

# 城市地下铁道与 轻轨交通

(第2版)

URBAN METRO AND  
**LIGHT RAIL TRANSIT**

周晓军 周佳媚 编著  
高波 主审

四川省 2008 年度重点图书  
西南交通大学出版基金资助

# 城市地下铁道与轻轨交通

(第 2 版)

URBAN METRO AND LIGHT RAIL TRANSIT

周晓军 周佳媚 编著  
高 波 主审

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

## 内容简介

本书是为满足高等院校土木工程专业城市轨道交通方向本科教学需要而编写的教材。全书共分 22 章,按照城市轨道交通规划、地铁与轻轨交通设计原理、地铁与轻轨交通土建工程施工以及城市轨道交通环境评价和运营管理 4 篇组织编写。第 1 篇主要介绍城市轨道交通发展历史、体系组成、规划与可行性研究以及路网规划与设计的基本原则和方法等;第 2 篇主要讲述地铁与轻轨车站建筑设计、车站建筑装修、车站结构与构造、区间隧道衬砌结构、地下结构计算、高架结构及建筑设备、地铁与轻轨环境和灾害控制及其耐久性设计等;第 3 篇主要讲述地铁与轻轨地下车站和区间隧道的常用施工方法与工艺;第 4 篇主要讲述地铁与轻轨交通工程建成后的环境评价、行车组织和运营管理等专业方面的基本知识。全书内容丰富,涉及专业面广,同时还列出了国内外城市轨道交通建设的部分工程实例,具有较强的实用性和系统性,便于读者阅读理解和自学。本书对城市地下铁道和轻轨交通工程的设计与施工具有参考价值。

本书可供城市轨道交通、隧道与地下工程、市政建设工程等相关专业的高等学校本科生和研究生使用,也可供从事隧道与地下工程、地铁与轻轨交通规划、设计与施工的工程技术人员和管理人员阅读参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

城市地下铁道与轻轨交通 / 周晓军, 周佳媚编著.  
—2 版. —成都: 西南交通大学出版社, 2016.10  
ISBN 978-7-5643-4822-9

I. ①城… II. ①周… ②周… III. ①地下铁道—铁路工程②轻轨铁路—铁路工程 IV. ①U23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 169688 号

Chengshi Dixia Tiedao yu Qinggui Jiaotong

城市地下铁道与轻轨交通

(第 2 版)

周晓军 周佳媚 编著

责任编辑 杨 勇

封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社  
(四川省成都市二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮政编码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印 张 37.25

字 数 930 千

版 次 2016 年 10 月第 2 版

印 次 2016 年 10 月第 4 次

书 号 ISBN 978-7-5643-4822-9

定 价 68.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 前 言 (FOREWORD)

大力发展以地下铁道为代表的城市快速轨道交通系统是解决我国中心城市日益增长的公众出行需要与运输方式单一和运能不足之间突出矛盾以及“城市病”的重要途径。自从北京地铁1号线于1969年10月1日建成通车以来,我国先后有香港、台北、高雄、天津、上海、广州、深圳、南京、青岛、长春、沈阳、重庆、武汉、大连、成都、西安、苏州、昆明、杭州、哈尔滨、郑州、长沙、宁波、无锡、佛山等城市建成地下铁道或轻轨交通,石家庄、吉林、济南、哈尔滨、南昌、兰州、乌鲁木齐、合肥、福州、厦门、东莞、常州、南宁、贵阳、抚顺、澳门、桃园、台南等城市也正在积极修建和筹划地下铁道或轻轨等轨道交通体系。轨道交通在我国具有广阔的发展前景,因此,急需大量从事地下铁道和轻轨等轨道交通工程规划、设计和建设与管理的专业技术人才。当前,国内众多高等院校均在积极从事这方面的专业设置和人才培养工作,但缺乏系统的专门教材和参考书目。

本书即为满足城市地下铁道和轻轨交通工程教学需要,以新近修订的中华人民共和国国家标准《地铁设计规范》(GB 50157—2013)、《地下铁道工程施工及验收规范》(GB 50299—1999)和《城市轨道交通技术规范》(GB 50490—2009)等为主要依据而组织编写。书中重点介绍了地铁和轻轨的基本概念、设计计算原理与施工方法,总结了国内外城市地下铁道与轻轨交通通过多年规划、设计、建设和科学研究等方面取得的成功经验,注重培养学生掌握基础知识、基本理论和基本技能,拓宽学生的专业知识面,进而提高学生分析问题和解决问题的能力。本书结合内容叙述列出了地铁和轻轨设计与建设的部分工程实例,内容具有较强的理论性、系统性和实用性,每章前后还分别给出了有关本章的关键概念和小结,并安排有复习思考题,便于学生自学阅读。本书既可满足高等院校城市地下铁道与轻轨工程专业教学的需要,也可供从事城市轨道交通规划、设计、施工和运营与管理的工程技术人员学习与参考。

