



城市轨道交通系列教材

# 城市轨道交通设备

CHENGSHI GUIDAO  
JIAOTONG SHEBEI



闫海峰 主编



科学出版社

城市轨道交通系列教材

# 城市轨道交通设备

闫海峰 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是按照交通运输专业人才培养的要求,为适应我国城市轨道交通快速发展对高层次运输组织管理人才的需求,紧密联系我国城市轨道交通建设与运营实际而编写的。

本书是“城市轨道交通系列教材”之一。全书分为7章,涵盖了城市轨道交通各系统设备的基本组成、作用和主要技术性能,以及列车牵引计算的基本原理和方法。主要内容包括绪论、城市轨道交通线路、城市轨道交通场站、城市轨道交通车辆、城市轨道交通供电系统、城市轨道交通信号与控制系统、城市轨道交通通信系统和其他设备。

本书可作为高等学校交通运输类专业本科相关专业课程的教材,也可作为培训相关技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通设备/闫海峰主编. —北京: 科学出版社, 2016.1

城市轨道交通系列教材

ISBN 978-7-03-047060-7

I. ①城… II. ①闫… III. ①城市铁路—交通运输工具—教材  
IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第013425号

责任编辑: 杨 岭 于 楠 / 责任校对: 刘小梅

责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

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>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016年2月第一版 开本: 787×1092 1/16

2016年2月第一次印刷 印张: 20

字数: 450千字

定价: 58.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## “城市轨道交通系列教材”编委会

主 编	蒋葛夫	翟婉明		
副主编	阎开印			
编 委	张卫华	高 波	高仕斌	
	彭其渊	董大伟	潘 炜	
	郭 进	易思蓉	张 锦	
	金炜东			

# 前 言

城市轨道交通是现代城市公共交通的主要形式。城市轨道交通不仅安全、快捷、正点，可以满足日益增长的城市居民出行需求，而且具有节能、省地、污染少等特点，是一种节约资源、保护环境的城市公交系统，符合城市可持续发展原则。

随着国民经济持续快速发展，城市化进程加快，城市规模的扩大、城市人口的增长，带来了城市交通需求的高速增长。为解决大中城市交通紧张问题，我国已有越来越多的城市把发展城市轨道交通列入城市发展计划。城市轨道交通的快速发展，使得当今社会对城市轨道交通专业人才的需求量急剧增加。因此，城市轨道交通行业具有广阔的人才需求空间。

为了适应我国城市轨道交通对运输管理人才的需要，西南交通大学交通运输与物流学院增大课程建设力度，对课程体系和教学内容进行了全面改革。城市轨道交通设备作为交通运输专业学生知识结构体系中的重要组成部分，已纳入人才培养方案。该内容与“城市轨道交通设备”课程教学要求和能力培养目标相符，是“城市轨道交通运营管理”和“城市轨道交通行车组织”等课程的基础。

城市轨道交通运输设备是保障城市轨道交通正常运行的必需物质基础和技术条件，包括城市轨道交通线路与站场设备、车辆、牵引供电系统、信号设备、通信设备和客运设备等。本书结合我国城市轨道交通的最新发展和要求，紧密联系建设与运营实际，完整介绍城市轨道交通系统设备的组成、作用、技术性能等相关原理和专业知识，是“城市轨道交通系列教材”之一。

本书由西南交通大学闫海峰任主编，殷勇、薛峰、石红国参与了本书的撰写工作。其中，闫海峰完成第一章和第七章第二节、第三节、第四节的编写工作，殷勇完成第二章和第三章的编写工作，薛峰完成绪论、第四章和第七章第一节的编写工作，石红国完成第五章和第六章的编写工作。全书统稿由闫海峰负责。

在本书编写过程中，马驹、饶勇等提供了宝贵的实践经验和指导意见，感谢他们的大力支持和协作。

在资料收集、调研和编写过程中，得到了成都地铁运营公司有关领导和专家的大力支持和热忱帮助。在此，谨向他们表示诚挚的谢意。

作者参阅了大量的国内外著作、教材、学术论文和有关文献，在此谨向这些文献的作者表示深深的谢意。

由于本书涵盖内容较多，加之城市轨道交通正处于快速发展期，技术装备日新月异，同时限于作者的水平，在全书内容组织和文献材料取舍方面，难免存在不当和疏漏之处，在此敬请大家见谅，也恳请多提宝贵意见和批评指正。

