

地下建筑学

UNDERGROUND ARCHITECTURE

童林旭 著
Tung Linhsu

中国建筑工业出版社

地下建筑学

UNDERGROUND ARCHITECTURE

童林旭 著

Tung Linhsu

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

地下建筑学 / 童林旭著. —北京: 中国建筑工程工业出版社, 2011.4
ISBN 978-7-112-12964-5

I. ①地… II. ①童… III. ①地下建筑物—建筑学
IV. ①TU9

中国版本图书馆CIP数据核字 (2011) 第026900号

本书是在1994年版《地下建筑学》的基础上重写的, 较全面地反映了近十几年地下建筑学的发展, 以及地下空间利用和地下建筑建设的最新成就。篇幅从原来的15章扩大为3篇28章。第1篇为地下建筑学总论, 共8章, 论述有关地下建筑学概念性、历史性、战略性和前沿性问题; 第2篇为地下空间规划, 共10章, 结合对国内外大量实例的评介, 论述城市中心区、居住区、历史文化保护区、城市新区以及城市广场和公共绿地等处的地下空间规划问题; 第3篇是地下建筑设计, 共10章, 结合国内外大量实例, 分别论述地下居住建筑、公共建筑、交通建筑、工业建筑、仓储建筑和民防建筑等的建筑设计问题, 还涉及地下建筑设计中的环境、防灾、防水等技术问题, 最后探讨了地下建筑的空间与建筑艺术处理问题。

本书作为地下建筑学学科领域的专著, 对我国的地下空间开发利用与地下建筑规划设计有一定的指导意义和参考作用, 可作为高等学校建筑学和城市规划等专业师生的参考用书, 也可供从事城市规划、建设、管理和建筑设计工作的领导干部及工程技术人员参考。

责任编辑: 吴宇江

责任设计: 陈旭

责任校对: 姜小莲 王雪竹

地下建筑学

UNDERGROUND ARCHITECTURE

童林旭 著

Tung Linhsu

*

中国建筑工程工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京方舟正佳图文设计有限公司制版

北京画中画印刷有限公司印刷

*

开本: 880×1230毫米 1/16 印张: 35¼ 字数: 1070千字

2012年4月第一版 2012年4月第一次印刷

定价: 180.00元

ISBN 978-7-112-12964-5

(20140)

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)

代序（一）

人类在古代社会就会以各种不同方式利用地下空间。西方城市地下空间的广为利用，应追溯到工业革命以后。科学技术的发展与生产力的提高，城市人口聚集，大城市兴起，建筑物充塞，市内空间拥挤，为解决城市交通及基础设施的需要，地下铁道、地下构筑物等逐渐应运而生。自1845年伦敦地铁的开始兴建，发展到今天，不仅有地下铁道、地下商业街及各种场所，像加拿大蒙特利尔、多伦多等市，由于冬季严寒，在市中心若干平方公里内，地铁、地下商业街、地下步行道，以及一些公共建筑蔚然成网，与地上大型公共建筑物出入口，包括公共汽车站停车场等相对应，俨然为名副其实的“地下城”，成为“冬季城市”的特色，在一些北欧国家亦近类似。

在西方建筑学界，对地下建筑的空间利用及相关各种技术问题的探索，已逐步形成一个专门的学术领域，有称之为“地下建筑学”（Underground Architecture），有人更创“Geotecture”之类新词，实际上可视为建筑学向地下空间领域的展拓。

