

# 一种新型空气停放制动系统

覃立伟 李培署 陈旭

(中车青岛四方车辆研究所有限公司, 266112, 青岛//第一作者, 高级工程师)

**摘要** 目的:为解决现有轨道交通车辆用弹簧停放制动装置存在停放制动力大小不稳定、停放制动力随弹簧疲劳而衰减、机械结构复杂等问题,设计了一种新型空气停放制动系统。方法:介绍了弹簧停放制动系统的结构组成及功能原理,分析了其系统特性;介绍了空气停放制动系统结构组成及功能原理;分析了新型空气停放系统的特性。结果及结论:所提新型空气停放制动系统能够改变行车制动缸的工作模式,将制动缸的输出力转变为停放制动力。当向停放缸充入压缩空气时,停放缸内部弹簧被压缩,使停放缸与拉杆保持分离,同时非自锁螺纹也保持在解锁状态,此时制动缸具备行车制动和行车制动缓解功能。当停放缸内无压缩空气时,停放缸与拉杆保持压紧,同时非自锁螺纹被单向锁死,此时停放缸将制动缸锁定在最大行程处无法退回,实现停放制动作用。在行车制动控制模块和停放制动控制模块之间安装双向阀,双向阀的出口与制动缸连通,停放制动控制模块的另一出口与停放缸连通。在施加停放制动时,充入制动缸内的压缩空气由停放制动控制模块提供。该系统可实现全列车所有空气停放复合制动装置的停放制动力大小一致,也可根据需求灵活调节单个停放制动力的大小,还可保持停放制动力的长期稳定,避免了现有系统存在的弹簧停放力与空气制动力同时叠加作用的风险。

**关键词** 轨道交通;停放制动;压缩空气

**中图分类号** U270.35

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2023.09.032

## New Type of Air Parking Braking System

QIN Liwei, LI Peishu, CHEN Xu

**Abstract** Objective: To address the issues of unstable parking braking force, fatigue-induced attenuation of parking braking force, and the complex mechanical structure in the spring parking braking devices for existing rail transit vehicle, a new type of air parking braking system is designed. Method: The structural composition and functional principles of the spring parking braking system are introduced. The above composition and principles of air parking braking system are also presented, along with an analysis of its system characteristics. The characteristics of new air parking system are analyzed. Result & Conclusion: The proposed new air parking braking system

could change the operating mode of the service brake cylinder, transform the output force of the brake cylinder into the parking braking force. When compressed air is introduced into the parking cylinder, the internal spring of it is compressed, keeping the parking cylinder separated from the pull rod. At the same time, the non-self-locking thread remains in unlocked state. In this state, the brake cylinder performs service braking and service braking release. When there is no compressed air in the parking cylinder, the parking cylinder is tightened against the pull rod, and the non-self-locking thread is unidirectionally locked. In this condition, the parking cylinder locks the brake cylinder at the maximum stroke, preventing it from retracting and achieving the parking braking function. A two-way valve is installed between the service braking control module and the parking braking control module, with one outlet of the two-way valve connected to the brake cylinder, and another outlet of the parking braking control module connected to the parking cylinder. When applying parking braking, compressed air supplied by the parking braking control module is introduced into the brake cylinder. This system ensures consistent parking braking force for all air parking compound braking devices in the entire train, and allows flexible adjustment of individual parking braking force as needed. It also maintains long-term stability of the parking braking force and eliminates the risk of simultaneous superimposition of spring parking force and air braking force in the existing system.

