

南京地铁 7 号线应答器天线干扰问题研究

何玉琴¹ 谢 炜²

(1. 南京地铁建设有限责任公司, 210017, 南京; 2. 中车南京浦镇车辆有限公司, 210031, 南京)

摘 要 [目的] 在实际运用中, 由于列车安装环境复杂, 应答器天线受到不同程度的干扰, 有时甚至会影响到应答器正常工作。因此, 有必要开展关于应答器天线干扰问题的研究。[方法] 深入剖析了南京地铁 7 号线列车应答器传输单元(BTM)在调试阶段遇到的信号设备重启故障的根本原因。通过系统性的排查, 逐一分析了被干扰设备、干扰路径及干扰源这三类潜在因素, 最终精准锁定了故障的根本原因。[结果及结论] 经过对故障根源的细致处理, 成功解决了南京 7 号线地铁列车应答器传输单元的重启故障问题, 也为后续设计工作提供宝贵的经验。在地铁车辆的设计与制造过程中, 必须高度重视电磁干扰问题, 从源头上避免干扰源的产生, 合理设计干扰路径的隔离措施, 确保列车在复杂电磁环境中稳定运行。

关键词 地铁; 信号; 应答器; 信号车载主机

中图分类号 U270.38:U231

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.10.042

Study on the Balise Antenna Interference Problem on Nanjing Metro Line 7

HE Yuqin¹, XIE Wei²

(1. Nanjing Metro Construction Co., Ltd., 210017, Nanjing, China; 2. CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China)

Abstract [Objective] Due to the complex installation environment of the train in actual application, the balise antenna is subject to varying degrees of interference, sometimes even affecting its normal operation. Therefore, it is necessary to carry out the research on balise antenna interference. [Method] The signal equipment restart failure encountered by the balise transmission module (BTM) on Nanjing Metro Line 7 during the commissioning stage is taken as the research object. Through systematic investigation, three potential factors of interfered equipment, interference path and interference source are analyzed one by one, and finally the root cause of the fault is accurately identified. [Result & Conclusion] After careful handling of the fault's root cause, the restart fault of the BTM on Nanjing Metro Line 7 trains is successfully solved, providing valuable experiences for subsequent design work. In the design and manufacturing process of metro vehicles, it is imperative to

pay great attention to electromagnetic interference issues. Preventing the generation of interference sources from the source, and designing isolation measures for the interference path reasonably can ensure the stable operation of trains in complex electromagnetic environments.

Key words metro; signal; balise; signal vehicle host

南京地铁 7 号线(以下简称“7 号线”)全自动驾驶列车信号系统采用的是西门子 Trainguard MT (全自动运行列车)系统。该系统是一种基于无线通信的信号控制系统,其中 BTM(车载应答器传输单元)作为高速数据传输设备,负责接收数据报文,是列车自动控制系统的重要基础设备。BTM 负责为车载 ATP(列车自动防护子系统)设备提供控车信息,对于实现全自动驾驶功能至关重要。然而,在实际运用中,由于列车安装环境复杂,应答器天线会受到不同程度的干扰,有时甚至会影响到应答器的正常工作。本文针对 7 号线应答器天线受到的干扰问题进行研究分析。

1 应答器工作原理介绍

BTM 由其主机及车载天线构成。其工作过程为:当列车通过时,应答器向列车发送消息。BTM 将接收到的应答器信息传输给车载主控单元,如图 1 所示。

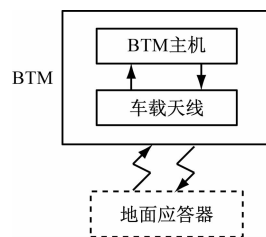


图 1 BTM 设备构成示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the BTM equipment composition

地面应答器是无源设备,不需要提供能量来源,其自身也不具备向外界发送信息的功能。通过

车载 BTM 天线提供能量,应答器才能正常向外传递信息。列车车载设备上电后,车载 BTM 系统在完成上电自检后开始工作。BTM 车载天线周围,当 2.5 ~ 6.0 MHz 的干扰信号强度超过 47 dB(A)/m 时,BTM 报告应答器定位的信息准确度将受到影响,并且 BTM 接收应答器信息的误码率也会升高。

