

# 项目一 城市轨道交通车辆基本认知

## 一、项目描述

随着社会经济的高速增长，我国城市化进程不断加快，交通拥堵、交通事故、空气污染、噪声污染等问题日趋凸显，优先发展城市公共交通作为解决交通问题的有效途径，已成为全世界的共识。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、安全等特点可以解决城市日益增长的客运需求，为城市进一步发展提供了良好的条件。本项目明确阐述了城市轨道交通的概念、特点及分类，对我国乃至世界各国城市轨道交通的发展历程和方向进行了概括。

## 二、教学目标

### 1. 知识目标

掌握城市轨道交通的概念及特点；掌握城市轨道交通的分类；了解我国目前城市轨道交通的发展概况；了解世界目前城市轨道交通发展的新趋势。

### 2. 技能目标

熟练分析城市轨道交通的特点和类别形式；通过了解轨道交通的发展，掌握新型轨道交通在我国的应用前景。

### 3. 素质目标

掌握城市轨道交通的基本概念及分类；能够分析城市轨道交通常见形式的特点。

## 任务一 城市轨道交通基础知识认知

### 一、城市轨道交通的定义

城市轨道交通是采用轨道进行承重和导向的车辆运输系统，设置全封闭或部分封闭的专用轨道线路，具有车辆、线路、信号、车站、供电、控制中心和服务等设施，车辆以列车或

单车形式，运送相当规模客流量的城市公共交通方式。

城市轨道交通是城市公共交通的骨干，具有节能、省地、运量大、全天候、无污染（或少污染）、安全等特点，属绿色环保交通体系，特别适应于大中城市。

## 二、城市轨道交通的主要类型

### （一）按轨道空间位置划分

按轨道空间位置划分，可分为三类：

- （1）地下铁路：位于地下隧道内的那部分铁路。
- （2）地面铁路：位于地面的铁路。
- （3）高架铁路：位于地面之上高架桥上的铁路。

### （二）按小时单向运能划分

按小时单向运能划分，可分为三类：

- （1）大运量城市轨道交通系统：高峰小时单向运输能力达到 30 000 人以上。属于该种类型的主要有重型地铁、轻型地铁及低速磁悬浮系统等。
- （2）中运量城市轨道交通系统：高峰小时单向运输能力为 15 000 ~ 30 000 人。属于该种类型的主要有微型地铁、高技术标准的轻轨和独轨铁路。
- （3）低运量城市轨道交通系统：高峰小时单向运输能力为 5 000 ~ 15 000 人。属于该种类型的主要有低技术标准的轻轨、自动导向交通系统和有轨电车。

### （三）按轨道形式划分

按轨道形式划分，可分为三类：

- （1）重轨铁路：大质量运行的轨道列车。国家标准的区际铁路（含高速铁路、重载铁路）、城际铁路、市域铁路及城市轨道交通中的地铁等都属于重轨铁路。
- （2）轻轨铁路：轻轨的机车质量和载客量要比一般列车小，所使用的铁轨质量轻，每米只有 50 kg。
- （3）独轨铁路：由架空单根轨道构成的铁路。其主要结构是轨道梁，通常由钢或钢筋混凝土制成。独轨铁路车辆在轨道梁上运行，一般由铝合金制成，由电动机驱动。

