

论城市有轨电车及其系统的技术特性

(叶芹禄, 高级工程师)

[摘要] 本文介绍了城市有轨电车的历史和现状, 简要介绍了有轨电车系统的特性, 重点介绍了部分国家现行的低地板有轨电车(车辆)的主要技术规格和结构特点, 期待能够帮助城市轨道交通工程设计从业人员以及相关读者更多地了解有轨电车系统及其特性。

[关键词] 城市 有轨电车 低地板车辆 技术特性

The Summary: this text have introduced history of the urban Tram and current situation, have introduced the characteristic of the Tram system briefly , have introduced the basic specification of the current low floor Tram (vehicle) of some countries and structure characteristic especially, expect to help the engineering design employee and relevant reader of urban rail transit to understand Tram system and characteristics more.

The Keyword: City Tram Low floor vehicle Technological characteristics

城市轨道交通模式种类繁多, 分类方法也较多。目前, 世界上大体有如下分类方法: 按构筑物的形态或轨道相对于地面的位置可划分为地下、地面和高架轨道; 按列车服务范围划分为传统的城市轨道交通、区域快速铁路和市郊铁路; 按运能等级(大运量、中运量、小运量)可分为重轨交通(Heavy Rail)、轻轨交通(Light Rail), 小运量系统大体有独轨交通、胶轮地铁、有轨电车、直线电机车辆、磁悬浮等类型; 按照列车驱动方式可以分为轮轨黏着力驱动系统和磁悬浮力驱动系统两大类, 直线电机车辆就其驱动原理来说也属于磁悬浮系统一类。

城市铁路、地铁、轻轨、独轨、胶轮地铁、磁悬浮等交通形式在我国城市均有应用, 如被称为国内第一条城市铁路的北京 13 号线; 世界上第一条投入商业运营的上海浦东磁悬浮线路; 重庆的独轨; 台北木栅线的胶轮地铁; 广州地铁四号线的直线电机运载系统等等, 各城市轨道交通模式的选择正趋于多样化。目前国内城市除了大连外, 还没有新型的有轨电车运输系统投入运营服务, 为了城市轨道交通工程设计从业人员以及相关读者能够更多地了解有轨电车系统, 笔者将从以下几方面对其进行论述。

1. 城市有轨电车的兴衰

自 1832 年在美国纽约市的普林斯大街和著名的第 14 大街之间修建世界第一条铁轨上行驶的城市新型马车线路起，其间经历了蒸汽机车牵引到电缆绳牵引的变革，发展到现在先进的有轨电车系统，是城市有轨电车交通形式的鼻祖。1899 年，有轨电车技术传入中国，并先后于 1906 年在天津、1908 年于上海、1909 年于大连、1921 年于北京、1924 年于沈阳、1927 年于哈尔滨、1935 年于长春等城市相继建成了有轨电车交通系统。直到 20 世纪 50 年代末，有轨电车依然是国内许多城市的重要公共交通工具。随着无轨电车和公共汽车的不断发展，早期的电车系统逐渐消失，目前仅我国的大连、长春等少数城市保留了为数不多的几条有轨电车交通线路。然而，随着其运载量、舒适度、运行速度、自动控制技术的不断发展和进步，世界范围内，有轨电车这种古老的交通形式似乎又焕发了青春，具备了与地铁轻轨交通系统分庭抗礼的魅力。

进入 21 世纪以来，我国相继有大连、天津、苏州、北京等城市规划、实施地面有轨电车运载系统。而大连市轨道交通试验线路工程则是我国第一个利用既有有轨电车线路改扩建的城市轨道交通工程，也是我国第一个采用低地板轻轨车辆的城市轨道交通工程，该工程是《大连市城市轨道交通总体规划》1 号线的南段工程，于 1999 年 10 月 15 日开工建设，2002 年 12 月 1 日建成通车。2005 年 07 月 25 日，天津开发区新交通项目（建设一个合资车辆厂、三条有轨电车线路）合同正式签订，由法国劳尔公司承建的新型城市公共交通系统正式登陆中国。一号线即新交通试验线工程，线路全长 8.8 公里，购置 8 列 3 辆编组的列车，全列额定载客量约 501 人，从津滨轻轨的泰达站出发，沿洞庭路向北止于学院区。

图 1-1 为天津开发区新交通项目一号线的 Translohr 车辆。



图 1-1 天津开发区新交通项目一号线的 Translohr 车辆

2. 城市有轨电车系统的技术特性

我国修订后即将出版的《城市快速轨道交通工程项目建设标准》(以下简称“标准”),对各类交通方式对应的运量进行了界定,见表 2-1。《标准》将车辆类型分为如下几类:“一、按车体宽度和驱动方式,分为 A、B、C、D、L、单轨等六种车型。A、B、C 三类车型为不同车体宽度的钢轮钢轨系列,D 型车为低地板车,单轨车型为胶轮系列,以上均为黏着力牵引系统;L 型车型为直线电机系列,为非黏着力牵引系统。”

