

Jiajintu Dangqiang

加 筋 土 挡 墙

铁道部第四勘测设计院科研所

人 民 交 通 出 版 社

前 言

加筋土工程是六十年代发展起来的一项土木建筑新技术，由于应用广泛、造价低廉、施工简便，颇受工程界的欢迎。国内外都在不同程度的积极研究和推广应用这项新技术。

七十年代中期，我国引进加筋土技术后，在公路、铁路、煤矿等部门先后进行了研究和应用。为了进一步推动我国加筋土工程的发展，我们编写了这本书以便读者从中得到启发。

本书介绍了国外和国内加筋土工程的发展概况，加筋土挡墙的设计原理和计算方法，以及工程实例和施工工艺等。编写过程中，参阅了国内外多种文献及一些实际工程的试验资料。本书可供公路、铁路、建筑等有关部门技术人员参考。

本书第一章由游聚祥、杨柳风编写；第二章由闵顺南、仇菊美、时钟伦编写；第三章和附件由杨柳风编写。

由于经验不足、水平有限，漏误、不妥之处在所难免，敬请读者指正。

编 者

1984年3月

内 容 提 要

本书第一章介绍了国内外加筋土技术的发展概况及加筋土的结构特点；第二章介绍了加筋土挡墙的设计理论、计算方法及注意事项；第三章介绍了加筋土挡墙的施工方法和工程实例；附录介绍了国内目前加筋土挡墙的试验情况。

本书是一本加筋土挡墙的通俗读物，可供土木工程技术人員参考。

加 筋 土 挡 墙

铁道部第四勘测设计院科研所

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：5.5 字数：106千

1985年5月第1版

1985年5月第1版第1次印刷

印数：0001—9800册 定价：1.15元

目 录

第一章 加筋土技术发展概况及结构特点	1
第一节 加筋土技术发展概况	1
第二节 加筋土结构特点	8
第二章 加筋土挡墙的设计	23
第一节 加筋土挡墙的设计与计算	23
第二节 设计中应注意的问题	80
第三节 设计资料	92
第四节 算例	97
第三章 加筋土挡墙施工	116
第一节 施工机具	116
第二节 施工工艺流程	116
第三节 施工注意事项及工程质量验收	124
第四节 工程实例	127
附录一 加筋土挡墙测试及试验资料简介	149
附录二 国内外一些加筋土工程照片选登	165
主要参考文献	171

第一章 加筋土技术发展概况 及结构特点

第一节 加筋土技术发展概况

一、国外加筋土技术发展概况

加筋土工程起源于法国，由亨利·维达尔于1963年所发明，他首先研究了土中加筋的作用，而后付诸于实践。1965年冬季在法国建成了世界上第一座加筋土挡墙，从而引起了欧洲各国研究加筋土的热潮，并相继建造了一批加筋土工程。日本对外国的新技术一向敏感，于1967年便将此项技术引进，并且在日本国营铁路进行了原型试验，后又进行了该结构对地震的适应性试验。

美国起步较晚，但发展很快，1969年引进加筋土技术后，于1970年建造了第一座加筋土工程，1974年批准此项技术可以代替传统的施工方法。1978年4月美国土木工程师学会在匹兹堡市举行了“加筋土摩擦系数研究会”，宣读了大量论文。截至1978年底在美国共完成加筋土工程293项，砌墙面积 $26.8 \times 10^4 \text{m}^2$ ，随后加拿大、澳大利亚等许多国家也都先后引进并推广了这项新技术。

目前加筋土技术仍在继续研究，并向纵深方面发展，为交流加筋土技术经验，国际上曾多次召开专题学术讨论会，1977年在法国巴黎举行了“国际加筋土会议”，1978年在澳大利亚悉尼召开“土壤加筋与稳定技术讨论会”，1979年又

在巴黎召开了“加筋土技术国际研讨会”，与会各国工程技术人员宣读了大量论文，会上将各种金属筋条和各种合成材料的筋条所组成的土体，通称为加筋土。从此，加筋土的研究与应用又进入新的阶段。

到1978年底，在世界上28个国家共兴建了2266座加筋土工程，砌墙面积达 $135 \times 10^4 \text{m}^2$ 。世界各洲加筋土工程分类数量见表1-1。

