

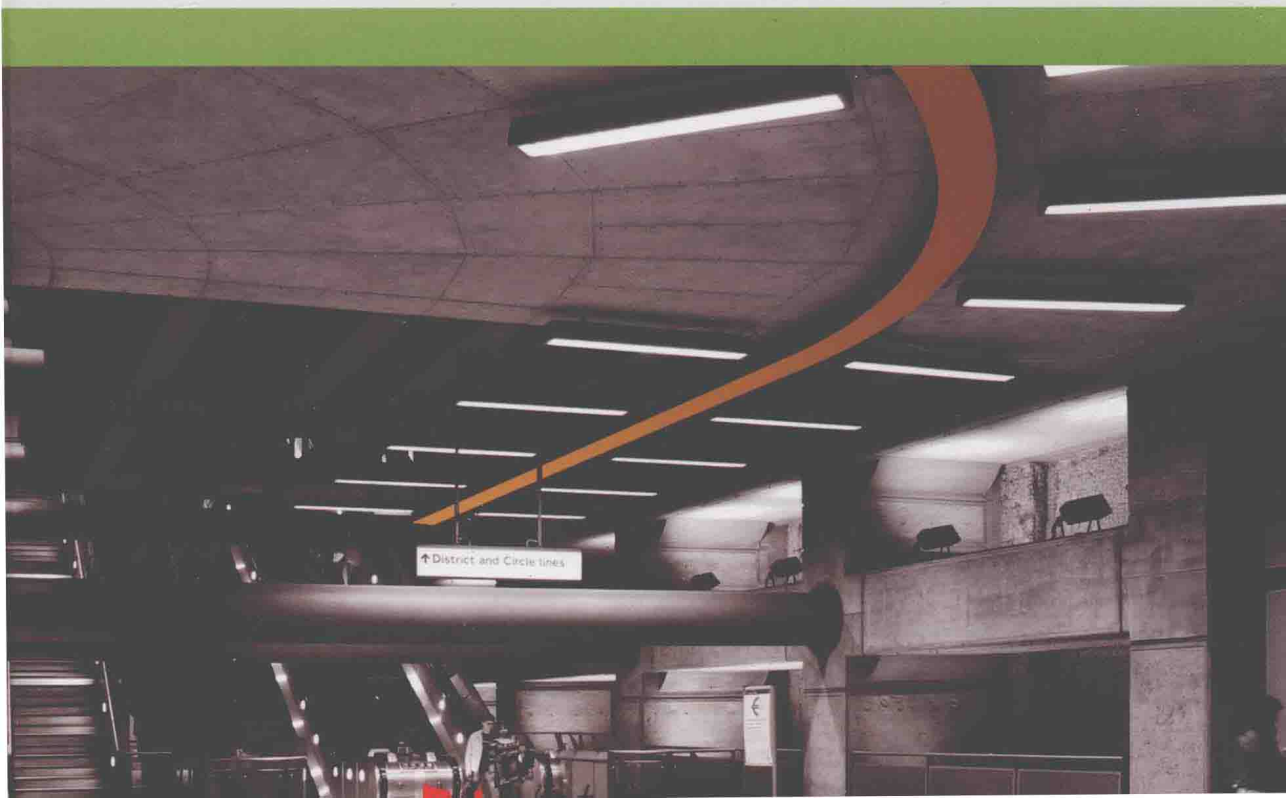
国家“十二五”重点图书出版规划项目

城市地下空间出版工程·规划与设计系列

总主编 钱七虎 副总主编 朱合华 黄宏伟

# 地下空间评估与勘测

顾国荣 杨石飞 苏辉 编著



规划项目

城市地下空间出版工程·规划与设计系列

# 地下空间评估与勘测

顾国荣 杨石飞 苏 辉 编著



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

## 图书在版编目(CIP)数据

地下空间评估与勘测/顾国荣,杨石飞,苏辉编著.——上海:同济大学出版社,2018.5

(城市地下空间出版工程.规划与设计系列)

