

普通高等教育“十二五”规划教材

十二五

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

支挡结构设计

汪班桥 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

支挡结构设计

汪班桥 主编

门玉明 主审

冶金工业出版社

2012

内 容 提 要

本书详细阐述了重力式挡墙、抗滑挡土墙、锚杆挡土墙、加筋土挡墙、抗滑桩、预应力锚索、土钉式挡土墙、桩板式挡土墙等支挡结构类型的设计原理和方法。本书理论结合实际,具有较强的实用性。

本书可作为高校土木工程、地质工程、岩土工程等专业的教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

支挡结构设计/汪班桥主编. —北京:冶金工业出版社,
2012.6

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5894-2

I. ①支… II. ①汪… III. ①支挡结构—结构设计—
高等学校—教材 IV. ①TU399

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 085157 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5894-2

三河市双峰印刷装订有限公司印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2012 年 6 月第 1 版, 2012 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 14.5 印张; 349 千字; 221 页

30.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

本书是按照我国现行的相关专业的最新规范，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，本书在内容安排上，突出各类支挡结构如重力式挡土墙、抗滑挡土墙、锚杆挡土墙、加筋土挡墙、抗滑桩、预应力锚索等的设计原理及方法，具有较强的实用性，并且在附录中给出了工程综合治理设计实例，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。每章后均附有习题，便于学生更好地掌握本书内容。

本书由长安大学的汪班桥担任主编，由门玉明教授主审。具体编写分工为：汪班桥编写绪论、第1章~第4章、第6章，任祥编写第7章，王勇智编写第5章，汪班桥、王勇智、任祥编写第8章，汪班桥、李寻昌编写附录。全书由汪班桥统稿。

在编写过程中，得到了长安大学2012年“十二五”规划教材基金资助及兄弟院校有关人员的大力支持和帮助，同时，参考了有关文献，在此向有关人员一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处，恳请各位读者、同行批评指正。

编 者

2012年1月

目 录

绪论	1
1 土压力	8
1.1 土压力概述	8
1.2 静止土压力计算	9
1.3 库仑土压力理论	10
1.3.1 主动土压力计算	10
1.3.2 被动土压力计算	12
1.3.3 库仑理论适用条件	12
1.3.4 第二破裂面计算法	13
1.4 朗肯土压力理论	13
1.4.1 主动土压力计算公式	13
1.4.2 被动土压力计算	14
1.4.3 朗肯理论的适用范围	15
1.5 特殊条件下的土压力计算	16
1.5.1 折线形墙背的土压力	16
1.5.2 多层填土时的土压力计算	18
1.5.3 有限范围填土的土压力	18
1.5.4 地震作用下的土压力	19
1.5.5 墙后填土有地下水时土压力计算	20
1.5.6 填土表面不规则时土压力计算	22
1.6 地面超载作用下的土压力计算	23
1.6.1 填土表面满布均布荷载	23
1.6.2 距离墙顶有一段距离的均布荷载	24
1.6.3 地面有局部均布荷载	24
1.6.4 集中荷载和纵向条形荷载引起的土压力	25
1.6.5 车辆引起的土压力计算	26
1.6.6 铁路荷载下土压力计算	27
习题	28
2 重力式挡土墙	31
2.1 概述	31

2.2 挡土墙的构造和布置	32
2.2.1 挡土墙的构造	32
2.2.2 挡土墙的布置	34
2.3 重力式挡土墙的设计	36
2.3.1 作用在挡土墙上的力系	36
2.3.2 稳定性验算	37
2.3.3 浸水挡土墙的验算	44
2.3.4 地震条件下挡土墙的验算	46
习题	47
3 抗滑挡土墙	49
3.1 概述	49
3.2 滑坡推力计算	49
3.2.1 滑坡推力的特征	50
3.2.2 抗剪强度指标的确定	50
3.2.3 安全系数的确定	54
3.2.4 滑坡推力的计算	54
3.2.5 附加力的计算	56
3.3 抗滑挡土墙设计	57
3.3.1 抗滑挡土墙的结构特征与断面形式	57
3.3.2 抗滑挡土墙的平面布置	58
3.3.3 设计推力的确定	58
3.3.4 合理墙高的确定	59
3.3.5 基础埋置深度的确定	59
3.3.6 抗滑挡土墙的验算	59
习题	60
4 锚杆挡土墙	61
4.1 概述	61
4.2 土压力计算	62
4.3 锚杆抗拔力计算	62
4.3.1 摩擦型灌浆锚杆的抗拔力	62
4.3.2 扩孔型灌浆锚杆的抗拔力	65
4.4 构件设计	66
4.4.1 挡土板设计	66
4.4.2 肋柱设计	68
4.4.3 锚杆设计	74
4.4.4 壁板式锚杆挡土墙	77
4.5 结构稳定性分析	77