全书按城市轨道交通规划、地下铁道与轻轨交通设计原理、地下铁道与轻轨交通施工以及城市轨道交通环境评价和运营管理4篇组织编写,共分为22章。其中第2篇的第10章由周佳媚教授编写,其余章节由周晓军教授编写。全书由周晓军教授统稿,高波教授主审。

在本书编写过程中,编者参阅了国内各兄弟院校,有关设计、科研和施工单位的研究成果与相关资料,获益匪浅,并引用了国内有关城市地下铁道和轻轨交通领域专家、学者的研究成果,在此向本书所列参考文献的作者表示衷心的感谢。同时,本书的出版得到了西南交

通大学土木工程学院隧道与地下工程系全体教师的大力支持，他们提出了许多宝贵的意见，此外也得到了西南交通大学出版基金的资助，在此一并表示谢忱！

本书自第1版出版以来，在全国高等院校土木工程专业本科教学和各类技术与管理人才培养当中得到广泛使用，反映良好。同时在使用过程中也发现了部分错误与遗漏，在本次改版重印时对书中部分内容和存在的不妥之处一并进行了修正。

由于城市地下铁道与轻轨交通涉及较多的专业知识和技术领域，而近年来各项创新技术和方法也不断被应用到城市轨道交通的建设当中，限于时间与水平，书中内容未能涵盖所有的专业和技术领域，也未能全尽近年来在城市轨道交通建设领域中所取得的科学技术进步和创新成果，书中疏漏之处在所难免，恳请读者提出批评和宝贵意见。

编著者

2015年9月

# 目录 (CONTENTS)

## 第 1 篇 城市轨道交通规划

第 1 章 绪 论 .....	1
1.1 城 市 .....	1
1.2 城市规划 .....	3
1.3 城市公共交通 .....	5
1.4 世界城市地铁概况 .....	9
1.5 我国城市地铁概况 .....	9
1.6 城市地铁与轻轨建设的基本条件 .....	12
本章小结 .....	16
思考题 .....	16
第 2 章 城市轨道交通的发展历史 .....	17
2.1 世界城市轨道交通发展简史 .....	17
2.2 我国城市交通现状及存在的问题 .....	28
2.3 加快发展城市轨道交通体系 .....	30
2.4 城市轨道交通发展阶段的划分 .....	33
本章小结 .....	34
思考题 .....	34
第 3 章 城市轨道交通体系的组成 .....	35
3.1 概 述 .....	35
3.2 地下铁道 .....	36
3.3 城市铁路 .....	40
3.4 轻轨交通 .....	45
3.5 独轨交通 .....	52
3.6 新交通系统 .....	56
3.7 索轨交通 .....	59
3.8 磁浮交通 .....	66
3.9 常导中、低速磁浮交通 .....	72
本章小结 .....	75
思考题 .....	75
第 4 章 城市轨道交通的规划与可行性研究 .....	76
4.1 城市轨道交通的规划 .....	77

4.2	可行性研究的内容和方法	81
4.3	轨道交通客流量预测	87
4.4	轨道交通经济效益评价	98
	本章小结	105
	思考题	105
<b>第5章</b>	<b>城市轨道交通路网的规划与设计</b>	<b>106</b>
5.1	引言	106
5.2	城市轨道交通系统的基础知识	107
5.3	路网规划设计原则	111
5.4	地铁限界	132
5.5	地下铁道的线路设计	139
	本章小结	165
	思考题	165

