

地铁列车总风压力低的牵引封锁故障分析及优化

陈卓群

(广州地铁集团有限公司运营事业总部, 511495, 广州//工程师)

摘要 阐述了广州地铁7号线列车总风压力控制方式及控制逻辑, 分析了总风压力低牵引封锁故障原因, 指出了总风压力控制逻辑存在的缺陷。针对列车上电初期异常触发总风压力低导致牵引封锁的故障原因及总风压力控制逻辑存在的缺陷, 提出了优化方案。优化方案可避免列车总风压力低牵引封锁故障的发生。

关键词 地铁车辆; 总风压力; 牵引封锁

中图分类号 U260.13⁺8

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.07.038

Analysis of Traction Blocking Fault Caused by Low Metro Vehicle Total Wind Pressure and Optimization Scheme

CHEN Zhuoqun

Abstract The control method and logic of the vehicle total wind pressure on Guangzhou metro Line 7, together with the low traction and blockade faults are analyzed, defects in the control logic are pointed out. According to the causes for abnormal triggering of the total wind low pressure which leads to traction blockage fault, and the existing defects in the control logic at the initial stage of train power-on, an improved plan is proposed, aiming at avoiding the traction blockage caused by the total wind low pressure.

Key words metro vehicle; main wind pressure; traction blockade

Author's address Operating Business Headquarters of Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 511495, Guangzhou, China

为了保证地铁车辆安全运营, 在车辆设备处于非正常工况条件下, 可采用列车牵引封锁或制动功能等手段。

地铁车辆压缩空气主要为车辆的制动、转向架空气弹簧、升弓装置等功能系统提供气源。广州地铁7号线列车编组为6节B型车, 其中3车与4车为带有风源的动车, 车下悬挂有空气压缩机及总风缸。TCMS(列车监控管理系统)具有总风压力低于预警压力值时即启动封锁的功能, 即当列车风量无

法满足压力要求时, TCMS 会封锁牵引指令, 禁止列车实施牵引。但是, 车辆在投入运营1年后, 当总风压力高于预警压力时却发生牵引封锁的故障。经调查发现, 车辆发生故障与 TCMS 总风压力低的牵引封锁设计缺陷有关, 且其根本原因在于 BCU(制动控制单元)压力传感器响应延时。

1 地铁列车总风压力控制

广州地铁7号线列车总风压力控制, 采用压力传感器网络控制和压力开关硬线控制两种方式。当总风压力低于 600 kPa 时, 网络监视优先触发 VCM(列车中央控制单元)牵引封锁; 当压力下降至 500 kPa 时, 触发压力开关监视, 则直接导致列车紧急制动停车。

1.1 压力传感器网络控制

列车采用 EP09 架控制动系统, 其网络通信拓扑如图 1 所示。图 1 中, 每列列车由 2 个制动单元构成, 每个单元包括 2 个带车辆总线接口的 EP09G 阀、4 个架控制动控制的 EP09S 阀。两个单元之间通过 MVB(多功能车辆总线)网络进行通信, 1 个单元内 EP09 阀之间通过 2 个独立的 CAN(控制器局域网)总线进行通信。在每个单元内总风压力采集相互独立, 采集接口位于 B 车二位端 EP09S 阀。例如单元 1, 总风管路通过 EP09S 阀传感器接口输入总风压力 P_1 , 并通过 CAN 总线向本单元内 EP09G 阀传递 P_1 , EP09G 阀通过 MVB 将 P_1 转发至 TCMS。单元 2 的总风压力 P_2 的采集方式与 P_1 一致。

TCMS 对两个单元的总风压力值采集方式相同, 图 2 a) 为单元 1 总风压力值的采集原理。当 EP09G 阀发出 P_1 有效时, 将该阀发出的 P_1 置为 1 单元总风压力值。当 P_1 值无效时, TCMS 将单元 1 总风压力值置为 0。

