

文章编号:1005-0523(2017)05-0029-06

城市轨道交通直线电机车辆段设计与研究

肖 锋

(广州地铁设计研究院有限公司,广东 广州 510010)

摘要:通过对直线电机车辆技术特点的分析,研究直线电机车辆的检修修程,制订了适用的线路和道岔设计标准,减少了车辆段的占地面积,并特别提出直线电机车辆段设计需重点关注的问题,为今后国内轨道交通直线电机车辆段的设计提供了指导。
关键词:直线电机;车辆段;设计;研究
中图分类号:U260 文献标志码:A
DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.05.005

车辆段作为轨道交通线路的维修和后勤保障基地,对维持轨道交通线路的正常运营是必不可少的。然而,车辆段占地面积大,在城市建设用地日益紧张的今天,建设的代价和难度也非常大。如何在保证车辆段使用功能的前提下,研究减小车辆段的占地面积,对轨道交通线网的建设具有极大的社会效益。

广州市轨道交通4,5号线采用直线电机(linear induction motor)系统,牵引驱动方式及运营控制模式均同国内现有的城市轨道交通系统有较大差别。国内没有直线电机系统的相关设计、施工、运营经验,给设计带来了许多新的挑战。为了确保广州市轨道交通4,5号线运用直线电机成功,并尽量减少车辆段用地,需对直线电机车辆段的主要功能和布局进行研究,为4,5号线工程的建设、运营以及今后采用直线电机系统的轨道交通线路提供重要的指导。

1 直线电机车辆的检修修程研究

目前日本国内各城市已经投入运营的使用直线电机车辆的地铁线路有七十多公里,在车辆检修制度上积累了比较丰富的经验,其车辆的检修修程如表1。

表 1 日本直线电机车辆检修修程
Tab.1 Maintenance process of linear induction motor vehicle in Japan

检修修程	检修周期	检修内容
列车检查	10 d	车辆的功能检查,主要部件的目视检查。
三月检	3 month	列车在不拆开(整列编组)状态下,各部件的功能检查。
重要部件检查	4 year	车辆重要部件(包括转向架、轮轴、LIM、VVVF、制动装置等)的拆卸检查、修理、更换等。
全面检查	8 year	车辆全面检查以及车辆主要部件的拆卸检查、修理、更换等。
临时检查		新车购入、部件改造、车辆故障时实施的检修作业。

收稿日期:2017-06-01
作者简介:肖锋(1970—),男,高级工程师,工学学士,研究方向为轨道交通。

马来西亚 PUTRALRT 线车辆的修程和检修作业内容如表 2 所示。

表 2 马来西亚 PUTRALRT 车辆检修修程
Tab.2 Maintenance process of linear induction motor vehicle in Malaysia PUTRALRT

修程	检修周期/周	主要作业内容
安全检查	5	电气系统、LIM、牵引系统、辅助电源
小修	15	电气系统、LIM、牵引系统、辅助电源、空调、集电靴
附加小修	30	检查列车所有系统
主要检查	45	
附加主要检查	90	

从表 1、表 2 可以看出,直线电机车辆的检修周期和检修内容都与传统的旋转电机车辆有不小的差异。根据广州市轨道交通工程直线电机车辆选型的总体技术特征,并参考国外直线电机车辆的运用检修经验,广州地铁直线电机车辆检修的修程确定为大修、架修、定修、三月检和六日检。车辆的检修指标如表 3。

表 3 广州地铁直线电机车辆检修修程
Tab.3 Maintenance process of linear induction motor vehicle in Guangzhou Metro

修程	检修周期	停修时间/d	库停时间/d
大修	160×10^4 km	36	24
架修	80×10^4 km	24	18
定修	20×10^4 km	8	6
三月检	3 month	2	2
六日检	6 d	0.5	0.5

2 直线电机车辆段设计应重点关注的问题

2.1 关于直线电机车辆的检修修程

同传统的旋转电机车辆相比,4 号线采用的直线电机车辆的大修、架修及定修周期分别延长了 40×10^4 , 20×10^4 km 和 8×10^4 km,同时,建议取消了列检作业而代之以六日检。检修周期的延长,减少了车辆段的设计规模,节约了用地,也大大减少了运营期间的检修工作量。

