

岩土支挡与锚固工程教程

YANTU ZHIDANG YU MAOGU GONGCHENG JIAOCHENG

陈兴长 主编



西南交通大学出版社

[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

本书获西南科技大学“地质工程”国家级特色专业及
自然科学基金项目（41372301）资助

岩土支挡与锚固工程教程

主 编 陈兴长

副主编 陈 慧 柳金峰

西南交通大学出版社

内 容 简 介

本书以我国最新颁布的相关规范为依据,系统地介绍了岩土挡与锚固工程的基础知识、基本理论、设计的基本原理和方法。全书涉及“岩土支挡工程”和“岩土锚固工程”,由土压力和滑坡推力计算、岩土支挡工程、岩土支挡与锚固结合工程和岩土锚固工程四部分组成,共14章。

本书可作为地质工程、土木工程、岩土工程和道路工程等专业的教材,也可作为从事相关工作的技术人员及有关专业研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

岩土支挡与锚固工程教程 / 陈兴长主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2014.5
ISBN 978-7-5643-3061-3

I. ①岩… II. ①陈… III. ①岩土工程—锚固—高等学校—教材 IV. ①TU43

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第104057号

岩土支挡与锚固工程教程

主编 陈兴长

*

责任编辑 曾荣兵

封面设计 严春艳

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市金牛区交大路146号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蜀通印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 13

字数: 322千字

2014年5月第1版 2014年5月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-3061-3

定价: 28.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书以我国最新颁布的国家标准、相关规范、规程和行业标准为依据编写而成。全书包括岩土支挡工程和岩土锚固工程两部分内容,涵盖了工程中常见的支挡与锚固工程结构形式。书中把以锚固工程的结构形式形成的类似于支挡工程治理效果的支护工程,诸如锚杆挡墙、土钉墙等划为岩土支挡与锚固结合工程。全书主要由土压力和滑坡推力计算、岩土支挡工程、岩土支挡与锚固结合工程和岩土锚固工程四部分组成,共 13 章。“土压力和滑坡推力计算”简要介绍了朗肯土压力和库仑土压力理论,重点介绍了各种特殊条件下土压力的计算方法和滑坡推力的计算方法。“岩土支挡工程”主要介绍了挡土墙、地下连续墙、排桩支护和抗滑桩等。“岩土支挡与锚固结合工程”主要介绍了加筋土挡墙、锚定板挡土墙、土钉墙和锚杆挡墙等。“岩土锚固工程”部分,首先介绍了锚固工程的基本原理、锚杆体系的结构构造、锚杆类型以及锚杆内荷载传递等问题,然后具体介绍了锚杆的设计、锚杆的腐蚀与防护、锚杆的施工以及锚杆的试验与监测等内容。

岩土工程设计的具体计算多由相关软件完成,为便于学生学习,书中尽量避免烦琐的数理推导过程,力求做到概念清晰、结构严谨、系统全面、内容精练。本书重点放在各种支挡与锚固工程基本原理、结构特点和适用性的介绍,以及作用于结构物上各种荷载的分析和判断等方面,以增强概念设计的能力。

本书绪论、第 2 章、第 12 章和第 13 章由陈兴长编写;第 1 章、第 9 章由陈兴长、汪惠编写;第 3 章、第 4 章、第 6 章、第 10 章和第 11 章由陈慧编写;第 5 章、第 7 章和第 8 章由柳金峰编写;最后由陈兴长、陈慧统编定稿。书中插图由洪璇描绘和植字;田小平、汪惠进行了校对,谨此致谢!

本书出版由西南科技大学“地质工程”国家级特色专业建设项目和国家自然科学基金项目(41372301)资助。

本书编写过程中参考和引用了大量的文献资料,在此向所有原作者致以诚挚谢意。同时还得到了高德政教授、李虎杰教授和陈廷方教授等诸多同事的关心与支持,一并致谢。本书出版过程中,西南交通大学出版社的王旻老师付出了大量的辛劳,在此表示感谢。

