

深基坑工程事故 分析与防治

王自力 编著

中国建筑工业出版社

深 基 坑 工 程 事 故 分 析 与 防 治

王自力 编著

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

深基坑工程事故分析与防治/王自力编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2016. 8
ISBN 978-7-112-19440-7

I. ①深… II. ①王… III. ①深基坑-工程事故-
事故分析②深基坑-工程事故-事故预防 IV. ①TU46

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 103217 号

本书是《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ 311—2013 的主编人之一亲自编著而成, 作者在土木工程施工领域具有几十年的工作经验, 处理过许多相关的土木工程施工安全生产事故。

全书围绕深基坑工程事故产生的原因、事故处理对策、事故带来的经验教训等内容编写而成。内容丰富, 案例翔实, 叙述详略得当, 非常适合广大土木工程施工的安全管理人员、技术人员、施工人员阅读使用。

责任编辑: 张伯熙

责任设计: 李志立

责任校对: 李欣慰 刘梦然

深基坑工程事故分析与防治

王自力 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

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京君升印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 1/4 字数: 429 千字

2016 年 10 月第一版 2016 年 10 月第一次印刷

定价: 40.00 元

ISBN 978-7-112-19440-7

(28694)

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)

作者简介

王自力，字益候，1943 年生于浙江绍兴，高级工程师。

1960～1962 年在上海电力建设专科学校土建班读书，任土建班班长、校学生会主席、校团支部副书记。

1962 年，从上海回故乡上虞支援农业第一线生产。

1979 年在上虞县建筑工程公司工作，任技术员、技术队长、技术科副科长、技术副经理。

1988 年在上虞县城建局工作，后被派驻上海，任城建局（后改为上虞市建筑业管理局）沪办主任兼党支部书记。

1993～2014 年，在上海星宇建筑工程有限公司（后改为上海星宇建设集团有限公司）先后任总工程师、总经理、副董事长、副总经理、兼党支部书记，其中 2001～2005 年任浙江舜杰建筑集团股份有限公司（施工总承包特级资质）副总经理兼总工程师。

2011～2013 年，组织编写行业标准《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ 311—2013，该标准于 2013 年 10 月批准实施。2013～2014 年组织编写《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ 311—2013 的配套用书《建筑深基坑工程施工安全技术规范理解与应用》并于 2015 年由中国建筑工业出版社出版发行。

前言

近三十多年来,随着我国城市建设的发展,高层、超高层建筑不断地涌现,地铁及车站、高铁车站、隧道、市政广场、大型桥梁基础等各类大型工程日益增多,地下空间开发利用的规模越来越大,极大地推动了建筑基坑工程理论与施工技术水平的快速提高与发展。

基坑工程的主要作用是为各种建(构)筑物的地下结构施工创造条件,包含岩土工程勘探、基坑支护结构设计与施工、地下水控制、基坑土方开挖、工程监测和周边环境保护等主要内容,施工中有土方开挖和支护系统两大施工工艺体系。

随着高层建筑的面积和规模越来越大、建筑高度越来越高,基坑的开挖面积也越来越大、开挖深度越来越深,在基坑支护结构、地下水控制、工程监测、信息化施工、环境保护等许多方面出现了新技术、新工艺、新设备、新材料等建筑业“四新技术”的前所未有的发展新趋势。然而,基坑工程施工中也面临新的挑战,如在城市中心城区施工,建筑施工的场地越来越狭小,建筑物之间的距离越来越紧凑,给基坑工程施工带来了很多不利影响,甚至严重的安全隐患,施工人员如果经验不足或疏于管理或处置不当,都会造成严重的后果,导致基坑坍塌,甚至危及周边建(构)筑物、道路、地下管线的安全。近些年,因基坑坍塌等事故造成的重大财产损失和人员伤亡无法估量,已经引起了工程界的高度重视。为此,从20世纪90年代起,建设部先后陆续批准颁布了多部有关基坑工程设计与施工的国家标准或行业标准,以规范基坑工程设计与施工,解决了许多技术难题,提高了基坑工程的施工质量水平,有效防范了基坑工程安全隐患和事故。

2013年10月9日,住房和城乡建设部批准颁布了《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ 311—2013,对规范深基坑工程施工安全技术起到了很大的促进作用,使深基坑工程施工安全技术有规可循。为了便于广大建筑施工人员能更好地学习、理解和应用《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ 311—2013,本规范编制组的部分人员共同编著了《建筑深基坑工程施工安全技术规范理解与应用》一书,该书已经于2015年6月由中国建筑工业出版社出版发行。该书已经成为深基坑工程施工企业和建设各方的工具图书,用于指导和规范施工企业和建设各方的施工行为,减少乃至杜绝深基坑工程的安全隐患和伤亡事故,保障深基坑工程施工安全和周边环境安全及基坑使用安全。

