

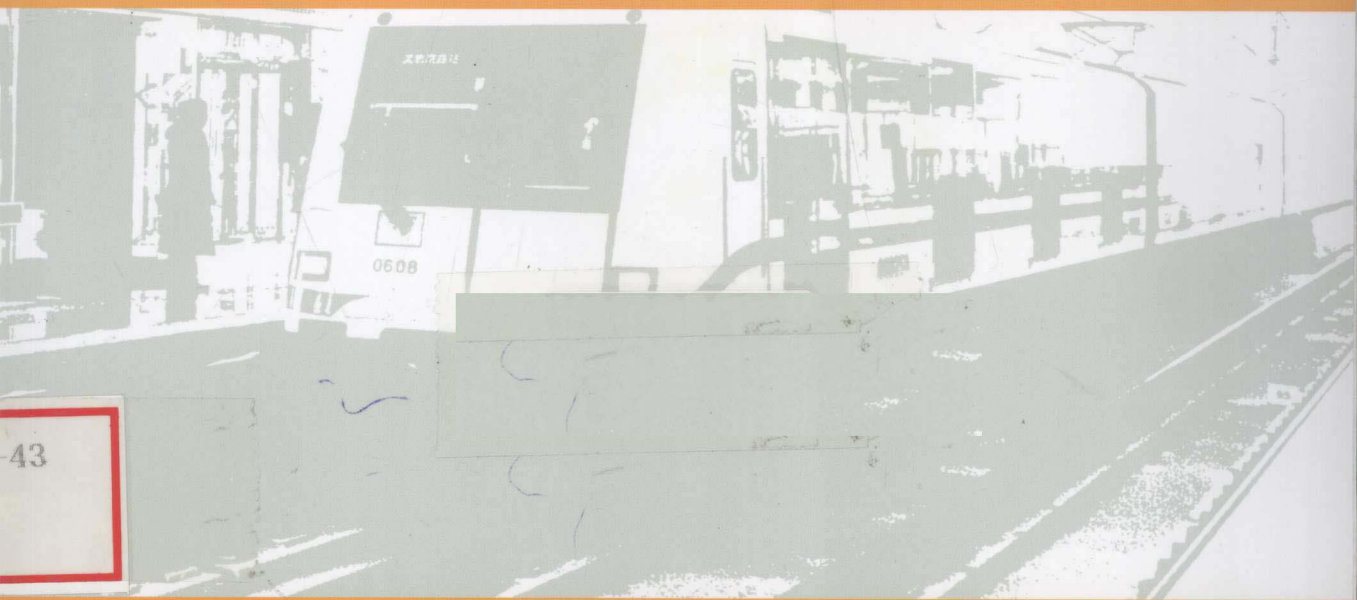


21世纪交通版高等学校教材
城市轨道交通系列教材

城市轨道交通概论

An Introduction to Urban Rail Transit

孙章 蒲琪 主编
沈景炎 主审



人民交通出版社
China Communications Press

21 世纪交通版高等学校教材
城市轨道交通系列教材

An Introduction to Urban Rail Transit
城市轨道交通概论

孙 章 蒲 琪 主 编
沈景炎 主 审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为城市轨道交通系列教材之一,内容包括引论,城市轨道交通的分类与制式选择,城市轨道交通工程项目的前期工作,轨道结构、线路、区间结构、供电系统、车站、车辆段、环控系统、防灾系统、售检票系统等城市轨道交通固定设施子系统,城市轨道交通移动设施子系统——车辆,城市轨道交通列车运行自动控制子系统,城市轨道交通运营管理。

本书可作为高等学校土木工程专业(轨道交通方向)、交通运输专业、交通工程专业本科生教材,同时也可作为城市轨道交通设计、施工及运营管理等技术人员培训及学习参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通概论 / 孙章, 蒲琪主编. —北京: 人民交通出版社, 2010.1

ISBN 978-7-114-07924-5

I. 城… II. ①孙…②蒲… III. 城市铁路—概论—高等学校—教材 IV. U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 191950 号

21 世纪交通版高等学校教材

城市轨道交通系列教材

书 名: 城市轨道交通概论

著 者: 孙 章 蒲 琪

责任编辑: 沈鸿雁 刘永超

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 23.75

字 数: 608千

版 次: 2010年1月 第1版

印 次: 2010年1月 第1次印刷

印 数: 0001~2500册

书 号: ISBN 978-7-114-07924-5

定 价: 40.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

我国的交通运输业目前正处在大发展、大建设时期,正在全面、协调地发展综合运输体系。在城市客运交通领域,在“以人为本、公交优先”方针指引下,为了给市民提供安全、便捷、环保、节能的交通工具,各大城市正在加快发展城市轨道交通。以北京、上海为例,目前城市轨道交通的运营里程都已达到和超过了 200 km。由于城市轨道交通具有运能大、速度快、安全准点、节约资源、对环境友好等优点,深受人民群众的欢迎,城市轨道交通已成为广大市民出行的首选。

现代城市发展和客流的轨迹是纵向和横向的双向运动。纵向发展的主要标志是市中心区的高层建筑林立及地下结构的深度开发;横向发展的主要标志是城市人口向周边地区扩散,上班时,城市人口向市中心聚集,下班时,城市人口向郊区扩散。聚集和扩散并存构成了当代城市的矛盾运动。而城市轨道交通则是这一矛盾运动的主要载体。

回顾 20 世纪的城市交通史,经历了分别以有轨电车、汽车、地铁轻轨为主的三个阶段。20 世纪初,有轨电车曾是城市交通的主角;从 30 年代起逐渐转为主要依靠汽车;从 70 年代开始,由于要应对能源危机、减少城市大气污染、缓解道路交通拥堵等原因,地铁和轻轨成为城市公共交通的骨干。有轨电车—汽车—地铁轻轨,这是个否定之否定过程,呈现出螺旋式上升的态势。

