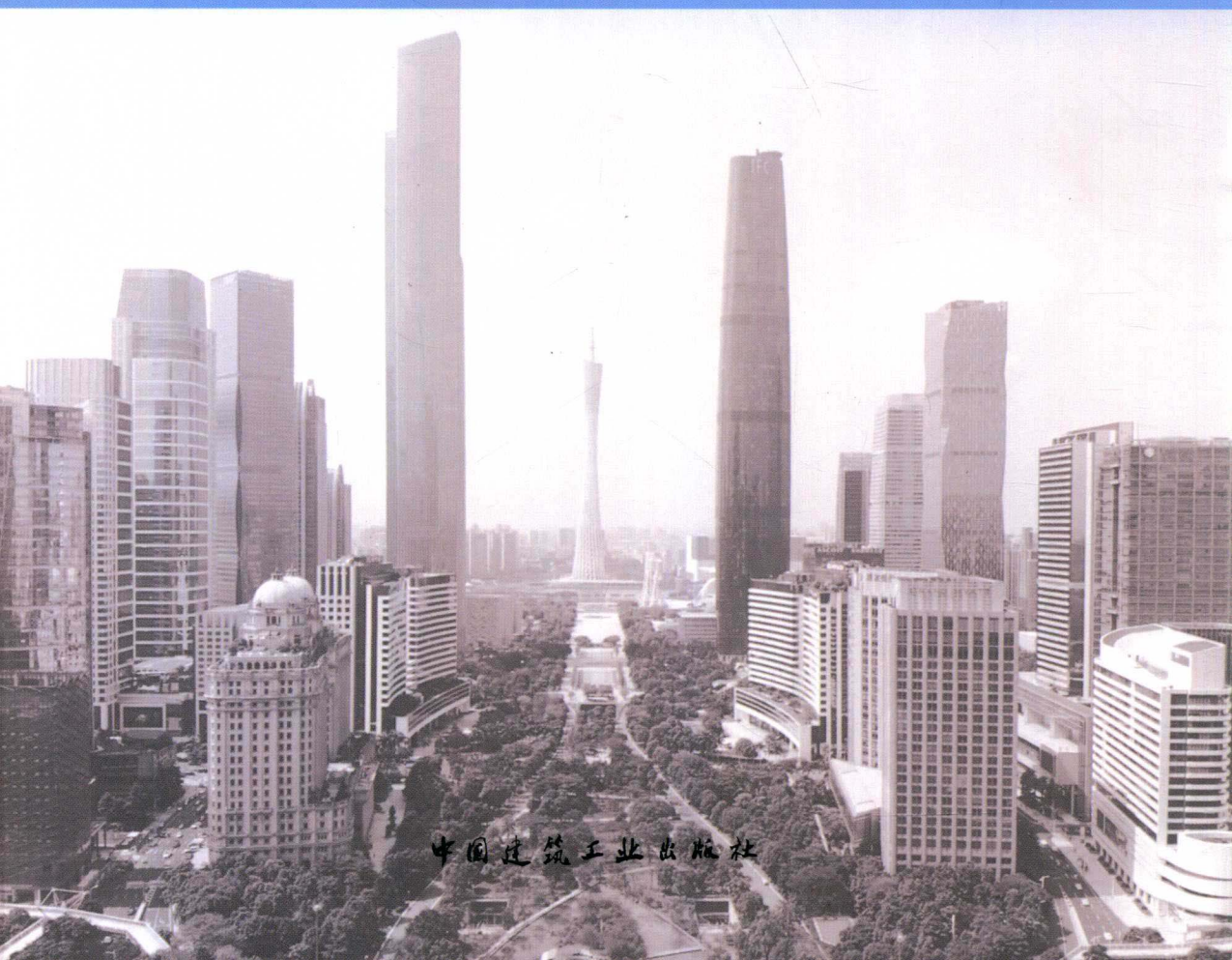


广州市地下空间开发的 岩土工程技术指南 ◀

◎林本海 廖建三 等 编著



中国建筑工业出版社

广州市地下空间开发的 岩土工程技术指南

林本海 廖建三 等 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

广州市地下空间开发的岩土工程技术指南/林本海, 廖建三等
编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018.5
ISBN 978-7-112-22229-2