2.2 关于车辆段采用接触轨

直线电机车辆普遍采用第三轨供电,集电靴受电的方式,同时也可以采用接触网供电的方式。对直线电机车辆段,段内的供电方式也有两种:目前国外直线电机采用的是 DC750V 的供电电压,段内的供电方式与正线一样是第三轨供电;广州地铁 4 号线采用的是 DC1500V 的供电电压,为保障段内作业人员的安全,在正线采用第三轨供电,而在车辆段内采用架空接触网供电。

由于 4 号线的直线电机车辆在正线采用集电靴取流,在车辆段内采用受电弓取流。因此,车辆在出入段时存在“网轨转换”,在车辆段的工程设计中要考虑在出入段线的适当位置设置网轨转换段,而在运营过程当中车辆在网轨转换段需停车,进行网轨转换。同时,由于 4 号线直线电机车辆既装有集电靴,又装有受电弓,为对车辆的性能进行全面试验,在车辆段的试车线上必须同时设置接触网和接触轨。

2.3 关于直线电机的气隙检测、调整和装卸

1) LIM 气隙的检测。为了提高直线电机的效率,同时为了避免车辆运行中定子与转子之间相互碰撞,运营过程中必须对直线电机的气隙进行严密地检测和管理。一方面要对铺设在轨道上的感应板状态进行监测,另一方面还要对安装在车辆上的 LIM 进行监测。影响气隙大小的因素及限制值见表 4,直线电机与感应板的气隙标准见表 5。

表 4 影响气隙大小的因素及限制值
Tab.4 Factors influencing the size of air gap and their limiting values

影响气隙的因素	限制值/mm
直线电机安装误差	1
直线电机支持系统挠度及车辆超载时的沉降	1
维修之前车轮的磨损	1
气隙的余裕	2
感应板的安装误差	1.5
感应板的挠度	1
钢轨的下沉	1.5
维修周期之前钢轨磨损	1
总计	10

表 5 直线电机与感应板的气隙标准
Tab.5 Air gap standard of linear induction motor and induction plate

内容	数值/mm
静态	10(误差 0~-1)
动态(通电时)	9
轨道铺设(钢轨与感应板间隙公差)标准	15(误差+1~-2)

目前,国外是通过在 20%车辆上安装间隙传感器来检测全线的感应板与 LIM 之间的间隙,通过判断间隙值的缩小或增大来确认全线铺设的感应板有无异常。20%列车记录的“气隙异常+地点距离”这两种信息,能确定正线中检测到的感应板气隙有异常的地方。在目视无法判明异常状况时,在当日运营完后使用轨道检测车对地面上的感应板实施详细的检测。车辆上 LIM 状态的监测,一般是通过设在停车库入口处的地面传感器来实现,通过激光和感应器测定的数据被传送到检查机器室,如发现相关参数超过允许值,须根据其警报指令再次检查。因此,我们建议在六日检库、三月检库的出库端以及出入段线的适当位置设置气隙检测装置。

2) LIM 气隙的调整。由于车轮的磨损和镟削以及轨道的磨损,LIM 气隙会超过规定的范围,因此必须经常调整。根据日本和加拿大的经验,车轮磨损和镟削后,应调整 LIM 的悬挂高度;轨道磨损后,需调整感应板的安装高度,使 LIM 气隙维持在规定范围内。因此车辆段设计时必须考虑调整 LIM 悬挂高度的方法、所需设备与地点。

为方便列车直线电机高度的调整,应在定修修程以下的检修线上布置一台直线电机升降平台;临修线上布置一台直线电机升降平台;转向架检修间布置一台直线电机升降平台。如果列车数量较少,可考虑通过调车来满足直线电机高度调整的需要。

3) LIM 的安装与拆卸。由于 LIM 安装在转向架车轴的下方,传统的吊车和架车机都不能直接使用。在车辆段设计时,必须考虑 LIM 的装拆方法,所需设备及设备安装地点。

2.4 检查线上感应板与地沟的设置

1) 感应板的铺设。为使列车在检查线可以利用自身动力运行,需在静调线、定修线、三月检线、六日检线的上方设架空接触网,在检查线的地沟中央布置感应板,感应板的设置原则如下:

① 感应板的长度应满足列车能正常启动且最大限度减小对检修作业的影响;② 保证任何时刻总有 1 辆车有 1 个直线电机全部在感应板上;③ 考虑列车的停车误差,适当加长感应板。

