

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2019.01.006

直线电机运载系统在首都机场线的应用效果及评价分析

郭泽阔¹, 张金², 李猛¹, 王璐¹

(1. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037;

2. 北京城市快轨建设管理有限公司, 北京 100027)

摘要: 直线电机运载系统在首都机场线已经成功运营, 通过对直线电机运载系统的总体运营、全自动驾驶、车辆维护、轨道维护、牵引能耗及车辆国产化等情况进行调研与后评估, 发现直线电机运载系统各项指标均达到当初设计目标, 运营维护情况良好, 归纳直线电机运载系统的优缺点。在后续直线电机线路设计中, 借鉴相关运营经验, 充分考虑运营维护的便利性和经济性, 并将直线电机运载系统各子系统统筹考虑, 如车—轨匹配、车—信号匹配等, 达到全系统的最优。对于中运量、小半径曲线、大纵坡路段较多的线路, 直线电机运载系统具备较好的适应性。为今后城市轨道交通中低运量线路规划与车辆选型提供相关经验, 并为选用直线电机运载系统的线路设计与建设提供参考及优化建议。

关键词: 轨道交通; 直线电机运载系统; 应用效果; 优化建议; 首都机场线

中图分类号: TM359.4

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2019)01-0030-08

Application Effect and Evaluation of a Linear Motor Carrier System on the Capital Airport Line

GUO Zekuo¹, ZHANG Jin², LI Meng¹, WANG Lu¹

(1. Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100037;

2. Beijing Urban Rapid Transit Development Co., Ltd., Beijing 100027)

Abstract: A linear motor delivery system (LMDS) was successfully operated on the Capital Airport Line. This study investigates and post-assesses the overall operation of the LMDS for fully automated driving, vehicle maintenance, track maintenance, traction energy consumption, and vehicle localization. It was found that all the parameters of the LMDS met the original design goals and that the operation and maintenance of the LMDS were in good condition. The advantages and disadvantages of the LMDS have been summarized in this study. The follow-up linear motor circuit design incorporated lessons learned from relevant operating experience, while fully considering the convenience and economy of operation and maintenance, and also factored in the various subsystems of the LMDS such as vehicle-rail matching, vehicle-signal matching, and to achieve system-wide optimization using the circuit design. For lines characterized by high traffic, small-radius curves, and large vertical sections, the LMDS exhibits good adaptability. This article provides information relevant to low-traffic route planning and vehicle selection for future urban rail transit, and also furnishes reference and optimization suggestions for the design and construction of the line used for LMDSs.

Keywords: rail transit; linear motor delivery system; application effect; optimization proposal; capital airport line

收稿日期: 2018-04-19 修回日期: 2018-05-07

第一作者: 郭泽阔, 男, 硕士, 高级工程师, 从事车辆段工艺设计研究, 11098926@qq.com

基金项目: 北京市重大项目建设指挥部办公室(城市快轨-008)

首都机场快轨自 2008 年开通以来,已成功运营多年。目前年实际开行列车达到 84 000 余列,全年运行 918.84 万车公里,日平均 2.51 万车公里,也是北京市唯一一条运营能够实现自负盈亏的线路。鉴于机场线采用直线电机运载系统的特殊性,笔者受北京市重大办的委托对多年来的实际运营、维护情况进行评价与总结,归纳出其优缺点,为今后该系统在城市轨道交通规划及建设提供相关经验。

1 系统在国内外的应用情况

1985 年加拿大温哥华开通了世界第一条商业运营的直线电机线路,其后直线电机运载系统在世界各地得到广泛应用,包括北美、日本、东南亚及中国等地^[1]。表 1 列出了截至 2015 年国外开通运营的直线电机轨道交通线路,表 2 列出了国内已开通运营的直线电机轨道交通线路。