由于作者水平有限,加上统稿时间仓促,书中难免有不足之处,恳请各位专家和广大读者批评指正。

编 者

2014 年 1 月

目 录

绪 论	1
0.1 概 述	1
0.2 岩土支挡与锚固工程的应用	2
0.3 岩土支挡与锚固工程的主要结构类型	3
0.4 岩土支挡与锚固工程的发展简况	4
0.5 本课程的主要内容及学习要求	5
第 1 章 土压力与滑坡推力计算	7
1.1 概 述	7
1.2 常规土压力计算	7
1.3 特殊条件下的土压力计算	13
1.4 滑坡推力计算	18
第 2 章 岩土支挡工程概述	22
2.1 支挡结构的定义和分类	22
2.2 支挡工程设计基本原则	26
2.3 支挡工程设计所需资料	27
2.4 支挡方案的确定方法	27
2.5 支挡工程设计步骤	28
第 3 章 重力式挡土墙	30
3.1 概 述	30
3.2 重力式挡土墙构造	30
3.3 重力式挡土墙设计	32
3.4 增加挡土墙稳定性的措施	40
3.5 重力式挡墙施工	43
第 4 章 悬臂式与扶壁式挡土墙	44
4.1 概 述	44
4.2 土压力计算	44
4.3 悬臂式挡土墙构造	46
4.4 悬臂式挡土墙设计	46
4.5 扶壁式挡土墙构造	52

4.6 扶壁式挡土墙设计	53
4.7 挡土墙施工	59
第 5 章 地下连续墙	61
5.1 概 述	61
5.2 地下连续墙的结构	62
5.3 地下连续墙荷载及稳定性计算	62
5.4 地下连续墙的设计	72
5.5 地下连续墙的施工与检测	76
第 6 章 排桩支护	78
6.1 概 述	78
6.2 排桩支护结构构造	79
6.3 排桩支护结构设计	80
6.4 排桩结构施工	91
第 7 章 抗滑桩工程	92
7.1 概 述	92
7.2 作用在抗滑桩上的力	93
7.3 抗滑桩的内力计算	94
7.4 抗滑桩设计	100
7.5 抗滑桩施工与检测	105
第 8 章 加筋土挡土墙	109
8.1 概 述	109
8.2 加筋土加固的基本原理	109
8.3 土压力计算	112
8.4 加筋土挡土墙构造	114
8.5 加筋土挡土墙设计	116
8.6 加筋土挡土墙稳定性验算	119
第 9 章 锚定板挡土墙	122
9.1 概 述	122
9.2 土压力计算	122
9.3 柱板式锚定板挡土墙构造	123
9.4 柱板式锚定板挡土墙设计	124
9.5 结构稳定性验算	130
9.6 锚定板挡土墙的施工	132
第 10 章 土钉墙	134
10.1 概 述	134

10.2 土钉墙的构造特征	135
10.3 土钉墙设计	137
10.4 土钉墙施工与检测	144
第 11 章 锚杆挡墙	147
11.1 概 述	147
11.2 土压力计算及分布	147
11.3 柱板式锚杆挡土墙设计（公路挡土墙设计）	149
11.4 锚杆及构筑物稳定性验算	159
11.5 壁板式锚杆挡土墙	163
11.6 锚杆挡土墙的施工	165
第 12 章 锚固工程概述	166
12.1 锚固工程的特点	166
12.2 锚杆体系的结构构造	166
12.3 岩土锚杆（索）的类型	169
12.4 锚杆（索）内荷载传递及相关问题	174
第 13 章 锚杆（索）支护工程	179
13.1 锚杆的设计	179
13.2 锚杆的腐蚀与防护	184
13.3 锚杆施工	186
13.4 岩土锚杆试验与监测	192
参考文献	198

绪 论

0.1 概 述

岩土工程是一门属于土木工程范畴的边缘学科。它以工程地质学、土力学、岩体力学和基础工程为理论基础,涉及岩石和土的利用、处理和改良的科学技术。根据工作内容,岩土工程可分为岩土工程勘察、岩土工程设计、岩土工程施工、岩土工程监理和监测等。岩土支挡与锚固工程是在岩土工程勘察的基础上,进行具体的设计、施工、监理和监测等。

岩土支挡与锚固工程是保障边(滑)坡坡体和基坑坑壁稳定的主要工程措施,在岩土工程治理中得到广泛的应用。它包括岩土支挡工程与锚固工程两大类,二者既有明显的区别,往往又相互联系,构成有机的统一体。

