

城市轨道交通

毛保华 姜帆 刘迁 编著
魏怡 李夏苗 许红



科学出版社

城市轨道交通

毛保华 姜帆 刘迁 编著
魏怡 李夏苗 许红

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书系统地介绍了国内外城市轨道交通的发展历史、基本类型与相关技术经济特性;通过对轨道交通系统构成的介绍,系统地分析了城市轨道交通系统规划理论,详细介绍了轨道交通系统车站与线路设计的基本方法及相关技术要求。书中还介绍了轨道交通系统列车运行组织理论、影响轨道交通系统能力的各种因素以及线路能力、车站能力的计算方法,论述了列车运行的理论与牵引计算方法。结合项目评价理论,书中还介绍了轨道交通系统可行性分析方法。

本书既可作为高等院校交通工程专业、交通运输专业、土木工程专业及其他相关专业师生的教材或教学参考书,也可作为从事交通运输系统设计的工程技术人员的参考资料和培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通/毛保华等编著. -北京:科学出版社,2001
ISBN 7-03-009319-4

I. 城… II. 毛… III. 城市运输;交通运输-轨道运输 IV. U12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 17618 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 4 月第 一 版	开本:787×1092 1/16
2001 年 4 月第一次印刷	印张:17 3/4
印数:1—3 000	字数:408 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新伟))

前 言

城市轨道交通系统由于与地面交通流的隔离而具有较好的缓解交通拥挤的效果;同时,它由于具有良好的可持续发展特性,近年来更是被世界各国公认为城市交通的发展方向。不过,对于发展中的我国来说,它所需要的、较大的初期投资是各城市在规划和建设该类系统时面临的主要困难。

本书是为北方交通大学交通工程专业必修课程“城市轨道交通”编写的。参加编写的人员除了在该领域内从事科研工作的教师外,还包括长期从事轨道交通系统规划与设计的工程技术人员。因此,本书既可作为高等院校相关专业的教材,也可作为有关工程设计人员的技术参考书。在内容上,本书跨越了规划、设计与运营管理三个层次,涉及面较宽,全书共有九部分,系统地介绍了国内外城市轨道交通的发展历史、基本类型与相关技术经济特性,分析了城市轨道交通系统规划理论,论述了列车运行的理论与牵引计算方法等等。

本书由北方交通大学、北京城建设计研究院、中南大学三个单位的有关同志共同编著。毛保华负责绪论、第一章和第八章的编著工作,魏怡负责编著第二章,刘迁负责编著第三章,姜帆负责编著第四章,李夏苗负责编著第五章,许红负责编著第七章,第六章由刘海东和毛保华共同编著。全书最后由毛保华统稿。在编著过程中,铁道部第四勘测设计院苏梅、兰州铁道学院吴芳、西南交通大学张锦等同志提出了不少宝贵意见,香港理工大学何天健博士对本书第六章作出了贡献,北方交通大学交通运输学院 97 级交通工程专业李长城、熊志华、杨栩三位同学为本书绘制了部分图表,并协助作者进行文字校核等工作,在此一并表示衷心感谢。本书的出版还得到了北方交通大学教务处的教材经费资助,同时也得到了北京城建设计研究院的大力帮助。没有这些单位和相关专家的支持,本书的付梓是不可能的。

尽管作者参阅了大量国内外的研究文献和成果报告,但科技的发展是没有止境的,加上时间仓促、学识所限,书中必定存在不完备甚至错误之处,敬请读者批评指正。

目 录

前言

绪论	1
0.1 城市中的交通问题	1
0.2 关于交通拥挤的认识	2
0.3 城市交通政策与城市规划	4
0.4 各种轨道交通在城市交通中的作用	4
0.5 轨道交通的未来	5
第一章 轨道交通系统概念及基本特征	7
1.1 城市交通发展概况	7
1.2 轨道交通发展历史	8
1.3 世界各国轨道交通的发展过程	9
1.4 轨道交通的技术经济特征	14
1.5 小结	25
第二章 轨道交通系统的构成	28
2.1 线路	28
2.2 车辆与车辆段	30
2.3 限界	37
2.4 轨道	43
2.5 车站建筑	48
2.6 结构工程	51
2.7 供电	56
2.8 通信	58
2.9 信号	59
2.10 环控系统	64
2.11 给水与排水	65
第三章 轨道交通线网规划	67
3.1 概述	67
3.2 线网规划的方法体系	71
3.3 线网构架研究	75
3.4 线网合理规模研究	79
3.5 线网客流预测及案例分析	85
3.6 线网方案综合评价	93

