

有轨电车若干问题初探 ——以美国波特兰市最新有轨电车线路为例

Exploration of Some Issues about Streetcars:

A Case Study of the Latest Streetcar Line in the City of Portland, USA

周江评^{1,2}, 王江燕¹

(1. 宇恒可持续交通研究中心, 北京 100004; 2. 爱荷华州立大学设计学院, 美国 爱荷华州安姆斯市 50010)

Zhou Jiangping^{1,2}, Wang Jiangyan¹

(1. China Sustainable Transportation Center, Chaoyang District, Beijing 100004, China; 2. College of Design, Iowa State University, Ames Iowa 50010, USA)

摘要: 近年来,越来越多的中国城市对发展有轨电车表现出浓厚的兴趣。首先,明确有轨电车的定义及发展历程,之后以美国波特兰市有轨电车为例介绍有轨电车的最新发展,在此基础上总结有轨电车的种类及特征,最后对有轨电车在公共交通中的作用、有轨电车的适用性及规划设计原则等问题进行探讨。

Abstract: More and more Chinese cities have shown an interest in streetcars in recent years. This paper first discusses the definition and history of streetcar's transit and introduces the streetcars' latest development taking the streetcar in Portland, Oregon, USA as an example. Then the paper summarizes the nature and characteristics of streetcars. Finally, the paper explores the role of the streetcar in public transportation, suitability and planning and design principles of the streetcar.

关键词: 有轨电车; 适用性; 历史; 发展趋势; 设计原则

Keywords: streetcar; applicability; history; trends; design principles

中图分类号: U482.1 文献标识码: A

收稿日期: 2013-06-17

作者简介: 周江评(1973—), 男, 广东南海人, 博士, 美国爱荷华州立大学设计学院助理教授, 宇恒可持续交通研究中心顾问, 主要研究方向: 交通规划、城市与区域规划。

E-mail:zhoujp@gmail.com

中国许多城市对发展有轨电车表现出浓厚的兴趣, 已经建成、在建和开展规划研究的城市达数十个。有轨电车的定义及内涵, 在公共交通尤其是城市轨道交通中应扮演什么角色, 适用于城市的哪些交通走廊, 设计和工程需要遵循什么原则? 明确这些问题, 对于城市更好地规划和设计有轨电车大有裨益。本文从有轨电车的定义、历史、最新发展、种类、特征(尤其是有轨电车和其他交通方式的关系)出发, 结合已有有轨电车运营城市的经验和相关文献, 对有轨电车规划设计的关键问题进行探讨。

1 有轨电车的定义

文献[1]将公共交通总结为两大类: 一类是轨道交通(Rail Transit), 另一类是道路公共交通。轨道交通包括有轨电车(Streetcar 或 Tramway)、轻轨(Light Rail)、快速轨道交通(Rail Rapid Transit) (例如主要服务于城市中心区的地铁(Subway 或 Metro)、单轨等)和区域轨道交通(Regional Rail)。因此, 有轨电车属于轨道交通方式。

轨道交通总体上具有的特点是: 外部控制、轨道技术、多电力牵引和独立路权^[1]。

1) 外部控制是指轨道交通有固定的运行轨迹, 驾驶人的职能在于控制车速, 在极端情况下甚至可以实现自动驾驶。

2) 轨道技术是指轨道交通利用钢轮和钢轨接触带来车辆的运动。目前, 轨道技术在所有常见的公共交通技术中需要克服的前进阻抗最小, 可保证车辆在

风、雪、雨等恶劣天气下运行。

3) 多电力牵引是指大多数轨道交通的动力来源是电力。从直接影响来说,电力驱动使轨道交通的直接尾气排放几乎为0,是其他动力方式的公共交通所不能匹敌的。

4) 独立路权是指轨道交通只能适应A、B类的路权。A类路权指有外部控制,线路曲线设计、坡度和路幅能够同时保证4节及以上车厢以速度超过 $80\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的方式运营;C类路权指普通道路上混合交通的情况;B类路权指在C类路权的基础上,单独划分出轨道交通的运行空间。

