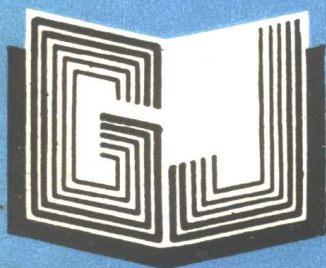
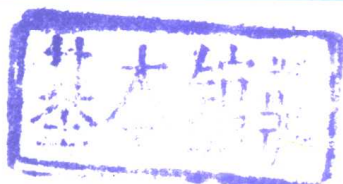


974567

744  
741



高等学校教材



# 土工合成材料应用原理

武汉水利电力学院 陆士强 王钊 刘祖德 合编



974567

TM  
7541

V4  
154

高等学校教材



# 土工合成材料应用原理

武汉水利电力学院 陆士强 王钊 刘祖德 合编

水利电力出版社

的坡，有最上

(京)新登字115号

### 内 容 提 要

本书着重阐明土工合成材料的基本应用原理,对土工合成材料的结构、性质作了介绍,并阐述了土工合成材料应用机理和计算原理。

本书由绪论、土工织物的结构、性质和试验、排水与渗滤作用、加筋作用、隔离作用、防护作用、土工膜的防渗作用、土工合成材料的减压作用和其他功用等九章组成。

本书可作为高等学校水利水电专业的教材,亦可供有关专业和从事岩土工程的技术人员参考。

高等学校教材

土工合成材料应用原理

武汉水利电力学院 陆士强 王钊 刘祖德 合编

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京樱花印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 9.75印张 217千字  
1994年6月第一版 1994年6月北京第一次印刷

印数 001-1380册

ISBN 7-120-01877-9/TV·682

定价 4.55元

## 前 言

土工合成材料，一种新型的建筑材料，近20年以来在土建工程中，得到了广泛的应用，特别是在水利工程中得到了最充分最全面的应用。这个应用被誉为在岩土工程中的一次重大革命，它的出现对岩土工程产生巨大的影响，但普遍认为仅仅是一个开端。

为了与这个新动向、新潮流相适应，国内外一些高等学校已系统地讲授土工合成材料的应用知识。因此水利水电类教学委员会岩土力学教学组推荐出版本书以供水利院校师生教学中使用和参考。由于篇幅所限，本书编写的重点在于应用原理上，力求把道理讲清楚。

本书的大部分内容已经讲授过多次，并在此基础上补充完善而成。本书第二章、第四章和第六章由王钊编写，第九章由刘祖德编写，其余由陆士强编写，并负责统一全稿。王正宏教授主审本书并提出了许多宝贵的意见，谨此表示深切的谢意。

由于我们水平所限，编写时间比较匆忙，书中谬误之处在所难免，尚希读者多加指正。

编 者

1992年12月

# 目 录

前 言	
第一章 绪论	1
第一节 土工合成材料的功用	1
第二节 土工合成材料应用的发展	4
第三节 聚合物简介	6
第二章 土工织物的结构、性质和试验	11
第一节 概述	11
第二节 合成纤维的特性和生产方法	12
第三节 土工织物的生产过程和结构	15
第四节 土工织物的特性和试验方法	21
习题	43
参考文献	44
第三章 排水与渗滤作用	46
第一节 土工织物的排水作用	46
第二节 土工织物的渗滤作用	56
习题	64
参考文献	65
第四章 加筋作用	66
第一节 概述	66
第二节 加筋土的试验和机理分析	68
第三节 加筋土结构的设计	73
第四节 加筋土结构的施工	88
习题	99
参考文献	99
第五章 隔离作用	92
第一节 底部的隔离作用	92
第二节 路面处的隔离作用	97
参考文献	101
第六章 防护作用	102
第一节 概述	102
第二节 防护结构的型式和应用	102
第三节 防护结构的设计	108
第四节 防洪抢险中的应用	115
习题	116
参考文献	116
第七章 土工膜的防渗作用	118
第一节 概述	118

第二节 土工膜的工程性质 .....	119
第三节 土工膜的设计 .....	122
参考文献 .....	126
第八章 土工合成材料的减压作用 .....	128
第一节 泡沫塑料的基本性质 .....	128
第二节 泡沫塑料在土工中的应用 .....	132
参考文献 .....	137
第九章 其他功用 .....	138
第一节 概述 .....	138
第二节 土工织物锚的设计与应用 .....	138
第三节 倾斜地基上用土工织物加强填土的抗震性 .....	144
第四节 陡峻岩坡保护与植生工程 .....	147
参考文献 .....	149

