

深基坑预应力锚杆柔性支护法的 理论及实践

(第二版)

贾金青 著

中国建筑工程工业出版社

本书由 大连市人民政府学术专著出版基金 资助出版
大连市城乡建设委员会

The published book is sponsored by

The Publishing Academic Works Foundation of Dalian Municipal Government
& Dalian Urban and Rural Construction Committee

深基坑预应力锚杆柔性支护法的理论及实践

(第二版)

贾金青 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

深基坑预应力锚杆柔性支护法的理论及实践/贾金青著. —2 版. —北京:
中国建筑工程出版社, 2014. 8

ISBN 978-7-112-17050-0

I. ①深… II. ①贾… III. ①预应力桩—深基坑支护—锚杆支护—研究 IV. ①TU473.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 141959 号

深基坑预应力锚杆柔性支护法的理论及实践
(第二版)

贾金青 著

*

中国建筑工程出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京永峥排版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12½ 字数: 310 千字

2014 年 7 月第二版 2014 年 7 月第二次印刷

定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-17050-0

(25235)

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)

预应力锚杆柔性支护法作为一项全新的支护技术，由于其技术先进、经济合理、安全可靠，在深基坑和边坡支护中得到了较为广泛的应用。

本书对预应力锚杆柔性支护法的基本原理作了详细的介绍。通过数值计算方法对预应力锚杆柔性支护法的受力机理进行了分析研究；分析了预应力锚杆柔性支护条件下位移场的分布规律；研究了锚杆预应力大小对基坑塑性区分布及破坏转移场的影响；确立了预应力锚杆柔性支护下不同岩土条件的破坏模式；采用理论方法对作用在喷射混凝土面层上的土压力进行了分析；分析了锚下承载结构的受力特性及变形规律；在理论研究基础上建立一套完整的设计计算方法。为了便于读者掌握该技术编写了预应力锚杆柔性支护的设计与施工指南，最后通过几项成功的工程实例帮助读者应用该项技术。

本书可供高等院校研究生、科研单位有关专业人员以及设计单位、建筑施工企业工程技术人员阅读参考。

责任编辑：王 磊 于 莉

责任设计：李志立

责任校对：姜小莲 党 蕾

再版 序

预应力锚杆柔性支护法自 1993 年用于工程以来，得到了广泛的应用，因其造价低廉、施工方便、安全可靠而深受欢迎，本书为该技术的推广和应用提供了理论和技术支撑。自本书出版后的近十年来，作者和学生涂兵雄博士、陈国周博士等对预应力锚杆柔性支护法进行了较为深入的研究，以期从理论上对其完善，特别是基坑支护中共性和热点的问题，例如关于基坑支护喷射混凝土面层侧压力计算问题，现行的计算规程给出的公式其计算值偏大，经过理论研究分析，得出的理论值仅为技术规程计算值四分之一至六分之一左右，较好地解决了困扰岩土界多年的一个技术难题。本次修订对预应力锚杆柔性支护法锚下承载结构进行系统的数值分析，基于等强度原则给出了对应于常用锚杆不同承载力相匹配的锚下结构，避免了繁冗的计算。总之本次修订期使预应力锚杆支护法的设计计算更为完善，以满足工程建设和读者的需求。

值得一提的是，本书作者提出的预应力锚杆柔性支护法，获得了辽宁省“技术发明”一等奖，本书获得了大连市“学术专著”一等奖，鉴于作者在岩土工程设计施工中所作的工作，以及解决的大量复杂的岩土工程问题，作者荣获中国建筑学会颁发的“当代中国杰出工程师”称号。

本书再版之际，时值作者毕业三十年，谨以此书献给三十年聚会的同学们。

作者于浪漫之都 大连

2014 年 7 月

第一版 序

我国的经济和城市建设快速发展，随着大量高层建筑的兴建和地下空间的开发利用，深基坑工程日益增多，基坑的开挖深度越来越深，这种趋势推动了我国深基坑支护方法、理论和施工技术的不断发展。目前已发展了多种符合我国国情的、实用的深基坑支护方法和技术，深基坑预应力锚杆柔性支护法就是其中之一。

