



高等轨道交通
系列教材

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG
TUJIAN GONGCHENG

城市轨道交通 土建工程

张兴强 / 主编 张艳英 / 主审
朱竟争 熊钰冰 胡庆华 / 副主编



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

高等教育城市轨道交通系列教材

城市轨道交通土建工程

		张兴强	主 编
朱竞争	熊钰冰	胡庆华	副主编
		张艳英	主 审

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要包括城市轨道交通线路和轨道结构、区间隧道工程、高架桥梁工程和城市轨道交通车站等7章内容,以《地铁设计规范》(GB 50157—2003)和《城市轨道交通技术规范》(GB 50490—2009)为依据,紧密结合生产实践,内容丰富,图文并茂,系统性和实用性强,章前有本章的重点学习内容介绍,章后配有思考题,供读者学习。

本书可以作为大中专院校城市轨道交通工程专业的教材,也可作为继续教育、成人教育的专业课教材,并可供城市轨道交通工程设计、施工、管理单位的工程技术人员学习参考。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通土建工程/张兴强主编. —北京:北京交通大学出版社,2011.8

(高等教育城市轨道交通系列教材)

ISBN 978 - 7 - 5121 - 0716 - 8

I. ①城… II. ①张… III. ①城市铁路 - 铁路工程:土木工程 - 高等学校 - 教材
IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第176035号

责任编辑:贾慧娟 特邀编辑:王磊

出版发行:北京交通大学出版社 电话:010-51686414

地 址:北京市海淀区高粱桥斜街44号 邮编:100044

印刷者:北京交大印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:12.75 字数:320千字

版 次:2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

书 号:ISBN 978 - 7 - 5121 - 0716 - 8/U · 73

印 数:1~2500册 定价:26.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监局反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

《高等教育城市轨道交通系列教材》

编 委 会

顾 问：施仲衡

主 任：陈 庚

副 主 任：朱晓宁 司银涛 章梓茂

委 员：郑光信 毛保华 韩宝明

赵晓波 贾慧娟 李 菊

本书主编：张兴强

本书主审：张艳英

出版说明

为促进城市轨道交通专业教材体系的建设,满足目前城市轨道交通专业人才培养的需要,北京交通大学交通运输学院、远程与继续教育学院和北京交通大学出版社组织以北京交通大学从事轨道交通研究教学的一线老师为主体、联合其他交通院校教师,并在北京地铁公司、广州市地下铁道总公司、南京地下铁道有限责任公司、北京市轨道交通建设管理有限公司、香港地铁公司等单位有关领导和专家的大力支持下,编写了本套“高等教育城市轨道交通系列教材”。

教材编写突出实用性,文字简洁明了。本着“理论部分通俗易懂,实操部分图文并茂”原则,侧重实际工作岗位操作技能的培养。为方便读者,本系列教材采用“立体化”教学资源建设方式,配套有教学课件、习题库、自学指导书,并将陆续配备教学光盘。本系列教材可供相关专业的全日制或在职学习的本专科学生使用,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

本系列教材的出版受到施仲衡院士的关注和首肯,多年从事城市轨道交通研究的毛保华教授和朱晓宁教授对本系列教材的编写给予具体指导,《都市快轨交通》杂志社主办和协办单位专家也给予本教材多方面的帮助和支持。在此一并致谢。

本系列教材从2011年8月起陆续推出,首批包括:《城市轨道交通设备》、《列车运行计算与设计》、《城市轨道交通系统运营管理》、《城市规划》、《轨道交通需求分析》、《交通政策法规》、《城市轨道交通规划与设计》、《企业发展战略》、《城市轨道交通土建工程》、《城市轨道交通车辆概论》、《城市轨道交通牵引电气化概论》、《城市轨道交通通信信号概论》、《城市轨道交通列车运行控制》、《城市轨道交通信息技术》、《城市轨道交通运营统计分析》、《城市轨道交通安全管理》、《交通运营统计分析》、《城市轨道交通客流分析》、《城市轨道交通服务质量管理》、《轨道交通客运管理》。

希望该套教材的出版对城市轨道交通的发展、对城市轨道交通专业人才的培养有所贡献。

教材编写委员会

2011年6月

总 序

近年来,中国经济飞速发展,城市化进程逐步加快。在大城市中,地面建筑越来越密集,人口越来越多,交通量越来越大,交通拥堵对社会效益和经济效益都带来了很大影响。据统计国内每年由于交通拥堵造成的损失将近一千多亿元。

