

现代有轨电车系统

研究与实践

Study & Application of Modern Trams Way System



王灏 田振清 周楠森 王燕凯 主编

中国建筑工业出版社

现代有轨电车系统研究与实践

王 灏 田振清 周楠森 王燕凯 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代有轨电车系统研究与实践/王灏等主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 6
ISBN 978-7-112-13253-9

I. ①现… II. ①王… III. ①有轨电车-城市运输-交通运输建设-研究-北京市 IV. ①F572.881

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 092435 号

责任编辑: 姚荣华 张文胜
责任设计: 李志立
责任校对: 陈晶晶 姜小莲

现代有轨电车系统研究与实践

王 灏 田振清 周楠森 王燕凯 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京市铁成印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15 $\frac{1}{4}$ 字数: 365 千字

2011 年 7 月第一版 2011 年 7 月第一次印刷

定价: 37.00 元

ISBN 978-7-112-13253-9
(20631)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

序

进入 20 世纪 90 年代以来，我国国民经济持续快速发展，城市化进程明显加快，城市人口迅速增长，城市规模不断扩大，城市居住条件和布局发生很大变化，向城市边缘和卫星城扩展，机动车急剧增长。因此城市交通拥堵日益严重，城市环境不断恶化。由于城市轨道交通具有运量大、准时、快速、环保等特点，发展城市轨道交通已成为我国城市发展公共交通的根本方针和缓解城市交通拥堵的最佳选择。经过四十多年的发展历程，尤其是近十多年的快速发展，至 2010 年底我国已有 12 个城市，运营里程达到 1400 多公里，国家批准建设的 28 座城市近期建设规划，建设 94 条线 2600 多公里。“十二五”计划，我国城市轨道交通运营里程将达到 3000km。另一方面，我国城市轨道交通技术装备水平也不断提高，轨道交通的制式也呈多样化，具有地铁、轻轨、跨坐式单轨系统、直线电机以及不同速度的轨道交通系统。但目前我国以全封闭的地铁系统为主，地面城市轨道交通系统，正在探索发展中。

现代有轨电车系统是城市轨道交通的一种中低运量系统，是建立在传统有轨电车的基础上，在技术方面有了很大的突破，控制技术、牵引、供电、信号得到完全的更新，以地面敷设为主，具有多种路权方式，在道路交叉口采用信号优先的交通组织，还具有低碳环保和节能的优点，在国外受到青睐，适用于大城市的卫星城和各组团之间的联系以及一些运量适当的中等城市。据统计，世界上以欧美为主发达国家中的 55 个城市的城市轨道交通系统中，地铁系统建设的里程约为 4200km，而轻轨及现代有轨电车系统的里程则达到约 11000km 以上。这足以说明现代有轨电车系统在城市公共交通系统中存在的必要性和所起到的作用。

《现代有轨电车系统研究与实践》一书是北京市多年来对现代有轨电车系统进行的研究，结合北京西郊线的规划和工程设计，对现代有轨电车的发展历程、技术标准、规划思路和适用性评价等内容进行了系统化的研究，为填补地铁和常规公交系统运量之间的空白，调控私人交通、改善道路交通结构提供了一种新型的轨道交通模式，同时也为促进国内相关产业的发展提供了契机。因此，此项系统化的研究思路对我国轻轨或现代有轨电车的应用和发展意义重大，其成果具有很好的借鉴和参考价值。现代有轨电车系统将在我国有着广阔的发展前景，该书的出版定会对我国发展现代有轨电车系统起到积极的推动作用。

焦桐君

二〇一一年六月

前 言

传统有轨电车曾经是城市公共交通的骨干，为城市公交化做出了重要贡献。随着汽车技术的发展，传统有轨电车因其速度低、车辆性能差、舒适性差、与道路交通矛盾严重而逐渐遭到淘汰。随着城市的发展和私人汽车的大量普及，城市交通拥堵和空气污染日益严重，人们对公共交通服务质量的要求也日益提高。普通的地铁系统虽然运量大、速度高、服务水平高，但其建设成本和运营成本也很高，大量建造也会给城市财政背上沉重的包袱，并不是各种城市和各种线路都适合的。在这种背景下，于 20 世纪 80 年代，一种在传统有轨电车基础上发展起来的现代有轨电车系统应运而生了。

