

城市轨道交通系列丛书

城市轨道交通运营组织

季 令 张国宝 编著



中国铁道出版社

城市轨道交通系列丛书

城市轨道交通运营组织

季令 张国宝 编著

丁巳年

丁巳年

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书以系统的观点,对城市轨道交通(主要是地铁和轻轨)的运营组织进行了全方位的研究和叙述。内容包括城市轨道交通概述、客流预测与分析、运输计划编制、运输能力理论及加强、列车运行图原理及编制、列车运行组织、车站工作组织、调车工作组织、运价理论与票务管理、运营指标分析、运营可靠性分析和运输企业理财等。

本书可作为高等运输院校相关专业的教材或教学参考书,也可供从事城市轨道交通规划、建设和运营管理的专业技术人员阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通运营组织/季令,张国宝编著. —北京:
中国铁道出版社,1998.9
(城市轨道交通系列丛书)
ISBN 7-113-03125-0

I. 城… I. ①季…②张… III. 城市-铁路-交通-行车
组织 IV. U492.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 26020 号

书 名:城市轨道交通系列丛书
城市轨道交通运营组织

著作责任者:季令 张国宝

出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑:傅立彦

责任编辑:傅立彦

封面设计:薛小卉

印 刷:北京彩桥印刷厂

开 本:850×1168 1/32 印张:5.625 字数:145千

版 本:1998年11月第1版 1998年11月第1次印刷

印 数:1—3000册

书 号:ISBN 7-113-03125-0/U·852

定 价:13.80元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

城市轨道交通系列丛书

主编：孙 章

何宗华

Thomas Brodocz

Walter Christ

《城市轨道交通系列丛书》

序

世界上轨道交通很早就作为公共交通在城市中出现。随着科学技术和城市化的发展,大运量的轨道交通在现代大城市中越来越起着重要的作用。经济发达国家城市的交通发展历史告诉我们,只有采用大客运量的地铁和轻轨交通系统,才是从根本上改善城市公共交通状况的有效途径。

我国发展大运量轨道交通的历史也并不短,40年前北京就开始了地铁建设。想建地铁的城市也不少,但一直因造价太贵而却步。至今一些百万人以上的大城市,仍然用传统的公共汽车和无轨电车来维持客运的做法,已越来越不能满足城市居民高频率出行的需要。因而目前很多大城市又在考虑和策划修建轨道交通项目。除北京外,上海和广州都已经在建造现代化的地铁系统。北京、上海、天津、广州四城市虽已有地铁线路在运营,但远远不能较为普遍地满足需要。由于我国城市轨道交通的应用技术和基础理论都还处于开拓阶段,项目实施的大多数情况是要引进技术和设备,国产化率低,成为工程造价昂贵的主要原因。因而提高我国城市轨道交通行业的技术力量,发挥自主建设能力,努力降低工程造价,已是健康发展大运量轨道交通的关键。

为此,我们组织了建设部和铁道部的有关专家,编写了这套《城市轨道交通系列丛书》,同时还与德国西门子股份公司交通技术集团进行合作,吸收了一些实用而先进的技术成果,分别按不同专业内容纳入这套丛书。

这套系列丛书以普及现代城市轨道交通基础理论、知识为目标,较为全面系统地阐述了城市轨道交通的发展历史和先进的技术成果,同时也论述了不同类型轨道交通的系统特征、通用技术的适应范围、专业技术及其综合效应等。这套丛书可作为管理人员、

专业技术人员和大专院校学生的基础理论知识读本,也可作为本行业专家学者在此基础上深化研究和促进技术发展的参考资料。

周于峙

1998年

* 周于峙 中国科学院院士、工程院院士、建设部顾问、原建设部副部长

前 言

20 世纪下半叶以来,伴随着世界范围内城市化的发展进程,世界各国的城市面积在逐渐扩大,城市人口也在逐渐上升。据预测,到 2001 年,世界上将有一半的人口居住在城市与城镇。城市经济、文化活动的日益发展,城市面积和人口的不断增加,派生出急剧增长的城市客货交通需求。目前,包括我国在内的许多国家的城市面临着严重的交通问题,城市道路拥挤、交通阻塞与车速下降,公共交通运能不足,市民乘车舒适性差,交通事故频繁,废气、噪声对环境的污染等,这一切已经直接制约了城市的良性发展。为了解决日益恶化的城市交通问题,缓解过饱和的城市道路和超负荷的公共交通,世界各国纷纷规划与建设立体化的城市轨道交通系统。

