

新世纪土木工程系列规划教材

# 土工合成材料

◆ 徐超 邢皓枫 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

新世纪土木工程系列规划教材  
同济大学本科教材出版基金资助教材

# 土工合成材料

徐超 邢皓枫 编著  
王正宏 主审

机械工业出版社

本书是为高等学校地质工程、岩土工程、水利工程等专业土工合成材料课程编写的教材。它深入浅出地介绍了土工合成材料的基本知识,以材料在实际工程应用中的基本功能和作用为主线,比较系统地论述了当前国内外土工合成的新技术和新方法,包括土工合成材料的隔离作用、排水作用、反滤作用、加筋作用、防渗作用、防护作用,并单独成章介绍了土工泡沫、土工包容系统的作用和应用。

本书除可作为高等学校相关专业的教材外,也可供相关工程领域内的工程技术人员在土工合成材料应用时参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

土工合成材料/徐超,邢皓枫编著. —北京:机械工业出版社, 2010.6

(新世纪土木工程系列规划教材)

ISBN 978-7-111-30591-0

I. ①土… II. ①徐…②邢… III. ①土木工程—合成材料—高等学校—教材 IV. ①TU53

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第082718号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:马军平 责任编辑:马军平

版式设计:霍永明 责任校对:闫玥红

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京市朝阳区展望印刷厂印刷

2010年8月第1版第1次印刷

169mm×239mm·13.5印张·2插页·262千字

标准书号:ISBN 978-7-111-30591-0

定价:24.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前言

土工合成材料相对于传统的木材、钢筋和水泥，是一种比较新型的工程材料品种，随着工程实践的发展，出现了种类繁多的土工合成材料品种，其工程应用与科学研究得到了国内外的广泛重视。

同济大学及国内部分高等院校已开设课程，给本科生讲授土工合成材料工程应用技术，因此有必要根据国内外发展情况，编写一本合适的教材。本书被列入同济大学“十一五计划”教材，得到了同济大学教学研究与建设项目特色专业建设基金和教育部、财政部 2009 年度高等学校特色专业建设点（教高函〔2009〕16 号）基金的共同资助，在此表示感谢。在本书的编写过程中，参编人员积极收集资料，广泛征求意见，力求使本书能够较好地满足高等学校专业教学要求；部分章节较多地吸收了国内外土工合成材料的最新内容，以适应我国高等教育特色专业建设的需要。

土工合成材料已经广泛应用于水利、水运、公路、铁路、建筑、环境、矿山和农业等国民经济建设领域，被设置于土体系统内部、表面或与其他岩土材料和结构相结合，以达到反滤、排水、防渗、加筋和防护等功能与作用，解决岩土工程中涉及稳定、变形和防渗排水等方面的一系列问题，取得了良好的经济效益和社会效益，形成了比较完整的设计理论体系。

本书共 9 章，第 1 章绪论参考国际土工合成材料协会的概念体系，结合我国相关规程与实践特点对土工合成材料的定义、类型、功能和设计应用原则进行了论述，概括性地总结了土工合成材料的发展历史，由徐超编写；第 2~7 章以土工合成材料的基本功能和作用为主线，分别介绍了土工合

#### IV 土工合成材料

成材料隔离、反滤、排水、加筋、防渗和防护功能及其工程应用的设计原则、方法和应用实例，由徐超和邢皓枫编写；第8章介绍了土工泡沫的特点和在工程应用中的作用与设计方法，并介绍了相关实例，由徐超编写；第9章介绍了土工包容系统特点和在工程应用中的作用与设计方法，并介绍了相关实例，由邢皓枫和徐超编写。全书由王正宏教授主审。王正宏教授为本书的定稿提出了宝贵意见和建议，使编者受益匪浅。

在本书的编写过程中，得到了同济大学叶书麟教授的鼓励、关怀和指导，深表感谢。本书内容包括了国内外众多学者的研究成果，以及李志斌和廖星樾的同济大学博士学位论文的部分研究成果。同济大学地下建筑与工程系岩土加固与测试技术研究室的研究生钱茹莹、李丹、黄亮、孟凡祥、冯颖彦、吴迪、王璐等在资料收集和插图绘制方面提供了大量帮助，在此谨致以衷心的感谢。

