



普通高等学校车辆工程专业卓越特色系列规划教材

# 城市轨道交通车辆

主 编 柳拥军  
副主编 佟关林



科学出版社

普通高等学校车辆工程专业卓越特色系列规划教材

# 城市轨道交通车辆

主 编 柳拥军

副主编 佟关林

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书结合国内外城市轨道交通车辆技术的现状,以我国 A 型和 B 型地铁车辆为例,深入浅出地讲解城市轨道交通车辆的构造和原理,条理清晰地叙述城市轨道交通车辆的牵引计算和动力学基本理论。书中还系统介绍了跨座式独轨车辆、直线电机轮轨交通车辆的构造和特点。全书共分 10 章:第一章叙述城市轨道交通系统;第二章叙述城市轨道交通车辆总体;第三章叙述城市轨道交通车辆车体与车门;第四章叙述城市轨道交通车辆转向架;第五章叙述城市轨道交通车辆车端连接装置;第六章叙述城市轨道交通车辆牵引与制动系统;第七章叙述城市轨道交通车辆牵引计算;第八章叙述城市轨道交通车辆动力学基础;第九章介绍跨座式独轨车辆;第十章介绍直线电机轮轨交通车辆。

本书可作为车辆工程专业之城市轨道交通车辆特色方向的教材,一方面能满足本科教学需要;另一方面也可作为相关大专和中专等专科学校的教学参考书。同时,还可供从事城市轨道交通车辆专业工作的广大科技人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通车辆 / 柳拥军主编. —北京: 科学出版社, 2016.10  
普通高等学校车辆工程专业卓越特色系列规划教材  
ISBN 978-7-03-048340-9

I. ①城… II. ①柳… III. ①城市轨道交通—铁路车辆—高等学校—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 111626 号

责任编辑: 毛莹 朱晓颖 张丽花 / 责任校对: 桂伟利

责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 10 月第一次印刷 印张: 20

字数: 491 000

定价: 49.80 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 前 言

进入 21 世纪,我国城市轨道交通行业蓬勃发展,产业规模空前壮大,城市轨道车辆的年产量和保有量迅速跃居世界第一位。车辆是城市轨道交通系统最重要、最关键的设备,也是技术含量很高的综合性机电产品,它涉及机械、电气、控制、材料等多门学科。在我国消化、吸收引进国外先进技术,打造和推广自主品牌城市轨道车辆的过程中,迫切需要大量的车辆设计、制造和运用维护方面的高端人才。教材建设是人才培养的重要基础,高质量、高标准的教材是加快高端人才培养的必要条件。在教育部“专业综合改革试点建设”项目的支持下,北京交通大学组织编写了适合高等院校本科层次教学使用的《城市轨道车辆》。

本书突出内容的知识性、逻辑性和工程实用性,系统地介绍了城市轨道交通系统的基本概念、发展概况,城市轨道车辆总体结构及主要参数,车体、转向架、车钩缓冲装置的详细构造和工作原理,牵引和制动装置组成及原理,叙述了城市轨道车辆牵引计算、动力学的理论和方法,并对跨座式独轨车辆、直线电机轨道交通车辆的结构原理和技术特征进行了详细阐述。

近年来西南交通大学、同济大学以及中国北车股份有限公司等知名高校和企业的一些专家、学者在城市轨道车辆领域开展了卓有成效的理论创新和教材建设工作:张振淼主编了《城市轨道交通车辆》,王伯铭编著了《城市轨道交通车辆工程》,曾青中、韩增盛主编了适合高等职业教育的《城市轨道交通车辆》,彭其渊等编著了《列车牵引计算——城市轨道交通》,中国北车股份有限公司科学技术协会、长春客车厂老年科学技术协会组织编写了《城轨车辆技术与应用》。本书在编写中引用了这些成果和教材中的部分内容,广州地铁、北京地铁等车辆运用单位也提供了一些技术资料,在此一并谨表衷心感谢。

本书由北京交通大学车辆专家柳拥军担任主编,地铁车辆运用维护领域的资深专家佟关林担任副主编,北京交通大学几位长期从事车辆工程专业教学和科研的教师为本书的编写提供了部分资料,并提出了宝贵的编写建议。