在设置感应板的时候应特别注意它的位置:如果是 4 辆编组列车,感应板应设置在对应于第 2 辆车或第 3 辆车的位置;如果是 6 辆编组列车,感应板应设置在对应于第 1 辆车和第 4 辆车的位置。在进行检查线地沟设计时,应仔细考虑感应板的安装方法,保证检修人员在整个地沟内能通行。

2) 检查坑的宽度和深度。由于车辆地板高度比旋转电机车辆低,而且 LIM 下表面距轨面只有 25 mm,因此检修地沟应加深。在车辆段设计时,应根据各股道的检修内容,合理决定地沟深度。对定修列位宜设通长宽型检查坑,股道外侧坑深宜为 1.3 m,坑宽不宜小于车辆宽度加 1.0 m。而对定修、临修、三月检线的股道内侧坑深宜为 1.5~1.7 m。

3 直线电机车辆段设计及应用情况

广州地铁 4 号线新造车辆段作为国内第 1 个直线电机车辆段,车辆段的设计采用 5 号道岔和 65 m 曲线半径,其占地面积与采用 7 号道岔和 150 m 曲线半径的情况相比,占地面积节省了 28%。目前,广州地铁 4 号线车辆段已经建成并投入运营,从使用情况来看,4 号线车辆段能够满足直线电机车辆的停放、保养及检修等运行要求,保证了我国首条直线电机地铁线路的成功运营。

广州地铁 5 号线车辆段作为广州地铁直线电机车辆的大、架修基地,借鉴了 4 号线车辆段的成功经验,其设计充分吸收了 4 号线的设计经验和研究成果。5 号线车辆段的设计也采用了 5 号道岔和 65 m 曲线半径,其占地面积为 25.7 hm²,与采用 7 号道岔和 150 m 曲线半径的情况相比,占地面积节省了 21%,有效地突出了直线电机系统的技术优势,为地铁新技术的发展树立了良好的榜样。

4 主要技术创新点

针对地铁直线电机车辆的技术特点,通过广州地铁 4 号线、5 号线车辆段的设计和工程实践,相比传统车辆段,直线电机车辆段的设计有如下技术创新点:

1) 提出了在直线电机车辆段采用 5 号道岔和 65 m 小半径曲线的可行性。目前,5 号道岔及 65 m 的曲线半径已经应用于广州地铁 4 号线和 5 号线直线电机车辆段的设计中,使车辆段的布置更加紧凑,大大缩小了用地面积。

2) 根据日本直线电机车辆的检修经验,并结合我国地铁车辆检修的实际情况,提出了适合广州地铁直线电机车辆的检修修程。

在广州地铁 4、5 号线车辆段的设计中,将直线电机车辆的检修修程确定为大修、架修、定修、三月检、六日检等 5 个级别,其中大修周期为 160×10^4 km,架修周期为 80×10^4 km,定修周期为 20×10^4 km,比传统电机的大修、架修及定修周期分别延长了 40×10^4 km、 20×10^4 km 和 8×10^4 km,大大减少了检修工作量,也减少了大、架、定修的设计台位,从而相应缩减了车辆段的规模。

3) 研究提出了直线电机车辆的检修作业内容,为直线电机车辆段的工艺设计和检修设施的配备提供了依据。

4) 提出了车辆段内设置网轨转换段的概念和具体布置要求。

广州地铁4号线部分线路为高架线,考虑高架线路的景观影响,车辆在正线采用第三轨供电形式;而对于车辆段,铺设于地面的第三轨对段内的作业人员会形成较大的安全隐患,因此,车辆段采用架空接触网的形式。网轨转换段的提出,解决了车辆出段上正线或离开正线入段时第三轨与架空接触网的转换问题。网轨转换段设置于车辆段出入段线上,长度为一列车长加安全距离,其线路坡度一般不大于15‰,并可与信号转换段合并设置。

5) 针对直线电机车辆的检修特点,研究提出了直线电机车辆段设计需重点关注的问题,同时提出了检修设备配置标准和具体清单,为直线车辆段的设计作出指导。

5 效益分析

5.1 经济效益

1) 节省工程造价。根据上述4、5号线车辆段采用5号道岔和65 m半径曲线与采用7号道岔和150 m半径曲线的对比分析,直线电机车辆段采用5号道岔和65 m半径曲线与传统旋转电机车辆段相比,其占地面积节省21%~28%。

