

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/m²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，不仅车辆维修保养容易，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	3 min
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(GJ₂₄)、轻轨(GJ₂₂)、地铁(GJ₂₁)均属于城市轨道交通系统大类(GJ₂)，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

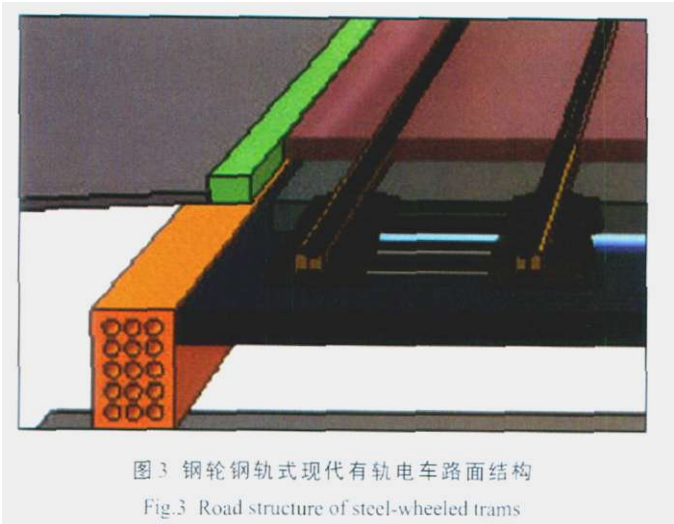


图3 钢轮钢轨式现代有轨电车路面结构
Fig.3 Road structure of steel-wheeled trams

低、中、高运量轨道交通系统。
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(GJ₂₂₁)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(GJ₂₁₃)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

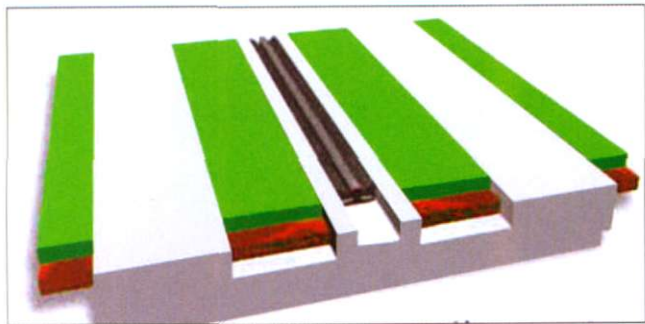


图 4 胶轮+导轨式现代有轨电车路面结构
Fig.4 Road structure of rubber-tyred trams



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)

4 结语

本文从提高公交运营效率的角度，提出了进行超长公交线路优化调整的方法。该方法对于超长线路调整的考虑及准则的设定，主要从公交管理者、运营者的角度出发，较少考虑部分乘客的出行便利性，如拆分后线路对于在原分断点处不乘降的乘客和出行距离较远但要求不换乘的乘客是不利的，建议在实际应用中予以考虑。

同时，在某些城市的中心城区存在私人小汽车限行的区域，这些区域的公共汽车出行占总交通量的比例一般较大，且单个公交车辆的满载率较低。为提高进出这些区域的公交车辆的运送效率，避免公交车辆过度聚集在中心城局部核心区域造成拥堵、增加排放，应保留一定比例的穿越型公交长线路通过中心城区^[7]。

参考文献

1 北京晚报. 今天上午公交等红灯司机猝死 [EB/OL].

[2004-06-24]. <http://news.sohu.com/2004/06/24/03/news220700304.shtml>
2 北京晚报. 北京一巴士司机街头猝死 车中乘客惊魂幸未出事 [EB/OL]. [2003-12-30]. <http://news.sina.com.cn/s/2003-12-30/17482506320.shtml>
3 GB 50220—95 城市道路交通规划设计规范[S]
4 王炜, 杨新苗, 陈学武, 等. 城市公共交通规划方法与管理技术[M]. 北京: 科学出版社, 2002
5 陈茜, 陈学武. 城市常规公共交通发展水平综合评价指标体系研究[J]. 城市交通, 2003, (1): 8-12
6 北京公交总公司, 北方交通大学. 城市公共交通运营调度管理[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001
7 Siu Kei Hwe, Cheung Raymond K and Wan Yat-wah. Merging Bus Routes in Hong Kong's Central Business District: Analysis and models[J]. Transportation Research Part A, 2006, 40(10) 918-935

(上接第91页)

置费约占30%~35%，每列车购买单价为2 500~3 000万元^[5]。

4 结语

现代有轨电车作为一种交通方式，特别适用于环境敏感、具有中低客运强度的城市发展轴。对于上海、北京等特大城市，现代有轨电车可以与城市大容量轨道交通(地铁、轻轨)、快速公共交通(BRT)等共同构成城市快速公共交通系统，既丰富、增强城市综合交通客运体系，又提高公共交通对国内外旅客的吸引力^[9]。

参考文献

1 ALSTOM TRANSPORT. Tramways Turnkey Solutions[R]. Shanghai: ALSTOM, 2007
2 ALSTOM TRANSPORT. 现代有轨电车介绍[R]. Shanghai:

ALSTOM, 2007
3 LOHR GROUP. Translohr Tramway On Tires [R]. Shanghai: LOHR GROUP, 2006
4 ALSTOM TRANSPORT. Light Rail Solutions-Citadis[R]. Shanghai: ALSTOM, 2007
5 上海市城市建设设计研究院. 浦东张江有轨电车项目一期工程可行性研究报告[R]. 上海: 上海市城市建设设计研究院, 2007
6 ALSTOM TRANSPORT. Citadis Wireless Tram[R]. Shanghai: ALSTOM, 2007
7 CJJ/T 114—2007 城市公共交通分类标准[S]
8 ALSTOM TRANSPORT. Citadis Worldwide References [R]. Shanghai: ALSTOM, 2007
9 上海市城市综合交通规划研究所. 现代有轨电车在上海发展研究[R]. 上海: 上海市城市综合交通规划研究所, 2007