



# 建筑业 10项新技术及其应用

---

- 顾问 金德钧
- 主编 吴之乃 王有为 吴慧娟

中国建筑工业出版社

# 建筑业 10 项新技术及其应用

顾问 金德钧

主编 吴之乃 王有为 吴慧娟

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

建筑业 10 项新技术及其应用 / 吴之乃, 王有为, 吴慧娟主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2001  
ISBN 7-112-04818-4

I. 建… I. ①吴…②王…③吴… III. 建筑工程—新技术应用—简介 IV. TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 067048 号

本书是根据建设部“关于建筑业进一步推广应用 10 项新技术的通知”要求组织编写的。内容包括: 深基坑支护技术; 高强高性能混凝土技术; 高效钢筋和预应力混凝土技术; 粗直径钢筋连接技术; 新型模板与脚手架应用技术; 建筑节能和新型墙体应用技术; 新型建筑防水和塑料管应用技术; 建筑钢结构新技术; 大型设备与构件整体提升技术; 企业的计算机及管理技术等。这些新技术均为多年的科研成果, 在全国示范工程中应用, 并取得了明显的社会效益和经济效益, 值得大力推广应用。本书可供建筑施工技术人员、建筑工程设计人员、科研人员以及建筑工程管理人员等学习使用。

\* \* \*

责任编辑: 沈元勤 吉万旺

### 建筑业 10 项新技术及其应用

顾问 金德钧

主编 吴之乃 王有为 吴慧娟

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市彩桥印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 27 $\frac{1}{4}$  字数: 659 千字

2001 年 10 月第一版 2001 年 10 月第一次印刷

印数: 1—3,500 册 定价: 42.00 元

ISBN 7-112-04818-4

TU·4277(10296)

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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

# 《建筑业 10 项新技术及其应用》

## 编委会名单

顾问：金德钧

主编：吴之乃 王有为 吴慧娟

编委：曾宪新 崔建友 刘永颐 戎君明 糜嘉平 曹乃明  
刘 行 张 雁 周国钧 冯大斌 顾万黎 段 恺  
徐晨辉 孟小平 侯兆欣 赵基达 吴小莎

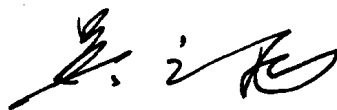
# 前 言

建筑施工技术是一门综合性的应用技术。多年来，全国的建筑施工企业围绕建筑产品，在开发应用新技术、新工艺、新材料、新机具等方面，不断地进行着探索和实践，在提高工程质量、降低能耗和材料消耗、缩短工期等方面都获得了明显的成效。为了促进建筑技术的发展，建设部早在1994年就从建筑业中量大面广、技术比较成熟的新技术中，选出了“预拌混凝土”、“粗钢筋连接”等10项新技术进行重点推广。几年来，10项新技术在全国新技术示范工程中，产生了可喜的综合效益，推广应用工作日益深得人心。

建筑施工技术随着建设工程的发展，技术内容不断更新。为适应新形势的需要，1998年建设部对原来的10项新技术做了修改和调整，增加了“深基坑支护”、“钢结构”、“大型构件和设备整体安装”等技术，较为全面地涵盖了建筑技术中的43个技术子项。为了进一步推动新技术的推广应用，带动建筑行业快步走上依靠科技进步来提高工程质量和综合效益的道路，我们组织有关专家编写了这本《建筑业10项新技术及其应用》。本书对推广应用的10项新技术，在发展概况、使用范围、工艺与技术关键、使用机具、工程应用、综合效益和发展前景等方面做了全面的叙述，具有很强的可操作性。广大建筑工程技术人员可从中掌握要领并正确应用，从而使这些新技术成果迅速转化为生产力，创造更多的经济效益和社会效益。

建筑施工技术的创新主体是广大的建筑企业。为了增强技术开发、推广和应用能力，建筑企业要进一步认识技术创新工作的重大意义，加强领导，制定规划；加强技术基础设施建设，充实必要的检测手段；强化科学管理，建立和健全必要的管理制度和激励机制；充分调动工程技术人员的创新精神和参与技术改进活动的积极性，真正承担起为建筑行业的发展提供技术支撑的职责，推进建筑技术进步。

建筑施工新技术的推广和应用，涉及工程建筑和社会生活的很多方面，是一项系统工程，需要工程建设、科研、设计、施工等单位以及各相关协会、学会、中介组织的协同配合，共同努力，才能取得更广泛和更大的成效。科学技术是人类劳动和智慧的结晶，人类之所以能成为自然界的巨人，正是由于人类认识了必然而获得了自由。我们相信，广大的建筑工程技术人员在社会各界的有力支持下，一定能充分发挥主观能动性和创造性，努力掌握先进的科学技术，更自觉地在更大的深度和广度上应用各项新技术。从而，不断提高持续创新的能力，实现建筑技术的跨越式发展。