### （四）其他分类方式

- （1）按支承导向制划分，可分为钢轮双轨系统、胶轮单轨系统和胶轮导轨系统。
- （2）按路权专用程度划分，可分为线路全封闭型、线路半封闭型、线路不封闭型。

(3) 按服务区域分类划分,可分为市郊铁路、市内铁路和区域快速铁路。  
各级线路相关技术特征见表 1-1。

表 1-1 线路技术特征参数

| 线路运能分类                      | 高运量    | 大运量                | 中运量                    |         |
|-----------------------------|--------|--------------------|------------------------|---------|
|                             | (钢轮钢轨) |                    | (钢轮钢轨/单轨)              |         |
|                             | 全封闭型   |                    |                        | 部分平交道口  |
| 线路形式                        | 全封闭型   |                    |                        | 部分平交道口  |
| 列车最大长度/m                    | 185    | 140                | 100                    | 60      |
| 单向运能/(万人次·h <sup>-1</sup> ) | 4.5~7  | 2.5~5              | 1.5~3                  | 1~2     |
| 适用车型                        | A      | B 或 L <sub>B</sub> | B、C、L <sub>B</sub> 及单轨 | C 或 D   |
| 最高速度/(km·h <sup>-1</sup> )  | 80~100 |                    |                        | 60~80   |
| 平均站间距/km                    | 1.2~2  |                    |                        | 0.8~1.5 |
| 旅行速度/(km·h <sup>-1</sup> )  | 35~40  |                    |                        | 20~30   |
| 使用城市城区人口规模/万人               | 300    |                    |                        | 150     |

### 三、城市轨道交通的特点

#### (一) 运量大

现代化的轨道交通,由于列车行车时间间隔短,行车速度快,列车编组量数多而具有较大的运输能力,能够充分满足现代化城市客流的需要。目前,市郊铁道单向高峰的运输能力最大可达 6 万~8 万人次/h,地铁可达 3 万~7 万人次/h,轻轨可达 1 万~3 万人次/h,有轨电车可达 1 万人次/h。

#### (二) 速度快

城市轨道交通由于在专用行车道上运行,不受其他交通工具的干扰,不产生线路堵塞现象,不受气候影响,并且列车采用了电动车组动力牵引方式,地铁最高的运行速度可达 120 km/h。

#### (三) 污染少、能耗低

城市轨道交通一般均采用电力牵引动力方式,列车由于以电为能源产生动力,废弃污染小,与公共电、汽车相比节省能源,运行费用低。

#### (四) 占地面积少

城市轨道交通一方面因采用了立交形式，从而大大减少了城市土地的占用；另一方面又因大运量集团化运输方式，使得乘客的交通行为人均所占的道路面积进一步减少。

#### (五) 舒适性好

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线路上，城市轨道交通车辆具有良好的运行特性，车辆、车站等装有空调装置、引导装置、自动售票装置等直接为乘客服务的设备。

### 四、城市轨道交通的主要形式

根据轨道交通系统基本技术特征的不同，城市轨道交通形式主要有地下铁道、有轨电车、轻轨铁路、市郊铁路、独轨系统、磁悬浮交通系统和自导向系统等。

#### (一) 地下铁道

地下铁道简称地铁，是一种在城市中修建的快速、大运量的轨道交通，线路通常设在地下隧道内，通常以电力牵引，其单向高峰每小时客运能力可到 30 000 人次以上。随着地下铁道的发展，也有部分线路在城市中心以外的地区从地下转到地面或高架上，但城区内的线路还是以地下为主。

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，如图 1-1 所示。



图 1-1 英国伦敦大都会地铁

目前，世界上一些著名的特大城市，如纽约、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。同时，大部分城市的地铁车站还与航空港、港湾站、铁路干线始发站连接，出门远行极为便利。

表 1-2 是几个城市地铁线路的主要参数。

表 1-2 城市地铁线路参数

| 序号 | 城市名称 | 运营年份 | 轨距/mm       | 牵引供电      |         | 运营（行驶）速度<br>/ ( km · h <sup>-1</sup> ) |
|----|------|------|-------------|-----------|---------|--|
|    |      |      |             | 电压/V      | 方式      |  |
| 1  | 伦敦   | 1865 | 1 435       | 600       | 第三轨     | 32.5                                   |
| 2  | 纽约   | 1904 | 1 435       | 625       | 第三轨     | 29.0                                   |
| 3  | 柏林   | 1902 | 1 435       | 750       | 第三轨     | 31.0                                   |
| 4  | 巴黎   | 1900 | 1 440       | 750       | 第三轨     | 42.0                                   |
| 5  | 莫斯科  | 1935 | 1 520       | 825       | 第三轨     | 48.0                                   |
| 6  | 东京   | 1927 | 1 067/1 435 | 600/1 500 | 第三轨/接触网 | 45.0                                   |
| 7  | 芝加哥  | 1892 | 1 435       | 600       | 第三轨/接触网 | 45.0                                   |
| 8  | 香港   | 1979 | 1 435       | 1 500     | 接触网     | 33.0                                   |
| 9  | 墨西哥  | 1969 | 1 995/1 435 | 750       | 第三轨     | 35.0                                   |

