

朱诗鳌 编著

土工

合成材料的

应用

北京科学技术出版社

土工合成材料的应用

朱诗鳌 编著

北京科学技术出版社

(京) 新登字 207 号

土工合成材料的应用

朱诗鳌 编著

北京科学技术出版社出版

(北京西直门南大街 16 号)

邮政编码: 100035

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

北京通县电子外文印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 6.625 印张 145 千字

1994 年 4 月第一版 1994 年 4 月第一次印刷

印数: 0001~2000 册

ISBN7-5304-1409-7/T·285 定价: 6.00 元

前 言

土工合成材料这一新型建筑材料，近年来在世界各地得到了广泛应用，其强大的生命力已为越来越多的工程技术人员所认可，其广阔的应用前景已明显地展现在人们面前。

我国在土工合成材料的应用方面也取得了可喜的进展，在社会主义建设中发挥了很大的经济效益与社会效益。但是，对于我们这样一个幅员广阔的国家来说，土工合成材料还大有用武之地，我们还要继续加以宣传与推广——这就是作者编著本书的出发点。

在编著过程中，作者选用与参考了国内外许多学者与专家的论述，在此一并致以谢意。承蒙华北水利水电学院北京研究生部王正宏教授悉心审阅了本书初稿并为本书作序，不胜感激。作者还要衷心感谢周金辉同志为本书的出版盛情地做了大量工作。

本书的出版特蒙我国土工合成材料大型生产厂家之一的湖南省维尼纶厂无纺布分厂的大力支持与赞助，无任感谢。

朱 诗 鳌

1993年12月于武昌珞珈山

序

土工合成新技术,通过近10年来岩土工程技术人员和高校、科研单位研究人员的共同努力,尤其是在土工合成材料技术协作网和水利、电力部相应学会组织的积极推动和宣传下,已经得到了较大进展。据不完全统计,迄今我国生产这类产品的大、小厂家已逾百家,利用该材料完成的工程超过了5千项,形势可喜。

但是,这类材料的兴起历史还不长,广大土建工程师们对它们有较深了解的毕竟人数很有限,而亲自参加过工程实践的为数就更少。要进一步促进其发展,继续大力宣传非常必要。目前国内外虽然已发表了许多有关论著,但篇幅大,内容分散,有的还偏重理论或试验研究,读者苦于短时间内难于掌握其全貌。本书作者却以紧凑篇幅,较为全面地介绍了该项新技术的发展与现状,取材较新较全,基本上反映了它迄今达到的水平。本书作为宣传与推广的速成教材,我以为是非常合适的。

其次,要让该技术真能付诸实用,提出在各种应用中的计算理论和设计准则,使读者有章可循,自然就十分必要。本书正好满足了这个需要。本书根据土工合成材料的主要功能,结合工程,分章精练地对上述内容加以阐述,同时还给出了部分工程实例,并论及施工要点。全书的最大特点是论述立足于实用。我相信,读了本书,读者对此项新技术不仅能建立一个系统而全面的整体概念,而且对从事过设计和施工的技术人员,也能初步培养应用此项技术的设计和施工能力。

土工合成材料技术尽管在工程应用中已有无数的成功实

例，但是对其作用机理还不完全认识，迄今的工程设计与方法也不尽完善；有许多关于此项技术的研究与讨论，读者可进一步查阅有关国际与国内会议的论文集和专著及期刊。本书篇幅有限，它已经按编写初衷很好地完成了任务，不该要求它再来容纳上述庞杂的内容。

王 正 宏

1994年3月

目 录

第一章	总论	1
第一节	土工合成材料的诞生与发展	1
第二节	土工合成材料的种类	3
第三节	土工合成材料的作用	5
第四节	土工合成材料的基本特性	7
第二章	土工合成材料用于排水	32
第一节	排水计算	32
第二节	应用范围与工程实例	38
第三章	土工织物用于反滤	46
第一节	土工织物反滤作用的机理	46
第二节	反滤设计准则	47
第三节	反滤试验	51
第四节	应用范围与工程实例	53
第五节	土工织物的施工	70
第四章	土工合成材料用于隔离	74
第一节	作用与意义	74
第二节	理论分析	74
第三节	应用范围与工程实例	88
第五章	土工合成材料用于加筋	98
第一节	历史回顾	98
第二节	加筋土的基本概念和基本理论	100
第三节	加筋土计算	107
第四节	加筋土应用范围与实例	121
第五节	微观加筋问题	132
第六章	土工薄膜用于防渗	137

