

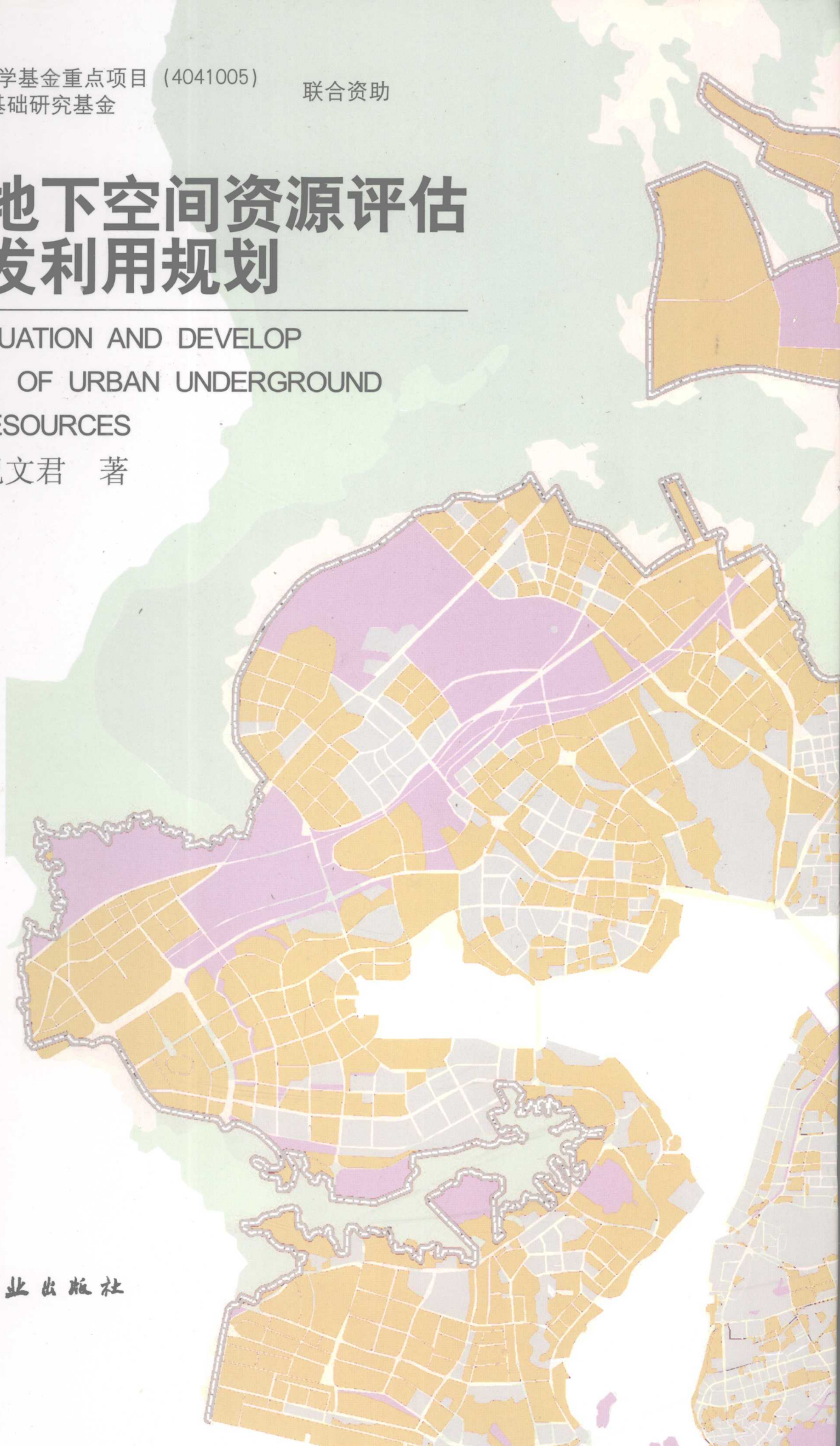
北京市自然科学基金重点项目 (4041005)  
清华大学985基础研究基金

联合资助

# 城市地下空间资源评估 与开发利用规划

THE EVALUATION AND DEVELOP  
PLANNING OF URBAN UNDERGROUND  
SPACE RESOURCES

童林旭 祝文君 著



中国建筑工业出版社

北京市自然科学基金重点项目 (4041005)  
清华大学 985 基础研究基金  
联合资助

# 城市地下空间资源评估与 开发利用规划

THE EVALUATION AND DEVELOP  
PLANNING OF URBAN UNDERGROUND  
SPACE RESOURCES

童林旭 祝文君 著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

城市地下空间资源评估与开发利用规划/童林旭, 祝文君著,  
北京: 中国建筑工业出版社, 2008  
ISBN 978-7-112-10523-6

I. 城… II. ①童…②祝… III. ①城市规划-地下建筑物-  
资源评估 ②城市规划-地下建筑物-资源开发 ③城市规划-  
地下建筑物-资源利用 IV. TU984.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 182463 号

本书是对城市地下空间规划在理论与方法上的较全面概括与阐述。全书有两部分内容, 第一部分为城市地下空间资源的评估, 为中国城市地下空间的资源化利用、保护和控制提供了理论支撑, 提出了资源条件分析的基本思路 and 框架; 第二部分为城市地下空间开发利用规划, 提出了地下空间规划的指导思想、规划内容和规划方法等。