3.7 工程可实施性规划	102
第四章 线路与车站的规划与设计	117
4.1 线路规划	117
4.2 线路平、纵断面设计	121
4.3 车站规划与设计	137
4.4 换乘车站设计	154
4.5 城市轨道交通与其他交通方式的衔接	160
第五章 城市轨道交通运营组织	167
5.1 车站客流组织	167
5.2 运输计划	169
5.3 车辆配备计划	171
5.4 列车运行图	173
5.5 运输能力	176
5.6 列车控制与信号系统	181
5.7 运营延误原因	201
5.8 组织机构	202
第六章 列车运行计算与模拟	204
6.1 概述	204
6.2 列车运动的基本理论	204
6.3 列车运动中的其他技术参数	216
6.4 GTMSS 系统简介	219
6.5 模拟系统的应用	238
第七章 城市轨道交通系统的经济评价	242
7.1 概述	242
7.2 数据相关报表	244
7.3 轨道交通项目财务评价	246
7.4 城市轨道交通项目国民经济评价	250
7.5 国外轨道交通系统建设与运营经济状况	254
7.6 城市轨道交通项目经济评价实例	258
第八章 我国城市轨道交通系统发展的展望	265
8.1 国外城市交通政策回顾	265
8.2 我国城市轨道交通的发展	266
8.3 未来的政策建议	269
参考文献	271
汉英术语对照表	273

绪 论

交通运输对社会发展的影响人们已有共识。以美国为例,运输活动(包括车辆制造)占国民生产总值(GNP)的 1/5;平均来看,美国普通家庭的交通开销占全部收入的 1/8 左右。在欧盟国家,运输业产值占国内生产总值(GDP)的 7%,运输相关人员占总就业人员的 7%,运输投资占公共投资的 40%,运输能耗占总能耗的 25%以上。运输设备工业是欧洲各国工业的重要组成部分,仅次于食品工业。可以毫不夸张地说,运输对社会的影响改变着整个人类的生活方式。

社会与经济发展的同时,运输技术也在不断发展。19 世纪时,铁路是中长距离出行的主要工具,到了 20 世纪 30 年代,铁路在很多地区很大程度上被汽车和航空取代了。当人类目前面临由运输产生的大量污染、事故和资源消耗等问题时,人们只能再来反思交通发展的历史过程,必须承认,运输对人类社会的生存与发展存在许多负面影响。包括城市间铁路在内的轨道交通技术正是在这种背景下由兴到衰,直到近年来的复兴。

过去 10 年来,轨道交通技术在三个领域内取得了较好发展:首先是技术上较为复杂的高速铁路系统在全世界范围内得到了较好的认可和发展。一个好的例子是西欧建设了约 14 000km 的高速铁路网络。对于 3h 以内的旅行来说,铁路列车无论是在时间,还是在舒适度和价格方面,都已经可以同航空媲美。如果以法国 TGV 这样的高速铁路运输技术为参照,则未来列车有可能成为目前民航速度 5h 以内范围内出行的主要工具。理由很明显:大多数旅行是城市中心至城市中心的,只有列车才有足够的空间和安静环境来开展工作甚至召开会议;列车比飞机更让人放松和不受干扰。随着空间的愈发拥挤,依靠城市间高速铁路出行将会像政府和用户所期待的那样更为流行。

轨道交通发展的第二个重要领域发生在城市中心到民航机场之间。在许多国家,轨道交通已经成为民用航空机场与市中心区之间最主要的联系方式。这种情况表明,政府已经开始认识到在建设这类快速、大容量的运输通道系统时,轨道交通是很重要的。

轨道交通发展的第三个领域是城市地铁与轻轨系统技术的发展,这些发展很大程度上缓解了城市范围内的交通拥挤,尤其是在私人轿车上下班线路上的拥挤。伦敦的朱比利(Jubilee)地铁与道克兰(Dockland)轻铁的建设、洛杉矶地铁的延伸以及柏林地铁的改造都是这方面的成功案例。

下面简要回顾一下近年来轨道交通发展的背景。

0.1 城市中的交通问题

近几十年来,人口向城市的迁移成为世界性趋势,其直接后果是城市化水平的提高。例如,20 世纪 90 年代,澳大利亚城市化水平达到了 86%以上,居世界之最,美国为 74%,瑞典为 83%,丹麦为 67%,乡村化风格的英国也达到了 40%。1996 年底,我国城市市区非农业人口在全国总人口中约占 17%,市区总人口占全国总人口的比例达到了 42%[参见

