

锚定板挡土结构

卢肇钧 主编



中国铁道出版社

1989年·北京

锚定板挡土结构

卢肇钧 主编

中国铁道出版社

1989年·北京

内 容 提 要

锚定板挡土结构是一种新型的挡土结构。与重力式圬工挡土墙相比较,它具有结构轻、柔性大,能节约建筑材料,并能适应承载力较低的地基等特点。该书介绍了锚定板挡土结构的设计理论与施工方法。可供土建科研、设计、施工工程技术人员与土建专业师生参考。

锚定板挡土结构

卢肇钧,主编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 冯秉明 封面设计 刘景山

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 毫米 $\frac{1}{32}$ 印张: 6.5 字数: 146 千

1989年10月 第1版 第1次印刷

印数: 1—24200 册 定价: 3.25 元

序 言

锚定板挡土结构是一种新型的挡土结构。与重力式圬工挡土墙相比较，它具有结构轻、柔性大、能节约建筑材料并能适应承载力较低的地基等特点，因而逐渐被许多工程建设部门所采用。

这种新型挡土结构是我国铁道部门所首创，从70年代开始列入铁道部的新技术研究计划，由铁道科学研究院主持，并有许多设计院、铁路局和工程局以及铁路高等学院参加共同协作，取得了大量的科学实验和长期的现场监测数据，已于1984年和1986年共同总结编写了《旱桥锚定板桥台设计原则》和《锚定板挡土墙设计原则》。

为了向国内的土木工程师和科研、教学工作者介绍这种新型挡土结构的设计理论和施工方法，并阐明我们在科研工作的一些学术观点以及存在的问题，现在编写了本书。盼能对这种新型挡土结构的推广工作以及对有关的读者们提供参考。

本书由卢肇钧负责组织编写工作，并对全书进行了统校和定稿。本书各章的编写者为：第一章，卢肇钧；第二章，熊剑；第三章，吴肖茗；第四章，卢肇钧、彭胤宗、张续萱；第五章，章新甫；第六章，栾代宗、张续萱；第七章，张玉瓚、卢肇钧；第八章，吴肖茗、卢肇钧；第九章，汪惠祥；第十章，卢肇钧。

除了上述编写人员以外，还有铁路内外协作单位许多工程师们曾对这项研究工作做出贡献，主要有曹英焯、熊庆

目 录

第一章 总 论	1
1.1 重力式圬工挡土墙	1
1.2 码头的单层锚杆板桩墙	2
1.3 基坑的支撑护壁	3
1.4 锚杆技术的诞生和锚杆挡墙	5
1.5 加筋土挡墙	6
1.6 锚定板挡土结构	7
第二章 锚定板挡土墙上的土压力	10
2.1 概 述	10
2.1.1 土压力的重要性	10
2.1.2 土压力的分类	11
2.2 主动土压力一般的计算方法	13
2.2.1 概 述	13
2.2.2 库伦土压力理论	15
2.2.3 朗金土压力理论	17
2.2.4 条带极限平衡理论	19
2.3 锚定板挡土墙上作用的土压力	23
2.3.1 概 述	23
2.3.2 锚定板挡土墙上土压力的实测结果	24
2.3.3 建议的锚定板挡土墙土压力计算方法	30
第三章 锚定板抗拔力	32
3.1 锚定板前方土体中的应力和位移	32
3.1.1 摩阻力阶段	32
3.1.2 弹性压缩阶段	34

