

项目一

城市轨道交通及其发展

自 20 世纪下半叶以来,伴随着世界各国的城市区域不断扩大,城市经济日益发展,城市人口逐渐上升。由于城市流动人口及汽车保有量的猛增,城市交通量急剧增长,而城市道路的相对有限性与汽车生产的相对无限性的尖锐矛盾迫使各国政府实施“公交优先”的战略——在大城市建设以轨道交通为骨干、道路公交为基础、出租车为补充的公共交通系统。因此,在城市大力发展轨道交通势在必行。

任务一 城市轨道交通



学习目标

- (1) 了解城市轨道交通的概念。
- (2) 掌握城市轨道交通的特点。
- (3) 了解城市轨道交通的类型。
- (4) 掌握城市轨道交通按运能范围、车辆类型和主要技术特征进行分类的各种轨道交通类型的特点。



学习任务

认知城市轨道交通的概念,熟知城市轨道交通的特点,认知城市轨道交通的分类,熟知并能识别按运能范围、车辆类型和主要技术特征进行分类的各种轨道交通类型的特点。



工具设备

城市轨道交通不同类型车辆及其设备的相应挂图、图片,多媒体设备等。



教学环境

多媒体教室或在城市轨道交通车站现场教学。



基础知识

一、城市轨道交通的概念和特点

(一) 城市轨道交通的概念

城市轨道交通是一个包含范围较大的概念,在国际上没有统一的定义。根据轨道交通的特性,从广义上讲,凡是车辆运行在导轨上的交通运输工具都可称为轨道交通运输。在轨道交通运输发展的历史进程中,人们常把担当长运输的铁路称为大铁路(或称干线铁路),用于与城市轨道交通运输相区别。因此,我们通常所说的城市轨道交通不包括大



铁路。

城市轨道交通是指在城市公共客运交通系统中以电能为动力、具有固定轨道线路、配备运输车辆及服务设施的快速大运量公共交通设施和方式。

可见，城市轨道交通是指以轨道运输方式为主要技术特征，是城市公共客运交通系统中具有中等以上运量的轨道交通系统（有别于道路交通），主要为城市内（有别于城际铁路，但可涵盖郊区及城市圈范围）公共客运服务，是一种在城市公共客运交通中起骨干作用的现代化立体交通系统。

（二）城市轨道交通的特点

1. 运量大

城市轨道交通由于高密度运转，列车行车时间间隔短，行车速度快，列车编组辆数多而具有较大的运输能力。单向高峰的运输能力最大可达到6万~8万人次/小时（市郊铁道）；地铁达到3万~6万人次/小时，甚至达到8万人次/小时；轻轨达到1万~3万人次/小时；有轨电车能达到1万人次/小时。可见，城市轨道交通的运输能力远远超过公共汽车。据相关文献统计，地下铁道每千米线路年客运量可达100万人次以上，最高达到1200万人次，如莫斯科地铁、东京地铁、北京地铁等。城市轨道交通也能在短时间内输送较大的客流。据统计，地铁在早高峰1小时内能通过全日客流的17%~20%，3小时内能通过全日客流的31%。

2. 准时

城市轨道交通由于在专用行车轨道上运行，因此不受其他交通工具干扰，不产生线路交叉堵塞现象，并且不受气候影响，是全天候的交通工具。所以，列车能按运行图运行，具有可信赖的准时性。

3. 快捷

与常规公共交通相比，车辆有较高的运行速度，有较高的启、制动加速度，同时多数采用高站台，列车停站时间短，上、下车迅速方便，而且换乘方便，从而可以使乘客较快地到达目的地，缩短了出行时间。

4. 舒适

与常规公共交通相比，城市轨道交通由于运行在不受其他交通工具干扰的轨道线路上，所以城市轨道交通车辆具有运行平稳的特性。同时，其车辆、车站等装有空调、引导装置、自动售票等直接为乘客服务的设备，车厢整洁舒适和设计的人性化等，使得城市轨道交通具有较好的乘车条件，其舒适性优于公共电车、公共汽车，如图1-1、图1-2所示。

5. 安全

城市轨道交通由于没有平交道口，不受其他交通工具干扰，并且有先进的通信信号设备，因此安全系数较高。

6. 占地少，不破坏地面景观

大城市地面拥挤、土地费用昂贵。城市轨道交通由于充分利用了地下和地上空间的开发，不占用地面街道，因此能有效缓解由于汽车大量发展而造成的道路拥挤、堵塞，有利



于城市空间的合理利用，特别是有利于缓解大城市中心区过于拥挤的状态，进而提高了土地利用价值，并能保护城市景观。



图 1-1 时尚、舒适的地铁车厢



图 1-2 公交车厢

7. 低污染

城市轨道交通由于采用电力牵引方式，与公共汽车相比，它不会产生废气污染。并且随着城市轨道交通的发展，公共汽车的数量还会减少，这进一步减少了汽车的废气污染。同时，由于在线路和车辆上采用了各种降噪措施，一般不会对城市环境产生严重的噪声污染。

8. 投资大，技术复杂，建设周期长

城市轨道交通是一个庞大的系统工程，它涉及土建（装修）、机械、电子、供电、通信、信号等多种技术，具有设备多，点多面广，技术要求、技术含量高，系统性、严密性、联动性要求高等特点。城市轨道交通土建工程大面多，且建设的周期长，涉及的资金投入一般是每千米 4 亿~6 亿元人民币。一般大城市建成一个 200km 的地铁网要投资上千亿元人民币的资金，且时间为 10~20 年。

二、城市轨道交通的类型

城市轨道交通种类繁多、技术指标差异较大、世界各国评价标准不一，目前尚无十分统一的分类标准。不同的分类方法可以有不同的结果。按照运能范围、车辆类型及主要技术特征可分为有轨电车、地下铁道（地铁）、轻轨、独轨、磁悬浮、新交通系统等。

