

Our Country New Research Tram Vehicle Type and Power Supply Mode

Song Hu¹, Zhiping Liu¹, Weixiang Xu²

1. Department of Transportation, Beijing Jiaotong University Haibin College, Huanghua 061100

2. College of Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044

#Email: 15720306818@163.com

Abstract

The development history of the tram and new development status at home and abroad of the trolley car are introduced by the article, vehicle selection part mainly analyzes the new tram rail steel wheel trams and wheel rail tram respective characteristics. Focus on the analysis of the model has several power supply mode of the tram, this paper considers the station overhead contact line+vehicle energy storage power supply mode has an advantage more, and can meet the development needs of the new trams more, provided reference data for the future development of the domestic new tram and can choose according to need.

Keywords: A New Tram; Steel Wheel and Rail; Wheel Rail; Power Supply

我国新型有轨电车车辆选型及供电方式研究

胡松¹, 刘志萍¹, 徐维祥²

1. 北京交通大学海滨学院, 河北 黄骅 061100

2. 北京交通大学, 北京 100044

摘要: 文章介绍了有轨电车的发展史以及新型有轨电车国内外的现状, 车辆选型部分主要分析了新型有轨电车中钢轮钢轨有轨电车和胶轮导轨有轨电车各自的特点。重点分析了新型有轨电车的几种供电方式, 本文认为车站架空接触网+车载储能供电方式更具优势, 更能满足新型有轨电车的发展需要, 为将来国内新增有轨电车的发展提供了参考资料并可根据需要选用。

关键字: 新型有轨电车; 钢轮钢轨; 胶轮导轨; 供电方式

引言

据了解, 经过二十多年的发展, 中国地铁、轻轨的运营里程目前仅达到 2007 公里^[1], 现代有轨电车是一种介于地铁和公交之间的运行方式, 相比之下, 在其进入政策视野不足一年, 相关规划就迅速累加到 2000 公里以上, 充分表明其适合中国国情, 有着强大的吸引力。而在 2011 年, 国家发展和改革委员会发表的《关于发展现代有轨电车的指导意见》^[6]提出: 当前, 我国城市快速发展, 对完善城市综合交通体系、加快发展公共交通、实现绿色出行提出了新的要求。有轨电车系统具有低碳减排、少污染、保护城市环境的优势, 推动现代有轨电车发展, 构建多层次的城市轨道交通体系, 具有重要的现实意义和战略意义。又鉴于新型有轨电车在国外大中型城市应用广泛, 发展迅速, 而在我国尚处于起步阶段, 可以看出新型有轨电车在我国有着良好的发展前景与巨大的发展空间。

1 国内外有轨电车的发展史及发展现状

1.1 传统有轨电车

1881 年 5 月, 德国工程师冯·西门子在柏林近郊铺设了世界上第一条有轨电车线路, 靠一条铁轨通

电，另一条铁轨作回路。但这种线路对街上的交通太危险了，西门子于是采用将输电线路架高的方式解决了供电和安全问题^[7]。19 世纪末有轨电车的建设进入了高潮，车辆技术也得到了很大的发展，逐渐成了当时城市公共交通的骨干，世界上几乎每一个大城市都有有轨电车。

中国大陆最早的有轨电车出现于北京，时间是 1899 年，由德国西门子公司修建，连接郊区的马家堡火车站与永定门。随后，中国于 1906 年在天津创办了有轨电车交通系统。上海于 1908 年，大连于 1909 年，北京于 1921 年，沈阳于 1924 年，哈尔滨于 1927 年，长春于 1935 年，相继建成有轨电车系统。直到 50 年代末，有轨电车仍然是这些城市的重要公共交通工具。直到无轨电车的内燃机公共汽车发展起来后，这种早期的带铃铛的有轨电车才渐渐消失了。

1.2 新型有轨电车

随着汽车数量的迅速增加，城市道路资源日益紧张；同时，大量的汽车还带来了交通安全和环境污染等问题。然而，就在这一时期世界上的经济却发展很快，城市人口迅速增长，城市区域不断扩大，城市内部交通需求急剧上升^[7]。新型有轨电车不仅在外观上有许多变化，而且在技术装备上加入了诸多高科技的元素，其技术性能和舒适度也是以前老式有轨电车所不能比拟的。在我国，新型有轨电车也逐步得到了认可，重新登上了公共交通的舞台。

