

地铁列车制动不缓解故障分析与解决措施

乙永强 陈磊 魏松 管凯凯 李大勇

(青岛地铁集团有限公司运营分公司, 266031, 青岛//第一作者, 工程师)

摘要 制动不缓解故障是地铁列车正线运行中常见故障之一,故障处理效率直接影响了列车的运营品质。阐述了列车制动系统的基本原理,以青岛地铁3号线列车制动不缓解故障为例,分析了故障产生的原因,并提出了相应的解决及优化措施。

关键词 地铁列车; 制动不缓解; 故障分析; 解决措施

中图分类号 U270.351

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.06.031

Analysis and Treatment Measures of Braking Not Relieve Trouble of Metro Train

YI Yongqiang, CHEN Lei, WEI Song, GUAN Kai-kai, LI Dayong

Abstract Braking not relieve failure is one of the common faults in metro vehicle operation, fault handling efficiency directly affects the quality of train operation. The basic principle of the train braking control system is expounded, taking the braking not relieve failure of the Qingdao Metro Line 3 train as an example, the causes of the failure are analyzed, and corresponding solutions and optimization measures are proposed.

Key words metro train; braking not relieve; failure analysis; treatment measures

Author's address Operation Branch of Qingdao Metro Group Co., Ltd., 266031, Qingdao, China

青岛地铁3号线(以下简为“3号线”)列车采用德国克诺尔集团研制的EP2002制动系统。该系统采用基于网络及硬线冗余的控制方式,其核心部件为EP2002阀。该阀是一个高度集成及智能化的机电一体化设备,可将制动控制与制动执行集成在一起。

列车制动不缓解故障是指在制动缓解指令下达后,制动力在一定时间内不能缓解到规定值,从而导致车辆抱闸。该故障可能造成轮对和轨面的擦伤,甚至需要车辆救援。从运营安全考虑,制动不缓解故障对行车安全的影响较大。

3号线列车正线运行时,列车发生制动不缓解

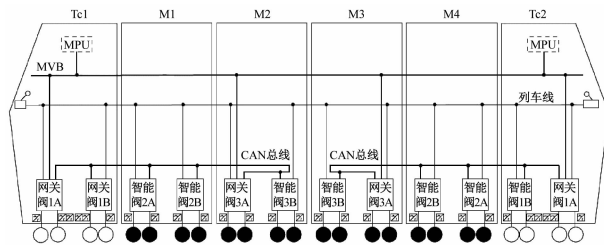
故障,司机切除故障车B05后,列车限速5 km/h运行。以此故障为例,对制动不缓解故障的检测逻辑、故障原因等进行分析,并对制动不缓解故障导致的列车限速条件及故障应急处理措施进行优化。

1 3号线列车制动系统简介

1.1 EP2002制动系统构成

EP2002制动系统是目前世界最先进的空气制动系统之一。与传统的车控式空气制动系统不同,EP2002制动系统采用架控式结构,每个转向架上都有1个EP2002阀,起到独立控制的作用,各阀通过CAN(控制器局域网)总线或车辆总线进行连接,传递信息和指令,一旦某个EP2002阀发生故障,只会影响到1个转向架,这样就分散了风险,减小了对车辆的影响。

3号线列车EP2002制动系统网络拓扑图如图1所示。



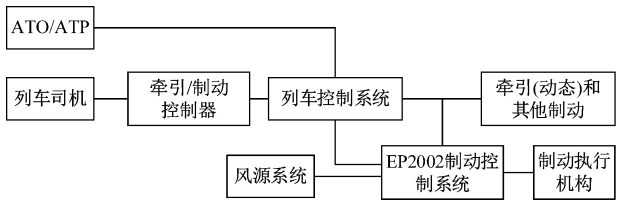
注:Tc为带司机室的拖车;M为无受电弓的动车;MPU为主处理单元;MVB为多功能车辆总线。

图1 3号线列车EP2002制动系统网络拓扑图

Fig. 1 Topology diagram of Line 3 train EP2002 braking system network

通过网关阀(G阀)、智能阀(S阀)形成了分散式制动控制网络。每个阀均安装在转向架附近(每个转向架安装1个阀),分别控制对应转向架的常用制动、快速制动、紧急制动和车轮滑行保护,EP2002阀之间通过专用的双通道CAN总线联接通信。图1中,CAN总线单元内的两个网关阀都具有

