

南京机场线电客车 MVB 网络架构分析与改进

曹 宁

(南京地铁运营有限责任公司 江苏南京 210012)

摘 要: 针对南京地铁机场线在 2022 年底连续发生的 2 次因车辆网络问题导致的救援事件, 南京地铁决定成立机场线车辆网络攻关小组, 从机场线车辆 MVB 网络通信架构、MVB 中继器、MVB 通信线缆、ESCB 断路器冗余等方面着手, 对机场线车辆 MVB 网络进行分析, 最终决定进行机场线所有电客车的 MVB 网络改造工作。另外采用网络设备连接器检查; 使用网络测试仪、PUTY 软件等多种手段监控电客车 MVB 网络实时通讯状态等措施, 多管齐下, 力求从根本上解决机场线电客车 MVB 网络故障这一病害, 保障南京地铁机场线列车正线运营安全。

一、背景简介:

南京机场线北起南京南站南至空港新城江宁站全长 37.3 千米, 车队共有列车 15 列, 均为 6 编组 B 型车设计。电客车网络控制系统采用符合 IEC 61375-1 标准的双通道 MVB 网络, 数据传输速率可以达到 1.5Mbit/s。

自 2014 年开通运营以来频繁发生网络故障, 严重影响列车正线运营, 2020 年 6 月牵头主机厂研究决定将 MVB 网络中继器(网络信号放大器)位置从 C 车二位端电器柜移至 B 车二位端电器柜内, 对 MVB 网段进行重新分割, 以求减少每段 MVB 网络通信长度, 以降低外部原因对 MVB 信号的影响, 保证 MVB 网络通讯质量。中继器位置变更完成后故障率略有降低, 但仍未能从根本上解决问题, 正线及库内检修时网络故障仍时有发生。2022 年底机场线电客车连续 2 次发生由于网络崩溃导致的正线救援事件, 给机场线列车的网络通信质量及正线运营蒙上了阴影。

二、故障分析

(一) 直接原因分析

第一次救援事件经检查确认故障原因为列车车下辅助逆变器箱内一个负责与网络通讯的 MVB 连接器松脱导致网络崩溃, 加之司机处理故障过程中启用紧急牵引模式时失误, DCH 手柄未能放置在制动区, 导致列车紧急牵引模式未激活, 无法动车。恢复该网络连接器后故障消失, 可以正常动车(故障位置见图 1)。

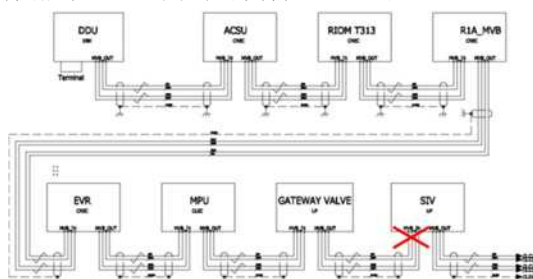


图 1

第二次救援事件经检查确认故障原因有两点:

一是列车上部分网络连接器螺栓缺失, 导致连接器未能完全紧固造成网络通讯异常崩溃。RIOM T313 设备因此无法正常工作, 造成其内部给辅助逆变器信号的触点异常;

二是 ESCB 断路器可能由于 ALIMK 接触器电气元件内部故障或人为误碰等原因导致跳开; 二者故障叠加导致辅助逆变器无法通过网络或者硬线收到外部环境正常信号(ALIMK+), 无法启动风扇

给牵引逆变器散热, 继而导致牵引逆变器过热锁死, 列车无中压, 空压机停止工作, 主风压力低于 6bar 时列车施加紧急制动。司机切除 ATP 后, 操作紧急制动旁路开关, 按下制动旁路按钮, 列车紧急制动缓解。司机立即推牵引, 但由于此时高速断路器未闭合, 列车无高压至牵引箱, 无牵引力输出, 列车制动缓解导致溜车, 最终启动救援程序(见图 2、图 3)。