新型有轨电车系统的主要特点：

- (1) 系统以地面线形敷设，线路主要沿着既有道路建设。
- (2) 系统可以灵活地设置车道，并与地面道路交通较少地隔开，它并不要求完全拥有自己专用的路权 (ROW, Right-of-Way)，可以与汽车共享路权。
- (3) 线路最小曲线半径小，坡度较大，线路纵面可沿道路纵面变化。
- (4) 可采用无接触网供电技术，系统环保，噪声小，景观效果好，适合在城市内部或者城市组团之间运行。
- (5) 允许不同线路平交，不同线路之间可共线运行。
- (6) 车辆一般为人工驾驶，目视行车，经过平交道口时按道路信号行驶，可采取信号优先等措施提高速度。
- (7) 车辆整体外观时尚、美观，采用大量玻璃侧墙，车厢内通透性好，乘客舒适性强。
- (8) 新型有轨电车系统采用 100% 低地板，极大方便了乘客，改善了乘客上下车条件。
- (9) 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。

1.3 国外新型有轨电车车辆发展现状

目前，西欧国家有 30 多个城市 40 多个有轨电车系统，德国的有轨电车长度总计 1200 公里。法国巴黎计划用有轨电车把市中心与大学区、国际机场、卫星城市连成一个完整网络，新型车辆已投入运用，每条有轨电车线日运送旅客达到 6.5 万~7 万人次。而鹿特丹、南特、墨尔本等城市每天约有 25 万次的载客量，线均客运量达 2.8 万人次。斯特拉斯堡、里昂、伦敦等西欧城市通过新建新型有轨电车系统实现了城市交通品质的提升。新型有轨电车技术在国外已经较为成熟，很多国家城市已经开始建设并且加大了投入。

其中，胶轮式自导向电车系统由劳尔公司生产，而生产新型有轨电车系统主要有以下几家：西门子公司、庞巴迪公司、阿尔斯通公司、法国赛思达公司和卡佛公司。

1.4 国内新型有轨电车车辆发展现状

从国内发展来看，近年来大连市保留并在发展钢轮钢轨有轨电车，但无论从车辆性能还是从品牌效应来看，离新型有轨电车差距还较大。2013 年 7 月 9 日，由中国南车和广州市政府联合组建的广州南车有轨交通研究院有限公司揭牌成立并将致力于新型有轨电车的研发与建设^[2]。长春股份公司有轨电车自 2013 年

8月15日试运行至今，每天上线运营19列车，另有5列车热备，日载客量约3万人次，日行驶里程近2600公里，日发车180次至200次^[3]。天津滨海新区已经建成了基于Lohr公司的Translohr系列技术的胶轮+导轨新型有轨电车，上海浦东张江开发区也已开工建设基于同一技术的胶轮+导轨新型有轨电车，沈阳浑南、北京、长春等城市已经建设运营，广州、青岛、南京、武汉等城市也都在规划筹建新型有轨电车项目。

根据中商情报网发布的报告，2012-2020年，我国新型有轨电车规划1066公里，工程总投资预计达1000亿，车辆需求辆预计为2066列，按每列车1500-2000万元计算，车辆市场规模达300-400亿元，年均需求38-50亿元。

国内的大连机车车辆厂、长春轨道客车有限公司和湘潭电机厂等厂家已能自主生产新型有轨电车。西门子公司与株机公司和唐山厂、庞巴迪公司与铺镇厂已达成协议，进行技术转让，其他两家公司也有意在广州开拓市场，进行工业化生产。而胶轮式自导向电车系统国内还没有生产厂家。

2 钢轮钢轨与胶轮导轨新型有轨电车系统的比较分析

2.1 钢轮钢轨新型有轨电车系统

走行部主要由车轮、构架、轴箱、悬挂、牵引部件等组成。车体重量通过转向架一系、二系悬挂到达车轮，进而通过轮轨传到轨道上，转向架起到承重导向的作用。钢轮钢轨新型有轨电车系统根据客室低地板面占整车地板面的比例主要分为70%与100%低地板有轨电车。