解决交通拥堵,有各种各样的方法,其中城市轨道交通由于在土地利用、能源消耗、空气质量、景观质量、客运质量等方面的优势,正逐步成为许多大城市交通发展战略中的骨干,并形成以地铁、城市快速铁路、高架轻轨等为主的多元化发展趋势。

我国城市轨道交通从20世纪50年代开始筹划。1965年7月,北京市开始兴建中国第一条地下铁道。经过近50年,特别是近十年的发展,截至2010年底,我国已有13个城市拥有49条运营线路,总里程达1425.5km。另有16个城市,总计96条、2000余km的线路正在建设中。目前已发展和规划发展城市轨道交通的城市总数已经接近50个,全部规划线路超过300条,总里程超过10000km。

随着城市轨道交通在全国范围的迅猛发展,各地区均急需轨道交通建设、运营管理的大批技术人员和应用型人才。目前全国有近百所高等院校和高等职业院校开设或准备开设城市轨道交通及相关专业。全国几十家相关企业,也都设立自己的培训中心或培训部门。

从目前的情况来看,在今后几年城市轨道交通人才的培养应该是各大专院校的学历教育与企业、社会的能力培训相结合的状态。但现实情况是相关的教材,特别是培养应用型人才的优质教材、教学指导书的建设和出版严重不足,落后于城市轨道交通发展的需要。

2011年初,北京交通大学远程与继续教育学院、交通运输学院、北京交通大学出版社共同筹划出版了“高等教育城市轨道交通系列教材”。这套教材的出版,恰逢其时。首先,这套教材的作者是由国内该领域的学术界和企业界的知名专家执笔。他们的参与,既保证了对中国轨道交通探索与实践的传承,同时也突出了本套教材的实用性。其次,它丰富、实用的内容和多样性的课程设置,为行业内“城市轨道交通”各类人才的培养,提供了专业的、实用的教材。

祝愿中国轨道交通事业蓬勃发展,也祝愿北京交通大学出版社这套“高等教育城市轨道交通系列教材”能够为促进我国城市轨道交通又好又快发展提供支撑!

中国工程院院士



2011年5月

前 言

随着城市规模不断扩大,城市交通已经是不得不面对的严重的社会问题。城市轨道交通作为一种有效的运输方式近年来在我国许多城市有了迅猛的发展。今后若干年将是我国城市轨道交通高速建设发展时期,这需要大量的合格城市轨道交通专业人员,以保证最大可能地节约资金与资源,求得最佳的社会效益。为了培养符合新时期要求的城市轨道交通人才,本书参考《地铁设计规范》(GB 50157—2003)和《城市轨道交通技术规范》(GB 50490—2009),组织有关人员编制了《城市轨道交通土建工程》一书。

本书认真贯彻和执行了《地铁设计规范》(GB 50157—2003)和《城市轨道交通技术规范》(GB 50490—2009),并参考了铁道工程的相关最新技术规范,体现了本书的时效性。

本书在内容上博采众长,广泛参考和吸取了国内外相关教材的优点。同时编写时充分考虑了城市轨道交通工程专业特色和学生知识构架,注重与其他课程的衔接与有机联系。

在教材知识结构和教材组织上,以城市轨道交通线路工程和土建结构工程为主要构架,介绍了城市轨道交通线路设计、各主要结构区间隧道工程、高架桥梁工程和城市轨道交通车站的设计及施工。本书内容做到层次清晰、重点突出、结构合理,每章前有本章重点学习内容,章后设置了思考题,有助于学生尽快学习和理解该章的知识结构,并通过习题掌握该章的知识点。

本书共分7章,全书由张兴强主编,其中第3章由王臻、杨雪编写,第4章由朱竟争编写,第6章由熊钰冰、胡庆华编写,其余章节由张兴强编写。同时本书参考了有关规范、标准、教材和论著的内容,在此谨向有关编著者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,恳请读者批评指正,以便进一步修正、补充和完善。

