

普通高等学校土木工程专业新编系列教材

地 下 铁 道

朱永全 宋玉香 主编

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 6 年 • 北 京

内 容 简 介

本书以地下铁道建筑结构的设计和施工为重点,全面介绍了地下铁道线路规划设计、建筑构造及建筑设施。结合目前地下铁道建设情况,增补了地下铁道设计与施工的新理论、新技术和新方法等相关内容,并介绍了一些典型工程的设计与施工。

本书为高等学校土木工程、交通工程等专业的教学用书,也可供研究生和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下铁道/朱永全,宋玉香编. —北京:中国铁道出版社,2006. 8

(普通高等学校土木工程专业新编系列教材)

ISBN 7-113-07458-8

I. 地… II. ①朱…②宋… III. ①地下铁道-设计-高等学校-教材②地下铁道-工程施工-高等学校-教材 IV. U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 103060 号

书 名:地下铁道

作 者:朱永全 宋玉香 主编

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:李丽娟

责任编辑:李丽娟

封面设计:崔丽芳

印 刷:北京市彩桥印刷有限责任公司

开 本:787×1 092 1/16 印张:19.25 字数:480 千

版 本:2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 7-113-07458-8/TU·855

定 价:30.50 元

版权所有 侵权必究

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。

编辑部电话(010)51873135 发行部电话(010)51873124

前言

本教材是在我院编写的《地下铁道规划与设计》(1996年版)、《地下铁道》(2003年版)教材以及《地下铁道》(1999年版,现场工程师继续教育进修班教材)的基础上,吸收了城市地下铁道建设新方法、新技术以及我院“地下铁道”课程建设成果(2005年被评为河北省精品课程)的基础上编写而成的。

本教材重点是地下铁道建筑结构的设计与施工,也介绍了线路规划设计、建筑构造及建筑设施。结合目前地下铁道建设发展,补充了不少国内外地铁设计、施工的新理论、新技术和新方法。

本教材理论与实践并重,经典理论、方法与现代新技术、新方法相结合,引导学生掌握理论知识,注重解决实际工程技术问题能力的培养。教材内容丰富,信息量大,知识结构系统。

本教材为土木工程专业隧道及地下工程方向本科生教材,也可作为相关专业研究生和地下铁道工程设计与施工人员的参考书。

本教材的编写人员都具有丰富的教学经验,参加编写的有朱永全(第一章)、宋玉香(第二、四章)、贾晓云(第三章)、张素敏(第五章第一、二节)、孙星亮(第五章第三节)、刘勇(第六章第一、二节)、李文江(第六章第三、四节)、李宏建(第六章第五节)、孙明磊(第六章第六节)、刘志春(第六章第七节)。全书由朱永全、宋玉香主编,朱永全负责统稿和审定。

本书在编写过程中,得到了景诗庭教授的悉心指导,庞山、毕经东、王利伟、曹勇、李军省、孙元国、何本国、潘国栋等同志给予了文字支持与校核,在此深表感谢。

由于水平有限,时间仓促,本书难免有错误和不足之处,恳请专家和读者批评指正。

编 者

2006年7月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 我国大中城市的交通现状及解决途径	1
第二节 城市轨道交通的分类及特点	2
第三节 地下铁道概述	4
第四节 地下铁道的发展历程	5
思考题	13
第二章 地下铁道线路规划与设计	14
第一节 路网的规划原则	14
第二节 路网规划的主要内容	16
第三节 限 界	21
第四节 地下铁道线路设计	28
思考题	43
第三章 地下铁道车站建筑设计	44
第一节 设计原则	44
第二节 地铁车站分类	44
第三节 地下铁道车站平面设计	49
第四节 地下铁道车站建筑设计	51
思考题	63
第四章 地下铁道结构设计	64
第一节 区间隧道的结构与构造	64
第二节 地铁车站的结构与构造	78
第三节 地下铁道结构设计及计算	100
思考题	134
第五章 地下铁道的通风、防水及防灾	135
第一节 通风和环境控制系统	135
第二节 地下铁道结构防水	140
第三节 防灾设计的原则及技术要求	152
思考题	156

第六章 地下铁道施工	157
第一节 施工方法的选择.....	157
第二节 明挖法施工.....	160
第三节 盖挖法施工.....	206
第四节 新奥法施工.....	210
第五节 盾构法施工.....	245
第六节 沉埋法施工.....	275
第七节 排水与降水工程.....	287
思考题.....	299
参考文献	300

第一章

绪 论

第一节 我国大中城市的交通现状及解决途径

一、我国大中城市的交通现状

1. 交通拥挤,行车速度减慢

交通拥挤,行车速度减慢,已成为我国许多城市普遍存在的突出问题。世界及我国城市化进展越来越快,而城市基础设施(交通道路设施是其中之一)却落后于城市化进展。车辆拥有量越来越大,主干道车速越来越低。以北京市为例,2000年统计主干道平均车速比1990年降低50%以上,以每年递减2 km/h的速度持续下降;市区183个路口,据统计严重阻塞的达60%,阻塞时间可达半小时。

2. 混合用道交通模式造成交通秩序混乱

我国城市传统的混合用道模式(即以步行、低运输量的公共交通工具为主的出行方式),限制了城市客流的疏散。各种车辆混行在道路上,交通秩序混乱,交通事故频增。目前我国城市自行车总数已超过1亿辆,一些特大型城市自行车的保有量达几百万辆以上。公共汽车、无轨电车等的客运能力仍然较弱,难以满足大城市交通主干线客流需求。自行车速度慢,目前仍然是主要的交通方式之一,而人均占道面积则大大高于公共汽车。