表 1 截至 2015 年国外开通运营的直线电机轨道交通线路

Tab. 1 Linear motor rail lines in operation in foreign countries by 2015

序号	线路名称	开通年份	线路长度/km	列车编组/辆	载容量/(定员 6 人/m ²)	单位车重载客数/(人/t)
日本						
1	大阪市营地铁 7 号线	1990	15	4	380	3.725
2	东京都营地铁 12 号线	1991	40.7	6	580	3.766
3	神户市营地铁海岸线	2001	7.9	4	380	3.585
4	福冈市营地铁 3 号线	2005	12.7	6	584	3.725
5	大阪市营地铁 8 号线	2006	11.9	4	380	3.725
6	横滨市营地铁 4 号线	2008	首期 13(全线 42)	6	388	3.725
北美						
7	加拿大温哥华 SkyTrain	1985	61	灵活编组	130/辆	5.83
8	加拿大多伦多 Scarborough 线	1986	6.4	灵活编组	130/辆	5.83
9	美国底特律 DPM	1987	4.8	2	80/辆	5.567
10	美国纽约肯尼迪机场线	2003	13	2~4	97~123/辆	5.125
东南亚						
11	马来西亚吉隆坡 PUTRA 系统	1998	29.4	2/4	130/辆	5.83

表 2 国内开通运营的直线电机轨道交通线路

Tab. 2 Domestic linear motor rail lines

序号	线路名称	开通年份	线路长度/km	列车编组/辆	载容量/(定员 6 人/m ²)	单位车重载客数/(人/t)
1	广州地铁 4 号线	2005	35.5(远期 66.5)	4	918	7.701
2	广州地铁 5 号线	2007	41.4	6	1 402	7.796
3	首都机场快轨	2008	28.1	4	448	4.67
4	广州地铁 6 号线	2013	42	4	918	7.913

加拿大在开发直线电机运载系统之初,将其定位为“中运量、全自动驾驶、全天候运行”的一种新型轨道交通系统,日本建设的直线电机轨道线路与骨干线相比,运量相对较低,相应的土建造价也较低。相对而言,国内直线电机运载系统运量较高^[2]。

2 选择直线电机运载系统的背景

首都机场快轨线路正线全长 28.1 km,线路结构形式有地下隧道、高架桥、地面线等。全线有两段地下线,分别在线路的两端,市区的东直门—三元桥站段

及通往 2 号航站楼的线路是地下隧道,中间是高架桥、地面线和局部隧道。

机场线是一条独立运营、服务于机场的专用线路,其与一般的城市轨道交通项目存在较大的差别,主要表现在以下几个方面:

- 1) 市区部分线路设计困难:要求限制坡度大、最小曲线半径小;
- 2) 高峰小时客流量绝对值较小:车辆编组不宜太长、行车间隔适度;
- 3) 乘客乘坐距离长:要求车速较快,以缩短旅行

时间，且应考虑以座席为主，以提高乘坐舒适度；

4) 车内设施为乘客提供充分便利，尤其是满足航空旅客的需求：合理布置扶手、行李架、乘客信息系统、车门系统等设施。

城市轨道交通经过 100 多年的发展，技术上比较成熟、有可能承担类似城市客运的轨道交通模式主要有以下 3 种：常规轮轨系统(包括地铁、轻轨、市郊铁路车辆)、直线电机系统、中低速磁悬浮系统(HSST)^[3]。

根据机场线的特点和交通制式选择原则，重点从线路条件、车速和旅行时间及环境影响等方面考虑。根据各种交通制式的特点，结合机场线项目的具体条件，全面考虑各种因素，根据市委、市政府组织召开的交通制式论证会议精神，北京市轨道交通首都国际机场线最终采用直线电机系统^[4]。

