

中华人民共和国国家标准

GB/T 28029.13—2025

轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN) 第4-1部分：基于绞线式列车总线(WTB)的 列车通信网络试验方法

Electronic railway equipment—Train communication network(TCN)—
Part 4-1:The test method of train communication network based on
Wire Train Bus(WTB)

2025-02-28 发布

2025-09-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 总则	2
6 试验分类与项目	3
7 试验方法	4
参考文献	12



前　　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 28029《轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN)》的第 4-1 部分。GB/T 28029 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：基本结构；
- 第 2-1 部分：绞线式列车总线(WTB)；
- 第 2-2 部分：绞线式列车总线(WTB)一致性测试；
- 第 2-3 部分：TCN 通信规约；
- 第 2-4 部分：TCN 应用规约；
- 第 2-5 部分：以太网列车骨干网(WL TB)；
- 第 2-6 部分：车地通信；
- 第 2-7 部分：无线列车骨干网(WL TB)；
- 第 3-1 部分：多功能车辆总线(MVB)；
- 第 3-2 部分：多功能车辆总线(MVB)一致性测试；
- 第 3-3 部分：CANopen 编组网(CCN)；
- 第 3-4 部分：以太网编组网(ECN)；
- 第 4-1 部分：基于绞线式列车总线(WTB)的列车通信网络试验方法。

本文件由国家铁路局提出。

本文件由全国轨道交通电气设备与系统标准化技术委员会(SAC/TC 278)归口。

本文件起草单位：中车株洲电力机车研究所有限公司、中铁检验认证株洲牵引电气设备检验站有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司司机车车辆研究所、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车青岛四方车辆研究所有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、中铁检验认证中心有限公司。

本文件主要起草人：肖家博、申慧、钟盛、罗源、周永刚、李小勇、彭云龙、徐东超、李海龙、杨鹏。

引　　言

TCN 网络是列车的核心组成部分,涉及列车运行品质和安全。GB/T 28029.3 规定了 WTB 设备一致性测试要求,本文件补充了 TCN 通信性能的试验方法,列车网络系统设计优化的指导数据,列车通信故障排查的参考依据。本文件指导 TCN 通信性能试验,积累原始测试数据,为后续网络设计优化及故障查找提供支撑。GB/T 28029 拟由十四个部分构成。

- 第 1 部分:基本结构。目的在于规定列车通信网络(TCN)的通用架构,以实现 GB/T 28029 定义的编组网络之间以及骨干网的兼容性。
- 第 2-1 部分:绞线式列车总线(WTB)。目的在于规定绞线式列车总线(WTB)。适用于开式列车中编组间及编组内的数据通信。
- 第 2-2 部分:绞线式列车总线(WTB)一致性测试。目的在于规定 WTB 一致性测试方法、要求和边界。
- 第 2-3 部分:TCN 通信规约。目的在于规定列车通信网络的通信规约,以保证 GB/T 28029.6 定义的以太网列车骨干网各个编组之间互联互通。
- 第 2-4 部分:TCN 应用规约。目的在于规定列车通信网络的应用规约,以实现应用软件之间通过 GB/T 28029.1 定义的编组网和 GB/T 28029.6 定义的列车骨干网通信。
- 第 2-5 部分:以太网列车骨干网(WL TB)。目的在于规定以太网列车骨干网(ETB)要求,以满足基于以太网技术的开式列车通信系统。
- 第 2-6 部分:车地通信。目的在于规定车载系统和地面系统之间的通信规范。
- 第 2-7 部分:无线列车骨干网(WL TB)。目的在于规定基于电台的无线列车骨干网的协议栈,该协议栈适用于分布式动力货运列车。
- 第 2-8 部分:以太网一致性测试。目的在于规定以太网一致性测试方法、要求和边界。
- 第 3-1 部分:多功能车辆总线(MVB)。目的在于规定多功能车辆总线(MVB)相关技术要求。
- 第 3-2 部分:多功能车辆总线(MVB)一致性测试。目的在于规定所有符合 GB/T 28029.9 规定的设备和装置的多功能车辆总线(MVB)一致性测试要求和方法。
- 第 3-3 部分:CANopen 编组网(CCN)。目的在于规定基于 CANopen 技术的编组内数据通信总线。
- 第 3-4 部分:以太网编组网(ECN)。目的在于规定基于以太网技术的编组内数据通信网络,及以太网编组网(ECN)。
- 第 4-1 部分:基于绞线式列车总线(WTB)的列车通信网络试验方法。目的在于规定轨道交通领域基于 WTB 总线的整车 TCN 网络系统的总体要求、WTB 网络系统的技术要求,描述了测试方法,规定了测试规则。

轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN)

第 4-1 部分: 基于绞线式列车总线(WTB)的 列车通信网络试验方法

1 范围

本文件规定了基于绞线式列车总线(WTB)的列车通信网络装车后试验的总则、试验分类与项目，并描述了相应的试验方法。

本文件适用于所有根据 GB/T 28029.2 实现的 TCN 网络系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 17178.1 信息技术 开放系统互连 一致性测试方法和框架 第 1 部分:基本概念
- GB/T 28029.1—2020 轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN) 第 1 部分:基本结构
- GB/T 28029.2—2020 轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN) 第 2-1 部分:绞线式列车总线(WTB)
- GB/T 28029.3—2020 轨道交通电子设备 列车通信网络(TCN) 第 2-2 部分:绞线式列车总线(WTB)一致性测试
- GB/T 34571—2024 轨道交通 机车车辆布线规则

3 术语和定义

GB/T 17178.1、GB/T 28029.1—2020 和 GB/T 28029.2—2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

有效帧 correct frame

一个包含了正确的 WTB 前导码、一定数目的“0”和“1”位以及终止分界符的帧。

注：WTB 前导码见 GB/T 28029.2—2020 中 4.8.1.3，位编码见 GB/T 28029.2—2020 中 4.8.1.2，WTB 帧长度与在链路数据长度字段中指示的长度一致，WTB 帧的 FCS 见 GB/T 28029.2—2020 中 5.2.1 的帧校验序列计算规则，终止分界符见 GB/T 28029.2—2020 中 4.8.1.4。

3.2

异常帧 incorrect frame

WTB 帧前导码异常、WTB 帧终止分界符异常、WTB 帧长度异常、WTB 帧 FCS 错误或 WTB 主从类型不匹配的帧。

注：WTB 帧前导码异常为 WTB 的前导码不满足 GB/T 28029.2—2020 中 4.8.1.3 的要求；WTB 帧终止分界符异常的 WTB 终止分界符不满足 GB/T 28029.2—2020 中 4.8.1.4 的要求；WTB 帧长度异常为 WTB 帧长度与在链路数据长度字段中指示的长度不匹配；WTB 帧 FCS 错误为 WTB 帧根据 GB/T 28029.2—2020 中 5.2.1 的帧校验序列计算规则。

验序列计算规则计算的 FCS 与实际 FCS 不匹配; WTB 主从类型不匹配帧的为 WTB 从帧类型与其前一个主帧类型(过程数据帧、消息数据帧、监视数据帧)不匹配。

3.3

错帧率 frame error rate

在规定的时间内,异常帧的数量除以有效帧的数量与异常帧的数量之和的比率。

3.4

总线带宽占有率 bus bandwidth occupancy

在 WTB 初运行完成后总线上有效帧所占时间除以总采集时间的比率。

3.5

线路噪声 line noise

线路中掩盖或扰乱有用信号的不期望的扰动。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。



FCS: 帧校验序列(Frame Check Sequence)

PICS: 协议实现一致性声明(Protocol Implementation Conformance Statement)

PIXIT: 协议实现的附加测试信息(Protocol Implementation Extra Information for Testing)

WTB: 绞线式列车总线(Wire Train Bus)

5 总则

5.1 被试车辆要求

5.1.1 传输介质要求

WTB 电缆应满足 GB/T 28029.2—2020 中 4.3.4 的要求。

WTB 连接器应满足 GB/T 28029.2—2020 中 4.4.5 的要求。

5.1.2 网络节点要求

被试列车所有 WTB 节点应按 GB/T 28029.3—2020 通过一致性测试。

应能查询 WTB 节点的系统配置信息, WTB 节点具备诊断日志记录功能。

5.1.3 网络协议行为要求

WTB 网络应依据 GB/T 28029.2—2020 完成初运行。

WTB 网络应依据协议完成操作初运行。

5.1.4 网络系统施工要求

5.1.4.1 用于传输 WTB 信号的连接器与 WTB 电缆之间应进行 360°屏蔽接触处理。

5.1.4.2 WTB 连接器接触件材料为铜, 表面镀金, 接触电阻不应大于 $3 \text{ m}\Omega$ 。

5.1.4.3 不应在 WTB 线路中分接。

5.1.4.4 布线应符合 GB/T 34571—2024。WTB 电缆应采用接地屏蔽和浮动屏蔽两种:

——采用接地屏蔽时, 车辆内电缆屏蔽层应与每个节点的地相连, 车辆间的跨接电缆屏蔽层不应连续;

——采用浮动屏蔽时,电缆屏蔽层应通过一个阻容(RC)电路与每个节点的地相连,RC 电路的参数分别是 R_s 为 $47.0 \times (1 \pm 5\%) \text{ k}\Omega$,并联电容 C_s 为 $100.0 \times (1 \pm 10\%) \text{ nF}$, 750.0 V 。

5.2 实施步骤

测试实施包含以下步骤:

- a) 明确被测系统中产品的制造、功能(性能)和在系统中的作用等信息,填写 PICS 和 PIXIT, PICS 和 PIXIT 要求见 GB/T 28029.3—2020;
- b) 根据产品类别和参数特征确定测试项目和通过判据;
- c) 开展测试;
- d) 进行测试结果的复核和分析;
- e) 编制测试报告。

6 试验分类与项目

6.1 试验分类

列车 WTB 总线网络的试验分为地面联调试验、静态试验和动态试验。

地面联调试验指列车 WTB 总线网络装车前在实验室进行的网络协议行为试验。

静态试验是指列车静止时,根据试验方法,测试列车 WTB 总线网络的电缆、信号质量和网络通信性能。

动态试验是指列车运行时,根据试验方法,测试列车 WTB 总线网络的信号质量和网络通信性能。

6.2 试验项目



列车 WTB 总线网络试验项目见表 1。

表 1 试验项目

试验项目		地面联调试验	静态试验	动态试验	试验方法
WTB 电缆测试	WTB 电缆短路电阻测试	—	✓	—	7.1.2
	WTB 电缆绝缘电阻测试	—	✓	—	7.1.3
	WTB 电缆长度测试	—	✓	—	7.1.4
	WTB 电缆特性阻抗测试	—	✓	—	7.1.5
	WTB 电缆传播延时和衰减测试	—	✓	—	7.1.6
	WTB 电缆串扰抑制测试	—	✓	—	7.1.7
	WTB 电缆冗余线对传输延时差测试	—	✓	—	7.1.8
WTB 电缆屏蔽测试		—	✓	—	7.2
WTB 信号质量测试		—	✓	✓	7.3
WTB 网络通信性能测试	冗余线切换测试	—	✓	—	7.4.1
	从帧响应时间测试	—	✓	✓	7.4.2
	基本周期测试	—	✓	✓	7.4.3
	错帧率测试	—	✓	✓	7.4.4

表 1 试验项目 (续)

试验项目		地面联调试验	静态试验	动态试验	试验方法
WTB 网络通信性能测试	WTB 节点冗余切换时间测试	—	√	—	7.4.5
	WTB 总线带宽占有率测试	—	√	√	7.4.6
WTB 网络协议行为测试	编组联挂测试	√	—	—	7.5.2
	编组解编测试	√	—	—	7.5.3
	初运行时间测试	√	—	—	7.5.4
	操作初运行测试	√	—	—	7.5.5
注：“√”表示适用该项试验；“—”表示不适用该项试验。					

7 试验方法

7.1 WTB 电缆测试

7.1.1 测试条件

在列车 WTB 网络组网完成后, 列车静态执行测试, WTB 节点不上电, WTB 电缆插头从设备上拆下, 并两两对接。

7.1.2 WTB 电缆短路电阻测试

如图 1 所示, 在 WTB 电缆末端执行该测试, WTB 电缆的另一端短接, 按 GB/T 28029.3—2020 中 7.3.2.2 的规定用万用表测量线路电阻。