4.5.1 单层锚杆的稳定性分析	77
4.5.2 多层锚杆的稳定性分析	79
4.5.3 黏性土中锚杆的稳定性分析	81
4.5.4 分层土中锚杆的稳定性分析	82
习题	82
5 加筋土挡墙	85
5.1 概述	85
5.2 加筋土挡墙的形式与构造	86
5.2.1 加筋土挡墙形式	86
5.2.2 加筋土挡墙构造	87
5.3 加筋土挡墙设计计算	90
5.3.1 加筋土挡墙设计计算内容	91
5.3.2 加筋土挡墙设计注意问题	95
习题	95
6 抗滑桩	96
6.1 概述	96
6.1.1 抗滑桩在我国的发展状况	96
6.1.2 抗滑桩的抗滑原理和设计要求	96
6.1.3 抗滑桩的优点和使用条件	97
6.1.4 抗滑桩的类型	97
6.1.5 抗滑桩设计计算步骤	98
6.2 抗滑桩设计	99
6.2.1 抗滑桩设计的基本假定	99
6.2.2 抗滑桩的要素设计	103
6.3 刚性抗滑桩计算	104
6.3.1 刚性抗滑桩的计算原则	104
6.3.2 受荷段桩身内力计算	104
6.3.3 滑动面处地基系数的确定	105
6.3.4 锚固段桩身内力计算	106
6.3.5 各种计算方法的联系	115
6.3.6 地层换算 m 值的计算	115
6.4 弹性抗滑桩计算	116
6.4.1 基本假设	117
6.4.2 弹性抗滑桩基本微分方程	117
6.4.3 弹性悬臂式抗滑桩内力计算	118
6.4.4 弹性全埋式抗滑桩的内力计算	121
习题	126

7 预应力锚索	128
7.1 概述	128
7.1.1 预应力锚索发展概况	128
7.1.2 预应力锚索特点	128
7.1.3 预应力锚索的应用	129
7.2 构造特征	130
7.2.1 锚索类型	130
7.2.2 锚索构造	131
7.3 锚固设计与计算	132
7.3.1 锚固设计的主要内容	132
7.3.2 设计锚固力的计算	134
7.3.3 锚固体设计计算	135
7.3.4 锚索的布置	138
7.3.5 锚索的预应力与超张拉	138
7.3.6 算例	139
7.4 预应力锚索板、梁设计	140
7.4.1 钢筋混凝土垫碇	140
7.4.2 地梁、格子梁	141
7.5 预应力锚索桩设计	142
7.5.1 计算假定条件	142
7.5.2 锚索受力计算	142
7.5.3 桩身内力计算	144
7.5.4 算例	145
习题	146
8 其他结构形式的挡土结构物	148
8.1 竖向预应力锚杆挡土墙	148
8.1.1 概述	148
8.1.2 锚杆设计	148
8.1.3 锚杆有效预拉力计算	149
8.1.4 挡土墙稳定性验算	150
8.2 锚定板挡土墙	151
8.2.1 概述	151
8.2.2 肋柱式锚定板挡土墙构造	152
8.2.3 肋柱式锚定板挡土墙设计	153
8.3 土钉式挡土墙	156
8.3.1 概述	156
8.3.2 土钉墙与锚杆挡土墙、加筋土挡墙的异同	157

8.3.3 土钉墙的基本原理	158
8.3.4 土钉墙构造	159
8.3.5 内部稳定性分析	160
8.3.6 外部稳定性分析	164
8.4 桩板式挡土墙	164
8.4.1 概述	164
8.4.2 土压力计算	165
8.4.3 桩设计	165
8.4.4 挡土板设计	168
8.5 地下连续墙	168
8.5.1 概述	168
8.5.2 地下连续墙的设计	170
8.5.3 地下连续墙的构造要求	175
习题	175
附录	177
附录1 工程实例	177
附录2 K 法的影响函数值	206
附录3 m 法的影响函数值	215
参考文献	220

