

广州地铁3号线北延段西门子列车 与国产牵引列车速度诊断逻辑分析

何文乐, 邓培近

(广州地铁集团有限公司 广州地铁运营公司, 广东 广州 510310)

摘要: 针对西门子地铁车辆出现的列车速度信号异常故障, 对广州地铁3号线西门子列车速度诊断逻辑进行研究和分析, 并通过对比分析国产牵引列车网络控制系统的速度信号诊断逻辑, 提出西门子列车速度诊断逻辑加入生命信号的优化方案, 以提高列车运营的安全性。

关键词: 速度诊断; 速度信号异常; 西门子列车; 国产牵引列车; 广州地铁3号线

中图分类号: U231

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.06.025

Speed Control Logic Analysis of Domestic Traction Trains and Siemens Trains in Northern-extension Section of Guangzhou Metro Line 3

HE Wenle, DENG Peijin

(Guangzhou Metro Operation Corporation, Guangzhou Metro Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510310, China)

Abstract: Aim at the problem of abnormal speed signal in Siemens metro train, the speed diagnosis logic of Siemens train was analyzed and compared with domestic traction train's in Guangzhou metro line 3. Then, an optimized diagnosis logic scheme was proposed of adding the life signals for Siemens train to improve operation safety.

Keywords: diagnosis of speed; abnormal speed signal; Siemens train; domestic traction train; Guangzhou metro line 3

0 引言

传统模式下电机转速信号均由速度传感器进行测量, 复杂的轮轨工况, 导致每个转向架的轮对速度存在差异。列车网络系统需要对采集的原始速度信号进行诊断, 判断速度信号是否符合当前的列车运行工况。速度信号关系到列车防滑控制、自动驾驶模式下目标速度的设定、牵引电信号的输出, 因此如何对列车原始速度信号进行诊断, 并计算出正确的速度信号对于列车控制至关重要。

西门子列车的传动系统中, 采用无速度传感器的速度计算方法, 可得到近似于传统机械传感器测量的速度信号。该方法不需要对原始速度采样信号进行诊

断, 但列车在低速时容易出现速度计算不准确的情况。为了弥补该缺点, 西门子列车在低速和惰行时采纳了制动系统 EP2002 网关阀测量的轮对转速信号。低速下采集单一来源的速度信号无法进行对比, 因此也存在一定的风险隐患, 一旦列车低速情况下速度出现异常, 列车网络无法进行诊断, 将对列车运营安全造成影响。本文针对该速度逻辑诊断方法, 提出加入生命信号等校验方式, 对列车在低速情况下制动系统采集的速度信号进行诊断, 提高列车运行的安全性。

1 西门子列车速度获取逻辑

广州地铁3号线北延段西门子列车为6节编组的列车(A+B+C=C+B+A), 每节车的轮轴上均安装有制动系统的速度传感器, 同时牵引系统使用无速度传感器的速度计算方法获取列车速度, 列车在牵引和电

制动时均使用牵引系统本身计算的速度信号。制动系统 (BCU) 采集的速度信号作为备份, 当牵引系统计算的速度存在错误、列车进行轮径值校验或电制动退出后, 列车才使用制动系统采集的速度信号, 速度获取逻辑框图如图 1 所示。

1.1 牵引系统速度获取逻辑

逻辑说明以 A 车为例, 蓝色方框内标注的信号是牵引系统计算的速度信号, 当列车牵引系统速度信号 (信号 speed valid=1) 可用时, 列车网络采集 A 车牵引控制系统计算的速度信号, 如图 2 所示。