# 目 录

绪论	1
第一节 世界城市轨道交通的发展	1
第二节 我国城市轨道交通的发展	3
第三节 城市轨道交通的设备组成	4
第四节 城市轨道交通的分类及特点	7
第一章 城市轨道交通线路	16
第一节 路基	16
第二节 轨道结构	19
第三节 道岔	30
第四节 线路的平面和纵断面	46
第五节 桥隧建筑	52
第二章 城市轨道交通场站	61
第一节 车站	61
第二节 车辆段与综合基地	76
第三章 城市轨道交通车辆	99
第一节 城市轨道交通车辆概述	99
第二节 车体	106
第三节 转向架	108
第四节 车钩缓冲装置	122
第五节 制动系统	127
第四章 城市轨道交通供电系统	137
第一节 供电系统的组成及功能	137
第二节 供电方式与负荷	140
第三节 变电所	144
第四节 电力监控系统	150
第五节 接触网	152
第六节 动力照明系统	162
第七节 杂散电流及其防护	164
第五章 城市轨道交通信号与控制系统	170
第一节 城市轨道交通信号系统概述	170
第二节 信号基础设备	173
第三节 联锁设备	194
第四节 列车自动控制系统	204

第六章 城市轨道交通通信系统 .....	221
第一节 城市轨道交通通信系统概述 .....	221
第二节 城市轨道交通通信传输系统 .....	225
第三节 电话系统 .....	231
第四节 无线集群调度系统 .....	240
第五节 闭路电视系统 .....	251
第六节 广播系统 .....	257
第七节 时钟系统 .....	262
第七章 其他设备 .....	269
第一节 车站设备 .....	269
第二节 环控设备——通风空调系统 .....	277
第三节 火灾报警系统 .....	293
第四节 给排水及消防、照明系统 .....	302
参考文献 .....	309

## 绪 论

### 第一节 世界城市轨道交通的发展

1775年,英国人约翰·乌特兰发明的有轨马车是世界上最早的城市轨道交通工具。它是用马匹作动力,牵引车辆在钢轨上滚动行驶的交通运输工具。它可搭载双倍于普通马车的乘客和货物重量。由于车辆是在轨道上行驶,减少了颠簸,提高了运行的速度和舒适性,从而备受市民的青睐。1832年,约翰·斯蒂芬森在美国纽约第四大街建立了第一条市区有轨马车的线路,并运营达3年之久。

第一个提出将马车轨道嵌入路面的是法国人埃米尔·卢巴。根据这项发明,1835年,他为巴黎修建了第一条嵌入式凹形马车轨道。

1804年,英国人理查德·特雷维塞克设计制造的蒸汽机车“新城堡号”,经过在圆形轨道上试车后,沿着专门铺设的轨道由默尔瑟开到阿伯西昂。这是世界第一条成功行驶蒸汽机车的轨道。

1825年9月27日,世界上第一条行驶蒸汽机车的永久性公用运输设施在英国斯托克顿至多灵顿的铁路上正式通车。由机车、煤水车、32节货车和1节客车组成的、载重质量约90t的“旅行号”列车,由设计者斯蒂芬森亲自驾驶运行31.8km。它标志着世界轨道交通运输业的诞生和用轨道交通来解决城市内(间)人们出行问题的开始。

1843年,英国律师查尔斯·皮尔逊针对当时伦敦人口日益膨胀给交通造成的压力问题,向国会提交了修建地下铁道的建议。经过十九年的酝酿,1860年英国开始修建地下铁道。它采用明挖法施工,为单拱砖砌结构。

1863年1月10日世界上第一条长6.5km,采用蒸汽机车牵引的地铁线路在伦敦建成通车。它是世界首条地下铁路(简称“地铁”)。

此后,地铁作为新型城市公共交通方式不断发展。1874年,英国在伦敦首次采用盾构法施工,于1890年12月18日修建成一条5.2km的地铁线路,并首次采用电力机车牵引。在19世纪后10年,世界上又有芝加哥(1892年)、布达佩斯(1896年)、格拉斯哥(1896年)、维也纳(1898年)、巴黎(1900年)等5座城市修建了地铁。20世纪上半叶,柏林、纽约、东京、莫斯科等12座城市修建了地铁。第二次世界大战以后,1950~1974年,欧洲、亚洲及美洲,有30余座城市修建了地铁。1975~2000年,又有30余座城市相继修建了地铁,其中亚洲最多。这些构成了世界轨道交通的基本发展历史。

作为城市轨道交通的另一种形式——现代轻轨交通,则是在有轨电车的基础上发展起来的。1879年柏林工业展览会上展出了第一辆以输电线供电的电动车。1886年美国阿尔拉巴州的蒙哥马利市开始出现有轨电车系统,而世界上第一个真正投入运行的有轨电车系统是弗克尼的里兹门德有轨电车系统。此后有轨电车系统发展很快,20世纪20年代,美国的有轨电车系统总长达到25000km,20世纪30年代,欧洲、日本、印度和我国的有轨电车有





