

21世纪高等职业技术教育规划教材——城市轨道交通运营管理

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG GAILUN

# 城市轨道交通

## 概论

主 编 张 玮  
副主编 张治文  
主 审 苏云峰



西南交通大学出版社

[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

-----  
**图书在版编目 ( C I P ) 数据**

城市轨道交通概论 / 张玮主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2010.8

21 世纪高等职业技术教育规划教材. 城市轨道交通运营管理

ISBN 978-7-5643-0775-2

I. ①城… II. ①张… III. ①城市轨道交通—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 149027 号  
-----

21 世纪高等职业技术教育规划教材——城市轨道交通运营管理

**城市轨道交通概论**

**主编 张 玮**

<b>责任编辑</b>	刘娉婷
<b>封面设计</b>	墨创文化
<b>出版发行</b>	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
<b>发行部电话</b>	028-87600564 · 87600533
<b>邮 编</b>	610031
<b>网 址</b>	<a href="http://press.swjtu.edu.cn">http://press.swjtu.edu.cn</a>
<b>印 刷</b>	成都蓉军广告印务有限责任公司
<b>成品尺寸</b>	185 mm × 260 mm
<b>印 张</b>	12.875
<b>字 数</b>	323 千字
<b>版 次</b>	2010 年 8 月第 1 版
<b>印 次</b>	2010 年 8 月第 1 次
<b>书 号</b>	ISBN 978-7-5643-0775-2
<b>定 价</b>	22.00 元

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

# 前 言

快速轨道交通系统在解决城市交通问题的过程中已有相当长的历史,自 1863 年世界第 1 条地铁在英国伦敦建成通车开始,建设轨道交通已成为世界各大城市改善城市交通问题的一种重要手段。1863—1914 年共有 14 个城市建设了地铁。1915—1949 年,因第 2 次世界大战对世界经济的破坏影响,仅有 8 个城市建设了地铁;1950 年以后,世界经济逐步恢复,由于小汽车的过量使用,造成城市交通问题日益严重,因此轨道交通重新得到了推广和发展,并在建设轨道交通时研制了许多新技术、新工艺。

我国城市轨道交通自 1965 年北京地铁一期工程建设开始,经过 40 余年的建设和发展,取得了显著成就,截至 2007 年底全国已有 11 个城市开通了城市轨道交通,总运营里程达 761 km。当前城市轨道交通正处于大规模高速发展时期,其中以北京、上海、广州为代表的特大城市已进入网络化建设阶段,尚有沈阳、哈尔滨、杭州、西安、成都等 33 个城市正在建设或规划中。实践证明,发展城市轨道交通是解决大城市交通问题的必由之路,对拉动城市社会经济的持续发展也起到了重要的作用。

据悉,到 2020 年,我国铁路营业里程将达到 12.9 万 km,其中客运专线达到 1.6 万 km 以上。20 多个城市将建设城市轨道交通,预计总里程将达 5 000 km。这意味着仅城市轨道交通就需要管理运营专业人才 30 万人,这还不算轨道交通的设计建造人员。但目前我国相关人才的培养规模很难赶上轨道交通的发展。

城市轨道交通作用的发挥,依靠的是系统的安全和高效运营。然而,城市轨道交通系统设备先进、结构复杂,高新技术应用越来越普及,要保障这样庞大系统的安全和高效,必须依靠与之相协调的高素质的人员。轨道交通行业职工队伍中一半以上是技术工人,他们是企业的主体,他们的素质直接关系到企业的生存和发展。因此,企业必须拥有一支高素质的技术工人队伍,培养一批技术过硬、技艺精湛的能工巧匠,才能确保安全生产,提高工作效率,特别是对提升非正常情况下的应急应变能力有重大意义。

本书紧紧围绕“以企业需求为导向,以职业能力培养为核心”的编写理念,力求突出岗位技能培训特色,满足岗位技能培训与鉴定考核的需要。《城市轨道交通概论》对涉及城市轨道交通的各种知识作了系统全面的介绍。全书共分为七章,主要内容包括:城市轨道交通及其发展、城市轨道交通车站和线路工程、城市轨道交通车辆及其整备、城市轨道交通牵引供电、城市轨道交通信号控制与通信系统、城市轨道交通运营管理、城市轨道交通安防系统管理。具体细分有城市轨道交通的线路及设施、车辆、信号系统、通信系统、供电系统、机电设备、自动售检票系统;城市轨道交通的运营组织概述、运营控制中心、行车组织、乘务组织、客运组织、票务组织、维护施工组织、运营主要指标与计算等内容。

