

新世纪土木工程系列教材

支挡结构设计

朱彦鹏 罗晓辉 周 勇 编 著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

新世纪土木工程系列教材

支挡结构设计

朱彦鹏 罗晓辉 周勇 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是新世纪土木工程系列教材之一,是根据教育部关于拓宽专业面、教材要面向 21 世纪的要求和“大土木”培养目标的需要编写,参考了工程专业教学指导委员会的指导性教学大纲,并结合支挡结构的最新研究成果和我国新颁布的各种支挡结构的规范编写,以适应土木工程专业教学需要。

全书共分 12 章:概述,挡土墙的土压力计算,重力式挡土墙,悬臂式挡土墙,扶壁式挡土墙,加筋土挡土墙,锚杆挡土墙,锚定板挡土墙,土钉墙,框架预应力锚杆挡土墙,排桩、地下连续墙,大型滑坡支挡结构。另外,本书为了便于学生自学,每部分均有例题,每章后均附有复习思考题。

本书可作为本科土木工程专业的教材以及岩土工程、结构工程和水利水电工程等专业的研究生教材,也可供土木、水利工程设计、施工和科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

支挡结构设计 / 朱彦鹏, 罗晓辉, 周勇编著. —北京:
高等教育出版社, 2008. 6

ISBN 978-7-04-023625-5

I. 支… II. ①朱…②罗…③周… III. 挡土墙—
支撑—结构设计—高等学校—教材 IV. TU361.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 059933 号

策划编辑	赵湘慧	责任编辑	葛 心	封面设计	王 晔
责任绘图	尹 莉	版式设计	王艳红	责任校对	杨凤玲
责任印制	韩 刚				

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 17
字 数 310 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 6 月第 1 版
印 次 2008 年 6 月第 1 次印刷
定 价 23.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23625-00

教育部高等教育出版社土建类系列教材

编辑委员会委员名单

主任委员：沈蒲生(湖南大学)

副主任委员：(按姓氏笔画排序)

白国良(西安建筑科技大学)

邹超英(哈尔滨工业大学)

周绪红(兰州大学)

强士中(西南交通大学)

委员：(按姓氏笔画排序)

卫 军	(华中科技大学)	王 健	(北京建筑工程学院)
王清湘	(大连理工大学)	叶志明	(上海大学)
江见鲸	(清华大学)	关宝树	(西南交通大学)
刘 明	(沈阳建筑大学)	朱彦鹏	(兰州理工大学)
张印阁	(东北林业大学)	张家良	(辽宁工学院)
吴胜兴	(河海大学)	杨和礼	(武汉大学)
尚守平	(湖南大学)	周 云	(广州大学)
沙爱民	(长安大学)	赵明华	(湖南大学)
梁兴文	(西安建筑科技大学)	黄醒春	(上海交通大学)
焦兆平	(广州大学)	廖红建	(西安交通大学)
霍 达	(北京工业大学)		

出版者的话

新世纪土木工程系列教材是我社组织编写出版的“大土木”范畴的专业系列教材。1998年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新专业目录中土建类土木工程专业覆盖了原来建筑工程和交通土建工程等8个专业。1999年各高校已按新的专业目录招生。开设土木工程专业的各院校把近年来在教育思想与教学观念、教学内容与课程体系、教学方法与教学手段等方面取得的改革成果固化到教学计划和人才培养过程中，设计了从教学思想到教学模式等一系列教学改革方案。大家在教学实践中体会到：专业、课程教学改革必然引起相应的教材改革。我社从1999年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作，并于2000年成立了“教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会”。

我们编辑出版土木工程系列教材的指导思想是：

1. 紧密结合人才培养模式改革，根据拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力的要求，调整学生的知识结构。

2. 从各院校调整土建类各专业教学计划出发，加强基础课程到专业课程的有机沟通，用系统的观点和方法建立新的课程体系结构，包括对课程的整合与集成，组织和建设专业核心课程，成套成系列地推出土木工程系列教材。

