

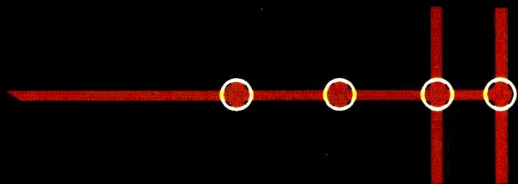


城市轨道交通 交通规划与管理

朱顺应 郭志勇 / 主编
邵春福 / 主审

Chengshi Guidao
Jiaotong Guihua Yu Guanli

东南大学出版社



城市轨道交通规划与管理

主编 朱顺应 郭志勇

主审 邵春福

东南大学出版社

·南京·

内 容 提 要

本书较全面地介绍了有关城市轨道交通规划与管理近些年来研究成果,主要包括城市轨道交通类型、发展、系统构成,城市轨道交通线网布局规划和形态、方案评价、规模计算,城市轨道交通需求预测及其精度控制,城市轨道交通车站规划与设计,城市轨道交通枢纽与换乘,城市轨道交通运营管理模式与体制,城市轨道交通运营组织设计,城市轨道交通容量计算和城市轨道交通系统的经济评价等方面知识。书中着重编写了基于营运组织的竞争与协作的轨道交通流量预测新方法和各种交通方式与轨道交通的衔接、换乘。书末还介绍了轨道交通规划实践案例。

本书可作为交通工程、交通运输管理专业的“城市轨道交通规划与管理”本科课程教材和“客运交通”本科课程参考资料,也可供从事城市轨道交通规划与管理的研究人员、工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通规划与管理/朱顺应,郭志勇主编.
南京:东南大学出版社,2008.4
ISBN 978-7-5641-1155-7

I. 城… II. ①朱… ②郭… III. ①城市铁路—
交通规划—高等学校—教材 ②城市铁路—交通运
输管理—高等学校—教材 IV. U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 029713 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:江 汉

网 址:<http://press.seu.edu.cn>

电子邮件: press@seu.edu.cn

江苏省新华书店经销 南京京新印刷厂印刷

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:18.5 字数:462 千字

2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5641-1155-7/U·19

印数:1—3000 定价:30.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向读者服务部调换。电话:025—83792328)

前 言

随着经济的发展,城市化和机动化水平的提高,交通拥挤已经成为很多大城市令人头痛的“城市病”。当斯定理揭示了城市交通具有“车多修路、路多车多”恶性循环现象,并告诫人们仅靠修建道路难以根治“交通病”。国内外城市交通发展经验提醒我们,优先发展公共交通,建立以轨道交通为主骨架,常规公交为主体,各种交通方式相互协调、优势互补的城市综合交通体系,是解决城市交通拥挤的根本措施。城市轨道交通运量大、速度快、效率高,能调整土地布局和形态,且是绿色的交通方式,现已经成为大城市交通的发展方向。但其投资大、建设周期长、影响深远,做好城市轨道交通规划与管理工作,充分发挥其有效性,具有十分重要的意义。

本书是在武汉理工大学《城市轨道交通》讲义基础上,结合该课程教学需要,吸纳了当前轨道交通规划与管理研究成果,几经修改、补充而成,书中还纳入了编者几年来的实践经验总结和体会,在编写过程中强调了系统性、实用性和资料性。全书既有理论与方法,也有实践,共分为九章。第一章为城市轨道交通概论,第二章为城市轨道交通系统构成,第三章为城市轨道交通线网规划,第四章为城市轨道交通需求预测,第五章为城市轨道交通车站规划与设计,第六章为城市轨道交通枢纽与换乘,第七章为城市轨道交通运营组织,第八章为城市轨道交通系统的经济评价,第九章为长株潭城市群核心城间轨道规划简介。

本书第一章、第二章、第五章、第六章由郭志勇编写,第七章由郭志勇和朱顺应共同编写,其余各章由朱顺应编写,全书由朱顺应立意与统稿。

本书可作为交通工程、交通运输管理专业的“城市轨道交通规划与管理”本科课程教材和“客运交通”本科课程参考资料,也可供从事城市轨道交通规划与管理的研究人员、技术人员和管理人员参考。

近些年来,关于城市轨道交通规划与管理研究成果层出不穷,百家纷呈,但由于作者才疏学浅,尽管倍加努力,仍然难免挂一漏万,出现不当不真之处,敬请广大读者批评指正。

本书在编写过程中,还得到了铁道第四勘察设计院朱丹教授级高工、傅萃清高工的大力支持、帮助和指导,在此表示深深的感谢!