同时,通过国内外的广泛调研和分析研究,提出了直线电机车辆的合理检修修程,延长了检修周期,大修、架修和定修的检修周期与传统旋转电机车辆相比延长了33%、33%和67%,大大减少了检修工作量大、架、定修的设计台位,节省了车辆段的占地面积。因此,直线电机车辆段可大大节省工程初期投资。

2) 降低运营检修成本。由于直线电机车辆采用合理的检修修程,检修周期较传统旋转电机车辆延长了三分之一以上,使检修工作量大为减少,节省了运营检修成本。

同时,直线电机车辆由于没有复杂的机械传动机构,维修工作量相应减少,也减少了检修设备和维修人员的配置,可相应地节省运营检修成本。

5.2 社会效益

车辆段需要巨额的投资和占用大量的土地资源,使之成为城市轨道交通建设中的重点和难点。因此,在车辆段的规划和设计中,作为一种大型的土地和技术资源,必须予以合理配置,以实现在满足功能要求的前提下,最大程度节约社会资源。

以4号线新造车辆段和5号线鱼珠车辆段为例,直线电机车辆段采用5号道岔和65 m曲线半径,与传统旋转电机车辆采用7号道岔和150 m曲线半径相比,4号线新造车辆段可节省土地4.6 hm²,5号线鱼珠车辆段可节省土地5.3 hm²,大大节省了宝贵的土地资源。同时,节省的土地资源如用于商业开发,可为政府创造极为可观的财政收入。

6 结论

通过对直线电机车辆的技术特点分析,直线电机车辆段的设计延长了车辆的检修周期,减少了检修工作量,从而相应缩减了车辆段的设计规模;同时,直线电机车辆段采用5号道岔和65 m曲线半径,使车辆段的布置更加紧凑,大大缩小了用地面积,具有良好的经济效益和社会效益。另外,与传统旋转电机车辆段相比,直线电机车辆段设计需重点关注弓网转换、气隙检测、检查坑内感应板的布置等问题。通过广州地铁4号线、5号线直线电机车辆段的成功设计、施工以及运营,实践证明上述研究成果是合理可行的,其所采用的设计标准具有非常大的推广和应用空间,将为今后广州和国内轨道交通线路采用直线电机车辆的车辆段的设计提供具体、实用的技术参考和指导。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50157-2013 地铁设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013: 239-258.
- [2] 邹东, 肖锋. 直线电机车辆段与综合基地功能和布局研究[R]. 广州: 广州地下铁道总公司, 2007: 3-84.
- [3] 庞绍煌, 高伟. 广州地铁 4 号线直线电机车辆[J]. 都市轨道交通, 2006, 19(1): 77.
- [4] 李强. 广州地铁 4 号线直线电机车车辆段设计特点[J]. 城市轨道交通研究, 2012(4): 15-18.
- [5] 卢桂英, 薛波, 牛淑霞. 北京机场线直线电机车辆基地设计创新与应用[J]. 铁道工程学报, 2008(11): 77-81.
- [6] 杨中平, 柳拥军, 单雷. 日本直线电机地铁车辆技术[J]. 都市轨道交通, 2006, 19(2): 63-68.
- [7] 陈林, 姚林泉. 不同无砟轨道类型对车辆动力学特性影响的数值分析[J]. 华东交通大学学报, 2016, 33(4): 1-9.
- [8] 刘智成. 广州市轨道交通四号线工程设计总结[M]. 北京: 人民交通出版社, 2013: 419-431.

Research on Linear Induction Motor Vehicle Base in Urban Rail Transit

Xiao Feng

(Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510010, China)

Abstract: Through the analysis of technical characteristics of the linear induction motor vehicle, this paper studied the maintenance process in linear induction motor vehicle and set standards for the design of lines and turnouts, which may reduce the area of vehicle base. This paper also put forward the problems that need to be paid attention to in the design of linear induction motor vehicle base, providing guidance for the design of future domestic linear induction motor vehicle base in urban rail transit.

Key words: linear induction motor; vehicle base; design; research

(责任编辑 刘棉玲)