各章编写分工如下:武汉铁路职业技术学院张玮编写第一章;柳州铁路运输职业技术学院陈小明编写第二章、第七章;广州铁路职业技术学院张治文编写第三章、第四章;西安铁

路职业技术学院王敏编写第五章、第六章。张玮任主编，张治文任副主编，苏云峰（武汉铁路职业技术学院）主审。

本书编写过程中，参阅了大量的专业资料、报纸杂志和专题论文及专业网站，参考文献列于书尾，在此，我们对资料的作者和整编人员表示由衷的谢意。

由于时间紧，工作负担重，且受编者编写水平的限制，书中某些资料的完整性和数据采集的时效性存在不足在所难免，敬请读者批评指正。

本书可以作为城市轨道交通从业人员，特别是新员工的职业教育培训用书，也可供相关人员参加就业培训、岗位培训使用。

**编者**

2010年5月

# 目 录

<b>第一章 城市轨道交通及其发展</b> .....	1
第一节 城市交通起源 .....	1
第二节 城市轨道交通 .....	5
第三节 城市轨道交通规划与分析 .....	22
复习思考题 .....	26
<b>第二章 城市轨道交通车站与线路工程</b> .....	27
第一节 城市轨道交通线路工程 .....	27
第二节 轨道结构 .....	42
第三节 城市轨道交通车站 .....	63
第四节 城市轨道交通车站设备 .....	74
复习思考题 .....	97
<b>第三章 城市轨道交通车辆及其整备</b> .....	99
第一节 城市轨道交通车辆组成 .....	99
第二节 城市轨道交通车辆类型和特征 .....	104
第三节 城市轨道交通车辆基地 .....	110
第四节 城市轨道交通车辆维修 .....	118
复习思考题 .....	122
<b>第四章 城市轨道交通牵引供电</b> .....	123
第一节 城市轨道交通供电系统 .....	123
第二节 城市轨道交通牵引系统 .....	132
复习思考题 .....	136
<b>第五章 城市轨道交通信号控制与通信系统</b> .....	137
第一节 城市轨道交通信号基础 .....	137
第二节 联锁设备 .....	141
第三节 闭塞设备 .....	145
第四节 城市轨道交通通信系统 .....	147
第五节 有线系统 .....	148
第六节 轨道交通无线系统 .....	153
复习思考题 .....	155
<b>第六章 城市轨道交通运营组织及管理</b> .....	156
第一节 城市轨道交通系统的运营特性 .....	156

第二节 城市轨道交通客运组织管理 .....	157
第三节 城市轨道交通行车组织管理 .....	165
复习思考题 .....	170
<b>第七章 城市轨道交通安防系统管理 .....</b>	<b>171</b>
第一节 城市轨道交通安全管理体系及管理办法 .....	171
第二节 城市轨道交通事故案例分析 .....	178
第三节 城市轨道交通安全防范 .....	188
复习思考题 .....	198
<b>参考文献 .....</b>	<b>200</b>

# 第一章 城市轨道交通及其发展

## 第一节 城市交通起源

城市是人类文明的标志，是人们经济、政治和社会生活的中心。城市化的程度是衡量一个国家和地区经济、社会、文化、科技水平的重要标志，也是衡量国家和地区社会组织程度和管理水平的重要标志。城市化是人类进步必然要经过的过程，也是人类社会结构变革中的一个重要线索，只有经过城市化的洗礼之后，人类才能迈向更为辉煌的时代。然而，仅仅看到城市化所带来的丰硕成果而赞叹不已是远远不够的，城市化过程并不一定完全是一曲美妙的乐章，就像很多进步一样，城市化过程中也为人类社会带来诸多问题。正确认识城市化所带来的影响，并采取必要的措施认真的予以解决，对我国有着重要的意义。

### 一、城市与城市化

#### (一) 城市的特征

城市不是众多的人和物在地域空间上的简单叠加，而是一个以人为主体的、以自然环境为依托、以经济活动为基础、社会联系极为紧密的有机整体。它有着自身的成长机制和运行规律，更有区别于乡村的鲜明特征，主要是以下3个方面：

##### 1. 密集性

这里是指物质与精神的密集，即人、物质、空间与活动的高度密集。城市的密集性具体体现在以下几点：

(1) 人的密集。2009年福布斯全球人口最稠密城市排行榜指出，孟买（印度）人口密度为29 650人/km<sup>2</sup>；卡拉奇（巴基斯坦）人口密度为18 900/km<sup>2</sup>；拉各斯（尼日利亚）人口密度为18 150人/km<sup>2</sup>；深圳（中国）人口密度为17 150/km<sup>2</sup>；首尔（韩国）人口密度为16 700人/km<sup>2</sup>；台北（中国）人口密度为15 200人/km<sup>2</sup>；波哥达（哥伦比亚）人口密度为13 500人/km<sup>2</sup>；上海（中国）人口密度为13 400人/km<sup>2</sup>；利马（秘鲁）人口密度为11 750人/km<sup>2</sup>；北京（中国）人口密度为11 500人/km<sup>2</sup>。

(2) 物质和资本的密集。城市里建筑物鳞次栉比、道路桥梁密如蛛网、各种物流昼夜奔腾不息。城市是国家物质财富主要的创造者和聚集地。统计显示，2007年我国地级及以上城市（不包括市辖县）GDP占全国的比重为63%。如今，以特大城市为依托、辐射作用大的城市群已经是我国重要的经济增长极。目前，京津冀、长三角、珠三角三大城市群，及辽中南、中原、武汉、长株潭、成渝、闽东南、山东半岛、关中天水、北部湾等城市群，以不到全国1/10的土地面积，承载了全国1/3以上的人口，创造了全国1/2以上的GDP。中国社会科学院的研究报告显示，长三角、珠三角、京津地区这三大城市密集区累计实际利用外资额占全国的60%以上，2008年上半年三大城市密集区共完成进出口额9 359.16亿美元，占全国进出口额的75.9%。

