



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新世纪土木工程系列教材

地下工程

关宝树 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新世纪土木工程系列教材

地下工程

关宝树 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,同时是新世纪土木工程系列教材之一,按照面向 21 世纪的要求和“大土木”培养的需要而编写。

本教材共分五篇,第一篇叙述了地下工程的发展与现状,第二篇至第五篇分别说明了明挖法、盾构法、掘进机法、矿山法修建地下结构的设计和施工要点。各篇后均附有思考题。

本书可作为土木工程专业本科教材,也可供工程技术和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下工程/关宝树主编. —北京:高等教育出版社,
2007.5

ISBN 978-7-04-021271-6

I. 地… II. 关… III. 地下工程-高等学校-教材
IV. TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 047577 号

策划编辑 赵湘慧 责任编辑 张玉海 封面设计 王 睢 责任绘图 朱 静
版式设计 王艳红 责任校对 张 颖 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京外文印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 28.25
字 数 690 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landrac.com>
<http://www.landrac.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 5 月第 1 版
印 次 2007 年 5 月第 1 次印刷
定 价 35.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21271-00

教育部高等教育出版社土建类系列教材

编辑委员会委员名单

主任委员:沈蒲生(湖南大学)

副主任委员:(按姓氏笔画排序)

白国良(西安建筑科技大学)

邹超英(哈尔滨工业大学)

周绪红(长安大学)

强士中(西南交通大学)

委 员:(按姓氏笔画排序)

卫 军(华中科技大学)

王清湘(大连理工大学)

江见鲸(清华大学)

刘 明(沈阳建筑大学)

张印阁(东北林业大学)

吴胜兴(河海大学)

杨和礼(武汉大学)

周 云(广州大学)

梁兴文(西安建筑科技大学)

焦兆平(广州大学)

霍 达(北京工业大学)

王 健(北京建筑工程学院)

叶志明(上海大学)

关宝树(西南交通大学)

朱彦鹏(兰州理工大学)

张家良(辽宁工学院)

沙爱民(长安大学)

尚守平(湖南大学)

赵明华(湖南大学)

黄醒春(上海交通大学)

廖红建(西安交通大学)

出版者的话

新世纪土木工程系列教材是我社组织编写出版的“大土木”范畴的专业系列教材。1998年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新专业目录中土建类土木工程专业覆盖了原来建筑工程和交通土建工程等8个专业。1999年各高校已按新的专业目录招生。开设土木工程专业的各院校把近年来在教育思想与教学观念、教学内容与课程体系、教学方法与教学手段等方面取得的改革成果固化到教学计划和人才培养过程中，设计了从教学思想到教学模式等一系列教学改革方案。大家在教学实践中体会到：专业、课程教学改革必然引起相应的教材改革。我社从1999年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作，并于2000年成立了“教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会”。

我们编辑出版土木工程系列教材的指导思想是：

1. 紧密结合人才培养模式改革，根据拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力的要求，调整学生的知识结构。

2. 从各院校调整土建类各专业教学计划出发，加强基础课程到专业课程的有机沟通，用系统的观点和方法建立新的课程体系结构，包括对课程的整合与集成，组织和建设专业核心课程，成套成系列地推出土木工程系列教材。

3. 各门课程教材要具有与本门学科发展相适应的学科水平，以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容，贯彻理论联系实际的原则。

4. 要正确处理继承、借鉴和创新的关系，不能简单地以传统和现代划线，决定取舍，而应根据教学要求进行取舍。继承、借鉴历史和国外的经验，注意研究结合我国的现实情况，择善而从，消化创新。

5. 随着高新技术、特别是数字化和网络化技术的发展，在土木工程系列教材建设中，要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合发展，发挥综合媒体在教学中的优势，提高教学效率。在开发研制教学软件的同时，要注意使文字教材与先进的软件接轨，明确不同形式教材之间的关系是相辅相成、相互补充的。

6. 坚持质量第一。图书是特殊的商品，教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教学质量和教学秩序，最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识、服务教育、积累文化的功能，也是沟通作者、编辑、读者的桥梁，一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此，遴选作者、审订教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为了实现本套教材的指导思想，我们组建了由有丰富的教学经验、有较高的学术水平和学术声望的教师组成的编委会，由编委会研究提出土木工程系列教材的选题及其基本内容与编审原则，并推荐作者。

我们出版本系列教材，旨在为新世纪的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系统的专业系列教材，以期我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材第1版出版之后,在教学实践基础上,将组织修订出版第2版、第3版,希望在不断修订过程中更新内容、消除疏漏,更加适应教学需要。

本系列教材的编写大纲和初稿、修订稿都经过了编委会的审阅,以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处,请读者批评指正!