编者

2011年5月

目 录

第1章 绪 论	
1.1 城市轨道交通体系	3
1.1.1 城市轨道交通体系组成	3
1.1.2 地铁系统的构成	6
1.2 国内外城市地下铁道的发展	10
第2章 城市轨道交通线路和轨道结构	
2.1 概述	19
2.1.1 城市轨道交通线路类型	19
2.1.2 限界	25
2.2 线路平面	30
2.2.1 线路的平面位置	30
2.2.2 线路的平面线形	32
2.2.3 线路平面主要技术指标	36
2.2.4 线路平面设计	38
2.3 线路纵断面	39
2.3.1 坡度和坡长	39
2.3.2 竖曲线	40
2.3.3 线路纵断面设计	41
2.4 轨道结构	43
2.4.1 道床	44
2.4.2 钢轨	48
2.4.3 道岔、轨机和扣件	52
第3章 区间隧道工程	
3.1 概述	58
3.1.1 区间隧道分类	58
3.1.2 区间隧道截面的几何尺寸	59
3.1.3 隧道围岩	60
3.1.4 区间隧道所受荷载及工程材料	61
3.2 区间隧道施工方法	63
3.2.1 明挖法	63
3.2.2 暗挖法	71
3.2.3 沉管法	80
3.2.4 区间隧道主要施工方法比较	82
3.3 区间隧道的结构	83
3.3.1 明挖法施工区间隧道结构	83
3.3.2 矿山法施工区间隧道结构	83
3.3.3 盾构法施工区间隧道结构	87
第4章 高架桥梁工程	
4.1 概述	91
4.1.1 城市轨道交通高架桥的特点	91
4.1.2 高架桥的分类	93
4.1.3 高架桥设计原则	95
4.2 高架桥的上部结构及附属结构	97
4.2.1 上部结构	97
4.2.2 附属结构	103
4.3 墩台结构	105
4.3.1 桥墩的类型	105
4.3.2 桥墩构造	112
4.3.3 桥台	114
4.4 基础	116
第5章 城市轨道交通车辆段	
5.1 车辆段概述	122
5.1.1 车辆段的组成	122
5.1.2 车辆段的线路配置	123
5.2 车辆段的平面布置	125
5.2.1 车辆段平面布置的原则	125
5.2.2 车辆段的选址	126
5.2.3 车辆段的规模	127
第6章 城市轨道交通车站	
6.1 概述	137

6.1.1 车站分类	138	6.4.3 地面车站的布局设计	168
6.1.2 车站组成	142	第7章 给排水系统及结构防水	
6.1.3 车站的总平面布局	144	7.1 给水系统和排水系统	175
6.2 地下车站	147	7.1.1 概述	175
6.2.1 概述	147	7.1.2 给水系统	176
6.2.2 地下车站分类	148	7.1.3 排水系统	179
6.2.3 地下车站的结构类型	149	7.2 结构防水	181
6.2.4 地下车站的建筑设计	151	7.2.1 防水材料	181
6.3 高架车站	156	7.2.2 结构主体防水	184
6.3.1 概述	156	7.2.3 细部结构防水	187
6.3.2 高架车站分类	157	附录 A 城市轨道交通土建工程模拟试题	
6.3.3 高架车站的结构类型	159	A1 模拟试题1	191
6.3.4 高架车站的建筑设计	162	A2 模拟试题2	192
6.4 地面车站	166	参考文献	
6.4.1 地面车站的形式	166		194
6.4.2 地面车站组成	168		

1

第 1 章 绪论

本章内容简介

本章在对我国城市交通现状及产生原因分析的基础上,介绍了城市轨道交通体系组成形式——地下铁道、轻轨、城市铁路、独轨、磁悬浮、索轨交通等的概念,并以地下铁道系统为例,介绍了其供电、通信信号、环控系统、车辆和土建结构等主要构成的系统组成。最后以纽约、伦敦、东京和北京城市轨道交通的发展历史,介绍了世界主要城市轨道交通的发展。

