

21

世纪高等职业技术教育规划教材

城市轨道交通类

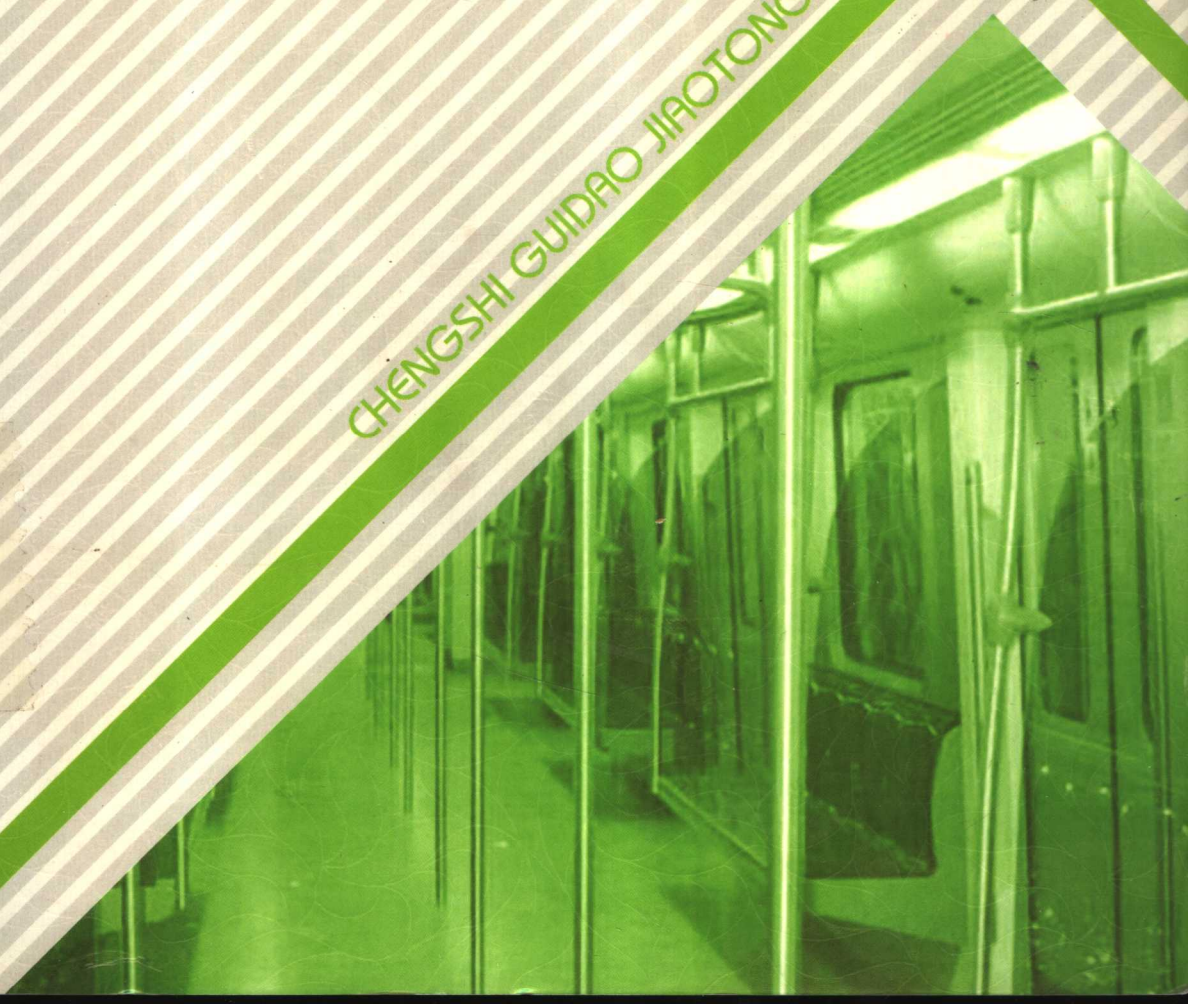
# 城市轨道交通 车辆

主编 | 曾青中 韩增盛 主审 | 李蒂

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG CHELIANG



交通大學出版社



21 世纪高等职业技术教育规划教材——城市轨道交通类

# 城市轨道交通车辆

主编 曾青中 韩增盛  
主审 李 芾

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

## 内 容 简 介

本书系统介绍了城市轨道交通车辆的基本概念、结构和工作原理。全书共分四篇十三章：第一篇绪论，主要包括：城市轨道交通概要、城市轨道交通车辆基础知识；第二篇城市轨道交通车辆机械部分，主要包括：车体、城市轨道交通车辆转向架、车门、车辆连接装置、车辆设备及其布置；第三篇城市轨道交通车辆设备及控制，主要包括：电力传动与控制系统、微机控制系统、风源及电空制动装置、空气调节系统；第四篇城市轨道交通车辆基本理论，主要包括：城市轨道交通车辆动力学基础、噪声防护等。