本书可作为高等院校机械类车辆工程专业的城市轨道车辆特色方向的教材,也可供城市轨道交通车辆领域的管理人员、工程技术人员学习参考。

编 者

2016 年 6 月

# 目 录

## 前言

第一章 绪论	1
第一节 城市轨道交通系统	1
一、地铁	1
二、轻轨交通	2
三、轻轨类型	2
四、城市独轨铁路交通	4
五、新交通系统	5
六、直线电机轮轨交通系统	6
七、磁悬浮交通系统	6
八、城市快速铁路系统	7
第二节 城市轨道交通系统的分类	7
第三节 城市轨道交通系统的特点	8
一、城市轨道交通系统的分类特点	8
二、城市轨道交通系统的共同特点	10
第四节 中国城市轨道交通发展概况	11
第五节 城市轨道交通系统的选择原则和步骤	13
一、城市轨道交通系统的选择原则	13
二、城市轨道交通系统的选择步骤	14
复习思考题	14
第二章 城市轨道车辆总体	15
第一节 城市轨道车辆的类型和组成	15
一、车辆类型	15
二、车辆组成	16
第二节 城市轨道车辆技术参数	18
一、车辆性能参数	18
二、车辆的主要尺寸参数	19
三、广州地铁1号线车辆主要技术参数	20
四、天津滨海轻轨车辆主要技术参数	21
第三节 城市轨道车辆的列车编组	22
一、城轨列车编组技术	22
二、城轨列车编组技术的发展趋势	25
第四节 地铁、轻轨车辆限界	25

一、车辆限界的概念 .....	25
二、地铁限界 .....	26
三、轻轨限界 .....	29
复习思考题 .....	29
<b>第三章 城市轨道交通车辆车体与车门</b> .....	<b>30</b>
<b>第一节 概述</b> .....	<b>30</b>
一、车体的作用与分类 .....	30
二、车体的基本特征与结构 .....	30
三、车体的结构形式 .....	30
四、车体的基本结构 .....	31
五、典型地铁车辆车体结构的基本参数 .....	32
<b>第二节 铝合金车体</b> .....	<b>32</b>
一、铝合金材料的特性 .....	32
二、铝合金材料车体的特点 .....	33
三、铝合金车体的形式 .....	33
四、铝合金车体的架车 .....	34
五、铝合金车体的结构 .....	34
六、铝合金材料使用中应注意的问题 .....	36
<b>第三节 不锈钢车体</b> .....	<b>37</b>
一、不锈钢车体的结构 .....	37
二、不锈钢材料使用中应注意的问题 .....	38
<b>第四节 车体的模块化结构</b> .....	<b>40</b>
一、模块化车体结构的概念 .....	40
二、模块化车体结构的优点 .....	41
三、模块化车体结构的缺点 .....	41
四、天津地铁 2 号线车辆模块化车体结构 .....	41
<b>第五节 车体试验及车体材料的综合比较</b> .....	<b>45</b>
一、车体试验 .....	45
二、车体材料的综合比较 .....	48
<b>第六节 车门</b> .....	<b>50</b>
一、概述 .....	50
二、车门的分类 .....	50
三、客室车门控制 .....	53
四、客室车门传动系统 .....	54
复习思考题 .....	55
<b>第四章 城市轨道交通车辆转向架</b> .....	<b>57</b>
<b>第一节 概述</b> .....	<b>57</b>
一、转向架的基本作用及要求 .....	57