ISBN 978-7-5608-6172-2

I. ①地… II. ①顾…②杨…③苏… III. ①城市空间—地下建筑物—评估②城市空间—地下建筑物—工程勘测 IV. ①TU96

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 318527 号

城市地下空间出版工程·规划与设计系列

## 地下空间评估与勘测

顾国荣 杨石飞 苏辉 编著

出品人: 华春荣

策划: 杨宁霞 季慧 胡毅

责任编辑: 季慧 胡毅

责任校对: 徐春莲

封面设计: 陈益平

出版发行 同济大学出版社 [www.tongjipress.com.cn](http://www.tongjipress.com.cn)  
(上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)  
经 销 全国各地新华书店、建筑书店、网络书店  
排版制作 南京新翰博图文制作有限公司  
印 刷 浙江广育爱多印务有限公司  
开 本 787 mm×1092 mm 1/16  
印 张 36.5  
字 数 911 000  
版 次 2018 年 5 月第 1 版 2018 年 5 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5608-6172-2  
定 价 198.00 元

版权所有 侵权必究 印装问题 负责调换

## 内 容 提 要

---

本书为国家“十二五”重点图书出版规划项目。针对地下空间开发过程中的岩土工程评估和勘测问题,本书按照开发、建设到管理的时间顺序,分别介绍了前期地下空间环境评估,建设前岩土工程勘察,建设过程中岩土工程测试与监测,与岩土相关事故的原因、预防措施、处理方案,以及后期运营阶段的评估、检测技术等,系统地阐述了地下空间评估和勘测的手段和方法。本书内容丰富、结构完整,反映了当前地下空间开发、设计、建设及运营管理过程中的新技术、新方法,通过大量工程案例阐述了当前地下空间开发全过程中的风险。

本书可供从事地下空间开发、建设、设计和运营管理等的人员学习与参考。

---

## 《城市地下空间出版工程·规划与设计系列》编委会

### 学术顾问

叶可明 中国工程院院士  
孙 钧 中国科学院院士  
郑颖人 中国工程院院士  
顾金才 中国工程院院士  
蔡美峰 中国工程院院士

### 主 任

钱七虎

### 副主任

朱合华 黄宏伟

### 编 委(以姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王 剑 | 王 曦 | 王恒栋 | 卢济威 | 庄 宇 | 苏 辉 |
| 杨石飞 | 杨彩霞 | 束 昱 | 张 竹 | 张安峰 | 陈 易 |
| 范益群 | 胡 昊 | 俞明健 | 贾 坚 | 顾国荣 | 郭东军 |
| 葛春辉 | 路 姗 |     |     |     |     |

## 作者简介

---

顾国荣 全国工程勘察设计大师,上海勘察设计院(集团)有限公司副总裁,上海市城乡建设和管理委员会科学技术委员会副主任、中国建筑学会工程勘察分会副理事长、上海地质学会副理事长。长期从事软土地区岩土工程的理论研究和工程实践,负责上海中心大厦、上海金茂大厦、浦东国际机场、上海世博园、上海虹桥综合交通枢纽等数百项国家及地方重大工程,共获国家、行业、市优秀工程奖 100 余项,主编《桩基优化设计与施工新技术》等专业著作,编制上海市工程建设规范《岩土工程勘察规范》《地基基础设计规范》、行业规范《建筑桩基技术规范》等规范 10 余项。

---

杨石飞 教授级高级工程师,注册土木工程师(岩土)、一级注册结构工程师,上海勘察设计院(集团)有限公司常务副总工程师,集团研究院常务副院长。多年致力于岩土工程创新实践工作,主持上海 F1 赛车场、临港重装备产业区、上海世博园等重大项目的岩土工程勘察、地基处理及设计咨询工作,共获国家、行业、市优秀工程奖 20 余项。参与编制《地下工程设计施工手册》(第二版)、《桩基优化设计与施工新技术》等多部专业领域书籍,参编上海市《岩土工程勘察规范》、行业标准《高层建筑岩土工程勘察规程》等多项规范,主持完成《大面积土体堆载对地基土边界条件影响》《中国 2010 年上海世博会场址岩土工程问题研究》等上海市重大课题科研工作。

---

苏 辉 工程师,上海勘察设计院(集团)有限公司集团研究院副院长。从事基础工程、基坑工程及地基处理等方面的理论与实践工作,曾参与上海迪士尼场地地基处理,常熟电厂东线取水隧道修复,上海大众慈溪基地场地设计、勘察、测试等重大工程项目。完成《地铁周边群体工程活动对地铁运营安全的影响研究》及《上海软土地基建筑桩基承载能力与变形特性深化研究》等上海市重大课题的科研攻关,荣获上海市科技进步三等奖一项。