(3) 文化的密集。城市里几乎集中了所有的大专院校和多数科研院所，国家主要的行政管理、文化设施（如图书馆、博物馆、展览馆）、体育设施（如体育场、体育馆）和大中型医疗机构等。这就使城市承担了创造和传播人类精神文明的神圣使命，城市文化亦成为社会文化的主体。

## 2. 高效性

城市的另一个显著特征是其高效性，它表现在两个方面：

(1) 高效率。城市和乡村相比，由于有完善的市政设施、便捷的通讯手段、发达的交通工具和高智力的管理阶层，因此有着很高的运转效率。

(2) 高效益。2008年，全国地级及以上城市（不包括市辖区）地区生产总值186 279.5亿元，占全国GDP的比重62%。以上海市为例，其占全国1.42%的人口、0.06%的土地，却创造出全年实现生产总值（GDP）13 698.15亿元，占全国（300 670亿元）的4.55%。

## 3. 多元性

城市的第三个重要特征是其多元性，它包含着两层意思：

(1) 多功能。城市功能一般包括以下内容：第一，作为一个经济实体，城市内部的经济活动必然具备生产、分配、交换、消费4个环节；第二，作为一个社会实体，城市是人们进行政治、社会等活动的中心，为居民提供了一个安定的社会环境；第三，作为一个文化实体，城市必须提供教育、科研、文体娱乐等多种服务；第四，作为一个物质实体，城市还要提供方便工作、居住、游憩和交通的综合设施。以上功能是一切城市所必须具备的，不可偏废与缺少。

(2) 多类型。美国地理学家哈里斯在其《美国城市的职能分类》一文中将城市分为以下几类：工业城市、混合城市、批发商业城市、运输业城市、矿业城市、大学城市、游览疗养城市。日本城市经济学家小笠原义胜也把城市分为7类：工业城市、商业城市、矿业城市、水产业城市、交通运输城市、公务自由城市、其他产业城市。其他的分类方法还有很多，相互之间大同小异。

需要指出的是，城市的类型是一个历史概念，而非固定模式，它将随城市主导功能的变化而改变。

## （二）城市化进程

城市化也被有的学者称为城镇化、都市化，是世界各国社会经济发展的普遍趋势，其本质是人口、社会生产力逐渐向城市转移和集中的过程。

众所周知，近代以来，大规模的城市化现象发端于工业革命。工业革命所带来的大规模的使用机器的生产活动，要求劳动要素相对集中，再加上工业区域劳动市场价格的吸引作用，造成了农村人口向某些中心区域的迅速集中。人群的集中也带来了市场活动、商业经营以及服务业的发展，人群集中本身也能创造就业机会。上述诸种因素的相互影响使得工业化、城市化、市场化，以及所谓“现代化”成为同样的一个历史进程。这样，从18世纪中叶开始，到了20世纪中叶，在将近200年的时间里，多数西方发达国家基本上实现了“城市化”，也就是说，形成了多数人口聚集居住的格局。例如，20世纪中叶，一些西方国家的城市人口占其国家全部人口比例分别为：美国72%，英国87%，联邦德国79%，荷兰86%，加拿大77%，澳大利亚83%。



观察发达国家城市化的演进过程，我们可以看到，发达国家的城市化进程大体上可分为前后相继的两个阶段。第一个阶段以“集中化”为特征，就是前述的从工业革命开始，到 20 世纪 50 年代前后，表现为工业和人口持续的、大规模的集中，城市数目不断增加，规模不断扩大，大城市不断增多。第二阶段则以“分散化”为特征，是指 20 世纪 60 年代以后，西方发达国家城市化中出现了所谓市郊化 (suburbanization) 以及后来的超市郊化 (exurbanization) 现象，即大批居民从城市的中心地迁往城市的郊区地带。这种现象一方面是因为城市的中心地带环境污染问题严峻；另一方面，发达的现代交通工具也为人们从城市移居到郊区提供了可能。于是，这一阶段的区域发展模式表现为城市中心区域人口增长停滞，城市周边区域不断扩增，卫星城市的居民区发展迅速。于是，以大城市为中心的“都市圈”或“城市群”、“城市带”发展较快。

目前，世界上有六大城市群达到城市带的规模，我国只有长江三角洲城市群跻身这六大城市带。它们的具体情况如下：

#### 1. 美国东北部大西洋沿岸城市群

该城市群从波士顿到华盛顿，共 40 个城市（指 10 万人以上的城市），其中包括波士顿、纽约、费城、巴尔的摩、华盛顿几个大城市。该城市带长 965 km，宽 48~160 km，面积 13.8 万 km<sup>2</sup>，占美国面积的 1.5%。该区人口 6 500 万，占美国总人口的 20%，城市化水平达到 90% 以上。它是美国最大的生产基地和商贸中心，世界最大的国际金融中心。

#### 2. 北美五大湖城市群

该城市群分布于五大湖沿岸，从芝加哥向东到底特律、克利夫兰、匹兹堡，并一直延伸到加拿大的多伦多和蒙特利尔，集中了 20 多个人口达 100 多万以上的大都市，是美国、加拿大工业化程度最高、城市化水平最高的地区。该城市群与美国东北沿海城市群共同构成了北美的制造业带。

