

深基坑支护设计理论与技术新进展

# 逆作法设计与施工

徐至钧 赵锡宏 编著



机械工业出版社  
China Machine Press

深基坑支护设计理论与技术新进展

# 逆作法设计与施工

徐至钧 赵锡宏 编著



机械工业出版社

本书针对近年来高层建筑不断增多,深基坑支护技术发展迅速的现状,系统介绍深基坑支护设计理论与技术新进展,以及全逆作法、半逆作法、局部或部分逆作法、分层逆作法与逆作法施工程序、设计构造要点,并汇集了不同地区的30个逆作法施工的工程实例,全面介绍逆作法的技術进展。

可供建筑设计与施工部门、工程技术人员及高等学校师生及研究生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

逆作法设计与施工/徐至钧,赵锡宏编著. —北京:机械工业出版社, 2002.4

ISBN 7-111-09861-7

I. 逆... II. ①徐... ②赵... III. ①深基础—坑壁支撑—建筑设计②深基础—坑壁支撑—工程施工 IV. TU473.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第005820号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:何文军 版式设计:张世琴 责任校对:张媛

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年4月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mm B5·18.375印张·717千字

0 001—4 000册

定价:49.00元


凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

# 序

改革开放以来，我国城市建设有了快速的发展，由于高层建筑增多、地下空间的利用受到人们的重视，基础工程施工技术也相应提高。20世纪70年代后期，高层建筑高度多不超过100m，地下埋深小于10m，地下室功能主要为设备间、储藏室、泵房及人防等。基础结构以箱基为主，软土地区以桩箱为主。基坑坑壁支护设有板桩、柱列桩；采用内支撑。土质较好地区直接利用放坡方法，坡面作简单排水设施。施工程序采用自上而下的传统开挖方法。待完成基础底板后进行自下而上的施工，基础出地面后立即在基础墙外实施填土夯实作业。

20世纪90年代，人民生活水平有较大的提高，汽车工业发展很快，人们不仅要求有舒适的住宅，还要求解决行路的困难。车库就成为地下设施不可缺少的部分。在这种形势下箱形基础就被框架—柱—厚筏基础所代替，柱网扩大达8m，地下部分面积超过上层建筑投影面积一倍、二倍或更多，形成一个大底盘，在旧城改造地区，新建筑物较原有建筑埋深大，而两者距离较小，用常规方法施工极为困难，土层锚杆逐渐成为主要支撑手段，地下连续墙也相继用于某些特殊情况下地下结构的基坑支护，土层锚杆及地下连续墙的发展给后来的逆作法施工创造了条件。

逆作法施工是在大都市发展中出现的基坑支护施工工法，它的特点在于如何将拟建中的地下室结构所具有的抗水平能力、抗滑能力及竖向承载能力融合在基坑开挖施工过程中，它利用结构的板梁作挡墙的水平支撑；利用框架柱或桩将垂直荷载传至地基；它将地下连续墙当作地下室的外墙。为达到这个目的在施工程序上先做连续墙及在柱的位置做支承桩，桩的地下室底板以上部分即为将来地下室的柱。然后在挖土至第一层地下室顶板标高处进行第一层梁板楼面结构施工。使之成为刚度很大的第一道水平支撑体系。然后开挖至第二层楼面标高，浇筑第二层梁板，如此进行直至地下室底板完成。至于挖土出口可设在各层楼板适当位置。从施工顺序看，逆作法是自上而下的地下室结构施工



方法。

逆作法的优点还在于它适合各种复杂环境条件下完成多层地下室的施工。新建的北京百货大楼就是在离原有建筑基础不足1m,不影响旧楼营业条件下采用逆作法完成的。在新编的国家地基基础设计规范中也列入了逆作法设计要求。徐至钧先生、赵锡宏先生此时完成逆作法的编写无疑对推进逆作法的设计与施工有重要的意义。