本书为高等职业学校城市轨道交通车辆专业教材，也可供从事城市轨道交通的管理人员、工程技术人员及大专院校和中等职业学校城市轨道交通类专业师生学习参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通车辆 / 曾青中, 韩增盛主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2006.8  
21世纪高等职业技术教育规划教材. 城市轨道交通  
ISBN 7-81104-382-3

I. 城... II. ①曾...②韩... III. 城市铁路—铁路  
车辆—高等学校: 技术学校—教材 IV. U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第077121号

---

21世纪高等职业技术教育规划教材——城市轨道交通类

### 城市轨道交通车辆

主编 曾青中 韩增盛

责任编辑 王 芳 王 珂

封面设计 王 芳 王 珂

封面设计 王 芳 王 珂

西南交通大学出版社 发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码 610031 发行部电话: 028-87600564)

http://www.swjtu.cn

成都五前进印刷厂印刷

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 20.5

字数: 512千字 印数: 1—3 000册

2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

ISBN 7-81104-382-3

定价: 29.80元

图书如有印装问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 前 言

城市交通系统是城市最为重要的基础设施之一，城市内人员的流动、物质的运输依靠城市交通来完成，城市交通体系直接展示着城市的面貌和活力，体现城市的承载能力，关系着城市的环境，进而影响着城市的可持续发展；而城市公共交通则是城市交通系统的重要组成部分，绝大多数居民的出行依靠公共交通，因此，城市公共交通是维持城市居民工作、学习和生活正常秩序的重要保障。

由于历史的原因，我国地域广阔，人口众多，以农业为主，一直是世界上人口最多的、最大的农业国。随着近年来经济的快速发展，农村人口大量涌入城市，使城市人口飞速增长。据统计，目前，百万人以上的大城市已达 40 多座，还有千万以上的特大城市，如上海、北京等。而我国城市的道路交通建设长期处于基础设施落后，形式单一，跟不上城市经济发展和人口增长的需要；反过来落后的城市交通又严重制约着城市经济发展和居民的正常活动，成为困扰我国城市发展的一个难题。如何解决城市公共交通的这一难题呢？国外已有成功的经验，就是以轨道交通作为骨干，以其他交通方式为辅佐，形成一个包括地上、地面和地下多种交通模式相结合的可持续发展的现代化公共交通网络，这也是我国城市交通发展的必由之路，具有积极的战略意义。

城市轨道交通车辆是城市轨道交通体系中最重要，也是最关键的设备，它是集多专业先进技术于一体的综合性产品，涉及机械、电气及控制、材料等领域。本书取材于上海、广州、北京、深圳等地铁和天津滨海轻轨等城市轨道交通车辆，主要介绍了具有代表性的结构、原理，既有先进的原装进口车辆，也有国产化车辆，体现了现今城市轨道交通车辆的技术水平。本书还介绍了城市轨道交通车辆技术的发展动态。

本书的编写结合了高等职业技术教育类学生的特点。介绍了城市轨道车辆专业学生必须掌握的专业知识，注重日常检查、维修等特点。例如，客室车门数量多、操作频繁，车门故障和安全隐患较多是运用和检修的重点，本书对车门结构、原理、故障处理单独列章进行了详细介绍，同时本书避免了大量的理论推导和计算，内容简洁，插图简单。为配合教学的需要，每章配有小结和适量的复习思考题。

本书共分十三章，由广州铁路职业技术学院曾青中、郑州铁路职业技术学院韩增盛主编，由国家特聘教授、西南交通大学博士生导师李芾主审。参加本书编写的有：曾青中（第一、二、四章），韩增盛（第三、十一、十三章），郑州铁路职业技术学院卢桂云（第五、六章），广州铁路职业技术学院钟耀军（第七章）、肖燕芳（第八章）、高邓波（第九章）、廖锦春（第十、十二章）。由于时间、资料、水平有限，书中可能有一些不妥之处，敬请同行、读者指正。

编 者

2006 年 5 月

# 目 录

## 第一篇 绪 论

<b>第一章 城市轨道交通概要</b> .....	1
第一节 城市轨道交通的发展 .....	1
第二节 城市轨道交通发展的新趋势 .....	8
第三节 我国城市轨道交通发展概况 .....	13
本章小结 .....	17
复习思考题 .....	18
<b>第二章 城市轨道交通车辆基础知识</b> .....	19
第一节 城市轨道交通车辆的类型、组成 .....	19
第二节 城市轨道交通车辆的编组及标识 .....	24
第三节 城市轨道交通车辆技术参数 .....	27
第四节 地铁、轻轨车辆限界 .....	32
本章小结 .....	37
复习思考题 .....	37

## 第二篇 城市轨道交通车辆机械部分

<b>第三章 车 体</b> .....	38
第一节 概 述 .....	38
第二节 铝合金车体 .....	41
第三节 不锈钢车体 .....	45
第四节 车体的模块化结构 .....	48
第五节 车体试验及材料 .....	50
本章小结 .....	55
复习思考题 .....	56
<b>第四章 城市轨道交通车辆转向架</b> .....	57
第一节 概 述 .....	57
第二节 构 架 .....	60
第三节 轮对轴箱装置 .....	61
第四节 弹簧减振装置 .....	67

