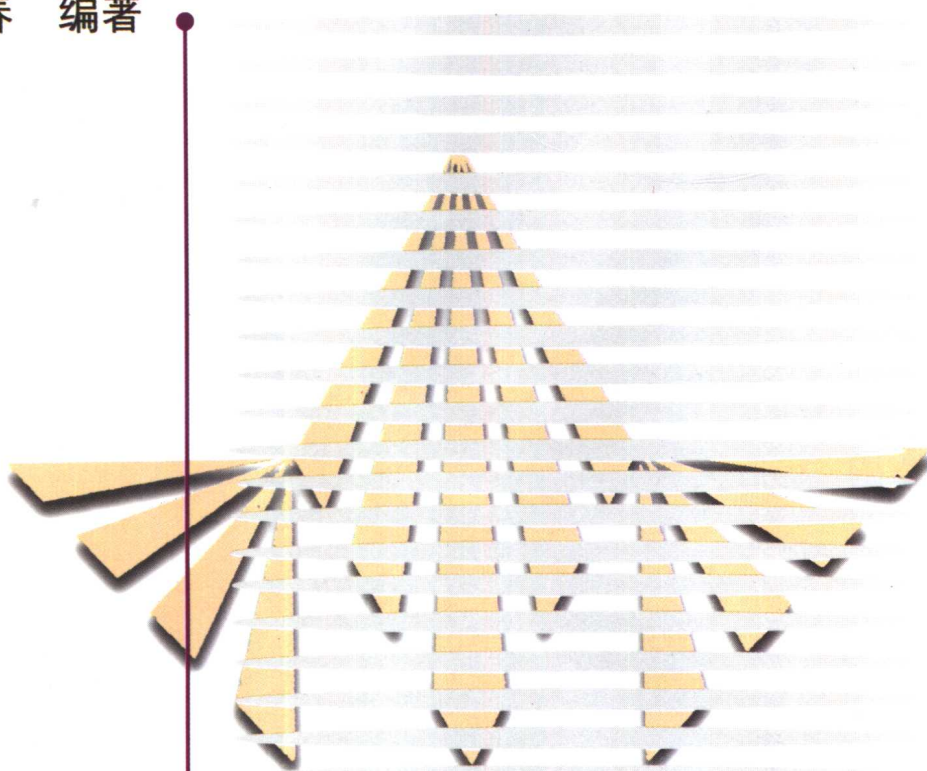


加筋土 工程

JIAJINTU GONGCHENG SHEJI YU SHIGONG

设计与施工

何光春 编著



人民交通出版社

Jiajintu Gongcheng Sheji yu Shigong

加筋土工程设计与施工

何光春 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系根据作者十多年来对加筋土工程的设计、研究和工程实践经验总结而成,比较系统地介绍了加筋土结构的设计理论和施工技术。主要内容包括:加筋土结构的特性和适用范围;加筋土结构计算基本理论和设计计算方法;加筋土工程的施工;加筋材料的试验和现场检验等。书中还给出了典型工程的设计和施工实例。可供从事公路、水运、水利、铁路、市政、土建等工程的设计、施工和科研人员以及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

加筋土工程设计/何光春编. —北京:人民交通出版社, 2000
ISBN 7-114-03585-3

I. 加... II. 何... III. ①加筋土-水利工程-设计
②加筋土-水利工程-工程施工 IV. TV544

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 12392 号

加筋土工程设计/施工

何光春 编著

版式设计: 刘晓方 责任印制: 张 凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 10.5 字数: 268 千

2000 年 4 月 第 1 版

2000 年 4 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—5000 册 定价: 23.00 元

ISBN 7-114-03585-3
U · 02587

目 录

第 1 章 概论	1
§ 1.1 加筋土工程的特点	1
§ 1.2 加筋土工程的分类	5
§ 1.3 加筋土工程的经济性分析	12
§ 1.4 加筋土技术发展概述	14
第 2 章 加筋土工程的基本理论	16
§ 2.1 概述	16
§ 2.2 摩擦加筋原理	16
§ 2.3 准粘聚力原理	17
§ 2.4 其它理论假定	19
第 3 章 加筋土工程计算方法	21
§ 3.1 概述	21
§ 3.2 内部稳定计算方法	21
§ 3.3 外部稳定计算方法	31
§ 3.4 有限元计算方法	34
§ 3.5 总体平衡法	50
§ 3.6 加筋边坡稳定计算方法	52
第 4 章 加筋土工程设计	55
§ 4.1 一般规定	55
§ 4.2 荷载计算和组合	56
§ 4.3 构造设计	61
§ 4.4 加筋土工程设计计算	67
§ 4.5 加筋土工程设计注意问题	71
§ 4.6 特殊计算情况的处理	72
§ 4.7 加筋土工程概算和预算	81
第 5 章 加筋土工程施工	82
§ 5.1 施工准备及工艺流程	82
§ 5.2 主要工程施工	83
§ 5.3 附属工程施工	89
§ 5.4 加筋土堤坝及特殊填料的加筋土工程施工	91
§ 5.5 施工质量控制和检测	93
§ 5.6 加筋土工程施工组织	97
第 6 章 加筋土工程材料试验与现场观测	110
§ 6.1 加筋材料试验	110

§ 6.2 现场施工压实度检测	116
§ 6.3 变形观测	119
§ 6.4 沉降观测	120
第 7 章 加筋土工程实例	121
§ 7.1 工程实例 1——重庆长江滨江路工程	121
§ 7.2 工程实例 2——长江鱼洞段河岸综合整治工程	127
§ 7.3 工程实例 3——米帮沱码头工程	137
§ 7.4 工程实例 4——北碚嘉陵江防洪堤工程	143
§ 7.5 工程实例 5——× × 汽车公司冲压车间道路工程	151
附录 1 常用设计计算资料	157
附录 2 CAT 钢塑复合材料拉筋带技术指标	161
参考文献	162

