

# 北京轨道交通 28 号线系统制式选择

仲莹莹

(北京城建设计发展集团股份有限公司, 100037, 北京//工程师)

**摘要** 在中央商务区区域规划城市轨道交通无法满足出行要求的背景下,提出建设北京轨道交通 28 号线。这种“后建设补充发展”的城市轨道交通具有线路条件较差、客流特殊、工程投资风险高的工程特点,其系统制式的选择应通过综合比选。对线路的功能定位、线路条件及客流需求进行分析,在跨坐式单轨系统、自动导向轨道系统、中低速磁悬浮系统、高地板铰接车、直线电机 Lb 型车 5 种中运量系统中初选出自动导向轨道系统及直线电机 Lb 型车系统。对该两种制式进行详细对比研究后认为,直线电机 Lb 型车系统具有良好的线路适应性和系统包容性,建议 28 号线选用此制式。

**关键词** 城市轨道交通;制式选择;直线电机 Lb 型车

**中图分类号** U231.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.04.032

## System Selection of Urban Rail Transit Line 28 in Beijing

ZHONG Yingying

**Abstract** Because the rail transit planning in central business district is unable to meet the travel requirements, the construction of Beijing rail transit Line 28 is proposed. This rail transit with "post-construction and supplementary development" characters will face up to poor line condition, special passenger flow and high engineering investment risks, therefore the selection of system standard should be considered comprehensively. Through analyzing the functional localization, line conditions and passenger flow requirements, AGR (automatic guided rail) system and Lb-type vehicle are preliminary selected from 5 medium traffic systems, including straddle monorail system, AGR, low-speed magnetic suspension system, high and low panel articulated vehicle and Lb-type vehicle. After a detailed comparative study of the two selected systems, due to the better line adaptability and system inclusiveness, the Lb-type vehicle is accounted to be more suitable for Line 28 and therefore is recommended.

**Key words** urban rail transit; system selection; linear motor Lb-type car

**Author's address** Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Limited, 100037, Beijing, China

北京轨道交通 28 号线(以下简称“28 号线”)位于北京 CBD(中央商务区),是中心城区东部的区域加密线,故 28 号线也称为 CBD 线,主要服务于北京 CBD。

CBD 区域受内部地块和道路网条件的限制,其城市轨道交通建设滞后于区域发展建设。28 号线属于“后建设补充发展”模式,具有特殊的工程特点。

车辆是城市公共交通客运系统最重要的载体,系统制式的选择是城市公共交通系统整体方案确定的关键因素之一,不仅影响系统的运能,而且对工程造价、运营费用有极大的影响。因此,北京轨道交通 28 号线系统制式的选择需按线路的功能定位、线路条件、客流需求等对车辆的需求进行分析,从车辆技术可行性、建设成本可控性及实施落地风险等方面综合比选。

## 1 28 号线的线路功能定位与线路特征

### 1.1 线路沿线区域条件

北京 CBD 用地性质主要以办公商业为主,区域内岗位人口为 45 万,居住人口较少。核心区建成后将新增 10 万个工作岗位。

目前运营及在建的城市轨道交通均位于 CBD 区域外围及边缘,仅 1 座车站(国贸站)服务于核心区。1 号线和 10 号线也没有富裕能力解决 CBD 新增的出行需求。

28 号线将与 1 号线、6 号线、17 号线、7 号线及 14 号线衔接,能缓解 1 号线、10 号线在 CBD 核心区域内的客流压力;同时,28 号线在 CBD 内加密设站,加大了 CBD 内轨道交通车站的承载力,解决了核心区新增 10 万岗位的出行问题。

### 1.2 线路功能定位

28 号线起点位于 CBD 区域西北角东大桥,经朝阳路、针织路穿过 CBD,服务核心区,衔接市郊铁路北京东站,终点接入广渠东路居住区。

28 号线作为大运量轨道交通的补充,主要服务于 CBD,解决核心区出行难的问题,同时加强北京东站与 CBD 的联系,能有效扩大骨干线网及市郊铁路车站的服务范围,是中心城区东部的区域加密线。

1.3 线路特征

从区域条件和线路功能定位来看,28 号线与常规城市轨道交通线有所差异,具有以下特征:

(1) 28 号线是为解决 CBD 核心区发展的交通问题而补充规划的线路,属于“后建设补充的形式”,其建设条件苛刻。

(2) 沿线建筑物密集、交通拥挤、道路红线较窄,换乘线路均未预留换乘条件。线路长度短、曲线半径小、坡度大,不具备高架敷设条件。

(3) 全线换乘站较多,且换乘线路均为地下敷设。为方便换乘,28 号线宜采用地下敷设方式。

(4) 客流特征特殊,车站客流疏散难。根据客流预测,全线以通勤客流为主,远期高峰小时单向最大断面客流为 2.65 万人/h,全线共 9 座车站,乘降量超过 1 万/h 的车站却超过 6 个。其客流为中运量客流,换乘接驳客流明显。

(5) 工程项目投资风险高、工期要求短。线路设站较密,每公里造价相对较高。CBD 核心区将于 2021 年建成,新增 10 万岗位的出行问题亟待解决。

1.4 系统制式选择的需求分析

28 号线的系统制式选择需求见表 1。

表 1 28 号线系统制式选择的需求		
需求项目	需求内容	
客流需求	高峰小时单向最大断面客流	2.65 万人次/h
	高峰小时车站客流乘降量	车站最大乘降量为 1.6 万人次/h,超过 1 万人次/h 的超过 6 座
	线路长度/km	8.77
线路技术参数	车站数/座	9(换乘站 5)
	换乘线路	与 6 条运营及在建线路换乘,均为地下线且未预留换乘条件
	敷设方式	全地下
	最小曲线半径/m	100
	最大坡度/‰	45

由表 1 可知,该线系统制式的选择应满足如下要求:线路爬坡能力强、曲线半径小;中等运量,适应突发客流能力强;适合于地下敷设方式;方便线路换乘的选择需求和线路技术参数。

2 各制式城市轨道交通系统特征及适应性分析

根据线路功能定位及车辆选型限制条件,应从中运量轨道交通系统中为 28 号线选择合适的系统制式,故首先排除地铁 A 型车等大运量系统制式。根据线路特点分析,线路平面最小曲线半径为 100 m,最大坡度为 45‰,地铁 B 型车和普通 C 型车不能满足大坡度和小半径线路条件,不适合本工程选用。

低地板铰接车系统常用于地面敷设方式,高峰小时运输能力一般不超过 2 万人次/h,属于低运量系统,不能满足本线路客流需求,对本工程的适应性差。

中低运量轨道交通系统还包括跨坐式单轨、自动导向轨道、中低速磁悬浮、高地板铰接车、直线电机 Lb 型车(以下简为“Lb 型车”)等系统。各系统的技术特征见表 2。

表 2 中运量系统技术对比表					
技术特征	高地板铰接车	Lb 型车	跨坐式单轨	自动导向轨道系统	中低速磁悬浮
驱动特征	旋转电机	直线电机	旋转电机	旋转电机	直线电机
最高速度/(km/h)	90	80~100	80	80	80~100
高峰小时运输能力/(万人次/h)	1.0~3.0	1.5~4.0	1.5~3.0	1.5~3.0	1.5~3.0
车外噪声/dB	≤80	≤80	≤75	≤75	≤75
振动影响	一般	一般	较小	较小	较小
最小曲线半径/m	150	100	100	60	100
爬坡能力/‰	48	60	60	60	50
供电方式	三轨	三轨或接触网	三轨	三轨	三轨
常见敷设方式	地下、地面高架	地下、高架	高架	地下、高架	地面、高架
投资费用	中	中高	中	中高	高
应用城市	伊兹密尔(土耳其)	北京、广州等	重庆	广州、北京等	长沙、北京等
国内生产厂商	株洲电力机车	长春客车厂、四方车辆厂	长春客车厂	中车铺镇,厂	株洲电力机车
生产周期	周期短	周期短	周期短	周期长	周期短
能耗	低	较高	较低	较低	较高

由表 2 比较可见:

(1) 跨坐式单轨系统具有自重轻、噪声低、制动距离短等特点。单轨系统一般采用高架敷设方式。

采用地下敷设时,其隧道断面较大、不经济。单轨的轨道梁和道岔施工精度要求高。单轨车辆段因轨道梁的设置,阻断效果明显。

(2) 中低速磁悬浮系统一般采用高架敷设方式。为满足车辆平稳和乘客舒适度,对导梁和轨道的制造、架设、安装精度有严格的要求。轨道梁桥结构体量大,地下敷设的隧道断面较大,不经济。磁浮列车耗电量高。磁浮系统因悬浮重量限制对运量波动适应性较差。世界运行案例少,国内产业配套能力不足,建设成本高,安全性也有待验证。

