

地下空间与 城市现代化发展

UNDERGROUND SPACE AND DEVELOPMENT
OF URBAN MODERNIZATION

童林旭 著

现 代 城 市 规 划 丛 书



中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

现代城市规划丛书

地下空间与城市 现代化发展

UNDERGROUND SPACE AND
DEVELOPMENT OF URBAN MODERNIZATION

童林旭 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

地下空间与城市现代化发展/童林旭著. —北京: 中国
建筑工业出版社, 2005
(现代城市规划丛书)
ISBN 7-112-07306-5

I. 地... II. 童... III. 地下建筑物—城市规划
IV. TU984.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 025028 号

现代城市规划丛书
地下空间与城市现代化发展
UNDERGROUND SPACE AND DEVELOPMENT
OF URBAN MODERNIZATION

童林旭 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京二二〇七工厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 插页: 20 字数: 500 千字

2005 年 6 月第一版 2005 年 6 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 62.00 元

ISBN 7-112-07306-5

(13260)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书是“现代城市规划丛书”之一，从城市规划的角度和城市现代化的要求出发，对城市地下空间利用做了较全面的论述。全书共分10章，第一部分包括导论、理论与实践、城市中心地区的立体化再开发和城市广场、绿地以及城市历史文化保护区的地下空间开发利用；第二部分论述在地下空间中应当规划的4大系统：交通系统、市政公用设施系统、防空防灾系统和能源及物资储备系统。最后，对城市地下空间利用前景做了一定的分析和展望。

本书可供城市规划、城市设计、城市管理工作者，以及高等院校相关专业师生学习参考。

责任编辑：吴宇江

责任设计：郑秋菊

责任校对：孙 爽 赵明霞

序

童林旭教授专注于地下空间的开发利用和相关的教学研究已有30多年的历程。他从工程建设开始就注意到建筑理论和工程实践相结合的研究方向，逐步形成了微观和宏观相结合的学术体系。这一本《地下空间与城市现代化发展》就是他近10年来研究成果的最新概括。作为“现代城市规划丛书”的一个分册，是值得推荐的。

随着近几年中国城市化的迅速发展，城市地下工程的建设量逐渐增长，特别是大城市的地下铁道、地下车库、地下商场、地下仓储设施等建得越来越多，如北京市近年建设的地下建筑面积已占总建筑面积的10%左右，有的地下空间开发已覆盖全部用地，达到相当充分的程度。但是地下空间开发利用在国内各城市的发展还很不平衡，有些城市的开发量在这几年并无太长增长。这主要由于工程经济、管理体制、有关立法等问题还未很好解决，在安全保障、心理习惯等方面尚存疑虑。对于这些城市，根据自己条件，适时适度地开发利用地下空间，还需做很大的努力。

从全局来看，经过多年的高速发展，城市受资源、能源、环境、交通等条件的制约日益严重，国家领导部门已经指出，城市无限制地占用土地资源的情况必须改变，建筑节能、交通节能的水平应当大大提高，环境条件也需要疏解改善。为此，城市发展应当从粗放型向集约型转变。在这一过程中，地下空间的开发利用，可以起到积极的促进作用。今后城市的发展要树立科学的发展观，走循环经济之路，构筑节约型的社会主义和谐社会，确保社会经济协调健康发展。总的看来，在进一步深化改革，提高现代化建设水平的进程中，综合开发利用城市地下空间将是一个必然的趋势。因此应当做好规划，针对目前存在的问题，完善必要的措施，开发和保护地下空间资源，引导城市地下空间科学、合理、有序的利用，使长期形成的地面城市，向地上地下三维空间发展，创造优良宜居的大环境，谋求最大的社会经济和环境效益。

童林旭先生的这本专著还有一个特点，就是除介绍国外情况外，还提供了

不少近年国内城市地下空间利用的优秀实例，这是我国自己的实践经验，加以总结推广，对进一步发展、创新是很有意义的。同时，在实践的基础上，书中有针对性地对一些问题提出解决的办法和思路，对规划决策和工程建设都可资借鉴。相信在今后我国城市现代化进程中，本书对地下空间开发利用的发展，将会起到实际的推动作用。