为了更好地帮助广大建筑施工人员特别是深基坑工程施工企业及施工人员结合施工实际来学习和应用规范,中国建筑工业出版社联系作者,要求编写一本有关深基坑工程施工安全事故分析与防治方面的图书。经过一年多的努力,《深基坑工程事故分析与防治》书稿基本完成,期间请有关设计、施工方面的教授专家帮助审阅,根据专家们的意见又作了修改完善,终于可以交付出版社校印。

本书共分6章,分别是:第1章 基坑工程综述,第2章 深基坑工程等级与分类,第3章 深基坑工程主要施工过程,第4章 深基坑工程事故案例分析,第5章 深基坑工程事

故原因分析与防治，第6章深基坑工程的应急预案与应急响应。本书力求以简洁的文字和实际的案例，对深基坑工程的发展历程、工程特点、安全等级、主要施工过程、存在问题等作比较全面地阐述与分析；对深基坑工程事故案例按事故分类进行原因分析，并提出了防治措施；对深基坑工程施工中可能出现的险情可采取的应急救援预案及救援技术措施进行了系统的阐述和说明；本书还把深基坑工程施工专项方案、施工安全专项方案和应急预案作为附录列在后面，供大家学习应用参考。

本书在编写与审校过程中得到了同济大学胡群芳教授、上海市基础工程有限公司总工程师李耀良（教授级高工）、浙江省建筑设计研究院副总工程师刘兴旺（教授级高工）、黄杰卿工程师、上海星宇建设集团有限公司总工程师郑炎铭（高工）、副总工马宏良（高工）等教授专家的支持和帮助，包括提供有关资料，在此表示衷心的感谢！

因作者水平有限，本书可能存在缺点和错误，真诚地希望读者指正，提出宝贵的意见和建议，以便在今后的修订工作中使本书更趋完善，具体意见可寄中国建筑工业出版社张伯熙编辑转作者。

目 录

前言

第 1 章 基坑工程综述	1
1.1 基坑工程的发展历程与现状	1
1.2 深基坑工程主要特点	10
1.3 深基坑工程的存在问题	11
第 2 章 深基坑工程等级与分类	18
2.1 基坑工程技术规范标准简介	18
2.2 深基坑工程等级划分	19
2.3 支护结构体系的作用和要求与分类	22
第 3 章 深基坑工程主要施工过程	27
3.1 深基坑工程施工全过程管理	27
3.2 基坑围护结构施工	29
3.3 地下水与地表水控制	30
3.4 土石方开挖	37
3.5 基坑支护结构施工	42
第 4 章 深基坑工程事故案例分析	76
4.1 深基坑工程事故案例分析	76
4.2 深基坑工程事故总结	138
第 5 章 深基坑工程事故原因分析与防治	149
5.1 基坑工程施工可产生变形	149
5.2 深基坑支护体系破坏与防治	154
5.3 土体渗透破坏与防治	173
5.4 基坑周边环境破坏与防治	176
5.5 其他方面原因的事故与防治	181
5.6 深基坑工程施工问题总结	182
第 6 章 深基坑工程的应急预案与应急响应	184
6.1 危险源识别与风险评估	184
6.2 应急救援预案	186
6.3 应急救援响应	190
6.4 事故应急处置措施	192
6.5 深基坑工程施工安全建议	198
附件 1 深基坑工程专项施工方案	200
附件 2 深基坑工程安全专项方案示例	232
附件 3 某深基坑工程应急预案示例	267

第 1 章 基坑工程综述

1.1 基坑工程的发展历程与现状

在中国全面建设小康社会和社会主义现代化强国的进程中，中国的城市化、城镇化建设进程的逐步加快，各地城市和城镇建设快速发展，高层建（构）筑物越来越多、越来越高、越来越大，地下空间也越来越受到重视；各类建（构）筑物，特别是高层建筑的地下部分所占空间越来越大，埋置深度越来越深。随之而来的基坑开挖面积已达几万平方米，埋深 20m 左右的已属常见，最深已超过 30m。特别是各大城市由于市内交通拥堵，纷纷兴建轨道交通（地下铁道），地铁车站普遍埋深在 20~30m 左右，最深的已超过了 50m。