城市轨道交通系统是指主要服务于城市的客运交通,通常以电力牵引为动力,以轮轨运行方式为特征的车辆或列车与轨道等所有相关设施的总和。它具有运能大、速度快、安全准时、成本低、节约能源、以及能缓解地面交通拥挤和有利于环境保护等优点。经过 100 多年的研究、开发、建设与运营,城市轨道交通逐步形成了目前以地下铁道和轻轨铁路为主体,包括市郊铁路、独轨铁路和自动导向交通系统等多种轨道交通类型的发展格局。为实现 21 世纪的城市经济和城市交通的可持续发展,在北京等 4 城市已经建成地下铁道的基础上,北京、天津、上海、广州、南京、深圳和青岛等城市正在修建或规划修建地下铁道,哈尔滨、沈阳、长春、大连、重庆、武汉和杭州等城市正在修建或规划修建轻轨铁路。有鉴于此,作者编著此书,以适应我国发展城市轨道交通的需要。

本书以系统的观点,对城市轨道交通(主要是地铁和轻轨)的运营组织进行了全方位的研究和叙述。内容包括城市轨道交通概述、客流预测与分析、运输计划编制、运输能力理论及加强、列车运

行图原理及编制、列车运行组织、车站工作组织、调车工作组织、运价理论与票务管理、运营指标分析、运营可靠性分析和运输企业理财等。本书可作为高等运输院校相关专业的教材或教学参考书,也可供从事城市轨道交通规划、建设和运营管理的技术人员阅读与参考。

本书是在作者多年从事城市轨道交通运营组织的教学及研究基础上撰写的。本书的编著人员分工如下:第1章、第4章、第11章和第12章由季令执笔,第1章、第3章、第5章、第6章、第7章、第8章、第9章和第10章由张国宝执笔,第13章由宋晓满执笔,庄慧君和李云清分别参加了第11章和第12章的编写工作,傅家良对本书部分章节提出了宝贵意见。全书经季令教授审阅定稿。

限于作者水平和时间,本书疏漏和错误之处在所难免,敬请读者能将意见反馈回来,以便今后修订和完善。书中引用了国内外从事城市轨道交通研究专家、学者的研究成果,并获得他们热情的指导,在此一并表示衷心的感谢。

作 者

1998年7月于上海

目 录

1	城市轨道交通概述	(1)
1.1	城市轨道交通的类型	(1)
1.2	城市轨道交通发展概况	(4)
1.3	城市轨道交通的技术经济特征	(7)
1.4	城市轨道交通系统的方案评估	(10)
2	客流预测与分析	(13)
2.1	城市交通需求的基本特征	(13)
2.2	客流预测	(15)
2.3	客流调查	(20)
2.4	客流分析	(23)
3	运输计划	(26)
3.1	客流计划	(26)
3.2	全日行车计划	(28)
3.3	车辆配备计划	(32)
3.4	列车交路计划	(34)
4	列车运行图	(38)
4.1	列车运行图基本概念	(38)
4.2	列车运行图的格式与分类	(40)
4.3	列车运行图的要素	(44)
4.4	列车运行图的编制方法	(48)

4.5	列车运行图的指标计算	(51)
5	运输能力	(53)
5.1	概 述	(53)
5.2	通过能力计算	(54)
5.3	输送能力计算	(64)
6	运输能力加强	(66)
6.1	概 述	(66)
6.2	加强运输能力的措施	(69)
6.3	旅行速度及其影响因素	(73)
7	列车运行组织	(77)
7.1	行车调度概述	(77)
7.2	正常情况下列车运行组织	(84)
7.3	特殊情况下列车运行组织	(90)
8	车站工作组织	(95)
8.1	车站概述	(95)
8.2	车站行车工作组织	(99)
8.3	车站客运工作组织.....	(105)
9	调车工作	(109)
9.1	调车的理论和方法.....	(109)
9.2	调车工作组织.....	(111)
10	运价理论与票务管理	(116)
10.1	运价理论与票价制定	(116)
10.2	票务管理	(124)

11 轨道交通系统运营分析	(126)
11.1 运营指标分析	(126)
11.2 运营成本分析与经济效益分析	(129)
11.3 经济效益的财务评价	(135)
11.4 经济效益的国民经济评价	(141)
12 轨道交通运营工作可靠性	(144)
12.1 运输系统的特点	(144)
12.2 运输系统故障	(147)
12.3 运输系统的可靠性工作指标	(149)
12.4 运输系统可靠性的定量计算	(152)
12.5 运营可靠性计算的经济要求	(155)
13 交通运输企业理财模式	(158)
13.1 现代企业制度与企业理财环境	(158)
13.2 交通运输企业理财目标及理财组织结构	(161)
13.3 交通运输企业理财及管理模式	(164)
参考文献	(168)

