

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2017.01.008

城市轨道交通制式分类及适用性

魏庆朝, 潘姿华, 臧传臻

(北京交通大学土木建筑工程学院, 北京 100044)

摘要: 多制式轨道交通协同发展已成为城市轨道交通系统发展的大趋势。在介绍既有制式分类和各种制式城市轨道交通的基础上,从概念、特征、优缺点、适用性等方面对不同城市轨道交通制式进行对比,明确我国目前轨道交通是以地铁为主的多样性发展结构,指出在制式选择过程中存在制式分类标准不统一、选择过程考虑不周等问题。建议对制式进行准确分类,完善不同制式技术标准,基于城市发展,合理、科学地选择轨道交通制式,实现多制式轨道交通优势互补、互联互通、协调发展。

关键词: 城市轨道交通; 制式分类; 标准; 适用性

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2017)01-0034-07

Classification and Applicability of Urban Rail Transit

WEI Qingchao, PAN Zihua, ZANG Chuanzhen

(School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract: Coordinated development of multifarious rail transit system has become a major trend in the development of urban rail transit. In this paper, existing standards of classification of rail transit systems are introduced and compared in terms of concepts, characteristics, merits and demerits and applicability. The multifarious development structure of urban rail transit systems in China, which mainly consist of subways, are highlighted. The problems such as inconsistency in classification standards, poor consideration of selection process and the weakness of long-term consciousness are elaborated. It is suggested that the classification standard for rail transit systems should be accurate, the technical specification for different classification standards should be specified and improved. Finally, it is proposed that the classification standards should be scientific and in line with the urban development so as to achieve coordinated, complementary and rational development of multifarious rail transit systems.

Keywords: rail transit; system classification; standard; applicability

优先发展以轨道交通为骨干的城市公共交通系统已成为根本解决城市交通问题的国际共识。截至2015年12月31日,中国内地共有25个城市拥有城市轨道交通,运营线路总长3 293 km,预计到“十三五”结束时,我国城市轨道交通总里程将达6 000 km^[1]。我国各城市地理环境、经济水平、公共交通现状各有不同,轨道交通制式需根据各城市具体情况进行选择。

1 分类及特征

1.1 我国既有制式分类及特征

目前,《城市公共交通分类标准》将城市轨道交通

分为地铁系统、轻轨系统、单轨系统、有轨电车系统、磁浮系统、自动导向轨道系统、市域快速轨道系统共7类^[2],各系统概念和特征及地区适用条件如表1所示。

不同制式的轨道交通在车型特点、供电制式、受流方式等方面也各有不同。

1) 在车型方面,受运量的影响,地铁钢轮钢轨系统可选用的基本车型有A型车、B型车等,一般适合大、中运量的旅客输送,高峰小时单向运输能力可达到2.5万~7万人次。此外,地铁系统还包括直线电机驱动的L_B型车辆,高峰小时单向运输能力可达到2.5万~4万人次。轻轨系统采用C型车和L_C型车,单轨、磁浮和有轨电车等制式各采用专用车辆。

2) 在供电制式方面,城市轨道交通一般采用中压供电系统,分为集中式、分散式和混合式。一般以集中

收稿日期: 2016-06-24 修回日期: 2016-12-13

第一作者: 魏庆朝,男,教授,主要研究方向为铁路线路设计、新型轨道交通、线路-列车动力响应分析, qcwei@bjtu.edu.cn

基金项目: 北京市自然科学基金项目(8172040)

