



高等学校教材

地铁与轻轨

(第二版)

张庆贺
朱合华 等编著
庄荣



人民交通出版社

China Communications Press

U23

1=2

高等学校教材

Ditie Yu Qinggui

地铁与轻轨

(第二版)

张庆贺 朱合华 庄荣 等编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为高等学校土木、交通、铁道工程类专业教科书,系统介绍了地铁与轻轨交通工程在规划、设计、施工与灾害和防护方面的知识,具体包括:线路规划与设计、车站建筑设计、地铁与轻轨施工、地铁与轻轨设备系统、灾害与防护等内容。

本书既可作为从事地铁与轻轨交通工程勘察设计、施工、监理、监测和科学研究的工程师和技术人员的工具书,也可供岩土、工民建、铁道、道路与隧道工程等专业领域的师生和科技工作者参考,并可作为短训班培训教材。

注:本书另配有 PPT 教学课件,有需要者可向我社索取,联系电话:010-85285983,85285984。

图书在版编目(CIP)数据

地铁与轻轨/张庆贺等编著. —2版. —北京:人民交通出版社,2006.8

ISBN 7-114-06089-0

I.地... II.张... III.①地下铁道-铁路工程
②轻轨铁路-铁路工程 IV.U23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 082069 号

高等学校教材

书 名:地铁与轻轨(第二版)

著 者:张庆贺 朱合华 庄 荣

责任编辑:曲 乐

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)85285656,85285838,85285995

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:北京凯通印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:28.25

字 数:694千

版 次:2002年3月 第1版 2006年8月 第2版

印 次:2006年8月 第2版 第1次印刷 总第4次印刷

书 号:ISBN 7-114-06089-0

印 数:0001—3000册

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

由同济大学地下建筑工程、环境、电气和机械工程系的各位资深教授共同费心撰写的这本专业教学用书《地铁与轻轨》即将付梓问世,承张庆贺主编的邀约,要我为本书写述推荐,我当乐以从命。

众所周知,随着我国城市建设事业的飞速发展,继北京地铁之后,晚近十余年来,上海、广州、深圳、南京、青岛等诸大城市纷纷兴起了大规模建造地下铁道的热潮。以上海市为例,地铁1号线、2号线相继投入运营,对缓解地面交通,特别是广大职工上下班的交通拥挤状况有了极大程度的改善,社会效益十分显著;而上海市明珠线一期轻轨交通,利用早前沪杭铁路已废弃的旧有线路,建造高架型轻轨交通,通行2年多来,交通负荷也逐年递增,自市北江湾至铁路南站只需约40分钟便可安全、迅速地直达,完备了上海市内西缘的南北交通联络,也自然地组成了与内、外环线高架道路系统不可或缺的配套项目。这些为民造福、功在千秋的实事工程,市民们欢欣鼓舞,无不额首称庆!无怪国内许多大城市,在条件许可的情况下,也都以大力修建地铁、轻轨为市府的头号市政建设任务。自己作为地下工程建设战线的一名老兵,深感可喜可贺。

为此,作为与国家基本建设事业相适应的高校某些相关专业,适时地开设“地铁与轻轨”这门新课,并积极撰写本门新课的专业教材,当然是顺理成章应办的一桩好事。我对本书经粗阅一过,觉得它深入浅出,以学生容易接受的文字分章阐述,条理清楚,资料翔实、丰富,书中各个章节能够很好地相互配合成一个整体,使青年学子阅读后将可具备这一专业领域的基本知识,也有利于教师备课和相关专业技术人员的参考学习。

我喜见本书的早日出版,并高兴地写了上面的一点文字,代之以序。

张 钧

2001年仲秋,于同济园

第一版前言

本书为普通高等学校土木、交通、铁道工程类专业教科书。它既可用作从事地铁与轻轨工程勘察设计、施工、监理、监测和科学研究的工程师的工具书,也可以用作岩土工程、工民建、铁道工程、道路与隧道工程等专业科技工作者及大专院校师生、短训班学员的参考书。