# 第一章 绪 论

## 第一节 土工合成材料的功用

土工合成材料(*Geosynthetics*)泛指用于土工工程的人工制备成的合成材料。因而土工合成材料的品种繁多,但粗略地按照目前的习惯可以分为三个大类。第一类是土工织物,它是用合成纤维以纺织工业的生产方式制造成的产品,因而是透水的;第二类是土工膜,它是用合成材料以塑料工业生产方式制成的柔性不透水的薄膜;第三类是土工塑料,它也是用合成材料以塑料工业生产方式制成的产物,如泡沫塑料,土工格栅等。目前实际生产中已有许多复合型的土工合成材料,例如土工织物和土工膜的组合。这些复合型产品可以按实际使用它们的主要性能来归类。目前在国内外土工合成材料的应用无论从费用上或用量上看以土工织物为最多,土工膜其次,土工塑料最少。本书的内容编排主要是按这三大类土工合成材料的顺序加以介绍。由于土工织物在应用时具有多种功能,故又按功能编写为相应的章书。

土工合成材料被广泛和成功地应用到土工的不同的领域中起到了不同的作用。这些作用可以大致地分为排水渗滤作用,加筋作用,隔离作用,防护作用,防渗作用和减荷作用等。现分别简介于下。

### 一、排水渗滤作用

土工织物是可以透水的而且透水性能良好。因而在土体中需要设置排水层的地方都可以使用土工织物。例如加速软土固结过程的传统采用的砂井目前就常用塑料排水板来代替。土坝心墙后以及挡土墙后的烟囱式排水层材料就可以采用土工织物来代替传统的砂石料,见图1-1。土工织物由于具有细小的孔隙,当它与土体相接触并在水流流入土工织物时又可以起到一个阻挡土粒移动的作用,亦即渗滤作用。这时水可以顺畅地从土体中流入,但土料基本上不流入,因而不至于引起明显的土体渗透变形的现象。在土工中原需布置反滤层的地方都可以利用土工织物来代替,图1-2中表示几种运用场合。在实际应用中从功能上看土工织物的排水作用和渗滤作用是不可分割的,是一个问题的两个方面。但在使用目的上则可以是以某一种功用为主。

### 二、加筋作用

土体只能承受很小的拉应力,而土工合成物具有较高的抗拉强度,如同钢筋埋入混凝土中一样,当埋设方式和数量得当时,就可以极大地改善土体的受荷性能。因而土工合成物的“加筋”作用是指土体中含有土工合成材料后提高土体承受荷载的能力的效应。“加筋”的方式是多种多样的。例如可以在软土地基表面上铺设一层或多层土工合成材料,见图1-3(a);有在填土中有规律地铺设多层土工合成材料,见图1-3(b);也有在填土中随机地掺杂土工合成材料的短纤维成为加筋的纤维土,见图1-3(c)。还可以有其它的加筋方式,但其目的都是一样的,即通过土工合成材料的特有作用起提高土体承受荷载的能力。