第 1 章 概 论

§ 1.1 加筋土工程的特点

§ 1.1.1 加筋土

加筋土是一种在土中加入加筋材料而形成的复合土。在土中加入加筋材料可以提高土体的强度,增强土体的稳定性。因此,凡在土中加入加筋材料而使整个土工系统的力学性能得到改善和提高了的土工加固方法均称为土工加筋技术,形成的结构亦称之为加筋土结构。

加筋土技术从广义上讲是一门土工增强技术,或称土工补强技术。土工增强技术常见的有加筋土、纤维土、复合土、改性土等。

§ 1.1.2 加筋土结构

加筋土技术应用于工程结构中形成加筋土结构,目前在工程中应用较多的是加筋土挡墙、加筋土边坡、加筋土地基以及加筋路面。

加筋土挡墙一般由基础、面板、加筋材料、土体填料、帽石等主要部分组成,见图 1.1。加筋土边坡一般由加筋材料和土体填料组成,坡面比较陡,根据工作条件和需要,坡面可设面板,也可不设面板,见图 1.2。加筋土地基则主要由加筋材料和土体填料组成,见图 1.3。

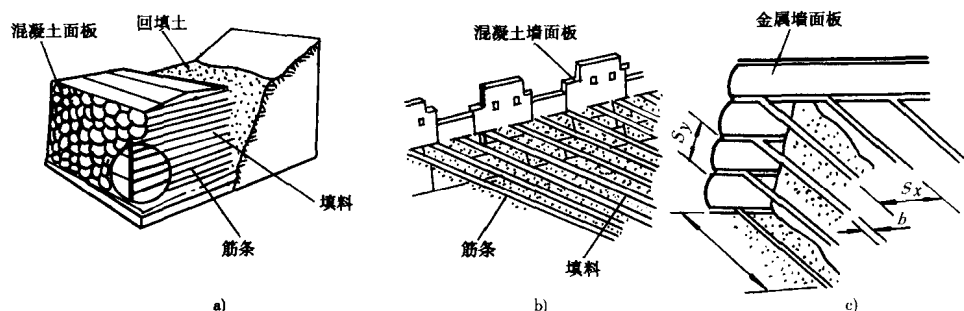


图 1.1 加筋土挡墙

在加筋土挡墙结构中,面板的作用是阻止土体填料滑塌,使加筋材料与土体填料组成的复合土体——加筋土体免遭侵蚀。面板材料有金属制品、混凝土或钢筋混凝土、条石或石板等。金属板早期在国外使用,我国未见有应用的报导。素混凝土板用得较少,我国目前绝大部分采用的是钢筋混凝土面板。面板形式一般根据环境条件和使用功能、建筑和艺术上的要求进行构思和设计,面板尺寸则根据结构上和施工上的要求确定。

加筋材料是加筋土结构的关键部分,正是因为加筋材料的研究开发才使加筋土技术得以广泛应用和不断向前发展。根据材质情况,加筋材料可分为四大类:

第一类属天然植物,如竹筋(竹片)、柳条等。一般用于临时工程、临时抢险工程等。

第二类为金属材料,如扁钢带、带肋钢带、镀锌钢带、不锈钢钢带等。

第三类为合成材料,如聚丙烯、聚乙烯、聚酯、尼龙、玻璃纤维材料等。其形式主要有聚丙烯条带、土工格栅、土工网、土工织物(俗称土工布)。

第四类为复合材料,如钢筋混凝土带、钢—塑复合加筋带等。

第三、第四类材料目前用得比较普遍,其主要构件形式见图 1.4,有关主要指标见表 1.1、表 1.2、表 1.3。

在加筋土结构中,不管采用哪类加筋材料,有两点必须特别强调和严格控制:一是材料的变形和强度,二是材料的耐久性。

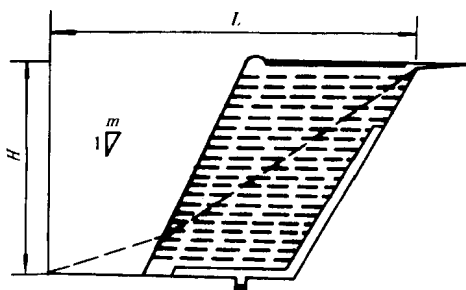


图 1.2 加筋土边坡

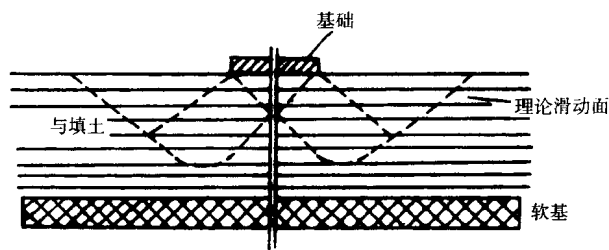


图 1.3 加筋土地基

加筋土填料是加筋土结构的主体材料,填料与加筋材料组成加筋土的主体结构。从工程实践来看,填料的选取直接关系到工程结构的安全和工程造价。国外在加筋土结构试建初期,对填料的要求较高,仅限于使用砂性土,而且对填料组成的各种粒径含量也有严格要求。但在控制细粒土的含量方面,各国又作了不同的规定,都规定了各自的土工标准。填料的土工标准包括了填料的力学标准和施工标准。规定填料的土工标准是为了充分发挥土与加筋材料间的摩擦作用,以保证筋—土复合体的整体性和结构的安全稳定性。交通部颁发的《公路加筋土工程设计规范》(JTJ 015-91)、《公路工程加筋土施工技术规范》(JTJ 035-91)、《水运工程土工织物应用技术规程》(JTJ/T 239-98)等对填料的限制都比较少,除规定腐殖土、冻结土、白垩土及硅藻土禁止使用外,其余的原则上都可以用作填料。不过,填料的选用还得根据工程的环境条件和使用功能,根据具体情况选用。一般来说,砾类土、砂类土、碎石土等可直接采用,其它土根据情况可直接采用,或经过对填料进行一定的技术处理,或辅以相应的技术措施、相应的结构构造处理才能采用。