绪 论

A 支挡结构的发展和展望

我国对滑坡灾害的系统研究和治理,是20世纪50年代开始的。对抗滑支挡建筑物的研究和开发应用,也是从新中国成立初期开始的。

50年代起,主要学习苏联的经验。在治理滑坡中首先考虑地表和地下排水工程,如地面截、排水沟,地下截水盲沟、盲洞,支撑渗沟等,辅以减重、反压和支挡工程。支挡工程主要是各种形式的挡土墙。用重力式抗滑挡土墙治理大型边坡、大型滑坡常常工程量浩大,施工困难,虽然总结了“分段跳槽开挖基坑”的施工经验,有时还会造成加速滑动,危及施工安全。

60年代末至70年代中期,随着施工技术的进步,抗滑结构形式不断完善创新。这个时期多采用抗滑挡土墙、挖孔抗滑桩、抗滑键(抗滑短桩,多在顺层边坡中使用)、桩墙结合或者采用挖孔钢筋混凝土桩与预应力拉杆组成的锚杆抗滑挡墙来整治滑坡。

70年代中后期,在深入研究抗滑桩的受力状态和设计理论的同时,又研究开发了排架桩、刚架桩,椅式桩墙等新的结构形式,改变了抗滑桩的受力状态,节省了圬工和钢材。但由于施工要求高于单桩,至今没有得到广泛应用。同时,由于施工机械的发展,预应力锚索、锚定板挡土墙、锚定板与锚杆联合使用的挡土墙也开始用于滑坡治理。

80年代至90年代锚固技术大力发展,演化出了各种各样的锚固结构形式,主要有:预应力锚索地梁或地墩、预应力锚索抗滑挡土墙、预应力锚索抗滑桩、预应力锚索桩板墙、预应力锚索格构。1993年在深圳市罗沙公路西岭山滑坡防治中首次应用了预应力锚索格构,治理效果良好,推动了锚固技术的发展,也推动了边(滑)坡支挡形式的发展。

在此期间的重大滑坡防治工程中,为贯彻有关部门提出的“一次根治、不留后患”的原则,主要采用排水体系、减载与反压体系、抗滑桩墙体系、预应力锚索体系、土钉体系等相结合的方式治理滑坡。90年代后边坡支护侧重于综合治理,不仅注重支护结构形式,而且注重治理前后的环境关系。

进入21世纪后,由于预应力锚固理论研究和凿岩施工机械的突破性进展,及其使用的经济性与实用性,预应力锚索被广泛用于滑坡整治。2000年以来,预应力锚索格构在三峡库区边坡灾害治理中得到了广泛应用。同时,随着21世纪城市景观发展的需要,一些与景观相结合的支挡结构相继被提出并被应用到边坡工程上。2004年中国铁道科学研究院深圳研究设计院的刘国楠研究员创造性地将土钉墙和坡面绿化有机地结合在一起,设计了一种花篮挂板式土钉墙,在深圳蛇口半山海景边坡支护工程项目中应用成功,取得了良好的工程效果和社会评价。同年,刘国楠研究员还提出了衡重式桩板挡墙结构来治理小

型地质灾害及高挡墙,也取得了良好的工程效果和社会评价,随后在深圳的多个滑(边)坡工程中成功应用。2005年梅益生等人提出了与景观效果相结合的锚桩板支护结构来治理边坡,取得了良好的工程效果。

近20年是抗滑支挡结构发展最快的阶段,由其发展趋势可以对未来发展前景作如下展望:

(1) 新型结构的开发与应用。例如强度高、耐久性高、可提供较大抗滑阻力、可提供较大反弯矩的边坡支挡构件的开发与应用。

(2) 新工艺工法的开发与应用。例如高强度预应力混凝土格构锚固工法、高强度预应力抗滑桩及锚拉抗滑桩的开发与应用、新型灌浆的开发与应用、各工法与计算机的结合应用等。

