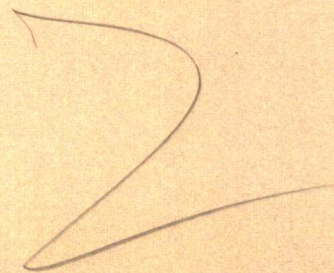


地下建筑

逆作法与组合结构

新技术工程应用

陈星 罗赤字 向前 王华林 编著



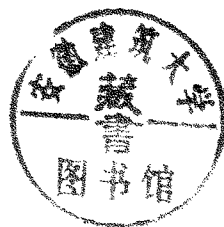
中国建筑工业出版社

TU93/7

2007

地下建筑逆作法与组合结构 新技术工程应用

陈 星 罗赤字 向 前 王华林 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地下建筑逆作法与组合结构新技术工程应用/陈星等编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2007
ISBN 978-7-112-09668-8

I. 地… II. 陈… III. 地下建筑物—结构设计—研究 IV. TU93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 170983 号

本书叙述一项专门针对城市地下建筑结构设计、施工综合研究与应用的成果, 主要有地下建筑建设中采用的新型逆作法技术及多项钢-混凝土组合结构新技术的研究成果及工程应用, 具体包括三个方面: 第一, 利用大型非线性有限元对土体-结构进行整体仿真分析及新型组合构件仿真分析的地下建筑计算分析新方法; 第二, 新型钢-混凝土组合结构 (构件、节点) 创新技术的研究应用; 第三, 快速有效建设地下建筑的逆作法集成新技术研究等内容。本书包含了作者近年来在该领域内的研究成果, 以理论分析、试验研究结合工程实践的思路, 从结构科研及设计人员关心的技术难题出发, 有针对性地介绍了二十多项国内地下建筑结构逆作法技术及钢-混凝土组合结构新技术应用优秀工程的设计特点及新技术应用情况。包含有转换梁、空腹箱型钢筋混凝土梁、钢管空心混凝土楼板、局部型钢组合扁梁以及异型钢管混凝土柱和剪力墙、内置型钢的桩台等组合结构; 针对城市中心高密度建造多层超深地下建筑结构采用逆作法, 总结出柱支式地下连续墙和环形地下连续墙等新技术, 可供高层建筑、地下结构等研究设计与施工参考。

本书可为建筑结构、地下结构、市政工程等领域从事设计、施工、研究人员及大专院校的师生以及建设、监理人员参考。

责任编辑: 赵梦梅

责任设计: 肖广慧

责任校对: 汤小平

地下建筑逆作法与组合结构 新技术工程应用

陈 星 罗赤字 向 前 王华林 编著

*

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
北京市铁成印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 15¼ 字数: 368 千字
2007 年 11 月第一版 2007 年 11 月第一次印刷
印数: 1—3,500 册 定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-09668-8

(16332)

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)

序言一

随着国际上城市建设的趋势和我国经济的发展，现阶段我国现代化城市建设已迈入立体空间开发的新时期。立体空间开发综合发展城市的地面、高空、地下三部分，可增大城市容量、合理开发潜在空间资源、提高交通效率、改善城市环境。城市建设遵循立体空间开发的发展思路，将主要向高空和地下发展，高层建筑越来越高，地下建筑则越建越深。由此，建筑结构科学研究也随之着重向高层建筑结构及地下结构两个方向发展。进入 21 世纪，我国高层及超高层建筑结构的研究及设计能力已具有较高的水平，而地下建筑结构新技术研究也因为近年来地下空间的开发而得到更多的重视和相应的推进。

地下空间的建设具有不同于上部结构的特殊性，涉及到岩土工程理论、地下结构设计和施工技术的配合等一系列问题，必须充分利用相应的力学和新的结构理念、以创新的技术并结合新的施工工艺才能得以解决并将之推上一个新水平。

本书的作者均在广东省建筑设计研究院长期从事建筑结构的设计及科研工作，亦结合实践与多所高校开展了大量的地下建筑结构新技术的科研工作，包括地下室逆作法新技术及用于地下建筑的新型钢-混凝土组合结构等，这些技术成果已成功应用于多项具体项目中，取得了良好的经济和社会效益。本书较详细地介绍了这些地下建筑结构新技术的研究思路及成果，对广州名盛广场等工程进行了设计应用分析，并有针对性地介绍了广州合景国际金融广场及北京电视中心等结构新技术应用优秀工程的设计特点和新技术应用情况。

