

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2013.06.007

中低速磁浮交通 运行的安全性及可靠性分析

简 炼

(深圳地铁集团有限公司 广东深圳 518026)

摘 要 阐述磁浮交通的基本原理及其与传统轮轨交通的区别,通过故障救援及安全运营实践,得出以下结论:中低速磁浮交通系统结构可保证列车在运行中不发生脱轨和颠覆的事故;悬浮间隙控制系统采用冗余设计,使支撑的可靠性得到成倍的提高;采用信息化技术实现在线监控,提高支撑的可靠性;假设出现突然断电和列车备用电源也同时出故障的最不利情况下,列车会自动降落 10 mm 到达轨道上面,与轨道间产生的摩擦阻力可使运行列车安全停下。实践证明,采用信息化技术支撑中低速磁浮交通,具有更高的安全性和可靠性。

关键词 中低速磁浮交通;系统结构;列车运行;安全性;可靠性

中图分类号 U266.4 **文献标志码** A
文章编号 1672-6073(2013)06-0024-003

1 中低速磁浮交通概况

城市轨道交通的运营安全首先应该用系统结构和装备水平保障的,其次是用管理手段保障的。中低速磁浮轨道交通是在传统轨道交通安全经验的基础上,将不容易控制安全的系统结构做了“减法”,即去掉了运行安全中最大隐患的轮轨转向架系统的车轮和车轴,减去了运行中导致重大运营事故发生的结构部分;增加了较容易实现系统可靠性的信息化在线控制系统,做了这些“加减法”后,中低速磁浮轨道交通系统的安全性和可靠性就有了本质的提升。

任何轨道交通列车的运行都需要 3 个基础的力,一个是行进方向的动力(牵引力),一个是支撑力(垂

直力),另一个是导向力(横向力)。传统轮轨系统这三个力都是依靠机械和黏着传递力来实现的,但机械和黏着传递力在运动中会造成接触材料和设备的磨损及冲击性损坏,若磨损及损坏不能及时发现并修复,就会直接影响列车运行的安全。为了消除运动接触的部件破损所造成的运行安全隐患,1934 年德国科学家首先发明了非接触运行的磁悬浮列车技术。由于当时计算机硬件及控制技术水平的限制,难以发展成现实生产力。随着信息化时代的到来,在电力电子技术和计算机控制技术的支撑下,悬浮控制技术得到了有力的技术支持和发展,使用电磁力支撑代替机械轮对支撑的技术得以实现,从而使得磁浮轨道交通成功运营了 10 年。例如,上海高速磁浮线和日本爱知县中低速磁浮东部丘陵线,它们都是具有代表性的商业运营线路。

磁浮轨道交通是在传统轨道交通的基础上发展起来的,它不但继承了传统轨道交通的成熟技术,而且创新使用电磁力完全替代机械支撑力,使得列车的运行没有了接触部件和机械磨损,从系统结构方面消除了运行过程中脱轨和翻车的重大安全风险源。

我国的悬浮控制技术经过 30 多年的研究,有了突飞猛进的发展。悬浮支撑控制是一套信息化的控制系统,它是依靠涡流间隙传感器、工业计算机和软件等自动控制系统实现的,信息化系统本身的安全可靠性是通过电子元器件的可靠性支撑的。电子元器件事先可以做各种环境试验、老化试验、型式试验等,根据安全等级的需要,对零部件进行筛选,同时有条件进行冗余配制。因此,磁浮控制系统的可靠性可以达到非常高的程度。

2 中低速磁浮交通的基本工作机理

2.1 列车的悬浮导向和间隙控制原理

2.1.1 浮起的原理

列车浮起是基于马蹄型磁铁 N 极、S 极互相吸引

收稿日期: 2013-07-24

作者简介: 简炼,男,大学本科,工学学士,教授级高级工程师,副总经理,主要研究城市轨道交通装备技术、工程建设管理、运营管理、中低速磁浮交通新技术创新应用等,mjljia@163.com

的原理,制造了电磁悬浮电磁场,中低速磁浮使车辆悬浮在电磁铁上,且向上吸引铁磁导轨,从而产生磁浮力,如图 1 所示。控制磁力随着列车载荷的变化而变化,使列车在运行过程中保持一个恒定的悬浮间隙。

2.1.2 悬浮导向机理

如图 2 所示,安装在列车上的 U 形电磁铁与导轨的倒 U 形磁极构成磁路,由涡流传感器实时监测,通过调节电磁铁的电流大小控制悬浮支撑力,使列车的悬浮间隙控制在 10 mm 左右。当列车通过曲线或受侧向力时,车辆将产生横向移动,电磁场本身为保持上下两个铁芯的对中位置(即磁阻最小的位置),列车就会自动产生使其回到原位的横向电磁力,即导向力。