(3) 与城市景观相结合及土地合理利用。各类治理工程在设计时,应充分考虑与城市景观的美化绿化相结合,考虑达到治理后土地资源的合理开发与利用。

B 支挡结构常见类型

a 支挡结构的分类

支挡结构类型划分方法很多,一般有按支挡结构的材料、结构形式、设置位置、设置地区等进行划分的多种方法,现说明如下。

(1) 按结构形式分。

- 1) 重力式挡土墙(包括衡重式挡土墙);
- 2) 托盘式挡土墙和卸荷板式挡土墙;
- 3) 悬臂式挡土墙和扶壁式挡土墙;
- 4) 加筋土挡土墙;
- 5) 锚定板挡土墙;
- 6) 抗滑桩和由此演变而来的桩板式挡土墙;
- 7) 锚杆挡土墙;
- 8) 土钉墙;
- 9) 预应力锚索加固技术和由此发展而来的锚索桩等桩索复合结构;
- 10) 桩基托梁挡土墙。

(2) 按设置支挡结构的地区条件划分。分为一般地区、地震地区、浸水地区以及不良地质地区和特殊岩土地区等。

(3) 按支挡结构的材料划分。分为浆砌片石支挡结构(如浆砌片石挡土墙)和混凝土支挡结构(如混凝土挡土墙、桩板墙、抗滑桩等)、土工合成材料支挡结构(如包裹式加筋土挡土墙)以及复合型支挡结构(如卸荷板式或托盘式挡土墙、土钉墙、预应力锚索、锚索桩等)。

(4) 按支挡结构设置的位置划分。

- 1) 用于稳定路堑边坡的路堑边坡支挡结构;
- 2) 用于稳定路堤边坡的路堤边坡支挡结构,又可分为墙顶与路肩一样平的路肩式支

挡结构及墙顶以上有一定填土高度的路堤式支挡结构；

- 3) 用于稳定建筑物旁的陡峻边坡减少挖方的边坡支挡结构；
- 4) 用于稳定滑坡、岩堆等不良地质体的抗滑支挡结构；
- 5) 用于加固河岸、基坑边坡、拦挡落石等其他特殊部位的支挡结构。

b 常用支挡结构类型介绍

(1) 重力式挡土墙。由于我国的一些地区石料来源丰富，就地取材方便，再加上施工方法简单，所以，在过去很长时间内，石砌的重力式挡土墙是我国岩土工程中广泛采用的主要支挡结构。这种挡土墙形式简单，设计一般采用库仑土压力理论。当墙体向外变形墙后土体达到主动土压力状态时，假定土中主动土压滑动面为平面并按滑动土楔的极限平衡条件来求算主动土压力。在侧向土压力作用下，重力式挡土墙的稳定性主要靠墙身的自重来维持，墙身一般采用浆砌片石来砌筑，有时也用混凝土。形式简单、取材容易、施工简便；适用于一般地区、浸水地区、地震地区等地区的边坡支挡工程，当地基承载力较低时或地质条件较复杂时应适当控制墙高。20 世纪 50 年代为适应西南山区地形陡峻的特点，出现了我国独创的衡重式挡土墙，如图 1 所示。

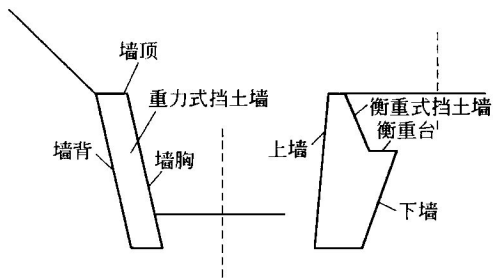


图 1 重力式挡土墙和衡重式挡土墙

(2) 锚杆挡土墙。锚杆挡土墙是由钢筋混凝土肋柱墙面板和锚杆组成，靠锚杆拉力来维持稳定，肋柱等预制，有时，根据地质和工程的具体情况，也采用无肋柱式锚杆挡土墙。我国 20 世纪 50 年代开始引进锚杆技术，最初在煤炭系统中使用，随后又在水利、铁道、建筑、国防工程中逐渐推广。1966 年铁路部门在成昆铁路上首次将锚杆挡土墙用来加固边坡，继而在川黔、湘黔、太焦、京九、南昆铁路等线上推广运用，使用效果都很好。1990 年铁道部将锚杆挡土墙纳入《铁路路基支挡结构设计规则》中，并编制了相应的标准图供设计中运用，加速了这种结构在铁路中的推广使用。建筑、冶金等行业 70 年