表 1 城市轨道交通系统介绍
Tab.1 Introduction of urban rail transit system

系统分类	概念	特征	优缺点及适用地区
地铁	采用钢轮钢轨体系,1 435 mm 标准轨距,主要在大城市地下隧道中运行,有条件时也可在地面或高架桥上运行	高运量,客运能力为 4.5 万~7.0 万人次/h,大运量的客运能力为 2.5 万~5.0 万人次/h,平均运行速度大于 35 km/h;最高行车速度不小于 80 km/h	优点:运量大、能耗低、技术成熟。 缺点:噪声大、造价高。 适用地区:特大、大城市中心区域
轻轨	采用钢轮钢轨体系,1 435 mm 标准轨距,主要在城市街道路面或高架桥上运行,线路采用地面专用轨道或高架轨道,在繁华街区,也可进入地下或与地铁接轨	中运量,客运能力 1.0 万~3.0 万人次/h、平均运行速度为 25~35 km/h;最高行车速度不小于 60 km/h	优点:能耗低、技术成熟。 缺点:振动噪声大。 适用地区:大、中城市
单轨	车辆与特制轨道梁组合成一体运行的中运量轨道系统,轨道梁既是车辆的承重结构,也是车辆的导向轨道,包括跨座式和悬挂式两种	中运量,跨座式客运能力 1.0 万~3.0 万人次/h、平均运行速度为 30~35 km/h;悬挂式客运能力为 0.8 万~1.25 万人次/h,平均运行速度大于 20 km/h;最高行车速度不小于 80 km/h	优点:噪声低、爬坡能力强、转弯半径小。 缺点:胶轮易老化。 适用地区:大、中城市,专用线路
有轨电车	分为单箱或铰接式有轨电车和导轨式胶轮有轨电车两类,运量低,适用于地面(独立路权)、街面混行或高架。按运行模式分为混合车道、半封闭专用车道(优先信号)、全封闭专用车道(平道口立交)	低运量,单箱或铰接式有轨电车客运能力为 0.6 万~1.0 万人次/h,平均运行速度为 15~25 km/h;导轨式胶轮电车客运能力小于 1.0 万人次/h,最高运行速度 70 km/h	优点:介于轨道交通和公交之间,布线灵活,造价低。 缺点:噪声大,运量与路权关系大。 适用地区:中、小城市,专用线路
磁浮	利用电导磁力悬浮技术使列车悬浮运行,采用直线电机驱动,主要在高架桥上运行,特殊地段也可在地面或地下隧道中运行。按照运行速度可分为高速磁浮和中低速磁浮两类	中运量,客运能力 1.5 万~3.0 万人次/h,高速磁浮列车最高行车速度约 500 km/h,中低速最高行车速度 100 km/h	优点:噪声低,爬坡能力强,转弯半径小,可实现全自动和无人驾驶。 缺点:胶轮易老化。 适用地区:城市机场专用线或客流相对集中的点对点线路
自动导向轨道	采用特制胶轮车辆在专用轨道上运行的旅客运输系统,列车沿着特制的导向装置行驶,可实现全自动化管理和无人驾驶,线路可采用地下隧道或高架桥形式	中运量,客运能力为 1.0 万~3.0 万人次/h,平均运行速度大于 25 km/h	优点:爬坡能力强、转弯半径小、振动噪声低、综合造价低。 缺点:能耗略高,车辆造价较高。 适用地区:大、中城市,大城市开发区,山地城市,江河城市或旅游区
市域快速轨道	适用于城市区域内重大经济区之间中长距离的客运交通。主要在地面或高架桥上运行,必要时也可采用隧道,采用钢轮钢轨体系时,轨距应为 1 435 mm	大运量,客运量可达 20 万~45 万人次/d,运行速度可达 120 km/h	优点:能耗低、技术成熟。 缺点:振动噪声大。 适用地区:城市长距离郊区

式供电为主,以分散式供电为辅。我国国家标准规定直流供电电压等级为 750 V、1 500 V 两种,通常根据车辆、线路结构、电气设备水平等因素来决定采用何种电压等级。我国的市域快轨列车适合于双供电制式,可在 AC 25 kV 的高速动车组供电系统和 DC1 500 V 的地铁列车接触网之间切换,实现在高速动车组轨道上和地铁线路共轨运营。

3) 在受流方式方面,包括架空接触网、接触轨和感应式 3 种。架空接触网是指沿走行轨顶部架设由承力索、接触线以及支持装置构成的“之”字形接触网。列车通过安装在顶部的受电弓受电,供给车辆电气设备。接触轨供电则是沿走行轨敷设一条与线路平行的附加轨道,列车集电靴与其接触摩擦取电。接触轨又称为第三轨,此结构较简单,易于安装。感应式供电体