第一节	防渗材料及其性能要求	137
第二节	施工方法	138
第三节	稳定分析	141
第四节	应用范围与工程实例	145
第七章	土工合成材料用于防护	161
第一节	土工织物用于护坡	161
第二节	砂袋、土袋的应用	163
第三节	土工织物模袋用于护坡	166
第四节	软体沉排	173
第八章	聚苯乙烯泡沫塑料用于减载	180
第一节	作用与意义	180
第二节	应用范围与工程实例	181
第九章	土工合成材料的特殊应用	187
第一节	土工织物用于植被生长	187
第二节	人工海草	191
第三节	土工织物用于体育运动场	192
第四节	黄麻土工织物的应用	192
第五节	土工织物模板施工法	193
参考文献		195

第一章 总 论

第一节 土工合成材料的诞生与发展

土工合成材料问世至今还只有三十多年的历史。然而，整个岩土工程却因之而发生了巨大的、革命性的变化，许多岩土工程领域中的新概念应运而生。一种概念就象一盏灯——一经点燃，就不会只照亮房间的一角；现在，土工合成材料在岩土工程中所显示的优越性已使诸如水利、铁路、建筑与海港等领域的许多方面产生了巨大的经济效益与社会效益。迄今，可以说还没有哪一种已有的其他建筑材料能象土工合成材料那样在许多方面发挥如此奇异的功能。

世界上首次制成的合成纤维，是在1913年出现在聚氯乙烯商用合成纤维，但应用有限。1930年，美国杜邦公司首次制成现代化的合成纤维“尼龙”。1949年英国卜内门(ICI)公司生产了低强度、粗聚乙烯纤维产品。1954年西德与美国生产出高强度、细聚乙烯纤维丝。同年，意大利首次制成聚丙烯纤维。

最早出现的土工合成材料就是由上述合成纤维制成的“土工织物”(Geotextiles)，并很快被广泛用于岩土工程。

1957年，荷兰用尼龙有纺土工织物做成砂包用于堵口工程。

1958年，美国将有纺土工织物用于佛罗里达州海岸防冲；西德将合成纤维砂包用于防波堤护坡；日本用合成纤维有纺袋修建路堤。

1959年，日本用有纺纤维砂包建造堤防。

到六七十年代后，土工合成材料又有新的发展，主要表现在两方面：一是法国、英国和美国的一些大厂家开始生产无纺土工织物；二是出现了“非织物型”的土工合成材料，如土工格栅（Geogrid）和其他组合产品。于是，土工合成材料市场随之开始兴旺，土工合成材料的工程应用也开创了新的局面。进入80年代后，产品型式不断革新，各种复合型、组合型材料不断涌现。到1984年，全世界10万余项不同类型的工程中铺设了3亿多平方米土工织物；1985年为3~5亿平方米；1990年约10亿平方米。到2000年，在欧洲的千分之一的土地上将为土工织物所覆盖。

现在已召开过四届国际土工合成材料（土工织物）学术会议。据1985年的统计，在国外就有近40个生产土工织物的大公司，其中著名的有美国的杜邦公司（Dupont），法国的罗纳普朗克公司（Rhône-Poulenc），英国的卜内门公司，日本的尤尼吉可公司（Unitika）等。此外，还有西德、加拿大、奥地利、瑞士和捷克等国的一些大公司^{[1]、[2]}。

在我国，近10余年来也开始试用和推广使用土工合成材料，而且发展很快。1984年便成立了“全国土工织物协作网”（现名“全国土工合成材料技术协作网”），在该协作网的组织下，于1986年和1989年分别召开了两届全国性的学术讨论会。第三届学术讨论会将在1992年秋季召开。现在，土工合成材料在我国的水利、铁路、公路、冶金、电力、海港、建筑以及军事工程等诸多领域的应用方兴未艾。据估计，1985

