

动车组网络WTB总线A/B路通信故障的原因分析及处理

张喆清

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司 山东 青岛 266111)

【摘要】TCN (列车通信网络) 采用WTB+MVB网络架构, 由列车总线WTB (绞线式列车总线) 和车辆总线MVB (多功能车辆总线) 组成。WTB总线为列车级通信总线, 应用于编组间的互联, 能实现编组间的协同操作。

【关键词】动车组; 网络控制系统; 故障原因; 分析处理

引言

网络控制系统是高速动车组的核心技术之一, 该系统决定着高速动车组的正常运行状况。WTB总线为动车组网络控制系统的列车级通信总线, WTB总线为双路冗余, 分为A线和B线, 对于故障原因和处理方法进行分析, 能够有效提高网络控制系统的故障检修效率和质量, 进而提高动车组的运行安全稳定性。文章首先介绍了网络控制系统WTB总线及WTB A/B路诊断的工作原理, 其次介绍了WTB总线A/B路的故障原因及处理方式。

一、动车组网络控制系统的WTB总线及A/B路诊断工作原理

(一) WTB总线原理概述

动车组TCN网络由两级分层结构构成, 分别对应为连接各个车辆的绞线式列车总线WTB (Wired Train Bus) 和连接车辆 (或固定编组的车辆单元) 内部各个设备的多功能车辆总线MVB (Multifunction Vehicle Bus), 两级总线之间通过网关互联^[1]。WTB总线和MVB总线, 均为两路冗余。

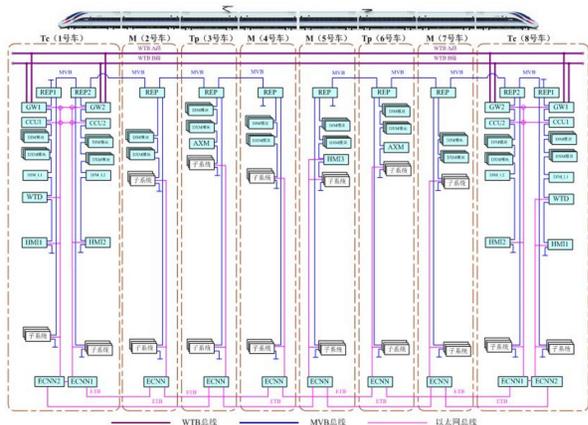


图1 网络系统拓扑示例

WTB总线遵循IEC61375标准, 由网关控制, 处理MVB单元间的数据通信, 允许重联操作。WTB总线可动态配置, 即挂在总线上的单元数可变。列车拓扑图如图1所示:

(二) 绞式列车总线WTB工作原理介绍

1. WTB线缆

WTB是一种串行数据通信总线^[2], 主要用于编组互联, 传输列车级控制指令及状态信息。

WTB采用屏蔽双绞线, 要求有较高的机械连接性能。使用该种介质可以达到1Mbit/s通信速率, 长度为860m, 对应22节26m长的UIC列车。可连接至少32个节点。WTB线缆为贯穿全列的网络通信线缆, 属于动车组第三类型低烟无卤阻燃通信网络用电缆, 符合《IEC61375-2-1 铁路电子设备—列车通信网络(TCN)—绞线式列车总线(WTB)》、《TJ/CL 313-2014 动车组电线电缆暂行技术条件》要求, 其性能参数对网络通信影响及要求如下:

(1) 机械要求

电缆节应由一个有两个导体、绞线式的、可屏蔽的、带护套的电缆组成, 导线每米至少应绞12次。

(2) 信号衰减

输入正弦信号频率为1MHz时, 要求线缆对信号衰减小于10 dB/km;

输入正弦信号频率为2MHz时, 要求线缆对信号衰减小于14 dB/km;

(3) 特性阻抗

输入正弦信号频率为0.5MHz-2MHz时, 要求线缆特性阻抗为 $120 \pm 12 \Omega$ 。

(4) 分布电容

电缆的差分(线对线)分布电容在频率为1MHz时不应超过65pF/m;

作者简介: 张喆清 (1992-), 男, 汉族, 安徽蚌埠, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 网络通信。

(5) 电缆对屏蔽层的电容

电缆对屏蔽层的分布电容在频率为 1MHz 时不应超过 1.5pF/m。

(6) 转移阻抗

输入正弦信号频率为 20MHz 时, 电缆的转移阻抗应小于 20.0mΩ/m。

(7) 绝缘电阻 (20℃)