在我国并非没有利用地下空间的传统。“下沉式窑洞”就是向地下索取居住空间人所共知的例子，我国西北3000~4000万人居住在这类建筑之中，足见适

用甚广。历史上如唐洛阳之地下粮仓、安徽亳县传说中的曹操地下运兵道，这也可算中国古代城市地下空间利用的较为著名的例子，只是过去研究者不多。中国基于政治经济发展的停滞，近代城市之兴起较晚，落后于西方一百多年，直至近几十年来城市才有急剧发展，但由于经济体制和不完备的建筑经济核算制度，除了结合民防，城市一般基础设施建设由于资金无着，一直落后于实际需要，除少数特大城市外，更无力从事耗资巨大的地下空间的开拓。影响所至，还造成对建筑设计思想的束缚，例如1977年在天安门广场上兴建毛主席纪念堂，设计组几无任何将整个纪念堂建造在广场地下之议（事后我听说某领导同志当时曾有此主张，可惜并未传达到设计者耳中）。设想如果在北京天安门广场的地下，设计有若干大小序列、多种功能之大厅，自广场上由庄严之石级而下，并有地铁站相通，不仅可建设宏伟的纪念堂，还可作其他各种安排，至少不失为一美妙设想。自贝聿铭巴黎卢浮宫之改建设计问世后，我更感到当时在设计创作思想上的局限性，失去把握地下空间创造之良机。而时至今日，在一些城市重要地区中心建筑群的设计中，对此仍然运用不多，这一方面既受经济发展的束缚，

也有思想与技术水平的不足。

现在我国经济体制正在向社会主义市场经济转变，它对城市发展的影响一时难以预计，但下列之点为势所必须：

第一，城市人口将进一步聚集，大城市特大城市将继续形成，一些特大城市继续向“大城市地区”扩展。

第二，由于区域性基础设施的发展（如快速街道的修建），第三产业的兴起，特大城市中流动人口的数量必然会增加。

第三，特大城市的中心地带更为密集，小汽车数量虽一再增加，无法解决城市中心地区的交通问题，如不妥善处理，还可能使交通进一步恶化。为了提高效益与效率，充分利用地下空间的迫切性将与日俱增。

第四、在社会主义市场经济体制下，建设资金的渠道增多，地下空间利用、实施的可能性亦随之增长，而不是像过去，当听说地下铁道每公里造价1亿元（闻现已增至2亿），视为畏途，不敢问津。

此外，我国人口多，大城市多，耕地在减少，土地问题逐渐为人所认识，特别在土地有偿使用，发展房地产业以后，土地作为资源更日益为人所重视。城市要发展，要节约用地，地下空间是城市的后备资源，它的

深度发展，潜力很大；但另一方面，一般人并不爱惜地下空间，当今建设并未对地下空间深作研究，工程管道无计划铺设，地下空间利用的无计划和混乱情况随处存在。城市是经济、社会和文化的中心，建设和运转现代化城市要投入巨大的资金，同时城市（特别是特大城市）也是集约化创造和积累财富的中心。因此，必须重新认识地下空间这一重要领域，并将其在当前及未来建设中列入重要位置。我国一个时期以来，大兴土地批租之风，这也使有识之士，焦虑地看到“地下空间法”的制定，已是迫不及待。总之，要对城市土地空间的问题作深入的研究，必须发展地下建筑学以广泛地运用于实践。

童林旭教授1952年毕业于清华大学建筑系，1955～1959年赴前苏联莫斯科建筑学院进修获得副博士学位，自1970年以来，一直从事地下建筑的研究，并参与一些工程建设实践，积20余年之努力，写成此书，可称为我国这一研究领域拓荒之作。它的出版，正赶上实际的迫切需要，览读之余，至为欣慰。深信如何使建筑学向广度与深度发展，“广义建筑学”的建立，不仅非常必要，且在学者们之实际努力下，正迅速推进之中。

中国科学院院士

中国工程院院士

吴良镛

于清华园竹影榴花之庐

1993年6月

代序（二）

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，有些城市的开发在这几年并无太大增长。这主要由于工程经济、管理体制，以及有关立法等问题还未很好解决，在安全保障、心理习惯方面尚存疑虑。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。因此应当作好规划，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，谋求最大的社会效益和环境效益。