图 0-1 城市道路中间的有轨电车

了很大的发展，但旧式有轨电车一般都在城市道路中间行驶，行车速度慢、噪声大、舒适度差（图 0-1）。

随着汽车的迅速发展，尤其是私家小汽车的大量涌现，城市道路交通的堵塞大大加重，于是，各国城市纷纷拆除有轨电车为日益增加的汽车让道。到 1970 年，世界上仅有 8 个城市还保留着有轨电车。而到了 20 世纪后半叶，伴随着世界各国的城市区域不断扩大，城市经济的发展，人口逐渐增长。随着流动人口及汽车的猛增，城市道路的相对有限性与汽车发展的相对无限性之间产生了尖

锐的矛盾。在城市，汽车的大量上路带给人们的是交通堵塞、事故频繁、能源过度消耗、尾气与噪声污染等一系列经济社会环境等问题。行车难、乘车难，不仅成为市民工作和生活的一个突出问题，而且制约着城市经济的发展，世界各国纷纷探索和思考如何走出这一困境。

20 世纪 60 年代初，西方一些人口密集的大城市，在考虑修建地下铁道的同时，又重新把注意力转移到有轨交通上。欧洲一些发达国家，为满足城市公共交通客运量日益增长的需求，着手在旧式有轨电车的基础上，利用现代化技术，改造和发展有轨电车系统，开发出新一代噪声低、速度高、走行部件转弯灵活、乘客上下方便，甚至可以照顾到老人和残疾人的低地板新型有轨电车（图 0-2）。新型有轨电车在线路结构上采用了降噪减振技术等措施；采用专用车道，在与繁忙道路交叉处进入半地下或高架交叉，互不影响，使其在运行速度、技术水平和服务质量上都有很大提高。1978 年 3 月，国际公共交通联合会（UITP）确定了新型有轨电车交通的统一名称，即轻型轨道交通（light rail transit, LRT），简称轻轨交通。



图 0-2 行驶在日本鹿儿岛市街头的低地板新型有轨电车

20世纪80年代,国际上一些大城市已相继建成现代化轻轨交通系统。如美国的萨克拉门托市,于1987年3月建成一条穿越市中心的轻轨线路,全长29.4km,共设27座车站,行车间隔1.5min,自建成到1987年9月,运送乘客达百万人次。20世纪八九十年代,由于环境保护和能源结构问题突出,在经济可持续发展战略方针指导下,全世界掀起了新一轮轻轨交通系统的建设高潮。据粗略统计,已有50个国家建有360条轻轨线路。1994年4月,在新加坡召开的国际市长会议上提出,把城市轨道交通作为现代化城市的重要交通工具之一。

## 第二节 我国城市轨道交通的发展

我国城市轨道交通的发展是从大城市开始的。最早的城市有轨公共交通是1908年的上海有轨电车,全长6.04km;第一个建设城市铁路的城市也是上海;第一个建设城市地铁的是首都北京。因此,上海和北京是我国城市轨道交通发展的先驱。

从1876年我国第一条营业铁路——上海吴淞铁路诞生,至1949年新中国成立,我国先后有北京、天津、沈阳、哈尔滨、长春、鞍山、香港等城市修建了有轨电车等轨道交通设施,不仅数量少、布局不合理,而且技术标准低、质量差。

从新中国成立到1978年改革开放前,我国城市轨道交通基本处于时断时续的缓慢发展期,轨道交通的结构和质量处于常规水平。1978年前,虽初步建立起国家工业化和国防现代化的基础,但在“备战备荒”的思想指导下,城市经济和社会发展缓慢,城市基础设施投入严重不足,设施、设备简陋,完全不适应建设现代化城市的需要。这期间原有的城市地上有轨电车轨道交通也大部分被拆除,仅发展公路交通。与此同时,地铁轨道交通则基本处于起步阶段,且形式单一。由于贯彻“备战兼顾交通”的指导思想,仅在少数大城市修建了以人防设施为主的地铁,如北京24km地铁、天津7.4km地铁和哈尔滨人防隧道等。