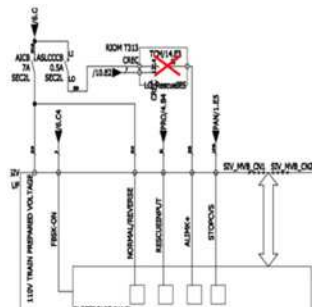


图 2

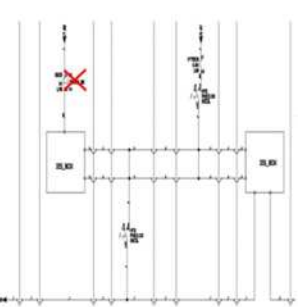


图 3

(二) 技术原理分析

第一次救援分析: 机场线列车网络采用 MVB 总线通信, 采用网络设备串行连接架构, 两端 A 车各有一个 MPU(网络主控制单元)且互为冗余。由于机场线网络为串行连接方式, MVB 主干线采用了 2 对四芯屏蔽绞线电缆, 为串行连接方式 A、B 通道冗余, 进行的 MVB 数据传输, 设备能够通过任意一条线路收发数据以此实现冗余功能。但每个连接器中集成两个通道的 MVB 信号接线, 当任意一个网络插头存在松脱等异常情况时会同时影响整车 A/B 网络通道状态, 导致网络信号异常, 无法正常发出牵引制动等指令, 造成列车网络模式下无法正常动车。

综上分析, 机场 2022 年底第一救援事件是由于辅助网络连接器松动导致, 该连接器内置 A/B 双通道电路, 导致 A/B 通道同时发生故障, 最终导致救援。机场网络串行结构设计在本次事件中充分暴露其冗余功能的不可靠性。

第二次救援分析: 根据原理图分析, 网络故障以后, RIOM T313 内部触点位置异常, 导致 ALIMK+ 信号无法通过网络信号传递; 又因为 ESCB 断路器不明原因跳开, 导致 110V 列车永久电压无法通过 ESCB 断路器, 经过 B1 车 IES_BOX、B2 车 IES_BOX 回到 A1 车 RIOM T313 内部触点, 最后至 A1、A2 车辅助逆变器箱内部 ALIMK 接触器(见图 2、图 3)。本次救援是因为是由于网络通讯崩溃叠加 ESCB 断路器异常跳开导致, 也反映出机场线 ESCB 断路器在参与辅助逆变

器控制过程中冗余功能的缺失。

三、应对措施

经对机场线网络深入研究,充分考虑安全性与可用性,决定从以下几点入手,采取改造及设备产品替代的方式解决网络问题。

(一) 应对措施

1.采用 MVB 网络并联式架构(T型架构)

为提升机场线列车网络可靠性,决定采用 2 对双芯屏蔽绞线电缆替代原有的 1 对四芯屏蔽绞线电缆,充分实现 A/B 通道冗余。这 2 组相互独立布置的 MVB 电缆可充分保证列车控制系统的可靠性,单一通道的故障不会影响另一通道的信号传输。

2.采用 A/B 通道完全分开的 MVB 连接器

采用带电路板的 HartingMVB 连接器替代原有无电路板型连接器,每个连接器只负责一个通道的电路接线,单个插头松脱不会同时影响 A/B 通道网络通信,仅影响单个通道中的该设备网络通信功能,但该设备仍可通过另一通道连接器实现网络通信,不会影响该设备及列车网络正常使用,充分实现冗余功能。

3.中继器型号变更

中继器方面,机场线现状是列车的 Mp1 和 Mp2 车厢中各一台中继器电子设备。A/B 两路冗余通道信号都在一台中继器进行中转,无法实现信号的冗余传输。

为提高网络冗余性和可用性。同时考虑到产品供货周期、维护成本及后续南京地铁 6 号线与机场线贯通运营等因素。经与浦镇、SATEE 厂家充分沟通论证,将原中继器型号进行变更,变更后的中继器可实现 A/B 通道信号完全独立,以保证网络冗余功能。

4.ESCB 冗余功能改造

为了实现辅助逆变器 ALIMK+信号供电的冗余性,在原车仅有一个 ESCB 断路器的基础上,在 B2 车 IES 箱及 B1 车 IES 箱接口处新增一个相同功能的断路器,并对原有 IES 箱内接线进行整改调整,并对新接入的 ESCB 监控信号更新升级网络配置文件。