岩土支挡工程是用来支撑、加固填土或坡体,防止其坍塌,以保持稳定的一类构筑物。它的结构类型很多,根据断面的几何形状及其受力特点,常见的挡土墙形式主要有重力式、悬臂式、扶壁式、锚杆式、锚定板式、加筋土挡土墙等;常见的基坑支护结构主要有地下连续墙、水泥土墙、土钉墙和排桩式支护结构等;以及作为地质灾害治理工程的抗滑桩等。支挡结构的适用性,主要取决于结构物所处地形、工程地质及环境地质条件、建筑材料、结构用途及其特性、施工方法、技术经济条件和当地经验等因素。

岩土锚固工程是通过埋设在地层中的锚杆,将结构物与地层紧紧地联结在一起,依赖锚杆与周围地层的抗剪强度传递结构物的拉力或使地层自身得到加固,以保持结构物和岩土体的稳定。锚杆是岩土锚固中的主要技术构件,一端与工程构筑物相连;另一端锚固在稳定的岩土层中,以承受岩土压力、水压力或地震力等外荷载所产生的拉力,并把它传递到深处稳定岩土层中,以达到防止结构变形、保持稳定的目的。

现有资料表明,国内外使用的锚杆有数百种,且分类方法较多。根据应用对象不同,锚杆可分为岩石锚杆和土层锚杆;根据是否施加预应力,可分为预应力锚杆和非预应力锚杆;根据锚杆的传力方式,可分为拉力型锚杆、压力型锚杆和荷载分散型锚杆;根据锚固机理,可分为全长黏结型锚杆、端头锚固型锚杆和摩擦型锚杆;根据锚固形态,可分为圆柱形锚杆、端部扩大型锚杆和连续球型锚杆。近年来还出现了一些新型的锚杆,如可回收锚杆(索)、自钻式锚杆、中空锚杆和缝管锚杆等。

岩土体的稳定性问题,有时靠单一的支挡或锚固工程,并不能经济合理地解决问题,二者常常密不可分,共同存在于同一工程之中,以发挥各自优势。如土钉墙,就是依靠土钉与土体之间界面的黏结力或摩擦力,使土钉与周围土体紧密连接成为一个整体,就地加固天然土体,并与配筋喷射混凝土面板相结合,产生主动制约机制。土钉墙既能充分调动土体自身的强度和自稳能力,又能形成类似于重力式挡土墙的支挡结构,与传统的重力式

挡土墙相比,具有断面小、成本低、施工方便等优点。类似的支护结构还有锚杆式挡墙和锚定板式挡墙等。

0.2 岩土支挡与锚固工程的应用

岩土支挡与锚固工程在交通、水利水电、矿山、建筑以及地质灾害防治等领域都得到广泛的应用。在交通领域的路基工程中,广泛用于稳定路基、路堑、隧道洞口、桥梁两端的路基边坡等;在房屋建筑、矿山、水利水电等工程中,主要用于加固山坡,基坑边坡、河岸和地下洞室等;在地质灾害治理方面,主要用于加固或拦挡不良地质体。从应用对象来讲,岩土支挡与锚固主要应用于边(滑)坡工程、基坑工程和地下洞室等的治理与加固。

(1) 岩土支挡与锚固工程是边(滑)坡治理的主要工程措施之一。建筑边坡通常是指在建(构)筑物场地或其周边,由于建(构)筑物工程开挖或填筑施工所形成的人工边坡和对建(构)筑物安全或稳定有影响的自然边坡。为保证边坡及其周边环境的安全,常常需要对边坡采取支挡、加固和防护措施,也就是边坡支护。边坡支护工程要求在支护结构使用期限内和规定的条件下能保持自身整体稳定,也就是能满足边坡的安全性、适用性和耐久性的要求。安全性要求边坡及其支护结构在正常施工和使用时要承受可能出现的各种荷载作用,以及在偶然事件发生时能保持必要的整体稳定性。适用性要求边坡及其支护结构在正常使用时能满足预定的使用要求。耐久性要求边坡及其支护结构在正常维护情况下,随着时间的变化仍能保持自身整体稳定。岩土支挡与锚固工程能够满足边坡治理的可靠性要求。挡土墙、土钉墙、预应力锚杆(索)和抗滑桩等常用于边坡治理工程。