改革开放以来,我国国民经济进入持续快速增长阶段,城镇化建设也得到长足发展,对城市和城际之间运输能力的需求日益增加。进入20世纪90年代后,随着经济体制改革的逐步深入,我国国民经济得到持续快速增长,城市居民收入水平不断提高,居民出行次数逐年增加。与此同时,我国城市化进程加快,城市交通需求剧增,道路交通供给能力严重不足,交通供需矛盾日益突出,已成为城市社会经济发展的一个重要制约因素。为适应城市发展的需要,缓解城市交通的紧张状况,20世纪90年代,我国政府开始加大对城市交通基础设施的投入,并认识到轨道交通对解决城市交通问题和引导城市发展的重要作用,发展大容量轨道交通方式的理念开始提出,城市轨道交通开始进入能力扩张与质量提高并举的发展阶段。大力发展运能大、污染小、占地少的大容量城市轨道交通,加快建设以轨道交通为骨干的公共交通系统,已开始成为城市交通发展的重点,并逐步成为共识。在20世纪90年代末,我国城市轨道交通的发展明显加快。

总的来说,我国的城市轨道交通经历了五十多年的发展历程,大致可以划分为以下几个阶段。

(1) 起步阶段。20世纪50年代,我国开始筹备地铁建设,规划了北京地铁网络。1965~1976年建设了北京地铁一期工程(54km)。随后建设了天津地铁(7.1km,现已拆除重建)、哈尔滨人防隧道等工程。

(2) 开始建设阶段。20世纪80年代末至90年代初,由于城市规模限制及道路等基础

设施比较薄弱,北京、上海、广州等特大城市的交通问题非常突出。以上海轨道交通 1 号线(21km)、北京地铁复八线(13km)和地铁一期工程改造、广州地铁 1 号线(18.5km)等建设项目为标志,我国内地真正以城市交通为目的的地铁项目开工建设。台湾省台北市也于 1997 年 3 月开通了第一条地铁线路。

(3) 建设高潮开始阶段。进入 20 世纪 90 年代,随着上海、广州地铁项目的建设,一批城市包括沈阳、天津、南京、重庆、武汉、深圳、成都、青岛等开始计划建设轨道交通项目,并进行了大量的前期工作。

(4) 调整阶段。由于各大城市要求建设的地铁项目较多,且在建地铁项目的工程造价较高,1995 年 12 月国务院发布国办 60 号文,暂停了地铁项目的审批,并要求做好发展规划和国产化工作。同时,国家计委开始研究制定城市轨道交通设备国产化政策。至 1997 年底,提出以深圳地铁 1 号线(19.5km)、上海轨道交通 3 号线(24.5km)和广州地铁 2 号线(23km)作为国产化依托项目,并于 1998 年批复了上述三个项目的立项,从此城市轨道交通建设项目重新开始启动。

(5) 建设高潮阶段。国家于 1999 年开始陆续批准一批城市轨道交通项目开工建设。一是随着国家积极财政政策的实施,国家对城市轨道交通从建设资金上给予有力支持;二是通过引进技术、国内企业与国际先进制造企业的合作,实现了城市轨道交通车辆、设备本土化,使城市轨道交通建设造价大大降低。国家先后批准了深圳、上海、广州、重庆、武汉、南京、杭州、成都、哈尔滨等十多个城市轨道交通项目的开工建设,并投入 40 亿元国债资金予以支持,我国轨道交通建设进入高速发展期。除了线路和运营里程大幅度增加外,我国城市轨道交通也由原来的地铁单一形式向多样化发展。已建和在建的轨道交通系统中,有轻轨系统、高速磁悬浮系统以及独轨系统等。2010 年末,我国已有北京、上海、天津、重庆、沈阳、大连、长春、南京、武汉、广州、佛山、深圳和成都等 13 个城市开通城市轨道交通运营线路 51 条,总运营里程 1469km,上海市与德国合作的 30km 磁悬浮示范线也投入运营。除此之外,还有南昌、杭州、哈尔滨、西安、厦门、苏州、青岛、东莞、宁波、石家庄、郑州、长沙、兰州、合肥、福州等 32 个城市正在建设、筹建或规划中。在“十二五”期间,我国城市轨道交通仍将保持快速发展态势,期间的建设规模为 2500km 左右,总投资为 1.2 万亿元左右。预计至 2020 年末累计投运里程将达到 7000km 左右,届时轨道交通将覆盖全国主要大中城市,在城市交通系统中发挥主体和骨干作用。

### 第三节 城市轨道交通的设备组成

城市轨道交通系统是一个庞大复杂的技术系统,其专业涵盖了土建、机械、电气、电子信息环境控制、运输组织等各个门类。轨道交通系统由一系列相关设备组成,这些设备包括车辆、线路、车站、供电、通信信号、环控系统、给排水及消防系统等,它们的协同合作是为用户提供满意服务的保证。上述设备有些是为了保证行车所必须设置的,如供电、信号、通信等;有的则是面向乘客的,如自动售检票、通风空调、防灾报警等;有的是既为车辆服务又为乘客服务的,如给排水与消防系统等。