本书内容新颖并具有一定的开拓性，可为相关领域的研究、设计人员提供参考。相信本书的出版将有助于促进地下空间建筑结构的研究及设计工作的交流和发展。

中国工程院院士 容柏生



2007 年 10 月 广州

序言二

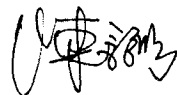
目前地下建筑与高层建筑地下室建设规模日益扩大且形式趋向复杂化,普通的钢筋混凝土结构体系应用在大型、大跨度地下建筑结构时存在造价高、构件截面大、影响使用空间和结构埋深等问题;同时,由于当前我国大中城市中地下建筑深基坑工程大部分在房屋密集的旧城区或软弱土层地区,常规的正作法施工存在整体工程施工进度慢、深基坑支护技术费用较高及对周边环境影响较大等问题。另外,传统的地下工程计算分析方法采用了上部建筑的分析方法,与实际情况有较大出入,依然采用这样的分析方法进行现代地下建筑的设计也存在值得商榷之处。

为满足现代地下建筑的发展要求,应将新的建筑材料和结构体系、施工方法以及准确合理的结构分析方法引入地下结构设计中,争取用有限的资源取得较好的效益。在建设部2005年建筑业10大项推广应用的新技术中,地下空间建设新技术、逆作法及钢与混凝土组合结构技术均为要求推广的技术,都是与地下建筑结构设计息息相关的新技术。

本书作者从1995年开始,结合工程实践对地下建筑结构的设计和施工新技术进行了系统的理论分析、试验研究;着重研究了地下建筑逆作法新技术、计算分析新方法、新型钢-混凝土组合结构技术,以及这些新技术的集成应用。本书大部分工程实例是作者设计的大型项目,工程应用的介绍主要针对设计方案、结构对比、计算分析、试验研究等各个方面,并包括了部分专利技术的剖析。

本书集中体现了目前国内大型地下空间、高层建筑地下室新技术的使用情况,也结合广东省建筑设计研究院结构设计的实际,介绍了较多的创新技术。这些新技术的提出希望可以抛砖引玉,与更多建筑结构工程人员一起不断推进地下建筑结构的发展和进步。

中国工程设计大师 陈宗弼



2007年10月 广州

前 言

在城市空间立体开发的各个因素中,相对于地面及地上空间的发展,开发地下空间更能提高土地利用效率与节省土地资源,地下结构的抗震性能及防护性能更优并更有利于防灾和救灾。目前,地下空间的开发利用已成为城市立体再开发中缓解中心城区高密度、疏导交通、提高战时防备、增加城市绿地等问题的最有效途径。随着对地下空间开发的日益重视,高层建筑地下室及独立的大型地下建筑的功能和规模都得到了很大的发展,目前国内大部分的地下建筑的层数为2~3层,最深的为6层,开挖深度超过20m的建筑物已非常多,而最大的地下空间单体建筑已接近50万 m^2 。在发展形态上,地下建筑的开发出现了大型化、深层化的趋势,大空间、大规模的地下结构的应用也越来越多,可见地下空间在城市的可持续发展战略中已占据了重要的地位。因此,如何在当今地下空间的大规模建设中突破传统的技术不断创新,从工程建设经济、安全、环保、耐久等多角度考虑,提出新技术、新工艺及新材料,已成为地下空间建筑建设的重要发展方向。

广东省建筑设计研究院地下建筑结构项目研究组从1997年开始,在地下建筑结构的设计和施工方面用了十年的时间进行了大量的理论分析、试验研究和工程应用,投入大量的科研、试验费用,应用于超过二十项大型工程,科研成果丰硕,多个项目成为广东省自然科学基金重点支持项目并获得各级科技进步奖,并取得了多项新技术专利。地下建筑结构项目研究中设计完成地下建筑面积超过100万 m^2 ,最深的基坑开挖深度为23m,并成功地应用了多项钢-混凝土结构新技术,其中多个项目社会影响较大,取得了显著的经济效益,其中包括广州市目前最大的地下空间项目——36万 m^2 的珠江新城市政交通枢纽工程、广州市北京路带五层地下室的名盛广场、广州天河路跨越地铁1号线的正佳广场塔楼、广州名汇商业大厦、中山灯都商厦320m超高层建筑的地下室等。