限于水平，书中不妥之处和文献收集方面的遗漏在所难免，祈请读者批评指正。期盼本教材能为我国土工合成材料教学和知识普及尽绵薄之力，也有助于我国土工合成材料工程应用的持续发展。

编者

# 目 录

## 前言

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 聚合物简介 .....	1
1.3 土工合成材料的类型 .....	6
1.4 土工合成材料的功能 .....	10
1.5 土工合成材料的应用 .....	13
1.6 土工合成材料简史 .....	19
复习题 .....	22
<b>第2章 隔离作用</b> .....	23
2.1 概述 .....	23
2.2 土工织物的相关特性与测试 .....	23
2.3 隔离材料的破坏分析与隔离层设计方法 .....	31
2.4 工程应用 .....	36
2.5 土工织物隔离层施工及注意事项 .....	37
复习题 .....	38
<b>第3章 排水作用</b> .....	39
3.1 概述 .....	39
3.2 土工排水材料的相关特性与测试 .....	40
3.3 排水设计与工程应用 .....	44
复习题 .....	55
<b>第4章 反滤作用</b> .....	56
4.1 概述 .....	56
4.2 土工织物的相关特性与测试 .....	57
4.3 土工织物的反滤机理及影响因素 .....	60
4.4 土工织物反滤层设计 .....	65

4.5 施工注意事项	70
复习题	71
<b>第5章 加筋作用</b>	<b>72</b>
5.1 概述	72
5.2 加筋材料特性与测试	73
5.3 加筋作用机理	82
5.4 加筋土结构的概念	85
5.5 加筋土挡墙	86
5.6 加筋边坡	94
5.7 加筋路堤	99
复习题	108
<b>第6章 防渗作用</b>	<b>110</b>
6.1 概述	110
6.2 土工膜相关特性与测试	111
6.3 土工膜的防渗设计	118
6.4 土工膜防渗的工程应用	129
6.5 土工膜的施工与检测	134
6.6 GCL 及其工程应用	138
复习题	143
<b>第7章 防护作用</b>	<b>144</b>
7.1 概述	144
7.2 软体排	145
7.3 土工石笼	156
7.4 土工模袋	158
7.5 土工网(垫)植被护坡	162
7.6 道路反射裂缝的防治	166
7.7 其他防护工程简介	168
复习题	171
<b>第8章 土工泡沫</b>	<b>172</b>
8.1 概述	172
8.2 土工泡沫的特性	173

8.3 作为轻质填料的应用与设计 .....	177
8.4 作为压缩层的应用 .....	182
复习题 .....	186
<b>第9章 土工包容系统</b> .....	<b>187</b>
9.1 概述 .....	187
9.2 土工包容系统的基本原理 .....	189
9.3 土工袋 .....	190
9.4 土工包 .....	191
9.5 土工管袋 .....	197
复习题 .....	206
<b>参考文献</b> .....	<b>207</b>



# 第1章 绪 论

## 1.1 概述

土工合成材料 (Geosynthetics) 一词具有两层含义：一是泛指用于土木工程领域的各种合成材料产品；二是指这类材料的应用技术。正如其英文名称所示，Geo-代表岩土 (earth)，synthetics 则指合成材料。所谓合成材料一般是指采用人工合成的方法将简单的物质制成各种高分子聚合物，主要包括合成橡胶、合成纤维、合成树脂以及塑料等高分子物质。这些物质就是制造土工合成材料的聚合物原材料。

土工合成材料是指通过与土体、岩石或其他岩土工程材料相接触，应用于土木工程领域的各种人工合成的或天然的聚合物材料制品。随着材料工业的发展和工程应用的不断创新，土工合成材料的概念也处于不断完善之中。比如出现一些三维织物、土工泡沫、新型加筋材料等，而且基本不再用天然聚合物来生产土工合成材料制品。

土工合成材料相对于传统的木材、钢筋和水泥，是一种比较新型的工程材料制品，是随着聚合物的发明和发展以及工程应用需要而逐步发展起来的。在工程实践过程中，出现了种类繁多的土工合成材料品种（如土工织物、土工膜）、不同种类的土工复合材料和各种特殊用途的材料品种（如用于加筋作用的土工格栅以及超轻质材料土工泡沫）。经过过去几十年的发展，土工合成材料已陆续应用于土木工程多个领域，取得了很好的经济效益和社会效益，形成了比较完整的技术体系。

