

● 贾金青 著

深基坑预应力锚杆柔性支护法的 理论及实践

Theory and Application on Prestressed Anchor Flexible
Retaining Method for Deep Excavation

中国建筑工业出版社

本书由 大连市人民政府学术专著出版基金 资助出版
建设部软科学研究项目

The published book is sponsored by
The Publishing Academic Works Foundation of Dalian Municipal Government
& The Soft Scientific Research Project by Ministry of Construction, P. R. China

深基坑预应力锚杆柔性 支护法的理论及实践

**Theory and Application on Prestressed Anchor
Flexible Retaining Method for Deep Excavation**

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与实践/贾金青
著. —北京:中国建筑工业出版社, 2006
ISBN 7-112-08118-1

I. 深... II. 贾... III. 深基础—预应力结构—锚
杆—支撑—研究 IV. TU753

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 015743 号

**深基坑预应力锚杆柔性
支护法的理论与实践**

**Theory and Application on Prestressed Anchor
Flexible Retaining Method for Deep Excavation**

贾金青 著

*

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

北京千辰公司制版

北京市铁成印刷厂印刷

*

开本: 850 × 1168 毫米 1/32 印张: 9 1/8 字数: 263 千字

2006 年 4 月第一版 2006 年 4 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 29.00 元

ISBN 7-112-08118-1

(14072)

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.cabp.com.cn>

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



贾金青 河北沧州人,1962年生,清华大学博士后,现任大连理工大学结构工程研究所所长、教授、博士生导师。

主要从事岩土工程、结构工程及工程新材料的研究和应用工作。作为主要起草人,编写了《建筑边坡支护技术规范》、《岩土锚杆设计与施工规范》等3部国家标准;获得了《一种基坑侧壁的柔性支护方法》等3项国家发明专利;已出版《桥梁工程设计计算方法及应用》、《钢骨高强混凝土短柱的力学性能》两部专著,在国内核心刊物上发表论文50余篇。主持参加了近百项纵向及横向科研项目;主持完成了百余项大型深基坑、高边坡及结构工程的设计、试验与施工,解决了工程中大量复杂疑难的技术问题。

主要社会兼职:中国施工企业协会岩土锚固工程协会常务理事、中国岩石力学工程学会技术咨询委员会委员、中国建筑学会基坑工程专业委员会委员。

预应力锚杆柔性支护法是一项全新的支护技术，作者于1993年提出并用于实际工程中。由于其经济合理、技术先进、安全可靠，在深基坑支护中得到了广泛的应用。

本书对预应力锚杆柔性支护法的基本原理进行了详细的介绍；采用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研究；分析研究了锚杆预应力大小对基坑塑性区分布及破坏位移场的影响；研究了预应力锚杆柔性支护下不同岩土条件的破坏模式；在理论研究基础上建立了预应力锚杆柔性支护体系的设计方法；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 田启铭 于莉

责任设计 赵明霞

责任校对 张树梅 王金珠

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。随着高层、超高层建筑和城市地下空间利用和发展,促进了基坑工程技术的进步,近十多年来,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全新的支护技术。

预应力锚杆柔性支护法系作者于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,可大大地节省工程造价,缩短施工工期。1995年将该方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28.9m。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作为一项全新的支护技术,其主要优点是:(1)工程造价低;(2)施工方便、工期短;(3)基坑变形小;(4)占用地下空间小。上述优点使其成为在复杂的城市环境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、排水系统及预应力锚杆组成,其中预应力锚杆由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,这些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结构、设计计算方法、施工技术和监测方法。确立了预应力锚杆柔性支护法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。并建立了一套较为完整的设计计

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，得到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，对该项技术的施工、设计提供了较详细的解释，旨在为广大读者奉献一部体系完整、内容翔实、实用性强并具有一定理论深度的深基坑支护技术专著。

本书编写过程中郑卫锋、陈国周两位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，因此，愿与读者共同探讨，书中的谬误之处请读者鉴谅。

贾金青

2005 年 10 月

目 录

序

前 言

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	3
1.1.3 基坑支护的发展	5
1.1.4 基坑支护的信息化施工技术	7
1.2 基坑支护方法概述	8
1.2.1 悬臂式支护结构	14
1.2.2 拉锚式支护结构	16
1.2.3 内支撑支护结构	18
1.2.4 重力式支护结构	21
1.2.5 土钉支护	23
1.2.6 复合土钉支护	26

1.2.7 预应力锚杆柔性支护	29
1.3 基坑支护方法分类	29
1.3.1 按支护结构的刚度	30
1.3.2 按支护结构的受力状态	31
1.4 预应力锚杆柔性支护	32
第2章 预应力锚杆柔性支护法	34
2.1 研究背景	34
2.2 预应力锚杆柔性支护法	37
2.2.1 预应力锚杆柔性支护法的基本组成	37
2.2.2 预应力锚杆柔性支护法的施工步骤	39
2.3 预应力锚杆柔性支护法的特点	42
2.4 预应力锚杆柔性支护法与其他支护方法的比较	45
2.4.1 预应力锚杆柔性支护与土钉支护的比较	45
2.4.2 预应力锚杆柔性支护与拉锚式支护结构比较	48
2.5 预应力锚杆柔性支护的适用土层及应用范围	49
2.5.1 最适用于预应力锚杆柔性支护的土层	49
2.5.2 不适合用预应力锚杆柔性支护的土层	49
2.5.3 预应力锚杆柔性支护的应用范围	50
2.5.4 预应力锚杆柔性支护的局限性	51
2.6 锚杆构造及受力状态	53
2.7 支护面层	59