第五节 牵引连接装置.....	77
第六节 传动装置.....	80
第七节 地铁及轻轨车辆转向架.....	84
本章小结.....	101
复习思考题.....	102
<b>第五章 车门</b> .....	<b>103</b>
第一节 概述.....	103
第二节 客室车门控制.....	106
第三节 车门故障的检测及处理.....	112
本章小结.....	115
复习思考题.....	115
<b>第六章 车辆连接装置</b> .....	<b>116</b>
第一节 车钩缓冲装置概述.....	116
第二节 车钩.....	117
第三节 缓冲装置.....	122
第四节 附属装置.....	127
第五节 贯通道及渡板.....	129
本章小结.....	132
复习思考题.....	132
<b>第七章 车辆设备及其布置</b> .....	<b>133</b>
第一节 概述.....	133
第二节 车顶设备.....	134
第三节 车底设备.....	137
第四节 车内设备.....	143
本章小结.....	150
复习思考题.....	150

### 第三篇 城市轨道交通车辆设备及控制

<b>第八章 电力传动与控制系统</b> .....	<b>151</b>
第一节 概述.....	151
第二节 电力传动主电路与控制.....	152
第三节 直流斩波车辆的传动与控制.....	154
第四节 交流调压变频车辆的传动与控制.....	160
本章小结.....	162
复习思考题.....	162

<b>第九章 微机控制系统</b> .....	163
第一节 概 述 .....	163
第二节 DIN-BUS 总线控制原理 .....	166
第三节 牵引控制单元 DCU/UNAS .....	172
第四节 牵引控制单元 DCU/UNAS 的 PCB 插件板 .....	176
第五节 微机过程控制 .....	181
第六节 信息及诊断系统 .....	188
第七节 故障与显示 .....	194
第八节 牵引控制单元 PTU 软件及应用 .....	197
本章小结 .....	200
复习思考题 .....	200
<b>第十章 风源及电空制动装置</b> .....	201
第一节 概 述 .....	201
第二节 风源系统 .....	214
第三节 克诺尔电空制动机 .....	224
第四节 SD 型电空制动机 .....	235
第五节 基础制动装置 .....	245
本章小结 .....	249
复习思考题 .....	250
<b>第十一章 空气调节系统</b> .....	251
第一节 制冷原理简介 .....	251
第二节 地铁列车客室内空气参数的确定 .....	253
第三节 制冷剂 .....	254
第四节 制冷压缩机 .....	256
第五节 换热器及其辅助设备 .....	259
第六节 空调装置的自动化控制 .....	260
第七节 空调装置 .....	266
第八节 空调装置的维护与故障分析 .....	274
本章小结 .....	279
复习思考题 .....	279

## 第四篇 城市轨道交通车辆基本理论

<b>第十二章 城市轨道交通车辆动力学基础</b> .....	281
第一节 引起车辆振动的原因及基本振动形式 .....	281
第二节 车辆运行安全性及平稳性的评定标准 .....	284

第三节	轮轨间的接触及滚动理论	287
第四节	车辆的蛇行运动稳定性	292
第五节	车辆运行时的振动分析	295
第六节	车辆的曲线通过	302
本章小结		305
复习思考题		305
<b>第十三章</b>	<b>噪声及其防护</b>	<b>307</b>
第一节	概述	307
第二节	噪声的评价方法与评价指标	310
第三节	控制与降低噪声的措施	316
本章小结		318
复习思考题		319
<b>参考文献</b>		<b>320</b>



## 第一章 城市轨道交通概要

现代城市客运交通的主要任务是为城市居民提供高效、优质的客运服务。城市客运交通包括公共交通和非公共交通两大部分。城市公共交通是城市客运交通的主体，包括城市中提供给公众使用的各种交通工具，如公共汽车、电车、轮渡、地铁、轻轨、出租汽车以及缆车、索道等。城市公共交通是城市基本功能的重要组成部分，对促进城市的经济发展和保证人们工作、学习与生活正常化起着相当重要的作用；非公共交通主要包括自行车、私人汽车、社会团体汽车、公务车和其他私人交通工具，它是城市客运交通的一种辅助方式。随着经济的发展，城市人口不断增多，生活质量逐步提高，人们对客运交通服务的要求越来越高，大运量的地铁、轻轨等轨道交通运输方式以其快捷、准时、舒适、安全等特点而备受人们青睐，它可以解决大城市日益增长的客运需求，为城市进一步发展提供良好的条件。世界各国城市交通发展经验表明：现代大城市形成以轨道交通为主，各种交通工具协调发展的格局，逐步形成多层次、立体化的综合交通体系，是解决大城市交通的唯一途径。