本章学习重点

1. 各种城市轨道交通方式的概念;
2. 地铁车辆的形式和主要技术规格;
3. 地铁土建工程的组成;
4. 世界主要城市轨道交通的发展。

城市是人口稠密,具有生产、生活和行政管理等功能的区域,一般包括住宅区、工业区和商业区,城市是人类文明进步的重要标志,也是一个国家或地区的政治、经济、文化和科学技术中心。随着我国国民经济的迅速发展,城市规模不断扩大,而土地开发利用和经济区域的布局又主要是在老城区周边,城市人口高度集中,居民出行更加频繁。例如,目前我国北京城市机动车辆接近 500 万辆,机动车年平均增长率迅速,但是城市道路等基础设施建设远远跟不上社会和经济发展的需要,单一的道路系统与多元化交通工具的共存已显得越来越不相适应,传统的公共交通客运方式已不能满足现代城市居民快速、频繁出行的要求。目前城市日常交通不顺畅已经严重影响了城市居民的生活质量和城市经济发展的动力,产生了严重的社会问题,具体表现为以下几点。

① 交通阻塞,行车速度慢。这已成为我国许多城市普遍存在的突出问题。北京、上海等城市一些主干道平均车速为 10km/h,市区路口严重阻塞的达 60%,阻塞时间也越来越长。

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,交通秩序混乱,交通事故频增。

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,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。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。

造成我国城市交通现状的因素主要表现在以下几点。

① 城市化的快速发展。随着农村地区向城市化转变的过程加快,旧市区的改造和城市区域的扩大,大都市圈和大城市形成的日新月异,赖以疏通人员和货物的交通设施,往往不能适应当地与城市化进程同步发展,是造成交通困扰的主要原因之一。

② 城市布局与规划不合理。我国城市布局欠合理,居住区与工作岗位分布不平衡,商业、政府行政办公和娱乐设施过于集中,使人们出行距离过长,出行目的过于集中。现代城市的发展则是以包括地下、高空的利用在内的立体化为基本形式,然而我国大城市在进行城市总体规划时大都限于平面规划。

③ 公共交通结构不当。我国大城市的公共交通方式,绝大多数还是利用传统、低运能的交通工具。由于经济的高速发展和城市的不断扩大,在市区同一条客运走廊上每小时集中运送 1 万人次以上客流的情况已相当普遍,与之相对应的高、中运能的轨道交通客运方式在我国城市还很少,更谈不上高、中、低运能不同方式的合理布局。表 1-1 为几种轨道交通方式的技术表。

表 1-1 几种轨道交通方式主要技术表

轨道交通运能分类	I (高运量)	II (大运量)	III (中运量)	
	地铁		轻轨	市郊铁路
单向运能/(万人次/h)	5~7	3~5	1~3	1~3
适用车型	A	B 或 A	C 或 B	C 或市郊铁路
列车最大长度/m	185	140	100	

续表

轨道交通运能分类	I (高运量)	II (大运量)	III (中运量)	
	地铁		轻轨	市郊铁路
线路形式 (市中心区)	全封闭	全封闭	半封闭/全封闭	半封闭/全封闭
最高速度/ (km · h ⁻¹)	大于 80	80	60~80	80~120
旅行速度/ (km · h ⁻¹)	30~40	30~40	20~30/30~40	30~60

④ 道路面积少。主要表现为城市道路面积与城市面积之比及人均道路面积太低。例如，东京城市道路面积占城市面积的比例为 15%，人均道路面积为 11.3 m²；而北京分别为 8.4% 和 4.4 m²。

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，实现可持续发展。

1.1

城市轨道交通体系

1.1.1 城市轨道交通体系组成

城市轨道交通体系按其系统运营方式，可分为地铁、轻轨、城市铁路、独轨、磁悬浮、索轨交通等多种模式。

1. 地铁

泛指车辆的轴重大于 15 t，高峰小时单向运输能力在 30 000 ~ 70 000 人左右的大容量轨道交通系统，其形式包括地下、地面和高架三种，如图 1-1 所示。表 1-2 列出了地铁的主要技术参数。



图 1-1 地铁形式

表 1-2 地铁主要技术参数

序号	项 目	技术参数	序号	项 目	技术参数
1	高峰小时单向运送能力	30 000~70 000 人	9	安全性和可靠性	较好
2	列车编组	4~8 节	10	最小曲线半径	300
3	列车容量	3 000 人	11	最小竖曲线半径	3 000
4	车辆构造速度	80~100 km/h	12	舒适性	较好
5	平均运行速度	30~40 km/h	13	城市景观	无大影响
6	车长平均间距	600~2 000 m	14	空气、噪声污染	小
7	最大通过能力	30 对/h	15	展台高度	一般为高站台, 乘降方便
8	与地面交通隔离率	100%			