本书详细介绍了地下建筑结构项目研究的逆作法及多项钢-混凝土组合结构新技术的研究思路及成果,并对多项国内的实际工程进行了应用介绍。书中采用理论分析、试验研究和工程实践的手段,从创新、设计、施工到监测全方位跟踪新技术的应用情况。新技术研究以安全、环保并重及以效益最大为目的,针对性地对地下空间结构或高层建筑的地下室展开了一系列的集成技术应用研究。这些新的技术包括以下三个分支:一个是利用大型非线性有限元对土体-结构进行整体仿真分析,一个是新型钢-混凝土组合结构或构件创新技术,一个是针对新型地下空间建筑结构快速有效建设的逆作法集成新技术,这三个分支的新技术的有效结合组成了现代大型地下空间建筑结构建设的重要技术,它的成功应用,在各项工程中取得了良好的经济效益和社会效益。主要内容有:

1) 带上部建筑的地下空间建筑结构土体-结构结合整体分析,在考虑其地震反应的特性后,提出了目前建筑结构规范还未采用的计算分析方法。

2) 分析了全埋式地下空间建筑结构的反应机理后,对以往简单处理全埋式地下

结构的办法提出质疑，并结合新的地下结构抗震理论，利用大型非线性有限元程序模拟土体-结构的相互作用和地震波，计算分析结果对工程实际具有直接的指导意义和作为设计依据。

3) 在日新月异的地下空间建筑结构的建设中，不断涌现出新的组合构件，结合新的计算分析手段，特别是对混凝土非线性的模拟，对规范已有的组合构件承载力和有限元计算分析的承载力进行对比，得出采用有限元程序进行新型组合构件承载力计算在工程中应用的计算原则。

4) 利用先进的静动态试验模型和准确的仿真计算手段，结合工程实际需要，在工程应用中发展地下建筑的结构体系、组合构件形式以及有效解决地下结构抗裂等技术。利用内置刚构架转换梁有效转换地下空间建筑结构跨越地下铁道；利用空腹箱形钢骨混凝土梁、钢管空心混凝土楼板、局部型钢组合扁梁等技术获得较高的楼层，进而获得更大的建筑面积；采用带约束拉杆钢板异形柱、带约束拉杆钢板剪力墙获得高强度、高刚度的抗侧力构件，提高现代高耸建筑结构的抗侧能力，并且有效减小地下室部分的竖向构件截面；采用内置型钢的桩台有效减小了桩台厚度，减小了开挖深度。另外还有其他一些与这几项技术相关的诸如新型连接节点等新技术在工程中的应用。

5) 利用经济安全的逆作法地下室设计施工，使得在城市中心建筑稠密区建造多层超深地下建筑结构成为现实。根据工程实际，以大量的理论分析和实际工程检测作为新技术的支持，提出了柱支式地下连续墙逆作法和环形地下连续墙逆作法新技术。

本书以理论分析、试验研究结合工程实践的思路，从结构科研及设计人员关心的技术难题出发，对广州名盛广场等工程进行了设计应用分析，并有针对性地介绍了广州合景国际金融广场及上海明天广场等二十多项国内结构新技术应用优秀工程的设计特点及新技术应用情况，以其将这些地下建筑新技术应用研究系统化，为推进地下建筑结构的发展而努力。本书可为从事建筑结构领域技术研究、设计及施工人员及大专院校的师生参考。

目 录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 地下建筑结构新材料、新技术的发展方向	2
1.3 地下建筑逆作法新技术的发展概况	3
1.4 地下建筑结构新技术研究的目的与方向	4
1.5 本书的主要内容	5
第二章 地下建筑结构计算分析新方法及其应用	6
2.1 引言	6
2.1.1 概述	6
2.1.2 地下建筑结构的整体计算分析模型	7
2.1.3 地下建筑结构的钢-混凝土组合构件计算分析模型	9
2.1.4 地下建筑逆作法的计算分析模型	9
2.2 地下建筑结构的整体计算分析新方法	10
2.2.1 带地下室的地面建筑结构的整体计算分析新方法	12
2.2.2 全埋式地下建筑结构的整体计算分析新方法	14
2.3 地下建筑结构型钢-混凝土组合构件的计算分析新方法	36
2.4 地下建筑逆作法计算分析新方法	43
2.4.1 地下建筑逆作法的基本原理	43
2.4.2 地下结构柱支式地下连续墙逆作法新技术的计算分析	44
2.4.3 地下结构环形地下连续墙逆作法计算分析	65
第三章 地下建筑钢-混凝土组合结构研究成果	72
3.1 引言	72
3.2 新型钢管混凝土柱节点	73
3.2.1 研究目的	73
3.2.2 劲性环梁节点的设计构思	73
3.2.3 试验研究概况	74
3.2.4 劲性环梁式钢管混凝土柱节点设计法的研究	77
3.2.5 试验研究结论	80
3.3 空腹箱形钢骨混凝土梁	81
3.3.1 研究目的	81