编者

2008. 3

目 录

第一章 城市轨道交通概论	(001)
第一节 城市交通问题与轨道交通.....	(001)
第二节 城市公共交通与轨道交通类型.....	(004)
第三节 城市轨道交通的发展.....	(010)
第四节 我国轨道交通项目投资策划与评估.....	(028)
第二章 城市轨道交通系统构成	(033)
第一节 线路.....	(033)
第二节 轨道.....	(035)
第三节 车辆.....	(040)
第四节 限界.....	(045)
第五节 供电设备.....	(050)
第六节 通信设备.....	(054)
第七节 信号设备.....	(057)
第八节 环境控制系统.....	(063)
第三章 城市轨道交通线网规划	(065)
第一节 概述.....	(065)
第二节 线网规划方法体系.....	(068)
第三节 线网构架.....	(072)
第四节 线网合理规模研究.....	(081)
第五节 线网规划的评价.....	(088)
第四章 城市轨道交通需求预测	(099)
第一节 概述.....	(099)
第二节 轨道交通及其客流特点.....	(102)
第三节 轨道交通客流量预测方法的现状.....	(103)
第四节 四阶段预测模式介绍.....	(105)
第五节 出行生成预测.....	(107)
第六节 分布预测.....	(110)
第七节 交通方式划分.....	(120)
第八节 城市轨道交通网络客流预测.....	(128)
第九节 客流预测精度控制.....	(143)
第五章 城市轨道交通车站规划与设计	(156)
第一节 概述.....	(156)

第二节	车站分布规划	(160)
第三节	车站设计	(164)
第六章	城市轨道交通枢纽与换乘	(172)
第一节	轨道交通枢纽定义与分类	(172)
第二节	轨道交通间的换乘衔接	(176)
第三节	轨道交通与常规公交换乘衔接	(184)
第四节	停车换乘衔接	(191)
第五节	轨道交通与慢行交通的换乘衔接	(198)
第七章	城市轨道交通运营组织	(200)
第一节	轨道交通运营管理模式	(200)
第二节	车站客流组织	(204)
第三节	运输计划	(208)
第四节	列车运行图	(215)
第五节	列车运行组织	(221)
第六节	运输能力	(225)
第七节	运营管理一体化	(230)
第八章	城市轨道交通系统的经济评价	(234)
第一节	概述	(234)
第二节	轨道交通项目财务评价	(236)
第三节	轨道交通项目国民经济评价	(242)
第四节	综合评价模型的建立	(247)
第九章	长株潭城市群核心城间轨道规划简介	(251)
第一节	长株潭城市群现状概况	(251)
第二节	长株潭城市轨道规划基础资料调查与分析	(252)
第三节	长株潭城市群轨道规划简介	(262)
第四节	长株潭城市群核心城间轨道交通客流预测	(267)
主要参考文献		(283)

第一章 城市轨道交通概论

城市轨道交通系统是指服务于城市客运交通,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。它具有运能大、速度快、安全准时、成本低、节约能源、乘坐舒适方便以及能缓解地面交通拥挤和有利于环境保护等优点,常被称为“绿色交通”。

世界范围内人口向城市集中,城市化步伐加快,大中型城市普遍出现人口密集、住房紧缺、交通阻塞、环境污染严重、能源缺乏等所谓的“城市病”。而轨道交通经过 150 年左右时间的发展,在机车车辆、自动控制、通信和信号等技术方面有了很大的进步,很多方面代表和体现了当今高新科学技术发展水平,发达国家的经验表明,轨道交通是解决大中城市公共交通运输的重要途径,对于 21 世纪实现城市可持续发展有非常重要的意义。

第一节 城市交通问题与轨道交通

改革开放以来,我国经济建设飞速发展,国家经济实力显著增强,城市化进程逐步加快。从新中国成立到 1976 年,我国的城市化指数只有 12.2%,而 20 世纪 90 年代以后,城市化进程明显加快。至 2006 年底,我国城镇人口已达 57 706 万人,城市化水平已达 43.9%,并以每年约 1% 的速度增长,预计到 2020 年城市化水平达到 57%。城市化水平的加快,导致了大量人口涌入城市,城市人口急剧增加。到 2006 年底,我国 100 万人口以上的特大城市已达到 49 座,50~100 万人口的大城市有 78 座,而大城市的城市半径也由 10~20 km 扩大到 20~30 km。

社会经济繁荣的同时,我国各大城市的交通问题日益突出,成为城市发展面临的主要问题。目前我国大城市主要面临如下交通问题。

1. 机动车增长速度过快

改革开放以来,我国的机动车保有量增长较快,城市机动化水平发展迅速。据公安部交管局公布的统计数据,截至 2008 年 3 月底,全国机动车保有量达到 1.63 亿辆,比 2007 年底增长 1.85%。汽车和摩托车是机动车构成的主要部分,占全国机动车保有量的 90.60%;私人机动车保持快速增长,保有量达 1.23 亿辆,比 2007 年底增长 5.08%。

北京市机动车保有量从建国初期的 2 300 辆发展到 1997 年 2 月的 100 万辆,用了 48 年的时间;而从 100 万辆发展到 2003 年 8 月的 200 万辆,仅用了 6 年半的时间,其中私人机动车为 128 万辆。2008 年前 3 个月北京市新增机动车 11.2 万辆,至 2008 年 3 月底,机动车保有量已达 323 万辆,北京市已经真正进入了汽车化社会。今后一个时期内,北京的机动车保有量仍将以较高速度增长。

2. 交通基础设施建设滞后

长期以来,我国城市人均道路面积一直处于低水平状态,只是近十多年方开始有较快发展,人均面积由 2.8 m² 上升到 6.6 m²。尽管增长幅度较快,仍远远落后于城市交通的增长速度。目前全国百万人以上的大城市中,有 27 个城市的人均道路面积低于全国平均水平。道路面积不足的原因在于交通基础设施建设的滞后,这种滞后不仅使城市现有的道路功能变得混乱而低效,而且造成的时间浪费和行车成本损失是巨大的。