中国科学院院士 周干峙
中国工程院院士

2005 年 3 月

前 言

在现代生产力和科学技术的推动作用下,人类正以前所未有的速度实现自身的巨大发展和进步;然而与此同时,也受到因人口迅速增长和滥用自然资源而造成的各种全球性难题的困扰,其中一个就是生存空间的危机。在探索缓解这一危机的过程中,开发利用地下空间被证明是一个较为现实的有效途径,因而地下空间被视为人类迄今所拥有的少数尚未被充分开发的自然资源之一。在城镇规划和建设领域,合理开发与综合利用地下空间资源,不但可缓解当前存在的各种城市矛盾,满足土地资源不足条件下城市发展的需要,而且为进一步的城市化和城市现代化,以至建设未来城市,都开辟了广阔的前景。因此,开发利用地下空间,使城市空间实现三维式的拓展,成为现代城镇规划工作的重要内容,也是实现城市现代化的必由之路。

10年前,拙著《地下建筑学》出版,因印数较少,除各大图书馆存留一部分外,市场上很快销售一空,无法满足广大读者获取地下空间和地下建筑方面知识的渴望,著者深感不安。幸蒙中国建筑工业出版社邀请,参加“现代城镇规划丛书”的部分编写工作,使著者有机会在原《地下建筑学》中有关地下空间规划方面内容的基础上加以补充、完善,着重增添了国内近十余年城市地下空间利用的新成就、新经验和著者在这一过程中形成的一些新观点、新思路,以期在耄耋之年,能为我国现代城镇规划工作和城市地下空间的开发利用事业,再做一点绵薄的贡献。

承蒙中国科学院院士、中国工程院院士、建设部原副部长周干峙同志为本书作序,十分荣幸。周院士是城市学和城镇规划学的资深专家,是著者在清华读书时的学长。这篇序文是对著者的鼓励,也是对我国城市地下空间利用事业的支持和推动,谨致以衷心的感谢。同时,对多年来在工作中给予著者支持和帮助的国内外许多单位和专家,表示诚挚的谢意,并欢迎读者对本书提出批评指正。

童林旭

2004年12月

目 录

序

前言

第一章 地下空间导论	1
第一节 地下空间利用的基本概念	1
第二节 地下空间资源的潜在与实际价值	9
第三节 地下空间的防灾及环境特性	16
第四节 开发地下空间的法律与政策问题	23
第二章 城市地下空间利用的理论与实践	26
第一节 现代城市地下空间利用半个世纪的回顾与展望	26
第二节 城市地下空间利用的理论依据	32
第三节 城市地下空间开发的需求与条件	45
第四节 城市地下空间的发展战略、发展目标与发展规划	49
第三章 城市中心地区的立体化再开发与地下综合体的建设	60
第一节 城市中心地区的立体化再开发	60
第二节 城市地下综合体	89
第四章 城市中心地区广场、绿地地下空间的开发利用	113
第一节 广场、绿地的城市功能、存在问题与发展趋向	113
第二节 开发利用城市广场、绿地地下空间的目的与作用	117
第三节 城市中心地区广场、绿地的立体化再开发	123
第四节 广场、绿地地下空间开发与城市生态环境的相关问题	141
第五章 城市历史文化保护区地下空间的开发利用	149
第一节 历史文化名城的保护与发展	149
第二节 重要文化遗产所在地保护性再开发实例评介	151
第三节 北京旧城沿中轴线地下空间开发利用探讨	159
第六章 城市地下交通系统	170
第一节 城市交通与动态交通问题	170
第二节 城市快速轨道交通系统	179
第三节 地下铁道系统	184

第四节 地下道路系统	197
第五节 地下静态交通系统	205
第七章 城市地下公用设施系统	215
第一节 公用设施与城市发展的关系	215
第二节 地下公用设施系统的大型化	224
第三节 地下公用设施系统的综合化	234
第八章 城市地下防空防灾系统	241
第一节 城市灾害与城市防灾态势	241
第二节 城市防灾的综合化与一体化	248
第三节 城市地下防空防灾系统	253
第四节 城市生命线系统与重要民用经济目标的防护	257
第九章 城市地下能源及物资储备系统	263
第一节 在地下空间贮存能源、物资的特殊优势	263
第二节 民用液体燃料的地下贮存	269
第三节 食物和淡水的地下贮存	277
第四节 热能、机械能、电能的地下贮存	285
第十章 城市地下空间利用前景	292
第一节 城市的未来	292
第二节 地下空间与未来城市	299
参考文献	311
彩色图片	312

