

# 速度 120 km/h 地铁车辆压力波控制方案

冯旭伟 赵 钧 陈 园 于广禄

(石家庄国祥运输设备有限公司, 050035, 石家庄)

**摘 要** [目的]随着城市轨道交通车内舒适性要求逐渐提高,速度 120 km/h 及以上的地铁车内压力波控制逐渐成为列车空调系统所必须配置的功能,虽然高速动车组、160 km/h 市域车等高速列车空调系统已经具有了成熟的压力波保护装置,但多数采用气动方式,结构复杂且成本较高,并不适用于地铁车辆,因此,需结合地铁车辆的特点,研究适用于地铁车辆的压力波保护方案。[方法]对既有速度 120 km/h 的地铁车辆车内压力波动进行了抽样测试;根据测试结果和结合地铁运行线路、站点配置等因素,总结了造成车内压力波动的主要影响因素,并提出了采用空调系统电动新风阀控制车内压力波动的方案;在新风阀不同开度下,对车内压力波进行了验证。[结果及结论]经试验证明:地铁车辆可利用线路固定、站点固定和靠站时间间隔固定等有利因素,采用主动式压力波控制方案,空调系统通过车辆网络提供的站点信息及车辆速度信号控制新风阀的打开与关闭,进而控制车内压力波动,此方案相对比高速动车组、160 km/h 市域车等高速列车具有结构简单、成本低、控制灵活等特点。

**关键词** 地铁车辆; 压力波; 压力波控制方案

**中图分类号** U270.38

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2024.05.031

## Pressure Wave Control Scheme for Metro Vehicle at Speed of 120 km/h

FENG Xuwei, ZHAO Jun, CHEN Yuan, YU Guanglu  
(Shijiazhuang King Transportation Equipment Co., Ltd.,  
050035, Shijiazhuang, China)

**Abstract** [Objective] With the increasing demand for passenger comfort in urban rail transit, pressure wave control inside metro trains at speed of 120 km/h and above has become an essential function of train air-conditioning system. Although high-speed EMUs and 160 km/h city railway trains already have mature pressure wave protection devices, most of them use pneumatic methods, complex in structure and relatively costly, therefore unsuitable for metro vehicles. Therefore, it is necessary to study pressure wave protection schemes suitable for metro vehicles based on their characteristics. [Method] Sampling tests are conducted on the pressure wave dynamics inside existing metro trains with speed of 120 km/h. Based on the test results and factors such as the operating routes and sta-

tion layout, the primary influencing factors causing pressure wave dynamics inside the train are summarized, and a scheme using electric fresh air valves in the air conditioning system to control pressure wave dynamics inside the train is proposed. Validation of pressure waves inside the train is conducted under different opening degrees of the fresh air valve. [Result & Conclusion] Experimental results demonstrate that metro vehicles can utilize favorable factors such as fixed routes, fixed stations, and fixed dwell time to adopt an active pressure wave control scheme. The air-conditioning system controls the opening and closing of fresh air valves by using station information through the train network and speed signals, thereby controlling pressure wave dynamics inside the train. This scheme is relatively simple in structure, low in cost, and flexible in control compared to high-speed EMUs and 160 km/h city railway trains.

**Key words** metro train; pressure wave; pressure wave control scheme

随着城市建设的不断发展,城市人口逐渐增多,城市规模逐渐扩大,轨道交通在优化城市空间结构、缓解城市交通拥挤和连接城市周边经济区等方面都具有积极作用。目前,轨道交通建设已呈多样化发展趋势,在中心城区大多以站间距较短的地下线为主,即列车速度多为 80 km/h 或者 100 km/h;而随着城市不断扩张,很多地铁线路逐渐延伸至市郊,站间距也随之加长,为缩短通行时间,列车设计速度已提升至 120 km/h。

针对运行速度达到 120 km/h 的列车,其在通过隧道时,隧道内急剧变化的压力波会传入车内,而造成乘客出现耳膜压痛等不适现象<sup>[1]</sup>。地铁线路与高速动车组、160 km/h 以上市域车不同,其具有站点多、开关门频繁及车外环境复杂多变等特点,地铁车辆的压力波控制如采用高速列车的压力波控制方案则会产生空调系统设计复杂、成本增高、压力波阀动作频繁及误动作几率增加等不良效果。因此,需研究设计专属适用于地铁车辆的压力