年全国共使用土工织物 100 多万平方米，已用和拟用土工织物的工程达 120 多项。到 1988 年，已使用土工织物的工程达 500 多项。现在，我国已涌现出一批具有大型现代化生产设备的厂家，如湖南省维尼纶厂无纺布分厂、仪征阿莫科织物有限公司、无锡市第一毛纺织染厂和中国济南塑料三厂等，新产品不断开发，产品质量和生产能力不断提高。到 1991 年，因抗洪抢险等需要，全国所用土工织物已超过 1 亿平方米的惊人数量。可以预见，土工合成材料将在我国的社会主义建设中发挥越来越大的作用。

第二节 土工合成材料的种类

土工合成材料是由高分子聚合物制成的用于岩土工程的材料。这些高分子聚合物是以煤、石油、天然气或石灰石等为原料，经过化学加工而合成的，而且还能进一步加工成为“合成纤维”。土工合成材料采用最多的聚合物 (Polymer) 有：聚酯 (Polyester)、聚丙烯 (Polypropylene)、聚乙烯 (Polyethylene)、聚酰胺 (Polyamide)、聚氯乙烯 (PolyvinylChloride) 和聚苯乙烯 (Polystyrene) 等。

“土工合成材料” (Geosynthetics) 这一名称实际上是对各种由聚合物制成的土工产品的总称。这些产品主要包括由合成纤维制成的各种类型的土工织物，以及土工薄膜、土工格栅、席垫、网制品与泡沫塑料等。由于大多数土工产品都是在土工织物广泛应用之后陆续出现的，因此现在习惯上也沿用“土工织物”这一术语泛指“土工合成材料”。

对土工织物来说，根据其制成的方法，可以分为以下 4 种类型^{[3]、[4]}：

一、有纺土工织物

这种土工织物一般是由相互正交的经丝和纬丝织成，或将两组纤维丝置于热滚之间加压用所谓压粘法制成。有些特殊织机还可以织成两组纤维丝斜交的织物。所用纤维丝可以用挤压方法成形的具有圆截面的单丝，也可以是用切割塑料薄膜方法而成的丝带。由单丝或细丝带织成的有纺土工织物一般都很薄，约 0.5mm；由多丝织成的则较厚，约 3~5mm；某些特殊产品可达 10mm。

二、针织土工织物

这种土工织物由一系列的单丝按照一定的联锁方式编织而成。这种织物实际上很少使用。

三、无纺土工织物

织物中纤维的排列一般是无规则的，有时也定向排列，然后用下述方法之一使纤维结合在一起即成为无纺土工织物。

1. 化学处理方法

将粘合剂加到纤维中去，使之粘结在一起。粘合剂可以是橡胶、乳胶等，但用得更多的是树脂。

2. 热处理方法

将纤维加热，同时施加压力，使各纤维之间的搭接点在部分融化状态下粘结起来。这种热粘无纺土工织物较薄，通常为 0.5~1mm。

3. 针刺机械处理方法

用特制的带有刺状的针往返穿刺纤维薄层，使原来松散的互不连接的纤维互相缠绕在一起。这种无纺土工织物较厚，一般为 1~5mm，或更厚。

四、组合土工织物

由两种或两种以上的土工织物组合而成，如有织物与无纺布物的组合，有织物或无纺布物与土工薄膜的组合，以及塑料板与无纺布物的组合等。

第三节 土工合成材料的作用^{[3]、[5]}

土工合成材料的作用是多方面的，而且还在发展。在现阶段，可将其繁多的作用归纳为以下 7 种基本作用：

一、加筋作用

加筋作用可以通过“宏观加筋”与“微观加筋”两种方式获得。

宏观加筋就是在土体中埋入土工合成材料，形成所谓“加筋土”，土工合成材料在其中可以约束土体的拉伸应变，减少土体变形，从而增加土体的模量，改善土体的受力状况，提高土体的稳定性。各类土工织物都可埋入土体起加筋作用，特别是土工格栅效果更好。见图 1-1 (a)。

