

现代土工加筋技术

欧阳仲春 编著

人民交通出版社

Xiandai Tugong Jiajin Jishu

现代土工加筋技术

欧阳仲春 编著

人民交通出版社

(京)新登字091号

现代土工加筋技术

欧阳仲春 编著

插图设计: 秦淑珍 正文设计: 乔文平 责任校对: 刘素燕

人民交通出版社出版发行

(100013北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本: 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张: 7 字数: 178千

1991年6月 第1版

1991年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—5000册 定价: 6.40元

ISBN7-114-01131-8

U·00738

111.28

内 容 提 要

本书在系统介绍了土工加筋技术的基本知识的同时,集中反映了80年代国内外的有关最新研究成果。全书共六章,第一章总论,第二章土工加筋的原理,第三章加筋土的特性与试验分析,第四章加筋地基,第五章加筋边坡,第六章加筋挡土墙。

本书可供公路、铁路、水运、水利、建筑部门的工程技术人员与科研工作者使用,亦可作为高等院校教学参考书或选修教材。

前 言

1979年在全国第三届土力学基础工程学术会的综合报告中以及1981年第10届国际土力学基础工程会议的科技发展水平报告中均指出,60年代以来,岩土工程中的重要新进展之一就是加筋土与锚杆技术的广泛采用,尤其是近20年来土工合成材料的大量涌现更将这个新发展推向了“岩土工程领域革命”的高潮。土工加筋技术正是加筋土与锚杆技术深入发展的结果,目前,土工加筋技术正以其旺盛的生命力风靡全球!我国也不例外,然而,目前国内尚无一本全面系统地反映土工加筋技术的专著,本书的目的就是试图填补这一空白,但由于作者水平和能力所限,亦未必如愿,不足之处,敬请读者批评指正。

本书在综合国内外土工加筋技术的基础上简明系统地介绍了土工加筋的原理、特性与试验,以及工程设计;集中反映了80年代的最新研究成果,取材于科研和生产实践,并列举各种工程实例,可供公路、铁路、水运、水利建筑等部门的工程技术人员参考,亦可作高等院校的教学参考书或选修教材。

编著者

1990.3.于重庆交通学院

目 录

前 言

第一章 总 论	1
第一节 定义及分类	1
一、定义	1
二、分类	1
第二节 最近的动态与应用	3
一、加筋材料	3
二、在填土结构物中的应用	6
三、边坡加筋	7
四、加筋土挡土墙	10
第二章 土工加筋的原理	12
第一节 引言	12
第二节 摩擦加筋原理	13
第三节 准粘聚力理论	14
第三章 加筋土的特性与试验分析	19
第一节 加筋土的本构关系	19
一、直接拉伸试验	19
二、三轴压缩试验	26
三、大比例三轴试验	28
四、弹塑性层板理论分析	30
第二节 交替正交层系与均质等代材料原理分析	34
一、加筋土系统的一般性质	35
二、刚性薄板加筋系	38
三、席垫或条带加筋系	42
四、实例	46

第三节 加筋土的蠕变特性·····	48
一、速率过程理论与三参数蠕变方程·····	49
二、土中长期拉拔试验·····	59
三、聚丙烯土工带的蠕变计算·····	62
四、冻融温度对土工织物变形性能的影响·····	66
第四节 加筋土的摩擦特性·····	67
一、大比例直剪试验·····	68
二、拉拔试验·····	76
三、似摩擦系数的规范值·····	80
四、减荷延伸试验·····	81
五、影响摩擦系数的主要因素·····	83
第五节 粘性土与土工织物界面的相互作用·····	85
第六节 试验标准化的进展·····	90
一、概述·····	90
二、力学性能试验标准化·····	91
三、有关拉伸试验的讨论·····	94
第四章 加筋地基·····	95
第一节 加筋地基的承载力·····	95
一、用拱膜二步法分析加筋地基承载力·····	95
二、加筋砂土地基承载力的试验研究·····	102
第二节 加筋地基的沉降·····	109
第三节 加筋地基的设计·····	114
一、未铺路面道路加筋地基·····	114
二、条形荷载作用下加筋地基的计算·····	121
三、加筋垫层—砂井联合地基·····	124
四、桩网加筋地基·····	129
第五章 加筋边坡·····	132
第一节 概述·····	132
一、定义·····	132
二、基本结构及施工程序·····	132