《中国城市统计年鉴》(1997)]。

农村人口向城市的这种迅速的集聚引起了众多城市问题,其中交通是最严重的问题之一。城市交通之所以受到人们越来越多的重视,是因为它不仅与交通系统内部的许多因素有关,也直接涉及到其他部门和行业的问题。具体来说,它们包括以下几方面:

(1) 交通事故

目前全世界每年在交通事故中有 25 万人死亡,1000 万人受伤。欧盟 15 国道路交通事故每年死亡人数为 4.4 万人,其中,以葡萄牙、希腊的交通事故率为最高;美国是道路运输发达而事故率较低的国家,公路事故每年死亡为 4 万人,平均来看,每辆机动车每 5 年要出一次事故;我国的道路交通事故年死亡人数已经超过了 7 万人,受伤人数达到 20 万以上。

(2) 能量消耗

运输业的能量消耗已经成为世界能源消耗的重要组成部分。在大多数发达国家,如日本、加拿大、美国与西欧各国,运输部门能耗占国家各行业总能耗的 25% 以上。此外,从各种运输方式来看,道路运输几乎全部依赖石油。仍以美国为例,运输业消耗的石油占总消耗量的 65%。在节约石油消耗方面,运输业还有潜力。

(3) 环保问题

这主要是指空气、水和噪声污染。目前空气质量虽有所改善,但烟雾仍困扰着世界上 100 多个城市。机动车是构成烟雾的两种主要污染物——CO 和臭氧的主要来源。据经合组织(OECD)估计,发达国家有 15% 的人口生活在 65dB 以上的高噪声环境下,这些噪声主要来自交通,还有重型货车及夜间装卸引起的震动。

(4) 土地消耗

在发达国家的许多城市,运输用地约占总开发地的 30%。汽车已经成为城市空间最贪婪的用户。在某些中心商业地区(CBD),街道和停车场占了 60%~70% 的空间。

(5) 城市美学

交通对空间的占用在城区范围内产生了相当大的视觉破坏。无论停车场还是快车道,甚至商业街都难以令人产生美感。机动车,静的或动的,随处可见,主宰着城市景观。新增交通设施的建设,会损坏历史建筑以及使空地减少,这些均会破坏城市景观。

(6) 城市建筑物的破坏

运输干线既需要占用土地,也直接造成了土地与人口的分隔。这种对资源配置的不利影响是 20 世纪 60 年代以来人们对公路反感的重要原因,一些城市因此而取消了快车道建设计划。

可见,城市交通实际上是一个复杂的、多因素问题。

0.2 关于交通拥挤的认识

在交通系统中,延误是交通流速低于正常速度时导致的客、货流运输时间的增加量,而拥挤则是对延误超过人们容忍水平的一种刻画。图 0.1 描述了延误产生的过程。

拥挤的影响表现在很多方面:一方面,拥挤使客货运输的费用增加,时间延长;另一方面,拥挤也导致交通事故增多、驾驶员心理负担加重。拥挤不仅包括街道与公路上的拥挤,也包括高峰期车辆上的拥挤、闹市区行人道上的拥挤、自行车道上的拥挤等。

拥挤并不仅仅是汽车运输的专有产物,它可以描述为引起大多数人出行不便的城市出行中的现象。如果没有拥挤的话,人类也许会乐于同汽车相处。

拥挤的原因一般有以下几种:

1) 城市化,即人口与经济活动在城市地区的集聚。农村和小城市的拥挤是不多见的。在城市居住的目的是为了减少出行,但实际上,旅行距离虽然减少了,但速度却变慢了。

2) 城市内部的专门化。这反映在人们为了分散在不同地区(如工作地与生活地、娱乐场所分离的地区,尤其是生活地与工作地分离的地区)的不同活动而出行。这些活动尽管是互相独立的,但人们必须为之而旅行。

3) 供需的时间匹配问题。美国城市中运输设备的供给能力很大,但相对固定,而需求是每天变化的,这导致了高峰期问题。

4) 供给对需求的刺激。运输能力的增长具有自败性,即能力富裕所产生的交通服务的改善将导致更多的需求,从而使系统重新处于拥挤状态。生活水平提高后,人们会需要更多的旅行。从某种意义上来说,拥挤会降低这种趋势,因此,运输供给的增长不足以结束拥挤。从经济角度来看,适当拥挤是可取的。换言之,只要我们居住在城市,就要容忍一定程度的拥挤。

显然,大城市的拥挤比小城市严重得多,其解决方法也与小城市的不同。小城市重点要解决运输不利者的出行,这里,公正比效率更重要,因为它是人们衣食住行中的一个基本生活要素。