2 故障现象

南京地铁 7 号线全自动驾驶列车采用西门子的 Trainguard MT(CBTC) 系统,在列车两端分别设置一套完整且独立的设备,两端设备直接由通信和数字信号连接。

正常情况下,激活司机室端的 ATO(列车自动运行系统)及 ATP 设备为车辆运行提供防护,非激活端司机室信号主机处于热备状态。当主控端车载信号设备故障时,信号系统立即切换到备用端车载信号设备,并承担控车功能,故障端信号车载设备转入到备用状态。

本项目在正线进行车载信号设备冗余功能试验时,在升弓状态下对两端车载信号设备进行断电,重新上电后两端车载信号设备无法正常启动;报 LBTM5 板自检不通过且板上 LK、BK 橙色指示灯点亮,查询故障定位为信源 A 报文处理锁闭、信源 B 报文处理锁闭。而在列车降弓状态下,重复进

行测试,重新上电后两端车载信号设备均能正常启动。

3 故障原因分析

从以上故障现象来看可能是信息传输过程中受到干扰导致,对于干扰类问题的排查主要有以下 3 点排查方向:①被干扰设备;②干扰路径;③干扰源。

对被干扰设备进行了排查,通过对故障发生端车载设备进行替换,换装新的信号车载主机后故障现象依然存在,基于此判定不是受干扰设备自身存在故障导致。

3.1 应答器周边环境排查

由于故障现场发生的主要场景是在受电弓升起时,信号车载主机检测到应答器自检不通过。升弓前后最大的差异是车辆电气环境中有了 DC 1 500 V 的参与,据此对信号应答器周边电气进行排查,发现信号应答器天线附近有一根接地回流线,且此接地回流线与 DC 1 500 V 之间存在直接关系。

分别从一位端的轴端接线点、车中汇流排处,断开接地回流线(如图 2 所示)进行信号车载主机重启测试。

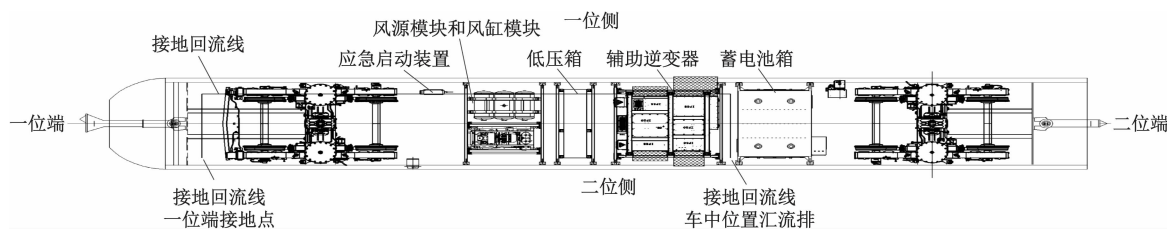


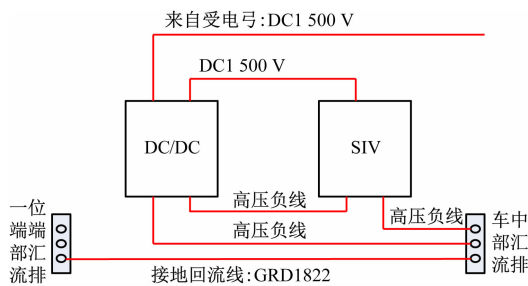
图 2 车辆接地回流线布置图

Fig. 2 Diagram of the vehicle ground return line layout

重复进行信号车载主机重启测试中,发现将接地回流线从车中汇流排处断开后,在升弓状态下车载信号设备能进行重启,从一位端接线点处断开后,不能明显改善故障现场。据此推断出接地回流线作为传输路径传递了电磁干扰,影响了应答器设备的工作。

3.2 应答器干扰源定位

在确定了 DC 1 500 V 接地回流线传递了干扰后,对 DC 1 500 V 的走线路径进行排查,并结合车辆电气原理,如图 3 所示。



注:DC/DC 为应急启动装置;SIV 为辅助逆变器。

图 3 车辆 DC 1 500 V 系统接线关系图

Fig. 3 Wiring relationship of the vehicle DC 1 500 V system

从图3中可以看出,DC 1 500 V 高压由受电弓受电后,依次经过 DC/DC、SIV,途经接地回流线在一位端转向架处的汇流排,连接到转向架轴端处接地回流装置回流到大地。