随着城市轨道交通的迅速发展,作者自1998年暑假开始在同济大学土木学院地下建筑与工程系开设“地铁与轻轨”选修课,受到许多本科生、研究生、施工企业短训班学员的热烈欢迎。但由于缺少这方面系统的教材给教学工作带来诸多不便,适逢人民交通出版社编辑与作者联系,乐于出版本书,于是促成了本书的完成。

本书第一章介绍了大中城市公共交通的困境及城市轨道交通发展的历史现状和前景;第二章介绍地铁与轻轨路网,线路规划和设计,简要说明轨道工程特点及地铁隧道及车站的限界;第三章介绍了地铁和轻轨车站区间隧道建筑装饰设计原理方法;第四章重点叙述各种类型的地铁轻轨车站与隧道结构材料选择、荷载计算,内力分析,断面设计;第五章介绍地铁轻轨车站、隧道施工组织设计编制,施工方法、施工工艺,施工过程中经济、进度、质量、安全管理控制方法;第六章重点介绍地铁轻轨工程供配电、通讯、信号、给排水、通风排烟和环境控制工程的原理和设计方法;第七章详细阐述了地铁与轻轨工程受到自然灾害和人为灾害破坏机理及防护对策。各章节中插入丰富的工程实例、图片,以便于阅读和理解。每章后附有一定数量思考练习题,供学员课后复习巩固和提高。

本书由张庆贺、朱合华和庄荣教授主编。第一、二、七章及第五章第一、二、五节由张庆贺、黄宏伟教授编写;第三章由庄荣教授编写;第四章由朱合华教授、丁文其、周生华讲师编写;第五章第三节由上海地铁公司总工程师葛世平高工编写;第五章第四节由王聿讲师编写;第六章第一节由刘畅讲师、陈艳琳工程师编写;第六章第二节由吴喜平副教授编写;第六章第三节由高乃云教授、彭海清高工编写;第六章第四、五节由刘畅讲师编写。全书各章节由张庆贺教授做了统稿及校对。作者同事同济大学地下工程系地下建筑教研室的同志对本书编写提纲提出了宝贵意见,上海市市政工程局总工程师白云教授级高工、上海地铁建设总公司副总工程师宋博高工、铁道部第四勘察设计院耿露云、邓朝晖高工以及刘国彬教授等为本书提供了许多有用资料,人民交通出版社的领导、编辑、校审人员为本书的出版付出辛勤劳动。此外,朱小龙、朱忠隆、王慎堂、刘军、朱小华等研究生为本书的打印、校对、编排做了大量工作。

作者的老师、中国科学院院士孙钧教授于百忙之中为本书写了序。

在本书付梓之日,作者对于他们为本书的编写和出版所给予的支持和帮助一并表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中,作者虽力求通俗易懂、便于自学,兼顾系统性、准确性、科学性、实用性,但因时间和水平有限,书中有不当和错误之处,敬请同行专家和读者批评指正。

作者

2001年4月5日

于上海同济大学

第二版前言

《地铁与轻轨》自 2002 年 3 月出版以来,受到城市地铁和轻轨建设、设计、施工和监理工程师的欢迎。一些大专院校土木工程及交通工程专业开设类似的课程,将本书用作教材和参考书。拙作能对从事地铁和轻轨建设的工程师们学习新的技术有所裨益,能为相关专业院校师生们学习参考,笔者甚感欣慰。