3. 公共交通结构不尽合理

目前我国城市的公共交通,除北京、上海等几个城市已有轨道交通外,其余城市还都是采用常规公共汽车和无轨电车方式,而这种方式是属于低运量的客运工具,通常其高峰小时单向的客运能力最大也只有 9 000 人次。而大城市在某一条客运走廊上需要集中运送 1 万人次以上客流的现象已很普遍,这就需要根据具体条件,配置相应运能的公交方式。通常高运量的地下铁道可承担单向高峰小时 3~6 万人次的客运任务,而中运量的轻轨交通则可承担单向高峰小时 1~3 万人次的客运任务。对于一个城市的合理公交结构来讲,原则上应以轨道交通为骨干,协调组合高、中、低 3 种运能条件的公交线网结构,以充分发挥公共交通的最佳作用。

4. 交通事故频发,环境问题突出

我国交通管理手段落后,交通秩序混乱,交通事故呈上升趋势。根据公安部交管局公布的数据,2005 年全国共发生道路交通事故 450 254 起,造成 98 738 人死亡,469 911 人受伤,直接财产损失 18.8 亿元,万车交通事故死亡率高达 7.6;2006 年全国道路交通事故死亡 89 455 人,比上年减少 9 283 人,自 2000 年以来首次回落到 9 万人以下。北京近年来的交通事故死亡人数一直在每年 500 人左右,万车交通事故死亡率约 6,而日本东京为 1.9,美国和澳大利亚为 2.6,英国为 2.7。

另外,机动车的迅速增长所带来的大气和噪声污染已成为我国城市的主要污染源。据统计,我国大城市中的 60% 的 CO、50% 的 NO_x、30% 的 HC 污染均由城市交通车辆尾气排放所致。另外一些发展中的大气污染,例如酸雨的形成、臭氧层的破坏、光化学烟雾、温室效应、地球变暖等均与城市汽车排放有一定关系,特别是光化学烟雾,主要是汽车尾气排放的二次污染所致。各交通方式对环境的影响如表 1-1 和表 1-2 所示。

表 1-1 各交通方式对环境的影响

环境影响 交通方式	大气环境	水环境	土壤及地面状况	噪声与振动	城市生态	城市景观	隐性(二次污染)
道路交通	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
水运港口	Y	Y	N	Y	Y	N	Y
轻轨交通	N	N	Y	Y	Y	Y	Y
航空	Y	N	N	Y	Y	N	Y
管道	N	N	Y	Y	N	N	Y

注: Y:表示有影响;N:表示无影响。

表 1-2 各种交通方式的能源消耗与环境污染比较(以市郊铁路为基准)

交通方式 比较项目	市郊铁路	航 空	城市道路	城市轨道交通
能源消耗[1/(亿人·km)]	1.0	5.3	4.6	0.8
人均 CO ₂ 排放量	1.0	6.3	4.6	1.0
人均噪声污染	1.0	1.5	0.7	0.4

面对日益严重的城市交通问题,各个城市普遍采用加大城市基础设施投入、加快城市道路建设的办法。然而,从实际效果来看,在道路建设的初期确实能增加交通的便捷性,但在人们了解城市道路状况后,大量的交通流会不约而同地选择更加便利的城市道路,导致新建道路难逃拥堵的命运。可见,城市道路的增建并非解决城市交通问题的根本出路。

现代城市需要有一个与其现代化生活相适应的现代化交通体系,形成一个与城市发展布局高度协调的综合交通格局。只有把长远规划目标同近期调整改善结合起来,做好与城市交通量基本相适应的道路网络系统,逐步改善常规公共交通的服务管理质量,才能满足不断增长的交通需求。

城市轨道交通作为一种准点、速度快、高效、客运量大、污染小和能耗低的客运交通方式,符合城市交通可持续发展的战略需求,可以从根本上解决城市交通问题,因此建立一个以轨道交通为骨干、以公共交通为主体、多种交通方式相互协调的综合交通系统是我国大城市交通发展的必然趋势。表 1-3、表 1-4 给出了各交通方式的特性比较,表 1-5 给出了世界典型大城市轨道交通方式的分担率。

表 1-3 各交通方式的运能、速度、能耗比较

交通方式 比较项目	市郊铁路	地 铁	有轨电车	公共汽车	出租汽车	轻 轨
单向运能(万人次/h)	4.0~8.0	3.0~6.0	1.0~1.5	0.6~0.9	—	1.0~3.0
运营速度(km/h)	40~70	30~45	15~25	10~15	—	20~40
能耗[kJ/(人·km)]	326.5	322.4	498.2	644.8	2 512.1	—