I. ①广… II. ①林…②廖… III. ①地下建筑物-开发-岩土工
程-广州-指南 IV. ①TU9-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 104233 号

本书作为广州市城市地下空间开发的工程规划设计、施工技术的第一部指南, 将前人对广州市区域地质、构造地质的特征研究成果进行全面分析和总结, 对广州市地下空间开发的地质适宜性进行了全面评价; 对地下工程结构的设计计算与建造技术进行分析论述, 对新技术应用的方向进行了讨论; 对地下空间开发的环境岩土工程问题处理等方面进行了分析研究并进行了全面的论述; 详细介绍了地下空间开发需要考虑的问题与应注意的事项, 并针对可能出现的各种问题给予解决思路和方案指引。本指南在地下空间开发的岩土工程技术方面涉及的内容广泛, 具有重要的应用意义与较高的学术价值。

本书为从事广州地区地质工程、岩土工程、地下空间设计与施工及其相关专业服务和使用, 也可供从事地下空间工程、岩土工程、隧道工程、地铁工程、道路工程、工业与民用建筑、水利水电工程等专业技术人员参考。

责任编辑: 王 梅 杨 允

责任校对: 王雪竹

广州市地下空间开发的岩土工程技术指南

林本海 廖建三 等 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 28 字数: 696 千字

2018 年 12 月第一版 2018 年 12 月第一次印刷

定价: 79.00 元

ISBN 978-7-112-22229-2

(32097)

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

进入 21 世纪以来,我国城市建设事业迅猛发展,地下空间开发和建设规模在迅速扩大。地铁工程、隧道工程、人防地下商业街、地下厂房与泵房、高层建筑地下室、市政管廊工程、仓储工程等大量的地下工程不断在新建、扩建或维修;同时,其设计施工技术难度也在不断加大。如何针对城市地下空间这一宝贵的自然资源,研究地下空间合理开发利用急需解决的一些关键技术问题,对于提高土地利用效率,有效缓解城市发展与土地资源紧张的矛盾,扩大城市生存发展空间,实现城市建设可持续发展,具有紧迫而重要的现实意义和深远的历史意义。

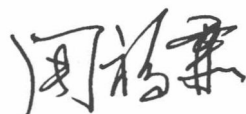
广州城市地下空间是广州市可持续发展的重要资源,广州市地下空间开发规划应成为城市规划的重要组成部分,加强广州市城市地下空间开发的岩土工程技术课题研究是广州市地下空间开发的重大课题。众所周知,地下空间开发成本高、技术难度大;国内外大量的地下工程建设经验表明,对工程地质问题的认识程度和采用的岩土工程技术水平是确保地下工程建设过程安全、经济节约的关键。城市地下工程往往在建设过程中,常引起周围地层的位移、变形、沉降、甚至塌陷等地质环境效应,对周围地面建筑物、公用地下管线和各种地下设施以及城市道路等都可能造成不同程度的危害。因此研究广州市地下空间开发的工程地质环境及条件、岩土工程问题及施工建造技术具有重要意义。

由广州大学、广州市建设科学技术委员会办公室、中山大学、广州市地下铁道总公司、广州市市政工程设计研究院、广州市城市规划勘测设计研究院、广东工业大学、华南理工大学、广州市地下铁道设计研究院、广东人防建筑设计院有限公司等单位共同参加,林本海和廖建三等精心组织历时多年编著完成的《广州市地下空间开发的岩土工程技术指南》在我国目前城市地下空间开发的领域中,以体系的全面性、结构的完整性、内容的详尽性立足。《指南》首先对广州市的区域地质、构造地质的特征研究成果进行了全面分析和总结;并在综合分析广州市的区域岩土地层结构特点的基础上结合地铁工程建设的经验对广州市的地层划分方法进行了统一;从地下工程类型出发,对广州市地下空间开发的地质适宜性进行了全面评价;对地下工程结构的设计计算与建造技术进行分析论述,对新技术应用的方向进行了讨论;对地下空间开发的环境岩土工程问题处理等方面进行了分析研究并进行了全面的论述;详细介绍了地下空间开发需要考虑的问题与应注意的事项,并针对可能出现的各种问题给予解决思路和方案指引。

它的问世不仅为广州市地下空间开发提供岩土工程理论和技术指导，也为其他城市地下空间开发过程中的岩土工程问题提供借鉴，同时它也标志着我国城市地下空间开发的领域已经逐渐步入规范化、科学化的轨道。

中国工程院院士

广州大学工程抗震研究中心主任

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ren Hongliang' (Ren Hongliang), written in a cursive style.

