



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



地下空间利用

Use of Underground Space

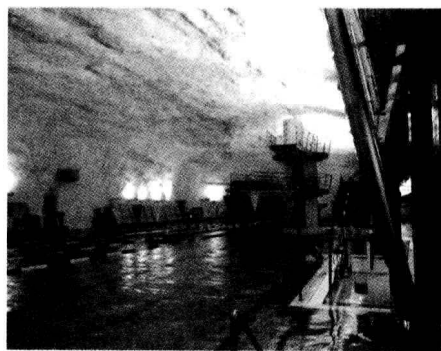
主编 • 仇文革 副主编 • 郑余朝 张俊儒 龚伦



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



地下空间利用

主编 • 仇文革 副主编 • 郑余朝 张俊儒 龚伦

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

简介

本教材为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，土木工程专业地下工程方向本科生课群组四门课程，即《山岭隧道》、《水下隧道》、《地下铁道》和《地下空间利用》之一。分绪论和城市地下空间利用及其他地下空间利用两篇，共 11 章。包括城市地下交通隧道，地下商业街，地下停车库，地下场馆，地下城市综合体，微型隧道，共同沟，陆路交通隧道，地下储油（气）库，地下水电站和地下厂房等的规划、设计与施工。重点介绍交通隧道以外的地下空间利用形态和未来发展。它是西南交通大学土木工程国家级特色专业地下工程方向的建设内容之一。内容编写体现了培养学生掌握和具备基本性（基本理论和基本技能）、系统性和创新性的要求以及基于问题、基于工程和基于案例学习的理念。

本教材也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目（C I P）数据

地下空间利用 / 仇文革主编. —成都：西南交通大学出版社，2011.6
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-5643-1240-4

I. ①地… II. ①仇… III. ①地下建筑物—资源利用—高等学校—教材 IV. ①TU9

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 128742 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

地 下 空 间 利 用

仇文革 主编

*

责任编辑 高 平

特邀编辑 胡晗欣

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

（成都二环路北一段 111 号 邮政编码：610031 发行部电话：028-87600564）

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸：185 mm × 260 mm 印张：15.625

字数：389 千字

2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1240-4

定价：29.80 元

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

随着人口增长、城市化进程的推进，全世界都在需求更多的城市空间。当今全世界人口已达 70 亿，其中有超过一半的人口居住在城市。而且在接下来的数十年间，这一数字还将快速增长，预计 2050 年总人口将达 90 亿，并将有 70% 的人口居住在城市。这样一来，对于政府而言，维持城市生活的宜居性是一大挑战。开发地下空间对城市建设至关重要，因为基础设施以及各类建筑物的空间规划已经越来越难。地下空间为城市的基础设施、生活服务设施提供了新的空间，且不以消耗宝贵的地面空间为代价。因此城市可以保留其珍贵的地面公共空间。即使地面利用了，也可以开发地下空间。此外，城市之外的大规模国土资源也有很大地下空间开发利用的潜力。无论是建筑师还是城市规划师，现在都在着眼于地下空间的利用，这能使他们为开发新空间而一展身手。为此，国际隧协提出了开发利用地下空间，开始人类新的“穴居”时代的口号。地下空间已成为最触手可及而又未被充分开发的资源，历久弥新，弥足珍贵。

为适应地下空间的大发展，培养地下工程人才和从事土木工程专业地下工程方向本科教育，我们系统地设计了课群组课程体系，即《山岭隧道》、《水下隧道》、《地下铁道》和《地下空间利用》。

《地下空间利用》是其四门专业方向课程之一，内容重点介绍交通隧道以外的其他地下空间形态和地下空间的未来发展，并侧重城市地下空间利用。本书由仇文革教授任主编，郑余朝副教授、张俊儒讲师和龚伦讲师任副主编。全书共分 2 篇 11 章。具体参编人员及内容是：第 1 章绪论——仇文革，第 2 章地下交通隧道——郑余朝，第 3 章地下商业街——冷彪，第 4 章地下停车场——龚伦，第 5 章地下场馆和第 6 章地下综合体——许炜萍，第 7 章地下共同沟——张俊儒，第 8 章地下管线微型隧道和第 9 章陆路交通隧道——章慧健，第 10 章地下储库和第 11 章地下水电站及地下厂房——孙克国。

感谢对本书编写过程中给予帮助的人们。由于时间和水平有限，疏漏和不足之处在所难免，望读者多批评指正，以便我们再版时改进。

联系邮箱：jddx@home.swjtu.edu.cn

仇文革
2011 年 1 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 人类发展与空间资源开发	1
1.2 为什么要开发地下空间	2
1.3 如何开发地下空间	5
1.4 可持续的城市地下空间开发	8
1.5 地下空间利用的形态	10