二、转向架的分类和组成	57
第二节 构架	59
一、构架的作用和要求	59
二、构架的分类	60
三、构架的组成	60
第三节 轮对轴箱装置	61
一、轮对	61
二、轴承与轴箱装置	69
第四节 弹簧减振装置	73
一、弹簧减振装置的作用	73
二、弹簧减振装置的分类	74
三、弹簧结构及特性	74
四、减振元件	81
第五节 牵引连接装置	84
一、中央牵引装置	84
二、横向油压减振器和横向缓冲橡胶	86
第六节 传动装置	86
一、爪形轴承的传动装置	86
二、横向牵引电机-空心轴传动装置	87
三、两轴一纵向驱动、骑马式结构	88
四、全弹性结构的两轴一纵向驱动	89
五、牵引电机对角配置的单独轴一纵向驱动	89
六、牵引电机置于车体上的驱动装置	90
第七节 典型地铁及轻轨车辆转向架	90
一、DK 型转向架	91
二、广州、上海地铁车辆转向架	94
三、天津滨海快速轨道交通车辆转向架	96
复习思考题	102
第五章 城市轨道交通车辆车端连接装置	104
第一节 车钩缓冲装置	104
第二节 车钩	104
一、车钩的分类与特点	104
二、密接式车钩的类型及工作原理	105
三、典型车钩及参数	108
第三节 缓冲装置	113
一、层叠式橡胶金属片缓冲器	113
二、环弹簧缓冲器	114
三、环形橡胶缓冲器	115

四、弹性胶泥缓冲器 .....	115
五、带变形管的橡胶缓冲器 .....	117
六、可压溃变形管 .....	118
第四节 电气及风管连接装置 .....	118
一、电气及风管连接器的作用 .....	118
二、电气连接器 .....	118
三、风管连接器 .....	120
第五节 贯通装置 .....	121
一、贯通装置的功能及类型 .....	121
二、贯通道的结构 .....	122
三、渡板装置的组成 .....	124
四、主要尺寸及技术性能 .....	124
第六节 其他附属装置 .....	125
一、车钩对中装置 .....	125
二、安装吊挂系统 .....	125
复习思考题 .....	126
<b>第六章 城市轨道交通车辆牵引与制动系统 .....</b>	<b>127</b>
第一节 牵引与制动系统概述 .....	127
一、城轨车辆制动装置的特点 .....	127
二、城轨车辆牵引系统的特点和分类 .....	128
第二节 受流装置 .....	129
一、三轨受流器 .....	129
二、受电弓 .....	130
第三节 直流调阻、斩波车辆的传动与控制 .....	132
一、直流调阻车辆的传动与控制 .....	132
二、直流斩波车辆的传动与控制 .....	134
第四节 交流调压变频车辆的传动控制 .....	140
一、牵引/制动系统组成和工作原理 .....	140
二、牵引控制单元 DCU 的基本功能及工作原理 .....	142
三、逆变器保护单元 UNAS 的基本功能及工作原理 .....	143
四、微机过程控制基础 .....	144
五、DCU 工作流程 .....	146
六、执行元件 .....	149
七、高速断路器控制 .....	149
八、牵引/制动控制 .....	150
第五节 制动系统 .....	152
一、城轨车辆制动系统的基本要求 .....	152
二、制动系统分类 .....	152



三、制动控制系统分类	155
四、典型城轨车辆制动系统	160
第六节 电空制动机	164
一、克诺尔电空制动机	164
二、SD 型电空制动机	173
复习思考题	183
<b>第七章 城市轨道交通车辆牵引计算</b>	<b>184</b>
第一节 概述	184
一、城市轨道交通牵引计算的意义	184
二、开展城市轨道交通牵引计算研究的必要性	184
三、国内外牵引计算研究现状	185
第二节 牵引计算的力学模型	188
一、城市轨道交通列车的编组特征	188
二、牵引力	189
第三节 运动方程及时分解算	202
一、列车运动的定性分析——合力曲线	202
二、列车运动的定量分析——运动方程	203
三、列车时分计算与运动曲线绘制	206
第四节 牵引计算的计算机模型	207
一、概述	207
二、单质点模型	208
三、多质点模型	215
第五节 列车运行所需功率及牵引电动机功率估算	221
一、列车运行特点分析	221
二、按起动加速过程进行估算	222
三、按加速到 $v_{\max}$ 时的平均加速过程估算	223
四、按“能量守恒”过程估算	223
复习思考题	224
<b>第八章 城市轨道交通车辆动力学基础</b>	<b>225</b>
第一节 引起车辆振动的原因及基本振动形式	225
一、车辆的基本振动形式	225
二、激起车辆振动的线路原因	226
三、车辆的自激振动	227
第二节 车辆运行安全性及平稳性的评定标准	227
一、车辆运行平稳性及评定标准	227
二、车辆运行安全性及评定标准	228
第三节 轮轨间的接触及滚动理论	230
一、轮轨接触几何关系(等效斜度、重力刚度和角刚度)	230

