

中心城区深基坑工程建设 周边环境风险控制指南

上海市建设工程安全质量监督总站 组编

中国建筑工业出版社

中心城区深基坑工程建设 周边环境风险控制指南

上海市建设工程安全质量监督总站 组编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中心城区深基坑工程建设周边环境风险控制指南/上海市建设工程安全质量监督总站组编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 2

ISBN 978-7-112-12975-1

I. ①中… II. ①上… III. ①城市-深基础-工程施工-风险管理-指南 IV. ①TU473.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 043837 号

中心城区深基坑工程建设周边环境风险控制指南

上海市建设工程安全质量监督总站 组编

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

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 6 $\frac{3}{4}$ 字数: 189 千字

2011 年 5 月第一版 2011 年 5 月第一次印刷

定价: 20.00 元

ISBN 978-7-112-12975-1
(20371)

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)

前 言

作为地下空间开发的工程重要组成部分,自 20 世纪 90 年代以来,全国深基坑工程发展异常迅猛,设计与施工技术日臻成熟,已达到国际先进水平。与此同时,随着城市建设工程规模的不断扩大和轨道交通网络的逐步建成,基坑工程建设周边环境越来越复杂,施工技术难度更大。首先,地下室层数已达到 5~6 层,大面积基坑开挖深度已经突破 40m;其次,基坑开挖面积由原来的几千平方米迅速增大到几万甚至超过十万平方米;第三,多种围护和支撑体系相结合、“顺逆”结合的施工方法使得基坑工程施工工艺日趋复杂;第四,同一地块深浅不一、形状各异的基坑群同期、分期施工,或者相邻基坑同期、分期施工,导致基坑工程“群坑效应”明显,相互影响大;第五,大量的深基坑工程临近地铁隧道或车站,位于中心城区的基坑工程还面临施工场地狭小、市政管线密集、道路交通繁忙、周边建筑林立或存在受重点保护建筑等局面,环境保护要求严格,施工技术难度很大。

深基坑工程历来被认为是实践性很强和风险性很高的岩土工程问题,需要设计、施工、监测紧密配合才能顺利实施。上海是典型的深厚软黏土地区,地下水位高,软土强度低、变形大、压缩性高、具有明显的流变性,基坑工程的“时空效应”显著,基坑工程建设风险远高于其他地区,若控制不当则易导致基坑工程险情或事故的发生。在中心城区进行基坑工程建设,如何在确保基坑支护体系安全的前提下,采取相对合理的各种技术经济措施,严格控制各项变形,将基坑工程建设对周边环境的影响降到最低,从某种程度上已经成为基坑工程设计施工首先要考虑的因素。

本书分别从中心城区基坑工程勘察、围护结构设计、基坑工程施工、基坑监测以及基坑工程建设的监管等方面,对近年来上海地区大量的基坑工程实践经验和科研成果进行了总结,汇聚了诸多单位和个人的经验。书中内容重点从周边环境的保护这一角度出发,概括了基坑工程建设全过程中各个环节的控制要点,可供从事基坑工程建设的勘察、设计、施工、监测、监督机构、科研院所等工程技术人员及高等院校有关专业师生参考使用。限于时间仓促和水平有限,疏漏和不足之处在所难免,敬请广大读者不吝指正。

2011 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 深基坑工程发展的新特点	4
1.3 软土地区基坑工程建设的环境影响	6
第 2 章 中心城区深基坑工程勘察与周边环境调查	10
2.1 概述	10
2.2 基坑工程勘察的一般要求	10
2.2.1 勘察目的	10
2.2.2 勘察前期准备工作	11
2.2.3 勘察工作量布置	11
2.3 现场勘察的主要方法	12
2.3.1 钻探	12
2.3.2 取样	13
2.3.3 原位测试	13
2.4 室内土工试验内容与方法	15
2.5 基坑工程勘察的岩土分析评价	17
2.5.1 设计参数	17
2.5.2 水文地质条件	17
2.5.3 不良地质现象	17
2.5.4 基坑支护方案建议	18
2.5.5 基坑设计、施工注意事项及对环境的影响评价	18
2.6 基坑周边环境调查	20
第 3 章 中心城区深基坑支护设计	23
3.1 概述	23
3.2 基坑总体方案设计	24
3.2.1 基本要求与原则	25