有轨电车是指由1~3节车厢在B类路权上运营的轨道交通^[1],有较好的动力特性和较高的舒适度。有轨电车的速度和可靠性经常会受到沿线交通状况的影响,例如,在没有优先信号控制的道路交叉口,有轨电车会像普通车辆一样受阻。有轨电车的客运能力主要取决于车厢数、车厢长度、车厢是否铰接、发车间隔及最小安全车距,通常客运能力为 $5\,000\sim7\,500\text{ 人}\cdot\text{h}^{-1}$ 。有轨电车辆宽度约为 2.7 m ,长度约为 $14\sim21\text{ m}$,每辆车最大载客量为180人,运营速度通常为 $15\sim30\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

2 有轨电车发展历程

单纯从车厢的使用、线路安排和运营模式看,1800年左右在英国出现的以畜力为动力的马车铁路可看作有轨电车的雏形。在蒸汽机出现之后,欧洲各国开始将其作为有轨电车的动力,使有轨电车服务半径和载客量均有较大提高。随后,人们又尝试过电池、电力牵引车厢方式,但是都未获得商业上的成功。一直到1881年,西门子公司与德国柏林市附近的里希特菲尔德(Lichterfelde)政府合作,开通了第一条商业上成功运营的电力牵引有轨电车。由此点燃了许多城市的有轨电车热情,例如英国伦敦、美国纽约、俄罗斯圣彼得堡、澳大利亚墨尔本、加拿大多伦多、美国洛杉矶等城市均开通了有轨电车并作为骨干交通方式。在美国,一些地产商为了推销位于城市中心区外围的地产,甚至会主动提出与地方政府合作建设、运营有轨电车。

有轨电车的繁荣局面一直延续至20世纪50年代。随着私人小汽车的兴起,很快凭借其便捷、私密性和自由性等特点极大地压缩了有轨电车的生存和发展空间。在很多城市的交通走廊上,有轨电车作为一种集体出行的、有固定运行线路和服务时间的公共交通方式,当小汽车车流与其发生冲突时,小汽车的信号配时甚至优先于有轨电车,有轨电车的服务水平和吸引力因此受到极大影响。在这样的局面下,一些城市甚至拆除了有轨电车(例如洛杉矶市、芝加哥市等),取而代之的是运行更加灵活、线路调整更加便利的城市道路公共交通。当然,轻轨、地铁、区域轨道交通的出现,也在一定程度上占领了有轨电车的既有市场份额,例如纽约、芝加哥、旧金山和费城等城市。

20世纪50年代之后的30年左右,有轨电车进入了一个沉寂乃至没落的时期,仅在少数国家例如俄罗斯、捷克、瑞士和奥地利以及少数城市例如墨尔本、旧金山和多伦多扮演重要角色。在这些国家或城市,有轨电车之所以能保持既有市场份额,有以下原因:一是经济发展水平相对滞后,小汽车的普及率远低于发达国家或城市;二是各级政府意识到小汽车的危害,对小汽车的使用进行较为有力的控制,控制措施主要有限制中心城区的停车泊位数量,提高中心城区的停车价格等;三是政府对有轨电车进行再投资,提升有轨电车尤其是中心城区和老城区有轨电车的服务水平和外在形象;四是有轨电车承载了历史记忆,保存了城市风貌;五是受到城市起伏地形的限制,城市道路公共交通不如有轨电车的爬坡、起步和刹车性能优越。

20世纪90年代以来,出现了三大类有轨电车^[1],代表了有轨电车的复兴:

1) 在部分线路上、尤其是市中心线路上重建有轨电车,目的是方便行人、增加历史感和旅游吸引力;

2) 在主要活动中心之间建设和运营传统有轨电车,目的是增加城市的历史感和旅游吸引力;

3) 现代化的有轨电车,目的是增加城市的现代感和旅游吸引力,同时提升沿线交通走廊的客

运能力。

3 美国波特兰市有轨电车案例分析

2012年美国使用最新技术在波特兰市中心环路(Central Loop, CL)修建有轨电车, 该条线路(以下简称“CL”)的线路规划、车辆设计、动力使用、投资情况、建设成本、运营(成本)管理和配套技术很大程度上代表了有轨电车研究领域的最新进展。因此本文以此作为案例来介绍有轨电车的最新发展。