从表1-1可知，各国实际建造的加筋土工程，可以分为下列几类：

(一)山区公路挡墙。

(二)城市道路挡墙。

(三)住宅建筑挡墙。

(四)桥台：近年来加筋土桥台发展很快，主要用于公路的跨河桥，公路跨线桥，公路与铁路跨线桥。

(五)铁道工程：日本将加筋土结构用于铁路路基挡墙，并且对加筋土结构进行了耐超荷载、振动荷载和水平加速度的试验。法国将加筋土技术用于修建巴黎至里昂的高速铁路新线上，西班牙也将此技术用于铁路新建工程。

(六)水工建筑：这类建筑包括长年浸水的码头、河岸和海岸的防护工程，效果良好，但由于水下施工困难，故目前加筋土码头为数尚少；还有沿河或沿海的浸水挡墙，比如印度洋西部法属留尼汪岛首府圣但尼，在海岸公路上建造了长11km，高6m的加筋土挡墙；加拿大的加斯佩半岛的海滨公路建造了长3km的加筋土挡墙；这些加筋土工程不仅要承受海浪的直接冲击，而且有的还要承受冻害；小型土坝（溢洪坝）的兴建，在石料缺乏的地区，一直是一个难题，采用加筋土技术建造的小型溢洪坝终于解决了这一难题；美国纽约

加筋土工程分类数量表

表1-1

洲 名	山区公路		城市道路		住宅建筑挡墙		桥 台	
	数量	面 积	数量	面 积	数量	面 积	数量	面 积
	座	m ²	座	m ²	座	m ²	座	m ²
欧 洲	221	184,170	591	274,062	149	45,212	463	184,703
美 洲	170	158,075	91	69,375	19	10,320	35	24,090
大 洋 洲	—	—	26	15,200	—	—	12	3,620
亚 洲	87	29,112	29	10,000	20	6,670	17	3,734
非 洲	4	2,180	7	1,250	—	—	4	2,100
总 计	482	373,537	744	369,887	188	62,202	531	218,247

洲 名	铁 路		水 工 建 筑		工 业 建 筑	
	数 量	面 积	数 量	面 积	数 量	面 积
	座	m ²	座	m ²	座	m ²
欧 洲	21	12,884	28	92,695	63	54,414
美 洲	4	2,600	27	38,215	45	50,935
大 洋 洲	4	930	1	500	4	515
亚 洲	37	15,780	10	20,000	14	5,800
非 洲	3	1,140	2	500	58	30,070
总 计	69	33,334	68	151,910	184	141,734

州詹姆斯威的溢洪坝是1874年建成的浆砌片石结构，长152.5m，高14.6m，此坝已成危坝，需要加固，最后采用斜面加筋土结构解决了这个问题。

(七)工业建筑：加筋土技术用于工业建筑方面有以下几种情况：

受到场地限制的厂房，公共建筑、仓库、货场的挡墙，此类加筋土挡墙，各国已修建多处，使用效果均良好；

碎石机和振动筛基台上的通道挡墙，由于加筋土结构具有良好的抗震性能，所以对这种工程也很适用；

堆放煤、矿石、沙石材料的大型料仓的斜式墙，加筋土用于此类工程主要在矿藏丰富的国家，诸如美国、南非、加拿大等国；

加筋土用来作为保护液体储罐（石油、氨等）和危险品（爆炸物）、危险建筑（核电站）等的围堤或围墙。加筋土也可用于军事防护工程和设施。

近年来加筋土用于工业建筑的实例越来越多，其优越性也显得突出、它既可以快速施工，还可以节省工程造价。

根据1978年各国资料统计，加筋土实际使用比例如下（按砌墙面积计算）：

公路工程占	81%
房屋建筑占	4.5%
铁道工程占	2.5%
工业建筑占	12%

从以上统计的百分比来看，加筋土使用范围最广的是公路，这是因为工业化国家的公路工程仍处于蓬勃发展时期，而铁路使用得最少，仅占2.5%，因为工业发达国家里的铁路早在本世纪初就已经建成网络，密度很高。譬如美国，近

