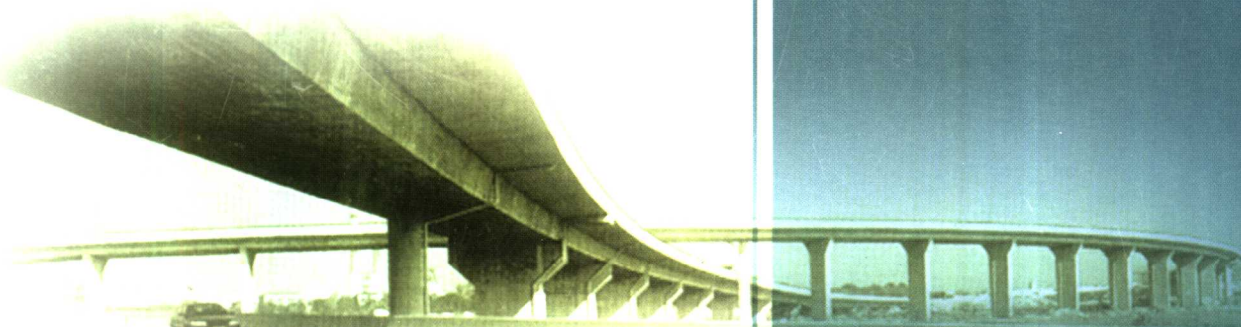




高等学校教材

公路土工合成材料 应用原理

黄晓明
朱 湘 编著



人民交通出版社
China Communications Press

Gonglu Tugong Hecheng Cailiao Yingyong Yuanli

公路土工合成材料应用原理

黄晓明 朱 湘 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分十章,其主要内容分别为:绪论,土工合成材料的性质和相关产品,加筋原理和设计参数,加筋路堤,加筋路堤有限元分析方法,施工平台和施工便道设计,加筋路堤设计示例,加筋沥青路面分析,过滤与排水及路基防护。

本书可作为高等学校土木工程领域公路工程、城市道路工程、机场工程等专业的教材,也可供从事该领域的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路土工合成材料应用原理 / 黄晓明, 朱湘编著.

北京: 人民交通出版社, 2001. 9

ISBN 7-114-04090-3

I. 公... II. ①黄... ②朱... III. 道路工程-建筑
材料: 合成材料-理论 IV. U414.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 071837 号

高等学校教材

公路土工合成材料应用原理

黄晓明 朱 湘 编著

正文设计: 孙立宁 责任校对: 戴瑞萍 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

北京凯通印刷厂印刷

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 14 字数: 345 千

2001 年 11 月 第 1 版

2001 年 11 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001~4000 册 定价: 22.00 元

ISBN 7-114-04090-3

U·02989

前 言

土工合成材料是一种新型的岩土工程材料。它以人工合成的聚合物，如塑料、化纤、合成橡胶等为原料，制成各种类型的产品，置于土体内部、表面或各层土体之间，发挥加强或保护土体的作用。近 20 年以来，土工合成材料在土木建筑工程中得到了广泛的应用，特别是在道路和水利工程中应用极为广泛。

《公路土工合成材料应用技术规范》(JTJ/T 019—98)、《公路土工合成材料试验规程》(JTJ/T 060—98) 为土工合成材料在公路工程中的应用提供了依据。为了进一步阐述土工合成材料的理论依据，本书在土工合成材料的性质和相关产品、加筋原理和设计参数、加筋路堤、加筋路堤有限元分析方法、施工平台和施工便道设计、加筋沥青路面分析、过滤与排水、路基防护等方面对土工合成材料的应用原理进行了深入的分析，同时提供一定数量的应用实例，为土工合成材料的教学和工程应用提供了翔实的参考资料。