3 在首都机场线应用效果的综合评价

3.1 首都机场线运营情况

机场线列车运行方式为单一交路，列车按东直门站、三元桥站、T3 航站楼站、T2 航站楼站、三元桥站、东直门站的顺序往复运行。机场线列车运行交路情况如图 1 所示。

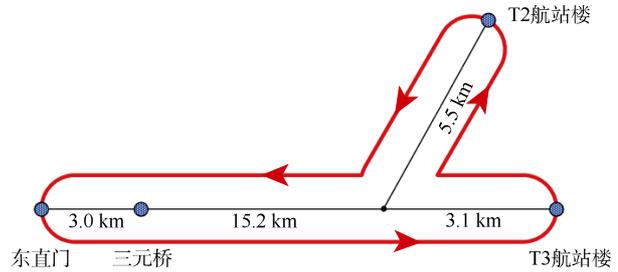


图 1 机场线配线设置

Fig. 1 Airport line wiring diagram

机场线列车采用直线电机系统，L 型车 4 辆编组，列车最高运行速度 110 km/h；现状旅行速度约 61 km/h；东直门至 T3 航站楼站运行时间为 21 min，T3 航站楼站到达 T2 航站楼站时间为 14 min；T2 航站楼站至东直门站运行时间为 24 min。

首都机场线 2008 年 7 月开通，作为一条连接首都机场与市中心的轨道交通专线，其在机场陆侧交通集疏系统的地位非常重要。机场线的客流随着机场旅客吞吐量的增加稳步增长，年均增长率 15%，高于机场旅客吞吐量年均 10% 的增长率^[5]。机场快轨年客流增长情况如图 2 所示。



图 2 机场快轨年客流增长情况

Fig. 2 Annual airport passenger traffic growth from 2009 to 2016

在机场客流各方式分担中，机场线占比约 15%，但仍远低于 2004 年编制的《首都机场线可行性研究报告》预测的机场客流分担比例 40%。通过运营公司组织的乘客问卷调查情况分析，客流未达到设计预期的主要原因如下：

- 1) 直接服务范围较小；
- 2) 车站枢纽功能不完善、交通接驳能力不强；
- 3) 换乘线路站位距离远、换乘设施薄弱；
- 4) 特色化的航空功能服务尚需完善；
- 5) 列车配属不足、灵活运营组织困难；

- 6) 列车故障率较高、对正常运营有一定影响；
- 7) 列车内饰设计精细化不足。

3.2 车辆维护情况

3.2.1 车辆型式与编组

4 辆编组：+Mc1-M1-M2-Mc2+

其中，Mc 车为有司机室的动车；M 车为无司机室的动车；+为全自动车钩；-为半永久棒式车钩。

3.2.2 车辆主要尺寸及限界如表 3 所示

3.2.3 车辆自重

Mc 车约 24.3 t；M 车约 23.6 t。运转整备状态下

的列车质量约 96 t。

表 3 车辆主要尺寸及限界
Tab.3 Main dimensions and boundaries of the vehicle 单位: mm

项目	主要尺寸及限界
车体长度	Mc: 16 130 M 车: 15 280
车辆高度	3 775
车体宽度	3 200(最大处) 3 078(车体地板高度处)
客室地板面距走行轨顶面高度	1 081
固定轴距	1 900
客室内净高度	≥2 020
轮对内侧距	1 356±1
车钩高度	677±5

3.2.4 技术特点

1) 采用直线感应电机驱动^[6]。图 3 是机场线车辆采用的直线电机。爬坡能力强是直线电机车辆主要的性能优势之一, 机场线因地形限制最大坡度达到 46%, 普通轮轨车辆的爬坡能力仅为 30%, 而机场线车辆凭借直线电机牵引系统的优势, 其爬坡能力达到 60%。机场线车辆的直线电机采用强迫风冷形式, 自重约为 700 kg。