二、轮轨接触蠕滑关系 .....	232
三、防止启动时空转及制动时滑行的蠕滑控制 .....	234
第四节 车辆的蛇行运动稳定性 .....	234
一、车辆的蛇行运动机理 .....	234
二、影响蛇行运动的因素 .....	235
第五节 车辆的曲线通过 .....	237
一、车辆的曲线通过机理 .....	237
二、自由轮对的线性蠕滑力导向理论 .....	237
三、带转向架车辆的曲线通过 .....	239
复习思考题 .....	239
<b>第九章 跨座式独轨车辆 .....</b>	<b>240</b>
第一节 跨座式独轨交通系统 .....	240
一、概述 .....	240
二、跨座式独轨交通系统的组成 .....	241
三、城市独轨交通系统的技术特点 .....	242
第二节 跨座式独轨车辆 .....	243
一、概述 .....	243
二、车辆主要技术参数 .....	244
三、车体结构 .....	246
第三节 跨座式独轨转向架 .....	246
一、概述 .....	246
二、转向架构架 .....	248
三、二系悬挂和牵引装置 .....	248
四、走行轮、走行安全轮、稳定轮和水平轮 .....	249
第四节 跨座式独轨车辆驱动与制动系统 .....	251
一、驱动系统 .....	251
二、制动系统 .....	252
第五节 跨座式独轨转向架的力学原理 .....	254
一、跨座式独轨转向架的力学平衡 .....	254
二、充气轮胎的滚动和振动特性 .....	255
复习思考题 .....	258
<b>第十章 直线电机轮轨交通车辆 .....</b>	<b>259</b>
第一节 概述 .....	259
第二节 直线电机车辆的基本原理 .....	261
一、直线电机的基本原理 .....	261
二、直线电机车辆的原理 .....	263
三、直线电机车辆的组成 .....	263
四、非黏着牵引的技术优势 .....	264

---

第三节 直线电机转向架 .....	266
一、直线电机转向架结构的分类与特点 .....	266
二、广州地铁 4 号线直线电机转向架 .....	268
三、北京机场线直线电机转向架 .....	274
四、日本直线电机转向架 .....	283
五、径向转向架设计原理 .....	284
第四节 车体 .....	288
第五节 直线电机列车的运行性能 .....	301
复习思考题 .....	306
参考文献 .....	307

# 第一章 绪 论

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 城市轨道交通系统

城市轨道交通(Urban Rail Transit/Mass System 或 Transit System)简称城轨交通,包括地铁、轻轨铁路、独轨铁路、新交通系统和城市铁路等。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。一般认为,城市轨道交通主要有以下几种形式:地铁、有轨电车、轻轨铁路、独轨铁路等。

### 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六万人次。“地铁”的线路通常设在地下隧道内,也有的在城市中心以外地区从地下转到地面或高架桥上。因此地铁车辆的概念不仅是指在地面隧道内运行的车辆,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。

地铁在英国和美国称为 Metro 或 Underground Railway 或 Subway,在德国称为 U-Bahn。1863 年,英国伦敦建成了第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。目前为止,全球已建成地铁线路总里程已经超过 6000km,主要的特大城市,如北京、上海、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,几乎可以延伸到城市的各个角落。

莫斯科第一条地铁建于 1935 年,到 21 世纪初,已拥有一个由 1 条环线和 8 条辐射线所组成、遍及全市的立体交叉地铁网,总长超过 338km,200 多个车站。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,日均客运量高达 800 多万人次。我国北京地铁规划始于 1953 年,1971 年开始运营。截至 2015 年底运营线路总长超过 554km,共有 18 条运营线路(包括 17 条地铁线路和 1 条机场轨道)、334 座运营车站,覆盖北京市 11 个市辖区,日均客运量超过 1000 万人次。

近年来,为了缓解日趋严重的交通压力,世界上修建地铁的城市越来越多,包括许多发展中国家的城市,如北京、上海、香港、里约热内卢、加尔各答等。表 1.1 所示为几个城市地铁线路的主要参数(数据来源于维基百科)。