3.1.3 塑性区的发生和《临塑抗拔力》	34
3.1.4 塑性区的发展和极限抗拔力	36
3.1.5 锚定板容许抗拔力与极限抗拔力的关系	36
3.2 锚定板抗拔力的理论计算	37
3.2.1 浅埋锚定板极限抗拔力计算公式	37
3.2.2 关于深埋锚定板极限抗拔力的计算问题	39
3.3 原型锚定板抗拔试验的资料	43
3.3.1 现场试验的设备、布置和方法	44
3.3.2 原型抗拔试验的拉力-变位曲线	44
3.4 抗拔力的基本概念与判断方法	46
3.4.1 容许抗拔力	46
3.4.2 极限抗拔力的基本概念	46
3.4.3 从原型抗拔曲线求得的极限抗拔力	51
3.4.4 各种理论计算值与实测抗拔力的对比	51
3.5 工程应用中的复杂因素和实测结果	53
3.5.1 密度、含水量和强度的不均匀性	53
3.5.2 墙面变形的影响	53
3.5.3 群锚相互影响	54
3.5.4 已成建筑物的实测资料	54
3.5.5 关于锚定板容许抗拔力的建议和讨论	55
3.6 结 束 语	56
3.6.1 小 结	56
3.6.2 讨 论	57
第四章 锚定板挡土结构的稳定性	59
4.1 稳定性计算的一般概念	59
4.1.1 挡土结构的整体稳定性	59
4.1.2 每块锚定板的稳定性	59
4.1.3 土体中的临界滑面和稳定性计算方法	60
4.2 Kranz折线裂面分析法	61
4.2.1 单层锚定板的稳定性分析	61

4.2.2 双层锚定板结构的第一种情况	63
4.2.3 双层锚定板结构的第二种情况	64
4.2.4 双层锚定板结构的第三种情况	65
4.3 铁科院折线滑面分析法	67
4.3.1 铁科院分析方法的图式和基本假定	68
4.3.2 第一种情况	69
4.3.3 第二种情况	70
4.3.4 第三种情况	72
4.3.5 当填土表面水平并有活荷载时的 稳定性分析	73
4.3.6 地基土的强度对锚定板结构整体 稳定性的影响	75
4.4 土墙(或“群锚”)分析法	77
4.4.1 土墙分析法的适用条件	78
4.4.2 土墙分析法的计算简图及计算式	79
4.5 稳定性分析的其他方法	79
4.6 关于稳定性分析各种方法的相互比较	80
4.6.1 关于下层拉杆的稳定长度	80
4.6.2 关于上层拉杆的稳定长度	81
4.6.3 关于锚定板边界后方的土压力计算方法	82
第五章 构件设计	84
5.1 肋柱设计	84
5.1.1 肋柱内力计算	84
5.1.2 肋柱断面设计	93
5.2 拉杆设计	94
5.2.1 拉杆的材质选择和断面设计	95
5.2.2 拉杆长度的设计和稳定性检算	96
5.2.3 拉杆连接	97
5.2.4 拉杆防锈	97
5.3 锚定板设计	98

5.4 墙面板设计	98
5.5 肋柱基础设计	98
第六章 锚定板桥台的设计原则与计算	100
6.1 锚定板桥台的结构形式	100
6.2 锚定板桥台设计原则的编制及其特点	102
6.2.1 关于锚定板桥台的墙面土压力	103
6.2.2 关于锚定板的容许抗拔力	106
6.2.3 关于锚定板桥台的拉杆长度	106
6.3 分离式锚定板桥台算例	107
6.3.1 设计资料	107
6.3.2 土压力计算	107
6.3.3 肋柱计算	108
6.3.4 拉杆钢筋截面选择	118
6.3.5 拉杆长度计算——稳定性检算	118
6.3.6 挡土板计算	119
6.3.7 锚定板计算	119
6.3.8 支承墩基底应力检算	120
第七章 锚定板挡土墙的设计原则与计算	121
7.1 锚定板挡土墙的结构型式及其应用	121
7.2 锚定板挡土墙设计原则的编制及其特点	123
7.3 用几种方法进行稳定性计算的实例 及其比较	124
7.3.1 用Kranz方法检算锚定板挡土墙的 稳定性	124
7.3.2 用铁道科学研究院方法检算锚定板 挡土墙的稳定性	129
7.3.3 用土墙方法检算锚定板挡土墙的 稳定性	132
7.3.4 用几种方法计算的拉杆长度比较	132
第八章 锚定板结构工程实录	135