深基坑预应力锚杆柔性支护法系作者于 1993 年提出并成功地应用于实际工程中，获得了国家发明专利，这为该技术日后的推广应用奠定了基础。深基坑预应力锚杆柔性支护作为一项安全可靠、经济合理的新支护技术，在我国的深基坑支护中得到了广泛的应用，并取得了巨大的经济效益和社会效益。

十余年来，作者潜心于深基坑支护方法和技术的研究，做了大量的科研工作与工程项目，取得了一批成果并积累了丰富的工程经验，结合博士后期间所做的工作，对深基坑预应力锚杆柔性支护法进行了较为系统的研究。本书从基本原理、设计计算方法、力学行为和破坏机理以及工程实践几方面对该项技术进行了较为详细的探讨和论述。书中反映了作者的学术见解和工程经验，是一本具有很高参考价值的技术专著。

本书的出版，我相信将会丰富深基坑支护方法、理论和工程实践，并对从事岩土工程科研、设计及施工技术人员将会有所助益。

大连理工大学教授 中国工程院院士 赵国藩

2006 年 2 月

前 言

基坑工程是一门既富理论内涵而又实践性非常强的综合性、交叉性学科，它涉及工程地质、土力学、结构设计及施工技术等诸多学科。随着高层及超高层建筑的发展和城市地下空间的利用，基坑支护工程规模越来越大，深度也越来越深，由此大大促进了基坑工程技术的进步和发展。近二十余年来，我国在基坑工程理论、设计计算方法、施工技术、监测手段等方面都有了长足的发展，出现了一些新的支护方法和技术。预应力锚杆柔性支护法就是这一特定时期发展起来的一种新的支护技术。

预应力锚杆柔性支护法最早系作者于 1993 年提出并将其用于深度达 22.2m 的大连胜利广场深基坑支护中，与传统的支护方法相比，可大大节省工程造价，缩短施工工期。1995 年将该法成功用于大连远洋大厦 25.6m 深的基坑支护中。目前使用该方法支护基坑的最大深度已达 30.0m。二十多年来，大量深基坑支护采用了该技术，使该技术得到了广泛的应用和推广，产生了巨大的经济效益和社会效益。

预应力锚杆柔性支护法是一项全新的支护技术，与传统的支护技术相比，其主要优点是：①造价低；②工期短；③施工便捷；④基坑变形小；⑤适用于超深基坑。以上优点使其成为在复杂的城市环境限制下解决深基坑支护问题的非常经济合理的方法，尤其是在超深基坑支护上具有很强的优势。

预应力锚杆柔性支护体系由支护面层、锚下承载结构、排水系统及众多的小吨位预应力系统锚杆组成，属于柔性支护体系，其支护原理是通过预应力锚杆将被加固区锚固于潜在滑移面以外的稳定岩土体中。锚杆的预应力通过锚下承载结构和支护面层传递给加固岩土体。数值计算分析表明，预应力在被加固岩土体中产生压应力区，大大减少了塑性区的范围，延缓了潜在滑移面的形成和岩土体的破坏，这种对加固区岩土体主动的约束机制，增加了基坑的稳定性；同时强大的预应力有效地控制了基坑的变形，这正是预应力锚杆柔性支护技术的生命力所在。

本书详细地介绍了预应力锚杆柔性支护法的基本理论、设计原理、施工技术和监测方法。在全面建立预应力锚杆柔性支护体系的基础上，提出并简化了作用在喷射混凝土面层上土压力的计算方法；确立了预应力锚杆柔性支护技术在不同岩土条件下的破坏模式；推导出基于条分法的预应力锚杆柔性支护稳定设计的计算公式，并建立了一套完整的设计计算方法；通过数值计算，对预应力锚杆柔性支护法的受力机理和破坏机理进行了分析研究；对锚下承载结构的受力特性及变形规律进行了分析研究；分析了预应力锚杆柔性支护条件下位移场的分布规律，研究了锚杆预应力大小对基坑塑性区分布及破坏滑移场的影响。为了便于读者掌握和应用该技术，编写了预应力锚杆柔性支护的设计与施工指南。结合作者多年的实践经验，通过具体的工程实例，全面阐述了预应力锚杆柔性支护技术，对该项技术的理论分析、经验设计提供了较详细的解释，旨在为广大读者奉献一本体系完整、内容翔实、资料