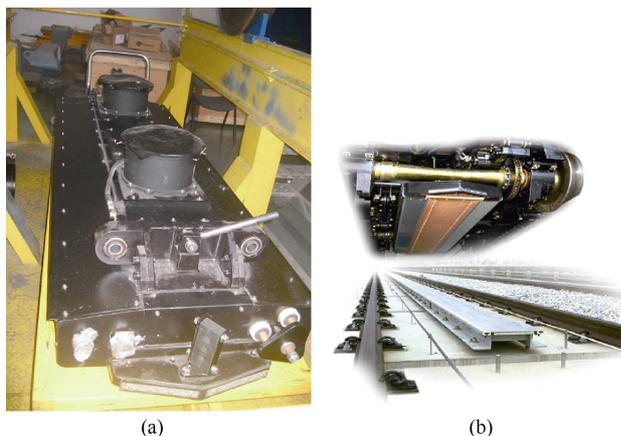


图 3 机场线车辆采用的直线电机
Fig.3 Linear motors for airport line vehicles

2) 转弯半径小。转弯半径小是机场线车辆另一重要性能优势。这主要取决于机场快轨车辆采用小轴距(1 900 mm)、小轮径(660 mm)的径向转向架。机场线因地形限制正线最小转弯半径为 160 m, 普通轮轨车辆的最小转弯半径为 300 m, 而机场线车辆凭借特殊的转向架构造最小转弯半径可以达到 100 m, 车场线

能达到 70 m。机场线车辆的转向架设有径向机构, 且车辆转向架轴距、定距小, 提高了通过小曲线的能力^[7]。图 4 所示是机场线采用的转向架。机场线车辆经过轻量化设计, 其车厢自重仅为 24 t, 相比普通地铁车辆 B 型车的 30 t (拖车)~35 t (动车)轻很多。图 5 显示了机场线车辆采用的车体结构。



图 4 机场线车辆采用的转向架
Fig.4 Bogies used for airport line vehicles



图 5 机场线车辆采用的车体结构
Fig.5 Body structure adopted for airport line vehicles

3) 制动控制方式。机场快轨车辆采用微机控制的电液制动系统, 并基于网络及硬线冗余控制方式。每台转向架配有一套独立的制动控制装置。该装置接收来自列车控制装置(VCU)和司机手柄的制动指令, 控制对应转向架的制动力^[8]。常用制动由电制动和拖车的液压摩擦制动实施; 紧急制动由电制动、液压摩擦制动、磁轨制动实施。基础制动采用轴盘盘式制动形式, 由于无齿轮箱等传动机构, 所有转向架均可配置轴盘。由于具备磁轨制动方式, 紧急制动减速度达到 1.3 m/s²。图 6 为直线电机车辆制动装置。

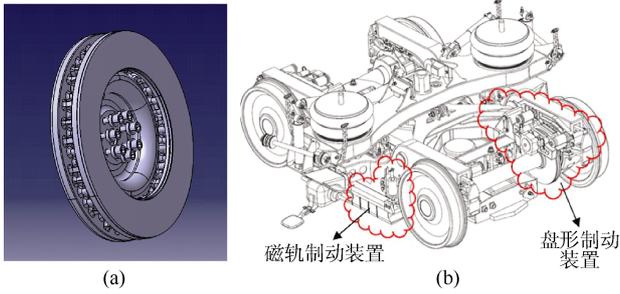


图 6 直线电机车辆制动装置

Fig. 6 Brake device of Linear motor vehicle

4) 列车维修模式。机场快轨列车检修采用以状态修为主、预防修为辅的维修模式。车辆检修除日检、周检(列检)外还要在不同的走行千米或时间间隔进行规定项目维修。因此车辆检修修程规定为周期检修与定期检修相结合的方式, 按照规定走行千米数进行状态维修^[9]。车辆周期性例行维护(PM 检)周期表及库停时间如表 4 所示(表中数值为近似数)。车辆定期检修周期如表 5 所示。

表 4 车辆周期性例行维护(PM 检)周期

Tab. 4 Periodic maintenance (PM inspection) schedule for vehicles

周期检修等级/(PM)	周期		库停时间/h
	里程/km	时间/d	
一般	12 000	12	8
A1	10 000	10	8
一般	12 000	12	8
A2	10 000	10	8
一般	12 000	12	8
A3	10 000	10	8
一般	12 000	12	8
A4	10 000	10	8
一般	12 000	12	8
A5	10 000	10	8
一般	12 000	12	8
A6	12 000	10	8