### 第一节 城市轨道交通的发展

城市轨道交通（Urban Rail Transitmass System 或 Transit System）简称城轨交通，包括地铁、轻轨铁路、独轨铁路、新交通系统及城市铁路等。城轨交通是近代高科技的产物，大多采用全封闭道路、立体交叉、自动信号控制调度系统和轻型快速电动车组等高科技产品和手段，其行车密度大，旅行速度高，载客能力大，其疏通客流的能力与传统的道路公共交通工具相比，具有无与伦比的优越性。又因为城轨交通多数采用性能优良的电动车组模式，无污染、低噪声，被人们誉以“绿色交通”的美称。

目前城轨交通主要有三种形式：地铁，轻轨铁路，独轨铁路。

## 一、地 铁

“地铁”是“地下铁道交通”的简称，它是一种在城市中修建的快速、大运量的轨道交通，通常以电力牵引，其单向高峰小时客运能力可达 60 000 人次左右，它的线路通常设在地下隧道内，也有的在市中心以外地区从地下转到地面或高架桥上。地铁车辆的概念不仅是指在地下隧道内运行的车辆，在地面封闭线路或高架桥上运行的规格类似的电动车辆，都可称为地铁车辆。

地铁在英美称为 Metro 或 underground railway 或 subway，在德国称为 U-Bahn。1863 年，英国伦敦建成了一条用蒸汽机车牵引的地铁线路，开创了世界地铁建设的先河。1879 年电力机车研制成功，使地下铁道的客运环境和服务条件得到空前的改善。目前世界上一些著名的特大城市纽约、伦敦、巴黎、莫斯科、东京等，均已形成一定的城轨交通规模和网络，且以地铁为主干，可以延伸到城市的各个方向。仅以莫斯科为例，该市自 1935 年建成第一条地铁以来，已拥有一个遍及全市的立体交叉地铁网，总长达 243 km，140 多个车站，由一条环线和 8 条辐射线组成。每天运营时间为 20 h，高峰时列车间隔仅为 75 s，时速 41 km，日客运量高达 800 多万人次，居世界之首。其客运密度为每公里 1 400 多万人，高于伦敦和巴黎。同时地铁环线的不少车站与东西南北各个方向的市郊铁路相衔接，乘客换乘方便，可抵达莫斯科的各个城镇。此外，地铁车站还与航空港、港湾站、铁路干线始发站相连接，出门远行也极为便利。总的看来，经过一百多年的发展，全球已建成地铁线路总里程约 5 000 多公里，但主要集中于日本、欧洲和北美等一些工业发达国家的主要城市，图 1.1 是巴黎戴高乐机场高速地铁。地铁线路里程在 100 km 以上的十大城市的总里程占全球地铁的 60%，这些城市都已形成较为完善的地铁交通网。

近年来，许多发展中国家的大城市都在规划、新建地铁，以缓解其大城市日趋严重的交通压力，如北京、上海、香港、里约热内卢、加尔各答等都已建成地铁。



图 1.1 巴黎戴高乐机场高速地铁

地铁有以下特征：

(1) 全部或大部分线路建于地面以下。国外许多城市的地铁在市中心区时车站和区间线路均设于地下，当线路延伸到近郊时，常采用高架或路堤，以节约线路建设的投资。

(2) 建设费用大、周期长、成本回收慢。新建地铁线路投资一般在每公里 3 000~10 000 万美元以上，一般建造一条地铁线路约需 10~15 年，成本回收约需 20~30 年。

(3) 行车密度大、速度高。由于线路全隔离、全封闭，可以实现行车调度、信号控制的自动化，行车间隔最短达 1.5~2 min，车辆最高时速达 80 km 以上，旅行速度不低于 35 km/h。

(4) 客运量大。单向每小时最大客运量可达 3~8 万人次，这对于大城市中心区高峰期乘客的疏通十分有效。

(5) 地铁列车的编组数决定于客运量和站台的长度，一般为 2~8 辆。站台长一般 100~200 m，站间距一般在 0.5~1.5 km。车辆按有、无动力装置可分为动车与拖车，一般列车采用动车与拖车混合编组的动车组，并为电力驱动。

(6) 地铁车辆的消音减振和防火均有严格要求，既安全，又舒适。

(7) 受电的制式主要有直流 750 V 第三轨受电或直流 1 500 V 架空线受电弓受电。对于发车频率高、列车取用电流大的线路，受电额定电压一般采用 1 500 V，以利于减少线路电压降和电能损失，加大牵引变电站的距离，提高列车再生制动的电能回收率。

表 1.1 所示是几个城市地铁线路的主要参数。

表 1.1 城市地铁线路主要参数表

序号	城市名称	运营年份	运营		牵引供电		运营(行驶)速度(km/h)
			线路长度(km)	轨距(mm)	电压(V)	方式	
1	伦敦	1865	392.0	1 435	600	三轨	32.5
2	纽约	1904	592.0	1 435	625	三轨	29.0
3	柏林	1902	180.0	1 435	750	三轨	31.0
4	巴黎	1900	338.0	1 440	750	三轨	42.0
5	莫斯科	1935	274.0	1 520	825	三轨	48.0
6	东京	1927	243.0	1 067 /1 435	600 /1 500	三轨/触网	45.0
7	芝加哥	1892	143.0	1 435	600	触网/三轨	45.0
8	香港	1979	38.6	1 435	1 500	触网	33.0
9	墨西哥城	1969	202.0	1 995 /1 435	750	三轨	35.0