第一章 地下空间导论

第一节 地下空间利用的基本概念

1.1 地下空间的涵义

地球表面以下是一层很厚的岩石圈，岩层表面风化为土壤，形成不同厚度的土层，覆盖着陆地的大部分。岩层和土层在自然状态下都是实体，在外部条件作用下才能形成空间。

在岩层或土层中天然形成或经人工开发形成的空间称为地下空间（subsurface space）。天然形成的地下空间，例如在石灰岩山体中由于水的冲蚀作用而形成的空间，称为天然溶洞；在土层中存在地下水的空间称为含水层。人工开发的地下空间包括利用开采后废弃的矿坑和使用各种技术挖掘出来的空间。

建造在岩层或土层中的各种建筑物（buildings），是在地下形成的建筑空间，称为地下建筑（underground buildings）。地面建筑的地下室部分，也是地下建筑；一部分露出地面，大部分处于岩石或土壤中的建筑物和构筑物（structures）称为半地下建筑。地下构筑物一般是指建在地下的矿井、巷道、输油或输气管道、输水隧道、水库、油库、铁路和公路隧道、野战工事等。地下建筑物和构筑物有时总称为地下工程（underground construction）或地下设施（underground facilities）。图 1-1 ~ 图 1-6 是几种不同类型地下建筑举例。

图 1-1 是在山体岩石中建造的一座地下游泳池；图 1-2 是在山体岩石中建造的地下机械加工与装配车间；图 1-3 是在土层中建造的半地下覆土住宅；图 1-4 是在城市街道下土层中建造的地下商业街；图 1-5 是利用废弃矿坑建造的原油库。