加筋土工程技术发展到今天,可以说其填料的选择范围越来越大,选择填料应以就近为原则,易取、价廉、能达到施工标准。

加筋土挡墙由面板、加筋材料和填料形成的“墙体”起到了与重力式圬工结构、扶壁结构、沉箱结构等形成的墙体同样的作用,将重力式圬工结构、扶壁结构、沉箱结构的墙体用加筋复合体代替,这是加筋土挡墙结构的显著特点。

加筋土挡墙结构一般设有基础和帽石,加筋地基(路基)则不需要,但要进行处理和整平。加筋土挡墙基础的作用是便于第一层面板的安装定位,调整地面高差,也可能是地基基础处理所需要的重要构件。除了地基处理情况之外,基础尺寸一般都比较小,相应的基槽开挖和回填量也大大减少。除了软弱地基和滑坡地带,加筋土挡墙的基础一般不需要做专门处理,这是加筋土挡墙结构与其它重力式结构相比的另一个显著特点。

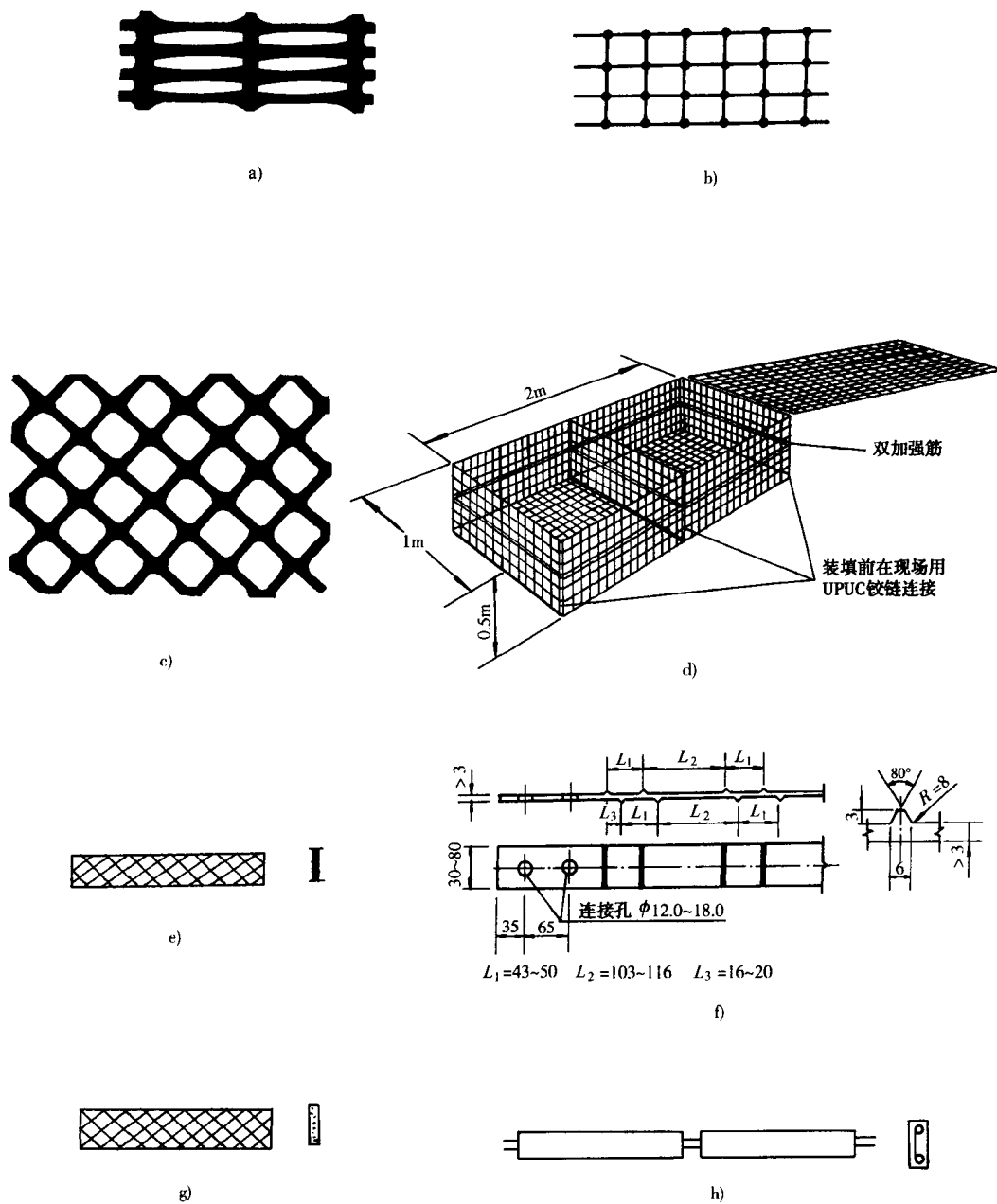


图 1.4 加筋材料构件形式

a)单轴格栅;b)双轴格栅;c)网格;d)网箱;e)塑料条带;f)带肋钢带;g)钢—塑复合带;h)钢筋混凝土带

土工格栅主要指标

表 1.1

产品名称	幅 宽 (m)	卷 长 (m)	网眼尺寸 纵 × 横 (mm × mm)	抗拉强度 (kN/m)		材 料	拉伸方式
				纵 向	横 向		
SR1	1	30	53 × 10	60	13	HDPE	单向
SR2	1	30	110 × 22	80	13	HDPE	单向
SR55	1	30	156 × 23	55		HDPE	单向
SS1	4	50	28 × 38	12	18	PP	双向
SS2	4	50	28 × 40	15	28	PP	双向
SS3	4	50	46 × 71	12	26	PP	双向
CE131	2.5	30	27 × 27	5.8		PP	双向
CE153	1	30	50 × 50			PP	双向
SDL25	1.16	50	90 × 25	31.5		PP	单向
SDL35	1.16	50	90 × 25	39.5		PP	单向
SDL50	1.16	50	155 × 25	51.8		PP	单向