3.1 线路规划

波特兰市位于美国西海岸, 2012年市区人口60万人, 面积345 km², 人口密度1 689人·km², 波特兰大都市区人口228万人, 面积17 310 km²。CL是波特兰市建成的第二条有轨电车线路, 是对2001年建成的第一条有轨电车线路的延伸。CL线路单向长度为5.3 km, 共设18对车站, 平均站间距约为500 m。CL远期规划高峰小时发车频率为10 min·列⁻¹, 非高峰小时15 min·列⁻¹。CL可依据客流量分别采取2节或3节车厢运营, 客运能力为2 520人·h⁻¹。图1^[2]是2012年波特兰市有轨电车线路及主要服务的交通吸引点。

波特兰市政府对于有轨电车需要达成的规划、政策目标的要求, 体现在其与州政府和联邦政府共同撰写的项目综合环境影响报告中。报告对

有轨电车的规划、政策目标表述为:

- 1) 满足波特兰市中心快速的人口和就业增长需求;
- 2) 缓解因上述增长带来的交通拥堵及相关时间损耗, 同时考虑到既有市中心桥梁容量很难再扩张;
- 3) 提高波特兰市中心公共交通的机动化水平, 降低对小汽车的依赖;
- 4) 改善公共交通服务水平, 确保区域性、地方性的土地利用和开发目标的实现^[3]。

3.2 车辆设计

CL车辆由波特兰市交通局与捷克的一家有轨电车制造公司共同设计完成。车辆宽度为2.46 m, 长度为20 m, 如图2所示。比波特兰市既有的轻轨车辆窄32 cm、短8 m。在载客量方面, CL 3辆车构



图1 2012年波特兰市有轨电车线路及交通吸引点

Fig.1 Main points of interest along Portland's streetcars in 2012

成的编组(一列)载客量为140人·列⁻¹,而轻轨3辆车编组(一列)载客量为75~240人·列⁻¹。CL车辆的运行轨道在既有道路上建设,轨道间距为2.44 m,埋深为地下0.305 m。由于有轨电车缩小了车身且轨道埋深较浅,因此除车站外,CL线路建设没有影响既有道路的沿线停车泊位和地下管线。

3.3 动力使用

CL车辆使用电力驱动,电压为120~480 V,只需对既有电网进行简单改造即可达到要求。但是为确保电力稳定及减少地下管线的铺设,CL沿线每隔约800 m需要额外建设变压器。CL车辆上均备有发电机和备用电源,以确保在完全失去外部电力的情况下CL车辆能运行一段距离到达最近的车站。据估算,CL线路耗电量为988 620 kW·h·a⁻¹。

3.4 投资与建设成本

由于CL线路大部分铺设于城市道路上,其投资主要由道路改建、轨道建设、电力系统、电子管理系统(Electronic Management System)和车辆构成。2012年CL线路全部通车,线路长度约为11 km,总投入为2.51亿美元,用于道路改建、轨道建设部分的投资为1.1亿美元,合1 055万美元·km⁻¹,电力、电子管理系统、车辆等共计投资1.41亿美元。CL线路由美国联邦政府、波特兰市、俄勒冈州(波特兰所在的州)三方共同投资。其中,联邦政府出资占全部投资的50%,其余为波特兰市、俄勒冈州负责。资金来源方面,有燃油税(Fuel Tax----federal small starts grant)、地方交通改善专项税(Metro Transportation Improvement Plan)、俄勒冈州博彩证券(Oregon Lottery Bonds)、地方税收增长基金(Tax Increment Funds)、地方街区改善基金(Local Improvement District Fund)和波特兰系统发展费(Portland Systems Development Charges)。

3.5 运营(成本)管理

CL建成后,由波特兰市区域交通局(TriMet: Public Transit in the Portland Area)负责日常管理,

交通局同时还负责波特兰都市区内的公共汽车、轻轨、市郊铁路等日常管理,并享有部分公共交通的规划权。在项目综合环境影响报告中,专业人员预计CL线路的运营成本约为380万美元·a⁻¹(2011年价格)^[4]。其中约1/3将由乘客支付车票费产生的利润来支付,其余由波特兰市(约1/3)、TriMet(约1/3)和有轨电车车身广告(5%)产生的利润支付。