《地铁与轻轨》出版至今虽然只有 4 年多时间,但是我国城市地铁和轻轨交通有了蓬勃的发展。到 2004 年北京地铁城市轨道交通的总里程达到 113km。为了迎接 2008 年奥运会,北京地铁 4 号、5 号、奥运支线、机场专用线都在紧张施工,预计 2008 年城市轨道交通总里程达到 260km。上海地铁先后建成明珠轻轨 3 号线、地铁 1 号线南北延伸线,4 号环线浦西段,通车营运总里程超过 120km。为了迎接 2010 年世界博览会,地铁 6 号、7 号、8 号、9 号、10 号、11 号五条线都在紧张设计施工,可望 2010 年前建成 13 条线组成的总长 510km 的城市轨道交通网。广州地铁 1 号、2 号线先后投入运营,3 号线及 4 号线正在按计划快速施工。这期间深圳、南京市各有一条地铁线投入运营。天津市对原有地铁 1 号线进行全面技术改造,同时建成了 49.051km 的津滨轻轨线。武汉、重庆、大连和长春等市也先后建成 1 条或数条轻轨交通线。哈尔滨、沈阳、成都、青岛、杭州和苏州等市先后完成了地铁的规划和设计,业已开始或即将开始地铁工程施工。西安、济南、合肥、桂林、鞍山、乌鲁木齐、兰州、佛山、福州、宁波等城市都进行了城市轨道交通的前期可行性研究、客流预测、初步设计。

如此大规模的城市轨道交通工程建设,在世界各国交通工程建设史上是独一无二的。大量的工程实践,各地结合不同的情况,创造了许多新的先进的施工工艺、施工机具、施工材料,克服了许多困难,战胜了多种灾害,积累了丰富的建设经验。再版时应吸收各地地铁与轻轨建设的经验、新的创新科研成果、新的设计理念,缩短教学理论与工程实践差距。

本书出版 4 年来,国家重新修订颁布了地铁与轻轨勘察、设计、测量和施工验收的标准及规范。这些变化,使本书部分内容显得陈旧,并与工程实践不适应。人民交通出版社本书责任编辑曲乐先生多次来电和来校面谈,希望尽快对《地铁与轻轨》作第二版修订,以适应新的建设需要。出版社也将原本 2005 年底第四次印刷拖延至修订后第二版印刷。

参加《地铁与轻轨》第一版编著的同济大学的老师们有的已退休,有的离开学校忙于新的工作。主编难以召集原班人马作详细的修订。在不得已的情况下,听取了原参编各位老师的意见后,由主编按国家新颁布的标准规范,对相关的内容做了删除、更换、改正,适当补充近年来新的科研成果和成熟的施工工法和经验,剖析典型工程事故的原因及教训。对于第一版中存在的问题、遗留的差错,笔者加以一一的订正。另外,应出版社要求,作者将近十几年来为同济大学土木工程专业本科学子讲授本书的 PPT 教学课件加以整理,由出版社统一管理和发送,希望对各院校同行授课有所助益。需要说明的是,我国城市轨道交通规模大,发展速度快,各城市轨道交通的规划网络经常优化更新,各城市轨道交通通车总里程也随时在刷新,本书第二版很难准确地反映各城市地铁和轻轨交通建设的地点、里程、费用等相关参数,许多城市先进的经验被遗漏,许多单位创新的科研成果未被收纳,都请读者原谅。鉴于笔者经验水平有限,第二版的“地铁与轻轨”仍然会有许多错误和不当之处,肯请

同行专家学者及所有读者批评指正。

修订编著者：张庆贺、朱合华、庄荣
2006年4月5日
于上海同济大学

目 录

第一章 绪论	1
第一节 我国大中城市的交通问题	1
一、大中城市的交通现状	1
二、引起城市交通阻塞的原因	2
三、解决城市公共交通问题的途径	3
第二节 地铁和轻轨交通的特点	3
一、共同的特点	3
二、不同的特点	3
三、地铁和轻轨交通在城市公共交通中的地位	9
第三节 地铁和轻轨交通的发展	10
一、国外地铁和轻轨的发展	10
二、发达国家地铁建设的经验	15
三、中国地铁的发展	16
思考题	23
第二章 地铁与轻轨交通线路规划与设计	24
第一节 线路网络规划	24
一、规划设计原则	24
二、网络规划内容	26
三、路网规划对城市发展结构的影响	32
四、城市轨道交通线路客流预测	36
五、交通方式选择	40
第二节 线路设计	44
一、基本规定	44
二、选线	45
三、线路平面设计	50
四、线路纵断面设计	55
第三节 轨道与路基工程设计	58
一、钢轨	58
二、扣件	60
三、轨枕	67
四、道床	68
五、路基	74
六、轨距加宽、超高	79
七、线路标志	80