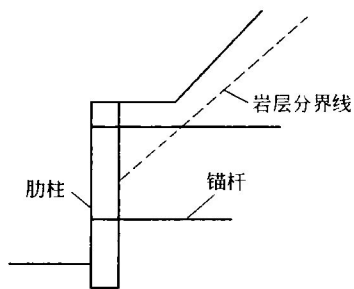


图 2 锚杆挡土墙

代末和 80 年代初在高层建筑的深基坑支护中大量采用了锚杆加固技术。由于锚杆在土质边坡中的加固作用比较复杂，《土层锚杆设计与施工规范》（中国工程建设标准化协会标准）对永久性锚杆的使用作了一些限制。铁路部门在 2001 年《铁路路基支挡结构设计规范》中规定锚杆挡土墙仅适用于一般地区岩质路堑地段，目前锚杆挡土墙在土质边坡的支挡工程中常用于临时加固工程。锚杆挡土墙如图 2 所示。

(3) 锚定板挡土墙。锚定板在港口码头护岸工程中用来锚定岸壁钢板桩或混凝土板桩的顶部，已有很久的历史，一般要求锚定板埋设在被动土压区，大多数只用单层。20 世纪 70 年代，铁路系统首先把锚定板结构作为支挡结构运用于铁路路基工程，这种结构由墙面系、钢拉杆、锚定板和填土共同组成。填土的侧压力通过墙面传至钢拉杆，钢拉杆则依靠锚定板在填土中的抗拔力而维持平衡。1974 年，

铁道部科一学研究院、第三工程局和铁三院共同试验研究,在太焦铁路稍院首次建成了一座 12m 高的多层锚定板挡墙。1976 年以后,铁路、公路、建筑、航运等在不同线路和边坡工程上修建了一些锚定板桥台、锚定板挡墙。例如,北京枢纽西北环线锚定板挡墙、武汉南环铁路和武豹公路立交桥的锚定板桥台、贵州六盘水小云尚煤矿专用线锚定板挡墙、

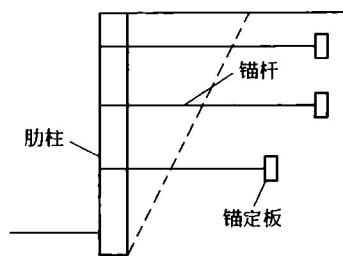


图3 锚定板挡土墙

南平造纸厂锚定板挡墙等,加速了锚定板挡墙的推广。1990 年,锚定板挡墙设计的有关要求已纳入《铁路路基支挡结构物设计规则》。由于锚定板结构是我国修建铁路支挡工程中发展起来的一种新结构,墙面、拉杆、锚定板以及其间的填土组成一种复合结构,受力比较复杂,铁科院、铁三院、铁四院等单位通过试验提出了不同的计算模式,尚有待在实践中进一步研究、验证。锚定板挡土墙如图 3 所示。

(4) 加筋土挡墙。加筋土挡墙是由墙面系、拉筋和填土共同组成的挡土结构,由拉筋和填土间的摩阻力维持墙体的稳定。墙面板宜采用钢筋混凝土板,拉筋宜采用钢筋混凝土板条、钢带、复合拉筋带或土工格栅,目前也有采用土工合成材料作拉筋的包裹式(无面板)加筋土挡墙。

加筋土工程起源于法国,亨利·维特尔于 1963 年提出加筋土结构新概念,1965 年在法国建起了世界上第一座加筋土挡墙。尔后,加筋土挡墙在世界各国迅速发展。我国从 20 世纪 70 年代初就开始了加筋土挡墙的研究工作。1979 年云南省煤矿设计院在云南田坝矿区建成了我国第一座加筋土挡墙储煤仓,该挡墙长 80m,高 2.3 ~ 8.3m,采用钢筋混凝土墙面板,素混凝土块穿钢筋作拉筋。该挡墙的建造成功,推动了加筋土挡墙在我国的推广运用。80 年代,先后在公路、水运、铁路、水利、市政、煤矿、林业等部门运用这项技术,加筋土工程的设计计算理论和施工技术也日臻成熟。1990 年铁道部将加筋土挡墙纳入《铁路路基支挡结构物设计规则》中,交通部也于 1991 年正式颁发了公路加筋土工程设计规范和施工技术规范。近年来,加筋土技术不断提高,据不完全统计,全国已建成加筋土挡墙上千余座。结构中已广泛采用钢筋混凝土、复合土工带、土工格栅等材料作为拉筋,墙面板除采用钢筋混凝土面板外,也出现了采用土工合成材料的无面板包裹式加筋土挡墙。加筋土挡墙如图 4 所示。