图 2 b) 为整车总风压力值的采集原理。图 2 b) 中, TCMS 通过数据比较器对收到的 P_1 与 P_2 进

行对比得到总风压力值 P_{\min} 。当 P_1 与 P_2 均有效时,选择两者间的最小值; P_1 或者 P_2 只有一者有效时,选择有效值作为总风压力最小值输出; P_1 与 P_2

均无效时,将总风压力最小值置为 0。通过以上处理逻辑,确定 P_{\min} 后,进行后续的列车风压控制逻辑。

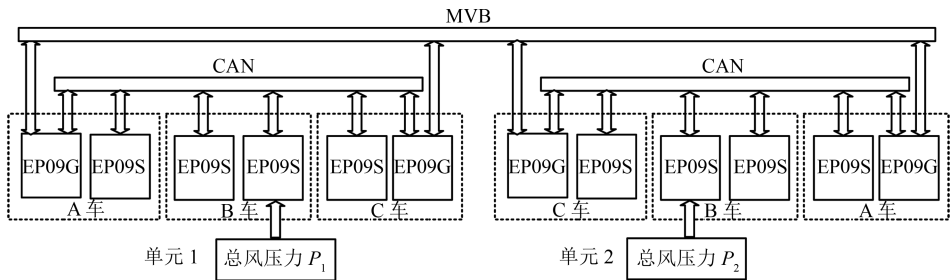
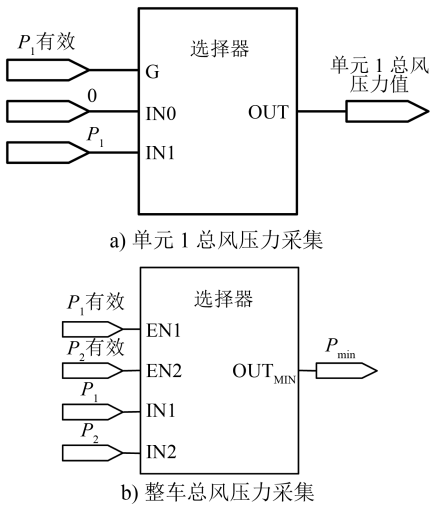


图 1 列车制动系统网络拓扑图



注: G、IN0、IN1、IN2 分别代表选择器的输入选择、输入0、输入1、输入2; EN1、EN2 分别代表使能1、使能2; OUT_{\min} 代表输出最小值

图 2 单元及整车总风压力采集原理图

总风压力低牵引封锁原理如图 3 所示。图 3 中,如果列车运行时网络正常,主风管空气压力 P_{\min} 低于 600 kPa,列车在停放制动未施加的前提下可继续运行直至列车停车后触发牵引封锁。如果列车静止时, P_{\min} 低于 600 kPa,则牵引封锁立即作用,阻止列车运行。当总风压力低且旁路被操作时, P_{\min} 需要低于 500 kPa 才能触发总风压力低时的牵引封锁条件。

若 P_{\min} 高于 700 kPa 或操作总风压力低旁路 ($P_{\min}>500$ kPa) 时,列车牵引封锁解除。

1.2 压力开关硬线控制

硬线控制方式如图 4 所示。图 4 中,每个单元内均通过辅助控制箱内的压力开关对总风压力进行监视。例如单元 1 内,从总风管输出的压缩空气经接口进入辅助控制箱。当主风管气压高于 700