8.1 锚定板桥的工程实例	138
8.1.1 陇海铁路袁庄锚定板桥台	138
8.1.2 武豹公路跨铁路立交桥	139
8.1.3 四平公路立交桥	142
8.2 锚定板挡土墙的工程实录	147
8.2.1 北京西北环线321锚定板挡墙	147
8.2.2 常州港池锚定板挡墙	147
8.2.3 南平造纸厂锚定板挡墙	148
8.2.4 武昌车站牵出线锚定板挡墙	151
8.2.5 长沙井湾子邻街锚定板挡墙	151
8.2.6 小云岗锚定板挡土墙	152
8.2.7 马营湾(峙峰山)煤矿采空区 锚定板挡墙	153
8.2.8 鲛鱼圈锚定板挡土墙	154
8.2.9 江村编组站无肋柱式锚定板挡墙	157
8.3 锚定板结构在试建初期所遭遇的 困难和所取得的经验	158
8.3.1 太焦铁路稍院锚定板挡墙	158
8.3.2 太岚线河下锚定板挡墙	163
第九章 锚定板挡土结构的施工	165
9.1 施工准备	165
9.1.1 准备工作	165
9.1.2 机具设备的配置	166
9.1.3 劳动力组织及分工	166
9.1.4 建筑材料及构件预制	167
9.1.5 钢拉杆的防锈	172
9.2 施工程序	176
9.3 基础工程与肋柱吊装	178
9.3.1 基础工程	178
9.3.2 肋柱吊装	180

9.4 填土程序及夯实要求	183
9.5 拉杆、锚定板及挡土板的安装	184
9.5.1 拉杆的安装	184
9.5.2 锚定板及挡土板的安装	185
9.6 锚定板结构的现场原型试验及监测	187
9.6.1 原型锚定板抗拔试验的方法	187
9.6.2 拉杆内力监测	188
9.6.3 肋柱位移状态监测	188
9.6.4 填土内部的下沉量监测	189
9.6.5 土压力监测	190
第十章 发展与研究	191
10.1 关于高挡土墙和粘性土的侧压力问题	191
10.2 关于深埋锚定板抗拔力的进一步研究	192
10.3 关于墙趾应力集中对下层拉杆长度 的影响问题	193
10.4 关于土压力和土体稳定性的理论分析 和综合判断问题	194
参考文献	196

第一章 总 论

挡土结构有多种用途,包括挡土墙、桥台、码头岸墙、基坑护壁、船坞护岸等等。这类结构物主要承受所支挡土体的侧向土压力。为了保证挡土结构物及其所支挡土体的稳定性,它必须能抵抗侧向土压力所产生的滑动作用和倾覆作用并具有一定的安全度。

锚定板挡土结构是一种由墙面系、钢拉杆、锚定板和填土共同组成的轻型挡土结构。它发展于70年代初期,具有我国的特色。为了说明这种新型挡土结构的特点并与其它类型的挡土结构相比较,现将各类挡土结构物的发展和演变过程概述如下。

1.1 重力式圬工挡土墙

重力式圬工挡土墙是最古老并且最广泛应用的一种刚性挡土结构,如图 1—1。这种挡土墙的设计一般采用库伦土压力理论。当墙体向外倾斜变形从而使墙后土体达到主动土压力状态时,可假定土中的主动土压滑动面为平面并按滑动土楔的极限平衡条件求算主动土压力,如图 1—1(a)。当墙体向内推动从而使墙后土体达到被动土压力状态时,应采用复合的被动土压滑动面以计算被动土压力,如图 1—1(b)所示。

刚性挡土墙依靠本身的重力以抵抗滑动力和倾覆力矩。其抗滑力等于墙体重力(W)及基底摩擦系数(f_0)之乘积,抗倾覆力矩等于墙体重力与其重心至墙趾水平距离之乘

积。当地基为粘性土时, 基底摩擦系数一般采用 $f_b = 0.3 \sim 0.4$, 则墙体重量需为水平推力的三倍。如果挡墙较高, 倾覆力矩很大, 则基底必须较宽始能抵抗倾覆。重力式圬工挡土墙为了满足上述要求的重量和基底宽度, 必须耗费较大量的圬工, 并对地基要求有较高的承载能力。因此, 为了减轻挡土结构的重量以节省材料并适应承载力较低的地基, 60年代以后世界各国普遍发展了锚杆挡土墙和加筋土挡墙等新型挡土结构。