车辆、线路、轨道、车站、供电系统、通信信号系统、环境控制系统等,是城市轨道交通最主要的设备。

## 一、车辆

城市轨道车辆主要是指地铁车辆和轻轨车辆，它们是城市轨道交通系统最重要的设备，也是技术含量最高的机电设备。车辆作为旅客运载工具，不仅要保证运行的安全、可靠、快速，而且应考虑乘客的舒适和方便以及公共交通所需的大容量。

地铁车辆有动车和拖车、带司机室和不带司机室等多种形式。无论动车还是拖车，地铁车辆主要由以下几部分组成：车体、转向架、牵引缓冲装置、制动装置、受流装置、车辆内部设备、车辆电气系统。

由于地铁车辆主要运行在地下隧道中，而且地铁线路曲线半径小、坡度大、站距短，与地面轨道车辆相比具备更好的技术性能。地铁车辆不同于其他轨道车辆的主要特征在于地铁车辆具有较好的加减速性能，起动快，停车制动距离短，平均运行速度高；地铁车辆具有较大的载客容量，车门数多，便于乘客上下车，缩短停站时间；地铁车辆车型小，适合隧道内运行，而且车辆采用难燃或阻燃材料制成，不容易发生火灾；地铁车辆技术含量较高，一般都安装列车自动控制、自动停车、自动驾驶装置等。

## 二、线路

地铁的线路敷设方式，应根据城市总体规划和地理环境条件因地制宜选择，一般在城市中心地区宜采用地下线，其他地区在条件许可时采用高架线或地面线。

轨道交通线路按其运营中的作用，分为正线、辅助线和车场线。正线是车辆载客运营线路，行车速度快、密度大，要保证行车安全和乘坐舒适，线路标准要求高；辅助线是为了保证正线运营而配置的线路，速度要求低，标准也低；车场线是车辆检修作业用的线路，行车速度较低，线路标准只要满足场区作业即可。

## 三、轨道

轨道是列车运行的基础，直接承受列车荷载，并引导列车运行。轨道结构是城市轨道交通系统的重要组成部分，一般由钢轨、扣件、轨枕、道床、道岔及其他附属设备组成。为保证列车运行的安全，轨道结构应具有足够的强度和稳定性、耐久性、绝缘性和适量弹性，且养护维修量小，以确保列车安全运行和乘客舒适。

## 四、限界

限界是指列车沿固定的轨道安全运行所需要的空间尺寸。为保证列车运行，各种建筑物及设备均不得侵入限界范围。城市轨道交通工程地下隧道的断面形式及高架桥梁的宽度都是根据限界确定的，限界越大，安全度越高，但工程量及工程投资也随之增加。因此合理限界的确定既要考虑对列车运行安全的保证，又要考虑系统建设成本。

根据城市轨道交通系统的构成和设备运营要求，限界分为车辆限界、设备限界、建筑限界。受电弓限界或受流器限界是车辆限界的组成部分，接触轨限界属于设备限界的辅助限界。它们根据车辆外轮廓尺寸及技术参数、轨道特性、各种误差及变形，并考虑列车在运动中的状态等因素，经过科学的分析计算后确定。

(1) 车辆限界是车辆在正常运行状态下形成的最大动态包络线。直线地段车辆限界分为隧道内车辆限界和高架或地面线车辆限界，高架或地面线车辆限界是在隧道内车辆限界基础上，另加当地最大风荷载引起的横向和竖向偏移量。

(2) 设备限界是用以限制设备安装的控制线。

(3) 建筑限界是在设备限界基础上，考虑设备和管线安装尺寸后的最小有限断面。

## 五、车站

车站是旅客乘降的场所，也是地铁面向公众开放的窗口，车站的规模大小、设施先进程度、服务水平，从某种程度上也反映了城市的综合实力、科技发展水平以及精神文明程度。因此，世界各国大都市都比较重视地铁车站的建设，莫斯科地铁车站富丽堂皇，艺术价值和观赏性相当强；蒙特利尔地铁车站与周围环境有机融为一体，环境优美，令人流连忘返；华盛顿地铁车站朴实大方，极具实用性；东京地铁车站则多设于都市繁华闹市区，既吸引客流，也进一步促进商务中心的繁荣。

地铁车站按运营性质可分为中间站、尽头站、换乘站和折返站；按结构形式可分为地面车站和高架车站；按功能又分为郊外站、市内站、联络站和待避站；按车站与轨道的相对位置又可分为岛式站台车站和侧式站台车站两种。