**Key words** rail transit; parking braking; compressed air

**Author's address** CRRC Qingdao Sifang Rolling Stock Research Institute Co., Ltd., 266112, Qingdao, China

停放制动是指在车辆停止状态下,为防止溜车而施加的制动方式。弹簧停放制动系统因其操作简单、安全可靠、停放力大等优点在动车组、轨道交通车辆及机车上获得了广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。但同时,弹簧停放制动系统也具有停放制动力不稳定、存在疲劳衰减等缺点,且由于弹簧停放缸结构较为复杂,其会增加制动执行装置的质量和体积,为设

计和制造环节带来不便。为解决上述问题,相关企业纷纷开始研究新型停放制动系统,例如:法国Faiveley公司研制了一种采用丝杠棘轮锁定机构的新型停放制动执行装置,其具有体积小、质量轻和停放力大等优点;中国铁道科学研究院集团有限公司设计了一种采用丝杠棘轮实现制动力保持的新型停放制动装置,其具有结构简单、体积小等优点。

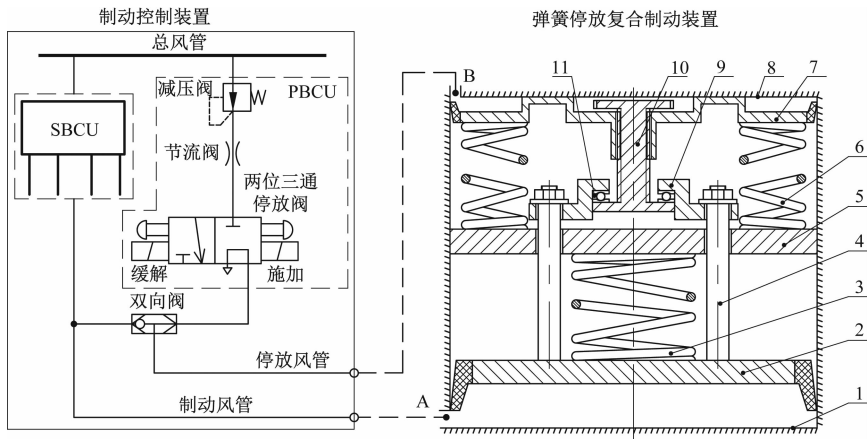
本文介绍了一种由压缩空气施加的新型停放制动系统,包括停放制动控制模块和停放制动执行装置。所提新型空气停放制动系统具有停放制动力可灵活调节,停放力大小稳定不衰减,停放制动执行装置结构简单、体积小、质量轻等优点。此外,新型空气停放制动系统的接口及安装方式均与现有弹簧停放制动系统保持一致,可与现有弹簧停放制动系统对等替换,而不改变车辆控制逻辑和司机操作习惯。本文研究可为新一代轨道交通车辆制动系统的研发提供理论基础和工程技术指导。

### 1 弹簧停放制动系统结构组成及功能原理

城市轨道交通车辆的制动系统包含制动控制装置和基础制动装置。制动控制装置由行车制动

控制模块和停放制动控制模块两部分组成。基础制动装置包括行车制动装置和停放制动装置,行车制动装置负责日常的行车制动、行车缓解,停放制动装置负责驻车时的停放制动、停放缓解。行车制动装置可单独工作,停放制动装置通常和行车制动装置组合出现,称为复合制动装置。制动缸为复合制动装置中的行车制动驱动机构,停放缸为复合制动装置中的停放制动驱动机构。根据功能划分,将制动系统中负责停放制动、缓解功能的部分称为停放制动系统,包括停放制动控制模块和停放复合制动装置。弹簧停放制动系统,即为停放制动原动力由弹簧施加的停放制动系统。

弹簧停放制动系统如图1所示。在停放制动控制模块输出和行车制动控制模块输出之间设置双向阀,双向阀出口接停放风管以控制停放缸,双向阀可用于防止停放制动和行车制动叠加施加。停放制动系统的工作原理:停放控制模块向停放缸充入额定值的压缩空气,缓解停放制动;排出压缩空气,施加停放制动;在特定情况下,也可通过机械装置人工缓解停放制动。弹簧停放复合制动装置的3种工作状态如图2所示。



注:1—制动缸体;2—制动活塞;3—缓解弹簧;4—传力杆;5—连接体;6—停放弹簧;7—停放活塞;8—停放缸体;9—传力环;10—停放丝杠;11—推力轴承;A为制动缸进风口;B为停放缸进风口;SBCU为行车制动控制模块;PBCU为停放制动控制模块。