在 20℃ 环境, 要求 > 100MΩ/km

2. WTB 连接器

WTB 采用 DB9 连接器, 连接器的电气特性 (屏蔽接地方式、插针、耐压) 和机械特性 (安装接口、线缆匹配关系) 应符合设计要求。

(1) 电气特性

A. 屏蔽接地方式。通讯电缆能够通过连接器外壳实现屏蔽层的可靠接地, 连接器壳体通过设备外壳与车体接地。

B. 接触电阻。根据 IEC61375 标准要求, 接触电阻应 < 10mΩ。连接器的压接针表面因采用镀金镀层, 降低接触电阻。

C. 耐电压。应满足 GB/T 25119-2010 的规定, DC110V 电压等级对应 1000V 基准耐压值, 耐压持续时间建议为 1 分钟。高海拔工况下, 参考 GB/T 311.1-2012 标准中有关规定进行高海拔系统修正, 常用海拔与修正系数关系对应如下 (海拔 2000m: 1.13; 海拔 3600m: 1.35; 海拔 4000m: 1.45)。

(2) 机械特性

A. 安装接口。单线路要用 2 个连接器, 冗余线路需用 4 个连接器。连接器采用公制螺纹。

B. 线缆匹配关系。连接器支持标准推荐的线缆横截面积, 支持的线径 (包括绝缘层) 应与线缆匹配, 应选取适合线径的线缆密封圈或法兰。

(三) WTB 总线 A/B 路诊断的工作原理

1. 故障机理

列车总线 WTB 物理层上采用一对双绞线 (A 线和 B 线) 连结的冗余结构, 一条线定义为信任线, 另一条定义为监视线。如果信任线 (假定为 A 线) 出现故障, WTB 网关上的冗余控制单元将切换 B 线为信任线, 车辆控制单元将采用 B 线的数据。

重联时, 从网关 WTB1 DB9 连接器开始, WTB 线缆经气密墙连接器, 连接到电钩尾部连接器, 经电钩接触体后, 到达重联另一端气密墙连接器, 再到网关 WTB3 DB9 连接器, WTB A 路变成另一个车的 WTB B 路, 故障时若 WTB 单路受干扰, 一个车报 WTB A 路故障, 另一个车报 WTB B 路故障。

2. 故障报出原理

WTB 总线通过 A、B 两路同时进行数据传输, 实现链路冗余。网关内部通过信号处理器对两路总线波形进行识别解码。WTB 总线 AB 两路同时传输相同的数据帧, 其结构分为前导码、帧数据与终止符三个部分: 前导码用于判定数据帧起始, 终止符为数据帧结束。

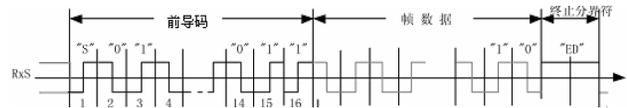


图 2 WTB 数据帧结构示意图

网关检测线路受扰的条件如下:

①当 WTB 信任线或冗余线的接收解码器识别了前导码, 但帧数据非正常波形; ②当 WTB 信任线收到前导码, 但冗余线超时未识别前导码, 则送出监视线受扰信号; ③网关模块检测到 WTB 数据信任线或冗余线 CRC 校验错误, 则送出该通道受扰信号。

当 WTB 总线收发器送出 A 线或 B 线的受扰信号后, 网关应用程序持续一定时间读取到该受扰信号, 则上报 WTB A 路或 B 路通信故障。当网关信号处理器接收到有效帧 (前导码、帧数据、终止符均正常), 则撤销该受扰信号, 故障消除。

切线逻辑: 网关的冗余控制单元识别出信任线的受扰, 监视线正常后, 在 64μs 内完成切线。WTB 数据传输周期为 25ms, 切线时间 64μs 远小于 25ms, 切线最多造成 1 帧丢失。

若 WTB A/B 线频繁切换, 说明 WTB 总线的物理层有受到较强的干扰, 基于物理层通信之上的链路层和数据通信会出现丢包, 如持续丢失 10 个周期端节点数据, 则会引发初运行。考虑最恶劣的情况, 250ms 持续发生切线, 则会引发初运行。

若 WTB A/B 路同时受扰, 则不报 WTB A/B 路通信故障, 从主网关接收不到端节点数据帧开始, 连续 10 包数据帧丢失, 则会触发 WTB 初运行。

3. 电气车钩信号传输原理

动车组电气车钩连挂对接后, 线路中的电信号传输通过重载端—线缆—重联车钩 (插针—插孔/动—静触头)—线缆—重载端, 实现信号的传输。

其中动—静触头用于主要传输 DC110V 电信号, 插针—插孔用于传输网络信号, 因插针—插孔在列车运行过程中相对运动量小且接触部分防护性更佳, 故用于传输网络等敏感信号。