土工织物主要指标

表 1.2

产品型号	单位面积 质量 (g/m ²)	拉伸强度 (kN/5cm)		伸长率 (%)		梯形撕裂 强度 (N)	CBR 顶破 强度 (N)	垂直渗透 系数 (cm/s)	宽度 (cm)	长度 (m)
		纵向	横向	纵向	横向					
B110	110	1.0	0.8	22	18	250	2000	0.001 ~ 0.01	380	按需
B180	180	1.5	1.3	22	18	400	3500	0.001 ~ 0.01	380	
B230	230	2.1	1.7	22	18	600	4500	0.001 ~ 0.01	380	
B250	250	2.5	1.8	22	18	700	5000	0.001 ~ 0.01	380	
BDZ350	350	1.2	1.0	23	20	250	3000	0.001 ~ 0.01	330	
BDZ380	380	1.5	1.5	25	23	400	3500	0.001 ~ 0.01	350	
JDZ350	350	2.1	2.0	35	28	550	4500	0.001 ~ 0.01	350	
JDZ380	380	2.6	2.5	35	28	700	5000	0.001 ~ 0.01	350	
128	180	1.6	1.5	22	18	380	3400	0.001 ~ 0.01	3860	
230	230	2.1	1.9	22	18	600	4500	0.001 ~ 0.01	3860	
380 复合	380	2.6	2.5	35	28	900	5000	0.02		

条带式加筋材料主要指标

表 1.3

产品型号	规 格 (mm)	破断拉力 (kN)	极限抗拉强度 (MPa)	破断伸长率 (%)	单位质量长 (m/kg)	材 质
CAT30020A	30 × 2	≥ 7.0	115	≤ 2.0	13.0	钢塑复合
CAT30020B	30 × 2	≥ 9.0	150	≤ 2.0	11.0	钢塑复合
CAT30020C	30 × 2	≥ 9.0	150	≤ 2.0	12.0	钢塑复合
CAT40022	40 × 2.2	≥ 18.0	205	≤ 2.0		钢塑复合
CAT50022	50 × 2.2	≥ 22.0	200	≤ 2.0	5.5	钢塑复合
CAT60022	60 × 2.2	≥ 30.0	225	≤ 2.0	4.0	钢塑复合
A44	44 × 3.2	≥ 20.0		≤ 2.0	10	PO
B44	44 × 3.2	≥ 17.0		≤ 2.0	11	PO
A30	30 × 3	≥ 9.0		≤ 2.0	15	PO
PP301.5	30 × 1.5	10.0	220	22	32	PP
PP50	50 × 1.5	16.0		22	19	PP
PP70	70 × 1.5	18.0		25	14	PP

§ 1.1.3 加筋土结构的特点

加筋土结构,特别是加筋土挡墙结构与传统的重力式挡墙结构相比,具有以下特点:

1. 结构新颖、造型美观

加筋土结构新颖,巧妙地利用了面板、填料和筋带。面板可根据环境和需要构思出各种图案,与景观、环境、相邻建筑物、桥梁等配套协调,一改重力式挡墙硕大、粗蛮、单调的形象,富于艺术感染力。

2. 技术简单、施工方便

加筋土结构虽然机理复杂,但结构简单,技术容易掌握,需要的施工机械较少,不需要专门的施工机具;再加之加筋体逐层回填压实形成柔性结构,墙体形成的加载作用而引起的地基变形对加筋土结构本身的影响很小,因而需要的地基处理也比较简单,施工十分方便。

3. 要求较低、节省材料

加筋土各组成部分对材料的要求不高,大宗材料为加筋土填料——一般填土,其来源广泛,易于获得;对地基承载能力的要求相对来说较低,比较容易满足;基础小、面板薄,所用材料少。与重力式结构及其它结构相比,能较显著地节省材料用量。

4. 施工速度快、工期短

加筋土工程结构技术简单、施工容易方便,而且材料用量少,现场土石方量减少。面板可现场先预制,也可进行工厂化生产,再运至现场安装。施工作业简单,可组织流水作业,也可进行大面积施工。另一方面,加筋土工程施工组织简单,施工工序少,现场比较好管理和指挥。因此,加筋土工程施工速度很快,工期都比较短。如重庆长江滨江路南~菜段护岸工程一期工程,挡墙高 10~12m,长 504m,实际施工时间仅 46 天;二期工程长 1272m,墙高 8~18m,其中约有 300m 在水下施工,仅用了约 5 个月时间就基本竣工。

5. 造价低廉、效益明显

加筋土挡墙的造价与同等条件下的重力式挡墙或其它结构相比,造价降低幅度一般在 10%~50%。加筋土挡墙的墙面板可以垂直砌筑,加筋土边坡的坡度一般也比较大,因此,工程占地较少。另外,施工时对环境的影响小,施工快、工期短,其综合效益十分显著。

6. 适应性强、应用广泛

加筋土技术的应用经过几十年的发展,已从公路路堤、路肩发展到应用于桥台、匝道、隧道口防护,目前已用于处理公路边坡,市政建设,港口码头、防波堤、护岸工程、航道工程,铁路工程路基边坡,工民建配套工程,防洪堤、水库、水闸,林区工程,工业尾矿坝、渣场、料场、货场等;甚至还用于危险品(如石油、氨等)或危险建筑(核电站)的围堤、围墙,军事防护工程和设施等。

§ 1.2 加筋土工程的分类

加筋土是由一层或多层水平的加筋材料构件与填料交替铺设所组成的复合体,加筋材料构件主要承受土体产生的侧向拉力。加筋土工程有各种类型和形式,按其工作性质和设计计算理论假定,可分为加筋土挡墙、加筋土边坡和加筋土地基三大类。加筋土挡墙一般形式见图 1.5,加筋土边坡一般形式见图 1.6,加筋土地基见图 1.7。