第四节 限界	81
一、限界确定的一般规定	81
二、制定限界的基本参数	81
三、制定建筑限界的原则	82
四、A 型、B ₁ 型及 B ₂ 型车限界图	85
思考题	88
第三章 地铁与轻轨车站的建筑设计	89
第一节 概述	89
第二节 地铁车站建筑设计	90
第三节 轻轨车站建筑设计	112
第四节 地铁与轻轨车站建筑设计实例	119
思考题	147
第四章 地铁与轻轨交通的结构设计	148
第一节 一般规定	148
一、地下结构(地铁车站、隧道等)	148
二、高架结构	151
第二节 地铁车站的结构设计	152
一、地铁车站结构选型的原则与特点	152
二、地铁车站的结构形式	154
三、地铁车站结构的荷载内力计算与设计	160
四、地铁车站结构的构造设计	164
第三节 地铁区间隧道的结构设计	166
一、地铁区间隧道结构选型的原则和特点	166
二、地铁区间隧道的结构形式	167
三、地铁区间隧道的截面设计与构造	174
四、地铁区间隧道结构的荷载内力计算方法	178
五、地铁区间隧道的结构设计	178
第四节 轻轨交通的高架结构设计	187
一、选型的原则	187
二、轻轨车站结构形式	187
三、轻轨交通的截面设计与构造	188
四、高架桥结构设计	190
第五节 地铁设计实例	191
一、工程概况	191
二、设计要求	192
三、结构形式	192
四、计算条件	192
五、围护结构计算	195
六、车站使用阶段横向框架结构计算	198
七、车站纵向分析	200

八、抗浮验算	200
九、抗震要求	200
十、人防验算	201
十一、结构防水	201
第六节 轻轨高架桥车站设计实例	202
一、工程概况	202
二、设计原则及技术标准	202
三、结构形式	203
四、荷载类型及组合	204
五、工程地质概况及基础选型	206
思考题	206
第五章 地铁与轻轨交通的施工	207
第一节 施工组织与管理	207
一、施工组织设计	207
二、施工总平面图	210
三、施工进度计划	217
四、质量管理	220
五、经济管理	223
六、现场管理	226
第二节 施工方法选择和新工艺、新材料、新设备	229
一、施工方法选择	229
二、新工艺、新材料、新设备	237
第三节 车站施工	246
一、常用施工方法	246
二、工程实例	249
三、发展与展望	255
第四节 区间隧道的施工	256
一、山岭地区区间隧道的施工	256
二、软土地区深埋隧道的施工	262
三、水下沉管隧道施工	269
四、地铁区间隧道联络通道施工	272
第五节 轻轨高架桥车站及线路的施工	277
一、基础施工	277
二、立柱施工	278
三、桥梁施工	278
四、轻轨高架车站施工	284
思考题	284
第六章 地铁与轻轨设备系统	285
第一节 供配电系统	285
一、供电方式	285

二、负荷等级	285
三、供配电系统内容	285
四、供电监控系统(SCADA)管理自动化	289
五、车站动力、照明	290
六、车站人防电气设计	293
七、防雷与接地	294
八、杂散电流防护	295
第二节 通风和环境控制系统	295
一、概述	295
二、舒适图和 PMV—PPD 指标	296
三、地铁环境控制特点	297
四、地铁环控系统分类	298
五、得热量计算	299
六、通风量的计算	304
七、防排烟系统	305
八、阻塞通风和通风空调设备	306
第三节 给水排水及消防系统	310
一、消防设计	310
二、给水排水设计	313
第四节 通信和信号系统	317
一、通信	317
二、信号	323
第五节 自动售检票系统(AFC)	327
一、票制及票务管理	327
二、系统组成及功能	327
思考题	329
第七章 灾害与防护	330
第一节 灾害分类	330
第二节 防灾设计的原则及技术要求	332
一、防灾设计原则	332
二、技术要求	332
第三节 地下铁道地震灾害防护	337
一、地下铁道震害调查	337
二、抗震设计方法	342
三、抗震构造措施	345
第四节 防杂散电流	346
一、杂散电流产生	346
二、杂散电流测定	346
三、防迷流专业要求	347
四、工程实例	347