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	轨距/mm	牵引供电	
			线路长度/km		电压/V	方式
1	伦敦	1865	402.0	1435	600	三轨
2	纽约	1904	375.0	1435	625	三轨
3	柏林	1902	151.7	1435	750	三轨
4	巴黎	1900	214.0	1440	750	三轨
5	莫斯科	1935	338.8	1520	825	三轨
6	东京	1927	316.3	1067/1435	600/1500	三轨/触网
7	芝加哥	1897	165.4	1435	600	触网/三轨
8	香港	1979	174.7	1435	1500	触网
9	北京	1971	554	1435	750	触网/三轨
10	上海	1993	588	1435	750/1500	触网/三轨

## 二、轻轨交通

城市轻轨交通是在老式地面有轨电车的基础上发展起来的。1881年德国首先修建了有轨电车交通系统,1888年有轨电车首次在美国弗吉尼亚州的里茨门德市投入商业运营。19世纪末和20世纪初是有轨电车的快速发展期,欧美、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。然而,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,所以运行速度低、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,因此在20世纪三四十年代国外有轨电车纷纷被拆除。但是有轨电车也有其优点,例如,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,所以东欧和苏联许多城市以及我国少数城市仍在继续使用。20世纪70年代以来,随着汽车数量的大幅增加,城市交通又出现了新问题,例如,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的地方泊车,一些国家又重新考虑使用有轨电车,并采用了线路隔离、自动化信号调度系统和高新技术的车辆等改造措施,从而形成所谓的轻轨交通(Light Rail Transit, LRT)和轻轨车辆(Light Rail Vehicle, LRV)。现代城市轻轨交通已经发展成为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。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,比较适合于中等运量的城市客运交通。图 1.1 所示为奥格斯堡的 7 节低地板现代有轨电车。

## 三、轻轨类型

国外开发的城市轻轨交通系统主要有以下三种类型。



图 1.1 奥格斯堡的 7 节低地板现代有轨电车

(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。英国、法国和美国、加拿大等欧美国家从 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 (Regional Express Railway, 大都市交通圈快速铁道) 系统即属此例。

(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 1000km，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 LRTO。目前，世界上轻轨车辆 (LRV) 主要的制造商是德国的 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。近年来中国中车公司也开始了轻轨车辆的研制，开发出样车并小批量生产。

轨道交通在发展中国家也得到了一定的发展，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，并且优先发展轻轨交通。例如，菲律宾首都马尼拉总体规划了轻轨交通网络，建立了三条轻轨线，LRT1、LRT2 和 LRT3，均为触网供电。

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、北美洲和发展中国家有百余座城市正在规划或建造 LRT，其中就包括我国十余座城市。表 1.2 所示为几个欧洲城市轻轨线路的主要参数。

表 1.2 几个欧洲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	
			线路长度	车站数		电压/V	方式
1	伦敦	2000	28	39	1435	600	三轨/触网
2	阿姆斯特丹	1990	19.5	29	1435	750	触网
3	罗马	1981	39	5	1435	750	触网
4	都柏林	2004	38.2	54	1435	1500	触网
5	曼彻斯特	1992	92.5	93	1435	600/750	三轨/触网
6	基辅	1978	21	19	1435	825	三轨/触网
7	巴伦西亚	1988	45	85	1435	750	触网
8	马德里	2007	27.8	36	1435	750	触网

#### 四、城市独轨铁路交通

独轨铁路一般较适合于公园、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43km/h。德国在1903年修建了13km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10km，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13km，设6个车站。1985年在北九州，小仓线建成通车，全长8.3km，设12个车站。1991年大阪市环形线6.6km建成，还计划延伸至13.7km，规划总长为50km。日本正在筹建的独轨线路还有多摩市16km、冲绳那霸市14.1km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面，其重心处于走行轨道梁的下方。

##### 1. 跨座式独轨

最典型的跨座式独轨交通系统是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，但各个系统的具体结构还有一些差别。重庆是我国第一个采用此类模式的城市，图1.2所示为重庆跨座式独轨交通系统。