本书第一章、第二章、第三章、第六章、第九章、第十章由黄晓明编写，第八章由张晓冰和黄晓明编写，第四章、第五章、第七章由朱湘编写。全书由黄晓明负责统稿。

由于水平有限，编写时间比较匆忙，书中错误在所难免。尚希读者多加指正，意见请直接寄编者，东南大学交通学院 (210096)。

编者

2001 年 8 月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 土工合成材料的发展	1
§ 1.2 土工合成材料分类和主要产品	3
§ 1.3 土工合成材料的工程应用	5
第二章 土工合成材料的性质和相关产品	7
§ 2.1 高聚物的性质	7
§ 2.2 土工膜	16
§ 2.3 土工格栅	19
§ 2.4 土工模袋	24
§ 2.5 土工网、土工垫和土工格室	27
§ 2.6 复合型土工合成材料	29
第三章 加筋原理和设计参数	31
§ 3.1 加筋原理	31
§ 3.2 土工合成材料的试验方法	37
§ 3.3 加筋土的设计参数	55
第四章 加筋路堤	59
§ 4.1 设计状态	59
§ 4.2 软土地基上路堤的加筋机理	62
§ 4.3 施工速度与排水	72
§ 4.4 塑性分析法	74
§ 4.5 极限平衡分析法	76
§ 4.6 设计参数	82
§ 4.7 设计实例	86
§ 4.8 加筋路堤圆弧滑动稳定性验算公式的改进	90
第五章 加筋路堤有限元分析方法	96
§ 5.1 概述	96
§ 5.2 有限元方法	97
§ 5.3 有限元计算结果分析	113
第六章 施工平台和施工便道设计	128
§ 6.1 加固机理	128
§ 6.2 施工平台的分析	129
§ 6.3 施工平台设计	133
§ 6.4 施工平台设计实例	134
§ 6.5 施工便道的静态分析	137

§ 6.6	考虑交通影响的分析方法	144
§ 6.7	施工便道设计步骤	146
第七章	加筋路堤设计示例	148
§ 7.1	设计方法与设计要求	148
§ 7.2	施工要点	153
第八章	加筋沥青路面分析	155
§ 8.1	概述	155
§ 8.2	加筋沥青路面线性粘弹性有限元分析	156
§ 8.3	荷载断裂应力与应力强度因子分析	163
第九章	过滤与排水	170
§ 9.1	概述	170
§ 9.2	过滤机理与设计	172
§ 9.3	排水机理与设计	182
§ 9.4	路基路面排水设计	193
第十章	路基防护	202
§ 10.1	坡面防护	202
§ 10.2	冲刷防护	205
参考文献		211

第一章 绪 论

土工合成材料是一种新型的岩土工程材料。它以人工合成的聚合物，如塑料、化纤、合成橡胶等为原料，制成各种类型的产品，置于土体内部、表面或各层土体之间，以发挥加强或保护土体的作用。土工合成材料可分为土工织物、土工膜、特种土工合成材料和复合型土工合成材料等类型，目前已广泛应用于水利、水电、公路、铁路、建筑、海港、采矿、军工等各个工程领域。

§ 1.1 土工合成材料的发展

一、远古时代的加筋结构

在我国，用加筋材料来加强土工结构物，并不是现代才出现的。远在新石器时期，我们的祖先就利用茅草作为土的加筋材料。在陕西半坡村发现的仰韶遗址，有很多简单房屋，利用草泥修筑墙壁和屋顶，距今约有五六千年。《汉书》记载长城的修筑方法：“非皆以土垣也，或因山岩石，木材僵落，溪谷水门，稍稍平之”。在玉门关一带，仍有用砂、砾石和红柳或芦苇压叠而成的汉长城遗址。这种土中加筋的建筑方法，在我国一直延续到今天。在水利工程中，利用天然植物的历史也很悠久。《慎子》* 一书中曾载：“治水者茨防决塞”。比较可靠的记载，见于《史记》和《汉书》。汉武帝光元年间（约公元前 130 年），黄河在今河南濮阳县的瓠子口决口，历时 20 余年未能堵闭。到公元前 110 年到 100 年间，汉武帝“自临决口……令群臣自将军以下，皆负薪填决河，……下淇园之竹以为楗”，终于把决口堵闭。汉武帝作“瓠子之歌”，并建“宣防宫”于其上。到汉成帝建始四年（公元前 29 年），黄河在馆陶及东郡金堤决口，“以竹落长四丈，大九围，盛以小石，两船夹载而下之，三十六日河堤成”，此时堵口技术就比较成熟了。以后逐代改进，利用梢料、柳枝、秸料、竹苇、结合绳和木桩等杂料，“以土压之，杂以碎石”，形成我国特有的“埽工”。

