

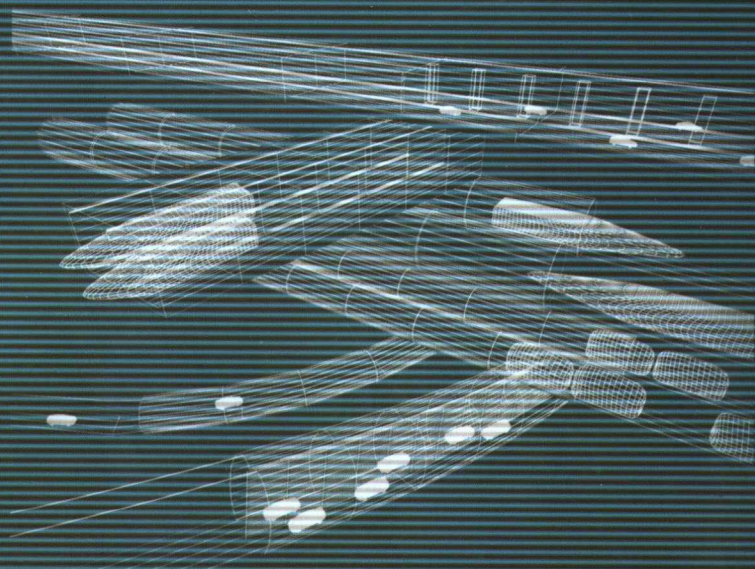
其他



国防科工委「十五」规划  
**教材**

# 地下空间建筑与防护结构

● 耿永常 编著



哈尔滨工业大学出版社

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社

西北工业大学出版社

哈尔滨工程大学出版社



国防科工委“十五”规划教材·其他

# 地下空间建筑与防护结构

耿永常 编著

哈尔滨工业大学出版社

北京理工大学出版社 西北工业大学出版社

哈尔滨工程大学出版社 北京航空航天大学出版社

## 内容简介

本书为国防科工委“十五”规划重点教材,主要有两部分内容,即地下空间建筑与防护结构。建筑部分包括地下空间开发与可持续发展,地下街,地下铁道,地下车库及地下民用建筑;防护结构包括常规武器与现代高技术武器效应,核武器效应,核爆炸冲击波及岩土中压缩波,材料与结构动力分析,炮、航弹冲击,爆炸局部破坏作用,浅埋整体式大跨度结构,附建式结构,军事工事及坑道结构,出入口及消波系统设计,防护结构抗震及有限元分析等内容。书中参考了国内外大量资料与实例,阐述了建筑与防护结构设计的一般原理、基本设计原则与方法,也介绍和收录了近10年来该领域部分最新的研究成果与动态。每章后列出了该章学习的重点及复习思考题。

本书可作为土木工程、地下与防护工程的专业教材及同类专业学生学习用书,也可供有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

地下空间建筑与防护结构/耿永常编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005.12  
ISBN 7-5603-2230-1

I.地… II.耿… III.①地下建筑物—空间规划 ②地下建筑物—防护结构 IV.TU9

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第118644号

## 地下空间建筑与防护结构

编 著 耿永常  
责任编辑 尹继荣 贾学斌  
责任校对 费佳明 杨明蕾  
出版发行 哈尔滨工业大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号(150006)  
传 真 0451-86414749  
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>  
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂  
开 本 787×960 1/16 印张 29.25 字数 594千字  
版 次 2005年12月第1版 2005年12月第1次印刷  
书 号 ISBN 7-5603-2230-1/TU·55  
印 数 1~3000  
定 价 39.00元

# 国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主任:张华祝

副主任:王泽山 陈懋章 屠森林

编委:王 祁 王文生 王泽山 田 蔚 史仪凯

乔少杰 仲顺安 张华祝 张近乐 张耀春

杨志宏 肖锦清 苏秀华 辛玖林 陈光禡

陈国平 陈懋章 庞思勤 武博祯 金鸿章

贺安之 夏人伟 徐德民 聂 宏 贾宝山

郭黎利 屠森林 崔锐捷 黄文良 葛小春



## 总 序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其它技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,生产和传播国防科技新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替



代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 200 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入二十一世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振



兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝

开发城市地下空间，可节约宝贵的土地资源，保护自然生态环境，提高城市集约化程度，对战争及地震灾害的防护等具有十分突出的优越性，有利于城市的可持续性发展。

21世纪必将是城市地下空间建筑蓬勃发展的世纪，对地下空间领域的研究与开发，具有极其重要的意义。

王光远

中国工程院院士王光远题词





# 前 言

地下建筑与防护这门既古老又新颖的学科在城市可持续发展的 21 世纪被重新赋予新的定义与概念。在现代化的都市中,地下城市正在崛起,地下已不再是阴冷潮湿的场所,而成为人类生存空间的又一延伸。从原始社会的穴居,奴隶社会的水道,封建社会的陵墓与石窟,工业革命时期的地下电站与地铁,20 世纪战争年代的掩体与工事,到现代社会的地下街与综合体,地下空间的发展将成为 21 世纪城市发展的主题。现代社会城市已变得十分拥挤,土地不断被占用,空气污染在加剧,生态环境遭到破坏,以及战争与自然灾害等,这一切都构成了对人类自身生存的威胁。城市地面空间及上空被高层建筑和高架路挤占,给自然环境带来很大影响,开发地下空间将是城市可持续发展、解决城市土地紧缺的有效途径。

城市地下空间资源的开发利用,可保护现有耕地不被破坏,有利于减少环境污染,提高城市化水平。城市地下建筑对抗震减灾又是最好的建筑类型,特别在现代高技术战争中,地下具有突出的防护作用。我国城市地下空间开发起步于 20 世纪 60 年代的人防工程,其主导思想是以防战争空袭为目的。当时尚未认识到地下空间与城市用地及平时利用的关系,因而有相当多的工程没有同城市建设相结合。随着社会的发展与进步及城市集约化程度的不断提高,地下空间开发的意义已被人们所认识。之后的 20 多年,我国大中城市先后结合城市改造开发利用原有的“人防工程”,有序地开发地下空间,形成了地下商业街、停车场、地下铁道、交通隧道及大型地下综合体,并结合城市广场,修建了绿地、下沉式广场等设施。

我国于 1997 年颁布了《城市地下空间开发利用管理规定》,这是我国城市地下空间规划、建设、管理方面的第一部法规性文件,标志着我国城市地下空间开发利用进入了一个崭新的阶段。



纵观发达国家城市发展的历史,城市地下空间开发首先是结合城市交通的改造而开始的,主要有地下铁道、隧道与步行道系统。在交通改造的同时,还应进行综合管线廊道的改造。如时速 600 km 的地下飞行器首先把东京和大阪连接起来,连接俄罗斯与日本之间穿越日本海的 50 km 海底隧道,将法国里昂和意大利米兰连接起来的穿越阿尔卑斯山脉的隧道;深层超大型城市地下综合体都正在进行扩展。我国有 20 多个城市正在建设和筹建地铁,这将使我国迎来大规模建设地铁的时代。

19 世纪是“桥”的世纪,20 世纪是“高层建筑”的世纪,科学家预言,21 世纪将是“地下空间”的世纪,城市建设“向地下索取空间”是城市可持续发展的必经之路。

地下空间工程自古以来都与战争防御相联系,是战争中最好的防护工程类型。现代高技术条件下武器装备杀伤破坏力是地面建筑无法抵御的,20 世纪的海湾战争、科索沃战争等历次现代战争使我们更清醒地认识到其残酷的破坏力。现代战争具有全天候立体化的侦察手段,有精确的打击武器,如可钻土 90 m 及钻混凝土 18 m 的深钻地弹。尽管如此,历次战争中特别是科索沃战争中,参战者都依靠地下防护工程保存了战争实力。在大力开发城市地下空间的同时,考虑可能的战争袭击进行必要的长期准备,使地下结构具有一定的防护能力,是我国国防战略防御的重要组成部分。

为了推动我国城市地下空间工程的进展,培养土木工程领域、岩土与地下工程、防护工程中的具有综合技能的高级专业技术人才,结合国防科工委“十五”重点教材规划建设,我们编写了本书。本书是作者 20 多年从事地下建筑与结构教学、科研和工程设计的总结,并吸收了该领域国内外优秀地下建筑作品及部分新的科研成果。

本书的编写得益于王年桥编写的《防护结构计算原理与设计》、总参工程兵科研三所编写的《常规武器破坏效应与工程防护技术》、杨海平等对防护门的研究及董军等对钢筋混凝土板的研究,以及国内外其他专家及学者在该领域的新近研究成果和国家颁布的有关规范等。他们的研究