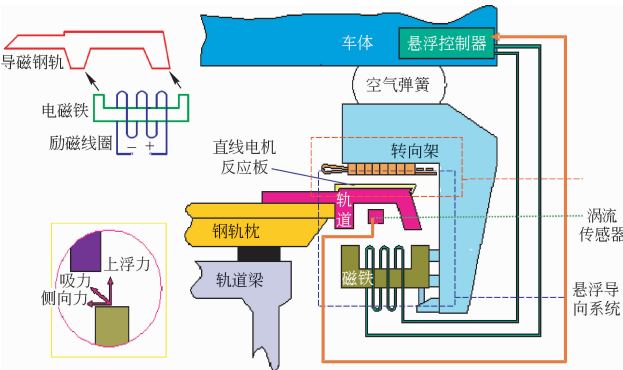


图 2 悬浮导向原理

2.1.3 悬浮间隙控制系统采用冗余设计

列车悬浮控制计算机采用了两个 CPU,即一倍的冗余,每辆车设有 5 个转向架,每个转向架设有 4 个悬浮控制点,相当于每辆车共 20 个悬浮点,也就是 20 个支撑。每个悬浮控制点有 3 个涡流传感器,只要有一个传感器正常,就能保证该点的悬浮,即有 60 只智能眼睛时刻不停地观察支撑间隙的变化。无论列车的载荷如何变化,均会引起间隙的变化,因计算机控制系统的高速度能及时自动地调整电流大小,改变磁场的强度大小,使悬浮间隙始终保持在一个设定范围内。由于自动调整的电流变化的速度很快,乘客感觉不到。信息化技术在线监控和调整支撑间隙的高效性,使支撑的间隙保持稳定的设定值。传感器和控制系统的反应速度,都取决于计算机和控制软件的运算速度。从涡流传感器自动检测涡流变化到电流调整维持设定的间隙的过程,都是靠悬浮控制系统的智能化来完成的。

2.1.4 列车设有悬浮后备电源

列车的正常悬浮是从供电系统的接触网上获得电

源的,但当供电的接触网发生故障停电后,列车可以依靠安装在其上的蓄电池供电来保持悬浮 30 min。

2.2 磁浮列车系统的安全结构

2.2.1 列车与轨道结构一体化

磁浮列车是抱着轨道悬空着不接触运行的,列车与轨道梁是组装成一体的系统,因此,列车运行时不会出现车辆脱轨和颠覆的情况,消除了以往列车运行时存在的重大安全事故隐患,从整体结构上保证了列车运行的安全。

2.2.2 列车具有三重制动

磁浮交通系统与传统轮轨系统一样,其制动系统包括电制动和机械制动两种方式。然而,磁浮交通还多了一种制动方式——落车制动,其原理是在每个电磁铁的磁极面上安装 4 个高出磁极面 2 mm 的铜合金凸台,也称滑撬或滑块,这些凸台可以使列车支撑在轨道上摩擦滑行,直至列车安全停下。在特殊紧急的情况下,磁浮列车能同时采取 3 种制动措施,保证其安全快速地停车。

2.2.3 列车突然落在轨道上的距离为 10 mm

当列车在运行中突然发生故障落到轨道上,列车会紧急制动停住,在速度快的情况下,虽然车内没有抓扶手的乘客会失稳,但由于列车运行时落下的高度仅为 10 mm 左右,乘客仅会有较轻微落下的振动感觉。

3 中低速磁浮交通与传统轨道交通的区别

3.1 支撑、导向不同

传统的轮轨交通是利用车轮与轨道接触产生的机械力对车体进行支撑、导向,而磁浮交通是利用列车的悬浮导向系统产生的电磁力对车体进行支撑、导向。

3.2 列车与轨道的关系不同

传统的列车是在轨道上接触运行,列车与轨道是两个独立且可以分离的系统,而磁浮列车是抱着轨道悬浮着运行,列车、导轨以及其下的基础构造成一个整体系统,列车与轨道不能脱离。

4 中低速磁浮列车的故障救援

4.1 自救

当列车的绝大部分悬浮点控制失效且无法提供需要的悬浮力和平衡时,该故障车辆可依靠自身的动力,用液压支撑轮使车辆低速运行至目的地(如图 3 所示,在滑块旁边还设有

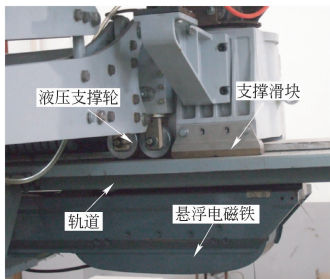


图 3 液压支撑装置

液压支撑轮装置)。

4.2 援救

当供电接触网发生故障停电后,列车会紧急制动停车,但安装在列车上的蓄电池还可以持续供电 30 min,使列车能保持悬浮状态。当列车不能靠自己的动力牵引,需要利用线路运行的列车进行救援时,可以向故障车提供悬浮电源,将故障车浮起后拖到指定地点。还有一种列车救援方式与轮轨系统相同,即落下液压轮后将其拖到指定地点。