高等教育出版社建筑与力学分社

2006年5月

前 言

地下工程已经成为土木工程的重要分支,是 21 世纪蓬勃发展的工程领域。为了适应这种需求,改变过去的教学体系,加强地下工程的教学力度,显得格外重要。

本书编写的主要目的是让在校学生能够比较全面、概括地掌握地下工程的基本知识,认识到地下工程是国家重要的社会资源,是我国面向 21 世纪重点开发的土木工程领域。

本书主要说明两个最基本的问题。第一,是什么原因使地下工程获得如此巨大的发展,这是第一篇所述的内容。第二,用什么施工方法来修建地下工程,在不同的施工方法中,结构的类型、设计及施工应关注的问题等,这是第二~五篇的内容。

由于地下工程的类型、设计方法等与施工方法有直接的关系,因此本教材首次尝试按施工方法分别编写第二~五篇。在讲授过程中,可以按实际情况,加以选定和取舍。

本书由西南交通大学关宝树、杨其新编写第一篇、武汉大学张忠亭编写第二篇,西南交通大学何川、李围、张海波编写第三篇,西安建筑科技大学张荫、邢心魁编写第四篇,西南交通大学李志业、武汉大学曾亚武编写第五篇。

全书由西南交通大学关宝树、杨其新统稿,由关宝树任主编。

兰州交通大学高峰教授审阅了全书,并提出了许多宝贵的意见与建议,在此深表谢意!

受编者水平所限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2006 年 6 月

目 录

第一篇 地下工程概述

第一章 概述	3	地下工程	25
第二章 地下空间工程的特性	12	第三节 科学技术发展而利用的 地下工程	52
第一节 地下空间工程结构的特性	12	第四节 大规模国土有效利用的 地下工程	56
第二节 地下空间工程的优缺点	14	第五节 防御和减少灾害的地下设施	78
第三章 地下工程的利用形态	17	思考题	85
第一节 人类生存和安全而利用的 地下工程	17		
第二节 城市现代化发展而利用的			

第二篇 明挖法修建的地下工程

第一章 明挖法的基本概念及其应用	89	第四节 无支护(放坡)开挖的基坑 工程	119
第一节 概述	89	第五节 排桩式支护结构	124
第二节 明挖法的施工方法	90	第六节 深层搅拌桩支护结构	136
第三节 明挖法的工程应用	93	第七节 深基坑的土层锚杆支护结构和 土钉墙结构	143
第二章 明挖法修建的浅埋式地下 工程	94	第八节 基坑工程的监测	149
第一节 概述	94	第四章 地下连续墙	154
第二节 矩形闭合框架结构形式和 尺寸	95	第一节 概述	154
第三节 作用在隧道框架结构上的 荷载	99	第二节 地下连续墙的破坏形式和设计 计算的主要内容	156
第四节 矩形框架的内力计算	101	第三节 地下连续墙荷载结构法设计 计算	157
第五节 框架结构构件截面设计	106	第四节 地下连续墙设计计算的数值 分析法	161
第三章 深基坑工程	109	第五节 地下连续墙的施工	165
第一节 概述	109	第五章 沉管工程	170
第二节 基坑工程的设计原则与设计 内容	110	第一节 概述	170
第三节 支护结构上的荷载	112		