与列车管理系统通过 MVB(多功能车辆总线)通信的功能,但同一时刻只有 1 个网关阀(主网关阀)与列车管理系统通信,另一个网关阀处于热备状态作为冗余。CAN 总线单元内的 4 个智能阀通过 CAN 总线与网关阀进行通信,并与网关阀的智能阀模块共同完成车辆的常用制动、快速制动、紧急制动和防滑功能。整车与 EP2002 制动系统的关系如图 2 所示。



注:ATO 为列车自动运行;ATP 为列车自动防护。

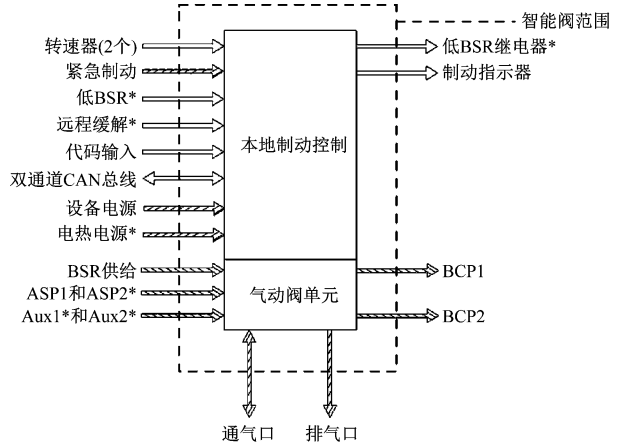
图 2 3 号线列车整车系统与 EP2002 制动系统的关系
Fig. 2 Relationship between Line 3 whole train system and EP2002 braking system

1.2 EP2002 阀

在 EP2002 控制系统中,EP2002 阀是最重要的组成部件,且是一个高度集成、高度智能化的机电一体化部件,具有智能处理及网络通信的功能,主要包含智能阀和网关阀。

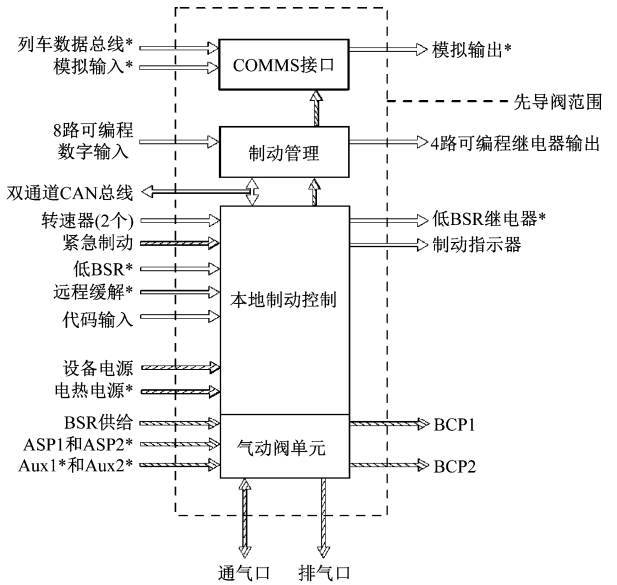
1) 智能阀:包含 1 个 PVU(气动阀单元)和安装在气动伺服阀上的电子控制部分。通过相应 CAN 总线单元传输的制动指令,每个智能阀对相应转向架上的 BCP(制动缸压力)进行控制。智能阀具有常用制动、快速制动、紧急制动和防滑保护功能。智能阀结合相应车轴产生的速度数据和单元内其他 EP2002 阀通过 CAN 总线传来的速度数据,进行车轮防滑保护。图 3 展示了智能阀的 I/O(输入/输出)状况。

2) 网关阀:网关阀具有智能阀的所有功能,并通过集成的 MVB 网络接口卡接收列车管理系统传输的制动指令。列车制动力计算完成后,将常用制动、快速制动压力分配至 CAN 总线单元内的所有 EP2002 阀。CAN 总线单元内的两个网关阀都具有与列车管理系统通信的功能,但同一时刻只有 1 个网关阀(主网关阀)与列车管理系统通信,另一个网关阀处于热备状态。若主网关阀发生故障,热备的网关阀立刻取代其功能,保证单元的制动系统正常工作,提高了系统的可靠性。图 4 展示了网关阀的 I/O 状况。



