第一章　城市轨道交通概要

第一节　城市轨道交通的类型

一、城市轨道交通的定义

在中国国家标准《城市公共交通常用名词术语》中，城市轨道交通是指以电能为动力，采取轮轨运转方式的快速大运量公共交通的总称。这个定义涵盖了 3 方面内容：

（1）城市内或郊区的公共客运交通。

（2）以电力牵引、轨道运输方式为主要技术特征。

（3）单位时间内客运量大、旅行速度高的客运服务系统。

一个国家、一个城市的活力很大程度体现在它的公共交通运营质量上，如果说发达的高速铁路和航空网是一个国家现代化的标志，那么发达的城市轨道交通网络就是一个城市现代化不可缺少的标志。作为一种现代化的交通工具，与城市其他运输系统相比，城市轨道交通以运量大、速度快、能耗低、污染少、安全可靠、准点舒适等不可替代的优势，逐步发展成为城市公共客运体系中的骨干运输系统。

二、城市轨道交通的分类

自 1863 年世界上第一条地下铁路在英国伦敦诞生后，经过 150 年左右的发展，当今城市轨道交通的形式呈现多元化发展态势，但因其技术特征的复杂性和各地定义的标准不一，使得各地的轨道交通系统没有统一、规范的分类标准。为此，建设部于 2007 年颁布了《城市公共交通分类标准》（以下简称《标准》），该《标准》将城市轨道交通分为以下几类。

（一）地下铁道

地铁（Metro 或 Subway）是一种大运量的轨道交通系统，采用钢轮-钢轨体系，标准轨距 1 435 mm，主要在大城市地下空间修筑的隧道中运行。当条件允许时，也可穿出地面，在地上或高架桥上运行。图 1-1 所示为广州地铁车辆，即在地上运行。

地铁系统的列车编组通常由 4～8 辆组成，列车长 70～190 m，要求线路有较长的站台与之相匹配，最高运行速度不应小于 80 km/h。地铁系统的主要标准及特征如表 1-1 所示。

图 1-1　在地上运行的广州地铁车辆

表 1-1　地铁系统的主要标准及特征

项　　目		标准及特征		
车辆	车　型	A 型	B 型	LB 型
	车辆基本宽度（mm）	3 000	2 800	2 800
	车辆基本长度（m）	22.0	19.0	16.8
	车辆最大轴重（t）	≤16	≤14	≤13
	列车编组（辆）	4～8	4～8	4～8
	列车长度（m）	100～190	80～160	70～140
线路	类　型	地下、高架及地面，全封闭型		
	线路半径（m）	≥300	≥250	≥100
	线路坡度（‰）	≤35	≤35	≤60
客运能力（万人·次/h）		4.5～7	2.5～5	2.5～4
供电电压及方式		DC 1 500 V 接触网供电	DC 1 500/750 V 接触网或三轨	DC 1 500/750 V 接触网或三轨
平均运行速度（km/h）		≥35		

注：① 表中客运能力按行车间隔 2 min 和列车额定载客量（站立 6 人/m^2）计算。
② 平均运行速度即旅行速度。

地铁具有以下特点：

（1）运量大，速度快。地铁单向运能约为 2.5～7 万人·次/h，最高运行速度≥80 km/h。

（2）路权专用，安全可靠。地铁线路建在地下隧道、高架或全隔离路基上，与其他城市交通线路没有平面交叉，且按信号运行，行车安全性好，可靠性强。

（3）采用电力牵引，双钢轮、钢轨支撑和导向，线路转弯半径大。

（4）投资大、建设周期长。目前，国内地铁造价一般在 5 亿元/km 左右，建设周期为 4～5 年。

（5）虽然建设费用高，但对既有建筑物和市政道路的影响较小，征地拆迁量小，适用于

大、中型城市中心区。

（二）轻 轨

轻轨系统（Light Rail Transit，LRT）是一种中运量的轨道运输系统，采用钢轮-钢轨体系，标准轨距为 1 435 mm，主要在城市地面或高架桥上运行。线路采用地面专用轨道或高架轨道，遇繁华街区，也可进入地下或与地铁接轨。图 1-2 所示为运行在广佛线上的轻轨车辆。

图 1-2　运行在广佛线上的轻轨车辆

轻轨系统的主要标准及特征如表 1-2 所示。

表 1-2　轻轨系统的主要标准及特征

项　　目		标准及特征		
车辆	车　型	C-Ⅰ型单节四轴车	C-Ⅱ型单铰双节六轴车	C-Ⅲ型双铰三节八轴车
	车辆基本宽度（mm）	2 600	2 600	2 600
	车辆基本长度（m）	18.9	22.3	30.4
	车辆最大轴重（t）	11	11	11
	列车编组（辆）	1～3	1～3	1～3
	列车长度（m）	20～60	25～70	35～90
线路	类　型	高架、地面或地下，封闭或专用车道		
	线路半径（m）	≥50	≥50	≥50
	线路坡度（‰）	≤60	≤60	≤60
客运能力（万人·次/h）		1～3	1～3	1～3
供电电压及方式		DC 750 V/1 500 V 接触网或三轨	DC 750 V /1 500 V 接触网或三轨	DC 750 V/1 500 V 接触网或三轨
平均运行速度（km/h）		25～35		