## 二、轻轨交通

现代城市轻轨交通是一种集多专业先进技术于一体的系统工程，在信号自动控制和集中调度配合下，能快速而安全地完成中等运量的旅客运输任务。

城市轻轨交通是在老式的地面有轨电车的基础上发展起来的。1881 年有轨电车诞生在德国，1888 年首次在美国弗吉尼亚州的里茨门德市投入商业运营，于 19 世纪末和 20 世纪初发

展较快，美欧、日本、印度及我国许多城市都相继建立了有轨电车系统，有轨电车在当时的公共交通中起到了骨干作用。由于旧式有轨电车行驶在市区道路中间，与其他车辆共用路面，运行速度很低，正点率低，加速性能差，而且噪声大，乘坐的舒适性差。又由于汽车工业的发展和居民生活水平的提高，小汽车迅速发展，并被一些国家列为城市交通的发展方向，因而在 20 世纪 30、40 年代国外有轨电车纷纷被拆除。但是有轨电车也有其优点，如可以在路面直接换乘，可以小单元频繁发车，节约能源，而且无污染，造价特别低廉，所以东欧和前苏联许多城市以及我国少数城市仍在继续使用。后来，随着汽车数量的大幅增加，城市交通又出现了新问题，如交通堵塞，行车速度下降，空气和噪声污染严重，停车位、停车场严重不足，特别是在繁华市区较难找到合适地方停车、泊车。所以，20 世纪 70 年代以后，一些国家又重新考虑使用有轨电车，图 1.2 就是奥格斯堡的 7 节低地板现代有轨电车。还有一些更为先进的，采用了线路隔离、自动化信号调度系统和高新技术的车辆等改造措施，而形成所谓的轻轨交通 LRT (Light Rail Transit) 和轻轨车辆 LRV (Light Rail Vehicle)。



图 1.2 奥格斯堡的 7 节低地板现代有轨电车

轻轨交通与一般的铁路相比，其轨道为轻型轨及车辆轴重较小，其运输系统相对也比较简单，比较适宜于中等运量的城市客运交通。

### 1. 轻轨类型

国外开发的城​​市轻轨交通系统主要有三种类型：

(1) 旧车改进型。将老式有轨电车分阶段地加以改进，使其车辆逐步实现高性能化，轨道线路专用化或地下化，并实现计算机调度控制。德国、比利时、瑞士、意大利等国家修建的轻轨铁路即属于这种类型。

(2) 新线建设型。英、法和北美等国家从 1970 年开始对比较经济的城市轻轨系统进行了探讨，部分利用废弃的旧线修建新线，如法国巴黎的 RER 系统 (Regional Express Railway, 即大都市交通圈快速铁道) 即属此例。

(3) 新交通系统型。它比新线建设型更进一步，是作为一个独立系统开发的轻轨交通系统。加拿大温哥华建成的全自动的线性电机驱动的轻轨交通系统和英国伦敦船坞地(Docklands)的轻轨系统相当于这种类型。加拿大研制的线性电机轻轨车辆已在多伦多、温哥华和美国的底特律等城市使用。

德国是轻轨交通发展较早并且使用较普遍的国家，目前已投入运营的线路超过 1 000 km，集中于柏林、慕尼黑和鲁尔地区。1968 年开行的第一条法兰克福的 LRT 线路，使用 U2 型 6 轴双向运行的关节式电动车组，随之在欧洲其他国家和北美先后发展了 LRT。目前，世界上轻轨车辆(LRV)生产的大户是德国的 SIEMENS、法国的 ALSTHOM、加拿大的 BOMBARDIER 和捷克斯洛伐克的 Tatra 等公司，其他还有日本、意大利、瑞士等国家的车辆及电气公司。

目前，发展中国家的轨道交通主要集中在 200 万人口以上的城市，一般只在特大城市发展地铁，更多的则是发展轻轨交通。如菲律宾首都马尼拉总体规划了轻轨交通网络，开始用了近十年的时间修建了一条 25 km 的环城轻轨铁路，如今又在修建南北东西轴向的近几十公里的轻轨交通线路，有效地缓解了城市交通的拥挤状况。

## 2. 轻轨特征

城市轻轨交通有以下特征：

(1) 它是以为钢轮和钢轨为车辆提供走行的一种交通方式，车辆以电力提供牵引动力，可以采用直流、交流或线性电机驱动。

(2) 轻轨的建设费用要比地铁少得多，通常每公里线路造价仅为地铁的 1/5~1/2。

(3) 轻轨交通的每小时单向运输能力一般为 2~4 万人次，它介于地铁和公共汽车（每小时 4~8 千人次）之间，属于中等运能的一种公共交通形式。

(4) 轻轨线路可以为地面、地下和高架混合型，一般与地面道路完全隔离，采用半封闭或全封闭专用车道。在通过交叉路口处，采用立体交叉形式，保证车辆以较高速度运行。

(5) 轻轨车辆有单节 4 轴车，双节单铰 6 轴车和 3 节双铰 8 轴车等。每组车可以单节运行，也可以联挂编组。车辆能够通过小半径曲线 ( $R=20\text{ m}$ ) 和大坡度 (60‰~70‰) 地段。