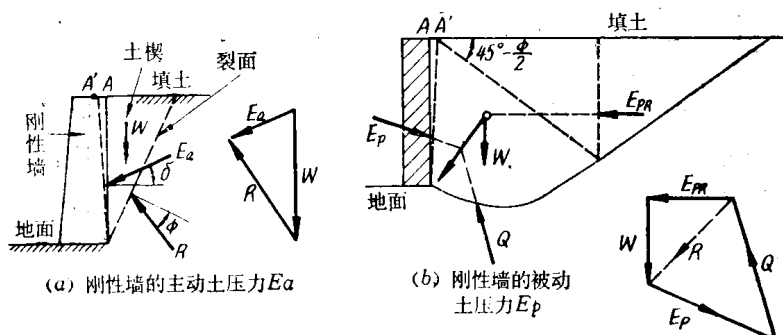


图 1-1 重力式圬工挡土墙

1.2 码头的单层锚杆板桩墙

图 1-2(a) 表示码头护岸工程中常用的板桩挡土墙, 板桩的下端插入土中很深, 上部用单层锚杆维持平衡。这种挡土结构在码头中应用已有近百年历史, 为了与我国最近发展的多层锚定板结构相区别, 本书称之为“单层锚杆板桩墙”。

从 40 年代末到 50 年代中期, Tschebotariff、Rowe、Hansen 和 Terzaghi 等人对这种结构的土压力进行了一系列模型试验和观测研究。他们的试验结果表明, 这种结构所受土压力的总值与库伦土压理论的计算结果相似, 但压力分布

却与库伦土压力的三角图形不同。板桩受侧向压力后，产生很大的柔性变形，如图 1—2(a)。在土体中由于相邻部位的不同变形而产生拱作用，使锚杆附近和板桩底部的主动土压力增大，板桩中部的主动土压力减小，同时在板桩前方靠近开挖面处的被动土压力增大，如图 1—2(b)。这种拱作用使得板桩中部所受的弯矩减小。其具体计算方法详见有关的参考资料。