人们在研究和分析中发现,由于城市人口的集聚,单纯依靠道路交通实际上很难解决城市交通问题,因为道路交通方式本身所固有的交叉、冲突环节在拥挤、土地有限的市区很难得到很好的解决。图 0.2 是一个平面交叉口的交通流径路图,图中许多交叉点在我国

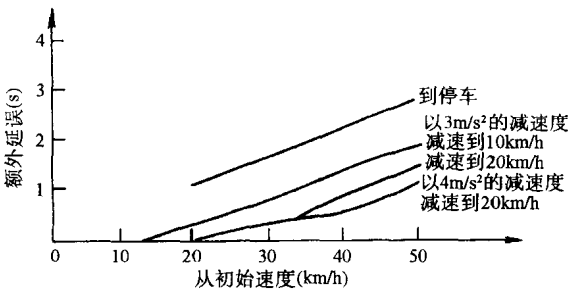


图 0.1 延误的形成

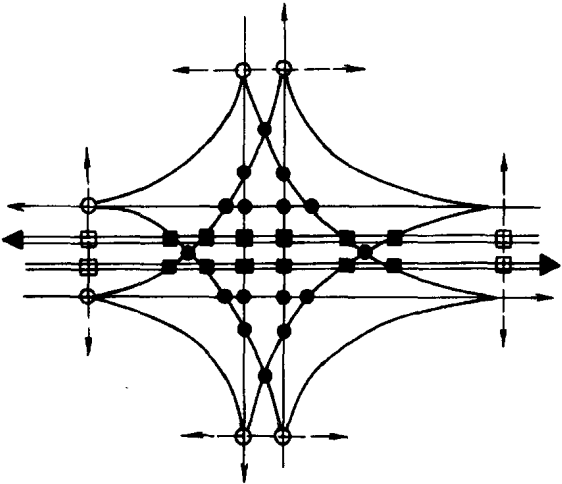


图 0.2 道路交叉口冲突图

混合交通环境下实际上更为复杂,即使采用立体交叉也难以解决。

0.3 城市交通政策与城市规划

第二次世界大战以来,西方城市尤其是美国城市采用了适合汽车/公路系统的经济与生活方式,它从整体上改变了城市发展模式。这种多中心、低密度的都市区存在许多问题:消耗大量土地,增加了出行费用和能耗,使步行降到最低等等。

公交的优势在于大运量。郊区发展与中心区人口的降低导致了运输设施规划与配置的困难,它也使得运输需求变得分散化了。对公共运输来说,服务于低密度、分散的居民区无疑是不经济的。高密度的旧城区有利于公交的发展,但大多数情况下,这些老城区的发展并不乐观,因为道路空间是很有限的,拥挤极大地削弱了公共交通的吸引力。城市分散化发展的趋势事实上导致了公共交通重要性的下降,它决定了公交运输需求的相对弱化,这时要提高公交的竞争能力就很困难。尽管离公交线路很近的人还是愿意乘坐公共交通,但发散的城市使这种大规模的需求又不多见。

如果与适当的城市规划或土地利用政策结合,公共交通可以在更紧密的、高密度的城市中得到发展,从而缓解城市交通问题,但它需要同交通政策与城市规划紧密结合,这也是 20 世纪 60 年代以来技术专家开始主导决策过程的原因。然而,公路运输利益层对决策却施加了巨大影响:美国华盛顿特区和州政府投资的公路建设中,有许多与运输相关的公司包括汽车制造者、燃料公司卷入了决策。这种情况近年有所改变,但运输决策也变得越来越政治化了。