3.3.2	空腹箱形钢骨混凝土梁的基本设计构思及特色	81
3.3.3	试验研究概况	82
3.3.4	试验研究结论	85
3.4	带约束拉杆异形钢管混凝土柱	86
3.4.1	研究目的	86
3.4.2	带约束拉杆异形截面钢管混凝土柱的概念及特色	87
3.4.3	试验研究概况	87
3.4.4	带约束拉杆异形截面钢管混凝土柱的非线性有限元分析	89
3.4.5	研究结论	90
3.5	带约束拉杆钢板剪力墙	91
3.5.1	研究目的	91
3.5.2	带约束拉杆钢板剪力墙的概念	91
3.5.3	计算分析研究	92
3.5.4	研究结论	94
3.6	内置钢骨构架钢筋混凝土梁	95
3.6.1	研究目的	95
3.6.2	内置钢骨构架钢筋混凝土转换梁的概念及特色	96
3.6.3	试验研究概况	96
3.6.4	试验结论	98
3.6.5	内置钢骨构架钢筋混凝土梁有限元分析	98
3.6.6	简化的设计方法和构造措施要求	99
3.6.7	结论和建议	101
3.7	钢管空心混凝土楼板	101
3.7.1	研究目的	101
3.7.2	钢管空心混凝土楼板的概念和特色	102
3.7.3	计算分析研究方法一	102
3.7.4	计算分析研究二	104
3.7.5	研究结论	107
3.8	无梁楼盖内置环式钢牛腿型钢混凝土板柱节点	107
3.8.1	内置环式钢牛腿型钢混凝土板柱节点的概念	107
3.8.2	计算分析研究	108
3.8.3	研究结论	111
3.9	内置型钢桩承台	111
3.9.1	研究目的	112
3.9.2	计算分析研究	113
3.9.3	研究结论	114
3.10	地下结构后浇式钢箱(板)变形装置	114
3.10.1	研究目的	114
3.10.2	计算分析研究	114

3.10.3	研究结论	118
3.11	钢管混凝土柱端部牛腿劲性 RC 梁不穿心节点	119
3.11.1	研究目的	119
3.11.2	钢管混凝土柱端部牛腿劲性 RC 梁不穿心节点的概念	120
3.11.3	试验研究	120
3.11.4	计算分析研究	125
3.11.5	研究结论	127
第四章	地下建筑逆作法集成技术研究与应用	128
4.1	引言	128
4.2	地下建筑逆作法集成技术新概念	129
4.3	地下建筑逆作法集成技术的方向及设计思路	130
4.3.1	地下建筑逆作法集成技术的设计思路	130
4.3.2	地下建筑逆作法集成技术的施工流程	132
4.4	逆作法集成技术的研究及应用	133
4.4.1	名盛广场	134
4.4.2	名汇商业大厦工程	142
4.4.3	广东省中山市灯都商厦	147
4.4.4	广州百货大厦新翼工程	149
4.4.5	琶洲跨国采购中心工程	153
4.4.6	广州汽车工业大厦 - 京穗中心工程	155
4.4.7	正佳广场综合商务大厦工程	159
第五章	地下建筑结构新技术应用实例	163
5.1	珠江新城核心区市政交通项目地下空间结构新技术	163
5.1.1	工程概况	163
5.1.2	结构新技术应用	164
5.1.3	全埋式地下结构的地震作用整体计算分析	178
5.1.4	底板混凝土早期应力分析	181
5.1.5	小结	187
5.2	广州合景大厦	187
5.2.1	工程概况	187
5.2.2	地下室结构特点	188
5.3	广州新中国大厦地下室逆作法设计	189
5.3.1	工程概况	189
5.3.2	基础设计	190
5.3.3	逆作法施工	192
5.3.4	钢-混凝土组合结构及节点	194
5.3.5	隐形支撑及特种混凝土	194