2008 年,铁道部与北京市政府合作,在北京奥运会开幕前夕,利用京张铁路开通了从北京市中心通往延庆的市郊铁路,为方便北京市民出行、为国内外游客游览八达岭长城提供了快捷的交通工具,促进了北京市中心城区与西北部远郊区之间的城乡统筹发展;从 2008 年 9 月 1 日起,上海铁路局开行从上海铁路南站经浦东铁路至南汇芦潮港的市郊列车,上海南站至金山的复线市郊铁路也即将开建。铁路部门参与城市轨道交通建设和服务,在大城市远郊线采用大站距、2.5 万 V 交流制供电是发展城市轨道交通的一种新思路、新体制。

十分可喜的是,在孙章、蒲琪主编的《城市轨道交通概论》一书中,上述新理念、新举措以及新技术(如基于通信的列车控制)都得到了及时地反映和概括。我想,作为一本面向现代化、面向未来的教材,资料新、数据新、理念新是必不可少的,这本教材应该说对此进行了有益的探索。

编写教材如何创新,是一个值得研究的问题。除了资料新、理念新之外,还应该做到体系新。本书将城市轨道交通看作一个大系统,分别就固定设施、移动设施和控制设施三个子系统分别进行论述,用系统论思想驾驭全书,也是本书的特色之一,颇有新意。

一本优秀教材不仅要反映新理论、新技术,同时要对学生进行基本原理、基本方法的熏陶。不仅授人以鱼,更要授人以渔。在本书中,只要一有机会,作者就会介绍有关学科的基本原理与科学方法,这样做能使学生在接受大量知识的同时不断提高自己的能力,十分可取。

教学相长。祝愿本书在使用过程中多多吸取广大老师和同学的意见,不断改进,争取成为精品力作。

中国交通运输协会常务副会长 王德荣

2009年9月

前 言

在人民交通出版社和同济大学交通运输工程学院的主持下,我们成立了由教授、博士生导师、博士后、博士、硕士组成的产学研、老中青相结合的本书编写组,编写组由师生组合。我们想,要写好一本教材并非易事,所以首先从优化编写组成员结构做起。

本书共分八章,全书由孙章教授、蒲琪高工主编。各章的编写人员分别是:第一章由上海地铁运营有限公司李素莹、同济大学交通运输工程学院孙章编写;第二章由上海申通轨道交通研究咨询有限公司杨耀编写;第三章由同济大学铁道与城市轨道交通研究院李晓龙编写,其中第二节由上海市城市规划设计研究院胡志晖编写;第四章、第五章由同济大学交通运输工程学院顾保南编写;第六章由上海市交通运输和港口管理局张波编写,其中第五节由李晓龙编写;第七章由上海工程技术大学城市轨道交通学院徐金祥编写;第八章由李素莹、同济大学铁道与城市轨道交通研究院蒲琪编写。

书中标注有*号的内容为选学内容,由各高校根据课时情况在教学时选用。

本书在编写过程中,参考了国内外有关专著、研究报告和文献,也借鉴了在《城市轨道交通研究》杂志上发表的论文,虽然在书末列出了主要参考文献,但挂一漏万,在此,我们对广大作者表示衷心感谢。

中国交通运输协会常务副会长王德荣教授在百忙中为本书作序,谨向他深致敬意。本书的主审北京城建设计研究总院的沈景炎教授级高工为本书提出了很多有益的修改意见,在此一并表示谢意。

在本书编写过程中,《城市轨道交通研究》杂志社的柏雅琴、徐雷两位老师协助收集资料 and 进行图表制作,付出了辛勤劳动。

限于编写人员水平,书中定有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009年9月于同济大学
《城市轨道交通研究》杂志社

目 录

第一章 引论	1
第一节 城市轨道交通的发展历程.....	2
第二节 城市轨道交通的社会功能	10
第三节 我国城市轨道交通发展概况*	18
第四节 世界十大城市地铁概览*	36
第二章 城市轨道交通的分类与制式选择	47
第一节 城市轨道交通的分类	47
第二节 城市轨道交通的技术制式	49
第三节 城市轨道交通的制式选择	85
第三章 城市轨道交通工程项目的前期工作	88
第一节 城市轨道交通规划	88
第二节 城市轨道交通线网规划	94
第三节 城市轨道交通建设项目的可行性研究*	125
第四节 城市轨道交通的投融资模式*	135
第四章 城市轨道交通固定设施子系统之一	142
第一节 轨道结构.....	142
第二节 线路.....	152
第三节 区间结构.....	158
第四节 供电系统.....	167
第五章 城市轨道交通固定设施子系统之二	174
第一节 车站.....	174
第二节 车辆段.....	189
第三节 环控系统.....	193
第四节 防灾系统.....	200
第五节 售检票系统*	204
第六章 城市轨道交通移动设施子系统——车辆	209
第一节 车体.....	209
第二节 走行装置和连接装置.....	218
第三节 电传动及其控制.....	226
第四节 车辆限界*	233
第五节 中低速磁浮车辆*	246
第七章 城市轨道交通列车运行自动控制子系统	254

第一节	城市轨道交通信号子系统概述	254
第二节	信号子系统的轨旁基础设施	257
第三节	列车运行自动控制(ATC)的系统结构和基本功能	261
第四节	列车自动监控(ATS)*	265
第五节	列车自动防护(ATP)*	279
第六节	车载 ATC 设备与列车自动运行(ATO)*	301
第七节	基于通信的列车控制(CBTC)*	311
第八章	城市轨道交通运营管理	330
第一节	运营的功能目标及其组织架构	330
第二节	行车组织	335
第三节	线路运输能力	340
第四节	客运管理	342
第五节	网络化运营管理	351
第六节	安全管理	356
第七节	经济技术指标的分类及计算方法*	362
参考文献		370