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

中国工程院院士



2005年3月

前言

1994年,拙著《地下建筑学》出版。该书主要是以著者在20世纪70~80年代所积累的经验 and 资料为依托撰写的,仅反映那一时期的国内外发展水平。除满足当时的社会需求外,也是希望为地下建筑学打下一个学科基础,并为广义建筑学开辟一个新的增长点。由于印数较少,又没有机会再版,长时间不能弥补社会上有关地下空间和地下建筑方面书籍的匮乏,使著者深感有责任把《地下建筑学》的撰写工作继续下去。十几年后,重写《地下建筑学》,使之反映当今世界地下建筑学的最新最高水平的条件现已成熟。在中国建筑工业出版社的支持下,著者遂担负起撰写此新版《地下建筑学》之重任。

这部新版《地下建筑学》,与旧版相比,新在哪里?据著者自忖,大致有以下几个方面:

(1) 对地下建筑学的发展方向进行了新的探讨,强调在进行常规的规划设计时,应实现地上与地下空间的协调发展,统筹规划,一体设计;同时,更加关注与国计民生和城市现代化有关的重大课题。地下建筑学的核心观念应当是:资源—环境—空间—安全。

(2) 论述了中国城市地下空间利用的发展道路,提出了与经济社会发展相协调的发展目标和相关的指标体系;同时提出了将地均GDP^①作为衡量城市效率的一个重要指标的建议。

(3) 对地下空间开发领域的一些前沿性问题,进行了初步的探讨,这些课题有:城市地下空间资源评估与适建性评价,城市地下空间需求预测,地下空间开发价值评估与地下建设项目综合效益评价,城市地下物流系统规划,地下空间开发与生态环境等。

(4) 针对当前对居住区地下空间规划不够重视的情况,强调了这个问题的重要性,以及对提高生活质量和防灾减灾的重要意义。

(5) 针对当前的城市综合防灾只考虑平时防灾的情况,强调了平时防灾与战时防空相统一的必要性和可行性,同时首次提出了城市生命线系统综合防灾减灾的主要措施。

(6) 首次提出城市历史文化保护区地下空间利用问题,认为是解决保护与发展矛盾的合理途径。据此,提出了适当开发地下空间,以改善天安门广场功能单一、空旷单调、环境不良等问题,以及解决故宫文物保护与展示空间不足等矛盾的建议方案。

(7) 首次提出城市以外地下空间,即山岭、水下、田野地下空间的开发利用问题,并提出三项重要的工程建议。

(8) 首次涉及地下建筑的空间与建筑艺术处理问题,结合实例进行了初步的论述。

(9) 增加了大量最近最新的国内外地下建筑规划设计实例,进行了简要的评介。

中国科学院和中国工程院的吴良镛、周干峙两位院士,曾分别为拙著《地下建筑学》(第一版)和《地下空间与城市现代化发展》作序。考虑到两位院士年事已高,工作仍很繁重,不便再打扰他们为本书作序。在征得同意后,谨以原来两篇序文作为本书的代序,并再次表示感谢。

在著者多年从事地下空间与地下建筑的研究与实践,得到过国内外许多单位和专家的支持与合作,谨致以衷心的感谢。著者还要特别感谢两位海外挚友,日本早稻田大学的尾岛俊雄教授和美国路易斯安那州立大学的斯特林教授多年来给予著者的关心与帮助。

欢迎读者对本书提出批评指正。

童林旭

2010年6月

^① 地均GDP是指每平方公里城市用地所创造的国内生产总值。

FOREWORD

This is a new edition of my book *Underground Architecture* published in 1994. From then to present, great advances have appeared in the field of underground space development. So, I am in duty bound to supplement the new achievements and advanced experience into the book. And then, under the promotion of the China Architecture & Building Press, I have taken these heavy responsibilities—revising the outmoded book in order to satisfy the needs of the public for new literature of underground architecture.

In comparison with the first edition(1994),the new edition of the book *Underground Architecture* is possessed of the following characteristics;

First,the contents of the book increased from 15 chapters to 28 chapters divided in 3 parts,and meanwhile, a lot of new examples of underground space use abroad and at home are introduced.

Secondly, the new edition deals with some new ideas and issues in the field of the contemporary underground architecture, such as the evaluation of underground space resources, the demand forecast of underground space, the assessment of the comprehensive benefits of the underground construction, the influence of underground development on ecological environment: the architectural and artistic design for underground space and buildings,and so on.