1. 有轨电车

有轨电车是使用电力牵引、轮轨导向、1~3 辆编组运行在城市路面线路上的低运量轨道交通系统。

有轨电车一般设在城市中心，穿街走巷运行，具有上、下车方便的特点。有轨电车有造价低、建设难度小的优点。一般采用直流电动机驱动，与其他车辆混行，受路口红、绿灯的控制，正点率低，噪声大，加减速性能较差，因此，通行能力低、安全程度低，极易与地面道路车辆冲突而引起道路交通堵塞。目前，大连、长春、上海和香港等城市还保留着老式有轨电车，如图 1-3 所示。

经改造后的现代化有轨电车（如图 1-4 所示）与性能较差的轻轨交通已很接近，只是车辆尺寸稍小一些，运营速度接近 25km/h，单向运能可达 2 万人次/小时。1908 年，上



海第一条老式有轨电车建成通车，如图 1-5 所示。百年之后的 2009 年，上海张江地区现代化有轨电车建成通车，如图 1-6 所示。



图 1-3 大连老式有轨电车



图 1-4 大连现代化有轨电车



图 1-5 上海老式有轨电车



图 1-6 上海现代化有轨电车

2. 地下铁道

地下铁道简称地铁，泛指轴重相对较重，高峰时单向客运量在 3 万~7 万人次/小时的大容量轨道交通系统。该系统在市区多为地下隧道线路(如图 1-7 所示)，主要运行于市区，也可延伸到市郊运行。



图 1-7 地铁

地铁的主要技术特征是轨道线路全部或部分建在地下且全封闭；站间距较密；电力驱动；信号自动化控制。地铁具有运量大、速度快、安全、准时、舒适、节约城市土地资源等特征，但建设费用大、周期长、成本回收慢，每千米投资为 4 亿~6 亿元人民币。地铁主要技术参数如表 1-1 所示。



表 1-1 地铁主要技术参数

序号	项目	技术参数	序号	项目	技术参数
1	高峰小时单向运送能力	30 000 ~ 70 000 人	8	安全性和可靠性	较好
2	列车编组	4 ~ 8 节, 最多 11 节	9	最小曲线半径	300m
3	列车容量	3000 人	10	最小竖曲线半径	3000m
4	车辆构造速度	89 ~ 100km/h	11	舒适性	较好
5	平均运行速度	30 ~ 40km/h	12	城市景观	无大影响
6	车站平均间距	600 ~ 2000km/h	13	空气污染, 噪声污染	小
7	最大通过能力	30 对/h	14	站台高度	一般为高站台, 乘降方便

3. 轻轨

如图 1-8 所示, 轻轨是在有轨电车的基础上改造发展起来的城市轨道交通。轻轨是运行在轨道上, 相对于铁路和地铁的荷载较轻的一种交通系统。轻轨交通原来的定义是指采用轻型轨道的城市交通系统。



(a) 地面轻轨



(b) 高架轻轨

图 1-8 不同类型的轻轨

轻轨最早使用的是轻型钢轨, 现在已采用与地铁相同质量的钢轨, 所以目前国内外都以客运量或车辆轴重的大小来区分地铁和轻轨。轻轨是指运量或车辆轴重小于地铁的快速轨道交通。在我国《城市轨道交通工程项目建设标准》(试行本)中, 把每小时单向客流量为 0.6 万 ~ 3 万人次的轨道交通定义为中运量轨道交通。

轻轨交通采用线路隔离、自动化信号、调度指挥系统等措施, 最高速度可达 60km/h, 克服了有轨电车运能低、噪声大等问题。另外, 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。由于轻轨交通具有投资少、建设周期短、运能大、灵活等优点, 因此发展很快。

目前, 无论是发达国家, 还是发展中国家, 轻轨交通都方兴未艾, 各国纷纷根据自己的国情制定相应的轻轨交通发展战略和模式。纵观各国情况大致有以下三类发展模式: 一是改造老式有轨电车为现代化轻轨交通, 如德国、东欧各国, 如图 1-9 所示; 二是利用废弃铁路线路改建成轻轨路线 (如图 1-10 所示), 如美国圣迭戈轻轨交通、瑞典的哥德堡、



德国的卡尔·马克思州轻轨交通，我国上海明珠线一期工程、武汉轨道交通1号线一期工程也属于这种方式；三是建设轻轨交通新线路的方式，如马尼拉、鹿特丹、中国香港等。



图 1-9 德国老式有轨电车改造为轻轨



图 1-10 利用废弃铁路改建的轻轨

4. 独轨

独轨也称为单轨，是指通过单一轨道梁支撑车厢并提供导引作用而运行的中等运量的轨道交通系统，其最大特点是车体比承载轨道要宽。

按照支撑方式的不同，独轨通常分为跨坐式和悬挂式两种形式。跨坐式是车辆跨坐在轨道梁上行驶，如图 1-11 所示；悬挂式是车辆悬挂在轨道梁下方行驶，如图 1-12 所示。



图 1-11 跨坐式独轨



图 1-12 悬挂式独轨

独轨交通线路多为高架，占地小，可充分利用城市空间，适宜于在大城市的繁华中心区建线，对城市景观及日照影响小；独轨交通线路构造简单，建设费用低，约为地铁的 1/3；独轨一般采用轻型车辆，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；独轨交通架于空中，具有交通和旅游观光的双重作用。

然而，独轨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多约 40%，且有轻度的橡胶粉尘污染；独轨的车辆及特殊的运行方式，使得它不能与常规的地铁、轻轨等接轨；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；如果列车运行至区间时发生事故，疏散和救援工作困难。