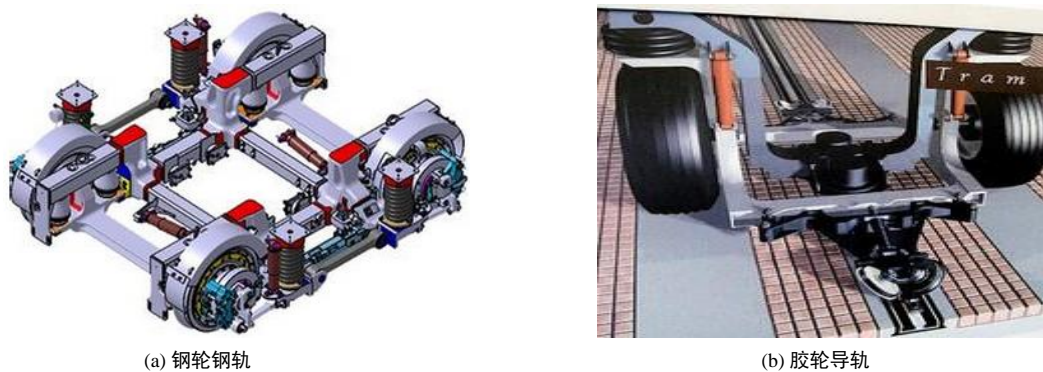


图1 钢轮钢轨与胶轮导轨系统

2.2 胶轮导轨新型有轨电车系统

走行部主要由橡胶轮、构架、悬挂、导向轮等组成。橡胶轮被固定于构架上，通过悬挂装置与车辆相连。橡胶轮走行于普通路面上，起承重和牵引作用。导向轮通过构架与车体相连，与道路上敷设的导向轨配合，为车辆起导向作用。该系统仍然使用传统的架空触网供电，但其轨道和车道建设极其简单。

2.3 系统综合比较

钢轮钢轨和胶轮导轨新型有轨电车在运送能力、技术方面、经济方面、环境方面、系统运行的安全性与可靠性等方面有着各自的特点，具体如下：

(1) 运送能力：新型有轨电车系统单向客运量0.8~1.5万人/h，胶轮式自导向电车系统单向客运量0.5~1.0万人/h。

(2) 技术方面：钢轮钢轨和胶轮导轨的技术特征都能适应通常的线路条件，胶轮导轨的爬坡、转弯能力相对较好，钢轮钢轨在单位车长的载客量上相对较好。胶轮式自导向电车系统采用国外厂商的技术，其更新较快，满足要求。新型有轨电车系统中的100%低地板有轨电车也需要采用国外厂商的技术，其更新较快，满足要求，并且100%低地板极大方便了旅客的乘降。国际上部分新型有轨电车厂家可以实现无接触网运行，而胶轮式自导向电车系统目前只采用了接触网受电的供电方式。

(3) 经济方面：目前，新型有轨电车系统可以实现国产化，工程投资省，运营费用低，国产有轨电车造价约为 1000-2000 万/辆。胶轮式自导向电车系统由于其车辆需依赖进口，总工程造价较高，易造成垄断，且性价比低，其中车辆造价就为 250~300 万欧元/辆。

(4) 环境方面：胶轮导轨电车系统使用橡胶轮胎，振动和噪声都很小，乘坐舒适，但胶轮磨损后，细小橡胶块会对环境有一定污染。新型有轨电车系统的振动和噪声则相对较大。

(5) 系统运行的安全性与可靠性：新型有轨电车系统均已在国内外各大城市有多年的运营经验，胶轮式自导向电车系统在天津和上海技术均成熟可靠。但钢轮钢轨在安全性、可靠性及运行平稳性方面比胶轮导轨更好。

总体来说，100%低地板钢轨钢轮新型有轨电车系统更具有优势，提倡优先发展。

3 新型有轨电车的供电方式

3.1 接触网供电

接触网供电方式是传统有轨电车和大部分地铁所采用的供电方式，车辆通过车顶的受电装置从架空接触网上得到电能，通常采用的供电电压为 DC750V。

3.2 车站架空接触网+车载储能供电

该供电系统是在车站设置架空接触网，列车进站后升弓静止充电，将能量储存在储能装置中，充电时间仅为几十秒，充电一次运行距离约为 2.5km。列车制动时所产生的再生能量能够储藏在超级电容中，列车的任何一次制动均是一次充电过程，能将制动产生的电能储存起来用于下一次牵引。区间不设置架空接触网，依靠储能装置给车辆运行提供牵引。车载储能装置可采用超级电容或者蓄电池或者两者组合。

