

中低速磁浮列车制动特性研究

司 丽 杜慧杰 杨永勤 张兴旺 李童生 许红梅  
(中车唐山机车车辆有限公司,063035,唐山//第一作者,高级工程师)

**摘 要** 中低速磁浮列车因其具有的悬浮特性,制动方式与一般城市轨道交通车辆有所差异。通过对中低速磁浮列车的制动控制原理、制动力管理和基础制动方式进行分析,验证了中低速磁浮列车制动的安全性和可靠性。可为中低速磁浮列车的设计及工程建设提供参考。

**关键词** 中低速磁浮列车;制动特性;制动控制

**中图分类号** U270.35;U266.4

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2019.03.019

On the Braking Characteristics of Medium and Low Speed Maglev Train

SI Li, DU Huijie, YANG Yongqin, ZHANG Xing-wang, LI Tongsheng, XU Hongmei

**Abstract** Based on the suspension characteristics of maglev vehicles, the braking system of medium and low speed maglev train is different from that of the ordinary rail transit vehicles. In this paper, the breaking control principle, breaking management and the basic breaking mode of the medium and low speed maglev train are analyzed, the safety and reliability of the medium and low speed maglev train braking are verified. This research could serve as a reference for the design of medium and low speed maglev train and project construction.

**Key words** medium and low speed maglev train; braking characteristics; braking control

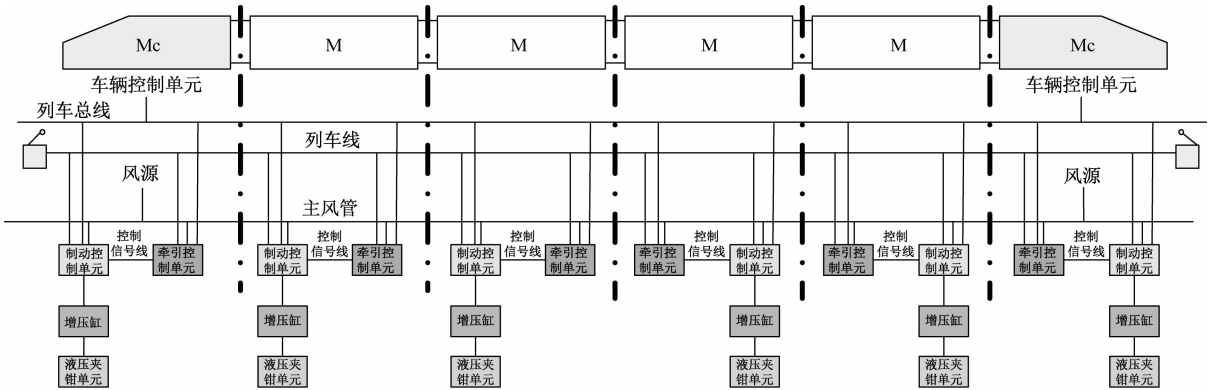
**Author's address** CRRC Tangshan Co., Ltd., 063035, Tangshan, China

中低速磁浮列车采用全动车配置,制动控制系统采用微机控制直通式电空制动系统,且制动力混合以单辆车为单元。制动指令通过网络和硬线传输;制动系统与牵引控制单元的信号通过 MVB(多功能车辆总线)传输,亦可以通过硬线传输。中低速磁浮列车的监控通过列车监控管理系统(TCMS)实现,且列车具有常用制动、保持制动、快速制动、紧急制动和落车制动等功能。

1 中低速磁浮列车制动控制原理

中低速磁浮列车制动控制的基本结构如图1所示。图1中,制动控制单元是磁浮列车制动系统的关键部件。它与电子制动控制单元(EBCU)组成闭环控制;根据制动力需求,它能准确而稳定地控制制动缸压力。

当采用常用制动时,空气制动控制单元根据EBCU传来的电信号,通过电空转换阀将来自制动储风缸的空气压力转换成与电信号相对应的预控制压力。当预控制压力到达空重车调整阀,受到空



注:M表示动车;Mc表示带司机室的动车

图1 中低速磁浮列车制动控制基本结构

重车调整阀的检测和限制;从空重车调整阀出来的预控制压力到达中继阀,打开中继阀中制动储风缸与制动缸的通路,最后使制动缸获得符合制动力要求的空气压力。

当采用紧急制动(见图2)时,预控制压力不受电空转换阀控制,来自制动储风缸的压缩空气直接经紧急制动电磁阀到达空重车调整阀,此时预控制压力仅受空重车调整阀控制,并使之与空气弹簧的压力即载荷情况相适合。紧急制动采用纯空气制动,电制动未参与,平均减速度不小于  $1.3 \text{ m/s}^2$ 。