目前，土工合成材料已经广泛应用于水利、水运、公路、铁路、建筑、环境、矿山和农业等国民经济建设领域，设置于土体内部、表面或与其他岩土材料和结构相结合，以起到隔离、反滤、排水、防渗、加筋和防护等功能与作用，用来解决岩土工程中所涉及的稳定、变形和防渗排水等方面的一系列实际工程问题。

## 1.2 聚合物简介

因为土工合成材料是以人工合成的高分子聚合物为原料制成的，对于这些聚

合物特性的了解有助于人们认识各类土工合成材料的工程性能。

### 1.2.1 聚合物的基本概念

人工合成聚合物是土工合成材料的主要原材料。这种聚合物是由一种或几种低分子有机化合物通过化学聚合反应以共价键结合而形成的高分子有机化合物，其相对分子质量一般高达数千到几万。所谓聚合反应，就是将大量小分子结合成链状或网状大分子的化学反应。煤、石油、天然气等原始材料经过加工提炼得到乙烯、丙烯、苯等这些低分子化合物。这些低分子化合物通常称为单体，单体经聚合反应变成高分子化合物的结构单元，然后形成聚合物。例如，聚乙烯就是由乙烯单体聚合而成的。聚合物是由不同相对分子质量的分子组成的同系混合物，一般为无定形物，有晶体共存，但很少全为晶体。

聚合物主要是根据其化学组成来命名。例如，由一个单体聚合而得到的聚合物，其命名法则是在单体名称前加一个“聚”字，如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯等。大多数烯类单体的聚合物均按此法命名。由两种或两种以上的单体经聚合反应得到的聚合物，例如丙烯腈-苯乙烯聚合物可称为腈苯共聚物。很多聚合物通常还有商品名称或俗名。例如，尼龙（商品名）就是聚酰胺的一类。在我国，人们还习惯以“纶”字作为合成纤维商品的后缀字，如锦纶（尼龙-6）、腈纶（聚丙烯腈）、氯纶（聚氯乙烯）、丙纶（聚丙烯）、涤纶（聚对苯二甲酸乙二酯）等。

在科学交流和实际应用中，人们还经常采用代号（英文缩写）指代聚合物，表 1-1 给出了土工合成材料中常见聚合物的名称及其代号。

表 1-1 常见聚合物的名称及其代号

排 序	产 品 名 称	英 文 名	代 号
1	低密度聚乙烯	Low Density Polyethylene	LDPE
2	聚氯乙烯	Polyvinylchloride	PVC
3	高密度聚乙烯	High Density Polyethylene	HDPE
4	聚丙烯	Polypropylene	PP
5	聚苯乙烯	Polystyrene	PS
6	聚酯	Polyester	PET
7	聚酰胺（尼龙）	Polyamide	PA
8	氯化聚乙烯	Chlorinated Polyethylene	CPE
9	氯磺化聚乙烯	Chlorinated Sulphured Polyethylene	CSPE
10	极低密度聚乙烯	Very Low Density Polyethylene	VLDPE
11	线性低密度聚乙烯	Linear Low Density Polyethylene	LLDPE

(续)

排 序	产 品 名 称	英 文 名	代 号
12	极软聚乙烯	Very Flexible Polyethylene	VFPE
13	线性中密度聚乙烯	Liner Medium Density Polyethylene	LMDPE
14	柔性聚丙烯	Flexible Polypropylene	FPP
15	聚烯烃	Polyolefin	PO
16	聚丙烯腈	Polyacrylonitrile	PAN
17	聚氨酯甲酸酯	Polyurethane	PUR
18	氯丁橡胶	Chloroplene Rubber	CR
19	顺丁橡胶	Butyl Rubber	BR

