

列车通信网络故障处置及故障模式分析

高 阳¹ 吕 默¹ 崔光武²

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司国家轨道客车工程研究中心, 130062, 长春;

2. 武汉力德仪测科技有限公司, 430074, 武汉 // 第一作者, 工程师)

摘 要 基于列车通信网络的常见故障问题,总结了列车通信网络现场检测方法。在现场检测中,对帧错误、过程数据、帧间隔、信号幅值、信号上升沿时间及干扰等项目的测试实用性较高。梳理了列车通信网络现场故障处理案例的主要处理过程及测试结果,总结了列车通信网络故障发生模式,归纳了排查列车通信网络故障的一般步骤。

关键词 列车通信网络;故障处置;故障模式分析

中图分类号 U285.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.04.031

Train Communication Network Failure Disposal and Failure Mode Analysis

GAO Yang, LYU Mo, CUI Guangwu

Abstract Based on the common failures of train communication network, train communication network on-site detection method is summarized. For on-site detection, the test practicality on items such as frame-to-frame error, process data, frame interval, signal amplitude, signal rising edge time and disturbance is higher. The main treatment process and test results of train communication network on-site failure disposal cases are sorted. The train communication network failure modes and the general steps of troubleshooting train communication network failures are summarized.

Key words train communication network; failure disposal; failure mode analysis

First-author's address National Engineering Research Contory of Railway Vehicles, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

列车通信网络技术作为现代列车的关键技术,近20年来已在世界范围内得到了广泛应用。1999年6月起,IEC 61375系列国际标准的陆续发布,使铁路各主机厂和设备供应商有能力在世界范围内实现不同车辆间的相互操作和插入式设备的连接^[1]。

针对列车通信网络故障制定高效、准确的现场判断与解决方案,是目前各运维部门及厂商面临的

新挑战。本文基于列车通信网络故障现场诊断实例,探讨故障诊断及处置方法,分析故障模式,总结列车通信网络故障现场诊断的一般经验。

1 列车通信网络故障的现场诊断方法

1.1 常见问题

随着我国列车通信网络产品的大规模普及,各类故障问题也日益突出。例如:车辆设备供应商网络接口的设计规范不完全一致,存在安全隐患;不同列车通信网络产品互联时,网络故障时有发生等。由于网络故障的专业性要求较高,各运维部门网络故障检测能力普遍偏低,即便是设备厂家,由于缺乏底层数据依据很难快速定位故障原因,导致故障解决周期太长。在列车运营过程中,由于设备兼容性、线缆磨损、接头松动等原因,网络通信的信号质量会持续发生变化,网络故障隐患会伴随列车全生命周期。一旦列车交付到运营现场,网络故障判断和处理将变得成本高昂。列车通信网络调试没有依据过程节点形成完整报告,调试质量缺乏判断标准。

1.2 现场诊断方法

根据 IEC 61375 标准相关参数要求,现场诊断及定位需采用带有物理层及协议层数据分析的专业工具,而不依赖于网络或车辆厂家提供的司机屏建议故障提示。列车通信网络发生故障后,需结合实际情况,从网络物理层实时提取相关数据,并对网络拓扑、网络端口配置表、帧头等十余项内容进行分析排查,最终完成现场诊断。

根据既有经验,以下6项检测的实用性较高:① 帧错误检测。检测网络中是否存在帧头或帧尾错误。一般出现帧错误的原因有端口冲突、地址冲突、信号质量过差、车载设备网络接口设计不规范等。② 过程数据测试。检测是否存在端口丢失、冲突、长度不符;端口周期是否与网络设计吻合;快速查看端口列表,确认端口数量及类型;快速查看各

端口的查询-应答情况,并对异常状况定位分析。③ 帧间隔检测,测试主、从帧之间的时间间隔。间隔过小或过大,均可能导致网络设备无法识别从帧,网络设备的设计及中继器性能会影响此项测试结果,分析帧间隔情况,对超出设计要求的设备进行快速定位和分析,并定量分析中继器对帧间隔的影响。④ 信号幅值检测,衡量远端网络的驱动能力。如果信号幅值过小,则可能造成通信异常,需要一种便捷的手段,快速衡量在网络中不同位置的信号强度瓶颈,规避风险。⑤ 信号上升沿时间检测。线缆老化、连接头松动、网络设计阻抗不匹配等原因都会导致信号边沿时间过长,进而引起各种不同的故障。⑥ 干扰测试。列车通信网络中可能存在一些周期性或者非周期性的干扰信号,其可能是车载设备内部产生的,也可能是从电网中引入的;端口、帧头及 CRC(循环冗余校验)等项目的测试结果都可能因干扰信号而产生异常,通过测试,确认是否存在干扰信号;如果存在干扰信号,则需分析其周期性,以便定位干扰来源。

