

全自动运行地铁线路的列车车门防挤压功能误触发故障及应对策略

毛开楠 王玉鑫 张迪 秦超 王栋

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 266109, 青岛//第一作者, 高级工程师)

摘要 在全自动运行地铁线路运行中,车门防挤压功能误触发故障频繁发生,严重影响了地铁运行效率。从车门防挤压原理、车门状态、车辆内外压力差等多方面对该故障进行了深入分析,并制定了针对性措施。

关键词 地铁;全自动运行;车门自动防挤压

中图分类号 U270.38⁺6;U231.6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.04.016

Fault of Train Door Anti-extrusion Function Mis-triggering and Countermeasures on FAO Metro Line

MAO Kainan, WANG Yuxin, ZHANG Di, QIN Chao, WANG Dong

Abstract During operation of FAO (fully automatic operation) metro lines, the frequent occurrence of train door anti-extrusion function mis-triggering fault has affected metro operation efficiency severely. In-depth analysis is carried out from perspectives including anti-extrusion principle of the door, door state, internal-external pressure difference of the vehicle, and targeted countermeasures are formulated.

Key words metro; FAO (fully automatic operation); train door automatic anti-extrusion

Author's address CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., 266109, Qingdao, China

全自动运行地铁线路的列车车门防挤压功能误触发故障频发。由于没有司机和机械师随车维护,故此类故障很难及时发现并维修^[1],严重影响了地铁运行效率。

1 车门防挤压功能的误触发

1.1 车门的防挤压功能

为避免乘客被车门夹伤,地铁列车车门均具有防挤压功能。在关门的过程中,如遇到不小于30 mm×60 mm的障碍物,则防挤压功能被激活:车

门将先被施加持续0.5 s的最大关门力,之后,未关闭的车门重新打开300 mm,再重新关闭;如障碍物仍存在,则上述关门程序再循环1次。如此3次关门后,如障碍物仍存在,则车门将完全打开。

1.2 车门防挤压功能的误触发故障

当全自动运行地铁线路的列车发出关门指令后,靠近司机室的2个车门在即将关闭到位时,自动触发防挤压功能,使车门重新打开一定宽度。部分车门可在再次关闭时正常关闭,但部分车门在第3次关闭时仍无法关门,致使车门完全打开,列车无法起动。经检查,车门状态良好且没有异物卡滞。

2 故障原因分析

2.1 车门防挤压功能的触发原理

列车门控器具有自动障碍检测功能,其将车门运动行程划分为多个距离段,并通过位置传感器对车门位置进行监控。如果车门未在特定时间内通过这些距离段,则车门防挤压功能将被激活。

2.2 故障时的车门运动曲线分析

以某状态良好、无异物卡滞,且已误触发防挤压功能的车门为对象,分析其故障原因。该车门防挤压功能的触发条件是:车门无法在125 ms内通过8 mm。

故障时的车门位移曲线见图1。由图1可知: $t_1=2\ 310$ ms时,门体实际位移 $s_1=89.2$ mm; $t_2=2\ 440$ ms时, $s_2=82.1$ mm。由此可知,在 t_1-t_2 时间段的130 ms内,车门位移仅为7.1 mm。经计算,此时车门未能实现在125 ms内通过8 mm,触发车门防挤压功能。