逆作法用于多层地下室已有许多成功的经验,上海、广州、北京等地根据实际情况采用逆作法或半逆作法,同济大学还结合实际工程进行现场实测和理论分析,所有这些经验与我国经济及生产水平较适应,值得学习和在实践中参考,20世纪70年代我曾参观日本逆作法施工工地,它们的施工效率确实很高,那时日本钢管桩用得很多,除了地下连续墙为钢筋混凝土以外,钢结构很普遍,甚至钢筋混凝土楼板施工用的模板亦为钢折板,这就减轻了逆作法施工的难度。目前,在我国多采用钢筋混凝土结构,因此在采用逆作法施工时,应从实际出发,必要时还需进行试验研究,在具体实施过程中进行监测工作。

对于逆作法施工最应注意的是墙与梁板的联接,柱与梁板的联接,节点是地下结构的关键部位,它关系到结构体系能否协调工作,能否调节桩与墙的沉降,确保地下室功能得以实现,这是许多有经验的专家们的共同认识,在这里提供读者参考。

黄熙龄

2001年8月

---

黄熙龄——中国工程院院士原中国建筑科学研究院地基基础研究所所长

# 前 言

改革开放以来,我国高层建筑发展迅速,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1.3亿 $\text{m}^2$ ,高度超过100m的超高层建筑已超过200幢,高度超过200m的超高层建筑已达20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为六层,深度 $-26.2\text{m}$ 。

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来采用不同的支护方案。基坑支护工程包含挡土、支护、防火、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,基坑工程事故发生率较高,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、与基坑相临的地下设施(管线、电缆)移位以至于破坏,邻近的建筑物开裂甚至倒塌等。给国家经济和人民生命财产造成不同程度的损失。确保深基坑的安全与经济合理是当前一项主要研究课题。由于深基坑开挖与支护技术涉及工程地质、水文、场地环境、支护设计方案、计算参数以及施工操作等许多方面,其中的好些问题还尚在探讨之中,许多设计计算方法也仅建立在经验或半经验之上,使深基坑工程的设计与施工处于不定状态。一方面,由于工程失误造成深基坑支护结构失效事故频频发生,损失严重;另一方面,由于过分地强调安全、稳妥,以至于不考虑支护结构是一种临时结构,而按永久性结构进行设计,因此,造成的浪费也是惊人的。

随着各国城市加速建设,地上土地资源已极其有限甚至没余地,故空间资源开发的潜力主要靠挖掘地下空间。因此,一些专家预言:21世纪将是人类开发利用地下空间的新世纪。虽问题较多,但潜力很大,很值得进行研究改进。

为了节省土地、充分利用地下空间,高层建筑本身要求有一定的埋置深度,高层建筑的停车场、设备间、储藏库等也都设在地下,从而使基坑深度增加,工程量增大,工程造价提高,因此深基坑工程已成为控制工程进度、质量、经济的重要组成部分。据统计,深基础工程的造价一般为整幢高层建筑总造价的 $20\%\sim 30\%$ ,深基坑支护结构的费用约占工程总造价的 $10\%$ 左右。

深基坑支护目前国内外方法很多,而且尚在不断发 展之中,每一种支护方法都有各自的适用范围和一定的局限性。对于一个具体的深基坑支护工程,究竟采取什么样的支护方案,要做具体分析。在掌握了场地的工程地质报告以及相关调查资料后,明确支护工程的目的,选出几种可供考虑的支护工程方案,进行技术经济分析对比,最后确定一种或多种最佳深基坑支护方案。切勿在对场地土质情况不明的条件下,盲目推广采用某种支护技术或片面追求技术经济指标,结果出现支护工程事故或造成建设资金的浪费,这方面的经验和教训也是屡见不鲜。

近年来深基坑支护技术的发展尤为迅速,也出现不少新的支护方法,其中逆作法就是发展起来的一种新支护技术,它适用于较深基坑且对围护结构的水平变形有严格限制的工程。

逆作法是在地下室一层的顶板结构浇筑完成后,就可以在地下结构逐层向下施工的同时,可以自地面开始向上逐层施工上部结构,形成地面上下同时施工的局面,但在地下底板未封底并达到强度之前,地上结构允许施工的高度一定要经过计算确定。