3. 私人汽车数量增速迅猛,耗能多,污染严重

我国一些大城市环境形势日益严峻,大气污染日益加剧。全国500多座城市,大气质量达到一级标准的不到1%,北京、沈阳、西安、上海、广州均列入世界十大空气污染最严重的城市。近20年来,我国城市私人 and 单位拥有的轿车数量猛增。资料表明,一辆公共汽车可以代替15~20辆私人汽车,一个拥有600辆公共汽车的车队可以使街道上的小汽车减少12000辆,这十分有利于缓解交通阻塞的状况。轿车载客的社会费用为公共汽车的6~8倍,能耗高达3~4倍,空间占用量高9倍,环境污染损失高达9倍。交通运输虽然不能直接创造财富,但它能把生产、分配、交换和消费在空间上连接起来。越是发达的地区,交通运输的时间价值越高。根据上海市资料,由于交通拥挤所造成的经济损失占当年国民经济总产值的10%;而由于交通保障不力,使企业投入增加,生产率下降,这种间接的损失约为直接损失的45%。

二、引起城市交通拥挤的原因及解决途径

1. 道路及其基础设施滞后于车辆数量的发展

交通拥挤的关键在于城市道路面积和城市面积比例及人均道路面积低。上海每公里道路汽车拥有量为506辆,北京为345辆,为发达国家汽车拥有量的两倍乃至数倍。长期以来,我国城市人均道路面积一直处于低水平状态,改革开放以来,才有较大发展,人均道路面积由原

来的 2.8 m^2 已上升到 6.6 m^2 , 但仍远远低于国外大城市水平 (如东京 10.3 m^2 , 纽约 28.3 m^2)。而道路基础设施也滞后于机动车辆的发展, 20 世纪末全国民用机动车辆保有量已达 2 800 多万辆, 并且正在以 13% 的年平均增长率发展。以北京为例, 1981~1994 年北京市区道路平均递增 3.45%, 而车辆保有量平均递增 14.6%。北京的快速道路占全国首位, 立交桥数量占全国城市立交桥的 1/2, 即使如此北京道路面积仅是改革开放前的 1.6 倍, 而同期机动车数量却增加了 10 倍, 1996 年底达 111 万辆。

2. 人口密集, 客流量大, 缺乏科学管理

近年来我国城市化步伐加快, 百万人口以上的城市已达 40 座之多, 50 万~100 万人口的城市也超过 44 座。按照国际标准, 城市人口密度大于 2 万人/ km^2 , 属于拥挤情况。我国城市人口平均为 4 万人/ km^2 , 局部地区有 16 万人/ km^2 。北京市内城区平均 2.4 万人/ km^2 , 处于饱和状态, 属于世界人口最稠密城市之一, 而诸如上海、重庆、沈阳等城市的人均建设用地仅有 50 m^2 左右, 城市人口的高度集中导致人均道路面积和城市绿地的减少。我国许多大城市交通主干道的高峰每小时客流量均超过 3 万人次, 有的高达 8 万~9 万人次, 低运输量的公共交通工具很难适应客流增长的需要。

路网规划不尽合理, 各种交通工具换乘联运不便, 现有的道路、高架、地铁使用效率不高。上海目前每 1 km 地铁承担的客运量不到香港的 1/3, 小于应有的负荷。

3. 解决城市公共交通问题的途径

随着城市的发展以及人民生活水平的提高, 人们的出行次数和出行距离均有增加, 交通流量更有大幅度增加。据预测, 到 2010 年, 我国 20 多个大城市主要干道的高峰小时单项断面客流量将高达 3 万~7 万人次/h。如此巨大的客流量, 单采用运能 8 千~9 千人次/h 的地面公共汽车已不能解决问题, 与机动车道分离行驶的自行车只能作为短途客运的补充, 而大量发展私人汽车在目前尚不符合中国的国情。我国许多大城市建设用地十分有限, 不能无限制地扩展道路。因此, 应结合城市的总体规划, 做好城市快速轨道交通——地铁和轻轨的规划, 有计划地、分期分批地建造地下铁道、高架轻轨、郊区快速铁路, 并与公共汽车、出租汽车、有轨电车、轮渡等交通工具有机结合, 互为补充。同时也应改进现有的交通法规, 强化城市居民交通文明意识。发展城市交通应围绕安全、高效、有序、经济和环保的要点, 逐步使交通结构合理, 供求平衡, 实现 21 世纪的可持续发展。

快速轨道交通, 简称快轨交通, 是服务于城市客运交通的运量大、速度快、安全可靠、准点舒适的快速公共运输系统, 它可以位于地下、高架或地面。国内外的经验证明, 发展快速轨道交通不但能有力地解决城市交通问题, 并且能促进城市建设、繁荣城市经济和加速实现城市现代化。快速轨道交通是城市地下铁道、单轨交通、轻轨交通、磁悬浮交通和市郊客运铁路等城市轨道交通系统的统称。

第二节 城市轨道交通的分类及特点

一、分 类

一条交通线路单方向每小时的乘客通过量称为交通容量。特大交通容量为 5 万~8 万人/h, 大交通容量为 3 万~5 万人/h, 中容量为 1 万~3 万人/h, 小容量交通小于 1 万人/h。通常市郊铁路可实现特大交通容量, 地下铁道可实现大交通容量, 轻轨可实现中容量交通, 有轨电车可实现小容量交通。

城市轨道交通可铺设在地下、地面或高架。在建筑密集、交通繁忙地区的特大、大容量轨道交通和多设在地下或用高架形式,市郊可用全封闭的地面形式。中容量交通可兼有三种形式,通常不与其他机动车混行。小容量轨道交通一般用地面形式,可与机动车混行。

地铁、轻轨及有轨电车都是两条轨道的轮轨系统。也有一种跨座式或悬挂式的单轨交通系统。它有占地少、爬坡能力大(可达10%)、噪声小(采用胶轮)等优点,但交通容量较小。重庆轻轨较(场口)新(山村)线一期工程在我国首次采用跨座式胶轮单轨系统。

