

现代有轨电车系列丛书

现代有轨电车 系统规划及运作模式

中车唐山机车车辆有限公司 组编
吴胜权 赫宏联 张建华 黎冬平 等编著



- ◎ 现代有轨电车项目决策参考
- ◎ 现代有轨电车系统解决方案
- ◎ 现代有轨电车工程建设实施指导



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

现代有轨电车系列丛书

现代有轨电车 系统规划及运作模式

中车唐山机车车辆有限公司 组编

吴胜权 赫宏联 张建华
黎冬平 王贵国 苏国亮
徐 军 孙应东 张 艳

编著



机械工业出版社

针对现代有轨电车系统建设的前期决策,依据《投资项目可行性研究指南》,结合国内现代有轨电车系统建设的案例,本书对现代有轨电车系统规划及运作模式进行了详细的介绍。

本书共分为3篇,第1篇现代有轨电车系统规划,重点阐述了现代有轨电车的应用模式、适应性条件、线网规划技术方法、站线规划设计方法、线网规划设计技术程序及现代有轨电车规划一体化;第2篇现代有轨电车可行性分析与决策,从现代有轨电车运营及线路方案、车辆与工程限界、建筑及机电设备工程、项目实施、投融资及财务分析,以及经济评价、社会评价及风险分析,可行性研究支撑性文件及评估等方面,分析了现代有轨电车建设的可行性;第3篇现代有轨电车系统投融资模式,对现代有轨电车BT模式、PPP模式、轨道+物业综合开发模式、资产证券化模式等进行了详细讲解,讨论了如何解决资金来源问题。

本书可供从事现代有轨电车系统建设的前期研究及系统建设的决策人员借鉴与参考,也可作为相关专业高校师生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代有轨电车系统规划及运作模式/吴胜权等编著. —北京:
机械工业出版社, 2018. 1

(现代有轨电车系列丛书)

ISBN 978-7-111-58530-5

I. ①现… II. ①吴… III. ①有轨电车 IV. ①U482. 1

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第320129号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:何月秋 责任编辑:何月秋 李含杨 王彦青

责任校对:李伟 封面设计:马精明

责任印制:张博

三河市国英印务有限公司印刷

2018年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14.25印张·339千字

标准书号:ISBN 978-7-111-58530-5

定价:77.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

“现代有轨电车系列丛书” 编写委员会

主 任 吴胜权
副主任 黄振晖 王贵国
委 员 (排名不分先后, 按拼音排序)
曹 源 常胜利 董伟力 付稳超 杲晓锋
赫宏联 黎冬平 李 虎 刘威伟 孙桐林
王冬卫 王艳荣 王兆家 杨雪峰 臧晓艳
张 华 张建华 张天白 赵 云 周福林

“现代有轨电车系列丛书” 审查委员会

主 任 侯志刚
委 员 周军年 尹叶红 陈 亮 黄烈威 周新远
王文平 郭良金 李 娇 叶 彬 王洪奇
杨 光 甄大伟 张晓海



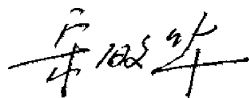
序

当前，我国城镇化进程正在不断推进，随着城市数量和规模的不断扩大，交通拥堵、环境污染及能源短缺等问题也日益突出，大力发展城市轨道交通已成为大多数城市的共识。现代有轨电车作为一种现代化交通方式，已在欧洲成功实现复兴，并逐渐成为当前国内关注的热点，许多城市都开始积极规划和建设有轨电车，天津泰达、上海浦东、沈阳浑南新区和苏州高新区等已相继开通了现代有轨电车系统。

《国务院关于城市优先发展公共交通的指导意见》中明确的总体发展目标是：科学研究确定城市公共交通模式，根据城市实际发展需要合理规划建设以公共汽（电）车为主体的地面公共交通系统，包括快速公共汽车、现代有轨电车等大容量地面公共交通系统，有条件的特大城市、大城市有序推进轨道交通系统建设。有别于传统有轨电车，现代有轨电车在控制、牵引供电和车辆技术上进行了更新，其载客量适中、安全舒适、快速便捷、节能降噪特点更加凸显，是城市轨道交通中低运量的典型制式，适合于大城市城市轨道交通网络的补充，中小城市和新规划城市的城市公共交通的骨干交通。因此，现代有轨电车将在我国迎来更大的发展。