3. 各门课程教材要具有与本门学科发展相适应的学科水平，以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容，贯彻理论联系实际的原则。

4. 要正确处理继承、借鉴和创新的关系，不能简单地以传统和现代划线，决定取舍，而应根据教学要求进行取舍。继承、借鉴历史和国外的经验，注意研究结合我国的现实情况，择善而从，消化创新。

5. 随着高新技术、特别是数字化和网络化技术的发展，在土木工程系列教材建设中，要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合发展，发挥综合媒体在教学中的优势，提高教学效率。在开发研制教学软件的同时，要注意使文字教材与先进的软件接轨，明确不同形式教材之间的关系是相辅相成、相互补充的。

6. 坚持质量第一。图书是特殊的商品，教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教学质量和教学秩序，最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识、服务教育、积累文化的功能，也是沟通作者、编辑、读者的桥

梁，一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此，遴选作者、审订教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为了实现本套教材的指导思想，我们组建了由有丰富的教学经验、有较高的学术水平和学术声望的教师组成的编委会，由编委会研究提出土木工程系列教材的选题及其基本内容与编审原则，并推荐作者。

我们出版本系列教材，旨在为新世纪的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系统的专业系列教材，以期为我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材第1版出版之后，在教学实践基础上将组织修订出版第2版、第3版，希望在不断修订过程中更新内容、消除疏漏，更加适应教学需要。

本系列教材的编写大纲和初稿、修订稿都经过了编委会的审阅，以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处，请读者批评指正！

高等教育出版社
建筑与力学分社
2006年3月

前 言

《支挡结构设计》是为土木工程专业本科学生编写的教材，全书内容包括概述，挡土墙的土压力计算，重力式挡土墙，悬臂式挡土墙，扶壁式挡土墙，加筋土挡土墙，锚杆挡土墙，锚定板挡土墙，土钉墙，框架预应力锚杆挡土墙，排桩、地下连续墙，大型滑坡支挡结构等结构的构造与设计计算方法。本书除介绍支挡结构的基本设计计算理论外，还介绍了支挡结构在工程中应用的实例，以便教学。另外，本书还介绍了新型支挡结构（土钉墙和框架预应力锚杆挡土墙等）的最新设计计算理论和工程应用，使学习者有进一步学习和提高的空间。本书除可作为土木工程专业教材外，还可作为岩土工程和结构工程等专业硕士研究生教材，也可供土木工程技术人员参考。

本书是按照我国现行的各种最新规范，并参照土木工程专业教学指导委员会的教学大纲编写而成的。为适应土木工程专业的教学需要，在编写过程中力求理论阐述清楚，实用性强，并且每一章节都给出了设计例题，目的是尽量做到使学生通过本书的学习不但能懂得各种不同的支挡结构的结构形式、应用范围和设计计算方法，而且还能够根据各种不同的环境条件选择不同支挡结构并能实际设计支挡结构。

本课程的先修课程是“土力学”、“基础工程”、“混凝土结构设计原理”等。本课程是主修交通土建和岩土与地下工程课程群的土木工程专业学生的专业课和建筑工程课程群的土木工程专业学生的选修课。

全书共分12章，由朱彦鹏、罗晓辉、周勇编著，主编为朱彦鹏，编写分工如下：朱彦鹏（第1章、第6章、第7章、第8章、第9章、第10章和第11章）、罗晓辉（第3章、第4章、第5章和第12章）、周勇（第2章、第11章的11.4节），全书由朱彦鹏统稿。

后勤工程学院陈正汉、周海清审阅了全部书稿，提出了很多宝贵的建议和意见，为本书增色不少，作者在此特别表示衷心的感谢！

由于本书所涉及的支挡结构内容较新，作为教材编写尚属首次，加之编者水平有限，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编著者邮箱：zhuyyp@lut.cn。