3.2.2	设计内容	26
3.2.3	设计流程	27
3.2.4	存在的问题	27
3.2.5	技术对策	28
3.3	基坑支护设计计算	28
3.3.1	基坑设计控制标准的确定	28
3.3.2	基坑支护结构的设计荷载	29
3.3.3	支护结构内力计算	31
3.3.4	基坑稳定性验算	35
3.3.5	存在的主要问题与对策	37
3.4	基坑工程安全分析与评估	40
3.4.1	评估范围与内容	40
3.4.2	分析评估方法	40
3.4.3	存在的主要问题与对策	43
3.5	支护结构的构造设计	44
3.5.1	排桩墙结构	44
3.5.2	水泥土搅拌桩墙	45
3.5.3	支撑节点构造	46
3.5.4	主要问题	46
3.6	其他相关问题与对策	47
第4章	中心城区深基坑施工的环境影响及控制	49
4.1	概述	49
4.2	桩基施工的环境影响及控制	49
4.2.1	桩基施工的环境影响	50
4.2.2	减小环境影响的技术措施	54
4.3	基坑降水的环境影响及控制	59
4.3.1	基坑降水的环境影响	59
4.3.2	减小环境影响的技术措施	61
4.4	基坑围护施工的环境影响及控制	63
4.4.1	地下连续墙施工对周边环境的影响及对策	63
4.4.2	水泥土搅拌桩施工的环境影响及对策	75
4.4.3	高压旋喷桩施工的环境影响及对策	79

4.4.4 钢板桩施工的环境影响及对策	82
4.5 基坑支撑体系施工	83
4.5.1 支撑施工的总原则	84
4.5.2 钢筋混凝土支撑施工	84
4.5.3 钢支撑施工	88
4.6 基坑开挖的环境影响及控制	91
4.6.1 基坑开挖的总原则	91
4.6.2 基坑开挖的总体部署与流程	91
4.6.3 基坑开挖的施工控制要点	92
第5章 中心城区深基坑工程中的环境监测	96
5.1 概述	96
5.1.1 关于“工程监测”	96
5.1.2 发展过程	96
5.2 监测的意义、作用和依据	97
5.2.1 意义	97
5.2.2 结构监测和环境监测	98
5.2.3 作用	99
5.2.4 依据	99
5.3 监测的实施和对各组成部分的基本要求	100
5.3.1 监测的实施	100
5.3.2 对各组成部分的基本要求	101
5.4 正确开展监测的关键	102
5.4.1 基坑等级和监测等级	102
5.4.2 “报警”及“报警值”的制定	104
5.4.3 信息反馈的内容和时限	105
5.4.4 “施工监测”、“监理监测”和“第三方监测”	106
5.4.5 正确区分“监测”和“检测”	109
5.5 监测方案的编制和实施重点	110
5.5.1 编制步骤	110
5.5.2 基本内容	111
5.5.3 编制依据	111
5.5.4 监测项目	111

5.5.5	监测频率	112
5.5.6	监测报警值	112
5.5.7	监测报表和报告	113
5.5.8	信息反馈的时限	114
5.6	常用环境监测项目的实施要点	114
5.6.1	地表沉降监测	114
5.6.2	邻近建(构)筑物基础沉降(倾斜)监测	117
5.6.3	邻近地下管线沉降监测	118
5.6.4	地下水位监测	120
5.6.5	孔隙水压力监测	123
5.6.6	土体内部沉降监测	123
5.6.7	裂缝监测	126
第6章	中心城区深基坑工程建设的监管	129
6.1	概述	129
6.2	基坑监督和管理的一般要求	129
6.3	基坑监管存在的主要问题及对策	130
6.3.1	对基坑建设单位的监管	130
6.3.2	对基坑支护设计的监管	131
6.3.3	对基坑工程施工的监管	132
6.3.4	对基坑工程监测的监管	133
第7章	中心城区深基坑工程实例	140
7.1	某综合大楼基坑工程	140
7.1.1	工程一般概况	140
7.1.2	工程周围环境及地质概况	140
7.1.3	基坑支护设计方案	144
7.1.4	保证施工质量和安全的技术措施	145
7.1.5	其他技术措施	146
7.1.6	基坑监测及实施效果	147
7.1.7	基坑工程施工评点	148
7.2	某商业广场基坑工程	149
7.2.1	工程概况	149
7.2.2	基坑工程设计与施工概况	151