波控制方案。

地铁车辆普遍参考的压力波控制指标为国标 GB/T 33193.1—2016《铁道车辆空调 第一部分:舒适度参数》和国标 TB/T 3493—2017《铁道车辆空调 空调压力保护装置》,车内压力变化  $\Delta p$  需满足“1 s 内  $\Delta p \leq 500$  Pa, 3 s 内  $\Delta p \leq 800$  Pa”的要求。

## 1 地铁车辆车内压力波抽样测试

选取某城市最高运行速度 120 km/h 地铁线路

进行车内压力波测试;采用手持式压力传感器记录列车全程车内压力;空调系统正常工作状态下,结合站点分布、站点间距和地下、地上运行情况等线路特点,分析压力波超标原因。

某地铁线路 1 s 及 3 s 内车内压力变化曲线如图 1 所示。

此地铁线路特点为前段、后段运行区间均为地下线路,而中间运行区间为高架线路。根据测试结果,在高架线路上,压力波较为稳定,未出现较大压

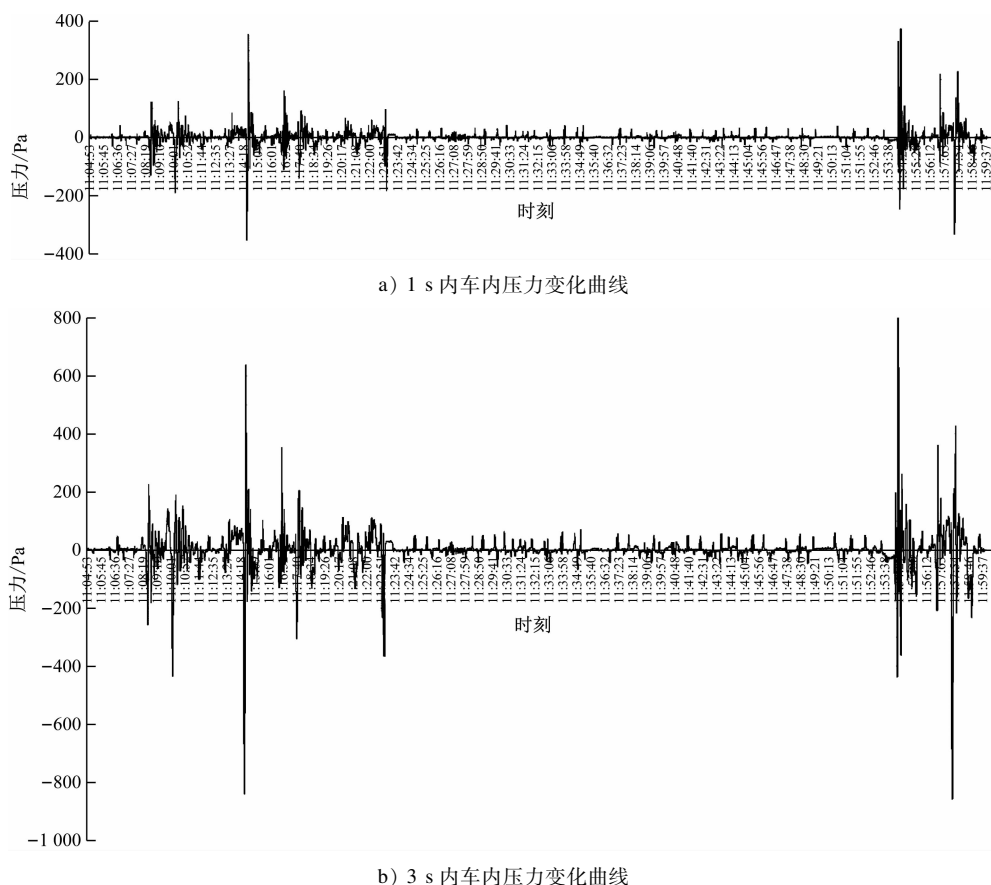


图1 某地铁线路 1 s 及 3 s 内车内压力变化曲线

Fig.1 Pressure wave dynamics curves of a metro line in 1 second and in 3 seconds

力波动,而在前段、后段线路上出现了较大的压力波动。由图 1 可知:1 s 内车内压力变化尖峰区间与 3 s 内车内压力变化尖峰区间基本一致;1 s 内车内压力变化符合标准  $\Delta p \leq 500$  Pa 的要求,但 3 s 内车内压力变化有 3 个位置超过了标准  $\Delta p \leq 800$  Pa 的要求。经分析,超标位置处于站间距较大的隧道内及由高架进入隧道的运行区间。此次测试过程中发生 2 次会车,经过对会车时车内压力波动分析,会车对压力波无影响。