2001年10月12日

# 目 录

<b>第一章 深基坑支护技术</b> .....	1
一、基坑支护技术的发展概况 .....	1
二、基坑支护技术的基本内容 .....	3
(一) 基坑支护结构的基本型式 .....	3
(二) 基坑支护工程的特点 .....	5
(三) 应掌握的基本技术资料 .....	6
(四) 几种常见的支护结构破坏形式和设计控制条件 .....	9
(五) 基坑开挖施工应重视的问题 .....	10
(六) 开挖监控 .....	11
三、桩墙—锚杆支护技术要点及工程应用 .....	13
(一) 桩墙—锚杆支护结构的特点 .....	13
(二) 适用范围 .....	14
(三) 应注意的主要问题 .....	14
(四) 工程应用实例 .....	17
四、桩墙—内支撑支护技术要点及工程应用 .....	24
(一) 桩墙—内支撑支护结构的特点 .....	24
(二) 适用范围 .....	24
(三) 应注意的主要问题 .....	25
(四) 工程应用实例 .....	26
五、土钉墙支护技术要点及工程应用 .....	35
(一) 土钉墙支护结构的特点及适用范围 .....	35
(二) 土钉墙的工作机理及有关技术问题 .....	36
(三) 工程应用实例 .....	37
六、水泥石组合挡墙支护技术及工程应用 .....	39
(一) 水泥石组合挡墙支护结构的特点及适用范围 .....	39
(二) 工程应用实例 .....	40
七、逆作拱墙支护技术及工程应用 .....	41
(一) 逆作拱墙支护结构的特点及适用范围 .....	41
(二) 逆作拱墙设计施工一般规定 .....	41
(三) 工程应用实例 .....	42
<b>第二章 高强高性能混凝土</b> .....	46
一、国内外研究开发概况 .....	46
(一) 概论 .....	46
(二) 研究开发概况 .....	46
二、高性能混凝土的组成和结构特征 .....	47
(一) 混凝土材料的结构特征 .....	48
(二) 高性能混凝土材料的结构特征 .....	49
三、技术内容 .....	50
(一) 高性能混凝土原材料 .....	50
(二) 高性能混凝土拌和物配合比设计 .....	55
(三) 高性能混凝土的性能及其评价 .....	64
(四) 高性能混凝土生产、施工的质量控制和验收 .....	70
(五) 工程应用实例 .....	70
<b>第三章 高效钢筋和预应力混凝土技术</b> .....	81
第一节 高效钢筋 .....	81

一、冷轧带肋钢筋应用技术	81
(一) 冷轧带肋钢筋国内外发展概况	81
(二) 冷轧带肋钢筋的技术要求	82
(三) 冷轧带肋钢筋的优点	84
(四) 冷轧带肋钢筋的试验研究	85
(五) 结构构件设计	90
(六) 施工工艺	95
(七) 冷轧带肋钢筋的工程应用	97
二、钢筋焊接网的开发与应用	99
(一) 钢筋焊接网国内外发展概况	99
(二) 钢筋焊接网的特点	101
(三) 钢筋焊接网的技术规定	102
(四) 钢筋焊接网的工程应用	102
(五) 钢筋焊接网应用前景展望	103
第二节 预应力混凝土技术	103
一、有粘结预应力混凝土技术	103
(一) 国内外发展应用概况	103
(二) 技术特点及适用范围	104
(三) 主要技术内容	104
(四) 社会经济效益	116
(五) 工程应用实例	116
二、无粘结预应力混凝土技术	117
(一) 国内外发展应用概况	117
(二) 技术特点及适用范围	117
(三) 主要技术内容	118
(四) 效益分析	124
(五) 工程应用实例	124
第四章 粗直径钢筋连接技术	126
一、前言	126
二、钢筋的机械连接技术	126
(一) 发展概况	126
(二) 《钢筋机械连接通用技术规程》局部修订的主	

要内容介绍	127
(三) 带肋钢筋套筒挤压连接	128
(四) 钢筋锥螺纹连接	131
(五) 镦粗直螺纹钢筋连接	133
(六) 其他钢筋机械连接技术	137
三、钢筋焊接技术	138
(一) 钢筋闪光对焊	138
(二) 钢筋电弧焊	139
(三) 钢筋电渣压力焊	140
(四) 钢筋气压焊	142
(五) 焊工培训考试和质量保证体系	144
第五章 新型模板与脚手架应用技术	145
一、概况	145
二、国外模板和支承系统技术的发展动向	146
(一) 模板工程技术的发展	146
(二) 模板支承系统的发展	148
三、我国新型模板的发展动向	150
(一) 各种材料模板的研究和开发	150
(二) 新型模板的开发和推广应用	151
四、各种模板施工方法的新发展	155
(一) 台模	155
(二) 滑升模板	157
(三) 爬升模板	159
(四) 大模板	160
(五) 筒模	161
五、我国新型脚手架的发展动向	163
(一) 扣件式钢管脚手架	164
(二) 承插式脚手架	164
(三) 门式脚手架	168
(四) 方塔式脚手架	169
(五) 三角框塔式脚手架	169
(六) 附着式升降脚手架	170
(七) 早拆支撑体系	172
(八) 钢管脚手架宜采用低合	