## (二) 有轨电车

有轨电车是一个由电力牵引、轮轨导向、单车或两辆铰接运行在城市路面线路上的低运量城市轨道交通系统。1881年，有轨电车诞生在德国。其优点为：造价低、建设容易、在路面直接换乘、小单元频繁发车等。目前，有轨电车已经比较少见，多数被改良为轻轨系统。

现代有轨电车（见图 1-2）与旧式有轨电车的不同点主要是它不但具有鲜明的现代化外貌色彩，而且车辆质量轻、速度快（轴重仅 9 t 左右），车厢内设有空调。现代有轨电车系统一般包括普通电车、铰接电车、双铰接电车。有轨电车的车辆宽度通常受城市道路可容纳性的限制。有轨电车的最高运行速度为 80 km/h。



图 1-2 现代有轨电车

世界上第一辆有轨电车是西门子于 1881 年在德国柏林制造的。西门子制定了有轨电车发展的标准。车体的静态缓冲载荷已提高至 400 kN，属于最新的国际标准。德国西门子公司有轨电车为 8 节车厢，是全世界最长的有轨电车，加拿大庞巴迪公司为 7 节车厢。

除此以外，现代有轨电车车厢最短为 1 节，最长为 8 节。3 节长度为 18 m，4 节长度为 27 m，5 节长度为 36 m，6 节长度为 45 m，7 节长度为 54 m，8 节长度为 63 m 等。

现代有轨电车有 3 种列车宽度：2.3 m、2.4 m、2.65 m。列车宽度越大，载客量就越大，最大载客量为 540 人。

## 1. 优点

**建造成本低：**对于中型城市来说，路面电车是实用廉宜的选择。1 km 路面电车线所需的投资只是 1 km 地下铁路的 1/20 ~ 1/3；以长春为例，1 km 造价（包含车辆采购、轨道铺设、线网架设、整流站修建等全部设备）仅 2 000 余万元人民币，堪称多快好省建设有轨电车的典范。

**建设难度低：**直接在地面建设，无须在地下挖掘隧道。

**安全系数高：**相较其他路面交通工具，路面电车更能有效减少交通意外的比例。

**环保系数高：**路面电车因为以电力驱动，车辆不会排放废气，是一种无污染的环保交通工具。

**可共同使用车道：**路面电车路轨占用路面，路面交通要为路面电车改道，并让出行车线；采用槽形轨，汽车和有轨电车可以共用一条马路。

## 2. 缺点

**行驶速度较慢：**路面电车的速度一般较地铁慢，除非路面电车行驶的大部分路段是专用的（主要行驶专用路段的路面电车一般称为轻便铁路）。

**载客能力较小：**路面电车每小时可载客约 7 000 人，但地铁每小时载客可达 12 000 人。

**架设电缆占道：**需要设置架空电缆。超级电容供电和地下轨供电还处于试验阶段（广州有轨电车采用超级电容供电）。

### (三) 轻轨铁路

轻轨铁路简称轻铁或轻轨（见图 1-3），是指采用轻型化轨道铺设的铁路。城市轻轨交通



图 1-3 轻轨铁路

是在老式的地面有轨电车的基础上发展起来的，泛指高峰时单向客运量在 1.5 万~3 万人次/h 的中等容量轨道交通系统。相对于地铁来讲，因其车辆轴重较轻和对轨道施加的载荷较轻而得名。现在轻轨铁路也是一个比较广泛的概念，包括现代有轨电车等。