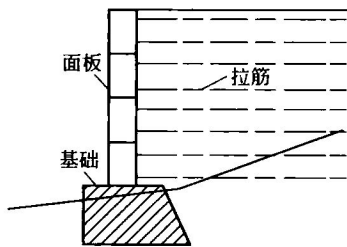


图4 加筋土挡墙

(5) 土钉墙。土钉墙一般由土钉及墙面系(钢筋网和喷射混凝土构成的面层)组成,靠土钉拉力维持边坡的稳定。

1972 年,法国瓦尔赛市铁路边坡开挖工程中成功地应用土钉墙来加固边坡,成为世界上首次将土钉墙作为支挡结构运用于岩土边坡的先行者。此后,土钉墙在法国和世界各地迅速推广。我国 20 世纪 80 年代初期开始引进这项技术,1980 年山西柳湾煤矿的边坡稳定工程中首次运用土钉墙来加固边坡。1987 年,总参工程兵科研所在洛阳王城公园首次采用注浆式土钉墙和钢筋混凝土梁板护壁结构相结合的措施,成功加固了 30m 高的护岸。冶金、建筑、铁路、公路等行业也将这项技术运用于基坑边坡加固及路基边坡加固工

程中。90 年代基坑采用土钉加固防护的深度为 10~18m, 北京新亚综合楼工程, 地下基坑深 15.2m, 采用土钉支护。南宁至昆明铁路, 铁道部第二勘测设计院等单位, 为解决软弱破碎岩质高边坡的稳定问题, 结合工程开展了分层开挖分层稳定新技术的研究, 在 DK333、DK339 等工点采用土钉墙作为路堑边坡的支挡结构, 最大墙高 27m, 属国内路堑土钉墙之最, 并根据试验成果, 提出了土钉墙设计计算建议公式, 其有关成果已纳入新修编的《铁路路基支挡结构设计规范》中。其后, 土钉墙在内昆铁路、株六铁路复线工程、渝怀铁路等路堑边坡支挡工程中大量使用。土钉墙如图 5 所示。

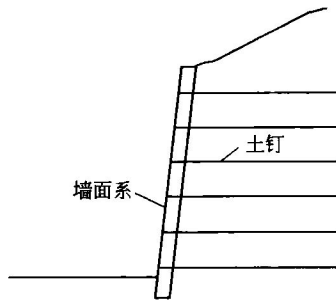


图 5 土钉墙

(6) 抗滑桩。抗滑桩是一种由其锚固段侧向地基抗力来抵抗悬臂段的土压力或滑坡下滑力的横向受力桩 (当用在非滑坡工程时常称其为锚固桩), 在土质和破碎软弱岩质地层中常设置锁口和护壁。

抗滑桩是我国铁路部门 20 世纪 60 年代开发、研究的一种抗滑支挡结构。1966 年铁道部第二勘测设计院在成昆铁路沙北 1 号滑坡及甘洛车站 2 号滑坡中首次采用钢筋混凝土桩来加固稳定滑坡, 取得了良好的抗滑效果。

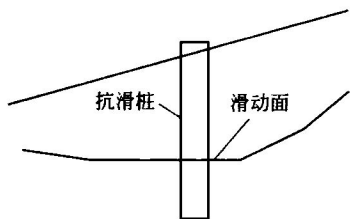


图 6 抗滑桩

20 世纪 90 年代以来, 通过南昆线软弱破碎岩质深路堑边坡的结合工程试验, 研究开发了分层开挖、分层稳定、坡脚预加固新技术, 抗滑桩与钢筋混凝土挡板、桩间挡土墙、土钉墙、预应力锚索等结构结合组成桩板墙、锚索桩等复合结构, 并在后来的内昆、株六复线、渝怀线等新线建设工程中, 得到推广运用。抗滑桩如图 6 所示。