第 1 篇 城市地下空间利用

第 2 章 地下交通隧道	12
2.1 大型地下交通枢纽	12
2.2 城市地下道路	16
2.3 互通式地下立交（完全地下立交）	18
2.4 地下物流系统	20
2.5 地下过街道或地下人行通道	22
第 3 章 地下商业街	24
3.1 概 述	24
3.2 地下街的规划	28
3.3 地下街的总体布置	34
3.4 开发实例	40
第 4 章 地下停车场	44
4.1 概 述	44
4.2 地下汽车库的规划布局	46
4.3 坡道式地下汽车库的设计	51
4.4 地下停车场的施工	69
第 5 章 地下场馆	74
第 6 章 地下综合体	84
6.1 地下综合体的概述	84
6.2 地下综合体的规划	87

6.3	地下综合体的设计	88
6.4	地下综合体的施工	92
6.5	上海市地下综合体实例——人民广场地下综合体	94
6.6	人防工程	97
第 7 章	地下共同沟	105
7.1	地下共同沟的概念及属性	105
7.2	地下共同沟的发展历程及现状	106
7.3	地下共同沟的规划	109
7.4	地下共同沟的设计	120
7.5	地下共同沟的施工	130
第 8 章	地下管线微型隧道	133
8.1	概 述	133
8.2	城市地下管线工程勘察与探测	139
8.3	微型隧道施工设备及工法	142
8.4	微型隧道的受力分析与设计	147

第 2 篇 其他地下空间利用

第 9 章	陆路交通隧道	155
9.1	概 述	155
9.2	铁路隧道	159
9.3	公路隧道	172
第 10 章	地下储库	186
10.1	地下储库发展概况	186
10.2	分类与规模	194
10.3	地下储油库	198
第 11 章	地下水电站及地下厂房	210
11.1	地下水电站的概况	210
11.2	地下水电站的规划	215
11.3	地下水电站的设计	222
11.4	地下水电站的施工	227
参考文献		242
后 记		244

第1章 绪论

1.1 人类发展与空间资源开发

随着人类社会的不断发展,人口也呈现不断增长的趋势,目前全球总人口已达 70 亿(见图 1.1)。但我们只有一个地球,能源与资源都十分有限,特别是随着人口暴涨,以及相对不断增长的生活和生产的需求,资源就更显得匮乏。除了以开发新能源、利用可再生资源、发展可循环经济和绿色经济来解决这些物质需求外,人们对空间的需求也呈现不断增长的趋势。因此,空间也已成为人类生存与发展不可或缺的重要资源之一。

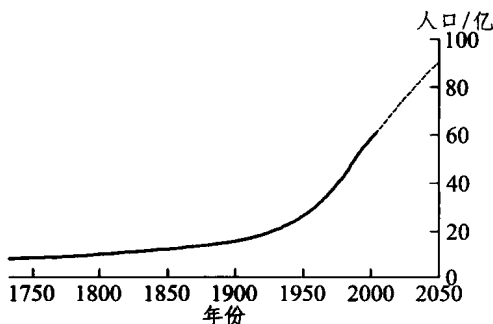


图 1.1 世界人口增长曲线

针对如何开发更多的空间资源,人们首先采取不断扩展和利用地上空间的方法,如城市不断向平面(俗称摊大饼)和高度(发展多层和高层建筑)上扩张,变得又高又胖,解决了不少问题。但长期发展后发现,大量蚕食耕地、过多的高层建筑使得建设和使用成本大幅提高,安全也存在隐患,同时开发更高的摩天大楼也存在技术等方面的瓶颈。因此,人们开始寻求和开发其他的空间,主要有三个方面:第一,发展航天技术,开发外太空,希望有朝一日人类能移民外星球,但这在相当长的时期内是可望而不可即的;第二,开发海洋空间,因为地球有大约 71% 的面积为海洋,如已有填海造田等,也有设想人造漂浮海上城市,但也存在着大量的环境和技术问题有待研究和解决,技术远未成熟;第三,开发和利用地下空间,相比前两者,它更为现实可行。因此,当今全球范围内,大力开发和利用地下空间,尤其是城市地下空间已成为必然趋势。它是一种宝贵的空间资源,正如有人把它称为城市的第四维空间。

1.2 为什么要开发地下空间

随着人口增长、城市化进程的推进，全世界都在需求更多的城市空间。当今全世界有超过一半的人口居住在城市。这样一来，对于政府而言，维持城市生活的宜居性是一大挑战。同时，维持城市的正常运转以及支持地方经济的发展也是一项艰巨的任务。如何有效利用地下空间？利用地下空间真能解决上述问题吗？一个广义的问题是：如果不利用地下空间，城市发展受得了吗？