---

# ■ 总 序 ■

国际隧道与地下空间协会指出,21世纪是人类走向地下空间的世纪。科学技术的飞速发展,城市居住人口迅猛增长,随之而来的城市中心可利用土地资源有限、能源紧缺、环境污染、交通拥堵等诸多影响城市可持续发展的问題,都使我国城市未来的发展趋向于对城市地下空间的开发利用。地下空间的开发利用是城市发展到一定阶段的产物,国外开发地下空间起步较早,自1863年伦敦地铁开通到现在已有150年。中国的城市地下空间开发利用源于20世纪50年代的人防工程,目前已步入快速发展阶段。当前,我国正处在城市化发展时期,城市的加速发展迫使人们对城市地下空间的开发利用步伐加快。无疑21世纪将是我国城市向纵深方向发展的时代,今后20年乃至更长的时间,将是中国城市地下空间开发建设和利用的高峰期。

地下空间是城市十分巨大而丰富的空间资源。它包含土地多重化利用的城市各种地下商业、停车库、地下仓储物流及人防工程,包含能大力缓解城市交通拥挤和减少环境污染的城市地下轨道交通和城市地下快速路隧道,包含作为城市生命线的各类管线和市政隧道,如城市防洪的地下水道、供水及电缆隧道等地下建筑空间。可以看到,城市地下空间的开发利用对城市紧缺土地的多重利用、有效改善地面交通、节约能源及改善环境污染起着重要作用。通过对地下空间的开发利用,人类能够享受到更多的蓝天白云、清新的空气和明媚的阳光,逐渐达到人与自然的和谐。

尽管地下空间具有恒温性、恒湿性、隐蔽性、隔热性等特点,但相对于地上空间,地下空间的开发和利用一般周期比较长、建设成本比较高、建成后其改造或改建的可能性比较小,因此对地下空间的开发利用在多方论证、谨慎决策的同时,必须要有完整的技术理论体系给予支持。同时,由于地下空间是修建在土体或岩石中的地下构筑物,具有隐蔽性特点,与地面联络通道有限,且其周围临近很多具有敏感性的各类建(构)筑物(如地铁、房屋、道路、管线等)。这些特点使得地下空间在开发和利用中,在缺乏充分的地质勘察、不当的设计和施工条件下,所引起的重大灾害事故时有发生。近年来,国内外在地下空间建设中的灾害事故(2004年新加坡地铁施工事故、2009年德国科隆地铁塌方、2003年上海地铁4号线事故、2008年杭州地铁建设事故等),以及运营中的火灾(2003年韩国大邱地铁火灾、2006年美国芝加哥地铁事故等)、断电(2011年上海地铁10号线追尾事故等)等造成的影响至今仍给社会带来极大的负面效应。因此,在开发利用地下空间的过程中需要有深入的专业理论和技术方法来指导。在我国城市地下空间开发建设步入“快车道”的背景下,目前市场上的书籍还远远不能满足现阶段这方面的迫切需要,系统的、具有引领性的技术类丛书更匮乏。

目前,城市地下空间开发亟待建立科学的风险控制体系和有针对性的监管办法,《城市地下空间出版工程》这套丛书着眼于国家未来的发展方向,按照城市地下空间资源安全开发利用

与维护管理的全过程进行规划,借鉴国际、国内城市地下空间开发的研究成果并结合实际案例,以城市地下交通、地下市政公用、地下公共服务、地下防空防灾、地下仓储物流、地下工业生产、地下能源环保、地下文物保护等设施为对象,分别从地下空间开发利用的管理法规与投融资、资源评估与开发利用规划、城市地下空间设计、城市地下空间施工和城市地下空间的安全防灾与运营管理等多个方面进行组织策划,这些内容分而有深度、合而成系统,涵盖了目前地下空间开发利用的全套知识体系,其中不乏反映发达国家在这一领域的科研及工程应用成果,涉及国家相关法律法规的解读,设计施工理论和方法,灾害风险评估与预警以及智能化、综合信息等,以期成为对我国未来开发利用地下空间较为完整的理论指导体系。综上所述,丛书具有学术上、技术上的前瞻性和重大的工程实践意义。