编著者

2007年12月

目 录

第 1 章 概 述

第 1 章 概 述	1
1.1 支挡结构的定义和分类	1
1.2 支挡结构设计的基本原则	8
1.3 支挡结构设计方法	9
1.3.1 支挡结构设计的准备工作	9
1.3.2 确定支挡结构方案	10
1.3.3 支挡结构的布置和结构计算简图的确定	11
1.3.4 支挡结构分析与设计计算	11
1.3.5 支挡结构设计的成果	12
1.4 支挡结构的新发展	13
1.5 本书的主要内容	14
1.6 本书的学习重点	15
复习思考题	15

第 2 章 挡土墙的土压力计算

第 2 章 挡土墙的土压力计算	16
2.1 概 述	16
2.2 静止土压力计算	16
2.3 库仑土压力理论	18
2.3.1 基本假定与适用条件	18
2.3.2 主动土压力计算	19
2.3.3 被动土压力计算	21
2.4 朗肯土压力理论	22
2.4.1 基本假定与适用条件	22
2.4.2 主动土压力计算	23
2.4.3 被动土压力计算	24
2.5 超载作用下的土压力	24
2.5.1 填土表面满布均布荷载	25
2.5.2 起始位置与墙顶有一段距离的填土表面分布的均布荷载	26
2.5.3 地面有局部均布荷载	27
2.5.4 集中荷载和纵向条形荷载引起的土压力	28
2.5.5 车辆引起的土压力	29

2.5.6 铁路荷载作用下的土压力	31
复习思考题	32
第3章 重力式挡土墙	34
3.1 重力式挡土墙的构造及布置	34
3.1.1 重力式挡土墙的构造	34
3.1.2 重力式挡土墙的布置	38
3.2 重力式挡土墙的设计	39
3.2.1 抗滑稳定性验算	40
3.2.2 抗倾覆稳定性验算	41
3.2.3 基底承载力验算	41
3.2.4 墙身承载力验算	42
3.2.5 设置凸榫基础	43
3.2.6 增加抗倾覆稳定性的方法	44
3.3 衡重式挡土墙的设计	44
3.3.1 衡重式挡土墙的受力分析	45
3.3.2 短卸载台衡重式挡土墙的设计	46
3.3.3 拉杆卸载板衡重式挡土墙的设计	48
复习思考题	51
第4章 悬臂式挡土墙	53
4.1 悬臂式挡土墙的特点及设计内容	53
4.2 悬臂式挡土墙的构造要求	53
4.3 悬臂式挡土墙的设计	55
4.3.1 悬臂式挡土墙上的土压力计算	55
4.3.2 墙身截面尺寸的拟定	56
4.3.3 墙体内力计算	58
4.3.4 凸榫设计	60
4.3.5 墙身钢筋混凝土配筋设计	61
4.4 悬臂式挡土墙设计例题	63
复习思考题	69
第5章 扶壁式挡土墙	70
5.1 扶壁式挡土墙的特点及设计内容	70
5.2 扶壁式挡土墙的构造要求	72
5.3 扶壁式挡土墙的设计	72
5.3.1 土压力计算	72

5.3.2	墙踵板与墙趾板长度的确定	72
5.3.3	墙身内力计算	72
	复习思考题	78
第6章	加筋土挡土墙	79
6.1	加筋土挡土墙的构造要求	79
6.2	加筋土挡土墙的设计	80
6.2.1	基本假定	80
6.2.2	土压力计算	81
6.2.3	墙面设计	82
6.2.4	拉筋长度计算	82
6.2.5	拉筋截面设计	83
6.2.6	全墙稳定性验算	83
6.2.7	全墙抗拔稳定系数	84
	复习思考题	84
第7章	锚杆挡土墙	85
7.1	锚杆挡土墙土压力计算	85
7.2	土层锚杆的承载力	87
7.2.1	摩擦型灌浆锚杆的抗拔力	87
7.2.2	扩孔型灌浆锚杆的抗拔力	89
7.3	锚杆挡土墙的构件设计	90
7.3.1	墙身设计	90
7.3.2	锚杆设计	93
7.4	锚杆挡土墙的稳定性分析	95
7.4.1	单层锚杆挡土墙的稳定性分析	95
7.4.2	多层锚杆挡土墙的稳定性分析	97
7.4.3	粘性土中锚杆的稳定性分析	99
7.5	锚杆挡土墙例题	100
	复习思考题	106
第8章	锚定板挡土墙	108
8.1	概述	108
8.2	肋柱式锚定板挡土墙的构造	108
8.3	肋柱式锚定板挡土墙的设计	110
8.3.1	墙背土压力计算	111
8.3.2	肋柱、钢拉杆和锚定板的内力计算	111