三、应用范围·····	134
第二节 基本原理·····	135
一、锚钉加筋的机理·····	135
二、锚钉边坡的加筋效果·····	135
三、锚钉边坡的破坏机理·····	136
第三节 稳定性分析·····	137
一、引言·····	137
二、条分法·····	137
三、修正的瑞典条分法·····	139
四、刚体运动法·····	141
五、有限单元分析·····	148
六、应用动态程序寻找危险滑动面·····	155
七、岩石锚钉边坡最不稳定结构面的确定·····	158
第四节 锚钉边坡的设计·····	166
一、经验设计法·····	166
二、稳定分析设计法·····	168
第六章 加筋挡土墙·····	171
第一节 类型与基本构造·····	171
一、类型·····	171
二、基本构造·····	172
第二节 条带式加筋挡土墙的设计·····	175
一、加筋体的设计·····	175
二、基础设计·····	176
三、内部稳定计算·····	177
四、外部稳定计算·····	186
五、高大加筋挡墙加筋带拉力的计算·····	188
第三节 顶锚式加筋挡墙的计算要点·····	191
一、基本结构型式·····	191
二、计算要点·····	191
第四节 席垫式土工合成材料加筋挡墙的设计·····	194

一、应力分析.....	194
二、墙面板的设计.....	196
三、加筋层的设计.....	200
四、加筋的长度.....	203
五、承载力.....	204
六、水平位移.....	205
七、沉降.....	207
八、例题.....	207
主要参考文献.....	211

第一章 总 论

第一节 定义及分类

一、定 义

随着科学技术的进步以及现代化建设的需要，土工加筋技术（earth reinforcement）有了迅速的发展。近20年来，全世界不仅建成了数以千计的各种类型的加筋土工程，而且还采用土钉（soil nailing）、树根桩（root pile）、长纤维混合砂（TEX-SOL）加固了许多挖方边坡；采用土工格栅（geogrid）、土工织物（geotextiles）、钢筋网（steel nets）以及网桩（pile nets）等加固了许多软弱地基。上述土工加固方法的共同特点都是在土工构筑物中或原位土体中埋入了某种受拉构件（即拉筋）而使土的强度和稳定性得以提高。因此，凡在土中敷设拉筋而使整个土工系统的力学性能得到改善的土工加固方法均属土工加筋技术。

二、分 类

根据拉筋在土工系统中的作用以及应用目的的不同，土工加筋技术一般可分为表1-1所列的三种类型。

1. 加筋土

加筋土是由一层或多层水平加筋构件与填土交替铺设而成的一种复合体（图1-1）。加筋土中的加筋构件主要承受土体产生的侧向拉力，因此，加筋土可用于以提高构筑物稳定性为目的的土工结构。

2. 土钉

土钉是将一系列的钢筋用砂浆锚入拟加固的原位边坡，然后

土工加筋技术的作用及应用

表1-1

项 目	分 类	加 筋 土	土 钉	树 根 桩
作 用	抗 拉	✓	✓	✓
	抗 压			✓
	抗 剪	.	✓	
	抗 挠			✓
应 用	承载能力	△		△ △ △
	稳 定 性	△ △ △	△ △ △	△
	控制沉降	△		△

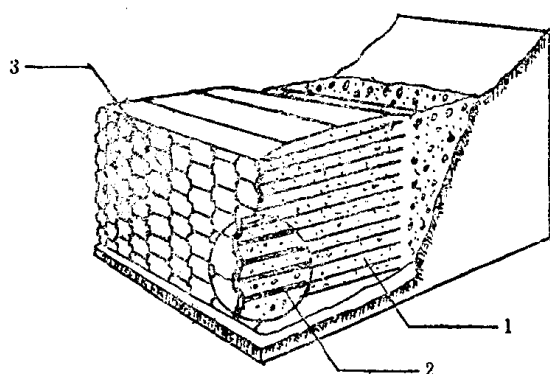


图1-1 加筋土挡墙示意图
1.填土 2.加筋构件 3.墙面板

在坡面喷射混凝土（图1-2）而形成的一种原位边坡加固构件。锚入边坡的加筋构件——土钉主要承受拉力和剪力，因此土钉主要用于以提高边坡稳定性为目的的边坡工程。

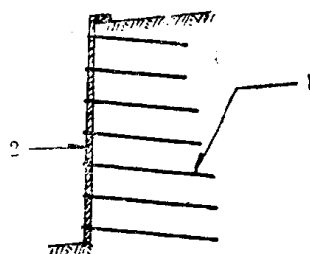


图1-2 土钉墙
1.锚钉 2.面板

3.树根桩

或者称微型桩（micro-pile），其形状与作用类似于树根，因此而得名。其特点是桩直径小，只有75~750mm，若干树根桩组成网状桩群，用来稳定边坡或支挡土体，或加固基础（图1-3）。