5) 车轮几何形状检修。车辆车轮在运行约 8 万 km 时应进行维护, 恢复到车辆运行维护手册中指定值, 以保证车辆的正常运行。按照目前每列车运营里程, 每年平均镟修 3~4 次。目前机场线 10 组车辆共有轮对 160 条, 采用 660 mm 标准的轮对, 禁用值为 632.4 mm。每 8 万 km 镟修损耗约为 1 mm, 加上行走的正常磨耗, 考虑到测量误差、镟修误差等因素, 机场线车辆轮对磨耗平均值为每 40 万 km 5~7 mm。按照以上经验车轮在镟修至其禁用值之前, 寿命约为 150 万 km。

表 5 车辆定期检修周期(200 万 km)

Tab. 5 Regular periodic maintenance schedule for vehicles (2 million kilometers)

检修种类	检修周期	
	里程/(10 ⁴ km)	停修时间/d
OH6	200	45
OH2	195	5
OH1	180	10
OH3	160	22
OH1	135	10
OH5 和 OH2	130	10
OH4	100	10
OH1	90	10
OH3	80	22
OH2	65	5
OH1	45	10

6) 与 B 型车运营维修对比。常规 B 型车检修方式仍采用预防性计划修为主, 但对于架修以下修程加大了状态修的分量。机场快轨车借鉴庞巴迪原型车检修理念, 根据每个系统和零部件的状况及检修标准, 增加以部件为重点检修内容的修程, 延长车辆大修的周期。这种状态维修方式可以使车辆维修成本、效率、质量优化, 是今后国内城市轨道交通车辆维修模式的发展趋势。表 6 是结合首都机场线的实际维修情况与 B 型车的对比。

表 6 首都机场线实际维修情况与 B 型车的对比

Tab. 6 Comparison of the actual maintenance of the Capital Airport Line with Model B

项目	直线电机	B 型车
架修周期/10 ⁴ km	80	60
停修时间	短	较长
制动盘磨耗	少	大
齿轮箱维护	无	有
制动系统维护	复杂	简单
全寿命维修成本	较低	较高
转向架拆装工艺	复杂	简单

3.3 轨道维护情况

1) 机场线轨道选型情况。首都机场线采用 60 kg/m 钢轨、材质为 U75V, 车辆基地以及出入线(整碎分界点后)采用材质为 U71Mn 的 50 kg/m 钢轨。正线、配线均采用 DTVI2-2 型扣件。正线、配线及车辆基地出入线高架段(整碎分界点之前)采用长枕式整体道

床；出入线剩余地面段及其他库外线采用木枕碎石道床，正线一般地段采用 60 kg/m 钢轨 9 号可动心系列单开道岔，部分地段采用 60 kg/m 钢轨 18 号可动心

单开道岔。

2) 机场线轨道维修模式：首都机场线轨道维护采用标准如表 7。

表 7 机场线轨道设备维修周期
Tab. 7 Airport line track equipment maintenance schedule

区段	设备名称		维修周期/月
正线	线路	整体道床和碎石道床	12
	道岔和伸缩调节器	整体道床和碎石道床	6
	特殊减振道床	整体道床和碎石道床	12
	感应板		12
	接地电缆及夹固带		12
车场线、专业线及联络线	道岔	运营线道岔	6
		非运营线道岔	12
	线路	直线(碎石道床)	12
		曲线(碎石道床)	6
		专用线(碎石道床)	12
	感应板		6
	接地电缆及夹固带		6
其他	线路标志		12
	道口(木制、混凝土、橡胶)		12
	车挡(混凝土铁制、木枕沙堆钢轨)		6
	车挡(一般缓冲滑动、液压缓冲滑动、长行程液压缓冲滑动、月牙式、框架固定式等)		12
	防脱护轨		12
	轨道附属设备(轨距拉杆、防爬器)		12