一般地说，加筋土中的加筋件也可以是其他的材料，如钢格栅和带肋纹的条钢等。

微观加筋就是在土体中掺合土工合成连续纤维丝，形成所谓“纤维土”（或“织物土”）以提高土体的强度和稳定性。见图 1-1 (b)。与加筋土相比，纤维土的加固是三维的，而加筋土的加固一般是一维的，只有经过特殊设计才可成为二维或三维的加筋结构。

二、隔离作用

隔离作用是指利用土工织物或土工薄膜将两层性质不同或粒径不等的土石料分开，以免相互掺杂产生不均匀沉降等不良后果。见图 1-1 (c)。

三、排水作用

土工织物的排水作用是指用土工织物汇集土体中的渗水，并将渗水沿垂直于织物平面或沿平行于织物平面所在方向排出土体外的现象。针刺无纺土工织物或复合型土工织物都有这种功能。见图 1-1 (d)。

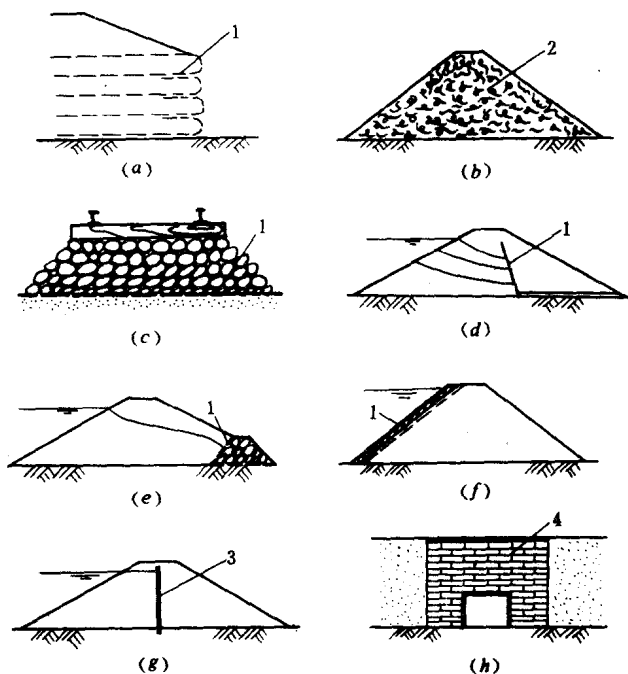


图 1-1 土工合成材料应用举例

- (a) 土堤宏观加筋；(b) 土堤微观加筋；(c) 路基隔离；
 (d) 土坝烟囱式排水；(e) 土坝棱体排水反滤；(f) 土坝上游护坡；
 (g) 土坝防渗心墙；(h) 涵洞上部回填

1—土工织物；2—合成材料；

3—土工薄膜；4—泡沫塑料

四、反滤作用

在土工建筑物中为了防止管涌破坏，常需设置由经过设计的砂石料所组成的“反滤层”。而土工织物完全可以取代这种常规的砂石料反滤层起到防止渗透破坏的反滤作用。有纺织物和无纺织物都有这种功能。如土坝下游堆石棱体上游侧的反滤层即可用土工织物取代，见图 1-1 (e)。

五、防护作用

利用土工合成材料保护堤防、水坝或海塘的边坡，以免遭到因风浪等袭击所导致的破坏。见图 1-1 (f)。

六、防渗作用

主要是利用土工薄膜阻截流过土体的渗透水流。加筋土工薄膜或组合土工织物的防渗效果更好。见图 1-1 (g)。

七、减载作用

这是指利用泡沫塑料取代常规的回填土，以减轻下部结构或土体所承受的荷载。见图 1-1 (h)。

此外，土工合成材料还有许多特殊作用，在此不一一列举。在实际应用中，同一种土工合成材料可以同时起到两种或两种以上的作用。

第四节 土工合成材料的基本特性^{[6],[7]}

一、土工织物的基本特性

土工织物可以在岩土工程中起到上述的前 5 种基本作用。这些作用发挥的效果如何直接与土工织物的力学特性和水力学特性有关。为了有效地在实际工程中应用土工织物，有必要事先了解土工织物的这些特性，并通过适当的测试手段加以测定。

