明远,付靖,宫剑. 基于通信的列车运行控制(CBTC)系统的抗干扰性能分析[J]. 数字通信世界, 2019(6): 8.
ZHANG Mingyuan, FU Jing, GONG Jian. Anti-interference performance analysis of communication-based train operation control (CBTC) system [J]. Digital Communication World, 2019 (6): 8.
- [2] 赵跟党,张扬. 基于无线局域网的 CBTC 车地无线通信系统抗干扰性能提升方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (12): 205.
ZHAO Gendang, ZHANG Yang. Research on anti-interference performance improvement scheme of CBTC vehicle-wayside wireless communication system based on WLAN [J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(12): 205.

· 收稿日期:2022-10-24 修回日期:2023-03-06 出版日期:2024-12-10
Received:2022-10-24 Revised:2023-03-06 Published:2024-12-10
· 第一作者:占礼辉,高级工程师,zhanlihui@hzm metro.com
通信作者:王磊,工程师,418054711@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license