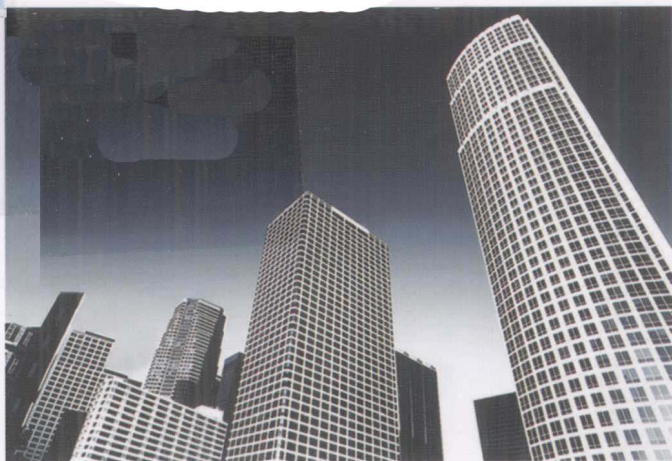




深基坑 支护新技术精选集



徐至钧 主 编
曾宪明 李宪奎 等编著



中国建筑工业出版社

深基坑支护新技术精选集

徐至钧 主编

曾宪明 李宪奎 等编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

深基坑支护新技术精选集/徐至钧主编;曾宪明,李宪奎等

编著. —北京:中国建筑工业出版社, 2012. 3

ISBN 978-7-112-14026-8

I. ①深… II. ①徐… ②曾… ③李… III. ①深基础支护

IV. ①TU473.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 022810 号

本书针对基坑支护技术现状,介绍了一些常用的基坑支护新技术,如土钉支护、锚固支护、复合土钉支护、桩挡墙支护、逆作法等。书中重点介绍各种基坑支护技术的设计和施工、地下水控制、土方开挖、工程监测和周围环境保护等关键内容,并列举了部分典型的工程案例。

本书共分 8 章,包括:深基坑支护技术综述、土钉支护技术、锚固支护技术、复合土钉支护技术、桩挡墙支护技术、逆作法设计与施工、特大特深基坑支护、深基坑支护技术经济分析。

本书适合从事基坑工程设计与施工的工程技术和科研人员使用,亦可供岩土工程的监理、监测、检测、咨询人员参考。

* * *

责任编辑:杨 允 王 梅

责任设计:赵明霞

责任校对:张 颖 王雪竹

深基坑支护新技术精选集

徐至钧 主编

曾宪明 李宪奎 等编著

*

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

北京科地亚盟排版公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:17 $\frac{3}{4}$ 字数:442 千字

2012 年 3 月第一版 2012 年 3 月第一次印刷

定价:39.00 元

ISBN 978-7-112-14026-8

(22069)

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

随着我国经济的迅猛发展,各个城市的高层建筑大量涌现。目前我国高层建筑发展的趋势和特点是层数增多,高度增高,并积极参与国际高层建筑的竞争。迄今为止,我国已建成高层建筑累计超过 2.8 亿 m^2 , 高度超过 100m 的超高层建筑已超过 300 幢, 高度超过 200m 的超高层建筑已达 40 余幢。

随着高层建筑的发展,伴随着出现了深基础。绝大多数高层建筑的基础埋置深度较深,而且越来越深。同时利用地下空间,建造地下车库、商场、仓库及人防工程等。一般二层地下室,基坑深 9m 左右;三至四层地下室深 12~14m。目前国内最深的高层建筑地下室是上海中心大厦,基坑深达到 31m。

另外,基坑的规模也越来越大,以往,高层建筑是一个单体的基坑,面积不到 5000 m^2 ,现在几幢高层建筑连同裙房,形成高层建筑的大底盘,基坑面积往往超过 1 万多平方米,最大的是北京东方广场达 9.2 万多平方米。

基坑工程是近年来土木工程领域新发展起来的一门新学科,它包括基坑支护结构的设计和施工、地下水控制、基坑土方开挖、工程监测和周围环境保护等。

基坑工程学科涉及工程地质、土力学和基础工程、结构力学、工程结构、施工技术 etc 学科,是一门综合学科。再加上基坑工程实践性强,影响基坑工程的不确定因素多(如土工参数的准确性、气候影响、计算假定、施工条件和队伍的素质等),周围环境的多样性(如邻近房屋的结构和基础形式、结构现状和重要程度;地下各种管线的种类、距离、埋深、材质和接头形式,周围道路情况及其重要性等),都使基坑工程成为风险性较大的一种工程。

我国地域广阔,土层变化大。如我国东南沿海一带除少数城市地质条件较好外,主要是海相沉积的软土地层,不少地区以淤泥及淤泥质土为主,土质松软、地下水位高、含水量饱和、土的渗透系数大、土的内摩擦角和黏聚力小、具有蠕变特性。对大城市而言,建筑物密集、地下管线众多、交通网络纵横、环境保护要求较高,给基坑工程设计和施工带来很多困难。因此,进行基坑工程的设计和施工要结合具体情况,因地制宜,不能生搬硬套,否则会带来严重后果。当前深基坑支护的工程造价、建设工期明显降低,并大幅度减少工程事故,有效解决制约我国深基坑工程建设中面临的工程造价高、建设工期长、基坑支护事故多的问题。我国在深基坑工程方面,总体水平有很大提高,基本上达到国际先进水平。