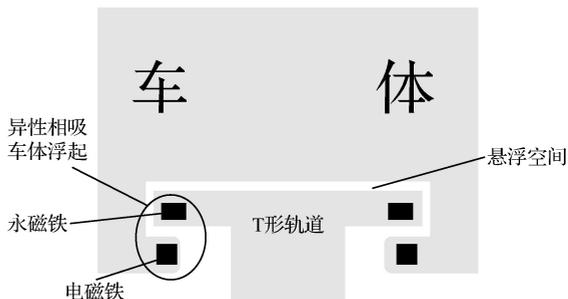
5. 磁悬浮

磁悬浮是指一种非轮轨黏着、用直线电机驱动列车运行的轨道交通系统。磁悬浮保留了轨道、道岔和车辆转向架及悬挂等许多传统机车车辆的特点，克服了传统列车机械噪声和磨损等问题，不受轮轨黏着速度理论极限的限制，速度可达 500km/h 以上。

磁浮列车从悬浮机理上可分为常导吸型（如图 1-13 所示）和超导斥型（如图 1-14 所示）。



(a) 常导吸型磁悬浮列车

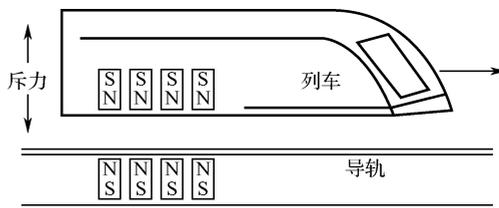


(b) 常导吸型磁悬浮列车悬浮原理示意图

图 1-13 常导吸型磁悬浮列车和列车悬浮原理



(a) 超导斥型磁悬浮列车



(b) 超导斥型磁悬浮列车悬浮原理示意图

图 1-14 超导斥型磁悬浮列车和列车悬浮原理

我国上海的轨道交通 2 号线就是磁浮列车专线（如图 1-15 所示），它于 2003 年 1 月 4 日正式开始商业运营，是世界上第一条投入商业运营的磁悬浮线路，设计最高运行速度为 430km/h，仅次于飞机的飞行时速。它是在德国的 TR08 列车的基础上发展起来的，在运行速度、舒适性、能耗、环境、安全性和运行维护等方面，具有铁路车辆和飞机无可比拟的优势。

6. 新交通系统

新交通系统（New Transport System）是新开发的具有高速、准点、舒适和污染小的交通方式及其运行服务系统的总称；是 20 世纪 60 年代出现的不同于传统运输方式的新型交通工具；是为克服现有交通方式在环境和经营上的缺陷，或为满足现有运输方式难以适应的运输需求而开发的新交通方式和新运营服务的总称。新交通系统现多用于乘客运输。



图 1-15 2003 年投入商业运营的上海磁悬浮列车专线

自动导向交通系统就是一种新交通系统，是指系统中利用导轨导向自动控制运行的新型轨道交通系统，如图 1-16、图 1-17 所示。



图 1-16 日本自动导向交通系统



图 1-17 美国新交通系统

按照行走方式的不同，新交通系统分为以下几种类型。

(1) 自动化轨道交通系统：是指导入计算机和全自动控制系统的双轨铁路、独轨铁路，属中量轻轨输送方式，适于承担的运输范围介于公共汽车和市郊铁路间。

(2) 新型无轨交通系统或复合交通系统：是指以自动控制（无人驾驶）的新型无轨电车在导向槽中行驶的系统，如图 1-16 所示。

(3) 步行者援助系统：由高速人行道、自动扶梯和小座舱组成，主要用于运送上、下飞机的乘客和邮件。

(4) 公共汽车运营自动控制系统：是为适应非大量的乘客需求，通过计算机系统收集信息，并将其组织起来开行无固定路线的小型公共汽车或公共汽车站间运行自动预报系统。

三、城市轨道交通系统组成

城市轨道交通系统包含了线路、车辆、供电、通信、运营调度、自动售票和检票、客运服务、安全保障等诸多专业，各专业中又分别包含机械、电气、控制、自动化、计算机等多工种。所有这些专业和工种必须有效联动，才能确保城市轨道交通系统的正常运营。而各专业在城市轨道交通系统中，各自发挥着不可替代又不可或缺的作用。例如，列车是运送



乘客的载具，但必须在已铺设完成的轨道线路上才能行驶；列车行驶依靠的是供电专业提供的电源；为保证列车行驶安全，必须有畅通及时的通信系统和准确无误的信号系统作为保障；乘客进出车站、购买车票、上下列车都需要客运人员提供车站服务等。

由此可见，只有城市轨道交通系统涉及的专业都能确保各自工作正常，才能使城市轨道交通发挥作用。

按照城市轨道交通工作目标和服务对象的不同，可以将城市轨道交通涉及的专业分为设备保障和运营管理两大类。

（一）设备保障

设备保障的最大特点是为运营管理提供设备和技术保障，一般不直接与乘客见面。各专业利用技术先进、性能可靠、操作简便的专业设备，为城市轨道交通实现安全运送乘客的既定目标，提供可靠的物质保障。如图 1-18 所示，设备保障主要包括以下内容。

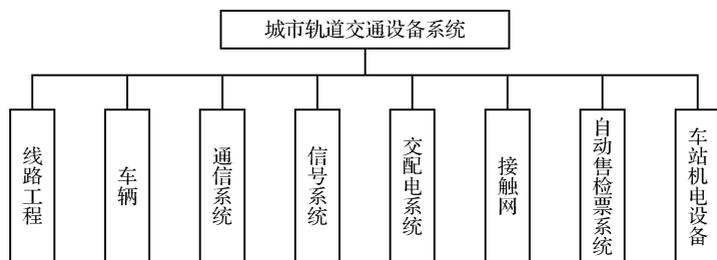


图 1-18 城市轨道交通设备系统的构成

1. 线路工程

城市轨道交通采用的是电力驱动的轮轨系统，线路既是列车运行的支撑，同时也是电动列车驱动电路的组成部分，所以线路工程可以称为整个乘客运送系统的基础。在城市轨道交通系统中，一般将隧道、桥梁、车站建筑、监护等纳入线路工程的子系统。