1.2.1 开发地下空间的重要性

开发地下空间对于城市建设至关重要，因为基础设施以及各类建筑物的空间规划已经越来越难。地下空间为城市的基础设施、生活服务设施提供了新的空间，且不以消耗宝贵的地面空间为代价。因此城市可以保留其珍贵的地面公共空间。

1.2.2 地下空间利用的技术可能性

在过去的 10 年间，地下空间的修建技术有了长足的进步，所修筑的隧道洞径越来越大。无论是硬岩还是软土，修筑隧道都已不成问题。从技术角度讲，地下空间的开发利用已经不是大的难题。图 1.2 是位于摩纳哥的蒙特卡洛的一个通过修建隧道来保护历史遗迹的案例。

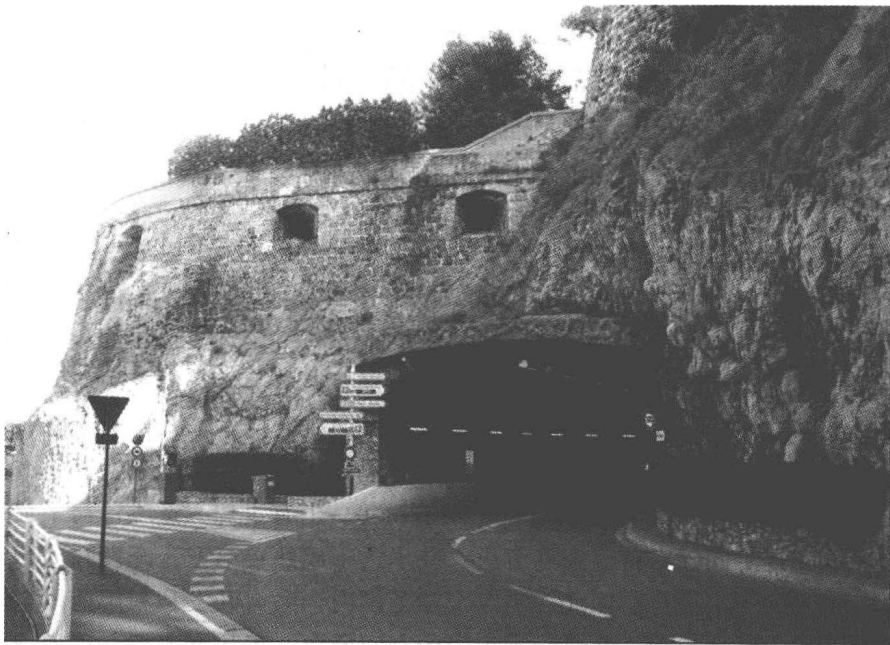


图 1.2 通过修建隧道保护历史遗迹（摩纳哥的蒙特卡洛）

1.2.3 地下工程与隧道工程

地下工程与隧道工程既有区别又有联系。隧道工程是地下工程的重要形式。隧道给人们提供了通行的细长空间。近年来,宏大的隧道工程已经投入建设。在欧洲,穿越阿尔卑斯山脉的圣哥达山麓隧道(Gotthard Base Tunnel)正在建设当中。在我国,出于交通工程和水利工程的需要,也有大量的隧道正在建设中。但隧道工程绝非代表地下工程的全部内涵。在世界范围内,诸多修筑于地下的博物馆、购物中心(见图1.3)、剧院、舞厅及其他的商业设施就是很好的例证。无论是建筑师或是城市规划师,现在都在着眼于地下空间的利用,以期让地下空间技术为开发新空间一展身手。



图 1.3 地下购物中心(加拿大多伦多)

1.2.4 开发地下空间的必要性

开发地下空间是非常有必要的,因为地表空间的匮乏限制了城市的发展。地下工程的建设逐渐被列入发展规划,有些直接以地下工程建设为主体。不仅城市政府,连房地产开发商、私人投资者都意识到了这种发展趋势。通过对地下空间的有效利用及其各种功能的整合(相比城市地面建设而言),地下空间的建设每平方米都会创造更大的经济效益。基于在一个完善的发展解决方案框架内的合作,城市政府和房地产开发商均可以创造价值。不同的当事人都可以从他们各自的投资中有所收获。在未来的几年中,这种公有空间、私有空间以及它们功能的融合会越来越普遍。

1.2.5 地下工程经济性

修筑地下工程不可避免地会导致附加投资,但这往往会以得到附加收益作为补偿。选择

地下工程解决方案可以减少地面建设带来的一系列麻烦，尤其在繁华的大都市，从补偿和索赔角度来看，这可以节省一笔不小的投资。修筑地下工程带来的附加投资常常被其上地表发展带来的效益所抵消，因为修筑地下工程意味着其上地表还可以作为其他发展之用，即投资-效益法则，不仅考虑直接效益，还要考虑间接效益。图 1.4 为马德里 M30 高速公路在地下穿越为城市创造了 100 万 m^2 的公共绿地。