树根桩中的加筋构件——树根桩可承受拉、压、挠曲等作用。

碎石桩不能承受拉力，锚定板不是运用筋——土之间的摩擦力来克服土体产生的拉力，因此本文均不将这两种土工加固方法列入土工加筋技术范畴。

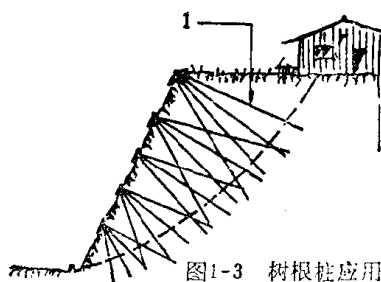


图1-3 树根桩应用实例
1. 树根桩

第二节 最近的动态与应用

在土中加筋可以有效地提高土的强度和稳定性，这个道理虽然自古以来就被人们所认识，但将这种技术用于现代工程并升华为理论却是近20年来的事情。目前土工加筋技术正以其旺盛的生命力风靡全球。从公路、铁路到房屋建筑以及其他工业构筑物无不留下土工加筋技术的足迹，有关土工加筋技术的国际会议也多次召开。如最近（1988年10月）在日本福冈市召开了“国际土工加筋的理论与实践学术会议”，1990年5月又在荷兰海牙召开第四届国际土工织物大会。这些国际性的会议不仅检阅了各国的土工加筋技术水平，而且还推动了这项技术的发展。

我国自1979年在云南田坝矿区修建了第一座高8 m的加筋土挡墙以来，目前已建成各种加筋土工程100多项。《公路加筋土工程设计，施工规范》（新稿）也已脱稿，目前正在审定之中，预计规范颁布以后，我国的土工加筋技术会有一个较大的发展。