第二节 沉管的结构设计	171	第五节 沉管隧道的地基处理	180
第三节 管段的制作及浮运	175	思考题	183
第四节 管段的沉没与水下连接	177		

第三篇 盾构法修建的地下工程

第一章 盾构法发展历史及基本概念 ..	187	第五节 盾构隧道衬砌结构防水设计 ..	233
第一节 盾构法的发展历程	187	第四章 盾构法隧道施工	236
第二节 盾构法的基本概念	189	第一节 管片制造、存储与搬运	236
第二章 盾构设备类型及其选型	191	第二节 盾构的始发与到达	239
第一节 盾构设备的组成	191	第三节 盾构法隧道施工组织管理	242
第二节 盾构设备的分类	198	第四节 辅助工法	246
第三节 特种盾构设备的发展	203	第五章 盾构法在隧道及地下工程中的	
第四节 盾构设备选型分析	207	应用	251
第五节 盾构设备选型实例	212	第一节 城市轨道交通隧道工程	251
第三章 盾构法隧道设计	215	第二节 市政管网隧道工程	254
第一节 总体设计	215	第三节 铁路隧道工程	256
第二节 管片衬砌结构设计	218	第四节 公路隧道工程	258
第三节 设计计算方法	223	第五节 水利工程中的应用	261
第四节 相关结构设计	229	思考题	263

第四篇 掘进机法修建的地下工程

第一章 TBM 法及其应用	267	第一节 概述	292
第一节 概述	267	第二节 TBM 法隧道的支护设计	293
第二节 TBM 法	268	第四章 TBM 法隧道的施工技术	302
第三节 TBM 法的应用	273	第一节 TBM 法隧道的施工流程	302
第二章 TBM 的结构类型及构造	279	第二节 TBM 法隧道施工技术要点	303
第一节 全断面隧道 TBM 的类型	279	第三节 TBM 法隧道的辅助工法	312
第二节 TBM 的构造及工作原理	286	思考题	317
第三章 TBM 法隧道的支护技术	292		

第五篇 矿山法修建的地下工程

第一章 概述	321	及作用	323
第一节 矿山法隧道的基本概念及工程概况	321	第二章 矿山法隧道的衬砌结构形式 ..	327
第二节 矿山法修建的地下工程的类型		第一节 矿山法隧道支护结构的工作特征及基本要求	327

第二节 支护结构类型的选择与设计 ...	330	第四章 矿山法隧道施工	411
第三章 矿山法支护结构设计计算		第一节 概述	411
方法	339	第二节 矿山法隧道施工方法	413
第一节 概述	339	第三节 矿山法施工的钻爆技术	421
第二节 围岩分级与经验设计	344	第四节 矿山法隧道的支护技术	425
第三节 围岩松动压力的计算方法	358	第五节 防排水技术	434
第四节 衬砌结构计算方法	362	思考题	438
参考文献			439

第一篇

地下工程概述

第一章 概述

人口爆炸、资源短缺、环境恶化、土地衰退,当前人类赖以生存的地球表面已经不堪重负,在这种情况下,各国除采取综合性的政治、经济措施外,都日益注重地下空间和地下工程的开发和利用。虽然有科学家提出了21世纪在海上、空中建造大城市,但比较可靠的还是“入地”。世界范围内的工程界传言:19世纪是长大桥梁发展的时代,20世纪是高层建筑发展的时代,21世纪将是长大隧道工程发展、大力开发利用地下空间的时代。

一、地下空间利用历史和现状

(一) 地下空间利用历史

在地球表面以下的土层或岩层中天然形成或经人工开发而成的空间称为地下空间;在城市规划范围以内的地下空间称为城市地下空间,在城市以外山区岩层中开发的地下空间称为山岭地下空间;在江、湖、河、海水下开发的地下空间称为水下地下空间。

人类出现,已有300万年以上的历史。在这段漫长的时期内,地下空间作为人类防御自然和外敌侵袭的防御设施而被利用。随着科学技术和人类文明的发展,这种利用也从自然洞穴的利用向着人工洞室方向发展。地下空间利用的发展过程与人类的文明历史是相呼应的,经历了从浅层到深层、从单一到复合、从自发到自觉的漫长过程,大致可以分为四个时代:

第一个时代,原始时代。从人类开始出现到公元前3000年的新石器的时代,是人类利用地下空间防御自然威胁的穴居时代。这个时代主要利用天然洞穴或用兽骨等工具开挖出洞穴而加以利用。例如考古发现距今10000年前,北京周口店龙骨山的“新洞人”居住的就是天然岩洞。

第二个时代,古代时期。从公元前3000年到5世纪,是为城市生活而利用的时代。这个时代也就是所说的文明黎明时代,把这个时代的开发技术说成是今天地下空间技术的基础也不过分。例如在修建埃及金字塔时就开始了地下空间建设。公元前2200年间的古代巴比伦王朝为了连接宫殿和寺院修建了长达1 km横断幼发拉底河的水底隧道。在罗马时代也修筑了许多隧道工程,有的至今还在利用。

第三个时代,中世纪时代。约从5世纪到14世纪的1000年左右。这个时期正是欧洲文明的低潮期,建设技术发展缓慢,但由于对铜、铁等金属的需求,进行了矿石开采。在我国则主要是利用地下空间作为艺术创作空间,敦煌石窟(从北魏到隋、唐、宋、元各朝代)、云冈石窟、龙门石窟(北魏)等雕塑壁画艺术空间是典型的代表。

第四个时代,近代和现代。从16世纪以后的产业革命开始的时期。这个时期由于炸药的发

明和应用,加速了地下工程的发展。如有益矿物的开采、运河隧道的修建以及随着城市的发展开始修建地下铁道、上下水道等,使地下空间利用的范围迅速扩大。

图 1-1-1 概括地说明了开发利用地下空间的一些理由。其中最重要的理由是大城市空间的严重不足。第二个理由是保护历史建筑物和城市景观环境。第三个理由是要充分利用和发挥地下空间优越的特性。地下空间的开发和利用,主要是与城市的发展相联系的。在现代世界中,人口的增长和城市化的发展,促使城市过密化,随之发生城市运输能力的降低,饮用水不足,生活环境恶化等问题。为了解决这些问题,有必要强化城市的各项功能和改善城市的景观。为此,就要利用地下空间。从这一点来说,地下空间可以视为改善人类在城市生活的重要资源。