0.4 各种轨道交通在城市交通中的作用

城市交通有许多方式,它们在解决城市交通问题中起到了重要作用。图 0.3 描述了各种城市交通方式。

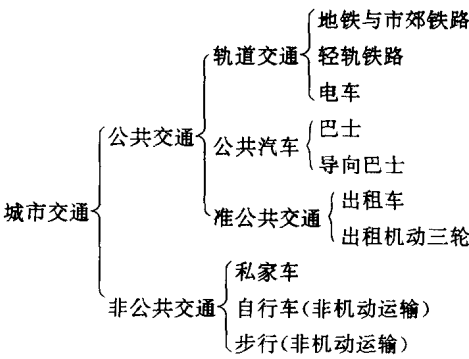


图 0.3 城市交通系统

不同交通方式的使用范围大致如图 0.4 所示。

不难看出,不同交通方式各有其自身的优势范围。然而,在大多数公共交通系统的设计中,有许多方案可以选择。例如,巴士与轨道交通均适合大容量的运输通道,在规划巴士

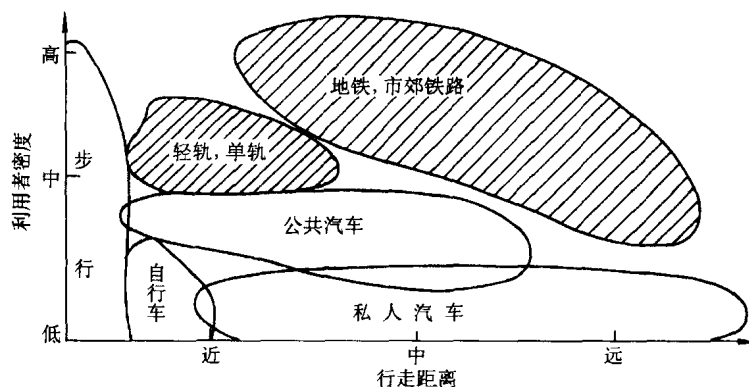


图 0.4 不同城市交通方式的适用范围

还是轨道交通系统时经常存在一些争论。资料表明，自 1986 年放松公交管制以来，欧洲城市巴士的运输量仍然降低了 16%。巴士在取代私人交通方式方面收效甚微，有以下五个理由：

- 1) 巴士在道路上所遇到的堵塞比私人交通更甚，而且，某次出行的延误将波及到其后的接续出行。由于拥挤，运营费增加，票价也有所提高。
- 2) 巴士平均速度的降低限制了其生产率。拥挤越厉害，生产率下降愈多。
- 3) 在拥挤条件下，驾驶员与乘客两者的生产率还受到车辆大小的限制而无法大幅度提高。巴士乘客的运营费将来还可能增加，它将导致票价的增加。
- 4) 巴士不能提供令私人轿车用户感到有吸引力的乘车环境。
- 5) 通过巴士到市区中心的可达性越来越难得到改善。

0.5 轨道交通的未来

综上所述，可以认为，轨道交通之所以受到人们的重视，是基于以下原因：

- 1) 经济的发展使人们对交通需求的内容发生了重要变化，其中最关键的是生活节奏的变化。生活节奏的加快使得人们对延误的忍耐力下降，延误少且准时的交通方式成为需求的重要特点，而与道路隔离的轨道交通越来越受到人们的青睐也就不足为奇了。
- 2) 轨道交通具有较好的可持续发展特性。轨道交通完成单位运输量所排放的污染物以及所消耗的能源远低于其他交通方式，尤其是私人交通方式。
- 3) 轨道交通能提供更舒适的乘车环境，也具有更大的安全性。

如前所述，轨道交通的建设所需投资较大，它需要较好的需求基础和较好的经济发展水平，但现代轨道交通并不仅仅是经济发达城市的专利。图 0.5 从人口和经济方面描述了世界一些城市的轨道交通发展水平。

不难看出，墨西哥城、圣保罗等城市属于人口密度大、经济收入水平不太高的城市，而香港、新加坡等城市则属于人均收入较高的城市，波哥大、突尼斯等一些城市的人口与收入水平则并不太突出。因此，轨道交通与地方政府的公共交通发展政策又有很大关系。