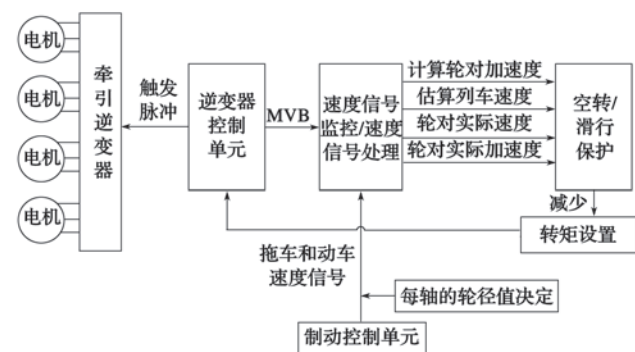


图 1 速度获取逻辑框图

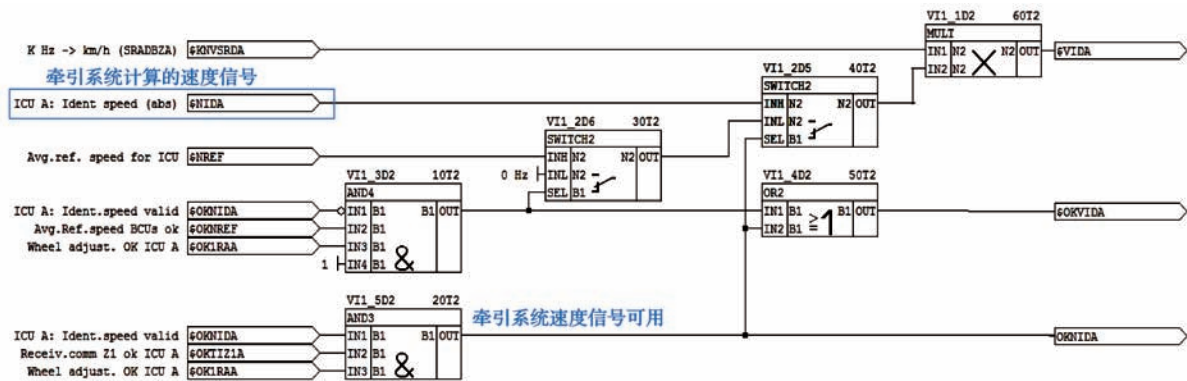


图 2 A 车速度信号

网络采集 4 个动车速度信号后, 会计算出 4 个速度的最大与最小值作为下一步速度诊断的输入级, 如图 3 所示。

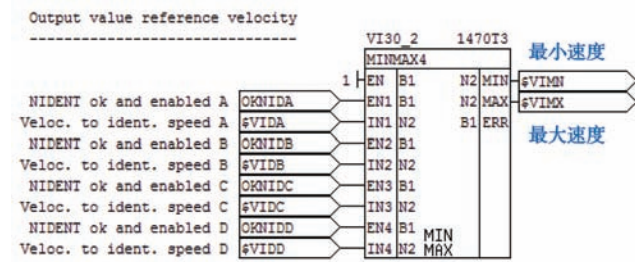


图 3 计算动车速度的最大与最小值

在获得所有动车速度的最大与最小值后, 为保证列车牵引制动时列车能够获得准确的速度值, 列车网络采取制动时取速度最大值、牵引时取速度最小值的控制策略, 如图 4 所示。

1.2 制动系统速度获取逻辑

1.2.1 EP2002 系统简介

EP2002 系统由 EP2202 先导阀、EP2002RIO 阀和 EP2002 智能阀构成, 其中先导阀和 RIO 阀集成在 1 个机电包中构成网关阀。

6 节编组的列车共安装

4 个 EP2002 网关阀和 6 个 EP2002 智能阀, 网关阀分别安装在列车每个单元的 A 车和 C 车, 所有车均安装有智能阀。列车每个单元的网关阀和智能阀通过一条专用 CAN 总线进行通信。

1.2.2 制动系统速度信号

列车网络与制动系统之间的协议规定列车网络主要采集 A 车网关阀的速度信号, 当 A 车网关阀出现故障时, 列车网络将采纳 C 车的网关阀信号, 逻辑图如图 5 所示。

