■ 文章编号:1672-5328(2008)06-0088-04

现代有轨电车主要特征与国内外发展研究

Modern Trams: Characteristics & Development both at Home and Abroad

薛美根　杨立峰　程 杰
(上海市城市综合交通规划研究所,上海 200040)
Xue Meigen, Yang Lifeng and Cheng Jie
(Shanghai City Comprehensive Transportation Planning Institute, Shanghai 200040, China)

摘要: 从运能、速度、定制的灵活性及使用的舒适性4个方面,将现代有轨电车与传统有轨电车进行对比,分析了现代有轨电车的主要特征。以法国阿尔斯通公司的Citadis系列有轨电车和劳尔公司的Translohr系列有轨电车为例,从尺寸、运能、技术性能、噪音等方面,研究对比了钢轮钢轨和胶轮+导轨两种制式的有轨电车,介绍了这两种制式的有轨电车尤其是Citadis系列有轨电车的使用情况。针对当前国内现代有轨电车的使用状况,提出了相关建议。

Abstract: The paper analyzed major characteristics of modern trams through a comparison between modern and traditional trams from four aspects, i.e. capacity, speed, customization and comfort. Taking Citadis series of Alstom and Translohr series of Lohr as an example, the paper compares two types of tram vehicles: steel-wheeled and rubber-tyred in various angles, such as dimensions, capacity, technical performance and environmental impact. Meanwhile, the application of the two types of vehicles is introduced, especially the Citadis series. Relevant suggestions are proposed considering the current application of modern trams in China.

关键词:交通规划;公共交通;现代有轨电车;对比研究

Keywords: transportation planning; transit; modern trams; comparative study

中图分类号: U482.1　　文献标识码: A

收稿日期: 2008-01-24

作者简介:薛美根,男,上海市城市综合交通规划研究所副所长,教授级高级工程师,主要研究方向:交通规划。E-mail:mgxue@yahoo.com.cn

现代有轨电车于20世纪90年代后期率先在法国发展起来。随着在法国、德国、西班牙等多个西欧国家成功建设运营，现代有轨电车以崭新的形象、舒适的服务迅速吸引了国内城市的关注和研究。我国一些城市如上海、天津、大连、常州等，也在积极规划建设现代有轨电车系统，但总体来看，现代有轨电车在我国尚处于起步阶段。因此，有必要对现代有轨电车的主要特征、制式、技术性能进行归纳和研究，总结现代有轨电车在国内外的发展应用情况。

1 现代有轨电车的主要特征

现代有轨电车是一种中等运能、设计新颖、环境友好、资源节约的交通运输工具(见图1)，是在传统有轨电车的基础上全面改造升级的一种先进的公共交通方式，其主要特征包括4个方面。

1) 客运能力大

传统有轨电车车厢长度一般不足20 m，按定额标准4人/m^{2}计算，列车载客量一般不到100人。现代有轨电车的主流产品，车厢长度一般为20~40 m，列车载客量达150~300人，单向设计客运能力为0.5~0.8万人次/h；如果将两列列车串连起来，单向客运能力可达1~1.2万人次/h(见表1[1])。

2) 速度高

传统有轨电车最高设计速度一般为30 km/h左右，实际运行速度为10 km/h左右。而现代有轨电车的设计速度可达70~80 km/h，在城市中心地区的运行速度一般为20 km/h左右，在郊区的运行速度可达30 km/h[1]。如果在城际铁路上运行，运行速度则可达到70 km/h。

3) 弹性灵活

① 车辆定制服务与模块化设计

现代有轨电车主流厂家都具有较强的设计能力，能够提供订单化服务，车头、车尾、车体尺寸及车体结构的定制灵活性较大，可以满足不

同客户的需求。例如法国阿尔斯通公司的Citadis系列可以订制长度为22~44 m(3~7个车厢模块)、宽度为2.3~2.65 m的任意大小的车辆[1~2]；法国劳尔公司(Lohr)的Translohr系列也能提供多种长度的车辆选择[3~4]。

此外，由于现代有轨电车主流产品都采取了模块化设计，不仅车辆维修养护容易，而且能够较快增加列车车厢、延长列车长度，客运能力具有较大弹性空间，考虑到运能的运用效率及国外实际运营客流情况，现代有轨电车单向可满足0.3~1.2万人次/h的客流需求。

② 多种供电制式

现代有轨电车除了采用传统架空线供电外，在部分景观、空间限制区段，可以采用蓄电池供电(仅限局部困难路段)或地面第三轨供电[4~5](目前仅限钢轮钢轨)，供电电压在500~900 V[2~3,5]波动(见图2)。

4) 舒适新颖

现代有轨电车多数采用流线型车身、大窗、对开门、低地板等新颖设计，旅客水平上下车非常便捷，在车厢内乘坐也较为舒适。

由于采用了大量的隔音材料、消音器等设施，现代有轨电车行驶时噪音比道路上的机动车交通要低5~10 dB。根据国际电工委员会(International Electrotechnical Commission，IEC)标准测试，以40 km/h行驶时，有轨电车车厢内噪音为70 dB、车厢外7.5 m处噪音为75~78 dB[1~2,5]。