另外,地下空间的利用是与安全保障相联系的,为了适应复杂动荡的国际形势,进行粮食、石油等重要物资的贮备,以及减小自然灾害的威胁等,都要求助于地下空间。

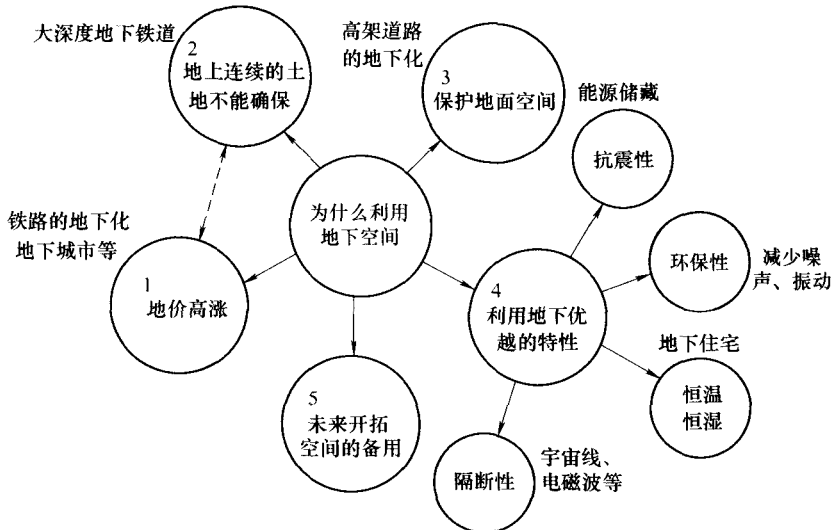


图 1-1-1 为什么利用地下空间

(二) 地下空间利用现状

地下空间已被视为人类所拥有的尚未充分利用和开发的宝贵自然资源。20 世纪 80 年代,国际隧道协会提出“大力开发地下空间,开始人类新的穴居时代”的倡议,得到了广泛的响应。近几十年来,随着地下电站(水电、火电、核电、地热电),地下城市,地下储能(热能、超导电能、石油、天然气、压缩空气),深部矿山及深海石油开采,地下铁道及轻轨建设,放射性核废料地下储存,国防、人防工程的发展,研究重点日益转向地下,不仅深入研究人工洞室的开挖技术,而且注意利用天然洞室或废旧矿井做地下工程。城市地下空间利用日益成为众所关注的热点,除要建立完整的地下铁道网络外,还要建设综合性的地下城市。如日本在新宿已建成一个地下城市的雏形,还计划在东京青山地区深 10 m、50 m、100 m 的地下分 3 层修建球型地下城,使地下同地上一样成为一个现代化的大城市。美国堪萨斯市利用矿山采空区建立了一个商业、工业中心,明尼苏达、得克萨斯等地区约有 1 万多中产者移居地下。据估计 21 世纪末,人类约有 1/3 将重新“穴居地下”。

1. 国外地下工程的发展现状

据《简氏城市年鉴》,从 1863 年伦敦建成 6.2 km 的世界上第一条地铁开始,到 2005 年年底

的 100 多年里,全世界已有 44 个国家近 120 多个城市修建了 353 条、线路总长超过 6 000 km(其中地下线路超过 3 000 km)的地下轨道交通系统。全球范围内都开始对地下空间进行大规模的开发利用。目前,国外城市地下空间的开发利用趋势主要有两方面,一是大型建筑物向地下的自然延伸发展到复杂的地下综合体(地下连接通道、地下车库、地下商业、休闲娱乐等),进而发展到地下城(与地下快速轨道交通系统相结合的地下街系统);二是地下市政设施的建设从地下供、排水管网发展到地下大型供水系统,地下大型能源供应系统,地下大型排水及污水处理系统,地下生活垃圾的清除、处理和回收系统和地下综合管线廊道(共同沟)。

日本列岛属于环太平洋造山地带,是多火山、多地震区,山地多而耕地少,人口多集中在平原地区。地理形态决定日本非常重视地下空间的开发利用。从地下高速铁路、停车场、共同沟、排水与蓄水的地下河川、地下热电站、蓄水的融雪槽和防灾设施等市政设施的实际建设,到“大深度地下城”、封闭性循环系统的构想,地下空间的利用形态极其丰富。兴建的地下共同沟的数量在世界上位居前列。为了防患地震、台风等灾害和火灾,日本各地在公园等公共用地的地下建造了许多饮用水和消防用水的储水箱、避难所;还建造许多用于各种目的的大型地下洞室,如建于山区坚硬基岩中的地下发电站、铁路和公路隧道,沿海地区的基岩中建造了大型洞室作为石油储备基地,在软土地基和软岩地基中建造大型地下储箱,储存发电燃料等。

北美的美国和加拿大虽然国土辽阔,但因城市高度集中,城市矛盾仍十分尖锐,城市地下空间的开发利用也达到了较高的水平。美国纽约的地铁在世界上运营线路最长(443 km),车站数量最多(504 个),每天接待 510 万人次,每年接近 20 亿人次。纽约市大部分地铁车站比较朴素,站内一般只铺水泥地面,很少有建筑以外的装饰,但很便利。纽约市四通八达不受气候影响的地下步行道系统,很好地解决了人车分流问题,缩短了地铁与公共汽车的换乘距离,同时把地铁站与大型公共活动中心用地下道连接起来。

除了要解决城市用地和交通矛盾外,英国、法国、德国等欧洲各国还将地下空间利用同保护城市环境和自然景观结合起来,如这些国家规定,城市的上下水道设施、污水处理设施、废弃物处理、石油储藏设施等必须建造在地下,并要考虑与城市景观的协调。

