

城市轨道交通系列丛书

城市轨道交通规划与设计

叶霞飞 顾保南 编著



城市轨道交通系列丛书

城市轨道交通规划与设计

叶霞飞 顾保南 编著

中国铁道出版社

1999年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书针对城市轨道交通规划与设计的实际情况,比较系统地阐述了城市轨道交通的规划理论、路网设计及评价方法、车站设计方法及投资融资政策,总结了国内外城市轨道交通规划与设计方面的最新理论和研究成果。

读者对象:从事城市轨道交通的规划、设计、管理人员,相关专业的大学
生、研究生。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通规划与设计/叶霞飞,顾保南编著. —北京:中国铁道出版社,1999.

(城市轨道交通系列丛书/孙章等主编)

ISBN 7-113-03276-1

I. 城… II. ①叶… ②顾… III. ①城市运输:轨道运输-交通规划 ②城市运输:轨道运输-道路运输网-设计 IV. U491.1

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第12574号

城市轨道交通系列丛书

书 名:城市轨道交通规划与设计

著作责任者:叶霞飞 顾保南

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:北京市兴顺印刷厂

开 本:850×1168 1/32 印张:7.75 插页:1 字数:202千

版 本:1999年7月第1版 1999年7月第1次印刷

印 数:1—3000册

书 号:ISBN 7-113-03276-1/U·903

定 价:16.00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》

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。

周干峙

1998年

* 周干峙 中国科学院院士、工程院院士、建设部顾问、原建设部副部长。

• 2 •

前 言

随着我国经济的发展和城市化进程的加快,我国越来越多的城市,尤其是百万人以上的大城市,交通需求迅速增长。尽管近年来城市道路及车辆拥有量都有了大幅度的提高,但交通问题依然日益突出,表现为交通阻塞、车速降低、车祸频繁、停车困难、废气和噪声危害严重。城市交通问题已经严重制约和影响了城市的发展。为此,我国城市交通学者通过总结国内外城市交通发展的经验教训,已经形成了共识,即解决大城市交通问题的根本出路在于建立一个以轨道交通系统为骨干,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。

城市轨道交通是城市建设史上最大的公益性基础设施,对城市的全局和发展模式将产生深远的影响,其建设是一个涉及面广、综合性很强的系统工程。城市轨道交通项目建成后,能否有效地发挥城市交通的整体效益,能否促进土地的有效开发利用,与城市轨道交通规划密切相关。

城市轨道交通路网规划是城市交通规划的重要组成部分。我国城市轨道交通建设的历史还很短,且在 20 世纪 80 年代之前的城市总体规划中很少包含轨道交通规划。但是,近年来,城市轨道交通的规划与设计工作已在少数大城市展开,随着我国城市轨道交通需求的迅速发展,越来越多的工程技术人员、建设管理人员以及相关专业的大学毕业生、研究生都迫切希望有一本系统地介绍城市轨道交通规划与设计的学习参考书。为此,我们结合近几年来从事轨道交通规划与设计领域的研究工作体会和教学工作经验,编写了这本《城市轨道交通规划与设计》。本书针对城市轨道交通规划与设计的实际情况,比较系统地阐述了城市轨道交通的规划理论、路网设计及评价方法、车站设计方法及投资融资政策,总结了国内

外城市轨道交通规划与设计方面的最新理论和研究成果。

本书共分八章,全书的内容是由作者二人共同讨论决定的,其中第二章、第三章、第六章第三节及第八章由叶霞飞负责编写,第一章、第四章、第五章、第六章第一节和第二节及第七章由顾保南负责编写。

本书参考了国内外有关城市轨道交通规划与设计的著作和论文,并在书末列出了参考文献目录,这里对其作者表示衷心的感谢。在本书的编写过程中,北京城建设计研究院上海分院院长宋敏华高级工程师提供了不少指导和帮助,上海铁道大学土木建筑学院96级研究生曹仲明同学承担了部分资料的调查整理工作,上海铁道大学土木建筑学院交通与土建工程96级学生王小松、徐勇两位同学承担了本书书稿的计算机输入,在此一并深表谢意。