Finally, the new book probes into the orientation and prospect of the underground architecture development.

In the long period of my teaching and research work, I am enjoyed much helps and supports of many experts and scholars from different countries, especially, two overseas my old friends: Professor Ojima T. of the Waseda

University, Japan; and Profesassor Sterling R. of the Louisiana State University,U.S.A. I hereby express my heartfelt respects and thanks to them. Besides,any criticisms and suggestions to this book from readers are sincerely welcome.

Tung Linhsu

Professor of architecture

Tsinghua University, Beijing, P.R.CHINA

June,2010

目录

代序 (一)

代序 (二)

前言

第1篇 地下建筑学总论

第1章 地下空间与地下建筑/2

- 1.1 地下空间和地下建筑的涵义/2
- 1.2 人类利用地下空间的历史沿革/2
- 1.3 地下空间发展的宏观背景/8
- 1.4 地下空间的防护特性与环境特性/9
- 1.5 地下空间的城市功能/13
- 1.6 地下建筑学的任务与范畴/13

第2章 城市地下空间的开发利用/15

- 2.1 城市的发展和发展的制约因素/15
- 2.2 城市空间的三维特征/19
- 2.3 现代城市地下空间利用的回顾与展望/21
- 2.4 开发利用城市地下空间的战略意义/27
- 2.5 中国城市地下空间利用的发展道路/30

第3章 山岭和水下地下空间的开发利用/36

- 3.1 概况/36
- 3.2 山岭、水下岩层的工程地质条件/37
- 3.3 山岭岩层中地下空间的开发利用/42
- 3.4 海底隧道工程建设的特点和关键问题/49

第4章 地下空间开发与生态环境/53

- 4.1 生态环境的基本概念/53
- 4.2 地下空间开发与地质环境/54

4.3 地下空间开发与水环境/55

4.4 地下空间开发与大气环境/57

4.5 地下空间总体布局应考虑的环境问题/60

第5章 地下空间资源评估与工程适建性评价/62

- 5.1 地下空间资源评估的原理与方法/62
- 5.2 地下空间资源评估的主要影响要素/67
- 5.3 地下空间资源评估原理与方法的应用/71
- 5.4 地下空间资源评估结果的工程适建性评价/80

第6章 城市地下空间需求预测/88

- 6.1 城市地下空间需求/88
- 6.2 城市地下空间需求与城市容积率、用地类型和轨道交通建设的相关性/92
- 6.3 城市地下空间需求预测方法/96
- 6.4 厦门市地下空间需求量预测结果及分析示例/101

第7章 地下空间的开发价值与地下工程建设的综合效益评估/107

- 7.1 地下空间资源的潜在价值与开发价值/107
- 7.2 地下空间资源价值评估方法/112
- 7.3 地下工程建设综合效益评价方法：费用—效益分析法/118
- 7.4 用费用—效益分析法进行地下工程项目方案比较示例 (一) /121
- 7.5 用费用—效益分析法进行地下工程项目方案比较示例 (二) /124

第8章 地下建筑学发展前景/130

- 8.1 城市地下空间利用前景/130

- 8.2 地下空间在建设未来城市中的作用/137
- 8.3 城市地下空间发展远景规划示例/140
- 8.4 城市以外地下空间利用前景/142
- 8.5 地下建筑学的发展方向/146

第1篇 参考文献/147

第2篇 地下空间规划

第9章 城市地下空间规划概论/150

- 9.1 地下空间规划的任务、主要内容与编制要求/150
- 9.2 国内外城市地下空间规划概况/152
- 9.3 城市地下空间的发展目标/154
- 9.4 地下空间规划指标体系/157
- 9.5 地下空间规划的实施/162
- 9.6 当前我国城市地下空间规划工作中的几个问题/166

第10章 城市中心地区地下空间规划/168

- 10.1 城市中心地区的概念与特征/168
- 10.2 国外大城市中心地区的立体化再开发规划/171
- 10.3 国内外城市中心地区地下空间规划和建设实例评介/176