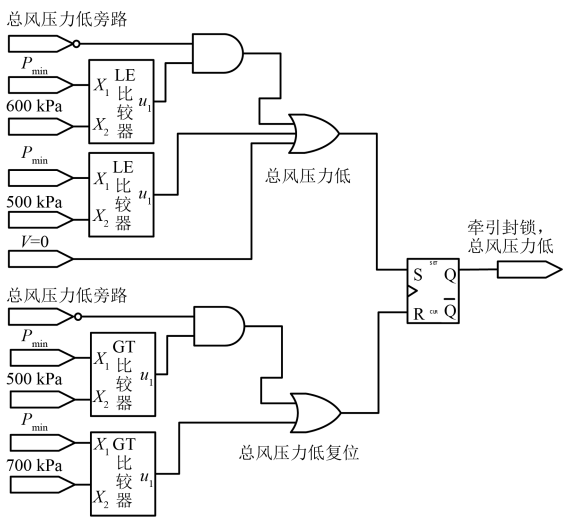


图 3 总风压力低牵引封锁原理图

kPa 时,压力开关向左触发,进而闭合总风压力可用继电器,列车获得总风压力可用输入。而当气压低于 500 kPa 时,压力开关向右触发,在分断总风压力可用继电器的同时,通过开关向 DXMe (数字输入模块) 的 X3 监视点输入主风压力低于 500 kPa 的高电平信号,列车立即实施紧急制动。

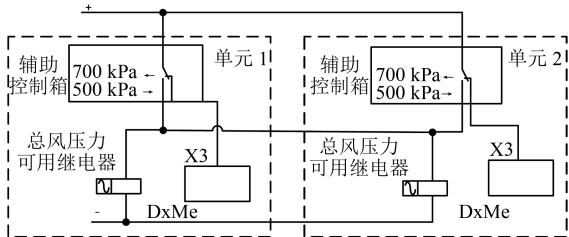


图 4 列车总风压力硬线控制方式

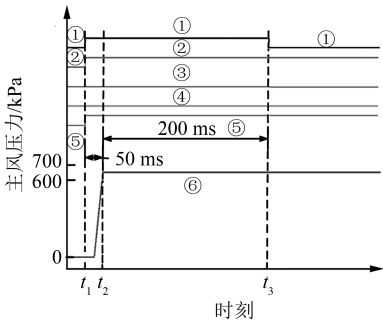
2 总风压力低故障分析

2018 年 1 月,司机在出车前检查时发现,当列

车激活后,气压表主风压力低于 700 kPa 而高于 600 kPa, HMI(人机接口界面)提示牵引封锁信息“主风压力低于 600 kPa”,这造成该次列车无法出库投入运营。

2.1 故障事件记录分析

图 5 为故障时段 TCMS 事件记录波形。图 5 中, t_1 时刻列车激活, TCMS 监视到列车激活及两个单元总风压力值为 0, 同时发出牵引封锁信息“总风压力低于 600 kPa”、紧急制动要求“总风压力低于 500 kPa”。经过 50 ms 后, 即 t_2 时刻, TCMS 采集到准确主管压力数据, 列车两个单元实际主风压力保持稳定, 为 600~700 kPa。 t_3 时刻, TCMS 发出的“总风压力低于 500 kPa”的紧急制动故障消失而“总风压力低于 600 kPa”的牵引封锁信息依然存在。



注: ①代表B1车激活及C1车主风压力值;
②代表C2车主风压力值;
③代表总风压力低于600 kPa(有总风压力可用旁路时, 此值为 600 kPa);
④代表总风压力低于500 kPa;
⑤代表单元 1 主风压力;
⑥代表单元 2 主风压力

图 5 故障时间记录波形图

由图 5 可知,故障期间“C1 车主风缸压力低”与“C2 车主风缸压力低”同样处于低电平状态,即主风压力低于 500 kPa 时压力开关均未触发,列车总风实际压力高于 500 kPa 而非为 0。

2.2 故障原因排查

在 t_1 — t_2 时刻,实际总风压力超过 500 kPa 而 TCMS 采集的 P_1 、 P_2 均异常为 0。根据图 2 a) 单元车压力采集原理,以 P_1 为例, P_1 为 0 可能存在两种原因:其一是 P_1 无效,其二是 P_1 实际采集量为 0。为验证故障时 P_1 、 P_2 实际有效状态,设计人员对总风压力低牵引封锁逻辑作如图 6 所示的修改,即在原有总风压力低的条件下增加与 P_1 、 P_2 有效的逻辑。软件修改后,当 EP09 阀输出 P_1 、 P_2 均有效且