第一章 引 论

回顾我国城市 30 年来的发展历程,可以发现,随着城市化进程加快、城市规模扩大、经济发展和居民收入提高,城市人口和外来人员的流动性日益频繁,市内交通需求持续增长。为了适应城市迅速发展的需要,缓解城市交通日益紧张的状况,我国政府加大了对城市轨道交通建设的投入,加快发展运量大、污染小的大容量城市轨道交通。

我国城市人口的总量呈现集聚和持续增长趋势。截至 2007 年底,我国共有城镇人口 5.94 亿,设市城市 655 个,城镇化水平达 44.9%,从 1982 年以来,年均增长 0.95%。以上海市为例,全市常住人口 1990 年为 1 334 万人,2007 年为 1 858 万人,18 年间常住人口平均每年增长约 30 万人。

美国咨询公司麦肯锡全球研究所在 2008 年 3 月完成的一份研究报告中预测,从现在到 2025 年,中国城市人口还将增加 3.5 亿,其中包括 2.3 亿外来人口,将出现 221 座人口超过百万的城市(现在为 118 座——编者注);中国城市将建 500 万座新楼,其中将有 5 万座摩天大楼;中国将有 170 个城市新建轨道交通系统,铺设 50 亿平方米的城市道路。

可见,现代城市发展的几何轨迹是纵向和横向的双向运动。纵向发展的主要标志是,市中心区的高层建筑林立及地下结构的深度开发;横向发展的主要标志是,城市人口向周边地区扩散,上班时,城市人口向市中心聚集,下班时,城市人口从市中心分散到各个副中心、卫星城。聚集和扩散并存构成了当代城市的矛盾运动。客流的集散是这一运动的表现形式,而城市轨道交通则是这一矛盾运动的主要载体。

城市人口猛增仅仅是城市交通需求不断扩大的原因之一。由于城市社会经济发展和居民收入提高,人们上班、上学、出差、经商、购物、探亲访友、消闲旅游等出行需求越来越旺盛。以上海市为例,1986 年 OD 调查结果是每人每天的出行次数为 1.79 人次/(人·日);1995 年 OD 调查的结果为 1.95 人次/(人·日);2004 年 OD 调查的结果为 2.21 人次/(人·日)。

然而,由于汽车生产的相对无限性与道路建设的相对有限性,人们的出行越来越困难,道路交通越来越拥堵。2007 年我国汽车销量达到 879 万辆,2008 年上半年汽车销量已超过 500 万辆。2008 年我国汽车拥有量将跨上 5 000 万辆新台阶。根据 1998 年对世界各主要国家汽车拥有量和家庭收入的相关性研究,发现发展中国家城市平均家庭收入为 3 197 美元,平均每千人小汽车拥有量为 41.2 辆;而发达国家城市平均家庭收入为 21 688 美元,平均每千人小汽车拥有量为 272.2 辆。根据《2008 中国统计摘要》提供的数据,2007 年我国平均 30.32 人一辆汽车,相当于每千人 33 辆,还低于发展中国家的平均水平;但由于我国人口众多、土地相对短缺的基本国情,目前大城市交通拥堵已十分严重;如果我们的经济收入与汽车拥有量都达到发达国家水平,如果不独辟蹊径,那时交通拥堵之严重就更不堪设想了。

2006 年,我国消费原油 3.5 亿吨,成为仅次于美国的世界第二大石油消费国;我国石油的

对外依存度已由 2000 年的 29.6% 上升到目前的 47%。在石油消费中,约 60% 的原油用于生产成品油,而 75% 左右的成品油用于交通运输,汽车又是交通运输业中的用油大户。根据日本的统计,小汽车的单位能耗是轨道交通的 12 倍,而且城市轨道交通使用的是电能,并非成品油。

汽车的迅速增长导致碳氢化合物、一氧化碳、氮氧化物、颗粒物的急剧增加,使我国的大气污染已从煤烟型污染转变为煤烟与机动车排放复合型污染;机动车排放污染已成为城市大气污染的主体,其中汽车废气铅污染占人类活动铅污染的 60% 以上。

我国是仅次于美国的世界第二大温室气体排放国,作为发展中国家,2012 年前不必承担《京都议定书》中的减排义务,但随着“后京都时代”的到来,温室气体减排压力会不断增大。大约 1/4 的碳来自运输业,汽车运输又占了其中的绝大部分。据日本的统计,汽车的单位碳排放量是轨道交通的 26.7 倍。

因此,为了解决大城市的交通难题,必须走资源节约、环境友好的可持续发展之路,坚持“公交优先”的方针,发展以城市轨道交通为骨干、道路公共交通为基础、出租车为补充的大城市公共交通系统,尽可能将使用私人交通工具的市民吸引到公共交通上来,这是 20 世纪世界各国发展城市交通的共同经验,业已成为人们的共识。

城市轨道交通(Urban Rail Transit 或 Urban Mass Transit)是指利用轨道作为车辆导向的城市客运公共交通方式。城市轨道交通包括市郊铁路、地铁、轻轨、单轨、直线电机车辆、自动导向系统以及磁浮系统等。现代化的城市轨道交通,是一项集多种专业技术于一身的系统工程,在列车自动控制和集中调度指挥下,能迅速、安全地完成高运量市郊铁路、大运量地铁和中运量轻轨的旅客输送任务。