现代有轨电车系统作为城市轨道交通系统的一个分类，以其具备的运量适中、工程简单、投资较低、敷设方式灵活、运营灵活的特点，成为城市公共交通的重要组成部分。这种系统是由已经有 100 多年历史的有轨电车系统，经过全面的技术升级，从传统的有轨电车脱胎而出的一种新型城市轨道交通制式。与传统有轨电车不同的是，它不仅在车辆外观上有许多变化，而且在技术装备上融入了诸多现代高科技的元素，具有更高的运行速度、更舒适的乘车空间以及快捷的换乘方式，其技术性能和舒适度是老式有轨电车无法望其项背的。现代有轨电车线路以地上线为主，地面线尽量采用封闭的专用道形式，充分体现公交优先的原则。它是城市经济、科技、人文发展到一定程度的产物，也是城市整体素质的体现。

我国国民经济正处在高速发展时期，城市化发展很快，城市规模的扩大，使得原有的空间组织模式发生改变，向开敞型、组团式发展，老百姓对城市公共交通的服务水平也在逐渐提高。加强公共交通网络建设，促进公共交通出行比例，对缓解大城市交通拥堵和环境污染有重要意义。

对于运量较大的线路，可以采用大运量的地铁系统，而对于中低运量的线路，例如由于城市规模比较小、人口密度比较低，同时经济实力有限，难以承担快速轨道交通建设所带来的财政压力的中小城市，则可以采用现代有轨电车系统。

同时，对于大城市中心城外围区域，或组团式区域内部，旅游区，由于公共交通网络密度降低，公交出行相对不如在中心城区方便，在城市边缘地带也存在不同公共交通线路之间的换乘衔接需要，则现代有轨电车系统的特点也成为其比较适用于加强主城和外围新城、开发区以及旅游景点之间的联系，并促进沿线地区的发展的一种舒适可靠的交通模式。

因此，现代有轨电车系统在国内应该有着比较广阔的发展前景。

鉴于以上原因，北京市基础设施投资有限公司组织北京城建设计研究总院、柏诚工程技术（北京）有限公司、北京交通发展研究中心和北京市城市规划设计研究院，结合北京市轨道交通西郊线的工程建设，对现代有轨电车系统在北京市的应用进行了深入的研究，

并在北京市科委申报立项，形成了本书所包含的研究成果，希望对我国城市轨道交通的建设提供帮助。

该课题列为2009年北京市科技计划项目，课题编号：Z090506006309017。

课题研究主要内容包含：

- (1) 现代有轨电车系统综述研究；
- (2) 北京市现代有轨电车系统的适用性及评价体系研究；
- (3) 北京市现代有轨电车系统技术规定研究；
- (4) 北京市新城或区域的现代有轨电车系统规划研究；
- (5) 北京市现代有轨电车系统示范工程实施方案研究；
- (6) 北京市现代有轨电车系统规划、建设和运营管理政策建议研究。

课题研究的目標，主要是通过对国内外现代有轨电车系统应用案例的分析，掌握现代有轨电车系统的技术特征和发展趋势，结合北京市城市规划和交通发展状况，研究明确现代有轨电车在北京应用的适用性和应用技术条件，建立一套北京市新城或区域现代有轨电车系统的适用性评价体系，研究形成适合于北京市的现代有轨电车系统技术规定，研究北京市1~2个新城或区域的现代有轨电车系统线网规划，研究一条现代有轨电车系统示范线路实施方案并指导示范工程实施，研究提出北京市现代有轨电车系统规划、建设、运营管理和产业化发展的政策建议。

通过课题研究和成果推广，促进现代有轨电车系统在北京市适宜新城或区域的推广应用，缓解北京市交通压力，减少交通能源消耗和环境污染，保障北京城市高效运行，带动现代有轨电车系统相关技术研发进步和产业化，促进北京城市经济、社会发展。

编写委员会

主 编:

王 灏 田振清 周楠森 王燕凯

参编人员:

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 马 佳 | 王 锋 | 王 静 | 王思竹 | 王晓明 |
| 毛励良 | 翟东武 | 尹晓宏 | 叶以农 | 田 芸 |
| 田 梦 | 刘 斌 | 刘衍峰 | 刘剑峰 | 刘新华 |
| 孙壮志 | 孙福亮 | 杜世敏 | 李民伟 | 杨 珂 |
| 杨志刚 | 邱丽丽 | 邹 迎 | 张剑涛 | 陈 峰 |
| 罗 铭 | 郑 毅 | 郑瑞武 | 胡新宇 | 茹祥辉 |
| 段俊萍 | 姚智胜 | 高永亮 | 高桂桂 | 郭云涓 |
| 郭春安 | 程 鑫 | 线 凯 | 薛 波 | 薛燕荣 |

目 录

| | |
|--------------------------------------|----|
| 第 1 篇 现代有轨电车系统综述 | 1 |
| 第 1 章 有轨电车的发展沿革 | 3 |
| 1.1 有轨电车的出现..... | 3 |
| 1.2 有轨电车的衰退..... | 3 |
| 1.3 现代有轨电车的出现..... | 4 |
| 1.4 现代有轨电车与老式有轨电车的区别..... | 4 |
| 第 2 章 现代有轨电车系统技术特征 | 6 |
| 2.1 运营方式..... | 6 |
| 2.2 路权..... | 6 |
| 2.3 车站..... | 6 |
| 2.4 沿线道路横断面..... | 7 |
| 2.5 交叉口交通组织..... | 7 |
| 2.6 平曲线与纵曲线..... | 8 |
| 2.7 供电..... | 9 |
| 2.8 车辆..... | 9 |
| 第 3 章 现代有轨电车的适应性 | 12 |
| 3.1 现代有轨电车的运能与客流量..... | 12 |
| 3.2 现代有轨电车在城市交通网络中的功能定位..... | 14 |
| | |
| 第 2 篇 现代有轨电车系统的适用性及评价体系 | 17 |
| 第 4 章 概述 | 19 |
| 4.1 现代有轨电车概述..... | 19 |
| 4.2 研究背景..... | 21 |
| 4.3 国内外研究现状..... | 21 |
| 4.4 研究目的、内容与方法..... | 22 |
| 第 5 章 现代有轨电车技术适用性研究 | 24 |
| 5.1 线路技术条件..... | 24 |
| 5.2 车道布置..... | 30 |
| 5.3 车站布设..... | 31 |

| | | |
|------------|---------------------------------|-----------|
| 5.4 | 路权信号 | 33 |
| 第6章 | 现代有轨电车与其他交通方式的对比分析 | 37 |
| 6.1 | 运行速度 | 37 |
| 6.2 | 运能 | 39 |
| 6.3 | 造价分析 | 41 |
| 6.4 | 运营条件 | 43 |
| 第7章 | 北京现代有轨电车适用性及评价 | 44 |
| 7.1 | 应用模式分析 | 44 |
| 7.2 | 北京发展现代有轨电车的必要性分析 | 58 |
| 7.3 | 评价方法体系 | 62 |
| 7.4 | 评价指标体系的建立 | 64 |
| 7.5 | 模糊综合评价方法 | 67 |
| 7.6 | 北京地区现代有轨电车适用性评价 | 70 |
| 第3篇 | 北京现代有轨电车系统技术规定 | 79 |
| 第8章 | 研究依据和方法 | 81 |
| 8.1 | 车辆 | 81 |
| 8.2 | 线路形式 | 81 |
| 8.3 | 运营管理 | 81 |
| 第9章 | 北京现代有轨电车系统技术规定 | 82 |
| 9.1 | 总则 | 82 |
| 9.2 | 名词术语 | 82 |
| 9.3 | 车辆 | 83 |
| 9.4 | 运营组织 | 84 |
| 9.5 | 线路 | 86 |
| 9.6 | 限界及轨旁系统 | 89 |
| 9.7 | 轨道 | 90 |
| 9.8 | 车站 | 90 |
| 9.9 | 结构 | 92 |
| 9.10 | 供电系统 | 93 |
| 9.11 | 通风空调系统 | 95 |
| 9.12 | 给水排水及消防 | 96 |
| 9.13 | 通信系统 | 96 |
| 9.14 | 调度系统 | 97 |
| 9.15 | 综合信息系统(IMS) | 98 |
| 9.16 | 环境与设备监控系统(BAS) | 99 |
| 9.17 | 火灾自动报警系统(BAS) | 99 |
| 9.18 | 售检票系统 | 100 |