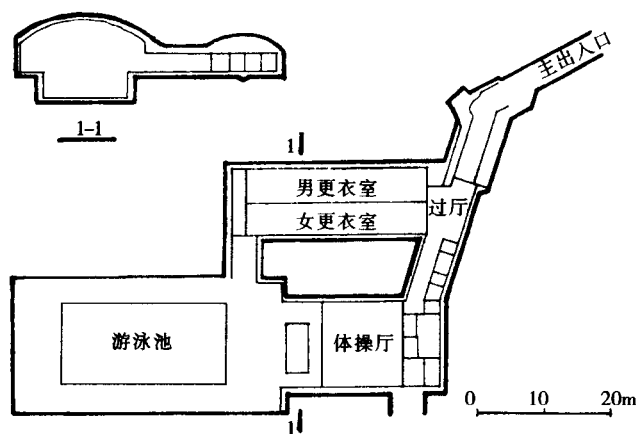


图 1-1 挪威季奥维克地下游泳池

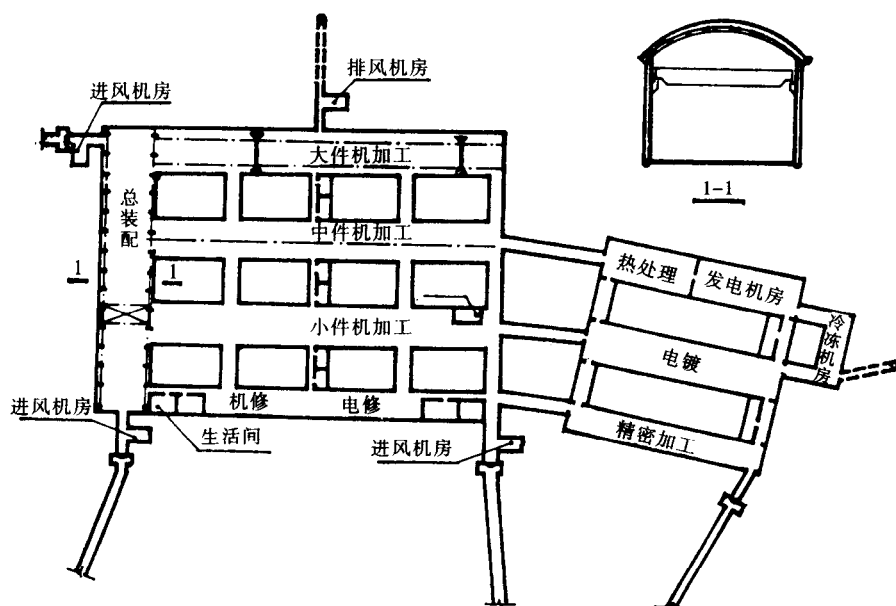


图 1-2 地下机械加工与装配车间总体布置方案

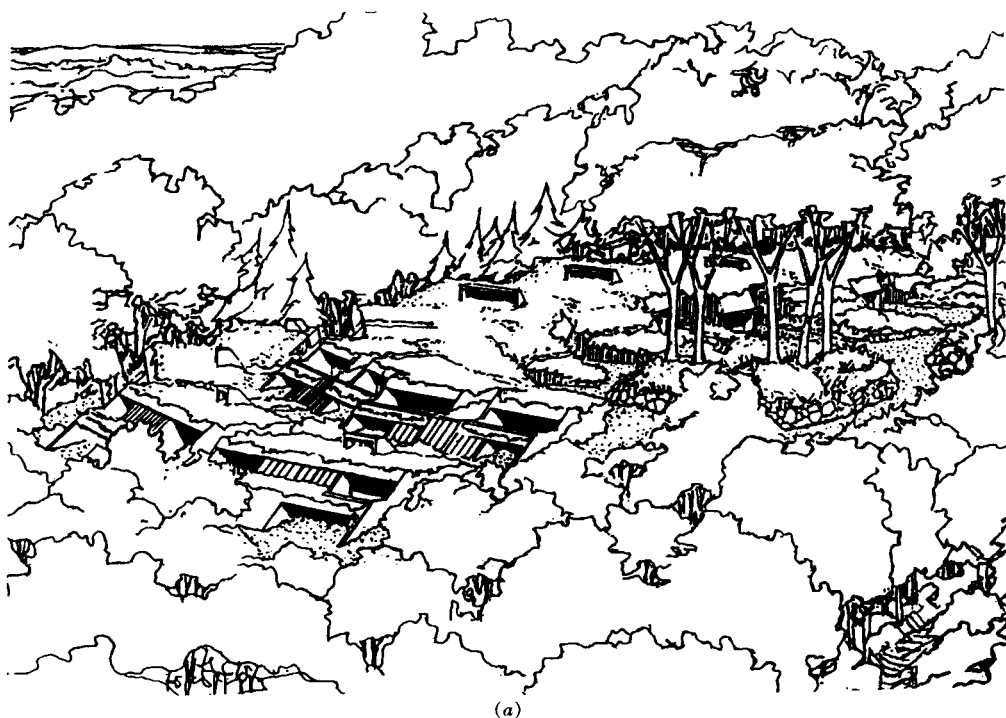


图 1-3 美国的半地下覆土住宅 (一)
(a) 建在坡地上的覆土住宅透视；

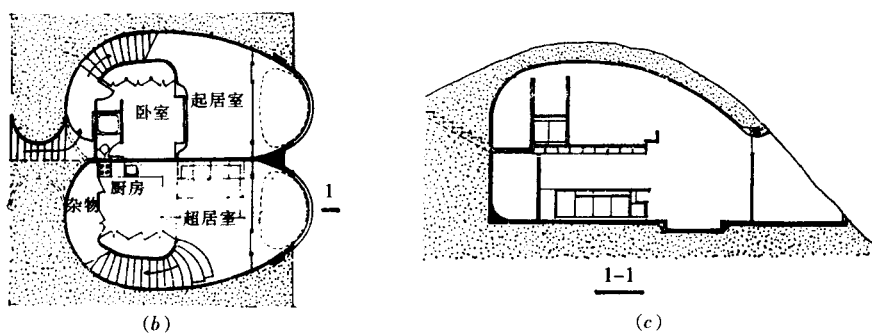


图 1-3 美国的半地下覆土住宅 (二)