轨道交通推动城市科学发展。

轨道交通让城市生活更美好。

第一节 城市轨道交通的发展历程

一、城市交通和城市规模

从城市 and 交通的发展历史看,城市规模的大小与城市交通工具的技术进步密切相关,城市的直径一般就是当时最快交通工具 1h 走行的距离。美国科学史研究者屈菲尔(J. Trefil)提出:城市的规模取决于人们在其中移动的难易程度,即大部分人不愿意花 1h 以上时间在一次出行上。例如 1819 年时伦敦只有行人、手推车和数量不多的马车,因此当时城市半径不超过 5km;今天伦敦有了快速轨道交通,城市直径扩大到了 80mile(约合 128km),如图 1-1 所示。东京城市规模的扩展过程也充分说明了这一点(图 1-2)。

再以我国上海为例(图 1-3),在 19 世纪中叶上海开埠之前,当时的主要交通方式是步行、马车和船运,城区面积不足 10km²;自从 1908 年上海第一条有轨电车投入运营,便成为主要公共交通工具,到 1949 年上海城区面积接近 100km²;1995 年地铁 1 号线建成通车,城市快速道路也已投入使用,地铁的最高速度是 80km/h,这时上海的建成区面积已超过 600km²;进入 21 世纪,上海城市化面积已超过 800km²。

法国高等社会科学院维列留(P. Virillio)教授甚至说:“20 世纪欧洲的哲学史,基本上可以

视为回应速度变迁冲击的历史,更简单地,就是一部交通史。”可见,发展快速轨道交通不仅对城市发展,而且对整个社会进步都具有重要意义。

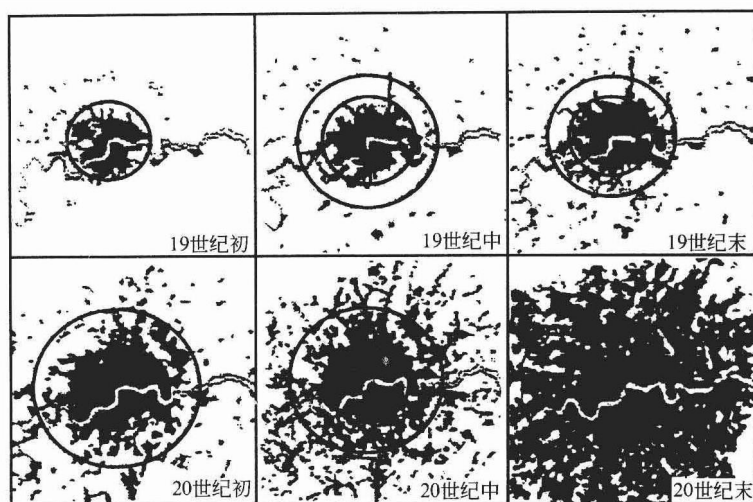


图 1-1 伦敦的变迁(左上角为 19 世纪初,右下角为 20 世纪末)

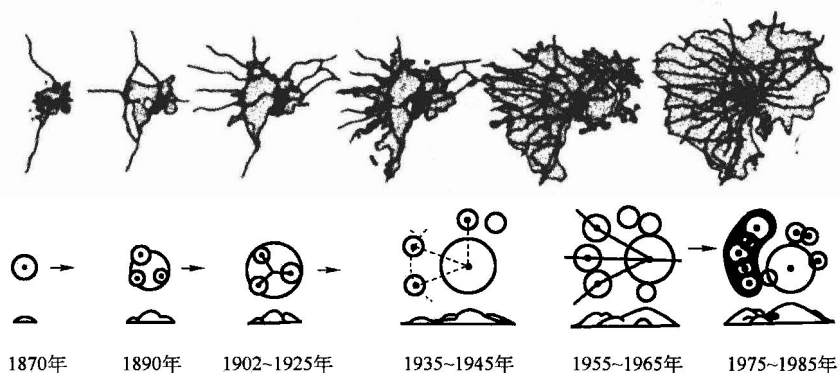


图 1-2 东京的变迁

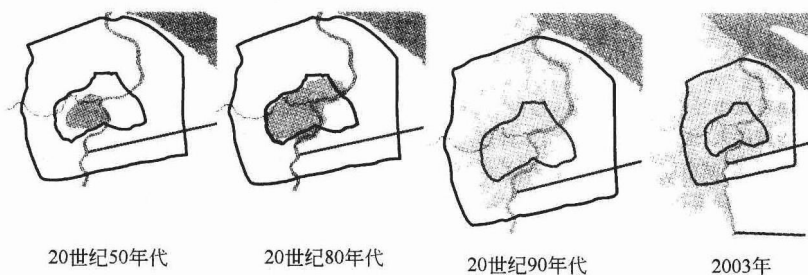


图 1-3 上海的变迁

回顾 20 世纪的城市交通史,经历了分别以有轨电车、汽车、地铁轻轨为主的三个阶段。

20 世纪初,有轨电车曾是城市交通的主角;从 30 年代起转为主要依靠汽车;从 70 年代开始,地铁和轻轨又逐渐成为城市公共交通的骨干。有轨电车—汽车—地铁轻轨,这是个否定之否定过程,呈现出螺旋式上升的态势。

二、从公共马车到有轨电车

19 世纪以前,城市的交通手段以步行和马车为主。法国人巴斯卡尔(B. Pascal)于 1662 年向法国政府提交了一份公共马车计划,很快得到国王路易十四的许可,允许巴斯卡尔在巴黎的 5 条街上提供公共马车的服务。城市公共交通从此诞生。公共马车为现代公共交通奠定了最基本的运营规则,即有固定的路线和班次,无论是否有乘客都要定点按时发车,乘客按里程付费等。

17 世纪末,马车在欧洲已被大量用于公共事业,成为当时陆地上最重要的大众化交通工具。20 世纪初,公共马车自欧洲经上海和天津传入北京,最早运载的是使馆区的西方外交人员和商人,后来清政府官员和富商也开始乘坐。