(2) 岩土支挡与锚固工程是基坑支护的主要工程措施之一。基坑是为了进行建(构)筑物地下部分施工由地面向下开挖出的空间。为保护地下主体结构施工和基坑周边环境的安全,需要对基坑采用临时性支挡、加固、保护和地下水控制等,也就是基坑支护。基坑支护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,以保证周围环境的安全。随着高层和超高层建筑的大量涌现,基坑工程越来越多。密集的建筑群、大深度基坑周围复杂的地下设施,对基坑工程技术也提出了更高、更严格的要求。不仅要确保边坡的稳定,还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、道路等的安全。岩土支挡与锚固工程可用于保障基坑安全与坑壁稳定。支挡式结构、土钉墙和重力式水泥土墙等常用于基坑支护。

(3) 岩土锚固工程是地下洞室围岩加固的主要工程措施之一。地下洞室是指修建在地层之中的中空通道或中空洞室,包括矿山坑道、铁路隧道、水工隧洞、地下发电站厂房、地下铁道和地下库房等。地下洞室围岩如果不稳定,就需要进行加固。目前,最常用也是最有效的加固方法就是锚杆支护。它不仅可以提高围岩的稳定性,而且可以充分发挥围岩自身的强度,大大提高对围岩的支护能力。

0.3 岩土支挡与锚固工程的主要结构类型

1. 支挡工程结构类型

支挡工程在岩土工程中应用很广泛,结构类型也很多,常见的主要有挡土墙、加筋土挡墙、地下连续墙、抗滑桩和排桩等。

(1) 挡土墙。

挡土墙是用来支撑天然边坡或人工填土边坡以保持土体稳定的构筑物。它主要依靠墙底面与地面的摩擦阻力(重力式)或其他措施对不稳定岩土体提供支撑力。根据挡土墙保持稳定的原理和构造不同,分为重力式挡土墙(包括衡重式挡土墙)、扶壁式挡土墙和悬臂式挡土墙。

(2) 地下连续墙。

地下连续墙是利用各种挖槽机械,借助于泥浆的护壁作用,在地下挖出一段深槽,并在槽内浇注适当材料而形成的一道具有挡土、防渗和承重功能的连续地下墙体。它的适应范围很广,是深基坑工程中最佳的挡土结构之一。

(3) 排桩。

排桩支护是指由成队列式间隔布置的钢筋混凝土人工挖孔桩、钻孔灌注桩、沉管灌注桩、打入预应力管桩等组成的挡土结构。这种结构具有刚度较大、抗弯能力强、适应性好、变形相对小、施工简单以及对周围环境影响小等优点。排桩支护是深基坑支护的一个重要组成部分,在工程中已得到广泛应用。

(4) 抗滑桩。

抗滑桩又称阻滑桩,是一种大截面侧向受荷桩。它通过深入到滑床内部的桩柱来承受滑体的滑动力,起稳定滑坡的作用,适用于浅层和中厚层滑坡。抗滑桩主要依靠埋入滑动面以下部分的锚固作用和被动抗力,以及滑动面以上桩前滑体的被动抗力来维持稳定。抗滑桩除用于治理滑坡外,也可用于路基和建筑边坡加固,阻止填方沿基底滑动。

2. 支挡与锚固结合工程

岩土支挡与锚固结合工程是指以锚固工程的结构形式形成类似于支挡工程治理效果的一类支护工程。它兼具岩土支挡和岩土锚固两者的优点,在工程实践中应用得很多。常见的结构形式主要有加筋土挡墙、锚定板挡土墙、土钉墙和锚杆挡墙等。

(1) 加筋土挡墙。

加筋土挡墙是在土中加入拉筋,利用拉筋与土之间的摩擦作用,改善土体的变形条件,达到稳定土体的目的。加筋土挡墙由墙面板、拉筋和填料等部分组成。加筋土是柔性结构物,能适应地基轻微的变形,地基处理也较简便,是一种很好的抗震结构物,一般应用于地形较为平坦且宽敞的填方地段。

(2) 锚定板挡土墙。

锚定板挡土墙是由墙面板、拉杆、锚定板和填料共同组成的一个整体。拉杆及其端部的锚定板均埋设在回填土中,其抗拔力来源于锚定板前填土的被动抗力。整个结构形成一个类似于挡土墙结构形式。根据墙面结构形式的不同,可分为柱板式和壁板式两种。锚定板挡土