1.1.1 基坑工程发展的三个阶段

我国深基坑工程发展主要经历了以下三个阶段。

第一阶段：20 世纪 70、80 年代，伴随着大城市高层、超高层建筑的兴建（图 1.1.1-1 为某市高层建筑林立），深基坑工程质量安全问题逐渐凸现。但那时大多数是多层建筑，即使有少数高层建筑，也是属于 18 层以下的小高层，其地下室也只是一层地下室或是半地下室，2~3 层地下室的工程比较少见。基坑主要的围护结构是水泥搅拌桩的重力式结构，对于比较深的基坑则采用排桩结构；如果有地下水，则采用水泥土搅拌桩截水帷幕。

在国内，当时地下连续墙用得很少，SMW 工法正在进行开发研究。由于缺乏经验，深基坑的事故比较多，引起了社会和工程界的关注。从那时起，国内施工人员开始研究深基坑工程的监测技术与数值计算，当时虽然有一些深基坑工程的施工技术指南之类的书籍，但还没有开始制定基坑工程方面的规范标准。

在 20 世纪 80 年代后期，土钉墙支护在浅基坑中推广使用（如图 1.1.1-2 所示），SMW 工法（如图 1.1.1-3、图 1.1.1-4 所示）开始推广使用，地下连续墙被大量采用。



图 1.1.1-1 某市高层建筑林立

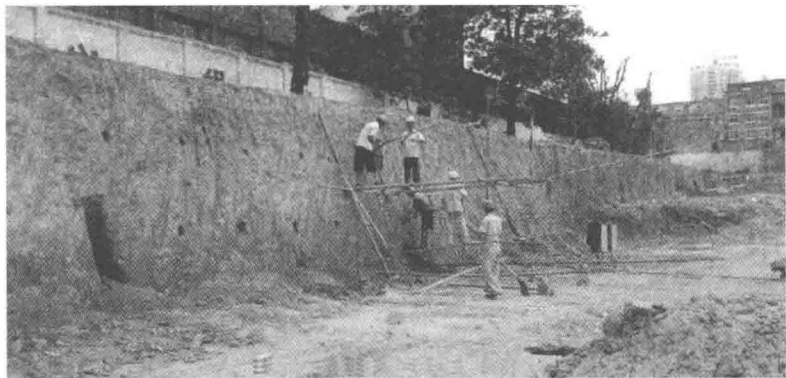


图 1.1.1-2 某土钉墙施工现场

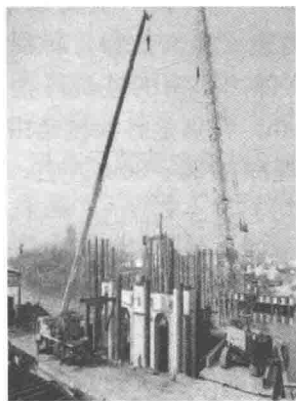


图 1.1.1-3 某 SMW 工法施工现场



图 1.1.1-4 某 SMW 工法墙的施工现场

逆作法施工、支护结构与主体结构相结合的“两墙合一”的设计方法开始得到重视和运用。商业化的深基坑工程设计软件开发成功，并逐渐推广使用。在施工中，深基坑内支撑出现了大直径圆环的形式和两道支撑合用围檩的方案，最大限度地克服了支撑对施工的干扰。

第二阶段：在 20 世纪 90 年代期间，我国通过总结施工经验，开始制定基坑工程的标准规范。这一时期出现了包括武汉、上海、深圳等地方规程标准和两本行业标准，如：上海市地方标准《基坑工程技术规范》DBJ 08-61—1997、行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94—94、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—99 等行业和地方标准相继出台。一些地方政府建立了深基坑工程方案的审查制度，如上海市规定埋深超过 7m 以上的深基坑工程设计与施工方案必须报送上海市建委科技委评审批准。国内外工程界开始出现超深、超大的深基坑工程，基坑面积达到 2 万~3 万 m^2 ，深度达到 20m 左右。

但是，由于理论研究滞后、设计缺陷、施工失误、监测缺失等方面的原因，深基坑工程施工与周边环境的相互影响的形势更趋严峻，出现了新一波的深基坑工程事故。

20 世纪 90 年代后期，中国的建设领域中采用支护结构与主体结构相结合，并采用逆作法施工的深基坑工程已达 100 多项，并且出现了第二波的基坑工程规范的修订与编制。图 1.1.1-5 为地下结构的逆作法施工。



图 1.1.1-5 地下结构的逆作法施工

第三阶段：进入 21 世纪以后，伴随着超高层建筑和地下铁道的发展，地下工程向更深空间发展，国内外出现了更深、更大的深基坑工程，基坑面积达到了 4 万~5 万 m^2 ，深度超过 30m，最深达 50m，SMW 工法、逆作法施工、地下连续墙、支护结构与主体结构相结合的“两墙合一”的设计方法等多项新技术在更多的工程中推广应用。