其值低于 600 kPa 时,可触发总风压力低牵引封锁故障;当 P_1 、 P_2 值中有一者以上无效时,列车将不会触发上述故障。

软件经装车验证发现,在总风压力为 600~700 kPa 激活列车时,触发总风压力低牵引封锁故障。故障波形、时序与图 5 相同。可以确定该故障原因为 P_1 、 P_2 同时为 0 导致 P_{\min} 为 0,而非 P_1 、 P_2 无效

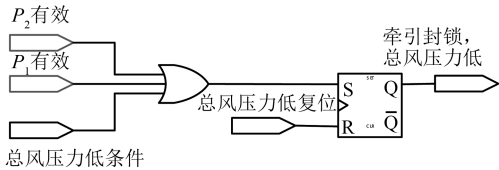


图 6 总风压力有效验证逻辑图

所致。

由于压力传感器的迟滞效应^[1-2],网络通信建立后因压力采集响应延迟,EP09 阀对 TCMS 发出数值为 0 的有效 P_1 及 P_2 ,导致列车上电激活初期 P_{\min} 为 0,列车错误诊断“总风压力低于 600 kPa”及“总风压力低于 500 kPa”故障信息。

在 t_2 时刻,TCMS 收到实际的 P_1 与 P_2 ,经处理后 P_{\min} 范围为 600~700 kPa,并于 200 ms 后取消“总风压力低于 500 kPa”的紧急制动条件。而根据图 3 “总风压力低于 600 kPa”的牵引封锁复位要求, P_{\min} 需大于 700 kPa,故障因此无法复位。

2.3 故障验证及数据采集

为进一步验证本文 2.2 节中故障排查结果,以及收集 EP09 阀总风压力数据响应时间,对其它非故障车辆进行模拟试验。当列车激活前,人工排风使得 P_{\min} 介于 600 kPa 与 700 kPa 之间,激活后出现总风压力低故障无法消失。TCMS 总风压力采集与处理时间见表 1。这说明列车通信建立后,EP09 阀压力采集存在 50~100 ms 的响应时间。根据以上结论,当 P_{\min} 大于 700 kPa,即列车激活后,TCMS 也会错误发出主风压力低故障信号。

表 1 TCMS 总风压力采集时间

车号	采集时间/ms
07011012	50
07015016	100
07021022	50
07041042	100

表 2 为实际 P_{\min} 大于 700 kPa 时,列车激活上电截取的事件记录数据。 t_0 时刻 TCMS 上电同时收到总风压力值为 0, t_1 时刻 TCMS 收到激活指令的

表 2 总风压力高于 700 kPa 时激活列车故障数据表

时刻/ ms	列车 激活	$P_{\min} \leq 600$ kPa	$P_{\min} \leq 500$ kPa	$P_1 / (10^2 \text{ kPa})$	$P_2 / (10^2 \text{ kPa})$
0(t_0)	0	0	0	0	0
50(t_1)	1	1	1	0	0
100	1	1	1	0	0
150(t_2)	1	1	1	7.78	7.80
200	1	1	1	7.78	7.80
250	1	1	1	7.78	7.80
300	1	1	1	7.78	7.80
350(t_3)	1	0	0	7.78	7.80
400	1	0	0	7.78	7.80

同时报出 $P_{\min} \leq 600$ kPa 与 $P_{\min} \leq 500$ kPa, t_2 时刻 TCMS 收到正确的总风压力值, t_3 时刻总风压力低故障信息消失。这说明当 P_{\min} 大于 700 kPa 时, 列车激活后, TCMS 因压力传感器迟滞效应导致的总风压力低故障可自行复位。