注:ASP 为空簧压力;BCP 为制动缸压力;BSR 为制动风缸;Aux 为停放压力;为气动装置;为电源;为信号;
* 为可选设备。

图 3 智能阀的 I/O
Fig. 3 I/O of smart valve



注:COMMS 为网络通信卡。

图 4 网关阀的 I/O
Fig. 4 I/O of gateway valve

2 列车制动不缓解故障分析

2.1 列车制动不缓解检测逻辑

每个 EP2002 阀都具有制动不缓解检测功能。当列车运行速度 $> 2 \text{ km/h}$ 时,如果制动系统未收到制动指令,且某个制动缸处于未缓解状态(制动缸压力 $> 0.025 \text{ MPa}$),此种情况持续 5 s ,相应的 EP2002 阀将生成制动不缓解故障。该故障通过网络传输至 TCMS(列车控制与管理系统)并在司机显示屏上弹出,同时也通过硬线输出高电平,以点

亮司机控制台上的制动不缓解指示灯。制动不缓解故障报出时,列车牵引将被切除。

制动不缓解故障的复位条件通常为:在非制动工况下,BCU(制动控制单元)检测到故障制动缸的压力下降到 0 后(制动缸压力精度约 ± 0.02 MPa),制动不缓解故障复位。当切除故障转向架 B05 后将制动不缓解故障状态复位,牵引封锁解除。

研制的不同制动系统克诺尔项目对于制动不缓解的逻辑判断虽有差异,但其基本判断逻辑是一致的。

2.2 列车制动不缓解故障原因分析

3 号线某列车在站台作业完毕后准备动车,司机发现制动不缓解指示红灯亮,列车无法动车,按压制动强迫缓解按钮时制动缓解,但松开后再次出现制动不缓解。司机切除故障车 B05 塞门,列车动车后,列车限速 5 km/h 运行,后续车辆又自行恢复正常速度。

2.2.1 故障记录分析

根据 EP2002 阀故障记录,M3 车持续闪报故障代码 66 的 CAN 网络通信故障,并且迅速恢复正常,但此类闪报故障在驾驶员显示器并无提醒;列车制动不缓解故障发生前后,该车网关阀持续闪报 CANBus 网关故障。故障数据如图 5 所示。

Event Log View	Information View
Time	Log Source
19/01/2019 19:20:08.120	(Primary Gateway (1... System Error Clear (66)
19/01/2019 19:20:21.746	(Primary Gateway (1... System Error Set (66)
19/01/2019 19:20:39.746	(Primary Gateway (1... System Error Clear (66)
19/01/2019 19:20:42.170	(Primary Gateway (1... System Error Set (66)
19/01/2019 19:20:44.860	(Primary Gateway (1... System Error Clear (66)
19/01/2019 19:21:08.970	(Primary Gateway (1... System Error Set (66)
19/01/2019 19:22:27.130	(Primary Gateway (1... System Error Clear (66)
19/01/2019 19:22:35.840	(Primary Gateway (1... System Error Set (66)
19/01/2019 19:22:39.420	(Primary Gateway (1... System Error Clear (66)
19/01/2019 19:22:44.030	(Primary Gateway (1... System Error Set (66)
19/01/2019 19:22:44.160	(Primary Gateway (1... System Error Clear (66)
19/01/2019 19:24:04.920	(Primary Gateway (1... System Error Set (66)
19/01/2019 19:24:43.840	(Primary Gateway (1... System Error Clear (66)
19/01/2019 19:24:43.840	(Primary Gateway (1... System Error Set (66)
19/01/2019 19:24:47.030	(Primary Gateway (1... System Error Clear (66)
19/01/2019 19:24:48.440	(Primary Gateway (1... System Error Set (66)
19/01/2019 19:24:58.170	(Primary Gateway (1... System Error Clear (66)
19/01/2019 19:25:03.200	(Primary Gateway (1... System Error Set (66)
19/01/2019 19:25:04.620	(Primary Gateway (1... System Error Clear (66)
19/01/2019 19:26:10.880	(Primary Gateway (1... System Error Set (66)
19/01/2019 19:26:11.440	(Primary Gateway (1... System Error Clear (66)