### 三、隔离作用

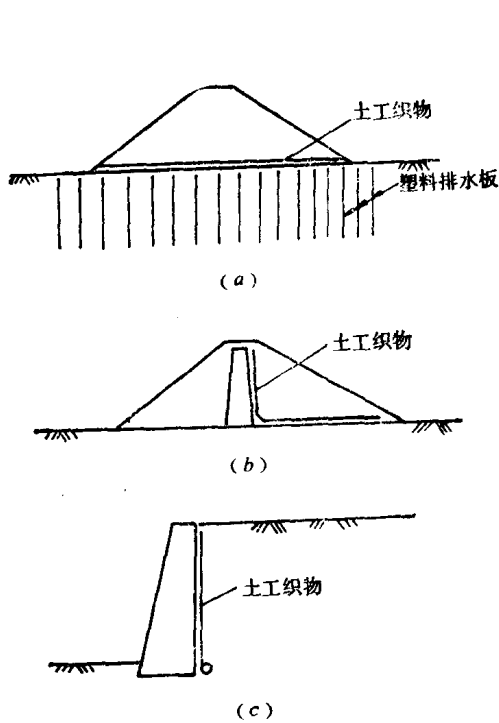


图 1-1 一些土工合成材料的排水应用场合

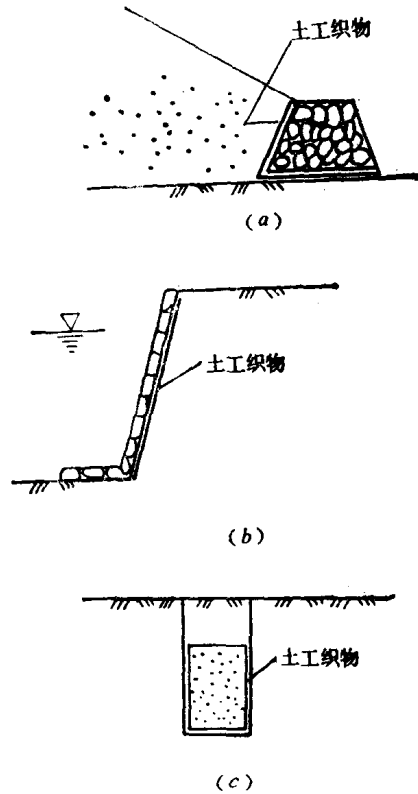


图 1-2 一些土工织物的渗滤应用场合

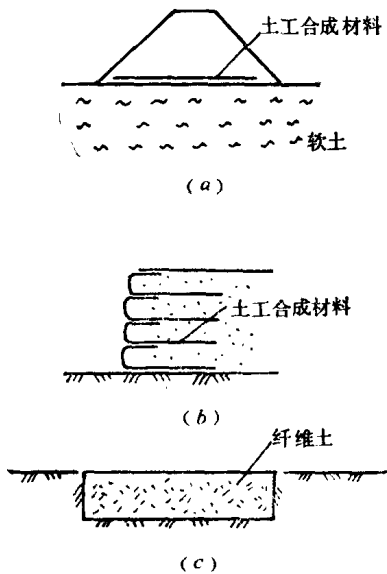


图 1-3 一些土工合成材料加筋的应用场合

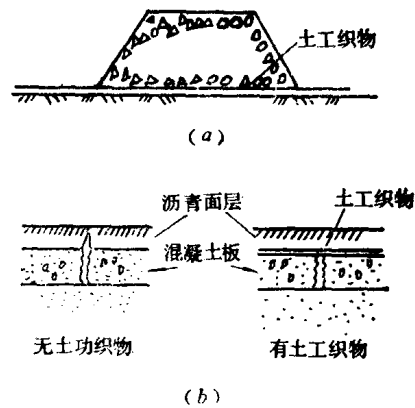


图 1-4 土工合成材料隔离作用的应用

土工合成物铺设在土体中，尤其是在两层不同土体之间，就成为一种隔离物，就要产生一种隔离作用。从广义上看隔离作用包含的内容是很广泛的，例如前述的渗滤作用，则是利用土工织物阻挡在水流作用下某些土料被带入另一土层，也是一种隔离作用。后述的防渗作用也是一种隔离作用。但是在这里是专指较为狭义的，主要是发挥在道路工程中的隔离作用。早期是指防止粗粒的材料陷入软弱的路基，见图1-4(a)；其后包括了防止硬



层的开裂反射到表面的作用，见图1-4(b)，以及防止翻浆冒泥等的危害。

#### 四、防护作用

防护作用是指土工合成材料以及土工合成材料和其它材料形成的布置，用以保护土体不受损害的工程措施，通常是在堤坝表面上布置一道保护层以保障土体不受水流的侵蚀破坏。

最早的应用是以土工织物代替海岸表层块石层下的传统的无粘性的反滤层。这一保护层因受双向水流作用，故有双重防护作用。一方面在表层的水波的冲击以及渗入块石层后水流冲刷下可以起到一个保护作用；另一方面在其下的粘性土中的渗流出逸时又起到一个渗滤作用，以确保土体渗流的稳定性，见图1-2(b)。

但目前的应用方式则更为直接，有拼接成一大片的土工织物直接铺设在河底和河岸需要保护的地方。有在制成圆筒型的土工织物中填土料，形成各种尺寸的土枕后铺设在堤岸的表面，见图1-5(a)。也有以土工织物缝制成所需形式，其中充填混凝土，土工织物起到一种模板的作用，而其中的混凝土则起到保护层的作用，见图1-5(b)。

#### 五、防渗作用

土工合成材料可以制成不透水的或很不透水的土工膜以及各种复合的不透水土工合成材料。这些土工合成材料可以用在各种需要防水防气以及防有毒害物质的地方。例如中小型水库的土石坝的防渗体，见图1-6(a)；蓄水池和渠道的防渗衬砌，见图1-6(b)；垃圾堆储场为了防止其中有害物质对附近地下水污染，可以在其周围铺设土工膜尽量隔绝其渗透为害，见图1-6(c)。