(6) 轻轨交通对车辆和线路的消音和减振有较高要求。采用弹性车轮、空气弹簧、自导向和迫导向径向转向架等措施，以减轻列车运行和通过曲线的噪声。采用无缝长钢轨线路，弹性钢轨扣件和路基弹性层，达到减少噪声和振动的传递。必要时在轨道两侧设置隔音挡板。国外对轻轨车辆的噪声控制范围：车内噪声范围在 67~75 dB，车速达到 50 km/h 时，距离车辆 7.5 m 处噪声应为 76~80 dB。

(7) 电压制式以直流 750 V，架空线（或第三轨）供电为主，也有部分采用直流 1 500 V 和直流 600 V 供电。

(8) 轻轨车站分为地面、高架和地下 3 种形式，应根据线路位置、地形条件、行车组织要求和乘客流量来决定车站的形式和规模。车站的站台长度应按列车长度和停车误差  $\pm 2\text{ m}$  而定，站台长度应不小于远期设计列车长度加 4 m，一般为 60~100 m。

由于轻轨交通具有投资省、建设周期短、灵活性强、运行成本低的特点，在关键地段和市中心区可以采用高架或地下线路，使之具备专用车道，再配合信号调度控制系统的自动化，使之能适应运量大、速度快、安全、准点的要求。所以近几年来世界各国城市的轻轨交通得

到迅速发展，欧洲、北美和发展中国家有百余座城市正在规划或建造 LRT 交通，其中就包括我国十余座城市。表 1.2 所示是几个城市轻轨线路的主要参数。

表 1.2 城市轻轨线路主要参数表

序号	城市名称	运营年份	运营		轨距 (mm)	牵引供电		运营(行驶)速度(km/h)
			线路长度 (km)	车站数		电压(V)	方式	
1	温哥华	1986	22.5	16	1 435	600	三轨	41.0
2	鹿特丹	1969	22.5	23	1 435	750	触网	
3	墨尔本	1981	17.1	5	1 600	1 500	触网	
4	开罗	1987	42.5	34	1 435	1 500	触网	34.0
5	埃森/ 慕尼黑	1977	27.0	33	1 435/ 1 000	750	触网	28.0
6	萨克拉 门托	1987	29.4	27	1 435	750	触网	
7	南特	1984	10.6	22	1 435	750	触网	24.0
8	香港	1988	23.0	41	1 435	750	触网	25.0
9	马尼拉	1985	15.0	18	1 435	750	触网	39.0
10	神户	1968	18.5	25	1 435	1 500/ 600	触网/ 三轨	43.0/ 32.0

### 三、城市独轨铁路交通

独轨铁路一般较适宜于公园、博览会、游乐场等作为游览、观光及兼顾短途城市交通之用。自 19 世纪英国建造运营的第一列由蒸汽机车牵引的独轨旅客列车至今已有 150 余年。1880 年，法国 Charle Larligue 设计了用于旅客运输的跨座式独轨铁路，采用蒸汽机车，最高速度为 43 km/h。德国在 1903 年修建了 13 km 长的悬挂式独轨铁路，至今仍在继续使用。20 世纪 50 年代以后，独轨铁路在许多国家得到较大的发展，日本、美国、瑞典、意大利等国都建造了独轨铁路，一般线路长度约 10 km，主要用于城市繁忙地段和游览观光。特别是日本，自 1955 年以来，一直将独轨铁路作为发展城市公共交通的有力手段，先后在多个城市兴建，其第一条独轨铁路在 1964 年建成通车，自东京的中心区滨松町至羽田机场，总长 13 km，设 6 个车站。1985 年在北九州，小仓线建成通车，全长 8.3 km，设 12 个车站。1991 年大阪市环形线 6.6 km 建成，还计划延伸至 13.7 km，规划总长为 50 km。日本正在筹建的独轨线路还有多摩市 16 km，冲绳那霸市 14.1 km 等。日本近 30 年开发了多种独轨铁路，在世界城轨交通中独树一帜。

独轨铁路采用高架轨道结构，按结构形式分为跨座式和悬挂式两种类型。前者车辆的走行装置(转向架)跨骑在走行轨道上走，其车体重心处于走行轨道的上方。后者车体悬挂于可在轨道梁上行走的走行装置的下方，其重心处于走行轨道梁的下方。

## 1. 跨座式独轨

ALWEG 型：由德国实业家 Axelleonart Menner-Gren 研制，取其缩写为 ALWEG 型。日本（5 个城市）、美国（4 个城市）、澳大利亚的悉尼和英国的奥尔顿·托尔都采用这种类型，但具体结构有许多差别，图 1.3 是西雅图跨座式独轨交通。重庆是我国第一个采用此模式的城市。

