

信号技术

现代有轨电车的信号控制技术

邹仕顺

摘要：随着社会的发展和城市化水平的不断提高，人们对交通出行的需求越来越多，对公交出行的要求也越来越高。作为一种新型轨道交通方式，现代有轨电车正在被越来越多的城市所采用。现从现代有轨电车的技术特点入手，结合其线路、车辆、旅行速度和最高速度、信号系统等方面对现代有轨电车的技术特征进行了具体的阐述；重点对路口信号优先控制系统、正线道岔控制系统、道岔区段列车检测设备等关键的技术进行了分析比较，探索在我国复杂的城市道路交通状况下，如何采用合理的相关技术，充分发挥现代有轨电车的技术特点和优势。

关键词：现代有轨电车；轨道交通；信号优先控制；道岔控制

Abstract: With the development of the society and the continuous improvement of urbanization level, the demands of transport traveling of people are increasingly pressing and the requirements of public transport traveling are also getting higher. As a new type of rail transit, modern tramcars are adopted by many cities. Started from the characteristics of modern tramcar, this paper expounds the technology features of modern tramcar in detail in terms of line, vehicle, traveling velocity and maximum velocity, signal system. It focuses on analysis and comparison of some key technologies, such as crossing signal priority control system, mainline switch control system, vehicle detection device in switch area etc, in order to explore how to use the technology reasonably and fully utilize the characteristics and advantages of modern tramcar under complex urban road traffic conditions in China.

Key words: Modern tramcar; Rail transit; Signal priority control; Switch control

随着科学技术的进步，现代有轨电车在国际上已经掀起了复兴的热潮。对于现代有轨电车，我们有必要摒弃旧的印象，对其进行重新认识。提到有轨电车，许多人会想起小时候见过的拖着两条长辫子的老电车，或者香港的“当当车”。前者一度被淘汰，后者更多的是作为文化符号被保留。

现代有轨电车是指以城市道路为基础，主要在地面敷设轨道，采用电力牵引的低地板有轨电车，输送能力介于传统公交车及轻轨之间，属中等运量城市地面快速公交系统。现代有轨电车在线路结构上采用了降噪技术，噪音低、速度高、转弯半径小、上下乘客方便；在速度要求较高的线路上，采用专用车道。与地铁项目比，有轨电车的建设成本

更低，每公里是地铁的 1/4 或 1/5。与公交车相比，有轨交通的载客量更大，一辆现代有轨电车可搭乘 300 名乘客。由于有优先路权，有轨电车的平均时速比公交车快。国家“十二五”规划中提出“有序推进轻轨、地铁、有轨电车等城市轨道交通网络建设”。现代有轨电车作为一种新的轨道交通方式，必将成为今后轨道交通发展的一支重要力量。

1 现代有轨电车的主要特点

相比较于其他的城市公交系统，现代有轨电车的运能虽不及地铁系统，但远远高于一般公交车辆，而且造价低，灵活性好，对车站要求不高，站点也可以变动，可以满足城市街道的复杂布局要求。现代有轨电车主要具有以下特点。

1. 它是一种中低运量的城市轨道交通，其单向高峰小时客运量为 0.3 万至 1.9 万人次，介于地

邹仕顺：中国铁道科学研究院通信信号研究所 助理研究员
100081 北京
收稿日期：2013-12-09

铁轻轨和公共汽车之间。对于中等城市可以组成公交骨干线路,对于大城市可以作为公交辅助线路,是一种比较经济的客运方式。

2. 与老式有轨电车相比,现代有轨电车的车辆技术进行了更新。除流畅美观的外部造型外,车辆内部也一般设空调系统。

3. 线路一般采用地面线的敷设形式。可以有独立路基的隔离地段,也可以是与其它车辆共用路基的混行地段。在平交道口采用道口信号控制技术,保证现代有轨电车优先通过。

4. 车站设施非常简单。由于没有车站运营设施,不必修建站房,车站主要建筑就是装有雨棚的站台,设施简单明快。

5. 作为公共交通,更加注重了美观和城市景观。除注重流畅美观的车辆外形外,对接触网和轨道的选型进行了改进,使得现代有轨电车与整个城市融为一体,减少了对城市景观的破坏。