墙具有构件断面小、结构轻、柔性大、占地少、圻工省、造价低等优点，是一种适用于填方地段的支挡结构物。

(3) 土钉墙。

土钉墙由密集的土钉群、被加固的原位土体、喷射混凝土面层、置于面层中的钢筋网和必要的排水系统等组成。土钉依靠与土体之间的界面黏结力或摩擦力在土体发生变形的条件下被动受力，使土钉沿全长与周围土体紧密连接成为一个整体，形成类似于重力式挡土墙的结构，是一种被动加固土体的方法。土钉墙具有施工及时方便、结构轻巧、有柔性、成本低等优点，多用作高速公路和铁路边坡支护、高层建筑深基坑支护、临近建筑的边坡支护等。

(4) 锚杆挡墙。

锚杆挡墙是由钢筋混凝土肋柱、挡土板和锚杆组成的支挡结构物，分柱板式和壁板式两种形式。它的整个结构形成一个类似于挡土墙的构造，但不是靠自重保持稳定，而是靠锚固于稳定土层中的锚杆所提供的拉力来承受墙后土体对结构物施加的压力，以保证挡土墙的稳定。锚杆挡墙具有结构轻、圻工少、对地基要求低、可避免内支撑等优点，在工程中得到广泛的应用。

3. 锚固工程结构类型

锚固工程是通过埋设在地层中的锚杆，将结构物与地层紧紧地连锁在一起，依靠锚杆与周围地层的抗剪强度传递结构物的拉力或使地层自身得到加固，以保持结构物和岩土体的稳定。锚固体系的核心部件是锚杆，它将拉力传递到稳定的岩土层中。锚杆杆体通常由钢筋、特制钢管或钢绞线等筋材组成（当采用钢绞线或高强度钢丝束时，可称作锚索）。目前，常见的岩土锚杆（体系）类型主要有预应力与非预应力锚杆、拉力型与压力型锚杆、单孔单一锚固与单孔复合锚固锚杆体系、扩张锚根固定锚杆、可回收锚杆以及其他新型锚杆等。锚固技术可以充分发挥岩土体的自稳能力，提高岩土体的强度，有效控制变形，已经成为提高岩土工程稳定性和解决复杂岩土工程问题最经济有效的方法之一。

0.4 岩土支挡与锚固工程发展简况

岩土支挡与锚固工程的发展与边坡支护，尤其是滑坡治理密切相关。第二次世界大战后随着世界各国经济的发展和国土开发利用规模的扩大，滑坡越来越多，采用工程措施来治理滑坡才真正开始。早期的滑坡治理工程主要以支挡工程为主，直到 20 世纪 80 年代锚索才开始应用于滑坡治理。

岩土支挡工程的发展大体可以划分为三个阶段：

(1) 20 世纪 50 年代以前，主要以抗滑挡土墙为主。

(2) 20 世纪 60~70 年代开发应用了抗滑桩。它可以解决抗滑挡土墙施工中的困难。这一时期的抗滑桩主要以小直径桩为主，桩径 1.0~3.0 m，桩深一般小于 30 m。

(3) 20 世纪 80 年代以后，大直径挖孔桩开始用于治理大型滑坡。如日本在大阪府的龟之嶽滑坡采用直径 5 m、深 50~60 m 的大型抗滑桩。

随着锚固技术的发展,锚索与抗滑桩联合使用形成“锚索抗滑桩”。它可以改变普通抗滑桩的悬臂受力状态,使桩的被动受力变为主动受力,大大减小了抗滑桩的截面和埋置深度。

锚固工程体现了主动防护的概念,能有效控制岩土体的变形。Arfred Busch 于 1912 年发明了锚杆,并在美国的一个煤矿中成功地进行了顶板的支护。20 世纪 50 年代,锚杆支护技术在各国的工程中得到了大量的应用。对此技术研究最为活跃的国家是美国和澳大利亚,锚杆支护率占煤巷支护的 90% 以上;英国 1987 年开始从澳大利亚引进锚杆技术,到 1994 年其锚杆支护率已达到了 80%。近 20 年来岩土锚固工程的应用发展迅猛。