(3) 高地板铰接车系统车辆技术成熟,车辆轴重小,但机械传动和轮轨的刚性运动引起运行噪声较大。

(4) 自动导向轨道系统具有噪声低、振动小、列车可灵活解编、客车门开幅大、能有效应对突发客流等特点。但是,目前国内运营建设的工程均采用“交钥匙”工程,其土建部分同信号系统及道岔绑定,且在国内的工程和单轨系统一样采用胶轮轮胎,故其后期运营维护费用高,且需要专用的维修设施和工具。走行轨道岔结构复杂,施工及维护要求高。

(5) Lb 型车采用径向转向架,轨道磨损少,具有优良的动力性能和爬坡能力,车辆的检修设备较少,车场占地面积相对较小。但由于电机的间隙较大和裸露泄漏磁通较多,电气与机械的转换效率较低,能耗较大。

### 3 28 号线系统制式探讨

#### 3.1 系统制式初选

从城市轨道交通中运量系统的适应性来看:本线全为地下线,跨坐式单轨系统的地下隧道断面较大,建设成本高;中低速磁悬浮系统能耗较大,建设成本高,且安全性有待验证。可见,这 2 种制式对本线的适应性较差。

根据客流及线路条件,现对高地板铰接车系统、自动导向轨道系统及 Lb 型车的车辆编组及对应的标准站规模进行分析(见表 3)。

高地板铰接车系统车辆宽度较窄,列车长度较大,与 Lb 型车及自动导向轨道系统相比,其标准站的车站长度长约 20 m。由于 28 号线车站数较多,均为地下站,土建投资巨大,因此,高地板铰接车对该线的适应性较差。

综上所述,Lb 型车和自动导向轨道系统的适应

性较好。

表 3 三种制式的车辆编组情况及车站土建规模表

项目	高地板铰接车	Lb 型车	自动导向轨道系统
编组/辆	5	6	7
列车长度/m	118.00	101.10	89.25
额定载客能力/人	1 120	1 140	1 057
有效站台长度/m	118	102	90
有效站台宽度/m	12	12	12
车站总长/m	185.0	176.0	169.5
车站总宽/m	21.5	21.54	21.50

#### 3.2 Lb 型车和自动导向轨道系统对比分析

##### 3.2.1 客流适应性分析

28 号线远期高峰最大断面客流量为 2.65 万人次/h,单站上车客流最大值高达 1.60 万人次/h,不小于目前北京市轨道交通线网中的骨干高运量线路。这导致系统制式客流适应性也有着独有的特征。远期高峰断面客流量决定了系统运力需求及制式标准。单站较大的客流集散量导致各年限的运营开行对数受控于车站的客流疏散能力。自动导向轨道系统列车长度短、系统集成度高,可采用较高的行车密度,可减少站台的客流疏散压力。Lb 型车较自动导向轨道系统车稍长,运输能力较自动导向轨道系统更高,更能应对 CBD 客流增大的风险。

##### 3.2.2 能耗对比

根据实际统计数据,北京地铁机场线牵引能耗约为 0.055 9 kWh/(t·km)。按年运行 20 万 km 计算,两者的年运行牵引能耗对比如图 1 所示。

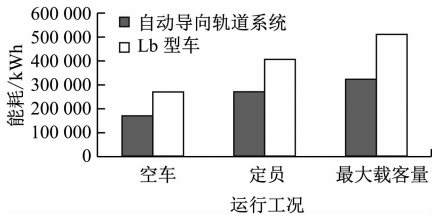


图 1 Lb 型车与自动导向轨道系统年运行牵引能耗对比图

Lb 型车的人均能耗约为 1 997 kWh/人,自动导向轨道系统约为 1 796 kWh/人。折合每辆车,自动导向轨道系统比 Lb 型车节能约 37.4%,人均能耗节约 11%。

##### 3.2.3 环境影响

自动导向轨道系统车辆多采用胶轮,Lb 型车采

用钢轮钢轨。运营过程中,自动导向轨道系统振动影响相对较小,Lb型车产生的粉尘污染少。

### 3.2.4 运营维护

Lb型车的维护设备与地铁B型车类似,基本国产,1年需要镟轮1次,维修费用相对较低。自动导向轨道系统采用橡胶轮胎,轮胎更换工作量相对较大,一年需要换轮1次,且维护设备需要进口,维修费用相对较高。