7.2.3 基坑支护与环境监测	155
7.2.4 基坑施工过程概况	164
7.2.5 基坑施工对周边环境影响情况	167
7.2.6 环境影响的主要原因分析	167
附录 基坑工程建设的相关管理性文件	169
附录一 《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》 建质〔2009〕87号	169
附录二 《注册土木工程师（岩土）执业及管理工作暂行规定》 建市〔2009〕105号	176
附录三 《关于做好房屋建筑和市政基础设施工程质量事故报告和 调查处理工作的通知》建质〔2010〕111号	181
附录四 《上海市深基坑工程管理规定》沪建交〔2006〕105号	185
附录五 《上海市道路地下管线保护若干规定》沪市政发 〔2005〕750号	191
附录六 《关于进一步加强本市城市管线保护的若干意见》 沪建交联〔2006〕547号	194
附录七 《关于加强轨道交通相关建筑工程基坑施工方案评审备案 管理的通知》沪建安质监〔2005〕第025号	198
附录八 《关于加强基坑工程采用土钉墙围护技术管理的若干暂行 规定》沪建建管〔2002〕第144号	199
附录九 《上海市基坑工程监督实施细则》沪建安质监〔2008〕 第065号	200
附录十 《关于进一步加强建设工程质量监督管理的通知》沪建建管 〔2007〕044号	205
参考文献	208

第 1 章 绪 论

1.1 引言

“19 世纪是桥的世纪，20 世纪是高层建筑的世纪，21 世纪是开发利用地下空间的世纪”，这是 1991 年 12 月在日本东京召开的城市地下空间利用国际会议上，与会专家所达成的共识。早在 20 世纪 80 年代，国际隧道协会（ITA）就提出“大力开发地下空间，开始人类新的穴居时代”的口号。

众所周知，我国一些大中城市正面临着人口急剧膨胀、生存空间狭小、交通拥挤、环境恶化等制约城市可持续发展的一系列问题。而地下空间具有恒温性、恒湿性、隔热性、遮光性、气密性、隐蔽性、空间性、安全性等地面空间不可比拟的优点，地下空间的开发利用，对于解决城市建设用地紧张、生存空间狭小、交通拥挤等问题具有十分重要的作用。因此，大力开发利用地下空间资源，拓展城市发展空间，创建和谐的城市环境，实现经济和社会的可持续发展，已经成为社会各界的广泛共识。

基坑工程是地下空间开发的基础性工程，主要是为地下工程的顺利施工创造必要的施工条件。早期的基坑工程是作为临时性工程而存在的，但随着基坑工程规模的迅速扩大，与主体结构相结合的基坑支护技术得到了快速发展，从而使基坑工程不再是一项临时性工程。

近年来，超高层建筑的迅速发展和城市地下空间的大规模开发利用，极大地促进了基坑工程的发展，其开挖面积和开挖深度已今非昔比。与此同时，基坑工程建设的周边环境也日益复杂，设计与施工技术难度也越来越大，不可避免地带来了诸多基坑安

全和环境影响控制问题，基坑安全和环境保护已成为基坑工程成败的关键。

基坑工程的实践性很强、风险性很高，设计施工经验非常重要，往往是决定工程成败的关键因素之一。由于建筑市场上基坑设计、施工及管理水平的参差不齐，导致重大基坑事故不断发生，造成了重大的人员伤亡和财产损失。图 1-1 和图 1-2 所示为某基坑事故照片实景，由于该工程基坑支护未严格按照相关规范要求进行设计，对诸多不利因素考虑不全，设计方案粗糙，加上基坑施工时偷工减料，现场管理混乱，施工质量得不到保证，最终导致基坑内围护桩破坏，相邻路面发生严重塌陷，上水管、煤气管均被严重破坏，造成周边居民和企业断水、断气，道路交通中