5.4	上海明天广场逆作法技术	196
5.4.1	工程概况	196
5.4.2	地下室逆作法设计	196
5.5	深圳赛格广场大厦	198
5.5.1	工程概况	198
5.5.2	地下室“全逆作法”设计	198
5.5.3	地下连续墙施工技术	199
5.5.4	“全逆作法”施工技术	200
5.6	北京电视中心工程地下室钢-混凝土组合结构设计及施工	201
5.6.1	工程概况	201
5.6.2	施工工艺流程	202
5.7	南京新街口地铁站盖挖逆作中间桩柱施工技术	203
5.7.1	工程概况与环境条件	203
5.7.2	施工技术特点	204
5.8	南宁佳得鑫水晶城大型深基坑逆作法施工	206
5.8.1	工程概况	206
5.8.2	地质条件	206
5.8.3	逆作法施工概况	207
5.8.4	总结	209
5.9	广东省中医院新门诊住院大楼逆作法施工技术	209
5.9.1	工程概况	209
5.9.2	地下室逆作法施工	210
5.9.3	节点处理	212
5.10	珠江新城 F2-4 地块高德中心地下室全逆作法设计	212
5.10.1	工程概况	212
5.10.2	四层地下室全逆作法设计	213
5.11	稳健商务大厦地下室逆作法基坑支护设计与施工	215
5.11.1	工程概况与环境条件	215
5.11.2	支护方案选型及施工工艺说明	215
5.12	长峰商城超大型逆作法设计及施工	218
5.12.1	工程概况及环境条件	218
5.12.2	地下室设计及施工技术特点	218
5.12.3	基坑加固	219
5.12.4	基坑开挖及地铁保护	219
5.13	嘉兴江南摩尔超长地下室结构的无缝设计	220
5.13.1	工程概况	220
5.13.2	超长地下室的无缝设计	221
5.13.3	结论	222
5.14	东湖广场	222

5.14.1	工程概况	222
5.14.2	地下室设计特点	223
5.15	广州康王路人防地下工程	224
5.15.1	工程概况	224
5.15.2	工程设计特点	224
5.16	广州十甫名都商厦	225
5.16.1	工程概况	225
5.16.2	地下室设计特点	226
5.17	上海由由国际广场	226
5.17.1	工程概况	226
5.17.2	地下室结构特点	227
5.18	深圳河南大厦地下室逆作法设计	227
5.18.1	工程概况	227
5.18.2	地下室逆作法设计	228
参考文献		229

第一章 绪 论

1.1 引言

随着国民经济及城市建设的飞速发展，城市建设规模不断扩大，许多城市出现建设用地紧张、生存空间拥挤、交通阻塞及环境恶化等一系列问题，这些问题又反过来制约着城市经济和社会的进一步的发展。

为了突破城市可持续发展的瓶颈，城市的现代化建设应以立体空间开发为主，立体开发就是综合发展城市的地面、高空、地下三部分，增大城市容量，合理开发潜在空间资源，提高交通效率，改善城市环境。目前，我国城市建设也在遵循立体开发的发展思路，向高空和地下发展，交通设施向多层次立体化发展，高层建筑越来越多，建筑物基础及地下建筑越建越深，建筑结构着重向高层建筑结构及地下结构两个方向发展。在立体开发的各要素中，地下空间的建设已成为当今城市发展及建设的重点。

在城市空间立体开发的各个因素中，城市地面的改造开发由于城市交通拥挤，建筑用地紧张，在城市立体再开发中占的比例相对较小；而城市高空的开发利用能够为急剧膨胀的人口提供更多的机会和居住条件，但建造大量的高层建筑虽然提高了容积率，却会造成城市环境迅速恶化、开发空间越来越少；另外，修筑高架桥来解决交通拥挤和混乱，反而带来了城市环境的恶化和城市景观的破坏。相对于地面及地上空间的发展，开发地下空间更能提高土地利用效率与节省土地资源，地下结构的抗震性能及防护性能更优，并更有利于防灾和救灾。因此，地下空间的开发利用已成为城市立体再开发中缓解中心城区高密度、疏导交通、提高战时防备、扩充基础设施容量、增加城市绿地、减少环境污染、改善城市生态的最有效途径。随着对地下空间开发的日益重视，高层建筑地下室及独立的大型地下建筑的功能和规模都得到了很大的发展，目前国内大部分地下建筑的层数为2~3层，最深的为6层，开挖深度超过20m的建筑物已非常多。地下空间从功能而言，已涉及到城市功能的全体，除具交通、停车和设备用房等功能外，目前还大量用于商业。地下一、二层的商业价值现已接近地上二、三层的商业价值，地下商场建筑具有节能、受环境影响小的优点也日益体现；另外，在发展形态上，地下建筑的开发出现了大型化、深层化的趋势，大空间、大规模的地下结构的应用也越来越多，广州地区每年完成的地下建筑面积超过300万 m^2 ，最大的单体地下建筑达到45万 m^2 。可见，地下建筑在城市的可持续发展战略中已占有重要的地位。因此，如何在当今地下建筑的大规模建设中突破传统技术，不断创新，从工程建设的经济、安全、环保、耐久等多角度考虑，提出新技术、新工艺及新材料，已成为地下建筑建设的重要发展方向。