现代有轨电车已被证明是一种成熟、安全的技术，但与所有交通制式一样，现代有轨电车自有其适用范围，过度夸大它的作用和放大它的缺点都不是科学的做法，唯有扎实做好基础工作才能保障现代有轨电车的持续健康发展。但我国现代有轨电车的相关工作还比较薄弱，存在着缺少建设实施标准、缺乏规划建设统筹和功能定位界定不清等问题，迫切需要更多的研究来推动相应产业和技术的发展。

本系列丛书是对2016年出版的《城市现代有轨电车工程基础》的进一步完善，更加深入地介绍了现代有轨电车工程的理论体系，包括前期规划设计、商务合作模式、建设施工、通信信号工程、机电工程、车辆制造和运营管理等内容。书中内容更加翔实，对人们全面系统地了解现代有轨电车系统及其配套工程具有较高的参考价值。



中国城市轨道交通协会副会长兼秘书长
中国城市轨道交通协会现代有轨电车分会会长



前 言

随着人口增长和城市化进程的加快，交通拥挤、环境污染等“城市病”已成为制约城市进一步发展的瓶颈。世界各国经验表明，发展大容量轨道交通是解决城市交通问题的重要方向。20世纪七八十年代以来，有轨电车新技术取得了突破性进展，有轨电车在世界范围内掀起了复兴建设的热潮，成为重要的轨道交通制式之一，也实现了从传统有轨电车向现代有轨电车的转变。我国城市轨道交通正处于大规模快速发展时期，这从根本上为现代有轨电车的发展提供了长效需求。《国民经济和社会发展的第十三个五年规划纲要》指出：“实行公共交通优先，加快发展城市轨道交通、快速公交等大容量公共交通，鼓励绿色出行。”《国家新型城镇化规划》（2014—2020年）提出：优先发展城市公共交通，积极发展快速公共汽车、现代有轨电车等大容量地面公共交通系统，科学有序推进城市轨道交通建设。

从相关国家政策可以读出两个方面的信息：一是从国家政策层面已经意识到城市轨道交通应该多模式、多层次发展，不能仅仅追求高大上，应根据城市的财力、物力等情况，以及轨道交通的适用性来综合考虑，量力而行；二是不管从国家城镇发展还是国家经济发展都提出要优先发展公共交通。而现代有轨电车作为城市大容量公共交通系统的一部分，发展前景很广阔。现代有轨电车提供了一种使用灵活、运量适中，服务品质高、运营成本低的城市轨道交通系统，能够有效填补大运量系统和普通公交之间的空白。现代有轨电车能够改善道路交通结构，提升骨干城市公交系统的服务品质，有力促进城市绿色出行、公交优先理念的推广和实现。此外，现代有轨电车也是旧城改造、有效引领新城发展、引导区域一体化发展及吸引产业投资的重要手段。

总体而言，现代有轨电车系统工程尚处于初步阶段：一方面，现代有轨电车建设是一个复杂的系统工程；另一方面，现代有轨电车刚刚兴起，目前国内缺少相关建设实施标准，虽然大多数城市跃跃欲试，却又缺少前章可循，存在规划建设缺乏统筹、功能定位界定不清等问题。

根据目前国内现代有轨电车的发展形势，本书作为“现代有轨电车系列丛书”的分册，针对现代有轨电车系统建设的前期决策，依据国家发展和改革委员会委托中国国际工程咨询公司组织编写并出版的《投资项目可行性研究指南》，以及国内数个现代有轨电车系统建设的前期研究案例，对现代有轨电车系统建设的前期研究进行了系统总结。本书可为现代有轨电车系统建设的前期研究及系统建设的决策人员提供借鉴与参考。