几十年内不仅没有扩大铁路网，而且逐年拆除了数万公里次要线路。但是加筋土技术在法国、日本、西班牙等国家的铁路建设中仍然发挥了作用，这些国家都在修建专供运送旅客的高速铁路上采用了加筋土结构。例如，法国巴黎的高速铁路和西班牙在马德里至博港的高速铁路新线上均采用了加筋土挡墙。

近年来加筋土技术在建造桥台中也得到了推广、应用，在法国1979年9月份出版的《法国加筋土结构设计规则》中就列有加筋土桥台的专门章节。如所周知，在某些地质条件差时，桥台设计采用桩基是常见的，其目的是将梁部结构的集中荷载经过桥台传给地基。如采用加筋土桥台，可使荷载分布在较大的面积上，故对地基承载力要求不高。由于加筋土桥台的沉降速度与桥头路堤的填土沉降速度基本相同，从而避免了桥头路堤难于养护的问题。美国亚拉巴马州的汉茨维尔市区内建成的一座桥台是一个典型实例：这里有一条新建的主要公路干线需要跨越另一公路，根据地质条件采用了加筋土技术，从而避免了深挖基础，加快了施工速度，降低了工程造价。

1980年在澳大利亚阿德莱德市南郊修建了一座加筋土桥台、高达22m，长69m，砌墙面积850m²。

二、国内加筋土发展概况

在土中加筋，我国很早就有应用，如古代劳动人民在土坯中加入草筋或竹筋，以提高土墙的强度，通过泥沼地带的道路采用柴排处理，加固堤岸用土袋或树枝压条等，这些都是加筋土的应用。但由于无人进行总结和研究，故一直无较大的发展。

国内已竣工的

顺序	工程名称	墙高 (m)	面板类型	拉筋类型
1	云南田坝选煤厂贮煤场	4	钢筋混凝土矩形面板 长2m 高0.5m 厚0.1~0.12m	素混凝土块穿钢筋 拉筋截面 0.1×0.1m
2	后所选煤厂回头线	4		
3	田坝打磨沟2号公路	6		
4	云南田坝矿区产品仓	8		
5	安徽淮南铁路枢纽	3.6	十字形面板 1.2×1.2×0.2m	钢筋混凝土板 0.5×0.06m
6	浙江天台岸护	5.2	十字形面板 1.12×1.0×0.15m	复铜钢片 0.138×0.03m
7	浙江临海公路	5.5	双面十字形面板 1.1×0.88×0.16m	竹片
8	湖北大冶发电厂专用线	4.6	十字形面板 0.8×0.8×(0.1~0.12)m	混凝土块穿钢筋 0.16×0.12m
9	广州近郊阡鸡笼	6	十字形面板 1.50×1.50×0.2m	竹片
10	山西陵川公路	12	槽形、弧形面板 0.33×2.0×0.04m	塑料包装带
11	武汉葛店铁路专用线	4.5	矩形面板 0.5×1.0×0.2m	钢筋混凝土板
12	陕西口镇公路	8	I字形、槽形面板 0.8×0.8×0.1m 0.32×2.0m	钢筋混凝土板钢片 塑料包装带
13	云南小龙潭煤矿生活区	10	扁六角形 0.5×1.0×0.16m	双钢筋加肋 (角钢砖块)

加筋土挡墙

表1-2

连 接 方 式	填 料 名 称	f 值	竣工 日期	造 价 比 较		
				浆砌 片石 元/米	加筋 土 元/米	所占 % %
螺 栓	砂 粘 土	0.4	79.1	493	255	51.7
	夹 砂 页	0.4	80.9	493	255	51.7
	岩 碎 块	0.4	80.7	793	412	52.0
		0.4	81.1	1262	575	45.6
电 焊	裂隙粘土	0.3	80初	394	79	20.0
挂 钩	砂 砾 土	0.4	81.7	370	146	39.5
锥形锚头	砂 卵 石	0.4	81.12	370	146	39.5
螺 栓	砂 粘 土 与 裂 隙 粘 土	0.3	81.6	358	164	46.0
锥形锚头	砂 粘 土	0.4	82.1	585	146	39.5
穿入面板预留孔内	强风化泥质页岩	容 许 拉 力	80.11	2496	1450	53.0
电 焊	砂 粘 土	0.25	82.12	982	484	49.0
电 焊 穿入预留孔内	黄 土	0.6 0.4	82.11	549	436	62.6
导入面板预留 的 钢 筋 上	碎石夹砂土及 杂质粘性土	容 许 拉 力	83.6			