加筋土挡墙按其断面外轮廓形式,一般分为路肩式(见图 1.8)、路堤式(见图 1.9)、双墙面(见图 1.10)和台阶式(见图 1.11)。

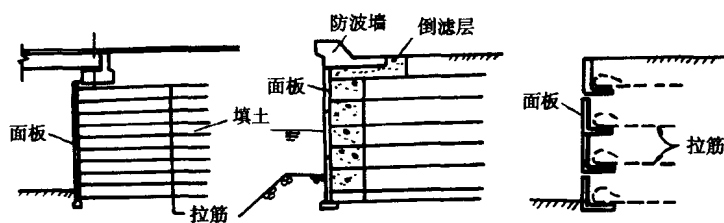


图 1.5 加筋土挡墙一般形式

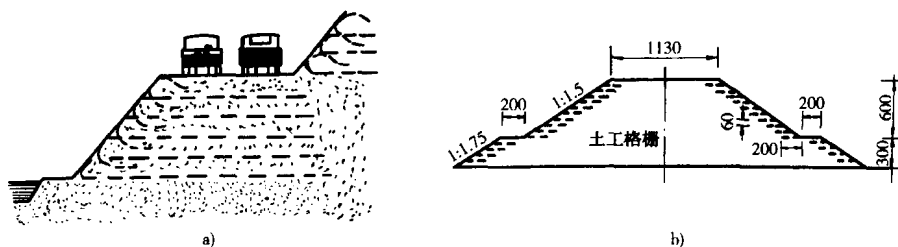


图 1.6 加筋土边坡一般形式

a)公路路堤加筋;b)铁路格栅加筋堤

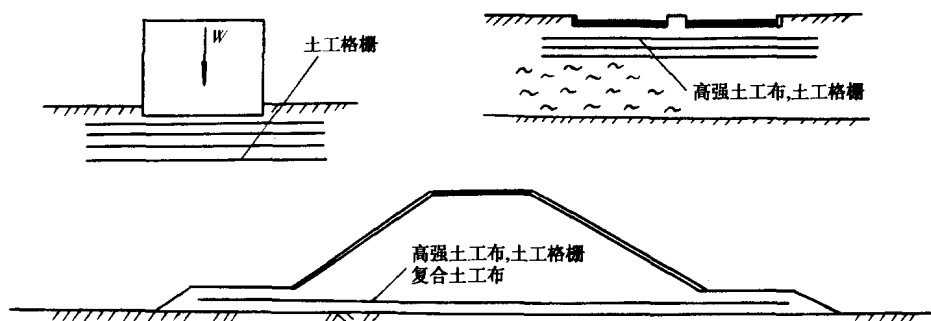


图 1.7 加筋土地基一般形式

加筋土挡墙按其断面结构形式,一般分为矩形、正梯形、倒梯形和锯齿形,见图 1.12。

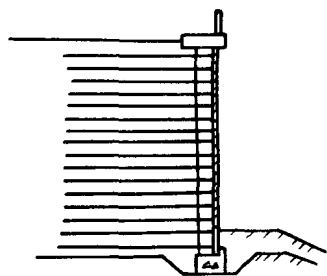


图 1.8 路肩式加筋土挡墙

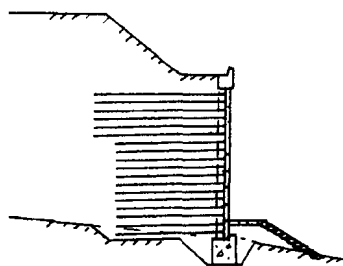


图 1.9 路堤式加筋土挡墙

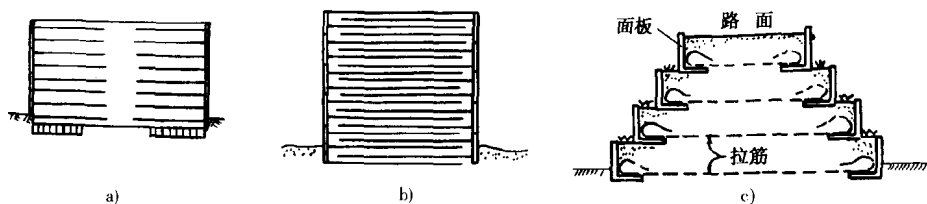


图 1.10 双墙面加筋土挡墙
a) 分隔加筋土; b) 交错加筋土; c) 整体坡面加筋土

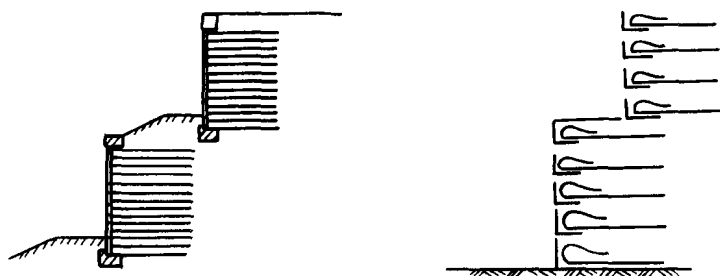


图 1.11 台阶式加筋土挡墙

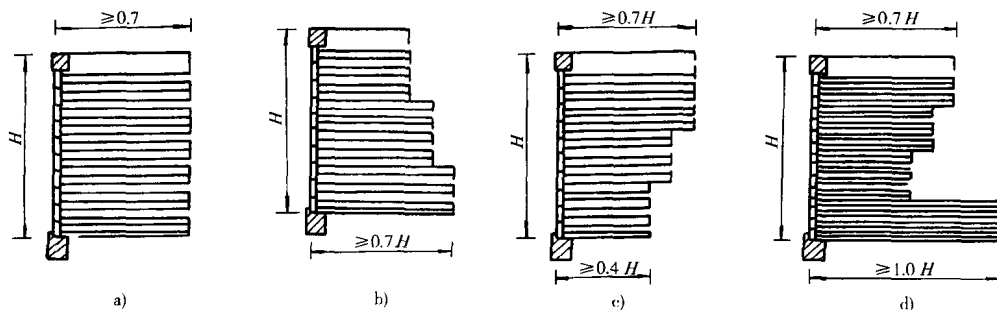


图 1.12 加筋土结构断面形式
a) 矩形; b) 正梯形; c) 倒梯形; d) 锯齿形

加筋土地基按使用用途,一般分为加筋路基、加筋堤基和加筋地基。

加筋土工程按用途不同,又可分为:

加筋土挡墙:公路挡墙、铁路挡墙、河岸工程挡墙、海岸工程挡墙、码头挡墙、工业与民用建筑挡墙、仓库或货场挡墙、园林和环境工程挡墙、公共建筑挡墙等,见图 1.13。

加筋土堤坝:用于过水堤坝、水库水闸堤坝、渣场堤坝、尾矿坝以及旧坝的加固等。见图 1.14。

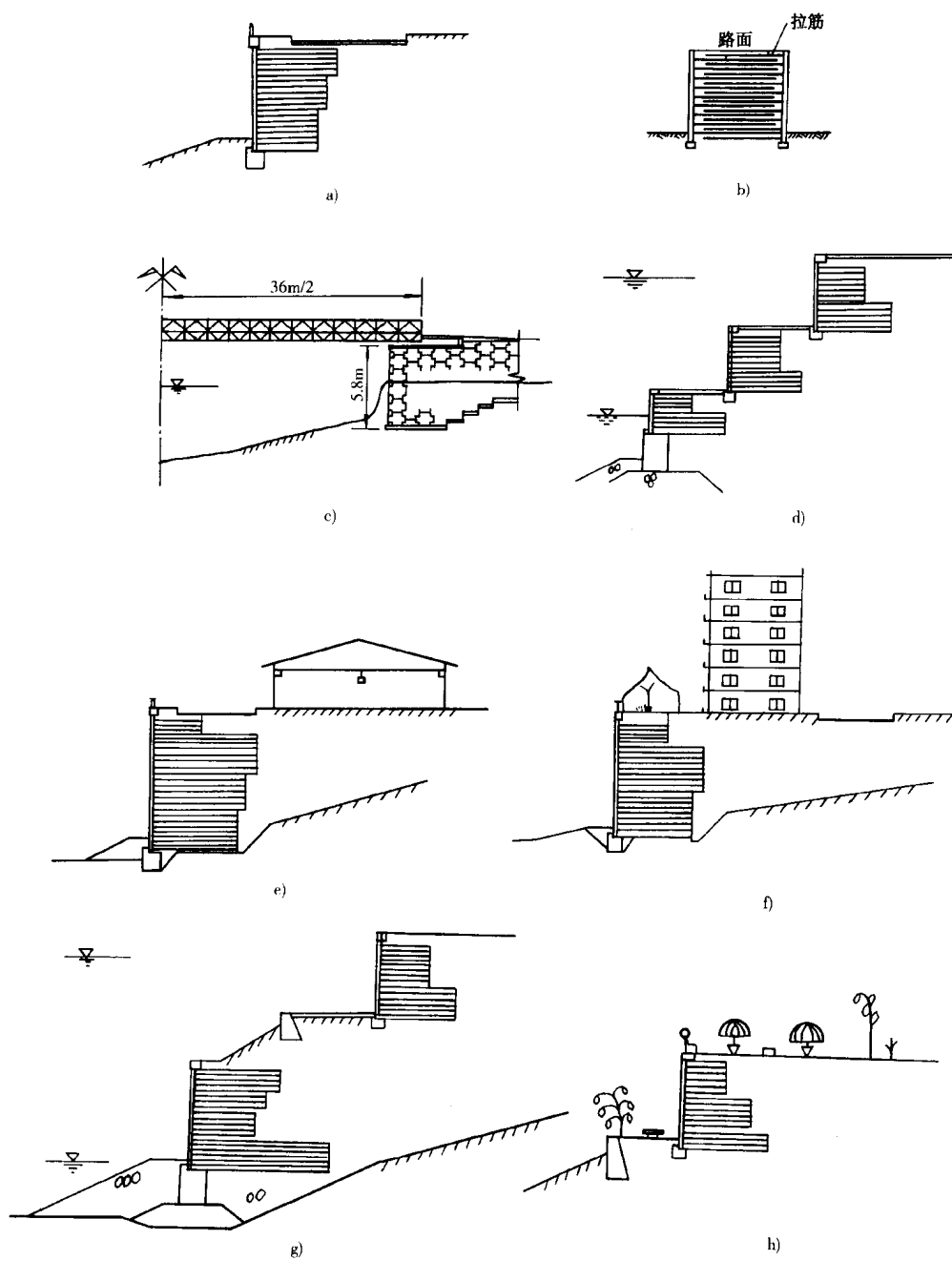


图 1.13 加筋土挡墙应用情况

a)公路挡墙;b)立交桥匝道挡墙;c)公路桥台;d)码头挡墙;e)工业建筑挡墙;f)民用建筑挡墙;g)河岸护岸挡墙;
h)公园挡墙

加筋土桥台:有整体式加筋土桥台、内置组合式加筋土桥台、外置组合式加筋土桥台。见
图 1.15。

其它加筋土结构:如加筋土料仓、加筋土储仓、加筋土溜槽、加筋土拱、加筋土储液池等。

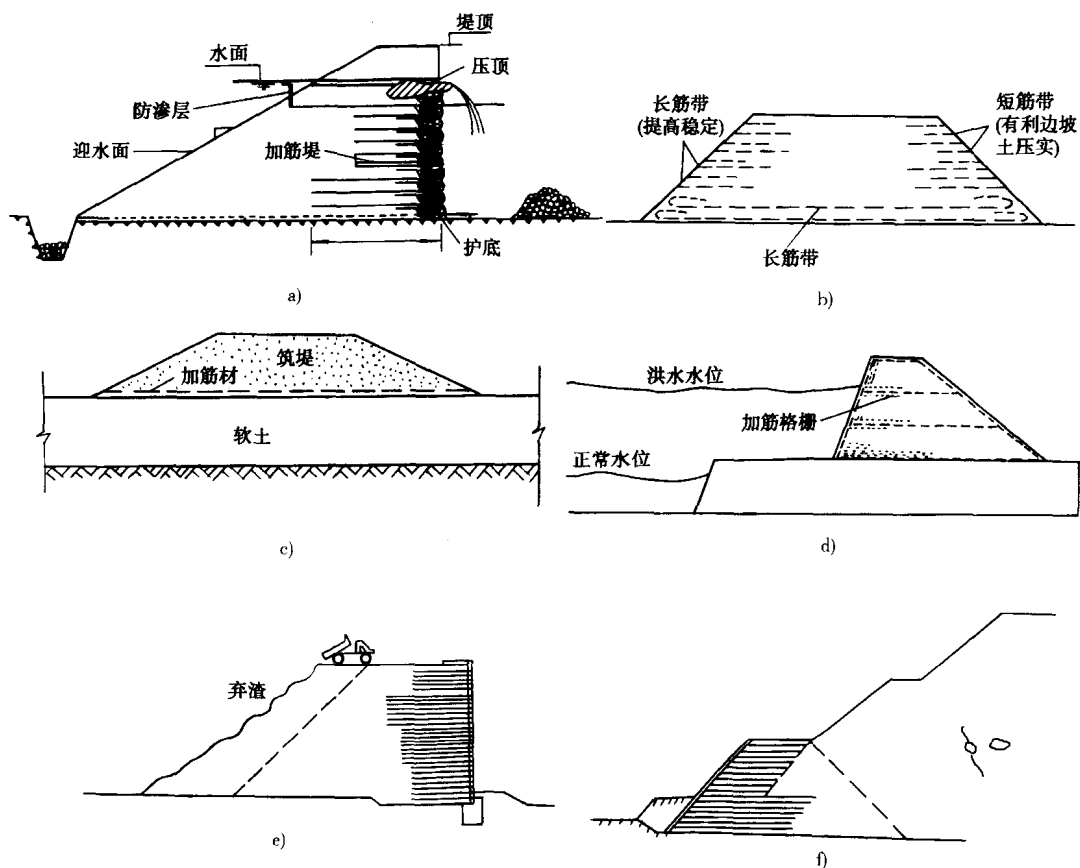


图 1.14 加筋土堤坝应用情况

a)过水堤坝;b)路堤加筋;c)软基上筑堤;d)防洪堤;e)渣场;f)尾矿坝

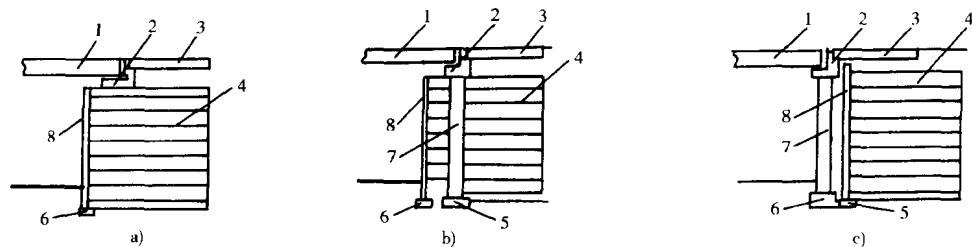


图 1.15 加筋土桥台

a)整体式桥台;b)内置组合式桥台;c)外置组合式桥台

1-上部构造;2-垫梁或盖梁;3-桥头搭板;4-筋带;5-基础;6-台柱基础;7-台柱;8-面板

见图 1.16。加筋土结构在港口工程中的应用情况见图 1.17 和图 1.18。

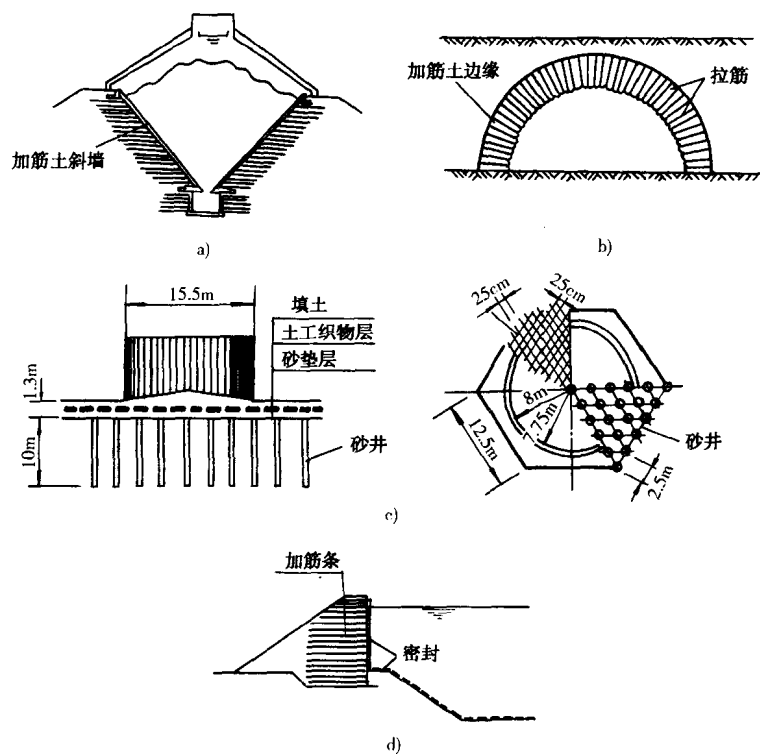