#### 六、减荷作用

土工塑料中包括泡沫塑料是一种日益得到推广应用的材料。在应用中泡沫塑料的减荷

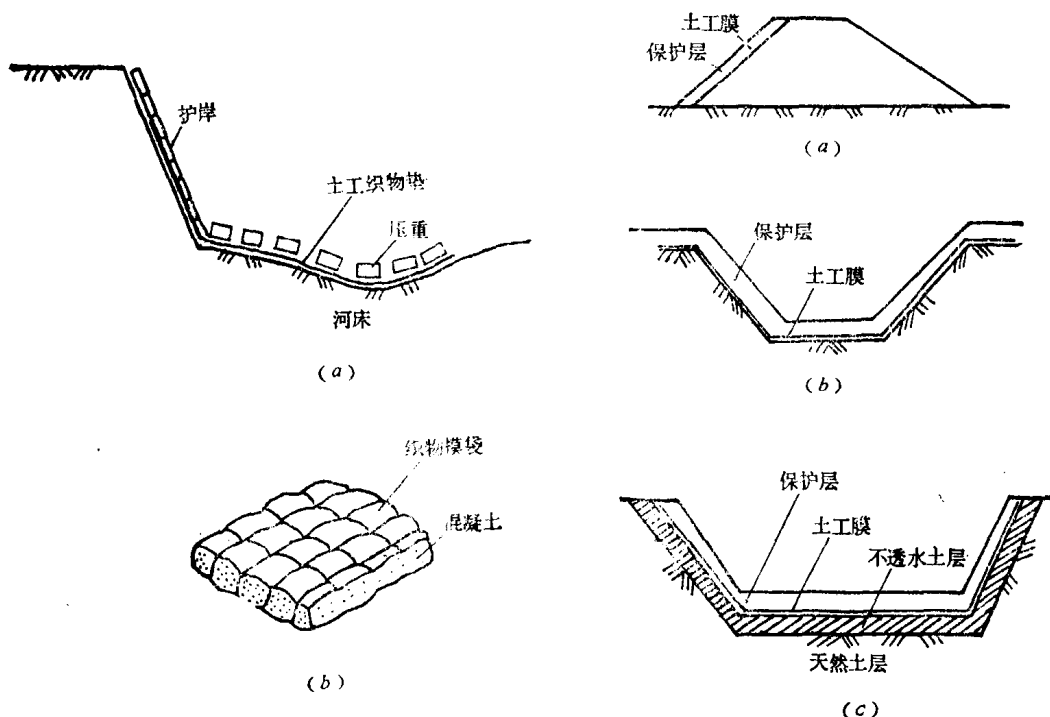


图 1-5 土工织物防护作用的应用

图 1-6 土工膜防渗作用的应用

作用得到充分的利用。由于泡沫塑料质量特轻，用以代替土料则可大幅度地减少荷载强度，见图1-7(a)；利用泡沫塑料能产生大变形的特点，可以减轻地下建筑物承受的填土压力，见图1-7(b)；也可以利用泡沫塑料具有一定的强度，因而能自立的特点也可以大大减少侧向压力，见图1-7(c)。

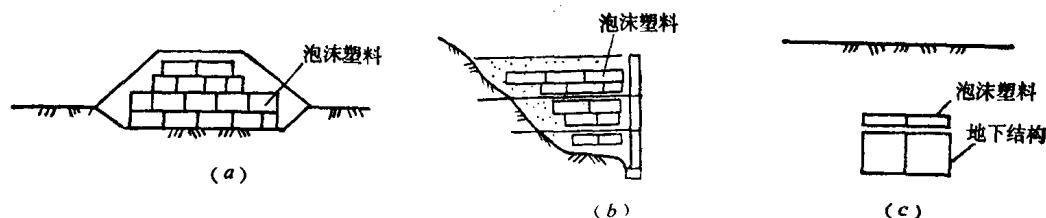


图 1-7 土工塑料减压作用的应用

### 七、隔热作用

土工合成物是很好的隔热材料，在遭受冰冻损害的地方都可以应用土工合成材料，例如在道路，渠道等工程中。

以上各种作用是为了叙述之便分别地加以介绍，实际上土工合成物使用时往往同时起到多种作用，其效应为多种作用的综合反映，但其中必定有一种或两种作用在该特定场合下起主要作用。在应用土工合成物时要掌握这个辩证关系。

## 第二节 土工合成材料应用的发展

土工合成材料的原材料为聚合物，所以土工合成材料的应用只在聚合物的生产商品化以后才有可能。在1868年制成最早的人造塑料赛璐珞；而真正用低分子通过化学反应合成的第一种塑料，酚醛树脂，是在1910年。1889年在巴黎的国际博览会上出现世界第一种人造丝，但一直到1939年在美国发现了尼龙并很快就投入了工业化生产，才产生第一种大规模生产的合成纤维。随着石油化学工业的发展，人工合成物近30~40年来在品种和产量方面得到了蓬勃的发展，并促成和推动了土工合成材料的应用。

土工织物首先应用在荷兰的堵口工程。1953年荷兰西南部受大风和海潮的影响泛滥成灾，损失严重。在修复治理工作中包括一些大规模的堵口工程（节制闸型式）。为了保护滩地不受水流冲刷的危害，在1957年首次采用人工编织的土工织物垫层，同时也采用尼龙袋充填砂土作为压重。1958年美国在佛罗里达州大西洋海岸的护岸工程中首先采用纺织物代替传统的砂砾石滤层。1968年法国首先生产无纺（非织造）土工织物，并在1970年首次用于法国的坝工建设中，以无纺织物包裹着坝下游的集水管中的粗粒材料起到一个渗滤作用。在1971年出现首次以土工织物的片状排水体，铺设在堤坝的底部起加筋作用以及用土工织物的加筋挡墙的实例。在1972年在临时性道路建筑中首次采用土工织物隔离地基土与粗粒填料。

薄膜防渗在30年代就有应用到游泳池的防漏措施之中。到50年代美国、苏联、印度等国家开始在渠道表层采用土工膜的防渗措施。1963年荷兰采用聚乙烯土工膜作为一个占地50公顷的小型水库的防渗措施。