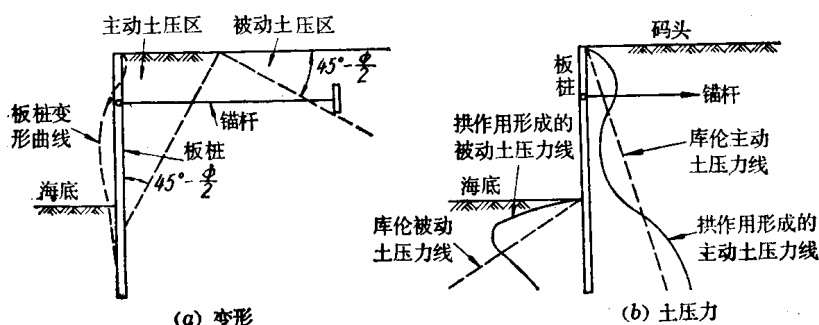


图 1—2 单层锚杆板桩码头墙

单层锚杆板桩墙只能在一定的条件下采用，即当地基为适合打入板桩的粘性土而且护岸的高度约为 8~12m 左右时。如果地基较硬或护岸较高，即不宜用此种挡土结构。

1.3 基坑的支撑护壁

图 1—3 表示六十年代以前常用的基坑护壁结构。这种结构有多排横撑，板桩插入坑底的深度不大。一般深基坑多

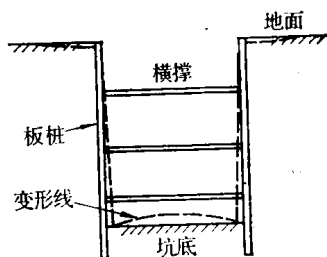


图 1—3 基坑的支撑护壁

在城市中施工，为了防止附近的建筑物发生沉降开裂，要求尽量减少坑壁的变形。因此施工程序先将板桩打入地下，然

后从地面逐层开挖，每挖一层便及时安装支撑并尽量顶紧。这种结构的变形如图 1—3 所示，其土压力受施工方法的影响，不能用库伦理论计算，也不是三角形分布。

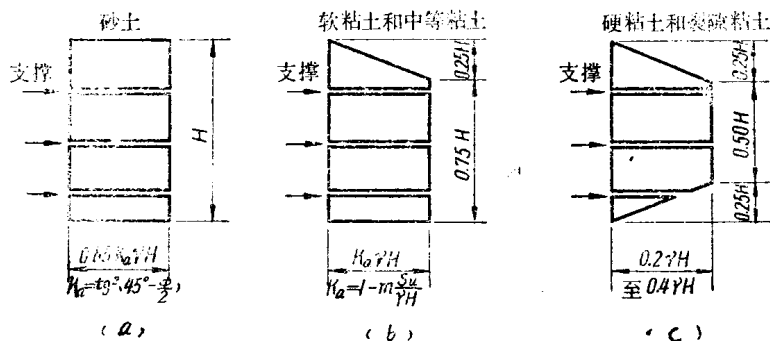


图 1—4 有横撑的基坑护壁土压力

Terzaghi和Peck(1967)建议对这种结构的土压力采用经验计算图式如图 1—4。Peck并在1969年第七届国际土力学及基础工程会议对此图式作了如下的说明和讨论。这种图式不代表土压力的精确分布规律，而是从六十年代以前基坑支撑护壁的若干实测资料中总结得到最大土压力的包线。在砂粘土中，如采用有效内摩擦角 ϕ' 进行计算，则土压力亦接近图 1—4(a)。在粘土中，压力图形又由于土的应力状态而分为以下几种情况：如果 $\frac{\gamma h}{S_u} > 6$ （ h 为基坑深度， S_u 为不排水抗剪强度），则基坑底部处于塑性状态，图 1—4(b)式中的 m 值在0.4~1.0之间。如果 $\frac{\gamma h}{S_u} = 5 \sim 6$ 之间，可采用 $m = 1$ 。如果 $\frac{\gamma h}{S_u} < 4$ ，则坑底处于弹性状态，土压力采用图 1—4(c)。

以上扼要地概述了六十年代以前最常用的三种挡土结构及其土压力计算方法。这三种挡土建筑物的结构型式和计算方法比较简单，但不能适应现代工程对支挡建筑物所提出的

更高和更复杂的技术要求。例如：一些滑坡地区的抗滑挡墙，由于其基础深、推力大，若采用重力式挡墙则极不经济而且施工困难。又如一些软土地区地基软弱，若修建重力式圬工墙，则需采用耗资较大的人工地基。现代工程的基坑深度和宽度往往很大，钢横撑需耗费大量材料而且侵占坑内空间，妨碍施工工作。因此，必需研究采用新型支挡建筑物，以节约工程材料、提高劳动生产率、并解决那些旧式支挡建筑物所不能克服的技术问题。

60年代以后，锚杆技术、锚杆挡墙和加筋土挡墙在西方各国迅速发展。我国在引进这些新技术的同时，并发展了具有我国特色的锚定板挡土结构。这些新型挡土结构有多种不同的类型和特点，它们结构轻、柔性大、可以预制拼装、能适应软弱地基的沉降变形，作为挡土墙施工时不需开挖基坑，而作为深基坑的护壁时则可完全取消钢横撑。因此，可节约投资和劳动力，并且便于施工。现将这几种新型支撑结构的发展情况分述如下。

1.4 锚杆技术的诞生和锚杆挡墙

锚杆是一种新型的受拉杆件，它的外端与工程建筑物联结，内端锚固在山坡或地基深处的钻孔中，以承受土压力或水压力对建筑物所施加的推力，从而利用地层深处的锚固力以维持建筑物和表层岩体的稳定性。

在50年代以前，锚杆只是作为施工过程中的一种临时措施，例如，临时的螺旋地锚以及采矿工业中的临时性木锚杆或钢锚杆等等。50年代中期，西方国家的隧道工程中开始广泛采用小型永久性的灌浆锚杆和喷射混凝土以代替过去的隧道衬砌结构。60年代以后，灌浆锚杆的技术迅速发展，西方许多国家的工程公司分别研究发展了多种不同类型的锚杆和