目前，城市交通的需求还在增长。对于城市中心区来说，交通流量大，道路有限，发展

轨道交通成为未来城市交通的重要选择。

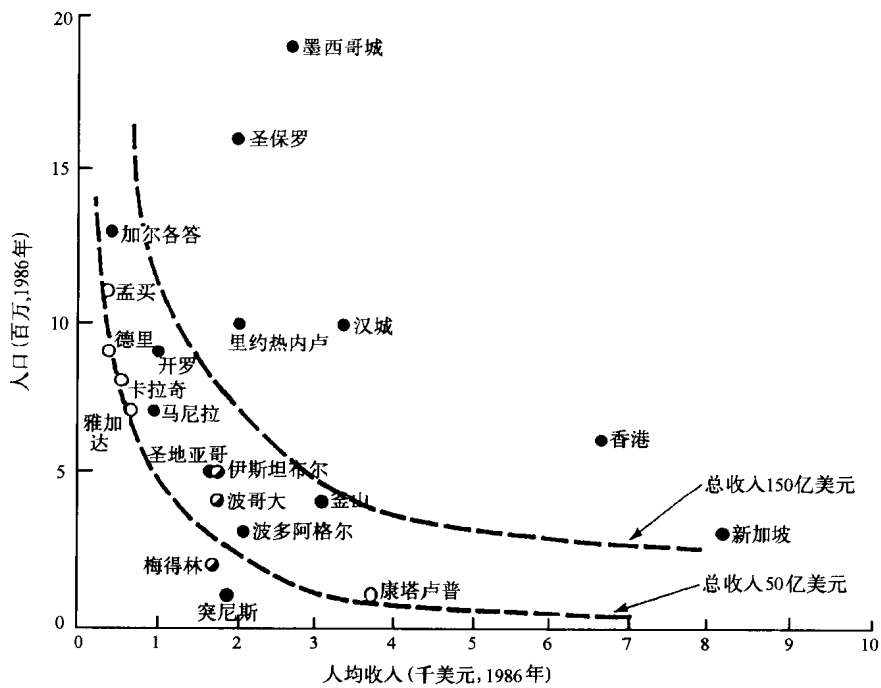


图 0.5 轨道交通与城市人口和经济的关系

● 有轨道交通系统；● 在建轨道交通系统；○ 无轨道交通系统

第一章 轨道交通系统概念及基本特征

1.1 城市交通发展概况

历史上最早的城市公共交通可以追溯到罗马时代,那时就建立了地区性的车辆出租系统,这种两轮或四轮车在每隔 5~6mile(1mile=1609.344m)就有一个旅馆停站,在当时很有名。欧洲在 16 世纪出现了两个城镇间定期开行的车辆,17 世纪引入了马车,但当时道路差,费用高,速度慢,舒适度差。例如,从伦敦到约克的马车每周 1、3、5 发,175mile(282km)的路程要走 4 天。最早能单独在城市道路上行驶的公共交通形式是 1625 年左右在伦敦和巴黎出现的马车(Hackney Carriage),即出租车的前身。到 1700 年,伦敦大概有 600 辆这样的马车。不过,这些马车主要是为贵族阶层服务的。到 19 世纪初,大多数人仍依靠步行上班,故城市结构是密集而紧凑的,城市半径在步行距离以内。有钱人住在城区边缘,乘马车上上班。

现代意义上的城市大容量公共交通是 1819 年开始于巴黎的一条运行线。美国的第一条公交线路是 1827 年纽约城产生的可载 12 人的改良马车。

我国的城市交通经历了步行、人/畜力车时代。20 世纪初以来,机动车运输也有了较大发展。不过,城市范围内机动车运输的迅速发展却是 20 世纪 80 年代以来的事情,其具体标志就是机动车数量的迅猛增长,它直接导致了城市中心区的交通拥挤与污染等问题。我国城市交通的另一个特点是非机动车运输,即自行车与三轮车在很多城市是居民在中、短距离范围内出行的最主要工具。这一状况为解决城市道路路面交通带来了极大困难。

现代城市交通的目标可以从以下 6 个方面来理解:

1) 使人与货物到商业区、学校、工作地等地点的可达性最大化,即实现客、货的位移需要,它也是交通运输的最基本的目标。

2) 减少交通事故。事故除了直接损失外,还存在许多难以估计的外部费用。因此,降低交通事故成为所有发达国家与发展中国家关心的重要问题。

3) 使交通对环境的不利影响最小化。随着人口密度的增加,交通引起的环境问题也越来越尖锐。

4) 有助于规划目标的实现。规划一般考虑了城市或地区的长期效益,具有较好的可持续性。遵循科学的发展规划是避免随意发展、无序管理从而造成不良后果的重要措施。

5) 保存稀缺资源,尤其是土地和石油。要考虑人类生存和发展的长期后果。

6) 在实现上述目标时使公众的代价最小化。这一目标反映了优化的观点,它也是所有城市问题应当考虑的目标。

1.2 轨道交通发展历史

1.2.1 轨道交通的产生

众所周知,蒸汽铁路是19世纪发明的。第一条城市间铁路服务是1830年在英国利物浦至曼彻斯特之间开始的,它使铁路主导着城市间运输达1个世纪之久。从那以后人们每天乘火车上班,铁路成为通勤运输的主要工具。1838年,伦敦开放了第一条严格的市郊运输线路,大量市郊线网的建设则是在1840~1875年之间完成的,有些现在仍在使用。

地铁的产生源于将蒸汽列车引入市中心的构想。世界上最早的地铁是1863年元月10日在伦敦开通的6km长的线路。列车由蒸汽机车驱动,火需要专门的力量来煽动,通风也成问题,这条线路被人们称为缝纫铁路(Sewer Railway)。不过它运营几年后就电气化了。

更进一步的想法是将蒸汽列车放到高架的街道上行驶。1868年,查尔斯·T·哈维(Charles T Harvey)在纽约城的格林威治街建造了一条由电缆牵引的高架线,但这项投资经济上并不成功。1871年,新管理者将它改造为由一台小的、被称为“傻瓜”的蒸汽机车牵引。1892年芝加哥开放第一条高架线时,列车仍由蒸汽机牵引。这种设计并不令人满意,人们难以容忍这种乌黑、冒烟、噪声又很大的交通工具在大街上横行,该线路不久就拆除了。美国第一条地下铁路是1870年由阿尔福莱德·阿里·比奇(Alfred Ely Beach,“科学美国”的创始者)在纽约城建设开放的线路,作为试验,该线仅长约95.1m,由汽压驱动,运营到1874年。