本书可供城市规划与城市设计, 地下空间规划与设计, 以及建筑设计等专业人员和高等院校相关专业师生借鉴参考。

\* \* \*

责任编辑: 吴宇江 许顺法  
责任设计: 董建平  
责任校对: 李志立 陈晶晶

## 城市地下空间资源评估与 开发利用规划

THE EVALUATION AND DEVELOP  
PLANNING OF URBAN UNDER-  
GROUND SPACE RESOURCES

童林旭 祝文君 著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)  
各地新华书店、建筑书店经销  
北京嘉泰利德公司制版  
北京蓝海印刷有限公司印刷

\*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 25½ 字数: 807 千字  
2009 年 5 月第一版 2009 年 5 月第一次印刷  
印数: 1—2500 册 定价: 68.00 元

ISBN 978-7-112-10523-6  
(17448)

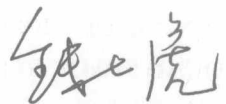
版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换  
(邮政编码 100037)

## 序

传统的城市规划，主要关注的都是地表以上的城市空间在水平方向上的拓展，其结果必然导致城市用地呈同心圆式向四周延伸，城市规模不断扩大。城市地下空间的开发利用，体现了城市空间的三维特征，城市空间出现了地面空间、上部空间和下部空间（即地下空间）统筹规划、协调发展的新格局，这也是20世纪后半叶以来旧城市改造和新城市建设所取得的重要成果。这一经验应及时纳入城市总体规划中，以促进城市形态和空间结构的合理发展，但是需要一个转变的过程和一定的时间累积。在实现地上、地下空间一体化规划之前，先制订一部城市地下空间开发利用规划，作为现行城市总体规划的完善和补充，是很有必要的。近几年，我国一些大城市已经认识到这个问题的重要性和紧迫性，开始编制或准备编制城市地下空间规划，这也是落实科学发展观的一种实际行动，是值得提倡和支持的。对地下空间资源条件进行全面、深入的分析，则是在大规模地下空间开发利用条件下落实科学发展观的具体体现和提高规划编制科学性的基础。中国城市地下空间开发利用的预计规模和前景远超过世界上发达国家大城市现有的发展程度，但是国内外可资借鉴的书籍和资料很少，国内城市地下空间规划工作只能边探索边实践，逐步积累自己的经验。

本书两位著者从20世纪90年代初，就开始对城市地下空间资源的评估及其开发利用规划进行研究，近年又参加了几个大城市地下空间规划编制的实践，在此基础上，撰写了这部专著，对地下空间资源评估的原理及方法做了较全面的阐述和构思。本书首先分析了城市地下空间的自然资源基本属性，为中国城市地下空间的资源化利用、保护和控制提供了理论支撑，提出了资源条件分析的基本思路和框架，这在国内尚属首次，对地下空间资源开发利用与规划编制的整体性和科学性有重要意义；同时，在书中第二部分，对地下空间规划的指导思想、规划内容、规划方法等，做了较详尽的说明，其中相当一部分章节的内容有一定的创新意义，总结了两位著者对我国城市地下空间规划内涵和方法的独特思考。无疑，本书的出版对提高我国城市地下空间规划编制工作将起到积极的推动作用，对逐步建立我国完整的地下空间规划体系和科学的编制方法，保持我国这一领域在国际上的领先优势，也是有益的。



中国工程院院士

2008年12月

# 前言

在城市现代化发展中，地下空间成为城市空间拓展的重要后备资源，这一点在社会上已基本形成共识。地下空间资源的开发利用，应当科学、合理、有序地进行，这就要求在城市总体规划中，包括一项地下空间开发利用规划，使城市上部空间、地面空间和下部空间得到协调发展。长期以来在我国的城市总体规划中，并没有这部分内容，到近几年，这个问题才开始受到重视。迄今，我国已有十余座特大和大型城市已经或正在准备制订城市地下空间规划。同时，对地下空间本质的探讨、对地下空间资源的适建性评估原理与方法等研究工作，也正在开展。这些情况在国际上也是少见的。

在对地下空间资源进行科学评估的基础上，制订地下空间的合理开发与综合利用规划（以下简称地下空间规划），对于节省城市用地，节约能源，改善城市交通，减轻环境污染，城市防灾减灾，扩大城市空间容量，提高城市生活质量，建设循环经济和节约型社会，都可以起到重要的作用，同时为城市的高度现代化，以至未来城市的建设，都可以指明发展方向。

本书两位著者从20世纪90年代初就开始对这些问题进行探索和研究，从本世纪初至今，已参加了北京、青岛、厦门等三个特大城市的地下空间规划工作和相关的专题研究工作，受到较高评价，取得一定经验。因此，及时从理论上和方法上总结我国自己的成就，对进一步规范和指导我国城市地下空间规划的实践，无疑是非常需要的。同时，也有助于巩固我国这一领域在国际上的领先地位。