二、特 点

轨道交通具有运量大、速度快、时间准、污染少、安全舒适,与城市道路无平面交叉等优势。

一辆公共汽车载客40~80人,轻轨车厢一节载客60~150人,地铁一节车厢150~200人。地铁与轻轨列车都可按交通繁忙程度改变编组,地铁车站站台长度最长可容10节车厢。每小时单向输送能力公共汽车为2000~5000人,轻轨为5000~40000人,地铁可达30000~70000人,轨道交通运输能力是公共汽车的2.5~14倍。

一般情况下公共汽车时速为10~20 km,轻轨时速为20~40 km,地铁时速40~50 km,最高可达70~80 km。轻轨和地铁的速度是公共汽车的2~4倍。

轨道交通以电力作动力,污染少。每公里能耗为道路交通的15%~40%。轨道交通综合占地仅为道路交通的1/3左右,地铁和高架几乎不占或很少占用土地。

轨道交通工具的事故率大大低于道路交通。在道路交通汽车堵塞的状况下,地铁和轻轨是能快速到达目的地的交通工具。城市轨道交通是满足居民交通需求的全社会总付出最少的方式,是满足人文和城市可持续发展的最佳方式。

三、地铁和轻轨的比较

一般认为,地铁是大容量的轨道交通体系,轻轨是中容量的交通体系。二者的设计标准如钢轨类型、线路坡度、曲线半径、车辆编组、牵引动力等都会有差异。相应的建设投资和运营费用也会有所不同。

轻轨线以高架线为主,结合地形不得已时也可采用地下线,以浅埋区间为宜,一般不设地下车站。轻轨一般沿街道布线,时而高架或入地,时而转弯,线路曲线半径小,坡度大。我国轻轨线路曲线半径最小为100 m,特殊地段可用50 m,最大坡度为60%。

早期地铁大部分设在地下,以后吸取轻轨的一些技术优点,为减少造价,只在市区建筑密集的地段设在地下,在城郊结合部和郊区等场地和环境允许的条件下,线路和车站都设在地面或高架上。地铁线路主要沿交通干道布线,在商业、文化、政治中心和交通枢纽附近布置地下车站。为保证速度和运量,一般情况下地下铁道正线最小曲线半径为300~500 m,困难情况下为250~400 m。正线最大坡度不宜大于30%,困难地段可用35%。隧道内和路堑地段最小坡度不小于3‰,以利于排水。

线路设置方式对投资影响很大。同样规模的线路,地面、高架、地下三种不同设置的直接投资比例约为1:3:9。综合考虑对城市交通、环境、景观及城市实力和发展等的影响,地铁不一定全在地下,轻轨不一定全在地上。地铁和轻轨互相渗透发展。它们的差别主要在建设规模、设备容量和一些技术标准上,土建工程结构的设计原理和施工方法基本是一样的。本书主要讲述地铁土建工程结构的设计与施工,大部分内容也适用于轻轨,对于轻轨特有的内容,书中也单独介绍。

第三节 地下铁道概述

一、地下铁道建筑物的组成

地下铁道(以下简称地铁)是一种规模浩大的交通性公共建筑。地铁建筑物根据其功能、使用要求、设置位置的不同划分成车站、区间和车辆段三个部分。这三个部分用轨道连接,构成了一个完整的地铁线路运行系统。

车站是地铁系统中一个很重要的组成部分,地铁乘客乘坐地铁必须经过车站,它与乘客的关系极为密切;同时它又集中设置了地铁运营中很大一部分技术设备和运营管理系统,因此,它对保证地铁安全运行起着很关键的作用。车站位置的选择、环境条件的好坏、设计的合理与否,都会直接影响地铁的社会效益、环境效益和经济效益,影响到城市规划和城市景观。

区间是连接相邻两个车站的行车通道,它直接关系到列车的安全运行。区间设计的合理性、经济性对地铁总投资的影响很大,区间的线路标准和质量对乘客乘坐列车时的舒适感和列车运行速度的提高也有影响。

车辆段是地铁列车停放和进行日常检修维修的场所,它又是技术培训的基地。由各种生产、生活、辅助建筑及各专业的设备和设施组成。

为了保证安全运行和为乘客员工提供舒适的环境,还有安装通风、空调、采暖、给排水、供电、通信、防灾等设备的建筑物,还要建造可控制单条或多条地铁线路的运营控制中心。它们大部分和车站建在一起,也有单独修建的。

二、线路及轮轨系统

地铁工程设计,必须符合政府主管部门批准的城市总体规划和城市轨道交通路网规划。地铁主体结构工程设计使用年限为100年。地铁线路应为右侧行车的双线线路,并采用1435 mm标准轨距。

轨道结构应有足够的强度、稳定性和适量弹性,确保列车安全、平稳和乘客舒适。正线采用60 kg/m钢轨,轻轨线路可用50 kg/m钢轨,用弹性扣件和减震垫正确固定钢轨位置,并提供适量的弹性。轨枕式整体道床和浮置板式整体道床在地铁中广泛运用。高架轨道段不适宜采用有碴轨下基础,多用弹性支承无枕式整体道床。

《地铁设计规范》(GB 50157—2003)对轨道设计有详细的规定。

三、车辆及列车编组

地铁及轻轨列车编组根据线路的客流量可改变,一般地铁列车两端车厢除载客外,还是电传动的牵引车,车辆的传动控制系统采用先进的交流变频调压传动技术。新颖的轻轨车辆有单节四轴车、双节六轴车、三节双铰八轴车。车辆间采用铰接,节间可贯通,有利于乘客均匀分布及增加载客量。每组车可单行,也可联挂编列。

车辆车体结构趋向于采用铝合金材料以提高防腐蚀性,减轻重量及能耗。车上安装空气制动、电阻制动及再生制动装置,以满足高密度行车间距短的需求。

列车运营和地铁各项工作所需的电力由城市电网供应,形成完整的供电网络。牵引变电系统为地铁运行提供电力,北京、天津地铁用第三轨供电,上海、广州地铁用架空接触网供电。

四、通风、空调及给排水系统

为保证乘客的舒适度,区间隧道除利用列车活塞风以外(当不能满足空气对流交换时),还要设机械式排风。车站和车厢内采用空调以保证一定的空气温度和湿度。地铁还有通风排烟设备用于发生火灾时的救护。地面和高架线路可省去专门的通风设备。