2 典型故障的现场诊断案例

我国某地铁列车在运行过程中经常出现 TCC

(列车控制中心)网络通信中断故障(报警界面如图 1 所示),随即恢复正常。该故障的发生没有任何规律。经反复调查,采用常规的对调故障设备,更换线缆,刷新程序等常规手段都未能确定故障点。

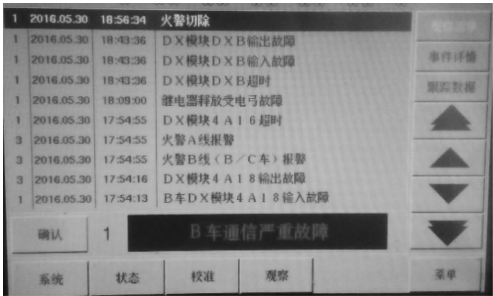
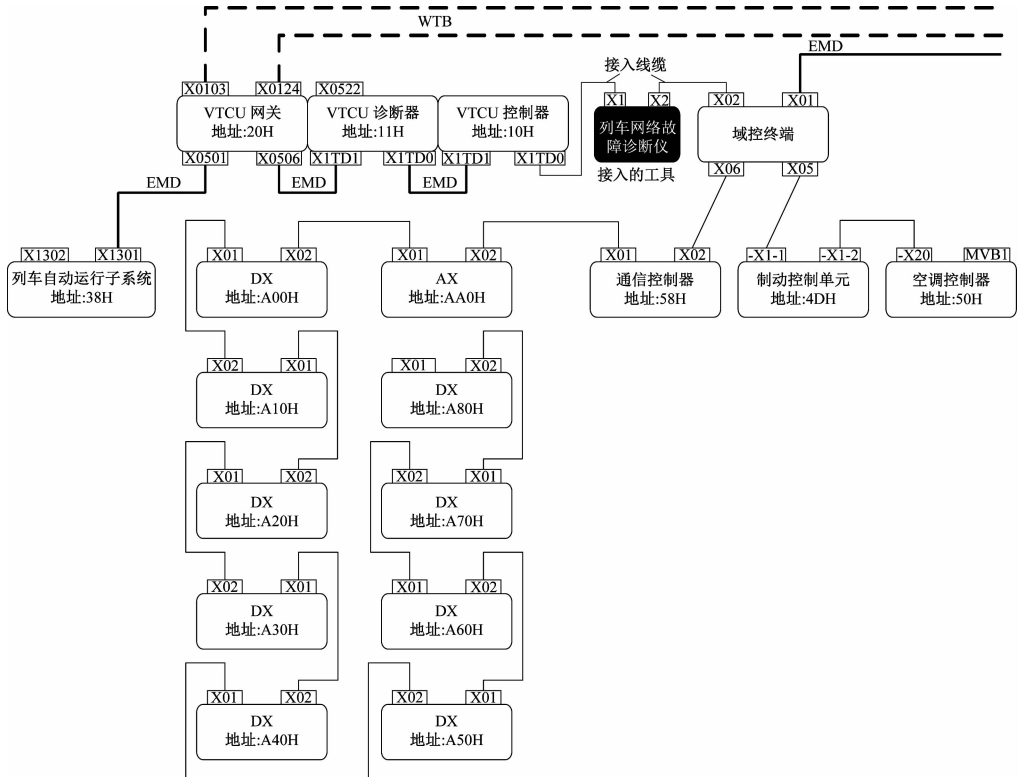


图 1 B 车通信故障报警界面

Fig. 1 Warning interface of train B communication failure

2.1 主要处理过程

在现有网络拓扑结构中,一级网络采用 WTB(绞线式列车总线),二级网络采用 MVB(多功能车辆总线)中距离电介质(Electrical Medium Distance, EMD),三级网络采用 MVB 短距离电介质(Electrical Short Distance, ESD),其详细协议标准参考 IEC 61375 标准。首先,进行 EMD 网络接入测试。接入拓扑示意图见图 2。