丰富、图文并茂、实用性强并具有一定理论深度的深基坑支护技术专著。

本书编写过程中，诸多博士研究生做了大量的工作，在此表示感谢。

由于预应力锚杆柔性支护法是一种新的支护技术，其理论与实践尚需深入的研究。如书中出现谬误之处，请读者鉴谅，并愿与读者共同探讨。

目 录

第 1 章 深基坑支护概述	1
1.1 基坑支护的内容和特点	1
1.1.1 基坑支护的主要内容和功能	1
1.1.2 基坑支护的主要特点	2
1.1.3 基坑支护的发展	3
1.1.4 基坑支护的信息化施工技术	3
1.2 基坑支护方法概述	4
1.2.1 悬臂式支护结构	7
1.2.2 拉锚式支护结构	7
1.2.3 内支撑支护结构	8
1.2.4 重力式支护结构	10
1.2.5 土钉支护	11
1.2.6 复合土钉支护	12
1.2.7 预应力锚杆柔性支护	13
1.3 基坑支护方法分类	14
1.3.1 按支护结构的刚度	14
1.3.2 按支护结构的受力状态	14
1.4 预应力锚杆柔性支护	15
第 2 章 预应力锚杆柔性支护法	17
2.1 研究背景	17
2.2 预应力锚杆柔性支护法	18
2.2.1 预应力锚杆柔性支护法的基本组成	18
2.2.2 预应力锚杆柔性支护法的施工步骤	19
2.3 预应力锚杆柔性支护法的特点	21
2.4 预应力锚杆柔性支护法与其他支护方法的比较	22
2.4.1 预应力锚杆柔性支护与土钉支护的比较	22
2.4.2 预应力锚杆柔性支护与拉锚式支护结构比较	24
2.5 预应力锚杆柔性支护的适用土层及应用范围	24
2.5.1 最适用于预应力锚杆柔性支护的土层	24
2.5.2 不适合用预应力锚杆柔性支护的土层	24
2.5.3 预应力锚杆柔性支护的应用范围	25
2.5.4 预应力锚杆柔性支护的局限性	25
2.6 锚杆构造及受力状态	26
2.7 支护面层	29
2.8 锚下承载结构	31

2.9 排水系统	32
2.10 小结	33
第3章 预应力锚杆柔性支护的设计计算	34
3.1 基坑支护设计计算方法综述	34
3.1.1 极限平衡法	34
3.1.2 数值计算法	35
3.1.3 工程经验法	37
3.2 预应力锚杆柔性支护设计计算内容	38
3.2.1 锚杆计算分析	38
3.2.2 面层计算分析	38
3.2.3 锚下结构计算分析	39
3.2.4 稳定计算分析	39
3.3 锚杆计算分析	39
3.3.1 作用于支护结构上的荷载	40
3.3.2 锚杆内力计算的经验方法	42
3.3.3 锚杆内力计算的反力法	42
3.3.4 锚杆承载力计算及设计	43
3.4 面层计算分析	44
3.4.1 规范面层土压力	44
3.4.2 面层土压力计算	46
3.4.3 面层土压力参数分析	49
3.4.4 简化计算方法	52
3.4.5 算例分析	53
3.5 锚下承载结构计算分析	54
3.5.1 数值模拟参数	54
3.5.2 数值分析模型	55
3.5.3 数值分析	56
3.5.4 其他组合锚下承载结构承载力	76
3.5.5 工程应用	77
3.6 稳定性计算分析	80
3.6.1 预应力锚杆支护结构的失稳模式	80
3.6.2 预应力锚杆支护结构的稳定性分析	82
3.7 小结	86
第4章 预应力锚杆柔性支护法力学行为的分析	87
4.1 概述	87
4.2 有限差分法	87
4.2.1 有限差分基本方程	88
4.2.2 平面问题有限差分方程	89
4.2.3 显式有限差分算法—时间递步法	92
4.3 计算程序与计算模型	93
4.3.1 FLAC 程序简介	93