## 第2篇 地下铁道与轻轨交通设计原理

<b>第6章</b>	<b>地下铁道与轻轨交通车站建筑</b>	<b>166</b>
6.1	地下铁道车站的平面布局	167
6.2	地铁车站的位置与类型	171
6.3	地铁车站建筑设计	177
6.4	地铁车站出入口设计	191
6.5	地铁车站的通风及防灾设计	198
6.6	地铁车站的综合开发与空间利用	205
6.7	轻轨车站建筑设计	207
	本章小结	212
	思考题	212
<b>第7章</b>	<b>地下铁道与轻轨车站建筑装饰</b>	<b>213</b>
7.1	概述	213
7.2	地铁车站的吊顶	214
7.3	地铁车站照明及照度标准	215
7.4	地铁车站的装修	219
7.5	地铁车站装修实例	220
	本章小结	225
	思考题	225
<b>第8章</b>	<b>地下铁道车站衬砌结构与构造</b>	<b>226</b>
8.1	明挖法施工的车站结构	227
8.2	盖挖法施工的车站结构	236
8.3	矿山法施工的车站结构	244

8.4 盾构法施工的车站结构 .....	247
8.5 换乘站的隧道衬砌结构 .....	250
本章小结 .....	255
思考题 .....	255
<b>第 9 章 地下铁道区间隧道衬砌结构与构造 .....</b>	<b>256</b>
9.1 概 述 .....	256
9.2 明挖法修建的隧道衬砌结构与构造 .....	257
9.3 矿山法修建的隧道衬砌结构与构造 .....	261
9.4 盾构法修建的隧道衬砌结构与构造 .....	265
9.5 特殊地段的隧道衬砌结构 .....	271
本章小结 .....	274
思考题 .....	274
<b>第 10 章 地下铁道结构计算 .....</b>	<b>275</b>
10.1 地下铁道结构的工作特性 .....	275
10.2 地下铁道结构设计特征和顺序 .....	276
10.3 作用在地下铁道结构上的荷载 .....	278
10.4 区间隧道衬砌结构静力计算 .....	287
10.5 车站结构静力计算 .....	295
10.6 暗挖车站结构计算原则 .....	300
10.7 地下铁道结构抗震分析 .....	302
本章小结 .....	310
思考题 .....	310
<b>第 11 章 地铁与轻轨高架结构 .....</b>	<b>311</b>
11.1 高架结构设计 .....	311
11.2 高架结构计算 .....	316
11.3 地铁与轻轨高架结构的施工 .....	317
11.4 高架轨道交通的施工技术 .....	327
11.5 独轨交通的高架结构 .....	328
本章小结 .....	334
思考题 .....	334
<b>第 12 章 地下铁道环境与灾害控制 .....</b>	<b>335</b>
12.1 地铁通风与空调 .....	335
12.2 地铁防水 .....	357
12.3 地铁给排水 .....	373
12.4 地铁防灾设计 .....	375
12.5 城市轨道交通信号控制系统 .....	386
本章小结 .....	390
思考题 .....	390



第 13 章 地下铁道与轻轨交通的耐久性设计	391
13.1 概 述	391
13.2 劣 化	394
13.3 设计耐用年限	395
13.4 地铁杂散电流的腐蚀与防护	406
13.5 地铁区间隧道内杂散电流的防护措施	413
13.6 区间隧道钢筋混凝土碳化对混凝土耐久性的影响	415
本章小结	417
思考题	417

## 第 3 篇 地下铁道与轻轨交通施工

第 14 章 明挖法	418
14.1 概 述	418
14.2 敞口放坡法	424
14.3 板桩法	431
14.4 井点法降低地下水位的设计与计算要点	436
14.5 降排水方案选择与设计应注意的问题	439
14.6 旋喷法	440
14.7 挖孔桩围护结构	444
14.8 钻孔灌注桩围护结构	445
14.9 水泥土搅拌桩	447
14.10 劲性水泥土搅拌桩	448
本章小结	450
思考题	450
第 15 章 盖挖法	451
15.1 概 述	451
15.2 地下连续墙	455
15.3 桩 基	464
本章小结	473
思考题	473
第 16 章 暗挖法	474
16.1 新奥法施工	474
16.2 浅埋暗挖法	477
16.3 矿山法	488
本章小结	500
思考题	500

第 17 章 盾构法	501
17.1 概 述	501
17.2 盾构的基本构造及其分类	502
17.3 盾构施工基本参数的选择	508
17.4 盾构施工技术	514
17.5 盾构施工的地表变形	516
本章小结	518
思考题	518
第 18 章 顶管法	519
18.1 概 述	519
18.2 顶管的基本组成	523
18.3 顶管法的顶力计算	525
18.4 顶管法施工技术	526
本章小结	528
思考题	528
第 19 章 冻结法	529
19.1 水平冻结的应用历史和现状	529
19.2 地层冻结原理	530
19.3 人工冻土的力学特性	534
19.4 常规盐水冻结	537
19.5 液氮冻结	539
19.6 冻结法的应用	541
本章小结	545
思考题	545