可见,关门速度慢是导致触发车门防挤压功能的主要原因。而关门速度慢是由于关门阻力大造成的。

2.3 故障车门的关门阻力

普通地铁列车司机室设有侧门。当列车准备离

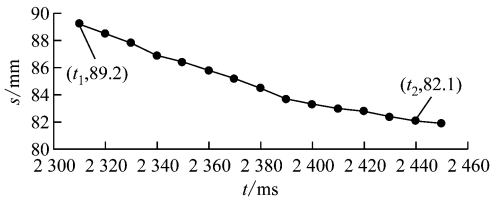


图1 车门位移曲线图

Fig.1 Curve of train door displacement

站时,司机先关闭客室侧门,再关闭司机室侧门。因列车车内压力较大,故车内气流先从客室流向司机室,再从司机室门流出车外,减少了车辆内外压力差,不影响车门的正常关闭。

全自动运行地铁线路的列车无司机室侧门。当列车准备离站、关闭客室侧门时,车厢内外气流无法流通,形成车辆内外压力差。当车内压力大于车外压力时,车门在关闭过程中会受到从内向外的推力,阻碍其关闭,从而自动触发车门防挤压功能。由此可见,车辆内外压力差的大小,是影响全自动运行地铁线路的列车正常关门的主要因素。

2.4 车辆内外压力差

2.4.1 车辆内外压力差测试

以某防挤压功能误触发故障频发的全自动运行地铁线路的列车为测试列车,在其车门内、外表面分别设置压力传感器,对列车离站关门过程中的车辆内外压力差进行测量。

在头节车辆靠近站台侧的4套客室侧门内、外表面各设置1个压力传感器。4套客室侧门的门号分别为1门、3门、5门及7门。按空调开启和空调关闭两种测试工况,测得列车停靠典型站点关门时的车辆内外压力差最大值如表1所示。

GB/T 30489—2014《城市轨道交通车辆客室侧门》第6.6.2.2条规定:在静止车辆上,当车内外压力差不大于50 Pa时,门应能正常开关。由表1可知,车门关闭时的内外压力差远超标准规定的50 Pa。

以鲍山站的列车3门为例,关门过程的车辆内外压力差变化曲线见图2。

由图2可知:从开始关门起($t=0$ 时),随着两扇门板的距离越来越小,气流从车内流向车外的通道越来越窄,车门处车辆内外压力差越来越大,车门所受阻力也越来越大;在车门完全关闭的瞬间($t=3$ s时),车辆内外压力差达到峰值;车门关闭后,车辆内外压力差逐步减小,约0.3 s后趋于稳定,保持在50~70 Pa。

表1 车辆内外压力差最大值

Tab.1 Maximum vehicle internal-external pressure difference

站点	门号	车辆内外压力差最大值/Pa	
		空调开启工况	空调关闭工况
王府庄站	1 门	166	84
	3 门	162	76
	5 门	124	53
	7 门	102	34
益康站	1 门	275	183
	3 门	270	150
	5 门	257	132
	7 门	207	123
鲍山站	1 门	325	293
	3 门	299	252
	5 门	278	241
	7 门	256	218
七里堡站	1 门	229	185
	3 门	215	161
	5 门	189	150
	7 门	172	105

注:车辆内外压力差 = 车内压力 - 车外压力。

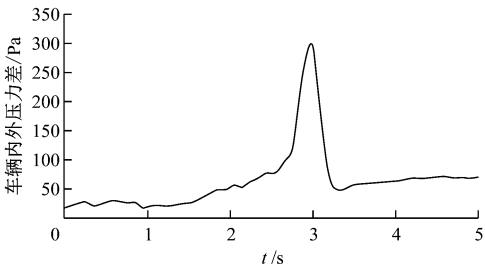


图2 鲍山站列车3门的关门压力差曲线图

Fig.2 Pressure difference changing curve of door No.3 closing process at Baoshan Station

2.4.2 车辆内外压力差分析

列车运行时,前车不断将隧道内的空气带出,后车将空气往前推;列车停站后,头节车辆附近的隧道内负压较大。这是车辆内外压力差大的主要原因。

进一步分析外因可知:

- 1) 隧道阻塞比越大,车辆内外压力差越大。
- 2) 隧道越长,车辆内外压力差越大。
- 3) 隧道风机的布置数量充分,且全部开启通风功能,有利于降低隧道负压,进而降低车辆内外压