第11章 城市广场、公共绿地地下空间规划/199

- 11.1 广场、绿地的城市功能,存在问题与发展趋向/199
- 11.2 开发利用城市广场、公共绿地地下空间的目的与作用/201
- 11.3 城市广场、公共绿地地下空间利用规划/206
- 11.4 国内外城市广场、公共绿地地下空间规划示例/207

第12章 城市历史文化保护区地下空间规划/222

- 12.1 历史文化名城的发展与保护/222
- 12.2 国内外城市历史文化保护区地下空间规划示例/224
- 12.3 北京旧城沿中轴线地下空间规划探讨/235
- 12.4 利用地下空间对北京传统中轴线实行保护与改造的设想和建议/238

第13章 城市居住区地下空间规划/245

- 13.1 居住区建设的发展过程与发展趋向/245
- 13.2 居住区地下空间开发利用的目的与作用/247
- 13.3 居住区地下空间规划/249

第14章 城市新区及特殊功能区地下空间规划/260

- 14.1 城市新区地下空间规划概况/260
- 14.2 国外城市新区地下空间规划与建设示例/261
- 14.3 国内城市新区地下空间规划与建设示例/264
- 14.4 国内城市特殊功能区地下空间规划与建设示例/274

第15章 城市地下交通系统规划/283

- 15.1 城市交通与城市发展/283
- 15.2 城市交通的立体化与地下化/284
- 15.3 地下铁道系统/286
- 15.4 地下道路系统/293
- 15.5 地下静态交通系统/298

第16章 城市地下市政设施系统规划/304

- 16.1 城市市政公用设施概况与存在的问题/304
- 16.2 市政设施系统的大型化/310
- 16.3 市政设施系统的地下化/315
- 16.4 市政设施系统的综合化/317

第17章 城市地下物流系统/323

- 17.1 物流与现代物流系统/323
- 17.2 地下物流系统/324
- 17.3 地下物流系统的规划问题/327

第18章 城市地下综合防灾系统规划/330

- 18.1 城市灾害与城市防灾态势/330
- 18.2 城市防灾的综合化与一体化/333
- 18.3 城市综合防灾规划/338
- 18.4 城市生命线系统防灾规划/342
- 18.5 城市防灾物资的地下储备系统/346

第2篇 参考文献/351

第3篇 地下建筑设计

第19章 地下居住建筑/354

- 19.1 地下居住建筑产生的自然条件与社会背景/354
- 19.2 中国的窑洞民居/356
- 19.3 美国的半地下覆土住宅/366

第20章 地下公共建筑/371

- 20.1 地下公共建筑的城市功能/371
- 20.2 地下单体公共建筑/373
- 20.3 地下建筑综合体/389

第21章 地下交通建筑/406

- 21.1 地下铁道车站建筑/406
- 21.2 地下停车设施/420
- 21.3 城市立体客运交通枢纽/428

第22章 地下工业建筑/437

- 22.1 岩石中厂房布置的特点/437
- 22.2 地下工业建筑的总体布置/438
- 22.3 岩石中地下厂房的典型布置方式/446

第23章 地下仓储建筑/450

- 23.1 地下仓储建筑概况/450
- 23.2 地下物资库/452
- 23.3 地下民用液体燃料库/460
- 23.4 热能、机械能、电能的地下储存/465

23.5 地下储存清洁水/468

23.6 地下储存核废料/469

第24章 地下民防建筑/471

- 24.1 民防的任务与战略地位/471
- 24.2 主要空袭武器的破坏效应及防护措施/473
- 24.3 民防建筑主要类型的建筑设计/477
- 24.4 民防建筑口部的防护/488
- 24.5 民防建筑的平战结合与平战转换/491