TCMS 在列车激活时同步上电, 上电初期 EP09 阀压力传感器因迟滞效应发出的 P_1 、 P_2 均为 0。TCMS 通过选择器将 P_{\min} 置为 0, 这导致所有列车在上电后均出现总风压力低故障。待 EP09 阀发出正确 P_1 、 P_2 后, 若 P_{\min} 小于 700 kPa, 牵引封锁故障经空气压缩机打气至 P_{\min} 大于 700 kPa 时复位; 若 P_{\min} 大于 700 kPa, 则上述故障直接复位。

3 优化方案

当 P_1 、 P_2 至少有一正确且有效时, 原总风压力低牵引封锁逻辑可以准确筛选出 P_{\min} , 并进一步执行故障判断。当列车激活时因 EP09 阀压力传感器迟滞效应导致响应延迟, P_1 、 P_2 同时无效的情况下如何进行故障判断, 这是亟待解决的问题。图 7 为牵引封锁逻辑优化简图。

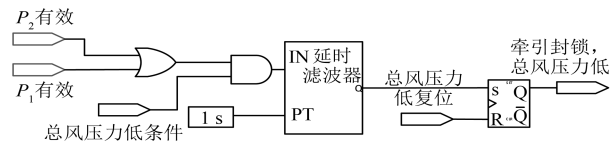


图 7 牵引封锁逻辑优化简图

3.1 滤波延时

在列车激活上电初期, 压力传感器响应延迟无法杜绝^[3-4]。为避免 P_1 或 P_2 响应延迟导致诊断错

误, 根据表 1 收集的 50~100 ms 的响应数据, 从 TCMS 逻辑上对总风压力低牵引封锁增加 1 s 滤波环节。逻辑优化后, 若 P_1 、 P_2 在列车激活后 1 s 以内出现采集延迟, TCMS 在此期间将不触发总风压力低牵引封锁, 待 1 s 后收到正确的 P_1 、 P_2 值再进行牵引封锁判断, 可有效避免误诊断。在列车实际总风压力低的情况下, 该滤波逻辑仅延迟 1 s 触发牵引封锁条件, 这并未改变故障安全导向, 不存在安全风险。

3.2 数据有效位诊断

当负责采集 P_1 、 P_2 的 EP09 阀同时发生故障时, P_1 、 P_2 处于无效状态。根据图 2 总风压力采集原理, P_{\min} 置为 0, TCMS 在进行图 3 逻辑处理后将触发总风压力低牵引封锁。通过在总风压力低条件中增加 P_1 、 P_2 有效状态或门判断, 当 P_1 或 P_2 至少有一有效时才进行牵引封锁判断, 可避免 P_1 、 P_2 同时无效导致的总风压力低误诊断。

4 结语

广州地铁 7 号线列车异常触发总风压力低牵引封锁条件, 根本原因在于制动系统在上电初期总风压力值采集响应延迟, 而 TCMS 未针对响应时间设定相应的滤波环节, 也未考虑总风压力值同时无效的故障误诊断。对此缺陷, 提出了总风压力低牵引封锁控制逻辑的优化方案。该方案通过合理设置滤波环节、数据有效位判断设计总风压力低牵引封锁逻辑, 可以有效避免发生列车上电初期总风压力低牵引封锁故障。

参考文献

[1] 蒋红娜, 白雪, 朱丽. 压阻式差压传感器的迟滞非线性建模与补偿[J]. 电子测量技术, 2016(6): 138.
[2] 林大鹏, 刘辉, 胡振球. 压力传感器的非线性校正和迟滞补偿[J]. 电子元器件应用, 2012(7): 4.
[3] 宋海宾, 杨平, 徐立波. MEMS 传感器随机误差分析及分析处理[J]. 传感技术学报, 2013(12): 1719.
[4] 张加宏, 刘震宇, 李敏, 等. 阵列式无线压力传感器系统设计与迟滞补偿研究[J]. 电子器件, 2018(2): 448.

(收稿日期: 2018-08-20)

《城市轨道交通研究》欢迎投稿

投稿网址: tougao.umat1998.com