进入 19 世纪,有轨公共马车作为城市轨道交通的雏形,开始登上历史舞台。世界上第一条城市有轨公共马车于 1827 年出现在纽约的百老汇大街上。由于有轨公共马车比无轨公共马车更快、更舒适,因而大受欢迎。到 1879 年,法国大巴黎区已有 38 条公共有轨马车线路(图 1-4)。

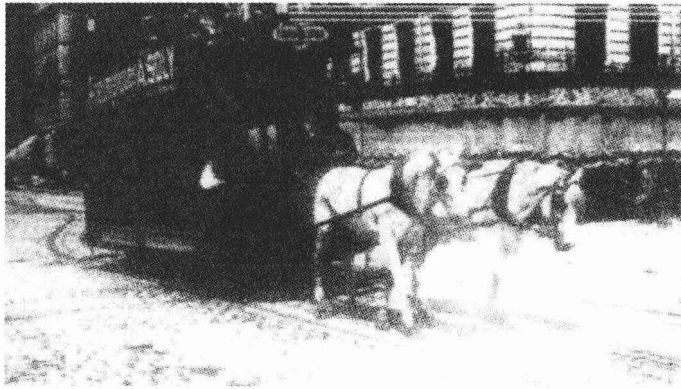


图 1-4 法国里昂建于 1844 年的有轨公共马车

1845 年,法国工程师柯里佐(M. de Kerizouet)曾向巴黎市政府提出修建地下铁道的计划,但因 1848 发生法国大革命而告吹。19 世纪 60 年代,法国工程师又想象出城市高架铁路(图 1-5)。儒勒·凡尔纳(J. Verne)在《八十天环游地球》中对此曾有十分精彩的描述。如今看着城市高架轨道交通线上奔驰的列车,联想起 140 多年前法国人丰富的想象力,令人感叹。

19 世纪 80 年代,有轨电车登上历史舞台。在 1881 年德国柏林工业博览会期间,展示了一列 3 辆编组的小型有轨电车,只能乘坐 6 人,在 400m 长的跑道上演示。世界上第一个投入商业运行的有轨电车系统是 1888 年美国弗吉尼亚州的里士满市。在 20 世纪 20 年代,美国的有轨电车线总长 25 000km,成为当时市民出行的主要交通工具。

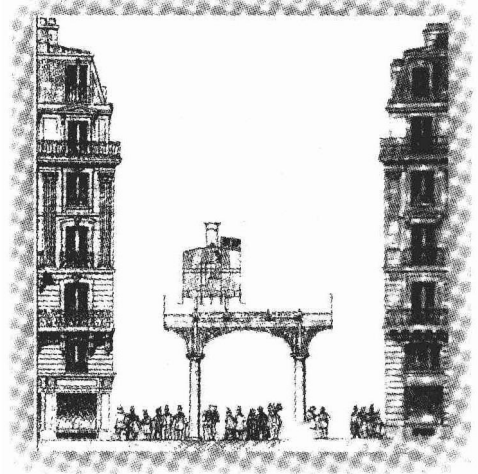


图 1-5 19 世纪 60 年代法国工程师想象的城市高架铁路

到 20 世纪 30 年代,欧洲、日本、印度和我国的有轨电车也有了很大发展。

19 世纪末,有轨电车开始进入中国。1899 年,德国西门子公司在我国北京修建了马家堡至永定门的有轨电车线路,并配备了数辆有轨电车。然而,1900 年 6 月义和团大举进京,出于对外国入侵者的愤恨,刚刚建成的有轨电车线路和车辆顷刻之间都被拆毁、砸烂。

1904 年,按照清政府和比利时政府的有关条约,比利时商人创办了“天津电车电灯公司”,1906 年,天津第一条有轨电车线路运营,成为我国第一个拥有有轨电车的城市。1908 年 3 月 5 日,由英商“上海电车公司”经营的有轨电车线路(从静安寺到广东路外滩)投入运营,上海成为国内第二个拥有有轨电车的城市。同年,大连第一条有轨电车线路竣工运营。1924 年 12 月 17 日,从北京前门至西直门的有轨电车线路开通,北京是继天津、上海、大连之后,我国第四座修建有轨电车的城市。随后,沈阳、哈尔滨、长春和香港等城市也相继修建了有轨电车线路。

有轨电车在中国投入运营后不久,无轨电车开始登上世界舞台。世界第一辆无轨电车是由德国人冯·西门子发明的。早期的无轨电车很像轮式马车,木制车厢、实心橡胶轮胎,从车顶上的高架电线获得电流作为驱动力,车身可左右移动一些位置,比行驶在固定轨道上的有轨电车有一定的灵活性,但后面的无轨电车不能超车。1911 年,这种无轨电车在英国的布雷得福特市开始投入营运。无轨电车同样具有不排放有害气体、驾驶操作简便等优点。到 20 世纪 30 年代,无轨电车在世界上得到了广泛应用。英国还制造了双层无轨电车,20 世纪 40 年代,意大利制造了铰接式无轨电车,到 20 世纪 50 年代,世界上大约有 500 多座城市拥有无轨电车。

1914 年 11 月 15 日,英商“上海电车公司”在上海开通无轨电车线路,因此上海是国内最早使用无轨电车的城市。新中国建立后,1950 年 12 月,国内第一辆自己研制的无轨电车,在天津试车成功;1951 年 10 月 1 日,沈阳无轨电车投入运营;1957 年投入批量生产;1957 年 2 月 26 日,北京无轨电车在阜成门至北池子北口线路上投入试运行,此后不久,终点站延至朝阳门。阜成门至朝阳门是北京的第一条无轨线路。

三、公共汽车和无轨电车时代

随着汽车大量涌上街头,道路面积明显不够用。由于旧式有轨电车行驶在道路中间,与其他车辆混行,运行速度不高,又受路口红绿灯的控制,正点率低,因此,20 世纪 50 年代开始,国外一些城市纷纷拆除有轨电车线路。从此,城市公共交通进入公共汽车加无轨电车时代。