## 第 4 篇 城市轨道交通环境评价和运营管理

第 20 章 城市轨道交通工程的后评估	546
20.1 概 述	546
20.2 后评估的内容	547
20.3 后评估所需的资料 and 文件	548
本章小结	548
思考题	548
第 21 章 轨道交通工程环境评价	549
21.1 概 述	549
21.2 各种城市交通方式的资源环境比较	549
21.3 城市轨道交通振动与噪声	550
21.4 缓解城市轨道交通振动与噪声的措施	553

本章小结 .....	554
思考题 .....	554
第 22 章 轨道交通工程行车组织与运营管理 .....	555
22.1 概 述 .....	555
22.2 行车组织 .....	556
22.3 客运管理 .....	560
22.4 安全与防灾对策 .....	562
本章小结 .....	566
思考题 .....	567
参考文献 .....	568
附录 1 我国《地铁设计规范》(GB 50157—2013)中规定的地下结构设计要求 .....	571
附表 1.1 地下结构混凝土的最低设计强度等级 .....	571
附表 1.2 地下结构混凝土的最大计算裂缝宽度允许值 .....	571
附表 1.3 地下结构受力钢筋的混凝土保护层最小厚度 .....	571
附表 1.4 明挖法修建的地下结构防水措施 .....	572
附表 1.5 矿山法修建的地下结构防水措施 .....	572
附表 1.6 盾构法修建的地下结构防水措施 .....	572
附表 1.7 车站设备及管理用房计算温度与换气次数 .....	573
附表 1.8 铁路隧道围岩分级 .....	573
附表 1.9 各级围岩的物理力学指标 .....	574
附录 2 我国《城市地下空间开发利用管理规定》 .....	575
附录 3 我国《建设工程质量管理条例》 .....	578

# 第 1 篇 城市轨道交通规划

## Section One Urban Rail Transit Planning

### 第 1 章 绪 论

#### Chapter One Introduction

##### 关键概念 (Key Concepts)

城市公共交通 (Urban Public Traffic) 公共交通结构 (Public Traffic Composition) 地下铁道 (Metro, Subway, Underground, Tube, Metro Rail) 轻轨交通 (Light Rail Transit)

#### 1.1 城市 (City, Municipality, Metropolis)

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、文化与科学技术中心。在通常意义上讲，城市是人口稠密，具有生产、生活和行政管辖等功能的区域，一般包括了住宅区、工业区、商业区和行政区。城市的行政管辖功能可能涉及较其本身更为广泛的区域。从“城市”的字面意义上看，它是“城”和“市”的组合。在原始社会，人类聚居时为了防御野兽和相邻部落的侵袭以及躲避恶劣的气候现象，在居民点外围挖掘了壕沟，并且用土、木和石材等砌筑围墙，形成了“城 (City)”的雏形 (Embryonic Form)。随着社会的发展特别是到封建社会以后，“城”的作用和构造日益完善，但其本身作为防御性构筑物的本质一直没有变化。生产力的发展带来了剩余产品，也出现了商品交换，随着商品交换数量的增加，社会中逐渐出现了专门从事商品交易和赢取利润的商人，其交换场所也逐渐固定下来，于是就形成了“市 (Market)”。由此可见，“市”的产生要晚于“城”。中国古代的《管子·度地》中说“内为之城，内为之闾”。即提到“城”作为防卫的功能。“市”则是指进行商品交易的场所。中国古代的《易经·系辞下》中还有“日中为市，致天下之民，聚天下之货，交易而退，各得其所”的论述。上述的两者都是城市最原始的形态，从严格意义上讲，两者均不是真正意义上的城市。一个区域要作为城市必须具有质的规范性，即具有一定规模的人口、商业、工业、交通和与其相应的行政管辖功能。

人类社会发展史上的第二次劳动大分工将人类居住点划分为“城市 (City)”和“农村 (Countryside)”。前者以商业交换和手工业为主，而后者以农业为主。“城市”产生于原始社会向奴隶社会过渡的时期，它与私有制和阶级分化是同步进行的。

“城市”从其产生的从事商业交换活动并具有防御功能的居民聚居点而言，其相对简单

的特性维持了几千年时间。近代资本主义工业革命也称做第二次产业革命，它给城市的发展带来了巨大的影响。随着工业的快速发展，城市人口数量逐渐增多并集中起来，城市化的速度也迅速加快，致使城市规模迅速扩大。