七十年代初，我国就已开始了加筋土技术的研究。1979年云南省煤矿设计院在云南省田坝矿区建成了我国第一座加筋土挡墙贮煤仓，该挡墙长80m，高2.3~8.3m，原设计储煤高度为5m，储煤量20000t，后因原煤外运中断，致使储煤高度达13m以上，储煤量达70000t，这对加筋土挡墙是实际的静载试验，该结构能否承受这样大的压力？从实际使用结果看挡墙依然完好，这说明加筋土挡墙是具有相当大的稳定性。由于该挡墙的建造在我国开创了成功的先例，引起了土木建筑行业技术人员的兴趣，因此，近几年来公路、铁路、煤矿等部门相继建造了多座加筋土挡墙，并且在武昌、太原、清源等地召开了经验交流会。从实际使用来看，在我国，加筋土技术的应用范围已由单一的挡墙发展到桥台、护岸、货场站台、水运码头等方面，开展这项研究工作的也已扩展到公路、铁路、煤炭、林业、水利、城市建设、高等学校等各个部门。从理论研究来看，既有作用机理的研究，这就是进行实验室模型试验和现场原型试验、分析，又有基本设计参数试验和拉筋材质的试验。所有这些反映了我国在加筋土技术的研究和应用上已初见成效。可以预计加筋土技术在我国是大有发展前途的。

现将国内部分已建成的加筋土挡墙列于表1-2。

第二节 加筋土结构特点

一、加筋土的基本原理

加筋土的作用机理是比较复杂的，1960年亨利·维达尔用三轴试验证明：在砂土中加入少量纤维后，土体的抗剪强度可以提高4倍多。他认为这种现象是因为在粗粒土试件上

施加竖向压力时，试件一定会产生侧向膨胀（见图1-1a）；如果将不能产生侧向膨胀（与土相比）的拉筋埋入试件中（见图1-1b），由于拉筋与土之间有摩擦，就会阻止试件产生侧向膨胀，这就好象在试件上施加了一个水平作用力。当垂直压力增加时，水平约束力（维达尔认为这个约束力等于静止土压力）也成正比例增加，只有当土与拉筋之间失去摩擦或拉筋断裂，试件才能产生破坏。由此看来，加筋土的基本原理，就是拉筋与填土之间的摩擦作用。

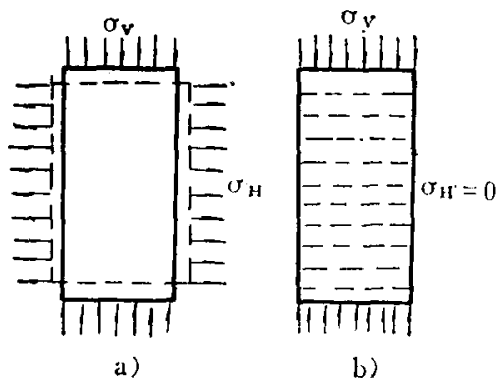


图1-1 加筋土作用机理图

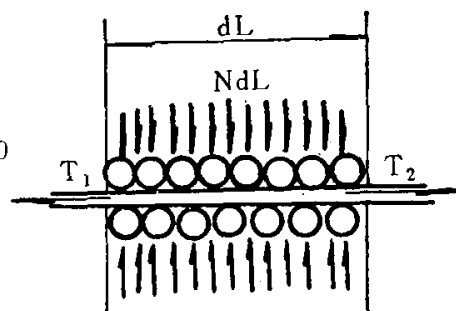


图1-2 拉筋受力分析图

为了说明土颗粒与拉筋之间的受力情况，取拉筋中的一个微分段 dL (如图1-2) 在此微分段上的拉力变化为： $dT = T_1 - T_2$ ，拉筋上共有竖向压力为 $2NdLb$ （略去两侧的面积），故拉筋不被拔出时所需的摩擦关系应为：

$$\frac{dT}{2NdLb} < f$$

或
$$\frac{dT}{dL} < 2Nbf$$

式中： f ——土与拉筋之间的摩擦系数；

b ——拉筋宽度。

上式要求拉筋不仅要有一定的抗拉强度，而且还要有足够的锚固长度。

由实验室模型试验和实地加筋土挡墙原型试验测定的结果表明其拉力分布曲线如图1-3所示。

从图 1-3 可以看出其特征是：（一）拉筋上的最大拉力点不是出现在拉筋与墙面板的连接处，而是在墙体内部，拉筋端点拉力约等于最大拉力的0.75倍。（二）各层最大拉力点的连线，