本精选集内容包括深基坑支护技术综述、土钉支护技术、锚固支护技术、复合土钉支护技术、桩挡墙支护技术、逆作法设计与施工、特大特深基坑支护、深基坑支护技术经济分析等。

本书由教授级高级工程师徐至钧主编,第 2、第 3 和第 4 章由曾宪明、张明聚、贾金青编写,第 5 章由李宪奎、李鹤等编写。参加本书编写工作的还有李青、杨瑞清、陈月

妮、付细泉、张勇、赵尧钟、全科政、易亚东、陈静、林婷等。

本选集引用了一些科研、教学和工程单位的研究成果和技术总结，在参考文献中已尽量注明出处，但难免有遗漏，在此谨向所有作者表示深深的谢意。

由于作者水平所限，书中不妥之处，尚请读者不吝指正。

2011 年 10 月
于深圳

目 录

第 1 章 深基坑支护技术综述	1
1.1 基坑支护工程的特点	2
1.2 建筑深基坑的支护类型	3
1.3 深基坑支护的变形特征及变形控制标准	4
1.4 深基坑施工的注意要点	9
1.5 深基坑支护工程技术的进步与展望	11
第 2 章 土钉支护技术	14
2.1 土钉支护概念与应用范围	14
2.2 土钉支护的工程勘察	14
2.3 土钉支护抗静载设计	15
2.3.1 一般要求	15
2.3.2 边壁(坡)土钉支护各部件参数	16
2.3.3 边壁(坡)土钉支护时的土钉设计计算	18
2.3.4 软土边壁(坡)土钉支护设计	22
2.4 土钉支护施工	26
2.5 土钉现场测试	30
2.6 土钉支护施工监测	32
2.7 工程质量检查与工程验收	33
2.8 工程维护	33
2.9 工程实例	34
【工程实例 1】 土钉支护法在文锦广场大厦基坑护壁工程中的应用	34
【工程实例 2】 土钉支护法处理深圳新世界大厦基坑边壁滑塌及险情	39
【工程实例 3】 土钉支护法处理烟台海关大楼基坑边壁滑塌断桩事故	43
【工程实例 4】 土钉支护模板墙技术(SNSFWT)在万富大厦工程中的应用	47
第 3 章 锚固支护技术	53
3.1 锚杆支护技术	53
3.1.1 锚杆分类及构造	53
3.1.2 锚杆的选择	55
3.1.3 锚杆支护设计	56
3.1.4 工程实例	69
【工程实例 1】 国贸大厦深基坑支护	69
【工程实例 2】 广州国际电子大厦深基坑支护	83

3.2	预应力锚杆(索)柔性支护技术	92
3.2.1	预应力锚杆(索)柔性支护法的基本概念	92
3.2.2	预应力锚杆柔性支护结构的设计计算	101
3.2.3	预应力锚杆(索)柔性支护法的施工步骤	113
3.2.4	工程实例	114
	【工程实例】 大连胜利广场深基坑支护工程	114
第4章	复合土钉支护技术	120
4.1	概述	120
4.2	复合土钉支护工程设计	120
4.2.1	土钉-锚索-护壁桩复合支护	120
4.2.2	注浆土钉-面层-护壁桩复合支护结构	126
4.2.3	土钉-锚索-地下连续墙复合支护结构设计	127
4.3	复合土钉支护工程施工	130
4.3.1	施工流程	130
4.3.2	基坑开挖	130
4.3.3	复合土钉支护工程检测	131
4.3.4	监测与反馈	132
4.3.5	复合土钉支护工程维护	132
4.4	工程实例	133
	【工程实例1】 北京海淀区某基坑工程	133
	【工程实例2】 北京国家建材局北沙沟10号改建工程	133
	【工程实例3】 广州某商住楼基坑支护工程	134
	【工程实例4】 深圳某大厦基坑工程	135
	【工程实例5】 上海紫都莘庄C栋楼基坑工程	136
第5章	桩挡墙支护技术	137
5.1	水泥土搅拌桩挡墙支护技术	137
5.1.1	概述	137
5.1.2	壁状水泥土搅拌桩挡墙	138
5.1.3	拱形水泥土搅拌桩挡墙的设计计算	145
5.2	水泥土搅拌法的施工与质量检验	151
5.2.1	水泥浆喷射搅拌法施工	151
5.2.2	水泥粉喷射搅拌法施工	153
5.3	水泥土搅拌桩挡墙支护工程实例	160
	【工程实例1】 水泥土搅拌桩在土钉支护结构中的应用	160
	【工程实例2】 拱壁形水泥土搅拌桩挡墙	164
	【工程实例3】 水泥搅拌桩和土钉墙在道路工程中的联合应用	168
5.4	加筋水泥土桩锚支护	170
5.4.1	加筋水泥土桩锚设计	170
5.4.2	悬臂式加筋水泥土桩锚支护	173