3.3 地面接触轨供电

地面接触轨供电(APS)在有轨电车轨道中央增设了一条中央轨，整条中央轨分为若干绝缘段和导体段，只有当车辆通过的时候由无线电控制的开关才使中央轨通电，安装在车底两个转向架的集电靴获得供电。车辆通过后，中央轨便不带电。

地面接触轨系统主要由以下几部分组成：接触轨（含导电轨与绝缘轨）、支架、直流配电单元、直流监控柜。

3.4 地面线圈感应+车载储能供电

地面感应线圈非接触供电技术是加拿大庞巴迪公司的专利技术，该技术利用电能与磁场能相互转化的原理实现能量传输，原件隐藏在车底与轨道下方。车辆启动时通过车载储能装置启动，运行过程中，电缆回路通电形成电磁场，车辆上的耦合线圈不断切割磁力线，产生电磁感应，形成电流，为车辆供电的同时给车载储能装置充电。

3.5 地面供电系统

地面供电系统(TRAMWAVE)是安萨尔多百瑞达与安萨尔多信号与运输系统公司共同拥有的先进专利技术。采用地面电源供电，在两轨道之间设置嵌入式模块，嵌入模块每段长度为 3~5m，地面分段安装。在车辆底部安装磁性受流器从而得到车辆所需电能。

此种供电方案的主要特色如下：

- (1) 连续电力供应系统与传统架空电线供电达成同样的效果（空调、加速、速度等）。
- (2) 不需再装载辅助的系统，能自主的运作。
- (3) 创威能直接安装在各种轨道车辆上。

(4) 混合供电的系统创威及传统架空电车混合（如在历史古迹附近使用非架空电力系统，在郊区使用传统架空系统）。

(5) 受流器通过特殊的设计，实现在轨道受电系统中接通和断开电源。

地面电源供电的嵌入式模块主要由柔性板、正极触点支撑座、正极触点、磁块、绝缘支撑板、正极诊断触点和安全负极触点组成。

3.6 供电方式的综合比较

表 1 列出了五种供电方式的各项特性。

表 1 新型有轨电车的供电方式综合比较表

	接触网		无接触网		
	传统接触网装置	车站架空接触网+车载储能装置	地面接触轨供电 (APS)	地面线圈感应式+车载储能装置	地面供电系统 (TRAMWAVE)
敷设范围	全线敷设	仅车站范围内架设	全线敷设	车站等局部范围	全线敷设
再生制动能量反馈	没有制动电阻，再生制动能量不能储存	没有制动电阻，再生制动能量 100%能够储存	没有制动电阻，再生制动能量不能储存	没有制动电阻，再生制动能量部分能够储存	可在车上设置能量吸收装置
牵引供电可靠性	高，接触网全线敷设，可连续授流	一般，对车载储能的依赖性高，若等待时间过长会造成储能量不能够满足列车牵引，造成车辆救援。存在较大风险	高，地面接触轨可以平交道口等地段设置授流装置，给车辆充电或者牵引	高，感应线圈授流方式，可以在平交道口等地段设置授流装置，给车辆充电或者牵引	高，地面供电嵌入式模块全线敷设，可连续授流
节能	0%	25%~30%	0%	25%~30%	0%
站间距要求	无	<2.5km	无	无	无
城市景观效果图	差	好	好	好	好
环境影响问题	受雷雨、冰雹、大风天气的影响	基本不受环境影响	受大雨、积水、积雪、结冰等环境影响很大	对沿线埋地供电设置的防水要求较高。存在电磁污染	对沿线埋地供电设置的防水要求较高
对轨道影响	不需要钢轨回流	仅车站范围内利用钢轨回流，需要杂散电流防护	利用钢轨回流，需要杂散电流防护	不需要钢轨回流	不需要钢轨回流
技术开放性	技术开放，在全世界范围内属于最成熟的技术。不依赖于唯一供应商	技术开放，在全世界范围内属于主流技术。不依赖于唯一供应商	非开放，非主流技术。只依赖于唯一供应商发展。	非开放，非主流技术。只依赖于唯一供应商发展。	非开放，非主流技术。只依赖于唯一供应商发展。
应用实例	普遍	葡萄牙、里斯本、塞维利亚、广州海珠区正在筹建	波尔多、巴黎、兰斯、昂热、奥尔良、迪拜、巴西利亚	德国奥兹堡	