2.8 锚下承载结构	62
2.9 排水系统	65
2.10 小结	67
第3章 预应力锚杆柔性支护的设计计算	69
3.1 基坑支护设计计算方法综述	69
3.1.1 极限平衡法	70
3.1.2 数值计算法	72
3.1.3 工程经验法	76
3.2 预应力锚杆柔性支护设计计算内容	78
3.2.1 稳定分析、计算	78
3.2.2 预应力锚杆计算分析	79
3.2.3 面层计算分析	80
3.2.4 锚下结构计算分析	81
3.3 预应力锚杆柔性支护稳定性分析	81
3.3.1 预应力锚杆支护结构的失稳模式	82
3.3.2 预应力锚杆支护结构的稳定性分析	86
3.4 锚杆计算分析	94
3.4.1 作用于支护结构上的荷载	94
3.4.2 锚杆内力计算的经验方法	99
3.4.3 锚杆内力计算的反力法	99
3.4.4 锚杆承载力计算及设计	101

3.5 小结	103
第4章 预应力锚杆柔性支护法力学行为的分析	104
4.1 概述	104
4.2 有限差分法	105
4.2.1 有限差分基本方程	106
4.2.2 平面问题有限差分方程	108
4.2.3 显式有限差分算法—时间递步法	113
4.3 计算程序与计算模型	117
4.3.1 FLAC 程序简介	117
4.3.2 本构模型	118
4.3.3 计算模型和参数	119
4.4 数值模拟结果分析	121
4.4.1 基坑位移分布	121
4.4.2 预应力锚杆轴拉力分布	124
4.4.3 预应力大小对基坑变形的影响	126
4.4.4 预应力对基坑滑移场的影响	131
4.5 小结	135
第5章 预应力锚杆柔性支护法的施工	137
5.1 施工前的准备工作	137
5.1.1 施工前调查	137
5.1.2 施工计划	138

5.1.3 施工前的准备工作	138
5.2 基坑开挖	139
5.2.1 基坑开挖	139
5.2.2 坡面修整	140
5.3 预应力锚杆(索)的施工	140
5.3.1 锚杆钻孔	140
5.3.2 锚杆制作安装	142
5.3.3 锚杆注浆	148
5.3.4 预应力锚杆张拉锁定	150
5.3.5 锚杆工程质量与验收	153
5.4 喷射混凝土施工	154
5.4.1 喷射混凝土的作用	154
5.4.2 喷射混凝土的类型	155
5.4.3 喷射混凝土材料	157
5.4.4 喷射混凝土的施工	158
5.5 锚下结构的制作安装	159
5.6 锚杆(索)的防腐	160
5.6.1 锚杆杆体的防腐蚀	161
5.6.2 锚固段的防腐蚀	161
5.6.3 自由段的防腐蚀	162
5.6.4 锚头部分的防腐蚀	163

第 6 章 预应力锚杆现场测试与施工监测	165
6.1 预应力锚杆的现场测试	165
6.1.1 破坏性试验	165
6.1.2 验收试验	169
6.1.3 蠕变试验	171
6.2 预应力锚杆的施工监测	171
6.2.1 施工监测的主要内容	172
6.2.2 施工监测的主要仪器	173
6.2.3 施工监测的方法	176
6.2.4 锚杆的长期观测	178
第 7 章 预应力锚杆柔性支护法工程实例	180
7.1 大连胜利广场深基坑支护	182
7.1.1 工程概况与地质条件	182
7.1.2 支护设计方案	185
7.1.3 预应力锚杆柔性支护法的施工	188
7.1.4 锚杆抗拔试验	192
7.1.5 基坑位移	199
7.1.6 工程造价分析	199
7.2 大连远洋大厦工程深基坑支护	200
7.2.1 工程概况与地质条件	200
7.2.2 支护结构方案	203

7.2.3 施工方法	205
7.2.4 基坑位移	205
7.2.5 工程造价分析	205
7.3 大连海昌名城深基坑支护	206
7.3.1 工程概况与地质条件	207
7.3.2 支护结构方案	208
7.3.3 预应力锚杆柔性支护法的施工	209
7.3.4 基坑位移	210
7.3.5 工程造价分析	210
7.4 大连新天地深基坑支护工程	210
7.4.1 工程概述	210
7.4.2 岩土地质条件	212
7.4.3 支护设计方案	213
7.4.4 施工组织设计	215
7.4.5 现场测试方案	219
7.4.6 锚杆内力测试	221
7.4.7 坑壁位移测试	224
第8章 基坑预应力锚杆支护设计与施工指南	227
8.1 总体要求	227
8.2 术语	228
8.3 基本规定	230