本套丛书被列为“十二五”时期国家重点图书出版规划项目。丛书的理论研究成果来自国家重点基础研究发展计划(973计划)、国家高技术研究发展计划(863计划)、“十一五”国家科技支撑计划、“十二五”国家科技支撑计划、国家自然科学基金项目、上海市科委科技攻关项目、上海市科委科技创新行动计划等科研项目。同时,丛书的出版得到了国家出版基金的支持。

由于地下空间开发利用在我国的许多城市已经开始,而开发建设中的新情况、新问题也在不断出现,本丛书难以在有限时间内涵盖所有新情况与新问题,书中疏漏、不当之处难免,恳请广大读者不吝指正。

刘心虎

2014年6月



# ■ 前 言 ■

岩土是地下空间开发作用的对象,是地下工程依存的载体,因此对岩土的认识是地下空间开发和利用必不可少的环节,准确客观地评估岩土特性是地下空间合理利用和控制风险的基本手段。由于岩土的复杂性和不确定性,地下空间开发风险大,工程事故频发,造成严重的社会影响和经济损失,因此需要对地下空间开发过程中的勘察、测试与评估工作重点关注。

本书根据地下空间开发的一般流程,分别介绍了前期地下空间环境评估、建设前岩土工程勘察、建设过程中岩土工程测试与监测以及岩土工程风险控制等,较为系统地阐述了地下空间评估和勘测的手段和方法。其中,关于地下空间环境评估,由于国内该方面工作的空白,技术成果较为缺乏,在以往类似著作中涉及较少,本书编著时参考了诸多国外文献以及工程案例。岩土工程勘察测试技术本身内容非常丰富,涉及的专业知识很多,很难在有限篇幅内详尽说明,本书主要从目的、手段及适用方法等方面对此做了简要阐述,辅以典型工程案例,使内容更加直观。风险控制以事故案例为切入点,分为基坑、隧道、桩基三方面,分别从勘察、设计、施工、检测、监测等不同阶段进行原因分析,剖析其中基本原理,总结经验教训,为工程中的风险控制提供参考。

本书涉及的研究成果是在上海市社会发展领域重点科技攻关项目(编号:10231203500)和上海市城乡建设和管理委员会“十一五”重大科研项目计划(编号:重科 2010-007)资助下完成的。

本书由顾国荣、杨石飞、苏辉主编,参加各章编写和审核工作的有:唐坚、褚伟洪、孙莉、王蓉、胡绕、许杰、梁振宁、刘枫、路家峰、张静。对各位的支持和帮助,谨表诚挚的谢意。

感谢同济大学出版社对本书出版发行的大力支持以及所做的辛勤工作。

由于时间和水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者不吝指正。

编者

2018.3

# ■ 目 录 ■

## CONTENTS

总序

前言

|          |                          |     |
|----------|--------------------------|-----|
| <b>1</b> | 绪论 .....                 | 1   |
| 1.1      | 地下空间开发评估 .....           | 3   |
| 1.2      | 地下空间岩土工程勘察与方案设计 .....    | 6   |
| 1.3      | 地下空间开发勘察工程实例 .....       | 12  |
| 1.3.1    | 超高层项目勘察 .....            | 12  |
| 1.3.2    | 轨道交通项目勘察 .....           | 14  |
| 1.4      | 旁压试验在地下空间开发中的应用 .....    | 16  |
| 1.5      | 地下空间检测与监测 .....          | 23  |
| 1.6      | 地下空间信息系统 .....           | 25  |
| 1.7      | 上海工程地质分区与桩基工程风险相关性 ..... | 29  |
| 1.8      | 城市地下工程风险控制 .....         | 32  |
| <b>2</b> | 地下空间开发评估 .....           | 41  |
| 2.1      | 地下空间开发环境影响评估 .....       | 42  |
| 2.1.1    | 地质灾害评估 .....             | 42  |
| 2.1.2    | 地下工程地震安全性评估 .....        | 69  |
| 2.2      | 地下空间开发环境资源评估 .....       | 94  |
| 2.2.1    | 土壤与地下水污染评估 .....         | 94  |
| 2.2.2    | 噪声与粉尘污染评估 .....          | 104 |
| 2.2.3    | 固体废弃物影响评估 .....          | 106 |
| 2.3      | 地下资源评估 .....             | 106 |
| 2.3.1    | 地热资源评估 .....             | 106 |
| 2.3.2    | 地下水资源评估 .....            | 108 |
| 2.3.3    | 地下空间资源规划利用合理性评估 .....    | 113 |
| <b>3</b> | 地下空间岩土工程勘察与方案设计 .....    | 117 |
| 3.1      | 岩土工程勘察重要性 .....          | 118 |
| 3.2      | 常用勘察手段与方法 .....          | 118 |
| 3.2.1    | 原位测试 .....               | 119 |