复合土钉墙、双排桩结构、型钢水泥土搅拌墙（SMW 工法）、鱼腹梁式钢支撑、混凝土咬合桩、超深多轴水泥土搅拌桩、水泥土搅拌连续墙（TRD 工法）、超大型环形支撑体系、十字钢支撑双向复加预应力技术、混凝土支撑的绳（链）锯切割法、锚杆回收技术等新技术、新工艺、新设备、新材料等建筑业“四新技术”在深基坑工程领域逐步得到了开发和推广应用。

同时，配合各项基坑工程新技术的各种施工新设备、新工艺也应运而生。地下连续墙成槽机械和施工工艺有抓斗式成槽机（适用于软土地基）见图 1.1.1-6，回转式多头钻成槽机（适用于较硬土层），双轮铣削式成槽机（适用于坚硬土层和岩石，也适用于软土地基及砂性土）见图 1.1.1-7；灌注桩施工新技术有旋挖钻孔灌注桩、螺旋压灌灌注桩、钻

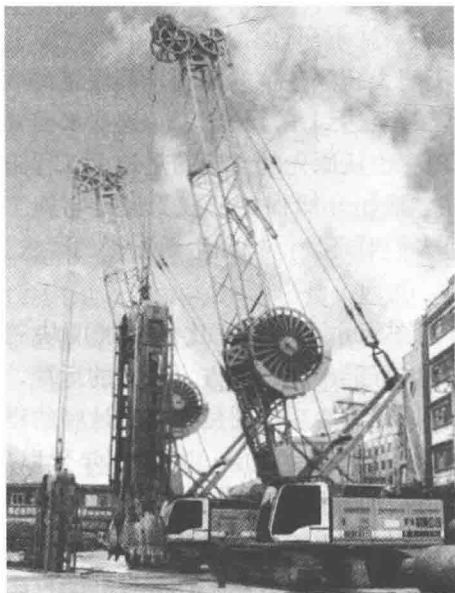


图 1.1.1-6 地下连续墙抓斗式成槽机



图 1.1.1-7 铣削钻成槽机

孔咬合灌注桩；型钢水泥土搅拌墙机械有多轴柱列式水泥土搅拌墙的三轴（四轴-六轴）灌注桩机械、水泥土搅拌连续墙（TRD 工法）机械与工艺等；逆作法施工、在软土地基利用“时空效应”的开挖技术等深基坑挖土技术。

有关地基基础方面的规范标准开始制定或修订，除了新制定的规范《建筑基桩检测技术规范》（JGJ 106—2003，现修订为 2014 版）、《建筑施工土石方工程安全技术规范》JGJ 180—2009）、《湿陷性黄土地区建筑基坑工程安全技术规范》JGJ 167—2009、20 世纪 90 年代制（修）订的《建筑地基基础设计规范》（GB 50007—2002，现修订为 2011 版）、《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330—2002，现修订为 2013 版）、《建筑桩基技术规范》（JGJ 94—94，现修订为 2008 年版）、《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120—99，现修订为 2012 年版）、《基坑工程技术规范》DBJ 08-61—2010 等相继进行了修订。2013 年 10 月和 2015 年 3 月住房和城乡建设部先后批准颁布了《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ 311—2013 和《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004—2015。

1.1.2 基坑工程领域的进步和提高

通过 30 多年的工程实践和建筑业界人士的共同努力，深基坑工程领域取得了很大的进步和提高，主要表现为下面五个方面：

1. 设计思想不断更新

20 世纪 70 年代以前，由于我国经济基础比较薄弱，国家经济整体发展水平较低，当时的建筑设计方针是“适用、经济、安全，可能条件下注意美观”；20 世纪 80 年代以后，国家工作重心转入“以经济建设为中心”的社会主义现代化建设，建筑设计方针是“全面贯彻适用、安全，经济、美观”；随着国民经济的逐步发展和提高，现在的建筑设计方针是“配合周围环境，在安全、适用、美观和经济之间寻求合理的平衡”。随着社会经济状况的逐步好转，人们更多地从美观、舒适上考虑生活和生产的环境质量，出现了各种高层、超高层建筑、大型商业建筑、体育文化设施、办公楼、写字楼、教学楼等；为了缓解地面道路交通的压力，相应地各种地下空间得到利用，地下车库、地下停车场、地下商场、地铁隧道、地铁车站等地下设施应运而生。由于超大超深基坑的出现，其埋置深度也越来越深，甚至超过 50m，其基坑面积也越来越大，甚至达到几万平方米，这些都需要设计思想与理念的不断更新与进步。其基坑工程设计理念也从原先的“以满足地下工程施工为主，或以经验为主，或以理论为主”，改变为现在“满足环境保护已成为设计与施工的基本出发点，理论和经验相结合”，最大限度地满足人们对环境保护和生活质量的要求。