4.3.2 本构模型	94
4.3.3 计算模型和参数	94
4.4 数值模拟结果分析	96
4.4.1 基坑位移分布	96
4.4.2 预应力锚杆轴拉力分布	97
4.4.3 预应力大小对基坑变形的影响	98
4.4.4 预应力对基坑滑移场的影响	101
4.5 小结	103
第5章 预应力锚杆柔性支护法的施工	104
5.1 施工前的准备工作	104
5.1.1 施工前调查	104
5.1.2 施工组织设计	104
5.1.3 施工前的准备工作	105
5.2 基坑开挖	105
5.2.1 基坑开挖	105
5.2.2 坡面修整	105
5.3 预应力锚杆(索)的施工	106
5.3.1 锚杆钻孔	106
5.3.2 锚杆制作安装	107
5.3.3 锚杆注浆	111
5.3.4 预应力锚杆张拉	112
5.3.5 锚杆工程质量与验收	114
5.4 喷射混凝土施工	114
5.4.1 喷射混凝土的作用	114
5.4.2 喷射混凝土的类型	115
5.4.3 喷射混凝土材料	116
5.4.4 喷射混凝土的施工	116
5.4.5 喷射混凝土的质量控制	117
5.5 锚下结构的制作安装	118
5.6 锚杆(索)的防腐	118
5.6.1 锚杆防腐蚀	118
5.6.2 锚固段的防腐蚀	120
5.6.3 自由段的防腐蚀	120
5.6.4 锚杆头部	121
第6章 预应力锚杆现场测试与施工监测	122
6.1 预应力锚杆的现场测试	122
6.1.1 破坏性试验	122
6.1.2 验收试验	124
6.1.3 蠕变试验	125
6.2 预应力锚杆的施工监测	125
6.2.1 施工监测的主要内容	125
6.2.2 施工监测的主要仪器	126

6.2.3 施工监测的方法	127
6.2.4 锚杆的长期观测	128
第7章 预应力锚杆柔性支护法工程实例	129
7.1 大连胜利广场深基坑支护	129
7.1.1 工程概况与地质条件	130
7.1.2 支护设计方案	131
7.1.3 预应力锚杆柔性支护法的施工	132
7.1.4 锚杆抗拔试验	134
7.1.5 基坑位移	137
7.1.6 工程造价分析	138
7.2 大连远洋大厦工程深基坑支护	138
7.2.1 工程概况与地质条件	138
7.2.2 支护结构方案	139
7.2.3 施工方法	141
7.2.4 基坑位移	141
7.2.5 工程造价分析	141
7.3 大连海昌名城深基坑支护	141
7.3.1 工程概况与地质条件	141
7.3.2 支护结构方案	142
7.3.3 预应力锚杆柔性支护法的施工	142
7.3.4 基坑位移	142
7.3.5 工程造价分析	143
7.4 大连新天地深基坑支护工程	143
7.4.1 工程概述	143
7.4.2 岩土地质条件	144
7.4.3 支护设计方案	145
7.4.4 施工组织设计	145
7.4.5 现场测试方案	148
7.4.6 锚杆内力测试	149
7.4.7 坑壁位移测试	150
第8章 基坑预应力锚杆支护设计与施工指南	152
8.1 总则	152
8.2 术语	152
8.3 符号	153
8.4 基本规定	154
8.5 工程调查与岩土工程勘察	155
8.6 支护体系的构造	156
8.6.1 柔性支护的构造	156
8.6.2 锚杆构造及布置原则	156
8.6.3 支护面层	156
8.6.4 锚下承载结构	157
8.6.5 防腐蚀耐久性要求	157