#### 3. 日本太平洋沿岸城市群，也称为东海道城市群

一般指从千叶向西，经过东京、横滨、静冈、名古屋，到京都、大阪、神户的范围。该城市群一般分为东京、大阪、名古屋三个城市圈，面积 3.5 万 km<sup>2</sup>，占日本全国的 6%；人口将近 7 000 万，占该国总人口的 61%。

#### 4. 欧洲西北部城市群

这一超级城市带实际上由大巴黎地区城市群、莱茵—鲁尔城市群、荷兰—比利时城市群构成。主要城市有巴黎、阿姆斯特丹、鹿特丹、海牙、安特卫普、布鲁塞尔、科隆等。这个城市带 10 万人口以上的城市有 40 个，总面积 14.5 万 km<sup>2</sup>，总人口 4 600 万。

#### 5. 英国以伦敦为核心的城市群

该城市带以伦敦—利物浦为轴线，包括大伦敦地区、伯明翰、谢菲尔德、利物浦、曼彻斯特等大城市，以及众多小城镇。这是产业革命后英国主要的生产基地，该城市带面积为 4.5 万 km<sup>2</sup>，人口 3 650 万，是英国产业密集带和经济核心区。

#### 6. 以上海为中心的长江三角洲城市群

这个城市群由苏州、无锡、常州、扬州、南京、南通、镇江、杭州、嘉兴、宁波、绍兴、舟山、湖州等城市与上海一起组成，面积 10 万 km<sup>2</sup>，人口超过 7 240 万。

## 二、城市交通

### (一) 城市交通的范畴

城市交通就是城市道路系统间的公众出行和客货输送。因城市的规模、性质、结构、地理位置和政治经济地位的差异而各有特点，但都是以客运为重点，并在早晚上下班时间形成客运高峰。

城市综合交通体系中，公共交通和私人交通是两个并列的子系统，具体如图 1-1 所示。

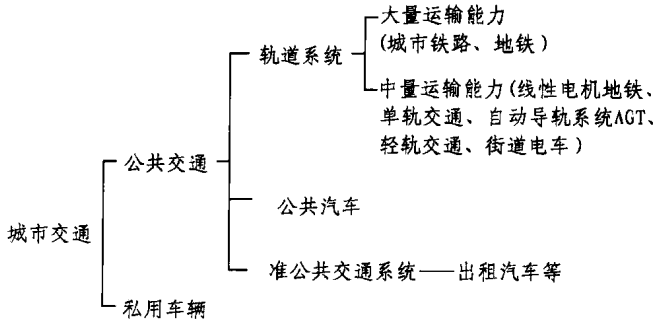


图 1-1 城市综合交通系统结构

私人交通包括徒步和以自用车为交通工具的出行方式，其中自用车有轿车、摩托车、自行车等。私人交通机动灵活，方便人们出行，可以直接由出发点至目的地。但自用车载量小，运送效率低，道路利用率不高，其发展会给城市带来交通拥挤和阻塞，使平均车速日益下降，噪声和空气污染愈趋严重，能源耗量增加，停放车辆场地严重不足。因此，私人交通在大、中型城市宜适当控制发展，只宜作为城市公共交通的辅助方式。在工业不大集中的小城市，私人交通尚可发展。

公共交通系统根据运输能力、服务范围的大小可以分为大运量、中运量和低运量公共交通系统。大运量公共交通系统由城市铁路、市郊铁路、地铁系统和磁悬浮系统构成，最重要的特点就是高速，对都市圈的形成具有很强的支持作用。大运量公共交通系统的服务范围相对较广，线路长度可以超过 50 km，适合于中远距离的出行。其单向客流密度每天可以超过 1 万人/km，也可以在中等运量的客流条件下运营。在我国，当前主要建设的大运量公共交通就是地铁，市郊铁路在我国应用的较少。上海已经建成世界上第一条投入商业运营的磁悬浮线路，但磁悬浮系统仍然不成熟。中运量公共交通系统则由轻轨系统、单轨铁路、AGT 系统、城市空中缆车以及快速公共交通系统构成，具有较大的灵活性，造价相对较低，容易形成网络，对市区的服务覆盖率较高，但是，国内尚未建成任何一种中运量公共交通系统。轨道交通是构成大、中运量公共交通系统的主体。低运量公共交通系统为常规的公共汽车和电车。城市客运交通状况受客流需求和城市道路供给控制，一个合理的客运交通系统能保证城市交通顺畅，人们平等地使用道路。公共交通工具载量大；运送效益高，能源消耗低，相对污染小，运输成本低。因此，优先发展城市公共交通是解决城市交通拥挤、阻塞的措施，也是节约能源、减少污染、改善城市环境的重要途径。

### (二) 我国城市交通现状及存在问题

目前，我国高速的城市化进程、流动人口大量涌入城市、城市机动车辆爆炸性的发展、

交通政策乏力、交通建设和管理的无序，使中国城市在短短十几年内交通问题的概念从无到有，现在已经开始望到世界上交通问题最严重地区的项背，概括起来，目前我们城市交通主要呈现出下列特点和问题：