2. 设计方法不断进步

20 世纪 80 年代以前，施工图纸设计用的工具是图板、丁字尺、比例尺加两块三角板，用鸭嘴笔描图，用小的蘸水钢笔写字，用计算尺进行乘、除、乘方、开方的运算，用算盘进行加、减法的运算。设计师先在绘图纸上进行设计，然后描图员按照设计师的设计草图描绘到描图纸上，再用描图纸晒成蓝图，就成了设计蓝图。到 20 世纪 80 年代以后，改用绘图笔代替鸭嘴笔和蘸水钢笔进行描图与写字，用计算器进行各种计算运算，但仍旧需要描图、晒图；到 20 世纪 90 年代以后，图板、丁字尺、比例尺、三角尺、计算尺、绘图笔、算盘、计算器等都不用了，用电脑和软件进行设计制图与运算，再把设计图打印出来即可，提高了工作效率，减轻了设计人员的劳动强度，也提高了设计计算的正确率，加

快了设计进度。

在设计计算方法上从最早的极限平衡法、弹性支点法,逐步发展提高到考虑平面与空间、土体与结构共同作用、土的弹塑性的有限元法,使基坑设计计算更趋合理、正确。

3. 施工技术不断发展与提高

随着设计思想的更新与进步,基坑面积的逐步扩大,埋置深度也越来越深,深基坑工程施工技术领域的新技术、新工艺、新设备、新材料的建筑业“四新技术”不断涌现,其围护支撑体系和土方开挖的各项施工技术和各种机械设备也不断发展与提高,相应地其排水技术和设备也不断发展与提高,其信息化施工、监测技术和设施也不断地完善和提高。如前面所述的复合土钉墙、双排桩结构、型钢水泥土搅拌墙(SMW工法)、鱼腹梁式钢支撑、混凝土咬合桩、超深多轴水泥土搅拌桩、水泥土搅拌连续墙(TRD工法)等新技术、新工艺不断涌现,特别是上海中心大厦的直径121m的超大型深基坑工程的无横梁支撑的6道圆环形圈梁(或称围檩)的地下连续环梁和圆环形地下连续墙,系超静定结构体系,作为基坑的支护结构体系,在上海这样的软弱土地基上应用是深基坑工程施工技术的重大突破和提高。

4. 建设管理制度不断完善

20世纪70年代以前,建筑施工管理制度很少,到20世纪80年代以后,要求编制施工组织设计,后来又要求编制施工专项方案,各省、市、县先后设立建设工程质量监督站和安全监督站,加强了对建设工程的质量与安全的监督与检查;以后又逐步实施并完善了建设工程监理制度和招投标制度,促进了建设工程质量和安全管理,提高了工程质量和安全文明施工水平。到20世纪90年代后期,随着高层建筑和地下铁道的逐步增多,上海、深圳等大城市要求对基坑工程的设计施工方案组织专家评审,各级政府的有关工程建设各种管理制度逐步完善。

2009年6月,中华人民共和国住房和城乡建设部颁发了建质(2009)87号文《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》,明确了基坑、降水、土方开挖、模板工程及支撑体系、吊装、脚手架、爆破等危险性较大的分部分项工程的安全管理,强调了编制安全专项方案及专家评审的有关规定,使基坑工程管理制度不断完善、不断加强,有效遏制了基坑工程安全事故的蔓延与扩大。

5. 标准化工作的开展

20世纪70、80年代,我国基本上没有与基坑工程有关的规范标准。到20世纪90年代,我国才开始制定发布了《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-91、《建筑桩基技术规范》JGJ 94-94、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-99等规范标准。同时,上海、浙江、广东等地也制订、发布了基坑方面的地方标准。

2000年以后,标准化工作全面展开,我国有关基坑工程的规范标准陆续制定发布。目前,与基坑工程有关的规范标准已达10多部,其中,国家行业标准《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ 311—2013已于2014年4月1日起实施;《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004—2015已于2015年3月批准发布,将于2015年11月1日起实施。同时,国家标准化委员会规定,随着科技发展周期的缩短与加快,规范标准必须每5年修订一次,《建筑基坑支护技术规程》等多部规范标准都进行了修订,使标准的修订更新工作纳入正常轨道,很多规范标准都将得到了修订与完善,以进一步适应科技进步和施工技术