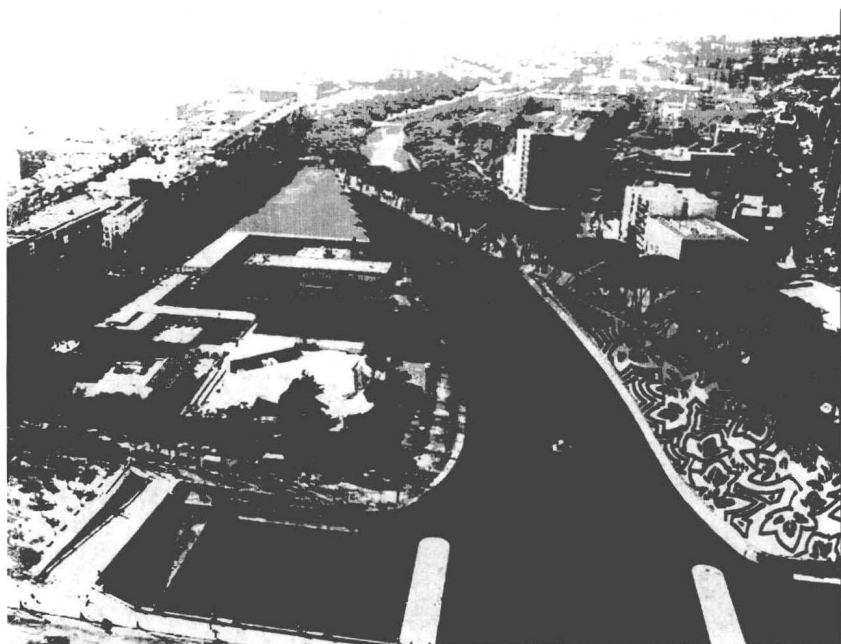


图 1.4 马德里 M30 高速公路创造的公共绿地

1.2.6 地下空间利用可持续性

地下空间利用可以作为可持续发展战略的一部分。可持续发展意味着要保持一种平衡，即一方面要保护为地表生物提供地基的那部分岩层，另一方面要开发地下空间以增加人类生活空间，这两者之间要达到一种平衡。从多方面来看，修建隧道对于生活环境都是有明显益处的。这些隧道工程可以为使子孙后代拥有适于居住的城市和农村做出贡献。地下储水池能够帮助特大城市抵御洪水和保护城市气候。

1.2.7 地下空间与城市可持续发展

假如不使用地下空间，城市能健康发展吗？答案当然是否定的，至少你应该考虑它。在全世界范围内，大量地下空间利用带来的好处和利益逐渐为人们所熟知。但是等到没有更多的空间可以利用时，再想起开发地下空间，这显然不是个合理的策略。将现在及将来的地下空间利用进行统筹规划便变得更加有意义。而经验也告诉我们，合理的统筹结合及创新往往能够带来更多的附加价值。所以在城市规划中合理地考虑地下空间利用，必将从中创造价值。

1.3 如何开发地下空间

在发展中国家,城市规模急剧扩大、大量人口涌向城市、旧城区基础设施老化,以及人们对改善居住条件和环境保护的要求,使得新的地下基础设施建设势在必行。正是由于这样的需求,以往人们对地下空间毫无规划地利用所造成的影响也显得日趋明显。例如,对现有设施重新维修的高昂费用、有利的地质条件被现有地下结构阻挡,以及为了取得合适的线路地下设施不得不越修越深。

为了避免这些情况的发生,对于城区内的规划,必须摆脱传统的对地面设施二维布局模式,而采用考虑建筑环境与其地下空间相互作用效应的三维布局模式。城市的总规划者应当清晰地看到地下空间的优势,只有这样才能够充分地发挥地下空间的潜能,才能够正确地应对未来数十年城市发展带来的挑战。

1.3.1 缺乏规划使得地下空间被不合理利用

与已建地下工程的冲突以及对其他地下资源的影响使得一个城市或者地区地下空间的开发利用很难实现其最合理的状态。由于地下利用中的空间、矿物资源、水以及能源都是单独考虑了,所以这种现象频繁出现。因为这四个方面归属于政府不同的部门规划管理,而在大多数城市中,各个部门之间在规划过程中又没有相互的协调沟通,这就导致对地下空间的开发利用是针对单一方面开展的。最先开发地下空间的部门都会选择可以满足他们个别需求(例如地理位置、地质条件是否便于施工等)的最佳位置,而不去综合考虑该位置未来的地下空间开发潜能,这也使得多功能的地下设施很少。这种地下设施的不合理修建不仅造成了新建设施的难以定位,同时也阻碍了城市的可持续协调发展。因此,如果要合理地借助地下空间的优势来帮助我们以及后代解决城市发展带来的问题,必须提出一种综合多学科的方法。