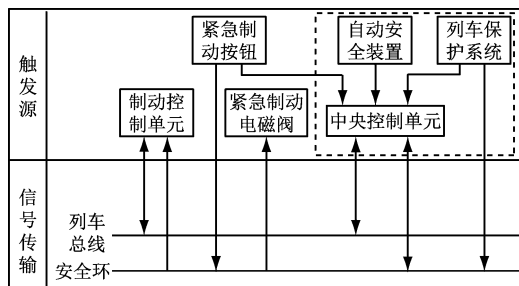


图2 紧急制动触发方式

另外,中低速磁浮列车还具备独特的落车制动功能。该功能可使“低速飞行”中的磁浮列车垂直降落在轨道上。落车制动时,紧急制动被触发,牵引被封锁,悬浮系统处于紧急断电状态,车辆依靠自身质量紧急落车,同时安装在悬浮架上的滑橇与轨道相互机械摩擦,从而产生制动力。

## 2 中低速磁浮列车制动控制逻辑

### 2.1 常用制动

列车常用制动由 EBCU 掌控,并通过 MVB 与 TCMS 进行数据的传递与逻辑控制。当 TCMS 检测到端口输入为低电平时,TCMS 将该指令信号通过 MVB 传递至 EBCU;当 EBCU 接到制动指令后,根据车辆载荷计算出所需制动力,并将此作为电制动需求指令提供至 TCMS,进而提供给牵引控制单元;牵引控制单元将该指令和根据司机控制器指令计算出的制动需求进行比较,按照取大的原则来施加电制动力,并将测得的实际电制动力反馈给 EBCU;由 EBCU 计算制动力需求和实际电制动力之间的差值,并根据该差值施加相应的空气制动力。

### 2.2 保持制动

非牵引工况下,当列车速度达到设定值时,TCMS 发出电制动衰退信号,EBCU 检测到电制动衰退信号后,按照冲动限制斜率的要求,使空气制动

上升、电制动下降,且制动力应保持恒定,形成符合制动指令要求的制动缸压力。保持制动施加应全部由 EBCU 自身负责。网络不发送保持制动的施加信号,网络仅对 EBCU 发送保持制动缓解信号。

图3为列车保持制动特性曲线示意图。图3中,在  $t_0$  时刻,列车速度为  $7.0 \text{ km/h}$ ,此时列车仅收到制动指令; $t_0-t_1$  段,延迟施加液压制动; $t_1-t_2$  段,再生制动力将减少至 0,液压制动力将接管整个制动力;在  $t_2$  时刻,列车速度为  $1.5 \text{ km/h}$ ;在  $t_3$  时刻,施加液压制动,此时检测到列车速度为 0;在  $t_4$  时刻,列车已停车至速度为 0。

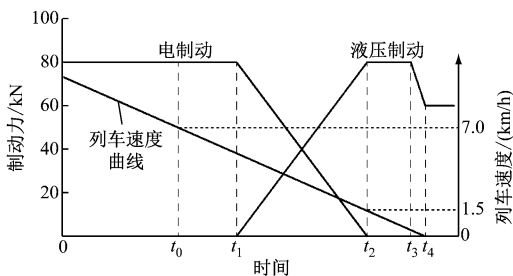


图3 列车保持制动特性曲线示意图

在 ATO(列车自动运行)模式下,列车保持制动的施加和缓解均由 ATO 来控制;在人工模式下,当列车接近静止时,保持制动自动施加。保持制动缓解信号由牵引系统通过网络进行发送。

### 2.3 电空制动配合

为了尽量降低闸片的磨耗,当列车运行速度高于设定值,即制动级位介于 B1 级至 B4 级之间时,空气制动暂不投入;当制动级位介于 B5 级至 B7 级之间时,空气制动的投入不受速度的限制,此时按照混合制动力的要求进行制动力补充。

### 2.4 速度信号控制策略

牵引制动设备对测速系统 4 路速度信号的选取采用最优控制策略(4 路速度信号两两作差,取测速误差范围内差值最小的 2 路速度脉冲信号的平均值作为列车速度)来确保电空制动的良好配合。如果 4 路速度信号全部异常,即输出的 4 路速度信号两两差值全部超出列车测速范围时,若列车处于制动状态下切除电制动,则由空气制动进行管理;若列车处于牵引状态下,则采取限速运行措施。