提高的需要。

1.1.3 基坑工程的现状

随着城市化建设的不断发展，建筑密度不断增加，使建筑物距离越来越紧密，给施工造成很大的不便和困难。

1. 深基坑离周边建筑物的距离越来越近

由于城市的开发改造与利用，特别是在中心城区，基坑四周往往紧贴着各种重要的建（构）筑物，如轨道交通设施、地铁、地下管线、隧道、历史保护建筑、老式居民住宅、大型商业建筑、办公大楼等，给基坑工程施工增加了一定的难度。

在上海陆家嘴金融贸易区，上海金茂大厦、上海环球金融中心大厦和上海中心大厦这三幢超高层摩天大楼建筑紧靠在一起，如图 1.1.3-1～图 1.1.3-3 所示，如设计或施工不当，均会对周边建（构）筑物、地下管线及地下设施造成不利影响。

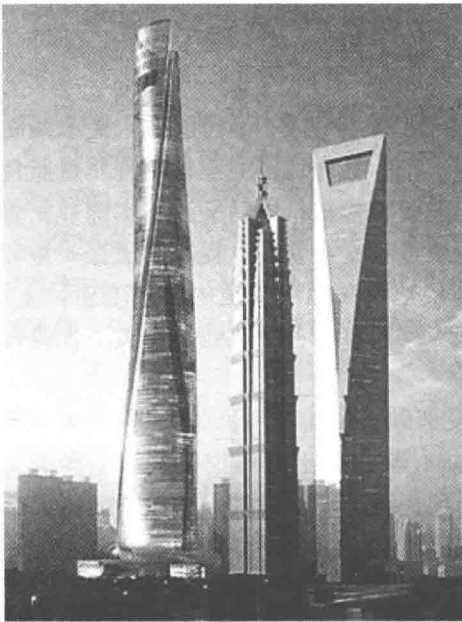


图 1.1.3-1 上海中心大厦等 3 幢超高层建筑鸟瞰图



图 1.1.3-2 上海中心大厦施工照片

上海中心大厦已于 2013 年 7 月混凝土结构封顶，2014 年 7 月钢结构封顶，总建筑面积 57.4 万多 m^2 ，总高度 632m，地上 124 层，地上建筑面积约 41 万多 m^2 ，地下 5 层，基坑埋置深度 31.4m，地下面积 16.4 万多 m^2 。它是我国目前地上最高、地下最深，世界第二的超高层摩天大楼。

2. 深基坑工程越来越深

随着地下空间的开发与利用，基坑的埋置深度越来越深，对设计理论与施工技术都提出了更严格的要求。例如：

宁波嘉和中心二期项目深基坑，平均开挖深度为 18.3m，最大挖深为 25.9m，整体为三层地下室布局，局部有夹层。图 1.1.3-4 为宁波嘉和中心深基坑。

无锡恒隆广场基坑埋深近 27m。



图 1.1.3-3 高层、超高层建筑林立的上海陆家嘴金融贸易区鸟瞰图

上海中心大厦的主楼的深基坑达 31.4m 深,局部挖深 34.4m,均已达到了承压水层。其附楼(裙房)埋深 25.4m,采用主体结构与围护结构两墙合一和逆作法的施工方法。

3. 基坑的规模与尺寸越来越大

由于高层建筑,特别是超高层建筑越来越高,其建筑面积越来越大,其地下室空间也越来越大,越来越深。例如:

上海招商银行信用卡中心工程地下建筑面积达 8.1 万 m^2 ;无锡恒隆广场地下建筑面积 3.5 万 m^2 ;天津西站二期项目,基坑面积为 3.9 万 m^2 ,基坑周长达 855m。

上海金茂大厦,1999 年 3 月竣工。主体建筑地上 88 层、地下 3 层,塔楼高 420.5m,占地面积 23611 m^2 ,总建筑面积 29 万 m^2 。4m 厚的钢筋混凝土筏式基础及 429 根空心钢柱桩