综合比较各种供电方式，车站架空接触网+车载储能装置供电系统虽然行车里程有所限制，可靠性也一般，但是其技术较为成熟，在世界范围内发展迅速，污染小，能凸显城市的时尚与先进性，有较丰富的运营维护经验，并考虑到以后新型有轨电车的发展趋势，推荐采用此种供电方式。

4 结语

我国的新型有轨电车系统还处于起步阶段，有着巨大的发展前景。本文对有轨电车车辆选型及供电方式的研究，从介绍国内外传统有轨电车和新型有轨电车的发展历程入手，描述了新型有轨电车的国内外的现状。

车辆选型部分主要介绍了新型有轨电车中钢轨钢轮有轨电车和胶轮导轨有轨电车，并分别从运送能力

方面、技术方面、经济方面、环境方面和系统运行的安全性与可靠性方面进行了分析，可以为未来新建有轨电车的城市在选型方面提供借鉴。

本文还对有轨电车供电方式进行了研究，分析了传统接触网供电、车站架空接触网+车载储能装置供电、地面接触轨供电(APS)、地面线圈感应式+车载储能装置供电、地面供电系统(TRAMWAVE)五种供电方式。传统接触网供电方式技术成熟，应用普遍，但是节能性和环保性等较差；车站架空接触网+车载储能装置供电方式弥补了传统接触网在节能性与环保性等方面的缺陷，且技术开发，发展迅速；APS 受环境影响较大，需要防护杂散电流，技术不开放；地面线圈感应式+车载储能装置供电方式与车站架空接触网+车载储能装置供电方式有相类似的优点，但是存在电磁污染，技术不开放；TRAMWAVE 地面供电系统牵引供电可靠性高，景观效果好，但对沿线埋地供电设置的防水要求较高，技术不开放。纵观五种供电方式，车站架空接触网+车载储能装置供电方式首先推荐使用。

5 致谢

致谢 本文得到国家自然科学基金面上项目(61272029)和北京交通大学海滨学院大学生创新创业训练计划项目的支助。

REFERENCES

- [1] <http://www.shanghai.gov.cn/shanghai/node2314/node2315/node4411/u21ai752983.html>
- [2] <http://www.railway.net.cn/news/64780.html>
- [3] http://news.gmw.cn/newspaper/2013-10/28/content_2315319.htm
- [4] Xu Zhenghe.Modern tram rising and exploration[C]. Shanghai:Modern Cityrail Transit,2005(2).
- [5] Wu Weijun. Characteristics and application prospect of tram system research [A].Tianjin:Railway Standard Design,2007.
- [6] The national development and Reform Commission.On the tram development of modern guidance[S].Beijing:National Development and Reform Commission,2011.
- [7] Shen Jiqiang.Modern tram vehicle selection and power supply system[A]. Shanghai:China Municipal Engineering,2012.
- [8] Xue Meigen,Yang Lifeng.The main characteristics and the modern tram development research[A].Shanghai:City Traffic,2008.
- [9] Mizuma Takeshi. Recent Urban Transport Technologies and Assessments[J].Japanese Railway Engineering,2004(44):5-10.

【作者简介】



¹ 胡松（1992- ），男，河北人，现就读于北京交通大学海滨学院交通运输系。

Email: 15720306818@163.com

² 刘志萍（1983- ），女，汉族，硕士，讲师，交通运输规划管理运输物流方向，2003 年 7 月至 2007 年 9 月，天津工程师范学院汽车工程系攻读学士学位；2007 年 9 月至 2009 年 7 月，北京交通大学交通运输学院攻读硕士学位；2009 年 8 月至今，北京交通大学海滨学院交通运输系任教。

Email: zpliu@bjtuhbxy.cn

³ 徐维祥（1956- ），男，汉族，博士，教授。研究方向：交通运输系统分析与集成：信息系统理论与技术、数据挖掘理论与方法；交通运输规划与管理：运输管理现代化与信息技术、交通运输宏观决策与运输系统优化、电子商务；系统工程：智能交通工程、运输与物流。2012 年 9 月任北京交通大学海滨学院副院长。

Email: wxxu@bjtu.edu.cn