2. 车辆

作为运送乘客的载具，车辆的性能直接决定了运送乘客目标的实现质量。乘客在途中的安全有赖于列车的安全运行；列车行进速度则直接决定了乘客到达的快捷和准点；车厢载客量、车厢硬件设备则决定了乘客出行过程的舒适度。

3. 通信系统

通信系统的任务是建立一个能实现系统内指挥调度及公务业务联系的通道。例如，为乘客提供运营信息，为公安部门提供视频和无线资源，为消防管理部门提供无线资源等。有线通信和无线通信是通信系统的两个子系统。

4. 信号系统

信号是信息的表现形式，信息则是信号的具体内容，可以认为信号是信息传递的一种手段。城市轨道交通通过信号，实现行车指挥和列车运行现代化，保证列车运行安全，提高运输效率。此外，还要利用信号将运营信息告知乘客，实现客流组织和完成客运送送任务。



5. 变配电系统

电力是城市轨道交通列车驱动的能量，由国家电网供电。电网供给的是经长途输送的高压交流电，须进行逐级降压后才能使用。由于城市轨道交通的电动列车大都采用电抗压降小的直流供电制式，因此逐级降压和整流是变配电系统的主要工作内容。

6. 接触网

行进中的列车在速度、水平和垂直平面内的位置是在不断变化的，接触网系统为行进和停站列车提供可靠电源。高压交流电经降压、整流后形成的直流电，通过供电接触网送达列车，供列车使用。因此，直流电接触网是连接固定电源和移动列车间的中间传导系统。该系统最大的特点是：接触网供电系统始终保持对列车的供电状态。

7. 自动售检票（AFC）系统

将计算机管理引入售检票所形成的自动售检票系统，实现了售票、检票的作业自动化，实现了乘客的“自助式”服务。不但节省了劳动力成本，有效提高了服务质量，同时在数据统计方面，尤其在各时间段的客流量统计和各车站客流变化的分析方面也有了可靠的工具，为客流组织、车站设施布置甚至车站规模的确定提供了翔实的数字依据。

8. 车站机电设备

车站机电设备包括车站自身的硬件设备系统和为乘客服务的设备系统两大类。属于前者的有车站火警自动报警系统（FAS）、车站自动管理系统（BAS）、车站给排水系统等；属于后者的有车站通风系统、车站空调系统、自动扶梯系统、站台屏蔽门系统等。车站机电设备的完好率将直接决定车站安全和乘客能直接感受到的舒适、方便、安全程度，因此车站机电设备系统虽然不直接决定城市轨道交通的运营质量，但能充分体现城市轨道交通的服务质量，决不能等闲视之。

（二）运营管理

运营管理工作目标是为乘客提供安全、快捷、准点、方便和尽可能舒适的出行工具，所以，凡是直接涉及乘客出行的专业和工种，均纳入运营管理范围。城市轨道交通系统运营管理工作内容如图 1-19 所示。

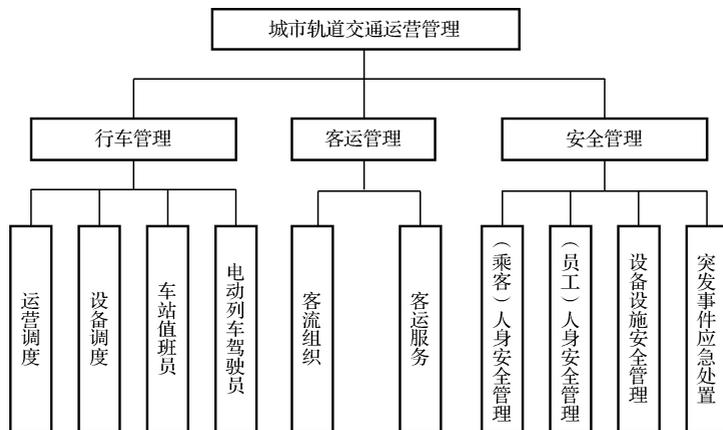


图 1-19 城市轨道交通系统运营管理工作内容



1. 行车管理

行车管理主要负责对系统内所有列车的运行管理。城市轨道交通列车的运行是按运行图进行的，所以编制运行图、下达行车命令、突发事件时的行车调整、有关行车组织的即时命令发布等均是行车管理系统的工作职责。

1) 主要工种

行车管理的主要工种包括运营调度、设备调度、车站值班员、电动列车驾驶员等。

2) 主要工种的岗位和主要职责

(1) 运营调度、设备调度一般集中在线路调度中心，负责全线的行车指挥。

(2) 车站值班员岗位在车站，负责按运行图或调度命令，对途经车站的列车进行正常行车操作或调整，对车站客流进行组织或疏导。

(3) 电动列车驾驶员岗位在列车上，除了负责驾驶列车运送乘客外，还要通过列车广播、车厢显示屏等平台为乘客提供服务。当列车突发故障时，更要承担安全疏导乘客的任务。

2. 客运管理

客运管理是对乘客运送全过程的管理，是直接面向乘客的重要服务系统。系统服务对象是广大乘客群，专业宗旨是为乘客提供优质服务，专业评价标准是乘客满意度。

1) 两个重要子系统

客运管理又包含两个重要子系统：客流组织和客运服务。前者主要是组织乘客有序流动；后者是为乘客提供优质服务。车站服务员（简称站务员）是服务提供者。

2) 车站服务员

车站服务员岗位在车站，是为乘客提供服务的人员。理论上，车站服务员是乘客出行过程中唯一能接触到的城市轨道交通工作人员，因此乘客通过服务人员的言行举止对轨道交通运营企业的工作质量进行评判。随着城市轨道交通各系统自动化技术的不断提高，目前已实现了乘客“自助式出行”的目标，即乘客可以依靠车站提供的各类信息指示，在“无人服务”的状况下自主完成出行。