现在采用长定子直线电机的磁浮线路上,对安装在轨道上的定子供电,安装在车辆上的转子不供电,车辆受力和电器设备供电则依靠电磁感应发电提供列车驱动力。

1.2 新型城市轨道交通分类及特征

在现有的众多城市轨道交通制式中,地铁和轻轨建设历史长,技术更成熟,应用范围广泛,是传统轨道交通的代表。其他制式的轨道交通相较于前两者均有不同程度的创新和变化,一般称作新型城市轨道交通系统以示区分,笔者按照新型轨道交通在驱动、支承和导向方式上的差别,分类介绍如下。

1.2.1 直线电机轨道交通

直线电机驱动的轨道交通具有爬坡能力强、转弯半径小、轴重轻、噪声小等优点,可降低隧道截面积和

桥梁荷载,使选线更灵活,进而降低工程造价。

直线电机将电动机定子和转子分别设在车辆和轨道上,分为长定子直线同步电机、短定子直线感应电机和分段长定子直线感应电机。长定子直线同步电机的定子设在轨道上,转子设在车辆上,定子和转子同时供电,由两通电磁场相互作用提供驱动力;短定子直线感应电机的定子设在车辆上,转子设在轨道上,称为感应板,定子供电而转子不供电,由通电磁场和感应磁场相互作用提供驱动力;分段长定子直线感应电机的定子分段设在轨道上,转子设在车辆上,定子只在列车行驶区域附近段供电,转子不供电,由通电磁场和感应磁场相互作用驱动^[3]。国内外直线电机轨道交通应用广泛,不同线路的驱动、支承、导向方式介绍见表 2,短定子直线感应电机原理如图 1 所示。

表 2 直线电机轨道交通线路特征

Tab.2 Characteristics of linear induction motor rail transit lines

名称	驱动方式	支承方式	导向方式	应用
磁浮铁路	长定子直线同步电机	电磁悬浮	电磁导向	上海磁浮线(超高速磁浮)
		电动悬浮	电磁导向	日本山梨试验线(超高速磁浮)
	短定子直线感应电机	电磁悬浮	电磁导向	日本东部丘陵线、北京 S1 线等(中低速磁浮)
直线电机轮轨交通		钢轮	钢轨	加拿大、日本、美国、马来西亚、中国等共 16 条线路
直线电机单轨交通		橡胶轮胎	导向轮	莫斯科单轨
直线电机气浮轨道交通	短定子直线感应电机	气垫	导向轮	美国 Duke 大学线
分段直线电机轨道交通	分段长定子直线感应电机	钢轮	钢轨	美国国会地铁、休斯顿机场摆渡线、迪斯尼乐园游览线

1) 磁浮铁路。磁浮铁路采用直线电机牵引、电磁导向、电磁悬浮或电动悬浮技术使列车沿着轨道无接触运行(见图 2),目前主要包括超高速磁浮和中低速磁浮交通两类。超高速磁浮交通一般采用长定子直线同步电机牵引,有日本超导磁浮技术 ML(电动悬浮)和德国常导磁浮技术 TR(电磁悬浮),主要用在长大干线和城际轨道交通。中低速磁浮交通采用短定子直线感应电机牵引,有日本常导中低速磁浮技术 HSST,主要用在城市轨道交通和机场交通。

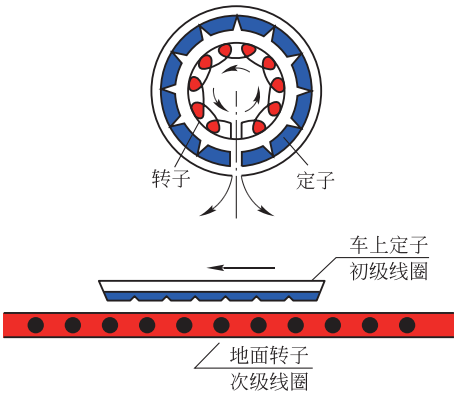


图 1 短定子直线感应电机原理
Fig. 1 Principle diagram of the short stator linear induction motor