## 1.2.2 聚合物的分类

### 1. 按其性能分类

聚合物按性能不同可分为塑料、纤维和橡胶三大类，此外还有涂料、胶粘剂和合成树脂等。

(1) 塑料 在一定条件下具有流动性、可塑性，并能加工成形，当恢复常规条件（如除去压力和降温），仍保持加工时形状的聚合物称为塑料，并进一步划分为热塑性塑料和热固性塑料两类。热塑性塑料是指在温度升高后能够软化并能流动，当冷却时即变硬并保持高温时形状的塑料，而且在一定条件下可以反复加工定形，如聚乙烯、聚丙烯和聚氯乙烯等；热固性塑料是指加工成形后的塑料在温度升高时不能软化且形状不变的塑料，如酚醛树脂、脲醛树脂等。

(2) 纤维 长度大于直径 1000 倍以上而又具有一定强度的线形或丝状，且直径很小的聚合物称为纤维。重要的合成纤维品种有：聚酯纤维，如涤纶；聚酰胺纤维，如尼龙 66；烯类纤维，如腈纶、维尼纶等。

(3) 橡胶 在室温下具有高弹性的聚合物材料称为橡胶。在外力作用下，橡胶能产生很大的应变（变形可达 1000%），外力除去后又能迅速恢复原状。重要的合成橡胶品种有顺丁橡胶、氯丁橡胶、硅橡胶等。

以上仅是从聚合物性能上的分类，但就其原材料本身来说，塑料、橡胶与纤维的材料可以是相同的。例如，聚氯乙烯可以制成塑料、纤维产品和类似于橡胶的制品。产生以上性能差别的原因是一些聚合物的分子间的作用力不同，其中以橡胶的分子间吸引力最弱，纤维的分子间吸引力最强，而塑料则介于两者之间。

### 2. 按其键结构分类

键结构是指高分子本身的结构，即原子在分子中的排列情况。聚合物根据其主键的几何形状一般分为：

(1) 线形聚合物 它是指每个重复单元仅仅和另外两个单元相连接的聚合物。每一个分子链为一独立的单位，尽管有时也有短的分枝，但分子链之间没有任何化学键联结，因此，它们柔软富有弹性，分子链之间易于产生相互位移，可以热塑成各种形状的产品，即热塑性聚合物。这一类聚合物很多，如无支化的聚乙烯、定向聚丙烯、聚酯和尼龙等。

(2) 支化聚合物 它是指在主链上带有侧链的聚合物。它可以形成一些较长的支链，如在高温高压下形成的低密度聚乙烯（由于支链的存在降低其密度）在 100 个碳原子上含有大约 20 ~ 30 个支链，其中包含少量较长的支链。这时它的性能明显不同于高密度线形聚乙烯。短支链使得聚合物主链之间距离增大，流动性增强，而支链过长则阻碍了聚合物的流动，影响其结晶并降低弹性。总的说来，支化聚合物密度较低，穿透性能有所增加。

(3) 网状聚合物 它是指一种相互联接起来（又称交联）的支化聚合物。由于分子链通过支链以化学键与其他分子链相联接，其形状不易改变，因此，网状聚合物为热固性聚合物，如环氧树脂、酚醛树脂等。这类聚合物的耐热性好、强度高、形态稳定。

聚合物的结构除了分子链结构外，还包括有聚集态结构。它是指聚合物内高分子与高分子之间的几何排列。主要是指非晶态结构、晶态结构和定向结构，这也是影响聚合物性能的直接因素。

### 1.2.3 聚合物的特性及影响因素

聚合物的力学性能，如抗拉强度和伸长率等，与聚合物分子链的主价键（共价键）和分子间的作用力（范德华力）有着密切关系。有些材料取决于主价力，如在外力作用下聚合物的高分子链断裂；有些材料取决于次价力，如在外力作用下聚合物产生高分子间的相对滑动，视哪一方面是薄弱环节而定。

聚合物材料具有粘弹性特征，具有在不变荷载作用拉伸应变随时间不断发展的特性，即具有蠕变性。聚合物一般具有抵抗环境侵蚀的能力和不同程度的抗老化能力，其中由聚合物制成的土工合成材料抗阳光（紫外线）辐射能力被看做一个重要特性。