地铁可采用生产、生活和消防共用的给水系统,这样可节省管道,降低造价。经过经济比较也可分开设置,特别是消防给水可单独设置以保证防灾需要。排水优先利用城市排水系统,排出结构渗漏水,消防、冲洗废水及生活污水等。

五、通信及信号

通信系统是组织轨道交通运输的神经中枢,为自动化管理系统提供通道。地下铁道运量大,速度快,业务联系密切频繁,需设置独立的内部通信网,优先采用数字通信技术。通信系统在灾害或事故发生时应作为应急处理、抢险救灾的手段。

地下铁道信号系统由行车指挥和列车运行控制设备组成,应尽量采用列车自动系统——现代信号系统。初期运量不大时也可采用由信号、联锁闭塞、机车信号、自动停车、调度集中等设备组成的中等水平传统信号系统。部分轻轨可在没有信号装置情况下安全行驶,但在道口、曲线地段、隧道内或瞭望受限制地段应设信号以保证行车安全,当轻轨行车密度大、速度快时应设自动闭塞信号系统。

六、灾害防护

地铁和轻轨在施工和运营期间都可能受到火灾、洪水、台风、地震、严寒、大雪等自然灾害的影响,也可能受战争、人为工程事故、人为破坏等危害。因此,地铁对各种灾害的防护都应有相应的措施。特别是火灾防护,要有自动报警、自动消防、通风排烟系统。地铁对战时空袭有优越条件,战时可疏散人流,还可作为人员掩蔽部。有些国家按人防工程要求来设计地铁车站和隧道。

地铁的车辆按要求向专门的生产企业订货,供电、通信、信号、通风、给排水等一般都由专业人员设计甚至安装。作为地铁土建结构设计和施工人员,对地铁的各个组成部分也应有一定了解才能做好本职工作。

第四节 地下铁道的发展历程

一、地下铁道的发展

1863年1月10日,用明挖法施工的世界上第一条地铁在伦敦建成通车,列车用蒸汽机车牵引,线路全长约6.4 km。1890年12月8日伦敦首次用盾构法施工,建成用电力机车牵引的5.2 km的另一条线路。从此,城市交通进入轨道交通时代,因此可以说城市轨道交通的历史比汽车还悠久。

1892年6月6日,芝加哥建成世界上第二条蒸汽列车地铁,1895年5月6日建成世界第二条电气化地铁;1896年5月8日,布达佩斯建成世界第三条、欧洲大陆第一条电气化地铁,并由奥匈帝国皇帝弗朗西斯约瑟夫剪彩通车;1897年9月1日,波士顿建成世界上第四条电气化地铁;1898年5月9日维也纳建成世界上蒸汽列车地铁。

1900年7月9日,巴黎建成世界第六、欧洲大陆第二条电气化地铁;1901年12月10日,纽约建成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年的一百年间,世界上有地铁的城市共有26座。1964年到1980年的17年又有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3000 km。据1994年7月德国出版的《地铁世界》一书统计资料,到1990年世界有98个城市约5300 km轨道交通投入运营,另有29个城市,94条线约1000 km在建。近20年来增加的线路是1863年到1963年一百年建成地铁总长度的3倍。运营线路长度排名前十位的城市依次为:纽约、伦敦、巴黎、莫斯科、东京、芝加哥、墨西哥城、柏林、波士顿、圣彼得堡,线路总长2300 km,占世界轨道交通的43%。

城市轨道交通的发展经历了一个曲折的过程,大致分为以下几个阶段:

1. 初步发展阶段(1863~1924年)

在这一阶段,欧美的城市轨道交通发展较快,其间13个城市建成了地铁,还有许多城市建设了有轨电车。20世纪20年代,美国、日本、印度和中国的有轨电车有了很大发展。这种旧式的有轨电车行驶在城市的道路中间,运行速度慢,正点率很低,而且噪声大,加速性能低,乘客舒适度差,但在当时却是公共交通的骨干。

2. 停滞萎缩阶段(1924~1949年)

二次世界大战的爆发和汽车工业的发展,促使了城市轨道交通的停滞和萎缩。汽车的灵活、便捷及可达性,一度成为城市交通的宠儿,得到飞速发展。而轨道交通因投资大,建设周期长,一度失宠。这一阶段只有5个城市发展了城市地铁,有轨电车则停滞不前,有些线路被拆除。美国1912年已有370个城市建有有轨电车,到了1970年受拆除风的影响,只剩下8个城市保留有轨电车。

3. 再发展阶段(1949~1969年)

汽车过度增加,使城市道路异常堵塞,行车速度下降,严重时还会导致交通瘫痪,加之空气污染,噪声严重,大量耗费石油资源,市区汽车有时甚至难以找到停车地方,于是人们又重新认识到,解决城市客运交通必须依靠电力驱动的轨道交通。轨道交通因此重新得到了重视,而且从欧美扩展到亚洲的日本、中国、韩国、伊朗及非洲的埃及等国家,这期间世界各国有17个城市新建了地铁。

4. 高速发展阶段(1970年至今)

世界上很多国家都确立了优先发展轨道交通的方针,立法解决城市轨道交通的资金来源。世界各国城市化的趋势,导致人口高度集中,要求轨道交通高速发展以适应日益增加的客流运输,各种技术的发展也为轨道交通奠定了良好的基础。近几年又有40多个城市修建了地铁、轻轨或其他轨道交通。