在地下室挖掘施工中,逆作法得到了较多的应用。城市密集建筑群中的高层建筑2~4层的地下室已较多采用这种方法施工。上海和北京地铁有不少地铁车站也是采用一明二暗的逆作法施工的。它特别有利于城市密集建筑群中开发地下空间的环境保护要求。采用逆作法施工安全经济,且施工周期也较短,是开发地下空间的较好施工手段,尤其适用于大跨度的地下建筑施工。有了逆作法,开发地下空间的施工就不会有太大难题了。

随着高层建筑的发展,深基坑支护技术得到许多行业 and 部门的关注和积极参与,是一个非常活跃的技术领域,而逆作法施工又是一项新兴的基坑支护技术,并已取得了丰硕成果。高层建筑深基坑支护,过去需设计施工庞大的支护结构,工程费用高、工期长,而逆作法施工技术,可以用于施工环境比较困难,场地周围建筑物密集,对基坑变形有严格要求的工程。推广逆作法可以大大节约工程造价,缩短施工工期,是一种很有发展前途和推广价值的深基坑支护技术。

本书介绍深基坑支护设计理论与技术新进展及全逆作法、半逆作法、局部或部分逆作法、分层逆作法与逆作法施工程序、设计构造要点,并汇集了30个逆作法施工的工程实例等,全面介绍逆作法的技术进展。可供设计与施工部门、工程技术人员参考。

本书由教授级高级工程师徐至钧编写第一章、第三章至第九章,同济大学赵锡宏教授编写第二章并提供部分工程实例。在本书的编写过程中引用了各种论文、书籍及参考文献,在此谨向原作者致谢。同时还得到下列同志的支持:

本书第五章、第八章、第九章工程实例由下列第一作者李定江、李崇铭、董树恩、郝俊岭、韩日君、穆瑞刚、贾恩福、余荣生、鲁勤健、钟显奇、张维正、孔

莉莉、刘建国、黄酒华、夏继君、康忠、蒲生孝、孙晓鸣、王元湘、周松、陈忠麟、张凌、李秀舫、蔡灿柳、王汉林、黄力平、王允恭、张保良等参加了部分编写工作。

北京杨桂芹、天津张荣山、上海丁建斌、杭州谢醒悔、深圳杨瑞清、鞍山国振喜、湖南郭晰娥等也参加了工作，在此一并表示感谢。

但由于作者的水平限制，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。



# 目 录

## 序

## 前言

## 第一章 深基坑支护技术综述 ..... 1

### 第一节 基坑支护工程的特点 ... 2

### 第二节 建筑深基坑的支护类型 ..... 3

#### (一) 钢板桩支护 ..... 3

#### (二) 地下连续墙 ..... 4

#### (三) 柱列式灌注桩排桩支护 ..... 5

#### (四) 内支撑和锚杆 ..... 6

#### (五) 土钉墙支护 ..... 9

#### (六) 深基坑工程的逆作法施工 ..... 11

### 第三节 支护与地层的变形特征 ..... 15

#### (一) 支护与地层发生变形的原因 ... 16

#### (二) 支护与地层的变形特征 ..... 18

#### (三) 锚杆桩、墙支护 ..... 29

#### (四) 土钉支护 ..... 30

### 第四节 变形控制与预测 ..... 36

#### (一) 减少变形的主要措施 ..... 37

#### (二) 变形预测 ..... 48

#### (三) 基坑变形对环境安全的影响及变形控制标准 ..... 49

### 第五节 基坑稳定性 ..... 55

#### (一) 坑底隆起失稳 ..... 56

#### (二) 边坡稳定 ..... 58

#### (三) 坑底被动压力区踢脚失稳(局部失稳) ..... 59

#### (四) 坑底管涌失稳 ..... 59

#### (五) 支护结构的整体稳定性验算 ..... 60

#### (六) 空间作用对边坡稳定的影响 ..... 61

### 第六节 支护挡墙的侧向土压

力 ..... 61

(一) 主动土压力、被动土压力和静止土压力 ..... 61

(二) 地下水作用时的侧向土压力 ..... 65

### 第七节 土的强度参数取值与试验方法 ..... 70

(一) 土体的抗剪强度 ..... 70

(二) 抗剪强度指标的测定方法 ..... 71

(三) 建筑地基基础设计规范(GB50007—2001)公布的抗剪强度指标 $C$ 、 $\varphi$ 标准值试验统计分析的统一规定 ..... 72

(四) 土的原位测试强度与室内试验对比的问题 ..... 73

### 第八节 支护结构的设计计算 ..... 74

(一) 基坑安全等级的划分 ..... 74

(二) 极限状态下基坑支护结构的稳定性验算 ..... 75

(三) 节点设计 ..... 76

(四) 《建筑地基基础设计规范》对基坑工程的要求 ..... 77

### 第九节 现场监测与周边工程的环境保护 ..... 92

(一) 现场监测 ..... 92

(二) 基坑周边工程的环境保护 ..... 95

## 第二章 深基坑支护设计理论与技术新进展 ..... 97

### 第一节 概述 ..... 97

(一) 深基坑工程设计与施工的基本要求 ..... 97

(二) 基坑支护工程的特点 ..... 97

(三) 支护结构类型方案的选择 .....	98	析 .....	169
(四) 本章的基本内容 .....	99	(一) 上海某大厦基坑工程事故 ..	169
第二节 土压力 .....	101	(二) 广东某广场基坑工程事故 .....	170
(一) 土压力的现场实测 .....	101	(三) 海南某小区裙房地下室上	
(二) 土压力的室内试验 .....	103	浮事故 .....	171
(三) 事故的分析 .....	104	(四) 失败的教训 .....	172
(四) 土压力参数的选择 .....	106	第九节 共同作用理论在逆	
(五) 土压力的计算方法 .....	107	作法设计与施工中	
第三节 支撑体系和轴力 .....	109	的应用 .....	172
(一) 支撑的种类和特点 .....	110	(一) 逆作法施工及其特点 .....	173
(二) 支撑的形式和应用 .....	110	(二) 共同作用理论在逆作法设计	
(三) 支撑轴力 .....	113	与施工中的应用 .....	178
第四节 基坑稳定性 .....	117	(三) 逆作法施工共同作用的沉	
(一) 各向异性条件下软土深基坑		降特性 .....	180
的稳定性 .....	118	(四) 逆作法施工的实例分析 .....	183
(二) 深基坑的纵向稳定性 .....	125	第三章 深基坑支护逆作法 .....	197
第五节 非线性空间基坑支护		第一节 概述 .....	197
工程计算理论、方法		(一) 历史回顾 .....	197
及其应用 .....	126	(二) 技术特点 .....	201
(一) 非线性空间基坑支护工程计		(三) 新的动向 .....	203
算理论和方法 .....	126	(四) 前景展望 .....	205
(二) 超明星 (SUPER-STAR)		第二节 逆作法施工原理与	
软件的功能 .....	130	施工程序 .....	207
(三) 工程计算实例 .....	131	第三节 逆作法的分类 .....	209
第六节 特深特大基坑工程		第四节 各种逆作法的施工	
实践 .....	146	步骤 .....	210
(一) 金茂大厦 .....	147	(一) 全逆作法 .....	212
(二) 恒隆广场 .....	152	(二) 半逆作法 .....	212
(三) 特深特大基坑工程的设计		(三) 部分逆作法 .....	213
思想 .....	159	(四) 分层逆作法 .....	213
第七节 信息化施工 .....	161	第五节 逆作方法选择 .....	215
(一) 墙体和墙后位移的预测 .....	162	第四章 逆作法设计原则与技术	
(二) 支撑轴力的修正和预测 .....	167	要求 .....	217
(三) 墙前和墙后土压力的预测 ..	168	第一节 基本规定 .....	217
(四) 监测、预测、计算和判断		第二节 土压力和水土压力	
的综合 .....	168	计算 .....	221
第八节 基坑工程事故的分		(一) 静止土压力 .....	222