1.2 地下建筑结构新材料、新技术的发展方向

我国大规模的开发利用地下空间起步于 20 世纪 70 年代, 当时主要以人防工程为主, 约为地下建筑总面积的一半以上。近年来许多城市为了缓解城市用地及交通等问题, 充分发挥地下空间在旧城改造及城市中心再开发中的积极作用, 从结合城市交通改造开始, 建设地铁并进行大规模地下空间的开发利用。然而, 地下建筑的建设具有不同于上部结构的特殊性, 涉及到设计、施工技术、周围环境, 及土力学研究的技术进展等一系列问题, 必须充分利用新的结构理念、提出创新技术并结合新的施工方法才能将地下空间的建设推上一个新水平。在强调建设节约型社会的今天, 要对地下建筑结构的设计及施工技术不断完善及创新, 使其更符合当今社会的需求及发展, 目前, 工程人员迫切需要解决的主要问题如下:

(1) 引入新的建筑材料、新的结构构件及体系

常规的地下建筑结构主要采用钢筋混凝土结构, 普通的钢筋混凝土结构体系应用在大型地下结构时存在造价高、构件截面大、影响地下结构埋深、施工进度慢以及浪费建筑材料等缺点, 应将新的建筑材料和结构体系引入地下结构设计中以满足现代地下空间发展的要求, 争取用有限的资源取得较好的效益。

(2) 创立新型的结构转换和跨越体系

随着城市轨道交通事业的发展, 城市中的既有及新建建筑物与地铁线路交错, 部分上部建筑结构处于地铁隧道的正上方, 常规的钢筋混凝土托换结构截面较大, 对地下建筑空间也造成较大的影响。工程人员应结合实际情况提出创新的技术, 选用合理的结构转换形式及相关的施工措施, 以确保地铁工程及上部结构的安全, 并最大程度地减少对地下空间的影响。

(3) 采用承载力大、截面小及抗震性能优的钢-混凝土组合构件

作为城市立体开发战略的方向之一, 未来的高层建筑会不断挑战新的高度, 建筑楼层不断增多, 竖向构件特别是剪力墙的下部截面也越大, 对位于建筑物下部的地下室建筑的使用空间将会造成巨大的影响; 另一方面, 地下建筑未来发展方向是大空间、大跨度, 竖向构件截面必然也会增加。因此, 使竖向构件材料及截面优化以改善地下建筑的空间是设计中必须考虑的问题。

(4) 创新超长超宽地下结构抗裂的思路

由于地下空间的大规模发展而地下建筑的防水要求及使用要求较高, 超长、超宽的地下建筑的发展趋势是不分缝或少分缝, 目前国内地下建筑不分缝的最大长度已超过 800m, 地下建筑长和宽大大超过规范规定, 常规的处理方法已无法解决超长混凝土结构的收缩、温度变形等问题, 地下建筑大面积开裂的情况越来越多。另一方面, 为防止裂缝发生需要加大底板、楼盖和侧墙的配筋, 使地下室用钢量大大增加, 因此, 必须创新超长超宽地下结构抗裂的思路, 提出既可能止水又可耗能的技术来降低超长侧墙及底板收缩与温度变形的内力, 以改善地下建筑开裂及降低用钢量。

(5) 提出地下建筑抗震设计的实用方法

目前地下建筑应用得最多的是大中城市, 而在我国三百多个城市中, 有一半位于地震

基本烈度为七度乃至七度以上的地震区，像北京、天津、西安等大城市都位于八度的高烈度地震区。由于我国大部分地区为地震设防区，地下建筑抗震问题已经成为城市工程抗震和防灾减灾研究的重要课题。长期以来，地下建筑的抗震设计基本是参照《铁路工程抗震设计规范》中有关隧道部分的条文和《建筑抗震设计规范》采用地震系数法进行的。带上部建筑的地下结构和全埋式地下结构的地震反应机理是不同的，应针对不同的情况选取不同的计算分析方法。常规的地震系数法用于地下结构抗震分析时存在明显的缺陷，例如按照地震系数法计算，作用在地下结构的水平惯性力随埋深的增加而增加，这与实际情况明显不符。事实上，地下建筑与上部结构的地震反应不同，在地层中地下结构存在的范围内，不同的位置之间会产生相对位移，这种相对位移会迫使地下结构产生变形，当位移达到一定程度就会引起地下结构的破坏。1995年日本阪神大地震中，神戸市地铁车站及区间隧道遭到严重破坏的事实给传统观念带来了巨大的冲击，阪神地震清楚地表明，地下结构在地层可能发生较大变形和位移的部位，可能会出现严重的震害，因此对地下结构抗震问题应给予高度重视。目前我国还没有独立的地下结构抗震设计规范，其原因主要是对地下结构抗震计算及设计方法缺乏系统研究。因此，提出地下建筑抗震设计的实用方法已是迫在眉睫。