(b) (c) 半地下覆土住宅平面、剖面举例

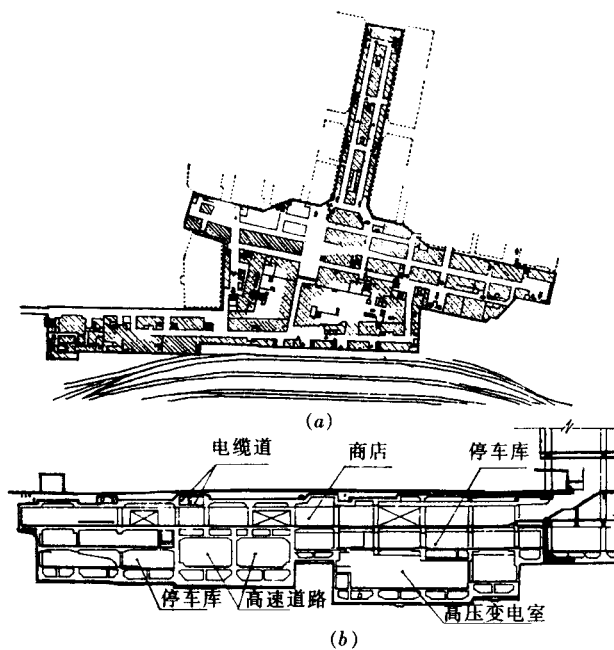


图 1-4 城市中的地下商业街平面、剖面

(a) 地下一层平面; (b) 横剖面

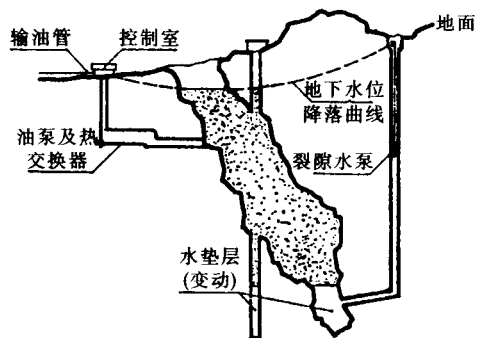


图 1-5 瑞典最早的岩洞水封油库示意

1.2 地下空间利用的历史沿革

人类对地下空间的利用，经历了一个从自发到自觉的漫长过程。推动这一过程的，一是人类自身的发展，如人口的繁衍和智能的提高；二是社会生产力的发展和科学技术的进步。

根据考古发现和史籍记载，在远古时期，人类就开始利用天然洞穴作为居住之用。在北京西南郊周口店村龙骨山发现的北京猿人头骨和使用火的遗迹，说明距今 50 余万年前^①的原始人类曾居住在自然条件比较好的天然岩洞，并在其中保存生活所必需的火种。在周口店龙骨山上，还发现有被称为“新洞人”和“山顶洞人”两种古人类的生活遗址，也都是在天然洞中，距今一万多年。

在公元前 8000 ~ 前 3000 年的新石器时代，冰河期已过，气候变暖，当时的劳动工具已适于在较软的土层中挖掘洞穴。由于一些民族部落从游牧开始聚居，天然岩洞已不能满足需要，故大量掘土穴居住，从简单的袋形竖穴到圆形或方形的半地下穴，上面用树枝等支盖起伞状的屋顶。我国已发现新石器时代遗址 7000 余处，其中最早的是河南新郑裴李岗及河北武安磁山两处，都有窑址和窑穴的发现。黄河流域典型的村落遗址有西安半坡、临潼姜寨、郑州大河村等，住房多为浅穴，房中央有火塘。氏族社会晚期的龙山文化遗址，出现套间房址和井址，地穴越来越浅，已开始向地面建筑过渡。

据史籍记载和各方面的考证材料，人工洞穴最早始于旧石器时代晚期至新石器时代早期，距今约 7000 ~ 8000 年。当时的洞穴形式为从地面往下挖成的一个上小下大的坑，称为竖穴〔图 1-6 (a)〕。在西安半坡村发掘出的仰韶文化（距今 6000 ~ 3000 年）遗址中，有从竖穴发展而成的袋形穴，圆的袋形穴直径 5m 左右，方形的面积约 20m²，穴中间都有支撑穴顶的木柱，图 1-6 (b) 为袋形穴的复原图。在距今 4000 ~ 3000 年的龙山文化时期，开始出现横穴。如图 1-6 (c) 所示。