图 1.5 是蒙特利尔的地下交通网络,它是一个保障城市发展、独立建成的地下联系网络,承接城市的各个部分,形成一个环保的、没有车辆来往的、充满吸引力的步行街。

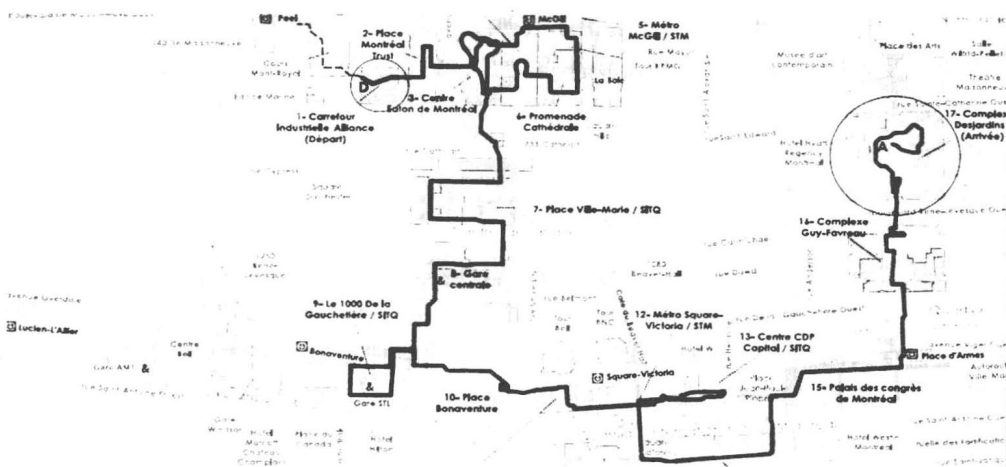


图 1.5 蒙特利尔地下交通网络

1.3.2 规划地下空间利用的现有经验

1. 荷兰的两座城市——阿纳姆和兹沃勒

在荷兰，研究者提出了一种新的用于城市和耕地规划的分析模型。这个模型包括了三个不同层面的规划：

- (1) 居住层面，例如住宅和办公楼。
- (2) 城市交通层面，例如道路和轨道交通。
- (3) 地下空间层面，例如地下水库。

通过在理论上综合分析这三个方面现在以及将来可能的相互影响，可以从一个更加综合的角度来实现合理的规划。这种方法也极大发挥了地下空间在荷兰城市规划中的作用。例如，在阿纳姆，为了保持城市发展及壮大的步伐，同时也为了弥补城市空间的不足，市议会特别支持和鼓励地下空间的开发利用。所有的党派在他们未来的执政方针里面都需要特别指出他们对于地下空间利用的规划。在兹沃勒市，人们提出了“着眼于兹沃勒市的地下空间”的提议。这个提议包含了对于该市地下空间的详尽的研究分析。它首先给出了 2020 年的总体规划，然后利用前面提到的模型对城区内所有可能进行开发的地下空间进行了深入的分析。2007 年 10 月，这份提议被市议会通过，虽然它不是一个有法律效力的文件，但这是首次在荷兰的一个城市的战略规划中提及地下空间开发问题。

2. 芬兰的赫尔辛基

赫尔辛基是另外一个主张对地下空间的利用进行规划的城市。它制订了关于地下空间利用的“地下总体方案”。这个总体方案的目的不仅在于规划当前的地下空间利用，更是为将来的发展预留空间。这个方案包括五大类内容：① 城市管网系统；② 交通系统及停车场；③ 维护设施及地下储库；④ 服务设施和管理机构；⑤ 未知的矿产资源。四个不同规划层次（例如，重点工程、临时设施等）也在该方案中有所阐述。这个方案中值得注意的一点是它的第五大类“未知的矿产资源”，在这个城市的地下存在了许多可以利用的地下空间，但同时也有一些地质条件是不适宜开发的。尽管还没有具体的用途计划，但是那些有开发利用价值的区域已经被指定出来了。这种方法体现出了在地下空间规划问题上应当综合考虑当前的需要、已有的规划以及未来的发展。另外需要注意的是，这个方案是有法律效力的。这一点比阿纳姆和兹沃勒都更进了一步。因为后者只是要求在规划中考虑地下空间的利用，而这个方案却明确指定了在什么地方开发。

3. 我国的上海、北京、成都等主要城市

如果没有相应的规章制度，地下空间的不当开发会带来巨大的问题。上海就是一个例子。在过去的 20 年间，上海以及很多其他中国城市都飞速发展，但与已建工程的冲突却使地下空间的发展面临巨大的困难。例如，因为近期建成的建筑地基埋深大于原来预期的 16 m，地铁线路不得不变得更深。现在，在上海和北京，地下空间利用已有了相应的规范。对于高层建筑下方多大的范围可以用来开发也给出了具体规定。在中国，大约有 20 个城市已经形成了有关地下空间利用的具体计划。开发的规模、具体的位置、实现的功能、开挖的深度以及实施的时间都在计划中有详细的体现。在成都，已多方位的开发利用地下空间，如成都的顺城