第五节 火灾防护	350
一、地下工程火灾发生的特征和危害	352
二、地铁工程火灾的防护对策	356
三、地下铁道工程消防	358
第六节 地铁工程的防水	363
一、防洪涝积水回灌	364
二、地铁工程防水材料	364
三、地铁车站防水	367
四、盾构法圆形隧道衬砌结构防水	374
第七节 施工诱发环境灾害的预测和防护	376
一、引言	376
二、建筑物和公用设施损坏判据	377
三、施工监测	382
四、沿线建筑物调查	385
五、建筑物及管线的保护方法	385
六、建筑物、构筑物、管线保护实例	386
第八节 战争灾害的防护	400
一、现代战争的特点	400
二、地铁工程防护设计	401
三、地铁工程平战功能转换	407
思考题	408
附录	409
参考文献	427

第一章 绪 论

地铁和轻轨都属于城市快速轨道交通的一部分,因其运量大、快速、正点、低能耗、少污染、乘坐舒适方便等优点,常被称为“绿色交通”。世界范围内人口向城市集中,城市化步伐加快,大中型城市普遍出现人口密集、住房紧缺、交通阻塞、环境污染严重、能源匮乏等所谓“城市病”。地铁和轻轨经过 150 年的发展,机车车辆、自动控制、通信和信号等技术方面有了很大的进步,很多方面代表和体现了当今高新科学技术发展的水平。发达国家的经验表明,地铁和轻轨是解决大中城市公共交通运输的根本途径,对于 21 世纪实现城市持续发展有非常重要的意义。

第一节 我国大中城市的交通问题

一、大中城市的交通现状

1. 交通阻塞,行车速度慢

交通阻塞,行车速度缓慢,已成为我国许多城市普遍存在的突出问题,就连新兴城市深圳也不例外。北京市主干道平均车速比 10 年前降低 50% 以上,而且以每年递减 2km/h 的速度持续下降。在 20 世纪 60 年代公交运营速度平均为 40km/h 左右,到了 90 年代已下降到 10km/h。市区 183 个路口,据统计严重阻塞的达 60%,阻塞时间达半小时。上海市一些重要路段的平均车速仅 8km/h。公交的服务水平日益下降,客运效益越来越差,以至造成大量自行车涌上街头,出租汽车、私人轿车不断增加。

2. 交通秩序混乱

我国城市传统的混合用地模式,即步行、自行车、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,交通次序混乱,交通事故频增。目前我国城市自行车总数已超过一亿辆,一些特大型城市自行车的保有量达几百万辆以上。一辆公共汽车的载客量相当于上百辆自行车的载客量,而几辆自行车在道路上运营空间就占去相当于一辆公共汽车所占道路面积。大量的自行车随意穿行街道,必然造成交通阻塞、车速低。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。

3. 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。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 12 000 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交通的 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%。同样，若以北京“五五”期间车速为标准进行计算，仅公共汽车乘车的时间损失一项，每年的经济损失就高达 792 亿元。