2018年1月30日

前 言

城市建设的发展史表明,19世纪是桥的世纪,20世纪是桥和高层建筑的世纪,21世纪则是高层建筑、桥和地下空间同步发展和综合利用的世纪。为确保社会经济可持续发展的要求,加大城市地下空间开发利用的力度已成必然。将相关城市基础设施建造在地下,已成为城市建设的重要发展方向。

近年来,随着城市建设事业的迅猛发展,地下工程建设规模在迅速增大。地铁工程、隧道工程、人防地下商业街、地下厂房与泵房、高层建筑地下室、市政管廊工程、仓储工程等大量的地下工程不断在新建、扩建或维修。同时,其技术难度也在不断加大。因此,高度重视城市地下空间这一宝贵的自然资源,抓紧研究城市地下空间合理开发利用急需解决的一些关键技术问题与方针政策问题,对于提高土地利用率,有效缓解城市发展与土地资源紧张的矛盾,扩大城市生存发展空间,实现城市建设可持续发展,具有紧迫而重要的现实意义和深远的历史意义。

众所周知,地下空间开发成本高、技术难度大。国内外大量的地下工程建设经验表明,对工程地质问题的认识程度和采用的岩土工程技术是控制地下工程建设安全、经济的关键。城市地下工程往往在市区繁华地段进行,在其施工过程中,常引起周围地层的位移、变形、沉降与塌陷等地质环境效应,对周围地面建筑物及基础,地下早期人防和其他构筑物、公用地下管线和各种地下设施以及城市道路等都可能造成不同程度的危害。因此研究广州市地下空间开发的工程地质环境及条件、岩土工程问题及施工建造技术具有重要意义。

广州城市地下空间是广州市可持续发展的重要资源,广州市地下空间开发规划应成为城市规划的重要组成部分,广州市的城市发展日新月异,地下空间开发的力度空前加大,以地铁建设为龙头的地下工程建设不仅拓展了城市发展的空间格局,而且带动了周边土地的开发力度。加强广州市城市地下空间开发的岩土工程技术课题研究是广州市地下空间开发的重大课题。

在我国目前城市地下空间开发的领域中,本课题的研究成果——本指南以体系的全面性、结构的完整性、内容的详尽性立足,针对广州市城市地下空间开发的岩土工程技术问题进行全面的分析和研究。它的问世不仅为广州市地下空间开发提供岩土工程技术指导和理论指导,而且也为其他城市地下空间开发过程中的岩土工程问题提供借鉴,同时它也标志着我国城市地下空间开发的领域已经步入规范化、科学化的轨道。

本书将前人对广州市区域地质、构造地质的特征研究成果进行全面分析和总结,首先综合岩土地层结构特点对广州市的地层划分进行了统一;从广州市岩土工程地质条件和地

下工程类型出发,对广州市地下空间开发的地质适宜性进行了全面评价;对地下工程结构的设计计算与建造技术进行分析论述,对新技术应用的方向进行了讨论;对地下空间开发的环境岩土工程问题处理等方面进行了分析研究并进行了全面的论述;详细介绍了地下空间开发需要考虑的问题与应注意的事项,并针对可能出现的各种问题给予解决思路和方案指引。本指南在地下空间开发的岩土工程技术方面涉及的内容广泛,具有重要的应用意义与较高的学术价值。作为广州市城市地下空间开发的工程规划设计、施工技术的第一部指南,力求为政府决策提供依据,同时为从事广州地区地质工程、岩土工程、地下空间设计与施工及其相关专业服务和使用的,也可供从事地下空间工程、岩土工程、隧道工程、地铁工程、道路工程、工业与民用建筑、水利水电工程等专业技术人员参考。

本指南项目得到国家住房和城乡建设部、广州市建设委员会立项资助和支持,是针对广州市地下空间开发的岩土工程技术而展开的研究课题,并编著写成技术指南。本指南项目由广州大学和广州市建设科学技术委员会办公室共同承担,中山大学、广州市地下铁道总公司、广州市市政工程设计研究院、广州市城市规划勘测设计研究院、广东工业大学、华南理工大学、广州市地下铁道设计研究院、广东人防建筑设计院有限公司等共同参加完成,具体由林本海和廖建三作为项目负责人进行组织并开展研究,全面进行组稿并多次修改统稿,最后由林本海统一修改完稿。前言、第1章(1.1节)、第2章(2.2节)、第5章(5.5节)、第6章(6.1节、6.5节)、第7章(7.1节)、(8.1节、8.6节)、第9章由广州大学、广州市建设科学技术委员会办公室负责编写;第1章(1.2节、1.3节)、第2章(2.1节)、第3章(3.1节)、第7章(7.4节、7.7节)由中山大学负责编写;第3章(3.2节)、第5章(5.1节、5.2节、5.4节)、第6章(6.2节、6.3节、6.4节、6.6节、6.7节)由广州市地下铁道总公司负责编写;第3章(3.3节)、第8章(8.3节)由广州市城市规划勘测设计研究院负责编写;第4章、第8章(8.4节)由广州市市政工程设计研究院负责编写;第5章(5.3节)、第7章(7.2节、7.3节、7.5节)由广东工业大学负责编写;第7章(7.6节)由华南理工大学负责编写;第8章(8.2节)由广州市地下铁道设计研究院负责编写;第8章(8.5节)由广东人防建筑设计院有限公司负责编写。