注:——为三级网络 ESD;VTCU 为车辆跟踪与控制单元;X01 等为端口接头编号;AX(模拟信号输入/输出);DX(数字信号输入/输出)。

图 2 网络接入拓扑示意图

Fig. 2 Diagram of network accessing topology

列车网络故障诊断系统中,二级网络帧总览截图如图 3 所示。由按未响应数量排序的帧总览情况可见,A00、AA0、A80、A70、A60 及 A20 等端口有丢帧现象存在。此类端口主要集中在 B 车的 AX 及 DX 模块等三级网络区域。



图 3 二级网络帧总览截图

Fig. 3 Screenshot of secondary network frame overview

之后,在出现故障车辆的 B 车,将列车通信网

络故障诊断仪按照图 4 所示位置接入三级网络。在帧总览模式下,对总线上所有端口的数据进行采集。帧总览模式下的端口数据采集结果如图 5 所示。由图 5 可知,较多端口存在帧响应异常,帧未响应数量较多。这说明三级网络的通信质量较差。提取故障 A 车的三级网络波形如图 6 所示。通过其他车辆的相关测试数据,得到正常车辆的三级网络波形如图 7 所示。对比图 6 及图 7 可知:故障 A 车的通信网络中存在较为明显的噪声干扰,故导致通信异常;该噪声来源于三级网络。