## 3 基础制动装置

中低速磁浮列车在正常运行时,基于磁浮列车  
(下转第 161 页)

的有效性。

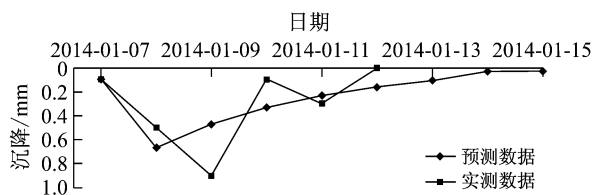


图5 墩柱 P 0363 沉降预测与实测变形曲线对比

综上所述,在申江路高架跨越磁浮线工程中采用了综合监护技术,通过采用相关的关键技术,有效地控制了工程风险,保证了上海磁浮列车示范运营线的安全运营。

## 5 结语

高速磁浮系统对线路轨道的精度有很高的要求,这对上海磁浮示范运营线的运营维护形成巨大的挑战。由于地基的沉降会导致磁浮线轨道产生变形,从而降低了列车行驶时乘客的舒适度,严重时还会产生危险。而在磁浮线保护区内有外部施工时,磁浮线结构设施的变形可能会更加严重,给施工及运营带来了巨大压力。本文描述了综合监护技术在申江路高架跨越上海磁浮示范运营线工程中的应用,验证了综合监护技术的有效性,保证了上海磁浮运营示范线的安全运营,可为后续类似高精度工程的维保工作提供参考。

(上接第 84 页)

的悬浮特性,车体与轨道不接触,此时悬浮架与轨道存在 8~10 mm 的间隙。制动夹钳能够适应车辆在起浮和降落过程中的竖向位移变化。制动夹钳上的浮动机构,用于在制动时调整因列车高度变化而产生的位移量,使得制动夹钳在制动时,能够在悬浮和落车状态间自由转换。

## 4 结语

通过对中低速磁浮列车制动特性的分析研究,磁浮列车制动时不受轮轨间黏着的限制,制动减速度在设计时可高于轮轨列车,制动方式能够满足磁

## 参考文献

- [1] 张晓斌. 某高架桥钢箱梁上跨地下结构的吊装施工[C]//中国钢结构协会. 第十四届全国现代结构工程学术研讨会论文集. 天津:中国钢结构协会,2014.
- [2] 赵群良. 上跨既有铁路的高架桥钢盖梁施工技术[J]. 路桥建设,2015(6):725.
- [3] 上海申通地铁集团有限公司. 上海市轨道交通管理条例[G]. 上海:上海申通地铁集团有限公司,2013.
- [4] 上海申通地铁集团有限公司. 上海市轨道交通保护区暂行管理规定[G]. 上海:上海申通地铁集团有限公司,2006.
- [5] 上海磁浮交通发展有限公司. 上海高速磁浮安全保护区管理条例[G]. 上海:上海磁浮交通发展有限公司,2009.
- [6] WANG G Q, HU S T, YE F, et al. Comprehensive technical monitoring for maglev structure during the metro shield tunnel undercrossing the Shanghai maglev protected area [C]//18th COTA International Conference of Transportation Professionals. Beijing: COTA, 2018.
- [7] WANG G Q, BI S, ZENG G F, et al. Analysis of the influence of external construction on maglev protection area [C]//23th International Maglev Conference. Berlin, Germany: International Maglev Commission, 2016.
- [8] WANG G Q, YE F, ZENG G F, et al. Practice of comprehensive technical monitoring and protection for Shanghai maglev line in the crossing of metro line 13 [C]//24th International Maglev Conference. St. Petersburg, Russia: International Maglev Commission, 2018.

(收稿日期:2018-08-07)

浮列车的制动需求。中低速磁浮列车具有乘坐舒适、安全性高、爬坡能力强和响应速度快等优点,是现代城市轨道交通的重要补充,同时也是城市轨道交通领域的一种新的交通系统。

## 参考文献

- [1] 张湘,张昆仑,连级三. 磁浮列车机械制动控制系统的研究[J]. 西南交通大学学报,2002,37(4):412.
- [2] 张振鹏. 列车制动计算[M]. 北京:中国铁道出版社,1984.

(收稿日期:2017-05-15)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—51030704