(二) 主动与被动土压力 .....	224	(一) 土方外运 .....	269
(三) 地下水对土压力的影响 .....	225	(二) 垂直运输孔洞的留设 .....	269
(四) 水土分算的土压力和水压力 .....	225	(三) 坑内降水 .....	270
(五) 水土合算的土压力和水压力 .....	226	(四) 地下通风、用电和照明措施 .....	270
<b>第三节 地下支护结构的设计</b> .....	227	<b>第六节 地下室结构浇筑</b> .....	271
(一) 桩墙支护结构设计 .....	227	(一) 利用土模浇筑梁板 .....	271
(二) 土钉墙支护结构设计 .....	231	(二) 利用支模方式浇筑梁板 .....	272
<b>第四节 中间支承柱设计</b> .....	238	(三) 墙梁、柱梁的节点施工 .....	273
(一) 中间支承柱的结构型式 .....	239	(四) 柱桩与底板连接 .....	273
(二) 设计计算 .....	240	(五) 其他 .....	274
<b>第五节 节点构造设计</b> .....	245	<b>第七节 逆作法施工中改进与</b>	
(一) 地下连续墙接头 .....	246	完善的几项技术	276
(二) 地下连续墙与梁节点连接 .....	247	<b>第八节 上海市高层建筑多层</b>	
(三) 墙与底板连接节点 .....	249	地下室结构逆作法施	
(四) 中间支承柱与梁连接节点 .....	250	工工法 (YJGF02	
<b>第六节 底板设计</b> .....	252	—96) .....	279
<b>第五章 逆作法施工技术</b> .....	257	(一) “逆作法”工法的特点 .....	279
<b>第一节 地下连续墙</b> .....	257	(二) 工艺原理 .....	279
(一) 构造连接 .....	257	(三) 适用范围 .....	279
(二) 地下连续墙的总质量		(四) 施工工艺 .....	279
控制 .....	258	(五) 质量标准 .....	281
<b>第二节 土钉墙施工</b> .....	258	(六) 机械设备 .....	283
(一) 土方开挖 .....	259	(七) 施工安全 .....	283
(二) 土钉设置 .....	259	(八) 工程实例及效益分析 .....	283
(三) 排水系统 .....	261	<b>第九节 广州市地下室逆作法</b>	
(四) 喷混凝土面层 .....	261	施工工法 (YJGF07	
<b>第三节 中间支承柱施工</b> .....	262	—98) .....	283
(一) 立柱桩支持上部荷载方式 .....	262	(一) 特点 .....	283
(二) 中柱采用钻孔桩施工 .....	263	(二) 适用范围 .....	284
(三) 中柱采用套管式灌注桩 .....	265	(三) 工艺原理 .....	284
(四) 支柱桩正确定位 .....	266	(四) 施工要点 .....	284
<b>第四节 沉降差控制</b> .....	266	(五) 工艺流程 .....	286
(一) 基坑开挖对立柱桩竖向位移		(六) 主要机具设备 .....	286
的影响 .....	266	(七) 劳动组织 .....	286
(二) 立柱桩沉降差异控制 .....	268	(八) 质量要求 .....	286
<b>第五节 逆作法施工中的挖</b>		(九) 安全措施 .....	288
土技术 .....	269	(十) 经济分析 .....	288