8.6.6 排水系统	158
8.7 计算	158
8.7.1 一般规定	158
8.7.2 锚杆设计	159
8.7.3 混凝土面层设计	159
8.7.4 锚下承载结构计算	159
8.7.5 整体稳定性分析	160
8.8 施工技术	161
8.8.1 一般规定	161
8.8.2 土石方开挖	162
8.8.3 锚杆设置	163
8.8.4 全长粘结性锚杆施工	163
8.8.5 端头锚固型锚杆施工	164
8.8.6 摩擦型锚杆施工	165
8.8.7 预应力锚杆施工	165
8.8.8 自钻式锚杆施工	166
8.8.9 面层施工	166
8.9 现场试验和施工监测	169
8.9.1 一般规定	169
8.9.2 破坏性试验	170
8.9.3 验收试验	171
8.9.4 施工监测	171
8.10 施工质量检验与工程验收	172
8.10.1 质量检验	172
8.10.2 工程验收	173
附录	175
附录1 岩土体与浆体间粘结强度推荐值	175
附录2 钢丝、钢绞线、钢筋强度标准值	177
附录3 典型基坑支护照片	178
参考文献	182
主要符号	186

第 1 章 深基坑支护概述

1.1 基坑支护的内容和特点

1.1.1 基坑支护的主要内容和功能

基坑支护是指建筑物或构筑物地下部分施工时，需开挖基坑，进行施工降水和基坑周边的围挡，同时要对基坑四周的建筑物、构筑物、道路和地下管线进行监测和维护，确保正常、安全施工的一项综合性工程，其内容包括勘察、设计、施工、环境监测和信息反馈等工程内容。基坑工程的服务工作面几乎涉及所有土木工程领域，如房屋建筑、水利、港口、路桥、市政、地下工程以及近海工程等工程领域。

基坑支护是地下基础施工中内容丰富而又富于变化的领域。工程界已意识到基坑支护是一项风险工程，是一门综合性很强的新型学科，它涉及工程地质、土力学、基础工程、结构力学、原位测试技术、施工技术、土与结构相互作用以及环境岩土工程等多学科问题。基坑支护大多是临时性工程，影响基坑工程的因素很多，例如地质条件、地下水情况、具体工程要求、天气变化、施工工序及管理、场地周围环境等多种因素影响，可以说它又是一门综合性的系统工程。

基坑支护工程作为土木工程中的一个重要组成部分，越来越受到人们的关注和重视：一方面是基坑的开挖深度越来越深，技术难度越来越大；另一方面是基坑支护的事故不断发生，特别是一些重大深基坑支护工程的事故，教训非常深刻。总的来说，基坑支护技术要从以下三方面进行考虑：

1. 保证基坑四周边坡的稳定性，满足地下室施工的空间需求，即基坑支护体系要起到稳定土体的作用。
2. 保证基坑四周相邻建筑物、构筑物和地下管线的安全，即控制基坑施工过程中土体的变形位移，使基坑周围地面沉降和水平位移控制在容许范围内。
3. 保证基坑支护的施工作业面在地下水位以上，即通过截水、降水等排水系统措施，保证施工作业面的要求。

因此，基坑支护结构应该与其他土木工程设计一样，要求在规定的时间和特定的条件下完成各项预定的功能，包括以下两个方面：

(1) 支护结构或结构构件达到最大承载力、出现疲劳破坏、发生不适于继续承载的变形或支护结构局部破坏而引发的连续倒塌，即承载能力极限状态。承载能力极限状态包括以下几点：

- 1) 基坑失稳，即基坑发生稳定性破坏；
- 2) 锚固系统或内支撑系统失效；
- 3) 挡土结构破坏。

（2）支护结构或结构构件达到正常使用的某项规定限值（如变形容许值等）或耐久性能的某种规定状态，即正常使用极限状态。基坑变形不影响地下工程施工，相邻建筑、管线及道路的正常使用。出现下列状态之一时即认为超过了正常使用极限状态：

- 1) 影响正常使用的变形；
- 2) 影响正常使用的耐久性局部破坏（如裂缝）。

基坑支护的设计与施工，既要保证整个支护结构在施工过程中的安全，又要控制结构及其周围土体的变形，以保证周围环境（相邻建筑及地下公共设施等）的安全。在安全的前提下，设计既要合理，又能节约造价、方便施工、缩短工期。要提高基坑支护的设计与施工水平，必须正确选择计算方法、计算模型和岩土力学参数，选择合理的支护结构体系，同时还要有丰富的设计和施工经验。