街、天府广场、红星路等地段结合旧城改造和市政建设采取地上地下立体开发。顺城街沿街修建人防与商业结合的地下街（一至三层的地下建筑），沿街设有多处出入口，又可兼作过街地道。天府广场结合地面改造和地铁建设修建了带有下沉广场、地下三层立交换乘站、地下停车场和地下购物广场等相结合的大型地下综合体，地面为大型广场式公共空间。红星路改道路为下穿隧道，地面为商业步行街。此外，成都还在交通量较大的路口修建了大量的下穿隧道，实现立交，如图 1.6、图 1.7 所示。

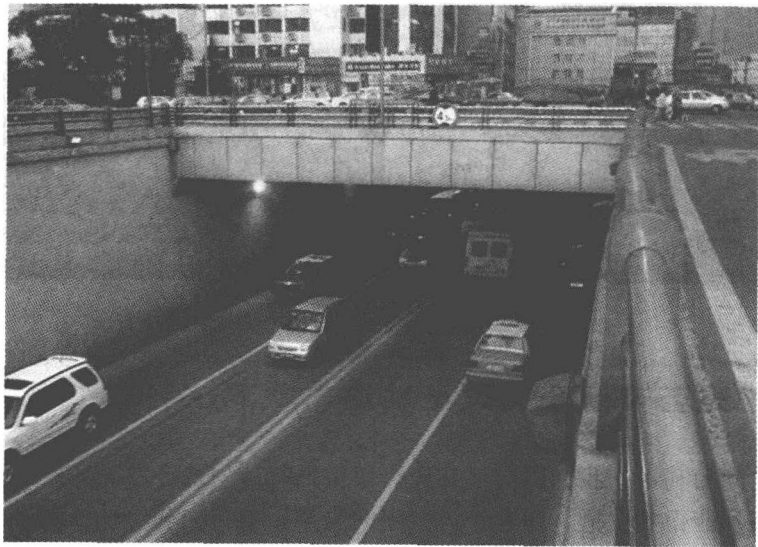


图 1.6 成都滨江路下穿隧道



图 1.7 成都天府广场

图 1.8 为地下空间的综合开发利用：拥有 $200\,000\text{ m}^2$ 的北京地铁 9 号线郭公庄站（感谢 X.D. Shi）。

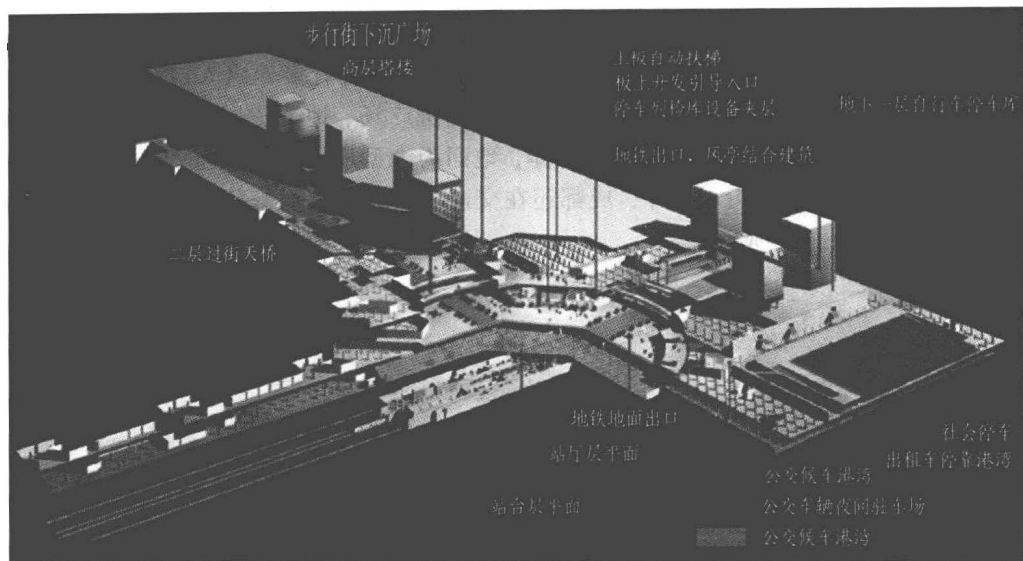


图 1.8 北京地铁 9 号线郭公庄站

1.3.3 我们是否可以毫无远见地走向地下

对于地下空间的利用，我们应当像其他资源一样有计划地开发。如果不这样做，地下空间最大的好处将不能得到发挥，而它作为城市的支持，重定向和可持续发展的有效手段也不能得以体现。