金钢管 .....	173	(二) 传热速度 .....	187
六、新型模板、脚手架在重点和 示范工程中的推广应用 .....	174	七、建筑物围护结构节能技术 .....	187
(一) 重点工程应用情况 .....	174	(一) 墙外保温墙体施工 .....	187
(二) 示范工程应用实例 .....	174	(二) 夹心保温墙体施工 .....	194
七、存在的主要问题 .....	178	(三) 保温屋面施工 .....	195
(一) 标准的制订和颁发严重 滞后 .....	178	八、节能门窗和门窗密封技术 .....	198
(二) 低劣产品大批流入现场 .....	179	(一) 门窗性能 .....	198
(三) 项目经理的短期行为 .....	179	(二) 门窗密封条 .....	199
(四) 新型模板和脚手架体系 不完善 .....	179	九、节能建筑设计中应该注意的 问题 .....	200
(五) 缺乏统一的领导和管理 .....	179	(一) 主体墙的传热系数与外 墙的平均传热系数 .....	200
第六章 建筑节能和新型墙体 应用技术 .....	181	(二) 谨慎选择节能材料 .....	201
一、前言 .....	181	十、建立建筑节能检测机构 .....	201
(一) 混凝土小型空心砌块建 筑体系 .....	181	(一) 建立高素质的检测队伍 .....	201
(二) 框架轻墙建筑体系 .....	181	(二) 建立建筑节能检测试验 室 .....	201
(三) 外墙外保温隔热技术 .....	181	十一、建筑节能技术的研 究开发 与发展前景 .....	203
(四) 节能保温门窗和门窗密 封技术 .....	181	(一) 围护结构保温方法的研 究 .....	203
(五) 高效先进的供热制冷系 统 .....	182	(二) 门窗及密封条的研究与 开发 .....	203
二、内外建筑节能的发展状况 .....	182	(三) 采暖系统 .....	203
(一) 建筑节能的发展阶段 .....	182	(四) 建立建筑节能检测机构 .....	203
(二) 建筑节能与环境的关系 .....	182	第七章 新型建筑防水和塑料 管应用技术 .....	205
(三) 采暖系统的热效率 .....	182	第一节 建筑防水 .....	205
(四) 围护结构 .....	183	一、推广建筑防水工程新技术是 时代的要求 .....	205
(五) 节能保温门窗 .....	183	二、国内外发展形势 .....	205
三、我国建筑节能标准的发展及 现状 .....	184	三、建筑防水工程新技术的内容 .....	206
四、名词术语 .....	185	(一) 优秀的防水设计是防水 工程成功的先决条件 .....	206
五、热的基本方式 .....	186	(二) 防水工程新材料的选择 及应用 .....	209
(一) 热传导(导热) .....	186	(三) 施工是防水工程成功的 关键 .....	218
(二) 热对流 .....	186	(四) 加强对防水工程的保养	
(三) 热辐射 .....	186		
六、传热过程及速度 .....	186		
(一) 传热过程 .....	186		



维护,提高防水工程的 使用寿命 .....	224
四、推广建筑防水工程新技术的 社会效益和经济效益 .....	225
五、建筑防水新技术推广应用实 例 .....	226
第二节 塑料管应用技术 .....	240
一、塑料管概述 .....	240
(一) 主要优点与不足 .....	240
(二) 分类方法 .....	241
(三) 主要品种的特点及适用 范围 .....	241
二、国外发展概况 .....	246
(一) 欧洲地区 .....	247
(二) 北美地区 .....	251
(三) 亚洲地区 .....	254
三、国内发展概况 .....	256
(一) 1979年之前 .....	256
(二) 1979年至1994年 .....	256
(三) 1994年至1999年 .....	256
(四) 1999年以后 .....	258
四、主要品种的工程应用 .....	260
(一) 硬聚氯乙烯 (UPVC) 管 材 .....	260
(二) 聚乙烯管材 .....	264
(三) 三型聚丙烯 (PP-R) 管 材、管件 .....	275
(四) 铝塑复合管 .....	278
第八章 建筑钢结构新技术 .....	283
一、前言 .....	283
(一) 钢结构发展的历史机遇 .....	283
(二) 钢结构是一项“绿色环 保工程” .....	284
(三) 目前存在的问题及对策 .....	285
二、钢结构用高效钢材 .....	286
(一) 轧制H型钢 .....	286
(二) 冷弯型钢和压型钢板 .....	288
(三) 钢管 .....	291
(四) 高强度钢和特效钢 .....	291

(五) 建筑用彩涂钢板(彩板) .....	292
三、钢结构的连接技术 .....	295
(一) 高强度螺栓连接 .....	295
(二) 栓焊连接技术 .....	298
(三) 钢结构应用的焊接技术 .....	299
(四) 自攻螺钉连接技术 .....	300
四、轻型钢结构建筑 .....	304
(一) 主要特点 .....	304
(二) 门式钢架结构 .....	305
五、钢与混凝土组合结构 .....	306
(一) 组合楼板 .....	306
(二) 组合梁 .....	308
(三) 钢筋混凝土柱 .....	309
(四) 混合结构 .....	310
六、大跨度空间结构 .....	311
(一) 国内外应用概况 .....	311
(二) 技术内容与适用范围 .....	312
(三) 社会经济效益 .....	312
七、高层钢结构 .....	313
八、钢结构的防腐与防火技术 .....	315
(一) 钢结构的防腐 .....	315
(二) 钢结构的防火 .....	316
第九章 大型设备与构件整体 提升技术 .....	318
一、直立单桅杆整体提升桥式起 重机技术 .....	318
(一) 概况 .....	318
(二) 工艺与技术 .....	318
(三) 工程应用实例 .....	322
二、直立双桅杆滑移法吊装大型 设备技术 .....	322
(一) 概况 .....	322
(二) 工艺与技术 .....	323
(三) 工程应用实例 .....	329
三、龙门桅杆 (“A”字桅杆) 扳立设备(构架)技术 .....	329
(一) 概况 .....	329
(二) 工艺与技术 .....	329
(三) 工程应用实例 .....	332