1920 年,当时的福特汽车厂已能实现每分钟生产一辆汽车。到 20 世纪 30 年代,美国由于已拥有 3 000 万辆小汽车而率先进入汽车时代。由于人们开始追求个性化、田园式的居住模式,房屋建设不再局限于有轨电车线路沿线,呈现出分散、蔓延扩张的态势,大量住宅被吸引到了轨道线路之间比较空闲的土地上。这种土地利用格局使得有轨电车的继续发展遇到了困难。到 1939 年,美国有轨电车线路的长度由原来的 32 180km 锐减为 4 344km,有轨电车的萎缩反过来又促使人们更加依赖小汽车。

这股有轨电车拆除风也波及了中国。到 20 世纪 50 年代末,我国只剩下大连、长春、鞍山和香港 4 座城市还保留着传统的有轨电车交通方式。以大连市为例,大连早在 1909 年就拥有了有轨电车,到 20 世纪 50 年代总长已达 50.2km,保有车辆 144 辆。受国际上拆除风的影响,大连只留下 3 条有轨电车线路,运营里程仅为 15.2km。香港早在 1904 年就拥有了有轨电车,到 1912 年又开始使用双层有轨电车,是目前世界上唯一全部使用双层车辆的有轨电车系统。现

在香港保有 8 条有轨电车线路,总里程约 16km。这两个城市的有轨电车是我国保留下来最完整的有轨电车系统。

四、地铁发展历程

伦敦是世界上地铁的诞生地。一条由英国律师皮尔逊(Charles Pearson)鼓动并投资建设的地下城市铁路(Metropolitan Railway)于 1863 年 1 月 10 日正式通车运营。这条地铁线路从帕丁顿(Paddington)到弗灵顿(Farringdon),总长 6km。动力是向英国铁路公司租借的蒸汽机车。皮尔逊因此被誉为“地铁之父”。“Metro”也成了世界上绝大多数国家城市轨道交通的标志和代号。早期的地铁由蒸汽机车牵引,为了把烟雾排出,车站甚至没有顶棚。虽然当时地铁设施简陋,而且污染严重,但由于它不像地面道路那样拥堵,还是受到了广大市民的欢迎。

世界第一条地下铁道的诞生,为人口密集的大都市如何发展公共交通取得了宝贵经验。特别是 1879 年电力驱动的车辆研制成功,地铁开始进入电力牵引时代。由于环境条件大为改善,地铁显示出了强大的生命力。从此以后,世界上一些著名的大都市相继建造地下铁道。

1890 年,第一条电气化地铁开通,在此之前,除伦敦的地下铁道外,只有纽约一个城市于 1870 年在第 9 大街上建造了高架城市铁路;而在 1890 年以后,建造地铁的城市就多了起来。

自 1863~1899 年,有英国的伦敦和格拉斯哥、美国的纽约和波士顿、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 6 座城市率先建成了地下铁道。

受伦敦成功建设地下铁道的影响,美国纽约也于 1867 年建成了第一条地铁。随着纽约城市规模的扩大,地铁建设也在不断发展。目前,纽约已发展成为世界上地铁线路最多、总里程最长的一座城市,2007 年总客运量达 15.6 亿人次,日均 427.4 万人次。

巴黎地铁开通要比英国晚 37 年。为举办“凡尔赛展览会”而修建的巴黎第一条地下铁道从巴士底通往马约门,全长约 10km,它为巴黎地铁网络的不断发展和完善打下了基础。

在进入 20 世纪的最初 24 年里(1900~1924 年),在欧洲和美洲又有 9 座大城市相继建成地铁,如德国的柏林、汉堡,美国的费城以及西班牙的马德里等。

1925~1949 年间,经历了第二次世界大战,各国的地铁建设处于低潮,但仍有日本的东京、大阪,前苏联的莫斯科等少数城市在此期间修建了地铁。

第二次世界大战以后,1950~1974 年间,世界上地铁建设蓬勃发展。在此期间,有加拿大的多伦多、蒙特利尔,意大利的罗马、米兰,美国的费城、旧金山,前苏联的列宁格勒、基辅,日本的名古屋、横滨,韩国的汉城以及中国北京等约 30 座城市相继建成了地铁。其中:中国北京的第一条地铁于 1969 年 10 月建成通车,线路长度为 23.6km。

1975 年以来,地铁建设在原有基础上取得了长足进步。20 世纪 70 年代和 80 年代是世界各国建设地铁的高峰期。世界上超过 30 座城市建成或开始修建地铁。美洲有华盛顿、温哥华等 9 座城市,欧洲有布鲁塞尔、里昂、华沙等 9 座城市,亚洲则更多,有神户、香港、加尔各答以及天津、上海等城市。其中:上海地铁 1 号线于 1995 年 5 月建成通车。上海地铁引进了国际上 20 世纪 80 年代的先进技术,并由此形成了我国地铁行业的第二种技术标准。

据日本地铁协会统计,到 1999 年,全世界已有 125 个城市建成地铁,线路总长度超过 7 000km,发达国家的主要大城市纽约、芝加哥、伦敦、巴黎、柏林、东京、莫斯科等已经完成了地铁网络的建设。到 20 世纪末,除上述城市外,华盛顿、马德里、斯德哥尔摩、大阪、汉城、墨西哥城的地下铁道运营线路也已超过了 100km。

回顾 20 世纪的地铁建设,1900 年世界上只有 6 条地铁线路,到 2000 年已增加到 106 条,百年建了百条(图 1-6)。世界各国城市轨道交通的建设速度,大致上可以把第二次世界大战作为分界点,大战前每 5 年兴建 2 条线路,而战后是每 5 年 12 条。截至 2000 年,世界上 80% 的地铁线路是在第二次世界大战以后修建的。特别是从 70 年代开始,由于发生了两次能源(石油)危机,修建地铁的速度大大加快。