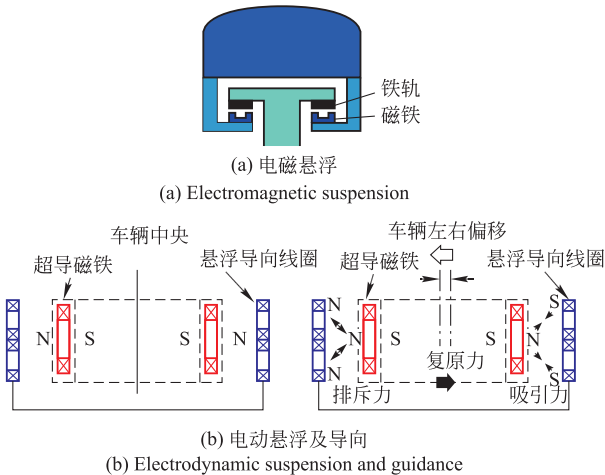


图 2 磁浮交通悬浮导向原理
Fig. 2 Guiding and suspension principle of maglev

电磁悬浮依靠安装在车体上的电磁铁和轨道铁轨(或电磁铁)之间的吸引力使车辆悬浮,轨道不平顺影响垂向电磁力,需主动控制系统调整气隙和悬浮力。电动悬浮在车体上安装电磁铁,在轨道上安装悬浮感应线圈,依靠感应磁场和车上电磁铁同性相斥原理产生悬浮力,列车需达到 120 ~ 150 km/h 以后才能得到足够悬浮力,在低速范围内需车轮支承。电动悬浮是自稳系统,不需复杂气隙主动控制系统^[4]。

2) 直线电机轮轨交通。该系统采用直线电机牵引、钢轮-钢轨系统支承导向,一般采用短定子直线感应电机牵引,主要有加拿大和日本两国技术。美国正在研究分段长定子直线感应电机驱动技术,定子间隔 1.5 ~ 3 m,运量较小。

3) 直线电机单轨交通。莫斯科一单轨系统采用直线感应电机驱动,橡胶轮胎支承,侧向导向轮导向。莫斯科地处严寒地区且单轨线路全为高架形式,冬天

轨道落雪严重,车轮易打滑,而直线电机驱动力不易受此影响^[5]。

4) 直线电机气浮轨道交通。采用直线电机驱动、气垫支承、导向轮导向。气垫悬浮是用压缩机把空气吹向地面获得浮力,但这种悬浮方式不如磁浮方式容易控制。

1.2.2 单轨交通

单轨交通是车辆跨座或悬挂于带形梁体轨道的交通系统(见图3)。具有占用空间少、爬坡能力强、转弯半径小、噪声低、舒适环保等优点。但是道岔结构复杂,限制了列车的最短运行间隔;速度及载客量通常小于地铁系统。

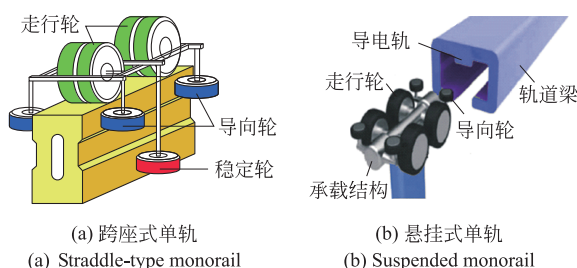


图3 单轨交通原理

Fig. 3 Principle of monorail transportation

1.2.3 自动导向轨道系统

自动导向轨道交通系统的车辆采用橡胶轮胎承载、驱动和导向,其中包括走行轮和导向轮,且走行轮胎内侧设有钢轮。这种系统具有转弯半径小、爬坡能力强、运行噪声低、振动小等技术优点。按照导向轮的安装位置可分为外侧导向式、内侧导向式两大类(见图4)。