本指南研究参加单位的具体专家还有:汤连生、葛家良、刘良贵、曾耀昌、史宏彦、莫庭斌、彭卫平、曹洪、李彰明、张季超、方磊、史海欧、郑建业、刘锋戈等。

在组稿编写过程中我们所遵循的原则是通俗易懂、便于使用、突出重点、内容简练,但因水平有限,书中有不妥和错误之处,敬请同行专家和读者批评指正。

广州大学

广州市建设科学技术委员会办公室

2017年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 地下空间、地下工程的涵义	1
1.1.2 地下空间开发的特点及意义	2
1.1.3 本指南的目的和意义	7
1.2 广州市地下空间开发的岩土工程问题和技术	9
1.2.1 概述	9
1.2.2 岩土层与岩土分层	10
1.2.3 影响地下空间开发的因素	12
1.2.4 地下空间开发的工程地质问题	13
1.2.5 地下空间开发的环境岩土工程问题	15
1.2.6 岩土地层中的地下空间开发技术	17
1.3 广州市地下空间开发的现状与趋势分析	20
1.3.1 地下空间开发的现状分析	20
1.3.2 广州市地下空间开发的对策分析	24
1.3.3 广州市地下空间开发的趋势分析	28
1.3.4 广州市地下空间开发应注意的问题	32
第 2 章 术语和符号	34
2.1 术语	34
2.1.1 地质条件	34
2.1.2 土和岩石的物理力学性质	38
2.1.3 岩体和土体处理	42
2.1.4 地下工程和支挡结构	44
2.2 符号	46
2.2.1 岩土物理力学性质指标	46
2.2.2 水文地质参数	47
2.2.3 作用和作用效应	48
2.2.4 其他符号	49

第 3 章 广州市地下空间开发的岩土工程地质条件 50

3.1 概述 50

3.1.1 气象、水文 50

3.1.2 地形地貌 53

3.1.3 地层与岩石特征 56

3.1.4 地质构造与区域稳定性 65

3.2 工程地质条件 80

3.2.1 工程地质条件的主要特点 80

3.2.2 盖层—第四系地层 81

3.2.3 工程地质分区及各分区特点 104

3.3 水文地质 123

3.3.1 地下水的类型及赋存状态 123

3.3.2 各类地下水的水文地质特征及其分布规律 124

3.3.3 地下水的补给、径流和排泄条件 131

3.3.4 地下水不良作用评价 131

第 4 章 广州市地下空间开发的岩土工程条件评价 139

4.1 概述 139

4.2 地下工程岩土环境分区 139

4.2.1 工程岩土分层及其基本特点 139

4.2.2 工程地质大剖面区的工程岩土条件 144

4.2.3 工程岩土环境分区 149

4.3 地基岩土评价及其指标体系 155

4.3.1 地基岩土评价的指标体系 155

4.3.2 地基岩土评价 173

4.4 岩土地基的工程特性评价 173

4.4.1 岩土工程特性指标 173

4.4.2 岩土地基工程特性分区评价 182

第 5 章 地下工程结构计算方法 184

5.1 地下工程结构计算的特点与荷载要求 184

5.2 围护结构技术特点与选型 187

5.3 基坑支护计算 196

5.3.1 概述 196

5.3.2	不考虑桩(墙)和支撑变形的计算方法	210
5.3.3	考虑桩(墙)和支撑变形的计算方法	223
5.4	隧道与硐室工程的结构计算	253
5.4.1	明挖隧道的计算方法	253
5.4.2	盾构法隧道的计算方法	254
5.4.3	矿山法隧道的计算方法	256
5.4.4	沉管隧道的计算方法	260
5.5	顶管工程计算	261
5.5.1	考虑土拱效应的水平顶推力计算	262
5.5.2	不考虑土拱效应的水平顶推力计算	265
第6章	广州市地下工程的类型与建造技术	268
6.1	地下工程的类型	268
6.1.1	地铁工程	268
6.1.2	过江隧道与道路立交下穿隧道工程	269
6.1.3	人防工程	270
6.1.4	地下商业工程	270
6.1.5	公共基础设施空间	271
6.1.6	地下公用业务、娱乐工程	271
6.1.7	贮存、生产空间	272
6.2	地下工程施工方法分类	272
6.3	开放式(半开放式)施作结构	273
6.4	非开放式施作结构	276
6.4.1	非开放式工法的适用条件	276
6.4.2	盾构法隧道	277
6.4.3	矿山法暗挖隧道、洞室	284
6.4.4	矿山法暗挖超前支护	292
6.5	顶管技术	296
6.5.1	顶管工程工作原理	297
6.5.2	顶管工程分类	298
6.5.3	岩土层对顶管工程施工的影响	299
6.6	地下工程防水技术与结构抗浮	301
6.6.1	地下工程防水	302
6.6.2	地下工程结构抗浮	305
6.7	托换技术	305