3) 机场线轨道病害和维修情况。直线电机运载系统有利于降低轮轨作用力，降低轮轨磨耗，减少工务打磨工作量。同时，直线电机运载系统能够适应曲线半径小、大坡道线路。根据对首都机场线的调研，目前为止没有发现钢轨异常波磨现象。但该系统对感应板与列车之间的气隙大小要求较高，这也在一定程度上加大了工务养护频率。目前首都机场线维修人员定员为 4.3 人/km，所铺设的感应板在运营过程中，每年均要进行 1 次针对感应板几何形位和几何尺寸的全面检测维修，在出现位置偏差的部位进行调整恢复。首都机场线正线、车辆段扣件使用情况良好，各零部件工作性能保持在设计要求范围内，未见异常状况。钢轨至开通以来打磨过 3 次，钢轨整体状态良好，其余道岔、扣件、枕木、整体道床等方面整体状态也较为良好。

3.4 车辆牵引能耗

影响城市轨道交通车辆牵引消耗电能的主要因素有车辆及其编组数量、线路运行条件、列车运行交路等。对于一条城市轨道交通线路而言，牵引用电的数

量是以上因素的综合。

以目前掌握到的首都机场线的一些实际运营数据，对本线的车辆牵引能耗进行计算分析，并与普通轮轨系统列车的牵引能耗进行对比及分析，由于机场快轨车辆单车自重约为 23 t，比传统 B 型车自重轻约 10 t，依据统一标准对比 B 型车与直线电机车辆的能耗效率，选用吨功率能耗指标。图 7 为首都机场线的运行图(局部)。

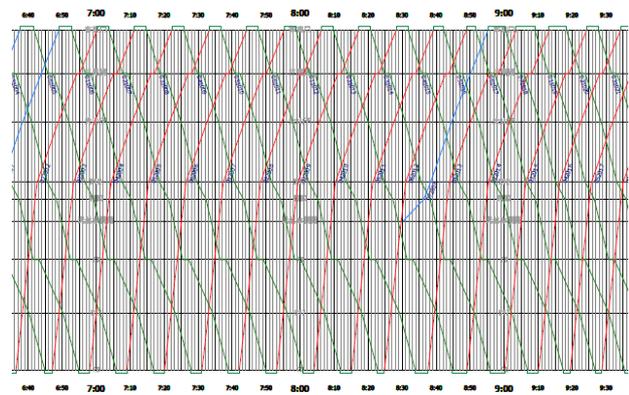


图 7 首都机场线运行图(局部)

Fig. 7 Capital Airport Line operation crossing map (partial)

经统计,首都机场线 2014 年全年列车运行里程为 918.84 万公里,日平均列车运行里程为 2.51 万公里。根据运营统计,首都机场线 2014 年实际开行的载客列车数量为 84 308 列,其中含临时加车 44 列。以 2014 年为例,首都机场线 2014 年的列车牵引耗电量数据如表 8 所示。

表 8 2014 年牵引耗电量统计

Tab. 8 2014 Traction power consumption statistics

月份	牵引耗电量/kW·h
1 月	1 163 051
2 月	1 042 403
3 月	1 053 179
4 月	1 035 442
5 月	1 130 775
6 月	1 126 672
7 月	1 236 370
8 月	1 191 996
9 月	1 157 289
10 月	1 162 808
11 月	1 166 169
12 月	1 199 239

根据上表数据,首都机场线 2014 年全年的总牵引耗电量约为 13 665 393 kW·h。牵引供电的能耗指标,以 t·km 的耗电量计算,这个指标可以反映城轨能耗的大小。城市轨道交通牵引用电量的计算公式如下:

$$W_t = \Delta A \times M \times (L/n)$$

式中: W_t 为年用电量, kW·h; ΔA 为列车单位能耗, kW·h/t·km; M 为列车总质量, t; L 为年万公里数, km; n 为列车编组数量。