世界各国地铁各具特色。莫斯科地铁是世界上最豪华的地铁,有欧洲“地下宫殿”之称。天然的料石、欧洲的传统灯饰与莫斯科气势恢弘的各类博物馆交相辉映,简直是一座艺术的博物馆。市区9条地铁线路纵横交错,充分体现了前苏联城市交通规划和建筑业的一流水平。纽约是当今世界地铁运行线路最长的城市,有线路37条,全长432.4 km,车站多达498个,但设施较为陈旧。巴黎地铁是世界上最方便的地铁,每天发出4960列车,在主要车站的出入口,均设电脑显示应乘的线路、换乘的地点等,一目了然。巴黎地铁也是世界上层次最多的地铁,包括地面大厅最多有6层(一般为2~3层)。法国里昂地铁是当今世界最先进的地铁,全部由微机控制,无

人驾驶,轻便、省钱、省电,车辆行驶中噪声和振动都很小,高峰时每小时通过 60 列车,为世界上行车间隔最短的全自动化地铁。美国旧金山是当今世界地铁列车速度之冠。香港地铁 1994 年总收入 51.3 亿港元,扣除经营开发、折旧、利息和财务开支后,当年利润为 10.38 亿港元。世界各国地铁均靠政府补贴,唯独香港地铁既解决市区出行,同时又可创利。新加坡地铁的车站和线路清洁明亮,一尘不染,是世界上最安全、最清洁、管理最好的地铁。新加坡地铁像莫斯科地铁一样考虑了战时的防护掩蔽,车站出入口设置防护门、密闭门等防护设施。

墨西哥城在短短的十年间修建了 150 km 地铁,到 2000 年开通 21 条地铁线路,全长 400 km,承担全城客运量的 58%。汉城地铁 1971 年开始建设,目前已有 7 条线,总长 217 km,到 2000 年计划建成 285 km 共 8 条线,墨西哥城与汉城是世界上地铁发展最快的城市。

5. 21 世纪的地铁

21 世纪的地铁,将以高速、正点、低能耗、少污染、安全、舒适等功能吸引大中城市客运交通的 80% 以上,美国、日本、德国、法国等经济发达国家不断增加地铁的科技投入,许多新材料、新技术、新工艺运用在地铁工程中。

1960 年 10 月 10 日日本东京到大阪的东海道新干线正式通车,时速达到 210 km/h,它的成功运行给各国铁路指出了发展方向。法国的“TBV”高速列车,穿越英吉利海峡的“欧洲之星”,德国的“ICE”城际列车,日本新干线等不少国家的特别快车,经过不断提速试验,都实现了第一代高速(时速 200~350 km)。这些快车都是车轮在钢轨上转动行驶的,称为“粘着驱动”。这种驱动有一定的极限,即无论怎样加大动力,由于受到摩擦力的限制,列车时速最高也只能达到 300~350 km。1999 年 4 月 5 日,有 5 节车辆编组的磁悬浮列车时速达到 552 km,在日本山梨线运行试验第一阶段已经结束。今后 5 年要重点改善车辆运行空气动力学性能,降低建造成本和运行成本,进一步确认系统的可靠性、耐久性。日本计划沿东京至大阪的东海道新干线修建磁悬浮新干线。磁悬浮列车是非粘着驱动式列车的一种,它是利用常导或超导电磁铁与感应磁场之间产生相互吸引或排斥力,使列车悬浮于轨道上,再由电动机作为推动力前进的先进交通工具。由于它没有车轮及相应的传动装置,进入高速运行后与地面无机械接触,因而从根本上克服了传统列车轮轨限制、机械噪声和磨损等问题。不但有启动和停车快、爬坡能力强、运行安全稳定等优点,而且具备不污染环境、节省能源等诸多性能特点。磁悬浮列车实现的 500 km/h 的速度称为第二代高速。当列车时速超过 500 km 时,空气阻力非常巨大,所以有人设想在地下真空隧道内建造磁悬浮列车干线,在真空隧道内行驶最高时速可达到 2 000 km 以上。美国的蓝德公司设计了一条横贯美国东西,由纽约到洛杉矶的一条长 3 950 km 的真空地下隧道,在隧道内行驶磁悬浮列车,它的造价估计需 2 500 亿美元。这种第三代高速列车(地下真空磁悬浮或超高速列车)计划在 21 世纪开发实现。

新一代轨道交通要采用可调式转向架,使列车在运行时适应不同轨距的变化。开发地铁轻轨智能运输系统(ITS),满足各种乘客的旅行需要,自动获取旅客要求、个人信息、单个地点识别、公共运输和私人运输信息的交换。根据不同的需求调度和指挥,包括扶助伤残、老人、儿童系统,智能列车控制系统。研制新的橡胶减震轨道系统,减少噪声、振动,降低能耗,改进车体设计,保证在 350 km/h 情况下,噪声控制在 75 dB 以下。开发新一代自动信号控制系统(ATC),实现列车的自动运行、自动保护、自动监控。车辆材料推广采用国际先进的拉伸铝合金型材为基础结构轻型车体,保证车辆运行中的稳定性,新的地铁轻轨列车应装有 IGBT 智能模块和 VVVF 交流变频调压传动技术。主传动为鼠笼式感应电动机,采用现代微机处理电子控制技术,对运行列车轨道、各类设备和仪器自动诊断显示,自动修复,将一系列先进的材料、

设备、技术、工艺等高科技成果运用到地铁和轨道交通才能适应 21 世纪的发展。我国目前还在开展关于轻轨高架上长大无缝线路铺设引起温度应力的研究,并开发与之适应的轨道伸缩控制器和小阻力大调节量扣件的研制,高架轨道交通大跨度预应力钢筋混凝土桥梁徐变控制,各种设备如机车车辆、自动控制、信号、通信、防灾系统的国产化方面的研究,在这些方面都取得了丰硕成果,为我国 21 世纪地铁和轻轨发展奠定了一定基础。

二、城市轨道交通建设的经验

1. 支持大运输量公共交通系统发展,控制小汽车的盲目发展。轨道交通是大都市交通运输的骨干,纽约、莫斯科、东京、巴黎、香港等已形成地铁网络的城市,居民出行一般步行 5~10 min 就可乘坐轨道交通,非常方便。号称“汽车王国”的美国,仅 1997 年就有 13 个城市定购上千辆地铁和市郊轻轨列车,用以发展城市轨道交通系统。