力差。经调查发现,在车门防挤压误报故障频发的站点,隧道风机的通风口均未开启。

4) 车辆编组数越多,车辆内外压力差越大。

5) 列车运行速度越高,车辆内外压力差越大。

6) 在线运行的列车数量越多,车辆内外压力差越大。

分析车辆内因可知:

1) 空调的影响。由表1可知:空调是否开启,对车辆内外压力差影响较大。空调关闭后,车辆内外压力差可降低40~80 Pa。

2) 废气排气的影响。废气排气装置作为车辆内外空气交流的通风口,在平衡车辆内外压力差方面发挥重要作用。测试列车的废气排气装置均设在车辆二位端。从表1可知,相较而言,在离废气排气装置较远的1门及3门处车辆内外压力差更大。

2.5 车门关门力

GB/T 30489—2014《城市轨道交通车辆客室侧门》仅要求第1次关门力 $F_c \leq 150$ N,而对 F_c 无下限要求。各车门关门力由车门控制软件设定为相同值,但因每扇门的机械阻力不同,故实测的 F_c 也大小不一,一般为110~140 N。防挤压力虽符合标准,但部分车门的 F_c 过小,易自动触发防挤压功能,导致关门故障。

3 应对策略

针对上述车辆内外压力差过大的原因,本文提出一系列应对措施。

3.1 合理的阻塞比

地铁建设方应在项目策划阶段合理设置隧道阻塞比。为降低车辆内外压力差,避免气压波动影响乘客舒适感及车门的正常启闭,地铁隧道阻塞比一般应为0.30~0.45。

3.2 确保隧道正常通风

应定期检查隧道各通风装置状态,确保通风装置正常运行。降低隧道负压,有利于降低车辆内外压力差。

3.3 优化列车空调系统的控制逻辑

应优化全自动运行地铁线路的列车空调系统控制逻辑。当列车到站停车后,车辆空调应降低运行频率,减少新风量,减少车内正压。

3.4 优化废气排气装置的布置

对于全自动运行线路的地铁列车头节车辆,应

合理设计废气排气装置与各车门的位置关系。建议将废气排气装置布置在车辆的两端或中间,以增大关门时空气流动,进而降低关门时的车辆内外压力差。

3.5 优化车门控制逻辑

在全自动运行地铁线路的车辆设计时,应从以下两个方面优化车门控制逻辑:

1) 在满足标准的前提下,在车门软件设置中应尽量增大 F_c ,并增设下限。建议 F_c 为130~150 N。

2) 根据废气排气装置的位置,调整车门的关门延迟时间。头节车辆远离废气排气装置处的车门先关,靠近废气排气装置处的车门后关。

3.6 减小关门阻力

在确保车门密封性的前提下,优化调整车门的V型尺寸、对中度及外摆量等关键参数,以及密封结构,应确保开关门顺畅,使开关门阻力最小。

4 结语

随着城市轨道交通的发展,全自动运行地铁线路越来越多,列车运行速度也越来越快。列车运行速度提升后将进一步增大车辆内外压力差,车门自动触发防挤压的问题会越来越严重。本文从车门防挤压原理、车门自身调整状态、车辆内外压力差等多方面对车门防挤压功能误触发问题进行了深入分析,并从隧道阻塞比、隧道通风装置,以及车辆的车门、空调、废气排气装置的优化等方面提出了针对性的应对策略,为其他类似项目提供参考。

参考文献

- [1] 印楦民,李春广,曾要争.弓网检测系统在全自动无人驾驶地铁中的应用[J].城市轨道交通研究,2018(6):131.
YIN Zhenmin, LI Chunguang, ZENG Yaozheng. Application of pantograph catenary detection system in fully automatic unmanned subway[J]. Urban Mass Transit, 2018(6):131.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.城市轨道交通客室侧门:GB/T 30489—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Bodyside entrance systems for urban rail transit vehicle: GB/T 30489—2014[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.

(收稿日期:2021-05-13)