



# 现代有轨电车 车辆设备与驾驶

苏高新现代有轨电车培训学院组织编写

李晓村 韩建良 主编  
沈明生 赵小文 主审



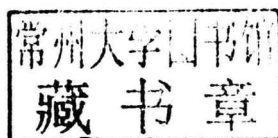
机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



现代有轨电车运营岗位系列培训教材

# 现代有轨电车 车辆设备与驾驶

主 编 李晓村 韩建良  
副主编 许广鹏 仲晓晨 姚汝龙  
参 编 耿幸福 王学忠 龚伟申 崔建荣 程 红  
        白安富 关和宁 张 攀 姚 震  
主 审 沈明生 赵小文



机械工业出版社

本书分上、下两篇,共十二章。上篇为“现代有轨电车车辆设备”,主要内容包括车辆总体介绍、牵引控制及网络、制动系统、辅助系统、车内环境控制设备、行车相关设施;下篇为“现代有轨电车司机工作实务”,主要介绍有轨电车的操作及驾驶、有轨电车故障处理、乘客服务、交通安全法律法规、突发事件应急处置、司机作业程序 and 标准。

本书可作为有轨电车企业职工培训教材及技术人员和生产人员的自学参考书,也可作为各大专院校相关专业的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代有轨电车车辆设备与驾驶/李晓村,韩建良主编. —北京:  
机械工业出版社, 2016. 5

现代有轨电车运营岗位系列培训教材

ISBN 978-7-111-53438-9

I. ①现… II. ①李… ②韩… III. ①有轨电车—设备管理—  
岗位培训—教材 ②有轨电车—驾驶术—岗位培训—教材  
IV. ①U482.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 067422 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: 曹新宇

责任编辑: 曹新宇

责任校对: 肖琳 陈延翔 封面设计: 鞠杨

责任印制: 李洋

涿州市京南印刷厂印刷

2016 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15 印张·370 千字

0001—1200 册

标准书号: ISBN 978-7-111-53438-9

定价: 39.80 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: 010-88379833

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面防伪标均为盗版

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)



# 前 言

《国务院关于城市优先发展公共交通的指导意见》（国发〔2012〕64号）指出：“优先发展公共交通是缓解交通拥堵、转变城市交通发展方式、提升人民群众生活品质、提高政府基本公共服务水平的必然要求，是构建资源节约型、环境友好型社会的战略选择”。近年来，我国城市公共交通得到快速发展，特别是现代有轨电车系统以其集约高效、节能环保的优点，越来越受到人们的重视。目前国内已有110多个城市已经规划，20多个城市正在建设现代有轨电车工程，其中部分城市如南京、苏州、沈阳、广州等已建成通车。

随着现代有轨电车在国内的蓬勃发展和新增线路的不断开通，与有轨电车相关的各类技能型人才需求量极大。司机是现代有轨电车运营企业重要的一线操作岗位，其能力和素质直接关系到行车安全、运行准点和乘坐舒适度。为满足有轨电车企业培训电车司机的需要，我们组织编写了本书。

本书由苏州高新有轨电车有限公司与苏州大学城市轨道交通学院联合编写，分上、下两篇共十二章，上篇为“现代有轨电车车辆设备”，下篇为“现代有轨电车司机工作实务”。本书由苏州大学城市轨道交通学院李晓村与苏州高新有轨电车有限公司韩建良任主编，许广鹏、仲晓晨、姚汝龙任副主编，参加编写的还有耿幸福、王学忠、龚伟申、崔建荣、程红、白安富、关和宁、张攀、姚震。本书由苏州高新有轨电车有限公司沈明生、南车镇庞巴迪运输系统有限公司赵小文任主审。

编写本书的过程中参阅了专业书籍及报刊杂志的专业文章，也引用了一些技术资料，在此对相关单位和作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中不足甚至错漏之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编 者



# 目 录

## 前言

|                      |    |
|----------------------|----|
| 绪论                   | 1  |
| 一、有轨电车的发展            | 1  |
| 二、现代有轨电车的技术特征        | 3  |
| 三、现代有轨电车的分类          | 4  |
| 四、轻轨、现代有轨电车及 BRT 的比较 | 6  |
| 五、现代有轨电车的适用条件        | 7  |
| 六、现代有轨电车的应用模式及适用地区   | 9  |
| 七、欧洲有轨电车的发展经验        | 10 |
| 八、苏州高新区有轨电车          | 11 |