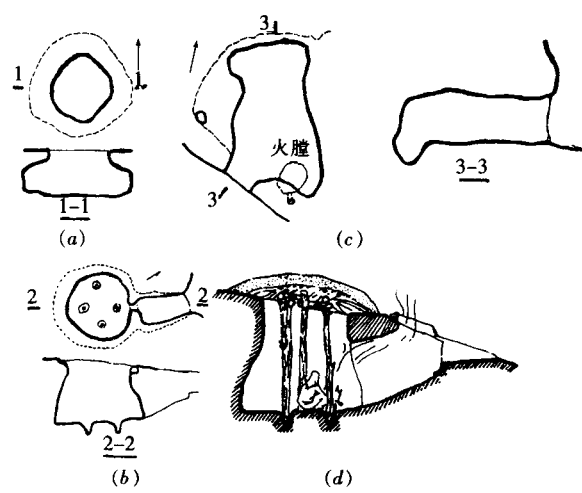


图 1-6 石器时代的袋形竖穴和横穴

(a)、(b) 竖穴平、剖面；(c) 横穴平、剖面；(d) 袋形竖穴复原示意

^① 据《辞海》“北京猿人”条目，“经古地磁法测定，北京猿人的绝对年龄为距今约 70 万 ~ 23 万年”，这里的 50 余万年是通常的说法。

由于中国西北部黄土高原特殊的地形、地质条件，以及这一地区的经济、社会长期比较落后，至今在 200 个县的范围，居住各类窑洞中的总人口估计有 3500 ~ 4000 万人，有的县窑居户数占农户总数的 80% ~ 90%。虽然从全国范围来看，窑洞居民在总人口中不到 5%，但其绝对数字仍相当于一个欧洲大国的人口，因此应认真对待、研究和引导，使传统的窑洞民居沿着正确的方向发展，用现代技术加以改造，逐步改善其居住条件和环境。

比较典型的两类窑洞，即靠山式窑洞和下沉式窑洞，见图 1-7 和图 1-8。

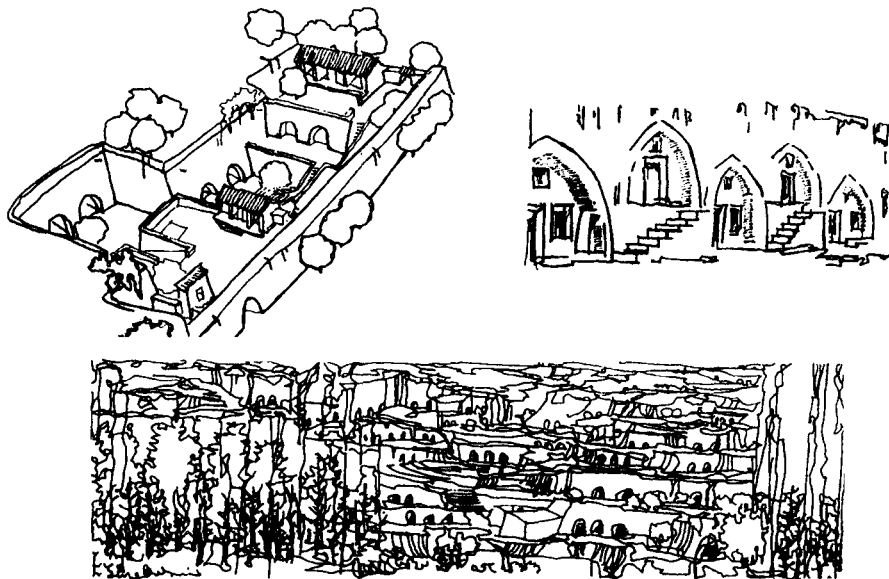


图 1-7 中国黄土高原靠山式窑洞

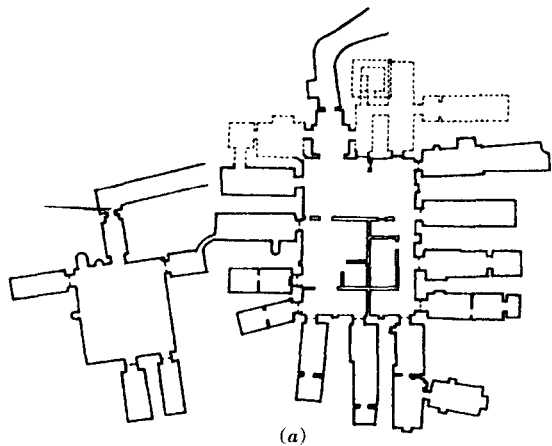


图 1-8 中国黄土高原下沉式窑洞 (一)
(a) 平面



(b)

图 1-8 中国黄土高原下沉式窑洞 (二)