5 中低速磁浮交通安全运营的实践

日本爱知县运营着一条中低速磁浮交通线,长 8.9 km,于 2005 年 3 月 6 日正式开通运行,首年度共载客约 2 000 万人。该线持续商业运营 8 年多时间,没有发生过不安全事件,验证了其安全性和可靠性。

6 结论

综上所述,中低速磁浮交通与轮轨交通相比,有四大优点。第一,中低速磁浮交通系统结构保证了列车运营中不发生列车脱轨和颠覆的事故。列车抱着轨道在 10 mm 的气隙上运行但不会脱轨和颠覆,从系统整体结构方面保证了列车运行的安全。第二,支撑的可靠性得到了成倍的提高。中低速磁浮系统每节车厢支撑的数量比轮轨车辆多 1.5 倍。第三,采用信息化技术实现在线监控,提高了支撑的可靠性。第四,假设出现突然断电和列车备用电源也同时出故障的最不利情况,列车会自动降落 10 mm 到达轨道上面,运行的列车与轨道间产生的摩擦阻力使列车安全地停下来,但是列车不会出轨,落车和停车的过程只相当于轮轨列车运行中的一次突然紧急制动,不会对乘客造成较大的伤害。

因此,磁浮交通从列车运行安全保障的质和量两方面都有了跨越性的提升,从而避免了由于轮轨系统依靠轮轨的接触材料质量、加工精度、环境条件、人为影响等因素造成轮轨运动支撑失控的不安全问题。中低速磁浮交通支撑的可靠性是用现代信息化技术来保证的,唯有信息化技术才能保证在线持续监控支撑的可靠性,也就是当今的信息化技术确保了中低速磁浮交通更高的安全性和可靠性。

所以,中低速磁浮交通在结构和控制系统的本质化安全方面成为保障列车安全和可靠运营开拓性的新系统,系统结构、在线信息化自动监控和冗余技术的创新和应用,相对轮轨支撑的可靠性有了质的提升。从科学和理论上来讲,中低速磁浮交通的安全性和可靠性达到

了比其他公共交通方式安全性和可靠性更高的程度。这是人类发展史上交通领域的又一次安全和可靠性的技术革命,它将会给人类的出行安全带来新的福音。

参考文献

[1] 简炼,魏达志,陈伟,等. 中低速磁浮交通产业化发展和商业模式研究[M]. 广州:广东经济出版社,2012.

[2] 简炼. 中低速磁浮技术引领绿色交通[J]. 都市轨道交通,2011,24(5):11-13.

[3] 中低速磁浮是交通安全和环保发展的撒手铜[EB/OL]. (2012-03-04)[2012-06-08]. <http://www.rmzxb.com.cn>.

[4] 连级三. 磁浮列车原理及技术特征[J]. 电力机车技术, 2001,24(3):23-26.

[5] 李强北. 国外磁浮列车述评:上[J]. 国外铁道车辆,1996(4):1-8.

[6] 彭奇彪,罗华军,佟来生,等. 中低速磁浮车辆悬浮架的技术特征[J]. 电力机车与城轨车辆,2012,35(6):7-11.

[7] 杨涛,宗刚. 磁浮交通技术应用中的路径依赖及对策[J]. 综合运输,2010(9):27-32.

[8] 冯雅薇,魏庆朝. 直线电机轮轨交通系统安全性分析[J]. 中国安全科学学报,2004(8):10-14.

[9] 朱军. 我国城市轨道交通发展现状与对策建议[J]. 城市轨道交通研究,2005(6):21-24.

[10] 江代更,姬生永. 中低速磁悬浮轨道交通的应用[J]. 硅谷,2012(23):187-188.

(编辑:王艳菊)

Operation Safety and Reliability
Analysis of Medium-low
Speed Maglev Transit

Jian Lian

(Shenzhen Metro Group Co., Ltd., Shenzhen 518026)

Abstract: Differences between medium - low speed maglev transit and traditional wheel-rail transit are illustrated. From the practice of accident rescue and safe operation, it has been concluded that: medium - low speed maglev transit systems's structure ensures that train derailment and overturn will not occur, since the train embraces the guide - way track while running that eliminates the risk of train derailment and overturn in operation; the reliability of supporting is increased exponentially; real - time information technology is used to supervise and control the reliability of supporting; under the most adverse condition, assuming a sudden power interruption together with a train's standby power supply fault, the train will sit on its own on the 10 mm high rails, and the friction force on the track will stop the train. Practice indicated the information technology supports higher safety and reliability of medium - low speed maglev transit.

Key words: medium - low speed maglev transit; system's structure; train operation; safety; reliability