6.7.1	静压桩托换	305
6.7.2	灌注桩托换	311
第7章	广州市地下空间开发的环境岩土工程问题	313
7.1	环境岩土工程的类型与特征	313
7.1.1	岩溶与土洞的类型与特征	313
7.1.2	软土的类型与特征	314
7.1.3	断层破碎带的类型与特征	315
7.1.4	砂土液化与渗透变形的类型与特征	315
7.1.5	涌水的类型与特征	316
7.1.6	水土腐蚀性的类型与特征	317
7.2	岩溶与土洞的分析与处理	318
7.2.1	岩溶与土洞的分析	318
7.2.2	岩溶与土洞的处理方法	330
7.3	软土的分析与处理	331
7.3.1	软土的性状	331
7.3.2	软土的工程问题	333
7.3.3	软土地基的物理、力学参数	334
7.3.4	软土的处理方法	335
7.4	断层破碎带的分析与处理	338
7.4.1	断层破碎带分析	338
7.4.2	断层破碎带的处理方法	341
7.5	砂土液化与渗透变形的分析与处理	344
7.5.1	砂土液化的分析与处理	344
7.5.2	渗透变形的分析与处理	348
7.6	涌水的分析与处理	351
7.6.1	涌水分析	351
7.6.2	涌水的处理	353
7.7	水土腐蚀性的分析与处理	355
7.7.1	水土腐蚀性分析	355
7.7.2	水土腐蚀性的处理	360
第8章	广州市地下空间开发的地质适宜性评价	364
8.1	概述	364
8.2	地下交通工程地质适宜性评价	364

8.2.1	地下交通工程施工工法	365
8.2.2	广州市地下交通工程地质特征	367
8.2.3	地下交通工程的地质适应性评价	370
8.3	地下工程建筑的地质适宜性研究	371
8.3.1	主要影响因素分析	371
8.3.2	地质适宜性分区及评价	376
8.4	地下管线工程的地质适宜性评价	379
8.4.1	地下管线或管廊敷设所需的基本条件	379
8.4.2	地下管线和管廊的工程地质适宜性评价	380
8.5	人防工程的地质适宜性评价	382
8.5.1	人防工程的基本概念	382
8.5.2	武器对人防工程的破坏	382
8.5.3	人防工程的类型及其地质适宜性	384
8.6	广州地下工程的几个典型实例介绍	393
8.6.1	广州市地铁	393
8.6.2	广州市珠江新城核心区市政交通项目	407
8.6.3	花园城市广场	413
8.6.4	金沙洲地下垃圾物流系统	424
第9章	结语	428
	参考文献	431

第 1 章 绪 论

1.1 概述

1.1.1 地下空间、地下工程的涵义

1.1.1.1 地下空间

地球是一个圈层结构的球体，地球表面是地壳，再往深处即为地幔和地核。地球表层为岩石圈，岩层表面风化十分剧烈，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。

地下空间 (underground space): 是相对地上空间而言的，是在地球表面以下岩层或土层中天然形成或经人工开发形成的空间。地下空间一般包括两类，即天然地下空间和人工地下空间。天然地下空间，是与溶蚀、火山、风蚀、海蚀等作用有关的地下空间资源，按其成因分为喀斯特溶洞、熔岩洞、风蚀洞、海蚀洞等，天然地下空间可作为旅游资源加以开发利用，也可作地下工厂、地下仓库、地下电站、地下车场以及战时的防空洞利用。人工地下空间，又包括两类，一类是因城市建设需要开发的地下交通空间、地下物流空间、地下贮存空间等，另一类是开发地下矿藏而形成的废旧矿井空间。

地下空间开发一般是指在地表以下至 50m 深度内以岩土体为主要介质的实体领域中进行的空间开发利用。包括在自然形成的巷洞内改造开发或由人工挖掘后进行建造的工程开发，泛指各种生活、生产、防护的地下建筑物及构筑物 (underground buildings or structures) 的开发，也可特指某一类型的地下建筑工程的开发，如交通隧道工程及国防工程等。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。