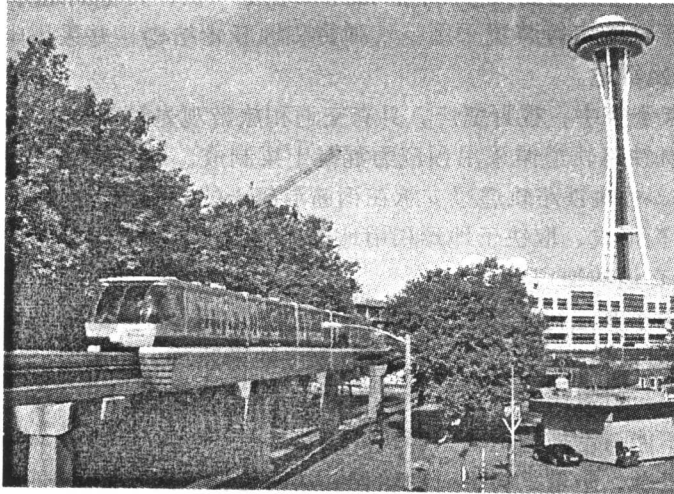


图 1.3 西雅图跨座式独轨交通

## 2. 悬挂式独轨

SAFEGE 型：是由法国企业管理股份有限公司（缩写 SAFEGE）和其他 10 几家公司共同研制的对称型悬挂式独轨铁路。它的特点是走行轨道梁为钢制箱形断面，底部开口，充气轮胎组成的转向架在轨道梁内走行，车体悬挂在转向架下面，车辆走行平稳，噪声低。日本的湘南江岛线和千叶线均采用该形式，如图 1.4 所示。

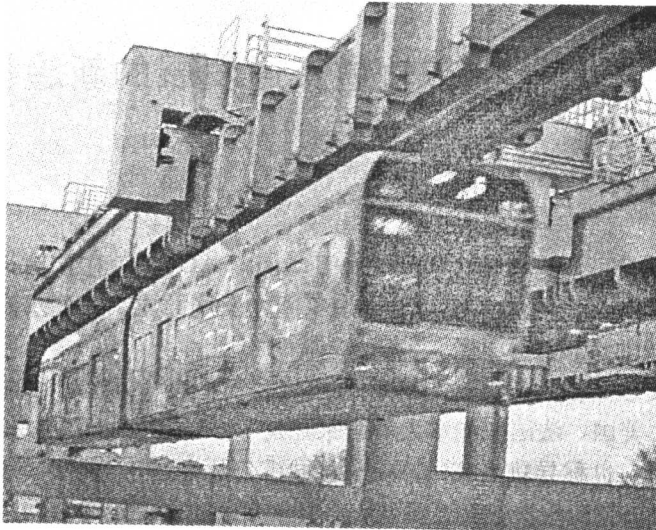


图 1.4 日本悬挂式独轨交通

(1) 城市独轨铁路的优点:

- ① 独轨铁路线路占地少, 线路支柱占地宽度仅 1~1.5 m, 因此可充分利用城市空间。适宜于在大城市的繁华中心区建线, 对城市的景观及日照影响极小。
- ② 独轨线路构造较简单, 建设费用较低, 仅为地铁的 1/3 左右。
- ③ 能够实现大坡度 (60‰) 和小曲线半径 (50 m) 运行, 可绕行城市的建筑物。
- ④ 为降低线路和站台的建设费用, 一般采用轻型车辆, 列车编组为 4~6 辆。
- ⑤ 独轨铁路车辆的走行装置采用空气弹簧和橡胶轮结构, 并采用电力驱动, 故运行噪声低, 无废气, 乘坐舒适。
- ⑥ 独轨铁路架于空中, 视野宽广, 具有交通和旅游观光的双重作用。
- ⑦ 跨座式独轨铁路轨道梁采用预应力混凝土梁制成, 悬挂式独轨铁路的轨道梁一般为箱形断面的钢结构。独轨铁路轨道梁支承在钢筋混凝土的支柱上, 支柱的形式有 T 形、倒 L 形、门形等多种结构形式, 取决于地形和用地选择等条件, 可以灵活选择。

(2) 独轨铁路交通的缺点:

- ① 能耗大。由于其走行装置采用橡胶轮, 它与混凝土轨面的滚动摩擦阻力比钢轮钢轨大, 故其能耗比一般轨道交通约大 40%, 且有轻度的橡胶粉尘污染。
- ② 运能较小, 一般每小时单向最大客运量为 1~2 万人次。
- ③ 独轨线路不能与常规的地铁、轻轨等接轨。
- ④ 道岔结构复杂、笨重、转换时间较长, 从而延长了列车折返时间。
- ⑤ 列车运行至区间时发生事故, 疏散和救援工作比较困难。