## 上篇 现代有轨电车车辆设备

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第一章 车辆总体介绍           | 18 |
| 第一节 车辆的组成及作用         | 18 |
| 一、车体系统               | 18 |
| 二、转向架系统              | 19 |
| 三、内饰和外饰系统            | 19 |
| 四、牵引电制动系统            | 19 |
| 五、辅助电源系统             | 19 |
| 六、TCMS 系统（列车控制和管理系统） | 19 |
| 七、PIS 系统（车载乘客信息系统）   | 19 |
| 八、车门系统               | 19 |
| 九、空调系统               | 20 |
| 十、液压制动系统             | 20 |
| 十一、车端连接系统            | 20 |
| 第二节 主要技术参数           | 20 |
| 一、车辆载客量              | 20 |
| 二、车辆主要结构参数           | 20 |

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| 三、车辆重量 .....                   | 21        |
| 四、线路特性 .....                   | 21        |
| 五、供电参数 .....                   | 22        |
| 六、车辆牵引性能 .....                 | 23        |
| 七、车辆制动性能 .....                 | 23        |
| 八、车辆故障运营及救援能力 .....            | 23        |
| 九、空调与通风 .....                  | 24        |
| <b>第二章 牵引控制及网络 .....</b>       | <b>25</b> |
| <b>第一节 有轨电车牵引系统 .....</b>      | <b>25</b> |
| 一、牵引系统概述 .....                 | 25        |
| 二、牵引系统基础知识 .....               | 26        |
| 三、牵引系统的控制模式 .....              | 41        |
| <b>第二节 有轨电车网络控制系统 .....</b>    | <b>43</b> |
| 一、车辆网络控制系统的基本功能 .....          | 43        |
| 二、TCMS 的构成 .....               | 43        |
| 三、TCMS 的功能 .....               | 51        |
| <b>第三章 制动系统 .....</b>          | <b>60</b> |
| <b>第一节 制动的基本概念及原理 .....</b>    | <b>60</b> |
| 一、制动的基本概念 .....                | 60        |
| 二、现代有轨电车车辆的制动方式 .....          | 60        |
| <b>第二节 有轨电车制动系统概述 .....</b>    | <b>62</b> |
| 一、主要制动性能 .....                 | 62        |
| 二、制动设备的布置 .....                | 63        |
| 三、制动类型概述 .....                 | 64        |
| <b>第三节 有轨电车液压制动系统的组成 .....</b> | <b>65</b> |
| 一、概述 .....                     | 65        |
| 二、系统的设备配置 .....                | 66        |
| <b>第四节 制动系统电气控制 .....</b>      | <b>71</b> |
| 一、制动控制 .....                   | 71        |
| 二、制动系统监控 .....                 | 74        |
| 三、故障说明 .....                   | 76        |
| <b>第四章 辅助系统 .....</b>          | <b>79</b> |
| 一、列车辅助供电系统 .....               | 79        |
| 二、撒砂系统 .....                   | 83        |
| 三、轮缘润滑系统 .....                 | 85        |
| <b>第五章 车内环境控制设备 .....</b>      | <b>86</b> |
| <b>第一节 空调装置 .....</b>          | <b>86</b> |
| 一、概述 .....                     | 86        |
| 二、客室单元式空调机组的结构与工作原理 .....      | 87        |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 三、客室通风系统的构成 .....     | 91  |
| 四、司机室空调机组 .....       | 93  |
| 五、客室净化装置 .....        | 94  |
| 六、空调装置的操作与运行 .....    | 94  |
| 第二节 车辆照明控制系统 .....    | 95  |
| 一、车辆外部照明控制系统 .....    | 95  |
| 二、车辆内部照明控制系统 .....    | 99  |
| 第三节 广播系统和乘客信息系统 ..... | 101 |
| 一、系统功能概述 .....        | 101 |
| 二、系统配置 .....          | 102 |
| 三、系统功能描述 .....        | 103 |
| 四、接口 .....            | 112 |
| 第六章 行车相关设施 .....      | 114 |
| 第一节 线路基础知识 .....      | 114 |
| 一、有轨电车线路设计基础 .....    | 114 |
| 二、有轨电车线路结构 .....      | 118 |
| 三、曲线轨道外轨超高及道口 .....   | 122 |
| 第二节 接触网的基本知识 .....    | 122 |
| 一、接触网概述 .....         | 122 |
| 二、接触网的组成 .....        | 123 |
| 第三节 信号系统 .....        | 124 |
| 一、信号系统概述 .....        | 124 |
| 二、信号系统设备 .....        | 139 |
| 三、行车标志 .....          | 143 |
| 第四节 车辆段 .....         | 144 |
| 一、车辆段的概念 .....        | 144 |
| 二、车辆段的功能、设施与规模 .....  | 145 |