第25章 地下建筑环境/494

- 25.1 空气环境/494
- 25.2 光环境与声环境/504
- 25.3 地下建筑的心理环境/507

第26章 地下建筑防灾/513

- 26.1 地下建筑内部灾害的特点、类型与成因/513
- 26.2 地下建筑防火/515
- 26.3 不同类型地下建筑的内部防灾/520
- 26.4 其他灾害的防护/527
- 26.5 地下建筑内部灾害的综合防治/529

第27章 地下建筑防水/532

- 27.1 地下水及其防治原则/532
- 27.2 土层中的地下建筑防水/538
- 27.3 岩层中的地下建筑防水/541

第28章 地下建筑的空间与建筑艺术处理/545

- 28.1 地下建筑内外空间的三维整合/545
- 28.2 地下建筑内外空间的过渡/547
- 28.3 地下建筑内部空间组织与建筑处理/550

第3篇 参考文献/559

跋/560

CONTENTS

PREFACE (一)

PREFACE (二)

FOREWORD

PART 1 THE OVERALL EXPOSITION OF UNDERGROUND ARCHITECTURE

Chapter 1 Subsurface space and Underground buildings / 2

Chapter 2 Development and Utilization of Urban Underground Space / 15

Chapter 3 Development and Utilization of Mountain and Submarine Space / 36

Chapter 4 Underground Space Development and Ecological Environment / 53

Chapter 5 Evaluation of Underground Space Resources and Appraisal of Construction Suitability / 62

Chapter 6 The Demand Forecast of Urban Underground Space / 88

Chapter 7 The Development Value of Underground Space and Appraisal of Comprehensive Benefits of Underground Construction / 107

Chapter 8 The Prospect of Underground Architecture / 130

References of Part 1 / 147

PART 2 URBAN UNDERGROUND SPACE PLANNING

Chapter 9 An Introduction to Underground Space Planning / 150

Chapter 10 Underground Space Planning in Urban Central Area / 168

Chapter 11 Underground Space Planning of Urban Squares and Public Green Areas / 199

Chapter 12 Underground Space Planning for Urban Historical-Cultural Protected Areas / 222

Chapter 13 Underground Space Planning in Urban Residential Districts / 245

Chapter 14 Underground Space Planning for Urban New Developed Areas and For Special Functional Districts / 260

Chapter 15 Planning of Urban Underground Communication Systems / 283

Chapter 16 Planning of Urban Underground Public Utility Systems / 304

Chapter 17 Planning of Urban Underground Logistics Systems / 323

Chapter 18 Planning of Urban Underground Disaster Prevention Systems / 330

References of Part 2 / 351

PART 3 UNDERGROUND BUILDINGS DESIGN

Chapter 19 Underground Residential Buildings / 354

Chapter 20 Underground Commercial and Institutional Buildings / 371

Chapter 21	Underground Transport Buildings / 406
Chapter 22	Underground Industrial Buildings / 437
Chapter 23	Underground Storages / 450
Chapter 24	Underground Civil Defence Buildings / 471
Chapter 25	The Environment for Underground Building / 494
Chapter 26	Disaster Prevention for Underground Buildings / 513
Chapter 27	Waterproof for Underground Buildings / 532
Chapter 28	The Artistic Treatment of Underground Space and Architectural Design of Underground Buildings / 545

References of Part 3 / 559

POSTSCRIPT / 560

地 下 建 筑 学
UNDERGROUND ARCHITECTURE



第1篇 地下建筑学总论

第1章

地下空间与地下建筑

1.1 地下空间和地下建筑的涵义

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。

地下空间的开发利用可为人类开拓新的生存空间, 并能满足某些在地面上无法实现的对空间的要求, 因而被认为是一种宝贵的自然资源。在有需要并具备开发条件时, 应当进行合理开发与综合利用; 暂不需要或条件不具备时, 也应妥善加以保护, 避免滥用和浪费。

建造在岩层或土层中的各种建筑物 (buildings) 和构筑物 (structures), 是在地下形成的建筑空间, 称为地下建筑 (underground buildings and structures)。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。