|       |                     |     |
|-------|---------------------|-----|
| 3.2.2 | 室内试验                | 167 |
| 3.3   | 勘察依据                | 180 |
| 3.3.1 | 工程重要性等级             | 180 |
| 3.3.2 | 场地复杂程度分级            | 181 |
| 3.3.3 | 地基复杂程度分级            | 182 |
| 3.3.4 | 场地勘察等级              | 182 |
| 3.4   | 勘察技术要求与工作量的布置       | 182 |
| 3.4.1 | 基本要求                | 182 |
| 3.4.2 | 地下洞室勘察              | 188 |
| 3.4.3 | 隧道工程与轨道交通工程的勘察      | 189 |
| 3.4.4 | 基坑工程勘察              | 191 |
| 3.5   | 地下空间开发勘察需解决的主要技术问题  | 192 |
| 3.5.1 | 桩基工程分析              | 192 |
| 3.5.2 | 基坑工程分析              | 196 |
| 4     | 地下空间开发勘察工程实例        | 201 |
| 4.1   | 上海中心勘察              | 202 |
| 4.1.1 | 工程概况                | 202 |
| 4.1.2 | 工程特点、勘察目的及勘察工作量布置原则 | 203 |
| 4.1.3 | 场地工程地质、水文地质条件及周边环境  | 205 |
| 4.1.4 | 地基土的分析与评价           | 209 |
| 4.1.5 | 基坑围护方案及设计参数         | 215 |
| 4.1.6 | 小结                  | 220 |
| 4.2   | 上海轨道交通 10 号线勘察      | 221 |
| 4.2.1 | 工程概况                | 221 |
| 4.2.2 | 勘察工作量布置原则           | 221 |
| 4.2.3 | 场地工程、水文地质条件及周边环境    | 222 |
| 4.2.4 | 水文地质条件              | 225 |
| 4.2.5 | 不良地质现象              | 226 |
| 4.2.6 | 地基土的分析与评价           | 226 |
| 4.2.7 | 小结                  | 228 |
| 4.3   | 上海轨道交通 17 号线勘察总体    | 229 |
| 4.3.1 | 前言                  | 229 |
| 4.3.2 | 详勘总体完成工作量           | 232 |
| 4.3.3 | 全线工程地质条件和岩土工程问题分析   | 232 |
| 4.3.4 | 本项目各类建(构)筑物         | 242 |
| 4.3.5 | 岩土工程风险提示及评估         | 244 |
| 4.3.6 | 小结                  | 248 |
| 5     | 旁压试验在地下空间开发中的应用     | 251 |
| 5.1   | 旁压试验机理              | 252 |
| 5.1.1 | 试验基本原理              | 253 |