#### 1. 城市规模逐步扩大，运输压力沉重

改革开放以来的 30 多年，我国取得了持续高速的经济增长和大规模城市化的辉煌成就，然而随之而来的大量人员出行和物资交流频繁，使城市交通面临着沉重的压力，交通堵塞日益严重。

#### 2. 机动车增长加快，道路容量不足

最近几年城市机动车增长速度迅速，轿车、客车、面包车以及摩托车增幅年平均在 15% 以上，而与之对应的人均道路面积一直处于低水平状态，虽然近十年已经有了较快发展，人均面积由  $2.8 \text{ m}^2$  上升到  $6.6 \text{ m}^2$ ，但仍赶不上城市交通量年均 20% 的增长速度。

#### 3. 路网不合理，交通管理水平低下

我国现有城市路网一般密度低、干道间距过大、支路短缺、功能混乱，属于低速的交通系统，难以适应现代汽车交通的需要，交通控制管理和交通安全管理的现代化设施不能满足现实的需求。

#### 4. 公共交通萎缩，出行结构不合理

从 20 世纪 80 年代后期开始，城市公共汽车交通持续萎缩，从运营效率到经营管理，从服务水平到经济效益，出现了全面的衰退。虽然公交车辆和线路长度增长许多，但公交车辆的运营速度不断下降，新增的运力被运输效率下降所抵消。由于公共交通受到冲击，被转移出来的乘客便要寻找其他出行方式，加剧了出行结构的不合理。公共交通体系建设与交通需求增长失衡。

#### 5. 交通污染严重

我国的道路交通事业既面临着机遇又面临着挑战，如何在新世纪中更好的完善我国的道路交通条件，成为交通工作者的当务之急。解决城市交通问题应该贯彻建立“可持续发展城市交通系统”的设想，同时在“可持续发展的城市交通系统”中，交通规划、建设与管理必须综合考虑交通质量改善、资源优化利用、环境有效保护三方面的要求。

## 第二节 城市轨道交通

城市发展和轨道交通的发展相互促进、相互作用。一方面，城市进一步的发展需要轨道交通的快速发展。随着经济发展、城市人口增加、城市范围扩大、卫星城镇的发展以及在中心城市发展到城镇群、城市发展到其高级阶段城市带过程中，城市轨道交通由于速度快、容量大、安全、准时等优点，在城市地域结构变化中能起到巨大作用。中心城市对周围的辐射作用得到强化，中心城区活力的维持、单中心城市向多中心城市的发展，都得益于轨道交通的发展。另一方面，城市的发展，尤其是城市交通的发展，促进了轨道交通在城市客运交通体系中发挥更大的作用。随着世界大城市经济发展和城市地域结构变化，给城市的交通提出

了更高的要求，大城市迫切需要建立多层次、立体化的综合公共交通体系，以满足大城市的交通需求。单一的常规公共交通，由于受机动车过度发展的影响，车速下降，服务质量下降，已不能适应长距离、大客流量的运输任务，不能适应城市的发展。因此，需要建立以公共交通为主体、轨道交通为主导的城市综合交通体系。

## 一、城市轨道交通类型

### （一）城市轨道交通系统的界定范围

#### 1. 城市轨道交通的牵引方式

在城市轨道交通的发展过程中，牵引方式始终处于非常重要的地位。牵引动力是城市轨道交通完成运输的基本原动力，其技术水平的高低、能耗和运价的大小，一直在轨道交通的发展中占主导地位，影响着轨道交通运输成本、运行安全和其发展。最早的地下铁道采用的是蒸汽机车牵引，随着科学技术的发展，大功率电力电子器件和电子计算机的出现，很快出现了电气牵引的地下铁道。当前世界各国地下铁道和其他城市轨道交通普遍采用直流牵引的馈电方式。这种方式具有调速范围大、调速方便、易于控制、车辆起制动平稳、投资节省等优点。它不但适用于车辆上采用的电阻控制，也适用于斩波调压和变频调压等不同的牵引传动系统。只在客流较少的非电气化市郊铁道线路上采用内燃动车组，以节省投资费用。

#### 2. 线路的专用程度

城市轨道交通按线路的专用程度基本上可分为3种类型：一是完全隔离的专用线路，包括隧道和高架，与其他交通方式互不影响，因此，这种系统的车辆具有较高的运行速度，可以保持较高的准时性和安全性；二是采用部分隔离的专用线，这类系统存在部分平面交叉路口，如轻轨交通在城市中心采用隔离的隧道和高架运行方式，而在郊区交通并不繁忙的区段，允许轻轨在地面行驶，少数平交道口可设置信号装置，保证轻轨车辆优先通过；三是采用非隔离的全路面系统，这是一种混合交通，如有轨电车，城市机动车辆可以进入该系统，由于轨道车辆和机动车混杂行驶，运行时间增加，安全也难以保证。

线路的专用程度决定了轨道交通的运营性质、建设投资和系统的服务质量，比较这3种类型，具有全隔离专用线路的系统由于可以采用较多的编组辆数、完善的信号控制、高站台、密闭式车站和先进的自动售检票，使其具有如下优点：① 系统运输能力较大，运行速度较高，运营效率较高；② 系统服务质量好，对乘客具有较大的吸引力；③ 系统安全性最好；④ 运营费用最低；⑤ 更有利于城市的发展，节省有限的地面空间，合理地利用地下空间和城市的上部空间；⑥ 有利于实现轨道交通系统的自动控制。