工业发展成为城市巨变的决定性因素。蒸汽机和电能的运用，使人们从单纯依赖风力、水力的自然能源中摆脱出来，逐步走向依靠人工和能源更有序组织生产的高层次工业生产局面，使生产能够更加集中于城市。工业发展吸引了大批劳动力，进而修建了大量的工厂与作坊，相应地，在工厂与作坊周围产生了工人居住区和为其生活服务的各类公共设施，这被称为“工业化初期城市发展的典型形态”。

随着科学技术和工业的进一步发展，出现了火车、轮船和汽车等先进的运输工具，同时产业部门也相应增多，分工更加细致。相应地，各种交通工具和它们特殊的运输线型以及站点选址的要求，对原来城市道路系统带来很大冲击，同时也因为交通对城市发展的巨大影响作用，城市结构布局也出现了较大变化。此外，生活水平的提高和需求的多样化，给城市带来了各类更为复杂的新型公共建筑，而工业生产规模的扩大、原料需求的增多，出现了大量产品的仓储场所和运输通道，这些因素使得城市用地的种类和功能得到极大丰富，引起城市结构布局的复杂化，也对各类生产与生活设施的合理匹配和布置提出了更高的要求，使城市在人类社会生产与生活中的中心地位愈发增强。

按城市综合经济实力和世界城市发展的历史来看，可将城市划分为集市型、功能型、综合性、城市群等类别，这些类别也体现了城市发展的各个阶段。

从现代城市的意义上讲，“城市”集中体现了“人口”、“产业结构”和“行政管辖”3方面的含义。城市是人类社会经济发展到一定阶段的产物，是人文、经贸、科学技术与文化复合而成的高度集中的社会实体，是一定地域范围内政治、经济、文化的中心。它包括国家或地区按行政区域划分而设立的首都、直辖市、市、镇、未设镇的县城以及独立的工矿区和城市型的居民点。

按行政区划，各类城市型居民点被划分为“直辖市、市、县、镇”等，划分依据主要是人口和国民经济产值。另外，从城市常住人口的数量出发，可分为“特大、大、中和小”城市几类。从城市不同功能类型的角度，还可将其划分为港口贸易城市、旅游城市、矿业城市以及以某种产业为主的城市等。

城市经济学对城市做了不同能级的分类，如小城市、中等城市、大城市、国际化大都市、世界城市等。对城市进行分类的一个标准是城市的人口规模。联合国将城区常住人口2万人作为定义城市人口的下限，10万人作为大城市的下限，而将100万人作为划定特大城市的下限，这种分类反映了部分国家的惯例。

就中国而言，1955年对“城市型居民点”的定义为，市县人民政府所在地，常住人口大于2000人、非农业人口超过50%以上的居民点，即俗称的“城市户口”所在地；另外，常住人口1000人以上、非农业人口超过75%的工矿点，也可被定义为“城市型居民点”。

2014年，中国则以城区常住人口为统计口径，将城市划分为5类7档，即小城市、中等城市、大城市、特大城市和超大城市。具体的划分标准为：城区常住人口在50万以下的城市为小城市，其中常住人口在20万以上至50万以下的城市为Ⅰ型小城市，城区常住人口在20万以下的城市为Ⅱ型小城市；城区常住人口在50万以上至100万以下的城市为中等城市；城区常住人口在100万以上至500万以下的城市为大城市，其中300万以上至500万以下的城

市为Ⅰ型大城市，100万以上至300万以下的城市为Ⅱ型大城市；城区常住人口在500万以上且在1000万以下的城市为特大城市，而城区常住人口超过1000万以上的城市则为超大城市。

## 1.2 城市规划 (City Planning, Urban Planning)

城市规划是在人们认识到如何改善生存环境，满足生活、生产和安全等方面的需要，并按已有经验对居住点进行修建、改造时产生的。

城市规划的根本目的在于改善和提高人民生活、生产环境水平，促进生产力发展。城市规划的基本任务就是以城市社会、经济发展目标为依据，合理布置城市空间，使之更好地促进生产力发展，提高人民生活水平。