地下建筑的存在介质、施工方法、工程造价、内部环境等, 与一般地面建筑都有一定差异, 在建筑领域中是一种比较特殊的类型。

地下建筑具有良好的防护性能, 较好的热稳定性和密闭性, 以及经济、社会、环境等多方面的综合效益。地下建筑处在一定厚度的岩层或土层的覆盖下, 可免遭或减少包括核武器在内的各种武器的破坏作用, 同时也能较有效地抗御地震、飓风等自然灾害和火灾、爆炸等人为灾害。地下建筑的密闭环境和周围比较稳定的温度场, 可为某些有特殊要求的生产工艺和物资储存提供适宜的内部环境。在城市中有计划地建造地下建筑, 对节省城市用地, 节约能源, 改善城市交通, 减轻城市污染, 扩大城市空间容量, 提高城市生活质量等方面, 都可以起到重要的作用。此外, 地下建筑也存在一定的局限性, 例如缺少天然光线, 与自然环境隔绝, 建筑造价较高, 施工比较复杂等。

1.2 人类利用地下空间的历史沿革

1.2.1 地下空间利用简史

人类对地下空间的利用, 经历了一个从自发到自觉的几千年漫长过程。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

^① 据《辞海》“北京猿人”条目: “经古地磁法测定, 北京猿人的绝对年代不少于69万年。”这里的50万年是通常的说法。

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，距今约一万多年。

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七千余处，其中最早的是河南新郑裴李岗及河北武安磁山两处，都有窑址和窖穴的发现。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。

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、权现山洞窟群、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，储存物资，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年前后埃及的金字塔，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~前226年期间修建的罗马地下输水道，公元前37年左右东罗马帝国的地下蓄水池等。

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）为墓室，大小共30余个，第13号为曹魏正始八年（247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，地下空间的利用为发展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），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，仓内还保存有原来储存的谷物。

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km，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。14~16世纪的文艺复兴不但使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(Bay of Biscay)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,而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60~70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 m^3 ,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储库,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	地下空间开发总量 (10^6m^3)	
	1960~1970年	1970~1980年
日 本	9.0	37.0
美 国	4.0	22.5
意大利	4.0	11.2
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。20世纪60年代以后,地下空间在发达国家中得到更大规模的开发利用,在缓解城市矛盾和城市现代化过程中起着越来越重要的作用。

1.2.2 世界人口在地下空间中居住的历史与现状

自从人类在地面上开始建造居室,已有几千年的历史。至今,世界上大部分人口都已居住在各种类型的建筑物之中。但是,地下居住建筑并没有完全消失,而且在某些地区,在一定条件下,仍然有数以百万计的人口居住在传统的或现代的地下居住建筑中。

传统地下居住建筑规模最大,分布最广的地区是中国北部的黄土高原。据估计,居住在那里各种各样传统窑洞中的居民有4000万人左右。除中国外,北非、西亚和中东地区,在历史上和现在,也都有地下居住建筑的存在,但目前仍在地下居住的人口要比中国少得多。此外,在一些发达国家,如法国、意大利、澳大利亚、美国等,都发现过地下居住建筑的遗迹。

1.2.2.1 中国黄土高原

中国黄土地区分布在西起昆仑山,东至东北和内蒙古地区,南以秦岭、伏牛山连线为界的广大地区,在北纬 $34^{\circ}\sim 41^{\circ}$ 之间,总面积约63万 km^2 ,占全国总面积的7%,其中土层最厚的地区在太行山以西至乌鞘岭,秦岭以北到古长城一带,面积约38万 km^2 ,称为黄土高原。黄土一般是指原生黄土,是在地质年代的第四纪间(距今约200万年),靠风力自西北向东南搬运的黄色粉砂沉积而成,呈厚层连续分布,柱状节理发育,容易形成陡崖。次生黄土是指黄土地层受到风力以外的外力(如水冲)搬运,冲积、洪积、坡积而成,常呈带状、片状,或星散状不连续分布。上述38万 km^2 的黄土高原,就是原生黄土的主要分布地区。

黄土的生成年代越久远,土层越厚,土质越密实,干密度越大,凝聚力和抗压强度就越高,对于修建窑洞