全隔离的轨道交通系统最大的缺点是投资费用大，隧道部分的费用又高于高架部分。正因为这个原因，全隔离系统的轨道交通路网在城市中延伸的范围受到一定限制。部分隔离的轨道交通系统和全路面系统之间并无明显的界限，但部分隔离的轨道交通的优点还是比较明显的。

#### 3. 城市轨道交通车辆的导向方式

导向方式是城市轨道交通重要的特性之一，影响着轨道交通系统的结构、运行和建设费用。城市轨道交通车辆的导向方式基本上分为两种类型：一种是由司机操纵在道路上运行的方式，如公共汽车等；另一种类型是轮轨导向。轮轨导向又分为钢轮钢轨导向方式和胶轮导向方式

两种。市郊快速铁道、地铁、轻轨、线性电机牵引的系统和有轨电车等均属于钢轮钢轨导向方式，单轨、导轨交通则是一种特殊的胶轮导向系统。

轮轨导向与司机人工导向系统相比具有如下优点：① 线路宽度尺寸较小；② 车辆结构较简单，特别是钢轮钢轨导向；③ 车辆运行性能较好；④ 噪声较小；⑤ 运行阻力小，能耗低，运营成本低；⑥ 安全性、可靠性较高，容易实现自动控制和自动驾驶。

轮轨导向系统的缺点是与其他交通工具的兼容性较差，所需建设费用高，对城市而言缺乏灵活性，系统改造和建设都有一定难度。

钢轮钢轨导向和胶轮导向系统相比，在正常气候条件下，胶轮导向系统牵引性能较好，线路最大坡道可达 70‰，而且噪声较小，但胶轮导向在雨、雪潮湿的情况下牵引性能并不理想，运行阻力大，能耗较高，导向及转辙装置比较复杂，建设费用较高，胶轮导向方式只适用全部专用的线路。

#### 4. 车辆的编组形式

所有的城市轨道交通系统车辆都可以采用编组运行的方式，不同的轨道交通系统编组辆数不同。如地下铁道编组可达 10 辆，而有轨电车通常采用单车运行或最多 2 辆编组。车辆编组形式影响到轨道交通系统的规模、设备容量及车辆检修用地面积，也影响到轨道交通系统的建设费用，是轨道交通系统的重要特性之一。车辆的编组形式同样受车辆类型和运量的影响，考虑到客流量将逐年增加，按不同设计年限可以采用不同的编组形式。车辆编组形式通常有全动车编组、动拖车混合编组和单元车组 3 种方式。

(1) 全动车编组可以根据客流变化，灵活调整车辆编组辆数，而且具有整车性能不降低的优点，轴重分布均匀，可以全部采用电制动，易于控制，反应快，机械磨损小。但这种编组形式要求每辆都有独立的牵引控制系统，轴重较大，电机总功率较大，耗电量增加，维修和保养工作量增加。

(2) 动拖车混合编组可以根据具体情况，适当地增加动车和拖车，电机功率利用率较高，设备集中，维修方便，维修工作量小。但车辆种类增加，动车轴重较大，拖车轴重较小，全列车重量分配不均匀。

(3) 所谓单元车组，是将几辆动车和拖车通过半永久式车钩固定连接成为一个车组，根据客流量确定列车单元个数的多少。这种编组形式，可以统一考虑设备布置，设备数量减少，设备能得到充分利用，重量分配均匀，维修工作量减少。但由于列车由几个单元车组组成，可能造成满载率过高和过低的现象。

#### 5. 城市轨道交通系统的运输能力

城市轨道交通系统的运输能力是系统的主要技术指标之一，是系统选型的主要依据。按运输能力分类，目前各国还没有统一的标准，大致可以区分为大运量、中运量和小运量 3 个系统。市郊快速铁道、地下铁道属大运量轨道交通系统，单向高峰小时运量在 4 万人次以上；轻轨、单轨、导轨和线性电机牵引的系统均属于中运量系统，单向高峰小时运量在 1 万~4 万人次之间；有轨电车则是小运量轨道交通系统。

城市轨道交通的运输能力取决于列车的最大载客量和列车的最短行车间隔时间。① 列车最大载客量由车辆定员和列车编组辆数决定，而车辆定员又需要考虑车辆线性尺寸、坐席比、每平方米站立人数等舒适性参数而有较大差异。② 最短列车间隔时间受线路条件、信号设施

及控制系统的制约。运输能力与列车运行间隔有极大的关系，如果最小行车间隔缩短，则列车通过能力提高，此时编组辆数减少，亦可达到相应的运输能力。当然，这对列车信号控制要求也相应提高。如果说公共交通系统的客流量反映了城市公共交通的客观需求，运输能力则表示交通系统的实际适应能力，它取决于列车编组、载客量、行车间隔及公共交通系统的服务质量。