泡沫塑料在60年代就有在路工中作为隔热材料的应用实例。但直到1972年才首次用泡

塑料的质轻的特点在路工中起到一个减荷作用。

以上这些首创性的土工合成材料成功的应用，配合生产上的发展和技术上的改进极大地推动了土工合成材料的全面的日益扩大的应用。

我国在土工合成材料的应用上起步较晚。与一些欧美国家相比大约相差十多年，在用量上则相差较大，因有些应用项目仍然处在试验阶段。

我国最早使用的土工合成物是土工膜，在60年代初期就进行渠道防渗的生产性试验，例如北京市东北旺农场南干渠使用聚氯乙烯土工膜衬砌渠道的试验段，至今20多年的运行，仍然保持良好的防渗作用。有纺织物首次应用的成功实例是在1974年江苏省江都县嘶马长江护岸工程。该工程采用聚丙烯编织布，聚氯乙烯绳网和混凝土块组成整体沉排，防止河床冲刷，效果是良好的。无纺布作为隔离材料，1981年在铁路部门首先应用于防治“翻浆冒泥”现象。无纺布作为反滤材料，1984年首次成功地应用于云南麦子河工程大坝上。在1983年铁路部门在广茂铁路路基中第一次采用了土工织物铺设在软土地基表面，增加了路堤的稳定性。

受到第一次成功应用的影响和吸引，土工合成材料的应用得到了逐步推广，近年来在国内外更日新月异迅猛发展着。根据国际工业织物协会（IFAI）的统计，北美市场（约占世界上土工织物用量的一半）的土工织物用量近几年来平均以每年增加10%的速率增加，预期1991年可以达到3亿6千8百万平方码（约为3.08亿 $m^2$ ）。表1-1中给出北美市场到1989年土工织物在各种工程应用的实际用量。

表 1-1 土工织物用量 (单位: 百万平方码)

应 用	1986 (年)	1987 (年)	1988 (年)	1989 (年)
沥青衬层	79	90	101	108
隔离与加固	70	78	88	96
排 水	35	37	41	42
衬 砌	15	17	19	24
防 冲	13	14	16	17
反 滤	12	14	16	17
加 筋	11	14	16	18
合 计	235	264	297	324

从表中可以看出用于道路工程中的沥青衬层的用量稳定在总用量的34%，居首位。我国目前应用于渗滤排水作用的土工织物用量居各项应用用量的首位。土工织物常分为有纺织物和无纺织物两大类。在国际上无纺织物用量约占2/3强，而有纺织物用量约占25%，其它产品只占较小的百分数。土工膜的运用和土工织物的应用一样，近几年来也获得蓬勃的发展，其用量在国际上一直以平均略高于10%的比例增加。

土工合成材料的应用的发展需要靠以下的一些有利的条件。

- (1) 成功的实例。工程技术人员是唯物的，只乐于接受成功了现实。
- (2) 有组织的推广和宣传。组成有权威的学术团体，科技协会，召开各种经验交流

会议以及出版专门性刊物等都是有效的手段。1977年在巴黎召开了第一届国际土工织物会议。1983年成立国际土工织物学会。到1990年已召开了第四届国际土工织物，土工膜及相关产品会议。我国于1984年成立了“土工织物科技情报协作网”(现改名为“土工合成材料技术协作网”)，先后在1986年和1989年召开了两次全国的土工合成材料的学术交流大会。近10年国外已有一些专门有关土工合成材料的科技刊物和专著，我国《土工合成材料技术协作网》也编印了协作网的通讯，而且近年来也在国内发行了一些专著，这些都对土工合成材料的知识的普及和推广应用起到了极大的推动作用。

(3) 科技的进步。其中包括制造技术的改进，生产更适合土工要求的价格合适的专门产品；测试方法的发展，能更好地测定实际的土工合成物使用时的性能；发展设计计算理论，对土工合成物的应用机理有更深入的了解。集这些大成又是成熟的规范的制定，产品的生产，性能，测试方法以及设计方法都规范化。

(4) 在有关的工程技术人员中普及土工合成材料的使用知识。变陌生为熟悉。其中很重要的一条是在高等学校中开展教育。据估计目前在美国有75%的土木工程系毕业生具有初步的应用土工合成物的知识；按照很粗略统计至少有8个国家40所大学已开设土工合成材料的专门课程。我国的高等教育中也正在努力进行同样的普及教育工作。

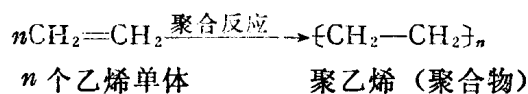
(5) 法规的建立。通过政府的立法，带强制性支持这种新型材料的应用。例如有些国家规定在废料堆储场中除了常规的隔离材料外还必须采用土工膜作为隔离措施，这样就大大地推动了土工膜的使用。我国某些地区对使用土工合成材料也采取优惠政策，同样地也促进了新材料新技术的推广使用。