2. 城市轨道交通促使城市社会、经济、资源和环境的协调发展,使城市走可持续发展的道路。轨道交通发展使城市沿轨道交通廊道轴向发展,市区密集人口可能疏散到郊区卫星城。有了大运输量、高速正点的地铁和轻轨,人们白天到市中心上班,享受城市文明,晚上可远离喧闹的市中心,住进环境优美的郊区。同时轨道交通又是世界上公认的“绿色交通”,与其他交通方式相比污染明显减少,如表 1-3-1。

表 1-3-1 各种交通方式能源消耗和环境污染比较

比较项目	城郊铁路	航 空	城市道路	城市轨道交通
能源消耗	1.0	5.3	4.6	0.8
人均 CO ₂ 排放	1.0	6.3	4.6	1.0
人均噪声	1.0	1.5	1.7	0.4

3. 规划要有科学性、可行性、经济性、前瞻性。在巴黎从单中心向多中心转变过程中,巴黎的交通部门预见到由此带来巨大客流的潜力,及时规划建设市区地铁和郊区轨道交通。先建成 4 条市区地铁,线路总长近 300 km,共 166 个站;同时又规划修建了 28 条辐射市郊的快速轨道线,与市区地铁连接成一个功能完善的市郊铁路网,运送大量的通勤乘客。据统计,每天市郊客运量中,市郊铁路占 74%,高峰时间内市郊铁路承担总运输量的 87%。巴黎的快速轨道交通,在转轨期成功疏散了大量客流。交通联系的便捷,反过来又促使各市中心区的经济发展,从而步入良性循环轨道。

4. 重视各种渠道筹集资金,加快地铁和轻轨交通的发展。世界各国地铁和轻轨建设都靠国家、州和市政府财政补贴。有的国家规定城市税收的一定比例用于地铁建设,还鼓励大企业、财团参与地铁轻轨建设和管理。发展中国家应积极利用世界银行贷款和发达国家的低息贷款发展城市轨道交通。

5. 长远规划与近期实施相结合。依据经济技术的能力及实际需求,分期、分批、分段开工,分段调试运营,尽快取得社会经济的效益,滚动发展,逐步实现长远规划目标。

6. 地铁和轻轨建设实行改革开放政策,吸取世界各国的先进技术。地铁是一门包括土木、机械、自动化、计算机、新材料、通信信号、环保等专业的系统工程,很多方面体现了当今世界最新技术。一些发达国家已积累了大量的成功经验和先进技术,只有随时吸收这些先进的技术和设备,坚持走国产化道路,不断创新,才能少走弯路。

7. 引进竞争机制,建立健全地铁轻轨运营管理体系,充分发挥现有地铁轻轨设施的功能,

创造更大的社会效益。

三、中国地铁的发展

在我国,大规模的城市轨道交通建设正在进行中。

“南京市城市快速轨道交通建设规划”已于2005年12月底正式通过国务院审批。在此之前,“上海市快速轨道交通近期建设规划”也正式获得批准。2005年,还有杭州、沈阳、哈尔滨、成都四市的地铁项目获批。这是自2002年10月地铁项目叫停后的首次闸门重开。

由于造价高昂,国家对地铁建设的态度一直审慎,1996年、2002年先后两次“急刹车”,冻结了许多项目。2005年的再次解禁,除了缓解城市交通拥堵外,与国家的宏观经济调控政策有关。

据统计,截至2005年6月,北京、上海、广州、深圳、武汉、天津、南京、重庆、长春、大连等10个城市已建成轨道交通420 km。目前,中国有20多个城市正在建设或规划建设地铁等轨道交通项目。

2005年12月,中国交通运输协会城市轨道交通专业委员会完成了一份报告,指出我国已经成为世界上最大的城市轨道交通市场。目前国内40多座百万人口以上的特大城市中,已经有30多座城市开展了城市快速轨道的建设或建设前期工作,约有14个大城市上报轨道交通网规划方案,拟建设55条线路,长约1500 km,总投资5000亿元,其中“十一五”期间预计投资2000多亿元。

1. 北京市

我国于1965年7月在北京开始修建第一条地铁线,第一期工程全长22.17 km,于1971年投入运营。二期地铁工程环线16.1 km也建成通车。复八线西起复兴门,东至八王坟,13.5 km西段已于2000年贯通,开始运营。到2000年北京地铁已约有55 km投入正式运营。北京地铁已在城市交通中发挥了重要作用,客运量1994年突破5亿人次,地铁每天运载约146万人次,外地乘客占70%,并创下满载率世界第一,单车运营公里世界第一两项世界纪录。

一条东起东直门,西至西直门,环北京市西北、北和东北呈“U”字形的长43 km的城市轻轨铁路,于2000年在北京破土动工,全线于2003年底建成通车。地铁八通线西起八王坟,东至通州土桥,全长约19 km,共设11座地面车站。该线的建设将极大地带动通州卫星城的开发和建设,2000年开工建设,2003年9月全线通车试运行。地铁五号线是北京向国际奥委会承诺的北京市新建地铁线路之一,线路南起宋家庄,向北经东单、雍和宫,穿过北四环路后,由地下转至地面变为高架,沿北苑路继续北行,最终至昌平区的太平庄北,线路全长27.6 km,共设车站24座,项目总投资120亿元,2001年试验段开工建设,预计到2007年6月底开通运营。地铁四号线起点为丰台马家堡,向北经菜市口大街、西单大街,由新街口向西,经西直门外大街至白石桥向北,沿白颐路、中关村大街、圆明园,终点为颐和园北宫门,线路全长26.2 km,全部为地下线,共设23座车站,2004年底开工,通车日期预定在2009年9月底。奥运支线以奥运公园为起点,沿中轴路向南在熊猫环岛接入地铁十号线,线路全长4 km。地铁十号线(一期)起点为海淀火器营,向东沿知春路、北土城路,在熊猫环岛与地铁奥运支线接线,在太阳宫沿东北三环向南。该线路分别与地铁四号线、城市铁路、地铁五号线、地铁一号线相交,线路全长26.2 km,将于2008年6月底通车。此项目的建设,对解决奥运公园、中关村的交通问题将起到十分重要的作用。地铁九号线(一期)起点为北京西客站,向北与地铁一号线在军事博物馆站交叉,终点为白石桥,线路全长5.8 km。东直门至首都机场轨道交通线路以东直门交通