聚合物的特性往往受环境温度和湿度的影响，特别是温度的影响非常显著。这里有两个重要的温度指标，一个是玻璃化温度（glass transition temperature） $T_g$ ，另一个是溶化温度（melting temperature），或称熔点  $T_m$ 。前者是指非晶态聚合物从玻璃态向高弹态转变的临界温度；反之亦然。从物理现象上看，当温度低于  $T_g$ ，聚合物呈似玻璃态，表现出脆性；当温度高于  $T_g$ ，则聚合物呈似橡胶态，表现出柔性。不同聚合物的  $T_g$  和  $T_m$  是不同的，土工合成材料中常用聚合物的玻璃化温度和溶化温度见表 1-2。

表 1-2 常用聚合物的玻璃化温度和熔化温度 (Koerner, 2005 年)

聚合物种类		玻璃化温度 $T_g/^\circ\text{C}$	熔化温度 $T_m/^\circ\text{C}$
中 文	英 文		
线性乙烯	Ethylene (linear)	-125	141
均质同规丙烯	Propylene (isotactic)	-7	187
均质同规苯乙烯	Styrene (isotactic)	100	240
乙烯醇	Vinyl alcohol	85	265
氯乙烯	Vinyl chloride (syndiotactic)	81 ~ 98	273
对酞乙烯	Ethylene terephthalate	60 ~ 85	280
尼龙 66	Nylon 66	50	280

聚合物的性能除了与其化学成分、分子链形式和聚合程度有密切关系外,同时还受到交联形式、结晶、取向、添加剂及其加工工艺等的极大影响。对于同一品种的聚合物,影响因素包括:

(1) 结晶 聚合物的结晶度对其诸多力学性能有明显的影晌,结晶度增加时,其屈服点、强度、模量、硬度等随之提高,而断后伸长率、抗冲击性能则随之下落,如聚丙烯的非晶态结构的体积分数从 2% 提高到 6.4%,其抗拉强度从 34.5MPa 下降到 29MPa。同时,结晶度增加会使聚合物变硬变脆,这是由于晶体中分子链排列紧密,有序程度提高,分子间空隙小,作用力增强,链段运动困难造成的,如结晶度高的高密度聚乙烯的强度大于结晶度低的低密度聚乙烯,且弹性模量显著增大。除了结晶度外,球晶的大小对聚合物性能也存在影响,大的球晶一般使聚合物的伸长率和韧性降低。

(2) 取向 聚合物的取向可分为分子取向和晶粒取向两大类。分子取向是指高分子链或链段朝着一定方向占优排列的现象,晶粒取向是指晶粒或某晶面朝着某个特定方向占优排列的现象。聚合物的取向是在拉伸过程中(如在纤维和格栅生产中采用的)或在流动过程中(如注塑成形)形成的。取向对聚合物力学性能最为突出的影响是使材料在取向方向的强度大为增加,但同时伸长率却降低很多,而且在垂直方向的强度会有所降低,形成强烈的各向异性特性。所以对合成纤维和格栅可以采用单轴取向,只提高拉伸方向的强度;对薄膜采取双轴拉伸,以减少各向异性的程度。取向是一个分子或晶粒趋向排列整齐的过程,而热运动则刚好相反,是使其排列无序化,称之为解取向。所以,有时在聚合物经过拉伸处理取得了高强度后再来一个热处理工序,适当地进行解取向,可达到既增加强度又增加弹性的目的。

(3) 添加剂 在采用聚合物原材料生产特定用途制品时, 常需在原材料中掺入一定数量的其他原料, 以改善聚合物的加工性能或产品的使用性能, 这些添加的材料称为添加剂 (或助剂)。例如添加增塑剂使流动性较差的聚氯乙烯易于加工; 添加增强剂 (如纤维) 可以提高橡胶的强度。热塑料可以添加合成纤维、玻璃纤维和碳纤维等作为增强剂, 形成比钢材强度还要高的纤维加筋塑料, 如玻璃钢; 聚合物抗紫外光老化的性能较差, 需添加稳定剂, 如在聚乙烯中添加 2% (质量分数) 的炭黑, 可以使抗老化能力提高 30 倍。

(4) 加工方式 各类土工合成材料的性能不仅和其原材料的性能有关, 也与生产过程和制造工艺有着密切的关系。例如格栅是否在生产过程中经过定向拉伸, 对其抗拉强度和延伸率影响极大; 又如同样的原材料经过不同制造方式形成的有纺织物和无纺织物, 两者的工程性能就有很大的差别。