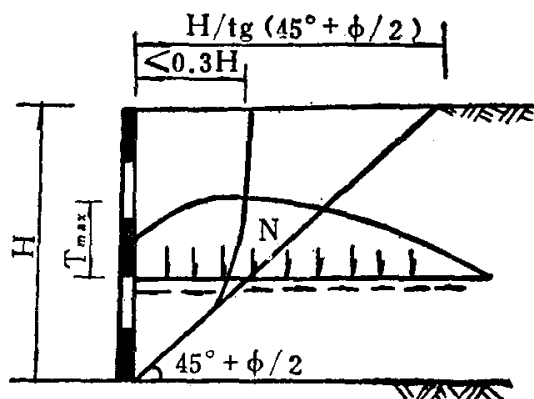


图1-3 拉筋拉力分布曲线图

其形状近似一对数螺旋线，为简化计，下部与墙面板踵部相接，以主动破裂角线交在墙高二分之一处，上部近似一垂线至填土表面。面板距破裂面的水平距离是 $\leq 0.3H$ ，其破裂面与库伦假设的直线破裂面不同，而是拉筋最大拉力的连线。靠近面板部分的土体为破坏区，该处土体有拉动拉筋的倾向，又称为非锚固区(I区)。破裂面以后部分称为稳定区(II区)，又称为锚固区，该处土体有握住拉筋的倾向。I区内的拉筋长度称为无效长度，II区内的拉筋长度称为有效长度。（三）拉筋与填土的接触面上所产生的剪应力，将引起拉筋拉力发生不断的变化。现取拉筋条中一微分段 dL ，