从某种意义上讲，城市规划是一种生产关系的建设。既然是生产关系的建设，城市规划就必然带有阶级性和时代的局限性。例如，中国古代封建社会具有代表性的城市布局都采用了中轴对称的布局手法，皇宫位于最中间的部位，城市布局尊卑主次分明，在一定程度上是封建儒家思想的体现；而“邻里单位”等西方城市规划理论中明确提出不同阶层的居民尽量集聚在一起居住的观点，实质上体现了资产阶级在当时的社会改良、阶级调和的论调。

在我国，改革开放前的城市规划受计划经济的影响，在城市用地布局与规划中不太强调发展第三产业，于是某些大城市的中心地段并未用于发展商业服务，而是布置了工厂或住宅，土地无偿使用，土地资源难以得到有效利用；而改革开放以后，城市规划的指导思想也发生了巨大变化，开始将发展生产力放到首要地位，合理布局城市空间，开始实行土地有偿转让，如北京、上海、天津、重庆、广州、深圳、成都、南京等中心城市在开展城市的改造过程中，大量的人口迁居实际上就是重新调整产业结构和用地布局，体现“黄金地段，黄金效益”的原则。

由此可见，城市规划是一个国家和地区的政治反映，也是时代特征的反映。美国国家资源委员会则直接称城市规划是“一种政策活动”。

理论发展是以物质基础为条件的，当第二次产业革命的风暴席卷欧洲，资本主义得到迅速发展的时候，城市的自发生长已不可能满足城市健康发展的要求，工业的高度集中吸引了大量的资金和人口，从而带来了严重的污染和土地价格的暴涨。在有限的土地上掘取高额利润的同时，除了环境污染外还产生了以交通问题为主的其他诸多矛盾，既危害了人民的生活，也严重妨碍了资产阶级自身的利益。为了避免城市衰退现象的出现，资产阶级提出了如何解决这些矛盾的城市规划理论，妄图解决资本主义社会各种城市矛盾，虽然往往因为规划师的阶级立场所限致使规划设想成为主观臆断或难以取得预期效果，但是，有特定研究对象和范围、有体系、有深度的系统的现代城市规划学形成并迅速发展了起来。对世界范围的城市规划工作产生较大影响的理论，按其发展演绎的次序有“田园城市”理论、“卫星城镇”理论、“雅典宪章”、“邻里单位”理论和“有机疏散”理论等，有关这方面的内容读者可参阅相关的城市规划论著和文献，本书不再赘述。

城市规划工作的基本内容是，依据城市的经济社会发展目标和有关生产力布局的要求，充分研究城市的自然、经济、社会和区域发展的条件，确定城市的性质，预测城市发展规模，选择城市用地的发展方向；按照工程技术和环境的要求，综合安排城市各项工程设施，并对各项用地进行合理布局。

城市规划的最大目的就是促进生产力的发展和改善人类的生活水平。在进行城市规划时，一个必须考虑的重要概念就是城市容量，它是指一个城市在某一时期对人口和人类活动以及与人类活动有关的各类设施（如建筑物、道路等城市设施）的容纳能力。这种容纳能力是综合性的，其包含有人口容量、建筑容量、交通容量、环境容量等。城市容量是一个动态发展变化的事物，其容量总和的大小取决于城市用地面积、条件、城市的社会经济技术发展程度等因素。在其他条件不变的情况下，用地面积的大小和社会经济技术发展程度的高低与城市容量的大小成正比。如将城市容量作为一个总系统，则其子系统如人口容量、建筑容量、交通容量等之间并不是孤立的，而是相互联系的，如图 1.1 所示。

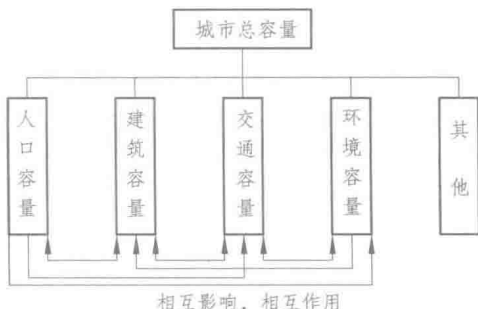


图 1.1 城市容量系统

在这些众多的子系统中，人口容量是最重要的和最基本的，它的大小制约着其他容量的发展，同时，其他容量也反作用于人口容量。所以，城市容量是一个相互关联而总是处在寻找相互协调平衡状态中的系统。当人口过多过快发展时，建筑容量出现不足，增加建筑容量后往往又引发交通容量和环境容量下降，最终的结果是生活环境恶化，人口开始向外围疏散。这种恶性循环的结果是城市衰退，国外很多发达城市都曾有过类似的经历。诚然，出现城市衰退的原因是多方面的，如过度投机、汽车的快速发展等。但从本质上讲，它是城市各种容量之间的比例和配置失调的结果。当然，城市各种容量的最优化比例和配置不是恒定不变的，而是受历史生产力发展水平与社会经济和文化等因素的制约。