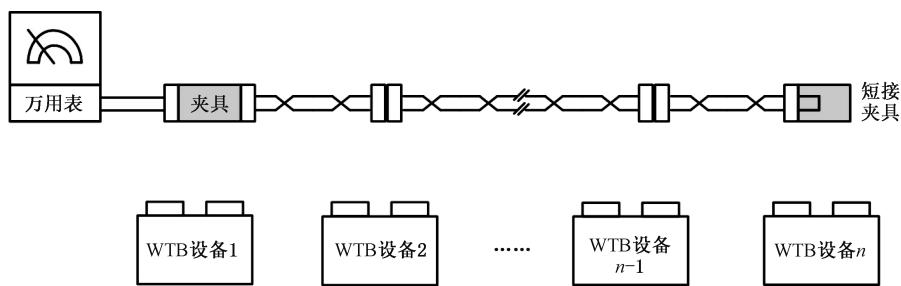


图 1 WTB 电缆短路电阻测试

7.1.3 WTB 电缆绝缘电阻测试

如图 2 所示, 在 WTB 电缆末端执行测试, WTB 电缆另一端开路, 按 GB/T 28029.3—2020 中 7.3.2.2 和 GB/T 34571—2024 中 7.2.3 的规定使用 500V 兆欧表分别测试线线之间、线地之间的绝缘电阻。

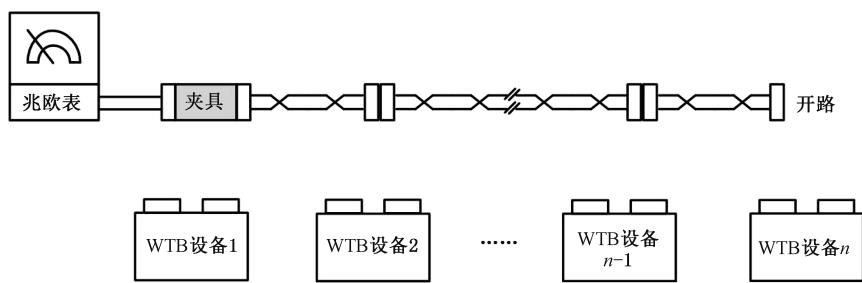


图 2 WTB 电缆绝缘电阻测试

7.1.4 WTB 电缆长度测试

7.1.4.1 当 WTB 电缆仅存在单线,针对每根 WTB 电缆,如图 3 所示,搭建 WTB 电缆长度测试拓扑。在 2 端,WTB 电缆开路。

在 1 端, 带时域反射测试功能的线缆测试仪与 WTB 电缆相连, 测量发射波与反射波之间的时间差 Δt 。

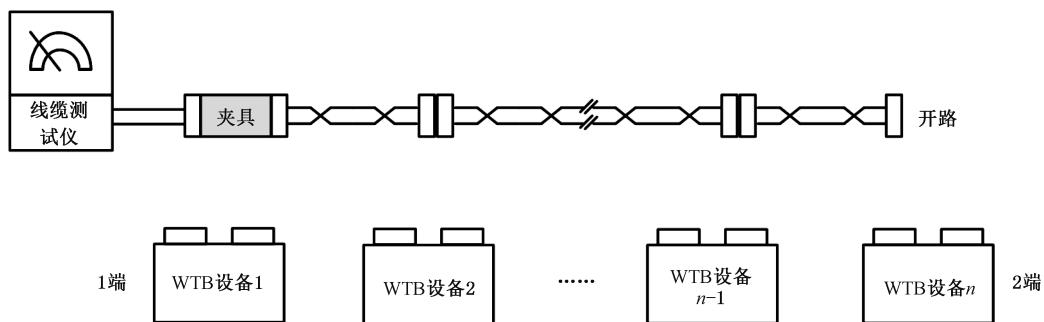


图 3 WTB 电缆长度测试(单线)

按公式(1)计算 WTB 电缆总长度。

式中：

L ——电缆长度,单位为米(m);

Δt ——信号从发射到传输回来的时间差,单位为秒(s);

C ——光速,单位为米每秒(m/s);

VF——线缆速度因子,该参数通过查询电缆手册或校准获取。

7.1.4.2 当 WTB 电缆存在双线,如图 4 所示,搭建 WTB 电缆长度测试拓扑。

在 2 端, WTB 的 A 线和 B 线短接。

在 1 端, 测试仪器按如下方式相连:

——信号发生器与 A 线相连；

——信号发生器信号类型设置为自定义波形；

——示波器差分通道 1 与 A 线的 1 端相连, 差分通道 2 与 B 线的 1 端相连;

——示波器差分通道 1 和差分通道 2 定位同一波形位置, 测量时间差 Δt 。

注：自定义波形是单个脉冲信号或是能定位波形位置的波形序列。

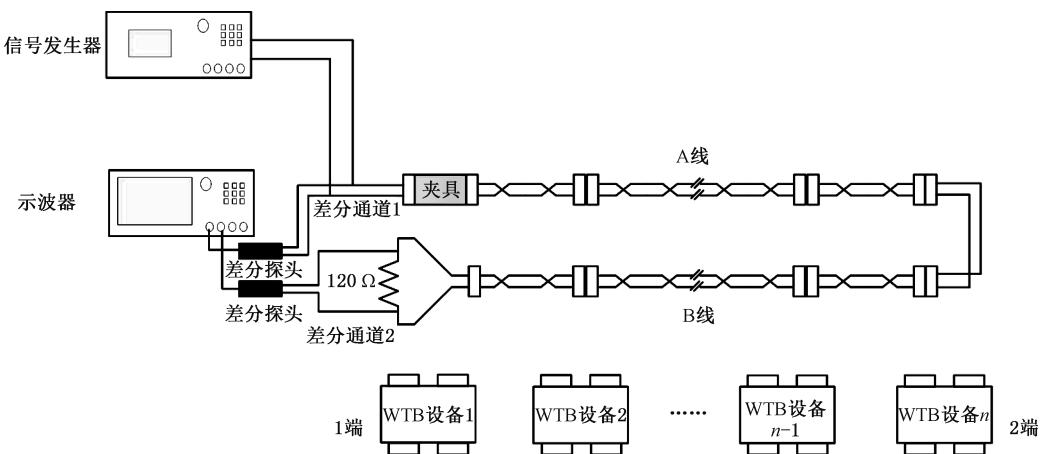


图 4 WTB 电缆长度测试(双线)

按公式(1)计算 WTB 电缆总长度。

7.1.5 WTB 电缆特性阻抗测试

如图 3 所示,按 GB/T 28029.3—2020 中 5.6.1.1 的规定进行。

7.1.6 WTB 电缆传播延时和衰减测试

当存在双线时,执行本测试。如图 4 所示搭建 WTB 电缆传播延时和衰减测试拓扑。

按 GB/T 28029.3—2020 中 7.3.2.4 测试 WTB 电缆传播延时和衰减。

7.1.7 WTB 电缆串扰抑制测试

当 WTB 电缆存在双线,且双线处于编组的同一电缆中时,执行本测试。如图 5 所示搭建 WTB 电缆串扰抑制测试拓扑。

按 GB/T 28029.3—2020 中 7.3.2.3 测试 WTB 电缆串扰抑制。

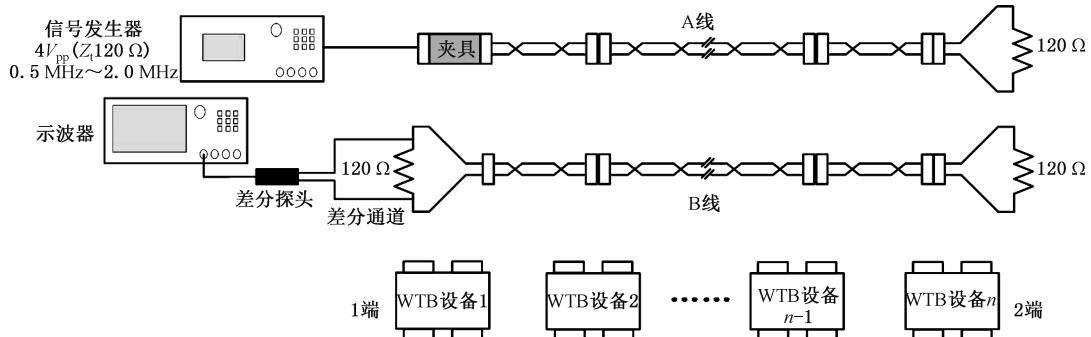


图 5 WTB 电缆串扰抑制测试

7.1.8 WTB 电缆冗余线对传输延时差测试

当 WTB 电缆存在双线时,执行本测试。如图 6 所示搭建测试拓扑。

在 2 端,测试仪器按以下方式相连:

- 内阻 Z_t 为 120.0Ω 的信号发生器与 A 线和 B 线相连;
- 信号发生器信号类型设置为自定义波形序列,振幅设置为 $4V_{pp}$,频率依次设置为 0.5 MHz 、 1.0 MHz 、 2.0 MHz 。

在 1 端,测试仪器按以下方式相连:

- WTB 末端连接器 A 线和 B 线分别端接一个电阻 [$120.0 \times (1 \pm 10\%) \Omega$];
- 示波器差分通道 1 与 A 线的 1 端相连,差分通道 2 与 B 线的 1 端相连;
- 示波器差分通道 1 和差分通道 2 定位同一波形序列位置,测量时间差 Δt 。

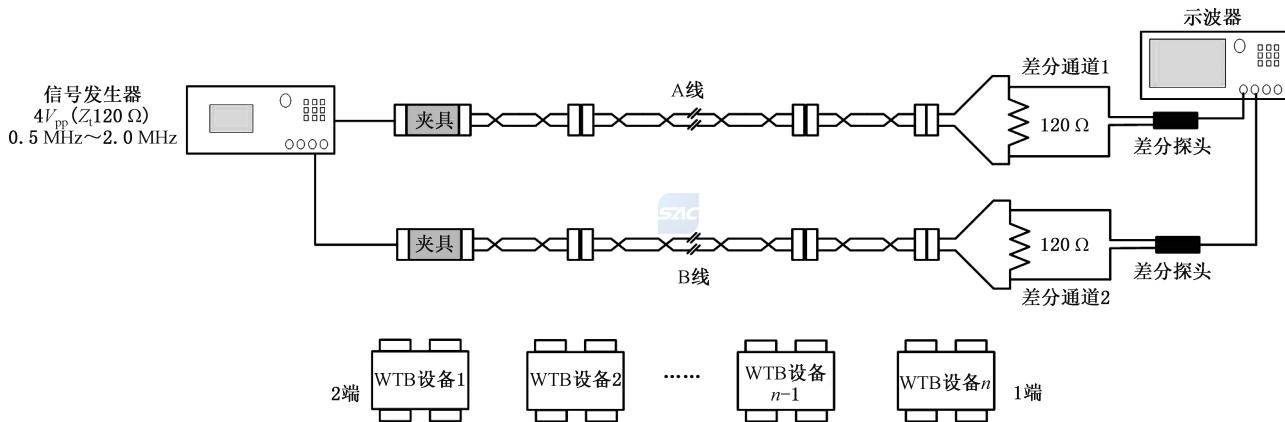


图 6 WTB 冗余线对传输延时差测试

7.2 WTB 电缆屏蔽测试

在列车 WTB 网络组网完成后,列车静态执行测试,WTB 节点不上电。

WTB 电缆采用接地屏蔽时:

- 通过车端连接器测量 WTB 电缆屏蔽层与 WTB 节点外壳之间的导通性;
- 需要时,测量车辆间跨接电缆屏蔽层的连续性。

WTB 电缆采用浮动屏蔽时:

- 通过车端连接器分别测量 WTB 电缆屏蔽层与 WTB 节点之间 RC 电路的参数;
- 测量 RC 电路的电阻 R_s 和电容 C_s 。

7.3 WTB 信号质量测试

7.3.1 测试方法

分别在 WTB 网络的末端 1 的 A 线/B 线和末端 2 的 A 线/B 线进行 WTB 波形质量测试。

如图 7 所示,在 1 端,WTB 节点 1 与 WTB 节点 2 之间的 A 线和 B 线串入协议分析仪器和波形测试夹具,示波器差分通道 1 通过测试夹具与 A 线的 1 端相连,示波器差分通道 2 通过测试夹具与 B 线的 2 端相连。