2. 城市铁路

建在城市内部或内外结合部, 线路设施与干线铁路基本相同, 服务对象以城市公共交通客流, 即短途、通勤旅客为主, 而不是如干线铁路一样承担城际或省际的客货交流任务的铁路。按照城市铁路在单元内部服务范围的大小, 一般把城市铁路分成 2 个部分: 市郊铁路和城市快速铁路, 如图 1-2 所示。



图 1-2 城市铁路

3. 轻轨

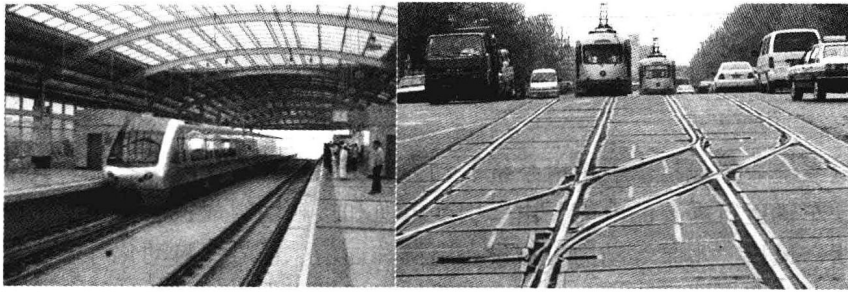
指车辆的轴重一般在 10t 左右, 高峰小时单向运输能力在 10 000 ~ 30 000 人左右的中等运量轨道交通系统, 如图 1-3 所示。

4. 独轨交通

是指车辆在一根导向轨道上运行的轨道交通系统。通常分为跨座式和悬挂式 2 种。跨座式是指车辆跨坐在轨道梁上行驶, 悬挂式是指车辆悬挂在轨道梁下方行驶, 如图 1-4 所示。

5. 磁浮交通

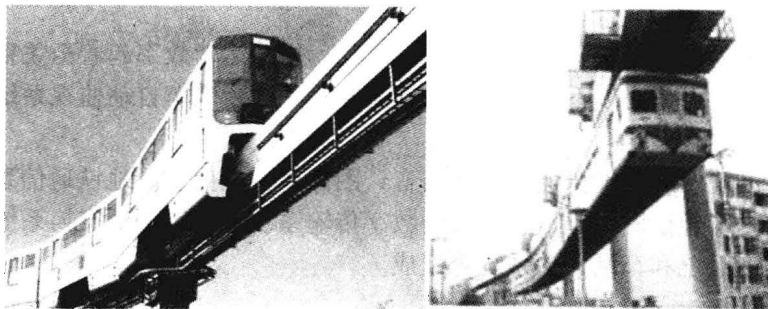
磁浮交通是一种非轮轨黏着传动，悬浮于地面的交通运输系统。一般介于常规高速铁路和航空运输之间的一种独特的运输方式。磁浮列车利用常导磁铁或超导磁体产生的吸力或斥力使车辆悬浮在运行轨道上方，用以上的复合技术产生导向力，并用直线电机产生牵引动力而行驶的列车，如图 1-5 所示。



(a) 现代轻轨

(b) 有轨电车

图 1-3 轻轨



(a) 跨座式

(b) 悬挂式

图 1-4 独轨交通

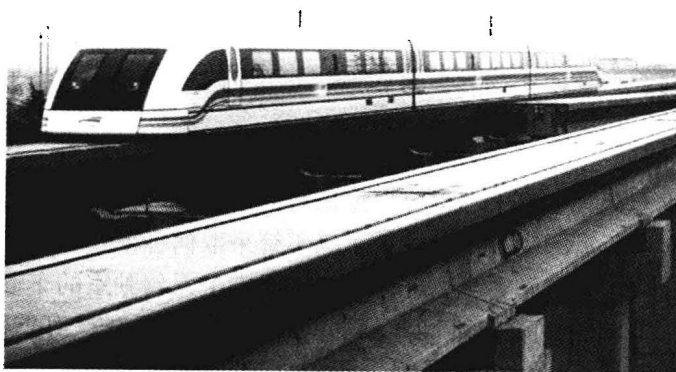


图 1-5 磁浮交通

1.1.2 地铁系统的构成

地下铁道系统主要由供电、通信信号、环控系统和车辆及土建结构系统组成。

1. 供电系统

电能是地铁系统必需的能源，几乎所有的地铁设备都离不开电力供应，一旦供电中断，整个地铁运输系统将处于瘫痪状态，因此高度安全、可靠的供电系统是地铁正常运营的重要条件和保证。