轻轨铁路是一种使用电力牵引，介于标准有轨电车和快运交通系统（包括地铁和城市铁路），用于城市旅客运输的轨道交通系统。轻轨铁路适于中等客运量，具有很好的灵活性，可以与任何类型的城市轨道交通网络相连。车辆能够根据客流需要，以单车或编组方式在城市街道钢轨上，以及高架桥和隧道内轨道上行驶。线路专用比例在 90% 左右，最小通过曲线半径在 25 m 以上，线路大部分铺设在地面上。车站之间平均距离为 750~1 500 m，发车间隔大于 2.5 min，单方向最大客流量为 5 000~25 000 人次/h。轻轨车辆宽度通常为 2 300~2 900 mm，单元车组最大长度为 120 m。列车在市区最高运行速度为 50 km/h，商业平均运行速度通常限制在 25~50 km/h，郊区专用线上最高速度为 100 km/h。轻轨铁路的修建费用高于有轨电车，低于地下铁道。

轻轨铁路的特点：

- (1) 投资少，见效快（相对地铁而言）；
- (2) 车辆使用寿命长，维修费用低；
- (3) 噪声低，污染少；
- (4) 乘客上下车速度快（通常为 8~20 s），车辆周转快；
- (5) 便于老人、幼儿和病残乘客上下车；
- (6) 车辆运行平稳，乘坐安全可靠、舒适；
- (7) 载客量大，客流疏散快；
- (8) 可在雨雪等恶劣气候条件以及坡度大、弯道小的线路上正常行驶；
- (9) 运营成本低，票价低。

#### (四) 市郊铁路

市郊铁路是指把城市市区与郊区，尤其是远郊区联系起来的城市轨道交通系统。市郊铁路一般与干线铁路设有联络线，设备与干线铁路相同，线路大多建在地面，部分建在地下或高架。因其车辆轴重较重及对轨道施加的载荷较重而被称为重轨铁路；又因其服务对象以短途、通勤的旅客为主又被称为通勤铁路或月票铁路。现在其概念的范围也在扩大，包括城际间直达的高速铁路，俗称“快轨”，如北京至天津的“京津城际列车”(见图 1-4)。

市郊铁路是中心城区至其管辖的次级城镇、卫星城镇、市郊村镇的铁路(有些也可以叫城际铁路)，一般只承担客运，站间距几千米，客车行车速度 120~200 km/h。城市轨道交通是市内的地铁、轻轨等，城市轨道交通站间距一般为 1~2 km，最高行车速度 80 km/h，旅行速度 40 km/h 左右。市郊铁路、市内的城市轨道交通分别承担中、短途通勤通学商务旅游客运，共同构成市域铁路系统。

市郊铁路在城市形成初期，引导和支撑人流、物流向城市中心聚集，发展壮大市中心区域，形成规模效应增强辐射力；在城市发展后期，引导和支撑居民及低端产业向城市中心外迁移，降低中心人口密度，促成部分人居住在城外、工作在城内，缩小市中心与市郊的房屋价格及生活价格，促进新城发展，引导城市由单中心向多中心发展的形态转变，优化城市结构。



图 1-4 京津城际列车

#### (五) 独轨系统

独轨交通也称作单轨交通，是车辆或列车在单一轨道梁上运行的城市客运交通系统。独轨系统从构造形式上还可分为跨座式独轨与悬挂式独轨两种(见图 1-5、图 1-6)。悬挂式独轨铁路的轨道梁，由一定跨距的钢支柱或钢筋混凝土支柱架在空中，车辆悬挂在轨道梁下运行，形成一个“T”字形；而跨座式独轨铁路的车辆则在轨道梁上运行，跨坐在梁上，形成一个“”字形。轨道梁一般是预应力混凝土箱形梁，在跨越河流和其他交通线路时，因梁的跨度大，有时也采用钢制的轨道梁。车辆装有动轮和导轮，动轮行走在轨道顶面，并承载车体；导轮行走在轨道梁的两侧面，用于保持车体的稳定和导向。