图 1.16 其它加筋土应用情况

a)加筋土料仓;b)加筋土拱;c)贮气柜加筋土联合地基;d)加筋土储液池

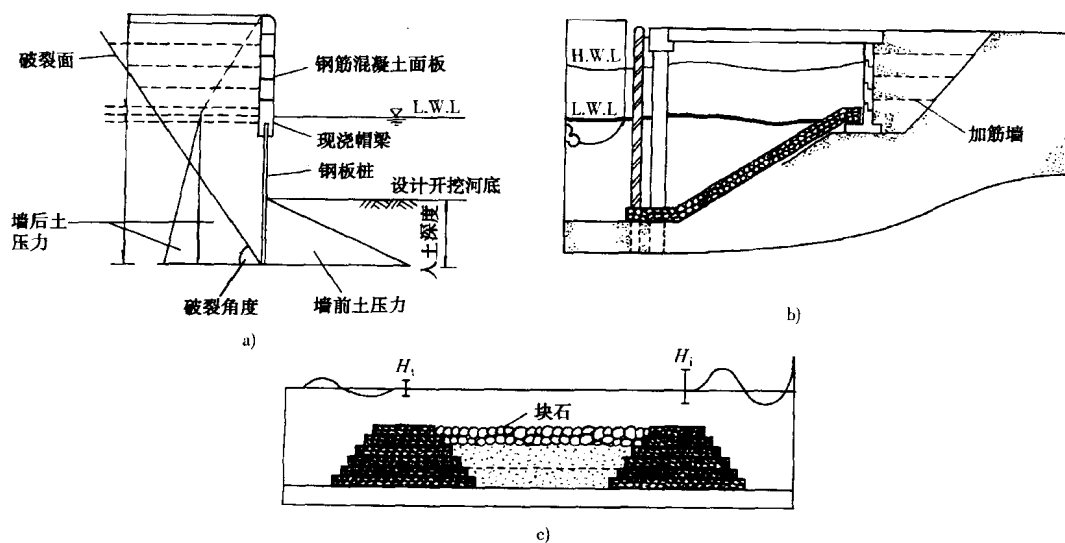


图 1.17 加筋土结构在港口工程中的应用

a)板桩—加筋土墙码头;b)码头接岸加筋土挡墙;c)加筋石笼水下防波堤

§ 1.3 加筋土工程的经济性分析

在前面的加筋土结构的组成和特点叙述中,已经了解到加筋土结构与传统的结构形式相比,具有基础处理简单,土石方开挖回填量较少;圬工数量、混凝土数量、钢材用量相对较小,材料节约量大;加筋土填料一般是就地取用,价格低廉,运输费用少;施工简单、速度快,人工费用和机械费用相对较少。因此,加筋土结构的特点决定了加筋土工程的造价较为经济。

以常用的加筋土挡墙为例进行概要的分析。

加筋土挡墙的工程直接费用主要有基础开挖和浇筑,钢筋混凝土面板预制、运输和安砌,加筋材料的购置、加工和铺设,填料的挖、运、摊铺和碾压,帽石(或压顶)浇筑,排水等附属设施项目等。根据国内外实际的工程经验和工程经济对比分析总结,墙高在3~4m时,加筋土挡墙的造价基本上与重力式挡墙持平;超过4m时,随墙高度的增加,其经济性越来越明显。图1.19是国外加筋土挡墙与传统的挡墙结构的造价比较(1984年),表1.4是我国最早的加筋土挡墙的情况和造价比较,表1.5是重庆交通学院近几年设计的在重庆等地已建成的加筋土工程的情况和造价比较。从表1.5可看出,加筋土挡墙与其它最优的传统结构比较,造价降低20%~40%。对于高大的加筋土挡墙,如果工程规模较大,采用加筋土技术后工程造价降低的绝对值更是十分可观。工程实践告诉我们,加筋土结构的经济性非常显著,这也是加筋土结构能迅速发展和广泛应用的根本原因所在。