北欧也是地下空间开发利用的发达地区,地下空间的利用与民防工程的结合是一大特点,在二战后的冷战时期,建造了许多防空洞,如瑞典“克拉拉教堂的地下民防洞”和“伊艾特包里地下控制中心”,平时作为停车场、体育、娱乐设施、仓库等,战争时作为避难和指挥场所。北欧具有地质条件良好,基岩坚硬、稳定,开挖时很少使用辅助措施,在市政设施和公共建筑方面建造了许多大型的地下工程,如瑞典南部地区供水的大型系统全部在地下,埋深 30~90 m,隧道长 80 km,靠重力自流。芬兰赫尔辛基的大型供水系统,隧道长 120 km,过滤等处理设施全在地下。公路隧道是北欧地下空间利用上的又一个亮点,世界上最长的公路隧道就是挪威西部的 24.5 km 长的拉达尔隧道。

俄罗斯也是地下空间开发利用的发达国家,其特点是地铁系统相当发达,莫斯科地铁系统号称最豪华的地铁,素有“欧洲地下宫殿”之称,9 条线路纵横交错,线路总长 146 km,103 个车站内到处点缀圆雕、浮雕,形态各异。俄罗斯的地下共同沟也相当发达,莫斯科地下有 130 km 的共同沟,除煤气管外,各种管线都有,只是截面较小(3 m×3 m),内部条件相对较差。

2. 我国地下空间的利用现状

我国地下空间有计划的大规模利用始于 20 世纪 60 年代,主要是为了“备战备荒”的军事或

准军事目的而修建的地下防灾设施。在 20 世纪 60、70 年代,我国建设了一批地下工厂、人防工程和北京、天津地下铁道。随着国际关系趋向缓和和我国综合国力的提升,我国逐渐把地下空间利用的出发点从防空工程转移到国防与经济建设综合考虑上,目前基本形成了“平战结合,为民造福”的地下空间利用指导原则。由于我国地下空间利用起步相对较晚,利用形态相对简单,地下设施类型也较少。

我国的地铁始建于 1965 年。目前大陆已建成和在建地铁的城市有北京、上海、天津、广州、深圳、南京、武汉、长春、成都等城市。地下商业街、人行道、地下停车场是我国最广泛的城市地下空间利用形式,在各省会城市及大城市基本都有出现。

自 1888 年开工修建第一条狮球岭隧道起至 2005 年年末,我国共建成铁路隧道 7 538 座,总延长 4 314 km(未记入台湾铁路隧道数量),其中 3 km 以上的长隧道与特长隧道有 158 座,是世界上铁路隧道最多的国家。在建成的隧道中 90% 以上是中华人民共和国成立后修建的,平均每年修建铁路隧道超过 120 座,长度超过 70 km。1968 年上海用国产挤土网络盾构建成了越江打浦路隧道,以后又陆续建成延安东路越江隧道。我国用沉管法先后建成了宁波涌江公路隧道、广州珠江铁路隧道。特别是在山城重庆,建成了多条公路山岭隧道。

3. 地下空间开发利用与可持续发展社会

1996 年 4 月,与第 22 次国际隧道学会同时召开的“可持续的隧道及地下工程”国际隧道会议,重点讨论了隧道及地下工程在可持续发展中的重要性 and 地位。会上发表了题为“21 世纪对可持续发展的人类居住的挑战”的基调报告,以及题为“发展国家中的公共交通的改善”和“可持续的地下空间的利用”等报告,纷纷对可持续发展中的隧道及地下工程的地位和作用进行了讨论。主要有以下几点:

① 今后 40 年世界人口预计 90% 增加在发展中国家,而其中的 90% 又集中在城市。城市的成长,从根本上来说,已经到了改变现在的社会和政治的时期。这种世界规模的大城市化的趋势,会引起贫困、失业、城市基础设施不足、交通、大气污染、水质污染、噪声等一系列问题。城市化并不一定会引起不稳定状况,但社会基础设施不足、经济发展裹足不前、资源不足等将会引发许多环境、交通、居住、管理、基础设施建设等诸多问题。

② 发展中国家的急剧的城市化,使增加居住设施、公共事业和社会基础设施的必要性,变得极为迫切。因此,国家和公共团体的重要资源就是为城市居民提供交通、上下水道、防灾、休闲等大规模的基础设施。而隧道及地下空间是提供能源、上下水道、交通系统等的强有力的手段。实现以整合社会基础设施为目的的地下空间利用,是众望所归的。