整改后由 2 个 ESCB 各负责远端一个辅助逆变器的外部信号输入,两端辅助逆变器 ALIMK+信号电路实现完全独立供电,充分实现冗余功能。具体电路原理如下图 4 所示。

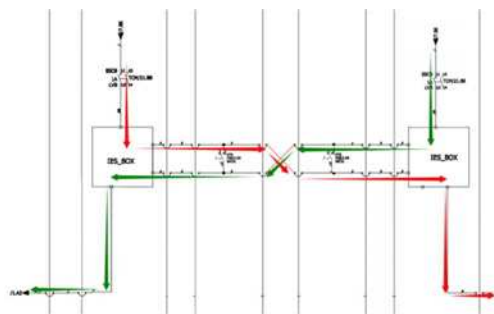


图 4

5.牵引和辅助箱网络连接器适配

本次列车网络新的升级改造采用带内置电路板卡的 A/B 通道分开的冗余连接器,因此牵引逆变器箱及辅助变流器箱内部的 MVB 网络接线需要做相应的调整,将 A/B 通道隔离开来,具体工作包括更换原有牵引/辅逆箱体对外 MVB 连接器、增加独立的 MVB A/B 通道线缆和箱体内部原有线路调整。

6.加强列车网络管控措施

I.加强定期检查

结合全效修程或通过专项检查进行网络插头普查,每月至少一次,并对检查结果进行记录。对于发现的插头故障及时进行处理;对于难以处理的插头故障,须采取临时措施保证插头紧固到位,确保不影响车辆正线运营。

II.网络状态监测

研究借助网络测试仪、PUTY 软件等实时查看网络通讯波形,监控网络状态检测的方法,重点监控 A 通道或 B 通道断开时另一通道的网络通信状态。

(二)功能测试

网络改造布线工作完成后,对车辆进行上电静态调试及试车线、末班车加开等动态调试。

静态调试内容包括:

- 1.依次测量单个通道电阻值,与正常值比对;
- 2.依次拆卸设备单个 MVB 连接器,检查 DDU 界面有无网络故障;
- 3.依次断开中继器单个通道断路器(或连接器),DDU 界面有无网络故障。

动态调试内容包括:

- 1.各手柄模式下的牵引制动及限速功能;
- 2.紧急牵引模式下的牵引制动功能;
- 3.BBS 旁路功能;
- 4.60km/h 下的紧急制动、快速制动、常用制动功能。

四、结语

电客车网络控制系统是一个综合性的列车控制、监控、诊断及显示系统,是电客车安全运营的“神经网络”,其对于网络架构的安全性、可靠性提出了较高的要求。而冗余保护机制则在其中起到至关重要的作用。

经对南京地铁机场线 2022 年底两次网络故障救援事件的深刻总结、反思,车辆分公司组织攻关小组对机场线列车网络控制系统进行了深入研究,对机场线原有网络架构设计中“冗余功能”缺失情况进行深刻研究,最终牵头浦镇及 SATEE 进行原有网络架构的升级改造,以提高列车网络控制系统的冗余性和安全性。

目前南京地铁机场线首列车的网络架构改造工作已完成,上线载客运行已半年有余,未再发生任何网络故障。期间不定期使用网络测试仪跟踪网络状态,发现网络通讯波形良好,进一步验证了机场线网络架构改造的可靠性。后续列车的改造工作也将陆续开展,助力机场线的安全平稳运营。

参考文献:

- [1]刘建伟,谭南林,焦凤川,等.多功能车辆总线系统性能分析[J].铁道学报,2006,28(6):83-87.
- [2]敖斌.城轨车辆列车监控系统的设计及应用[D].南昌:华东交通大学,2020.
- [3]徐培丽,陈超录.北京地铁房山线列车网络监控系统[J].现代城市轨道交通,2011(2):79.
- [4]赵国平.城轨车辆列车监控系统的设计及应用[D].大连:大连交通大学,2014.