| | | |
|---------------|------------------------------|------------|
| 9.19 | 车辆基地 | 100 |
| 9.20 | 环境保护 | 101 |
| 第 4 篇 | 现代有轨电车系统规划实践 | 103 |
| 第 10 章 | 现代有轨电车线网规划方法 | 105 |
| 10.1 | 一般城市公共交通网络规划方法及流程 | 105 |
| 10.2 | 现代有轨电车线网规划方法 | 105 |
| 第 11 章 | 顺义新城现代有轨电车线网规划 | 107 |
| 11.1 | 交通需求分析 | 107 |
| 11.2 | 功能定位 | 113 |
| 11.3 | 顺义区现代有轨电车规划方案规划设计条件 | 115 |
| 11.4 | 现代有轨电车线网规划 | 123 |
| 11.5 | 现代有轨电车线网实施效果评价 | 129 |
| 第 12 章 | 亦庄新城现代有轨电车线网规划 | 132 |
| 12.1 | 规划背景 | 132 |
| 12.2 | 交通需求分析 | 133 |
| 12.3 | 现代有轨电车功能定位 | 135 |
| 12.4 | 规划条件分析 | 136 |
| 12.5 | 系统制式选择 | 139 |
| 12.6 | 线网规划方案 | 139 |
| 12.7 | 车辆段规划选址 | 146 |
| 12.8 | 路权选择及信号控制 | 147 |
| 12.9 | 实施效果 | 147 |
| 12.10 | 近期实施建议 | 148 |
| 第 13 章 | 现代有轨电车规划总结 | 149 |
| 13.1 | 关于现代有轨电车系统适应性 | 149 |
| 13.2 | 关于居民交通出行特征 | 149 |
| 13.3 | 关于现代有轨电车系统与地面快速公交系统的比较 | 149 |
| 13.4 | 关于现代有轨电车线路路由的选择 | 149 |
| 13.5 | 关于现代有轨电车沿线道路横断面设置 | 150 |
| 第 5 篇 | 现代有轨电车系统示范工程 | 151 |
| 第 14 章 | 示范工程概述 | 153 |
| 14.1 | 内容 | 153 |
| 14.2 | 工程概况 | 153 |
| 第 15 章 | 行车组织与运营管理 | 154 |
| 15.1 | 设计原则 | 154 |

| | | |
|---------------|-------------------|------------|
| 15.2 | 主要技术标准 | 154 |
| 15.3 | 运营特征 | 154 |
| 15.4 | 配线设计原则 | 155 |
| 15.5 | 列车运行管理 | 155 |
| 15.6 | 组织管理模式及组织机构 | 156 |
| 第 16 章 | 线路 | 157 |
| 16.1 | 线路平面设计 | 157 |
| 16.2 | 线路纵断面设计 | 160 |
| 16.3 | 车站设置 | 161 |
| 16.4 | 辅助线设置 | 161 |
| 第 17 章 | 限界 | 162 |
| 17.1 | 线间距 | 162 |
| 17.2 | 限界方案 | 162 |
| 第 18 章 | 轨旁 | 164 |
| 18.1 | 区间疏散通道设计 | 164 |
| 18.2 | 轨旁系统设备布置原则 | 164 |
| 18.3 | 轨旁系统设备的布置 | 164 |
| 第 19 章 | 轨道 | 165 |
| 19.1 | 主要几何技术参数 | 165 |
| 19.2 | 轨道设备选型及结构设计 | 165 |
| 19.3 | 道岔 | 166 |
| 19.4 | 无缝线路 | 166 |
| 19.5 | 轨道减振措施 | 166 |
| 19.6 | 轨道附属设备 | 167 |
| 第 20 章 | 建筑 | 168 |
| 20.1 | 内容 | 168 |
| 20.2 | 车站概况 | 168 |
| 20.3 | 车站方案 | 168 |
| 第 21 章 | 结构 | 169 |
| 21.1 | 车站结构 | 169 |
| 21.2 | 地面区间——路基工程 | 169 |
| 21.3 | 地下区间结构 | 171 |
| 21.4 | 高架区间 | 171 |
| 第 22 章 | 供电系统 | 172 |
| 22.1 | 系统 | 172 |
| 22.2 | 变电所 | 173 |
| 22.3 | 牵引网 | 175 |
| 22.4 | 杂散电流腐蚀防护 | 175 |
| 22.5 | 地面嵌入式接触轨 | 175 |