四、无锚点吊推大型设备技术 .....	333	管理技术 .....	360
(一) 概述 .....	333	一、建筑业要大力发展信息化施	
(二) 工艺与技术 .....	333	工技术 .....	360
(三) 应用实例 .....	337	二、施工管理方面的应用 .....	363
五、气顶升组装大型扁平罐顶盖		(一) 工程投标报价系统软件	
技术 .....	337	的应用 .....	363
(一) 概况 .....	337	(二) 工程造价应用 .....	372
(二) 工艺与技术 .....	338	(三) 工程网络计划编制 .....	384
六、超高空斜承索吊运设备技术 ..	341	(四) 工程项目成本管理 .....	391
(一) 概况 .....	341	(五) 建筑施工企业级计算机	
(二) 工艺与技术 .....	342	管理 .....	398
七、集群千斤顶整体提升(滑移)		三、施工技术管理 .....	407
大型构件技术 .....	348	(一) 深基坑支护工程设计与	
(一) 概况 .....	348	技术管理 .....	407
(二) 工艺与技术 .....	349	(二) 钢筋混凝土模板工程	
(三) 工程实例 .....	351	应用 .....	412
第十章 企业的计算机应用及		(三) 钢结构施工详图设计 .....	420

# 第一章 深基坑支护技术

## 一、基坑支护技术的发展概况

随着国内高层建筑和市政建设的发展,基坑支护技术已成为地基基础领域的一个难点、热点问题,引起了行政技术管理部门、设计施工监理单位、建设单位及本领域众多专家学者、工程技术人员的普遍关注,并逐渐形成为地基基础的一个专门领域。

由于我国经济发展水平的特定国情,基坑支护结构作为地下结构施工期间的临时结构,一般是本着安全、经济的原则,在保证安全的前提下尽量合理节省工程投资。而在经济发达国家情况则不同,为了确保工程的安全可靠,不惜花费大量资金和建筑材料投入到临时的基坑支护工程中,工程设计安全度较高,也就造成了较大浪费。相对国外而言,国内对基坑支护计算理论、设计方法和施工技术的研究和开发要比经济发达国家更为必要,对基坑支护技术要求的难度更高,投入的精力更大。从20世纪80年代至今,国内在基坑支护技术领域取得了很大的发展,总结出了丰富的工程经验,同时在全国许多城市的基坑工程中,由于经验不足和对该技术掌握的不成熟等原因,也出现了不少的工程事故,留下了惨痛的教训,值得人们总结和引以为鉴。

在基坑支护领域国内的发展现状主要体现在以下几个方面:

### 1. 基坑支护工程的发展

基坑支护工程数量越来越多,规模越来越大。在各种地基基础学术会议和期刊杂志上发表的论文中,介绍基坑支护工程实例的文章数量很大,在全国范围内对基坑支护工程数量和规模很难进行全面统计。根据已公开发表的基坑支护工程报道,表1-1仅列出了国内几个大城市有代表性的大型基坑工程情况,可以代表目前国内基坑支护工程的水平。由于国内房地产

国内几大城市有代表性的大型基坑工程情况

表 1-1

序号	地点	工程名称	层数	基坑深度 (m)	基坑面积 (m <sup>2</sup> )	支护型式	支锚型式
1	北京	中银大厦	15	23	12000	地下连续墙	3~4层锚杆
2	北京	东方广场	20	17~23	480×190	钻孔灌注桩 H488工字钢桩	锚杆
3	上海	金茂大厦	88	15~20	约20000	地下连续墙	钢筋混凝土支撑
4	上海	恒隆广场	66	15~18	约25000	地下连续墙	钢筋混凝土及钢管支撑
5	广州	新中国大厦	43	19	100×70	地下连续墙	逆作法施工
6	广州	金汇大厦	28	19~22	66×52	地下连续墙	钢管支撑
7	深圳	贤成大厦	60	16~17	98×80	挖孔灌注桩	锚杆
8	深圳	侨光广场	49	20.4	144×90	挖孔灌注桩	锚杆

建设高潮的再次兴起和大城市地铁建设项目的开展，基坑支护工程将会获得进一步的发展。

## 2. 基坑支护技术的发展

基坑开挖支护技术由 20 世纪 70 年代以前较浅基坑常采用的放坡和钢板桩支护，到 20 世纪 80 年代广泛采用钢筋混凝土护坡桩加锚杆或内支撑方法，由于这种支护结构产生的水平变形较小，因此解决了深基坑支护的问题，有效保护了城市市区基坑垂直开挖和周边既有建筑、地下管线的安全。