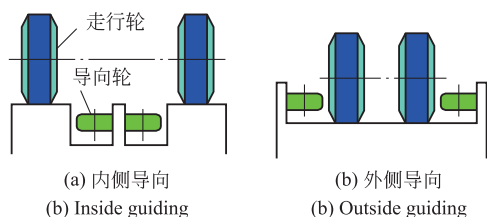


图4 自动导向示意

Fig. 4 Diagram of automatic guide

自动导向轨道系统可采用专用路权,也可与一般道路混行并具备优先通行权,适用于高架或地面线,适合于地貌起伏较大、环境条件复杂的城市,与地铁相比工程量小,建设成本低。

1.2.4 现代有轨电车

现代有轨电车在传统有轨电车的基础上全面升级改造,根据车轮及轨道形式分为钢轮钢轨和胶轮路轨

两类,客运能力0.5万~1.2万人次/h,设计速度70~80 km/h,市中心运行速度约为20 km/h,郊区运行速度可达30 km/h^[6]。现代有轨电车系统既可承担大城市骨干公共交通网络的补充、延伸、联络、过渡等辅助功能,也可作为中小城市的骨干公共交通网络,兼具与城市景观协调、环保等特点。该制式列车采用模块化设计,便于养护维修;供电制式多样,包括架空线供电、第三轨供电(仅限钢轮钢轨)和蓄电池供电(仅限部分路段)。现代低地板有轨电车车辆入口与站台齐平,方便乘客上下车。



图5 沈阳100%低地板有轨电车示意

Fig. 5 100% low-floor trams in Shenyang

1.2.5 缆索牵引气垫交通

车辆像电梯一样用缆绳纵向驱动,由气垫支承,无支承车轮,导轨断面为槽形,导轨侧壁可作为导向轨道。导向装置安装在驱动缆索附近并安在单侧,即使不使用道岔也能实现上下行车辆在单一导轨内走行,在线路区间中部加宽导轨宽度可实现车辆对向通行。日本成田机场摆渡系统采用该系统(见图6)。

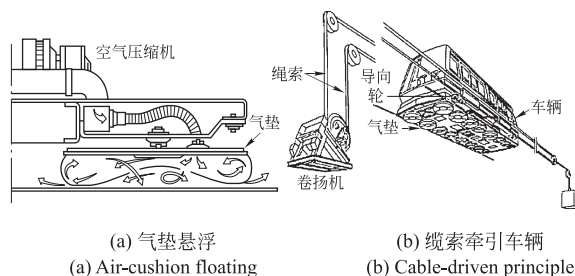


图6 缆索牵引气垫交通原理

Fig. 6 Principle of cable-driven air-cushion transportation

2 制式发展特点及存在问题

2.1 发展特点

1) 制式结构呈现多样性。从全国范围上看,我国城市轨道交通各种制式均有发展。至2015年12月31日,广州已有5种制式,北京、上海已有4种制式。对全国25座已开通城市轨道交通运营线路制式统计结果如表3所示。

表3 我国城市轨道交通运营线路制式统计
Tab.3 Statistics of operational urban rail transit system in P. R China

制式数量/种	城市数量/座	部分代表城市	制式类型
5	1	广州	地铁(1、2、3、7、8号线)、直线电机轮轨交通(4~6号线)、自动导向轨道(珠江新城APM)、有轨电车(海珠环岛线)、快轨(广佛线)
4	2	北京	地铁(1~15号线、亦庄线、八通线、昌平线、房山线)、直线电机轮轨交通(首都机场线)、中低速磁浮(S1线,在建)、快轨(S2线)
		上海	地铁(1~4、7~16号线)、轻轨(5、6号线)、高速磁浮(龙阳路-浦东机场线)、有轨电车(张江线)
3	1	天津	地铁(1~3号线)、轻轨(9号线)、有轨电车(滨海)
2	6	重庆	地铁(1、6号线)、跨座式单轨(2、3号线)
		长春	轻轨(3、4号线)、有轨电车(54、55路)
		大连	地铁(1~3号线)、有轨电车(201、202路)
		沈阳	地铁(1、2号线)、有轨电车(1、2、3、5号线)
		长沙	地铁(2号线)、中低速磁浮(2016年5月运营)
		苏州	地铁(1、2号线)、有轨电车(1号线)
1	15		地铁(南京、武汉、深圳、成都、佛山、西安、杭州、昆明、哈尔滨、郑州、无锡、宁波、青岛、南昌) 有轨电车(淮安)