表 1-4 城市各交通方式的运输特性比较

特性指标 交通方式	运量 (人/h)	运营速度 (km/h)	道路面积占用 (m ² /人)	适用范围	特 点	
自行车	2 000	10~15	6~10	短途	成本低,无污染,灵活方便	
小汽车	3 000	20~50	10~20	较广	成本高,投入大,能耗多,污染严重	
常规公交方式	6 000~9 000	10~15	1~2	中距离	成本低,投入少,人均资源消耗和环境污染较小	
轨 道	轻 轨	10 000~30 000	20~40	高架:0.25 专用道:0.5	长距离	建设、运营成本较高,运输成本较低,能耗和环境污染较小,运输效率高
	地 铁	>30 000	30~45	不占用 地表面积	长距离	

注:运量的比较是以一条机动车道的宽度为基准。

表 1-5 世界典型大城市的轨道交通方式分担率

城市 分担率(%)	伦 敦	纽 约	巴 黎	东 京
小汽车全日分担率	64	51	65	27
公共汽车全日分担率	13	15	9	6
轨道全日分担率	19	29	26	58
轨道高峰小时分担率	76	75	75	91

国内外城市轨道交通发展的实践表明,城市轨道交通作为大城市公共交通运输的骨干力量,在解决城市交通问题、促进城市发展方面发挥了巨大作用:一是大大提高了城市交通供给水平,缓解大城市日益拥挤的道路交通;二是引导城市格局按规划意图发展,支持大型新区建设;三是通过对城市轨道交通的巨大投入,从源头为城市经济链注入活力,并通过巨大的社会效益提高整个城市的综合价值。

第二节 城市公共交通与轨道交通类型

根据美国宾夕法尼亚大学傅齐克(Vukan R. Vuchic)教授的研究,按照交通工具的特点和属性,城市客运交通体系大致上可分为“私人交通工具”(Private Transport)、“准公共交通工具”(Para Transit)和“公共交通工具”(Mass Transit)三大客运系统,如图 1-1 所示。

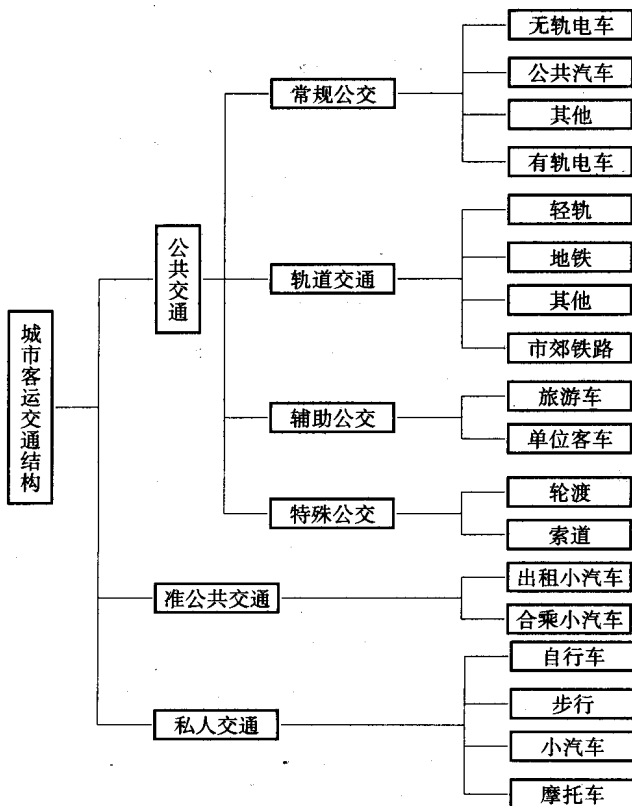


图 1-1 城市客运交通结构的构成

“私人交通工具”是指私人拥有并自行运用的交通手段,包括步行、脚踏车、摩托车及私人小汽车等;“准公共交通工具”是由交通工具所有者提供运输服务,但使用者在时间和路线选择上具有相当程度的自主权,例如出租小汽车、共乘小汽车等;而“公共交通工具”一般是指城市地区内以集体方式,按固定路线、固定班次运行,并按固定的票价收费,供公众共享的公共性客运服务的运输系统。

一、城市公共交通的基本形式

1. 公共汽车

我国公共汽车车辆类型很多,按载客容量分,有小型(载客 60~90 人)、中型(载客 90~130 人)和大型铰接车(130~180 人)。铰接车对解决上下班客运高峰时间的乘客拥挤情况发挥了重要作用。

2. 无轨电车

无轨电车以直流电为动力,它除了有公共车辆的设备外,还要有架空的触线网、整流站等设备。无轨电车初次投资较大,行驶时因受架空触线的限制,机动性不如公共汽车,行驶时能偏移触线两侧各 4.5 m 左右,可以靠人行道边停站,必要时也可超越其他的城市车辆。无轨电车的特点是噪声低,不排放废气,起动加速快,变速方便,宜用于市区。

3. 有轨电车

有轨电车具有运载能力大、客运成本低的优点,其设备同无轨电车,但它还需要有轨道(其架空触线为一根)和专设的停靠站台。有轨电车的缺点是机动性差,行驶时噪声大,当它与车行道铺设在一起时,路面很容易损坏,影响道路的使用质量。它适用于单向小时客流量 6 000~12 000 人的干道线路。

4. 城市快速铁道及城市快速列车

城市快速铁道及城市快速列车适用于单向小时客流量 4 万人以上的客运,通常在年客运强度在 1 000 万人 km/km² 的市区或市郊干线线路采用,其运送速度一般达 40~70 km/h。