1.1.1.2 地下工程

地下工程 (underground engineering): 作为一种工程结构是相对于地面工程而言的，是指建在地下的各种工程设施，即在地面以下岩土体中修建各种类型的地下结构物，均称为地下工程。作为学科分支，地下工程是指从事研究和建造各种地下工程的规划、勘测、设计、施工和维护的一门综合性应用科学与工程技术，是土木工程的一个分支。

随着国民经济的发展，地下工程的应用越来越广泛，城市地铁、公路、电站、仓库、商场、体育馆、工厂等许多工程都安排在地下，某种特殊要求下还必须安排在地下。

岩土工程是以岩土体为工作对象，以工程地质学、岩石力学、土力学和基础工程学等

为基本内容,涉及岩土体的利用、整治、改造和与建筑物基础相互作用与影响的综合性技术科学,也有人将地下工程称为岩土工程。

1.1.2 地下空间开发的特点及意义

人类利用地下空间有着悠久的历史,20 世纪 70 年代以来,随着世界各国在现代化建设中城市化步伐的加速,人们开始致力于城市地下空间的逐步大规模开发。联合国自然资源委员会 1952 年会议决议指出:地下空间是人类潜在的和丰富的自然资源。80 年代国际隧道协会(ITA)提出“大力开发地下空间,开始人类新的穴民时代”的口号。顺应时代潮流,许多国家将地下空间利用作为一种基本国策,进行了较大规模的地下空间开发利用。

1.1.2.1 地下空间开发利用的基本属性

1. 综合性

城市地下工程是设置在城市地面以下的土层或岩层中的工程结构物。建造一项地下工程设施一般要经过勘测、设计和施工三个阶段,其设计和施工都受到地质及其周围环境条件的制约,因此在规划、设计之前必须对工程所处环境作周密调查。尤其重要的是工程地质和水文地质的勘探,该项工作应贯穿于整个工程建设的始终。勘察、设计与施工需要运用工程测量、岩土力学、流体力学、工程设计、建筑材料、建筑结构、建筑设备、工程机械、技术经济等多学科的知识,同时也需要施工组织及工程检测等洞室施工技术领域的知识以及电子计算机技术。因而城市地下空间工程是一门涉及范围广阔的综合性学科。

城市地下工程作为人类活动的地下物质空间,对地下建筑的空气、光和声对人的生理与心理产生的影响等环境的要求越来越高,为此要求设计者还要具备地下建筑环境的知识。由于施工条件的不同,有时还需要具备特殊施工方法的知识,如冻结法等。

2. 社会性

城市地下空间工程是伴随着人类社会发展的需要而逐渐发展起来的,它所建造的工程设施能反映出各个不同时代社会经济、文化、科学技术发展的面貌与水平。根据我国现代化城市功能的要求,城市地下工程将为我国人民创造崭新的生活和生存的地下空间环境,是为人类社会现代文明服务的重要组成部分。

3. 实践性

城市地下工程是具有很强实践性的学科。在早期广义的地下工程,像矿业的地下开采、铁路的隧道、人民防护地下工程等都是通过工程实践,总结成功的经验,尤其是失败的教训发展起来的。材料力学、结构力学、流体力学以及有较大发展的土力学、岩体力学及流变力学等,是城市地下工程的基础理论学科。但地下工程修建在土层或岩层中,而各地的土岩层的组成与结构、成因与构造变化复杂,局部与区域地应力难以如实地确定。即使进行实验室试验、现场测试和理论分析也有很大局限性;荷载不能准确核定,而按传统的以荷载核定支承结构尺寸的设计方法,显然不宜应用。而且在工程实践中,出现的许多新现象和新因素,用已有的理论还很难释疑,因此,在某种意义上说,城市地下工程的工程实践常先行于理论。现今不少工程问题的处理,在很大程度上仍然依靠实践经验,衬砌结构的设计以工程类比为主的经验法,至今仍在广泛应用。在以工程类比为主的经验法的

基础上,只有通过新的工程实践,才能揭示新问题,才能发展新理论、新技术、新工艺。

4. 统一性

技术、经济、施工技术、建筑艺术和环境的统一性是城市地下工程实现高效、文明、舒适和安全的现代化城市的重要组成部分。人们力争最经济地建造既安全、适用又美观的地下建筑工程,但工程的经济性和各项技术活动密切相关。首先表现在工程选址、总体规划上,其次表现在工程设计与施工技术是否合理先进上。工程建设的总投资、工程建成后的社会效益与经济效益以及使用期间的维护费用多少等,都是衡量工程经济性的重要依据,这些都与技术工作密切相关,必须综合全面考虑。