地铁供电系统一般包括牵引供电系统、动力照明系统和高压电源系统。其中，牵引供电系统供给地铁车辆运行需要的电能，由牵引变电所和接触网组成；动力照明系统提供车站和区间各类照明、风机、水泵等动力机械设备电源和通信、信号、自动化等设备电源，由降压变电所和动力照明配置线路组成；高压电源系统可以是市电直接供给地铁各变电所，也可由城市高压线路集中供给地铁线路，然后由电源变压器再分配给地铁沿线各变电所。

2. 通信信号系统

通信信号系统为确保行车安全、指挥列车运行、提高运营效率起着至关重要的作用。地铁信号系统按其功能可分为以下几部分：自动闭塞、联锁、列车自动监视系统、列车自动防护系统、列车自动运行系统。

为了迅速、准确、可靠地传递和交换语音、图像、数据信息，地铁通信系统是个自成体系的独立完整的内部通信网：通信网由光纤数字传输系统、数字电话交换系统、闭路电视监视系统、无线调度系统和车站广播系统等组成。

3. 环控系统

地铁环境控制系统是地铁的重要组成部分，关系到乘客旅行安全和旅途心情，影响着地铁对广大市民的吸引力。早期地铁较少考虑环境问题，以致乘客乘坐地铁必须忍受高温、高湿及污浊的空气。随着经济和社会发展水平的提高，乘客对乘车环境有了更高的要求，不少城市开始在地铁系统中增设环境控制系统以满足乘客要求。环境控制系统主要包括地铁通风、空调和采暖等设备。

4. 车辆

地铁车辆作为旅客运载工具，不仅要保证运行的安全、可靠、快速，而且应考虑乘客的舒适和方便及公共交通所需的大容量。地铁车辆不管采取何种模式，都是电动车组编组，即装有牵引电机能自行行走的电动客车，称为动车。通常把无驾驶室的车辆称为中间车，没有牵引电机但有驾驶室的车辆称为控制车，牵引电机和驾驶室都没有的车辆称为拖车，如图 1-6 所示。在编组运行时，带驾驶室的控制车始终在列车的两端，其他车型在列车中的位置可以互换，一般编组辆数为 4 ~ 8 节，最多为 11 节。无论是动车还是拖车，地铁车辆