轻轨具有以下特点：

（1）中等运量。单向运输能力约为 1～3 万人 · 次/h，最高运行速度 60～80 km/h。

（2）路权专用，但有的线路与公路有平交道口。在平交道口，轻轨享有优先通过权。

（3）采用电力牵引，双钢轮、钢轨支撑和导向，线路转弯半径大。

（4）建设周期和费用相对地铁较低。造价一般为 3～4 亿元/km，约为地铁的 3/4～4/5；建设周期为 2～3 年，约为地铁的 1/2。

（5）线路布置灵活。轻轨在城市中心可用高架或地下线，郊区用地面线；可以立交，也可以平交；如果条件适当，郊区地面线甚至可以和汽车共道，变成有轨电车的形式。

（三）单轨系统

单轨系统是一种车辆与特制轨道梁组合成一体运行的中运量轨道运输系统，轨道梁不仅是车辆的承重结构，同时也是车辆运行的导向轨道。单轨系统的类型主要有以下两种：

（1）车辆跨骑在单片梁上运行的方式，称为跨座式单轨系统，如图 1-3 所示。

（2）车辆悬挂在单根梁上运行的方式，称为悬挂式单轨系统，如图 1-4 所示。

图 1-3　跨座式单轨系统

图 1-4　悬挂式单轨系统

单轨系统的主要标准及特征如表 1-3 所示。

表 1-3　单轨系统的主要标准及特征

项　　目		标准及特征	
车辆	车　型	跨座式	悬挂式
	车辆基本宽度（mm）	3 000	—
	车辆基本长度（m）	15.0	—
	车辆最大轴重（t）	11	—
	列车编组（辆）	4～6	—
	列车长度（m）	60～85	—
线路	类　型	封闭	高架
	线路半径（m）	≥50	
	线路坡度（‰）	≤60	
客运能力（万人·次/h）		1～3	—
供电电压及方式		DC 750 V/1 500 V	接触轨
平均运行速度（km/h）		30～35	⩾20

单轨具有以下特点：

（1）中等运量。单向运输能力约为 1～3 万人·次/h，最高运行速度 60～80 km/h。

（2）路权专用，安全可靠。

（3）采用电力牵引，单一轨道梁支撑，橡胶轮胎导向，噪声小、振动小，但运行阻力大、能耗大，有轻度的橡胶粉尘污染。

（4）建设费用和周期相对较低，其造价和建设周期与轻轨相近。

（5）道岔结构复杂，转换时间较长。

（四）现代有轨电车

现代有轨电车（Tram 或 Streetcar）又称路面电车，是以电力牵引、轮轨导向、单辆或两辆编组运行在城市道路上的低运量的轨道交通系统。

传统的有轨电车走行方式与轻轨地铁类似，如图 1-5 所示；新型的现代有轨电车为导轨式胶轮电车，如图 1-6 所示。

图 1-5　传统的有轨电车

图 1-6　现代有轨电车

现代有轨电车具有以下特点：

（1）运量相对较小，速度低。一般使用链接车，根据输送要求可单节运行，也可自由编组运行，单向运输能力约为 0.6～0.8 万人·次/h，最高运行速度为 70 km/h。

（2）路权混用，安全性和准点性差。有轨电车与地面其他交通共享路面通行权，在交叉口同样服从信号指挥，无优先权，适用于大、中型城市中心区。

（3）采用电力牵引，钢轮、钢轨导向，橡胶轮胎支撑和牵引。

（4）建设周期短，投资少，运营费用低。现代有轨电车造价一般为 0.5～1.5 亿元/km，约为地铁的 1/10，是单轨交通的 1/3，建设周期为 2～3 年。

（五）自动导向交通

自动导向交通（Automated Guideway Transit，AGT）又称自动旅客输送系统，是一种车辆采用橡胶轮胎在专用轨道上运行的中运量旅客运输系统。列车沿着特制的导向装置行驶，车辆运行和车站管理采用计算机控制，可实现全自动化和无人驾驶技术。通常在繁华市区线路可采用地下隧道，市区边缘或郊区采用高架结构，如图 1-7 所示。