③ 大城市的效率性和城市居住者的生活水平,在很大程度上,依赖于交通基础设施,这对城市的经济成长和提高生产效率、充分利用集聚在大城市物质的、文化的资产是不可缺少的。因此,效率高、成本低、对资源的有效利用和维持生态系统的交通系统的整合,势在必行。

④ 大量输送系统的形态应从生产性和可持续发展两方面研究。主要表现在设施经济的可持续性和方便性、生态系统的可持续发展、社会的可持续发展三方面。

从目前看,除人年均收入在 1 500 美元以上经济发达的城市,或利用既有设施容易的城市以外,修建地铁无疑是很困难的。从技术工作者的立场看,可持续发展系统就是在正常状态下运转的平衡系统,或是在可能收容的范围内计划发展的系统。最好的系统应该是和自然生态相适应的系统。目前大多数是图 1-1-2 所示的单方向的系统,从可持续发展的概念出发,应采用

图 1-1-3 所示的与自然过程相适应的系统。

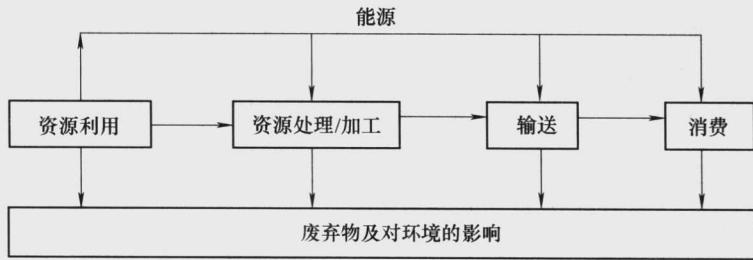


图 1-1-2 单方向系统

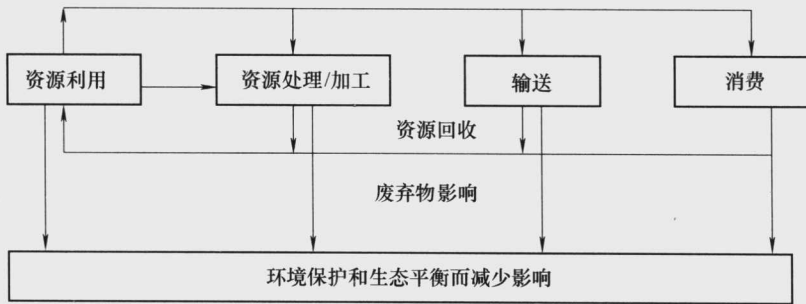


图 1-1-3 与自然过程相适应的系统

在可持续发展的社会中,地下空间的作用可归结为:

- ① 水工隧洞可提供城市给水、排污水,对环境保护起重要作用;
- ② 地下可提供贮藏空间和其他空间,使土地利用面积倍增;
- ③ 重要的生命线可充分利用地下,提高抗御自然灾害的能力;
- ④ 地下是提供放射性废弃物或其他有害废弃物唯一安全的场所;
- ⑤ 交通隧道可提供安全、准时、快速、经济的交通手段;
- ⑥ 增加了作为生产设施、事务所以及居住等地下空间的利用;
- ⑦ 食品、液体、瓦斯等的地下贮存;
- ⑧ 地下利用可极大地缓和城市的混杂。

综上所述,地下空间的利用是多方面的,已渗透到人类生活的各个领域,形成了功能广泛的工程系统和科学体系,并发展成为对国民经济发展具有重要意义的产业,是一个具有横跨岩土、地质、结构、计算机学、灾害防御等学科领域的大学科,也是 21 世纪的一个重大的技术领域。在规划我国 21 世纪的学科发展领域时,它的形成和发展具有非常重要的地位和作用。

二、地下工程的发展重点

目前各国都把地下空间利用的重点,放在城市建设上。地下空间作为城市重要资源,得到了多方面的应用。大致有办公楼、地下街、地下停车场、交通设施、通信设施、上下水道、废弃物处理设施、文化设施等。这些地下设施与地面设施一道构成了城市的立体空间网络。