3. 安全管理

城市轨道交通系统中安全运营始终是第一要务。广大乘客的生命安全、设备的安全运行、突发事件时的人员疏散和事故处理，以及反恐、防恐的措施制定、实施都是安全管理专业的工作范畴。从工作性质分，安全管理又有乘客和员工人身安全管理、运行和服务设备设施安全管理和突发事件应急处置三大内容。

综上所述，城市轨道交通系统因其封闭、独立和自成体系的运营方式使安全、准点、快捷地运送乘客的目标得以实现；多专业、多工种的联动和新设备、新技术的应用是城市轨道交通系统的最大技术特点。



相关案例

天津津滨轻轨

天津津滨轻轨又称天津地铁9号线，始建于2001年1月18日，一期工程东段于2003年9月30日建成通车，2004年3月28日开始试运营。

津滨轻轨一期工程东段，即中山门至东海路段，设中山门、一号桥、二号桥、新立镇、东丽开发区、小东庄、军粮城、钢管公司、胡家园、塘沽站、泰达站、市民广场、会展中心、东海路共14座车站，全长为45.409km，其中高架线为39.915km，地面线为5.494km，于2001年5月18日开工建设，2003年9月30日建成通车。

2004年3月28日，津滨轻轨开放试运营，试运营期间，轻轨实行人工售票，按照乘车里程不同，有3元和5元两种不同票价，运营时间自7:00至19:00，首批开通的车站有中山门、东丽开发区、钢管公司、洋货市场、洞庭路、东海路共6座车站，胡家园站作为滨海快速员工通勤车站，只供内部使用，会展中心站只供泰达足球场或会展中心举办活动时开放使用。

2004年5月25日，一号桥站开通。

2004年9月13日，延长运营时间，自6:30至19:00。

2004年10月18日，市民广场站开通。

2005年3月27日，会展中心站开通。

2005年4月28日，二号桥站开通，一号桥站关闭。启用自动售检票系统，调整票价为2元、3元、4元、5元、6元5种，以及轻轨IC卡收费方法。

目前，轻轨运营时间自6:30至21:00，所以沿线14个车站均已开放，并且在终点站实行6:15开站，8:55终止进站购票的规定。并于2008年秋实现城市一卡通收费方式，按轻轨IC卡95折方式收费，每张卡仅限一人使用，出站付费，在全线所有车站开通售卡充值业务。

2007年，轻轨公司开始经营全国第一条电气导轨列车业务，由轻轨泰达站所在的第一大街开往第十三大街，沿途覆盖开发区主要的金融机构、政府部门、大型企业、部分大学及其他项目。全程各站统一票价为2元，可投币或者在泰达轻轨站购买专用IC卡或凭学生证办理学生卡（享受4折优惠）。

津滨轻轨西段，即中心广场至中山门段，设中心广场、天津站、七经路、十一经路、大直沽西路、东兴路共6座车站，全长为7.35km，其中高架线为0.58km，过渡线为0.28km，地下线为6.67km，已于2004年开工建设，于2008年12月实现高架与地下铁轨的对接和控制转换，于2012年正式通车。



拓展知识

一、轨道交通方式的比较

各种轨道交通特点比较如表 1-2 所示。

表 1-2 各种轨道交通特点比较

项 目	有轨电车	轻轨铁路	市郊铁路	地 铁
城市人口	20 万 ~ 50 万人	10 万 ~ 100 万人	50 万人以上	100 万人以上
商业区雇员	2 万人以上	2 万人以上	4 万人以上	8 万人以上
线路特点				
CBD 线路长度	10km 以下	20km 以下	40km 以下	24km 以内
股道	在街道	至少 40% 隔离	分离	隔离
CBD 可达性	地面	地面或地下	地面到 CBD 边缘	地下
郊区站距	350m	1km	1 ~ 3km	2km
CBD 站距	250m	300m	—	0.5 ~ 1km
最大坡度	10%	8%	3%	3% ~ 4%
最小半径	15 ~ 25m	25m	200m	300m
工程量	最小	轻	中等	重
机车车辆				
车辆质量	16t	20t 以下	46t	33t
车辆数	1 或 2	2 或 4	至多 12	至多 8
车辆能力	50 座 75 站	40 座 60 站	60 座 120 站	50 座 150 站
车辆可达性	步行	步行或站台	站台	站台
运行指标				
供电电流	DC 500 ~ 750V	DC 600 ~ 750V	DC 600 ~ 1.5V	DC 750V
供电方式			或 AC 25kV	DC 1500V
平均速度	顶上	顶上	顶上或三轨	三轨或顶上
最大速度	10 ~ 20km/h	30 ~ 40km/h	45 ~ 60km/h	30 ~ 40km/h
一般高峰间隔	50 ~ 70km/h	80km/h	120km/h	80km/h
最大小时流量	2min	4min	3min	2 ~ 5min
	15 000	20 000	60 000	30 000