| | | |
|---------------|---------------------------------|-----|
| 第 23 章 | 通信系统 | 179 |
| 第 24 章 | 乘客信息系统 | 180 |
| 24.1 | 控制中心子系统 | 180 |
| 24.2 | 车站子系统 | 180 |
| 24.3 | 车载子系统 | 180 |
| 24.4 | 网络子系统 | 180 |
| 第 25 章 | 调度系统 | 182 |
| 25.1 | 系统方案 | 182 |
| 25.2 | 系统功能 | 182 |
| 25.3 | 系统构成 | 183 |
| 第 26 章 | 售检票系统 | 184 |
| 26.1 | 系统构成 | 184 |
| 26.2 | 线路中心系统 | 184 |
| 26.3 | 车站终端设备 | 184 |
| 26.4 | 网络方案 | 185 |
| 第 27 章 | 综合监控系统 | 186 |
| 27.1 | 现场级方案 | 186 |
| 27.2 | 中心级方案 | 186 |
| 第 28 章 | 火灾自动报警系统 | 187 |
| 28.1 | 系统组网方式 | 187 |
| 28.2 | 中心级系统构成 | 187 |
| 28.3 | 车辆段系统构成 | 187 |
| 28.4 | 地下区间系统构成 | 187 |
| 28.5 | 区间主变电所系统构成 | 188 |
| 28.6 | 系统信息传输要求 | 188 |
| | | |
| 第 6 篇 | 北京现代有轨电车系统规划、建设和运营管理政策建议 | 189 |
| 第 29 章 | 发展思路和定位 | 191 |
| 29.1 | 北京公共交通系统的基本构成 | 191 |
| 29.2 | 北京公共交通发展战略 | 191 |
| 29.3 | 案例——伦敦交通发展战略中有轨电车的发展思路 | 193 |
| 第 30 章 | 规划政策 | 195 |
| 30.1 | 规划制定 | 195 |
| 30.2 | 规划审批 | 196 |
| 30.3 | 规划实施 | 196 |
| 30.4 | 规划修改 | 196 |
| 第 31 章 | 投资建设模式 | 198 |
| 31.1 | 建设主体 | 198 |

| | | |
|---------------|----------------------------|------------|
| 31.2 | 资金来源 | 198 |
| 31.3 | 投融资模式 | 199 |
| 31.4 | 建设过程中的重点、难点技术问题 | 203 |
| 第 32 章 | 运营模式 | 206 |
| 32.1 | 确定运营主体 | 206 |
| 32.2 | 制定合理的票制票价 | 206 |
| 32.3 | 明确运营补贴 | 207 |
| 第 33 章 | 其他政策 | 208 |
| 33.1 | 相关技术标准规范 | 208 |
| 33.2 | 法律法规及配套政策 | 209 |
| 33.3 | 产业化发展 | 209 |
| 第 34 章 | 结论 | 211 |
| 34.1 | 明确有轨电车的发展思路和定位 | 211 |
| 34.2 | 在公共交通系统中统筹考虑有轨电车发展 | 211 |
| 34.3 | 制定有轨电车发展相关法律和技术标准规范 | 212 |
| 34.4 | 推进有轨电车产业化发展 | 212 |
| 附录 A | 部分国际城市现代有轨电车系统 | 213 |
| A1 | 澳大利亚墨尔本(MELBOURNE) | 215 |
| A1.1 | 系统发展与功能定位 | 215 |
| A1.2 | 技术特征与系统运行 | 215 |
| A1.3 | 运营模式 | 216 |
| A2 | 美国波特兰(PORTLAND) | 217 |
| A2.1 | 系统发展与功能定位 | 217 |
| A2.2 | 技术特征与系统运行 | 217 |
| A2.3 | 运营模式 | 218 |
| A3 | 法国斯特拉斯堡(STRASBOURG) | 219 |
| A3.1 | 系统发展与功能定位 | 219 |
| A3.2 | 技术特征与系统运行 | 219 |
| A4 | 法国波尔多(BORDEAUX) | 220 |
| A4.1 | 系统发展与功能定位 | 220 |
| A4.2 | 技术特征与系统运行 | 220 |
| A4.3 | 运营模式 | 221 |
| A5 | 法国巴黎(PARIS) | 222 |
| A5.1 | 系统发展与功能定位 | 222 |
| A5.2 | 技术特征与系统运行 | 222 |
| A5.3 | 运营模式 | 223 |
| A6 | 法国里昂(LYON) | 224 |