从图3中可以看出:回流线经过 DC/DC 和 SIV 两个设备,且此两个设备内部均设置有整流逆变电路,都有产生高频电磁干扰的可能,其中 DC/DC 或者 SIV 任意一个设备是干扰源,都会通过接地回流线向一位端传递干扰。

通过分别切除 DC/DC、SIV 进行升弓状态车载信号设备重启测试,结果发现在切除 SIV 后测试故障现象不消失,而在切除 DC/DC 后测试故障现象消失,换端重复试验,情况一致,初步断定对应答器干扰的来源主要为 DC/DC。

DC/DC 应急启动装置内部原理简图如图4所示。

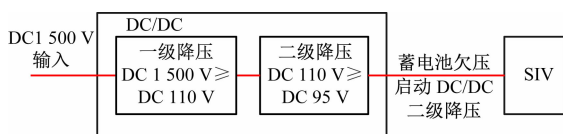


图4 应急启动装置内部原理简图

Fig. 4 Schematic diagram of the emergency starting device internal principle

当蓄电池出现欠压无法启动时,通过操作外部空气开关给 DC/DC 启动信号,控制 DC/DC 启动其二级降压转化得到 DC 95 V 电压给 SIV 供电。其一级降压模块在受电弓升起状态下一直处于工作状态,即不停进行 DC 1 500 V/DC 110 V 转换工作。这使得一级降压模块的功率元件长期处于高频通断状态,在升弓状态下对外产生了干扰。

4 处置措施

在定位到干扰源为 DC/DC 后,结合应急启动装置工作原理,找到了其产生干扰的内在原因,可以从以下几个方面进行改进,以降低干扰所带来的影响。

方案1 优化应急启动装置内部工作原理。

方案2 抑制应急启动装置干扰对外扩散。

方案3 阻断干扰所经过的传输路径。

针对方案1,重新优化应急启动装置内部原理,在应急启动装置未投入工作期间,其内部所有降压模块均不投入工作,从而杜绝降压模块产生干扰的可能。此方案能从根本上解决干扰问题,但是由于

此项目应急启动装置已批量装车,若重新进行设计及试验验证,周期长难以保证项目的正常运营。

针对方案2,在应急启动装置 DC 1 500 V 输入端增加磁环来抑制干扰的强度,以降低产生的影响。应急启动装置内部磁环布置如图5所示。

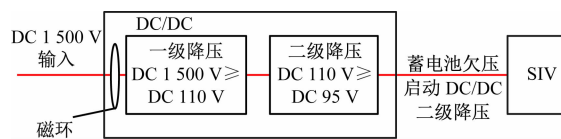


图5 应急启动装置内部磁环布置图

Fig. 5 Layout of magnetic ring inside the emergency starting device

在增加磁环前后对应答器天线的频谱进行测试,均在升弓状态下进行。应急启动装置内部未增加、增加磁环下应答器天线频谱如图6、图7所示。

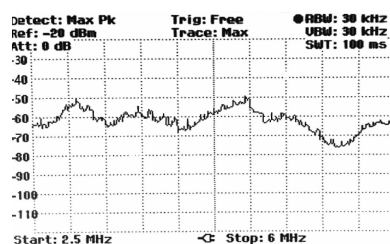


图6 应急启动装置内部未增加磁环下应答器天线频谱截图

Fig. 6 Screenshot of the balise antenna spectrum with no magnetic ring added inside the emergency starting device

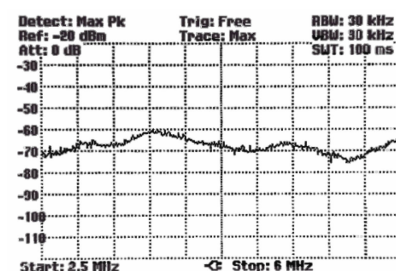


图7 应急启动装置内部增加磁环下应答器天线频谱截图
Fig. 7 Screenshot of the balise antenna spectrum with magnetic ring added inside the emergency starting device

从图6及图7的频谱上可明显看出:加上磁环后,干扰在2.5~6.0 MHz之间得到了较好抑制,并在升弓状态下对其进行重启测试,测试多次信号车载设备均能成功上电启动。这说明在应急启动装置 DC 1 500 V 输入端增加磁环可以明显改善故障。在后续进行了数百次的重启试验,均未再出现故障现象。