## 2 空调系统新风风阀开度对压力波的影响

在既定线路中,列车车内压力波动主要影响因素为车外压力变化幅值及车辆气密指数<sup>[1]</sup>;当车外压力变化幅值较大时,必须提高车辆的气密指数以减小车内压力波动,此时车外压力变化幅值与速度成正比<sup>[2]</sup>;而地铁车辆相对于动车组列车速度较低时,车外压力变化幅值较小,故对车辆的气密指数可不必达到动车组所要求的指标即可确保车内压力波控制在标准范围内。车内空气与外界空气联

通的主要通道就是空调系统的新风入口,新风口完全关闭后,可提升车辆的气密性。

高速动车组及 160 km/h 以上的市域车在新风口处安装了新风阀板,使其在车外压力变化较大时可关闭新风口,避免车外压力波动影响到车内。高速列车的新风阀板一般采用气动关闭方式,其具有动作速度快、关闭严密等特点,但此方案需车辆向空调系统内提供压缩空气的气源,且增加了气缸、换向阀等多个气路部件,设计结构复杂,产品成本增加。而地铁车辆空调内部往往不设置气源,如果采用动车组气动方式的新风阀板,无疑增加了车辆及空调的设计难度,增加了产品成本,也增加了后期的运营维护难度。

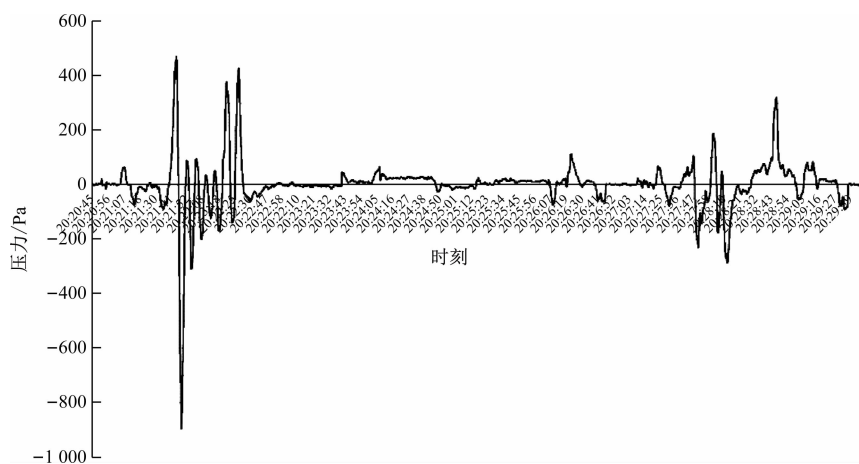
地铁车辆的新风口处装有叶片式新风风阀,出于节能考虑,空调系统的新风量一般根据载客量分为 3 档调节,当车内乘客较多达到 AW3(满座 + 9 人/ $\text{m}^2$ ,超常载荷)时,新风全开,以满足车内新风需求;而当车内乘客仅为 AW2(满座 + 6 人/ $\text{m}^2$ ,额定

载荷)、或者 AW1(满座)时,适当关闭新风,以避免过多的新风进入车内造成热负荷增大,进而降低空调系统功耗。

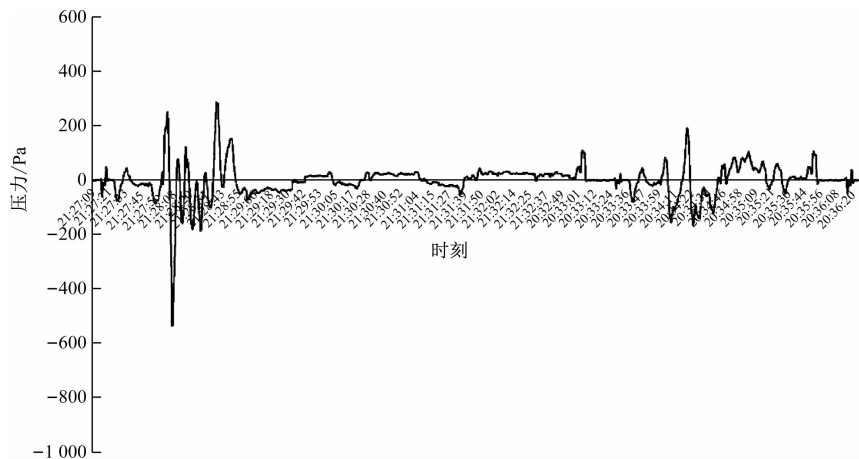
选择某地铁线路车内压力波超标路段进行测试,此地铁列车为标准 B 型车 6 辆编组,经过在特殊路段进行新风风阀不同开度下的车内压力波测试,以验证新风风阀不同开度下,车内压力变化值。