本书共分三篇，由吴胜权牵头，赫宏联、张建华、黎冬平、王贵国、苏国亮、徐军、孙应东、张艳协助编著。第1篇从现代有轨电车系统规划的角度，重点阐述了系统特点及如何分析系统建设的必要性（由张建华、赫宏联、王贵国编写）；第2篇从客流需求、工程技术选择、财务效益、社会效益、工程及社会风险等方面分析现代有轨电车建设的可行性

(由赫宏联、张建华、王贵国、黎冬平、孙应东编写);第3篇对融资方案进行深化,研究了传统和新型的投融资模式,讨论了如何解决资金来源问题(由苏国亮、王贵国、徐军、张艳编写)。本书参考总结了国内数个现代有轨电车建设研究的案例,对现代有轨电车系统建设前期研究的科学性、规范化具有一定的意义。

在编写本书时参考了国内外发表的部分文章、资料和书籍,编者在此对有关作者表示诚挚的谢意。同时,对所有给予本书指导、支持和帮助的同志们表示感谢!

由于编者水平所限,遗漏、不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者



目 录

序
前言

第 1 篇 现代有轨电车系统规划

第 1 章	现代有轨电车的特征及系统技术特征	2
1.1	现代有轨电车的特征	2
1.2	现代有轨电车系统的技术特征	2
第 2 章	现代有轨电车的应用模式	4
2.1	骨干型	4
2.2	补充型	5
2.3	特色型	5
第 3 章	现代有轨电车的适应性条件	6
3.1	城市规模	6
3.2	交通需求	7
3.3	线路长度	7
第 4 章	现代有轨电车线网规划设计方法	8
4.1	规划设计原则	8
4.2	线网布局方法	10
第 5 章	现代有轨电车站线规划设计方法	13
5.1	线路的规划设计	13
5.2	车站的规划设计	18
5.3	车辆基地的规划设计	19
5.4	车辆基地的建设模式	20
第 6 章	线网规划设计技术程序	22
第 7 章	现代有轨电车规划一体化	24
7.1	交通系统与土地使用的一体化	24
7.2	交通方式间的一体化	25
7.3	交通枢纽的一体化	26
7.4	交通运营管理的一体化	28

7.5 现代有轨电车线网规划实施关键 28

第2篇 现代有轨电车可行性分析与决策

第8章	现代有轨电车可行性分析概论	32
8.1	可行性研究	32
8.2	主要设计原则与标准	35
第9章	现代有轨电车运营及线路方案	45
9.1	客流量预测	45
9.2	运营方案	52
9.3	线路方案	58
第10章	现代有轨电车车辆及工程限界	60
10.1	车辆选型原则	60
10.2	现代有轨电车的分类	61
10.3	车辆型式的比较	61
10.4	车辆供电制式的选择	62
10.5	工程限界	64
第11章	建筑及机电设备工程	66
11.1	建筑工程方案	66
11.2	机电设备工程	89
第12章	节能、环境影响评价与安全	107
12.1	节能	107
12.2	环境影响评价	111
12.3	安全与消防	114
第13章	现代有轨电车项目实施	119
13.1	组织机构的设置	119
13.2	机构适应性评价	119
13.3	人力资源的配置	120
13.4	项目实施进度	120
第14章	投融资及财务分析	125
14.1	投资估算	125
14.2	融资方案	130
14.3	财务评价	132
第15章	经济评价、社会评价及风险分析	137
15.1	经济评价与社会评价	137
15.2	风险分析	143
第16章	可行性研究支撑性文件及评估	147
16.1	现代有轨电车可行性研究支撑性文件	147