5.4.3	人字形加筋水泥土桩锚支护	174
5.4.4	门架式加筋水泥土桩锚支护	175
5.4.5	加筋水泥土桩锚支护形式的选择	183
5.5	加筋水泥土桩锚施工与质量检验	184
5.6	加筋水泥土桩锚支护工程实例	190
	【工程实例 1】 广州地铁 2 号线新港东站基坑围护结构	190
	【工程实例 2】 芜湖信仪玻璃厂二期深基坑工程	196
	【工程实例 3】 天津塘沽温州大厦基坑工程	204
第 6 章	逆作法设计与施工	210
6.1	概述	210
6.2	逆作法施工原理	211
6.2.1	工艺原理	211
6.2.2	施工程序	212
6.2.3	逆作法的分类	213
6.2.4	逆作方法选择	215
6.3	工程实例	216
	【工程实例 1】 上海电讯大楼地下连续墙逆作法施工	216
	【工程实例 2】 深圳赛格广场地下室全逆作法施工	223
第 7 章	特大特深基坑支护	231
7.1	工程实例	231
	【工程实例 1】 北京东方广场基坑工程支护	231
	【工程实例 2】 国家大剧院特大特深基坑支护技术	239
	【工程实例 3】 上海金茂大厦基坑工程的设计与施工	257
7.2	特大特深基坑工程的设计与施工小结	262
第 8 章	深基坑支护技术经济分析	264
8.1	概述	264
8.2	工程造价预算编制的步骤	264
8.3	水泥土搅拌桩支护工程计算实例	265
8.4	逆作法施工的经济分析（深圳赛格广场）	270
8.5	4 种支护方案的技术经济比较	271
8.6	结论与建议	273
	参考文献	274

第 1 章 深基坑支护技术综述

改革开放以来,我国高层建筑发展迅速,目前发展的趋势和特点是层数增多,高度增高,并积极参与国际高层建筑的竞争。迄今为止,我国已建成高层建筑累计超过 2.8 亿 m^2 , 高度超过 100m 的超高层建筑已超过 300 多幢,高度超过 200m 的超高层建筑已达 40 余幢。随着高层建筑的发展,伴随出现了深基础,基坑的深度主要取决于地下室层数,一般一层地下室的基坑深度大致为 $-(4\sim 6)\text{m}$; 二层地下室的基坑深度为 $-(8\sim 9)\text{m}$; 三层地下室的基坑深度为 $-(11\sim 12)\text{m}$; 四层地下室的基坑深度为 $-(14\sim 18)\text{m}$, 目前国内高层建筑最深的地下室基坑达到 31m。

深基坑的支护工程,采用何种支护方案,除了与基坑深度直接有关外,更主要的是根据地层土质的好坏采用不同的支护方案。基坑支护工程包含挡土、支护、防水、降水、挖土等许多紧密联系的环节,如其中某一环节失效,将会导致整个工程的失败。根据基坑工程事故的统计分析,事故发生率在 20 世纪 90 年代较高,在上海软土地区基坑工程事故竟占基坑总数的 $1/4$ 以上,而这些工程事故主要表现为支护结构产生较大位移、支护结构破坏、基坑塌方及大面积滑坡、基坑周围道路开裂和塌陷、与基坑相邻的地下设施变位以至于破坏,邻近的建筑物开裂甚至倒塌等。特别是珠海祖国广场,基坑支护失稳损失 2 千多万元,给国家经济和人民生命财产造成不同程度的损失。所以在城市地区进行深基坑开挖支护,是当今土木工程最为复杂的技术领域之一,它不仅要保证基坑施工过程中的土体稳定,而且要严格限制周边的地层位移以确保四周环境的安全。基坑支护工程的内容一般包括:

(1) 岩土工程勘察与工程调查。确定岩土参数与地下水参数;测定邻近建筑物、周围地下埋设物(管道、电缆、光缆等)、城市道路等工程设施的工作现状并对其承受地层位移的限值作出分析。

(2) 支护结构设计。包括挡土围护结构(如地下连续墙、柱列式灌注桩挡墙)、支撑体系(如内支撑、锚杆)以及土体加固等;支护结构的设计必须与基坑工程的施工方案紧密结合,需要考虑的主要依据有:当地经验,土体和地下水状况,四周环境安全所允许的地层变形限值,可提供的施工设施与施工场地,工期及造价等。

(3) 基坑开挖与支护的施工。包括土方工程、工程降水和工程的施工组织设计与实施。

(4) 地层位移预测与周边工程保护。地层位移既取决于土体和支护结构的性能与地下水的变化,也取决于施工工序和施工过程。如预测的变形超过允许值,应修改支护结构设计与施工方案,必要时对周边的重要工程设施采取专门的保护或加固措施。

(5) 施工现场量测与监控。根据监测的数据和信息,必要时进行反馈设计,用信息化来指导下一步的施工。

目前城市深基坑支护方法很多,而且有的方法尚在不断发

有各自的适用条件和一定的局限性。不少基坑支护实例证明, 基坑支护方案的选择直接关系到工程造价、施工进度及周围环境的安全。本章内容主要针对深基坑支护工程的特点, 对基坑支护技术的有关问题做一综述, 以便对当今深基坑支护技术的发展有一大概的认识。

1.1 基坑支护工程的特点

基坑支护工程具有许多特征, 概括起来有以下各点:

(1) 基坑支护工程是个临时工程, 设计的安全储备相对可以小些, 但又与地区性有关。不同区域地质条件其特点也不相同。基坑支护工程又是岩土工程、结构工程以及施工技术互相交叉的学科, 是多种复杂因素交互影响的系统工程, 是理论上尚待发展的综合技术学科。

(2) 由于基坑支护工程造价高, 开工数量多, 是各施工单位争夺的重点, 又由于技术复杂, 涉及范围广, 变化因素多, 事故频繁, 是建筑工程中最具有挑战性的技术上的难点, 同时也是降低工程造价, 确保工程质量的重点。

(3) 基坑支护工程正向大深度、大面积方向发展, 有的长度和宽度均超过百余米, 深度超过 20 余米。工程规模日益增大。

(4) 岩土性质千变万化, 地质埋藏条件和水文地质条件的复杂性、不均匀性, 往往造成勘察所得的数据离散性很大, 难以代表土层的总体情况, 并且精确度较低, 给基坑支护工程的设计和施工增加了难度。

(5) 在软土、高地下水位及其他复杂场地条件下开挖基坑, 很容易产生土体滑移、基坑失稳、桩体变位、坑底隆起、支挡结构严重漏水、流土以致破损等病害, 对周边建筑物、地下构筑物及管线的安全造成很大威胁。

(6) 工程实践证明, 要做好基坑支护工程, 必须包括整个开挖支护的全过程, 它包括勘察、设计、施工和监测工作等整个系列, 因而强调要精心做好每个环节的工作。

(7) 随着旧城改造的推进, 各城市的主要高层、超高层建筑大都集中在建筑密度大、人口密集、交通拥挤的狭小场地中, 基坑支护工程施工的条件均很差。邻近常有必须保护的永久性建筑和市政公用设施, 不能放坡开挖, 对基坑稳定和位移控制的要求很严。

(8) 基坑支护工程包含挡土、支护、防水、降水、挖土等许多紧密联系的环节, 其中的某一环节失效将会导致整个工程的失败。

(9) 相邻场地的基坑施工, 如打桩、降水、挖土等各项施工环节都会产生相互影响与制约, 增加事故诱发因素。

(10) 在支护工程设计中应包括支护体系选型、围护结构的承载力、变形计算、场地内外土体稳定性、降水要求、挖土要求、监测内容等, 应注意避免“工况”和计算内容之间可能出现的“漏项”, 从而导致基坑失误。在施工过程中, 尤其在软土地区中施工时, 应该认真研究合理安排好挖土的方法, 以及支撑与挖土的配合, 将会显著地减少基坑变形和基坑支护事故的发生。

(11) 基坑支护工程造价较高, 但又是临时性工程, 一般不愿投入较多资金。可是, 一旦出现事故, 处理十分困难, 造成的经济损失和社会影响往往十分严重。

(12) 基坑支护工程施工周期长, 从开挖到完成地面以下的全部隐蔽工程, 常需经历

多次降雨、周边堆载、振动、施工不当等许多不利条件，其安全度的随机性较大，事故的发生往往具有突发性。

1.2 建筑深基坑的支护类型

现代大城市的高层建筑基坑具有深、大的特点，挖深一般在 15~20m 之间，宽度与长度达 100m 以上。基坑邻近多有建筑物、道路和管线，施工场地拥挤，在环境安全上又有很高要求，所以过去对基坑支护结构的选型比较单一，基本上均采用柱列式灌注桩挡墙或地下连续墙作为围护结构，当用明挖法施工时照例采用多道支承（多道内支撑或多道背拉锚杆）。其他的支护型式如国内外广为应用的钢板桩挡墙或桩板（分离式工字钢加衬板）挡墙由于刚度较弱、易透水以及打桩振动和挤土效应对城市环境的危害，已很少用于建筑深基坑中。但是近年来兴起的土钉支护尤其是复合土钉支护，在合适的地质条件下已成为建筑深基坑的选型，而逆作法施工国内也已日趋成熟，所以本书将在第 6 章中重点介绍这种方法的设计与施工方面的经验。