This is likely to be an external CAN bus fault. On bogie B, at the SK1 connector 1. Check that the connector is correctly plugged in. If SK1 is incorrectly fitted go to 3. If SK1 is correctly fitted go to 3.2. If SK1 is correctly fitted, check that there are no damaged pins or sockets. If fault found go to 4. If no fault found go to 5.4. Repair an error if possible. If repair not possible go to 6.5. Check the integrity of the external CAN bus to TS IP2002-660. If fault found go to 6. If no fault found go to 7. Swap the value. If fault follows the value go to 6. If fault occurs in original location this is not a value issue. 6. Return value following the train driver's return procedure.

图 5 M3 车 CANBus 网络通信故障数据

Fig.5 Fault data of M3 train CANBus network communication

初步分析,M3 车的 EP2002 阀发生故障,制动不缓解信息误发至网络,进而通过硬线反馈使得制动不缓解指示灯亮,但车辆实际上并未发生制动不缓解故障,司机切除 B05 后制动不缓解指示灯恢复正常,但制动不缓解指令仍发给网络,进而导致列车进行牵引安全防护、限速运行。

2.2.2 故障阀返厂检测分析

将故障阀返厂检测发现,智能阀 RBX(本地制动控制卡)中芯片 IC55 的 P8.2 引脚输出的 PSU(供

电单元卡)Test1 信号异常。经分析,RBX 板卡故障由芯片 IC49 失效导致,此芯片用于控制 PSU 低压保护电路。RBX 板卡如图 6 所示。

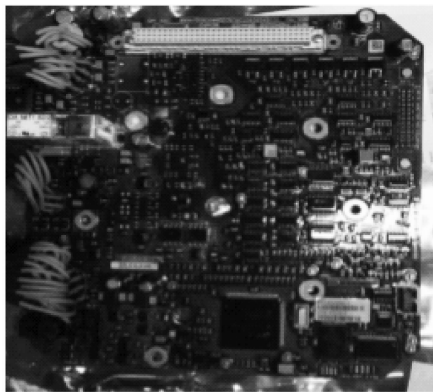


图 6 RBX 板卡

Fig.6 RBX board

智能阀 RBX 板卡中的 IC49 芯片引脚 #14 与引脚 #3 短路,导致 SK1_A 16 输出持续被拉高,PSU 板卡低压保护电路被触发保护功能,影响 PSU 板卡 CANBus 通信网络供电回路的稳定性,造成智能阀与网关阀之间的通信不稳定。网关阀通过 CAN 网向其他阀发送制动需求指令,也基于 CAN 网获取同一个单元内其他阀的制动施加/缓解状态信息。当 CAN 网通信不稳定时,网关阀无法及时准确地接收智能阀反馈的制动施加/缓解信号,从而导致网关阀对制动不缓解的判断异常。

3 列车制动不缓解故障解决措施

3.1 限速软件修改

本次列车制动不缓解故障是由于智能阀内 RBX 板卡故障使得制动不缓解信息误发至网络,从而导致列车限速,但车辆实际上并未发生制动不缓解故障。列车网络系统的判断信号应该采用更真实、可靠的硬线信号,以减少网络故障导致的信号误发及干扰。

3.1.1 现车限速判断条件

列车网络系统同时采集制动系统中各个网关阀和智能阀提供的制动不缓解信号,每列列车共采集到 12 个信号,只要有 1 个或 1 个以上阀发出制动不缓解信号,则该系统则生成列车级制动不缓解信号。当列车运行速度超过 5 km/h 且列车级制动不缓解信号存在,则网络系统禁止牵引。制动不缓解信号如图 7 所示。