### 3.2.5 系统单一性

自动导向轨道系统每种车辆对应1个厂家。目前的国内运营建设的自动导向轨道系统均采用“交钥匙”工程,采购某种车辆就需要采购其对应的信号和道岔。Lb型车采用可包容性设计,其信号、道岔等为开放系统。

### 3.2.6 技术成熟度

自1985年温哥华直线电机空中列车开通后,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、东南亚及我国等地,运营总里程超过350 km,我国目前广州地铁4号线、5号线及6号线,以及北京地铁机场线均采用Lb型车。目前Lb型车辆的国产化率超过75%。

全球已有近340 km的城市轨道交通采用了自动导向轨道系统。其在亚洲城市轻轨网络中,如新加坡、日本、韩国等也得到广泛应用,我国台湾文湖线、北京首都国际机场旅客捷运系统和广州珠江新城集运系统均采用该制式。自动导向轨道系统的成熟度高,目前的车辆国产化率已超过70%,但车辆绑定的信号系统国产化率相对较低。

### 3.2.7 资源共享

目前,北京只有首都国际机场旅客捷运系统采用自动导向轨道系统,其委托修理单位与轨道交通体系关联性较小,资源共享还需要进一步多方协调。北京地铁机场线的车辆段目前没有实现厂架修。28号线将设置1座车辆段。远期北京地铁机场线与28号线可实现厂架修资源共享。

### 3.2.8 实施风险

从自动导向轨道系统国内外应用实例来看,最大的设计为6辆编组,没有7辆编组的工程案例。如果选用7辆编组的列车,有可能会存在长大编组对救援的制约问题,而且车辆的抗剪切能力及车钩的强度是否满足超载情况下的车辆救援等还需车辆厂家进一步核实验证。如直接采用7辆编组的自

动导向轨道系统列车,其工程实际实施存在一定的风险。

综合分析,自动导向轨道系统能耗小,但运营维护难度较大,虽有在机场内部应用,但委托修理单位与北京轨道交通体系关联性较小。Lb型车因能对本线的客流,运营维护难度较低,系统包容性较强,可实现资源共享,更能适应本线的工程特点。

## 4 结语

城市轨道交通建设普遍滞后于城市发展。传统城市轨道交通线路通常只能沿道路建设,难以深入到区域核心。市民短距离出行难和封闭区域出行不便等问题还没能得到很好解决。各城市对中小运量、中高品质城市轨道交通系统的需求愈加明显。Lb型车满足中运量水平,具有爬坡大、曲线半径小、线路适应性和系统包容性强、占地少、经济性好,完全满足28号线的建设需求,建议系统制式采用Lb型车。

## 参考文献

- [1] 朱卫国. 大中城市轻轨适用性探讨[J]. 都市轨道交通, 2016(1):92.
- [2] 陈炎,王波,吴爽,等. 城市轨道交通系统分类方法研究[J]. 都市轨道交通, 2015(6):128.
- [3] 国务院办公厅. 关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见:国办发[2018]52号[S]. 北京:国务院办公厅, 2018.
- [4] 闵国水,曾琼. 中小城市发展中的低运量城市轨道交通系统制式选择研究[J]. 铁路技术创新, 2016(6):40.
- [5] 顾静航. II型城市轨道交通系统选型[J]. 都市轨道交通, 2018(1):67.
- [6] 朱蓓玲. 从上海轨道交通8号线三期工程车辆选型看胶轮路轨APM系统应用[J]. 地下工程与隧道, 2016(4):25.
- [7] 北京城市快轨建设管理有限公司,北京城建设计发展集团股份有限公司,北京市市政工程设计研究总院有限公司. 直线电机运载系统应用效果与研究[R]. 北京:北京城市快轨建设管理有限公司. 2016.
- [8] 金昱. 中低运量轨交系统在上海的适用性研究[J]. 上海建设科技, 2013(4):21.
- [9] 北京城市快轨建设管理有限公司,北京城建设计发展集团股份有限公司,北京市市政工程设计研究总院有限公司. 直线电机运载系统应用效果与研究[R]. 北京:北京城市快轨建设管理有限公司. 2016.

(收稿日期:2018-12-29)