3.6 配套技术

CL的核心配套技术主要由捷克的一家公司及其技术合作伙伴提供。相应设备的采购和技术人员的招聘,由波特兰区域交通局负责,通过公开、透明和公正的过程完成。非核心配套技术例如电力系统改造、交通信号灯等,部分由波特兰区域交通局、波特兰市既有的技术力量完成,部分通过社会招标完成。

4 有轨电车种类及特征

从车辆设计、轨道要求、运营特点、服务覆盖范围等角度,有轨电车可划分为很多种类。例如,波特兰市有轨电车属于定制式偏小型,车厢间无铰接,载客量为140人·列⁻¹;而意大利米兰市、匈牙利布达佩斯市的有轨电车则属于定制式超大型,通过铰接长度可达35~53 m,载客量为350人·列⁻¹。有轨电车、轻轨、地铁、区域性轨道交通的特征如表1^[1]所示。



图2 波特兰市有轨电车
Fig.2 Portland's streetcar

5 有轨电车关键问题探讨

5.1 在公共交通系统中的作用

无论从相关文献还是实践来看，有轨电车在西方城市的复兴不再作为一种全局性的或者服务主要交通走廊的交通方式，而是主要服务于人口密集、对运营速度要求不高、短距离出行比例较高、对道路景观及出行舒适度要求较高的交通走廊，这些走廊一般位于城市旧城区或中心城区。对于有其他轨道交通方式如地铁、区域轨道交通和轻轨的城市而言，有轨电车应该发挥对其他轨道交通方式的补充作用。从客运能力和技术可能性来看，有轨电车客运能力可以达到轻轨、地铁和区域轨道交通的下限乃至中限。但是，在目前的技术条件下有轨电车的可靠性较难达到其他轨道交通方式的水平。因此，有轨电车在公共交通系统中主要承担辅助轻轨、地铁和区域轨道交通的功能，不适宜作为对出行可靠性要求较高的通

勤、商务交通走廊。

5.2 与城市发展的关系

有轨电车能够改善城市景观，提高出行的舒适性，改善城市环境，提升城市吸引力，提供较好的出行环境。但是，城市不应该企图利用有轨电车自身来带动城市发展，而应更加关注其他因素，例如人力资本、人才吸引、教育、增加城市的用地强度和人口密度等^[5]，在此基础上，合理利用有轨电车保障有吸引力的出行环境。

5.3 适用性

在明确有轨电车的性质、特征以及与城市发展关系的基础上总结得出，有轨电车适用于以下情况：

1) 作为其他轨道交通方式的补充，服务于城市旧城区或中心城区(含新区)的个别交通走廊，这些交通走廊的通勤、商务出行比例不高。

表 1 常见轨道交通方式典型特征
Tab.1 Rail transit characteristics

特征		有轨电车	轻轨	快速轨道交通	区域轨道交通
车辆设计	列车编组/辆	1~3	1~4	1~10	1~10
	车厢地板高度	高/低	高/低	高	高/低
	载客量/(人·辆 ⁻¹)	22~40	25~80	32~84	80~175
	车辆长度/m	14~35	14~54	15~23	20~26
固定设施特性	独立路权比例/%	0~40	40~90	100	100
	车辆控制	人工/目测	人工/目测	信号控制/自动控制	信号控制
	收费方式	车上	车上或车站	车站	车站或车上
	供电方式	接触网	接触网	第三轨/接触网	第三轨/柴油/接触网
	站台高度	低	低/高	高	高/低
	车站进出控制	无	无/全封闭	全封闭	无/全封闭
	平均站间距/m	250~500	350~1 600	500~2 000	1 200~7 000
运营特征	最高运行速度/(km·h ⁻¹)	60~70	60~120	80~120	80~130
	平均旅行速度/(km·h ⁻¹)	12~20	18~50	25~60	40~75
	客运能力/(万人·h ⁻¹)	0.4~1.5	0.6~2	1~6	0.8~4.5
	可靠性	低/中等	高	较高	较高
系统特征	服务范围	大,好	在 CBD 地区好,可设分支	一般由市中心始发	一般由市中心始发,市中心覆盖率低,郊区较好
	平均乘距	短到中等	中等到长	中等到长	长
	与其他交通方式的关系	能够作为其他轨道交通方式的补充	P&R,K&R,需要常规公交配合	P&R,K&R,需要常规公交、轻轨配合	城市外围地区:P&R,K&R,需要常规公交配合 中心城区:依靠步行、公共汽车、轻轨、地铁配合