2) 地铁所占比重较大,其他制式所占比重较小。截至2015年12月31日,从全国范围内看,在已运营的城市轨道交通系统中,地铁系统(含直线电机驱动、快轨、城际快轨)总长2 959.9 km,占总里程的89.89%;轻轨48.29 km,占总里程的1.47%;单轨交通87.46 km,占2.66%;现代有轨电车171.02 km,占5.19%;磁浮交通29.9 km,占0.91%^[1]。地铁仍占据城市轨道交通较大比例,而轻轨、单轨、有轨电车、中低速磁浮交通线路所占比例较小。

2.2 存在问题

2.2.1 轨道交通分类标准不统一

城市轨道交通分类方式众多,将《城市公共交通分类标准》(CJJ/T114-2007)和《城市轨道交通工程项目建设标准》的分类方法归纳如下:

1) 按轨道空间位置,分为地下线、地面线和高架线。2) 按轨道形式,分为重轨、轻轨和单轨交通。3)

按支承导向制式,分为钢轮支承双轨导向、胶轮支承单轨导向、胶轮支承双轨导向和磁力悬浮电磁导向系统。

4) 按单向小时运能,分为大运量、中运量和小运量系统。5) 按路权专用程度,分为线路全封闭型、线路半封闭型和线路不封闭型系统。6) 按服务区域,分为市郊铁路、市内铁路和区域快速铁路。7) 按驱动方式,分为旋转电机驱动系统和直线电机驱动系统。8) 按编组类型,分为小、大、长大编组系统。9) 按运行速度,分为中低速、快速、高速轨道交通。

以上分类、命名方法虽能够详细地表征出某线路的某一突出特点,但无法准确表现出其综合属性且重复性高,会为线网的规划、设计和后期统计工作带来一定困难。

在《城市公共交通分类标准》(CJJ/T114-2007)的分类方法中,地铁与轻轨是按照运量来划分的,单轨、有轨电车、磁浮、自动导轨系统等是按照驱动方式或导向方式划分的,而市域快速轨道系统则是按照地域范围划分的。这种分类方法把运量、速度、驱动方式、导向、地域等夹杂在一起,难以从根本上区分这几大系统的差别。而在《城市轨道交通工程项目建设标准》中,仅从运量方面对轨道交通进行了分类,也不能全面体现不同制式轨道交通的特点(见表4)。由于划分因素很多,致使目前多个城市众多线路的命名五花八门,种类繁多,混乱不堪,这种现象需尽快纠正。

表4 《城市轨道交通工程项目建设标准》
各级线路相关技术特征^[7]

Tab.4 Technical characteristics of lines of different levels in Construction Standard of Urban Railway Transportation Projects

线路运能分类	I	II	III	IV
	高运量	大运量	中运量	
	钢轮钢轨		钢轮钢轨/单轨	
线路形式	全封闭型			部分平交道口
列车最大长度/m	185	140	100	60
单向运能/(万人次/h)	4.5~7	2.5~5	1.5~3	1~2
适用车型	A	B或L _B	B、C、L _B 及单轨	C或D
最高速度/(km/h)	80~100			60~80
平均站间距/km	1.2~2			0.8~1.5
旅行速度/(km/h)	35~40			20~30
适用城市区人口规模/万人	≥300		≥150	

2.2.2 选择过程考虑不周

城市轨道交通制式的选择需要考虑运输能力、工程经济性、技术合理性、城市交通特征和环境(见表5)等众多因素,与客流运量、投资规模、建设周期、地理条件、线路适应性、气候适应性、实施难度、环境保护措施息息相关。然而从全国范围看,轨道交通制式选择仍较为单一,多种制式的轨道交通协调发展仍有待加强。