岛式站台设在上下行线路中间，可以供上下行两条线路合用，所以利用率较高。侧式站台是上下行线路两侧各设一站台，两侧客流不会混合，但不能起调节作用，站台的利用率低。在一条轻轨线路与另一条轻轨线路换乘的车站，可采用岛式与侧式混合站台。

## 六、供电系统

地铁供电系统一般包括牵引供电系统、动力照明系统和高压电源系统。牵引供电系统供给电动车辆运行的电能，它是由牵引变电所和牵引网组成的；动力照明系统提供车站和区间各类照明、扶梯、风机、水泵等动力机械设备电源和通信、信号、自动化等设备电源，它是由降压变电所和动力照明配电线路组成的；高压电源系统视各城市的具体情况而定，可以是市电直接供给地铁各变电所，也可由城市高压供电线路集中供给地铁线路，然后由电源变电器再分配给地铁沿线各变电所，还可以是这两种情况的综合。

## 七、通信信号系统

通信信号系统在城市轨道交通系统中的作用相当重要，既要确保行车安全，指挥列车运行，又要提高运营效率，充分利用通过能力。因此，目前国内外有关科研机构都在进一步加紧研制更加先进的通信信号设备。

根据城市轨道交通高速度、高密度、短间隔的特点，城市轨道交通的信号系统从传统的以地面信号为主发展到自动监控列车速度和自动调整列车追踪间隔的方式。信号系统按其功能可分为以下几部分：自动闭塞、联锁、列车自动监视系统、列车自动防护系统、列车自动运行系统。

为了迅速、准确、可靠地传递和交换语音、图像、数据信息，城市轨道交通的通信系

统是一个自成体系的独立完整的内部通信网。通信网由光纤数字传输系统、数字电话交换系统、闭路电视监视系统、无线调度系统以及车站广播系统等组成。

## 八、环境控制系统

城市轨道交通环境控制系统是城市轨道交通系统的重要组成部分,关系到乘客旅行安全和旅途心情,影响着地铁对广大市民的吸引力。早期地铁较少考虑环境问题,以致乘客乘坐地铁必须忍受高温、高湿及污浊的空气。随着经济和社会发展水平的提高,乘客对乘车环境有了更高的要求,不少城市开始在地铁系统中增设环境控制系统以满足乘客要求。

环境控制系统主要包括地铁通风、空调和采暖等设备。

## 第四节 城市轨道交通的分类及特点

### 一、城市轨道交通的概念

根据轨道交通的特性,从广义上讲,凡车辆运行在导轨上的交通运输方式都可称为轨道交通运输。但在轨道交通发展的历史进程中,人们常把担当长大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,这里的城市轨道交通不包括大铁路。

国际上对城市轨道交通并没有统一的定义。我国的国家标准《城市公共交通常用名词术语》中,将城市轨道交通定义为“通常以电能为动力,采取轮轨运转方式的快速大运量公共交通的总称”。而在北京交通大学著名教授胡思继所著的《综合运输工程学》中的定义为“城市轨道交通系统是指服务于城市旅客运输,通常以电力为动力,轮轨运行方式为特征的车辆或列车与轨道等各种相关设施的总和”。或者说,一般将城市中使用在固定导轨上运行并主要用于城市客运的交通系统称为城市轨道交通。

城市轨道交通一般包括地铁、轻(独)轨列车、有轨电车、磁悬浮铁路等。在我国,随着区域经济和城市群的发展,人们又把连接城市间的铁路(简称为“城际铁路”)或铁路客运专线也称为城市轨道交通。因此,从广义的角度讲,城市轨道交通又包括城际铁路和铁路客运专线。

### 二、城市轨道交通的分类

按照不同的标准和方式,城市轨道交通可以有多种不同的分类方法,主要可归纳为以下几类。

#### (一) 按基本技术特征分类

根据轨道交通系统基本技术特征的不同,轨道交通系统主要有地下铁道、轻轨铁路、独轨铁路、有轨电车、市郊铁路、自动导向交通系统、磁悬浮铁路等类型。

### 1. 地下铁道

地下铁道是指修建在地下隧道中的铁路。地下铁道又可分为重型地铁、轻型地铁与微型地铁三种类型。重型地铁一般是指传统的普通地铁，轨道基本采用干线铁路技术标准，线路以地下隧道为主，仅在市郊等部分地段采用地面线路，路权专用，运能最大；轻型地铁是一种在轻轨线路、车辆等技术设备工艺基础上发展起来的地铁类型，路权专用，运能较大，通常采用高站台（车厢地板面与站台高度相同，站台高度为 900mm，站台高度比车厢地板面低一、二个台阶，站台高度为 650mm 或 450mm）；微型地铁，又称为断面地铁，隧道断面、车辆轮径和电动机尺寸均小于普通地铁，路权专用，运能中等，行车自动化程度较高。