在国外，远在公元前 2000 至 1000 年以前，英国人曾在沼泽地带用木排修筑道路；公元前 2000 年至 1000 年，巴比伦人曾利用土中加筋修筑庙塔。

二、近代加筋结构的发展

1. 国外发展

到 20 世纪 30 年代，美国首次利用棉织品加固路基土。在第二次世界大战中，英国曾在路基上铺放梢棍和帆布，以便装甲车通过。在水利工程上，荷兰曾与海洋进行了长期的斗争，大量利用柳枝、梢料加固堤坝，防止冲刷。

随着高分子化学工业的迅速发展，不断开发生产合成纤维新型材料，并将其逐渐应用于

* 《慎子》：为战国时慎到所著，约在公元前 300 年。

岩土工程之中。

世界上一些国家将合成纤维材料真正应用于岩土工程中，是从 20 世纪 50 年代末开始的。

1957 年荷兰首先用尼龙纤维有纺织物制成充砂管袋，应用于护岸防冲和堵口工程。

1958 年美国佛罗里达州大西洋海岸防护工程中，利用聚氯乙烯有纺织物置于土与块石之间，作为海岸防冲刷措施。经过 27 年后观察，其状态仍然良好。

1958 年前联邦德国采用合成纤维制成有纺织物砂袋，修筑防波堤。

1959 年日本伊势湾海岸，因台风使海堤和围堤遭到灾难性破坏。在海岸修复工程中，利用有纺织物砂袋和合成材料片成功地修建了堤防。在修复围堤沉排工程时，采用维尼纶编织布代替沉排。5 年后检查，未发现腐蚀现象，强度几乎没有下降。

1960 年荷兰采用尼龙有纺织物充砂垫层，防止海岸淘刷。1962 年美国杜邦公司开发纺粘法长纤维无纺布，以取代短纤维无纺布，从此欧洲各国都以纺粘法生产长纤维无纺布，并用作道路、护岸等工程中的滤层和导水体。

1963 年土工织物正式应用于日本国营铁道的土建工程中。

1967 年丹麦在海岸保护工程中，采用透水或不透水砂袋，用水力充填方法充入海滩砂，形成充砂长管袋，保护海岸。

1968 年法国将针刺无纺布应用于道路工程，英国将热粘无纺布应用于道路工程。前联邦德国将短纤维制成的针刺无纺布用于渠道岸边防护工程。

总之，从 50 年代后期开始至 60 年代期间，有纺土工织物和无纺土工织物在岩土工程，特别是水利工程中得到广泛的应用。

60 年代中期，英国的 ICI 公司，法国的罗纳普朗克公司，生产的无纺布成功地在土木工程中做反滤、隔离材料，推动了土工织物的应用。60 年代后期，土工织物在品种和质量方面都得到进一步的发展。

70 年代由于纺粘法无纺布的大量生产，使土工织物的应用有了新的发展。应用范围也越来越广泛，在水利、公路、铁路、海港、建筑、国防等各项工程中均得到应用。

2. 国内发展

土工织物在中国岩土工程中的应用始于 20 世纪 70 年代末期，与世界先进国家相比，落后十几年。开始主要是采用聚丙烯编织布，主要应用于水利工程中，进行护岸或软体沉排护底。80 年代开始从国外引进了许多生产设备和技术资料，推动了我国土工织物的生产与应用。1981 年铁路部门采用美国、英国的无纺织物，首先用于路基垫层，解决路基翻浆冒泥问题。1983 年江苏省引进日本化纤模袋，用于航道护坡工程。河北省采用法国罗纳普朗克公司生产的针刺无纺布，用于水库反滤层。

80 年代中后期是我国土工织物生产、应用发展最为迅速的阶段，产品的品种、数量、质量方面有很大的发展，其应用的数量、范围、技术水平等方面发展也很快。

90 年代以来，由于土工织物所具有的功能和特性以及在工程中实际应用效果，引起全国各行各业的极大兴趣。尤其是在水利水电建设部门，如：三峡水电工程、福建水口水电工程、秦山核电站、长江口整治工程、治黄工程、治淮工程、京杭大运河、上海陈行水库等等，应用范围广，应用量大。随着理论研究的深入，测试技术、设计水平、施工方法的不断提高，土工织物开始在一些大型工程、重点工程中得以应用，并获得较好的经济效益和社会效益。