本节先简要介绍这项技术的发展水平及应用情况，具体设计计算留在以后各章中分别讨论。

一、加筋材料

现代土工加筋材料主要有四大类：

第一类是天然植物，如竹、黄麻、柳条；

第二类是钢材，如不锈钢、镀锌钢、碳素钢；

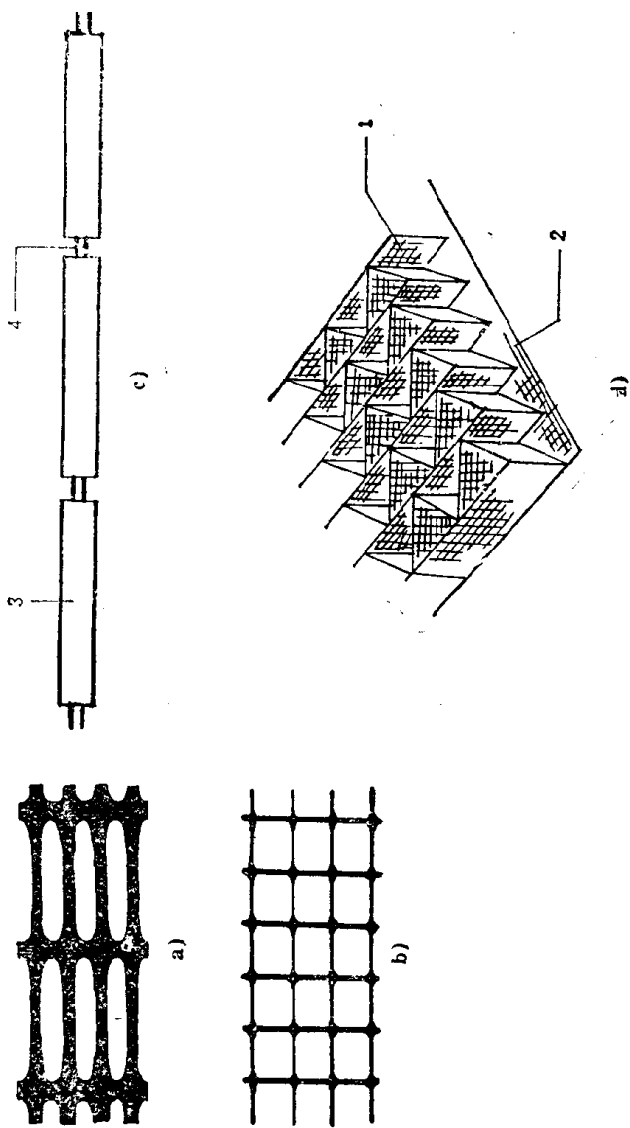


图1-4 加筋构件
a)单轴土工格栅；b)双轴土工格栅；c)钢筋混凝土板条；d)土工网箱
1.单轴向格栅 2.双轴向格栅 3.混凝土板条 4.钢筋

第三类是合成材料，如聚丙烯、聚乙烯、聚酯、尼龙、玻璃纤维等。

第四类是钢筋混凝土。

用上述材料制成的土工加筋构件有竹筋、钢带、钢筋、钢筋

Tensar土工格栅性能表

表1-2

品 名	幅宽 每卷长		网眼尺寸 (mm)		抗拉强度 (kN/m)		延伸率(%)		杨氏模量 (kN/cm ²)		材 质
	(m)	(m)	经 向	纬 向	经 向	纬 向	经 向	纬 向	经 向	纬 向	
SS1	4	50	28	38	12	18	10	10	320	450	聚 丙 烯
SS2	4	50	28	40	15	28	8	7	480	670	
SS3	4	50	53	71	12	26	7	9	340	380	
SR55	1	30	156	23	55		14	6	380		高密度
SR2	1	30	110	22	80		17	10	270		聚乙烯

Stabilenka土工席垫性能表

表1-3

规 格	极限抗拉强度 (kN/m)		破裂延伸率 (%)		延伸率6% 时强度 (kN/m)	材 质		纤维重 (g/m ²)	50%应力率 2年后蠕变 率(%)	幅宽 (m)
	经向	纬向	经向	纬向		经	纬			
150/45	150	45	9	20	75	聚 酯	聚 酰胺	365	2	5.0
300/45	300	45	9	20	150	聚 酯	聚 酰胺	590	2	4.3
400/50	400	50	10	18	200	聚 酯	聚 酰胺	845	2	5.0
600/100	600	100	10	18	300	聚 酯	聚 酰胺	1335	2	5.0
1000/100	1000	100	10	18	500	聚 酯	聚 酰胺	1960	2	5.0

网；土工席垫，土工塑料带，土工格栅（图1-4a），土工网箱（图1-4b），钢筋混凝土板条（图1-4c）等，名目繁多。有一类名叫“Tensar”的土工格栅（材料为聚丙烯或聚乙烯）断裂拉力可达80kN/m（宽1m，长1m），相应的延伸率也只有17%，若控制延伸率在5%，抗拉力可达50kN/m（表1-2）；另外，还有一种名为“Stabilenka”的土工编织席垫（材料为聚酯和聚酰胺）破裂拉力高达200kN/m（宽1m，长1m），而破裂延伸率只有10%（表1-3），这些指标完全能满足工程设计的需要。

二、在填土结构物中的应用

凡是填土结构物都可采用土工加筋技术，如路堤、防波堤、堤坝都可在其底部铺设一层或数层土工织物以提高堤坝的稳定性，尤其是在软土地区，如果再结合砂桩、碎石桩等方法综合处置，则效果更佳。这种“三明治”式的加筋土堤国外很普遍，我国近几年来也已开始试验采用。如深圳赤湾港西防波堤，地基层为8~10m厚的淤泥土层， $\phi_u = 0$ 。采用土工织物垫层方案于85年成功地填筑了高7.5m，长500m的防波堤（图1-5）。又例如，铁路部门为解决路基不超填，节省用地，防止雨水冲刷边坡以强化路基等课题，83年以来先后在新建铁路和运营铁路线上填筑了总长为300多米的塑料格网（土工格栅）加筋土路堤，这些路堤高为6~12m（图1-6）。