本书第一部分的理论研究得到了北京市自然科学基金重点项目（4041005）的资助，同时全书的研究成果还得到清华大学985一期基础研究基金的支持。

衷心感谢中国工程院钱七虎院士为本书作序，这是对著者的鼓励和对本书的推荐，也是对我国地下空间开发利用事业的宝贵支持。

在著者从事地下空间与地下建筑多年的研究与实践中，得到过国内外许多单位和专家的支持与帮助，谨致以诚挚的谢意，并欢迎读者对本书提出批评指正。

童林旭 祝文君

2008年9月

# 目 录

序  
前言

## 第一部分 城市地下空间资源评估原理与应用

第1章 地下空间资源评估概论	3
1.1 地下空间资源	3
1.2 地下空间的自然资源属性及特性	3
1.3 自然资源调查评价的基本内容和过程	8
1.4 地下空间资源评估的理念、目标、内容与方法	9
1.5 地下空间资源评估基本要素的分类	13
1.6 地下空间资源分布、质量、数量和潜力的基本概念	16
第2章 自然条件评估要素	20
2.1 自然条件概述	20
2.2 地形地貌条件	20
2.3 岩土类型与基本工程地质条件	22
2.4 地下水文地质条件	28
2.5 不良地质与地质灾害	30
2.6 地层深度对地下空间利用的影响	34
2.7 生态敏感性要素	34
第3章 社会经济条件评估要素	43
3.1 概述	43
3.2 人口状况	43
3.3 土地资源状况	44
3.4 城市空间区位与地下空间潜在开发价值	47
3.5 城市交通状况	49
3.6 市政公用设施状况	51
3.7 城市防灾设施状况	51
3.8 城市用地类型	51
3.9 城市历史文化保护状况	54
3.10 建筑空间容量限制	54
第4章 已有建(构)筑物条件评估要素	55
4.1 概述	55
4.2 地基基础附加应力传递模型	56
4.3 地基基础影响的宏观分类	59
4.4 地下建(构)筑物	59

## 6 目 录

4.5 地下埋藏物 .....	61
<b>第5章 地下空间资源评估指标体系 .....</b>	<b>62</b>
5.1 概述 .....	62
5.2 评估指标体系构建的原则与方法 .....	62
5.3 评估要素的集成 .....	63
5.4 评估指标体系内容与目标 .....	65
<b>第6章 地下空间资源评估数学模型 .....</b>	<b>70</b>
6.1 评估方法与分析模型的选择 .....	70
6.2 地下空间资源潜力调查 .....	70
6.3 地下空间资源质量评估分析模型 .....	72
<b>第7章 评估指标体系参数和评估标准 .....</b>	<b>74</b>
7.1 评估指标体系的权重参数 .....	74
7.2 评估指标评价标准 .....	86
7.3 评估指标变量及标准化 .....	88
<b>第8章 评估技术模型与作业平台系统 .....</b>	<b>94</b>
8.1 评估技术模型的基本构思 .....	94
8.2 平面分层法模型的基本原理及特点 .....	96
8.3 基于平面地块分层法的矢量单元 .....	97
8.4 栅格单元的运用 .....	100
8.5 单元划分的赋值与数据处理 .....	100
8.6 基于GIS的评估作业系统原理 .....	101
8.7 基于GIS的评估系统实现 .....	108
<b>第9章 城市地下空间资源评估原理在实践中的应用 .....</b>	<b>112</b>
9.1 概述 .....	112
9.2 资源评估作业的步骤与流程 .....	112
9.3 资源评估的体系与目标 .....	115
9.4 资源评估指标体系与分析模型的应用 .....	117
9.5 基础资料与数据处理 .....	121
9.6 地下空间资源评估的实际影响要素分析 .....	127
9.7 地下空间资源评估结果的表达与统计估算 .....	138
9.8 地下空间资源评估结果的综合评价与应用 .....	143
<b>第一部分参考文献 .....</b>	<b>148</b>
<b>第二部分 城市地下空间资源开发利用规划</b>	
<b>第10章 城市地下空间规划导论 .....</b>	<b>153</b>
10.1 开发利用城市地下空间的战略意义 .....	153
10.2 中国城市地下空间利用的发展道路 .....	156

10.3	国内外城市地下空间规划概况	162
10.4	城市地下空间规划的指导思想、任务与主要内容	163
<b>第 11 章</b>	<b>城市地下空间利用现状调查与地下空间资源规划适用性分析</b>	<b>166</b>
11.1	地下空间利用现状调查	166
11.2	地下空间资源规划适用性分析与评价	171
<b>第 12 章</b>	<b>城市地下空间利用的发展目标与发展规模</b>	<b>179</b>
12.1	城市地下空间开发的需求与条件	179
12.2	城市地下空间的发展目标	182
12.3	城市地下空间规划指标体系	185
12.4	城市地下空间需求量预测	189
<b>第 13 章</b>	<b>城市空间结构与地下空间总体布局</b>	<b>196</b>
13.1	城市空间的三维特征	196
13.2	地下空间总体布局	198
13.3	地下空间布局与城市生态环境保护	200
<b>第 14 章</b>	<b>城市中心地区地下空间规划</b>	<b>203</b>
14.1	城市中心地区地下空间规划概论	203
14.2	发达国家大城市中心地区的立体化再开发规划	206
14.3	国内外城市中心地区地下空间规划和建设实例评介	212
<b>第 15 章</b>	<b>城市广场、绿地地下空间规划</b>	<b>226</b>
15.1	广场、绿地存在的问题与发展趋向	226
15.2	开发利用城市广场、绿地地下空间的目的与作用	228
15.3	城市广场、绿地地下空间利用规划	232
<b>第 16 章</b>	<b>城市历史文化保护区地下空间规划</b>	<b>242</b>
16.1	历史文化名城的保护与发展	242
16.2	国内外城市历史文化保护区地下空间规划示例	244
16.3	北京旧城沿中轴线地下空间规划探讨	252
16.4	利用地下空间对北京传统中轴线实行保护与改造的设想与建议	255
<b>第 17 章</b>	<b>城市居住区地下空间规划</b>	<b>262</b>
17.1	居住区建设的发展过程与发展趋向	262
17.2	居住区地下空间开发利用的目的与作用	265
17.3	居住区地下空间规划	267
<b>第 18 章</b>	<b>城市新区、新开发区、特殊功能区地下空间规划</b>	<b>277</b>
18.1	城市新区	277
18.2	城市新开发区	291
18.3	城市特殊功能区	296