<BCU>S_FBrMBApplied_B1_CaA	BOOLEAN	1= service brake not released normally (detect - diagnosis) on car A bogie 1 (car A = 1c)
<BCU>S_FBrMBApplied_B2_CaA	BOOLEAN	1= service brake not released normally (detect - diagnosis) on car A bogie 2 (car A = 1c)
<BCU>S_FBrMBApplied_B1_CaB	BOOLEAN	1= service brake not released normally (detect - diagnosis) on car B bogie 1 (car B = B1/M4)
<BCU>S_FBrMBApplied_B2_CaB	BOOLEAN	1= service brake not released normally (detect - diagnosis) on car B bogie 2 (car B = B1/M4)
<BCU>S_FBrMBApplied_B1_CaC	BOOLEAN	1= service brake not released normally (detect - diagnosis) on car C bogie 1 (car C = M2/M3)
<BCU>S_FBrMBApplied_B2_CaC	BOOLEAN	1= service brake not released normally (detect - diagnosis) on car C bogie 2 (car C = M2/M3)

图7 制动不缓解信号

Fig.7 Braking non-release signal

3.1.2 修改限速判断条件

将空气制动施加信号作为制动不缓解故障的判断限速条件,且该制动施加信号由单独的继电器控制,隔离度较高、性能稳定,且很少存在误判断的情况。

由智能阀和网关阀发出的制动施加状态信号可知,空气制动施加继电器采集所有阀的空气制动施加信号,当所有列车制动均缓解后,该继电器失电,此时列车制动施加信号变为低电平,其中一路信号发送到操纵台上的空气制动施加指示灯,一路信号发送到 BBO(黑匣子)进行记录。

车辆在牵引状态下施加制动后,“所有制动缓解”的列车线变成低电平。此时如果车辆运行速度超过 5 km/h,则列车网络系统禁止牵引。

3.2 应急故障处理优化

针对列车制动不缓解故障,在原应急操作指引基础上进行优化,增加断开该节车电器柜内的制动单元断路器的操作,以防止 EP2002 阀误发制动不缓解信号。具体操作步骤如下:

- 1) 按压操纵台上的强迫缓解按钮,进行强迫缓解。
- 2) 切除该节车上的两个制动切除阀 B05,断开该节车电器柜内的制动单元断路器 QFBCU。
- 3) 当制动仍不缓解且无法判断具体转向架位置,或切除 B05 车并断开相应制动单元断路器后故障不消除,或牵引存在封锁、实施 5 km/h 限速时,将制动不缓解旁路开关 SKNRB 置强制位。
- 4) 将应急运行模式开关 SKEMP 打到应急位进行牵引,若能够牵引,建议在列车到达的当前站或下一站清客;若牵引失败,则申请救援。

4 结语

针对青岛地铁 3 号线列车制动不缓解故障,从制动控制原理出发,对故障的检测逻辑、故障原因分析等进行了详细阐述。将更为可靠的空气制动施加信号重做逻辑作为制动不缓解故障的判断限速条件,以减少网络故障导致的信号干扰。对制动不缓解故障的应急操作指引进行优化,以便更快处理故障,减少其对列车运营的影响。

参考文献

- [1] 吴萌岭,陶再坤,田春,等.中继阀泄漏引起常用制动不缓解故障特征分析[J].仪器仪表学报,2013(8):1865.
WU Mengling, TAO Zaikun, TIAN Chun, et al. Fault characteristic analysis of service brake not releasing caused by relay valve leakage[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013(8):1865.
- [2] 万字.广州地铁 4 号线列车 EP2002 制动系统介绍及故障分析[J].铁道机车车辆,2010(6):65.
WAN Yu. Introduction and fault analysis of Guangzhou Metro Line 4 train EP2002 braking system[J]. Railway Locomotive & Car, 2010(6):65.
- [3] 杨鲁会.城市轨道交通车辆制动系统[M].北京:中国铁道出版社,2012.
YANG Luhui. Urban rail transit vehicle braking system[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2012.
- [4] 禹建伟.西安地铁 2 号线车辆单车制动不缓解故障的分析及对策[J].铁道车辆,2014(8):43.
YU Jianwei. Analysis and countermeasures of Xi'an Metro Line 2 single vehicle braking non-release fault[J]. Rolling Stock, 2014(8):43.
- [5] 李伟,毛昱洁,王珂.城市轨道交通列车紧急制动不缓解故障处理优化[J].中国现代教育装备,2016(6):129.
LI Wei, MAO Yujie, WANG Ke. Fault handling optimization for emergency brake failing to release in urban railway transportation[J]. China Modern Education Equipment, 2016(6):129.

(收稿日期:2020-04-04)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com