## 下篇 现代有轨电车司机工作实务

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第七章 有轨电车的操作及驾驶 .....     | 148 |
| 第一节 有轨电车驾驶相关设备说明 .....   | 148 |
| 一、司机室设备 .....            | 148 |
| 二、列车控制功能的实现 .....        | 151 |
| 三、车门控制 .....             | 155 |
| 第二节 出库检车作业 .....         | 157 |
| 一、车辆内、外部静态检查 .....       | 158 |
| 二、控制系统的激活及功能测试 .....     | 158 |
| 第三节 有轨电车牵引、制动及其他操作 ..... | 162 |
| 一、牵引/制动基本操作 .....        | 162 |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 二、站台对标停车操作·····              | 163        |
| 三、换端操作·····                  | 164        |
| 四、入库后停放操作·····               | 164        |
| <b>第八章 有轨电车故障处理·····</b>     | <b>166</b> |
| 一、车辆故障的原因分析·····             | 166        |
| 二、故障处理的思路 and 技巧·····        | 167        |
| 三、有轨电车故障应急处理指南·····          | 169        |
| <b>第九章 乘客服务·····</b>         | <b>177</b> |
| <b>第一节 驾乘人员素质要求·····</b>     | <b>177</b> |
| 一、身体素质要求·····                | 177        |
| 二、心理素质要求·····                | 179        |
| 三、道德修养要求·····                | 179        |
| <b>第二节 驾乘人员考试标准·····</b>     | <b>180</b> |
| 一、考试内容和标准·····               | 181        |
| 二、考试要求·····                  | 184        |
| <b>第三节 服务理念·····</b>         | <b>184</b> |
| 一、端正思想服务乘客·····              | 184        |
| 二、客运人员服务基本要求·····            | 185        |
| 三、讲究服务艺术, 提高服务技巧·····        | 186        |
| <b>第四节 司机服务要求及作业标准·····</b>  | <b>187</b> |
| 一、有轨电车司机服务要求·····            | 187        |
| 二、司机作业标准·····                | 188        |
| <b>第十章 交通安全法律法规·····</b>     | <b>193</b> |
| <b>第一节 道路交通信号·····</b>       | <b>193</b> |
| 一、交通信号灯·····                 | 193        |
| 二、道路交通标志和标线·····             | 194        |
| 三、交通警察手势信号·····              | 197        |
| <b>第二节 道路交通安全·····</b>       | <b>198</b> |
| 一、道路交通安全基本规定·····            | 198        |
| 二、机动车通行规定·····               | 198        |
| <b>第三节 交通事故处理规定·····</b>     | <b>199</b> |
| 一、报警和受理·····                 | 199        |
| 二、道路交通事故处理·····              | 200        |
| 三、自行协商与简易处理·····             | 201        |
| <b>第四节 常见交通违法行为及其处罚·····</b> | <b>202</b> |
| 一、记分·····                    | 202        |
| 二、处罚·····                    | 203        |
| 三、审验·····                    | 204        |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>第十一章 突发事件应急处置</b> .....       | 205 |
| <b>第一节 突发事件分类分级及应急处置原则</b> ..... | 205 |
| 一、突发事件简介 .....                   | 205 |
| 二、苏州有轨电车突发事件分类 .....             | 206 |
| 三、有轨电车突发事件应急处置原则 .....           | 206 |
| 四、有轨电车司机遇到突发事件时应遵循的原则 .....      | 207 |
| 五、突发事件应急信息报告原则 .....             | 207 |
| 六、突发事件信息报告内容 .....               | 207 |
| <b>第二节 突发事件应急处置要点</b> .....      | 207 |
| 一、自然灾害类事件处置 .....                | 208 |
| 二、事故灾害类事件处置 .....                | 208 |
| 三、社会安全类事件处置要点 .....              | 210 |
| 四、道路交通事故 .....                   | 210 |
| <b>第三节 伤员救护及常见危险化学品知识</b> .....  | 211 |
| 一、现场急救的原则 .....                  | 211 |
| 二、事故现场伤员情况判断 .....               | 212 |
| 三、伤员自救、急救知识 .....                | 213 |
| 四、事故现场伤员的运送 .....                | 213 |
| 五、常见危险化学品知识 .....                | 215 |
| <b>第四节 事故案例分析</b> .....          | 217 |
| 一、公共交通类事故 .....                  | 217 |
| 二、自然灾害类事故 .....                  | 217 |
| 三、列车冲突类事故 .....                  | 217 |
| 四、列车挤岔事故 .....                   | 219 |
| 五、列车故障救援 .....                   | 219 |
| <b>第十二章 司机作业程序和标准</b> .....      | 220 |
| 一、有轨电车司机的基本要求 .....              | 220 |
| 二、有轨电车司机安全作业标准 .....             | 220 |
| 三、有轨电车司机安全作业程序 .....             | 221 |
| <b>参考文献</b> .....                | 231 |



