

# 市域列车车内空气压力波动控制技术

于晓良 王胜光

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 266111, 青岛//第一作者, 高级工程师)

**摘要** 针对市域列车运行速度较高且运行线路隧道阻塞比较大的特点, 为有效抑制车外急剧变化的空气压力波动传入车内, 在简述车内空气压力波动控制指标及高速动车组空气压力波动控制方式的基础上, 提出了市域列车整车气密性控制指标, 介绍了市域列车两种被动式压力保护系统的组成、工作原理及控制方式。现车测试结果表明, 采用两种控制方案, 车内空气压力波动均满足 3 s 内最大空气压力变化不大于 800 Pa 的要求, 控制效果良好。此外, 还对新风电动风量调节阀全开和全关状态下的车内空气压力波动进行了测试。测试结果表明, 新风电动调节阀全关状态下的车内最大空气压力 3 s 内变化值可降低约 10%。

**关键词** 市域列车; 空气压力波动; 被动式压力保护系统

**中图分类号** U239.5; U270.38<sup>+</sup>3

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2023.01.044

## City Railway Train Interior Air Pressure Fluctuation Control Technology

YU Xiaoliang, WANG Shengguang

**Abstract** In view of the characteristics of high train running speed and high operating line tunnel blocking ratio of city railway, in order to effectively prevent the external air pressure fluctuation that changes drastically from entering train, based on the brief description of the interior air pressure fluctuation control index and the air pressure fluctuation control mode of high-speed EMU, the overall air-tightness control index of city railway train is proposed. The composition, working principle and control mode of two kinds of passive pressure protection systems for city railway train are studied. In-vehicle test results show that both the interior air pressure fluctuation control schemes can meet the requirement of maximum air pressure change of less than 800 Pa within 3 seconds, and the control effect is good. In addition, the interior air pressure fluctuation is tested under both the fully open and fully closed states of fresh air electric volume regulating valve. Test results show that the maximum pressure change within 3 seconds can be reduced by 10% under the fully closed state of fresh air electric regulating valve.

**Key words** city railway train; air pressure fluctuation; pas-

sive pressure protection system

**Author's address** CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., 266111, Qingdao, China

随着城市规模的不断增大, 伴随区域城市群的出现, 市域列车的运行速度不断提升, 最高运营速度可达 120~200 km/h, 运营时间在 1 h 左右, 运营模式为公交化运营模式。随着市域列车运行速度的提升, 当市域列车高速通过隧道或在隧道外线路交会时, 车外急剧变化的压力波动会传入车内, 造成乘客出现耳鸣等不适现象。

文献[1]研究了时速为 80 km 的某 A 型地铁列车通过隧道时的车内外压力波动特性。文献[2]研究了地铁列车分别以时速为 80 km 和 90 km 通过隧道时的车内外压力波动特性。文献[3]通过仿真及深圳地铁 11 号线实车测试, 对车内最大空气压力 3 s 内变化不大于 800 Pa 进行了适应性验证。文献[4-5]分别研究了高速动车组主动式及被动式压力保护控制技术。市域列车的运行速度介于高速动车组与地铁列车之间, 其隧道断面等运行条件更倾向于地铁。

本文针对市域列车运行速度较高且线路隧道阻塞比较大的特点, 为防止列车高速通过隧道时车内空气压力变化较大, 对市域列车被动式压力保护控制技术进行了研究, 并通过实车线路测试验证了该技术的有效性。本研究可为市域列车车内空气压力波动保护提供工程经验。

## 1 车内压力波动控制指标

国内高速动车组普遍采用的车内空气压力波动控制指标, 参照的是 UIC 660—2002《保证高速列车技术兼容性的措施》和 GB/T 33193.1—2016《铁道车辆空调 第 1 部分: 舒适度参数》的要求。标准中规定车内空气压力波动需同时满足以下条件: 压力变化  $\Delta P/\Delta t \leq 500 \text{ Pa/s}$ , 3 s 内最大压力变化  $\leq$

800 Pa, 10 s 内的最大压力变化  $\leq 1000$  Pa, 超过 60 s 内的最大压力变化  $\leq 2\ 000$  Pa。

市域列车车内空气压力波动控制指标参照高速动车组控制指标执行。目前已运行的市域列车多参照 3 s 内的车内最大空气压力变化值进行控制, 即车内 3 s 内最大空气压力变化不超过 800 Pa。

## 2 车内空气压力保护控制方式

轨道交通列车车内空气压力波动控制方式主要有主动式和被动式两种。主动式压力保护: 在静压变化相同的情况下, 利用高静压风机比普通风机风量变化小的特点, 在抑制车外急剧变化的压力波动传入车内的同时, 控制风量变化。被动式压力保护: 利用控制器检测车内外空气压力波动, 当波动值大于设定限值时, 控制压力保护阀关闭与外界相通的新风口和废排风口, 隔断车内外空气连通, 控制车外压力波动传入车内。