二、引起城市交通阻塞的原因

1. 道路面积少

交通阻塞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太低，见表 1-1。

世界主要都市人口与道路密度对比表

表 1-1

城 市	人口密度(人/km ²)	道路面积占城市面积(%)	人均道路面积(m ²)
东京	13 158	15.0	11.3
大阪	11 809	17.6*	14.9
首尔(汉城)	18 047	12.0*	6.5
德里	6 579	16.45*	25*
海德拉巴	17 036	17*	10.06*
马德拉斯	22 133	12.7*	5.72*
雅加达	12 435	7.5*	6.09*
开罗	31 522	33.6*	10.6*
布宜诺斯艾利斯	14 827	17.9*	12.10*
巴黎	20 445	15*	7.32*
巴塞罗那	16 459	15.9	9.69
莫斯科	8 953	8.12	9.10
伦敦	4 363	9.3*	21.3*
纽约	8 886	12.38*	13.9*
曼谷	3 554		
北京城区	27 000	8.4	4.4
上海城区	40 000	8.3	1.6

注：① * 估计数字，假设了道路宽 10m；

②资料来源：《世界大都市比较统计年鉴》1994、《国际统计年鉴》1996 年。

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。根据上海统计年鉴(2005 年)资料，2004 年底上海市道路长度 11825km，为 1990 年道路总长度的 7.25 倍。2004 年底民用车辆拥有量为 326.92 万辆，外地车有 15 万辆，每公里汽车拥有量仍然约为 276 辆。此外还有 750 万辆非机动车。市区汽车拥有量大大高于郊区，近年来郊区高速公路增长显著，因此市区汽车拥塞，行车速度下降没有得到根本的缓解。据统计，北京市 2004 年末汽车保有量为 187.1 万辆，其中轿车 109.6 万辆、私人汽车 129.8 万辆(其中轿车 80.3 万辆)，机动车拥有约为 380 万辆。虽然北京市市区快速环线、城市立交桥、郊区高速道路发展速度占全国首位，但道路增长仍跟不上汽车的增长速度，市区上下班高峰时候经常出现汽车阻塞、人流拥挤现象。城市道路增长是有限度的，总是跟不上汽车和人口的增长，开发地下空间，建设快速轨道交通是必然趋势。

2. 人口密集、客流量大

近年来我国城市化步伐加快，百万人口以上的城市已达 35 座之多，50~100 万人口之间的城市也超过 43 座。按照国际标准，城市人口密度大于每平方公里 2 万人，属于拥挤情况。20 世纪 80 年代初，我国城市人口平均为 4 万/km²，局部地区有 16 万人/km²。据上海市 2005 年统计年鉴统计，2004 年底户籍总人口 1289.13 万人，人口密度(包括郊区)2133 人/km²。黄浦区

4.93 万人/ km^2 ,密度最高。9 个老城区中 3 个区人口密度超过 4 万人/ km^2 以上,人口密度最小的普陀区也达到 1.55 万人/ km^2 。而处于郊区的奉贤区人口密度只有 743 人/ km^2 。将老城区密集人口向郊区疏散,只能通过城郊快速轨道交通来实现。北京市内的四个区平均 2.7 万人/ km^2 ,均处于饱和状态,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,在如此狭小的空间布置工业、居住、办公和交通用地,必然导致人均道路面积和城市绿地的减少。我国许多大中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 8~9 万人次,低运输量的公共交通运输工具很难适应客流增长的需要。

3. 缺乏科学的现代化管理

路网规划不合理,各种交通工具换乘联运不便,停车场、加油站、维修点配套不齐,现有的道路、高架、地铁使用效率不高,居民利用机动车出行的程度低,平均每人每天只有 0.8 次。上海目前每公里地铁承担的客运量不到香港的 1/3,小于应有的负荷。市民的交通文明意识和交通法规有待提高和改进。现代化的交通工具,一流的管理,文明的乘客,才能做到道路的畅通无阻。

三、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向断面客流量将高达 3~7 万人次/小时。如此巨大的客流量,单采用运能 8~9 千人次/小时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,而大量发展私人轿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,不能无限制的扩展道路。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。

第二节 地铁和轻轨交通的特点

一、共同的特点

地铁和轻轨均属于城市快速轨道交通的一部分。轨道交通还包括单轨交通、新交通、磁悬浮交通等交通系统。它们虽各有特色,但都能为居民提供优质快速的交通服务。地铁和轻轨交通客运量大、速度快、安全、正点、污染小、低能耗、方便舒适,世界上又称之为“绿色交通”。