# 绪 论

有轨电车是采用电力驱动并在轨道上行驶的轻型轨道交通车辆。它一般作为公共交通工具，也称路面电车或简称电车，属轻铁的一种（以电力推动的列车，也称为电车）。

## 一、有轨电车的发展

### 1. 有轨电车发展的三个阶段

世界城市有轨电车的发展经历了三个阶段：

(1) 第一阶段 从 19 世纪 80 年代到 20 世纪 30 年代，为快速发展阶段。

自从 1881 年第一辆城市有轨电车在德国诞生以来，这种以轨道作为车辆导向的大运量客运交通工具迅速得到发展。在 20 世纪 20 年代，仅美国的有轨电车线总长就达 25000km。在我国，西门子公司于 1899 年在北京修建了第一条有轨电车。此后，香港、天津、上海和大连分别在 1904、1906、1908 和 1909 年修建了有轨电车。因此，我国城市轨道交通系统的产生，是从有轨电车开始的。到了 20 世纪 30 年代，欧洲、日本、印度和我国的有轨电车有了很大的发展，成为当时城市公共交通的主要交通工具。

(2) 第二阶段 从 20 世纪 40 年代到 20 世纪 60 年代，为衰落阶段。

不久，随着汽车工业的迅速发展，有轨电车的地位发生了变化。西方国家私人小汽车数量急剧增长，大量的汽车涌上街头，机动性更好的公共汽车越来越普遍。由于受当时技术条件的限制，旧式有轨电车行驶在道路中间，与其他车辆混合运行，又受路口红绿灯控制，运行速度很慢，正点率低，而且噪声大，加减速性能较差，因此逐渐被无轨公交车辆所替代。20 世纪 50 年代开始，世界各国大城市都纷纷拆除有轨电车线路。到 20 世纪 60 年代末，我国各大城市的有轨电车线路基本拆完，仅剩下大连、长春个别线路没有拆除，并一直保留至今。

(3) 第三阶段 从 20 世纪 70 年代至今，为重新定位、恢复发展阶段。

20 世纪 60、70 年代，由于汽车数量的过度增加，使城市交通又出现了新问题，造成交通堵塞，行车速度下降，空气污染和噪声严重，成了现代城市发展面临的主要问题。为解决以上问题，世界各大城市开始大力发展地下铁道。但是地下铁道投资昂贵、建设周期长，给城市公共交通发展带来了新的问题。西方一些经济发达国家，在人口密集的城市，为满足城市公共交通客运量日益增长的需要，并结合城市不同区域运量区别，除考虑修建地下铁道外，又重新把注意力转移到地面轨道交通方式上来。认为城市轨道交通的发展应根据城市特

征和运量,采取具有不同运能、不同成本的轨道交通模式。着手在改造旧式有轨电车的基础上,利用现代技术,改造和发展有轨电车系统,开发出低噪声、低振动、省能源、能高速行驶的高性能有轨电车,并考虑与城市的整体环境相协调,出现了现代有轨电车系统。

到20世纪80年代,国际上一些大城市已相继建成了现代化技术很高的现代有轨电车系统。例如,法国的南特市,城市人口约45万,1984年建成一条自东向西穿过市区的现代有轨电车线路,也是法国首次建成的第一条现代有轨电车系统,平均旅行速度可达24km/h;美国的萨克拉门托市,市区人口约92万,1987年3月建成一条穿越市中心的现代有轨电车线路,全长29.4km;我国香港地区为了配合新界西部的经济发展,修建了屯门至元朗的现代有轨电车线路,于1988年9月正式投入运营,线路全长23km,平均旅行速度可达25km/h。

现代有轨电车的特点是运行速度较高,制动及加减速性好,低噪声、低振动,对周围环境影响也小;同时,由于车辆技术的改善,舒适度也得到了加强;不论是从既有的有轨电车发展而来还是新建线路,与建设地下铁道相比,其造价均较低廉。所以,近年来许多城市又纷纷把注意力投回到现代有轨电车系统上来,利用现代高科技开发了新一代噪声低、速度快,走行部转弯灵活,乘客上下方便,甚至照顾到老人和残疾人的低地板新型有轨电车;在线路结构上,也采用了降噪声技术措施。在速度要求较高的线路上,采用专用车道,于繁忙道路交叉处进入半地下或高架,与其他车辆互不影响;对速度要求不高的线路,可与道路平齐,与汽车混合运行。