二、城市轨道交通运营管理模式分类

1. 有竞争条件下的官办官营模式

线路为政府所有，两家或两家以上的运营单位通过招标方式获得运营权。韩国首尔采用了这种模式。

2. 无竞争条件下的官办官营模式

线路为政府所有，一家单位独家经营，或两家以上单位按行政区域划分经营范围。伦敦、纽约、北京、广州、柏林、巴黎的地铁运营管理都是属于这种模式。



3. 官办半民营模式

线路为政府所有，交由政府股份占主导地位的上市公司经营。香港地铁的运营管理采用这种模式。

4. 官办民营模式

线路为政府所有，交由民间股份占主导地位的上市公司经营。新加坡的地铁运营管理属于这种模式。

官办民营模式的主要特点如下。

(1) 地铁作为福利项目由政府负担建设费用。

(2) 淡化运营公司的职能，运营公司无线路的所有权，政府不干涉运营收入也不对运营开支进行补贴。

(3) 运营公司完全民营，第一大股东为私人投资公司。

(4) 由政府制定运营水平和规则，以保证城市轨道交通的公共福利性质。

5. 多种经济成分构成的模式

线路归政府和地方公共团体所共有，同样由政府和地方公共团体共同组织人员经营。东京的城市轨道交通系统很早就引入了多种经济成分。

6. 私办私营模式

线路由私人集团投资兴建，由私人集团经营，政府无权干涉私人工作。曼谷轻轨就是这种模式。

任务二 城市轨道交通的发展与运营网络化



学习目标

(1) 了解城市轨道交通的起源。

(2) 掌握城市轨道交通的发展阶段及各阶段的表现。

(3) 了解城市轨道交通的网络化运营。

(4) 掌握城市轨道交通网络成型的基本条件，以及网络运营对客运服务、票务清算和运营安全的要求。



学习任务

认知城市轨道交通的起源；熟知城市轨道交通的发展阶段及各阶段的表现；认知城市轨道交通的网络化运营；熟知城市轨道交通网络成型的基本条件，以及网络运营对客运服务、票务清算和运营安全的要求。



工具设备

城市轨道交通不同类型车辆及其设备的相应挂图、图片，多媒体设备等。



教学环境

多媒体教室或在城市轨道交通车站现场教学。



基础知识

一、城市轨道交通的发展

从城市和交通的发展历史来看，城市规模的大小与城市交通工具的技术进步密切相关，城市的直径一般就是当时最快交通工具 1 小时走行的距离。美国科学史研究者屈菲尔 (J.Trefil) 提出：城市的规模取决于人们在其中移动的难易程度，即大部分人不愿意花 1 小时以上时间在一次出行上。例如，1819 年时的伦敦，市区只有行人、手推车和数量不多的马车，因此当时城市半径不超过 5km；而今天的伦敦有了快速轨道交通，城市直径扩大到了 128km (约 80mile)。

随着世界各国城市化的发展，城市人口密集、交通拥堵、环境污染严重、能源匮乏、居民出行时间长、出行难等所谓的城市疾病不断涌现，城市交通成为困扰城市发展的主要问题。特别是第二次世界大战后，城市发展几乎是一个不断满足机动化的过程。然而，为了提高机动性，城市必须不断增加道路设施的供给。新的道路建设降低了出行时耗，但同时引发了新的出行需求，在经过一段时间后又回升到新的交通拥堵水平。因此，城市总是在道路拥堵—增加运输能力—增加旅行速度—刺激城市延伸—增加旅行量—再拥堵之间循环，而道路的增长始终跟不上汽车的生产速度。土地是一种不可再生的有限资源，道路不可能无限增长，这就需要一种运量中等、能耗低、占地少的交通形式来解决日益增加的交通拥堵问题，而轨道交通应运而生。

世界城市轨道交通的发展大致经历了 5 个阶段。

1. 城市轨道交通萌芽阶段 (19 世纪初至 19 世纪末)

19 世纪以前，城市的交通手段以步行和马车为主。1662 年，法国人巴斯卡尔 (B.Pascal) 向法国政府提交了一份公共马车计划，很快得到了国王路易十四的许可，允许在巴黎的 5 条街上提供公共马车服务——城市公共交通从此诞生。公共马车为现代公共交通奠定了最基本的运营规则，即有固定线路和班次，无论是否有乘客都要定点按时发车，乘客按里程付费等。

17 世纪末，马车在欧洲已被大量用于公共事业，成为当时陆地上最重要的大众化交通工具。20 世纪初，公共马车从欧洲经上海和天津传入北京，最早运载的是使馆区的西方外交人员和商人，后来清政府官员和富商也开始乘坐。

有轨公共马车作为城市轨道交通的雏形是从 19 世纪初开始登上历史舞台的。1827 年，世界上第一条有轨马车出现在纽约百老汇的大街上，如图 1-20 所示；1832 年，有轨公共马车在美国纽约的第 4 大街正式运营，如图 1-21 所示；从 1855 年开始，有轨公共马车大规模地替代了无轨公共马车在美国及欧洲迅速扩展，到了 1890 年，有轨公共马车 (马拉铁路) 的轨道线路总里程达到了 9900km。

有轨公共马车在钢轨上行驶，比无轨公共马车更快，它既可以提高行驶速度及平稳性，还可以利用由多匹马组成的马队来提高牵引力、增大车辆规模、降低运输成本及票价，因而大受欢迎。



图 1-20 19 世纪初的有轨马车



图 1-21 美国迪斯尼乐园的现代版有轨马车

工业革命推动了原有城市规模的扩大和新工业城市的兴起，城市人口急剧增长。虽然有轨公共马车比无轨公共马车有了很大的改进，但随着城市人口及车辆的增加，在平交道口出现的交通堵塞问题日益严重。交通的拥堵使人们想到了将交通线路往地下铺设，以便很好地解决客流膨胀与土地紧张的问题。