(十一) 工程实例 .....	288	(四) 湿作业成孔灌注桩的常见 问题及其处理 .....	337
<b>第六章 基坑工程现场监测</b> .....	289	(五) 土方开挖阶段的应急措施 .....	338
<b>第一节 一般规定</b> .....	289	<b>第四节 逆作法施工安全措施</b> .....	345
(一) 监测内容 .....	290	(一) 安全管理在工程施工中的 重要性 .....	345
(二) 监测方法 .....	291	(二) 安全措施的十大禁令 .....	346
<b>第二节 建筑地基基础设计规         范(GB50007—2001)         对检验与监测的规         定</b> .....	293	(三) 逆作法施工安全措施 .....	347
(一) 检验项目 .....	293	<b>第八章 逆作法工程实例</b> .....	349
(二) 监测内容 .....	294	<b>第一节 引言</b> .....	349
<b>第三节 工程观测与设备</b> .....	295	<b>第二节 逆作法工程实例</b> .....	351
(一) 引言 .....	295	(一) 逆作法施工工艺在北京王 府井大厦工程中的应用 .....	351
(二) 观测设备 .....	296	(二) 银丰花园深基础工程逆作 施工工艺 .....	357
<b>第四节 信息化管理</b> .....	315	(三) 九川大厦地下连续墙逆作 法的设计与施工 .....	365
(一) 监测与预报是信息化管 理的重要手段 .....	315	(四) 天津百货大楼软土地区深 基坑地下连续墙多层锚杆 支护正逆作结合施工体系 研究与应用 .....	376
(二) 信息化管理系统的设计 原则 .....	315	(五) 天津华联商厦二期工程全 机械挖土半逆作施工技术 的应用 .....	381
(三) 基坑工程险情预报 .....	316	(六) 石家庄火车站站前地下工 程逆作法施工技术措施 .....	386
(四) 工程观测成果的分析与 评价 .....	317	(七) 杭州香港服装店地下室逆 作法施工 .....	394
(五) 深基坑施工信息化管理 实例 .....	317	(八) 上海特种基础工程研究所 办公楼逆作法施工 .....	407
<b>第七章 环境保护及安全</b> .....	325	(九) 上海电讯大楼地下连续墙 逆作法施工 .....	413
<b>第一节 基坑工程施工对周         围环境的影响</b> .....	325	(十) 凯悦大酒店软土地基中三 层地下室逆作法施工动态 监测 .....	420
<b>第二节 基坑工程施工对环         境的保护措施</b> .....	329	(十一) 恒积大厦高层建筑多层 地下室逆作法施工 .....	427
<b>第三节 环境保护的应急措         施</b> .....	332	(十二) 世界金龙大厦三层半地	
(一) 基坑施工中异常情况的处 理措施 .....	332		
(二) 地下连续墙施工常见问题 处理 .....	334		
(三) 干作业成孔灌注桩的常见 问题及其处理方法 .....	336		

下室逆作法结构设计、  
施工与监测 ..... 435

(十三) 金源大厦地下室的逆作  
法施工 ..... 449

(十四) 新中国大厦地下室逆作  
法施工技术 ..... 455

(十五) 逆作法在饮食公司站前  
宾馆深基坑开挖工程中  
的应用 ..... 466

(十六) 明天广场逆作法施工实  
测土压力的分布及其对  
地下连续墙的影响 ..... 470

(十七) 百汇广场深基坑地下室  
盖挖逆作法施工技术 ..... 473

(十八) 城市规划展示馆一柱一  
桩逆作法施工 ..... 478

(十九) 庐山大厦半逆作法施工  
技术 ..... 485

(二十) 一德路中心市场地下室  
半逆作法施工技术 ..... 489

(二十一) 国际金融大厦逆作法  
施工 ..... 494

(二十二) 九州大厦地下室逆作  
法施工 ..... 496

(二十三) 上海城一期工程先主  
体、后拆撑的逆作法

施工实践 ..... 499

(二十四) 上海地铁车站深基坑  
逆作法工程实践 ..... 502

(二十五) 北京地铁车站盖挖逆  
作设计与施工 ..... 526

(二十六) 解放路百货商城深基  
坑支护结构设计与施  
工 ..... 537

(二十七) 西南农贸批发市场综  
合楼逆作法施工 ..... 546

(二十八) 深圳赛格广场地下室  
全逆作法设计与施工 ... 549

(二十九) 上海高层建筑多层地  
下室逆作法施工技术 ... 555

(三十) 温莎广场深基坑半逆  
作法施工技术 ..... 561

**第九章 深基坑支护技术经济**

**分析** ..... 566

第一节 引言 ..... 566

第二节 主要支护方法特点 ... 566

第三节 技术比较 ..... 569

第四节 技术经济对比 ..... 569

第五节 结论与建议 ..... 571

**参考文献** ..... 572

# 第一章 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 1.3 亿  $\text{m}^2$ ，高度超过 100m 的超高层建筑已超过 200 幢，高度超过 200m 的超高层建筑已达 20 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为六层，深度  $-26.2\text{m}$ 。