专利的施工机具与工艺，锚入地层的深度一般可达10~30m，锚孔直径90~130mm，拉杆采用不同型号和根数的高强度钢丝或粗钢筋，每根锚杆的屈服拉力在土层中一般为30~60t，在岩层中一般为60~100t，最大可达千吨。

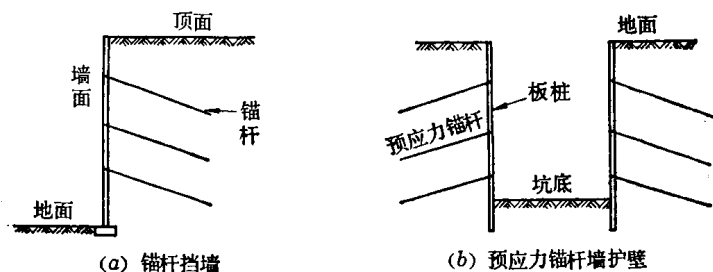


图 1—5 锚杆挡墙和护壁

随着锚杆技术的发展，锚杆挡土墙和基坑锚杆护壁已在西方各国广泛地应用，图 1—5 表示这种新型挡土结构。在这种结构的设计和施工中，一般均对锚杆施加预应力，以保证施工质量并减少侧壁的变形。因此，有人主张采用主动土压力和静止土压力的平均值作为锚杆挡土墙的设计土压力。在锚杆技术的发展过程中，实践远远地走在理论研究的前面。现有的设计施工技术主要以实验的结果为依据，大量的理论研究工作还正在进行中。

1.5 加筋土挡墙

加筋土是法国工程师亨利华达尔(H. Vidal)在六十年代提出的，图 1—6 表示一个加筋土挡墙的主要组成部分。这种结构主要由墙面板、拉筋及填土共同组成，它依靠拉筋与填土之间的相互摩擦力以保持稳定。墙面板一般采用 $1.5 \times 1.5\text{m}$ 的预制混凝土板拼装，拉筋一般采用带状镀锌扁钢，或

具有塑料涂层的特制扁钢。加筋土所适用的填土需要有较高的摩擦系数，美国公路1978年的加筋土标准要求土料的塑性指数小于6，并要求小于200号筛的颗粒不超过25%，因而在粘性土中不宜采用。

镀锌钢带在加筋土中的防锈问题是一个仍有争论的关键。目前西方国家正在研究用玻璃丝塑料 (*Glass Fibre Reinforced Plastic*) 或其他土工纤维材料做为拉筋以提高防锈能力，但尚未达到实用阶段。

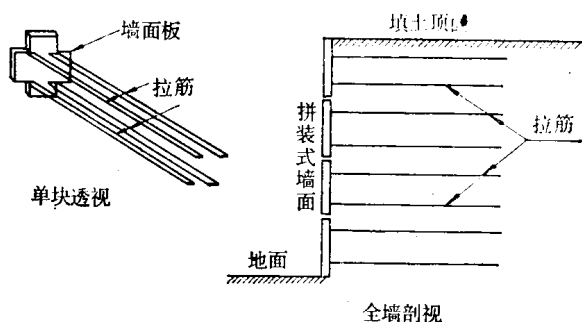


图 1—6

1.6 锚定板挡土结构（以下简称“锚定板结构”）

由于我国挡土墙后的填土多为粘性土，而且缺乏镀锌钢带，推广应用西方国家的加筋土挡墙有一定的困难。因此，从70年代开始在我国铁路上研究发展锚定板结构。

锚定板结构是一种适用于填土的轻型挡土结构，可以用做挡土墙、桥台或港池护岸。这种结构由墙面系、钢拉杆、锚定板和填土共同组成，如图1—7。它的墙面系可以用预制的钢筋混凝土肋柱和挡板拼装，钢拉杆的外端与肋柱联接，内端与锚定板联接。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。