图 1-7　自动导向交通列车

自动导向交通适用于城市机场专用线或城市中客流相对集中地点对点运营线路，必要时中间可设少量中间停靠站。

车辆定员标准按车箱座位数设定，定员约 70～90 人，车辆轴重不超过 9 t，车辆宽度不推荐采用大于 2.6 m 宽的车型。

自动导向交通的主要标准及特征如表 1-4 所示。

表 1-4　自动导向交通主要标准及特征

项　　目		标准及特征
车辆	车　型	胶轮导向车
	车辆基本宽度（mm）	2 500～2 600
	车辆基本长度（m）	7.6～8.6
	车辆最大轴重（t）	9
	列车编组（辆）	2～6
	列车长度（m）	17.2/52
线路	类　型	架空或地下、全封闭型
	线路半径（m）	≥30
	线路坡度（‰）	≤60
客运能力（万人·次/h）		1.5～3
供电电压及方式		DC 750 V/1 500 V 三轨供电
平均运行速度（km/h）		≥25

自动导向交通具有以下特点：

（1）中等运量。单向运输能力约为 1.5～3 万人·次/h，最高运行速度为 50～80 km/h。

（2）路权专用，计算机自动控制运行，属无人驾驶服务类型，安全可靠。

（3）采用电力牵引，轨道混凝土结构，橡胶轮胎导向，噪声小，爬坡能力强。

（4）地下线路投资和建设周期与地铁相近，地上线路与轻轨相近。

（六）磁悬浮列车

磁悬浮列车（Maglev Train）是一种利用电磁力抗拒地心引力，使车体浮离轨道，并用直线电机牵引的现代轨道交通系统。因此，车辆没有转向架，现行标准轨距为 2 800 mm，主要在高架桥上运行，特殊地段也可在地面或地下隧道中运行。

磁悬浮列车适用于城市人口超过 200 万的特大城市，是重大客流集散区域或城市群市际之间较为理想的直达客运交通，也是中运量轨道运输系统的一种先进技术客运方式，对客运能力 1.5～3 万人・次/h 的中远程交通走廊较为适用。

目前，磁悬浮列车主要有两种基本类型：

（1）高速磁悬浮列车，其最高行车速度可达 500 km/h，如图 1-8 所示。

（2）中低速磁悬浮列车，其最高行车速度可达 100 km/h。

图 1-8　上海磁悬浮列车

1. 高速磁悬浮系统

高速磁悬浮系统的主要技术参数：

车辆长度……端车 27 m，中间车 24.8 m

车辆宽度……3 700 mm

车辆高……4.2 m

车辆的定员标准（一般按座位数来确定）…端车 120 人，中间车 144 人，不考虑站立定员

线路最小半径……不宜＜350 m

线路坡度……≤100‰

最高行车速度……≤500 km/h

高速磁悬浮系统由于行车速度很高，通常对于站间距离不小于 30 km 的城市之间远程客运交通较为适宜。

高速磁悬浮系统的列车编组通常由 5～10 辆组成，列车长度在 130～260 m，要求线路有较长的站台相匹配。

2. 中低速磁悬浮系统

中低速磁悬浮系统的主要技术参数：

车辆长度……12～15 m

车辆宽度……2 600 mm

车辆高……3 200 mm

列车载客定员：

4 辆编组……约 320～480 人

6 辆编组……约 480～720 人

线路半径……≥50 m

线路坡度……≤70‰

最高行车速度……≤100 km/h

中低速磁悬浮系统由于行车速度相对较低，对于城市区域内站间距大于 1 km 的中短途客运交通线路较为适宜。

中低速磁悬浮系统的列车编组通常由 4～10 辆组成，列车长度在 60～150 m 左右，要求线路有较长的站台相匹配。

磁悬浮列车具有以下特点：

（1）通过磁力支撑起车体，导轨与车体之间不发生摩擦，没有轮轨摩擦关系，所以运行阻力小，突破了传统轮轨列车的速度极限，最高速度可达 500 km/h，有速度高、爬坡能力强、平稳、舒适等优点。

（2）通过直线电机牵引列车运行。直线电机的一个极固定在地面，与导轨一起延伸到远处，另一个极安装在列车上，向电极通交流电后，列车在磁场力作用下沿导轨前行，实现无弓网接触受电、无机械传动牵引运行，因而噪声小、列车机械维护量小。

（3）磁浮系统是 20 世纪一项伟大的发明，它集中展示了电磁悬浮技术、计算机控制技术、信息传输技术、供电技术、材料学、空气动力学等高新技术和学科的应用。

（七）市域快速轨道系统

市域快速轨道系统是一种大运量的轨道交通系统，客运量可达 20～45 万人 · 次/日。市域快速轨道系统适用于城市区域内重大经济区之间中长距离的客运交通。市域快速轨道列车，主要在地面或高架桥上运行，必要时也可采用隧道。当采用钢轮-钢轨体系时，标准轨距也为 1 435 mm，由于线路较长，站间距相应较大，必要时可不设中间站，因而可选用最高运行速度在 120 km/h 以上的快速专用车辆，也可选用中低速磁悬浮列车。