与贡献使本书内容更加充实与完整。

哈尔滨工业大学地下结构与防护工程专家高伯扬教授、张晓漪教授,哈尔滨工程力学研究所防灾减灾工程专家、博士生导师张敏政教授,哈尔滨工业大学结构工程专家、博士生导师张耀春教授对书稿进行了认真的审阅并提出了许多宝贵意见。中国工程院院士、博士生导师王光远教授给予了热情支持与指导,还有岩土工程专家、博士生导师张克绪教授和力学专家、博士生导师陆钦年教授给予了积极的帮助,哈尔滨工业大学土木工程学院研究生谢玲燕、李达、白文亭在本书撰写过程中协助收集资料、校对与整理稿件,哈尔滨工业大学出版社尹继荣、贾学斌编辑,对此书的出版与编辑付出了很多辛苦,在此向他们表示真诚的感谢。

鉴于作者水平有限,时间紧迫,书中缺点与不足在所难免,恳请广大读者批评指正。

耿永常  
2004年12月  
于哈尔滨工业大学

# 目 录

<b>第一章 地下空间建筑规划及防护</b> .....	1
1.1 地下空间建筑及发展 .....	1
1.2 地下空间的分类及研究内容 .....	19
1.3 城市地下空间规划与防护 .....	23
思考题 .....	34
<b>第二章 城市地下街设计</b> .....	35
2.1 城市地下街的发展及规划 .....	35
2.2 城市地下街的建筑设计 .....	42
2.3 地下建筑空间艺术 .....	51
思考题 .....	58
<b>第三章 地下停车场设计</b> .....	59
3.1 地下停车场规划与平面类型 .....	59
3.2 地下停车场设计 .....	71
思考题 .....	89
<b>第四章 城市地下铁道</b> .....	90
4.1 地下铁道规划 .....	90
4.2 地下铁道隧道及区间设备段 .....	105
4.3 地下铁道车站设计 .....	115
4.4 地铁附属用房及防灾 .....	147
思考题 .....	156
<b>第五章 地下空间其他民用建筑</b> .....	157
5.1 地下空间民用建筑类型与特点 .....	157
5.2 其他地下空间建筑 .....	164
5.3 地下空间民用建筑实例 .....	180
思考题 .....	197
<b>第六章 地下空间建筑的防护</b> .....	198
6.1 现代高技术战争 .....	198
6.2 现代高技术战争中的防护工程防护对策与发展 .....	201
6.3 地下空间建筑防护规划 .....	207



6.4 孔口布局防护	216
思考题	227
<b>第七章 防护结构与高技术武器效应</b>	<b>228</b>
7.1 防护结构特点与原则	228
7.2 常规武器作用效应	233
7.3 核武器及其效应	236
7.4 现代高技术武器及其作用效应	246
思考题	252
<b>第八章 炮、航弹冲击、爆炸局部破坏作用</b>	<b>253</b>
8.1 概述	253
8.2 炮、航弹冲击局部破坏作用	255
8.3 装药爆炸局部破坏作用	262
8.4 钻地武器的破坏作用	267
思考题	271
<b>第九章 核爆炸冲击波及岩土中压缩波</b>	<b>272</b>
9.1 空气冲击波及其特性	272
9.2 核爆炸空气冲击波	280
9.3 岩土中的压缩波	290
思考题	295
<b>第十章 结构构件动力性能及体系动力分析</b>	<b>296</b>
10.1 瞬时动载作用下材料动力性能	296
10.2 结构弹性体系动力分析	303
10.3 弹塑性体系动力分析	323
思考题	333
<b>第十一章 浅埋掘开式钢筋混凝土整体结构</b>	<b>334</b>
11.1 小跨整体式结构	334
11.2 大跨整体式结构	339
11.3 成层式结构	353
思考题	360
<b>第十二章 附建式防护结构</b>	<b>361</b>
12.1 附建式防护结构特点及形式	361
12.2 附建式结构动荷载及动力计算	369
思考题	382



<b>第十三章 军事工事与坑道结构</b> .....	383
13.1 发射与观察工事 .....	384
13.2 军械掩体工事 .....	395
13.3 坑道结构概述 .....	399
思考题 .....	407
<b>第十四章 出入口、门、活门防护原理及冲击波荷载</b> .....	408
14.1 出入口的防护与冲击波荷载 .....	408
14.2 防护门选型及抗爆设计 .....	413
14.3 孔口设备防护 .....	424
思考题 .....	430
<b>第十五章 现代工程其他防护及分析方法</b> .....	431
15.1 工程综合防护及平战结合 .....	431
15.2 有限元软件在地下结构中的应用 .....	439
<b>参考文献</b> .....	446