表5 城市交通特征分类

Tab.5 Classification of urban traffic characteristics

交通特征	地理特征	代表城市
各项同性型	平原	北京、石家庄
割裂型	江河分割	武汉、兰州
单边受限型	海滨、海湾、沿湖	海口、青岛、无锡
双边受限型	山谷	兰州、乌鲁木齐
多边受限型	山地、海岛	重庆、厦门

此外,目前研究采用的诸如层次分析法、模糊数学法、神经网络法等决策方法未考虑主要因素的相互耦合作用关系。如轨道交通运输能力与城市人口规模之间,交通方式的运输能力应当适应城市人口规模,同时运输能力的提高也会给城市人口流动及规模的改变带来影响。此外,环境因素与城市交通特征、轨道交通工程经济性之间也有相互影响:地区资源和城市地貌等影响交通线路流量和交通模式,同时也影响施工的方式和工期^[8]。

目前,轨道交通制式的选择中欠缺长远意识,未充分考虑城市远期规划发展,轨道制式选择及规划建设决策对相关专家的意见考虑较少,有时会忽略不同制式轨道交通系统技术特点与城市需要的匹配,在制式选择上存在一定的从众性和盲目性,使得城轨交通形式过于单一,尚未形成科学、先进、合理、综合的城市轨道交通规划与制式合理匹配。

3 建议

3.1 复合制式分类标准的探讨

城市轨道交通制式发展越来越多样化,不同的评价角度带来不同的分类标准。但驱动、支承和导向方式是区分城市轨道交通不同制式的3个主要因素。可尝试从这3项指标出发,将既有的城市轨道交通系统进行分类,建立特征鲜明、直观的命名方法。建议尽快修订《城市公共交通分类标准》或制定《城市轨道交通分类标准》,尽快纠正命名混乱的局面。

3.2 夯实基础,完善不同制式技术标准

我国已开始建设或投入运营的不同城市的轨道交通制式大多具有配套的设计规范,但成熟水平不尽相同。我国地铁、轻轨、有轨电车和跨座式单轨系统具备较完善的行业技术标准和产业体系。但中低速磁浮、直线电机轮轨等新型城市的轨道交通系统应用数量少,线路设计参数研究、系统动力学分析等方面有待深入研究,设计标准和规范仍需完善。建议由政府引导开展“标准先行”战略,完善城市轨道交通行业各类系统的技术标准和知识产权体系。

3.3 统筹兼顾,促进多制式轨道交通网络互联互通、协调发展

多制式轨道交通协同发展已成为城市轨道交通发展的主流趋势。城市发展需求与客观条件同城市轨道交通制式的选择彼此间相互作用,影响选择的因素存在多样性,且选择的主要因素相互耦合而非独立。因此,坚持“因地制宜”、“统筹兼顾”、“协调、可持续”的发展理念,根据不同的城市情况科学匹配制式种类和数量,将会更好地发挥城市轨道交通对城市、地区发展的引领作用,帮助我国更快、更好地建立和完善城市轨道交通系统行业规范、技术标准和产业体系。

此外,互联互通性能也是多制式城市轨道交通网的规划和设计重点,是网络协调性的重要体现。在利用不同制式轨道交通优点的同时,加强基础设施、车辆、信号、调度系统的统一标准化建设和管理,尝试实现跨线运营的运营模式,提高网络应急能力,减少枢纽换乘次数,提高运输能力和效率。

参考文献

- [1] 樊佳慧,张琛,卢恺,等. 2015年中国城市轨道交通运营线路统计与分析[J]. 都市快轨交通, 2016, 29(1): 1-3.
FAN Jiahui, ZHANG Chen, LU Kai, et al. China's operational urban rail transit lines, 2015: statistics and analysis [J]. Urban rapid rail transit, 2016, 29(1): 1-3.
- [2] 城市公共交通分类标准: CJJ/T 114—2007[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
Standard for classification of urban public transportation: CJJ/T 114—2007 [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2007.
- [3] 魏庆朝,蔡昌俊,龙许友. 直线电机轮轨交通概论[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2010.
WEI Qingchao, CAI Changjun, LONG Xuyou. Introduction to liner motor rail transit [M]. Beijing: China Science

and Technology Press, 2010.