<b>第 19 章 城市地下交通系统规划</b> .....	300
19.1 城市交通与城市发展 .....	300
19.2 城市交通的立体化与地下化 .....	301
19.3 地下铁道系统 .....	302
19.4 地下道路系统 .....	311
19.5 地下静态交通系统 .....	317
<b>第 20 章 城市地下市政设施系统规划</b> .....	323
20.1 城市市政公用设施概况与存在的问题 .....	323
20.2 市政设施系统的大型化 .....	329
20.3 市政设施系统的地下化 .....	336
20.4 市政设施系统的综合化 .....	338
<b>第 21 章 城市地下物流系统</b> .....	347
21.1 物流与现代物流系统 .....	347
21.2 地下物流系统 .....	347
21.3 地下物流系统的规划问题 .....	352
<b>第 22 章 城市地下防空防灾系统规划</b> .....	354
22.1 城市灾害与城市防灾态势 .....	354
22.2 地下空间在城市综合防灾中的重要作用 .....	358
22.3 地下防空防灾系统规划 .....	360
22.4 城市生命线系统的防护 .....	364
<b>第 23 章 城市地下能源及物资储备系统规划</b> .....	369
23.1 在地下空间贮存能源及物资的特殊优势 .....	369
23.2 民用液体燃料的地下贮存 .....	373
23.3 粮食、食品和饮用水的地下贮存 .....	376
23.4 地下能源、物资储备系统规划问题 .....	380
<b>第 24 章 城市地下空间发展远景规划</b> .....	383
24.1 城市发展远景与未来城市展望 .....	383
24.2 地下空间利用与未来城市建设 .....	388
24.3 城市地下空间发展远景规划示例 .....	391
<b>第 25 章 城市地下空间规划的实施</b> .....	393
25.1 地下空间规划的深化与细化 .....	393
25.2 地下空间开发投融资体制的确立 .....	394
25.3 地下空间规划实施的法律保障 .....	395
<b>第二部分参考文献</b> .....	399

第一部分

城市地下空间资源评估原理与应用

祝文君 执笔



# 第 1 章 地下空间资源评估概论

## 1.1 地下空间资源

地下空间概念有两个基本含义：从开发和利用的角度看，地下空间是指地球表面以下的土层或岩层中天然形成或人工开发的场所；从广义的角度看，地表以下一定范围内的岩土体，包括岩土体的密实部分和无岩土体的空间部分，不论其中是否形成可容纳人或物的空间场所，都占据了一定的空间体积。因此地表下一定平面和竖向深度范围内，岩土体占用和包围的空间体量范围是广义的地下空间。

由于地下岩土体具有为人类开掘和提供可用空间的巨大潜力，因此地下空间被人类视为迄今为止尚未被充分开发利用的宝贵自然资源之一。自然资源在被人类开发利用后，到社会发展的一定阶段才成为人类生存所需要的特定原料和场所，地下空间开发利用的历程与自然资源的这一特点非常相似，即人类地下空间利用也经历了从原始社会的穴居到以后的长期的简单利用，和从自然的被动利用到近现代作为自然资源主动开发的过程。经世界许多国家和国际组织的申请，1981年5月，联合国自然资源委员会正式把地下空间确定为重要的自然资源；1991年的《东京宣言》明确提出：地下空间资源是城市建设的新型国土资源。因此，目前所称的地下空间资源，实际上是指在广义上可利用的已开发和未开发的地质空间范围内，实在的和潜在的空间场所的总称。

地下空间资源具有自然资源学的基本属性，对这一点的准确把握，是从自然资源整体的高度分析、掌握和控制地下空间资源，指导地下空间整体、有序开发和综合化、资源化利用的理论依托。地下空间资源的与地面空间不同的物理特性，是确定地下空间的城市功能、利用内容以及开发时序的基本依据。

## 1.2 地下空间的自然资源属性及特性

### 1.2.1 地下空间的自然资源基本属性

与自然资源的一般属性（即共性）对照研究可以发现，地下空间具备自然资源的基本属性<sup>[1,2]</sup>：

(1) 自然资源的稀缺性和有限性：是自然资源的固有特性。任何“资源”都是相对于“需要”而言。一般来说，人类的需要实质上是无限的，而地球上很多目前可用的自然资源却是有限的。这就产生了自然资源的“稀缺”这个固有特性，即自然资源相对于人类的需要在数量上相对不足。

城市地下空间作为一种受地质环境和经济实力及技术水平制约的自然空间，虽然会随着城市发展的需要而逐渐被开发利用，利用的范围和深度也会随着经济实力和水平的提高而发展扩大，但其天然总储量是有限的，可开发利用的部分会逐渐减少，不可能无限制使用。所以调查和评估地下空间资源状况，合理规划、有序开发和保护城市地下空间资源，才能使之得到充分有效利用。