我国从 1956 年开始试用锚杆支护,50 多年来通过大量的实验和现场应用,已经在作用机理和工程应用上取得了很大的进展。宋维申等人将边坡中锚杆系统的支护作用综合考虑到施锚岩体中。程良奎等研发成功了荷载分散型锚固体系(也称单孔复合锚固方法)和重复高压灌浆技术。荷载分散型锚固体系从根本上改善了锚杆的荷载传递机制,克服了集中拉力型锚固方法的弊端。重复高压灌浆技术解决了软土锚杆抗拔力低、蠕变变形大的问题。

0.5 本课程的主要内容及学习要求

“岩土支挡与锚固工程教程”是为地质工程和土木工程等专业学生学习完工程地质或岩土工程基础课程后开设的专业课程。本教程涉及“岩土支挡工程”和“岩土锚固工程”两大部分内容,包含土压力和滑坡推力计算、岩土支挡工程、岩土支挡与锚固结合工程和岩土锚固工程等四个部分。

“土压力和滑坡推力计算”部分,首先简要介绍了朗肯土压力和库仑土压力理论;然后根据支挡与锚固工程的结构特征和治理对象的特点,重点介绍了各种特殊条件下土压力的计算方法;最后介绍了滑坡推力的基本计算方法。这部分是进行岩土支挡与锚固工程计算和设计的重要基础。

“岩土支挡工程”部分,主要包括挡土墙、地下连续墙、排桩支护和抗滑桩等。挡土墙部分重点介绍了重力式、扶壁式与悬臂式三大类挡土墙;介绍了重力式挡土墙的构造、挡土墙的设计、增加挡土墙稳定性的措施以及施工注意事项,悬臂式与扶壁式挡土墙土压力计算基本方法、挡土墙的构造和设计等内容。地下连续墙部分主要介绍了地下连续墙的结构构造、荷载及稳定性计算、地下连续墙的设计、地下连续墙的施工与检测等。排桩支护部分主要介绍了排桩支护的结构构造、支护结构设计和施工要求等内容。抗滑桩部分主要分析了作用于抗滑桩上的外力,简要介绍了抗滑桩的内力计算方法、抗滑桩的设计、施工与检测等内容。

“岩土支挡与锚固结合工程”部分,主要介绍了加筋土挡墙、锚定板挡土墙、土钉墙和锚杆挡墙等四种形式。加筋土挡墙部分,分析了加筋土加固的基本原理,介绍了挡墙的土压力计算方法、挡墙的设计、稳定性验算方法等内容。锚杆式挡墙和锚定板式挡墙部分主要介绍了挡墙土压力计算方法、挡墙的设计、构筑物稳定性计算等内容。土钉墙部分主要介绍了土钉墙的构造、土钉墙的设计计算、土钉墙的施工与检测等内容。

“岩土锚固”部分，首先介绍了锚固工程的基本原理、锚杆体系的结构构造、锚杆类型以及锚杆内荷载传递等问题；然后具体介绍了锚杆的设计、锚杆的腐蚀与防护、锚杆的施工以及锚杆的试验与监测等内容。

本课程涉及的自然学科范围较广，应在学习完土力学、材料力学、结构力学、弹性力学和建筑材料等的基础上讲授。

本课程的学习要求：注意搞清基本概念；深入理解并掌握各种支挡与锚固工程的基本原理、结构特点及其适用性；明确并能准确分析作用于支挡与锚固结构物上的各种荷载。

第1章 土压力与滑坡推力计算

1.1 概 述

支护工程（包括支挡与锚固）设置的主要目的是支撑岩土体使其保持稳定。这类构筑物的主要荷载是岩土体的侧向压力。为了使结构设计得经济合理，必须正确计算作用于构筑物上的岩土压力，包括力的大小、方向与分布。

土压力主要是指作用于构筑物上的土体侧向压力。它的理论研究自18世纪末就已开始。由于土压力的计算是一个复杂的问题，涉及土体、构筑物和地基三者之间的共同作用，为便于计算，常对这一复杂问题进行诸多假定和简化，如古典的极限平衡理论。极限状态下的土压力理论主要包括库仑理论和朗肯理论。库仑理论由法国的库仑（C. A. Coulomb）于1773年提出。它计算简便，能适用于各种复杂的边界条件，应用较广泛。朗肯理论由英国的朗肯（W. J. Rankine）于1857年提出。它理论上较为严谨，计算时只能考虑比较简单的边界条件，应用上受到很大限制。