6. 旧式有轨电车的震动和噪音,以及汽车交通的环境污染,是现代有轨电车必须克服的问题。现代有轨电车采用电力牵引,避免了汽车尾气的污染;车辆采用弹性车轮和径向转向架技术,能吸收和消减冲击力和震动;在轨道上,除采用无缝线路外,还在轨下采用了有效的弹性垫层;车辆采用了“围裙技术”,减少了噪音的辐射;在必要的地段设置声屏障,将噪音和震动的影响降到了最低值。

7. 具有耐候性强的特点。现代有轨电车采用轮轨系统和道口信号系统,其行车安全是有保障的,尤其在雨、雪、雾等天气时,大多数乘客会选择这种基本不受天气情况干扰的安全的交通工具。

8. 建设费用相当低廉。地铁和轻轨的造价相当高,是大多数城市难以承受的,而现代有轨电车相对来说工程造价低得多,对处于发展中的我国来说,其优势是显而易见的。

2 现代有轨电车的主要技术特征

2.1 线路

现代有轨电车的封闭程度低,一般采用地面敷设方式。在有独立路基的隔离地段为了减少工程量和降低投资,一般采用平交道,仅在交通特别繁忙的交叉路口采用立交道;在与市区道路共用路基的地段采用与其它车辆混行的方式。由于一般运行在

城市之内的城市道路上,为满足城市道路的需要,现代有轨电车可以在降低车速的情况下设置 50 m 的小半径曲线,个别地点也可以实现 19 m 的小半径曲线。

2.2 车辆

现代化的有轨电车车辆早已今非昔比,无论从牵引系统、制动系统和轮轨相互作用等方面都发生了根本性的变化。有轨电车目前已普遍采用了交流传动技术,极大地改善了列车运行平稳性,甚至部分有轨电车采用了独立驱动的线性轮箍电机,不仅减轻了牵引系统的重量、提高了效率,而且进一步改善了轮轨相互作用,优化了列车的曲线通过性能,并满足 20 m 以下小半径曲线的通行,轮轨磨损和轮轨噪声大大降低。采用微机控制的电控制动系统,可以完全满足复杂路面的行驶要求。

现代有轨电车大多采用了低地板结构,通常有 70% 或 100% 低地板结构,目前最低地板可达到 180 mm 以下,而且可以根据不同气候、不同路面调整高度,以满足各种工况的行驶要求,可以最大限度地降低车辆地板面的高度。有轨电车通常不必考虑车站站台的设置,可以满足残疾车辆上下车要求。现代有轨电车与旧式有轨电车的不同之处主要是它不但具有外貌鲜明的现代化色彩,而且车辆轻、速度快(轴重仅 9t 左右)。有轨电车的车辆宽度通常可以根据城市道路可容纳性进行限制。

2.3 旅行速度和最高速度

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。如果在城际铁路上运行,运行速度则可达 70 km/h。

2.4 信号系统

信号系统是保证行车安全、提高运行效率的重要系统,现代有轨电车的信号系统通常符合以下原则。

1. 立足现代有轨电车工程特点,在满足功能需求的前提下简化系统和设备配置。

2. 技术先进、结构简洁、可靠耐用、管理维修方便,并且设备集中设置,满足标准化和模块化

要求, 便于维修、更换及系统扩展。

3. 操作显示设备及操作界面便于操作, 符合人体工程学原理。

4. 设备选型及设置要与车站及沿线周围环境相协调, 并注意满足环保要求, 同时系统设备应满足自然环境条件、线路车站环境条件的要求。

5. 凡涉及行车安全的设备必须满足故障-安全原则, 主要行车指挥设备的计算机系统采用冗余结构。

6. 具有安全、灵活、可靠的降级控制模式, 在系统发生故障时, 后备控制模式能够接管并维持一定运营水平, 尽量降低对实际运营的影响。

7. 具备抗电磁干扰的能力, 所有室内外设备应具有可靠的接地、防雷等安全措施。

3 现代有轨电车的关键技术探讨

3.1 路口信号优先控制系统

现代有轨电车在地面路段行驶时与社会车辆共同行驶在道路上, 虽然享有专用路权, 但与其他车道之间存在着平面交叉, 因此, 如何合理利用资源, 不可避免地需要利用路口信号优先控制系统, 以便控制调度中心实时监控各有轨电车车辆的运行状况, 保障整条线路运营的安全和通畅, 保证有轨电车与社会车辆有序运行。有轨电车在公交路口处应按公交系统路口信号灯显示行车, 具体设计时需结合有轨电车线路布置情况和路口性质进行分析。