图1 弹簧停放制动系统  
Fig. 1 Spring parking brake system

### 2 弹簧停放制动系统特性分析

停放制动力的的大小、停放制动力的一致性、停放制动力的稳定性和停放手动缓解拉力大小等指标为停放制动系统的重要参数。影响停放制动力的变量为活塞行程、弹簧刚度和停放弹簧力,其中

弹簧刚度属于弹簧机械特性。随着弹簧动作次数的增加,弹簧刚度和停放弹簧力会发生疲劳衰减。活塞行程的影响因素包括缓解间隙、弹性变形、衬套磨损及制动倍率。

弹簧停放复合制动装置控制动作逻辑框图如图3所示。由弹簧施加停放制动力,制动缸和停放

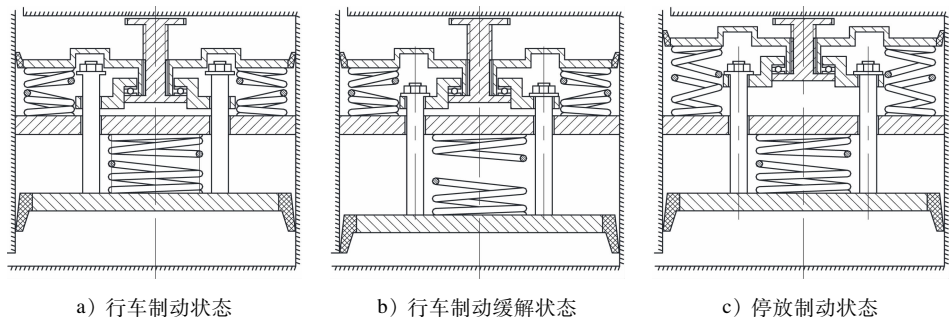


图2 弹簧停放复合制动装置的3种工作状态

Fig. 2 Three working states of spring parking compound brake device

缸动作相互独立,这种独立结构使得弹簧停放制动系统存在几个问题:①停放制动力和行车制动力可叠加作用在制动盘或车轮踏面上,容易导致制动力超过轮轨黏着力而引发滑行;②在车辆运行过程中,若停放缸内的压缩空气发生泄漏,停放制动力便直接施加在车轮上,这会导致车辆带闸运行,易引发严重事故;③弹簧力大小存在个体差异,影响停放制动力的一致性,且停放制动力随着弹簧的疲劳衰减而减小,需要定期检修更换弹簧,以保持停放力始终满足要求;④停放弹簧制造难度大且成本高,弹簧停放复合制动装置具有结构复杂、体积大、挤占转向架空间等缺点,其质量也较大,不利于系统轻量化设计。

系统如图4所示。

新型空气停放制动系统的控制模块气路分为两路,Ⅰ路为制动缸控制气路,Ⅱ路为停放缸控制气路。Ⅰ路由总风管压缩空气经减压阀、单向阀、储风缸进入停放阀1口,1口与3口对应,3口与制动风管连通,制动风管经过双向阀接入制动缸进风口A。Ⅱ路总风管压缩空气经减压阀、节流阀进入停放阀2口,2口与4口对应,4口与停放风管连通,停放风管接入停放缸进风口B。停放阀5口通大气压,在不同位置时,其分别与3口和4口连通,可分别将制动风管和停放风管通大气压。停放阀有3种控制方式:电磁控制、手动按钮控制和先导压力控制。前两种控制方式与现有弹簧停放制动系统的控制方式相同,先导压力控制用于总风压力意外降低情况下自动施加制动,是一种冗余安全措施。

新型空气停放制动系统的3种工作状态为:

1) 停放充气缓解:气路Ⅱ保持导通状态,停放缸处于解锁位(见图4a)。此时,制动缸可正常充气、排气,实现行车制动与缓解功能。

2) 停放制动:气路Ⅱ截断,停放缸通大气压,停放缸处于锁定位,控制制动缸活塞只能单向运动,即只能制动不能缓解。同时,气路Ⅰ导通,储风缸内的压缩空气被充入制动缸施加停放制动(见图4b))。