1.4 可持续的城市地下空间开发

全世界超过一半的人口居住在城市，而且预计在接下来的数十年间，这一数字还将快速增长，预计 2050 年将有 70% 的人口居住在城市。为此，全世界的现代都市都需要处理这种快速城市化的发展，防止人口大量集中带来的自然灾害和气候改变效应。

图 1.9 为可持续发展的三根支柱。

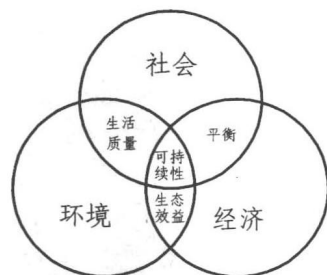


图 1.9 可持续发展的三根支柱

1.4.1 地下空间的贡献

地下空间的使用与城市可持续发展紧密相连。城市地下空间可持续利用的核心是留给子孙后代发展城市的空间。

地下设施对于环境可持续发展的贡献是多方面的。如：节省自然资源，包括陆地、水、生物多样性等；减少空气污染（主要在交通这块，当然也涉及一些其他的，如地下污水处理）和不必要的视觉和噪音污染；为低耗能、低废弃（“压缩城市”）提高可能；地下结构相对不易受

地震等自然灾害影响；不影响地面景观，提高地面环境质量。各类设施全部转为地下后，就不会再影响地表美观，恢复地表绿色植被。地下基础设施的发展减少了地面的钢筋混凝土结构。

地下结构一般来说有较长的使用年限，这一方面是由于避免了暴露于地面环境之中，另一方面是由于为支承土压而需要结构做得较为厚重。这些结构对于长期耐久性很重要。地下结构通常对于地震、飓风、龙卷风、外部火灾、辐射等其他灾难性事件有更好的抵抗性。

地下设施的使用可以改变城市经济增长的基础，比如可以提供更好的交通和一些地表无法修建的公用基础设施。城市广泛发展地下设施可以建立独立的通讯和服务的空间层，包括增强城市凝聚力和韧性的关键设施。同样的，地下设施的使用可以避免对城市社会结构的有害影响，而地表高架基础设施则需要仔细分析既有关系。

简单地说，地下设施可以认为是提供了终极“绿色屋顶”。

1.4.2 地下空间是一种资源

地下空间本身是一个环境实体、一种自然资源。它可以被人类活动所改变或破坏。从这个方面来说，相比于地表设施，地下设施更应该强调：地下环境很难恢复到修建地下设施之前的状态。因此，地下空间利用必须进行可持续规划。

1.4.3 地下环境

以下四个基本元素组成了作为一种资源的地下环境：空间、材料、水、能量。图 1.10 说明了对这种地下资源的可持续应用。

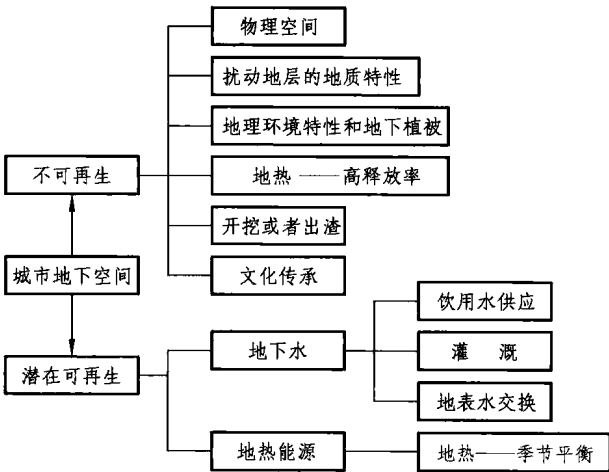


图 1.10 地下资源的可持续应用

1.4.4 地下空间的可持续利用

地下空间的有效和可持续利用常常被“先到先使用”原则所阻碍。为改善之，请看下边的案例。

在芬兰赫尔辛基，一项工程正在进行，那就是在城市教堂的地下空间中建造一个数据存

储中心。一方面随着互联网和云计算的快速发展,数据存储中心需要发展。另一方面,将此中心建在地下,节省了原本需要为冷却计算机而使用的能源,在冬天计算机运行产生的热能反而使附近 1 000 户人家受益。

马来西亚的吉隆坡,一种能同时作为暴雨过水的公路隧道已经建成。在暴风雨来临时,为防止城市被淹,该隧道作为一个巨大的过水管道,起到很重要的排水作用。在平时,该隧道又可以作为交通隧道缓解交通。

地下空间的可持续发展不仅仅是呼吁使用地下空间,而且要结合功能要求通过地下空间使用为社会创造贡献。

你能想象如果不利用地下空间,都市还能持续发展吗?离开地下空间的城市的可持续发展之路是不可想象的。地下空间是一种非常有价值的社会财富,就我们目前所理解,其可能的利用形式在快速增加。为周边提高能源的隧道听起来不再是那么遥不可及。地下空间注定是贡献于城市可持续发展的,为什么不从今天做起?