(2) 自然资源的整体性：自然资源的开发利用通常是针对某种单项资源，甚至是单项资源的某一部分。但实际上各种自然资源之间的关系是相互联系、相互制约的，甚至是交叉/共生的关系，从而构成了一个整体系统。人类不可能在改变一种自然资源或生态系统中某种成分的同时，又使其周围的环境保持不变。

#### 4 第一部分 城市地下空间资源评估原理与应用

地下空间不仅能为人类和城市提供空间活动场所,而且为城市发展提供了一种规模巨大的、潜在的自然空间来源。地下空间相关的地质条件、水文条件、城市建设现状、社会经济和生态环境因素相互联系、相互制约,交叉共生,构成人一地空间整体系统。

对城市地下空间资源进行开发利用的同时,势必会对其周围的环境系统产生一定的作用和影响。这种影响在某些方面是有利的,例如地下空间的开发节约了土地资源,提高了空间聚集效应,为地面生态环境的改善创造了有利条件;同时,影响也有可能对某些方面不利,例如大型地下空间的建设和运营,存在着改变地下水的原有水位和流向以及造成地下水水质污染的可能性。因此,地下空间资源分析不仅要研究地下空间建造的工程条件适宜程度,还必须关注开发利用方式和规模等因素对自然系统的影响,研究地下空间利用与自然生态及人文环境保护的整体关系。

(3) 自然资源的地域性:自然资源受到生成和存在条件的地质、气候、地理环境的制约和围护,因此任何自然资源的空间分布都是不均衡的。例如,自然资源总是相对集中于某些区域之中,在这类区域内,自然资源的密度大、数量多、质量好,具有良好的可开发性;相反,必然存在某些区域,自然资源的密度小、数量少、质量差,不适宜开发;同时,自然资源开发利用的社会经济条件和技术工艺条件也具有地域差异。自然资源的地域性就是所有这些条件综合作用的结果。

在不同城市,或同一城市的不同地区,或同一地区的不同位置,地下空间资源的工程地质和水文地质条件、上部建筑物基础和地上空间用地性质等自然和人工条件不同,因此地下空间资源的分布、资源蕴藏量和开发潜力分布并不均匀;工程技术工艺条件、经济发达程度、人文社会发展特征的不同,对地下空间的潜在经济价值、地下空间的需求量、地下空间的管理方式和水平影响造成较大差异。例如,在经济较为发达的城市或地区,城市集聚程度较高,地下空间需求量大,开发的力度和深度较大,产生的效益也较高;在经济不发达的城市或地区,地面空间并不紧张,且因地下空间开发的造价较高和照明通风等的维护、运营费用也要高于地上,因此地下空间资源总体可开发程度较低。中国一些沿海城市在改革开放后,经济实力增长很快,城市发展十分迅速,大规模地下空间开发也随之逐步兴起;而日本一些发达城市的浅层地下空间已基本开发完毕,现在已开始利用50~100米的深层地下空间。

(4) 自然资源的多用性:大部分自然资源都具有多种功能和用途,在经济学上具有互补性和替代性。然而,并非所有自然资源的潜在用途都能充分显现出来,并被人认识和放在相同重要的地位。因此,人类在开发利用自然资源时,需要全面权衡,突出主要需求和利用方向,特别是当研究的对象是综合的自然资源系统,而人类对资源的要求又是多种多样的时候,这个问题就更加复杂。由于自然资源的日益枯竭和短缺,对自然资源的综合、节约和循环再利用已成为资源开发利用的重要方式和方向。

地下空间资源同样也具有各种开发方式、利用功能和空间形式,与地面空间形成互补、替换和整体关系,解决多种城市矛盾,满足城市和人的不同需求。因此地下空间资源分析,应包括不同类型地下空间自然与人文条件对开发形式、使用功能的优化利用等的适宜性和多宜性的内容,对地下空间资源进行综合评估,明确合理利用的形式和内容。

(5) 自然资源的变动性:随着人类社会经济实力的增长、技术水平的提高和对自然资源需求的日益增大,资源概念、资源利用的广度和深度都在历史进程中不断演化,资源的生成条件和存在背景也呈动态变化趋势。这种变动表现在两个方面:一方面为人与资源之间的良性循环关系,例如人类利用先进的技术手段对自然资源进行改良增值,改良后的自然资源的利用可以为人类社会创造更多的财富;另一方面是人与资源之间的恶性循环关系,例如由于人类对自然资源的超常利用造成自然条件和人为的环境恶化,以及资源的退化与枯竭,而资源的枯竭反过来又将影响人类社会的持续发展。

地下空间资源同样具有变动性。在古代,人类就已经开始利用浅层地下空间来建设居住、仓储空间。在现代,随着大城市经济的发展,施工技术水平的提高,施工工艺的革新,人类开始大规模利用地下空间,用途也更加多样。随着人类经济实力不断增长,技术水平的不断提高,地下空间可利用的深度

和广度还将不断扩展；另一方面，随着地下空间不断开发使用的累积，潜在的地下空间资源可开发利用总量在不断减少。因此对地下空间资源的分析评估也必须保持动态的、可更新的原则。