随着近年来环境和能源问题的不断突出,在西方发达国家城市兴起了恢复和建设有轨电车的高潮,目前仅法国就有10多个城市拥有轨电车,有20多个城市的线路正在建设之中,建设里程和规模已远远超过地铁,而且发展趋势丝毫不减。在欧洲的大中城市中,有轨电车已成为了城市中非常普及的公共交通工具。

近几年,我国现代有轨电车迅速发展,全国已有超过100个城市规划建设有轨电车。截至2014年底,包括苏州在内的7个城市有轨电车的运营总里程达到134km。2015年,广州、青岛、淮安、珠海等城市将相继开通运营有轨电车,新增运营线路里程达133.43km,新增开工线路里程达241.39km。到2020年,全国计划建设的有轨电车线路总里程将达到2000km,现代有轨电车前景十分广阔。

## 2. 现代有轨电车的运用趋势

伴随着经济的快速发展和城市化、机动化的进程,国内大多数城市的空间布局由单中心向多中心转变。在国内大中城市中,新城区、开发区的建设成为未来城市的发展趋势,这有利于现代有轨电车在城市中的运用。

1) 在优先发展公共交通的背景下,现代有轨电车灵活多变的特点能很好地适应连接新、旧城之间以及新区内部的优质、高效的公共交通系统的服务需求。

2) 城市交通堵塞和环境污染日益严重,考虑到城市交通投资的约束,现代有轨电车能与其他轨道交通相互协调,共同承担城市的交通需求,以提高公共交通的服务竞争力,提高城市生活质量。

3) 在道路资源充分、施工条件良好的新城区,应尽量实现现代有轨电车路权专用,以提高运行速度和断面运能,实现快速、大容量的运输目标。

4) 具有打造城市形象的能力,将城市中等强度客运走廊与城市形象展示带结合起来,

实现城市旅游功能与交通功能的统一。

## 二、现代有轨电车的技术特征

随着科学技术的不断发展,有轨电车在车辆性能、舒适性、环保要求和外观等方面都发生了根本性的改进。

### 1. 车辆性能优良

现代化的有轨电车车辆早已今非昔比,它从牵引系统、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。采用了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% 低地板和 100% 低地板结构,目前最低地板可达到 180mm 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。另外,有轨电车通常不必考虑车站站台的设置,从而可以满足残疾人上、下车的要求。新型有轨电车平均时速可达 20km,比城市公交车的平均时速快 30%。现代有轨电车与旧式有轨电车的不同之处主要是,它不但具有鲜明的现代化外貌色彩,而且车辆轻、速度快(轴重 12.5 t 左右)。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,由于其造价低、灵活性好,对车站要求低,车站也可以变动,故更方便乘坐,可以满足城市街道的复杂布局要求,而且有轨电车的车辆宽度通常可以根据城市道路的可容纳性进行设置。

### 2. 运量大、造价低

新型有轨电车的运输能力介于轻轨和公交车之间,能达到 0.5 ~ 1.0 万人/h,属于或接近中运量的城市公交系统,比公交车的运能高出一倍以上。有轨电车为多节车厢编组(模块),但它可以根据运能调整车辆编组,增加或减小每列车的编组,以满足不同的运输需求。现代有轨电车的技术含量极高,车辆造价有时会高于地铁车辆,但由于有轨电车通常在地面行驶,对车站的要求远远低于地铁系统,其爬坡能力和曲线通过能力远远优于地铁,可以与汽车共用道路。因此,有轨电车对车站和线路的要求不高,机动性很好,基本建设投资较小,每公里建设投资为 0.8 ~ 2 亿元,综合造价大大低于地铁系统,每公里造价仅为地铁的 1/6 左右,而且运营费用也比地铁低得多。所以,有轨电车系统具有初期投资小和运营效益高的优势。

### 3. 舒适、方便

从国外有轨电车的发展情况来看,由于车辆在轨道上行驶,运行条件优于公交车,使用寿命远远高于公交车,车辆的制造工艺要求也比较高,车厢的外观和内部环境较好。由于采用了交流传动和微机控制制动技术,并且在平顺性较好的轨道上行驶,通常不会像公交车那样有急转弯或急制动等现象,车辆在运行时由于加速和制动产生的加速度受到了严格的控制,其平稳性和舒适性明显优于公交车,与地铁车辆相当。现代有轨电车车辆采用了宽大的门窗,视觉效果比较好。