以英国为例，经过 20 年的酝酿和建设，世界上第一条地下城市铁路（Metropolitan Railway）——地铁，于 1863 年在伦敦正式运营，如图 1-22 所示。这条铁路线路从帕丁顿（Paddington）到法灵顿（Farringdon），地铁的动力是向英国铁路公司租借的蒸汽机车，线路约为 7.6km，隧道横断面高度为 5.18m、宽度为 8.69m，为单拱形砖砌结构。它标志着城市轨道交通在世界上正式诞生。



(a)



(b)

图 1-22 世界上最古老的伦敦地铁

早期的地铁由蒸汽机车牵引，为了把烟雾排出，车站甚至没有顶棚。虽然当时地铁设施简陋，而且污染严重，但由于它不像地面道路那样拥堵，还是受到了广大市民的欢迎。

2. 城市轨道交通初步发展阶段（19 世纪末至 20 世纪 20 年代）

19 世纪末，电力机车牵引的方式开始进入城市轨道交通领域，该方式大大提升了城市轨道交通的实用性。在这一阶段，欧美的城市轨道交通发展较快，其间 13 个城市建成了地铁，还有许多城市建设了有轨电车。

世界上第一条地铁的诞生，为人口密集的大都市如何发展公共交通取得了宝贵经验。



特别是 1879 年电力驱动的车辆研制成功，1896 年，布达佩斯修建了欧洲最早的电气化地铁，地铁开始进入电力牵引时代，电气化地铁解决了地铁通道的空气污染问题，环境条件的改观使地铁显示出了强大的生命力。

有轨电车是于 19 世纪 80 年代登上历史舞台的。1881 年，德国柏林工业博览会上展示了一列 3 车辆编组的小型有轨电车，它只能乘坐 6 人，在 400m 的轨道上演示。1888 年，世界上第一条有轨电车系统在美国的弗吉尼亚州的里士满市投入商业运营。

有轨电车是于 19 世纪末进入我国的。1899 年，德国西门子在北京修建了马家堡至永定门的有轨电车线路（如图 1-23 所示），但在 1900 年义和团起义进攻北京时被拆毁。1906 年，天津第一条有轨电车线路运营（如图 1-24 所示），成为我国第一个拥有有轨电车的城市。随后，上海、大连、北京、沈阳、哈尔滨、长春和香港等城市也相继修建了有轨电车线路。

20 世纪 20 年代，欧洲、美洲及亚洲的一些国家的有轨电车也有了很大的发展。这种老式有轨电车行驶在城市的道路中间，其运行速度慢、正点率很低，而且噪声大、加速性能低、乘车舒适度差，但在当时仍然是公共交通的骨干。



图 1-23 古老的北京前门外有轨电车



图 1-24 古老的天津有轨电车

3. 城市轨道交通的停滞萎缩阶段（20 世纪 20 年代至 40 年代末）

第二次世界大战的爆发和汽车工业的发展导致了城市轨道交通的停滞和萎缩。

第二次世界大战（1939—1945 年），是迄今为止人类社会所进行的规模最大的全球性战争。战争最高潮时，全球有 61 个国家和地区参战，有 19 亿以上的人口被卷入战争。由于投资大，建设周期长，各国地铁陷入低谷。

自 19 世纪 20 年代开始，以美国为代表的美洲和欧洲一些国家进入了汽车时代。例如，1939 年，美国有轨电车线路的长度由原来的 32 180km 锐减为 4344km；1912 年，美国的 370 个城市建有有轨电车，到了 1970 年只剩下 8 个城市保留了有轨电车。而有轨电车的萎缩反过来又促使人们更加依赖小汽车。

4. 城市轨道交通复苏阶段（20 世纪 50 年代至 60 年代）

第二次世界大战后，各国经济开始恢复，城市流动人口及汽车保有量猛增，交通量急剧增长，城市道路的相对有限性与汽车生产的相对无限性产生了尖锐的矛盾。例如，汽车可以用流水线生产，道路却不能；汽车可以进口，道路却不能等。汽车虽然能给人们带来快捷、方便、舒适的“门到门”现代交通文明，但汽车带来的交通拥堵、事故频繁、能源



过度消耗、尾气和噪声污染等一系列社会问题日益突出。所以，“行车难、乘车难”等不仅成为市民工作和生活的一个突出问题，而且也制约着城市经济的发展。

第二次世界大战后，世界各大城市地铁建设蓬勃发展。在此期间，加拿大的多伦多、蒙特利尔，意大利的罗马、米兰，美国的费城、旧金山，苏联的列宁格勒、基辅，日本的名古屋、横滨，韩国的首尔，中国的北京等 30 座城市相继建成了地铁。其中，中国的北京第一条地铁线于 1969 年建成通车，线路全长为 23.6km。

5. 城市轨道交通高速发展阶段（20 世纪 70 年代至今）

第二次世界大战后经过短暂的经济恢复后，世界经济高速发展，城市人口高度集中，这就要求轨道交通高速发展以适应日益增加的客运需求。于是，很多国家都确定了优先发展城市轨道交通的方针，有的国家甚至立法解决城市轨道交通的资金来源。这一切都标志着城市轨道交通进入了高速发展阶段。

20 世纪 70 年代和 80 年代，各国地铁建设进入高峰期。据日本地铁协会统计，到 1999 年，全世界已有 125 个城市建成地铁，线路总长度为 7000km。20 世纪地铁的发展，从 1900 年世界上只有 6 条地铁线路，到 2000 年增加到了 106 条，百年建成了百条地铁线路，并且 80% 的地铁线路都是在第二次世界大战后特别是 70 年代建成的。

在地铁高速发展的过程中，世界各国地铁各具特色。莫斯科地铁是世界上最豪华的地铁，有欧洲“地下宫殿”的美称，如图 1-25 所示。天然的石料、欧洲的传统灯饰与莫斯科气势恢宏的各类博物馆交相辉映，简直是一座艺术博物馆。市区 9 条地铁线路纵横交错，充分体现了俄罗斯城市轨道交通规划和建筑业的一流水平。