(6) 自然资源的价值属性：自然资源首先必须具有使用价值，其利用价值是在资源的自身属性与人类社会的相互作用中得到实现，并在人类社会的发展过程中逐渐完善，最终成为社会发展的稳定的物质基础。自然资源本身的价值，可称之为“自然价值”；人类劳动作用于其上所产生的价值称之为“附加劳动价值”。通过人类的劳动和开发，自然资源潜在的“自然价值”和“附加劳动价值”才能够实际实现和获得，所以经过一定人类劳动凝结的自然资源的价值是其“自然价值”与“附加劳动价值”的总和。显然，资源的总价值量大于资源的“自然价值”量。随着经济的发展和社会的进步，自然资源开发的内涵、潜能和质量越来越高，资源体中凝结的人类劳动的价值会不断增加，资源的利用效率和价值潜力不断被开发和增值。人类的对自然资源不断增多的科学认识，不断丰富开发利用技术，使自然资源的使用价值不断增长，自然资源的附加价值占有资源总价值的比例也不断扩大。资源是人类劳动创造财富的原料和场所，所以资源必然是创造价值的源泉和物质基础<sup>[3]</sup>。

城市地下空间资源是城市土地资源自然延伸，因此具有与城市土地资源相似的价值属性这一自然资源的基本属性。在计划经济体制下，中国城市土地资源的价值属性被抹煞，使土地资源的附加价值没能得到发挥。随着土地有偿使用和土地使用权出让转让、房屋商品化以及住房制度改革等各项措施的深入进行，土地资源的价值属性得到了体现。地下空间不仅能为城市发展创造和提供“自然价值”——即空间场所的一般和特殊的使用价值，而且也同样能够创造附加劳动价值，在城市土地和城市空间所创造的巨大财富和社会效益中，不能排除地下空间在其中有机的贡献、综合作用和价值。

因此，对地下空间资源的评价，除资源潜力、适宜的利用功能和形式、适宜的场地和环境选择、合理的利用规模与层次外，最终还必须进行资源的经济评价，才能真正体现和实现其对城市集聚效应的作用和目标。应当根据地下空间资源开发的需要，进一步制定相关的法规政策，明确界定地下空间资源的权属关系，对地下空间资源开发效益进行分析，制定有偿使用的标准，促进地下空间资源的开发和保护。

(7) 自然资源的社会性：当代地球上的自然资源或多或少都留下了人类劳动的印记，人类“不仅变更了植物和动物的位置，而且也改变了它们所居住的地方的面貌和气候，人类甚至还改变了植物和动物本身。人类活动的结果只能和地球的普遍死亡一起消逝”（马克思）。自然资源的社会性表现为人类群体行为对自然生态系统提供物资和场所条件的需求和索取利用方式的一致性和统一性，例如人们会根据个体需要与群体共同利益的一致性和矛盾的协调需要，提出共同认识和协调处理机制，提出改进和协调人的需求与自然资源供给，更有效利用、节约和循环使用资源等的具有社会性行为特征的统一认识和执行措施。

人类对地下空间的开发利用，以及为开发地下空间而进行的各种分析评估、规划、技术发明与革新等活动，体现了地下空间资源的社会利益和群体效应的需求和驱动，反过来，社会发展又促进地下空间资源的利用和保护。总之，追求地下空间开发利用的社会、经济和环境综合效益，是地下空间开发利用的本质和目标；制定地下空间资源开发的利益分配、权属与转让、优惠和引导的机制，是实现地下空间开发综合目标的社会性保障措施。

(8) 自然资源的再生性与非再生性：自然资源的再生性是指自然资源本身在被利用的过程中连续或往复供应的能力，如果资源再生的能力可以满足资源消耗的需求，则为再生性资源，否则为非再生性资源。有些资源属于完全的非再生性资源，例如煤炭、石油等矿产资源，势必会随着人类的利用而逐渐枯竭；有些资源具有一定的再生性，例如动物、植物资源等，但是其再生能力受到其他因素和条件的制约，如果开发利用过度，将使这类资源失去再生能力，也会逐渐枯竭消失；有些资源具有较强的再生性，例如水、风能、太阳能。

地下空间资源的可逆性（即在被利用的过程中连续或往复供应的能力）较差，地下空间的存在环

境一旦破坏就很难恢复原状。在浅层土中,需要较大的代价才能除旧建新,浅层地下空间资源需要经过很长的城市更新改造和建筑周期才能再生;而在岩石或深层土层中则拆除后无法重建,深层地下空间的潜在开发容量只会随着人类的开发利用逐渐减少。虽然随着人类开发技术水平的发展,开发地下空间资源的能力会不断提高,地下空间资源可开发的容量也会相对有所增加,但是地下空间的天然总容量是有限的,所以应该将浅层地下空间资源作为可再生性较差的资源来保护并有节制地开发利用,将深层地下空间资源作为不可再生的自然资源进行保护性利用。

### 1.2.2 地下空间资源的特性及其与地面空间的主要区别

地下空间被岩土、水等地下环境介质完全包围并相互作用,与地面空间及已有地下空间组成多层次的立体交叉与重叠关系,决定了地下空间资源环境物质要素明显的三维属性,即空间的多层次立体交叉、资源与环境之间的三维空间效应及随时间变化的四维过程,决定了地下空间与地面空间在自然属性及利用方式上的本质区别。分析地下空间资源的环境介质型要素及需求引力型要素的特点及其作用的基本对象和影响效果,并与其他自然资源及地面空间的利用性能进行比较,得出地下空间具备的如下特性:

(1) 地下空间被岩石、土壤和地下水等介质包围,在温度、湿度及热工的稳定方面,空间和环境的封闭、隐蔽和防护安全等方面,具有较强的物理特性;同时难于利用太阳光及天然景观,方向性和方位感较差。

地下空间内部环境与地上空间有很大的差异。建成后的地下空间处于岩石或土层的包围之中,与自然界的空气流通受到阻碍,自然阳光难以进入,与自然景观隔绝。对外空气流通不畅,地下空间中二氧化碳浓度和放射性物质如氡气的浓度偏高,空气湿度大和异臭难以排除等环境特点,对处于地下空间中的人的生理和心理健康有很大的影响。为了使地下空间保持不低于地面建筑的内部环境标准,运营所消耗的能源比地面要多出大约3倍。但是另一方面,由于岩石或土层覆盖使得地下空间与外部环境的能量交换缓慢,将一些需要恒定温度或湿度条件保存的物品储存在地下空间中,可以节省能源消耗<sup>[4]</sup>。

良好的防御外部灾害的能力。岩石和土层增加了地下建筑的防护层厚度,减少了外部因素作用对地下建筑的损害,所以其对外部灾害的抵抗能力要高于地上建筑。根据联合国的有关规定,一切核防空洞必须建设在地下。日本的研究表明,岩石洞穴在地震条件下是高度安全的,地下30米以上处地震加速度约为地表处的40%,因此日本政府把地下空间指定为地震时的避难场所<sup>[5]</sup>。

岩石和土层的覆盖使地下空间与地面直接连接受到限制,空间内部方向感差,对人员疏散不利,这对地面救援人员掌握地下情况,展开救援工作有一定的限制,所以一般地下建筑内部灾害的危害程度要大于地面建筑。但是,由于岩石圈的保护,地下空间内部灾害对外部环境的影响很小,所以一些危险品可以考虑放置在有一定深度的地下空间中。

(2) 空间的多层性利用特征。可多层一次开发,或多次分层开发,实现空间立体化和土地多功能复合利用的重叠和穿插,具有可分层利用及分期实施的特点和优势。

(3) 地下工程物相对地面建筑的建设成本较高,工期较长。地上空间的原状介质是大气,可以建筑的手段直接围合而利用;地下空间资源的原始介质是岩石或岩石风化后的土层以及渗透性较强的地下水,必须克服岩土和水的影响,将内部介质排除,才能创造出可以利用的空间,因此地下工程施工难度和成本往往高于地上空间设施。例如地上建筑的空间高度已经超过500米,吉隆坡双子星大厦高度达到452米,台北国际金融中心高度达到508米,迪拜塔则达到629米;而城市地下空间的大深度利用常见为地下20~50米之间,目前还限制在地下100米之内(采矿空间不计)。在不计入土地费用的条件下,地下工程的直接造价高于地面工程。以日本对1976~1980年建成的地下街的统计为例,其单方工程造价是同类地面建筑的3~4倍<sup>[4]</sup>。

(4) 较强的不可逆性。地质体经历漫长的地质年代才能形成稳定结构;而地下空间资源开发必须

先将岩石或土层介质排除,改变地下原有的物质环境。岩石圈的地下空间结构代替了被排除的介质,与周围的岩石或土层形成了一个新的受力平衡体系,一旦拆除地下建筑,将造成岩石圈中受力场的重新分布,可能造成局部较大的变形,造成严重后果。因此地下空间开发项目尤其是深度较大的空间,一旦建成将很难进行改造或拆除,或根本无法恢复原状,具有很强的不可逆性;因此大深度地下空间资源再次开发的可能性很小,只能循环利用。而浅埋的地下建筑在理论上是可以拆除的,并可对地下空间资源进行一定程度的再开发,但是改动和恢复的成本很高。

(5) 不利影响的持久性。与地面空间开发相比,地下空间开发在总体上对生态环境的不利影响相对较小。但是由于地下空间具有较强的不可逆性且埋于地下,不合理的地下空间形态或功能设施一旦建成,其对环境的不利影响将持续更长时间;低质量的地下空间建设,则缩短了项目设施使用的生命周期,相应增大了单位时间的环境负荷。因此对地下空间开发利用的规划和建设方案,尤其是大型地下空间开发利用的规划和论证,应提出比一般项目更为严格的论证标准和要求。

(6) 不可移动性。地下空间附属于土地资源,只能在固定空间位置使用,开发利用的空间场所、层次和时序必须进行合理分析和规划,以适应地面和自身的时间效应和功能变化。否则不仅造成资源本身的不可再生和浪费,还会影响资源开发所在区域的发展。

(7) 地下空间资源的开发利用具有迟于地面发展的后发性和滞后性特点。在城市空间自由发展的规律和效应下,只有当地面空间发展到一定程度时,才会出现地下空间大规模开发利用的需求。所以对于新城规划,必须根据城市发展和建设的目标,先行规划建设或预留地下空间,以避免造成新一轮城市改造建设成本的提高和资源浪费;对于老城,则应根据城市的发展阶段、水平和保护与改造对象的特点,密切结合旧城保护、更新改造,交通与市政基础设施升级,对地下空间利用的价值、潜力、需求和适宜性进行充分的论证和预测分析,并在旧城改造过程中逐步实施。