代入首都机场线的各项数据,计算得机场线直线电机车辆单位能耗指标为:

$$\Delta A = \frac{W_t}{M \times (L/n)} = \frac{13\,665\,393}{(96 + 20.42) \times (9\,188\,400/4)} \approx 0.0559 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{t} \cdot \text{km}$$

式中,推算乘客总质量时,平均日客流量按 3 万人次取值。

从世界上部分已运营直线电机系统的实际效果来看,同样是直线电机系统,不同线路的能耗状况差异很大。日本大阪地铁 1993 年、1995 年对直线电机车辆能耗的测试数据为 $\Delta A = 0.0544 \sim 0.0561 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{t} \cdot \text{km}$ 。日本试验结果及大阪 7 号线的实测结果表明,和传统旋转电机驱动轮轨交通系统(以下简称普通轮轨系统)相

比,气隙为 12 mm 的直线电机地铁车辆运行时需多消耗电能 25%~30%。对于普通轮轨系统 B 型车,目前统计的车辆单位能耗指标的结果多在 $\Delta A = 0.040 \sim 0.052 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{t} \cdot \text{km}$ 之间。

经上节中的计算,首都机场线的 ΔA 约为 $0.0559 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{t} \cdot \text{km}$,比普通轮轨系统 B 型车能耗高出约 12%~27%,其牵引能耗相对高于普通轮轨系统。

4 结论

直线电机运载系统在首都机场线已经成功运营。通过对直线电机运载系统的总体运营、全自动驾驶、车辆维护、轨道维护、牵引能耗及车辆国产化等情况进行调研与后评估,发现直线电机运载系统各项指标均达到设计目标,运营维护情况良好。在后续直线电机线路设计中,借鉴相关运营经验,充分考虑运营维护的便利性和经济性,并将直线电机运载系统各子系统统筹考虑,如车—轨匹配、车—信号匹配等,达到全系统的最优。对于中运量、小半径曲线、大纵坡路段较多的线路,直线电机运载系统具备较好的适应性。

4.1 新线直线电机车辆维修设计的启发

- 1) 设置露天停车线不利于列车维护保养。
- 2) 考虑列检线均设置部分检查坑,且感应板、三轨入库,感应板与检查坑交替布置,保证列车能自行牵引入库。
- 3) 车辆段设置车轮、轴温检测设备。

4.2 轨道维护优化建议

- 1) 考虑到直线电机系统坡度大、曲线半径小的特点,建议条件允许时配齐所有大型检测、养护设备。
- 2) 机场线正线限界、管线综合布局应考虑区间备轨存放空间,以便发生钢轨大修、维修、抢修换轨时满足备用轨存放空间。

3) 直线电机系统由于感应板的存在,无法安装防护轨和绝缘轨距拉杆,需对轨道防护措施进行改进。

4) 机场线线缆过轨现状:未预留过轨管线,直接从轨底穿越。建议今后新线建设提前预留过轨管线;机场线高架区段无安全防护栏,建议增设安全防护栏,且防护栏高度满足人身安全防护要求;机场线电缆焊接造成钢轨焊点伤损,目前较稳定,建议今后采用栓接方式,减少焊点伤损;全线无照明设备,为保证检修安全、作业安全及检修质量,建议增设照明。

5) 由于采用直线电机,轨道结构增设感应板。同

时,受直线电机气隙控制的要求,对轨道平顺性有较高的要求。在设计中应对整体道床、扣件等影响轨道平顺性的关键部分进行进一步优化,确保气隙控制合理,满足设备要求。

4.3 降低牵引能耗的措施

1) 直线感应电机,对于相同规格的叠片式感应板和整体式感应板,采用叠片式感应板的直线电机推力比采用整体式感应板的直线电机推力理论上要增大约13%,能耗节约10%。