由于写作时间仓促及作者水平有限,本书难免有诸多不足之处,敬请各位读者批评指正,交流切磋。

作 者

1999年

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 城市轨道交通定义及分类.....	1
第二节 城市轨道交通的发展.....	4
第三节 本书的主要内容	13
第二章 交通需求预测	15
第一节 概 述	15
第二节 四阶段交通需求预测方法的基本思想	16
第三节 出行生成的预测	18
第四节 分布交通量的预测	22
第五节 交通方式划分	33
第六节 轨道交通量分配	43
第七节 我国轨道交通客流量预测方法的现状	45
第三章 非集聚模型的基本理论与方法	48
第一节 概 述	48
第二节 非集聚模型的基本形式	53
第三节 非集聚模型的建立方法	62
第四节 集聚问题和集聚方法	74
第五节 交通手段选择模型的算例	76
第四章 轨道交通路网设计	86
第一节 轨道交通系统的基础知识	86
第二节 轨道交通路网结构分析.....	101

第三节	轨道交通路网设计	114
第五章	轨道交通路网方案评价	123
第一节	评价分析及指标	124
第二节	经济评价方法	132
第三节	特尔斐法	135
第四节	层次分析法	137
第六章	轨道交通线路设计	143
第一节	线路设计标准	143
第二节	线路走向选择及车站分布	152
第三节	运营组织	160
第七章	车站设计	168
第一节	车站分类	168
第二节	中间站设计	170
第三节	换乘站	178
第四节	车辆段与停车场	189
第八章	城市轨道交通发展政策	198
第一节	概 述	198
第二节	城市轨道交通投资政策	202
第三节	国外城市轨道交通运营政策	226
第四节	我国城市轨道交通投资政策探讨	229
参考文献		234

第一章 绪 论

第一节 城市轨道交通定义及分类

城市中使用车辆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。

当前,世界上已有 40 多个国家的 140 多个城市拥有或正在规划建设城市轨道交通,在构筑物形态、运营方式、车辆类型及运输能力等方面发展了许多种类。

按构筑物的形态或轨道相对于地面的位置划分,城市轨道交通可分为三类:

- (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:位于地面之上的高架桥的铁路称为高架铁路。

按列车运营组织方式划分,城市轨道交通可分为三类:

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

(2) 区域快速铁路 (Regional Express Railway, Regional Metro):服务范围包括城市郊区的轨道交通系统,通常站距较大,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 (Suburban Railway):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,通常其所有权不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闹市区间的乘客,故也称通勤铁路。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。其站距长,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,营业里程达到 2000km 以上。

按运能范围及车辆类型划分,城市轨道交通可分为地下铁道(Metro, the Underground, 在德国称为 U-Bahn)、轻轨交通(Light Metro, Light Rail Transit)、独轨交通(Monorail)、有轨电车(Tram, Tramway)、客运自动轨行车(Peoplemover)、自动导向交通(Automated Guided Transit)、微型地铁(Mini-Metro)、胶轮地铁(Rubber Tyred Metro)、索道(Aerial Tramway)等类型,常用的是前面 4 种类型。

(1) 地下铁道:简称地铁,国际隧道协会将地铁定义为轴重相对较重,单方向输送能力在 3 万人次/h 以上的城市轨道交通系统。一般线路全封闭,在市中心区全部或大部分位于地下隧道内,因而可实现信号控制的自动化,具有容量大、速度快、安全、准时、舒适、运输成本低、不占城市用地,但建设成本高等特点,适用于出行距离较长、客运量需求大的城市中心区域。一般认为,人口超过百万的大城市就应考虑修建地铁。

(2) 轻轨交通:是在有轨电车的基础上发展起来的城市轨道交通系统,输送能力 1.5~3.0 万人次/h。它的车辆轴重较轻,施加在轨道上的荷载相对于城市铁路和地铁的荷载来说比较轻,因而称之为轻轨。站台标准有高低之分,路权形式也有多种。伦敦把轻轨路权分为三种:LRT1,指与其它交通及行人共享路面;LRT2,线路固定于道路上,在紧急情况下其它车辆可驶入其路面,类似公共汽车专用道;LRT3,路权专用,线路与其它交通及行人全部隔离,或是立交化的地面铁路,或是地下或高架铁路。它具有运量较大、速度快,乘坐舒适、安全、运行经济、建设成本比地铁低等特点。

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。

(a) 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、意大利等国修建的轻轨交通就属于这种类型。

(b) 新线建设型:是英、法及北美等国自 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。

(c) 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力机车已在多伦多、温哥华、底特律等城市付诸使用。地下铁道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,具有高标准的站台并有一定程度的自动化设施。

(3) 独轨交通:又称单轨交通,可分为跨座式和悬挂式两种,前者跨在一根走行轨道上行走,其重心位于走行轨道上方;后者车辆悬挂于可在轨道梁上行走的走行装置的下面,其重心处于轨道梁的下方。因其轨道梁比较窄,仅为 85cm,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约大 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。