考虑到主动式压力保护方式所用的高静压风机的功耗、质量、成本等均较大, 以及相对于高速动车组, 市域列车运行速度较低的运营特点, 市域列车的客室空调系统多采用被动式压力保护控制方式。

## 3 车内空气压力保护控制技术

### 3.1 整车气密性控制

隧道内最大空气压力变化值与列车速度的平方成正比, 与阻塞比的幂指数成正比。考虑基建成本因素, 市域列车阻塞比多数大于 0.2。当列车高速通过隧道时, 在列车外部会产生急剧变化的压力波动, 如列车密封性较差时, 车外空气压力波动会通过车内外连通通道传入车内, 易造成乘客产生耳鸣等不适症状。

基于此, 为避免车内出现急剧的空气压力波动, 首先需要控制整车的气密性, 防止车外压力波动从车辆缝隙传入车内。鉴于市域列车阻塞比较大的特点, 建议市域列车的运行速度在 140 km/h 及以上时考虑整车气密性设计。随着列车运行速度的提升, 整车气密性的要求也随之逐渐提高。一般市域列车的运行速度不超过 160 km/h 时, 建议整车空气压力从 2 600 Pa 降低至 1 000 Pa 的时间不小于 12 s; 当市域列车的运行速度超过 160 km/h 时, 建议整车空气压力从 4 000 Pa 降低至 1 000 Pa 的时间不小于 50 s, 即同高速动车组的要求一致。

### 3.2 车内空气压力保护控制方式

针对市域列车运行线路固定的特点, 在市域列车被动式压力保护系统具体实现形式上, 可采用基于车内外压力波动检测的控制技术和基于路谱的车内压力保护控制技术。

#### 3.2.1 基于车内外压力波动检测的控制技术

1) 系统组成及工作原理。基于车内外压力波动检测控制技术的被动式压力保护系统主要由压力保护控制装置和压力保护阀组成。压力保护控制装置设置在头尾车司机室或靠近司机室位置, 在列车头尾车两侧设置检测车外压力波动的检测口, 通过气管与压力保护控制装置连通, 用于检测车外压力波动。压力保护阀采用气动结构, 可快速关闭, 分别设置在客室空调新风口和废排装置的废排风口处。

当市域列车高速通过隧道或在隧道外线路交会时, 利用压力保护控制装置检测车内外空气压力波动。当压力波动达到关阀条件时, 控制压力保护阀快速关闭与外界相通的新风口和废排风口, 有效抑制车外急剧变化的压力波动传入车内, 提高列车运行过程中乘客的乘坐舒适性。被动式压力保护系统工作原理如图 1 所示。

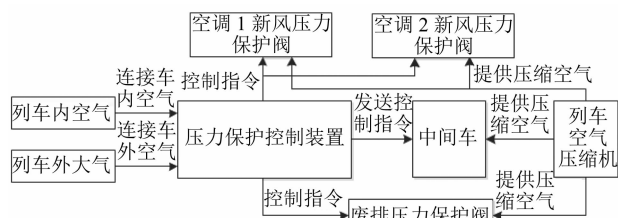


图 1 被动式压力保护系统工作原理

Fig. 1 Working principle of passive pressure protection system

2) 控制方案。压力保护控制装置对检测的车内外压力值按车内外压差绝对值和压差变化趋势分别进行逻辑运算, 控制压力保护阀动作。某一市域列车车内压力保护控制方案如下:

(1) 压力保护阀关阀条件。

条件 1: 列车内部和外部气压压差绝对值  $> 600$  Pa, 且持续 50 ms。

条件 2: 任一 50 ms 内, 列车内部和外部气压压差绝对值的波动幅值  $> 200$  Pa。

条件 3: 任一 200 ms 内, 列车内部和外部气压压差波动幅值的绝对值  $> 230$  Pa。

(2) 压力保护阀开阀条件。持续 1 000 ms 内, 列车内部和外部气压压差绝对值  $< 350$  Pa。

为避免压力保护阀开阀时车内压力瞬时波动太大,采用顺序开阀逻辑,即各车压力保护阀按照一定的时间间隔顺序打开。压力保护阀关闭后,列车客室内无法获得新鲜空气,故在压力保护阀持续关闭 5 min 后,强制打开 30 s。为防止列车进站后,压力保护阀关闭对开门的影响,当列车速度小于 50 km/h 时,强制打开压力保护阀。当列车通过密集隧道群时,可将压力保护阀的最小打开维持时间缩短至 1 s,以防止出现处于强制开阀期间的列车驶出隧道后再次高速通过隧道的情况。若此时压力保护阀处于打开状态,将会导致车内压力波动过大。针对列车通过长大坡道、隧道群等工况,因海拔高度差等原因导致车内外压差较大时,可增加泄压控制模式<sup>[6]</sup>,通过较长的时间、较小的内外气压压差流通来平衡车内外压差。