符合功能要求的城市地下工程设施作为一种地下物质空间艺术,首先要通过总体布局,有机地与地面建筑设施配合与衔接,本身造型(各部尺寸比例、凹凸部线条)、通风、照明与色彩面饰;安全出口与人行活动线路等协调体现。其次要通过符合地下建筑功能所要求的环境标准,利用附加于工程设施的局部装饰艺术完美地反映出来。第三要求工程设施的所有结构、构造、装饰等不应造成地下建筑环境的污染,并能保证设施内空气新鲜、无异味,湿度、温度适宜,隔声防噪,光线明亮,照度适中,在艺术处理上流畅、典雅,使人们在心理上感到清新舒适。第四要使工程设施表现出民族风格、地方色彩和时代特征。总之,一个成功的、优美的地下工程设施,能够为城市增添新的景观,创造新的地下活动空间,给人以美的享受,提高人们的生活质量。

1.1.2.2 地下空间开发利用的必要性

目前,我国主要大城市在有限的城市空间内,人口急剧增加,土地成本和管理成本逐渐增加,已形成各要素的高度集聚。在有限的土地资源下,合理开发利用地下空间已成为必然趋势。事实证明,地下街道和地下道路对搞活区域经济是非常有效的。城市发展的一个重要标准是城市空间容纳效率,城市空间容量可分为理论容量和实际容量两种,当理论容量已达到饱和,难以再扩大时,则会出现与现实容量的不平衡现象,这时就要求为扩大容量而寻找新的出路。高层建筑的出现,扩大了城市的空间容量,地下空间的开发利用也同样大大扩大城市的空间容量。

地下空间开发的主要目的是为了解决城市地面空间所造成的矛盾,这些矛盾主要表现在城市人口膨胀、土地紧张、能源紧缺、交通拥堵、战争与灾害的威胁等。

公元1年,地球上的人口约2.5亿,公元1600年之后,地球上的人口达到5亿,增加一倍。1950年全球人口不足25亿,但到了1987年全世界人口达到50亿,这是公元1600年的10倍,是1950年的2倍,20世纪末地球人口达到60多亿。可以预测,再过400年,即2400年,人类人口将是目前人口的3倍之多,这样,我们的土地是否还能哺育人类还是未知数。

再看看土地现状,人类生存的大部分粮食和95%以上的蛋白质取自土地。粮食是生命之本,没有土地就没有粮食,人类就要消亡。我国土地有960万 km^2 ,但可耕地面积为100万 km^2 ,只占全国土地面积的1/10。按现有的耕地面积计算,人均只有933.8 m^2 (苏联人均耕地面积为7337 m^2),而且耕地还在逐渐减少,年平均递减率为1.66%,同时,人口却以爆炸速度增加着,所以控制人口膨胀,节约有限的耕地是摆在世界人类面前的重大课题。

人口不增加,城市不扩大,就现实社会状况来说是不可能的。面临人类生存空间的资源开发有三个方向,一是海洋,二是宇宙,三是地下空间。相对来说,开发地下空间比较容易,一是它存在于离我们生存空间最近的地表下,具有直接受益性;二是同地面所建成的系统联系十分紧密,可以使上下空间得到协调发展。

目前,城市扩大及人口的增加给人类带来了很大的影响,从解决的状况来说仍不能令人感到满意,人均耕地面积仍然在减少,城市规模也仍然在扩大。而地下空间开发利用则可以减少对现有耕地的破坏,它可有效地保护地面植被,增加人们对空间的日益增长的需求,提高城市利用效率,因此,向地下索取生存空间是空间开发的重要方向。

1.1.2.3 开发利用地下空间资源的特点

1. 可为人类生存开拓广阔的空间

随着国民经济现代化水平的提高和城市人口的增加,人类因居住和从事各种活动而争占土地的矛盾日趋激化。从宏观上看,人口增加和生活需求增长与土地等自然条件的日益恶化引起了人类生存空间问题。地下空间资源的开发与综合利用,为人类生存空间的拓展提供了具有很大潜力的自然资源。

目前城市地下空间的开发深度已超过 30m,有人曾大胆地估计,即使只开发相当于城市总容积三分之一的地下空间,就等于全部城市地面建筑的容积。这足以说明,地下空间资源的潜力是巨大的。

2. 社会、经济、环境等多方面的综合效益好

在大城市中有规划地建造地下各种建筑工程,对节省城市占地、保护农田及环境、节约能源(有统计说明:地下与地面同类型建筑空间相比,其空间内部的加热或冷冻负荷所耗能源可节省费用 30%~60%),克服地面各种障碍改善城市交通、减少城市污染、扩大城市空间容量、节省时间、提高工作效率和提高城市生活质量等方面,都能起到极其重要的作用,是现代化城市建设的必由之路。