理论研究表明，车辆行车间隔和车辆载客量还影响到系统的建设费用和乘客的费用。如采用较长的间隔时间和较长的编组则建设费用降低，但乘客候车时间将增加；当列车载客量保持一定，利用缩短行车间隔时间增加运载能力时，系统的平均费用基本保持不变，但乘客的平均消耗时间减少，随着行车间隔时间的继续减少，列车行车频率不断提高，但是运营费用开始增加，准时性和可靠性下降。

## （二）城市轨道交通的分类定义

针对国外各种轨道交通方式的特点，根据城市轨道交通的界定范围，将那些技术成熟、已经作为城市公共交通正式运营的轨道交通区分为 7 种类型，并定义如下。

### 1. 城市市郊快速铁道

城市市郊快速铁道是由电气或内燃牵引，轮轨导向，车辆编组运行在城市中心与市郊、市郊与市郊、市郊与新建城镇间，以地面专用线路为主的大运量快速轨道交通系统。

### 2. 地下铁道

地下铁道是由电气牵引、轮轨导向、车辆编组运行在全封闭的地下隧道内，或根据城市的具体条件，运行在地面或高架线路上的大容量快速轨道交通系统。

根据资料分析，为了降低工程费用，地铁系统中地面和高架线路所占的比重越来越大。在世界范围内，地下铁道地下部分约占 70%，地面和高架部分约占 30%，而有的城市地铁系统全部采用高架形式，只有部分城市地下铁道系统是完全在地下的。地下铁道已经是历史遗留下来的一个专有名词，图 1-2 为广州地铁。

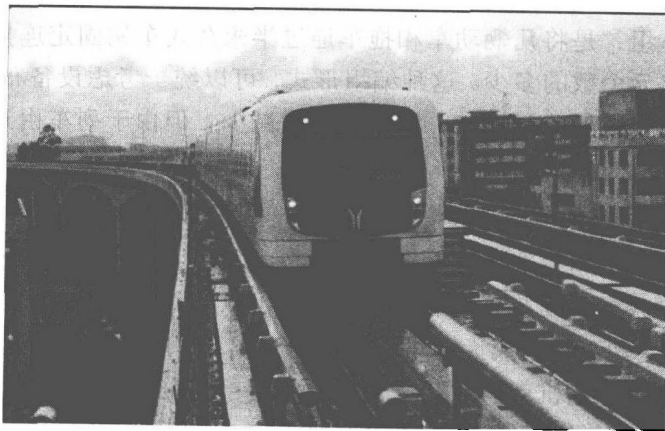


图 1-2 广州地铁

### 3. 轻轨交通

轻轨交通是在有轨电车基础上发展起来的电气牵引、轮轨导向、车辆编组运行在专用行

车道上的中运量城市轨道交通系统。轻轨交通的运量在公共汽车和地铁之间，它可以根据城市的特点和具体情况，采用地下、地面及高架相结合的形式进行建设，可以降低建设费用，具有很大的灵活性和适应性。轻轨交通还可以根据客流的需要采用不同车型，如单车和铰接车组成不同的编组方式，图 1-3 为津滨轻轨。



图 1-3 津滨轻轨

#### 4. 单轨交通

单轨交通是由电气牵引、具有特殊导向和转折装置、列车编组运行在专用轨道梁上的中运量轨道交通系统。通常分为跨座式和悬垂式 2 种形式，车辆重心在运行轨面之上的称为跨座式单轨（见图 1-4），在运行轨面之下的称为悬垂式单轨（见图 1-5）。



图 1-4 跨座式独轨交通



图 1-5 悬吊式独轨交通

#### 5. 新交通系统

所谓的新交通系统，目前还没有统一和严密的定义。从广义来讲，可以认为凡是适应地区多样化的交通需求，使线路和车辆提供最高的运输效率和良好的服务质量的公共运输系统和设备都是新交通系统，是那些与现有运输模式不同的各种新交通方式的总称。狭义的新交通系统则定义为，由电气牵引，具有特殊导向、操纵和转折方式的胶轮车辆，单车或数辆编

组运行在专用轨道上的中运量轨道运输系统。这种轨道运输系统多数设置在道路及公共建筑物的上部空间，具有中等运量，能自动行驶。新交通系统从系统运行特征上分析，也可以称为导轨式交通系统。图 1-6 为自动化导向列车，图 1-7 为磁悬浮列车。