目前广泛应用于现代有轨电车工程的路口信号优先控制系统主要有“区域控制”和“集中控制”2种模式。

1. 区域控制方案。有轨电车全程保持卫星定位, 调度中心定位主要针对运营全局的监视和紧急情况下的指挥; 车载定位装置无须电子地图显示、主要负责定位信息的实时计算。在车辆进入预先设定的“判定范围”内时, 车载设备结合车辆位置信息、车速和已知的交叉口位置信息等, 启动预计到达时间的计算, 并通过短程通信以一定时间间隔将“优先请求信号”发送至具备有“信号优先判定模块”的路边设备, 由路边设备根据当前信号灯相位并结合当时行车状况, 选择延长或缩减相位为有轨电车车辆显示绿灯。在此过程中, 车辆通过

路边设备与路口机依靠无线传输信道进行实时交互, 以确保行驶车辆能够与路口机充分配合, 在保证行车安全的前提下通过路口。

2. 集中控制方案。在有轨电车上装载 BD/GPS, 车辆通过 GPRS 向控制中心发送本车位置信息, 该信息通过公共交通信号优先系统处理, 从控制中心通过光缆向交警控制中心的智能交通信号控制主机发送优先信号; 然后通过智能交通信号系统接口对系统进行控制干预, 以达到优先的目的。公共交通信号优先系统在其内部可以通过比对车辆运营实时位置时间表与运营方提供的理想到站时间表, 来确定该有轨电车是否能够准时到达车站, 是否需要调整途经路口的信号灯相位, 以此达到信号优先的目的。

其中, 区域控制模式由于信号优先的交互仅处于区域范围内, 因此信号优先判定过程中基本不存在信息传输延时问题; 车辆位置信息无需频繁上传, 信息传输成本相对较低; 在车载定位设备基础之上, 如加之通信和管理功能, 则可形成完善的车载系统。集中控制模式相对区域控制而言, GPRS 传输信息量过大, 不利于运营成本的控制; 定位信息的传输存在延时, 定位精度不高, 特别是在车辆高速运行的情况下, 影响优先信号的实时性和连续性等。综合考虑各种因素, 路口信号区域控制模式显然具有更广泛的实用性。

3.2 正线道岔控制系统

正线道岔控制系统主要负责对正线道岔进行联锁控制, 实现道岔区段内道岔、信号机、轨道区段之间正确的联锁关系及进路控制的安全。主要功能如下。

1. 正常情况下中心自动或人工办理进路; 中心设备或通道故障以及运行需要时, 转为车站人工对道岔进行操作。

2. 按正确的联锁关系及列车位置自动排列进路。

3. 实现列车进路锁闭、解锁和取消, 轨道区段故障恢复、信号机关闭、道岔单操及锁闭。

4. 对道岔实现进路锁闭、人工锁闭; 对控制范围内的道岔实行单独操作和单独锁闭; 对列车开放引导进路; 对轨道区段、道岔、信号机等实施封

锁、禁止通过其排列进路等。

5. 对进路实现接近锁闭, 锁闭的进路随列车的运行自动分段解锁。

6. 具有较完善的自诊断功能, 对联锁设备、列车占用检测设备(如计轴)、信号机、转辙机等设备工作状态检测报警, 在车站的维护工作站上显示及报警, 并在控制中心实施远程故障诊断。