### 1.3 土工合成材料的类型

土工合成材料制品种类繁多, 而且不断有新产品问世。根据 GB 50209—1998《土工合成材料应用技术规范》对于土工合成材料的分类, 将土工合成材料归纳为土工织物、土工膜、土工复合材料和土工特种材料四大类, 如图 1-1 所示。各类当中又包含不同类型或不同生产工艺的各种材料产品, 如土工织物根据工艺不同分为有纺 (织造) 与无纺 (非织造) 土工织物; 土工格栅根据材质不同分为塑料格栅和玻纤格栅, 又可根据工艺不同分为拉伸格栅、焊接格栅与经编格栅, 以及根据形态不同划分为单向格栅、双向格栅与三向格栅等。

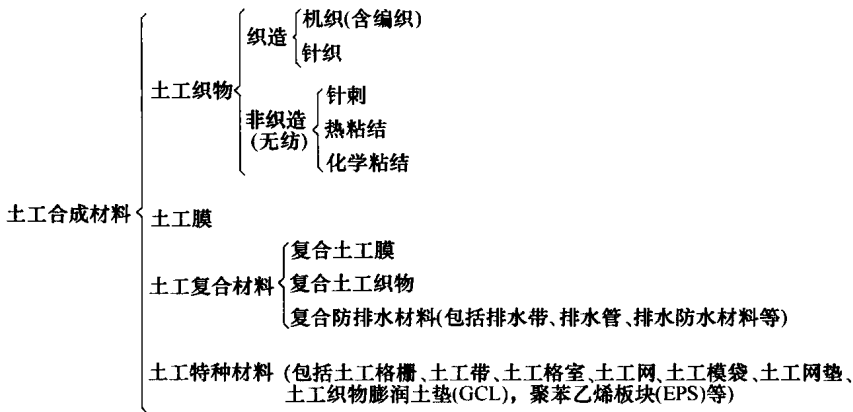


图 1-1 土工合成材料的分类 (GB 50209—1998)

下面结合图 1-2 和文前彩图介绍每种类型土工合成材料及其特点。

土工织物 (geotextile), 俗称土工布, 是经过织造、非织造或编织方法制成的, 由纤维或纱线构成连续的平面状材料。这种材料具有柔性和透水 (气) 性, 通常呈织物外观 (见图 1-2a)。一般划分为有纺土工织物 (见彩图 1) 和无纺土工织物 (见彩图 2)。土工织物在工程应用中可发挥隔离、过滤、排水、加筋和侵蚀控制等作用。

土工格栅 (geogrid) 是一类在制造过程中经过定向拉伸的具有网格状 (grid-like) 外观的开口式土工合成材料 (见图 1-2b)。常见的有单向拉伸土工格栅 (见彩图 3) 和双向拉伸土工格栅 (见彩图 4) 两种。土工格栅的主要作用是用于土体的加筋加固。

土工膜 (geomembrane) 是由一种或几种合成材料制成的连续的柔性膜状材料 (见图 1-2c 和彩图 5)。土工膜具有很低的渗透性, 其渗透系数小于  $10^{-11}$  cm/s, 几乎不透水。可用作封闭液体或气体的防渗衬里和防护散屏障。

土工网 (geonet) 包括平面型的多用于防护的工程网和具有三维结构的排水土工网两类。后者是由两组平行挤出的聚合物以恒定锐角交叉 (在节点处融合在一起) 形成的开放式网格状土工合成材料。这种交互式网格构成了网内多孔结构层, 因此, 排水土工网具有较强的输导液流或气流的能力 (见图 1-2d 和彩图 6)。这类土工网在工程应用中常作为排水材料。

土工复合材料 (geocomposite) 是由两种或多种土工合成材料复合而成的一大类土工合成材料。这类材料包括土工织物-土工网型、土工织物-土工格栅型、土工网-土工膜型和土工织物-土工膜型土工复合材料。土工织物与土工膜可构成复合土工膜 (见图 1-2e), 土工织物和土工网可以构成复合排水板 (见彩图 7), 以及软土地基排水固结法中常用的预制垂直排水带 (prefabricated vertical drains, 简称 PVD, 见彩图 8), 这些都是典型的土工复合材料。PVD 就是由土工织物滤层包裹塑料排水芯带制成的复合材料。将具有各自特性的不同类型材料有目的地结合在一起的土工复合材料, 在工程实践中可以起到排水、反滤、隔离、防渗、加筋等作用, 为工程实际问题提供针对性的解决方案。