深基坑支护的方法很多，其支护方法的原理和作用，以及适用范围可参见表 1-1。

深基坑支护方法一览表

表 1-1

序 号	支护方法	原理和作用	适用范围
1	钢板桩支护	钢板桩是一种施工简单、投资经济的支护方法。它由钢板桩、锚拉杆（或内支撑、锚碇结构、腰梁等）组成。由于钢板桩本身柔性较大，如支撑或锚拉系统设置不当，其变形会很大	基坑深度达 7m 以上的软土地层，基坑不宜采用钢板桩支护，除非设置多层支撑或锚拉杆
2	地下连续墙支护	用特制的挖槽机械，在泥浆护壁的情况下开挖一定深度的沟槽，然后吊放钢筋笼，浇筑混凝土。地下连续墙的形状多种多样，一般集挡土、承重、截水和防渗于一体，并兼作地下室外墙。其不足之处是要用专用设备施工，单体施工造价高	对各种地质条件及复杂的施工环境适应能力较强。施工不必放坡，不用支模，国内地下连续墙的深度已达 36m，壁厚 1m
3	排桩支护	排桩是指队列式间隔布置钢筋混凝土挖孔、钻（冲）孔灌注桩，作为主要的挡土结构，其结构形式可分为悬臂支护或单锚杆、多锚杆结构，布桩形式可分为单排或双排布置	悬臂式支护适用于开挖深度不超过 10m 的黏土层，不超过 8m 的砂性土层，以及不超过 5m 的淤泥质土层
4	加筋水泥土深层搅拌支护	利用水泥作为固化剂，采用机械搅拌，将固化剂和软土强制拌和。使固化剂和软土之间产生一系列物理化学反应而逐步硬化，形成具有整体性、水稳定性和一定强度的水泥土桩墙，作为支护结构	适用于淤泥、淤泥质土、黏土、粉质黏土、粉土、素填土等土层，基坑开挖深度不宜大于 6m。对有机质土、泥炭质土，宜通过试验确定
5	土钉墙支护	土钉是用来加固现场原位土体的细长杆件。通常采用钻孔，放入带肋钢筋并沿孔全长注浆的方法做成。它依靠与土体之间的粘结力或摩擦力，在土体发生变形时被动承受拉力作用。它由密集土钉群、被加固的土体、用喷射混凝土面层形成支护体系。由于随挖随支，能有效地保持土体强度，减少土体的扰动	适用于地下水位以上或经人工降水后的人工填土、黏性土和弱胶结砂土，开挖深度为 5~10m 的基坑支护。土钉墙不适用于含水丰富的粉细砂层、砂砾卵石层、饱和软弱土层。不适用于对变形有严格要求的基坑支护
6	锚杆或喷射锚支护	锚杆与土钉墙支护相似，将锚杆锚入稳定土体中，外端与支护结构连接用以维护基坑稳定的受拉杆件，并施加预应力。支护体喷射混凝土称喷射锚支护	锚杆可与排桩、地下连续墙、土钉墙或其他支护结构联合使用 不宜用于有机质土，液限大于 50% 的黏土层及相对密实度小于 0.3 的砂土

续表

序 号	支护方法	原理和作用	适用范围
7	拱圈支护结构	拱圈分闭合拱和非闭合拱, 拱圈形式包括圆拱、椭圆拱和二次曲线拱。这种拱圈挡土能承受水平方向的土压力, 因拱的内力以受压力为主, 弯矩很小, 能充分发挥混凝土抗压强度高的特性, 施工方便, 节省工期 (见图 1-1)	施工场地要适合拱圈布置, 构造应符合圆环受力的特点, 拱脚的稳定性应予足够重视, 并有可靠的保证措施
8	逆作法	按施工不同程序可分全逆作法、半逆作法或部分逆作法, 它以地下各层的梁板作支撑, 自上而下施工, 使挡土结构变形较小, 节省临时支护结构	适用于较深基坑, 对周边变形有严格要求的基坑。要预先做好施工组织方案, 及各结构节点的处理
9	加筋水泥土桩锚支护	这是一种有效的土体支护与加固技术, 其特点是钻孔、注浆、搅拌和加筋可一次完成	支护形式分: 悬臂式加筋水泥土桩锚支护、人字形加筋支护、门架式加筋支护、复合式支护等多种支护结构

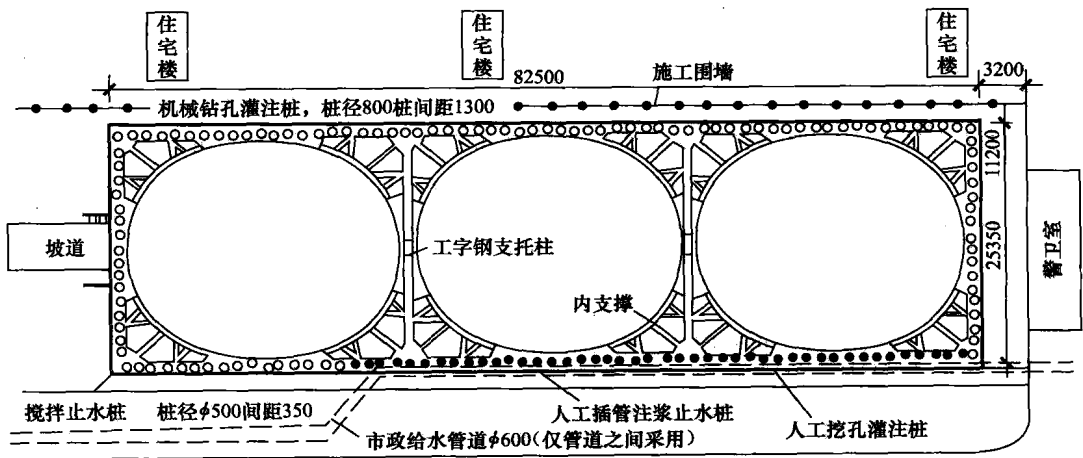


图 1-1 拱圈支撑基坑环梁支护平面布置图

1.3 深基坑支护的变形特征及变形控制标准

在城市地区进行深基坑支护工程施工, 如何控制支护和周围地层的变形是设计和施工中的难点, 支护和地层的变形问题要比其稳定性更为关键, 也更难估算和回答。支护与地层发生变形的原因是多方面的, 现简要介绍如下。