现代有轨电车的一个最大特点是采用了低地板结构,车辆地板与道路街沿高度基本持平,乘客的上下车非常方便,残疾车不必采用辅助器件也可以直接上下车;由于车辆对停车站台没有特殊要求,停靠时不需要专门的车站设备,故机动性较强。

### 4. 环保、美观

现代有轨电车在城市中得到推广应用的一个重要因素是它的环保性。随着经济的发展,现

代社会的“都市病”越发明显。大量的汽车不仅造成了交通拥堵，而且汽车排放的尾气严重污染了城市环境，在我国城市中，公交车的尾气排放占整个汽车尾气排放中相当大的比重，由于种种原因治理难度极大。采用电力驱动的有轨电车不会产生任何尾气排放，不会对城市空气环境产生不利影响。在能耗方面，新型有轨电车的能耗低，仅为小汽车的 1/9，公交车的 1/4。早期有轨电车的一个特征就是在行驶时会产生较大的轮轨摩擦噪声和电动机噪声，而现代有轨电车在降噪方面已有了根本性的改善，主要体现在以下几方面：采用了弹性和吸振性较好的轨道结构、弹性降噪车轮、新型的牵引驱动系统等，取得了令人满意的降噪效果；利用具有生态性和经济效益的城市绿色轨道技术，有轨电车可以在有植被的绿化带上行驶，不仅可以合理利用土地，而且可以进一步降低车辆噪声；有轨电车利用钢轨作为车辆支承面和走行导向，不仅可以在道路上行驶，也可在草坪等特殊路面上行驶，还可以穿越森林，充分利用城市空间，做到城市绿化和交通道路的综合利用，达到环保和提高空间利用效率的目的。

现代有轨电车的一般技术特征如图 0-1 所示。



图 0-1 现代有轨电车的技术特征

三、现代有轨电车的分类

1. 按地板高度分类

地板面距轨面高度大于或等于 400mm 称高地板，传统有轨电车一般为高地板；地板面距轨面高度小于 400mm 称低地板，当低地板面积与客室面积的比值为 0.5 ~ 0.7 时，称为 50% ~ 70% 低地板，低地板面积与客室面积的比值为 1.0 时，称为 100% 低地板，现代有轨

电车一般为低地板，如图 0-2 所示。

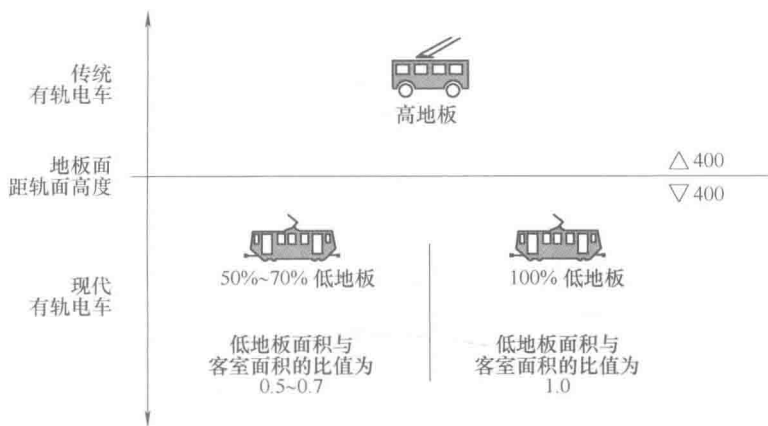


图 0-2 按地板高度分类

### 2. 按供电方式分类

根据列车电能提供方式分接触网式（架空接触网）和无触网式（第三轨、电磁感应、车载储能、氢能源动力），见表 0-1。

表 0-1 按供电方式分类

| 有轨电车类型   | 供电方式  | 原 理                                                                             | 应用现状                                                      |
|----------|-------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 接触网式有轨电车 | 架空接触网 | 列车通过车顶受电弓从架空接触网取得电能                                                             | 目前主要采用                                                    |
| 无触网式有轨电车 | 第三轨   | 在地面上铺设供电轨，列车底部安装受电靴受电                                                           | 少量应用                                                      |
|          | 电磁感应  | 利用电磁感应现象，将电缆回路设在轨道下方，车底部安装耦合线圈。运行中，电缆回路通电形成电磁场，车上的耦合线圈不断切割磁力线，产生电磁感应，形成电流，为列车供电 | 研究探索阶段                                                    |
|          | 车载储能  | 车载储能系统（一般为超级电容 + 蓄电池组合）为列车供电                                                    | 当前主流发展趋势，已形成系列产品                                          |
|          | 氢能源动力 | 车载氢燃料电池为动力源，通过氢燃料电池内氢与氧的化学反应产生电流，为列车送电                                          | 2015 年 3 月 19 日，世界首列氢能源有轨电车在中国南车四方股份公司下线，拟运用于山东城阳有轨电车示范线上 |