图 1-5 跨座式独轨



图 1-6 悬挂式独轨

独轨铁路具有许多独特的优点：

(1) 占地面积小，对地理条件适应性强。独轨铁路仅在地面占用支柱基座的面积，就能在城市上空开辟一条新的交通线。它也可以利用城市现有道路的中央分隔带或河流上方的空间，架设空中轨道，而不必搬迁地面建筑，更不影响地下管线的原有走向。

(2) 独轨铁路载客量较大，运输能力较强，每小时可运送乘客 1 万~2 万人次。而且，独轨铁路建造费用低，施工比较简单，其建设费用仅为地铁的  $1/4 \sim 1/3$ ，保养维修费用也较地铁和普通铁路低。

(3) 独轨铁路爬坡能力强，能通过 6% 的坡道和 100 m 的小半径曲线，还便于和旅游观光结合起来，使乘客可临窗饱览城市风光。独轨铁路在设计时就把安全放在第一位，整个车辆系统的运行和信号设施，均由一套现代化的模拟线路光电集中连锁装置进行监视和控制。

## (六) 磁悬浮系统

磁悬浮系统是指一种非黏着、用直线电机驱动列车运行的新型轨道交通系统。磁悬浮列车是一种采用无接触的电磁悬浮、导向和驱动系统的磁悬浮高速列车系统。它的速度可达 500 km/h 以上，是当今世界最快的地面客运交通工具，具有速度快、爬坡能力强、能耗低、运行时噪声小、安全舒适、不燃油、污染少等优点。它采用高架方式，因此占地面积小。

磁悬浮技术根据吸引力和排斥力的基本原理，利用电磁力将整个列车车厢托起。国际上磁悬浮列车有两个发展方向：一个是以德国为代表的常规磁铁吸引式悬浮系统——EMS 系统。它利用常规的电磁铁与一般铁性物质相吸引的基本原理，把列车吸引上来，悬空运行，悬浮的气隙较小，一般为 10 mm 左右。这种磁悬浮列车的速度可达 400~500 km/h，适用于城市间的长距离快速运输。另一个是以日本为代表的排斥式磁悬浮系统——EDS 系统。它使用超导的磁悬浮原理，使车轮和钢轨之间产生排斥力，使列车悬空运行。这种磁悬浮原理，使车轮和钢轨之间产生排斥力，使列车悬空运行。这种磁悬浮列车的悬浮气隙较大，一般为 100 mm 左右，速度可达 500 km/h 以上。

2001 年 8 月，中国第一辆国产磁悬浮客车（见图 1-7）在长春客车厂竣工下线，这标志着我国继德国和日本之后，成为第三个掌握磁悬浮客车技术的国家。



图 1-7 磁悬浮列车

### (七) 自动导向系统 (Automatic Guideway Transit, AGT)

自动导向系统是一种通过非驱动的专用轨道引导列车运行的新型无人驾驶轨道交通系统 (见图 1-8)。其轨道采用混凝土道床, 车辆采用橡胶轮胎, 有一组导向轮引导车辆运行, 列车运行可自动控制, 可实现无人驾驶, 自动化程度较高。



图 1-8 上海 8 号线无人驾驶列车

## 五、各种城市轨道交通形式的技术特征

城市轨道交通形式的技术特征参数见表 1-3。

表 1-3 城市轨道交通形式的技术特征参数

| 城市轨道交通形式 | 地下铁路 | 轻轨铁路 | 有轨电车 | 市郊铁路 | 独轨铁路 | 自动导向交通 | 磁悬浮交通            |
|----------|------|------|------|------|------|--------|------------------|
| 支承导向     | 钢轮双轨 | 钢轮双轨 | 钢轮双轨 | 钢轮双轨 | 胶轮单轨 | 胶轮导轨   | 线性电机轨道/<br>常导或超导 |