土工合成材料粘土衬垫 (geosynthetic clay layer, 简称 GCL) 属于土工复合材料的一种, 通常是在上下两层土工织物之间夹一层膨润土, 或将一层膨润土粘结在土工膜或单层土工织物上而制成的一种土工复合材料 (见图 1-2f)。由两层土工织物覆盖制成的 GCL 常通过缝合或针刺的方式贯穿膨润土层, 用以提高 GCL 的内部抗剪强度。当膨润土经过水化作用, 吸水膨胀, 具有很低的渗透性能, 可以作为液体或气体的有效屏障。因此, 垃圾填埋场建设中, GCL 常与土工膜联合使用, 作为填埋场的防渗衬垫, 或作为水利工程的防渗层单独使用。

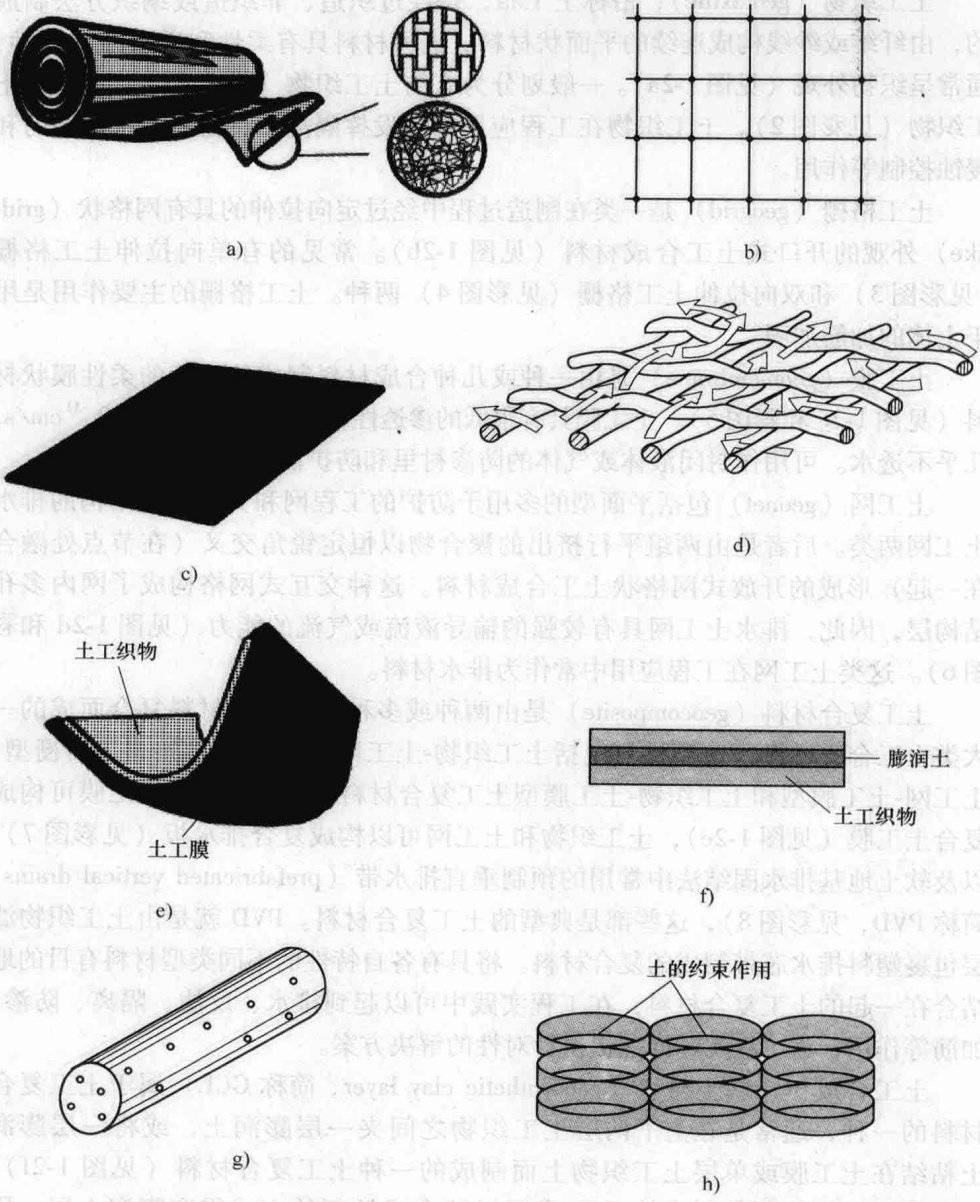


图 1-2 常见土工合成材料制品

- a) 土工织物
- b) 土工格栅
- c) 土工膜
- d) 土工网
- e) 土工复合材料
- f) 土工合成材料粘土衬垫
- g) 土工管
- h) 土工格室



土工管 (geopipe) 是用来排水或导气的管壁穿孔或不穿孔的聚合物管材 (见图 1-2g), 如垃圾填埋场中用于渗滤液或填埋气体的收集。在一些情况下, 在穿孔管外采用无纺土工织物包裹, 起反滤作用。

土工格室 (geocell) 是由聚合物条带 (strips) 相互连接制成的具有三维网格状或蜂窝状结构的土工合成材料 (见图 1-2h 和彩图 9)。铺设后, 交错连接的条带之间形成一个个格室用以填充土、碎石, 有时也用混凝土填充。这种材料主要用于道路路基底层加筋或地基加筋, 也可用于侵蚀控制工程。