为进一步排查故障,将列车网络故障诊断仪短接入网(如图 8 所示)。最终确认,主要异常模块是端口地址为 AA0H 的 AX 模块。

2.2 测试结果

在 B 车三级网络中,故障的 AX 模块随机向外发噪声,导致网络工作异常及设备掉线。更换 AX 模块后,此列车功能恢复正常。

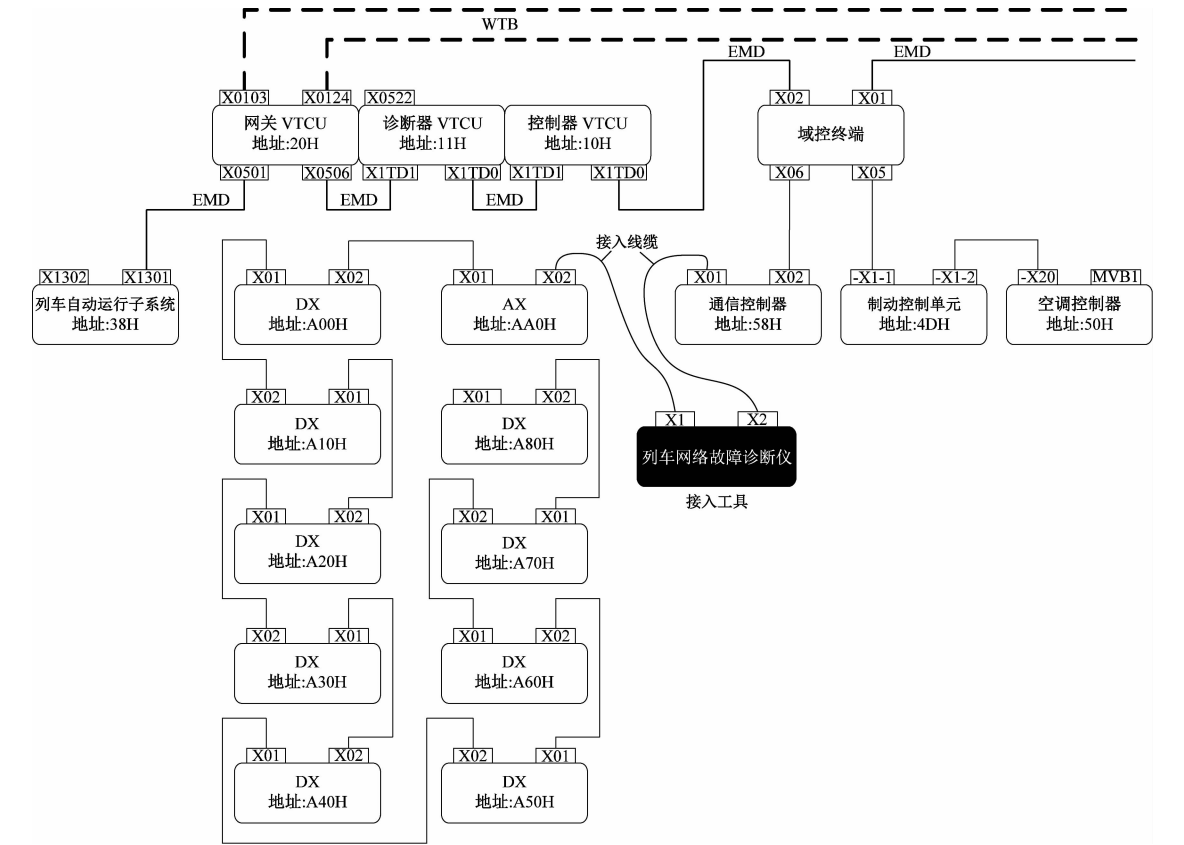


图 4 列车通信网络故障诊断仪接入示意图

Fig. 4 Diagram of train communication network failure diagnosis device access



图 5 帧总览模式下的端口数据
采集结果截图



图 6 故障 A 车的三级网络
波形截图

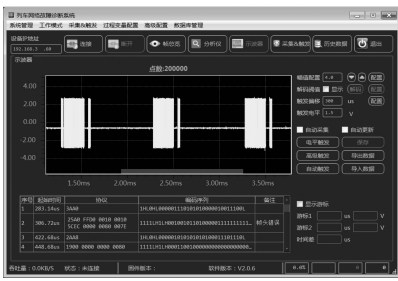


图 7 正常车辆的三级网络
波形截图

Fig. 5 Screenshot of end data collection
results in frame summarization mode

Fig. 6 Screenshot of three-level
network waveform of faulty train A

Fig. 7 Screenshot of three-level
network waveform of normal train

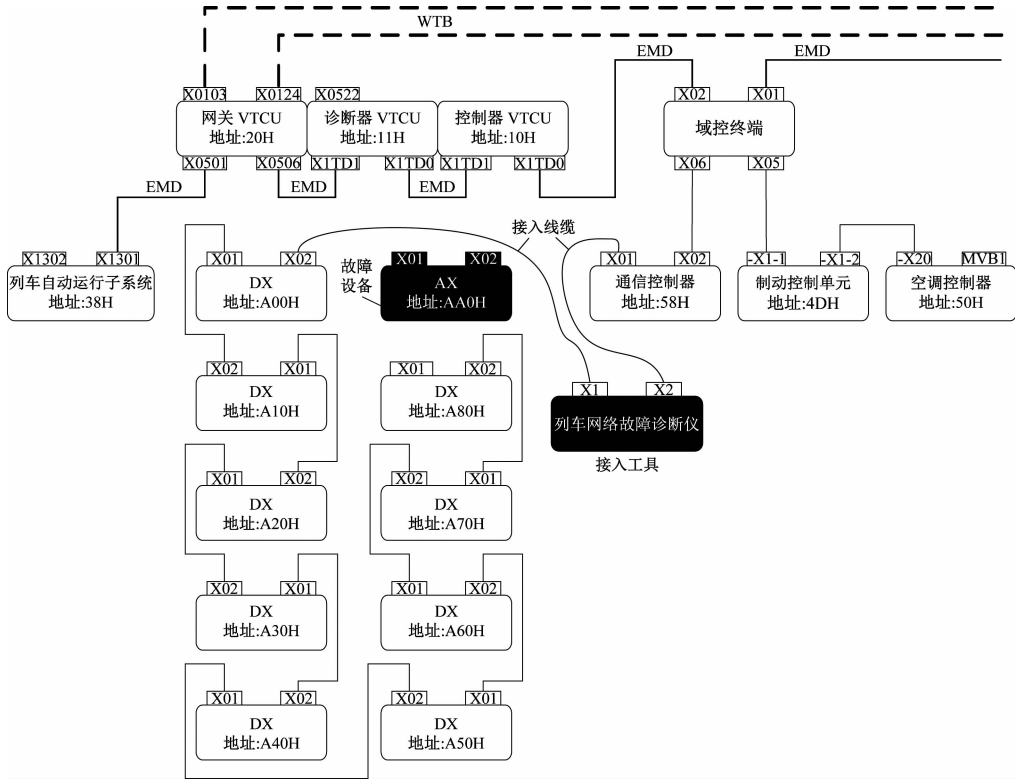


图 8 列车通信网络故障诊断仪短接入网示意图

Fig. 8 Diagram of train communication network failure diagnosis device short access

3 列车通信网络故障模式分析

3.1 故障模式类型

根据列车通信网络拓扑结构及故障类型总结,列车通信网络故障模式主要分为以下几大类:

- 1) 列车通信网络板卡通信应答故障。此类故障由板卡设计缺陷及器件老化等问题导致。
- 2) 中继器转发故障。不同厂家对一致性协议的解读存在差异,进而导致中继器转发波形存在故