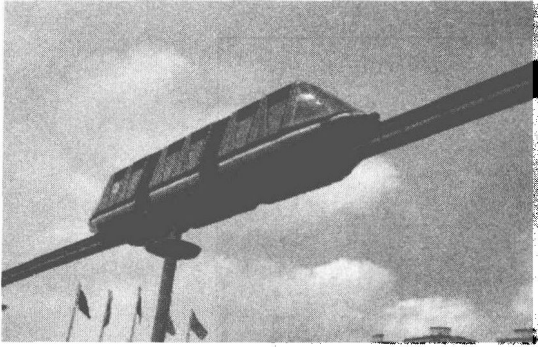


图 1-6 自动化导向列车

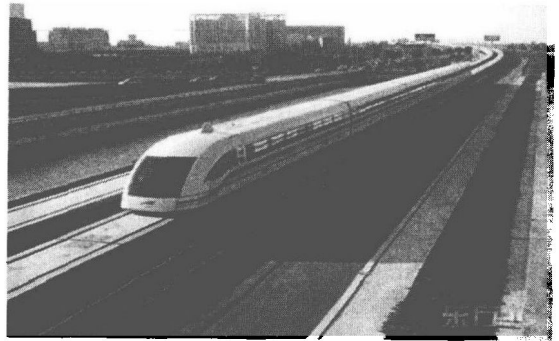


图 1-7 磁悬浮列车

## 6. 线性电机牵引的轨道交通系统

线性电机牵引的轨道交通系统是由线性电机牵引，轮轨导向，车辆编组运行在小断面隧道、地面和高架专用线路上的中运量轨道交通系统。

之所以将线性电机牵引的轨道交通系统列为独立的系统，是因为该系统与地下铁道、市郊快速铁道、轻轨有明显的区别。它是利用线性电机在磁场相互作用下，直接产生牵引力，属于非黏着驱动，车轮只起到支撑和导向作用。从运输能力上分析，因采用小型车辆，属于中运量系统，使用在地铁中可以称为小断面地铁，也可以用在高架线路上。

## 7. 有轨电车

有轨电车是由电气牵引、轮轨导向、单车或两辆编组运行在城市路面线路上的低运量轨道交通系统。

现代有轨电车由于采用整体道床，轨面和路面保持同一水平，因此机动车辆和行人可以进入，是一种混合交通。车辆运行速度较低，行车安全和准时性较差，运量较小，单向高峰小时运量通常在 1 万人左右。图 1-8 为苏黎世的有轨电车。



图 1-8 苏黎世的有轨电车

## 二、城市轨道交通发展

### (一) 城市轨道交通的起源

#### 1. 交通工具的使用

晋，陶渊明在《桃花源记》中说：阡陌交通，鸡犬相闻。汉朝《孔雀东南飞》中讲到：枝枝相覆盖，叶叶相交通。中国自古以来，交通都有彼此相通、往来通达的意思。

法国维希留教授说过：20 世纪欧洲的哲学史，基本上可以视为回应速度变迁冲击的历史，



更简单地说，就是一部交通史。可见，交通发展的历史与人类文明的发展历史是相依相随的。人类的发展必须需要交通，人类存在的必要条件是衣、食、住，即所谓的温饱问题，是人类存在的必要条件。而人类社会的存在和发展还要再加上一个条件，那就是行——交通。交通是社会发展的基础，是社会生产、流通、分配、消费以及社会人们工作、交往和旅游的先决条件。人们如果出去旅游，没有交通工具是不行的。没有交通手段的人活动空间是非常有限的，一般的概念是步行的人活动空间在 5 km 范围内。为了扩大人的活动空间，人类必须学会使用交通手段。人类最早使用的交通工具是木舟，大约在公元前 1 万年，在尼罗河流域与黄河流域，人们就开始使用独木舟了。在那时，除了木舟这个简陋的交通工具，就没有别的交通手段了，其原因在于早期人类根本无法解决陆上交通的最根本困难：运载物体与地面的摩擦力。

## 2. 轨道的出现

实际上，轨道的出现远远早于火车。轨道的出现是为了减小摩擦阻力，提供一个比较平滑的接触面，而且省钱——无须对全部道路都进行加工。公元前 6 世纪，在希腊有一条 6 km 长的 Diolkos 轨道（石质的轨道），用来运输船只，横跨 Corinth，载运船只的车辆由奴隶拉着在石灰石刻成的轨道上行走。Diolkos 使用了 1 300 多年，直到公元 700 年。

## 3. 轨道车辆的出现

至少 2000 年之前，马拉轨道车辆出现在希腊、马耳他和罗马帝国，使用加工过的石材作为轨道。这种交通形式再次出现在欧洲出现是 1550 年，通常使用原木作轨道。18 世纪铁轨出现在英国，英国土木工程师 William Jessop 设计了类似现在的铁轨和有轮缘的车轮，1802 年开通了伦敦南部世界上第一条马拉的公共铁路。同一时期在一些林区利用斜坡铺设了无动力轨道，如图 1-9 所示。



图 1-9 无动力轨道

## 4. 轨道交通的定义

运载人和物的车辆在“特定”的轨道上走行，轨道起了支撑和导向作用的交通手段称为轨道交通。对轨道交通定义的解释是：通常意义的轨道交通系统是“钢轮钢轨”系统，轮轨之间的接触是“点接触”，车辆行驶的滚动阻力比道路交通车辆行驶在道路时要小得多；“轨道”都是铺设在运输量集中的“交通走廊”中，由于轨道的“支撑”（Support）作用，轨道交通车辆的载重要大于道路车辆，换言之轮对传递给轨道的力也大得多；轨道的“导向”（限定）作用，轨道交通“车道”的宽度要小于道路车道的宽度；一般概念的轨道交通均具有独立路权，轨道交通车辆的运行速度均高于道路交通车辆。

19 世纪的道路是没有铺装的，充气橡胶轮尚没有出现，要提高车辆的速度就必须减少车轮和接触面的摩擦阻力，另外，载客有一定的路线，在规定的路线上铺设轨道无疑是十分有利的，这就是为什么 1829 年的伦敦、1831 年的纽约街上出现了公共马拉或驴拉轨道车辆的原因。1860 年公共马拉或驴拉轨道车辆更是风靡北美各大城市。