§ 1.2 土工合成材料分类和主要产品

一、分类

土工合成材料的种类繁多, 早期曾将其分成土工织物 (Geotextile) 和土工膜 (Geomembrane) 两类 (1977 年, J. P. Giroud 和 J. Perfetti), 分别代表透水和不透水合成材料, 这两个名称使用了很多年。近十年来大量的以合成聚合物为原料的其他类型的土工合成材料纷纷问世, 复合材料、特种材料产品大量涌现, 已经超出了“织物”和“膜”的范畴。1983 年 J. E. Fluet 建议使用“土工合成材料”(Geosynthetics) 一词来概括各种类型的材料。“Geosynthetics”是由两个英文单词“Geotechnique”和“Synthetics”组合而来, 这一名称已经为多数工程师所接受。当今, 比较一致的看法是把土工合成材料分成四大类 (见图 1-1), 即土工织物、土工膜、特种土工合成材料和复合型土工合成材料。

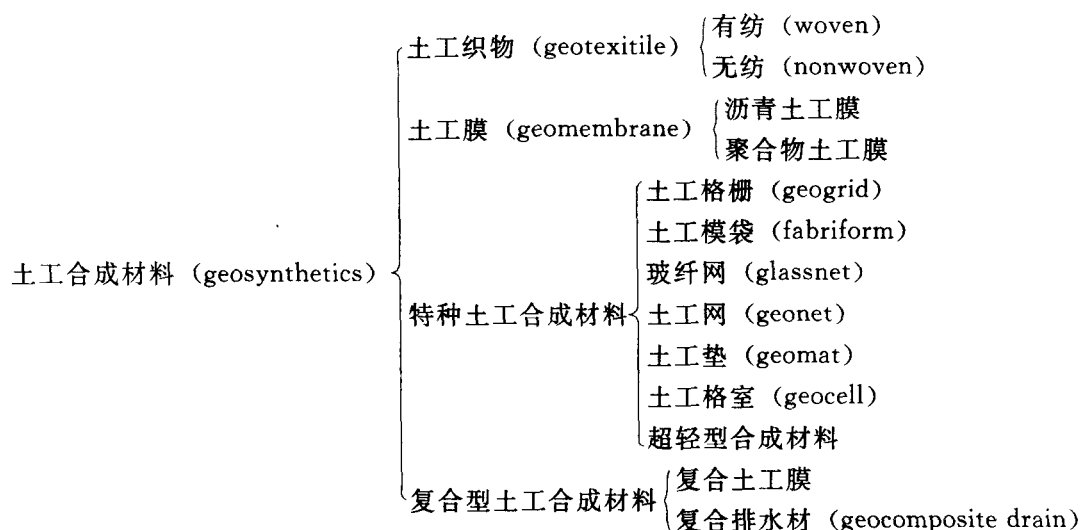


图 1-1 土工合成材料分类

土工织物为透水性的土工合成材料, 按制造方法可分为有纺 (woven) 和无纺 (nonwoven) 两种。土工织物突出的优点是: 质量轻、整体连续性好 (可做成较大面积的整体); 施工方便, 抗拉强度高, 耐腐蚀性和抗微生物侵蚀性好; 有纺型的当量孔隙直径小, 渗透性好, 质地柔软, 能与土很好地结合。缺点是抗紫外线能力差, 如暴露到紫外线 (阳光) 中容易老化。土工织物的性能与其聚合物原料、土工织物的类型及加工制造方法密切相关。

土工膜一般分为沥青和聚合物两大类。为了适应工程应用中不同强度和变形的需要, 两类中各又有加筋、不加筋 (单一或混合材料) 和组合的类型。土工膜有很好的不透水性、很好的弹性和适应变形的能力, 防渗和防水性能突出。

土工格栅是经过拉伸形成的具有方形格栅的聚合物板材 (见图 1-2), 常用作加筋土结构的筋材或土工复合材料的筋材等。在制作过程中经过定向拉伸, 使聚合物分子沿拉伸方向排列, 加强了分子链间的联结力, 大大提高了格栅的强度。土工格栅埋入土中的抗拔力由于格栅与土体之间的摩擦咬合力较强而显著增大, 并且具有很好的耐酸、耐碱、耐腐蚀、抗老化