截至目前，现代有轨电车的发展大致已有三代系列产品，分别为常规接触网式（或接触轨式）、超级电容（与蓄电池组合）储能式、氢能源式，如图 0-3 所示。

### 3. 按轮轨制式分类

按轮轨制式，分为钢轮钢轨式和胶轮导轨式。

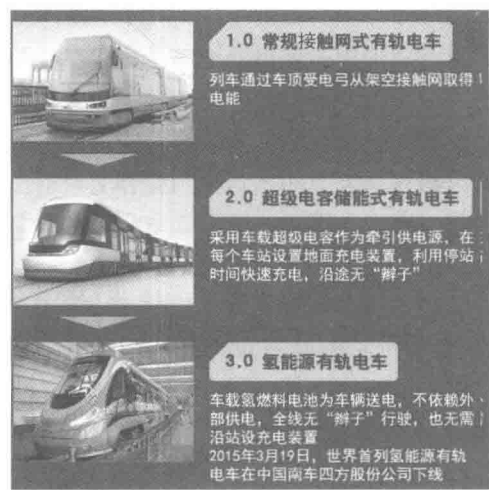


图 0-3 现代有轨电车三代系列产品

四、轻轨、现代有轨电车及 BRT 的比较

轻轨、现代有轨电车及 BRT 的比较见表 0-2。

由表 0-2 可知，现代有轨电车在运能、能耗、环保、舒适性以及提升城市公交服务形象等方面都具有明显的优势。

表 0-2 轻轨、现代有轨电车及 BRT 的比较

| 相关指标             | 轻轨系统           | 现代有轨电车系统                   |              |         | BRT 系统                          |              |         |
|------------------|----------------|----------------------------|--------------|---------|---------------------------------|--------------|---------|
| 模式               | 独立路权           | 独立路权                       | 优先路权         | 混合路权    | 独立路权                            | 优先路权         | 混合路权    |
| 线路形式             | 地下或高架          | 全封闭                        | 部分交叉<br>路口开放 | 全开放     | 全封闭                             | 部分交叉<br>路口开放 | 全开放     |
| 适用范围             | 市区人口<br>≥100 万 | 市区人口 ≥50 万或特定需求            |              |         | 市区人口 ≥50 万                      |              |         |
| 车道最小<br>宽度/m     | 5.0            | 3.00                       |              |         | 3.75                            |              |         |
| 车辆长度<br>/m       | 单节：20          | 全列：25、32、45<br>(具体视车辆模块而定) |              |         | 单车：12；单铰链车：18~24；<br>双铰链车：28~57 |              |         |
| 单向运能<br>/(万人次/h) | 1.0~3.0        | 1.5                        | 1.2          | 0.8~1.0 | 1.3                             | 1.0          | 0.6~0.8 |
| 最高速度<br>/(km/h)  | 80~100         | 80                         | 60~80        | 60      | 80                              | 60~80        | 50~60   |
| 平均站间<br>距离/km    | 0.8~2.0        | 0.8~1.5                    | 0.8~1.5      |         |                                 |              |         |
| 旅行速度<br>(km/h)   | 30~45          | 30~35                      | 25~30        | 20~30   | 35~40                           | 25~35        | 20~25   |

(续)

| 相关指标         | 轻轨系统             | 现代有轨电车系统      | BRT系统          |
|--------------|------------------|---------------|----------------|
| 动力模式         | 第三轨<br>或架空网      | 第三轨或架空网       | 燃油驱动           |
| 投资规模         | 3.0~5.0<br>亿元/km | 0.8~2.0 亿元/km | 0.4~0.55 亿元/km |
| 低碳环保方面       | 优                | 优             | 良好             |
| 提升城市<br>形象方面 | 优                | 优             | 良好             |
| 舒适度方面        | 良好               | 优             | 中等             |
| 运行噪声         | 大                | 较好            | 较好             |
| 线路对城市<br>的影响 | 中等               | 优             | 良好             |
| 改造升级         | /                | 改造为轻轨较易       | 较难改造(高架BRT可改)  |
| 建设周期<br>/年   | 3.0~4.0          | 1.5~2.0       | 1.0~1.5        |
| 车辆<br>国产化率   | 80%及以上           | 40%及以上        | 80%及以上         |
| 最小转弯<br>半径/m | 250~350          | 50            | 50             |
| 最大纵坡<br>(%)  | 3~3.5            | 4             | 4              |
| 最小站台<br>宽度/m | 5                | 2.0~3.5       | 2.0~3.0        |
| 最低红线<br>控制/m | 8.5              | 6.5           | 7.0            |