城市发展，自始至终面临着一个如何拓展城市容量的问题。在影响城市容量大小的诸多因素当中，城市各种容量的协调与全面发展是一个要点，即在城市中往往因为一种容量因素的制约，而影响了其他多种容量的发展，当这一主要因素得到解决时，城市理论容量能得到较大的拓展。城市人口、建筑、交通、基础设施和环境容量之间的不平衡，往往形成“瓶颈”现象，使得城市理论容量无法提高，在所有的规划工作中，认真考虑城市诸多因素的平衡发展是至关重要的。

从城市容量及其相互关系来研究城市发展问题的时候，还存在这样 2 个概念，即“城市实际容量”和“城市理论容量”。城市实际容量，就是指城市在某一阶段实际发生的承载容量情况；而城市理论容量则指在某一阶段的当前条件下，在各种主客观因素的相互制约下，城市所能达到的最大理论承载能力。

城市规划工作实际上就是一个不断调整城市发展与城市理论容量，城市理论容量与实际容量，城市各种容量之间的平衡发展关系的过程。城市容量的拓展必然要落实到城市空间方面，所以，拓展城市容量的根本方法是开发城市空间。

城市空间可划分为城市的上部空间、地面空间和地下空间 3 大部分。从城市发展史来看，地面空间最先得到开发和利用，其次是上部空间，最后才是城市地下空间。究其原因，主要是与经济技术条件和人们的生活习惯有关。当然，某些特殊情况例外，如我国陕西、甘肃、山西等省的黄土高坡，从古至今一直以窑洞（也属于地下空间的应用范畴）为主要起居空间。

城市空间的拓展一般可以分为 2 种方式：① 外延式水平方向扩展；② 内涵式立体方向扩展。

前者以增加城市用地为主,后者则在不增加城市用地的情况下,以通过向上和向下寻求空间为主进行拓展。当然在城市发展的过程中二者并不排斥,即可以独立存在,也可以同时出现在城市建设中。

现代大城市和特大城市的中心地区人口密集、建筑物林立、空间拥挤、交通堵塞,特别是历史旧城或经过改造发展起来的大城市,这些矛盾和问题尤为突出。如何合理地规划城市的基础设施和制订城市各项技术经济指标,使其达到最大的社会和经济效益,使城市逐步具备高效、文明、舒适、安全、可持续发展的现代化城市的功能,是城市管理和建设者的首要任务。

长期以来,城市交通、基础设施及城市容量的扩大主要是通过扩展城市地面用地来实现的,但城市用地的短缺已成为矛盾的焦点。因此,合理开发与综合利用城市地下空间资源,不仅成为缓解当前存在的各种城市矛盾,满足某些社会和经济发展的特殊需要,而且为进一步建设现代化城市开辟了广阔的前景。城市地下工程正是在这样一个总的背景下应运而生的。

城市地下工程是从事研究和建造城市各种地下工程的规划、勘测、设计、施工、运营和管理与维护的一门综合性的应用科学与工程,是土木工程的一个重要分支。在城市地面以下土层或岩体中修建各种类型的地下建筑物或结构物的工程,均称为城市地下工程,它包括交通运输方面的地下铁道、公路隧道、地下停车场、穿越各种障碍的地下通道等,还包括工业与民用方面的各种地下商业街、地下生产车间、发电站、各种储存库房、人防与市政地下工程、国防工程以及与城市社会、经济、文化、体育、娱乐与生活等方面相关的综合建筑物等。

开发和利用城市地面、上部与地下空间资源,拓展城市容量,解决城市发展过程中存在的诸多问题和矛盾,特别是交通容量的不足以及日益增长的公众出行和物资运输与运输方式单一问题之间的突出矛盾,就必须合理解决城市公共交通的发展和规划问题。纵观发达国家城市发展的历史,城市容量的拓展和空间的开发首先是结合城市交通改造而开始的,主要包括城市轨道交通系统、城市道路交通隧道与步行道系统等。在进行城市交通改造的同时,还应考虑城市地下综合管线廊道即市政工程地下综合体的规划与建设。