5. 地下铁道及地下铁道列车

地下铁道及地下铁道列车适用于单向小时客流量 3~6 万人的客运,通常在年客运强度在 1 000 万人 km/km² 的城市市区线路采用。地下铁道的运送速度一般在 30~45 km/h,对环境影响小。地下铁道以其运量大、速度快、安全准点、占地面积小、污染少等优点为人们所重视,但地铁基建费用大,营运亏损也大。

6. 快速有轨电车

快速有轨电车适用于单向小时客流量 1~3 万人的客运,通常在年客运强度 800 万人 km/km² 以上的市区或市郊干线线路采用。快速有轨电车的因地制宜性强,大城市、中等城市都可采用,其运送速度在 20~40 km/h 范围内变化。快速有轨电车是在革新传统的有轨电车的基础上形成的,主要是使车辆现代化,对线路实行隔离,在市中心繁忙地段进入地下,从而提高运行速度。快速有轨电车基建费用较低,约为地铁的 1/3,建设工期短,建成后运行费用低,因此受到人们的普遍重视。

7. 出租汽车

出租汽车在城市客运交通中起着辅助作用,因而称之为辅助交通。出租汽车的车型有

大、中、小型和微型之分,根据租用者的不同需要而提供。出租汽车是可以随时提供户到户的交通方式,它对城市居民提供的服务比其他定线公共交通更迅速、更方便。

8. 轮渡

轮渡是城市被江、河分割的特定条件下的城市客运交通,一般起联结两岸摆渡交通的作用,从而使陆上不能直接相通的被分割区域可以沟通。这在没有现代化桥梁、水底隧道的城市尤为重要。

二、轨道交通的分类

自19世纪中叶,世界上先后出现城市地下铁道与有轨电车以来,经过100多年的研究、开发、建设与运营,城市轨道交通系统已经形成多种类型并存与发展的状态。

1. 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市郊铁路、地下铁道、轻轨交通、独轨铁路和有轨电车等类型。

(1) 市郊铁路

市郊铁路又称为通勤铁路,是连接城市市区与郊区以及连接城市周围几十千米甚至更大范围的卫星城镇或城市圈的铁路,服务于上下班乘客,一般站距较长,对疏散中心城市人口到周围卫星城的作用十分明显。它往往又是连接大中城市干线铁路的一部分,一般和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,其运行特点接近干线铁路,只是服务对象不同。与城市轨道交通系统中的地下铁道等其他类型不同,在市郊铁路上通常是市郊旅客列车、干线旅客列车和货物列车混合运行。

市郊铁路的运行速度和输送能力远大于其他交通方式,其最大速度可达100~120 km/h,运量最高每小时可达60 000~80 000人次,对于客流量巨大的城市来说发展市郊铁路是明显优于发展小汽车的。而且,市郊铁路在能源消耗、投资费用等方面的指标也明显优于其他交通方式。根据日本的研究资料,市郊铁路的投资大概是地铁的1/10~1/5,每千米的能源消耗是汽车的1/7,是一种十分经济可行的交通方式。

(2) 地下铁道

地铁是由电气牵引、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运量快速轨道交通系统。世界范围内地铁的地下部分约占70%,地面和高架部分约占30%,甚至有的地铁系统全部采用高架形式,只有部分城市地铁系统是完全在地下。

地下铁道还可分为重型地铁、轻型地铁与微型地铁3种类型。重型地铁就是传统的普通地铁,轨道基本采用干线铁路技术标准,线路以地下隧道和高架线路为主,仅在郊区地段采用地面线路,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;微型地铁又称小断面地铁,其隧道断面、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。

地铁多用于超大城市或特大城市市区内部高密度地区间的交通出行,车辆制式和线路特征依各国标准而不同,运营速度一般为30~45 km/h,最大车速可达80 km/h。就容量指标而言,地铁系统均可达到单向高峰小时断面流量30 000~70 000人次,属于大容量快速轨道交通系统。

但地铁造价昂贵,建设周期长。在目前状况下,地铁每千米造价高达7~9亿元,而建设周期长又导致了投资回收期长,更加重了一般投资者的疑虑,给建设筹资造成了极大的困难。

(3) 轻轨交通

轻轨交通是指以有轨电车为基础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。轻轨的涵义是指车辆对轨道施加的荷载而言;轻轨车辆与市郊列车或地下铁道车辆相比相对较轻。早期的轻轨系统一般直接对旧式有轨电车系统改建而成,而20世纪70年代后期,一些国家才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,具有行车速度快、乘坐舒适、噪声较低等优点。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。

轻轨交通的运量介于地铁和常规公交之间,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,具有很大的灵活性和适应性。轻轨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。由于轻轨是介于地铁和常规公交之间的一种交通方式,相对于地铁的昂贵造价,轻轨是一种投资较少、建设较快的模式,一般每千米的造价仅为地铁的25%~50%,而建设进度每年可达5~10 km。轻轨交通系统基本服务功能定位是适于城市人口数介于50~200万人的大型城市,每小时单向载客运量10 000~30 000人次,发车最小间隔为90~300 s。