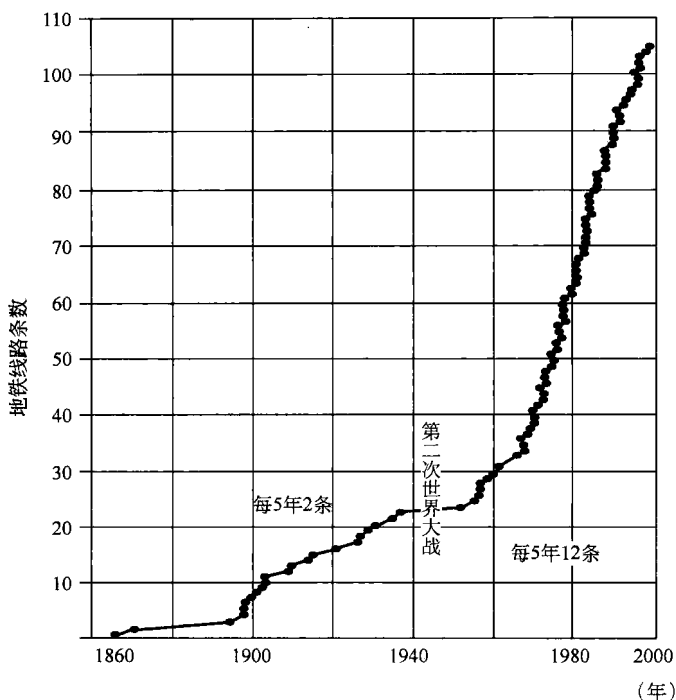


图 1-6 20 世纪建设的地铁线路条数

五、新一代有轨电车——轻轨

毫无疑问,汽车是人类最重要的技术成果之一,能给人们带来快捷、舒适的“门到门”现代交通文明;但毋庸讳言,汽车也带来了交通拥堵、事故频繁、能源过度消耗、尾气与噪声污染等一系列社会问题。20 世纪下半叶以来,由于流动人口以及汽车保有量的猛增,城市交通量急剧增长,城市道路的相对有限性与汽车生产的相对无限性产生了尖锐矛盾:汽车可以用流水线生产,道路却不能;汽车可以进口,道路却不能。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。于是,世界各国纷纷探索和思考如何走出困境。

经过反思,人们逐渐形成了共识:大城市必须大力发展公共交通,特别是城市轨道交通,尽量把使用私家车的出行者,吸引到便捷、舒适的轨道交通方式上来,不必去限制人们购买小汽车;关键在于通过大力发展公共交通来改变小汽车的使用性质,小汽车并非上班、上学的通勤工具,而是休闲工具。大力发展城市轨道交通——这一反思的结果,导致地铁的大发展和新一代有轨电车——轻轨的兴建。

地铁列车在地下行驶无障碍,运量大、速度快,但造价昂贵,建设进度受财政和其他因素制约。因此欧洲的一些大城市在建设地下铁道的同时,又重新把注意力转移到地面轨道上,对老式有轨电车进行强化技术改造,使之现代化。经过现代化技术改造的有轨电车就是轻轨。今

天的轻轨列车与 100 年前的有轨电车已不能同日而语,它速度快,运量大,乘坐舒适,而且节能环保,如图 1-7 所示。

20 世纪 70 年代后,技术人员又开发出了噪声低、速度高、走行部转弯灵活、乘客上下车方便,甚至能照顾到老人和残疾人的低地板新一代轻轨车。在线路结构上,也采用了降噪减振的技术措施。在速度要求较高的轻轨线路上,采用专用车道;在繁忙道路交叉口,进入半地下或立体交叉,路权独有。在对速度要求并不高的线路,也可与道路平齐,和汽车混合运行。

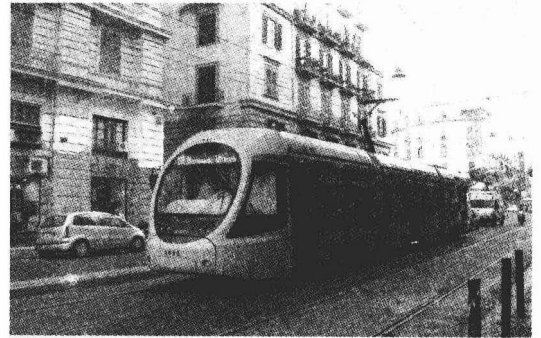


图 1-7 意大利佛罗伦萨的轻轨

1978 年 3 月,国际公共交通联合会(UITP)在比利时首都布鲁塞尔召开会议,确定了新型有轨电车的统一名称,即 Light Rail Transit,简称轻轨交通(LRT)。20 世纪 80~90 年代,环保问题、能源结构问题突出,在可持续发展战略指引下,全世界掀起了新一轮的轻轨交通建设高潮。据粗略统计,目前已有 50 个国家建有 360 多条轻轨线路。

必须指出的是,随着实践的发展,如今“地铁”、“轻轨”的内涵与外延都已突破历史上原来的含义,有了相当大的拓展。“地铁”并不专指在地下隧道中运行的技术制式,而是泛指高峰小时单向运输能力在 2.5 万~5 万人次,地下、高架、地面线路三者结合的大容量快速轨道交通。通常在市中心为地下隧道线,市区以外为高架或地面线。