二、不同的特点

1. 轮轨系统

地铁和轻轨都是利用轨道作为车辆导向运输方式,以钢轮和钢轨(胶轮和钢筋混凝土凹槽)为走行系统的交通方式。

(1)钢轨选用原则上应以轨道承受的荷重来区分。虽然轻轨车辆轴重较轻,如我国轻轨样车的轴重只有 100kN,但为了保证客车车辆运行的质量,使钢轨有较长的使用寿命以及适应无缝线路的需要,在正线上宜采用 60kg/m 的钢轨,在车场支线内可采用 50kg/m 的钢轨。上海明

珠轻轨线的轨道设备考虑到运营强度和城市环境条件,努力减少运营期间轨道设备的维修,选用 60kg/m(PD₃型)高强度耐磨钢轨。目前我国地铁钢轨均采用 60kg/m 的重型钢轨,只有车场空车运行、速度低的区段,才选用 50kg/m 和 43kg/m 的轻型钢轨,而且地铁和轻轨都趋向于选用重型钢轨,因为重型钢轨不仅能增强轨道的稳定性,减少养护和维修工作量,并能增大回流断面,减少杂散电流。

(2)弹性扣件和减震垫层的作用是固定钢轨正确位置,阻止钢轨纵向和横向位移,防止钢轨倾翻,还能提供适量的弹性,并将钢轨所受的力传递给轨枕或道床承轨台。北京地铁一、二期工程均采用 DTI 型扣件,经过三十几年的试铺使用和地铁运营的实践,扣件状态良好。北京地铁复八线、复兴门至西单段铺设 DTIV 型扣件。上海地铁 1 号线一般减震地段铺设 DT III 型扣件。轻轨线扣件分为轻轨 I 和轻轨 II 型扣件。上海明珠轻轨线选用自行研制的 w_{j-2} 型分开式大调整量小阻力的弹性扣件,可以使钢轨纵向力与桥梁结构合理匹配。高架轻轨的减震垫层为压缩型橡胶垫板,置放在钢轨和承轨台之间。

(3)轨道结构从运营管理和环境保护方面考虑,城市高架轨道交通不适宜采用有碴轨下基础,多采用弹性支承轨道结构、无枕式整体道床。上海明珠轻轨高架线选用承轨台式新型整体轨下基础。轨枕式整体道床和浮置板式整体道床在地铁工程中广泛应用,因为重量大,会加大桥梁的荷重,增加工程造价,故不宜用在高架轻轨线上。

2. 运输量

地铁是特大容量的公共交通工具,轻轨为大容量的交通运输工具,而有轨电车和公共汽车为小容量的交通运输工具。地铁单向高峰每小时载运 30 000 ~ 90 000 人次,轻轨单向高峰平均每小时客运量为 10 000 ~ 30 000 人次,有轨电车和公共汽车单向高峰平均每小时载客量低于 10 000 人次。各种轨道交通系统的主要技术特征如表 1-2。

各种快速轨道交通系统主要技术特征表

表 1-2

轨道交通运能分类	I(高运量)	II(大运量)	III(中运量)	
	(地铁)		(轻轨)	市郊轨道
单向运能(万人次/小时)	5~7	3~5	1~3	1~3
适用车型	A	(B 或 A)	C(或 B)	C(或市郊列车)
列车最大长度(m)	185	140	100	
线路型式(市中心区)	全封闭	全封闭	半封/全封闭	半封/全封闭
最高速度(km/h)	≥80	80	60~80	80~120
旅行速度(km/h)	30~40	30~40	20~30/30~40	30~60