目前, 世界上各大城市正在竞相发展并完善其地铁、轻轨、独轨、有轨电车等组成的新交通体系, 即以轨道交通为主, 各种交通工具协调发展的多层次、立体化综合交通体系。在全世界拥有城轨交通系统的 320 个城市中, 拥有地铁的城市占 5%, 同时拥有地铁和轻轨的城市占 11%。实践证明, 城轨交通线路的连接与组网使其方便、快捷等优越性发挥得更为突出。城轨交通系统已成为现代化大城市的一种标志。

## 第二节 城市轨道交通发展的新趋势

### 一、新交通系统

自动导轨运输系统 (Automated Guideway Transit, AGT) 就中文意义而言, 是“新运输系统”的意思, 主要取义于这种系统乃近十余年间才发展而成, 并追求高度的自动化新颖科学技术, 有别于传统的运输技术。

为了解决城市交通所出现的拥挤、堵塞、噪声与废气污染等日趋严重的问题, 自 20 世纪 60 年代末以来, 日本、美国、法国和加拿大等国家开发了多种不同驱动方式、控制方式、运输需要的所谓新交通系统, 也称导轨系统, 旨在改善城市公共客运, 与小汽车竞争。新交通系统是一种全自动、有导向轨导向的快速客运系统, 车辆在专用道路上定时自动运行, 站上无人管理, 完全由中央调度室的电子计算机集中控制, 自动化程度相当高; 新交通系统采用高架专用轨道,



适用于大坡道和小曲线半径线路，采用橡胶车轮，噪声低，安全性好，占地面积小，建设费用比地铁低，因此新交通系统是一种既节省人力，也节省费用的有轨快速客运系统。

有导向轨的新交通系统的车辆外形类似于公共汽车，采用电力驱动、橡胶轮走行，在全隔离的专用走行道上行驶，并设有专用的导向轨导向。车辆的导向有两种方式：一种为中央导向，在线路的中央设导向轨条，对应于车辆底架下部伸出的导向轮，在车辆走行时，导向轮紧贴导向轨滚动而实现车辆的导向，这种方式的导向轨凸出在线路的中央沿着线路向前延伸。另一种为侧面导向，在车辆走行装置的外侧装设水平的导向轮，在走行道两侧矮墙上装设导向轨滚道。当车辆走行时，车辆前后两侧的导向轮沿着导向轨滚动，从而实现车辆的自动导向，日本东京于 1995 年 12 月新开通的临海线新交通系统就是采用侧面导向方式。

另外，日本还有一条设置导向轮的专线公共汽车，专用轨道与道路相互衔接，车辆可以沿着导向轨在专用高架轨道和一般道路上进行连续行驶。这种交通路线属于公共汽车导向系统。

新交通系统一般均采用全自动列车运行控制技术，无人驾驶，通过电子计算机进行运行调度控制管理。列车自动控制装置（ATC）、车—地间的信号交换是通过设于轨道的环线轨道电路和设于列车前部及后部的天线之间进行的。由 ATC 系统向列车提供限制速度信息，列车上的计算机算出略低于限制速度的目标速度，使列车始终保持该速度运行。站内空位停车环线提供车站定位停车信息，由线路获得的信息和车辆自身的信息进行逻辑运算，向列车运行控制、制动装置发出相应指令。全自动列车运行控制系统还同时控制运行中车门的开闭、报站广播、运行方向的转换等。

新交通系统与独轨铁路有许多相同之处，如采用高架专用轨道，适用于大坡道和小曲线半径线路，建设费用比地铁低，车辆大都采用橡胶轮胎，噪声低、安全性好。它们既可用于博览游乐场、机场的内部运输，也可用于一般公共交通。新交通系统一般每小时单向运能约 5 000～10 000 人次，列车编组 2～6 辆，属中等运量的城轨交通方式。现在世界上运营的新交通系统约有 20 余条线路，总长约 200 km，其中日本约占一半，主要是因为日本因土地短缺，需要一种占地面积少、自动化程度高，既节省人力又节省费用的轨道交通作为连接新老城区的交通工具。

新交通系统与独轨铁路相比，其不同之处是：

(1) 新交通系统的车辆一般较小，车长大部分在 5～12 m，列车编组辆数也少，因此其运能比独轨铁路略低。

(2) 从日照、景观、建设成本等方面做比较，独轨铁路比新交通系统更为有利。

(3) 新交通系统自动化程度更高，可实现无人自动运转，独轨铁路在列车和车站一般均有工作人员管理。

(4) 新交通系统导向机构简单，道岔动作时间短，维修简单方便，独轨铁路转向架、道岔结构复杂、维修困难。

## 二、线性电机车辆

线性电机车辆采用直线电机作为牵引动力。直线电机为线性异步感应电动机的简称，它改变传统电机旋转运动方式为直线运动方式，其工作原理与一般的旋转式感应电动机类似，可看成是将旋转电机沿半径方向剖开展平，定子部分在用硅钢片叠压成扁平形状的铁心上，放入两层叠绕的三相线圈构成，沿纵向固定安装于车辆底架下部或转向架构架下部。而转子