1 城市轨道交通概述

1.1 城市轨道交通的类型

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、以及能缓解地面交通拥挤和有利于环境保护等优点。

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,城市快速轨道交通系统已经形成多种类型并存与发展的状态。

1.1.1 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、独轨铁路和自动导向交通系统等类型。

(1) 市郊铁路。市郊铁路是连接城市市区与郊区,以及连接城市周围几十公里甚至更大范围的卫星城镇或城市圈的铁路,但它往往又是连接大中城市干线铁路的一部分,因此它具有干线铁路的技术特征,如轨道通常是重型的。与城市轨道交通系统中的地下铁道等其它类型不同,在市郊铁路上通常是市郊旅客列车与干线旅客列车和货物列车混跑。

(2) 地下铁道。顾名思义,地下铁道是修建在地下隧道中的铁路。这样理解,也许在地下铁道修建的初期没有什么不妥,但现在定义一个系统为地下铁道,并不要求该系统的线路必须全部修建在地下隧道内。对世界各国地下铁道系统进行分类研究可知,地下铁道可分为重型地铁、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,运量最大。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,运量较大,通常采用高站台。微型地铁,又称小断面地铁,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,运量中等,行车自动化程度较高。

(3) 轻轨铁路。轻轨的涵义是指就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比较相对较轻。轻轨是从旧式有轨电车系统发展演变而来的,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,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,具有行车速度快、乘坐舒适、噪音较低等优点。同样,对世界各国轻轨系统进行分类研究,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。

(4) 独轨铁路。独轨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,车辆则大多采用橡胶轮胎。从构造型式上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型式,而悬挂式独轨则是列车悬挂在轨道梁下运行的型式。

(5) 自动导向交通系统。自动导向交通系统在一些文献资料中称为新交通系统,当然是指狭义的新交通系统。这种交通系统的主要技术特征是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,列车运行自动控制,可实现无人驾驶等。

1.1.2 按路权及列车运行控制方式分类

根据城市轨道交通系统是否专用、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、按信号指挥运行类型。该类型系统的特点是线路专用,与其它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,行车速度高且行车安全性好。属于该种类型的轨道交

通系统包括市郊铁路、地下铁道、高技术标准的轻轨和自动导向交通系统等。

(2) 路权专用、按视线可见距离运行类型。该类型系统的特点是线路专用,与其它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。属于该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、按可视距离运行类型。该类型系统的特点是线路与其它运输车辆和行人共用,与其它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。属于该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。

1.1.3 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高运量、中运量和低运量等类型。

(1) 高运量轨道交通系统。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。

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。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。

1.2 城市轨道交通发展概况

城市轨道交通的诞生和发展已有 100 多年的历史。但重视和大规模修建城市轨道交通系统则是在二次世界大战结束以后。20 世纪下半叶以来,伴随着世界范围内城市化发展进程,世界各国的城市区域逐渐扩大,城市人口也逐渐上升。据预测,进入 21 世纪,世界上将有一半的人口居住在城市与城镇,1 000 万人口以上的特大城市将达到 20 个以上,100 万人口以上的大城市也将达到 350 个左右。随着城市经济、文化活动的日益发展,流动人口以及道路车辆的增加,城市客货交通量呈急剧增长态势,而城市道路及客运交通工具的运能不足则带来交通阻塞、车速下降、事故频繁等一系列问题。过饱和的城市道路,超负荷的客运交通,使得行车难、乘车难不仅成为市民工作和生活的一个突出问题,而且成为直接制约城市经济发展的一个严重问题。另外,道路上汽车排放废气、噪声、振动等环境污染的公害问题也越来越引起人们的重视。在这样一个背景下,世界各国纷纷开始采用立体化的快速轨道交通系统来解决日益恶化的城市交通问题,并且逐步形成了目前以地下铁道和轻轨铁路为主体,多种轨道交通类型并存的现代城市轨道交通发展格局和趋势。