16.2 现代有轨电车可行性研究评估	153
--------------------------	-----

第3篇 现代有轨电车系统投融资模式

第17章 现代有轨电车 BT 模式	159
17.1 BT 模式的概念	159
17.2 BT 模式的主要类型	159
17.3 BT 项目的运作与实施	161
17.4 BT 项目的投资分析	162
17.5 现代有轨电车 BT 模式案例分析	171
第18章 现代有轨电车 PPP 模式	173
18.1 PPP 模式的定义及种类	173
18.2 PPP 项目的操作流程	174
18.3 现代有轨电车 PPP 项目可行性缺口补助机制	182
18.4 现代有轨电车 PPP 项目风险管理	186
18.5 现代有轨电车 PPP 模式案例分析	188
第19章 轨道 + 物业综合开发模式的研究与实践	193
19.1 轨道 + 物业综合开发模式的概念	193
19.2 轨道 + 物业综合开发模式的经济内涵	193
19.3 轨道 + 物业综合开发模式的操作流程	194
19.4 香港地铁轨道 + 物业模式	197
第20章 现代有轨电车资产证券化模式	200
20.1 资产证券化的概念	200
20.2 ABS 模式在现代有轨电车项目融资中应用的可行性	200
20.3 ABS 融资模式在现代有轨电车项目融资中的运作机制	201
20.4 PPP 项目 ABS	203
20.5 南京麒麟现代有轨电车项目 ABS 融资的应用分析	209
第21章 现代有轨电车 PPP 项目产业投资基金模式	211
21.1 产业投资基金概述	211
21.2 PPP 产业投资基金的概念	213
21.3 PPP 模式下的产业投资基金运作方式	214
参考文献	217

第 1 篇

现代有轨电车系统规划



第 1 章

现代有轨电车的特征及系统技术特征

1.1 现代有轨电车的特征

在本书中，现代有轨电车的定义为：采用低地板模块化的轨道车辆，通过轨道承重和导向，主要铺设在地面，依靠司机瞭望行驶，按公交化模式组织运营的城市公共客运系统。

该定义突出了现代有轨电车的以下三个特征：

1) 现代有轨电车仍属于轨道交通系统。现代有轨电车采用轨道车辆，具有轨道交通系统所具有的较大容量、节能环保等特点，通过轨道导向，具有固定行驶轨迹等特点。同时，现代有轨电车要求采用低地板模块化的车辆，这与地铁/轻轨等高地板车辆，以及传统有轨电车都具有显著差异性。相对于传统有轨电车，车辆性能有所改变，提高了速度和载客容量，降低了地板高度，增强了舒适性。

2) 现代有轨电车的轨道主要铺设在地面，这必然会要求与道路交通之间存在较多的混合行驶状况，对于路权的要求将成为现代有轨电车运行特征的重要基础。在车辆能够承载较大容量后，现代有轨电车要争取专用车道，这是保障运行速度和可靠性的重要基础。同时，采用路口优先，通过设置交叉口信号优先，甚至采用局部立交的形式，这些使得现代有轨电车能够开始发挥中运量的公交特征。

3) 现代有轨电车是依靠驾驶员驾驶、能够公交化运营的系统。这是区别于地铁和轻轨等专用路权下大容量轨道交通的重要特征之一。一方面，这使得现代有轨电车的投资和运营成本降低，同时也使得现代有轨电车的运营速度不可能很快；另一方面，现代有轨电车最好能够网络化运营，发挥公交化运营优势，这将很好地降低建设运营成本。

1.2 现代有轨电车系统的技术特征

现代有轨电车系统的技术特征，总体上表现为以下几个方面。

1) 节能环保。现代有轨电车采用电力牵引，不产生燃烧废气，零排放、低污染，符合当前节能减排、生态城市的建设需求；人均耗能约为 0.07kW/座席乘客，仅相当于公交车的 1/4；噪声较汽车低 5~10dB(A)，是一种节约能源的清洁交通工具。

2) 中等运能。当前对于现代有轨电车系统的合理运能，大家的认识也相差较大，但总体上是认为介于地铁、轻轨和常规公交之间的系统。从国内外的经验来看，现代有轨电车的

高峰单向断面合理运能在0.6万~1.5万人/h，是一种中等运能的公交系统。

3) 舒适人性化。现代有轨电车一般使用100%低地板车辆，地板高出轨道面约30cm，婴儿车、残疾车可以自由乘降；现代有轨电车在固定轨道上运行，当采用较长车辆增大运能时，仍能保证较好的运营稳定和乘坐舒适性，是一种舒适人性化的交通工具。