(a)



(b)

图 1-25 富丽堂皇的俄罗斯地铁

美国纽约是当今世界地铁运行线路最长的城市，线路有 37 条，全长为 432.4km，车站多达 498 个。芝加哥地铁是当今世界上速度最快的地铁。

巴黎地铁是世界上最方便的地铁，每天发出 4960 列车，在主要车站的出入口均设有计算机显示，应乘的线路、换乘的地点等一目了然。法国里尔地铁是当今世界最先进的地铁，全部由微机控制，无人驾驶，轻便、省钱、省电，车辆行驶中噪声、振动都很小，高峰时每小时通过 60 列，为世界上行车间隔最短的全自动地铁。

新加坡地铁车站和线路清洁明亮，一尘不染，是世界上最安全、最清洁、管理最好的



地铁。

中国地铁自 20 世纪末开始进入建设高潮阶段。例如，自 1995 年上海市第一条地铁线路建成至今，地铁线路达到了近 510km，预计 2020 年将达到 1000km。

由于地铁造价昂贵，建设进度受财政和其他因素制约，西方大城市在建设地铁的同时，又重新把注意力转移到地面轨道上来。利用现代高科技开发了新一代噪声低、速度高、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(如图 1-26 所示)、独轨电车和磁悬浮列车。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，在繁忙道路交叉处进入半地下或高架交叉，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。



图 1-26 新型有轨电车

总之，城市轨道交通的高速发展，既方便了城市居民出行，又引导了城市发展，在节约资源、能源与环保等方面也具有比较大的优势，还能促进沿线土地开发，加快城市发展，产生明显的国民经济效益、社会效益和生态效益。特别是进入 21 世纪后，城市轨道交通的建设和运营实践都证明，轨道交通的发展对解决大城市交通拥堵，提高居民生活质量和环境质量，调整城市布局结构和产业结构，以及拉动城市社会经济持续发展都具有重要意义。

二、城市轨道交通运营网络化

城市轨道交通方便、快捷、准时的优点已被城市居民接受，城市轨道交通也越来越成为市民出行的首选公共交通方式。但随着城市的发展，城市地域越来越大，单一的轨道交通线路显然难以满足市民日益增长的出行需求，于是同一城市中出现了“3 条以上走向固定的运营线路，通过换乘车站可以进行不同线路间转换”的运营网络。城市轨道交通的网络化运营有助于解决大城市所面临的市民“出行难”问题，因此其必然成为城市轨道交通的发展趋势。

(一) 运营网络构成条件和效率

城市轨道交通建设需要巨额的资金和一定的建设周期，因此在城市轨道交通建设的过程中，一般都遵循“根据规划、逐条建设、依次投运、形成网络”的建设规律，因此城市



轨道交通的运营网络是逐步形成的。

1. 城市轨道交通网络成型的基本条件

一般认为城市轨道交通运营网络的形成必须同时满足两个条件：一是必须有3条以上独立运行的轨道交通线路；二是各独立运行线路至少有一个以上与其他运行线路相连通的换乘车站。

1) 线路数量

每一条独立运营的城市轨道交通线路至少有两个运营起始车站。位于两个起始车站中间的车站称为中途车站或中间站。两条运营线路只有4个起始车站。因此即便有较多中间车站，也终因线路覆盖区域太小，而难以形成有效的运营网络。由3条以上线路形成的运营网络，至少有6个不同的起始车站，只要规划合理，一般就可以形成有一定覆盖面的运营网络。当然，运营线路越多，网络覆盖的区域越大，市民出行也越方便。

2) 换乘条件

换乘车站和多条独立运行的轨道交通线路是构成城市轨道交通运营网络的基础。换乘车站是两条以上独立运行的轨道交通线路共有的车站，设有通往各独立运行线路候车台台的连接区域，乘客通过连接区域可以转乘其他不同线路的列车。这类具有换乘功能的车站就称为轨道交通换乘车站。轨道交通换乘车站专指网络内不同线路间乘客的换乘，不包括轨道交通与其他交通工具的换乘。

2. 城市轨道交通网络的效率

城市轨道交通运营网络应承担不少于1/3以上的城市出行客流总量。

城市轨道交通的客流总量与公交客运总量之比直接显示出城市轨道交通在城市公共交通方面的作用。城市轨道交通虽然有快捷、准点、大运量等特点，但是其覆盖面、便捷程度、候车时间等因素都将直接决定人们的乘坐愿望，因此城市轨道交通运营网络的客运总量占城市客流总量的比例就成为衡量城市轨道交通运营网络所发挥作用的一个重要参数。在城市公交车、出租车和轨道交通三大系统中，后来居上的城市轨道交通的客运总量能否逐步替代另外两类公共交通工具，其运输总量是否已经突破1/3就成为判断轨道交通运营网络是否已经形成的关键指标之一。

综上所述，3条以上的线路、互通的换乘是构成城市轨道交通运营网络的要素；网络承担的客流总量则是对运营网络效率的评判依据。“公交优先”是指提高公交客流量与城市出行量之比。

3. 网络运营客流组织重点在换乘车站

客流量的迅猛增加是城市轨道交通网络化运营后带来的最大变化之一。网络化运营的客流量并不仅是各线路客流的叠加，还增加了运营覆盖面扩大和网络线路间便利换乘的乘客。因此，网络化运营后必然会增加新的换乘客流量。

1) 换乘客流组成

换乘车站的客流由原单线固有乘客和网络化运营后新增的换乘客流两部分组成。前者将车站作为目的地车站，需要检票进站或验票出站，是正常的车站流动客流；而后者只在