(一) 土工织物的力学特性

1. 抗拉强度

在对土工织物进行加筋、隔离与护坡等设计时，都要考虑其受拉性能及拉伸应变问题，因此抗拉强度是一项较重要的力学指标。

现在测试抗拉强度的方法一般是沿用纺织部门测定纺织品抗拉强度的方法，即在无约束的条件下进行测试，其结果只能反映土工织物本身的强度，见图 1-4 (a)。理想的测试方法应在土工织物与土体联合工作的状态下进行。

对无约束的测试，是将一定宽度的试样，用相距一定距离的夹具，以一定的拉伸速率进行的。由于这种测试方法明显地要产生“颈缩”现象，因而不能反映土工织物与土体联合工作时的状况。为此，不少人曾对测试方法进行过许多改进，先后提出过宽条抗拉试验（即试样宽度较宽）、特宽条抗拉试验、“平面抗拉强度试验”（即在两夹具之间用 10 根带有凸钉的夹杆将试样夹住，以防拉伸时试样颈缩）以及“零跨度试验”（即两夹具间不留空隙）等试验方法。

由拉伸试验所得到的土工织物的应力~应变关系通常是非线性的，因此其拉伸模量往往也是指在某一应力（或应变）范围内的模量值。

通过试验所确定的抗拉强度、应力~应变关系、拉伸模量、延伸率以及韧度值等，除因试验方法不同而有所差别外，还会因土工织物原材料种类、土工织物种类以及所受拉力的方向不同而不同。如聚酯、尼龙和聚丙烯纤维的延伸率就分别为 7%~17%、20%~45% 和 30%~60%。图 1-2 反映了 4 种不同织物（复丝有纺、针刺无纺、热粘无纺和单丝有纺）的典型应力~应变关系曲线。从图可以看出，针刺无纺织物的

模量在初始阶段是很小的，随着应力的增大，模量也逐渐增大；而热粘无纺布物的应力~应变关系在初始阶段是接近线性的，当应力达到某一值后，应变骤然增大，模量骤然减小。有纺织物的应力~应变关系与热粘无纺布物和针刺无纺布物又不同。由图 1-3 可知，对有纺织物，沿经纱或纬纱方向的抗拉模量要比其他方向的抗拉模量大得多，而无纺布物在不同方向上的抗拉模量比较均匀^[8]。

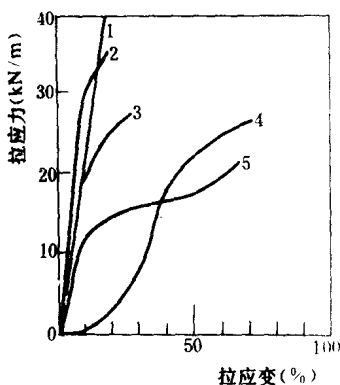


图 1-2 土工织物
拉伸应力~应变关系
1—复丝有纺 (225g/m²)；
2—单丝有纺 (170g/m²)；
3—扁丝有纺 (140g/m²)；
4—针刺无纺 (170g/m²)；
5—热粘无纺 (115g/m²)

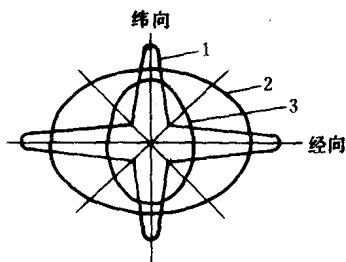


图 1-3 土工织物抗拉
模量极坐标曲线
1—有纺织物；2—无纺布物；
3—短纤维无纺布物

由于土工织物的厚度不易精确测定，加之厚度又随受力的大小而变，故土工织物的拉应力不采用单位截面积上受多少力来表示，而是用单位宽度上所受的力来表示。拉应力、抗拉强度、拉伸模量以及韧度值等通常采用的单位为 N/cm 或