(1) 地下铁道发展

1863 年 1 月,世界上第一条地下铁道在英国伦敦建成投入运营,开始时是采用蒸汽牵引,到 1890 年时改为电力牵引。据有关资料统计,从 1863 年到 1899 年,世界上有 7 个城市修建了地下铁道,从 1900 年到 1949 年,世界上又有 14 个城市修建了地下铁道。第二次世界大战后,伴随着世界各国城市发展快速、大运量公共客运交通的需求,地下铁道发展极为迅速,到 20 世纪 90 年代初期,全世界已有 80 多个城市建成了地下铁道,线路总长度超过了

5 000km。另外,现正在修建地下铁道的城市有 90 多个,线路总长度达到 1300 多公里,其中重型地铁约占 65%。过去一般认为人口超过 100 万的大城市才需要修建地下铁道,但现在一些几十万人口的中型城市也在修建地下铁道。当前,世界地铁有两个发展趋势:一是地铁从早期单一的地下隧道线路发展成地下隧道、高架和地面线路相结合的线路系统,新建地铁大多数是这种情形。地铁在城市中心的闹市区采用地下隧道线路,在城市边缘区、近郊区或特殊地形的地段采用高架或地面线路。这样,在能获得相同的运营效果情况下,可以降低工程造价和缩短施工时间。二是地铁建设出现多元化趋势,它已经成为一个包括重型地铁、轻型地铁、微型地铁的地铁家族。

(2) 轻轨铁路发展

轻轨是从旧式有轨电车系统发展演变而来的。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的修建望而生畏。因此,从 70 年代开始,欧洲和北美的一些国家又对 30 年代后纷纷拆除的城市旧式有轨电车系统产生了浓厚兴趣,它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。据统计,至 90 年代初期,已经有欧洲的十几个国家,北美的美国、加拿大,亚洲的日本、中国(香港)和菲律宾以及非洲的突尼斯等国家建成轻轨系统,轻轨线路的总长约有 1 300km。如同地铁的发展一样,轻轨的建设同样也朝着多样化方向发展。在多元化的轻轨技术标准系列中,处于高、低两端技术标准位置的分别是准地下铁道和新型有轨电车系统。

(3) 独轨铁路发展

早在 1824 年,英国就出现了为伦敦码头运货而修建的独轨铁路,靠畜力牵引。1888 年爱尔兰也修建了一条约 15km 的客货两用独轨铁路,牵引动力为蒸汽机车,这条线路前后运营了 37 年。现存最早修建的独轨铁路是德国乌帕塔尔市在 1901~1903 年间修建的一条约 13km 的悬挂式独轨铁路,牵引动力为电力驱动,该条独轨铁路现仍在运营中。尽管独轨铁路在本世纪初期已经在城市

交通中出现,但因技术上还不够成熟,没有象有轨电车和公共汽车那样在城市交通中得到广泛应用。直到 20 世纪后半叶,随着跨骑式和悬挂式独轨铁路技术的定型与成熟,以及独轨铁路作为解决城市公共交通问题的途径得到各方面的重视,独轨铁路才从作为博览会会场和游乐场所运送观光娱乐客流的工具逐渐成为现代化的城市客运交通工具。目前,日本是世界上修建独轨铁路最多的国家,此外,德国、美国、意大利和乌克兰等国家也建有独轨铁路。

(4) 自动导向交通系统发展

自动导向交通系统是指不同于传统技术的轨道交通系统或有轨、无轨复合交通系统,它是新交通系统的核心,也称狭义的新交通系统。对新交通系统,目前认为包括以下 4 种类型:

① 连续运输系统,如自动人行道等。

② 轨道交通系统,已投入运营的有中、小运量的 PM 等系统。

③ 无轨交通系统,即由电子计算机集中管理运行的出租汽车和公共汽车系统。

④ 复合交通系统,是指有轨和无轨联运的运输系统,车辆可在轨道上以列车方式自动驾驶运行,也可在运输末端以单辆方式人工驾驶运行。

新交通系统的研究起源于 1968 年,当时美国在一个名为“Tomorrow's Transportation”(未来的运输)报告中,针对城市交通问题的解决首次提出了新交通系统的设想。此后,从事这方面研究开发的国家很多,据有关资料介绍,迄今为止已经提出的各种新交通系统设想有 600 多种,但大多是处于研究试验阶段,实际达到应用阶段的较少。70 年代先后建成投入运营的自动导向交通系统有美国达拉斯沃斯堡机场的 People Movers 系统和摩根城的 Personal Rapid Transit 系统等。经过 70 年代的研制,进入 80 年代后,日本、法国和德国等国家也建成自动导向交通系统,其中尤以日本发展最快,在神户、大阪等城市先后建成 7 个自动导向交通系统,线路总长达到 48km。