### 第三节 聚合物简介

土工合成材料的原料是聚合物，为了对土工合成材料的性能有更好的掌握，必须对聚合物有一个粗略的了解。

#### 一、聚合物的基本概念

聚合物是本世纪初才开始出现，30年代才开展蓬勃发展的新兴材料，目前已和金属并驾齐驱的最重要的材料之一。它是由一种或几种低分子化合物通过化学聚合反应以共价键结合而形成的高分子化合物，其分子量一般都大于5000。可以起聚合反应的简单化合物称为单体，单体分子经聚合反应先变成高分子化合物的结构单元，然后形成聚合物。例如聚乙烯由乙烯单体聚合而成。



$n$ 为聚合物所含的重复单元的数目，它是统计上的一个平均值，因聚合物形成时每一分子的分子量不是固定的，而是有一个分布范围，因而 $n$ 只是一个平均值。聚合物的力学性能和加工性能都和聚合物的分子量的平均值和其分布有密切的关系。

聚合物与相同化学成份的低分子化合物的力学性能上有很大的不同，例如，强度大得多。这是因为分子互相之间的分子间力(即范德华力和氢键)远小于分子内原子间的化学键力，所以分子的端部和边沿是强度低的薄弱环节，分子量愈大这种薄弱环节就少，所以强度愈高；另外分子量愈大，分子之间的接触点愈多，分子间力有叠加性，因而总的分子

力也可以很大，以至于超过分子内部的化学键力。正如细粒土中土粒之间接触点增加其宏观表现的粘聚力也增大的现象一样。由于聚合物具有高强度、高弹性和可塑性等特性，使得它成为一大类优良的材料。

## 二、聚合物的命名

聚合物的命名和其它化合物命名相似，有系统命名法和通俗的普通命名法。前者很少在实际使用中采用故不予介绍。习惯上主要是根据聚合物的化学组成来命名。虽然没有成文的法则，但下列的规则是非常通用的，由一个单体聚合而得到的聚合物，其命名法是在单体名称前加一“聚”字，如聚乙烯，聚丙烯，聚氯乙烯，聚苯乙烯，等等。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。如单体是有规则地交替排列的则称为交替共聚物。

也有以聚合物的结构特征来命名的，如线形聚合物的重复单元中除碳原子外还含有其它原子时，该聚合物常以烃基之间的键接团来命名，例如聚脂，聚酰胺，聚氨脂等等。这些名称是代表一类聚合物。具体品种有其它的或商品上的名称。例如尼龙（商品名）为聚酰胺中的一大类。我国还习惯以“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）等等。

在实际应用时聚合物还采用代号（英文缩写）代表其名称。表1-2中给出土工合成材料中最常见到聚合物的代号。

表 1-2 常见聚合物的代号

名 称	英 文 名 称	代 号
氯化聚醚	<i>Chlorinated polyethylene</i>	<i>CPE</i>
聚 酰 胺	<i>Polyamide</i>	<i>PA</i>
聚 乙 烯	<i>Polyethylene</i>	<i>PE</i>
聚 脂	<i>Polyester</i>	<i>PES</i>
聚 烯 烃	<i>Polyolefin</i>	<i>PO</i>
聚 丙 烯	<i>Polypropylene</i>	<i>PP</i>
聚苯乙烯	<i>Polystyrene</i>	<i>PS</i>
聚氯乙烯	<i>Polyvinylchloride</i>	<i>PVC</i>
氯丁橡胶	<i>Chloroplene Rubber</i>	<i>CR</i>
顺丁橡胶	<i>Butyl Rubber</i>	<i>BR</i>

## 三、聚合物的分类

聚合物的品种繁多而且日益增加，因而有需要加以分类。通常是按其性能或其分子主键结构来分类

### （一）按其性能分类

聚合物可以分为塑料，纤维和橡胶三大类，此外还有涂料，胶粘剂和离子交换树脂等。

（1）塑料。在一定条件下具有流动性，可塑性，并能加工成型，当恢复平常条件（如除去压力和降温），则仍保持加工时形状的聚合物称为塑料。其中又分为热塑性塑料

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的形状的塑料，而且在一定条件下可以反复加工定型，例如聚乙烯，聚丙烯和聚氯乙烯等；热固性塑料是指加工成型的塑料在温度升高时不能软化，其形状不变的塑料，例如酚醛树脂，脲醛树脂等。

(2) 纤维。直径很小，并且具备或保持其本身长度大于直径1000倍以上而又具有一定强度的线条或丝状聚合物称为纤维。人工合成纤维是由聚合物原料（又称为树脂）经纺丝而形成的合成纤维。

重要的合成纤维品种有：聚脂纤维，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（又称为弹性体）。在外力作用下，橡胶能产生很大的应变（可以达到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。以上是从性能上的分类。就其原材料来说可以是相同的，例如聚氯乙烯可以制成为塑料产品，纤维和类似于橡胶的软制品。产生这些性能上的差别的原因是这些聚合物的分子间的作用力的差别，其中以橡胶的分子聚集力为最弱，纤维的分子间吸引力最强，而塑料则介于两者之间。