| | |
|-----------------------------------|------------|
| A6.1 系统发展与功能定位 | 224 |
| A6.2 技术特征与系统运行 | 224 |
| A7 英国诺丁汉(NOTTINGHAM) | 225 |
| A7.1 系统发展与功能定位 | 225 |
| A7.2 技术特征与系统运行 | 225 |
| A7.3 运营模式 | 225 |
| 参考文献 | 226 |

第 1 篇 现代有轨电车系统综述

第 1 章 有轨电车的发展沿革

1.1 有轨电车的出现

最早的有轨电车是由运营在轨道上的马车发展而成的。1807 年，在英国威尔士出现了世界上第一条客运轨道公交车，是用马牵引的。后来在美国也出现了类似的系统，使用马匹、骡子等畜力进行牵引，在紧急时甚至可以使用人力。

随着机电技术的发展，有轨电车于 19 世纪 80 年代开始在西方工业国集中出现。1881 年 5 月，德国人西门子在柏林附近开通了世界上第一条有轨电车线路。最初的轨距是 1m，后来调整到今天标准规距 1435mm。1883 年，英国人福柯修建了英国第一条有轨电车线路，长 2km，轨距 2 英尺（约 610mm），后来调整至 2 英尺 9 英寸（约 840mm）。这条线路至今仍在运营，是世界上仍在运营的最老的有轨电车线路。1885 年 9 月，英国黑泽开通了英国第一条在街面上运营的有轨电车线路，这条线路至今仍在运营。美国的第一条有轨电车线路于 1886 年在亚拉巴马州蒙哥马利市开通。澳大利亚第一条有轨电车于 1889 年在墨尔本开通。巴西在 1883 年就出现由电池驱动的有轨电车，但直到 1892 年才在里约热内卢开通了第一条架空线供电的有轨电车线路。

1.2 有轨电车的衰退

随着汽车工业的发展，有轨电车开始面临来自小汽车和公共汽车的竞争。在美国，从 20 世纪 20 年代开始，私人小汽车的发展对有轨电车的客流量形成强烈冲击。越来越多的汽车还造成了道路日益拥挤，阻碍了有轨电车的正常运行。老式的有轨电车车辆由于加速度能力低，很难适应在拥挤的混合交通流中运行。另外，轨道养护也需要额外的费用。在这些因素的作用下，越来越多的公交公司开始放弃有轨电车转而运营公共汽车。

在这样的背景下，有轨电车业内也在寻求途径来提升有轨电车的竞争力。一种在当时更加现代化的车型 PCC 被研发出来。这种车型拥有更加良好的加速和制动性能，可以更好地适应拥堵的混合交通流。最早的商业化 PCC 有轨电车应用出现在 1936 年的纽约布鲁克林。到 1952 年，美国和加拿大已经生产了 6000 辆 PCC 有轨电车。但也就从那时起，美国就停止了有轨电车生产，欧洲则继续生产改进的 PCC 有轨电车。

PCC 车辆的出现减缓了公共汽车取代有轨电车的步伐。但有轨电车系统在车辆技术以外的其他方面却基本没有改进。特别是政府不支持有轨电车获得分离的路权，这就导致 PCC 车辆也不能够保证有轨电车成为一种长期的稳定的模式。到了 1960 年，美国只有大约 12 个城市还保留有轨电车系统。甚至对于一些客流量很大的，有轨电车拥有分离路权