1.1.2 基坑支护的主要特点

1. 风险大

当支护结构仅作为地下主体工程施工所需要的临时措施时，其使用时间不长，一般不超过两年，属于临时工程，设计的安全储备系数相对较小，加之岩土力学性质、荷载以及环境的变化和不确定性，使支护结构存在着一定风险。

2. 区域性强

岩土工程区域性强，导致基坑支护工程表现出更强的区域性。不同地区岩土力学性质千变万化，即使在同一地区的岩土性质也有一定的区别，因此基坑支护设计与施工应因地制宜，结合本地情况及成功经验进行，不能简单照搬。

3. 综合性强

基坑支护是岩土工程、结构工程以及施工技术相互交叉的学科，同时基坑支护工程涉及土力学中的稳定、变形和渗流三个课题，影响基坑支护的因素也很多，所以要求基坑支护工程的设计者，应该具备多方面的综合专业知识。

4. 理论不成熟

尽管深基坑支护技术取得了丰硕的成果，但在理论上仍属尚待发展的综合技术学科。目前基坑支护理论的研究尚不完备，满意的工程实测资料也很少，因此还没有条件能够像建筑结构那样通过对材料性能、荷载作用及结构效应等方面的统计分析得出结构可靠性的概率指标。

5. 作用因素存在不确定性

（1）外力的不确定性。作用在支护结构上的外力往往随着环境条件、施工方法和施工步骤等因素的变化而改变。

（2）岩土性质的不确定性。地基土的非均质性（成层）和地基土的特性不是常量，在基坑的不同部位、不同施工阶段岩土性质是变化的，地基土对支护结构的作用或提供的抗力也随之而变化。

（3）一些偶然变化所引起的不确定因素。施工场地内土压力分布的意外变化、事先没有掌握的地下障碍物或地下管线以及周围环境的改变等等，这些事未曾预料的因素都会对基坑支护工程产生影响。

由于存在以上这些不确定性以及支护理论上的不成熟等因素,很难对基坑工程的设计与施工制定出一套标准模式,或用一套严密的理论计算方法来把握施工过程中可能发生的各种变化,因此在基坑支护工程中发生工程事故的概率相对比较高。目前只能采用理论计算与地区经验相结合的半经验、半理论的方法进行设计,在某种意义上讲,成功的工程经验往往更重要。

1.1.3 基坑支护的发展

基坑支护是一项古老而又具有时代特点的岩土工程课题。放坡开挖和简易木桩围护可以追溯到久远时代,人类的土木工程活动促进了基坑工程的发展,特别是到了20世纪,随着大量高层、超高层建筑以及地下工程的不断涌现,对基坑支护工程的要求越来越高,出现的事故也越来越多,促进工程技术人员以科学、严肃的态度对待基坑支护工程这一课题,使许多新的经验和理论的研究方法得以出现并逐渐发展成熟。

作为深基坑支护工程主要内容的土力学、工程地质及岩土力学与基础工程,虽说作为一门单项学科是近六七十年间的事,但它作为一项工程技术却已很久远。20世纪20年代,K. Terzaghi的《土力学》和《工程地质学》的先后问世,标志着以土力学为主要内容的基坑支护走向系统和成型,并且带动了各国学者和工程技术人员对本门学科和技术的各个方面的探索、深入与提高;40年代, Terzaghi和Peck等人就提出了预估挖土方稳定程度和支撑荷载大小的总应力法;60年代, Bjerrum和Eide开始在奥斯陆和墨西哥城软黏土深基坑中使用仪器进行监测;80年代,随着城市化进程的加快,我国逐渐涉入深基坑支护的设计与施工领域;90年代以来,随着城市建设中高层和超高层建筑的大量涌现,促进了基坑支护工程的快速发展,同时为了总结深基坑支护工程的设计与施工经验,我国相继编制和出台了关于基坑支护工程方面的规范和规程。