设置协议分析仪器外部触发声器。

设置协议分析仪器触发条件,依次触发声器采集 WTB 网络中所有节点的信号质量并进行测量,测量参数包括 WTB 波形的幅值、振铃、边沿畸变和线路噪声。

在末端 2 的 A 线/B 线重复进行以上测试,其中,末端 2 测试拓扑见图 8。

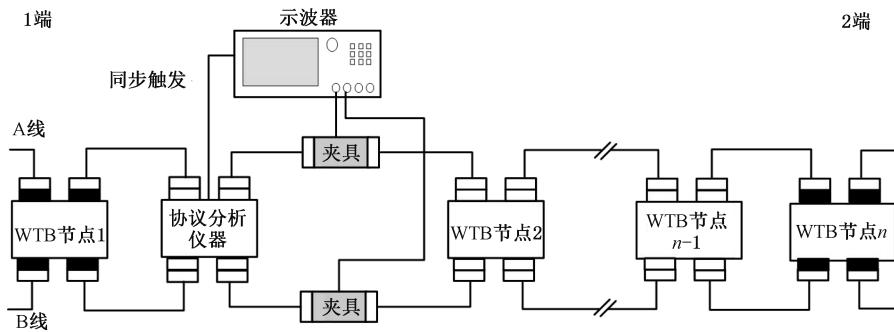


图 7 WTB 末端 1 网络测试拓扑示意图

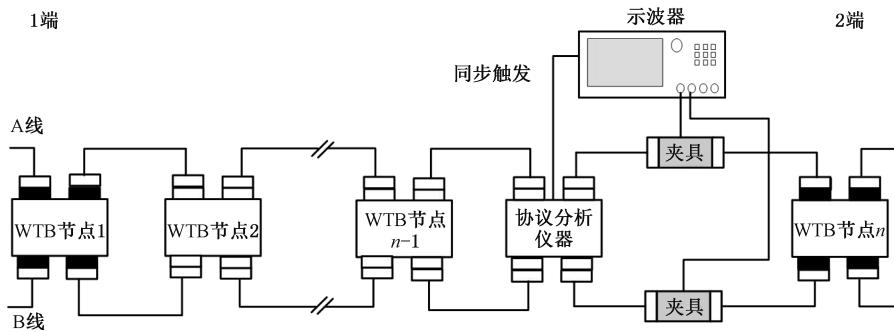


图 8 WTB 末端 2 网络测试拓扑示意图

7.3.2 测试条件

除过分相工况下的线路噪声测试,其余测试项目均在列车 WTB 网络组网完成后,列车静态执行该项测试,WTB 节点上电。

过分相工况下的线路噪声测试在列车运行过程中开展,协议分析仪器设置过分相变量状态为触发条件,触发示波器采集过分相期间的波形。

7.4 WTB 网络通信性能测试

7.4.1 冗余线切换测试

7.4.1.1 测试方法

当 WTB 电缆存在双线时,执行本测试,步骤如下:

- 如图 7 所示搭建测试拓扑,所有节点上电,等待 WTB 网络处于常规运行模式;
- 断开 WTB 节点 1 与协议分析仪器的 A 线连接,分析 WTB 数据,期间无新的初运行发生;
- 恢复 WTB 节点 1 与协议分析仪器的 A 线连接;
- 断开 WTB 节点 1 与协议分析仪器的 B 线连接,分析 WTB 数据,期间无新的初运行发生;
- 恢复 WTB 节点 1 与协议分析仪器的 B 线连接;
- 断开 WTB 节点 1 与协议分析仪器的 A 线连接,分析 WTB 数据,期间无新的初运行发生。

7.4.1.2 测试条件

在列车 WTB 网络组网完成后,列车静态执行本测试,WTB 节点上电。

7.4.2 从帧响应时间测试

7.4.2.1 测试方法

如图 7 所示搭建测试拓扑,所有节点上电,协议分析仪器连续监视 WTB 数据,计算 WTB 从帧与前一主帧之间的时间间隔。

7.4.2.2 测试条件

在以下工况下分别进行测试:

- 在列车 WTB 网络组网完成后,WTB 节点处于上电状态,列车静态执行测试(包含初运行期间和常规运行期间);
- 在列车运行过程中开展测试(仅常规运行期间)。