障。例如:在标准描述中,当帧间间隔小于 $2\ \mu\text{s}$ 时,不预期中继器能正确接连转发间隔过近的帧;对于“帧间间隔是否包含起始及终止分节符”,不同厂家的解读不同。

3) 线缆接头松动或终端不匹配故障。连接头虚接会造成阻抗过高,导致波形畸变;终端不匹配也会产生类似问题。

4) 电磁兼容性能下降导致的线路噪声问题。板卡老化,或接地、滤波及线缆屏蔽层发生磨损破

坏等,都会使通信设备或介质的局部抗 EMI(电磁干扰)特性显著下降。由此产生的噪声叠加在通信网络中,就会导致通信网络的随机故障。

3.2 故障排查方法

列车通信网络故障的排查流程如图 9 所示。

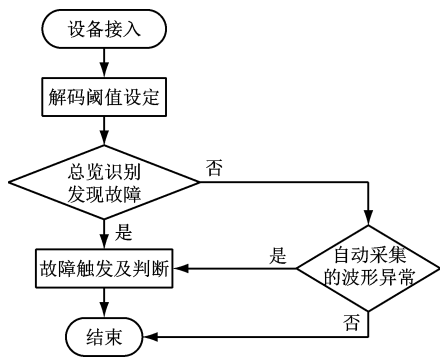


图 9 列车通信网络故障排查流程图

Fig. 9 Flow chart of train communication network failure troubleshooting

排查步骤说明:

1) 检测设备接入位置。若已知报故障设备,则检测设备接入报故障设备处;若报故障设备信息未知,则检测设备接入主设备所在位置。

2) 解码阈值的设定。在示波器界面下用自动触发采集波形后,设置合适的解码阈值,使其适应于 ESD、EMD 及 WTB 的各种协议,以及不同厂家的幅值条件。

3) 总览识别。在总览模式下采集 1 min 左右数据,观察是否有丢主帧、异常丢从帧、帧头错误或 CRC 异常等故障。

4) 若无故障,则自动触发波形图功能,展示信号质量情况;若有故障,采用帧头异常、CRC 异常或无法解析等高级触发模式进行触发采集。

4 结语

列车通信网络控制系统集监测、控制及管理为一体,是列车运行控制的中枢神经和指挥中心,是保证列车正常运行的关键设备之一。列车通信网络故障的快速诊断与修复,是列车运营保障的重要

内容。

本文通过对列车通信网络故障排查典型案例的分析,总结了列车通信网络故障发生的模式,梳理了现场排查的基本操作步骤,为列车通信网络现场排查提供了宝贵经验。

参考文献

- [1] 常振臣,李强. CRH380CL 高速列车网络控制系统[J]. 电力机车与城轨车辆, 2017, 40(3): 1.
CHANG Zhenchen, LI Qiang. Network control system for CRH380CL high-speed EMU[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2017, 40(3): 1.
- [2] 常振臣,牛得田,王立德,等. 列车通信网络研究现状及展望[J]. 电力机车与城轨车辆, 2005, 28(3): 5.
CHANG Zhenchen, NIU Detian, WANG Lide, et al. Research state and prospects of train communication network[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2005, 28(3): 5.
- [3] 韩霜. 列车网络控制系统软件可靠性分析及研究[J]. 制造业自动化, 2017, 39(4): 139.
HAN Shuang. Analyzing and researching on software reliability of TCMS[J]. Manufacturing Automation, 2017, 39(4): 139.
- [4] 高枫,赵红卫,黄志平,等. 高速动车组列车网络控制系统自主化研制及应用[J]. 铁路技术创新, 2015(2): 77.
GAO Feng, ZHAO Hongwei, HUANG Zhiping, et al. Independent development and application of network control system for high-speed EMU trains[J]. Railway Technical Innovation, 2015(2): 77.
- [5] 仇俊伟. 高速列车网络控制半实物仿真平台设计与集成[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
QIU Junwei. The design and integration of high-speed train hardware-in-the-loop simulation platform[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [6] 沙森,王伟,徐建波. CRH5 型和 CRH3 型动车组列车网络控制系统的比较[J]. 铁道车辆, 2012, 50(1): 25.
SHA Miao, WANG Wei, XU Jianbo. Comparison of train network control systems for CRH5 and CRH3 multiple units[J]. Rolling Stock, 2012, 50(1): 25.
- [7] 李洋涛. TCN 列车网络技术现状与发展[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012, 12(1): 4.
LI Yangtao. State and development of TCN train network technology[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2012, 12(1): 4.

(收稿日期:2022-08-01)