地下连续墙技术在基坑支护工程中的应用，使得地下连续墙的优点得以充分发挥，既可以挡土也能够有效截止基坑周边地下水向基坑内的渗流，解决了基坑开挖造成周边地面和建筑物的下沉问题。地下连续墙同时可作为地下室结构外墙，可扩大地下空间的利用范围。

20 世纪 80 年代后期开始普遍采用的土钉墙支护技术，与护坡桩和地下连续墙相比，工程造价明显降低。土钉墙施工与基坑土方开挖同步交叉进行，施工速度较快。该技术的应用，基坑深度从早期的 8m 以内，发展到应用在 15m 以上深度的基坑，目前也有基坑深度 20m 的工程采用了土钉墙支护技术。特别是近期出现的复合土钉墙支护技术，将土钉墙与搅拌桩、旋喷桩或预应力锚杆结合起来，使得土钉墙技术在深基坑中应用及垂直土钉墙成为现实，并改善了土钉墙支护型式变形较大的缺陷。

锚杆技术自应用到基坑支护工程中以后，结合基坑支护的特点，其施工工艺也得到了很大的提高和改进。为了提高锚杆承载力，由常用的一次性注浆发展为二次、多次重复高压注浆。成孔工艺也出现了机械、水冲、爆破等扩孔方法。施工机械大量引进了国外较为先进的设备，使适用地层的范围、成孔速度、锚杆施工长度等方面的能力都有了明显提高。可拆卸锚杆工艺也在国内一些工程上开始采用，可以在锚杆使用功能完成后，将锚杆中钢筋线抽出回收，可用于解决对周边地下存在后期施工障碍的问题，并可提高锚杆的承载力。

20 世纪 80 年代初期以前，在高地下水位的地质条件下，基坑开挖与支护一般常与井点降水相结合。施工期的场地降水，会引起场地周围地下水位的下降，易造成周围房屋的下沉开裂和危及建筑物安全等严重问题，因此常造成建设方与相临建筑产权方的矛盾和纠纷。这类工程事故的发生，使人们逐渐重视对周边环境的保护，并成为基坑支护工程要解决的一个非常重要的问题。旋喷、摆喷、定喷方法的喷射注浆截水帷幕和搅拌桩截水帷幕在目前的基坑截水中常被采用，化学注浆的方法有时也被应用。

## 3. 设计计算方法和计算应用软件的发展

20 世纪 80 年代国内高层建筑发展高潮的初期，基坑支护结构的设计计算一般仍建立在土力学极限平衡的经典计算方法基础上。对桩墙结构，最具代表性的计算方法是静力平衡法和等值梁法。但经典方法不能涉及支撑或锚杆的变形刚度、支护结构嵌固段的变形、基坑在开挖过程中支护结构已产生的变形等因素，因此很难得出符合工程实际情况的支护结构的水平位移。由于基坑支护工程中岩土问题的复杂性和对变形的严格要求，经典方法已难以适应既安全又经济的原则。随着工程经验的积累和设计计算方法的完善，目前国内在工程应用中较为流行弹性杆系有限元法计算支护结构，弹性支点法作为桩墙结构内力、位移、支点力计算方法已纳入现行的建设部行业标准《建筑基坑支护技术规程》。内支撑结构计算也普遍采用了杆系有限元法。作为支护结构计算方法的更深一步研究分析和发展，考虑土与支护结构相互作用的平面、空间有限元法也在探讨之中。相对桩墙支护结构而言，土钉墙支护结构的计算方法进展较为缓慢，工程实际应用上，仍广泛采用基于极限平衡理论的计算方法。

计算机技术突飞猛进的发展给各行各业带来了一场技术革命，也为岩土工程计算理论和方法提供了发展变革的契机。以前很多用手算不能解决的繁琐复杂的计算问题，现在也可以很轻松地通过计算机解决了。特别是在 Windows 等操作系统的平台下，开发出了一些图形用户界面的基坑支护设计计算软件。这类软件运行速度快，操作简单易学，形象直观，为不同支护方案的优化比较提供了方便工具。提高了设计计算周期和减少了人为因素的计算出错率。施工图软件也将大大减轻设计人员的劳动强度和提高了其工作效率。

## 二、基坑支护技术的基本内容

### (一) 基坑支护结构的基本型式

基坑支护是保证地下结构施工及基坑周边环境的安全，对基坑侧壁采取的支挡、加固与保护措施。随着支护技术在安全、经济、工期等方面要求的提高和支护技术的不断发展，在实际工程中采用的支护结构型式也越来越多。为了在基坑支护工程中做到技术先进，经济合理，确保基坑边坡、基坑周边建筑物、道路和地下设施的安全，应综合场地工程地质与水文地质条件、地下室的要求、基坑开挖深度、降排水条件、周边环境和周边荷载、施工季节、支护结构使用期限等因素，因地制宜地选择合理的支护结构型式。

可应用到基坑支护工程中的常用施工方法有：各种类型的桩、地下连续墙、锚杆、钢筋混凝土和钢支撑、土钉和喷射混凝土护面、搅拌桩、旋喷桩、逆作拱墙、钢板桩、SMW 工法、土体冻结等。这些方法有的可以单独使用，也可以根据需要进行组合使用。到目前为止，在实际工程中已被采用的单独或组合型式已不下十几种。