##### 2. 悬挂式独轨

最典型的悬挂式独轨交通系统是SAFEGE型，由法国企业管理股份有限公司(缩写SAFEGE)和其他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1.3所示。

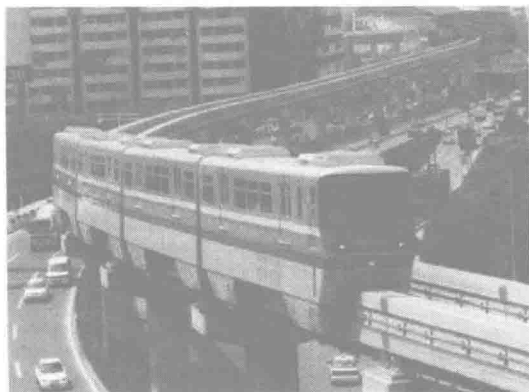


图 1.2 重庆跨座式独轨交通系统



图 1.3 日本悬挂式独轨交通

## 五、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 5000~10000 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有 20 余条线路,总长约 200km,其中日本约占一半,主要是因为日本土地短缺,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。

## 六、直线电机轮轨交通系统

直线电机轮轨交通系统采用直线电机作为牵引动力。直线电机是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,可看作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。而转子部分亦展平变为一条感应轨,铺设在两走行轨之间,一般由铝板或铝合金制成的外壳和铁心组成,如图 1.4 所示。定子与转子感应轨之间应保持 8~10mm 间隙,当交流电流通过时,由于磁场的相互作用产生推力。

轨道车辆的线性电机采用交流变频变压控制,取消了传统的旋转电机从旋转运动转换成直线运动所必不可少的一系列机械减速传动机构,既减轻了重量又使结构十分简单,特别是转向架变得很简单,可以采用小轮径的径向转向架。

目前线性电机车辆已在加拿大的温哥华、多伦多,美国的底特律,日本的大阪,以及我国广州等城市的城轨车辆上获得应用,图 1.5 所示为广州地铁 4 号线直线电机车辆。

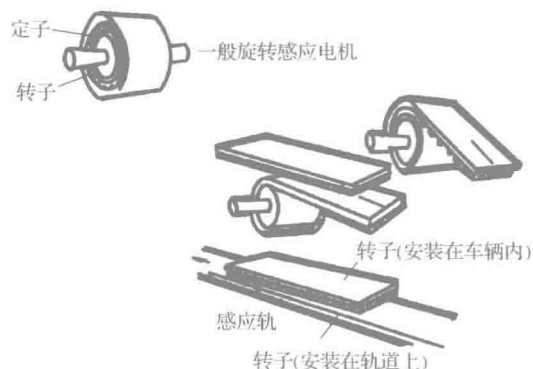


图 1.4 直线电机工作原理

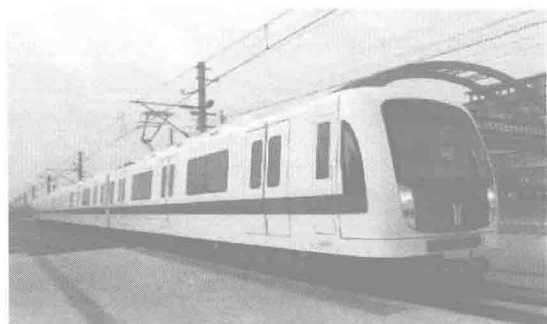


图 1.5 广州地铁 4 号线直线电机车辆

## 七、磁悬浮交通系统

磁悬浮技术源于德国,早在 1922 年 Hermann Kemper 就提出了电磁悬浮原理,并于 1934 年申请了磁浮列车的专利。进入 20 世纪 70 年代以后,随着世界工业化国家经济实力的不断增加,为提高交通运输能力以适应其经济发展的需要,德国、日本、美国、加拿大、法国、英国等发达国家相继开始筹划进行磁悬浮运输系统的开发。

磁悬浮技术分为电磁悬浮系统(EMS)和电力悬浮系统(EDS),主要由悬浮系统、推进系统和导向系统三大部分组成,这三部分的功能均由磁力来完成。图 1.6 所示为电磁悬浮系统示意图。