滑坡推力是指滑坡体沿滑面所产生的推力。滑面可能是老滑坡滑动面、软弱夹层或结构面等。滑坡推力的大小、方向和作用点的正确确定是滑坡治理工程设计的关键。

1.2 常规土压力计算

土压力的性质和大小与构筑物的位移、高度和填土的性质等有关。根据位移方向和大小，作用于支护结构墙背上的土压力可分为静止土压力、主动土压力和被动土压力三种。在相同条件下，主动土压力最小、被动土压力最大，静止土压力介于两者之间。土压力的相关概念和详细计算推导过程可参考有关的“土力学”教程。

1.2.1 静止土压力计算

静止土压力（ p_0 ）可根据半无限弹性体的应力状态求解。半无限弹性体在无侧移的条件下，其侧向压力与竖向压应力之间的关系为

$$p_0 = K_0 \gamma z \quad (1-1)$$

式中 K_0 ——静止土压力系数；
 γ ——填土的重度， kN/m^3 ；
 z ——计算点深度， m 。

作用于墙上的静止土压力呈三角形分布（见图1-1）。总静止土压力（ P_0 ）的计算只需取沿

墙长度方向 1 延米进行计算,也就是静止土压力分布的三角形面积:

$$P_0 = \frac{1}{2} K_0 \gamma H^2 \quad (1-2)$$

式中 H ——挡土墙高度, m。

如图 1-1 所示,总静止土压力的作用点位于静止土压力三角形分布图形的重心,即距墙底 $H/3$ 处。

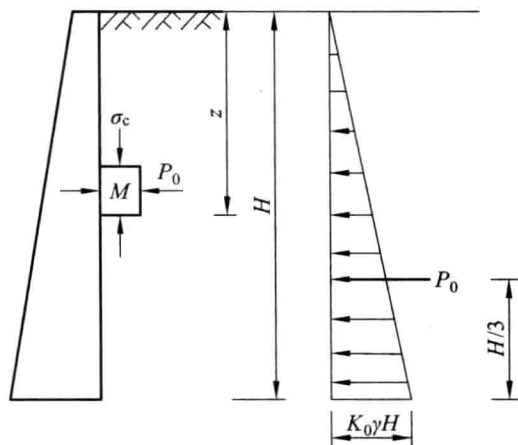


图 1-1 静止土压力计算

1.2.2 朗肯土压力计算

朗肯理论假设土体是表面水平的半无限体,且处于极限平衡状态。它适用于墙背竖直、光滑,墙后填土表面水平的情况。

1. 无黏性土的土压力

无黏性土的主动土压力(p_a)由下式计算:

$$p_a = K_a \gamma z \quad (1-3)$$

总主动土压力(P_a)由下式计算:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \quad (1-4)$$

式中 K_a ——主动土压力系数,

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2) \quad (1-5)$$

φ ——土的内摩擦角, $^\circ$ 。

无黏性土的主动土压力也呈三角形分布,总主动土压力为三角形的面积,力的作用点位于三角形的重心,即距墙底 $H/3$ 处,见图 1-2。

无黏性土的被动土压力 (p_p) 由下式计算:

$$p_p = K_p \gamma z \quad (1-6)$$

总被动土压力 (P_p) 由下式计算:

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 \quad (1-7)$$

式中 K_p ——被动土压力系数,

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2) \quad (1-8)$$

无黏性土的被动土压力也呈三角形分布, 总被动土压力为三角形的面积, 力的作用点位于三角形的重心, 即距墙底 $H/3$ 处, 见图 1-2。

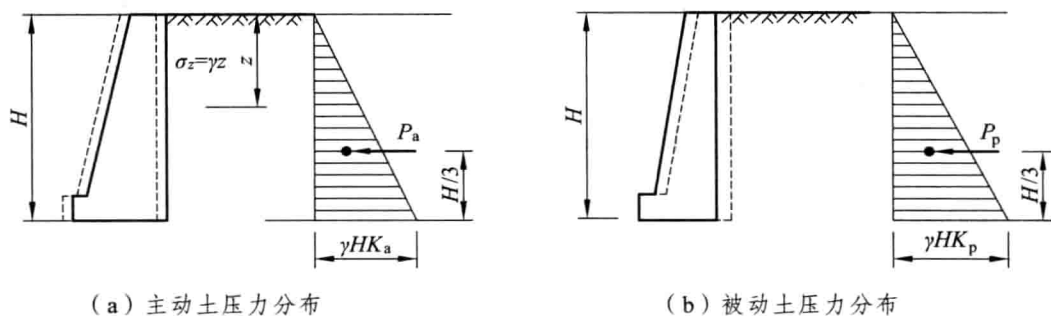


图 1-2 无黏性土的土压力分布

2. 黏性土的土压力

黏性土的主动土压力 (p_a) 由下式计算:

$$p_a = K_a \gamma z - 2c\sqrt{K_a} \quad (1-9)$$

总主动土压力 (P_a) 由下式计算:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 - 2cH\sqrt{K_a} + \frac{2c^2}{\gamma} \quad (1-10)$$

式中 c ——土的黏聚力, kPa。

由式 (1-9) 可看出, 黏性土的主动土压力由两部分组成: 第一部分与无黏性土相同; 第二部分由土的黏聚力产生, 为一常数。这两部分叠加后, 实际作用于挡土墙上的主动土压力只有 $\triangle abc$ 部分, 如图 1-3 所示。总主动土压力的作用点位于 $\triangle abc$ 的重心位置, 即 $(H - z_0)/3$ 处。

黏性土的被动土压力 (p_p) 由下式计算:

$$p_p = K_p \gamma z + 2c\sqrt{K_p} \quad (1-11)$$

总被动土压力 (P_p) 由下式计算:

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 + 2cH\sqrt{K_p} \quad (1-12)$$

由式(1-11)可以看出,黏性土的被动土压力也由两部分组成:第一部分与无黏性土相同;第二部分由土的黏聚力产生,也为一常数。这两部分叠加后,土压力呈梯形分布,如图1-3所示。总主动土压力的作用点位于梯形的重心。

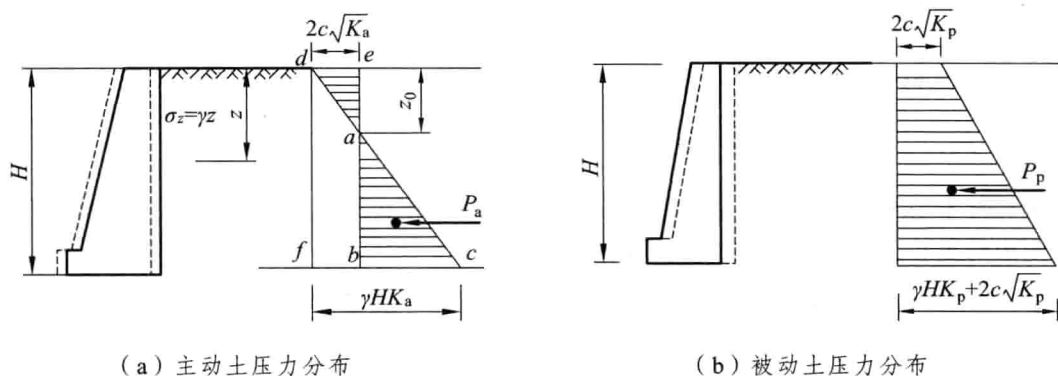


图 1-3 黏性土的土压力分布

1.2.3 库仑土压力计算

库仑土压力计算方法中,假定墙后填土为砂土,填土形成滑动楔体,其滑裂面为通过墙踵的平面。

1. 无黏性土的土压力

无黏性土的主动土压力计算公式与朗肯土压力计算公式形式完全相同,但土压力系数不同。

主动土压力系数(K_a)由下式计算:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon)}{\cos^2 \varepsilon \cdot \cos(\delta + \varepsilon) \left[1 + \frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\delta + \varepsilon) \cdot \cos(\varepsilon - \beta)} \right]^2} \quad (1-13)$$

式中 ε ——墙背倾角,°;

δ ——墙背与填土间的摩擦角,°。

主动土压力也呈三角形分布(见图1-4),合力作用点位于距墙踵 $H/3$ 处,作用力方向与墙背法线成 δ 角,且位于法线之上。

被动土压力系数(K_p)由下式计算:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi + \varepsilon)}{\cos^2 \varepsilon \cdot \cos(\varepsilon - \delta) \left[1 - \frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\varepsilon - \delta) \cdot \cos(\varepsilon - \beta)} \right]^2} \quad (1-14)$$