虽然具体的支护型式很多，但按照支护结构受力特点划分可归并为以下五种基本类型(图 1-1)：

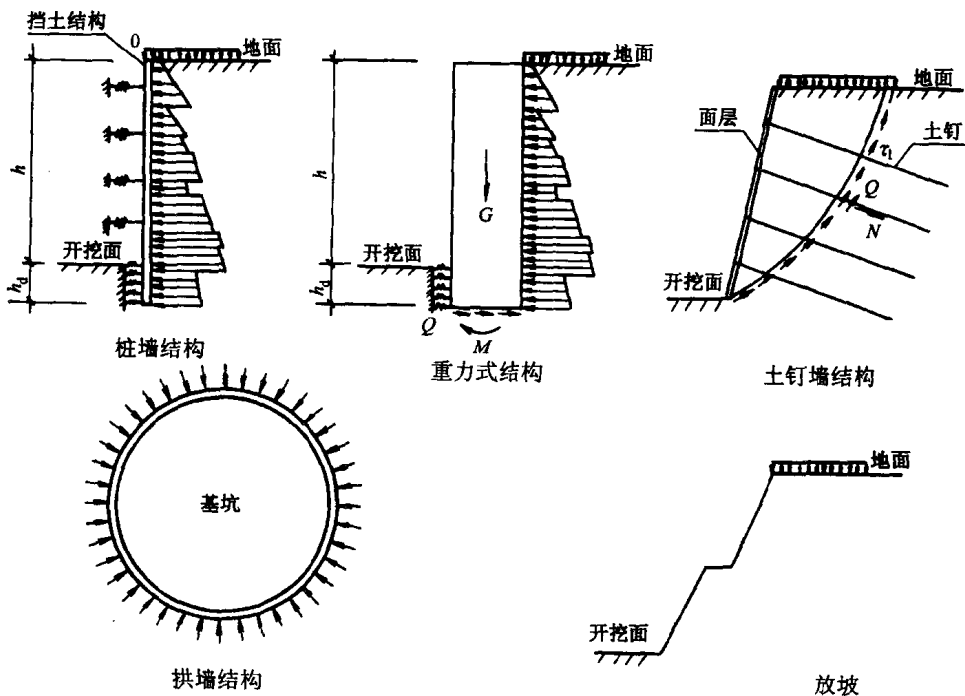


图 1-1 支护结构的五种基本类型

## 1. 桩墙结构

桩墙结构是在基坑开挖前沿基坑边缘施工成排的桩或地下连续墙，并使其底端嵌入到基坑底面以下。随着基坑的分层向下开挖，在桩墙表面设置支点，支点型式可以采用内支撑，也可以采用锚杆。在桩墙结构侧壁上土压力的作用下，桩墙结构的受力形式相当于梁板结构，内支撑可根据具体结构型式进行结构设计计算，锚杆则单独进行承载力的设计计算。这种结构不设置支点时，为悬臂梁结构，但悬臂结构只适用于基坑深度较浅同时周边环境对支护结构水平位移要求不高的情况下采用。实际工程中常采用的桩墙结构型式主要有：排桩—锚杆结构、排桩—内支撑结构、地下连续墙—锚杆结构、地下连续墙—内支撑结构等。20世纪80年代以前国内外也较流行钢板桩—锚杆结构、钢板桩—内支撑结构，但目前国内采用的较少。桩的类型包括各种工艺的钻孔桩、冲孔桩、挖孔桩或沉管桩等。当搅拌桩内插入型钢时（SMW工法），也可以纳入这种受力结构型式。

## 2. 土钉墙结构

最常用的土钉墙结构是在分层分段挖土的条件下，分层分段施做土钉和配有钢筋网的喷射混凝土面层，挖土与土钉施工交叉作业，并保证每一施工阶段基坑的稳定性。土钉的水平与竖向间距一般均在1~2m之间。其受力特点是通过斜向土钉对基坑边坡土体的加固，增加边坡的抗滑力和抗滑力矩，以满足基坑边坡稳定的要求。这类结构一般采用钻孔中内置钢筋，然后孔中注浆的土钉，坡面用配有钢筋网的喷射混凝土形成的土钉墙；也有采用打入式钢管再向钢管内注浆的土钉；也有采用土钉和预应力锚杆等结合的复合土钉墙结构。

## 3. 重力式结构

重力式结构是在基坑侧壁形成一个具有相当厚度和重量的刚性实体结构，以其重量抵抗基坑侧壁土压力，以满足该结构的抗滑移和抗倾覆要求。这类结构一般采用水泥土搅拌桩，有时也采用旋喷桩，使桩体相互搭接形成块状或格栅状等连续实体的重力结构。

## 4. 拱墙结构

拱墙结构是将基坑开挖成圆形、椭圆形等弧形平面，并沿基坑侧壁分层逆作钢筋混凝土拱墙，利用拱的作用将垂直于墙体的土压力转化为拱墙内的切向力，以充分利用墙体混凝土的抗压强度。由于墙体内力主要为压应力，因此墙体厚度可做得较薄，很多情况下不用锚杆或内支撑就可能满足承载力和稳定的要求。这种结构一般采用分层分段施工的现浇钢筋混凝土拱墙结构。