# 第一章 地下空间建筑规划及防护

## 1.1 地下空间建筑及发展

### 一、地下空间建筑及防护

从历史上看,建筑物是伴随着人类的起源而出现的。在原始社会,建筑物是人类为了躲避风雨和防备野兽侵袭而产生的,最初人类的原始建筑就是地下穴居,在漫长的社会不断进步的过程中,建筑发展到今天这样的模式,它不仅仅是完成最原始的功能,而且赋予了人们在生活、生产、政治、经济、文化、艺术、防灾、减灾、环保、生态、国防安全等方面所需要的众多功能。今天的科学技术日新月异,使建筑和城市也以从未有过的速度和景象在人们的视野中展现,绿色建筑(green architecture)、生态建筑(ecology architecture)、智能建筑(intelligent architecture)、地下建筑(underground architecture)等都是随着社会可持续发展的要求而出现的。

地下空间是相对地上空间而言的,指地球表面以下天然或掘造形成的地下空间(subsurface space)。地下空间建筑是指在自然形成的溶洞内或由人工挖掘后进行建造的建筑,泛指各种生活、生产、防护的地下建筑物及构筑物(buildings and structures),也可特指某一类型的地下建筑,如交通隧道及国防工程等。构筑物常指那些仅满足使用功能要求而对室内外艺术要求不高的建筑,如各种管沟、矿井、库房、隧道及野战工事等。

地下空间的利用常同战争防护相联系,人类自有战争出现以来,就开始利用地下工程进行防护,直至现在的高技术战争,地下结构仍是防护各种武器杀伤破坏作用的最好建筑类型。无论国防还是人防工程建设均离不开地下防护结构,地下防护结构是指抵抗预定杀伤武器破坏作用的地下空间结构。

现代社会开发利用地下空间资源具有下述几个特点。

(1) 为城市规模扩展提供了十分丰富的空间资源,是城市可持续发展的必然途径。

(2) 具有良好的密闭性与稳定的温度环境,适宜掩蔽及对环境温度有较高要求的工程,如指挥中心、贮库、精密仪器生产用房等。

(3) 节约城市用地,保护农田及环境,节约资源,改善城市交通,减轻城市污染等,如地下交通工程可将废气统一处理而不污染空气。

(4) 地下空间建筑有较强的防灾、减灾优越性,可有效地防御包括核武器在内的各种武器的杀伤破坏作用,对地震、风、雪等自然灾害及爆炸、火灾等灾害抵御能力较强,对爆炸、火灾的



蔓延控制较容易。

(5) 地下空间建筑由于处在岩土中,施工难度大且复杂,一次性投资成本高,但使用寿命长。其封闭的特性对设备要求较高,人们对其适应性较差。

(6) 地下空间建筑的缺点是自然光线不足、与室外环境隔绝、通信效果差、对防水防潮要求较高等。长期居住应选择地下掩土式或窑洞式建筑,全埋式地下空间建筑等适宜工业、国防公共场所、人防、交通与贮库等建筑。

## 二、城市地下空间开发的意义

现代城市地下空间建筑的出现,一般以 1863 年英国伦敦建成的世界上第一条地下铁道为标志,至今已有 140 余年的历史。大规模开发利用城市地下空间是近半个世纪才开始的。在 20 世纪上半叶,地下空间建筑主要为战争防护服务;20 世纪 60 年代以后,发达城市的地下空间开发达到空前规模,对于缓解城市用地紧张和安全防护起到了至关重要的作用。

### (一) 节约耕地

人类的生存依赖于可耕地,当人类人口数量达到一定极限后,就会发生生存危机。20 世纪末世界总人口数为 62 亿,可耕地面积为 6.2 亿  $\text{hm}^2$  ( $\text{hm}^2$  即公顷,  $1 \text{ hm}^2 = 10^4 \text{ m}^2$ ), 而世界总可耕地面积为 15 亿  $\text{hm}^2$ , 按每公顷耕地可供养 10 人计算, 根据人口总数的发展预测, 到 2150 年全世界人口可达到 150 亿, 需要耕地数将达 15 亿  $\text{hm}^2$ , 届时将可能发生世界性的人类生存危机。从我国目前情况看, 可耕地面积约为 1 亿  $\text{hm}^2$ , 2050 年我国人口总数预测为 16 亿, 每公顷供养人数为 16 人, 要求耕地产粮能力达到  $9\ 600 \text{ kg}/\text{hm}^2$  (即亩产 6 400 kg), 这是极其困难的。可以说, 我国在 2000 年土地平均供养人数已达到 13 人/ $\text{hm}^2$ , 发展到 2050 年间, 土地供养人口能力将达到极限。