土工泡沫 (geofom) 块或板是通过聚苯乙烯泡沫塑料膨胀形成的, 是一种超低密度的、由封闭充气单元构成的具有空间网络结构的块体或板材。根据生产工艺的不同, 一般又分为模塑型土工泡沫 (简称 EPS) 和挤塑型土工泡沫 (简称 XPS)。土工泡沫塑料可作为隔热材料和轻质填料使用。在刚性面板挡土墙中, 竖直置于面板与填土之间作为可压缩夹层 (compressible inclusion), 起到减小土压力的作用。

土工网垫 (geomatress) 是由长丝缠绕结合而成的三维透水网垫, 又称三维土工垫 (见彩图 10)。网垫结构蓬松柔韧, 网内空隙可以填土或喷洒含草籽和营养物质的混合材料, 常用于坡面植被防护, 如图 1-3 所示。

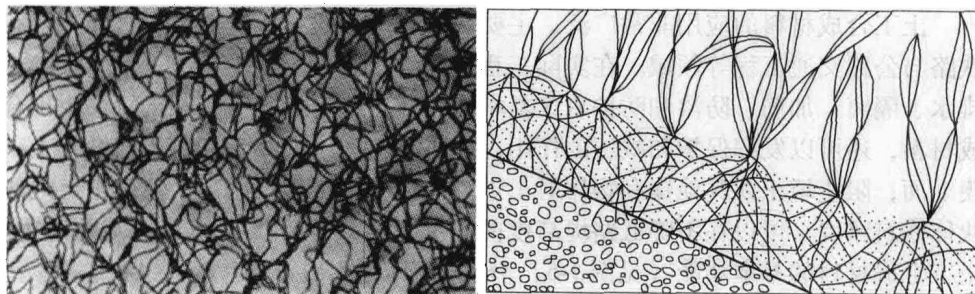


图 1-3 用于坡面植被 (防护) 的土工网垫及其应用

土工模袋 (geofom) 是一种由双层聚合织物制成的连续的管袋状土工合成材料。它可以代替模板, 当用高压泵把混凝土或砂浆灌入模袋凝固后, 可形成板状或其他形状连续结构。在模袋的上下两层织物之间, 每隔一定的间距用聚合物 (如尼龙绳) 把两层织物联系在一起, 以控制混凝土或砂浆灌注成型后土工模袋的厚度。土工模袋主要用于水利工程中的护面和护坡。

土工模袋按充填材料的不同分为充填砂浆型和充填混凝土型; 也可按模袋是否设置滤水点 (排水点) 将其分为无滤水点模袋和带滤水点模袋, 如图 1-4 所示。