2 现代有轨电车主要制式与技术性能

2.1 主要制式

根据运行系统的不同，现代有轨电车主要分为钢轮钢轨和胶轮+导轨两种制式，例如阿尔斯通公司的Citadis系列属于前者，而劳尔公司的Translohr系列为后者。

钢轮钢轨式现代有轨电车在地面的两条U型[6]钢轨既承担钢轮的重量，又对钢轮起导向限制作用。一般情况下钢轨顶面与城市道路路面平齐(见图3)。胶轮+导轨式现代有轨电车轨道由类似道路的行车道和一条引导车辆运行的特殊导轨组成[3]，车辆走行系统与汽车一样为橡胶轮胎，导向轮在导轨的限制下引导车辆运行(见图4)。

2.2 技术性能对比

针对表2[1,3,5~6]中两种制式有轨电车的主要指标进行对比，可以看出：①钢轮钢轨式有轨电车车内空间、载客量

图1 现代有轨电车是一道亮丽的城市风景线

Fig.1 Modern tram as an urban landscape

图2 采用第三轨供电的现代有轨电车

Fig.2 Modern trams powered by the third track

表1 阿尔斯通(Alstom)公司Citadis系列部分现代有轨电车客运能力

Tab.1 Capacity of a portion of trams in Citadis series, Alstom

型号	车辆长度/m	车辆宽度/m	定员/人(座席/个)	不同运行间隔单向客运能力/(人次·h^{-1})			
				6 min	5 min	4 min	3min
1	22	2.65	145 (40)	1 450	1 740	2 175	2 900
2	32	2.65	230 (64)	2 300	2 760	3 450	4 600
3	44	2.65	300 (78)	3 000	3 600	4 500	6 000

比胶轮+导轨式有轨电车大；②钢轮钢轨式有轨电车受转向架、钢轮－钢轨摩擦性能限制，在爬坡、转弯、加速、减速方面的性能不如胶轮+导轨式有轨电车；③两种制式的有轨电车车内、外噪声比较接近，差距在检测误差内(±2 dB)。另外，目前钢轮钢轨式有轨电车技术比较成熟，单列列车成本比胶轮+导轨式有轨电车低。

2.3 现代有轨电车与地铁、轻轨技术性能简要对比

根据《城市公共交通分类标准》(CJJ/T 114—2007)[7]，现代有轨电车(GJ_{24})、轻轨(GJ_{22})、地铁(GJ_{21})均属于城市轨道交通系统大类(GJ_2)，单向客运能力分别为0.6~1.0万人次/h、1.0~3.0万人次/h、2.5~7万人次/h，分别构成了城市低、中、高运量轨道交通系统。

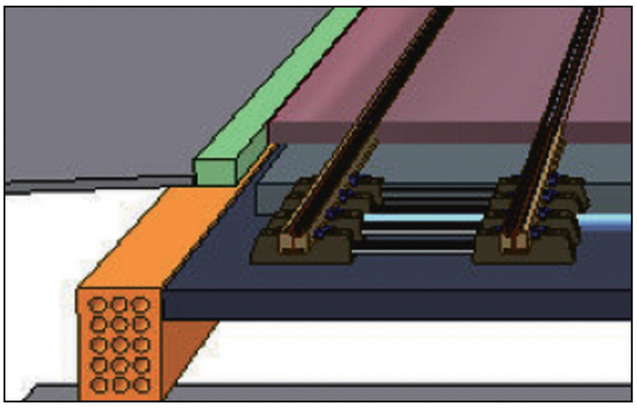

图3 钢轮钢轨式现代有轨电车路面结构

Fig.3 Road structure of steel-wheeled trams

轻轨运行速度为25~35 km/h，最大坡度不超过6%，其中C型车辆(GJ_{221})最小转弯半径为50 m；地铁运行速度高于35 km/h，其中L_B型车辆(GJ_{213})最大坡度不超过6%，最小转弯半径为100 m。

3 现代有轨电车国内外发展状况

3.1 国外

目前，世界上钢轮钢轨式现代有轨电车制造厂家主要有阿尔斯通、德国西门子(Siemens)、加拿大庞巴迪(Bombardier)等公司；胶轮+导轨式现代有轨电车主要生产厂家是劳尔公司，庞巴迪公司也曾设计、生产胶轮+导轨式现代有轨电车。

从两种制式的现代有轨电车在市场上的表现来看，钢轮钢轨式现代有轨电车因其推出更早、性能更稳定等原因，目前占据了主要市场，但两种制式的现代有轨电车均发展较快。

阿尔斯通公司的Citadis系列钢轮钢轨式有轨电车自1998年推向市场，目前已经在法国、西班牙、德国、意大利、澳大利亚等国家的28个城市投入运营(见表3[8])，另外，有10多个城市即将开始运营。劳尔公司的Translohr系列胶轮+导轨有轨电车第1条线路于2006年在法国投入运营，目前(包括我国天津市在内)已有4~5[3]个城