我们且不论新标准所采用的符号是否和国际惯例接轨(如国际上通常用 MRV、LRV、LIM、LFV 等符号分别表示地铁车辆、轻轨车辆、直线电机车辆、低地板车辆),单凭这一修编,就表明我们在轨道交通方式的选择上已经正视多样性需求和趋势,在选择轨道交通方式时,宜从客流量、轨道交通规划网络中不同线路的定位及其扩展的容易程度、投资大小、运营维护成本等方面认真进行比选。事实上,一个城市的轨道交通网络规划,不一定非要在某两种或几种交通方式之间做出选择,地铁、轻轨、有轨电车、单轨、胶轮地铁等系统完全可以在一个城市中共存,形成综合性的城市公共交通体系。

表 2-1 各级线路相关技术特征

线路运能分类	I	II	III	IV	V
	高运量	大运量	中运量		低运量
	地铁		轻轨		街面电车
线路型式	全封闭			半封闭	全地面
单向运能(万人次/h)	5~7	3~5	1.5~3.5	1~2	0.5~1.2
列车最大长度(m)	185	140	100	80	60
适用车型	A	B 或 A	B、L 或单轨	B 或 D	D
最高速度(km/h)	100	80~100		80~60	60
平均站间距 (km)	1.5~2	1.2~2		0.8~1.5	0.5~1
旅行速度(km/h)	35~45	30~40		20~30	15~20
适用城市市区人口规模 (万人)	≥300	≥200	≥100		≤100

注：①半封闭型线路系指当地面线路为专用道，其中部分路口设平交道口。

②“适用城市市区人口规模”，系指人口规模能达到或超过此限的城市，其快速轨道交通线网中的主干线，可能达到相应的运量等级。

表 2-1 中所称“街面电车”概念可分成无轨电车和有轨电车。无轨电车有逐步淘汰之趋势，而有轨电车正在更多地得到青睐。从表中可以看出，各种运量等级之间车辆类型的选择具有重叠性，图 2-1 可以帮我们很好地理解地铁、轻轨、有轨电车、公共汽车四种交通类型的适应性、运能、站间距离之间的关系，图中可见，有轨电车系统是介乎轻轨和公共汽车之间的一种低运量系统。

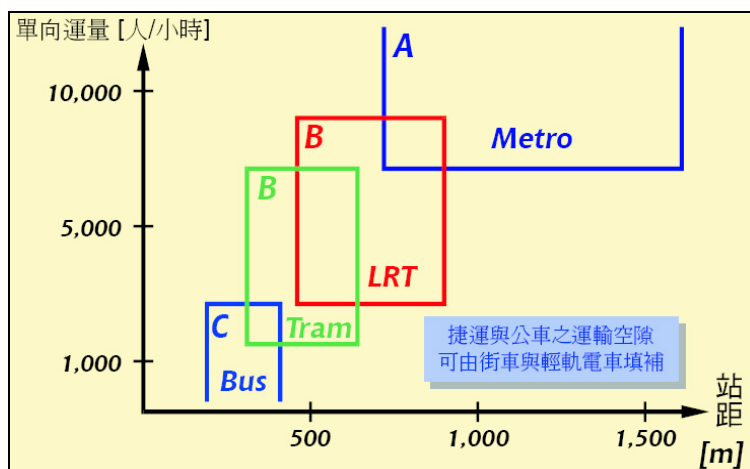


图 2-1 不同系统的运能、站间距比较示意图

有轨电车系统主要的技术特点有：

- (1) 系中小运量系统。
- (2) 有轨电车系统一般都铺设于街面，并与地面道路交通较少地隔开，没有专有的路权 (ROW, Right-of-Way)，因此可以把有轨电车系统认为是地面交通的一种。
- (3) 有轨电车列车的编组较少，长度也较小。
- (4) 信号系统的投资较少。
- (5) 一般不适合采用自动驾驶模式。
- (6) 通常需要设置低站台设施或者在车辆上装设跳板，以方便乘客。

3. 城市有轨电车的分类

现代有轨电车系统 (Tram system) 最常见的就是低地板车辆系统，属低运量系统，流行于西欧，具有经济、快捷等优点。因受传动系统和电气设备布置的限制，又分 50%~70%低地板、100%低地板和超低地板 (Ultra Low Floor Light Rail Vehicle) 之分，其直观的区别在于其地板面距轨面的高度，通常地板面高度处于 350~450mm 间称为部分低地板，处于 200~350 间称为 100%低地板，而把 200mm 以下的称为超低地板。然而，真正的定义是以低地板部分的面积和客室面积之比值而论，如果小于 1.0，称为部分低地板 (partial low floor)，如表 3-1 所示，范围宽至 9%~100%，而常见的是 50~70%这个比例；如果等于 1.0 则称为 100%低地板。图 3-1 系名古屋铁道美浓町线 70%低地板有轨电车示意图，图 3-2 为法国斯特拉斯堡 100% 低地板有轨电车，图 3-3 为澳大利亚的超低地板有轨电车。