枢纽为起点,终点为首都机场,线路全长 27.3 km,该线 2006 年初开工,2008 年 6 月底通车。从东直门到三元桥约 5 km 全在地下。亦庄线起点为丰台宋家庄,经北京经济技术开发区,终点为拟建设的影视城,线路全长 26 km。

北京制定的中长期城市轨道交通建设规划初步设想,北京市远景轨道交通规划线网由 16 条地铁(M 线)、6 条城铁(L 线)和 6 条市郊铁路(S 线)组成,分三个阶段实施。届时,北京市将拥有 28 条轨道交通线路。

据了解,规划既包括线网设置和组成,也包括客流预测和融资方案。2020 年规划线网将由 19 条线路组成,总长度 561.5 km。市区线路 15 条,425.7 km,包括 M1~M11、M15(至顺义),其中 M10 与 M11 将形成第二个地铁环线,这个环线将充分服务于中关村科技园区、商务中心区、奥林匹克公园等今后北京的多个中心区域。

其他市区内的地铁线路都将围绕已有的环线地铁及 M10 与 M11 形成的第二个环线,向北京的各个郊区发散。第二个环线区域内的居民出行可在 5 min 之内到达地铁站。到 2050 年之前,北京还将在城区内建设 M16,它将与 M4 相连接,形成贯穿南北的地铁主线。同时,奥林匹克公园等区域也是轨道交通重点发展的区域。

到 2020 年,北京还将修建城市铁路 L1、L2。这两条城市铁路将从北京的城区内向东北方向和西南方向出发,通往京郊的顺义和大兴方向。通往郊区的线路有 4 条,里程将达到 135.8 km,包括良乡线、昌平线、黄村线以及亦庄经通州至顺义的 S6 线。

2. 上海市

为了构筑国际化大都市的现代化交通体系,上海从 20 世纪 90 年代开始大力发展轨道交通,以促进经济社会发展,改善投资环境,提高市民生活质量,缓解交通拥挤。

上海地铁 1 号线 1993 年建成通车,经过 10 年左右的建设,上海已建成并投入运营轨道交通 1、2、3 号线,形成了总长 65 km 左右、“十字加环”的“申”字形初始线路,日均承担客运量 120 万乘次,约占公交客运总量的 11%,初步显示了轨道交通快速和大运量的优势。

到“十五”期末,已初步形成以重要换乘枢纽为核心、联系中心城重点地区、“十字加环、八辐射”的城市轨道交通骨架网络,轨道交通日客运量达到 250 万~300 万人次,承担 20%~25% 的公共客运量。

上海市在“十一五”期间将建成轨道交通基本网络,运营里程增加到 400 km;共有 13 条线,设 237 座车站。到 2010 年,轨道交通占全市客流总量的比重将由目前的 11% 左右上升到 35%~40%。

上海远期轨道线网以市域线为骨架,通过主要换乘枢纽“锚固”整个网络,由 4 条市域快速轨道线、8 条市区轨道交通线、5 条市区轻轨线组成,17 条线路全长约 810 km,在中心城内的长度约 480 km。

3. 天津市

未来的天津市区快速轨道交通主要为环线—放射线形成路网的格局,有 3 条穿越市中心的放射线和一条环线组成。路网总长 177 km,其中地下铁路长 106 km,郊区环线预留 71 km 远期轻轨线。天津地铁 1 号线长约 10 km,1970 年动工,1980 年建成通车。以后经过技术改造,2005 年底重新运营。

《天津市中心城区快速轨道交通线网规划》中规划的线网由 9 条线组成,总长度为 235.9 km,其中 1、9 号线已于 2002 年开工建设,近期计划(至 2012 年)还要修建 2、3、5、6 号线,共 6 条线,总长 156.3 km,投资约 550 亿元。

4. 广州市

按照 1998 年广州市政府批准的《广州市快速轨道交通路网规划》，全市共规划 7 条线，总长 206.5 km。其中地铁 1 号线是广州市地铁规划网的東西干线。地铁 1 号线总长 18.47 km，沿线共设 16 座车站、车辆段控制中心和 2 座主变电站，已于 1999 年建成通车。地铁 2 号线为广州市快速轨道交通系统中客流量最大的基本骨干线，是新线路网中的南北轴线。从国际机场至海珠区后窑，全长 46.5 km，第一期长 23.21 km，其中高架 10.68 km，地下线长 11.10 km，地面线 0.27 km，过渡线长 1.16 km，全线共设 20 座车站。地铁 2 号线工程 1998 年 7 月 28 日于海珠广场站率先开工。广州地铁另外规划的 5 条线路情况如下：