## 5. 放坡

放坡是将基坑开挖成一定坡度的人工边坡，当基坑较深时可分级放坡，并保证边坡自身能够稳定，主要验算的是边坡的圆弧滑动稳定性。一般坡体应采用某种形式的护面进行保护。当坡体存有地下水时，应在坡面设泄水孔以减少水压力对边坡的不利影响。放坡后基坑开挖范围加大，只有在周边场地许可的情况下才能采用。

上述五种支护结构的基本型式具有各自的受力特点和适用条件，应根据具体工程情况合理选用。国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120—99在第3.3节中对各种支护结构的选型做了明确的规定，提出了各种支护型式的适用条件。表1-2为该规程中支护结构的选型表：

《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120—99)中支护结构选型表

表 1-2

结构型式	适用条件
排桩或地下连续墙	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 适于基坑侧壁安全等级一、二、三级</li> <li>2. 悬臂式结构在软土地带中不宜大于 5m</li> <li>3. 当地下水位高于基坑底面时, 宜采用降水、排桩加截水帷幕或地下连续墙</li> </ol>
水泥土墙	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 基坑侧壁安全等级宜为二、三级</li> <li>2. 水泥土桩施工范围内地基土承载力不宜大于 150kPa</li> <li>3. 基坑深度不宜大于 6m</li> </ol>
土钉墙	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 基坑侧壁安全等级宜为二、三级的非软土地带</li> <li>2. 基坑深度不宜大于 12m</li> <li>3. 当地下水位高于基坑底面时, 应采取降水或截水措施</li> </ol>
逆作拱墙	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 基坑侧壁安全等级宜为二、三级</li> <li>2. 淤泥和淤泥质土地带不宜采用</li> <li>3. 拱墙轴线的矢跨比不宜小于 1/8</li> <li>4. 基坑深度不宜大于 12m</li> <li>5. 地下水位高于基坑底面时, 应采取降水或截水措施</li> </ol>
放坡	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 基坑侧壁安全等级宜为三级</li> <li>2. 施工场地应满足放坡条件</li> <li>3. 可独立或与上述其他结构结合使用</li> <li>4. 当地下水位高于坡脚时, 应采取降水措施</li> </ol>

1998 年建设部在 1994 年提出建筑业重点推广应用 10 项新技术取得明显成效的基础上, 对原有的 10 项新技术进行了修订, 以建建 [1998] 200 号文发布了《关于建筑业进一步推广应用 10 项新技术的通知》, 其中深基坑支护技术被列为重点推广应用的 10 项新技术之一。提出深基坑支护是当前建筑施工的一大难点, 必须因地制宜地推广先进的适用技术, 方可确保基坑工程安全可靠, 取得良好的技术经济效益。重点推广应用的深基坑支护适用技术主要有桩墙—内支撑支护技术、桩墙—锚杆支护技术、水泥土组合挡墙技术与 SMW 工法、土钉墙支护技术。它的贯彻实施将会对推动建筑业的技术进步产生更大影响。

## (二) 基坑支护工程的特点

基坑支护工程具有以下主要特点:

### 1. 临时性

基坑支护结构大多为临时性结构, 其作用仅是在基坑开挖和地下结构施工期间保证基坑周边既有建筑物、道路、地下管线等环境的安全和本工程地下室施工的顺利进行, 其有效使用期一般在一年左右。个别情况下支护结构也可同时兼作地下室结构的组成部分, 成为永久性结构。作为临时性结构, 容易忽视它的重要性, 认为一旦地下室建起来后支护结构就没有用了, 往往把它看做施工临时措施而不情愿投入太多资金。为了省钱宁愿在短期内冒风险, 抱有侥幸心理。可是基坑支护工程一旦出现工程事故, 处理起来十分困难, 造成的危害面一般也较大, 常会产生对第三者的侵害, 处理事故的费用和经济损失比节省下来的支护工程费用大得很多, 这方面的惨痛教训是很多的。

### 2. 技术综合性

基坑支护技术是岩土力学问题与结构力学问题的结合, 因而对从事基坑支护工程的人员的业务知识水平要求较高, 工程技术人员既要有丰富的岩土力学专业知识和经验, 又要

有一定的结构专业的知识和经验，只具备一方面知识和经验是不行的。同时，支护设计与施工方法密不可分，支护方案的选择受地域地质条件影响很大，因此需要具有相当丰富的施工经验和对当地地质情况的深入了解。

### 3. 不确定性

随着城市建设的加速发展，房屋密集度越来越高，旧城改造新建楼房也是见缝插针，也常常缺乏旧有市政地下管线、地下设施的档案资料，不易查找。而基坑支护工程又受周边建筑和地下设施的影响很大，往往这些情况在支护结构设计施工和基坑开挖前无法准确查明，有时场区内勘察钻孔也无法探明局部特殊的地质情况或不能准确反映场地周边的地质差异。这些因素给基坑支护结构方案制定和设计施工带来了很大难度和设计条件的不确定性。在基坑支护结构施工或基坑开挖过程中，有些事先不明、无法预料的周边条件和地质条件的变化会使基坑支护工程出现突发的、使人措手不及的工程事故，甚至造成灾难性后果。