3) 停放手动缓解:通过截断塞门排出制动缸内的压缩空气,然后操作手动缓解装置使停放缸处于解锁位置,释放制动缸活塞,停放制动缓解(见图4c))。在手动缓解状态下,制动缸的行车制动、缓解功能正常。当列车在无电、无风、被救援的情况下,无法通过压缩空气使停放缸保持在解锁位,而经过特殊设计的手缓装置可以保持停放缸处于解锁位置,使制动活塞恢复行车制动、缓解功能。

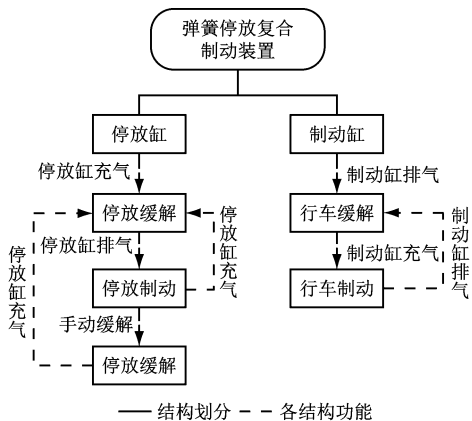


图3 弹簧停放复合制动装置控制动作逻辑框图

Fig. 3 Block diagram of spring parking compound brake device control action logic

### 3 空气停放制动系统结构组成和功能原理

为解决弹簧停放制动系统现有的问题,本文提出一种制动缸和停放缸联动工作的新型空气停放制动系统,制动缸施加制动力,停放缸对制动力进行锁定,从而保持停放制动力。新型空气停放制动