1.2.2 电力驱动列车的诞生

世界上第一条(由第三轨)电力驱动的地铁是1890年在伦敦开通的。1896年5月,布达佩斯的第一条地下线路开始运行。同年12月,格拉斯哥开通了一条10.6km的地下环线,它由电缆驱动,但不久便改造为电力驱动。

世界上第一条电力高架线是芝加哥的都市西部高架线,1895年5月6日运营,它用1台带有电机的机车,可牵引1~2台无动力的拖车。

美国第一个拥有电驱动地下铁道系统的城市是波士顿。1897年9月1日,特利蒙特街上一条街道电车线投入运营。该线路1901年6月改造为第三轨驱动,其中包括一段高架线路,它运行了7年。第二条电驱动地下铁道是在华盛顿修建的,其与高架线和街道电车相连。华盛顿街的隧道一直用到1987年才被另一条新的橙(Orange)线取代。历史悠久的特利蒙特街隧道则还在使用。波士顿1904年修建了连接东波士顿的隧道,穿过查尔斯河、连接剑桥的一条新线也在1912年投入运营,它就是现在的红(Red)线。

1.2.3 动车组的出现

1897年,芝加哥南部当局决定将高架铁路电气化,并与当时的工程技术专家斯卜拉格(Sprague)签订了合同。斯卜拉格做出的一个重要贡献就是发明了多单元动车系统。这种系统中,每辆车均有电机,但全部由第一辆车的驾驶员操纵。斯卜拉格在纽约的通用电

气试验线路上致力于这项工作。1897年7月,他在南部官员和工程师之前示范了由6辆车编组的列车。为证明列车操纵的容易性,他让10岁的儿子来驾驶列车。1898年8月,南部线淘汰掉了所有的蒸汽机车。

多单元列车的重要性体现为可以在不减少列车牵引力的条件下增大列车编组,因为每辆车均有动力。牵引力是重量与驱动轮数量的函数,在多单元系统,整个列车(而不是机车)的重量都施加于驱动轮对,故对每辆车来说,它可以有更大的加速度,从而可以增加列车平均速度,减少运营费用。

动车组的出现对于城市铁路的发展具有非凡的意义,目前世界上几乎所有的地铁均采用这种驱动系统。

1.3 世界各国轨道交通的发展过程

1.3.1 各国简况

美国开展较早的轨道交通系统是1843年在沃西斯特至波士顿开通的市郊铁路线路。纽约、费城、芝加哥等均建设了较大规模的城市铁路运输网络。

纽约城的统治者对是否修建地铁曾争执了许多年,僵局在1900年打破后,投资商顶着资金压力建设了巴尔蒙特线,它被视为“纽约地铁之父”。1902年成立了一个快速运输公司(IRT)来经营这条线路,1904年10月27日开始运营,第一年底日运量就达到了40万人次,票价相当于5先令。

费城的快速轨道交通始于1907年,它是以一条地铁与高架相结合的线路为标志的。这条线路有4股道,街道上的两股道为本地服务,另外两股道采用第三轨驱动,提供快速运输服务。

芝加哥的快速运输体系一开始并未选择地铁,它建立了高架的道路网络。沙缪尔(Samuel)开始控制所有的高架运输公司时才开始这一事业,他在1924年将所有的高架公司合并为芝加哥快速运输公司。

美国其他几个城市包括洛杉矶也考虑了地铁建设的提案,但由于各种原因,部分计划流产了。

欧洲在第二次世界大战前也有几个城市修建了地铁,但高架线路则不如美国常见。巴黎的第一条地铁线(Metro)建成于1900年,柏林的地铁(U-Bahn)则是1902年开始服务的。汉堡地铁在1912年开通,马德里在1919年、巴塞罗那在1924年、斯德哥尔摩在1933年开通了地铁服务。由于日间午睡的影响,西班牙一天有4个运营高峰。目前伦敦拥有世界上最大的地铁系统,其线路共406km,纽约以372km屈居第二位。

拉丁美洲的第一条地铁是1913年在布宜诺斯艾利斯开通的。澳大利亚成为第四块拥有地铁系统的大陆,它在1926年开通了悉尼近5km的隧道电车。非洲的地铁是直到1987年开罗开通连接两个铁路车站的隧道服务后才有地铁系统的。