(8) 开发次序的竖向分层特征。地下空间开发一般从接近地表的浅层开始,随着施工与材料技术水平提高、经济水平和社会需求的发展,逐步向更深层次拓展。

(9) 地下空间资源的地域广泛性。因地表下岩土体分布的广泛性,故理论上只要是人类足迹可达之处,如果具备开发需求和工程可能性,都可以开发利用。

(10) 地下空间开发技术的复杂性。地下空间环境物质的隐蔽性和复杂性均远大于地面。未知的不良地质现象较多,为解决这些问题,常需要高质量的勘察设计、先进的技术设备及有针对性的施工工艺。

### 1.2.3 资源属性与特性的启示

地下空间自然资源属性的对照分析表明,地下空间具备自然资源的共性和基本特征,同时还具有自身的独特性和与其他自然资源联系和交叉的整体相关性,表现为自然、社会及经济与环境目标的综合性,是城市复杂巨系统的复杂子系统空间范畴,因而在大规模的实际开发利用过程中,应该作为资源系统的组成部分进行整体分析和综合规划,发挥资源环境整体优势和效益,避免单一系统及功能的孤立开发与使用造成的城市地质支撑体的碎块式开发和整体效益的浪费。同时,与地面空间完全不同的物理特性造成了作为新型国土资源组成部分的地下空间资源,与传统意义的城市土地资源在使用方式和方法上差异较大,必须在整体上进行深入分析和定位。

为了实现各竖向层次地下空间资源开发利用时序的科学规划和布局,有必要借鉴自然资源开发利用的一般过程和方法,从整体上审视地下空间资源的开发利用过程和资源约束条件、驱动条件的分析,通过资源调查评价和评估,对地下空间资源的实际自然条件特征和环境承载力特征进行科学分类和定性、定位,对合理开发的时序和空间布局等给出统一的战略性安排和筹划,实现分期、分层、分次建设,减少开发的冲突、矛盾和资源浪费,以利于更新改造和持续再利用,实现资源利用的可持续发展。



### 1.3 自然资源调查评价的基本内容和过程

地下空间是国土资源利用形式的拓展和延伸,是自然资源的组成部分,具有自然资源的一般属性和自身的独特性。借鉴自然资源学对自然资源开发利用过程一般规律的研究成果,有利于从理论高度,快速准确地认识和把握地下空间作为城市重要自然资源的开发利用和保护的原则和方法,对探索城市地下空间资源赋存和演变规律及评价方法的研究具有启发和参照作用。

#### 1.3.1 自然资源开发利用的过程和研究方法

自然资源是对具有社会有效性和相对稀缺性的自然物质与自然环境的总称。科学的自然资源开发利用过程包括:勘察、开发、利用、改造和保护五个部分。其中对自然资源开发和利用的研究包括:调查、评价、规划、管理和立法等五个基础性内容。其中资源的调查、评价是自然资源开发利用科学规划、管理和保护的前提和基础依据,是自然资源开发利用最根本的基础性工作。

#### 1.3.2 自然资源调查的目的与方法

资源调查的目的在于获取自然资源的基本信息,包括资源本身的信息、资源的环境信息和资源的影响因素信息,这是资源开发利用五个过程中最基础的研究工作,它包括对资源利用现状、资源潜力因素的调查和分析,主要调查手段和方式包括:

(1) 实地调查:研究人员亲自到资源所在地进行勘查,包括踏勘、目测观察记录、物探、钻探等手段。此种方法可以获得详细准确的数据,但是调查所需的人力、物力和时间较多,故不适用于大范围的资源调查。

(2) 资料分析和统计调查:根据有关部门掌握和收集的现有基础资料和统计资料进行分析,对于需要长期观察的研究信息,采用统计调查方法可以获得研究所需资料。

(3) 航空遥感调查:是获得资源地面信息最有效的现代化调查手段与方式。通过遥感图片解译,可以直接或间接获得资源的数量、质量、类型与分布信息并且通过不同时期遥感图的分析对比,了解资源或影响要素的动态变化。

(4) 模拟调查:模拟调查是采用抽象、概括、模型的方法对实际问题进行典型研究,适合对特别复杂的资源系统进行分析。

#### 1.3.3 自然资源评价和方法

自然资源评价是对一个国家或一个地区所拥有的自然资源在数量、质量、种类、组合特征、资源优势、资源开发的有利条件和制约因素等方面进行科学的评估,是制订资源开发利用规划,采取合理开发利用方式与措施的科学依据。

(1) 评价的原则:

- 整体性原则:资源评估必须将资源作为整个资源系统中的一个子部分,考虑系统中所有因素对资源的影响,把研究对象置于整体系统中评估,结果才真正客观和全面。单就资源本身的性质进行评价,将会产生误差。例如,某处贫铁矿本身性质决定了它的开发价值很低,但是实际上它已经被开发利用,原因是此铁矿位于武汉附近,原材料运输交通便利,因此外界条件提升了它的开发价值;又如某地块地质条件不佳,但是由于区位优势而发展形成商业中心,于是该地区地下空间开发的商业价值也随之上升,开发者有可能利用商业利润较高的优势,投入较多的资金去开发地质条件相对较差的地下空间资源,这也是从资源要素的整体方面权衡思考的结果。
- 实践性原则:坚持资源评价为资源开发利用规划服务的原则,评估内容和结果要素与项目规划需要