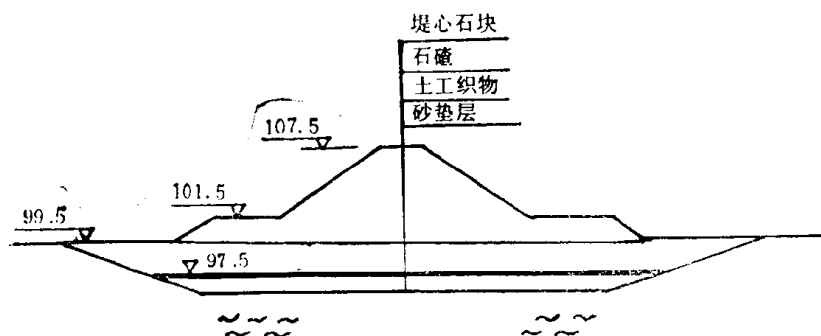


图1-5 深圳赤湾港西防波堤断面图

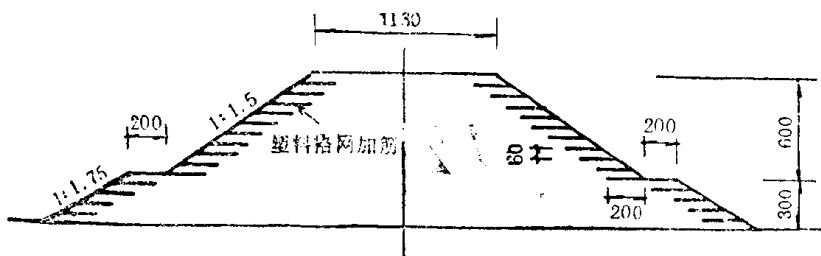


图1-6 大秦线铁路塑料格网路基断面

近两年来，英国、日本等地还采用了一种叫做土工网箱席垫 (geocell mattress) 的方法来加固软土地地区的路堤。土工网箱席垫是由1m宽的单轴向土工格栅相互垂直排列而成的一系列相互锁结的蜂窝状结构 (图1-7)，因此，整个网箱席垫的厚度也为1m，箱底为一层双轴向土工格栅，网箱内填入粗粒土即形成坚固的路堤基层，同时又是一层很好的排水层，所以它能迅速增加路堤的短期稳定性。另外，据苏格兰格拉斯哥附近的一个工点表明，与换填方案比较土工网箱可节约投资31%。

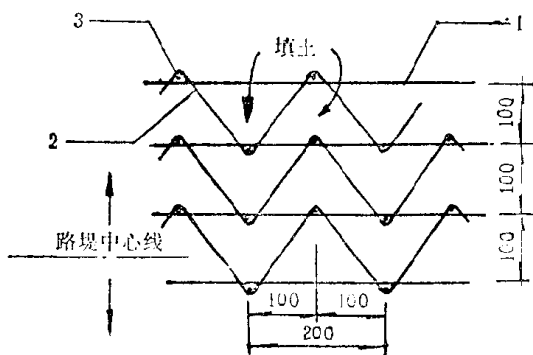


图1-7 土工网箱席垫结构 (平面图)

1. 单轴格栅 2. 单轴格栅 3. 固定桩

三、边坡加筋

在对自然边坡或挖方边坡进行原位加筋的方法中，土钉是目前国外应用得最多的一种新技术，尤其是软质岩石边坡加固效果

最佳。图1-8是对日本道路公团 (Japan Highway Public Corporation) 修建的73个土钉加筋边坡的调查情况 (图1-8)。我国四川铜梁县安居船闸工程中采用土钉技术加固了50m高的航道开挖边坡 (图1-9)，节省工程造价30%左右。另外，土钉加固边坡的方法由于是采取自上而下的施工程序，因此，它能解决城市困难场地无法修建重力式支挡工程问题，如重庆市望龙门住宅群体工程位于长江边一个地势陡峻的旧城区内 (实际上是一个陡峻的城市山坡)，区内新旧高楼房密集叠障，个别既有建筑物与拟

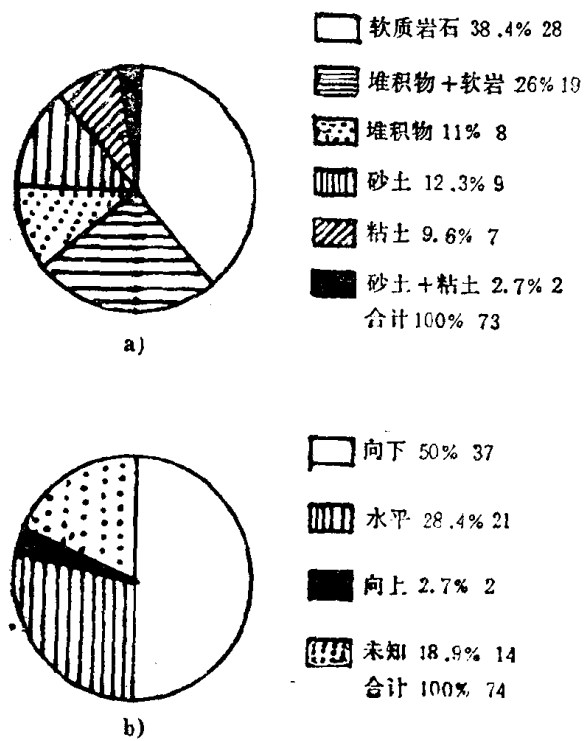


图1-8 土钉加筋边坡的实际调查情况 (日本)
a)加固边坡的土质情况 b)土钉的设置情况

建楼房之间的净距只有4~5m，而高差却达18m以上，要在4m宽的“一线天”中修筑18m多高的挡土墙并采用重力式大断面开挖，自下而上的砌筑程序显然是行不通的！而“土钉”却可独占鳌头，图1-10就是该地区的一个典型土钉墙断面图 (图1-10)。