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，事故发生率较高，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。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（如连续墙、柱列式灌注桩挡墙）、支承体系（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 展之中,每一种基坑支护都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,当今最新出版的我国建筑地基基础设计规范(GB50007—2001)专门列出第9章基坑工程,另外冶金部与不少省市的地方性基坑工程的技术规范与规程也均已相继出版和执行,这些资料均可作为基坑工程设计与施工的重要依据和参考资料。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作一般性的综述,以便使工程技术界对了解当今深基坑支护技术的发展作一概要性的认识。

## 第一节 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造型、围护结构的强度、变形计算、场内外土体稳定性、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得发生。

(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、施工失当等许多不利条件,其安全度的随机性较大,事故的发生往往具有突发性。

## 第二节 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。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这类很深的基坑中。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有望成为建筑深基坑的选型,而逆作法施工国内也已日趋成熟,所以本书将在以后的章节中重点介绍这种方法的设计与施工方面的经验。

### (一) 钢板桩支护

钢板桩应用于建筑深基坑的支护。全国各地虽然应用并不普遍,但它不失为一种施工简单、投资经济的支护方法,在上海软土地区过去应用较多,但由于



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，因此对基坑支护深度达 7m 以上软土地层，基坑支护不宜采用钢板桩支护，除非设置多层支撑或锚拉杆。但应考虑到地下室施工结束后钢板桩拔除时对周围地基土和地表土变形的影响。

## （二）地下连续墙

地下连续墙在欧美国家称为“混凝土地下墙”或“泥浆墙”，在日本称之为“地下连续壁”或“连续地中壁”，它是在泥浆护壁的条件下分槽段构筑的钢筋混凝土墙体，地下连续墙最早于 1950 年开始应用于巴黎和米兰市的地下建筑工程，我国在 20 世纪 60 年代初开始应用于水坝的防渗墙。后来国内将地下连续墙用于城市深基坑的围护结构最早是广州（1980 年白天鹅宾馆，1982 年花园酒家），现在各地已用得比较普遍，较著名的工程实例有：北京王府井宾馆和京广中心，坑深均为 16m，墙厚 0.6m，墙深分别为 20m 和 23.5m；上海电信大楼，坑深 12.6m，墙厚 0.6m，墙深 17.5m；新上海国际大厦，坑深 13.4~15m，墙厚 0.8m，墙深 26m；浦东金茂大厦，坑深 15m，墙厚 1m，墙深 36m；天津鸿吉商贸中心大厦，坑深 15.5m，墙厚 0.8m，墙深 30m。地下连续墙的施工深度国内已有超过 80m，厚度达 1.4m 的。

由于地下连续墙具有整体刚度大和防渗性能好，适用于地下水位以下的软粘土和砂土多种地层条件和复杂的施工环境，尤其是基坑底面以下有深层软土需将墙体插入很深的情况。因此，在国内外的地下工程中得到了广泛应用。并且随着技术的发展和施工方法及机械的改进，地下连续墙发展到既是基坑施工时的挡土围护结构，又可作为拟建主体结构的侧墙（此时在墙体内侧宜加筑钢筋混凝土衬套）。如支撑得当，且配合正确的施工方法和措施，地下连续墙可较好地控制软土地层的变形。

上海地区的高层建筑与地铁车站等大型基坑的挡土结构基本上都用地下连续墙。比如上海最大的地铁车站徐家汇站，坑深 17~19m，宽 22m，全长超过 600m，采用厚 0.8m 连续墙，插入坑底以下  $0.9h$ （ $h$  为基坑深度），设 5 道钢管支撑，基坑内设深井真空降水，墙体最大水平位移  $\delta_h$  为 15cm 左右，相当于  $0.8\%h$ ；国内最大的高层建筑上海浦东金茂大厦，实际监测位移速率 0.95mm/天，其支撑轴力最大值为 10379kN。

连续墙在坚硬土体中开挖成槽会有较大困难，尤其是遇到岩层需要特殊的成槽机具。广州有些地区的下卧风化岩层甚浅，这时采用连续墙既难实施也无必要。连续墙施工需有大型专用机械，施工费用的成本较高且造成泥浆污染施工现场。地下连续墙作为主体结构侧墙时在与顶板底板和衬套之间的连接与防水等问题上也比较复杂。但在深厚软土等不良地层中施工，一般都是选择地下连续墙这种方案进行基坑支护。