3. 线路的规划

(1)轻轨高架线路。轻轨线以高架线和地面线路为主,只有在繁华市区不得已时才采用地下线,以浅埋区间段为宜,一般不设地下车站。轻轨线主要沿街道布线,时而转弯,时而高架或入地,线路的曲率半径小,坡度大。根据我国城市的特点和车辆的技术条件,建议正线列车设计最高运行速度大于 80km/h,列车旅行速度一般不低于 35km/h,平曲线最小曲率半径 $R_{\min} = 300\text{m}$,特殊困难地段可以采用半径 $R = 250\text{m}$,最大坡度 $i_{\max} = 60\text{‰}$ 。

(2)地铁线路。早期的地铁,大部分线路都设在地下,自 70 年代以来,地铁吸收了轻轨的一些技术优点,并且为了减少造价,只是在市区建筑物密集的地段设在地下,在市郊结合部和郊区,在建筑场地和环境允许的情况下,线路和车站均建在地面和高架上。地铁线路沿主要交通干道布线,在商业、文化、政治中心和交通枢纽附近布置地下车站。由于地铁速度快,运量

大,为了减少轮轨的磨耗,一般情况下地下铁道正线最小曲率半径为 500 ~ 550m,特殊困难地段为 400 ~ 450m。北京地铁一期特殊地段最小曲率半径为 200m,但钢轨磨耗严重。地铁二期最小曲率半径为 250m,磨耗情况尚可,在曲率半径 $R \geq 300m$ 的线路上,未发现不正常磨耗现象。地铁由于高密度行车和大运输量,为了保证行车的安全正点,原则上要求列车失去部分(最大可达到一半)牵引动力的条件下,仍能用另一部分牵引力将列车从最大坡度上启动,为此最大坡度阻力及各种附加阻力之和不宜大于列车牵引力的一半。我国地铁设计规范规定,正线最大坡度不宜大于 30‰,困难地段可为 35‰,联络线、出入线的最大坡度不宜大于 40‰(均不考虑各种坡度折减值)。一般重车的最大坡度值为 40‰ ~ 45‰。隧道线路要满足纵向排水要求,最小坡度一般不宜小于 3‰。线路工程主要技术标准见表 1-3。

线路工程主要技术标准

表 1-3

基本车型		A	B	C
最小曲线半径 (m)	正线	300 ~ 350	250 ~ 300	50 ~ 100
	辅助线	250	150 ~ 200	25 ~ 80
	车场线	150	80 ~ 110	25 ~ 80
最大坡度 (‰)	正线	30 ~ 35	30 ~ 35	60
	辅助线	40	40	60
	车场线	1.5	1.5	1.5
竖曲线半径 (m)	正线	3 000 ~ 5 000	2 500 ~ 5 000	1 000
	辅助线	2 000	2 000	1 000
钢轨 (kg/m)	正线	≥ 60	50 ~ 60	50
	辅助线	≥ 50	≥ 50	50
道岔 (NO, R0)	正线	9/200	9/200 或 7/150	7/150
	车场	7/150	6/110	(待定)

4. 车辆及其编组

轻轨车辆较地铁车辆新颖,有单节四轴车、双节单铰六轴车、三节双铰八轴车。车辆间采用铰接,可使车辆间贯通,有利于乘客均匀分布及增加载客量,每组车可以单行,也可以联挂编列,可以通过小的曲率半径($R = 25m$)和大坡度(6% ~ 7%)地段,适应能力强。各种车型主要技术规格如表 1-4。

各种车型主要技术规格

表 1-4

序号	项目名称		A 型车	B 型车	C 型车		
			四轴车	四轴车	四轴车	六轴车	八轴车
1	车辆基本长度(m)		22	19	18.9	22.3	29.5
2	车辆基本宽度(m)		3	2.8	2.6		
3	车辆高度(m)	受流器车(m)(加空调/无空调)	3.8/3.6	3.8/3.6	3.7/3.25		
		受电弓车(m)(落弓高度)	3.8	3.8	3.7		
		受电弓工作高度(m)	3.9 ~ 5.6				
4	车内净高(m)		2.10 ~ 2.15				
5	地板面高(m)		1.1		0.95		
6	车辆定距(m)		15.7	12.6	11	7.2	