基坑开挖后造成地层的竖向沉降、不均匀沉降差以及因不均匀沉降造成的地表倾斜或相对角变位, 都会对基坑周围的建筑物或管道设施带来危害, 开挖引起的地表水平位移及土体的水平应变同样对环境安全带来危害。对一个建筑物来说, 开挖引起的不均匀沉降要比建筑物自重引起的不均匀沉降更难承受, 因为前者常伴随较大的地表水平应变。在悬臂桩墙支护及土钉支护中, 最大水平位移发生在基坑侧墙顶部, 可产生很大的地表水平应变。相对来说, 撑式支护引起的地表水平应变较小。

建筑物承受地层变形的能力与建筑物的类型、构造、平面尺寸、高度以及基础的结构形式等许多因素有关。如果不对不均匀沉降引起的结构内力进行计算分析, 所给出的结果往往会不切实际地反映地层变形的作用, 因此地层的容许变形或变形控制标准应该建立在调

查实测统计分析的基础上。框架结构通常能够承受一定的地面位移,增加房屋层数使抗剪刚度增加,因而结构物倾向于发生整体倾斜;相反如增加房屋的开间和长度,则倾向于发生相对角变位而开裂。钢筋混凝土刚性箱基或筏基上的房屋结构显然要比原土基础上建造的砖石结构房屋有高得多的抵抗不均匀沉降和水平应变的能力。

地层竖向位移造成地表不均匀沉降、地表角变位和地表倾斜及其对建筑物的影响曾有较多报导,而地层水平位移或同时在竖向和水平位移作用下所带来的危害则研究得较少。许多资料中提出的建筑物承受地表变形的能力往往只考虑竖向位移并以竖向位移造成的地表角变位或地表倾斜度作为衡量指标,如用来评价基坑开挖的影响有可能低估实际的危害程度,因为基坑开挖一般引起较大的地表水平位移,不同于建筑物自重或地下水下降引起的地层变位。

由于缺乏系统的研究,目前在基坑开挖引起地层变形的控制标准上,经常是参考地下矿井开采和房屋地基沉降等方面所提供的数据库。

据 Brauner 综述,各国煤矿部门对地下采矿引起的地表变形允许值见表 1-2。

各国煤矿部门对地下采矿引起地表变形允许值 表 1-2

序 号	国家名称	地表应变	倾斜度 (%)
1	英国	1% (长 30m 房屋)	
2	法国	1%~2% (压) 0.5% (拉)	
3	德国	0.6% (压) 0.6% (拉)	1~2
4	波兰	1.5% (压) 1.5% (拉)	2.5
5	前苏联	2% (压) 2% (拉)	4

英国国家煤炭局规定地面应变的损害等级见表 1-3,其中以结构的长度变化作为控制标准。

地面应变的损害等级 (英国国家煤炭局) 表 1-3

序 号	损害级别	结构长度改变 (cm)	典型损害情况
1	很轻微,或可忽略	<3	内部墙体、顶棚有轻微开裂,但外部裂缝不可见
2	轻微	3~6	内部轻度开裂,门窗不能关闭
3	中度	6~12	内外均轻度开裂,门窗不能关闭,给排水管道及煤气管道受损破坏
4	严重	12~18	管道破坏,墙体裂透,门窗变形,地板明显倾斜,楼板翘曲,梁支座有部分脱开
5	很严重	>18	

美国出版的基础工程设计手册综合有关资料,提出建筑物能够承受的地表沉降值用角变位 δ/L 表示,见表 1-4。美国海军装备部设计手册中概括的地面变形限值与表 1-5 所列的相同,此外对无筋承重墙提出标准见表 1-5 和图 1-2。

美国基础工程设计手册标准 表 1-4

序 号	建筑结构类别	允许角变位 δ/L
1	筏板基础 (厚约 1.2m) 上的钢筋混凝土多层刚性框架	$\frac{1}{750}$
2	带斜撑框架的危险限值	$\frac{1}{600}$

续表

序 号	建筑结构类别		允许角变位 δ/L	
3	不允许开裂的房屋安全限值		$\frac{1}{500}$ (抹灰开裂 $\frac{1}{600}$)	
4	吊车故障		$\frac{1}{300}$	
5	圆 (环形) 筏基础上的高耸结构		$\frac{1}{500}$	
6	墙板发生初裂限值		$\frac{1}{300}$	
7	高层刚性房屋倾斜, 目测可见		$\frac{1}{250}$	
8	一般房屋建筑的结构危险损害		$\frac{1}{150}$	
9	柔性砖墙的安全极限		$\frac{L}{H} > 4 \quad \frac{1}{150}$	
序 号	建构筑物类别	总沉降 (cm)	不均匀沉降	倾 斜
10	下水道可能发生不均匀沉降	15~30		
11	砌体墙结构		2.5~5cm	
12	框架结构		5~10cm	
13	烟囱, 筒仓、筏基		7.5~30cm	
14	烟囱			$0.004h$ (h —高度)
15	吊车轨道			$0.003L$ (L —距离)
16	地面排水			$0.01L \sim 0.02L$
17	高的连续砖墙		$0.0005L \sim 0.01L \left(\approx \frac{1}{300} \right)$	
18	单层砖厂房建筑 (墙体开裂)		$0.001L \sim 0.002L$	
19	抹灰开裂		$0.001L \left(\frac{1}{600} \right)$	
20	钢筋混凝土框架房屋		$0.0025L \sim 0.004L \left(\frac{1}{150} \sim \frac{1}{170} \right)$	
21	钢筋混凝土墙板房屋		$0.003L$	
22	简单钢框架		$0.005L$	