(7) 预应力锚索。预应力锚索由锚固段、自由段及锚头组成, 通过对锚索施加预应力以加固岩土体使其达到稳定状态或改善结构内部的受力状态, 预应力锚索采用高强度低松弛钢绞线制作。

预应力锚索技术用于岩土工程在国外已有很长的历史。我国从 20 世纪 60 年代开始引进这项技术, 1964 年梅山水库使用锚索技术加固右岸坝基获得成功。20 世纪 70 年代开始, 该项技术在我国国防、水电、矿山、铁路等领域逐步推广。

进入 20 世纪 90 年代后, 一方面因为预应力锚索理论研究的不断深入, 另一方面国内预应力锚索技术所需的高强度低松弛钢绞线材料及施工机械的发展和价格的降低, 大大促进了预应力锚索技术的运用。由于预应力锚索具有施工机动灵活、消耗材料少、施工快、造价低等特点, 90 年代中期, 在南昆铁路工程建设中, 广泛应用于整治滑坡、加固顺层边坡、加固危岩以及与抗滑桩相结合组成锚索桩等, 在加固软质岩路堑高边坡等工程中发挥了巨大的作用, 锚索加固技术得到较大发展, 并迅速在全国山区铁路、公路路基支挡工程中推广应用。预应力锚索如图 7 所示。

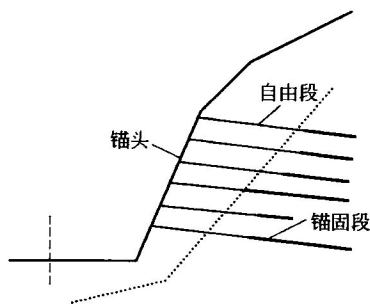


图 7 预应力锚索

C 支挡结构设计及设置原则

a 支挡结构的设计原则

(1) 需要满足足够的承载能力。工作人员要熟悉掌握支挡结构的使用方法和所该注意的事项,保证支挡结构安全使用,支挡结构具有一定的承载能力极限,必须严格按照正确使用极限的要求来进行操作,并且对支挡结构要进行科学的计算和验证。

1) 支挡结构承载能力的计算。对支挡结构的形式和受力特点进行认真的分析,并进行科学的土体稳定性计算,计算后还要进行验算,其主要内容分为:第一、支挡结构要保证不会沿着墙底地基中某一滑动面产生滑动,也即是对支挡结构整体稳定性的验证;第二、抗倾覆稳定的验算;第三、抗渗流验算;第四、抗滑移验算;第五、抗隆起稳定验算。对支挡结构受压、受弯、受拉承载力的计算。有锚杆或者支撑时,要进行支挡结构的承载力和稳定性验算。

2) 使用极限状态计算。有时在工程中要求比较复杂,对支挡结构周围环境要求也比较多,所以,必须对支挡结构进行变形计算;在房屋建筑等工程时还要对钢筋和混凝土进行抗裂缝宽度计算。

(2) 分析各种影响因素,满足工程需要。根据工程的需要、地理条件,要综合考虑地形、填土性质、荷载条件以及材料的供应和地区的技术条件等影响因素,再进一步确定支挡结构的布置、高度以及支挡结构的类型和截面尺寸。支挡结构的基础部分,尤其是抗滑桩,必须要有足够的勘探资料和准确的地基基础。

(3) 满足规范要求,加强施工监控原则。支挡结构必须按照规定和要求进行设计。必须严格贯彻国家经济技术政策,按照统筹兼顾原则,施工过程中要明确指出质量安全检测 and 施工监控要求。

(4) 保护环境,坚持与环境相统一发展的原则。支挡结构的设计一定要与环境相协调,在施工过程中要遵守国家保护的有关规定,实行绿色保护工程。

(5) 坚持安全可靠的原则。支挡结构的设计必须满足结构稳定、坚固和耐久。结构类型必须恰当地选择后再确定合适的地理位置。选择的类型要可靠、经济实用和利于施工养护作业。在选择材料上要符合耐久性和耐腐蚀性的要求。保证支挡结构的耐久性,要做出明确的维修规定。