3.2.2 基于路谱的车内压力保护控制技术

市域列车运行的线路、站点、隧道和通风井等建筑设施相对固定,具有相对固定的列车、线路、列车运行特性等特点,因此市域列车具有其特有的、相对固定的运行路谱。基于此提出了基于路谱的车内压力保护控制技术。

1) 系统组成及工作原理。基于路谱的车内压力保护控制技术的被动式压力保护系统主要执行机构为电动压力保护阀,分别设置在客室空调和废排装置内,由空调控制装置控制。市域列车的运行线路相对固定,可通过地面信号系统实时获取列车位置或通过 PIS(乘客信息系统)获取站点信息,通过对比列车当下位置与隧道等出现压力波动较大的位置,控制压力保护阀动作。基于路谱的车内压力保护控制技术工作原理如图 2 所示。

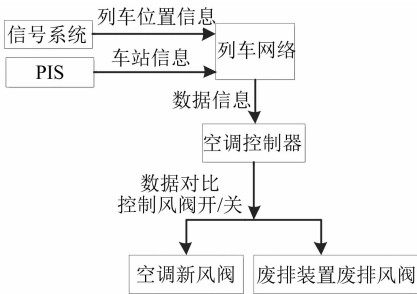


图 2 基于路谱的车内压力保护控制技术工作原理  
Fig. 2 Working principle of interior pressure protection control technology based on road spectrum

2) 控制方案。控制方案包括两部分:①预进入压力波动控制区间的压力保护阀关闭触发逻辑;②

驶离压力波动控制区间的压力保护阀开启触发逻辑。两者的控制逻辑均是基于列车的实际运行位置与预存的压力波动区间位置进行距离比较,进而触发压力保护阀的开启和关闭。

控制区间可根据线路条件设计事先确定,后续通过试验结果进行修正。某一市域列车通过隧道时,根据车站位置信息的压力保护阀开关位置示例如图 3 所示。压力保护控制逻辑流程图如图 4 所示。

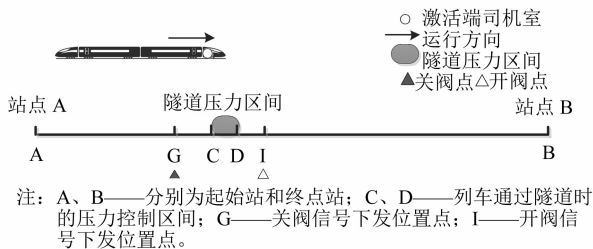


图 3 某市域列车通过隧道时的压力保护阀开关位置示例  
Fig. 3 Example of the pressure protection control valve position when a city railway train passing through tunnel

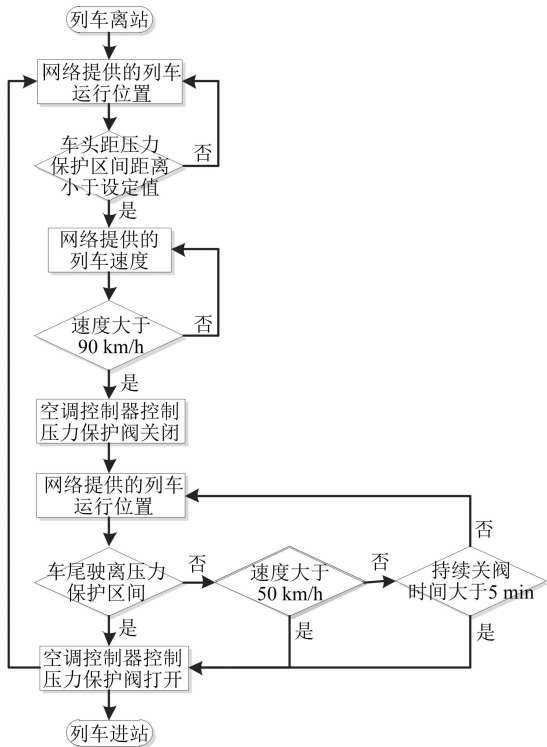


图 4 某市域列车通过隧道时车内压力保护控制逻辑流程图  
Fig. 4 Flow chart of interior pressure protection control logic when a city railway train passing through tunnel