考虑到接地回流线传递了应急启动模块所产

生的干扰,由于未在根本上杜绝干扰的产生,因而针对方案 3,在接地回流线上缠绕屏蔽编织网管,在传输路径上降低干扰源干扰的累积影响。

通过方案 2 和方案 3 的应用,进行多次信号车载设备的重启试验,均能成功启动,未再报故障现象,且从频谱上也能看出干扰在很大程度上得到了削弱。可见,以上两种方案的应用能够有效改善应急启动模块的电磁干扰问题。

5 结语

综上所述,地铁车辆中信号应答器天线受到的干扰主要源于 DC/DC 模块。通过增加磁环和屏蔽措施,成功从源头和路径两方面降低了干扰影响。为避免电磁干扰,设计和制造过程中应注意:

1) 干扰源头:电源设备整流逆变时的高频通断是主要干扰源,需优先排查;高频电源与信号天线设备应尽量保持 100 mm 以上距离,必要时增加天线屏蔽罩;避免使用独立式应急启动装置(DC/DC),如使用需确保其 EMC 性能达标。

2) 干扰路径:与电源元件直接相连的电缆应屏蔽处理,并与其他线束隔离;接地回流线应远离信号天线设备。通过这些措施,可有效减少电磁干扰对地铁车辆信号系统的影响。

参考文献

- [1] 中国铁路总公司. 高速铁路信号工程施工技术规程: Q/CR 9607—2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.

China Railway Corporation. Technical specification for construction of high-speed railway signaling engineering: Q/CR 9607—2015 [S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2015.

- [2] 国家铁路局. 高速铁路信号工程施工质量验收标准: TB 10756—2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.

National Railway Administration. Standard for acceptance of signaling works in high-speed railway: TB 10756—2018[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2018.

- [3] 王潇. BIM 技术在铁路弱电行业的应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(6): 79.

WANG Xiao. Application of BIM technique in railway weak current field[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(6): 79.

- [4] 宋微, 林凯, 黄植卓. 车载 BTM 天线电磁干扰耦合规律研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 3(20): 91.

SONG Wei, LIN Kai, HUANG Zhizhuo. Research on electromagnetic interference coupling laws of onboard btm antennas[J], Electric Railway, 2022, 3(20): 91.

- [5] 齐万明, 慕光远, 蒋建挺. 交流牵引市域(郊)铁路车载信号设备电磁干扰防护研究[J]. 长江信息通信, 2024, 37(3): 93.

QI Wanming, MU Guangyuan, JIANG Jianting. Research on electromagnetic interference protection for on-board signal equipment of urban railway[J]. Changjiang Information & Communications, 2024, 37(3): 93.

· 收稿日期:2022-09-29 修回日期:2022-12-30 出版日期:2024-10-10

Received:2022-09-29 Revised:2022-12-30 Published:2024-10-10

· 通信作者:何玉琴,高级工程师,river1970@163.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

(上接第 239 页)

- [2] 赵丹, 王嵩, 代高富, 等. 基于改进相位移法电力机车粘着控制[J]. 计算机仿真, 2015, 32(4): 133.

ZHAO Dan, WANG Song, DAI Gaofu, et al. Adhesion control of electric motor coach based on improved phase shift[J]. Computer Simulation, 2015, 32(4): 133.

- [3] 张佳波, 马法运, 刘天宇, 等. 基于组合校正的城市轨道交通列车轮轨黏着控制方法研究[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(3): 140.

ZHANG Jiabo, MA Fayun, LIU Tianyu, et al. Wheel/rail adhesion control of urban rail transit vehicle based on combined correction method[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(3): 140.

- [4] 高翔, 张波. 电力机车黏着控制分析[J]. 铁道机车车辆, 2011, 31(3): 22.

GAO Xiang, ZHANG Bo. Analysis on adhesion control of electric locomotive[J]. Railway Locomotive & Car, 2011, 31(3): 22.

· 收稿日期:2022-06-28 修回日期:2024-05-13 出版日期:2024-10-10

Received:2022-06-28 Revised:2024-05-13 Published:2024-10-10

· 通信作者:张佳波,高级工程师,15898876995@163.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