由于上述这些特点，基坑支护工程在地基基础工程范围内事故频繁发生。从20世纪80年代至今，在全国各大城市的建筑工程中，每年都会有为数不少的基坑出现较严重的工程事故，给国家和单位造成了巨大的经济损失和不良的社会影响。基坑支护工程的风险极大，应引起有关部门、单位和管理技术人员的高度重视。

#### (三) 应掌握的基本技术资料

在基坑支护工程方案制定、设计和施工之前，设计、施工、监理和建设单位的有关人员都应掌握有关的技术资料；应主要了解并掌握的基本技术资料有：

- 工程地质和水文地质情况；
- 基坑周边环境情况；
- 地下室结构、基础及建筑相关要求；
- 施工条件；
- 相关技术规范、规程和当地管理部门的有关规定；
- 类似工程的调研。

#### 1. 工程地质和水文地质条件

地质勘察单位在现场勘察、室内试验和编制勘察报告工作中，除满足主体结构的勘察要求外，还应针对基坑支护工程的特殊要求进行勘察工作。

勘察范围应根据开挖深度及场地的岩土工程条件确定，除环境限制无法实施外，应在开挖边界外按开挖深度的1~2倍范围内布置勘探点，软土层的勘察范围应更大。当开挖边界外无法布置勘探点时，应通过调查取得相应地质资料。

根据基坑支护结构设计的要求，一般勘察孔深度应为基坑深度的两倍以上，遇有软土地层应穿越软土层，当地层分布均匀时，勘探点间距一般可在15~30m之间。地层变化起伏较大时，则应增密勘探点，以查明土层分布规律。

当有地下水时，应查明各含水层的性质、水位分布及各含水层的补给排泄条件和水力联系。应由试验得到各含水层的渗透系数和影响半径，分析施工过程中水位变化对支护结构和基坑周边环境的影响，并提出应采取的措施和建议。

应提供可供基坑支护和地下水控制进行各种计算验算内容所需要的岩土工程测试参数，包括各种土的常规物理力学指标、土的抗剪强度指标、渗透系数和影响半径，遇有特



殊地质条件或特殊情况应根据实际情况的要求，增加适宜的试验方法并提出所需参数。

粘聚力  $c$  和内摩擦角  $\varphi$  是决定土压力大小的主要土性指标，可通过室内三轴试验或直剪试验得到。根据试验时土样的固结和排水条件，可分为不固结不排水剪、固结不排水剪和固结排水剪三种不同的强度指标；按不同的分析方法又可分为总应力法强度指标和有效应力法强度指标。采用不同的试验强度指标计算出的土压力值有时相差很大，因此试验指标的误用会使计算土压力造成偏差，在选取这些指标时事先一定要弄清是用哪种试验方法得到的，不能随意选取，以防参数误用。《建筑基坑支护技术规程》规定一般应选择三轴试验或直剪试验确定的固结不排水指标，在一般情况下固结不排水指标和实际基坑开挖过程的固结排水条件是比较接近的，但当土的渗透系数很小或快速开挖条件下，有些学者认为采用不固结不排水指标更为合理一些。目前国内在这一问题上观点并不统一，不同观点各持己见，在学术上存在一定争议。

## 2. 基坑周边环境情况

基坑开挖、降水和支护结构位移引起的地面沉降和水平位移会对周边建筑物、道路和地下管线造成影响，周边建筑物地下室和基础、地下管线也会对支护结构施工带来影响，如锚杆或土钉成孔时遇到周边建筑物地下室、基础或地下管线时，将无法继续成孔。因此在支护方案制定和设计时，必须对周边环境进行详细调查，采用合理方案和施工措施避免支护结构与周边环境的相互影响。周边环境调查应包括以下内容：

——支护结构影响范围内建筑物的距离、结构类型、层数、基础型式和埋深、建筑物荷载和结构使用状况；

——基坑周边各类地下设施，包括电力电讯管线、燃气管线、供水管线、污水雨水管线和热力管线等的位置尺寸和使用性状；

——场地周边范围内地表水汇流、排泻情况，旧有地下水管渗漏情况等；

——基坑周边道路的距离及车辆载重情况。

## 3. 拟建工程建筑、结构和基础的相关要求

为了使支护结构满足地下室正常施工的要求，支护结构设计要考虑到建筑物地下室的情况和相关要求，做到事先发现问题并协商解决，防止在支护结构施工完后发现与主体结构之间的矛盾，造成事后处理的被动局面。设计前应考虑的主要因素有：

——基坑边缘尺寸应保证建筑物地室外墙、底板和承台边缘的尺寸及外墙模板安装空间的要求。

——基坑边缘与地室外墙距离应考虑外墙防水作法；

——支撑、锚杆和腰梁的标高应考虑与地下室各层楼板的关系，锚杆和腰梁是否拆除，拆除时间与楼层施工的关系，是否利用楼板结构作为支撑等问题；

——靠近基坑边的基础或桩基的施工是否影响支护结构的设计受力条件；

——地室内外管线接口位置的标高是否与支护结构有矛盾；

——地下室车道出入口的支护措施。

## 4. 施工条件

基坑和地下室施工条件也是影响支护结构设计施工的一个因素，主要有以下几方面问题：

——材料制作加工场地、材料堆放场地、临建、施工车辆道路和出入口的位置对基坑