(4) 有轨电车:通常采用地面线,有时有隔离的专用路基和轨道。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,通行能力低,单向运输能力一般在 1 万人次/h 以下。现代有轨电车与性能较差的轻轨交通已很接近,只是车辆尺寸稍小一些,运营速度接近 20km/h,单向运能可达 2 万人次/h。

表 1-1 几种城市轨道交通方式的主要技术指标

指 标	单 位	地下铁道	轻轨交通	独轨交通	有轨电车	
平均站间距离	市区	m	500~800	800~1000	700~1500	600~1200
	市郊	m	1000 以上	1000 以上	2000 以上	—
最高行车速度	km/h	90	80	80	60	
旅行速度	km/h	30~45	25~35	18~43	16~20	
行车最小间隔	s	50~90	90	90	90	
每辆车容量	人	150~310	190~336	80~180	110	
列车编组	辆	4~10	2~6	2~6	1~3	
单向运输能力	万人次/h	3~8	2~4	1~2	1~1.4	

第二节 城市轨道交通的发展

一、国外城市轨道交通的发展

(一) 城市轨道交通的起源

1804年英国人特雷维西克试制了第1台行驶于轨道上的蒸汽机车,1825年英国在大林顿到斯托克顿间修建了21km的世界第一条铁路。至1863年伦敦第一条地铁线开通之前,虽然铁路在欧美等国迅速发展,总里程超过100 000km,但只是用于城市间的客货运输。这个时期,尽管铁路没有直接服务于城市交通,但是它使得城市发展从靠水而建的约束中摆脱出来,其腹地范围迅速扩大,在半个世纪不到的时间中扩大了3~6倍,大大促进了城市交通需求的发展。与此同时,城市公共交通的改进是通过马车来实现的。1829年,巴黎引入较大的由马驱动的公共马车,纽约1831年也引入这种车辆。后来它迅速增长,但它缓慢颠簸、不舒适,且容易造成街道的车辆拥挤及阻塞。^[1]

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 900km。^[2]

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,在平交道口出现了的交通阻塞,在较大的城市中非常严重。1860年,在纽约的曼哈顿(Manhattan),从Battery到中央公园(Central Park)8km的行程需花一个多小时的时间。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。同期,人们考虑采用机车代替马车来牵引,进一步增加了车辆运营速度。第一条快速轨道交通线于1863年在伦敦运营,线路位于地下隧道内,用蒸汽机车牵引,称为地铁。从此,铁路技术开始被用来解决人们在城市内的出行。

(二) 大容量轨道交通系统的发展

伦敦地铁通车后,1865年纽约也制定了建设地铁的计划,但没有得到批准,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,乘车环境不佳。因此美国的快速轨道交通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年开始运营,沿曼哈顿的格林威治(Greenwich)大街及第9大道运行。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302km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174km。美国第一批建设轨道交通的城市偏爱他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。拆除高架线路变成了美国城市地价高涨情况下的一个政策要点。

电力牵引的列车在成本、性能、舒适性方面都大大超过以前的轨道车辆,德国在这方面取得了实际的进展。柏林附近的Lichterfelde线于1881年投入运营,是世界上第一条电气化铁路。其后,

北美城市建造了几条试验线,于 1888 年成功地试验出技术先进的电力机车技术。电气化铁路对快速轨道交通有决定性的影响。至 1890 年末,有轨电车迅速替换了马车铁道及缆车铁道,同时也替代了城市轨道交通中的蒸汽机车。1897 年,6 节编组的多节电动列车开始在芝加哥的南侧高架线(South Side Elevated)上运营。1898~1903 年在纽约高架线上实现电气化。此时伦敦、布达佩斯、格拉斯哥、波士顿及巴黎已经开始运营电气化轨道交通,一度搁浅的纽约地铁建设计划于 1900 年开始实施。由于电气化,到 1937 年美国的城市快速轨道交通里程增长到 1902 年的 4 倍,其中 90% 以上是在纽约与芝加哥,其余的在费城及波士顿。

第二次世界大战后,随着汽车业的蓬勃发展,美国城市经济活动向乡村转移,城市客流需求下降,加上城市快速路的大量建设,使得城市轨道交通的发展步伐减缓。20 世纪 60 年代末期狂热的政治气候及经济气候又使得政府下决心发展城市轨道交通。1974 年的汽油短缺及其价格上涨,也促使人们重新向市中心聚集,刺激了公共交通需求的增长。至 1976 年,美国超过 40 万人的 60 个城市中有 25 个城市规划建设城市铁路,这些城市的雄心勃勃的目标是到 1990 年建成 3 540km 的线路,这将是既有系统的 3 倍多。按 1971 年不变价格计算,需要投资 420 亿美元,这是不可能实现的,因此,联邦政府放慢了建设步伐,限制性地批准部分新的快速轨道交通线建设,优先考虑部分城市中等运量及短途出行的轻轨系统(不是全立交的轨道交通线)上马。鉴于既有的快速轨道交通表现出的许多弱点,如设备简陋、环境差等,在规划和建设新的快速轨道交通线时,提出了四方面的新要求:

(1) 以环境可接受的方式(基本上在地下)为高强度城市活动的人群提供直接服务;

(2) 确保乘客至地下乘车方便;

(3) 避免传统的拥挤不堪的局面,提供适当的空间、安静的环境及空调;

(4) 提供满足车辆平稳、高速运营的路基条件,提高劳动效

率,要与小汽车竞争。

电气化城市轨道交通对城市分布及其规模产生了广泛的影响。美国在1880~1920年的40年间,美国城市人口由1500万人增加到4500万人,约占全国总人口的50%;城市轨道交通年客运量从6亿人次增加到155亿人次。这个时期城市中心区及近郊的发展初具规模,在有轨交通线的步行距离内具有较高的居住密度。这些区域的人口增长在后来又衰减了,但至今美国仍有1/4的人居住在城市中心区及近郊核心区,这种人口分布状况就是受当时轨道交通线的影响而形成的。

表1-2列出了世界各大洲发展地铁比较早的城市。英国的伦敦,法国的巴黎,德国的柏林,俄罗斯的莫斯科,日本的东京等城市,都是地铁发展较早且规模较大的城市。由于这些城市的城市间铁路非常发达,因此,在发展地铁的同时,市郊铁路也取得很大的发展,并在城市布局的发展及城市交通功能中占据重要地位,参见表1-2。

表1-2 世界特大城市轨道交通发展状况统计表

城市名	范围	轨道交通类型	开通年份	营业里程(km)	线路条数	运量(百万人次/年)	占城市客运量比例	统计年份
伦敦	市区	地铁	1863	408	9	769	35%	1987
	市区	轻轨		15	2			
	大伦敦	市郊铁路		650		511		1986
巴黎	市区	地铁	1900	300	15	1588	50%	1985
	大巴黎	快速铁路(RER)		274	3	420	13.2%	1985
	大巴黎	市郊铁路		970	28			1985
里昂	市区	地铁	1978	16.4	3	102		1987
东柏林	市区	地铁	1902	17.6	2	78		1984
西柏林	市区	地铁	1902	101	9	350		1986
	郊区	快速铁路S-Bahn		295				1945
多特蒙德	市区	轻轨	1986	100.4	7	44		1986

续上表

城市名	范围	轨道交通类型	开通年份	营业里程(km)	线路条数	运量(百万人次/年)	占城市客运量比例	统计年份
莫斯科	市区	地铁	1935	212	9	2 585		1986
	市区	有轨电车				504		1986
纽约	市区	地铁	1868	432	30	1 114	47.2%	1987
	大城市区	市郊铁路		3 630			11.2%	1986
费城	市区	轻轨	1907	41	3	21.0		1987
	市区	地铁	1969	62	3	8.3		1986
多伦多	市区	地铁	1954	61	3	243		1987
东京	都区部	地铁	1927	219	10	766	25.5%	1996
	都区部	市郊铁路		565		1 833	61%	1996
	都区部	有轨电车		12.2	1	25		1982
	都市圈	市郊铁路		2 110		2 799	42.7%	1992
大阪	市区	地铁	1933	99.1	6	874.7		1987
汉城	市区	地铁	1974	116.5	4	854		1987
釜山	市区	地铁	1985	21.3	1	300		1988
新加坡	市区	地铁	1988	68	2	122		1990
加尔各答	市区	地铁	1986	16.4	1	101.5		1988
里约热内卢	市区	地铁	1979	21.6	1	406.7		1987
突尼斯	市区	轻轨	1985	10	1	25		1986
香港	市区	地铁	1979	38.6	3	593		1988

资料来源: [2]、[3]、[4]

(三) 中运量轨道交通系统的发展

在 20 世纪初,有轨电车曾是大城市重要的公共交通工具。由于它与道路上的其它各种车辆共用路面,行驶速度慢,噪声大,乘坐舒适性差,而且在狭长的道路上妨碍汽车行驶,因此,在汽车大量增长的 30、40 年代,西欧城市的有轨电车纷纷被拆除。美国的有轨电车系统,其建设时间不超过 30 年,但在建成后的 60 年中几乎