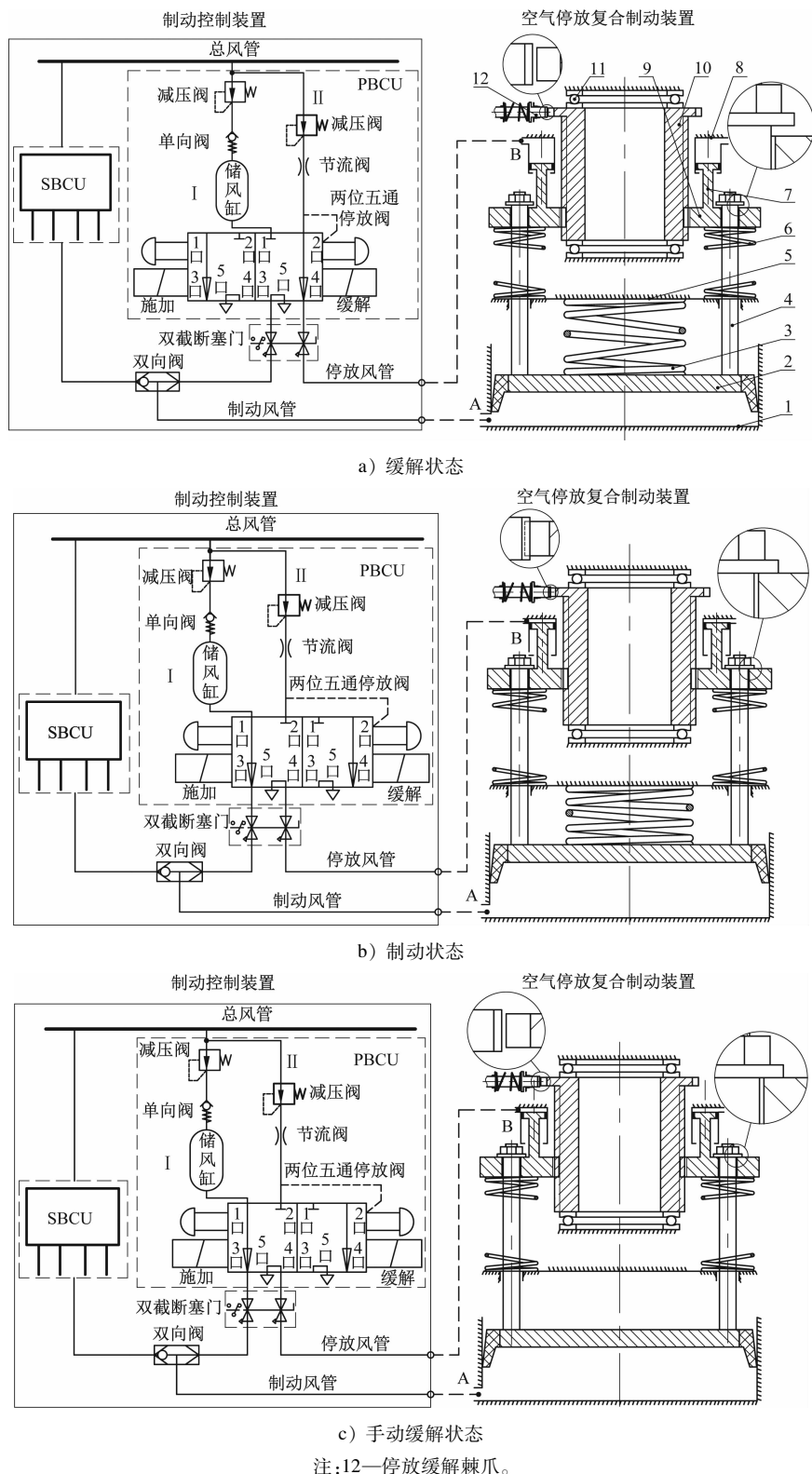


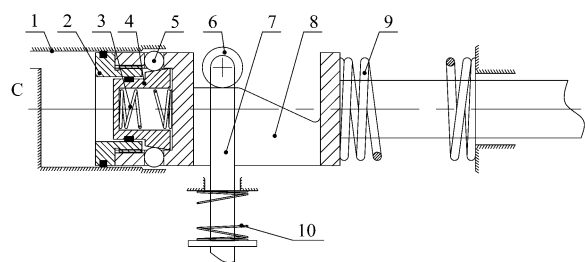
图4 新型空气停放制动系统

Fig. 4 New type of air parking braking system

手缓装置的结构示意图如图5所示,其C口和停放缸进风口B连通。手缓装置具有充气缓解、停

放制动、手动缓解3种工作位置,如图6所示。手缓装置的3种工作位置分别与停放缸的3种工作位置

对应:①充气缓解状态——压缩空气推动缓解活塞 2,同时推动手缓楔 8,使滚动轴承 6 位于手缓楔 8 的斜面顶端,带动手缓拉杆 7 处于释放位置。②停放制动状态——压缩空气排出,复位弹簧 9 推动手缓楔 8 复位,滚动轴承 6 沿斜面向下运动,带动手缓拉杆 7 处于锁定位置,制动缸活塞只能进行制动动作,无法缓解,从而实现停放制动。③手动缓解状态——手动拉动手缓楔 8,使滚动轴承 6 沿斜面向上运动,带动手缓拉杆 7 处于释放位置,制动缸活塞被释放,可施加行车制动和缓解动作。此时,锁定活塞 4,将钢球 5 推出并落在手缓缸体 1 的台阶上,阻止手缓楔 8 复位,手缓装置保持在手动缓解位置。当再次向手缓装置充入压缩空气时,推动锁定活塞 4 复位,钢球 5 退回,手缓楔 8 被释放。



注:1—手缓缸体;2—缓解活塞;3—锁定弹簧;4—锁定活塞;5—钢球;6—滚动轴承;7—手缓拉杆;8—手缓楔;9—复位弹簧;10—拉杆复位弹簧;C 为手缓进风口。