## (二) 按其键结构分类

聚合物可以分为线形聚合物，支化聚合物和网状聚合物。键结构是指高分子本身的结构，即原子在分子中的排列运动情况。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支，但分子链之间没有任何化学键连结。因此它们柔软，有弹性，分子键之间易于产生相互位移，可以热塑成各种形状的产品，为热塑性聚合物。这一类聚合物很多，如无支化的聚乙烯，定向聚丙烯，聚脂和尼龙等。

(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。这时它的性能明显地不同于高密度线形聚乙烯。短支链使得聚合物主链之间跳离增大，有利于活动，流动性较好，而支链过长则反而阻碍聚合物的流动，影响结晶，降低弹性。总的说来，支链聚合物密度较低，但穿透性能有所增加。

(3) 网状聚合物。它是指一种相互连接起来（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它分子链相连接，其形状不易改变。因而网状聚合物为热固性聚合物，如环氧树脂，酚醛树脂等等。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，它们是影响聚合物性能的直接因素，将在下一段中简介。

## 四、影响聚合物力学性能的因素

用聚合物制造土工合成材料，其力学性能是工程技术人员很关心的一个重要方面。聚合物的力学性能不仅和其化学成分有着密切关系，也受其分子量、支化、交联、结晶、取向、添加剂及其加工工艺程序等的极大的影响。相同材料的力学性能又和其试验时的条件，如温度、湿度、加荷条件、加荷速度等有关。

聚合物的力学性能和聚合物的分子链的主价键（共价键），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（如高分子链的断裂），有些材料取决于次价力（如高分子间的相对滑动），视哪一方面是薄弱环节而定。所以增加聚合物的极性或产生氢键可以使强度增高，例如，高密度聚乙烯的抗拉强度只有15~16MPa；而聚氯乙烯因有极性集团，抗拉强度为50MPa。同一品种的聚合物影响其力学性能的因素有：

#### （一）分子量

聚合物的分子量对其力学强度起着决定性的作用。当分子量小时，分子数增加，分子端点的薄弱环节增加，分子间相互作用的次价键就少，因而分子间相互作用力就较小。例如超高分子量（200~300万）的聚乙烯的冲击强度比普通的低压聚乙烯（分子量10万）的冲击强度增加一倍以上。

#### （二）结晶

结晶作用对聚合物力学性能的影响是十分显著的。一般来说，随着结晶程度的增加，聚合物的屈服应力，强度和模量等均有所提高。聚丙烯的非晶态结构含量从2%提高到6.4%，其抗拉强度从34.5MPa下降到29MPa。结晶度增加使聚合物变硬变脆是由于晶体中分子链排列紧密有序（即结晶化）程度提高，空隙小，分子间作用力增强，链段运动困难造成的。又如结晶度高的高密度（因排列较整齐）的聚乙烯的强度大于结晶度低的低密度聚乙烯，见表1-3。

表 1-3 高密度与低密度聚乙烯的性能

类 别	结晶度 (%)	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	拉 强 度 (MPa)	断裂伸长率 (%)	抗拉弹性模量 (MPa)
低密度聚乙烯	40~50	0.91~0.93	7~16	90~800	110~250
高密度聚乙烯	60~80	0.94~0.97	22~39	15~100	420~1100

#### （三）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势排列的现象。远程无序的无定形聚合物的取向即属分子取向。晶粒取向是指晶粒或某晶面朝着某个特定方向占优势排列的现象。聚合的取向是在拉伸过程中（如在纤维和薄膜生产中采用的）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的最为突出的影响是，使材料在取向方向的强度大为增加，但同时断裂伸长却降低很多，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。所以对合成纤维可以采用单轴取向，只提高拉伸方向的强度；对薄膜即需双向拉伸，减少各向异性的程度。表1-4中给出薄膜取向前后的拉伸强度。取向是一个趋向排列整齐的过程，而热运动则刚好相反是要排列无序，称为解取向。所以在聚合物经过拉伸处理取得了高强度后再来一个热处理（又称热定型）工序，适当地解决取向问题，达到既增加强度又增加弹性的目的。

#### （四）添加剂

在聚合物的生产和使用时常需在原材料中掺入一定数量的其它原料，称为添加剂。就象铁原料中掺入少量的各种原料形成各种性能良好的合金一样。各种添加剂对聚合物的性

能有很大的改善。例如聚氯乙烯有许多优越的性能，但它的流动性较差，加入增塑剂较易于加工。又如橡胶虽有弹性，但强度较差，需要掺加增强剂（碳黑等），以提高其强度。无定形硅橡胶在增强后，其强度可以增加40倍。热塑料的增强，可以采用合成纤维，玻璃纤维等作为增强剂，其静态强度可以提高2~3倍。为了改善聚合物抗老化的性能常需在聚合物添加一定数量的稳定剂。例如在聚乙烯中添加2%的碳黑（早期常用的稳定剂），可以使抗老化能力增加30倍。