2) 减小电机的质量和体积,选用新的绕组接线方式,采用高温超导定子绕组等都可以提高直线感应电机效率。

3) 优化运行方式,合理选择运行时分(旅行速度),合理设置运行密度,减少再生失效。

参考文献

- [1] 俞展猷. 直线电机车辆运行方式的技术优势与发展[J]. 现代城市轨道交通, 2004(1): 52-57.
YU Zhanyou. Technical advantages and development of linear motor operation mode[J]. Modern urban transit, 2004(1): 52-57.
- [2] 周建乐, 韩志卫, 张雄飞, 等. 直线电机车辆技术现状与应用发展[J]. 都市快轨交通, 2012, 25(1): 7-13.
ZHOU Jianle, HAN Zhiwei, ZHANG Xiongfei, et al. Status Quo and application development of linear motor vehicles[J]. Urban rapid rail transit, 2012, 25(1): 7-13.
- [3] 万传凤. 首都机场线采用 LIM 轨道交通方式的探讨[J]. 交通科技与经济, 2006, 8(4): 79-80.
WAN Chuanfeng. Discussion on LIM rail transit in capital airport line[J]. Technology & economy in areas of communications, 2006, 8(4): 79-80.
- [4] 孙延焕, 郑财晖, 张天军. 直线电机运载系统在北京机场线的应用[J]. 铁路计算机应用, 2013, 22(9): 11-13.
SUN Yanhuan, ZHENG Caihui, ZHANG Tianjun. Application of linear motor carrier system in Beijing airport line[J]. Railway computer application, 2013, 22(9): 11-13.
- [5] 聂磊, 高艺, 余亮. 首都机场快线客运需求预测与运营方式研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2009, 9(4): 151-158.
NIE Lei, GAO Yi, SHE Liang. Research on passenger demand forecast and operation mode of capital airport express[J]. Journal of transportation systems engineering and information technology, 2009, 9(4): 151-158.
- [6] 郑财晖. 直线电机车辆技术在北京机场线的应用[C]//中国智能交通年会. 合肥, 2013.
ZHENG Caihui. Application of linear motor vehicle technology in Beijing airport line [C]// The annual conference of ITS China. Hefei, 2013.
- [7] 劳建江. 广州地铁四号线直线电机车辆柔性转向架[J]. 电力机车与城轨车辆, 2008, 31(4): 44-46.
LAO Jianjiang. Flexible bogie for linear motor vehicles on the Guangzhou Metro Line 4[J]. Electric locomotive & mass transit vehicles, 2008, 31(4): 44-46.
- [8] 孙延焕, 陈丽氏, 陈军科. 北京机场线无人驾驶模式系统的研究与实践[J]. 都市快轨交通, 2012, 25(5): 38-41.
SUN Yanhuan, CHEN Limin, CHEN Junke. Research and practice of Beijing airport line driverless mode system[J]. Urban rapid rail transit, 2012, 25(5): 38-41.
- [9] 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, 25(11): 77-81.
LU Guiying, XUE Bo, NIU Shuxia. Design innovation and application of linear motor base in Beijing airport line[J]. Journal of railway engineering society, 2008, 25(11): 77-81.

(编辑: 郝京红)

科技部“十二五”国家科技支撑计划“下一代地铁车辆技术研究及示范应用”项目通过验收

近日,科技部高新司在长春组织专家对“十二五”国家科技支撑计划“下一代地铁车辆技术研究及示范应用”项目进行了验收。验收专家组现场查验并添乘了下一代地铁车辆,听取了项目汇报,审阅了验收资料,经质询和讨论,一致同意项目通过验收。

项目于2015年立项批复,组织单位为中国中车股份有限公司(原中国北车股份有限公司)。项目开展了地铁车辆新架构、新结构、新材料及新能源应用技术研究,突破了智能控制、节能环保、监控一体化工业以太网、在途信息智能服务、碰撞吸能等关键技术,实现了全自动运行、轻量化、基于以太网的多网融合、碳纤维车体结构、新能源综合应用、在途信息智能服务。

摘编自 <http://www.camet.org.cn/2018-10-30>