图 5 手缓装置结构示意图

Fig. 5 Diagram of manual release device structure

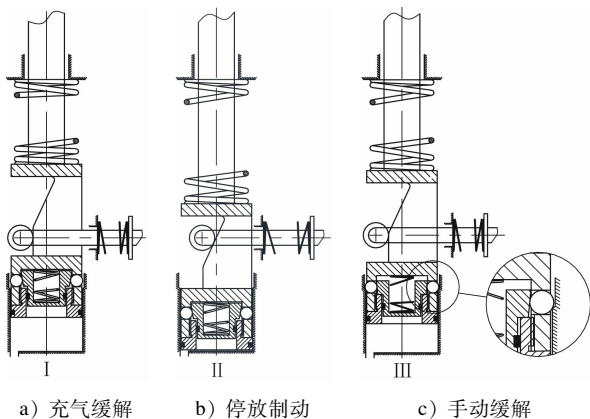


图 6 手缓装置 3 种工作状态示意图

Fig. 6 Diagram of three working states of manual release device

## 4 新型空气停放制动系统特性分析

新型空气停放制动系统与弹簧停放制动系统的最大差异在于停放复合制动装置的动作逻辑差

异。空气停放复合制动装置将停放缸和制动缸功能重构,使其不再独立工作,通过相互协作完成制动和缓解动作。制动缸作为驱动机构,提供行车制动和停放制动所需的制动力;停放缸作为控制机构,通过状态切换完成行车制动和停放制动模式的转换。

空气停放复合制动装置动作逻辑框图如图 7 所示。由图 7 可知:当停放缸处于解锁状态时,制动缸处于行车制动模式;当停放缸处于锁定状态时,制动缸处于停放制动模式。新型空气停放制动系统的主要特点为:①行车制动和停放制动具有统一的驱动机构,从结构上避免了行车制动力和停放制动力叠加的问题;②新型空气停放制动系统的停放制动力由压缩空气提供,停放制动力大小由空气压力决定,避免了停放力大小不足、波动、疲劳衰减等问题;③停放制动力由制动缸施加,即使发生停放缸意外泄漏的情况也不会导致停放制动直接施加,提高了制动系统的安全性;④空气停放复合制动装置简化了复合制动装置的结构,减轻了复合制动装置的体积和质量,有利于产品的轻量化和小型化设计。

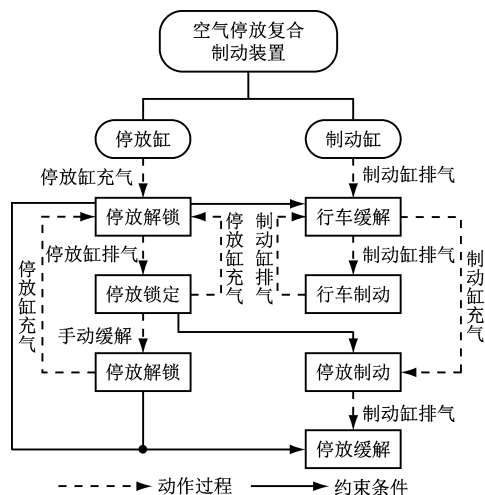


图 7 空气停放复合制动装置动作逻辑框图

Fig. 7 Block diagram of air parking compound brake device action logic

## 5 结语

本文分析了弹簧停放制动系统的结构组成和工作原理,总结了弹簧停放制动系统的现有问题及其产生原因。为解决现有弹簧停放制动系统的问题,本文提出一种新型空气停放制动系统,详细介

(下转第 190 页)

4) 整治期间,隧道横断面的水平位移有一定的波动,但由于注浆位于隧道两侧,故对隧道水平位移基本无影响。

## 5 结语

本文详细介绍了隧道管片横断面收敛变形情况及隧道内管片的相应病害,分析了管片横断面收敛变形产生的机理和相应的隧道管片横断面变形整治原理,本文采用 MJS 工法桩 + 微扰动注浆的形式对隧道管片的横断面收敛变形进行整治,主要获得以下结论:

1) 软土地层中,隧道管片的横断面收敛变形主要是由于隧道上方加载或旁侧卸荷引起的,管片横断面收敛变形增大会引起隧道内病害增加,进而影响地铁运营安全,甚至是危害隧道结构安全。