由于地铁已是一个历史名词，如今其内涵与外延都有较大的扩展，它已不局限于运行在地下隧道这一种形式，而是泛指高峰小时单向运输能力在 3 万~6 万人次，地下、地面、高架运行线路三者结合的一种大容量轨道交通系统。

地铁常建于城市中心地区，其特点是运量大，能迅速疏散旅客，不易堵塞，运量可达 4 万~6 万人次/h，速度可达 30~60km/h，运行采用全封闭信号控制，运行间隔为 2~2.5min。所以，凡城市运量在 4 万人次/h 以上的，可以选用地铁。地铁的安全、快速、准时是其他轨道交通无法比拟的，但由于造价昂贵（每千米造价达 4 亿~8 亿元），制约了其发展。东京地铁和伦敦地铁分别如图 0-3 和图 0-4 所示。



图 0-3 东京地铁



图 0-4 伦敦地铁

### 2. 轻轨铁路

轻轨铁路（简称“轻轨”）是在有轨电车的基础上发展起来的中等运量的城市轨道交通系统。轻轨车辆与地下铁道车辆比较相对较轻。早期的轻轨系统一般是直接对旧式有轨电车系统改建而成。20 世纪 70 年代后期，一些国家开始修建全新的现代轻轨系统。现代轻轨系统与旧式有轨电车系统相比，具有自动控制、乘坐舒适、动力大、速度快、噪声低等优点。对世界各国轻轨系统进行分类研究表明，轻轨也存在多种技术标准并存发展的情况。高技术标准的轻轨接近于轻型地铁，而低技术标准的轻轨则接近于有轨电车。长春低地板轻轨车如图 0-5 所示。

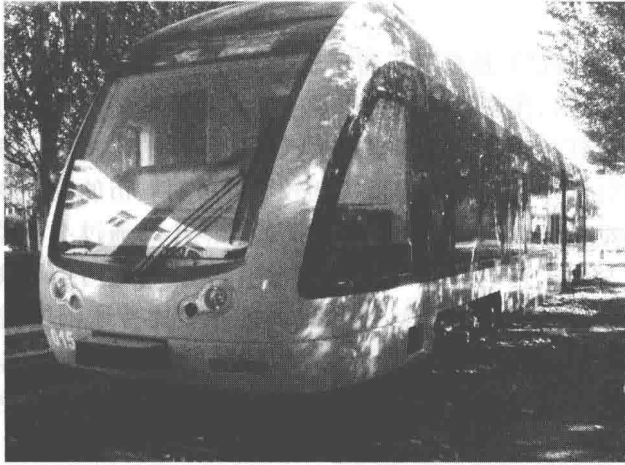


图 0-5 长春低地板轻轨车

轻轨适用于中等运量，多采用全封闭或半封闭方式，实行信号控制。其线路在市区部分可置于地下或高架，在郊区部分一般多在地面运行。轻轨平均速度为  $20\sim 25\text{km/h}$ ，单向高峰流量为每小时 1 万~3 万人次时采用。适用于道路坡道较大或弯曲的大中城市，也可在特大城市配合地铁在郊区的延伸。在运输能力上有较大的灵活性，其造价仅为地铁的  $1/5\sim 1/3$ 。我国北京东直门—西直门的  $40.5\text{km}$  的线路，就是一条城市轻轨铁路线。欧洲、日本等轨道运输发达的国家，城市轻轨被广泛使用。如日本东京地铁只有二百多千米，而城市铁路共有二千多千米。因此，建设城市轨道交通绝不限于地铁一种形式。目前，轻轨已形成三种主要类型：钢轮钢轨系统、线性电机牵引系统（主要用于机场各场间）、橡胶轮系统。由于轻轨的造价低，且施工简便，建设工期较短，单向高峰小时客运量足以缓解城市交通拥挤的状况，且轻轨交通建设标准也低于地铁，因而易实现国产化的要求。因此，轻轨是适合我国大、中城市，特别是中等城市的一种城市轨道交通方式。

快速轻轨交通是指具有专用路权的轻轨系统。快速轻轨交通又可分旧车改进型、新线建设型及新交通系统型三种。

(1) 旧车改进型：是将有轨电车分阶段加以改进，使其车辆逐步实现高性能，轨道线路路权专门化、地下化或高架化，并实现运转单人操纵。德国、比利时、瑞士、意大利等国家修建的轻轨交通就属于这种类型。