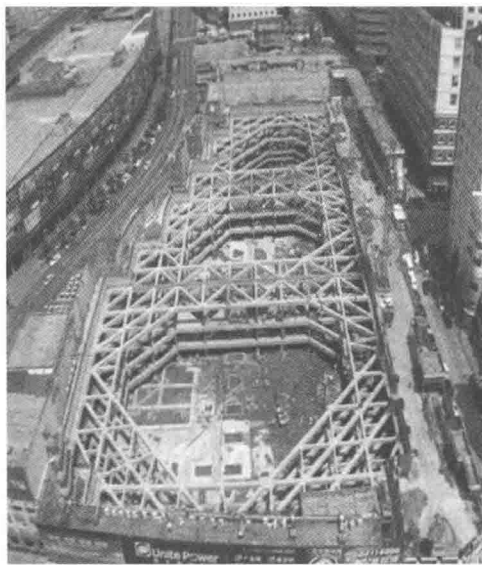


图 1.1.3-4 宁波嘉和中心工程深基坑

打入砂黏土层 65m 深处,地下室开挖面积近 2 万 m^2 ,基坑周长 570m,开挖深度 19.65m,基坑开挖土方量达到了 32 万 m^3 。在基坑围护结构方面,设计了空间桁架式全现浇钢筋混凝土内支撑技术,既保证了工程质量和安全,又缩短了施工工期,提高了经济效益。

2008 年 8 月建成的上海环球金融中心大厦,建筑面积 38.1 万 m^2 ,地上 101 层,高 492m,地下 3 层,基坑埋置深度 21.89m,地下室面积 7.85 万 m^2 。

上海中心大厦主楼深基坑开挖深度为 31.4m,最深局部埋深 34.4m,采用明挖法土方开挖方法。围护体系采用直径 121m 的钢筋混凝土环形地下连续墙围护结构,墙厚 1200mm,支撑体系为 6 道环形钢筋混凝土圈梁。土方工程,主要采用先挖中部土方,后

挖环边土方的盆式开挖土方的顺序，总土方量为 38 万 m^3 。图 1.1.3-5、图 1.1.3-6 为上海中心大厦主楼深基坑浇筑混凝土底板施工现场。

其基坑降水方案是：

(1) 疏干井，①基坑内设置 25m 深的真空管井井点疏干降水井 42 口，25m 深的观察井 4 口；②疏干降水井每 250 m^2 设 1 口。

(2) 减压降水井，主楼基坑内设置 55m 深减压降水井 12 口，45m 深观察井 3 口；坑外设置 65m 深减压降水井 28 口；裙房两墙合一的地下连续墙内侧设置 45m 深观察井 4 口，裙房两墙合一的地下连续墙外侧设置 45m 深观察井 3 口。

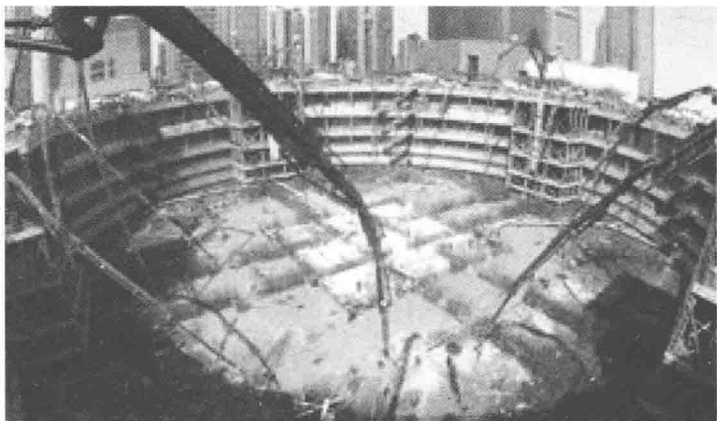


图 1.1.3-5 上海中心大厦主楼浇筑混凝土底板施工现场



图 1.1.3-6 上海中心大厦主楼基坑施工现场

上海中心大厦主楼基坑呈直径 121m 的圆形地下连续墙布置，基坑面积 11500 m^2 。整个基坑由主楼、裙房及中间过渡区组成。整个基坑大底板面标高均为 -25.4m，主楼底板厚度为 6m，裙房及中间过渡区底板厚度为 1.6m，底板混凝土全部采用强度等级为 C50R90 的商品混凝土，抗渗等级为 P12，主楼基坑底板的混凝土总方量 6 万多 m^3 。

这类超大、超深基坑，特别是在软土地基的上海、宁波等地区，在支护结构的设计、施工中，其支撑体系的布置、围护墙的位移及坑底隆起的控制均有相当的难度。如图 1.1.3-7 所示 3 道钢筋混凝土水平支撑的支护体系的大型深基坑工程施工现场，其场内施工道路是用施工栈桥来解决的。