(b) 透视

在日本也发现有 2~3 万年前的古人类居住洞穴, 如帝释峡洞窟群、圣岳钟乳洞等。在欧洲、美洲、西亚、中东、北非等地, 都有一些穴居的遗迹, 但年代已不很久远。

人类到地面上居住以后, 除个别地区仍沿袭了穴居的传统外, 开始把开发地下空间用于满足居住以外的多种需求, 如采矿, 贮存物资, 水的输送, 以及人死后的埋葬等。公元前 3000 年以后, 世界进入了铜器和铁器时代, 劳动工具的进步和生产关系的改变, 使奴隶社会中的生产力有了很大发展, 导致了在其鼎盛时期形成空前的古埃及、希腊、罗马, 以及古代中国的高度文明; 这时地下空间的利用也摆脱了单纯的居住要求, 而进入了更广泛的领域, 同时大量的奴隶劳动力使建造大型工程成为可能。这种发展势头一直持续到封建社会初期, 在这几千年中遗留至今的或有历史可考的大型地下工程很多, 例如: 公元前 2770 年前后埃及金字塔, 实际上是用巨大石块堆积成的墓葬用地下空间; 公元前 22 世纪巴比伦地区的幼发拉底河底隧道; 公元前 18~前 12 世纪中国殷代的墓葬群; 公元前 5 世纪波斯的地下水路; 公元前 312 年~前 226 年期间修建的罗马地下输水道; 公元 370 年左右东罗马帝国的地下贮水池等。

公元前 206 年建成的中国秦始皇陵, 至今虽未大规模发掘, 但据《水经注》记载, 该陵“斩山凿石, 旁行周围, 三十余里。”结合已发掘的兵马俑坑群可以判断, 此陵可能是中国历史上最大的地下陵墓。

在中国封建社会这一漫长的历史时期中, 地下空间的开发多用于建造陵墓和满足宗教建筑的一些特殊要求。用于屯兵和储粮的地下空间近年也陆续有所发现。在迄今为止的我国考古发现中, 数量最多和规模最大的是战国、秦汉, 直到明清各朝代的帝王陵墓和墓葬

群。例如河北满城的西汉墓，陕西乾县的唐章怀太子墓和永泰公主墓等，都表现出规整的布局、较高的结构和防水技术。在洛阳北邙山发掘出的汉、魏墓葬群，为方形对称布置，周围是墓道，在墓道的一侧（有的在两侧）有墓室，大小共 30 余个，第 13 号为曹魏正始八年建的墓室。有堂厅、侧室、正室，为贵族墓室，规模较大。

佛教在东汉时期从印度传入中国，在南北朝至五代的几百年中（大约为 4 世纪中叶至 10 世纪中叶），发展最盛，兴建了大量佛教建筑，地下空间的利用为展示和保存这些宗教艺术珍品提供了有利条件。在陡峭岩壁上凿出的洞窟形佛教建筑称为石窟寺（grotto），其中最著名的有山西大同的云冈石窟（北魏），河南洛阳的龙门石窟（北魏），甘肃敦煌的莫高窟（从北魏到隋、唐、宋、元各朝），甘肃麦积山石窟（从后秦、北魏直到明、清），河北邯郸的响堂山石窟（北齐）等。这些石窟岩洞的成形和加工与以佛教故事为题材的浮雕艺术和壁画艺术融为一体，使整个岩洞成为一个大型的雕刻艺术空间。

1971 年，在洛阳市东北郊发掘出一座古代地下粮库，是隋朝建造（7 世纪），一直使用到唐朝。库区面积 600m × 700m，已经发掘出的半地下粮仓已近 200 个，其中第 160 号仓直径 11m，深 7m，容量 445m³，可存粮 2500 ~ 3000t。挖掘时，仓内还保存有原来贮存的谷物。

1961 年在河北峰峰矿区发现的古代地道，是 800 年前宋朝时挖掘，从布置情况和出土文物分析，是用于军事目的的地道，蜿蜒 40 余千米，走向很不规则，埋深约 4m，有些部分在空间上立体交叉，还有通向地面的通风竖井。在河北雄县等地也有类似发现。在一些古籍中，也有关于利用地道作战、攻城的记载。