4 现车测试

两种被动式压力保护系统均已在市域列车装

车应用。现车测试时:在车内设置空气压力传感器,测试市域列车通过隧道时,车内的压力变化是否满足 3 s 内最大空气压力变化不大于 800 Pa;在客室区域侧墙粘贴压力传感器或采用手持式压力传感器测试车内空气压力,便携式计算机通过数据采集器采集压力传感器检测数值,计算获得车内压力变化率。

市域列车通过隧道时,基于车内外压力波动检测控制技术和基于路谱车内压力保护控制技术的车内 3 s 内最大空气压力变化测试曲线如图 5 所示。市域列车通过隧道时典型的车内外空气压力变化如图 6 所示。

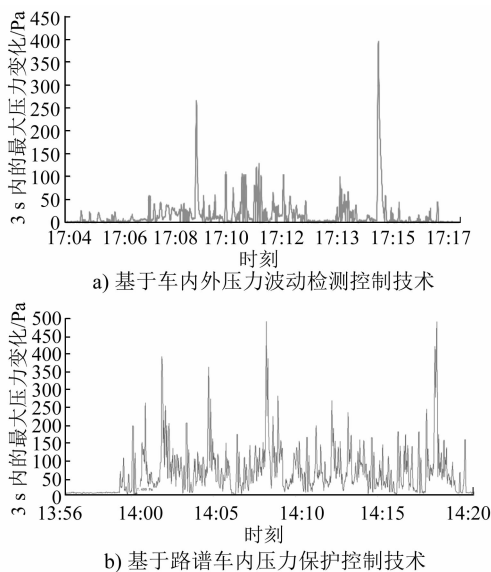
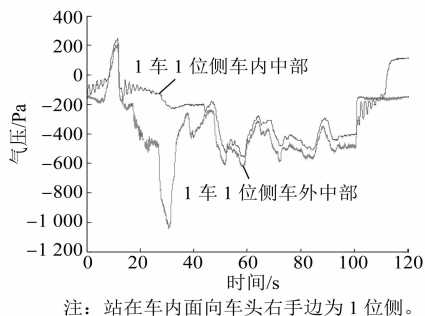


图 5 某市域列车通过隧道时车内 3 s 内最大空气压力变化测试曲线

Fig. 5 Test curve of maximum interior air pressure change within 3 seconds when a city railway train passing through tunnel



注:站在车里面面向车头右边为 1 位侧。

图 6 某市域列车通过隧道时的车内外空气压力变化  
Fig. 6 Changes of interior and exterior air pressure when a city railway train passing through tunnel

根据现车测试结果:采用基于车内外压力波动

检测控制技术的被动式压力保护系统,当市域列车以约 160 km/h 速度通过隧道时,车内 3 s 内的最大空气压力约为 400 Pa;采用基于路谱车内压力保护控制技术的被动式压力保护系统,当市域列车以约 140 km/h 速度通过隧道时,车内 3 s 内最大空气压力变化约为 475 Pa。两种压力保护系统均可满足车内 3 s 内最大空气压力变化不大于 800 Pa 的要求。

采用同样的测试方法,在车内设置空气压力传感器,利用计算机采集处理检测数据,对仅设置新风电动调节风阀(以下简称“新风阀”)的列车进行测试。当列车以约 120 km/h 速度通过隧道时,新风阀全开和全关工况下的空气压力变化测试结果如图 7 所示。由图 7 可知,当市域列车以约 120 km/h 速度通过隧道时,空调新风阀全关比全开时的车内 3 s 内最大空气压力变化降低约 10%。

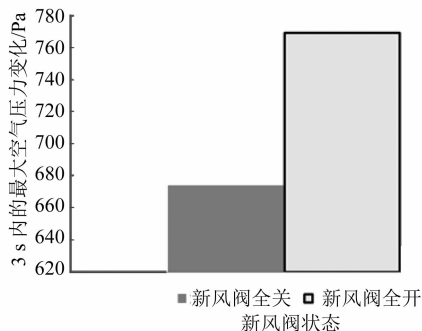


图 7 新风阀全开和全关工况下车内 3 s 内的最大空气压力变化

Fig. 7 Maximum interior air pressure change within 3 seconds with the fully open and fully closed fresh air valve

## 5 结语

本文对市域列车被动式压力保护系统的控制方式、工作原理及现车测试等方面进行了研究,主要获得以下结论:

1) 采用基于车内外压力波动检测控制和基于路谱车内压力保护控制技术的被动式压力保护系统,均可满足市域列车车内 3 s 内最大空气压力变化不大于 800 Pa 的要求。

2) 当列车需具备通用性以满足不同线路运行条件时,易采用基于车内外压力波动检测控制技术的被动式压力保护系统;当列车运行线路固定、不存在会车等不确定位置的工况时,可采用基于路谱车内压力保护控制技术的被动式压力保护系统。

3) 关闭列车空调新风阀可适当降低列车高速

(下转第 222 页)