图 1-1 某基坑事故造成道路破坏



图 1-2 某基坑坑内围护桩破坏状况

断，经济损失严重，造成了不良的社会影响。图 1-3 和图 1-4 所示另一起基坑事故照片实景，同样是由于该项目基坑支护设计不合理、施工管理不到位而造成的事故，导致相邻道路突然塌陷，造成了重大的人员伤亡和财产损失，产生了严重的社会不良影响。



图 1-3 某基坑支护体系崩溃

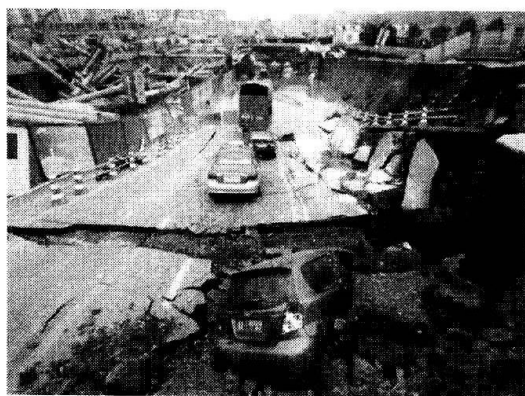


图 1-4 某基坑事故造成道路突然塌陷

本书重点从环境保护的角度出发，分析在施工条件复杂的软土地区，基坑工程建设对周边环境的影响，并从勘察、设计、施工、监测及监管等多方面提出针对性的环境影响控制措施。基坑工程所涉及的行业很多，本书内容主要针对的是建筑工程基坑，地铁等市政工程基坑也可作为参考。另外，作为主体结构一部分

的工程桩基工程与基坑工程密切相关，在建设工序上往往相互穿插和搭接，两者相互影响，而且桩基施工同样会对周边环境产生较大的影响，因此本书将桩基施工的环境影响也包括进来。

1.2 深基坑工程发展的新特点

作为地下空间开发的基础性工程，自 20 世纪 90 年代以来，深基坑工程发展异常迅猛，设计与施工技术日臻成熟，已达到世界先进水平。以上海为例，随着《上海市地下空间概念规划》的出台，上海地下空间开发利用的高潮已经到来。上海市地下空间开发的总体思路是，以城市地铁轨道交通建设为核心，结合重要交通换乘枢纽，首先重点开发一批核心区地下空间，并兼顾高层建筑地下室，然后逐步扩展形成地下空间网络。目前，地下空间初具规模的地区主要有：人民广场、徐家汇、静安寺、上海南站、五角场、世纪大道换乘枢纽、浦东机场、虹桥综合交通枢纽等。

随着轨道交通网络的逐步建成和完善、工程规模的不断扩大，工程建设环境越来越苛刻，施工技术难度越来越大，基坑工程也呈现出一些新的特点。

第一，基坑开挖深度急剧增大。随着地下空间的开发和利用，城市建设用地的日趋紧张和土地价格的急剧攀升，高层建筑地下室的层数也在不断增加，由先前的地下 1~2 层，发展到地下 3~4 层，部分达到了地下 5 层，甚至 6 层，基坑开挖的深度也由原来的 20m 左右迅速增大到 20m 以下，已接近 30m。同时，地铁车站基坑和大型地下市政工程基坑开挖深度均已突破 30m。按照国际上对地下空间的定义，地下 15m 以上为浅层地下空间，15~40m 为中层地下空间，40m 以下为深层地下空间。目前，上海已进入大规模开发中层地下空间时代，可以预见，深层地下空间开发也指日可待。上海地区已经或即将建成的开挖深度超过 20m 的建筑深基坑工程主要有：香港新世界大厦、长峰商城、卢湾区 107/108 地块项目、高宝金融大厦、廖创兴金融大厦、环

球金融中心、新鸿基大厦、盛大金融中心等。另外，世博500kV地下变电站工程基坑开挖深度达34.5m，是目前上海大面积基坑开挖的最大深度。上海地铁四号线董家渡修复基坑已深达41m。