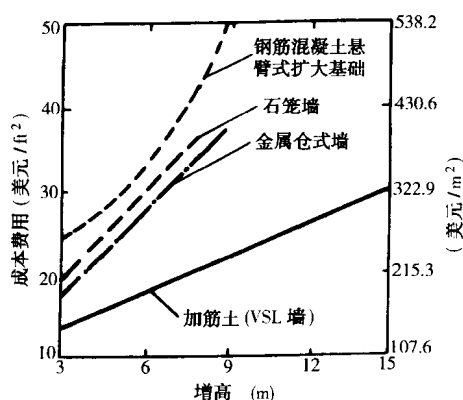


图 1.19 加筋土挡墙与传统挡墙的费用比较

从表 1.5 可看出,加筋土挡墙与其它最优的传统结构比较,造价降低20%~40%。对于高大的加筋土挡墙,如果工程规模较大,采用加筋土技术后工程造价降低的绝对值更是十分可观。工程实践告诉我们,加筋土结构的经济性非常显著,这也是加筋土结构能迅速发展和广泛应用的根本原因所在。

国内最早建设的加筋土挡墙概况及造价比较

表 1.4

序号	工 程 名 称	墙 高 (m)	面板型式	加筋材料	填 料	造价比较 (元/m)			竣工日期
						浆砌 片石墙	加筋土	造价比 (%)	
1	云南旧坝选煤厂储煤场	4	钢筋混凝土矩形板	混凝土块穿钢筋	砂土、粘土夹砂页岩碎块	493	255	51.7	1979.1
2	田坝打磨沟2号公路	6	钢筋混凝土矩形板	混凝土块穿钢筋	砂土、粘土夹砂页岩碎块	793	412	52.0	1980.7
3	田坝矿区产品仓	8	钢筋混凝土矩形板	混凝土块穿钢筋	砂土、粘土夹砂页岩碎块	1262	575	45.6	1981.1
4	淮南铁路枢纽	3.6	钢筋混凝土十字板	钢筋混凝土板带	裂隙粘土	394	79	20.0	1980
5	浙江天台护岸	5.2	钢筋混凝土十字板	敷铜钢片	砂砾土	370	146	39.5	1981.7