注: 1. L 为二点之间的距离, 如相邻柱距, δ 为沉降差。
2. 以上数据中, 对于较规则的沉降和承受不均匀沉降能力较高的建筑物取较高的限值, 相反情况则取较低的限值。

美国海军装备部设计手册 表 1-5

序 号	变形特征	允许变位 $\frac{\Delta_{\max}}{L}$ 或 β
1	变形下凹时, 当 $L/H < 3$ 当 $L/H > 5$	$\frac{1}{3500} \sim \frac{1}{2500}$
		$\frac{1}{2500} \sim \frac{1}{1250}$
2	变形下凸时, 当 $L/H = 13$ 当 $L/H = 5$	$\frac{1}{5000}$
		$\frac{1}{2500}$

注: L —长度; H —从基础到顶的高度。

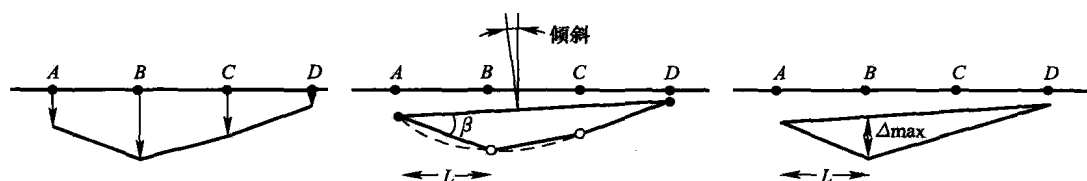


图 1-2

上海地铁总公司根据上海软土地区深基坑工程经验，提出了四个级别的基坑变形控制保护标准如表 1-6 所示。

基坑变形控制保护等级标准 表 1-6

保护等级	地面最大沉降量及围护墙水平位移控制要求	环境保护要求
特级	(1) 地面最大沉降量 $\leq 0.1\% H$ (2) 围护墙最大水平位移 $\leq 0.14\% H$ (3) $K_L^0 \geq 2.2$	离基坑 10m，周围有地铁、电缆沟、煤气管、大型压力总水管等重要建筑及设施必须确保安全
一级	(1) 地面最大沉降量 $\leq 0.2\% H$ (2) 围护墙最大水平位移量 $\leq 0.3\% H$ (3) $K_L^0 \geq 2.0$	离基坑周围 H 范围内设有重要干线、水管、大型在使用的构筑物、建筑物
二级	(1) 地面最大沉降控制在 $\leq 0.5\% H$ (2) 围护墙最大水平位移 $\leq 0.7\% H$ (3) $K_L^0 \geq 1.5$	在基坑周围 H 范围内设有较重要支线管道和一般建筑、设施
三级	(1) 地面最大沉降量 $\leq 1\% H$ (2) 围护墙最大水平位移 $\leq 1.4\% H$ (3) $K_L^0 \geq 1.2$	在基坑周围 30m 范围内设有需保护建筑设施和管线、构筑物

注： H 为基坑开挖深度，在 17m 左右； K_L^0 为抗隆起安全系数，按圆弧滑动公式算出。

中华人民共和国国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011，提出的地基变形允许值见表 1-7。

建筑物的地基变形允许值 表 1-7

变形特征	地基土类别	
	中、低压缩性土	高压缩性土
砌体承重结构基础的局部倾斜	0.002	0.003
工业与民用建筑相邻柱基的沉降差		
(1) 框架结构	0.002 <i>l</i>	0.003 <i>l</i>
(2) 砌体墙填充的边排柱	0.0007 <i>l</i>	0.001 <i>l</i>
(3) 当基础不均匀沉降时不产生附加应力的结构	0.005 <i>l</i>	0.005 <i>l</i>
单层排架结构（柱距为 16m）柱基的沉降 t (mm)	(120)	200
桥式吊车轨面的倾斜（按不调整轨道考虑）		
纵向	0.004	
横向	0.003	
多层和高层建筑的整体倾斜	$H_g \leq 24$ $24 < H_g \leq 60$ $60 < H_g \leq 100$ $H_g > 100$	0.004 0.003 0.0025 0.002

续表

变形特征	地基土类别	
	中、低压缩性土	高压缩性土
体型简单的高层建筑基础的平均沉降量 (mm)	200	
高耸结构基础的倾斜	$H_g \leq 20$	0.008
	$20 < H_g \leq 50$	0.006
	$50 < H_g \leq 100$	0.005
	$100 < H_g \leq 150$	0.004
	$150 < H_g \leq 200$	0.003
	$200 < H_g \leq 250$	0.002
高耸结构基础的沉降量 (mm)	$H_g \leq 100$	400
	$100 < H_g \leq 200$	300
	$200 < H_g \leq 250$	200