表 1-4 聚苯乙烯薄膜的抗拉强度

处 理 方 法	抗拉强度(MPa)
未 拉 伸	3.5~6
单轴拉伸	10.6~12.7
双轴拉伸	6.3~8.5

于加工。又如橡胶虽有弹性，但强度较差，需要掺加增强剂（碳黑等），以提高其强度。无定形硅橡胶在增强后，其强度可以增加40倍。热塑料的增强，可以采用合成纤维，玻璃纤维等作为增强剂，其静态强度可以提高2~3倍。为了改善聚合物抗老化的性能常需在聚合物添加一定数量的稳定剂。例如在聚乙烯中添加2%的碳黑（早期常用的稳定剂），可以使抗老化能力增加30倍。

聚乙烯中添加2%的碳黑（早期常用的稳定剂），可以使抗老化能力增加30倍。

#### (五) 加工方式

聚合物的性能不仅和其原材料的性能有关，同时也和生产过程及其工艺有着密切的关系。例如薄膜是否在生产过程中经过拉伸定向，对它的性能影响极大。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，两者的性能就有很大的差别。



## 第二章 土工织物的结构、性质和试验

### 第一节 概 述

土工织物 (Geotextile) 是土工合成材料的一种主要产品形式, 它是用合成纤维经纺织工业的生产方式制造的。其中经过传统的机织方式形成的产品称为纺织物, 又称为有纺织物 (Woven Fabrics), 而把纤维网用机械加固或粘合的方法 (不经纺织机械加工) 形成的产品称为非织造布, 又称为无纺织物 (Nonwoven Fabrics)。土工织物及其它土工合成材料产品的生产过程参见图2-1。它们是由聚合材料的晶粒经过熔化、喷丝、压延形成不同形状的产品, 如丝、片和薄膜, 再经过一定的加工工艺制成的具有不同用途的合成材料产品。一般情况, 土工织物都是透水性材料。

从图2-1可见土工织物是由丝、纱和条带制成的, 它们的基本结构是合成纤维, 因此, 合成纤维的形状和聚合物的品种对土工织物的特性有一定的影响。在研究土工织物的性质和试验方法之前, 首先要了解合成纤维的性质和织物的结构及生产方式。

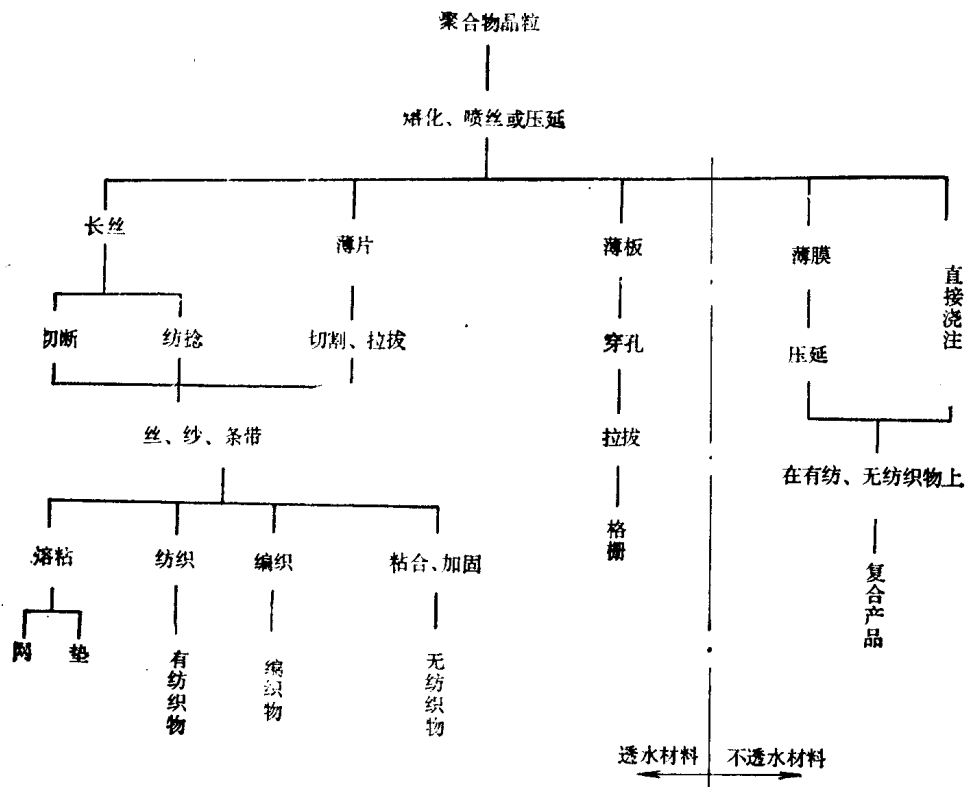


图 2-1 土工合成材料产品示意图