此路段构成为隧道→高架→隧道,共计包含 3 站,其站间距分别约为 3 km 与 8 km,并具有线路复杂、站间距长的典型特点。经测试,在新风阀 3 档开度及全关的情况下,1 s 内车内压力波动均未发生超过 500 Pa 的情况,3 s 内车内压力波动如图 2 所示。

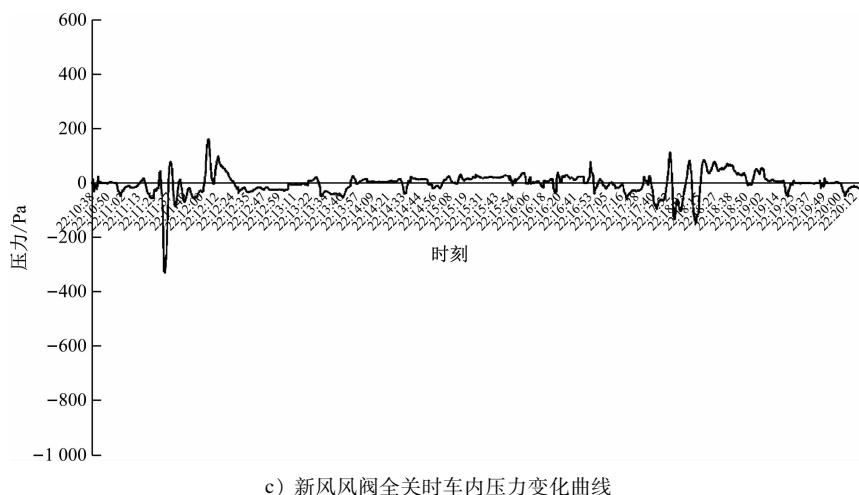
由图 2 可知,新风风阀全开时,3 s 内车内压力波动最大为 897 Pa,新风风阀 1/3 开度时,3 s 内车内压力波动最大为 535 Pa;新风风阀全关时车内压力波动最大为 329 Pa。此次试验过程验证了关闭新风风阀可有效降低车内压力波动,满足了标准要求。



a) 新风风阀全开时车内压力变化曲线



b) 新风风阀 1/3 开时车内压力变化曲线



c) 新风风阀全关时车内压力变化曲线

图2 不同新风风阀开度条件下车内压力变化曲线

Fig. 2 Curves of pressure wave dynamics inside the vehicle under different fresh air valve opening degree conditions

### 3 地铁车辆车内压力波控制方案

城市地铁线路具有线路固定、站点固定和靠站时间间隔固定等特点,其在车辆运行过程中,车内压力波变化趋势也相对固定。因此,在进行地铁车辆车内压力波控制方案设计时,可提前进行线路压力波测试,以识别压力波超标位置点;采用主动式压力波控制方案,在车辆进入压力波超标位置前,提前关闭空调系统新风阀,以确保车内压力波动满足标准要求。

地铁车辆主动式压力波控制方案的主要原理是车辆网络将站点信号与速度信号传输给空调系统控制器,控制器根据预先设定的逻辑在需要进行压力波控制的位置提前关闭新风风阀。地铁车辆主动式压力波控制原理如图3所示。

此压力波控制方案已在国内某地铁线路上成功应用,且正在向其他线路进行推广。

采用此种方案进行地铁车辆压力波控制需要注意以下几点:

1) 由于地铁线路各不相同,依此控制方案设计完成后需在线路上进行验证,以确保车内压力波可满足标准要求。

2) 目前,空调系统所采用的新风风阀关闭时间各不相同,普遍采用的关闭时间为30 s、35 s、75 s等,因此,需在控制器逻辑内考虑关闭时间提前关闭,以确保列车行驶至压力波控制位置时新风风阀已关闭。

3) 由于新风风阀关闭状态下车内与外界存在压差,在此状态下有可能会影响到车门的正常开

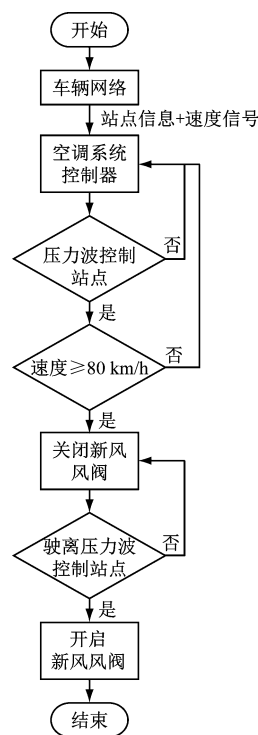


图3 地铁车辆主动式压力波控制原理

Fig. 3 Metro vehicle active pressure wave control principle

关,因此,应确保在开、关门过程中新风风阀为打开状态。

### 4 结语

本文通过对地铁线路压力波测试及对新风风阀不同开度下的压力波测试,得出以下结论:

1) 运行速度120 km/h的地铁线路有可能会出现车内压力波超标位置点,即在车辆及线路条件一定时,隧道内行车距离长及由高架进入隧道的运行



区间易发生压力波超标现象。

2) 地铁车辆可不必采用高速动车组及 160 km/h 以上市域车所采用的气动 + 新风阀板式的压力波控制方案。这是由于地铁车速相对较低,减小空调与外界的连通面积,采用空调系统常用的叶片式新风风阀在压力波超标位置保持关闭即可满足车内压力波指标要求。

3) 由于车内压力波受隧道阻塞比、车辆气密指数及列车速度等众多因素影响,地铁车辆在确定压力波控制方案前,可先在线路进行压力波测试,确定压力波控制位置点;可依据车辆网络提供的站点信息及速度信号采用主动式压力波控制方案。压力波方案控制完成后应在线路上再次验证,必要时优化控制逻辑,以确保车内压力波得到良好控制,符合标准要求。

## 参考文献

[1] 祝岚,张东,孙振旭,等.基于乘客舒适性的快速地铁隧道压力波分析[J].都市快轨交通,2015,28(1):87.

ZHU Lan, ZHANG Dong, SUN Zhenxu, et al. Analysis of pressure waves of high-speed subway tunnel based on passenger comfort[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2015, 28(1): 87.

[2] 马春生,王子超.和谐号 CRH380 动车组列车车内压力测试与分析[J].城市轨道交通研究,2022,25(2):52.

MA Chunsheng, WANG Zichao. Test and analysis of internal pressure of Harmony CRH380 EMU[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(2): 52.

[3] 唐闻天,王丽丽.快速地铁车辆气动效应及车辆设计参数分析[J].城市轨道交通研究,2019,22(5):138.

TANG Wentian, WANG Lili. Analysis on aerodynamic effects and design parameters in rapid metro vehicle design[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(5): 138.

· 收稿日期:2023-12-27 修回日期:2024-03-12 出版日期:2024-05-10

Received:2023-12-27 Revised:2024-03-12 Published:2024-05-10

· 第一作者:冯旭伟,高级工程师,xuwei.feng@guoxiang.com.cn

通信作者:赵钧,高级工程师,jun.zhao@guoxiang.com.cn

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

## 国内首列全自动无人驾驶中国标准地铁列车到达徐州

3月29日,中车浦镇造徐州地铁6号线一期工程首列全自动无人驾驶电客车顺利到达汪庄车辆段。该列车是国内首列支持GoA4(无人干预列车运行)全自动运行的列车,采用的是系列化中国标准,列车设计速度为80 km/h,车辆为地铁B型车。该列车主要亮点为:

1) 运行更加智能。可实现全场景自动化运行,具备远程处置、视频联动等功能。重要设备和主要控制回路采用自诊断自复位设计,提高了列车故障自复位能力。

2) 更加安全可靠。列车配备弓网在线监测、走行部在线监测、脱轨检测、蓄电池在线监测、障碍物检测、RFID(射频识别)温度检测等装置,以及可编程LCU(逻辑控制单元)和智能运维系统,确保车辆运维更加便捷、安全、智能、高效。

3) 更加舒适人性化。列车采用优质防寒吸音材料和自主研发转向架,结合线路特征及车辆噪声源进行了针对性优化;配备可摄像的紧急报警器、动态地图显示屏、更高分辨率客室显示屏,给乘客带来更舒适人性化的乘车体验。

(供稿:中车南京浦镇车辆有限公司)

## 2024年3月城市轨道交通运营数据

2024年3月,31个省(自治区、直辖市)和新疆生产建设兵团共有55个城市开通运营城市轨道交通线路310条,运营里程10 248 km。实际开行列车338万列次,完成客运量28亿人次,进站量16.8亿人次。3月份,客运量环比增加7.5亿人次,增长36.6%,同比增加2.5亿人次,增长10%。3月份全国总运营里程的平均客运强度为0.885万人次/(km·d),环比增长27.7%,同比增长4.1%。本月新增运营里程42.4 km,新增运营线路2条,为长春地铁6号线和南京地铁5号线。

(来源:交通运输部网站)