随着高层建筑的发展,基坑支护工程的规模也迅速发展,其主要标志是开挖深度已发展至20m以上,大连远洋大厦深基坑支护深度为25.6m;许多基坑支护工程的面积已超过10000m²,大连胜利广场基坑平面面积为40000m²。而长沙国金中心基坑的最大开挖深度达42.45m,基坑工程支护面积约75000m²。大型基坑支护工程的建成,标志着我国基坑支护工程技术达到了一个很高的水平,纵观20余年来我国深基坑支护工程的发展,数量之多、规模之大,都是其他国家和地区望尘莫及的;但同时,深基坑支护工程的故事率也是首屈一指的。深基坑支护技术已经引起了学术界和工程界的普遍关注,大量的人力物力投入到这一领域的工程研究中来,取得了丰硕的研究和实践成果。在设计思想、设计理论、施工技术和监控技术等方面都取得了一定的发展,正在逐步形成一门新的岩土工程分支学科,即基坑工程学。

1.1.4 基坑支护的信息化施工技术

在城市密集的建筑群中建造高层建筑物,对基坑工程技术提出了更高、更严的要求,不仅要确保基坑的稳定,而且要满足变形控制的要求,以确保基坑周围的建筑物、地下管线、道路等设施的安全。为了准确估计由于基坑开挖引起的土体和支护系统的变形,一方面依赖于成功地应用有限元等现代化的分析计算工具和土体计

算参数的正确性，另一方面依赖于有效的施工监测。

施工监测，即信息化施工，是指在整个基坑开挖过程及运营阶段，对基坑岩土性状、支护结构变位和周围环境条件的变化进行各种观测工作，并将观测结果及时反馈以便指导设计与施工。通过合理准确的信息化施工监测信息，不仅可以进一步优化设计方案，指导施工，而且可以实时监测基坑的稳定状况，当基坑变形出现不稳定时，可以及时采取补救措施，以防止因基坑失稳而带来的损失。基坑支护工程的信息化施工的主要目的为：

- 1. 根据监测结果，发现可能发生危险的先兆，判断工程的安全性，防止工程事故和环境事故发生，采取必要的工程措施；
- 2. 以工程监测的结果指导现场施工，确定和优化施工参数，进行信息化施工；
- 3. 检验工程勘察资料的可靠性，验证设计理论和设计参数的正确性。

目前，随着科技的发展，特别是电子计算机的广泛应用，极大地推动了深基坑支护技术的发展，各种新的设计计算理论和先进的测试技术不断地被应用到深基坑支护中，加速了深基坑支护工程的信息化施工，提高了工作效率，降低了基坑失事的概率；而基坑支护中监测技术（包括测试手段、方法与工具）的进步，加速了基坑信息化施工的推行，反过来又迅速提高了人们对基坑工程设计方法和理论的认识，深基坑支护工程的设计原则正从强度破坏极限状态向着变形极限控制状态发展。

1.2 基坑支护方法概述

深基坑支护的方法种类很多，具体工程中采用何种支护方法主要根据基坑开挖深度、岩土性质、基坑周围场地情况及施工条件等因素综合考虑决定。目前在工程中常用的支护方法有：悬臂式支护结构、拉锚式支护结构、内支撑式支护结构、水泥土重力式支护结构、土钉支护、复合土钉支护及预应力锚杆柔性支护。

护壁桩和地下连续墙是基坑支护的挡土结构，其种类如图 1-1 所示。人工挖孔桩的历史最长，经过逐步发展演化才出现了钻孔桩、钢板桩及深层搅拌桩。地下连续墙用于工程中的时间大约有半个世纪，包括钢筋混凝土连续墙和桩排式连续墙，水泥土连续墙则是另一种新颖的地下连续墙。

护壁桩主要可分为灌注桩、预制桩和深层搅拌桩。

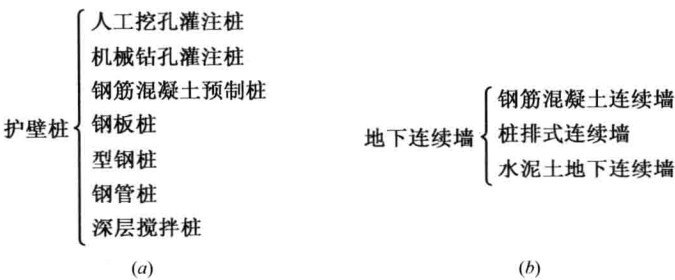


图 1-1 护壁桩及地下连续墙的分类