1.3 地下建筑逆作法新技术的发展概况

随着地下空间的发展，地下建筑越建越深，随着深基坑开挖工程的逐渐增多，新兴的深基坑支护技术有了很大的发展，能够很好地解决深基坑的开挖中基坑的变形、周围地面的沉降及减少多层地下室施工工期的地下室逆作法施工技术更是得到较快的发展。

对于深基坑支护施工，与常规的支护及地下室施工方法比较，用逆作法施工具有较明显的优势，主要有：①地上地下同时施工，缩短工程施工的总工期；②楼盖支撑刚度大，基坑变形少，相邻建筑物沉降少；③支护结构挡土、挡水及承重三合一，可节省地下室外墙及外墙下工程桩费用；④采用楼盖结构支撑，可节省支护结构的支撑；⑤简化基坑的施工工序，有明显的经济效益。随着逆作法技术的推广及应用，我国已在新的中华人民共和国国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB50007—2002）的基坑工程内容中列入逆作法施工的条文，在冶金工业部发布的行业标准《建筑基坑工程技术规范》（YB9258—97）中也列出了地下室逆作法施工的条文。虽然相关规范中关于地下室逆作法的内容较少，但说明本项技术已日益受到关注。

过去的二十年，尽管地下室逆作法技术因具有安全度高及节省工期等优点而得到较广泛的应用及良好的发展，但由于逆作法技术存在技术集成复杂、地下室施工难度大及造价偏高的缺点，同时目前国内亦缺乏对地下室逆作法技术具指导性及其可操作性的规范文件，往往在技术应用中缺乏目的及方向，设计方法及技术应用未能形成标准化，造成设计及施工中考虑不周而造成很多不必要的浪费，种种因素仍阻碍了地下室逆作法技术的进一步推广。因此，如何在现有地下室逆作法技术的基础上，结合建筑技术的发展，完善、提高及创新逆作法的理论、设计及工艺，提出新型的地下室逆作法集成技术，已成为逆作法技术发展的关键。

1.4 地下建筑结构新技术研究的目的与方向

在大力推动地下空间建设及强调建设节约型社会的今天，如何利用好现有的技术，在现有的技术水平上不断创新发展，采用新的地下建筑材料、新的结构形式、优良的计算手段、先进的施工工艺，以及能在工程实际中不断创新的思维这个至关重要的推动因素，才能将现代地下建筑做到经济合理，在安全、环保并重的前提下达到效益最大化的目的。

针对地下建筑结构发展的关键问题，广东省建筑设计研究院与华南理工大学地下建筑结构新技术研究项目组经过近十年的研究和实践，结合建筑技术的发展，从地下建筑结构的计算分析、钢-混凝土组合结构新技术及快速有效建设地下建筑的集成技术等方面出发，提出了地下建筑结构分析的新方法、新型的地下室逆作法技术、多项钢-混凝土组合结构新技术及逆作法集成技术的新思路和新方法，形成一套适用于地下建筑建设的新技术，完善了地下建筑结构的理论、设计及施工工艺，并成功地将这些技术应用于实际工程中。

研究主要包括：利用大型非线性有限元对土体-结构进行整体仿真分析、新的钢-混凝土组合结构新技术以及针对地下结构快速有效建设的逆作法集成新技术。这三个分支的新技术的有效结合，组成了现代大型地下建筑建设的重要技术；它的成功应用，在各项工程中取得了良好的经济效益和社会效益。研究方向主要有以下几个方面：

1) 地下建筑结构计算分析新方法及新思路

采用先进的模拟土体与结构的相互作用方法进行地震作用分析，对超大型地下工程采用土体-结构结合体系的地震反应时程分析方法进行动力响应分析，并考虑地震波的相位差，对大断面的地下结构进行多点地震输入，获得更为准确的结构反应，为地下结构的整体分析提出新思路。