网关阀采集的速度值来源于 2 个 B 车第一轴和第

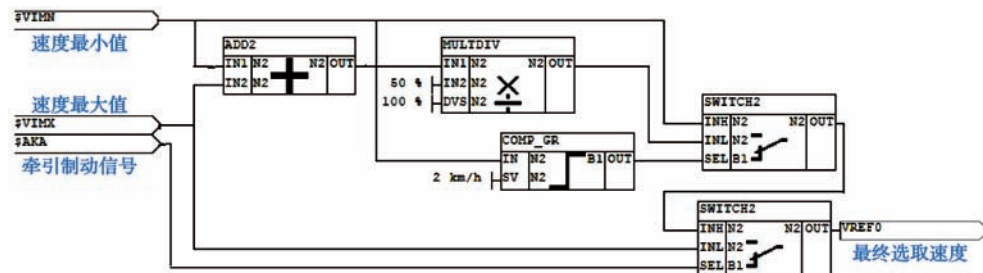


图 4 牵引制动时速度信号取值

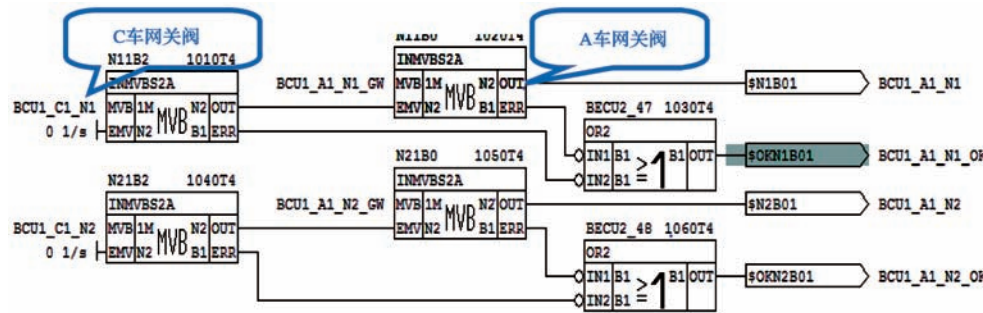


图 5 网关阀信号

三轴的速度传感器测量的原始速度信号，并计算出最大值与最小值最为下一级的输入级，如图 6 所示。

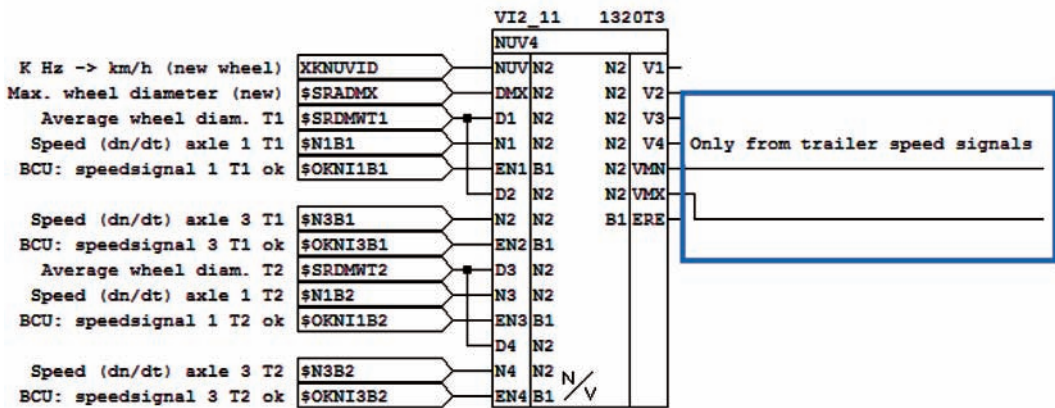


图 6 网关速度采集逻辑图

1.3 最终选取速度

列车网络在经过速度最大值与最小值的诊断逻辑后（图 4），将计算出的 VREF0 信号与最终显示速度构成闭环回路，如图 7 所示。

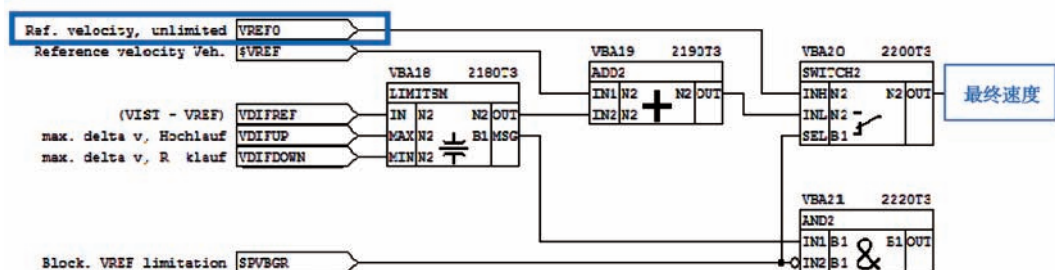


图 7 最终速度逻辑

在牵引系统正常的情况下，西门子列车牵引控制系统通过无速度传感器的矢量控制模型，采集直流侧的支撑电容电压和脉冲输出信号计算出速度信号，同时在网络控制系统对 4 个牵引控制系统计算的速度值比较分析出最大值与最小值，通过牵引工况取最小值、制动系统取最大值这一逻辑确定最终速度信号。若牵引系统出现故障则会采集制动系统的速度信号，网络系统同样会对比分析出最大值与最小值，在不同工况下选取合适的速度值。牵引系统与制动系统速度信号的切换由列车网络进行控制。当列车处于低速时，由于牵引系统的计算速度值精确度不高，所以列车网络采集制动系统的速度，但列车网络未对制动系统的设备进行诊断，无法检测出低速时采集的速度信号是否可靠。