8.3.3	挡土板的内力	113
8.3.4	肋柱、锚定板、挡土板配筋	114
8.3.5	锚定板的抗拔力	114
8.3.6	钢拉杆设计	114
8.4	锚定板挡土墙的施工	121
8.4.1	构件预制	121
8.4.2	填土程序及夯实要求	122
8.4.3	对钢拉杆、锚定板及挡土板的要求	123
8.5	锚定板挡土墙设计例题	123
	复习思考题	132
第9章	土钉墙	133
9.1	土钉墙的设计计算	134
9.1.1	土钉墙的荷载计算	134
9.1.2	土钉抗拉承载力计算	136
9.2	土钉墙整体稳定性验算	137
9.2.1	建立滑移面搜索模型	138
9.2.2	确定最危险滑移面	140
9.2.3	软件的开发	141
9.3	土钉墙的优化设计	142
9.3.1	土钉墙的优化设计法	142
9.3.2	土钉墙优化设计法例题	145
9.3.3	土钉墙的优化设计法的特点	148
9.4	土钉墙设计例题	149
	复习思考题	151
第10章	框架预应力锚杆挡土墙	153
10.1	框架预应力锚杆挡土墙上的土压力	154
10.2	框架预应力锚杆挡土墙的结构设计计算	156
10.2.1	挡土板计算	156
10.2.2	立柱和横梁计算	157
10.2.3	锚杆计算	160
10.2.4	基础埋深设计	160
10.3	框架预应力锚杆挡土墙结构的整体稳定性验算	161
10.3.1	单排锚杆的稳定性和框架预应力锚杆挡土墙的整体抗倾覆稳定性	161
10.3.2	框架预应力锚杆挡土墙的整体抗滑移稳定性验算	162
10.3.3	软件设计	166

10.4 框架预应力锚杆挡土墙的构造要求	168
10.4.1 构造要求	168
10.4.2 材料要求	170
10.5 框架预应力锚杆挡土墙设计、施工中的注意事项	171
10.5.1 锚杆设计中的注意事项	171
10.5.2 锚杆施工中的注意事项	172
10.6 框架预应力锚杆挡土墙设计例题	174
复习思考题	176