4) 环境适应性强。主要体现在现代有轨电车采用流畅美观的车辆造型，配以一体化触网、支柱、照明与网格状草坪设计，能够与旅游、文化保护等景点具有更好适应性；现代有轨电车转弯半径小，最小为10.5m，能够很好地在道路上铺设；同时，现代有轨电车的轨道制式使交通形象更为突出，具有更强的交通引导性。

5) 建设灵活度高。现代有轨电车系统的投资相当于地铁的1/6~1/4，是具有较为合理的运量投资比；同时，其建设形式相对灵活，能够与道路交通在道路上混行，建设周期较短，建设时间为2~3年。

第 2 章

现代有轨电车的应用模式

从国内对于现代有轨电车的需求来看，除了已经建成和正在建设的几条现代有轨电车线路外，很多城市正在开展现代有轨电车的前期研究。从国内的应用情况来看，其应用模式可以分为骨干型、补充型和特色型三种。

2.1 骨干型

骨干型是指将现代有轨电车作为特大城市新城内部或中小城市的骨干公交系统。

1. 特大城市新城内部骨干公交系统

在特大城市郊区新城，快速轨道交通线路的客流覆盖不强，同时在选择快速轨道交通线路时，往往是从建设的条件和引导开发功能考虑，如上海的轨道交通 9 号线、11 号线北段都是在位于松江或嘉定新城区的边缘，未贯通新城中心或老城区中心。因此，对于郊区城区，快速轨道交通线路主要是承担新城区对外的客流功能；而在新城区内部，可采用现代有轨电车作为新城区内部的骨干公交系统。

该应用模式需要注意以下几点：

- 1) 至少有一条现代有轨电车线路与快速轨道交通车站衔接，并强调与快速轨道交通车站之间良好的换乘功能，从而形成新城内、外的一体化公交网络体系。
- 2) 新城内部要形成现代有轨电车网络，发挥现代有轨电车的网络效益，同时线路长度和布设要基本符合客流的出行特征。
- 3) 现代有轨电车线路要衔接新城地区中心区以及原郊区老城区，起到客流服务功能。
- 4) 要注重现代有轨电车与常规公交、非机动车等交通方式之间的衔接。

2. 中小城市骨干交通系统

对于人口在 50 万 ~ 100 万的中等规模的城市，现代有轨电车系统作为城市公共交通的骨架，也可以形成网络，由常规公交车提供补充。这种情况在欧洲城市比较常见，如法国的波尔多，有三条有轨电车的骨干线，线路总长 43.9km。

该应用模式需主要注意以下几点：

- 1) 发挥现代有轨电车的网络规模效益。线路应形成网络，各条线路之间能够方便地换乘。
- 2) 保障现代有轨电车的技术特征优势。在运能和速度上能够体现主骨干公交系统的优势，尤其是作为主骨干系统，需要布设进入城市老城区等建设约束条件较多的区域，可以考

考虑采用部分高架或地下等工程措施，提高现代有轨电车的适应性。

3) 适度控制好现代有轨电车的线网规模。作为中等规模城市，应充分考虑到建设投资与客流需求之间的关系，从实际财政支撑和主骨干定位出发，应优先考虑提升主要骨干走廊的客运能力，而对于客流覆盖面，采用公共汽车等方式来满足。

4) 处理好现代有轨电车线路交叉点。现代有轨电车的线路交叉点是多条现代有轨电车线路交汇的地方，尤其是十字交叉位置，往往是客流需求规模较大的点，当采取地面铺设时，现代有轨电车的运营直接受交叉口影响，可以考虑采用局部分离的方式来提升节点通过能力。