则拉力的变化为 $dT = T_1 - T_2$ ，剪应力 $\tau = \frac{1}{2b} \cdot \frac{dT}{dL}$ 。

关于拉筋上外力的确定，由于计算原理所涉及到的比较复

杂的问题，故在各种假设条件下，~~将会得出各种不同的表达式~~，设计时，通常以拉筋对应位置处的土压力乘以安全系数来确定。

二、加筋土的各个组成部分

加筋土是由面板、拉筋、连接件和填料组成的。这四个部分的材质、形状等都有一定的要求。兹分述如下。

(一)面板 加筋土面板是阻止填料倒塌而设置，从材质上可分为金属制品、混凝土或钢筋混凝土制品三种；从外形上分为以下几种：

1.半椭圆形或半圆形面板，这种形状的面板多是用金属制做的，其尺寸与规格依需要而定（见图1-4）。

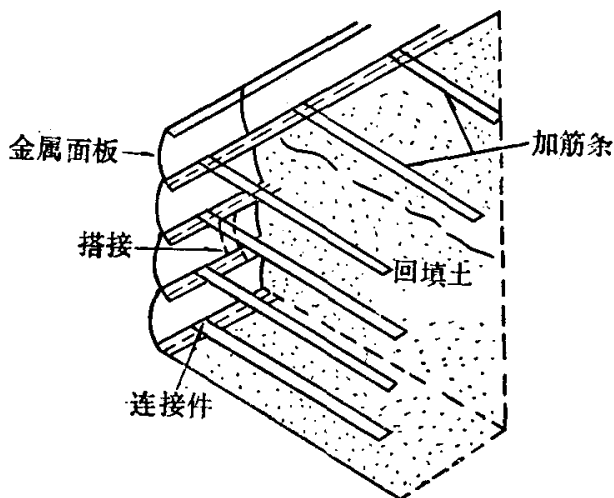


图1-4 半椭圆形金属面板

2.十字形面板，这种形状的面板多由钢筋混凝土或素混凝土制做的，预制时板与板之间一般有咬口，亦有在十字的两端留有小孔，以便拼装时可用销钉串联起来，以使各个十

字形面板连成一个整体墙面（见图1-5）。

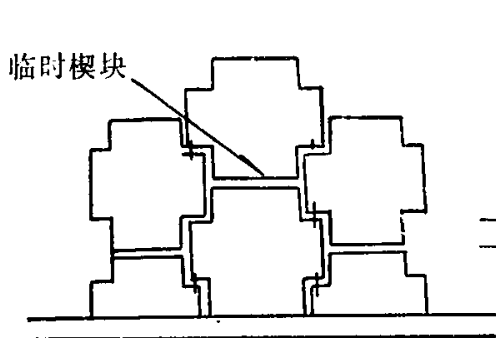


图1-5 十字形面板

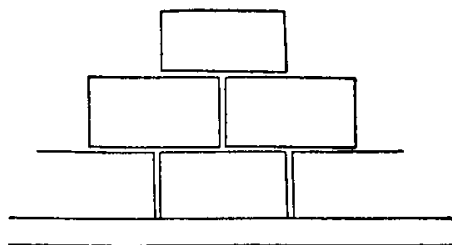


图1-6 矩形面板

3. 矩形面板，此种形状的钢筋混凝土或混凝土面板在预制时上下留有企口，拼装时可以很密贴地吻合，在咬合处留有适当的间隙，以适应必要的变形（见图1-6）。

4. 六角形面板，

若用钢材制作时，则在面板中间留有上下直通的穿孔，以便用直立杆将面板与拉筋相串联（见图1-7）。如用混凝土或钢筋混凝土制作时，一般板与板之间有咬口，以增大其相互连接的作用。

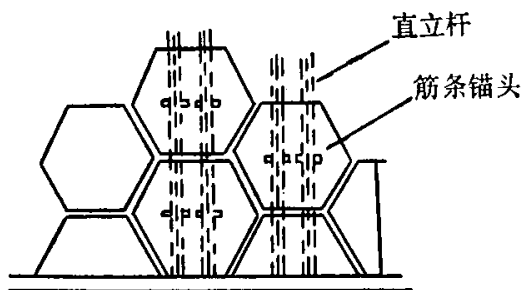


图1-7 六角形面板

5. 其它形状，面板可根据建筑和艺术上的要求，由设计人员构思所需要的形式。

金属面板国外一般采用钢板或镀锌钢板，也有采用铝合金板制作的。金属面板的优点是质轻、富有韧性、抗拉强度大，适用于软弱地基，可直接铺设在稍加平整过的场地上。

但金属面板的缺陷是易于腐蚀，寿命短，使用上受地区和土质的限制。国内因钢材较少而未用金属面板，故目前国内的加筋土挡墙面板一般采用混凝土或钢筋混凝土制作。

(二)拉筋 从材质上拉筋可以分为金属、钢筋混凝土、竹片、合成纤维制品。拉筋的形状、结构、材质应最大限度地满足以下几项要求：

- 1.应具有较高的抗拉强度，以保证结构物的安全；
- 2.拉筋与填土之间应有较大的摩擦力；
- 3.应具有良好的柔性、韧性；
- 4.拉筋应具有良好的耐腐蚀性能，以期有较长的使用寿命，满足土工结构物在使用年限方面的要求；
- 5.拉筋与面板的连接必须牢固可靠；
- 6.拉筋的断面形状简单，便于加工制作，适合工厂成批生产；
- 7.经济上合理。

另一种拉筋材料是塑料类，既可以做成带状的，又可以大面积使用。其优点是造价低廉，具有柔性，能耐受一定强度的酸性和碱性侵蚀。由于这类材料抗老化性能难于估算，故较难估计其使用年限。

外国建造的加筋土挡墙，常用的拉筋是用镀锌钢板制作的，但也有用普通钢板和玻璃钢等材料。其使用寿命均取决于该材质的防腐蚀性能。国内建造的加筋土挡墙使用的拉筋材料除公路部门使用过带洞的镀铜钢板，竹片和塑料包装带外，大部分均结合我国情况，选用钢筋混凝土板或素混凝土块穿钢筋，为考虑填土不均匀下沉的影响，每根拉筋由数节以螺栓连接所组成。

(三)连接件 面板与拉筋之间必须连接才能形成整体，