2) 多项地下建筑钢-混凝土组合结构新技术

提出新型钢管混凝土柱节点、内置钢骨构架钢筋混凝土深梁、带约束拉杆异形钢管混凝土柱、带约束拉杆钢板混凝土剪力墙、钢管空心混凝土楼板、空腹箱形钢骨混凝土梁、无梁楼盖内置环式钢牛腿型钢混凝土板柱节点、内置型钢桩台、后浇式钢箱（板）变形装置、内置钢管剪力墙等多项应用于地下建筑的钢-混凝土组合结构新技术。

3) 环形、柱支式地下连续墙逆作法技术

在传统逆作法理论的基础上，提出了环形、柱支式地下连续墙逆作法新技术。把土拱效应应用于深基坑设计中，考虑良好的土拱作用以及上部的近似刚体的水平支撑作用共同存在的有利作用，提出了当有效土拱效应存在时，设计中可以不考虑土体的滑移破坏和坑底隆土。

4) 地下建筑逆作法集成技术新思路

逆作法集成技术灵活地集成运用了各种新型结构体系及结构构件、各种基坑支护技术及结构施工技术，由工序单一的施工技术改革为多技术、多路径，多工序可循环的集成技术；同时设计与施工一体化、运用先进的计算手段和施工、监测技术，针对不同工程采用不同的技术集成，量体裁衣式地提出实施方案，使逆作法技术更具适应性以实现效益最大化。

1.5 本书的主要内容

本书针对地下建筑设计，结合在工程实际中应用集成的各项新的技术和研究成果，从结构设计相关的新技术、新材料研究以及与之配套的施工工艺研究两个分支入手，着重阐述了以下几个方面的内容：

1) 带上部建筑的地下建筑结构土体-结构结合整体（抗震）分析技术；采用目前建筑结构规范未提及的考虑方法模拟土体与结构的相互作用进行地震作用的计算分析，获得更为准确的结构反应，为带上部建筑的地下建筑结构的整体分析提出新的建议计算方法，达到尽可能真实模拟实际工程的目的，并在大型工程实际中采用。

2) 全埋式地下建筑结构土体-结构结合整体（抗震）分析技术；由于目前国内规范对全埋式地下建筑结构土体-结构结合整体（抗震）分析没有特别明确的计算方法。本研究从国内外规范采用的计算方法中吸取有效元素，对全埋式地下建筑结构提出了全有限元模拟的计算分析方法，对以往全埋式地下建筑结构的简单设计方法提出了质疑，并对在建的广州市最大的全埋式地下建筑—珠江新城交通枢纽工程中采用该设计方法进行算例分析。

3) 在地下建筑结构的整体分析技术相结合的施工技术方面，对提出了柱支式地下连续墙逆作法和环形地下连续墙逆作法新技术以及相关的土体滑移仿真计算技术进行论证分析与验证。

4) 由于地下建筑新的结构体系、新材料、新构件的出现，对规范中未能涵盖的新技术进行准确的分析势在必行，利用新的通用有限元程序，对钢材和混凝土均采用弹塑性模型，考虑组合构件里面不同材料之间的相互作用，还利用损伤模型考虑混凝土开裂后退出工作，对所有情况进行准确模拟，获得更为精准的计算分析结果，作为规范的有效补充，更好的指导和发展地下建筑结构。

5) 由于近年来钢-混凝土组合结构的发展，使地下建筑结构在发展和创新中不断涌现出新的钢-混凝土组合结构技术，包括新型钢管混凝土柱节点、空腹箱形钢骨混凝土梁、内置钢骨构架钢筋混凝土梁、带约束拉杆钢板异形柱、钢管空心混凝土楼板、内置型钢桩台等新技术可较好的解决影响地下空间发展的技术难题，本书从这些新型钢-混凝土组合结构的研究分析着手，结合工程实践阐述其设计及应用特点。

6) 地下建筑逆作法集成技术的概念是针对逆作法的应用现状并在逆作法技术基本原理的基础上提出的，其目的是使逆作法技术的应用更具适应性、合理性、经济性。逆作法集成技术由设计、施工、管理综合而成，从建设项目策划阶段开始进行综合效益研究分析，针对工程的特殊情况、结构体系及环境地点，以及项目投资背景及资金分配进行综合分析，选择科学、合理、经济的结构连接构造与施工步骤。对于工程应用实例的介绍，本书以地下建筑逆作法为主线，针对性地对部分地下建筑结构和高层建筑的地下结构展开逆作法的集成技术研究分析，详细介绍了逆作法及相关新技术的设计与应用，并有针对性地介绍了近年来的国内地下结构中结构新技术应用优秀工程的设计特点及新技术应用情况。