2 国产牵引列车速度获取逻辑

广州地铁 3 号线北延段国产牵引列车为 6 节编组的列车（A+B+C=C+B+A），每节车的轮轴上均安装有制动系统的速度传感器。与西门子逻辑不同，国产牵引列车的速度信号来源于 2 个 B 车共 8 个轴的速度传感器，即速度信号来源于制动系统。通过网络控制系统整合 8 个转速信号，计算出列车综合速度，逻辑如

图 8 所示。

在故障诊断方面，在每一个通信周期内国产牵引列车网络控制系统都会向制动系统设备发送数据请求主帧，每一个设备都会在下一个通信周期内在从帧里应答，网络控制系统对从帧实时监测，当从帧响应的时间超过 8 个周期，则网络控制系统诊断设备通信故障，在 HMI 上以故障形式提示出来。

例如，BCU 与 VCM 通信周期为 64 ms，如果 VCM 在 $8 \times 64 \text{ ms} = 512 \text{ ms}$ 内检测不到制动系统的从帧应答，则诊断为 BCU 通信故障，如图 9 所示。

在速度获取方面，国产牵引列车逻辑较为简单，采集 2 个 B 车 8 个轴的速度传感器信号计算平均值，但在设备诊断方面，列车网络采取了应答主从帧的方式对列车设备进行了诊断，无论在低速还是在高速，均能检

测到列车速度信号是否可靠。



图 8 国产牵引车速度获取逻辑图



图 9 BCU 通信故障

3 故障案例

3.1 故障现象

2015 年 9 月 29 日，西门子列车 03107108 车在到站开门后产生紧急制动，列车无法动车。故障时的驾驶端司机室车辆显示屏（HMI）显示速度为 96 km/h，