2) 软土地层中,隧道管片横断面收敛变形通常采用隧道上方卸载、隧道侧进行微扰动注浆或结合两种方法同时进行整治,但由于软土地层的特性,其整治效果有限。

3) MJS 工法桩 + 微扰动注浆的形式能在软土层中形成一道隔离墙,从而约束隧道管片收敛整治过程中的注浆体,使注浆过程中的注浆体和注浆压力仅作用在隧道管片外侧一定的范围内,能达到明显的整治效果。收敛变形整治量能达到 10 ~ 20 mm,整治后期管片收敛有一定的回弹,但由于 MJS 桩的隔离作用,回弹量较小,其最大值约为 5 mm。

4) 本文使用的整治方案适用于软土地层中,隧道管片横断面收敛变形较大的盾构隧道,施工时需对称跳孔施工,施工过程中进行实时监测,以控制注浆压力和隧道管片变形量。

5) 注浆加固会增大隧道管片旁侧竖向土压力,进而引起隧道沉降变形,加强隧道底部的注浆能有

效防止施工期和后期隧道的沉降变形。

## 参考文献

- [1] 黄大维,周顺华,冯青松,等. 地表超载对软、硬地层中既有盾构隧道影响的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2019, 41(5): 942.  
HUANG Dawei, ZHOU Shunhua, FENG Qingsong, et al. Experimental study on influences of surface surcharge on existing shield tunnels buried in soft and hard soils[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2019, 41(5): 942.
- [2] 黄大维,周顺华,冯青松,等. 地表超载作用下软土地区既有盾构隧道与地层的相互作用分析[J]. 铁道学报, 2018, 40(10): 95.  
HUANG Dawei, ZHOU Shunhua, FENG Qingsong, et al. Analysis of interaction between existing shield tunnel and stratum under surface surcharge in soft soil region[J]. Journal of the China Railway Society, 2018, 40(10): 95.
- [3] 黄大维,周顺华,冯青松,等. 地表均布超载作用下软土地区既有盾构隧道对地层相对挤压量的计算方法[J]. 中国铁道科学, 2018, 39(4): 93.  
HUANG Dawei, ZHOU Shunhua, FENG Qingsong, et al. Calculation method for relative extrusion on surrounding ground by existing shield tunnel in soft soil area under uniform surface surcharge load[J]. China Railway Science, 2018, 39(4): 93.
- [4] 邵华,黄宏伟,王如路. 上海运营地铁盾构隧道收敛变形规律研究[J]. 地下空间与工程学报, 2020, 16(4): 1183.  
SHAO Hua, HUANG Hongwei, WANG Rulu. Analysis on convergence deformation law of shield tunnel in Shanghai Metro[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2020, 16(4): 1183.
- [5] 邵华,黄宏伟,张东明,等. 突发堆载引起软土地铁盾构隧道大变形整治研究[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(6): 1036.  
SHAO Hua, HUANG Hongwei, ZHANG Dongming, et al. Case study on repair work for excessively deformed shield tunnel under accidental surface surcharge in soft clay[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2016, 38(6): 1036.

(收稿日期:2022-06-07)

(上接第 184 页)

绍了其结构组成和功能原理。新型空气停放制动系统解决了弹簧停放制动系统制动力叠加、停放力不足、停放力波动、停放力疲劳衰减、停放制动装置结构复杂、装置体积大和质量大等问题。该系统对提高轨道交通车辆制动系统的安全性、可靠性具有重要的现实意义。

## 参考文献

- [1] 赵奕. 上海地铁 5 号线车辆停放制动故障分析及处理[J]. 技

术与市场, 2020, 27(2): 64.

ZHAO Yi. Analysis and treatment of parking brake failure of vehicles in Shanghai Metro Line 5[J]. Technology and Market, 2020, 27(2): 64.

- [2] 田洪,赵俊. 和谐机车停放制动原理及安全风险控制策略[J]. 电力机车与城轨车辆, 2019, 42(6): 53.

TIAN Hong, ZHAO Jun. Parking braking principle and safety risk control strategy of harmonious locomotive[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2019, 42(6): 53.

(收稿日期:2021-03-26)