5) 加强常规公交与现代有轨电车之间的换乘。根据现代有轨电车线路沿线站点周边用地及交通组织条件等，形成与公交的换乘枢纽，集聚客流。

2.2 补充型

补充型指将现代有轨电车作为轨道交通客流的补充线路。

一方面，部分城市轨道交通网络在城市公交出行中承担了越来越重要的作用，但同时高客流也给轨道交通带来了压力，尤其是在早晚高峰时段；另一方面，尽管中心城区轨道交通线网密度已经较高，仍有多条通道存在多条公交走廊，要再加密轨道交通线路难度较大，可以采用现代有轨电车系统，在中心城区作为轨道交通系统的骨干补充功能。

该应用模式需要注意以下几点：

1) 现代有轨电车线路的布设和长度要与乘客的出行方向和起讫点基本一致，这样才能较好地发挥公交客运功能。

2) 作为骨干补充功能，要加强与常规公交的换乘衔接。

3) 要尽量与补充的轨道交通线路之间有衔接，以方便乘客的选择，同时在发生线路运行故障时能用另一条线路疏散。

2.3 特色型

特色型指将现代有轨电车作为旅游或特色区域公交线路。

现代有轨电车具有节能环保、形象突出、舒适性好等特点，在一些旅游景点，或者大型的活动场馆，可以采用现代有轨电车作为客流集散工具，并使其融入景点，作为整个环境的交通线和风景线。

该应用模式需要注意以下几点：

1) 这种模式下重要的是体现现代有轨电车的形象特征和客流服务，因此对于运营速度并不非常强调，可以考虑采用混合路权等不同的形式，提高现代有轨电车的适用范围。

2) 充分利用现代有轨电车建设的灵活性，结合景观要求，在铺设方式和断面布置上，采用多样化的布置形式，加强现代有轨电车系统与周边环境的融合设计。

3) 对于现代有轨电车线路的长度和铺设方式，可以根据实际情况来确定，可以采用单线铺设，也可以在步行街上铺设与行人共享街道等方式。

第 3 章

现代有轨电车的适应性条件

3.1 城市规模

梳理分析国内相关城市现代有轨电车规划案例，从这些应用情况来分析现代有轨电车规划建设城市规模条件。

1. 现状常住人口规模为 50 万 ~ 150 万人

根据研究，现代有轨电车有较为实质性线网规划阶段的城市现状常住人口规模为 50 万 ~ 150 万人的有两种情况：

1) 整个城市的范围，如泰州、湖州、台州、淮安等地。在这种情况下，现代有轨电车线网规划研究的范围包括整个城市，这些城市的现代有轨电车线网方案都是整体性的。

2) 城市某个地区的范围，如上海松江、苏州高新区、武汉大汉阳等地区。在这种情况下，现代有轨电车的线网规划研究的范围是在该区域，一般与外部区域之间的联系相对较弱。

2. 规划常住人口规模基本超过 100 万人

各城市或地区规划常住人口规模基本超过 100 万，部分超过 300 万人。从规划的发展趋势来看，总体是在 100 万 ~ 200 万人。

分析其原因有以下两点：

1) 作为城市来说，对于现状人口在 100 万人左右的、部分达到 150 万人的城市，近期内要发展快速轨道交通的难度比较大，本身的客流需求难以支撑发展快速轨道交通，转而寻求建设现代有轨电车。同样地，对于这些城市，在总体规划确定人口规模时，远期的发展规模一般在 200 万人左右，两者之间形成了相互支撑的关系。

2) 作为城市的地区来说，作为地区研究现代有轨电车的城市一般都已建设有轨道交通系统，如上海的松江、奉贤南桥、苏州高新区等，这些地区的人口规模主要控制在 100 万 ~ 200 万人。其中的主要原因是：一方面，随着轨道交通的建设和运营，轨道交通实际客流与预期效益、建设与运营成本的切身认识更为直接，一些外围地区发展时，开始转向投资较为经济的现代有轨电车；另一方面，规划人口规模不大是基础，如果人口规模较大，会规划建设轨道交通系统，而不是单独采用现代有轨电车。

3. 与城市经济规模相关性不显著

从各城市的 GDP 和人均 GDP 的分布来看，差异很大，这也说明在某种程度上，对于不