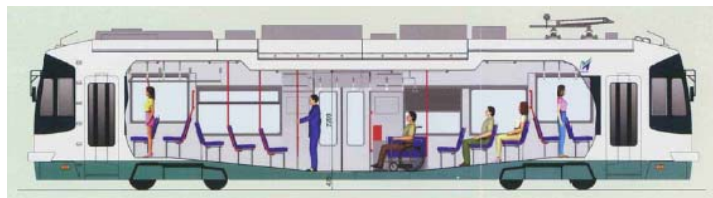


图 3-1 名古屋铁道美浓町线路 70%低地板有轨电车示意图



图 3-2 法国斯特拉斯堡 100% 低地板有轨电车



图 3-3 澳大利亚的超低地板有轨电车

由于 ULF 车辆地板超低，如图 3-4 所示，给车辆传动系统、悬挂系统、电气设备布置的设计带来很多困难，形式上也将完全区别于 50%~70%低地板车辆，制造成本也将会有较大增加，应该谨慎选择。

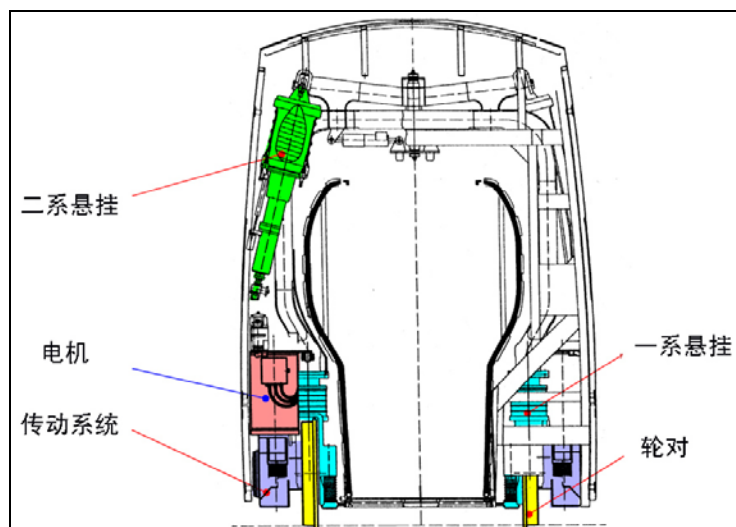


图 3-4 ULF 车辆横断面示意图

表 3-1 部分国家采用的低地板车辆主要技术参数

City	Builder	Type	Axle Arrangement	Number of Cars	x % Low Floor	Car Length (m)	Car Width (m)	Floor Height		Weight (t)	Max Speed (km/h)	Min Curve Radius (m)	Running Gear Type		First Car
								Max (mm)	Min (mm)				Power	Trailer	
城市	制造商	类型	轴式	车辆数	比例	车长	车宽	最大高度	最小高度	重量	最大速度	最小曲线半径	动车	拖车	交付年度
Mannheim	Duewag	N/A	B'2'2'B'	23	9%	25.7	2.2	889	353	26	60	25	M1	T1	1991
Amsterdam/ GVBA	Bombardier (BN)	11G&12G	B'0 B'0 B'0 B'0	45	9%	25.6	2.4	870	280	36.9	70	25	M2		1989
Basle/bvb	schindler	Be 4/4	B'2'2'B'	19	15%	25.4	2.2	855	325	31	65	12	M1	T1	1987
Nantes/ SEMITAN	GEC Alstom	N/A	B'2'2'B'	12	18%	39.2	2.3	850	350	51.6	70	N/A	M1		1992
Sheffield/SYST	Duewag	GT8	B' B' B' B'	25	34%	34.8	2.7	880	480	46	80	25	M1		1993
RBS	Schindler (SIG)	ABe4/8	B'0 2' 2'B'0	23	50%	39.3	2.7	830	390	51	90	N/A	M2	T1	1992
Dresden	Duewag	6MGT	B'0 2 2B'0	20	64%	40.5	2.4	600	350	42	70	15	M2	T3	N/A
Mannheim	ABB Henschel	6NGT/ Vanotram	N/A	2	70%	N/A	N/A	N/A	290	N/A	N/A	N/A	M2	T3	1996
Lille	Breda	VLC	B'111B'	24	80%	29.9	2.4	950	350	40	70	25	M4	T4	1993
Brussels	Bombardier (BN)	TRAM 2000	A'1'B0 1'A'	51	100%	22.8	2.3	350	350	31.9	70	17.5	M6		1994
Wurzburg	LHB	GTW	B'0 B'0 B'0	20	100%	29.1	2.4	350	300	35	80	N/A	M7		N/A
Vienna "A"	SGP	ULF197-4	1A'A'A'1	100	100%	23.6	2.4	197	197	23	70	18	M9	T7	1995
Vienna "B"	SGP	ULF197-6	1A'A'A'A'1	1	100%	34.9	2.4	197	197	32.5	70	18	M9	T7	1994