主要由以下几部分组成：车体、转向架、牵引缓冲装置、制动装置、受流装置、车辆内部设备、车辆电气系统。

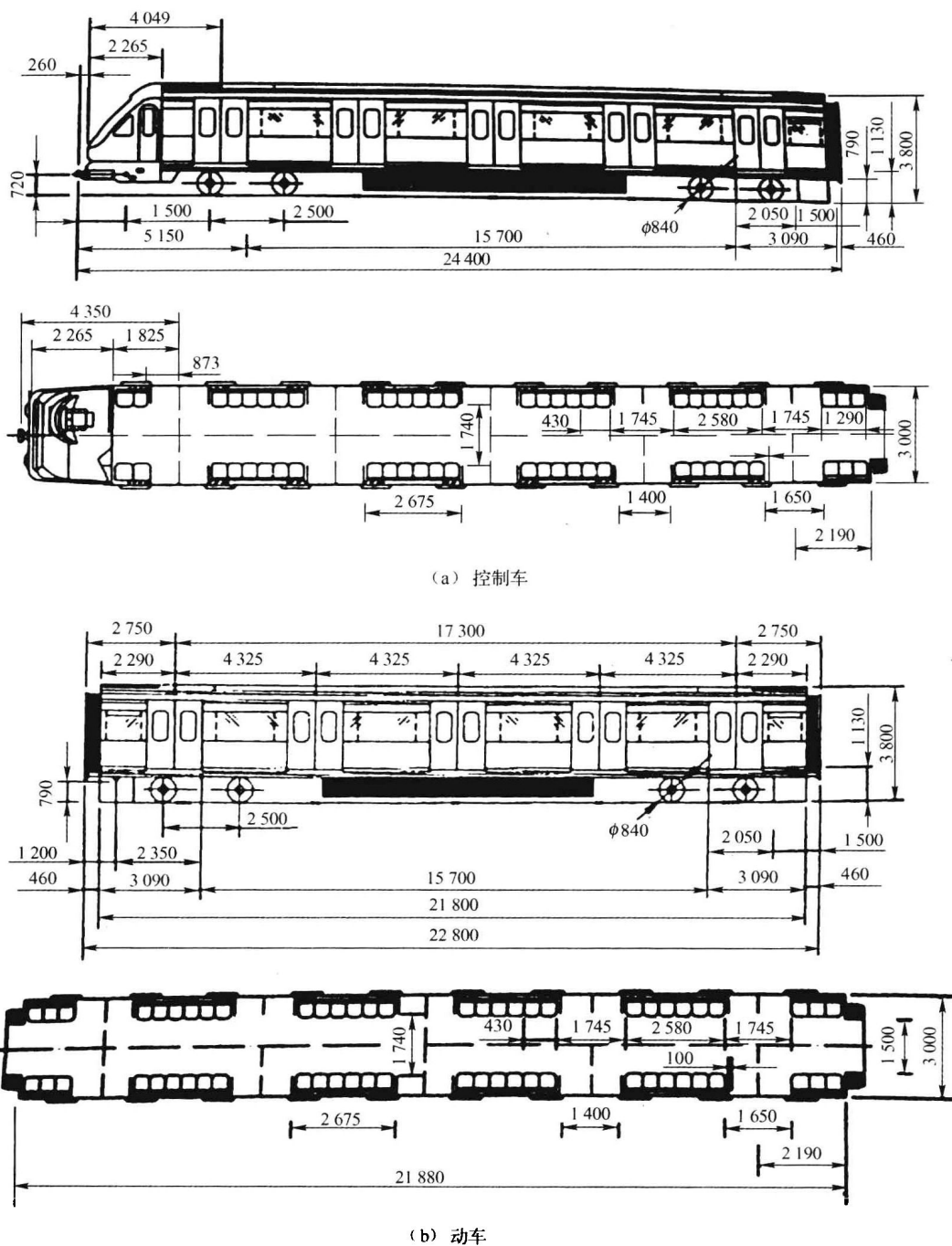


图 1-6 地铁车辆示意图

由于地铁车辆主要运行在地下隧道中，而且地铁线路曲线半径小、坡度大、站距短，与地面轨道车辆相比就要具备更好的技术性能。表 1-3 为地铁车辆的主要技术规格。地铁车辆不同于其他轨道车辆的主要特征如下。

表 1-3 地铁车辆的主要技术规格

名 称		A 型车	B 型车
车辆轴数		4	4
车体基本长度/mm	无司机室车辆	22 000	19 000
	单司机室车辆	23 600	19 600
车钩连接中心点间距离/mm	无司机室车辆	22 800	19 520
	单司机室车辆	24 400	20 120
车体基本宽度/mm		3 000	2 800
车辆最大高度/mm	受流器车	有空调	3 800
		无空调	3 600
	受电弓车（落弓高度）		≤3 810
	受电弓工作高度		3 900~5 600
车内净高/mm		2 100~2 150	
地板面距轨面高/mm		1 130	1 100
轴重/t		≤16	≤14
车辆定距/mm		15 700	12 600
固定轴距/mm		2 200~2 500	2 000~2 300
每侧车门数/对		5	4
车门宽度/mm		1 300~1 400	1 300~1 400
车门高度/mm		≥1 800	≥1 800
载员（人）	坐席	单司机室车辆	56
		无司机室车辆	56
	定员	单司机室车辆	310
		无司机室车辆	310
	超员	单司机室车辆	432
		无司机室车辆	432
车辆最高运行速度/（ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ）		80~100	80~100
起动平均加速度/（ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ） （0~35 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ）		0.83~1.0	0.83~1.0
最高级别常用制动平均减速度/（ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ）		1.0	1.0
紧急制动平均减速度/（ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ）		1.2	1.2

- ① 地铁车辆具有较好的加减速性能、起动快、停车制动距离短、平均运行速度高。
- ② 地铁车辆具有较大的载客容量，车门数多，便于乘客上下车，缩短停站时间。