目前, 道岔控制系统普遍采用联锁集中控制和车载遥控控制 2 种模式。联锁集中控制模式下, 车载子系统根据 BD/GPS 系统获取当前位置, 通过 DCS 数据通信系统把位置信息传输给控制中心, 同时控制中心通过轨旁有线通信网络获取道岔控制系统的道岔、信号灯状态, 并显示在中心调度员界面上; 在电车接近岔区并读取入口处的电子标签后响应本地控制单元的呼叫, 本地控制单元识别该电车后将信息发给控制中心, 中心根据该电车的运行计划向相应的道岔控制子系统发送进路控制信息; 通过轨道占用检测设备(计轴/轨道电路)检测车辆位置, 控制中心可以自动办理进路, 远程控制转辙机; 在联锁站车控室设道岔单操控制盘, 当控制中心设备或通道故障以及运行需要时可以转为车站人工控制。车载遥控控制模式下, 司机驾驶车辆进入道岔控制区域后自动取得控制权, 通过车载系统向本地控制单元发送指令, 遥控道岔转动至需要的位置, 道岔控制系统检查岔区的占用状态, 在条件满足的情况下转动道岔, 道岔动作到位后向转辙机发送锁闭指令, 并且向进路表示器发送显示指令; 道岔自动锁闭、信号开放, 车辆驶出道岔控制区域后自动失去控制权以保证不会因司机误操作造成道岔再次转动; 车辆取得控制权至车辆完全离开道岔区段期间, 系统不授予其他车辆对道岔的控制权, 并保证道岔锁闭, 以保证运行安全; 有轨电车出清后, 解除对转辙机的锁闭指令; 系统通过在地面安装电子标签的方式划分道岔区段和道岔控制区域, 以无线的方式实现车载和地面控制设备之间的通信。

其中, 联锁集中控制在大铁和地铁中应用广泛, 技术成熟, 安全可靠, 进路的办理和道岔锁闭与车辆的行驶各自独立进行; 车载遥控控制在大连、天津等城市有轨电车工程中有所应用, 但是缺

乏广泛应用的业绩, 而且控制道岔中间环节较多, 相对来说可靠性和安全性较差, 且无线通信可能受牵引供电及周边其他无线信号的电磁干扰, 存在影响行车安全的隐患。因此, 从安全及技术成熟角度分析, 推荐采用联锁集中控制系统实现对道岔的联锁控制, 但可以将车载遥控控制作为一种备用模式, 在联锁集中设备或通道出现故障时, 用来替代联锁集中控制系统。

3.3 道岔区段列车检测设备

常用的检测轨道区段内列车占用/出清的设备有 50Hz 轨道电路、25Hz 轨道电路、计轴设备及电子标签。其中, 轨道电路相对于计轴轨旁设备较多, 与环境景观不相协调, 不便于安装在路边, 且两条钢轨容易受到外界金属物质的短路干扰, 影响行车安全。计轴设备安装方便, 轨旁设备少, 不会影响线路两侧景观、不容易受到外界干扰、维护维修方便, 因此, 在现代有轨电车工程中, 一般采用计轴设备作为道岔区段列车检测设备。

4 结束语

现代有轨电车收益高、污染小、见效快。它的特点是占道小、起速快、运行灵活、转弯半径小、爬坡能力强、换乘方便, 更适应于一般的大中城市。从运力、经济、安全、可靠、环保等各个方面综合评价, 它能真正达到大客流、低成本、安全、快速等要求。从国外大量的工程实践以及科技进步发展的趋势看, 在我国大、中型城市中, 适当修建现代有轨电车, 作为城市轨道交通系统的一种形式, 缓解城市交通压力是合理可行的, 符合城市公交系统多元化的战略思想。

参 考 文 献

- [1] 北京城建设计研究总院有限公司. 现代有轨电车技术标准[R]. 2010.
- [2] 王灏. 现代有轨电车系统研究与实践[M]. 中国建筑工业出版社 2011.
- [3] 周路菡. 现代有轨电车的崛起[J]. 新经济导刊 2013, 09.
- [4] 于禹夫. 现代有轨电车交通系统及其车辆的技术定位[J]. 地铁与轻轨 2003, 12.
- [5] 叶芹祿. 论城市有轨电车及其系统的技术特性[J]. 铁道勘探与设计 2008 01.

(责任编辑: 张 利)