3. 具有良好的热稳定性和密闭性

岩土具有热稳定性和密闭性,这样使得地下建筑周围有一个比较稳定的温度场,对于要求恒温、恒湿、超净的生产、生活用建筑非常适宜,尤其对低温或高温状态下贮存物资效果更为显著,在地下比在地面创造这样的环境容易,造价和运营费用较低。

4. 具有良好的抗灾和防护性能

地下建筑处于一定厚度的土层或岩层的覆盖下,可免遭或减轻包括核武器在内的空袭、炮轰、爆破的破坏,同时也能较有效地抗御地震、飓风等自然灾害,以及火灾、爆炸等人为灾害。

5. 施工条件较复杂,造价较高

城市地下工程往往是在大城市形成之后兴建的,而且要与地面建筑、交通设施等分工、配合和衔接,因而它要通过各种土岩层或者河湖、建筑物基础和市政地下管道等。修建时既要影响地面交通与正常生活,又要使地面不下沉、开裂,保证地面或地下建筑物与设施的安全,这就给地下工程增加了难度,为此必须有万无一失的工程设计、施工组织和可靠的施工技术措施来保证。一般来讲,地下工程的施工工期较长,工程造价较高;但随着科技进步,地下工程的某些局限性将会逐渐得到改善或克服。

1.1.2.4 地下空间开发利用的意义

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第一条地下铁道为标志,至今已有 150 多年的历史。大规模开发利用城市地下空间是近半个世纪才开始的,20 世纪上半叶,地下空间建筑常同战争防护相联系;20 世纪 60 年代以后,发达城市的地下空间开发达到一定规模,为缓解城市用地紧张起到了至关重要的作用。建设具有中国特色的资源节约型城市,关键在于运用先进适用的城市规划理论和科学技术来进行城市规划、建设和运营,其中的一个重要方面是充分开发利用城市地下空间。

城市是人口、经济要素高度聚集之地,城市与乡村竞争的最大优势就在于它的聚集性。然而,正是这种高度聚集性使城市在各种天灾人祸面前显得异常脆弱。同时由于人口、经济要素的过度聚集,导致城市功能系统障碍、城市环境的恶化,具体表现为住房紧张、交通系统效率下降、严重的“三废”污染等。城市地下空间的开发利用因此显得有特别重要的意义。

1. 节约城市用地

目前,我国城市建设占用耕地现象与日俱增,这样持续下去必然带来我国人口的生存危机。而社会城市化水平的提高和城市用地的扩展又是不可避免的,这就带来生活用地与产粮耕地间的尖锐矛盾,如果要减少占用耕地,城市用地发展只有两条路可走,即向高空或地下。从 20 世纪初至今,城市高层建筑的发展也带来一系列固有矛盾,包括城市环境恶化,空间狭小,城市中心失去了吸引力,居民纷纷迁出,就是所谓逆城市化现象的出现。以高层建筑和高架路为标志的城市高空发展是有限度的。许多历史文化名城,如罗马、巴黎、伦敦等,都采取有效措施禁止建设高层建筑,以保护历史传统风貌。城市土地中地下空间资源开发逐渐引起人们的注意,这样就形成地面、高空、地下多方位开发城市的过程,并取得良好效果,地下空间资源开发潜力是十分巨大的。

通过开发利用地下空间节约城市用地。开发利用地下空间,把城市交通(地铁和轨道交通、地下快速路、越江和越海隧道)尽可能转入地下,把其他一切可能的设施(如停车库、污水处理厂、商场、餐饮、休闲娱乐等)尽可能建于地下,就有可能实现土地的多重利用,提高土地利用效率,实现节地的要求。

2. 节约城市能耗和用水

通过开发利用地下空间节约城市能耗。“紧凑型”城市减少了居民的出行距离和机动交通源,相对降低了人们对机动交通特别是私人轿车的依赖度,相对增加了居民步行和骑自行车出行的比例,这一切将导致能耗大户——交通能耗的降低,实现城市节能的要求。

通过开发利用地下空间节约城市用水。建设节约型城市要“开源与节流并生”,关键是要建立城市水系统的良性循环机制。在这方面,外国的先进经验是:充分利用雨水、开发污水再生利用和建立地下“水银行”,以调节和缓解城市供水,这些经验的实施都需要开发利用地下空间。日本、瑞士和牙买加等国利用屋顶收集雨水,并通过管道送到地下储水库。污水经初级处理后得到的中水在很多国家被推广利用,例如日本每年供工业用和绿化用的中水达 1.3 亿 m^3 。有专家估计,北京市污水处理后的再生水经过中水系统进入家庭,全年可节水 10 亿 m^3 ,即达到南水北调中线一期工程送达北京的输水量。