2) 作为城市旧城区或中心城区的特色景观, 增加城市旅游吸引力, 并主要服务于短距离出行、对运营速度要求不高但对出行舒适度要求高的城市居民或游客。

3) 可用于地下管线不能触碰、地下情况复杂, 整个交通走廊能至少提供B类路权, 且交通走廊实际最高出行需求普遍小于 $1.5 \text{ 万人次} \cdot \text{h}^{-1}$ 的区域。若乘客对出行可靠性要求较高, 或者交通走廊的实际最高出行需求大于 $1.5 \text{ 万人次} \cdot \text{h}^{-1}$, 应建设轻轨或地铁。

4) 结合其他轨道交通方式和道路公共交通在局部地区推行以公共交通为导向的土地开发。

5.4 规划设计原则

有轨电车进入设计和施工阶段后, 需遵循以下原则:

1) 尽可能减少不必要的绕行, 一方面可降低工程难度, 另一方面可提高有轨电车的运行效率;

2) 理论上, 线路可以设置在路中、路右、路左, 但是一般推荐在道路左侧设置;

3) 线路选择需考虑与既有路侧停车、既有公共交通线路的关系;

4) 在信号灯设置方面, 建议在道路交叉口处设置专用信号配时, 理想情况下, 可设置全路段的信号优先系统;

5) 应认真考虑有轨电车乘降的方便性, 例如美国有轨电车乘降需要考虑残疾人士的需求;

6) 有轨电车线路可能也是自行车出行群体的线路, 因此有轨电车线路设计需同时考虑该出行群体的通行效率和安全^[6]。

除了以上一般性的原则, 个别城市针对自身特点制定了有轨电车设计导则或规范^[7]。

6 结语

如果从第一条商业上成功运营的有轨电车算起, 有轨电车发展已经有百余年的历史。这百余年里, 有轨电车从很多城市的主要交通方式, 转变为少数城市的公共交通方式之一, 成为了配角。最近60年左右, 改颜换面、结合现代技术的有轨电车在不少城市得到了复兴。但是从总体

看, 目前有轨电车在西方城市中仅在个别交通走廊起到主要作用, 这与有轨电车的客运能力、可靠性以及与其他公共交通方式衔接的特征密切相关。近年来, 越来越多的中国城市对发展有轨电车表现出兴趣。这些城市首先应明确有轨电车的性质、特征和适用性, 然后再针对城市的交通需求特征, 决定是否应该引入有轨电车; 应避免从有轨电车的外在特征如现代、美观、可与其他道路交通方式共享路权等方面来决定是否要引入。此外, 还需要考虑有轨电车的运营成本及其来源, 针对不同城市特征的有轨电车设计原则、规范, 有轨电车与城市发展关系等问题。

参考文献:

References:

- [1] Vuchic V. R. Urban Transit Systems and Technology [M]. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007.
- [2] TriMet. Portland Points of Interest[EB/OL]. 2013 [2013-06-13]. <http://www.portlandstreetcar.org>.
- [3] Federal Transit Administration, US Department of Transportation, Portland Metro, TriMet, City of Portland. Portland Streetcar Loop Project: Finding of No Significant Impact and Other Determinations of Environmental Compliance[R]. Washington DC: Federal Transit Administration, US Department of Transportation, 2008.
- [4] Federal Transit Administration, US Department of Transportation, Portland Metro, TriMet, City of Portland. Portland Streetcar Loop Project: Environmental Assessment[R]. Washington DC: Federal Transit Administration, US Department of Transportation, 2008.
- [5] Glaeser E. Triumph of the City: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happier[M]. New York: Penguin Books, 2011.
- [6] Boorse J W, Hill M, Danaher A. General Design and Engineering Principles of Streetcar Transit[J]. ITE Journal, 2011(81): 38-42.
- [7] District Department of Transportation. DC Streetcar Design Criteria[R]. Washington DC: District Department of Transportation, 2012.