1.5 地下空间利用的形态

人类从地球上出现以来已有 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威胁以及外敌侵袭的防护设施而被利用。随着科学技术的发展,这种利用已从自然洞穴的利用向着人工洞室发展。到现在,地下空间利用的形态已千姿百态,远远超出为个人生活服务的利用领域,而扩大到为了保持作为集团的居民的生活需要空间。尤其是现代,人口向城市集中,使城市人口密集、城市功能恶化,为了保持城市功能及交通所需的空间也开始求助于地下。预计地下空间作为人类在地球上安全而舒适生活的补助空间,其利用和规模将会日益扩展。

1.5.1 地下空间利用的发展过程

地下空间利用的发展过程与人类的文明历史是相呼应的,大致可以分为四个时代:

第一个时代,原始时代。从人类开始出现到纪元前 3000 年的新石器时代,是人类利用地下空间防御自然威胁的穴居时代。这个时代主要用兽骨等工具开挖出洞穴而加以利用。

第二个时代,古代时期。从纪元前 3000 年到 5 世纪止,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。纪元前 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 的、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。这个时期正是欧洲文明的低潮期,建设技术发展缓慢,但由于对钢、铁等金属的需求,进行了矿石开采。

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使用,加速了地下工程的发展。如矿物的开采,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。

进入 1980 年后,国际隧协提出“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。日本也提出了利用地下空间把国土扩大 10 倍的设想。各国政府都把地下空间的利用,作为一项国策来推进其发展。

1.5.2 地下空间利用的形态

当前,人类利用的地下空间,从利用形态来看,大致有以下几种:

- (1) 为人类生存确保安全的,例如储存粮食的空洞、地下式住宅等;
- (2) 为发展人类文明,利用地下资源的;
- (3) 伴随近代城市的发展,立体应用的,如上下水道、电力、瓦斯管道等,地下商业街的出现也是一个例证;
- (4) 大规模国土的有效利用,如城市间、国家间的交通体系等;
- (5) 伴随科学技术的发展而利用地下特性的,如地下水力发电站、地下能源发电厂以及地下工厂等。

实际上,地下空间的利用,主要是与城市的发展相联系的。在现代世界中,人口的增加和城市化的现象,促使城市过密化,随之发生运输能力的降低、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,为此就要利用地下空间。从这一点来看,地下空间可以视为人类城市舒适生活的重要资源。

另外,地下空间的利用是与安全保障相联系的。现代的国际形势极其复杂而动荡,为了适应这种形势,进行粮食、石油等重要物资的储备以及减少自然灾害的威胁等都要求助于地下空间。

再一点,地下空间的利用与科学技术的进步也是相联系的。由于科学技术的长足进步使得地下空间的特性得到了充分的利用。

地下空间利用是多方面的,但主要可分为以下六大类设施:

- (1) 生活设施。主要指地下或半地下式住宅。
- (2) 城市设施。为改善和强化城市各项功能的设施,如上下水道、地下街、地下停车场、文化设施、能源供给设施等。
- (3) 生产设施。如地下印刷厂、地下水力发电站、地下原子能发电站等。
- (4) 储藏设施。主要指石油等能源、食品和水资源的储藏及放射性废弃物和工厂废弃物的地下处理等设施。
- (5) 输送设施。作为城市间、区域间甚至国家间的铁路、公路、管道等设施,很多是利用地下空间的。
- (6) 防灾设施。灾害有地震、洪水等自然灾害和火灾、战争等人为灾害两大类。防灾设施是指为防止灾害、减少灾害损失所修筑的避难设施,如人防工程、储备设施等。

这些设施尚可按设施的水平加以分类,如分为个人水平的设施、城市水平的设施及国家水平的设施等。例如住宅的地下室就是地价高涨的情况下,为了扩大居住空间而由个人采取的措施。一般说,个人水平的地下空间利用特征多是利用浅层。

城市水平的地下利用,它包括仓库、停车场、地下街等,主要是从经济观点决定。而像上下水道、能源供给、交通等基础设施,则主要是考虑环境、安全、便利等条件而建设的。这些设施,城市人口越集中,其地下利用的经济性、环境、安全等方面的效果越大。

国家水平的地下空间利用主要是从国土综合利用政策上来考虑的,其中包括作为产业、经济基础的生产、储藏、输送、国土保持、防灾等设施。这些设施更多的是从增强国力、促进经济发展、改善和提高人民生活水平出发考虑的,具有重大的经济、技术意义。