|          |                                 |            |
|----------|---------------------------------|------------|
| 5.1.2    | 试验仪器设备 .....                    | 253        |
| 5.1.3    | 试验技术要求和试验方法 .....               | 255        |
| 5.2      | 上海地区旁压试验测试成果 .....              | 257        |
| 5.2.1    | 上海地区土层特性 .....                  | 257        |
| 5.2.2    | 旁压试验测试成果 .....                  | 258        |
| 5.2.3    | 旁压模量 .....                      | 259        |
| 5.3      | 旁压试验成果在桩基沉降量计算中的应用 .....        | 263        |
| 5.3.1    | 桩基土分类 .....                     | 263        |
| 5.3.2    | 桩基工程变形特性 .....                  | 264        |
| 5.3.3    | 常用桩基沉降量计算方法与沉降量实测值的对比分析 .....   | 264        |
| 5.3.4    | 小结 .....                        | 275        |
| 5.4      | 基于旁压试验弹塑性本构模型(EPM)的构建 .....     | 275        |
| 5.4.1    | 空间滑动面理论 .....                   | 276        |
| 5.4.2    | 应力-剪胀关系 .....                   | 279        |
| 5.4.3    | 本构模型建立 .....                    | 280        |
| 5.4.4    | 小结 .....                        | 281        |
| 5.5      | 基于旁压试验的弹塑本构模型的验证及应用 .....       | 281        |
| 5.5.1    | 模型验证 .....                      | 281        |
| 5.5.2    | 参数敏感性分析 .....                   | 283        |
| 5.5.3    | 小结 .....                        | 284        |
| 5.6      | 基于旁压试验本构模型在有限元分析中的应用 .....      | 284        |
| 5.6.1    | ABAQUS 中自定义材料 UMAT .....        | 284        |
| 5.6.2    | 基于旁压试验弹塑性本构模型的 UMAT 子程序编写 ..... | 287        |
| 5.6.3    | 旁压本构模型在 ABAQUS 中应用 .....        | 288        |
| 5.6.4    | 小结 .....                        | 292        |
| 5.7      | 本章小结 .....                      | 293        |
| <b>6</b> | <b>地下空间检测与监测方法及应用 .....</b>     | <b>297</b> |
| 6.1      | 静力试桩 .....                      | 298        |
| 6.1.1    | 竖向抗压静载荷试验 .....                 | 298        |
| 6.1.2    | 单桩竖向抗拔静载荷试验 .....               | 303        |
| 6.1.3    | 单桩水平静载试验 .....                  | 305        |
| 6.1.4    | 自平衡测试技术 .....                   | 307        |
| 6.1.5    | 工程实例 .....                      | 315        |
| 6.2      | 桩基动力测试 .....                    | 325        |
| 6.2.1    | 低应变动测 .....                     | 325        |
| 6.2.2    | 高应变动测 .....                     | 335        |
| 6.3      | 混凝土灌注桩超声波检测 .....               | 343        |
| 6.3.1    | 检测系统 .....                      | 343        |
| 6.3.2    | 现场检测 .....                      | 346        |
| 6.3.3    | 数据处理 .....                      | 347        |

|          |                        |     |
|----------|------------------------|-----|
| 6.3.4    | 数据分析和判断                | 348 |
| 6.3.5    | 工程实例                   | 352 |
| 6.4      | 地球物理探测方法及应用            | 355 |
| 6.4.1    | 地下空间地球物理探测概念           | 355 |
| 6.4.2    | 地球物理探测方法及特点            | 355 |
| 6.4.3    | 地球物理探测技术在地下空间应用        | 357 |
| 6.5      | 岩土工程监测                 | 386 |
| 6.5.1    | 岩土工程监测概述               | 386 |
| 6.5.2    | 岩土工程监测目的及主要手段          | 386 |
| 6.5.3    | 监测仪器埋设方法及技术要求          | 388 |
| 6.5.4    | 监测方法及精度分析              | 394 |
| 6.5.5    | 工程监测典型案例剖析             | 404 |
| <b>7</b> | <b>地下空间岩土信息系统开发与应用</b> | 417 |
| 7.1      | 引言                     | 418 |
| 7.2      | 系统基本构架                 | 419 |
| 7.2.1    | 系统基本组成构架               | 419 |
| 7.2.2    | 系统数据库管理                | 423 |
| 7.3      | 基础查询模块                 | 427 |
| 7.3.1    | 基础功能                   | 427 |
| 7.3.2    | 轨道交通地质数据查询             | 429 |
| 7.3.3    | 监测资料查询                 | 435 |
| 7.4      | 有限元快速分析模块              | 437 |
| 7.4.1    | 建模参数化和自动化              | 437 |
| 7.4.2    | 后处理分析自动化               | 447 |
| 7.4.3    | 与轨道专家系统平台的交互           | 468 |
| 7.5      | 风险分析模块                 | 471 |
| 7.5.1    | 风险分析流程                 | 471 |
| 7.5.2    | 轨道交通基坑工程风险分析           | 473 |
| 7.6      | 工程应用实例                 | 480 |
| 7.6.1    | 有限元快速分析模块应用            | 480 |
| 7.6.2    | 风险分析模块应用               | 517 |
| 7.7      | 本章小结                   | 529 |
| <b>8</b> | <b>城市地下工程风险控制</b>      | 531 |
| 8.1      | 引言                     | 532 |
| 8.2      | 地下工程风险管理理论基础           | 534 |
| 8.2.1    | 风险的含义                  | 534 |
| 8.2.2    | 风险管理的定义                | 534 |
| 8.2.3    | 风险管理的过程                | 535 |
| 8.2.4    | 地下工程安全风险风险管理           | 536 |
| 8.3      | 软土地下工程安全事故案例           | 538 |