(4) 独轨交通

独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。独轨的线路采用高架结构,车辆大多采用橡胶轮胎。从构造形式上,独轨可分为跨骑式独轨与悬挂式独轨两种。跨骑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运行的形式。

独轨交通的运量一般在每小时单向5 000~20 000人次。由于它是一种让列车在高架的专用轨道上行驶的交通系统,不受地面交通堵塞的影响,可以安全正点地运行;也有效地利用了城市的空间,既占地少又不影响地面的绿化;由于独轨列车使用橡胶轮胎,可以降低噪声,同时也没有废气排放,这些均符合环境保护的要求;与地铁相比,独轨施工周期短,成本低(约为地铁的1/3~1/2),经济性能好,可以按照城市规划和交通需求进行线路选择,减少城市建筑的拆迁和市民的搬迁;车辆的爬坡能力强,易通过小半径曲线。当然,独轨交通由于受一些固有条件的制约,也存在一定的不足。一般来说,独轨输送旅客的能力比地铁小;车轮与路面的磨耗快;与钢轮和钢轨相比,运行阻力大;列车有故障时,疏散旅客难度大。

(5) 自动导向(AGT)系统

自动导向(Automatic Guideway Transit, AGT)系统是一种通过非驱动的专用轨道引导列车运行的轨道交通。在日本,较早的AGT系统是1981年开通的两条线路:一是神户新交通公司开通的三宫至中公园线路,全长6.4 km;二是大阪市住之江公园至中埠头间的6.6 km线路。目前这两条线路均采用无人驾驶的ATO系统,运营速度为22~27 km/h,最大速度可达60 km/h,高峰期最小间隔达到了3 min左右。

按照专用轨的位置,AGT系统可以分为两种形式:一是轨道中央引导方式;二是侧向引导方式。AGT一般采用ATS/ATC单人驾驶或ATO无人驾驶,单线或复线线路,平均站间距为650~1 400 m,采用直流750 V或三相交流600 V供电方式,最小曲线半径为25~

60 m,最大坡度为 4.5%~6.0%。AGT 列车一般编组为 2~6 节,最高速度为 50~63 km/h,运行间隔为 3~8 min。

(6) 有轨电车

有轨电车通常采用地面线,有时也有隔离的专用路基和轨道,而隧道或高架区间仅在交通拥挤的地带才被采用。旧式的有轨电车由于其与公共汽车及行人共用街道路权,且平交道口多,因而其运行所受的干扰多,速度慢。现代有轨电车与性能较差的轻轨交通已很接近,只是车辆尺寸稍小些,运营速度接近 20 km/h。

表 1-6 对几种轨道交通系统从城市规模、线路特点、车辆和运行指标等方面进行了比较。

表 1-6 典型的城市轨道交通系统

项 目		有轨电车	轻轨铁路	市郊铁路	地 铁
城市规模	人口 商业区雇员	20~50 万 2 万以上	50~100 万 2 万以上	50 万以上 4 万以上	100 万以上 8 万以上
线路特点	CBD 线路长度	10 km 以下	20 km 以下	40 km 以下	24 km 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	350 m	1 km	1~3 km	2 km
	CBD 站距	250 m	300 m	—	0.5~1 km
	最大坡度	10%	8%	3%	3%~4%
	最小半径	15~25 m	25 m	200 m	300 m
工程量	最小	轻	中等	重	
机车车辆	车辆重量	16 t	20 t 以下	46 t	33 t
	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	直流 500~750 V	直流 600~750 V	直流 600~1 500 V 或交流 25 kV	直流 750 V 或直流 1 500 V
	供电方式	顶上	顶上	顶上或三轨	三轨或顶上
	平均速度	10~20 km/h	30~40 km/h	45~60 km/h	30~40 km/h
	最大速度	50~70 km/h	80 km/h	120 km/h	80 km/h
	一般高峰间隔	2 min	4 min	3 min	2~5 min
	最大小时流量	15 000 人次	30 000 人次	80 000 人次	60 000 人次

(7) 磁悬浮列车

磁悬浮列车是一种新型的有轨交通工具,它依靠电磁吸力或电动斥力将列车悬浮于轨道上,实现列车与地面轨道间的无机械接触,再利用直线电机驱动列车运行。

对磁悬浮技术的研究源于德国。早在 1922 年,德国工程师赫尔曼·肯佩尔就提出了电磁悬浮原理,并于 1934 年申请了磁悬浮列车技术的专利。但由于技术水平的限制,一直到以电力电子技术为核心的大功率控制技术的迅猛发展,才为磁悬浮列车的实现提供了技术可行性。

磁悬浮列车技术主要有两大类,即常导型和超导型。

常导型也称常导磁吸型,它是利用普通电磁铁通电后产生电磁吸力的原理,由车上常导

电流产生电磁引力,吸引轨道下的导磁体,使列车浮起。常导磁吸型技术较简单,产生的电磁吸力相对较小,悬浮的气隙较小,一般为 $8\sim 10\text{ mm}$,速度可达 $400\sim 500\text{ km/h}$,适合于城市间的长距离快速运输。常导磁吸型以德国高速常导磁悬浮列车 TransRapid 为代表。