(1) 3 号线：从沙贝到南岗，全长 44.5 km，是连接东翼大组团和中心大组团的東西主干线。

(2) 4 号线：白云区的黄金围到海珠区的江燕路，全长 20.5 km，是南北方向的一条辅助线，从而扩大对北翼大组团的照顾范围。

(3) 5 号线：芳村区的西朗站到世界大观，全长 28.5 km，它串联被珠江分隔的三大块区域，同时作为海珠区東西方向的贯通线。

(4) 6 号线：起自白云区的槎头，终到海珠区的石榴岗，全长 23 km，是围绕旧城市中心东北侧的半环线，串联北翼大组团、天河新区和海珠东部地区。

(5) 7 号线：从芳村区的三眼桥到广州植物园附近的高塘石，全长 25 km，西南至东北走向。它便于东北方向的乘客直达老城区和芳村。

此外还考虑了利用既有国有铁路（如广深线、京广线）来提供市郊旅客运输服务，与城市轨道交通网相呼应。

5. 深圳市

深圳市整个客运轨道交通规划网络系由“一主、三重、五辐射”共九条线组成。地铁 1 号线主要承担着各个组团最密集的东西间的客流及所有其他轨道线路换乘客流。三重：平南、平盐和广深组成特区与两区之间的通勤铁路。五辐射：2、3、4、5、6 均以地铁 1 号线为基础，沿交通走廊呈向外辐射状。这个轨道交通网地下轨道总长 80~100 km，地面和高架轨道总长约 250~300 km，车站总数 105 个。轨道网路将分期建设，每期 4~5 年。深圳地铁一期工程由 1 号线（罗湖站至香密湖站）和 4 号线（皇岗站至水晶岛站）组成，全长 14.825 km，1 座地面站，1 座车辆段，两线在福田站呈十字换乘，于 1999 年 10 月全线开工，现已部分投入运营。

6. 南京市

南京市的地铁及快速轨道交通网，主要承担主城区客运交通及主城区至城市圈外围城镇间的快速客运走廊的客流运输。主城区地铁路网由四条线组成。地铁 1 号线南北线，地铁 2 号线北—东南线，地铁 3 号线（东西向）和地铁 4 号线，总长 119.3 km。地铁 1 号线总长 21.72 km，设 17 座车站，1 个车辆段。1999 年 4 月 15 日经国家计划委员会批准一期工程进入正式实施阶段，2002 年 12 月正式开工。南京地铁在吸收国外先进技术经验的同时，坚持走国产化的道路，一期工程确保总体国产化率 70%，2005 年 9 月南京地铁 1 号线正式开通投入运营，使南京成为中国内地拥有地铁的第六个城市。

7. 重庆市

重庆市的轨道交通由三条东西和南北间相互渗透线路构成，线路总长 44.5 km，车站 41 座。其中 1 号线自朝天门至沙坪坝全长 16.4 km，13 个车站，采用钢轨—钢轮系统，95% 在隧道运行。2 号线自较场口至新山村，全长 17.4 km，设 17 个车站，在我国率先采用跨座式单轨

交通,以高架为主,部分在地下,具有噪声小、爬坡能力强、转弯半径小的特点,适于重庆山城的特点。2000年全线开工,2004年8月试通车。3号线自江南岸4 km处至嘉陵江北新牌坊,全长10.7 km,共11座车站,采用空中客车交通模式。

8. 沈阳市

沈阳市城市交通体系规划概括为:“三环”、“四轨”、“五快”、“十四射”。即建立一个以快速轨道交通为中心、公共交通为主体,快速道路交通为骨干,交通体系立体化,客运管理现代化,有足够容量和应变能力的综合交通体系。“三环”中一环(内环)长29 km,二环(中环)长50 km,三环(外环)长80 km,3条环线全长159 km。“四轨”即有1、2、3号线和一条环线组成的快速轨道交通。1号线长47.4 km(包括支线),2号线全长45.3 km(包括支线),3号线全长44 km,环线长24 km,全长160.7 km,其中高架线长66 km,地下线长95 km。

9. 青岛市

青岛市地下铁路网初步规划由南北线、东西线和环线组成,总长48 km。地铁1号线试验段开工多年,主城区与外围城镇的轨道交通由3条轻轨线和1条市郊线组成。

10. 台北市

台湾省台北市都会区快速轨道系统(台湾习惯称捷运系统)初期路网共6条线路,全长86.8 km,设有79个车站,服务于台北市12个行政区及台北县的16个市镇,服务范围以台北车站为中心,半径约15 km,面积达837 km²。这6条路线中,以其完工时间排序分别是木栅、淡水、中和、新店、南港及板桥线。木栅线是中等运量系统,除有一处穿越山区采用隧道外,其余全线采用高架方式构筑,其他5条线路都是高运量系统。在全长86.8 km的线路中,地面段有9.5 km,高架段有21 km,地下段45.7 km。

11. 香港

香港地铁公司目前经营4条地铁线(观塘线、荃湾线、港岛线和东三角线)和机场铁路。快速轨道交通系统全长70 km,共有44个车站和4个车厂,总造价约为611亿港元。全港约有30%的人口使用地铁提供的交通服务。香港正在修建中的地铁新线有鱼涌舒缓乘客挤塞工程和将军澳支线。规划中的地铁线路有北港岛线和东九龙线。

12. 其他城市

据了解,成都、杭州、鞍山、武汉、乌鲁木齐、合肥、兰州、佛山、桂林、昆明、西安、济南、福州、宁波等城市都完成了市区地铁轨道交通的路网规划、客流预测、可行性报告、总体方案,有的还进行了初步设计。

从长远规划看,中国城市在地铁建设的投入才刚刚开始。目前,中国各大城市在发展过程中,交通拥挤、行车困难、车辆CO污染已经成为一种通病。而在寻找解决城市交通拥挤良药的时候,人们不约而同地将目光定格在被公认为解决交通运输有效手段的地铁上面。但是,地铁建设而面临着诸多的制约因素,其中最大难题就是资金问题。一项地铁投资动辄几十亿、几百亿元,京、沪、穗近年来修建地铁的综合平均造价已高达每公里6亿~8亿元人民币。而在20世纪90年代以前,中国地铁建设基本上只有国家财政一条路,一旦情况变化,地铁建设就陷入困境。中国虽然已有41年地铁历史,但目前地铁通车总里程仍只有145 km。另一个问题是,中国的地铁工程一直是一项便民的“老百姓工程”,因此地铁票价不能太高。由于建设和经营的成本水涨船高,加之不能按成本核算的票价体制经营,地铁投资往往不能给投资者带来回报。

据悉,近年来,中国有些城市开始打破投资单一和经营垄断的局而,加速地铁建设的市场