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| 8.3.1 | 基坑事故 .....              | 538 |
| 8.3.2 | 隧道事故 .....              | 546 |
| 8.3.3 | 桩基事故 .....              | 551 |
| 8.4   | 软土地下工程安全事故统计与原因分析 ..... | 557 |
| 8.4.1 | 基坑工程事故调查统计 .....        | 558 |
| 8.4.2 | 隧道工程事故数据统计分析 .....      | 561 |
| 8.4.3 | 桩基工程事故调查统计 .....        | 562 |
| 8.4.4 | 基于事故分析的地下工程安全管控 .....   | 564 |



# 1 绪 论

地下空间,从建筑范围的角度来说,包括地下商城、地下停车场、地铁、矿井、穿海隧道等。国外开发地下空间起步较早,自1845年伦敦地铁的开始兴建发展到现在已有170多年之久,中国的城市地下空间开发利用源于20世纪50年代,发展较为缓慢,至21世纪,只有北京、上海等少数城市建成城市地铁,大规模的地下商场和停车场屈指可数,进入21世纪以来,在可持续发展和城市空间不足等压力下,地下空间开发逐渐成为中国的一个发展方向。

中国工程院院士钱七虎指出:“地下空间可以有效解决城市交通日益拥挤的现象,还可以避免出现‘拉链公路’,可惜的是我国不少地区的地下空间都没有利用起来。”“2013首届地下空间与现代城市中心国际研讨会”深入探讨了如何有效利用地下空间资源助力城市发展。在此基础上,“第二届地下空间与城市综合体国际研讨会”于2014年在上海召开,将地下空间开发、能源管理、绿色建筑等多学科内容交叉,通过高端论坛、专业研讨、展示区等形式,探讨和展示了行业趋势及最新市场动态,实现产、学、研、用相结合,以此促使发达、发展中和新兴大都市及特大城市的可持续发展。

在地下空间开发的热潮下,也应看到地下空间开发的风险性和不确定性,近年来,涉及地下空间的工程事故频发。

1993年9月26日,台北市士林区基河路一处工地发生严重的深基坑坍塌事故。基底北侧连续墙根部土体隆起,连续墙翻转倾倒,内支撑扭曲崩塌,导致东西两侧墙体向内挤进。

2004年4月20日,新加坡主要交通干道——尼诰大道公路的部分路段下午突然发生坍塌,该起意外事故是新加坡有史以来发生的最为严重的地铁工地和高速公路坍塌事故,造成1人死亡,另有3人受伤和3人失踪,坍塌路面长100 m、宽150 m。

2003年6月,上海地铁4号线董家渡段隧道,35 m深的地下联络通道冻结壁出现缺口,高压地下承压水和流砂通过缺口涌向已贯通的两条隧道内,地层水土急速流失,隧道塌陷破裂,地表进而发生大范围沉陷,建(构)筑物倾斜、倒塌。

2005年7月21日,广州市海珠区江南大道中海珠城广场工地基坑南端约100 m长挡土墙发生倒塌,事故中共造成3人死亡,3人受伤。广州地铁2号线中大站至市二宫站区段停运24 h,恢复运营时限速15 km。

2006—2010年的上海地铁2号线静安寺到江苏路区间长期隧道沉降监测数据表明,因受大上海会德丰广场和南京西路1788号项目桩基拖带影响,该区间隧道沉降增加20 mm。