超导型也称超导排斥型,它是利用超导磁体产生的强磁场在列车运行时与布置在地面上的线圈相互作用,产生电动斥力将列车悬起,悬浮的气隙较大,一般为 100 mm 左右,技术相当复杂,并需屏蔽发散的电磁场,速度可达 500 km/h 以上。根据行驶速度的不同,超导排斥型又可分为高速型和中低速型。超导排斥型磁悬浮列车以日本 MagLev 为代表。

磁悬浮列车虽然属于陆上有轨交通运输系统,并保留了轨道、道岔和车辆转向架及悬挂系统等许多传统机车车辆的特点,但由于磁悬浮列车在牵引运行时与轨道之间无机械接触,从根本上克服了传统列车轮轨粘着限制、机械噪声和磨损等问题,具有低噪音、低能耗、无污染、安全舒适和高速高效的特点,所以它是人们理想的陆上交通工具之一,由此也引起了世界各国的关注和兴趣,具有广阔的运用前景。

我国从 20 世纪 80 年代开始了常导磁悬浮列车的研究。1992 年国家正式将磁悬浮列车关键技术研究列入“八五”攻关计划。1994 年 10 月,西南交通大学建成了我国首条磁悬浮铁路试验线,并同时开展磁悬浮列车的载人试验。

1999 年 11 月,我国与德国 Transrapid 国际公司合作开展上海高速磁悬浮列车示范线项目,2003 年 1 月 1 日建成正式通车。上海磁悬浮示范线是世界上第一条投入商业运营的高速磁悬浮线路,西起地铁 2 号线龙阳路站,东至浦东国际机场,全长约 30 km ,设计最高时速为 430 km/h ,单向运行时间约 8 min 。上海磁悬浮线路的建成和运营为我国发展磁悬浮交通提供了难得的机遇,将极大地促进我国高速磁悬浮技术的国产化。

2. 按路权及列车运行控制方式分类

根据城市轨道交通系统路权是否专用及列车运行控制方式的不同,轨道交通系统可分为路权专用、按信号指挥运行,路权专用、按视线可见距离运行和路权混用、按视线可见距离运行等类型。

(1) 路权专用、按信号指挥运行

路权专用、按信号指挥运行类型系统的特点是线路专用,与其他城市交通线路没有平面交叉。由于路权专用及按信号指挥运行,这种轨道交通系统下行车速度高且行车安全性好。属于这种类型的轨道交通系统包括市郊铁路、地下铁道和高技术标准的轻轨等。

(2) 路权专用、按视线可见距离运行

路权专用、按视线可见距离运行类型系统的特点是线路专用,与其他城市交通线路没有平面交叉,行车安全性较好,但由于无信号、按可视距离间隔运行,行车速度稍低。属于这种类型的轨道交通系统主要是中等技术标准的轻轨。

(3) 路权混用、按视线可见距离运行

路权混用、按视线可见距离运行类型系统的特点是线路与其他运输车辆和行人共用,与其他城市交通线路有平面交叉。除在交叉口设置信号控制外,其余线路段按可视距离间隔运行,行车速度与行车安全稍差。属于这种类型的轨道交通系统主要是低技术标准的轻轨和有轨电车。

3. 按高峰小时单向运输能力分类

根据城市轨道交通系统高峰小时单向运输能力的大小,轨道交通系统可分为大运量、中

运量和低运量等类型。

(1) 大运量轨道交通系统,该类型系统的高峰小时单向运输能力达到 30 000 人以上,属于该种类型的轨道交通系统主要有重型地铁和轻型地铁等。

(2) 中运量轨道交通系统,该类型系统的高峰小时单向运输能力为 15 000~30 000 人,属于该种类型的轨道交通系统主要有微型地铁、高技术标准的轻轨和独轨铁路。

(3) 低运量轨道交通系统,该类型系统的高峰小时单向运输能力为 5 000~15 000 人,属于该种类型的轨道交通系统主要有低技术标准的轻轨、自动导向交通系统和有轨电车。

4. 按列车运营组织方式分类

(1) 传统的城市轨道交通,其服务范围以中心城区为主,通常站间距在 1 km 以内。

(2) 区域快速铁路,其服务范围包括城市郊区的轨道交通系统,通常站间距较大,含有地面线路或高架线路,例如德国的 S-Bahn、巴黎的 RER、旧金山的 BART。

(3) 市郊铁路,是指位于城市范围内部分或全部服务于城市客运的那些城市间铁路。通常其所有权属于所在的城市政府,而由铁路部门经营,主要运送城市郊区与中心城区间的乘客。这种铁路通常在郊区采用平交道口形式,在市区为高架或地下铁路;站间距长,运营组织方式与城市间铁路相近,可开行不停靠全部或部分中间站的直达列车;为减少环境污染,多采用电气化牵引方式。纽约、东京等国际大都市的市郊铁路都很发达。