亚洲最早的地铁是日本东京1927年12月开通的浅草-涩谷线。目前,东京已经建成了较为庞大的、形式多样的城市铁路网络。表1.1给出了目前东京50km都市圈内城市铁路的状况。

表 1.1 东京 50km 圈内城市铁路分布

类 别	名 称	总长(km)	地下部分(km)
大量	高架铁路	1985	71
	地铁	260	260
中量	小截面线性马达地铁	13	13
	独轨	38	4
	新交通系统(AGT)	42	
轻量	有轨电车	17	
合计总长(km)		2355	
路线密度(km/km ²)		0.3	
每营业公里运送人数(人/km)		12790	

到 1995 年,日本地下铁道的总运营里程达到了 572.9km。表 1.2 是几条运量较大的线路运营情况。

表 1.2 日本地铁 1995 年运输量统计

区 间		客运公里	开通时间(年/月)	平均日运量(千人)
北千住	中目黑	20.3	1951/3~1964/8	1197
浅草	涩谷	14.3	1927/12~1939/1	1019
中野	西船桥	30.8	1964/12~1969/3	1232
大曾根	名古屋港	14.9	1965/10~1971/12	351
江坂	中百舌町	24.5	1933/5~1987/4	1413
西马迎	押上	18.3	1960/12~1968/11	592
和光市	新木场	28.3	1974/10~1988/6	764
大日	八尾南	28.1	1967/3~1983/2	586

资料表明,日本东京与大阪两市的磁悬浮地铁于 1997 年底投产,横滨、神户、福岡的磁悬浮地铁当时正在规划与建设中。

莫斯科地铁始建于 1933 年,该市第一条线路于 1935 年投产。到 1993 年,有运营线路 230km,车站 140 座,车辆 3600 辆,年客运量 26.13 亿人次。莫斯科地铁具有较大的知名度,原因之一在于其豪华的车站建筑,采用大理石、装饰灯和雕塑等精心装修的车站显得富丽堂皇。后来其建设的车站则更考究,隧道特别深。莫斯科地铁在第二次世界大战期间曾频繁地用于防空。目前,莫斯科地铁是世界上运量最大的地铁系统之一。东京、墨西哥地铁也是运量最大的地铁系统。

1.3.2 各国轨道交通现状

随着道路交通污染的加剧和人类环境危机感的加强,越来越多的国家和地区意识到发展轨道交通系统的重要性。20 世纪 70 年代末以来,轨道交通系统在全世界范围内得到了进一步发展。表 1.3、1.4 列出了世界各国和地区运营的轨道交通系统。

不难看出:拥有轨道交通系统的城市都是各国的政治、文化中心,这些城市有良好的

市场需求,可以保证轨道交通系统的经济合理性。

表 1.3 运营的地铁系统

国 家	系统数量	城 市 名 称
非洲	1	
埃及	1	开罗
亚洲	19	
中国	5	北京,上海,天津,台北,香港
印度	1	加尔各答
伊朗	1	德黑兰
日本	8	福冈,神户,京都,长崎,大阪,仙台,东京,横滨
朝鲜	1	平壤
新加坡	1	新加坡
韩国	2	釜山,汉城
欧洲	33	
奥地利	1	维也纳
比利时	1	布鲁塞尔
保加利亚	1	索非亚
捷克	1	布拉格
芬兰	1	赫尔辛基
法国	5	里尔,里昂,马赛,巴黎,图鲁兹
德国	6	柏林,科隆,法兰克福,汉堡,慕尼黑,纽伦堡
希腊	1	雅典
匈牙利	1	布达佩斯
意大利	3	米兰,那不勒斯,罗马
荷兰	2	阿姆斯特丹,鹿特丹
挪威	1	奥斯陆
波兰	1	华沙
葡萄牙	1	里斯本
罗马尼亚	1	布加勒斯特
西班牙	3	巴塞罗那,毕尔巴鄂,马德里
瑞典	1	斯德哥尔摩
英国	2	格拉斯哥,伦敦
拉丁美洲	9	
阿根廷	1	布宜诺斯艾利斯
巴西	3	巴西利亚,里约热内卢,圣保罗
智利	1	圣地亚哥
哥伦比亚	1	梅德林
墨西哥	1	墨西哥城
秘鲁	1	利马
委内瑞拉	1	加拉加斯
北美洲	14	
加拿大	2	蒙特利尔,多伦多
美国	12	亚特兰大,巴尔的摩,波士顿,芝加哥,克利夫兰,洛杉矶,迈阿密,纽约,费城,旧金山,奥克兰,华盛顿特区