表2 两种制式有轨电车主要指标对比

Tab.2 Comparison of major parameters of steel-wheeled and rubber-tyred trams

主要指标		钢轮钢轨式有轨电车(以Citadis系列为例)	胶轮+导轨式有轨电车(以Translohr系列为例)
尺寸/m	车辆长度	22~50	25~46
	车辆宽度	2.3~2.65	2.2
运能/(人次·h^{-1})	32 m列车，4人/m^2	200~220	160~170
技术性能	最大速度/(km·h^{-1})	70	70
	最大坡度/%	8	13
	最小转弯半径/m	20	11
	供电电压/V	750	750
	最大加速度/(m·s^{-2})	1.1	1.3
	紧急减速度/(m·s^{-2})	3	5
	供电方式选择/种	3	2
噪声/dB	车辆停靠时车位处/dB	62	62
	40 km/h运行，车内	71	69
	40 km/h运行，车外7.5 m处	76	78

市投入运营。

3.2 国内

从国内发展来看，尽管近年来大连市保留并在继续发展钢轮钢轨式有轨电车，但无论从车辆性能还是从品牌效应来看，离现代有轨电车差距还较大。

2007年，天津市滨海新区已经建成了基于劳尔公司Translohr系列技术的胶轮+导轨式现代有轨电车(见图5)，上海市浦东张江开发区也已开工建设基于同一技术的胶轮+导轨式现代有轨电车。从这2个项目来看，目前我国现代有轨电车造价约为8 000~9 000万元/km(不含征地拆迁等前期费用且初期列车发车间隔为6~8 min)，其中车辆购

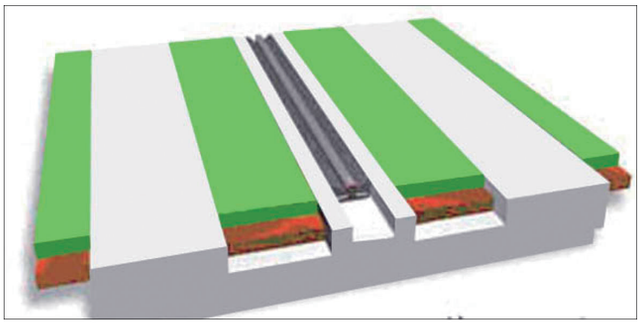

图4 胶轮+导轨式现代有轨电车路面结构

Fig.4 Road structure of rubber-tyred trams

图5 天津市滨海新区现代有轨电车

Fig.5 Modern tram in Binhai new region in Tianjin

表3 国外已投入运营的钢轮钢轨式现代有轨电车线路情况

Tab.3 The operation of steel-wheeled trams in foreign countries

序号	国家	城市线路	商业运营起始年	车辆数量/辆	车辆宽度/m	车辆长度/m	定员/人(座位/个)
1	法国	Montpellier 1	2000	30	2.65	29.83	289 (76)
2	法国	Orléans	2000	22	2.32	29.87	176 (40)
3	法国	Lyon 1, 2	2000	47	2.40	32.4	200 (58)
4	爱尔兰	Dublin 1	2004	26	2.40	29.7	221
5	澳大利亚	Melbourne	2001	36	2.65	22.7	145 (40)
6	法国	Bordeaux 1	2003	56	2.40	43.99	300
7	荷兰	Rotterdam 1	2003	60	2.40	31.58	168 (63)
8	法国	Bordeaux 2	2003	14	2.40	32.85	218
9	法国	Paris T2	2003	26	2.40	32.2	231 (48)
10	爱尔兰	Dublin 2	2004	14	2.40	40.8	310
11	西班牙	Barcelona 1	2004	19	2.65	32.50	218 (64)
12	西班牙	Tenerife	2004	20	2.40	32	200
13	法国	Valenciennes	2006	21	2.40	29.5	184 (48)
14	德国	Kassel	2004	28	2.65	37	220 (90)
15	西班牙	Barcelona 2	2004	18	2.65	32.50	218 (64)
16	法国	Paris T3	2006	21	2.65	43	304 (78)
17	法国	Mulhouse	2006	27	2.65	32.5	231 (64)
18	法国	Strasbourg	2006	35	2.40	45	288 (64)
19	法国	Grenoble	2006	35	2.40	43.73	274 (76)
20	法国	Montpellier 2	2006	24	2.65	32.5	210 (64)
21	荷兰	The Hague	2006	50	2.65	37	220
22	法国	Le Mans	2007	23	2.40	32	209 (64)
23	西班牙	Madrid	2007	70	2.40	32	186
24	突尼斯	Tunis 1	2007	30	2.40	32	266 (58)
25	法国	Nice	2007	20	2.65	33	216 (54)
26	法国	Lyon Lea	2007	10	2.40	32.4	201 (56)
27	以色列	Jerusalem	2008	23			
28	阿根廷	Buenos Aires	2007	2	2.65	32.5	231 (64)

(下转第96页)