我们看到目前地面土地破坏流失严重, 地面工程规划占用农田数目惊人, 而开发地下空间可减少对土地的破坏, 节约可耕地面积。

### (二) 城市地下空间资源广阔

地下空间资源包括三个方面涵义, 即天然蕴藏总量、技术条件约束下可供合理开发的蕴藏总量和一定历史时期内的蕴藏总量。根据童林旭教授的研究, 以目前的施工技术水平和维持人的生存所花费的代价来分析, 地下空间合理开发深度将根据社会发展水平不断加大, 在我国按占国土面积 15% 计算, 可供有效利用的地下空间资源总量接近  $11.5 \times 10^{14} \text{ m}^3$ 。

### (三) 城市地下空间开发利用

城市地下空间建筑如仅从造价去分析, 要比地面建筑高得多, 如土建费用平均为地面工程的 2~4 倍, 设备费用为地面工程的 1.5~2.1 倍, 上述分析不考虑地价, 如把地价考虑在内, 越是在繁华地区的地下工程与同地区地面工程相比其造价越低。从日本地下街建造的经验看, 地下街道造价仅为地面建筑造价的  $1/4 \sim 1/12$ , 而且繁华区地下空间的使用价值与土地的使用价值基本一致。在关于土地有偿使用的问题中, 要对地下空间使用权及有偿使用问题进行





研究,其基本原则是浅层地下空间开发利用的使用权费用较低,而次深层地下空间应为无偿使用,这样可充分发挥地下空间的使用价值,促进地下空间的开发利用。

地下空间作为人类潜在的丰富的自然资源,从史前的古人洞穴到新石器时代的矿业坑道和已存在 600 多年的黄土窑洞,从 18 世纪工业革命产生的地下电站、地下铁道到各种工业和商业用途的隧道洞室,以及现代城市化开发的地下街、地下综合体,都说明地下空间开发的悠久历史及在现代城市建设发展中所发挥的巨大潜力。

地下空间开发深度分为浅层(不大于 10 m)、次浅层(10~30 m)、次深层(30~100 m)、深层(不小于 100 m)四个层次。在 30 m 以内的空间开发就具有相当可观的利用率,如北京市建设用地为 483 km<sup>2</sup>,在次浅层 30 m 以内开发就会获得 19.3 亿 m<sup>2</sup> 的建筑面积,是北京市现有房屋的 11.4 倍。对不同层次深度的使用功能配置进行研究及规划,次浅层以内地下空间利用大多由交通、综合管廊及一些与人们生活生产密切相关的设施所占,这已经成为各国城市地下空间开发的实际状况。

#### (四)城市地下空间开发与可持续发展

1987 年世界环境和发展委员会(WCED)提出“可持续发展”的构想,城市地下空间对可持续发展的贡献在于它对环境生态的保护作用。地下隧道可使交通快捷和安全,解决废气对空气的污染,解决污废水排放并提供清洁水。地下建筑可有效地防震与防害,其防灾减灾功能远优于地面建筑,它可减少由灾害带来的损失;可贮存各种物品,如气体、液体、食品、危险品等;可大幅度增加各种使用空间,保护地面城市与土地,如法国巴黎利用矿洞作为墓穴以减少公墓占地,在密尔沃基地下深 91.4 m,长 32.19 km 的空间,设置了 18 亿 t 的水处理系统。地下空间开发对社会可持续发展的支持是显而易见的,为此,各个国际组织及我国都相当重视地下空间的开发利用。

日本学者尾岛俊雄提出了在城市地下空间中建立封闭性再循环系统(recycle system),又称为城市“集积回路”(integrated urban circuit)。其主要原理是把气—水—热—能的处理与转换进行再利用,形成一个封闭循环系统。尾岛还针对东京的状况提出在 50~100 m 深处的稳定岩层中建造“新干线共同沟”及东京市大深度地下公用设施复合干线网规划。图 1.1 为日本清水公司提出的日本东京地区大深度地下城市构想。该方案是以东京皇宫为中心,深度为 50~60 m,在直径为 40 km 范围建成一座地下城市。城市组织在 10 km×10 km 的网格中,节点处设一个直径 100 m 的带有天窗的 8 层综合体,其建筑面积共 4 万 m<sup>2</sup>,每隔 2 km 设一个 3 层的直径为 30 m 的扁球体公共综合设施,展示了大城市空间立体开发的设想。我国为了加强地下空间的管理,于 1997 年 11 月颁布了《城市地下空间开发管理规定》。规定中指出城市地下空间规划是城市规划的重要组成部分,是解决“城市病”等一系列问题、实现城市可持续发展的有效途径,是我国城市发展的重要方向。

#### (五)地下空间的防护功能

地下建筑具有良好的抗震、防空袭和防化学武器的功能。在现代高技术战争条件下,利用