同样,轻轨也跟地铁一样,广义的轻轨已成为具有中等运输能力(每小时 1 万~3 万人次)的各种轨道交通方式的代名词。

国际公共交通联合会(UITP)曾为轻轨下过定义,认为轻轨交通车辆施加在轨道上的荷载重量,相对于干线铁路和地铁的荷载来说比较轻,因而称之为轻轨。

在欧洲,轻轨一般特指主要在地面行驶的现代有轨电车,因为轻轨的运量小于干线铁路和地铁,属于中等运量,随着轨道交通技术制式的多样化,轻轨渐渐成了中等运量轨道交通的代名词。中等运量的轨道交通系统不仅仅局限在传统的钢轮钢轨制式,而是形成了一个形式多样的全新集合,如直线电机车辆系统、橡胶轮体系的新交通系统,跨座式单轨交通以及悬挂式单轨交通等,如果从运输能力角度说,它们都属于轻轨范畴。因此,目前国内外都以客运能力或车辆轴重(每根轮轴传给轨道的压力)的大小来区分地铁和轻轨。轻轨现在指的是,运输能力或车辆轴重稍小于地铁的轻型快速轨道交通。在我国,《城市轨道交通工程项目建设标准》(建标 104—2008)中,把每小时单向客流量为 1 万~3 万人次的轨道交通定义为中运量轨道交通,即轻轨。狭义的轻轨车辆,即现代有轨电车,在我国的上述建设标准(建标 104—2008)中用 C 型铰接车和 D 型铰接车表示,后者为低地板新一代轻轨车辆。狭义的轻轨车辆有 4 轴无铰车、6 轴单铰接车、8 轴双铰接车 3 种。

回眸 20 世纪城市交通的发展历程,不难看出是一个“否定之否定”的发展过程:有轨电车从大发展到大拆除;然后汽车登上历史舞台,逐渐成了城市交通的主角;到 20 世纪末,以地铁和轻轨为代表的城市快速轨道交通又恢复了它的主导地位。这是个螺旋式上升的过程。

六、单轨发展历程

单轨交通历史悠久。早在 1821 年,英国人 P. H. Palmer 就开始了单轨铁路的研究,并因

此获得了发明专利。1824年,在伦敦船坞为运送货物修建了世界上第一条单轨铁路,这比1825年开通的蒸汽机牵引的铁道线路还早。当时的单轨铁路采用木制轨道,用马来牵引前进。

1888年,法国人在爱尔兰铺设了约15km的跨座式单轨铁路,用蒸汽机车牵引,从此单轨走向实用化阶段。

1893年,德国人Langer发明了悬挂式单轨车辆,1901年在伍珀塔尔开始运营,长度13.3km,其中10km线路跨河架设,成为利用河道上空建设单轨铁路的先驱(图1-8)。这条线路一直沿用至今,仍在交通系统中发挥着重要作用。它已成为伍珀塔尔市的一道历史景观(该市的市徽就是悬挂式单轨车辆),在2001年,伍珀塔尔为悬挂式单轨安全运营100周年举行了隆重的庆祝典礼。

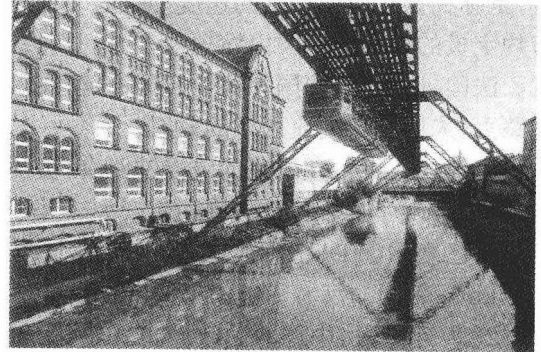


图1-8 德国伍珀塔尔市的悬挂式单轨交通

第二次世界大战后,随着科学技术的发展,单轨铁路的技术逐步成熟。1958年,瑞典出生的德国工业家Axel Lennart Wenner-Gren研制成功跨座式、混凝土轨道和橡胶充气轮胎的单轨交通制式。以后美国、日本、意大利等国都建有这种形式的单轨交通。

尽管单轨交通已经经历了一个多世纪的发展历程,但因为单轨铁路的导向、稳定及转辙装置等关键技术问题尚未完全解决,而且单轨交通的运输能力又与有轨电车不相上下,技术要求却高得多,因此在世界范围内没能得到广泛的应用。

七、磁浮交通发展简史

在轨道交通问世以来,磁浮技术成为轮轨系统靠黏着力驱动的重大突破。在磁浮交通研究中,德国和日本起步最早,但两国采用的制式却截然不同,德国采用常导磁吸式,而日本则采用超导磁斥式。这两种制式在车辆和线路结构上,在悬浮、导向和推进方式上虽各有不同,然而基本原理是相同的。

日本于1972年用ML100型试验车实现了60km/h的悬浮运行,1975年着手修建宫崎试验线,1977年开始对倒T形导轨和跨座式ML500型试验车进行了无人驾驶的试验,1979年12月,在九州宫崎试验线上创造了517km/h的速度纪录,但因常温下的超导材料尚未出现,还未能投入商业性的载人运行。

德国从1968年开始研究磁浮列车,1983年在曼姆斯兰德建设了一条长32km的试验线,已完成了载人试验。他们采用的TR600型试验车,在该线上创造出412km/h的记录,并打算进一步突破500km/h。

英国于1973年开始进行磁浮铁路的研究,经过20多年的研究和试验,于1984年4月,从伯明翰机场至国际车站之间开通运行了低速磁浮列车,平均速度为25km/h。这是目前世界上最早投入商业运行的磁浮线路。令人遗憾的是,在1995年,当时世界上唯一从事商业运营的磁浮列车在运行了11年之后宣布停止营业,其运送旅客的任务被机场班车所取代。

加拿大从1970年开始研究磁浮列车,目的是在多伦多—渥太华—蒙特利尔之间修建一条超高速磁浮铁路。他们的专家认为,在加拿大的气候环境条件下,采用超导磁浮系统比常导系统要优越。