b 支挡结构的设置原则

(1) 设置原则。

1) 陡坡路堤,地面横坡较陡,路堤边坡形成薄层填方,采用支挡结构收回坡脚,提高路基的稳定性。

2) 路堑设计边坡与地面坡接近平行,边坡过高,且形成剥山皮式的薄层开挖,破坏天然植被过多,采用支挡结构以降低路堑边坡,减少对环境的破坏。

3) 稳定基坑边坡。

4) 不良地质地段,为提高该地质体的稳定性或提高建筑物的安全度。

①为加固滑坡、岩堆、软弱地基等不良地质体；

②为拦挡危岩、落石、崩塌等；

③在特殊土地段或软弱破碎岩质地段的路堑边坡，采用坡脚预加固技术。

5) 滨河滨海地段填方，其坡脚伸入水中，水流冲刷影响填方边坡的稳定，为了收回坡脚或减少对水流的影响。

6) 为了避免对既有建筑物的影响、破坏或干扰。

7) 为了减少土石方数量或少占农田。

8) 其他特殊需要。

(2) 支挡结构设置位置的选择。

1) 路堑支挡结构的位置通常设置在路基侧沟边，有时结合边坡的地质条件也可设置在边坡的中部，但要保证墙基以下边坡的稳定。

2) 路堤挡土墙与路肩挡土墙比较，当其墙高、工程数量、地基情况相近时，宜设路肩挡土墙。当路肩挡土墙、路堤挡土墙兼设时，其衔接处可设斜墙或端墙。

3) 滨河挡土墙要注意使设墙后的水流平顺，不致形成漩涡，发生严重的局部冲刷，更不可挤压河道。

4) 滑坡地段的抗滑支挡工程，应结合地形、地质条件、滑体的下滑力，以及地下水分布情况，与清方减载、排水等工程综合考虑。

5) 带拦截落石作用的挡土墙，应按落石宽度、规模、弹跳轨迹等进行考虑。

6) 受其他建筑物（如公路、房屋、桥涵、隧道等）控制的支挡结构的设置，应注意保证既有建筑物的稳定和安全。

1 土 压 力

1.1 土压力概述

作用在支挡结构上的土压力，即填土（填土和填土表面上荷载）或挖土坑壁原位土对支挡结构产生的侧向土压力，是支挡结构物所承受的主要荷载。因此，设计支挡结构物时，首先要确定土压力的大小、方向和作用点。这是一个复杂的问题，它与支挡结构物的形状、刚度、位移、背后填土的物理力学性质，墙背和填土表面的倾斜程度等有关。

作用在支挡结构上的土压力，根据结构的位移方向、大小及背后填土所处的状态，可分为三种：

（1）静止土压力。如果支挡结构在土压力作用下，结构不发生变形和任何位移（移动或转动），背后填土处于弹性平衡状态，如图 1-1a 所示，则作用在结构上的土压力称为静止土压力，并以 E_0 表示。

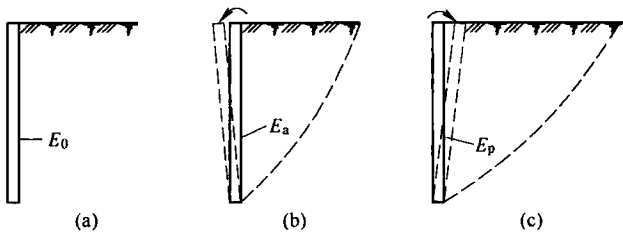


图 1-1 三种土压力示意图

（2）主动土压力。若挡土墙（由于支挡结构本身无变形，则取重力式挡土墙为代表，以后简称挡土墙）在填土产生的土压力作用下离开填土方向向墙前发生位移时，则随着位移的增大，墙后土压力将逐渐减小。当位移达到表 1-1 中所列数值时，土体出现滑裂面，墙后填土处于主动极限平衡状态。此时，作用于挡土墙上的土压力称为主动土压力，用 E_a 表示，如图 1-1b 所示。

表 1-1 产生主、被动土压力所需墙位移量

土的种类	土压力类别	墙体位移（变形）方式	所需位移量
砂 土	主 动	墙体平行移动	0.001H（H 为挡土墙高）
	主 动	绕墙趾转动	0.001H
	主 动	绕墙顶转动	0.02H
	被 动	墙体平行移动	-0.05H
	被 动	绕墙趾转动	> -0.1H
	被 动	绕墙顶转动	-0.05H
黏 土	主 动	墙体平行移动	0.004H
	主 动	绕墙趾转动	0.004H