- [4] 魏庆朝,孔永健,时瑾.磁悬浮铁路系统与技术[M].北京:中国科学技术出版社,2010.

WEI Qingchao, KONG Yongjian, Shi Jin. System and technology for maglev transit[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2010.

- [5] 范瑜.国外直线电机轮轨交通[M].北京:中国科学技术出版社,2010.

FAN Yu. Foreign liner motor rail transit[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2010.

- [6] 薛美根,杨立峰,程杰.现代有轨电车主要特征与国内外发展研究[J].城市轨道交通,2008,6(6):88-91.

XUE Meigen, YANG Lifeng, CHENG Jie. Modern trams:

characteristics & development both at home and abroad [J]. Urban transport of China, 2008, 6(6): 88-91.

- [7] 城市轨道交通工程项目建设标准:建标 104—2008[S].北京:中国计划出版社,2008.

Construction standard of urban railway transportation project item: JB104—2008[S]. Beijing: China Planning Press, 2008.

- [8] 钱清泉.城市轨道交通制式选择的破与立[J].科学新闻,2014(4):48-49.

QIAN Qingquan. Destruction and establishment of selection of urban rail transit system[J]. Science news, 2014(4): 48-49.

(编辑:曹雪明)

(上接第11页)

HE Aiqun. Research on the identification and assessment of major hazards during the metro construction [D]. Changsha: Central South University, 2010.

- [7] 钟山.盾构法隧道施工监测数据处理与预警、报警研究[D].上海:同济大学,2006.

ZHONG Shan. The research on data processing, early warning and alarm of shield tunnel construction monitoring [D]. Shanghai: Tongji University, 2006.

- [8] 叶洪.临境化盾构施工远程监控系统研究[D].西安:长安大学,2014.

YE Hong. Study on the realistic-experienced remoted monitoring system of shield construction [D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.

- [9] 操锋.铁路行业 BIM + GIS 综合应用探讨[J].中国新通信,2015,17(7):90.

CAO Feng. Discussion of comprehensive application of BIM and GIS in rail industry [J]. China new telecommunications, 2015, 17(7): 90.

- [10] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通 2015 年统计和分析[J].都市轨道交通,2016,29(4):6-11.

China Association of Metros. Statistics and analysis of urban rail transit in 2015 [J]. Urban rapid rail transit, 2016, 29(4): 6-11.

- [11] 罗富荣.北京地铁工程建设安全风险控制体系及监控系

统研究[D].北京:北京交通大学,2011.

LUO Furong. Study on safety risk control system and monitoring system in construction of Beijing metro [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011.

- [12] 马小平,胡延军,缪燕子.物联网、大数据及云计算技术在煤矿安全生产中的应用研究[J].工矿自动化,2014,40(4):5-9.

MA Xiaoping, HU Yanjun, MIAO Yanzi. Application research of technologies of Internet of Things, big data and cloud computing in coal mine safety production [J]. Industry and mine automation, 2014, 40(4): 5-9.

- [13] 张栋梁.基于智能预警管理技术的状态监测系统研发与应用[D].北京:北京化工大学,2011.

ZHANG Dongliang. Research and development of condition monitoring system based on intelligent early warning management technology and its application [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2011.

- [14] 梁希福,徐静涛,常彦荣,等.地铁施工中的监测技术与安全风险管控[J].北京测绘,2009(1):53-56.

LIANG Xifu, XU Jingtao, CHANG Yanrong, et al. The monitor technology and security risk management of subway construction [J]. Beijing surveying and mapping, 2009(1): 53-56.

(编辑:曹雪明)

北京新机场线开建,最高时速 160 km

新机场线创下了国内城市轨道交通的第一速度,41.36 km,全程 19 min。设计最高时速将达到 160 km。2016 年 12 月 26 日上午,新机场线西红门、黄村、航站楼北段三大标段同时进场开工,标志着“中国最快地铁线”终于从规划阶段转入建设阶段。

摘编自 <http://www.camet.org.cn/2016-12-27>