7.4.3 基本周期测试

7.4.3.1 测试方法

如图 8 所示搭建测试拓扑,所有节点上电,等待 WTB 网络处于常规运行模式。

SAC

协议分析仪器测量基本周期。

基本周期的计算方式如图 9 所示,取存在请求帧后一个过程数据主帧的帧开始位置为 T1,下一个存在请求帧后一个过程数据主帧的帧开始位置为 T2,基本周期为 T2 与 T1 之差,连续计算 7.2×10^4 个基本周期,分别统计最大值、最小值和平均值。

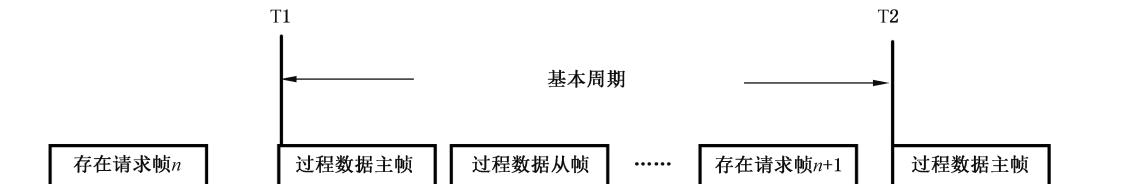


图 9 WTB 基本周期计算方式

7.4.3.2 测试条件

在以下工况下分别测试:

- 在列车 WTB 网络组网完成后,静态执行测试,WTB 节点上电;
- 在列车运行过程中开展测试。

7.4.4 错帧率测试

7.4.4.1 测试方法

如图 7 所示搭建测试拓扑,所有节点上电,协议分析仪器连续监视 WTB 数据不少于 30 min。

协议分析仪器统计 WTB 有效帧和异常帧的数量。

按 3.3 计算错帧率。

7.4.4.2 测试条件

在以下工况下分别进行测试:

- 在列车 WTB 网络组网完成后,列车静态通过蓄电池供电执行测试,WTB 节点上电;
- 在列车 WTB 网络组网完成后,列车静态通过高压供电执行测试,期间不少于 3 次升弓合

主断；
——在列车运行过程中开展测试。

7.4.5 WTB 节点冗余切换时间测试

7.4.5.1 测试方法

如图 7 所示搭建测试拓扑，所有节点上电，协议分析仪器连续监视 WTB 数据。将 2 个互为冗余的 WTB 节点中的当前工作节点断电。等待备用节点投入到网络后，计算过程数据的最长中断时间。

7.4.5.2 测试条件

在列车 WTB 网络组网完成后，静态执行测试，WTB 节点上电。

7.4.6 WTB 总线带宽占有率测试

7.4.6.1 测试方法

如图 7 所示搭建测试拓扑，所有节点上电，等待 WTB 网络处于常规运行模式，协议分析仪器连续监视不少于 30 min。

根据 3.4 的定义计算总线带宽占有率。

计算过程数据占基本周期的比率。

7.4.6.2 测试条件

在以下工况下分别进行测试：

——在列车 WTB 网络组网完成后，静态执行测试，WTB 节点上电；
——在列车运行过程中开展测试。

7.5 WTB 网络协议行为测试

7.5.1 测试条件

WTB 网络组网完成后，在实验室执行本测试，WTB 节点上电。

7.5.2 编组联挂测试

如图 7 所示搭建测试拓扑，所有节点上电，进行编组联挂操作，协议分析仪器连续监视 WTB 数据。

7.5.3 编组解编测试

如图 7 所示搭建测试拓扑，所有节点上电，进行编组解编操作，协议分析仪器连续监视 WTB 数据。

7.5.4 初运行时间测试

如图 7 所示搭建测试拓扑，所有节点上电，通过协议分析仪器连续监视 WTB 数据计算初运行时间。

初运行时间计算方式如下：

- a) 查找第一个检测响应帧对应的检测请求帧，该检测请求帧的帧起始时间记录为 T_3 ；
- b) 等待所有 WTB 节点加入网络，过程数据通信正常，查找最后一个拓扑响应帧，该拓扑响应帧的帧结束时间记录为 T_4 ；
- c) 初运行时间为 T_4 与 T_3 之差。

7.5.5 操作初运行测试

操作初运行测试见 TB/T 3512。



参 考 文 献

- [1] TB/T 3512 电动车组网络控制系统软件集成测试规范