2008年11月15日15时20分,杭州地铁萧山湘湖站施工现场突然发生路面大面积塌陷事故,导致该路面风情大道75 m路面坍塌,并下陷15 m,21人遇难。

2011年11月22日,上海在建世纪大道2-4地块世纪大都会项目1-1区基坑内裙房与塔楼交接部位,距离地下连续墙约9 m处出现渗漏。次日渗漏继续增大。由于该项目周边有多条地铁线经过,险情严重。后续抢险采取注浆方式堵漏,并在坑内堆载、注水回填、加快浇筑完成裙房底板等措施,以稳定坑内土体。根据监测单位提供的基坑发生险情后围护结构监测报告,发现东方路侧地下连续墙顶部发生大幅度沉降,最大沉降超过20 cm,墙体侧向变形最大达6 cm。

上述案例无一不在说明,地下空间由于其隐蔽性和不确定性,一旦发生工程事故,将造成极大的工程损失和社会影响,并且修复难度很大。地下空间开发与岩土工程密不可分,其涉及岩土工程相关的评估及勘测技术种类多、专业广,因此,本书将对其涉及的岩土工程问题进行



整理介绍,全书共分为10章,除本章绪论外,其他几章基本按照地下空间开发建设顺序进行阐述,较全面地介绍了目前采用的新技术、新方法,并结合大量的工程实际案例说明地下空间开发的风险及控制风险措施。本章作为绪论,将对后续各章节的内容进行汇总提炼,从而便于读者快速理解全书内容。

## 1.1 地下空间开发评估

地下空间项目是一项复杂的系统项目,在项目前期须进行全面、细致的规划和评估,从城市总体规划阶段到修规阶段,包括基础调研、政策研究、规划研究、技术研究,体系复杂,涉及内容较多。本书首先从涉及地下空间开发建设的关键评估技术入手,阐述地下空间开发评估内容和方法。

### 1. 地下空间开发影响评估

目前,地下环境对地下空间开发影响的评估主要包括地质灾害评估和地震安全性评价两个方面。

#### 1) 地质灾害评估

地质灾害评估又叫地质灾害危险性评估,是在查明各种致灾地质作用的性质、规模和承灾对象的社会经济属性(承载对象的价值,可移动性等)的基础上,从致灾体稳定性、致灾体和承灾对象遭遇的概率上分析入手,对其潜在的危险性进行客观评估。

地质灾害是指包括自然因素或者人为活动引发的危害人民生命和财产安全的山体崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等与地质作用有关的灾害。地质灾害评估涉及地质灾害种类应包括崩塌、滑坡、泥石流、塌岸、地面塌陷(含岩溶塌陷和开采塌陷)、地裂缝、地面沉降和采矿地表移动等。

根据国土资源部《地质灾害防治管理办法》第15条规定,地质灾害危险性评估包括下列内容:阐明工程建设区和规划区的地质环境条件基本特征;分析论证工程建设区和规划区各种地质灾害的危险性,进行现状评估、预测评估和综合评估;提出防治地质灾害措施与建议,并做出建设场地适宜性评价结论。

地质灾害评估的方法有:地质灾害调查,地质环境条件分析,地质灾害危险性评估。

本书列举了“金沙江路真北路口地下空间开发项目”地质灾害评估具体工程实例,详细阐述了地质灾害评估的具体实施方法和内容。

#### 2) 地震安全性评价

以工程为主要对象,评价具体场地的工程地震问题称为工程场地地震安全性评价。工程地震问题主要是指与抗震设防标准或地震危险性有关的问题。

工程场地地震安全性评价工作划分为以下四级:

(1) I级工作包括地震危险性的概率分析和确定性分析、能动断层鉴定、场地地震动参数确定和地震地质灾害评价,适用于核电厂等重大建设工程项目中的主要工程;

(2) II级工作包括地震危险性概率分析、场地地震动参数确定和地震地质灾害评价,适用于除I级以外的重大建设工程项目中的主要工程;

(3) III级工作包括地震危险性概率分析、区域性地震区划和地震小区划,适用于城镇、大型厂矿企业、经济建设开发区、重要生命线工程等;

(4) IV级工作包括地震危险性概率分析、地震动峰值加速度复核,适用于《中国地震动参