图 1.1.3-8 系圆环形钢筋混凝土水平支撑的大型深基坑施工现场，其基坑中间的大圆环形支撑及施工栈桥方便基坑挖土土方和材料的进出。

4. 施工场地越来越狭小

城市中心城区的大规模改造与开发，其中不少以土地出让形式吸引外资、内资开发，为充分利用土地资源，建设投资方经常要求建筑物地下室做足红线。大型住宅小区或商业区，建筑物之间的空间均设置地下车库或地下商场，施工场地可用的空间非常狭小，施工用地越来越小，施工现场的办公与作业场所和建筑材料堆场几乎没有，极大地增加了施工难度，这就必须通过有效的资源整合才能顺利实现。图 1.1.3-9 宁波某项目基坑施工现场，其地下室距离外墙用地红线仅 3.5m，小区内号房之间空地都设计了地下车库，现场无法安排施工所需的木工、钢筋工的工棚、材料堆场、临时办公场所等，给施工作业带来了很大的不便和麻烦。

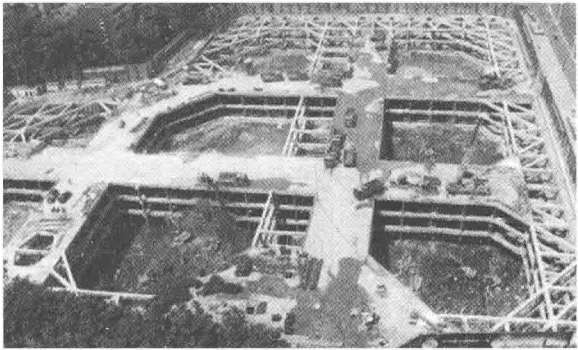


图 1.1.3-7 某大型深基坑工程施工现场

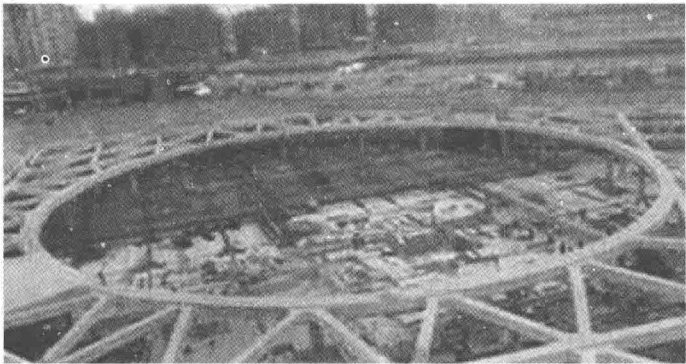


图 1.1.3-8 某基坑圆环形内支撑的施工现场



图 1.1.3-9 施工场地越来越紧凑

图 1.1.3-10 是某高层大型深基坑的施工现场，其周边道路的对面都是成群的建筑，必须做好周边建筑、道路及地下管线的监测与保护，确保周边环境安全。

总之，基坑工程技术，包括设计、施工、设备及安装等工程技术，随着地下空间的面



图 1.1.3-10 某大型基坑在紧凑的场地中的现状

积和埋深的增加而日趋提高，也随着上述四种现状的日益严重而技术难度加大；相应的，基坑工程施工安全技术的重要性也日趋显现，特别是深基坑工程的施工安全技术越显重要。

1.2 深基坑工程主要特点

1.2.1 安全储备较小，风险较大

基坑支护体系是临时性结构，具有较大的风险性。基坑支护体系在设计计算时，有些荷载，如地震荷载不予考虑，相对于永久性结构，在强度、变形、防渗、耐久性等方面的要求较低一些，安全系数较低，其安全储备要求可以小一些；再加上某些建设方对基坑工程认识上的偏差，为降低造价，对设计提出一些不合理要求，实际的安全储备可能会更低一些。因此，基坑工程具有较大的风险性，必须要有合理的应对措施。

1.2.2 制约因素较多

基坑工程与自然条件和周边环境关系密切，受限于目前科技水平，地下空间存在较多的未知因素和不确定性，设计施工中必须充分考虑工程所在地的工程地质条件、水文地质条件、周边环境与基坑开挖的关系及其相互影响。

1. 区域性差别很大

施工场地的工程地质条件和水文地质条件对基坑开挖有很大影响。中国幅员辽阔，各地的工程地质条件和水文地质条件差别很大，软黏土地基、砂性土地基、黄土地基、冻溶土地基等地基中的基坑工程性状差别也很大。同是软黏土地基，天津、上海、宁波、杭州、福州、昆明等各地软黏土地基性状也有较大差异。地下水，特别是承压水对基坑工程性状影响很大，而各地承压水特性差异很大，承压水对基坑工程性状影响的差异也很大。

2. 周边环境影响大

基坑支护体系受周边环境，包括邻近的市政道路、地下管线、周边建（构）筑物的影