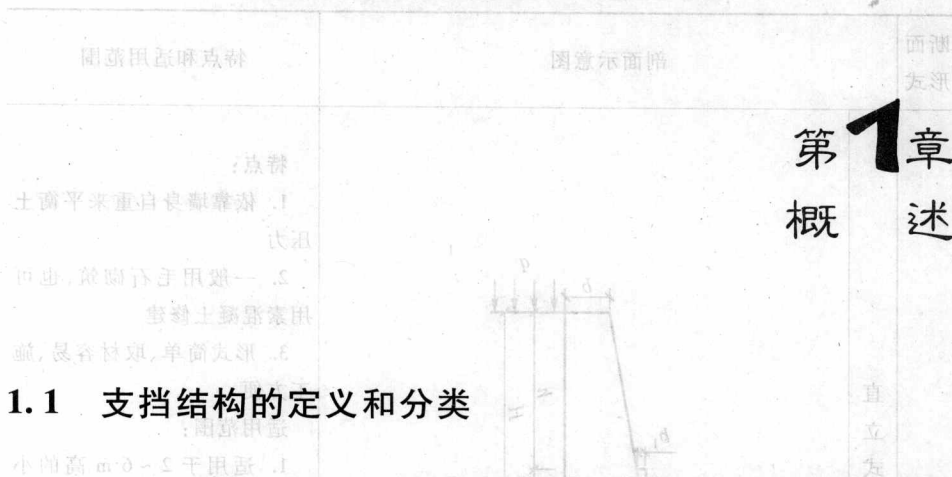
第11章 排桩、地下连续墙

11.1 悬臂式排桩、地下连续墙支挡结构	177
11.1.1 悬臂式排桩、地下连续墙支挡结构的工作原理	178
11.1.2 悬臂式排桩支挡结构的特点和适用范围	178
11.1.3 悬臂式排桩、地下连续墙支挡结构计算公式	178
11.2 单层支点排桩、地下连续墙支挡结构	179
11.2.1 单层支点排桩、地下连续墙支挡结构的嵌固深度计算	180
11.2.2 单层支点排桩、地下连续墙支挡结构的内力及支点力计算	182
11.2.3 单层支点排桩、地下连续墙的截面承载力计算	182
11.2.4 单层支点排桩、地下连续墙支挡结构的锚杆计算	182
11.3 多层预应力锚杆排桩支挡结构	184
11.3.1 多层预应力锚杆排桩支挡结构的计算模型	186
11.3.2 多层预应力锚杆排桩支挡结构的内力计算	188
11.3.3 多层预应力锚杆排桩支挡结构设计	189
11.4 多层预应力锚杆排桩支挡结构设计例题	192
复习思考题	195

第12章 大型滑坡支挡结构

12.1 抗滑桩	196
12.1.1 抗滑桩的类型与设计方法	196
12.1.2 抗滑桩的设计荷载	198
12.1.3 抗滑桩的内力计算	203
12.1.4 抗滑桩的结构设计	213
12.1.5 抗滑桩结构设计例题	218
12.2 预应力锚索	221
12.2.1 预应力锚索的类型	223
12.2.2 预应力锚索的材料	226
12.2.3 预应力锚索的防腐	233

图 1.1 支挡结构的定义和分类



第 1 章 概 述

1.1 支挡结构的定义和分类

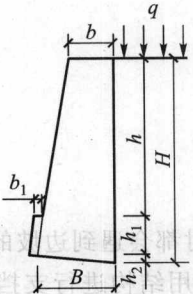
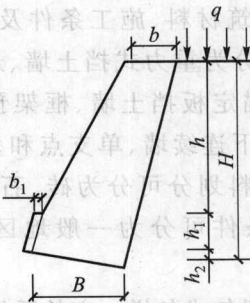
在山区修建城市、修筑公路和铁路时都会遇到边坡的开挖和回填问题,为防止滑坡和可能的诱使滑坡发生则必然要用结构进行支挡;在城市修建高层和超高层建筑时,都要开挖深基坑,为了保证基坑开挖安全,基坑边也要进行支挡,这些用于维护边坡和基坑开挖稳定的结构统称为支挡结构。支挡结构在土木工程各个领域得到了广泛的应用,如边坡加固、深基坑工程、斜坡稳定、滑坡防治、桥头支护和隧道口支护等。

一般而言,支挡结构建设费用占山区城市建筑、公路、铁路投资的比重很大,所以深入研究支挡结构的选型、分析和设计方法,对减少基坑支护失效、边坡坍塌和滑移,保证公路、铁路和建筑物的使用安全,减少滑坡对公路、铁路和建筑物的危害及降低建设费用有重大的现实意义。