5. 按构筑物的形态或轨道相对于地面的位置分类

按构筑物的形态或轨道相对于地面的位置,城市轨道交通可以分为以下 3 类。

(1) 地下铁路:位于地下隧道内的那部分铁路称为地下铁路。

(2) 地面铁路:位于地面的铁路称为地面铁路。

(3) 高架铁路:位于地面高架桥上的铁路称为高架铁路。

应当指出,以上根据城市轨道交通系统的基本技术特征,路权是否专用、列车运行控制方式的不同以及高峰小时单向运输能力的大小进行的分类并不是绝对的。事实上,在一些不同类型城市轨道交通系统之间并没有明确的、清晰的界限。如一些专业文献资料表明,国外对同一种轨道交通系统有轻型地铁和轻轨等不同称呼的情况。此外,一种轨道交通系统归入何种运量类型也是有条件的,因为计算轨道交通系统高峰小时单向运输能力的基本参数就是列车间隔时间、车辆定员人数和列车编组辆数等,即使是同一轨道交通系统,这些参数也可能是多值的,这里进行分类的基本依据是根据某一轨道交通系统有关参数的常用取值。

第三节 城市轨道交通的发展

一、城市轨道交通的起源

城市轨道交通的雏形是轨道公共马车。把马车放在钢轨上行驶,可以提高速度及平稳性,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。世界上第一条马拉的城市街道铁路于 1832 年在美国纽约的第 4 大街开始运营,但这种有轨道的马车直到 1855 年才开始大规模地替代公共马车,那时轨道安装成本下降,也解决了与街道上无轨车辆交通的相互干扰问题。从 1855 年起,有轨马车线在美国及欧洲迅速扩

展,至 1890 年总的轨道里程达到 9 900 km。

虽然马车铁道比公共马车有了很大的改进,但随着城市人口及车辆的增加,在平交道口出现了交通阻塞,而这一现象在较大的城市中非常严重。因此,需要通过立交形式的快速交通系统来避免铁道上或其街道上的拥挤。同时,人们考虑采用机车代替马来牵引,进一步增加了车辆运营速度。

二、国外轨道交通的发展

1. 地铁的发展

1863 年 1 月 10 日,世界上第一条地铁线路在英国伦敦建成通车,线路全长 6.4 km,列车用蒸汽机车牵引,采用明挖施工法建造。1892 年 6 月 6 日,芝加哥建成了世界上第二条蒸汽驱动地铁。

伦敦地铁通车后,1865 年纽约也制定了建设地铁的计划,但因为蒸汽机车在地下隧道内产生大量的蒸汽和烟雾不易扩散,乘行环境不佳,因此采用了地上高架的形式。在 1867 年初步试验后,第一条高架快速轨道交通线在 1870 年沿曼哈顿的格林威治大街及第 9 大道开始运营。起初其牵引系统是采用连续运动的钢索,但一年后即被蒸汽机车代替。1867~1902 年间,纽约建成了 302 km 的高架轨道交通网。自 1892 年起,芝加哥也大力修建高架铁道,至 1902 年达到 174 km。美国第一批建设轨道交通的城市偏爱它们所作出的采用低投资的高架轨道交通的决策。然而由于其不雅观及噪声,高架轨道交通结构对其周围的城市环境产生了损害,因此传统形式的高架结构在 20 世纪 20 年代初期基本停止了。

1890 年 12 月 18 日,伦敦建成开通世界上第一条电气化地铁,从威廉王子街到斯托克威尔,长度为 5.23 km。芝加哥于 1895 年建成了电气化地铁,1896 年匈牙利的布达佩斯建成了欧洲大陆第一条电气化地铁,同年 12 月,英国的格拉斯哥开通一条 10.6 km 长的地下环线(最初由电缆驱动,不久便改造为电力驱动,为世界上第五条电气化地铁),1897 年波士顿建成世界上第四条电气化地铁,1900 年巴黎建成世界上第六、欧洲大陆第二条电气化地铁。

自 1863 年至 1900 年,有英国的伦敦和格拉斯哥、美国的芝加哥和波士顿、匈牙利的布达佩斯、奥地利的维也纳以及法国的巴黎共 5 个国家的 7 座城市率先建成了地下铁道。

1901 年 12 月 10 日,纽约建成世界第七条蒸汽驱动地铁,该条铁路直到 1904 年 10 月 27 日才实现电气化。1902 年 2 月 18 日柏林建成世界第八,欧洲大陆第三条电气化地铁。20 世纪上半叶,东京、莫斯科等几座城市相继修建了地铁。截止到 1963 年的 100 年间,世界上建有地铁的城市共有 26 座。1964 年到 1980 年的 17 年中又有 30 座城市修建了地铁,到 1985 年世界大约共有 60 座城市正在有计划地修建地铁,当时全世界地铁运营的里程总计 3 000 km。到 2000 年,全世界有 127 座城市修建了 6 000 多千米地铁。表 1-7 列出了地下铁道运营线路超过 100 km 的城市概况。

2. 轻轨的发展

轻轨是从旧式有轨电车发展演变而来的。过去,国外许多城市发展快速轨道交通系统以地下铁道为主,但地下铁道昂贵的造价又使许多城市对地铁望而生畏。因此,从 20 世纪 70 年代开始,欧洲和北美的一些国家又对 30 年代后纷纷拆除的旧式有轨电车系统产生了浓厚兴趣,他们通过对旧式有轨电车系统的技术改造,建成了一种全新的轻轨系统。