## 五、现代有轨电车的适用条件

现代有轨电车是在旧式有轨电车的基础上发展起来的,采用了先进的技术和经验,建立了一种介于公共汽车和轻轨之间的中低运量轨道交通系统。

### 1. 城市规模和客流量

城市规模的大小直接影响着当地交通的建设规模,一般来说,大中城市以及经济发展较好的小城市均可发展现代有轨电车。

城市规模的分类标准为:按照国际通行的城市规模划分标准,非农业人口在200万以上为超大城市,100万~200万为特大城市,50万~100万为大城市,20万~50万为中等城市,20万以下为小城市。国外研究表明,在百万人口以上的特大城市,单向客流量长期稳定在2万~25万人次的线路通常采用地下铁道;如需修建现代有轨电车,则线路应选择现代有轨电车系统的全封闭形式。在客流量极大的市中心修建地下铁道的时候,还应根据客流量的需

要,修建市区和郊区、大型工业区及商业区的现代有轨电车交通线路。在50万~100万人口的城市,当高峰小时单向客流量为1万~2.5万人次时,应选用现代有轨电车的全封闭或半封闭形式,主要采用半封闭形式。

因此,中等以上城市可考虑发展现代有轨电车,大中城市的公交客流量一般均能满足现代有轨电车客流量的需求,而小城市的公交客流量相对较小,建设现代有轨电车则不太适宜。所以,一般大中城市均可发展现代有轨电车,具体发展情况要视各城市的经济发展情况、路网规模、道路交通条件以及客运量综合而定。

## 2. 城市经济条件

一个城市的经济发展状况直接影响着当地的交通建设状况,一般大中城市的经济水平具有建设现代有轨电车的能力,而小城市经济受限,现代有轨电车的造价一般约合2089万元/km(大连现代有轨电车的造价)。不同城市可以参考其经济条件确定是否能建现代有轨电车,一般而言,因经济条件的限制,小城市可采用常规公共交通服务,一方面可以促进城市交通的发展,另一方面也方便了广大群众;大城市可利用现代有轨电车的优势,配合快速轨道交通建设。

## 3. 城市地形

由于山区道路高低不平,并不像平原地区那么容易规划和布置轨道线路,另外,山区道路坡度过高,而现代有轨电车适宜的坡度一般为6%~9%,所以现代有轨电车在山区道路上受坡度的限制,不宜建设;而在一般山岭城市或平原微丘地形城市,现代有轨电车系统采用小半径曲线和大坡度的技术标准,几乎可以适应任何城市布局的地形。有轨电车一般沿城市主干道布置,以符合其运输服务功能。

我国城市1~3级主干道设计行车速度为30~60km/h,相应的平曲线最小半径为40~150m,与有轨电车的速度标准和平面条件相当。对于地形起伏较大的城市道路,行车速度为60km/h的道路推荐最大纵坡为5%,而有轨电车能够克服6%~9%的地形坡度,完全能够满足沿道路布置的条件,并更具灵活性。同时,由于城市道路纵坡较大,限制了非机动车车辆的使用,这样便避免了有轨电车与非机动车道干扰的问题,处理与道口的关系更为容易。

## 4. 城市道路网规划

如果原有城市道路没有考虑到有轨电车线路的布局,则新建有轨电车系统将占用既有通道建筑红线内的资源,发生干扰的对象包括建筑物、市政设施和路面。沿线道路一般至少为3幅路或4幅路断面,重新规划时通过系统调整换乘位置,减少沿线公交线路,占用原有分隔带,将绿化带改建为有轨电车绿化轨道等措施,可以规划出线路和车站的位置。有轨电车线路应尽可能设置在道路一侧,避免形成混行路段,并做好道路渠化改造,优化既有通行方式。所以,通过改建较宽主干道,可以保证在既有道路面积条件下,增建有轨电车线路,提高通道交通容量。当然,在沿线通道较窄的情况下,若有轨电车线路挤占行车道,则需要详细论证通道通行能力和现代有轨电车项目的可行性。

总而言之,进行现代有轨电车地区适应性分析时,首先应从整个城市公共交通系统结构优化的角度出发,分析外部影响因素(城市经济、城市空间结构和政策环境等)对现代有轨电车功能发挥的推动和阻碍作用;其次,探讨城市交通内部影响因素(通道客运量、道路、用地条件等)对现代有轨电车地区适用性的促进和制约作用。现代有轨电车地区适应性影响因素分析见表0-3。