二、WTB 总线 A/B 路故障分析

(一) 故障原因分析

WTB 总线 A/B 路故障可能原因如下：

1. 线路阻抗不匹配引起回波反射

特性阻抗不匹配会引起信号反射，回波损耗大，返回的信号可能被误认为是收到的信号而产生信号混乱。

输入正弦信号频率为 0.5MHz-2MHz 时，要求 WTB 线缆特性阻抗为 $120 \pm 12 \Omega$ 。

2. 电钩接触不良

电钩插针表面存在脏污和磨损，或者插拔力不足，可能会影响插针插孔间的接触电阻，导致报出故障。

电钩 WTB 连接器接触电阻应 $< 10m\Omega$ 。

3. WTB 电缆屏蔽不良

可能存在屏蔽压接不良，导致屏蔽不连续，电磁干扰导致信号传输不良。

要求通讯电缆能够通过连接器外壳实现屏蔽层的可靠接地，连接器壳体通过设备外壳与车体接地。

4. 重载连接器接触不良

重载连接器接触电阻过大，导致阻抗不匹配，导致故障报出。

5. 网关模块通道故障

网关模块通道故障可能导致故障报出。

(二) WTB 总线 A/B 路故障的处理方法

1. 故障记录下载

(1) 通过显示屏查看历史故障界面，记录故障发生的时间和故障消除的时间。

(2) 通过 PTU 软件下载车载数据，查看故障报出时的工况，分析车辆运行状态。

(3) 下载网关日志分析，故障时刻若监视线故障，无切线现象，若信任线故障，则存在切线记录。

2. 故障处理方法

(1) 检查重联电钩状态

重点检查故障车辆重联电钩外表面状态，检查是否存在脏污和磨损，测量电钩插拔力是否符合检修要求。测量电钩接触电阻是否符合标准要求。

接触电阻：重联端电气车钩产品依据 GB/T 5095.2-1997 标准中规定 2a 试验方法进行接触电阻测试试验，规定接触电阻不超过 $5m\Omega$ ，耐久试验后不高于初始接触电阻阻值的 2 倍。

插拔力：目前行业内没有标准对电气车钩插拔力形成统一要求，参考国外同款产品设计和运营经验，设计要求电气车钩插孔插拔力范围应在 $4 \sim 8N$ ，使用后插拔力范围应 $\geq 2.5N$ 。

若电钩连接器脏污，需对电钩连接器进行清洁：

用无纺布 / 擦机布清洁电钩表面灰尘，发现有附着在表面难以清洁的污垢时，用无纺布 / 擦机布蘸取 Loctite 41940（润松）或其他相似清洗剂将电气钩头表面擦净，检查外观无裂纹无损伤。用无纺布 / 擦机布和 Loctite 41940（润松）或其他相似清洗剂直接喷在左 / 右盖组件的涡状弹簧及左右盖组件与手柄轴配合处，保持翻盖机构的润滑，预防翻盖卡滞。

若接触电阻或插拔力不符合要求，更换电钩连接器 WTB 插针和插孔。

(2) WTB 线缆测试

使用线缆分析仪测试故障车辆重联端测试 WTB 线缆状态，记录线路阻抗、插入损耗、回波损耗及屏蔽层连续情况等；重点分析 WTB 线缆阻抗值偏大的位置。

线路阻抗：输入正弦信号频率为 0.5MHz-2MHz 时，要求线缆特性阻抗为 $120 \pm 12 \Omega$ 。

信号衰减：①输入正弦信号频率为 1MHz 时，要求线缆对信号衰减小于 10dB/km；②输入正弦信号频率为 2MHz 时，要求线缆对信号衰减小于 14dB/km；

屏蔽层：要求通讯电缆能够通过连接器外壳实现屏蔽层的可靠接地，连接器壳体通过设备外壳与车体接地。

(3) 重载连接器测量

测量重载连接器接触电阻，查看是否符合标准要求。

接触电阻应满足 GB/T 34119-2017 标准规定的 $\leq 3m\Omega$ 要求。若不符合要求，需更换重载连接器。

(4) 网关模块检查

检查网关模块灯显，下载日志记录数据分析是否为网关模块通道故障，更换网关返回供应商分析。

三、结论

列车通信网络 (TCN) 是一种面向控制、连接车载设备的数据通信系统，是分布式列车控制系统的核心。WTB 适用于经常改变编组的列车总线，MVB 具有通信速率高、实时性好等特点，用作车辆总线。本文分析了 WTB 总线单路故障的判断机制和处理方法，便于检修维护，减少故障排查时间，并提高网络通信故障处理效率。

参考文献：

[1]朱琴跃.列车通信网络实时性理论与方法研究[D].同济大学,2008.

[2]王磊,何正友.高速列车通信网络技术特点及其应用[J].城市轨道交通研究,2008(02):57-61,64.