第二，基坑开挖规模迅速增大。随着一大批重点工程的建设，基坑开挖面积由原来的几千平方米迅速增大到几万甚至超过10万 m^2 ，如上海铁路南站、世博园地下空间、虹桥综合交通枢纽等重大工程，基坑面积均超过10万 m^2 。另外，开挖面积超过1万 m^2 的大型商业项目也屡见不鲜，如新鸿基大厦基坑面积约5.5万 m^2 ，上海促盛广场基坑开挖面积为5万 m^2 ，大连万达广场基坑面积约4.5万 m^2 ，由由国际广场基坑面积约3万 m^2 ，长峰商城基坑面积约2.2万 m^2 ，环球金融中心基坑面积约2.2万 m^2 。

第三，基坑工程施工工艺复杂。随着基坑开挖深度和面积的增大，基坑支护形式复杂多变，包括围护结构由原来的临时围护变为与主体结构相结合的“两墙合一”永久围护形式，支撑体系类型和平面分布形式多样，由原来的临时支撑变为采用逆作法施工的结构楼板支撑。已有不少工程同时采用多种围护和支撑形式，以及采用顺逆结合的施工方法。另外，地下结构功能的多样化、结构后浇带和施工缝对防水的要求等，都大大增加了基坑工程的施工难度。

第四，基坑工程施工“群坑效应”明显。有时同时开工或相继开工的基坑工程距离很近，或者同一地块深浅不一、形状各异的基坑群同期、分期施工，相互影响较大。基坑工程施工相互影响的因素很多，主要包括桩基施工、围护墙施工、基坑降水、基坑开挖等。

第五，基坑工程施工工期紧。由于各种原因，造成目前基坑工程施工工期相当紧张，甚至不能达到工期的合理要求，无论是对施工组织，还是对施工技术，均提出了严峻的挑战。

第六，基坑工程施工周边环境复杂。随着城市轨道交通网络

的初步建成,深基坑工程的施工环境控制和保护要求越来越苛刻,大量的深基坑工程临近地铁区间隧道或地铁车站,对地铁的保护要求极高。另外,位于中心城区的基坑工程还面临施工场地狭小、市政管线密集、道路交通繁忙、周边建筑林立或存在受重点保护建筑等局面,基坑施工的环境保护要求高,施工技术难度大。

1.3 软土地区基坑工程建设的环境影响

随着基坑工程的迅速发展,基坑工程施工的风险随着开挖深度的增加而增大,基坑施工的环境保护问题也愈加突出。尤其是在基坑施工影响范围内有运营地铁时,为确保地铁运营安全,环境保护要求极其严格。目前,基坑工程设计与施工技术已日趋成熟,如何采取较为经济的各种技术措施,严格控制各项变形,将基坑施工对周边环境的影响降到最低限度,从某种程度上已成为基坑工程设计与施工首要考虑的因素。

(1) 桩基施工的环境影响

目前,上海地区普遍采用的工程桩类型主要有钻孔灌注桩、PHC^①管桩、预制混凝土方桩等。根据桩基施工挤土量的大小,钻孔灌注桩属于非挤土桩,PHC管桩属于部分挤土桩,预制混凝土方桩属于挤土桩。桩基施工对周围环境的影响,主要包括噪声、振动、挤土和泥浆污染等方面。钻孔灌注桩施工噪声和振动均较小,其环境影响主要是泥浆污染。PHC管桩和预制混凝土方桩施工均有挤土作用,无泥浆污染。PHC管桩和预制混凝土方桩施工主要有两种方法,锤击沉桩和静压沉桩,锤击沉桩施工噪声和振动均较大。