### 1.3 城市公共交通 (Urban Public Traffic)

城市公共交通 (Urban Public Traffic) 是指在城市及受其影响的郊区范围内,为方便公众的出行和物资的运送,利用各种运输工具按一定线路输送旅客和物资的运输系统,如铁路、公路、航空、水运等,狭义上一般指城市定线运营的道路公共汽车及铁路等交通。城市公共交通系统由道路、交通工具、乘降站点设施等物理要素构成。它对城市政治、经济、文化、科学技术等方面的发展均具有极其深远的影响。城市公共交通按照运输方式划分为道路交通、轨道交通以及航空和水运。

城市公共交通按照路权的使用性质可以分为共用路权的道路交通 (Road Transport) 和专用路权的轨道交通 (Rail Transport)。道路交通主要包括公共汽车 (Bus)、公共汽车快速交通 (Bus Rapid Transit, Mass Rapid Transit)、出租车 (Taxi Cab)、无轨电车 (Trolley)、人力车 (Ricksha, Rickshaw) 等。城市轨道交通主要包括以下各种应用形态:城市区域铁路 (Regional Railway)、地铁 (Subway, Metro, Underground, Tube, Metro Rail)、轻轨 (Light Rail) 或



轻铁(Light Metro)、电车(Tram, Tramway)、导轨交通(Guided Rail Transit)、索轨铁路(Cable Rail Transit, Funicular)、高速铁路(Express Railway, High Speed Railway)、齿轨铁路(Rack Railway, Cog Railway)、单轨铁路(Mono Railway)、磁浮铁路(Maglev Railway)、客运自动轨行车(People Mover)、自动导向系统(Automatically Guided System)、微型地铁(Mini-Metro)、胶轮地铁(Rubber Tyred Metro)和索道(Aerial Tramway)等。几种不同方式的城市轨道交通的主要技术指标见表 1.1。

表 1.1 几种城市轨道交通方式的主要技术指标

指 标		单 位	地下铁道	轻轨交通	独轨交通	有轨电车
平均站间距离	市区	m	500~800	800~1 000	700~1 500	600~1 200
	市郊	m	1 000 以上	1 000 以上	2 000 以上	—
最高行车速度		km/h	90~120	80	80	60
旅行速度		km/h	30~45	25~35	18~43	16~20
行车最小间隔		s	50~90	90	90	90
每辆车容量		人	150~310	190~336	80~180	110
列车编组		辆	4~10	2~6	2~6	1~3
单向运输能力		万人次/h	3~8	2~4	1~2	1~1.4

根据国内外城市轨道交通建设与发展的状况,总结其所具有的基本特点是:

- (1) 轨道交通必须是服务大众的公共交通运输系统(Public Transport System)。
- (2) 其运输线路位于城市及其影响范围内(in City Proper or Downtown and Suburb)。
- (3) 列车以电力驱动方式进行运营(Powered by Electricity)。
- (4) 运输线路的大部分需独立于其他交通体系,如道路交通、其他铁路以外,且其路权一般专有(Exclusive Way Right)。
- (5) 列车采用高频率发车的方式运行(High Frequency),符合城市公共交通的运行特点。凡符合上述特性的城市公共交通就可以归属于城市轨道交通系统。

现代城市公共交通结构通常由下列运输系统组成:公共汽车、出租车、无轨电车、快速有轨电车、地下铁道等客运系统,有些城市还包括市郊铁路、轮渡、索道、缆车和磁悬浮客运交通等。现就国内外城市通常采用的主要轨道交通系统简单介绍如下:

### 1. 地下铁道(Metro, Subway, Metro Rail, Underground, Tube)

地下铁道是指主要在大城市的地下修建车站和隧道,并在其中铺设轨道,以电动快速列车运送大量乘客的公共交通体系,称为城市地下铁道(Urban Metro),简称地铁。在城市郊区以及人员车辆较少的地方,地铁线路可延伸至地面或高架桥上。因为地铁运输几乎不占用街道面积,也不干扰地面的交通,有些国家称其为“街外运输”,而美国纽约则称为“有轨公共交通线(Mass Rapid Transit or Mass Transit Railway)”。

随着国民经济的飞速发展,作为城市基础设施建设的一个重要方面,我国城市公共交通必须而且也必然会获得巨大的发展。在我国城市人口不断增加,机动车和非机动车数量迅速