速度表也显示同样速度值, 里程值一直处于不断增加的状态。

3.2 故障原因分析

分析事件记录仪数据发现, 故障时间段列车即将停稳时, 速度从 1.25 km/h 突变为 96 km/h, 如图 10 所示。

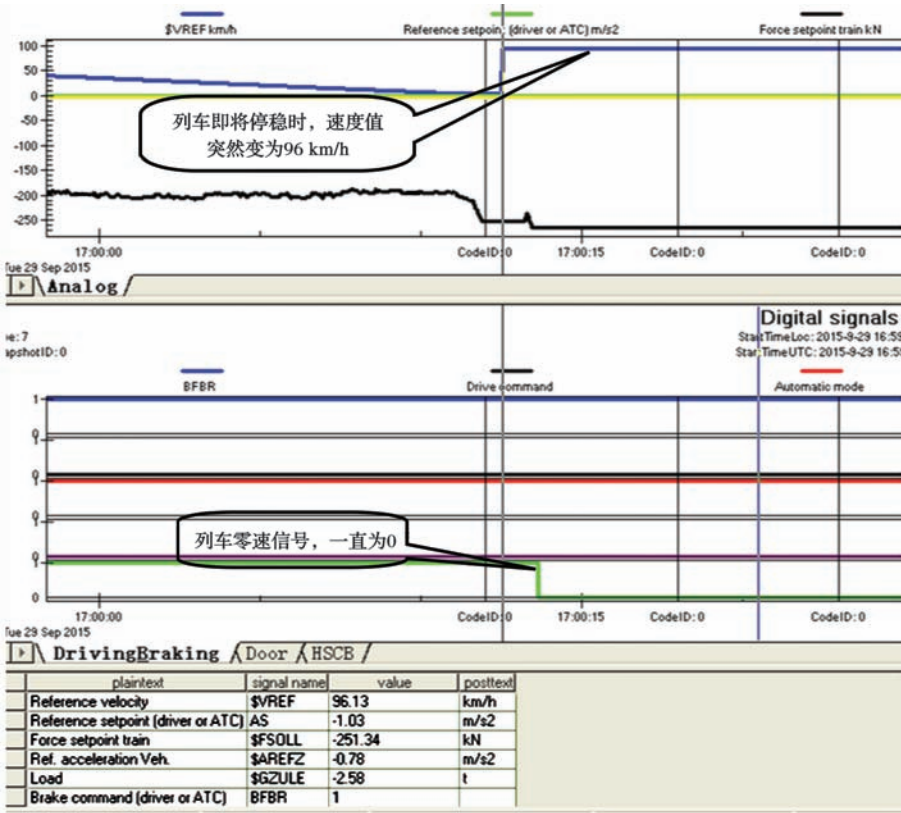


图 10 列车速度值突变时刻的事件记录仪数据

随后对网络控制 VCU 采集的制动系统速度信号值进行核实, 发现列车在静止状态下, 故障端单元车网关阀持续向列车网络发送错误的速度值 (96 km/h)。

列车控制单元 VCU 默认与列车每个单元 A 车的网关阀进行数据通信, 若 A 车的网关阀报故障或失电, 则与该单元的 C 车网关阀进行通信, 因此判断为驾驶端车网关阀输出的速度信号异常, 随后复位故障网关阀微动开关, 列车 HMI 及速度表的速度值恢复为 0, 里程表数值停止动作。

列车车辆显示屏 (HMI) 速度值为 VCU 采集到的 A 车网关阀发送过来的速度值。A 车网关阀内部板卡故障后持续向 VCU 发送错误的速度信号 (96 km/h), 故 HMI 显示速度值亦保持在 96 km/h。同时, VCU 通过该速度信号判断列车仍处于运行状态, 故里程值不断累计增加。

本次故障在广州地铁各线路车辆克诺尔制动系统中为首次出现, 暴露出西门子列车控制系统 VCU 和克诺尔制动系统 EP2002 阀存在设计缺陷, 二者对于列车速度信号均缺少纠错诊断功能。因列车控制系统默认只采集每个单元 A 车的网关阀数据进行通信, 当采集到其中一个网关阀数据异常时, VCU 无诊断、比较和

纠错功能。同时, 克诺尔网关阀故障后, 没有实现自我故障诊断和主从冗余功能。

4 诊断逻辑优化

对于每个接入 MVB 网络的子系统, 网络控制系统都应实时判断与子系统通信是否正常, 如果通信不正常需要及时诊断出故障设备, 切换至冗余设备, 避免影响行车安全。

4.1 增加生命信号检测

由列车网络控制系统向各个子系统发送生命信号, 在每一个通信周期都会在相应的 MVB 生命信号端口中加 1, 重复累计、VCM 实时监测。当列车网络 VCM 监测到某子系统在 8 个通信周期内生命信号无变化, 则判定为通信故障, 在 HMI 上以故障形式提示出来。例如, EDRM 系统与 VCM 通信周期为 256 ms, 如果 VCM 在 $8 \times 256 \text{ ms} = 2048 \text{ ms}$ 内检测不到 EDRM 系统生命信号跳变, 则诊断为 EDRM 通信故障, 如图 11 所示。

4.2 采用主从应答帧检测

根据国产牵引列车速度诊断逻辑, 可在每一个通信周期列车网络 VCM 都向列车设备发送数据请求主帧, 每一个设备都会在下一个通信周期内在从帧里应答, VCM 对从帧实时监测, 当从帧响应的的时间超过 8 个周期, 则 VCM 诊断设备通信故障, 在 HMI 上以故障形式提示出来。例如, 制动系统 BCU 与 VCM 通信周期为 64 ms, 如果 VCM 在 $8 \times 64 \text{ ms} = 512 \text{ ms}$ 内检测不到 BCU 从帧应答, 则诊断为制动 BCU 通信故障。

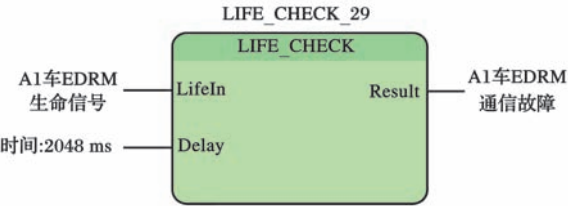


图 11 EDRM 通信故障

5 结语

西门子列车采用无速度传感器的速度计算方法, 降低了硬件的复杂性和成本, 消除了机械传感器和传动系统其他部分的连线, 减小了整体的尺寸, 避免了硬件故障带来的后果, 但列车未从逻辑上对相关设备进行故障诊断, 对行车安全存在一定的隐患。通过增

(下转第 122 页)