在欧洲，从 5 世纪到 15 世纪，进入了封建社会的最黑暗时期，即所谓中世纪，这时地下空间的开发利用也基本上处于停滞状态。一直到 14 世纪、15 世纪的文艺复兴时期，不但欧洲在文化艺术上摆脱了宗教的束缚，出现了空前的繁荣，自然科学也有了很大的发展，促进了社会生产力的提高和资本主义生产关系的萌芽。从此，欧洲的科学技术开始走到世界的前列，地下空间的开发利用也进入了新的发展时期。17 世纪火药的使用和 18 世纪蒸汽机的应用，使在坚硬岩层中挖掘隧道成为可能。例如，1613 年建成伦敦水道，1681 年修建了地中海比斯开湾的连接隧道（长 170m）。19 世纪以后建设的隧道就更多，1843 年伦敦建造了越河隧道，1845 年英国建成第一条铁路隧道；1871 年，穿过阿尔卑斯山，连接法国和意大利的长 12.8km 的公路隧道开通。

现代地下空间的开发利用，在 20 世纪 60 年代和 70 年代达到了空前的规模，在一些发达国家，地下空间的开发总量都在数千万到数亿立方米，主要用于建造各种交通隧道、水工隧道、大型公用设施隧道和地下能源贮库；城市地下空间的开发利用也占有一定的比重。几个发达国家在 1960 ~ 1980 年的地下空间开发量见表 1-1。

各国地下空间开发的规模 表 1-1

国 名	地下开发总量 (10 ⁶ m ³)	
	1960 ~ 1970	1970 ~ 1980
日本	9.0	37.0
美国	4.0	22.5
意大利	4.0	11.2

续表

国 名	地下开发总量 (10^6m^3)	
	1960 ~ 1970	1970 ~ 1980
法国	3.2	8.5
挪威	2.2	4.0
瑞典	1.5	5.0
前西德	1.3	3.7
加拿大	1.3	1.5

城市地下空间的开发利用,一般是以 1863 年英国伦敦建成第一条地下铁道为起点。1865 年伦敦又修建了一条邮政专用的轻型地铁,至今仍在使用,已发展到 10.5km 长。1875 年,伦敦又开始建设下水道系统。进入 20 世纪后,一些大城市普遍陆续建设地下铁道,城市地下空间开始为改善城市交通服务。交通的发展促进了商业的繁荣,日本从 1930 年开始建设地下商业街。第二次世界大战以后到 20 世纪末,城市地下空间利用得到空前的发展,在城市重建、缓解城市矛盾和城市现代化过程中,起了重要作用。关于这一阶段的情况,详见本书第二章第二节。

1.3 地下空间发展的宏观背景

城市地下空间利用是城市发展到一定阶段而产生的客观要求。同时,一个国家或城市所处的自然地理环境和地缘政治环境对其开发利用地下空间的动因、重点、规模、强度等都有一定的影响。这些因素构成地下空间发展的背景和条件。举例来看:日本虽然经济发达,但国土狭小,人口众多,资源短缺,城市空间非常拥挤,因而在 20 世纪 50 年代到 80 年代,结合城市改造进行立体化的再开发,大量开发利用了城市地下空间。一些西欧和东欧国家在 20 世纪后半叶的冷战时期,为了防止在欧洲和两大阵营之间可能发生的大规模战争中受到袭击或波及,曾一度大规模修建地下民防工程,成为这些国家城市地下空间利用的主体。瑞典等北欧国家缺少能源,故利用优越的地质条件,大量建造各类地下贮油库,建立国家的石油战略储备,同时还在地下空间中贮存热能、冷能、机械能、电能等多种能源。加拿大冬季漫长,气候寒冷,冰雪给城市生活造成很大不便,因此各大城市在修建地下铁道的同时,大量建造地下步行道,进而形成大面积的地下商业街。这些情况表明,各国城市地下空间的发展,既符合城市发展的一般规律,又有各自的背景和条件。从我国国情出发,这种宏观背景可概括为以下五方面内容:

(1) 人口背景。我国人口到 2000 年为 12.8 亿人,占世界总人口的 22%,其中城镇人口 45600 万人。预计到 2030 年前后全国人口开始零增长,届时总人口将达 16 亿人;城镇人口按占 60% 计,将达到 9.6 亿人。这样的人口形势不但是生态空间的沉重负担,对以城市为主的生活空间的压力更大。在人口不断增多,生存空间日益缩小的情况下,地下空间能开拓新的生存空间,为城市发展提供充分的后备空间资源。在我国,这一资源还远没有被开发,其潜力是十分巨大的,比开发海下空间和宇宙空间要容易得多,现实得多。