(2) 新线建设型：是英国、法国及北美等国自 20 世纪 70 年代开始利用城市废弃的既有铁路修建的比较经济的城市轨道交通系统，如法国巴黎的 RER 系统即属于这种类型。

(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快速轻轨运输系统。加拿大开发的线性电机驱动的轻轨车辆和英国伦敦船坞地 (Docklands) 的轻轨车辆相当于这种类型，加拿大研制的线性电机车已在多伦多、温哥华、底特律等城市使用。

地铁与轻轨的主要区别也是最基本的区别就是运量不同，但地铁与快速轻轨交通又统称为快速轨道交通，是具有专用路权的大容量客运列车系统，有地下、高架或采用立交的地面铁路，具有高标准的站台，并有不同程度的自动化设施。



### 3. 独轨铁路

独轨铁路（简称“独轨”）是车辆或列车在单一轨道上运行的城市轨道交通系统。独轨的线路一般采用高架结构，车辆则大多采用橡胶轮胎。从构造形式上可分为跨座式独轨与悬挂式独轨两种，跨座式独轨是列车跨坐在轨道梁上运行的形式，而悬挂式独轨则是列车悬挂在轨道梁下方运行的形式。因其轨道梁比较窄，故对城市的景观及日照影响较小。独轨交通有噪声低、振动小、对城市的景观及日照等影响小、通过小半径曲线能力和爬坡能力强等优点。但是，独轨车有运能小、速度低、能耗大、粉尘污染等缺点。由于橡胶轮与混凝土轨面的滚动摩擦阻力比钢轨大，所以，其能耗要比普通钢轮钢轨的轨道交通大约40%；橡胶轮与轨道间的摩擦会形成橡胶粉尘，对环境有轻度污染；列车运行在区间发生事故时，面积狭小的轨道梁难以安设救援设施，疏散和救援工作都比较困难。该系统适宜于在市区较窄的街道上建造高架线路，目前一般多用于运动会、体育场、机场和大型展览会等场所与市区的短途联系。跨座式独轨如图 0-6 所示，悬挂式独轨如图 0-7 所示。



图 0-6 跨座式独轨

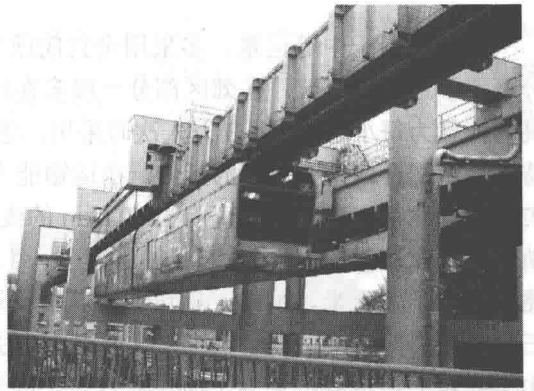
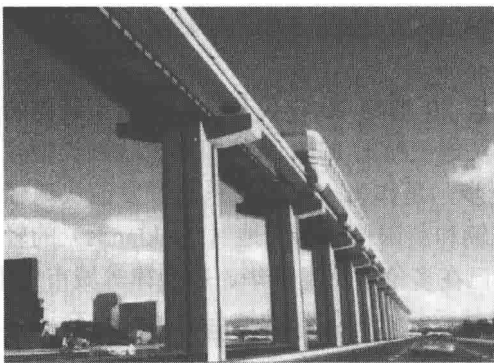
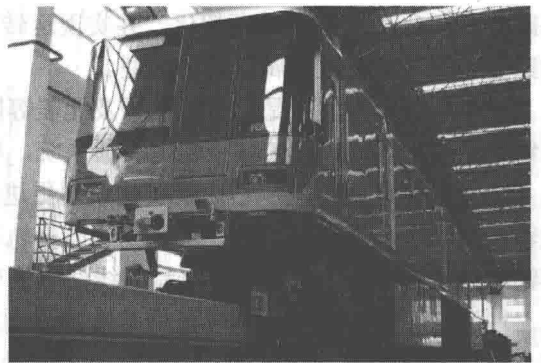


图 0-7 悬挂式独轨

独轨运输能力一般为 0.5 万~2 万人次/h，多采用跨座式，轨道梁、转辙机、转向架是独轨系统的关键部分。由于采用橡胶轮胎，所以车体结构必须轻量化，轨道梁和支座材料的耐潮湿、耐酸性要求也较高。目前，我国重庆市轨道交通采用的就是这种制式（图 0-8）。



(a)



(b)

图 0-8 重庆 3 号线独轨