常见的支挡结构形式有很多,它们各有不同的适用范围,其分类方法也有很多种,一般可按照结构形式、建筑材料、施工条件及所处的环境等进行划分。按其结构形式和受力特点可分为重力式挡土墙、悬臂式挡土墙、扶壁式挡土墙、加筋土挡土墙、土钉墙、锚定板挡土墙、框架预应力锚杆挡土墙、锚杆挡土墙、悬臂式排桩挡土墙、地下连续墙、单支点和多支点排桩、地下连续墙、抗滑桩和锚索等;按照建筑材料划分可分为砖、石砌、混凝土、钢筋混凝土、土体锚固体体系等;按照环境条件可分为一般地区、浸水地区和地震区等。

支挡结构作为一种结构物,其类型各式各样。它的适用条件取决于支挡位置的地形,工程地质条件,水文地质条件,建筑材料,支挡结构的用途、施工方法、技术经济条件和当地工程经验的积累等因素。主要支挡结构形式的特点和适用范围如表 1.1 所示。

表 1.1 主要支挡结构形式的特点和适用范围

断面形式	剖面示意图	特点和适用范围
直立 式		特点: 1. 依靠墙身自重来平衡土压力 2. 一般用毛石砌筑,也可用素混凝土修建 3. 形式简单、取材容易、施工方便 适用范围: 1. 适用于 2~6 m 高的小型挖填方边坡,可防止小型隐性边坡滑动 2. 可用于非饱和土工程支挡结构和两侧均匀浸水条件时的风化岩石和土质边坡支挡
重力 式 仰 斜 式		特点: 1. 依靠墙身自重来平衡土压力 2. 一般用毛石砌筑,也可用素混凝土修建 3. 形式简单、取材容易、施工方便 适用范围: 1. 适用于 3~6 m 高的小型挖方边坡,可防止小型隐性边坡滑动 2. 可用于非饱和土工程支挡结构和两侧均匀浸水条件时的风化岩石和土质边坡支挡

续表

断面形式	剖面示意图	特点和适用范围
重力式 俯斜式		特点: 1. 依靠墙身自重来平衡土压力 2. 一般用毛石砌筑,也可用素混凝土修建 3. 形式简单、取材容易、施工方便 适用范围: 1. 适用于 3~6 m 高的小型填方边坡,可防止小型隐性边坡滑动 2. 可用于非饱和土工程支挡结构和两侧均匀浸水条件时的风化岩石和土质边坡支挡
悬臂式		特点: 1. 钢筋混凝土结构,由立臂、趾板和踵板组成,断面尺寸较小 2. 踵板上的土体重力可抗倾覆和滑移,相对重力式挡土墙受力较好 适用范围: 1. 适用 4~8 m 高的填方边坡,可防止填方边坡的隐性滑动 2. 可用于非饱和土、地基较软弱土体和两侧均匀浸水条件时的边坡支挡

续表

断面形式	剖面示意图	特点和适用范围
扶壁式		特点: 1. 钢筋混凝土结构,由立板、趾板、踵板和扶壁组成,断面尺寸较小 2. 踵板上的土体重力可抗倾覆和滑移,立板和扶壁共同承受土压力产生的弯矩和剪力,与悬臂式挡土墙相比受力好 适用范围: 1. 适用6~12 m高的填方边坡,可防止填方边坡的隐性滑动 2. 可用于非饱和土、基础较软弱土体和两侧均匀浸水条件时的土体支挡结构
土钉墙		特点: 1. 由钢筋混凝土面板及加固土体的土钉组成,为柔性支挡结构,造价低,断面尺寸较小 2. 土钉加固后的土体满足边坡的整体稳定性,土压力主要靠土钉平衡,相对挡土墙结构稳定性好,受力合理 适用范围: 1. 适用6~12 m高的挖方边坡和深基坑支护,可做成多级超高边坡,可防止工程挖方引起边坡的隐性滑动,能够使边坡坡度做成$60^\circ \sim 80^\circ$,节约耕地,减少环境破坏 2. 可在抗震区使用,由于土钉与挡土板的协同工作不会造成突然坍塌导致人员安全问题 3. 可用于非饱和土支挡结构和非浸水条件的边坡抗滑移支挡结构,使用时注意边坡有效排水