注：1. 本表数值为建筑物地基实际最终变形允许值；
2. 有括号者仅适用于中压缩性土；
3. l 为相邻柱基的中心距离 (mm)， H_g 为自室外地面起算的建筑物高度 (m)；
4. 倾斜指基础倾斜方向两端点的沉降差与其距离的比值；
5. 局部倾斜指砌体承重结构沿纵向 6~10m 内基础两点的沉降差与其距离的比值。

深圳市标准《深圳地区建筑深基坑支护技术规范》SJG05-96 提出支护结构最大水平位移允许值见表 1-8。

支护结构最大水平位移允许值 表 1-8

安全等级	支护结构最大水平位移允许值 (mm)	
	排桩、地下连续墙、土钉墙	钢板桩、深层搅拌
一级	$0.0025h$	
二级	$0.0050h$	$0.0100h$
三级	$0.0100h$	$0.0200h$

注： h —基坑深度 (mm)。

上海市地方标准《基坑工程设计规程》DBJ 08-61-97 提出各类建筑物对差异沉降的承受能力（见表 1-9 和表 1-10 的规定）确定相应的控制标准。

差异沉降和相应建筑物的反应 表 1-9

序 号	建筑结构类型	δ/L	建筑物反应
1	一般砖墙承重结构，包括有内框架的结构；建筑物长高比小于 10 有圈梁 天然地基（条形基础）	达 1/150	分隔墙及承重砖墙发生相当多的裂缝，可能发生结构破坏
2	一般钢筋混凝土框架结构	达 1/150	发生严重变形
		达 1/500	开始出现裂缝
3	高层刚性建筑（箱形基础、桩基）	达 1/250	可观察到建筑物倾斜
4	有桥式吊车的单层排架结构的厂房；天然地基或桩基	达 1/300	桥式吊车运转困难，不调整轨面水平难运行，分隔墙有裂缝
5	有斜撑的框架结构	达 1/600	处于安全极限状态
6	一般对沉降差反应敏感的机器基础	达 1/850	机器使用可能会发生困难，处于可运行的极限状态

注： L 为建筑物长度， δ 为差异沉降。

建筑物的基础倾斜允许值

表 1-10

建筑物类别		允许倾斜
多层和高层建筑基础	$H \leq 24\text{m}$	0.004
	$24\text{m} < H \leq 60\text{m}$	0.003
	$60\text{m} < H \leq 100\text{m}$	0.002
	$H > 100\text{m}$	0.0015
高耸结构基础	$H \leq 20\text{m}$	0.008
	$20\text{m} < H \leq 50\text{m}$	0.006
	$50\text{m} < H \leq 100\text{m}$	0.005
	$100\text{m} < H \leq 150\text{m}$	0.004
	$150\text{m} < H \leq 200\text{m}$	0.003
	$200\text{m} < H \leq 250\text{m}$	0.002

注：1. H 为建筑物地面以上高度。

2. 倾斜是基础倾斜方向二端点的沉降差与其距离的比值。

地下管线对沉降差的承受能力依各类管道的材料、尺寸、连接方式及新旧程度而定。采用焊接接头的钢管可以根据地基沉降曲线的曲率进行强度验算，计算时并可考虑管道与地基土的相互作用。比较困难的是承插接口、或法兰接口的管道，又有内压作用，变形后易造成渗漏，这就很难通过计算进行判断。

《高层建筑深基坑围护工程实践与分析》一书提出，上海对煤气管道的限制是沉降不超过 1cm，日本为 2cm。在实际工程中，煤气管道沉降有超过 8~10cm 的，关键还在于差异沉降值。上海地区对煤气管道沉降的限值以 2~3cm 较为现实。

《基坑工程手册》中提出煤气管道和上水管道的允许差异沉降值为 1% L (L 为每个管节长度)。

国内一些地区对基坑开挖提出的变形控制指标有用位移的绝对值表示的，如广州地区提出限制基坑围护墙顶部的最大水平位移不超过 2~3cm 或地面最大沉降不超过 2.5cm，北京地区与此类似。上海也有提出用 3cm 作为位移的计算控制值。在多数情况下，对房屋或管线构成危害的应是不均匀沉降（地表角变位）和地表水平应变等，所以深度较大的基坑应该允许有较大的总沉降和水平位移。另外，在施加预应力的多道锚撑式支护中，最大水平位移发生在下部，而围护墙顶部的水平位移往往很小，一是从支护本身的工作性能出发，不同支护有其正常的变形范围，过大的变形说明支护工作状态异常，比如悬臂支护的变形可以比撑式支护大得多；另一方面是从环境安全考虑，对不同的环境提出不同的控制要求。天津软土地区的工程实践是，对于 8m 左右深的基坑，如周围 10m 内有建筑物和管线，则要求支护结构最大位移不超过 3~5cm；如周围无建筑物，最大位移为 15~20cm。“上海地铁施工与邻近建筑物施工的环境保护要求”中提出上海软土地区通常情况下的 $\delta/H=0.5\%\sim 1\%$ ，1%为报警值，这也是指周围无重要设施而言。

1.4 深基坑施工的注意要点

鉴于深基坑施工的复杂性和多变性，要求从施工实施的每个环节做深做细，防止基坑事故的发生，重点要做好以下四个环节。

1. 岩土勘察要细要准

基坑工程的岩土勘察宜与主体建筑的地基勘察同时进行，制定勘察方案时，应结合基