桩基施工产生的废水和泥浆,严重污染环境,废水必须处理后排放,泥浆必须外运至指定地点。

桩基施工产生的噪声会严重影响施工场地附近居民的正常工

① PHC为高强预应力混凝土的外文缩写——编者注。

作、学习与生活，应按照规定应严格控制噪声强度。

桩基施工产生的振动易使周边老房屋结构产生裂缝、不均匀沉降，也可能使周边道路产生开裂、使周边刚性管线发生破裂，还可能影响邻近的精密仪器、仪表的正常工作。

桩基施工产生的挤土效应易使周边老房屋结构产生裂缝、不均匀沉降等，使一定范围内的地表和深层土体产生水平、竖向位移，可能导致已经施工完成的桩偏位、挠曲和上浮，也可能给周边道路和地下管线造成损害。挤土作用会导致饱和软黏土地基中产生较高的超孔隙水压力，在施工后相当长一段时期内，会由于超孔隙水压力消散而产生地基沉降，从而导致地面建筑、地下管线和道路产生沉降变形。

(2) 工程降水的环境影响

上海地下水水位高，一般在地表下 0.5~1.0m 之间，因此，在基坑工程施工时，为了避免产生流砂、管涌，防止边坡坍塌和坑底突涌，保证施工安全和工程质量，需要采取工程降水措施，避免水下作业。工程降水包括降潜水和降承压水两种类型，降潜水起疏干作用，保证基坑施工的干作业，降承压水是保证深基坑基底安全、防止突涌的技术措施。一般地说，坑内降水对周边环境的影响相对较小，坑外降水对环境的影响较大。潜水位位于浅部黏性土和淤泥质地基土层中，地基土渗透性相对较差，降水时的水位坡度较大，影响范围相对较小。抽取潜水使地基土层中原有地下水位降低，使邻近基础下水的浮托力减小，亦使地基土中有效应力增大而造成地基土固结压密，从而导致地面建筑、地下管线和道路产生沉降变形。由于浅部淤泥和淤泥质土层固结时间长，因此降潜水对环境影响的周期很长。承压水位位于深部砂性地基土层中，地基土渗透性较好，降水时的水位坡度较小，影响范围相对较大。同样，降承压水也可能导致地面建筑、地下管线和道路产生沉降变形。

(3) 围护施工的环境影响

目前，上海等软黏土地区普遍采用的基坑围护结构类型主要

有地下连续墙、钻孔灌注桩、排桩、钢板桩、水泥土搅拌桩、重力式挡墙及 SMW 工法桩^①等。

随着基坑开挖深度的增大,越来越多的基坑工程采用地下连续墙围护结构,其宽度由前些年的 600mm、800mm 增大到 1000mm、1200mm,其深度也超过了 60m。地下连续墙施工机械较庞大,成槽时有一定的噪声和泥浆污染。另外,地下连续墙成槽破坏了地基中的应力平衡,且在砂性土中易产生塌方,从而造成周边地表沉降。曾有某工程,由于地下连续墙施工的影响,使周边保护建筑沉降达到了 27mm。

钢板桩也是目前采用较多的基坑围护形式之一。钢板桩施工一般采用振动打入式施工。因而,钢板桩施工时噪声和振动较大,除此以外,钢板桩打入时有一定的挤土作用,对环境的影响同部分挤土桩。另外,钢板桩拔除时易导致地面变形产生。

水泥土搅拌桩施工噪声和振动相对较小,对桩周土体有一定的填充和挤密作用,喷浆挤压可能造成邻近地表隆起,但影响范围较小。SMW 工法桩施工时由于要插入型钢,所以有一定的噪声和振动影响。另外,型钢拔除时易导致地面变形产生。

旋喷桩和压密注浆施工时泥浆污染较为严重,对地基土体有一定的填充和挤密作用。另外,压密注浆压力很大,挤土作用明显,易造成地表隆起变形。旋喷桩施工时,对周围土体产生扰动,后期浆液凝固会引起地面下沉。

(4) 基坑开挖的环境影响

基坑开挖对周围环境的影响取决于地下水位的变化、围护结构变形和止水性状以及基底隆起变形等因素。基坑开挖时由于土体内应力场变化,软黏土发生蠕变和坑外水土流失而导致基坑周围土体及围护结构向坑内方向移动、地面沉降及坑底隆起,从而引起邻近建(构)筑物、地面道路、地下管线的下沉、位移或偏斜等。基坑开挖时若边坡失稳、坑内滑坡或围护结构变形过大,

① SMW 为型钢水泥土搅拌墙的缩写——编者注。