等特点，已普遍应用于欧美及日本。

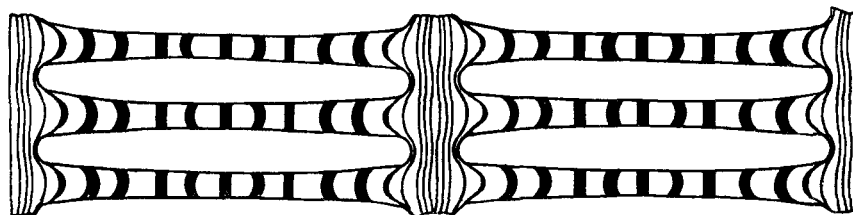


图 1-2 土工格栅示意图

土工网是合成材料条带、粗股条编织或合成树脂压制的具有较大孔眼、刚度较大的平面结构或三维结构的网状土工合成材料，多用于加固软基垫层，坡面防护，植草以及制造组合土工材料（如复合排水材）的基材。土工网特性随网孔形状、大小、厚度以及制造方法的不同，性能差异很大。

土工垫和土工格室都是合成材料制成的三维结构。土工垫为长丝结合而成的三维透水聚合物网垫，而土工格室是由土工织物、土工格栅或土工膜、条带聚合物构成的蜂窝状或网状三维结构，常用于防冲蚀和保土工程及地基加筋垫层或支挡结构中。

土工模袋是一种双层聚合化纤织物制成的连续（或单独的）袋状材料，它可以代替模板。用高压泵把混凝土或砂浆灌入模袋之中，最后形成板状或其他形状结构，用于护坡或其他地基处理工程。

复合土工膜主要用来防渗，土工织物起加筋、排水和增加土工膜与土面之间摩擦力的作用。复合土工膜是由土工膜和另外一种或多种土工合成材料组合而成的，因而组合后仍保持组合材料各自的特性。

土工复合排水材料是以无纺土工织物和土工网、土工膜或不同形状的合成材料芯材组成的排水材料，其种类较多，可用于软土地基、路基纵向横向排水、建筑地下排水管道、集水井、支挡建筑的墙后排水、隧道排水、堤坝排水设施等。

泡沫塑料是近年来发展起来的超轻型土工合成材料。泡沫聚苯乙烯又称膨胀性聚苯乙烯（Expanded Polystyrene：EPS），它以聚苯乙烯聚合物为原料加入发泡剂而成，可得到 30~60 倍体积的成型品。EPS 具有质量轻（为混凝土的 1/50~1/100，容重为 0.2~0.4kN/m³）、耐热、抗压性能好、吸水率低、自立性好等优点，常用作铁路、公路路基的填料。

此外，土工合成材料还可以作为土体的掺和料，改良土的性质。如砂土中掺入合成纤维，形成纤维土（Texsoil）等，以增加土体的内聚力，达到改良土体的目的。随着现代技术的不断进步，以及人们对土工合成材料研究的不断深入，相信新型土工合成材料会不断出现。

二、土工合成材料的原材料

一般用作土工合成材料的聚合物有：聚乙烯（Polyethylene：PE）、聚丙烯（Polypropylene：PP）、聚酯（Polyester：PET）、聚酰胺（Polyamide：PA）、聚乙烯醇（polyvinylalcohol：PVA）、聚氯乙烯（Polyvinylchloride：PVC）、聚丙烯腈（Polyacrylonitrile：PAN）、聚烯烃（Polyolefin：PO）、聚四氟乙烯（Polytetrafluoroethylene：PTFE）、聚氨基甲酸酯（Polyurethane：PUR）、腈（Nitrile）及腈橡胶（Nitrile rubber）、氯醇橡胶（Chlorophdrin

rubber)、氯丁橡胶 (Neprene)、丁基橡胶 (Butyl rubber)、聚苯乙烯 (PolyStyrene: PS)。虽然生产土工合成材料的原料是相同的,但由于聚合物分子量、结晶作用、添加剂及加工方式的差异,使土工合成材料产品在外观及力学性质等方面存在着很大差别。

§ 1.3 土工合成材料的工程应用

土工合成材料所以能在各项工程中得以广泛的应用,主要是由土工合成材料本身的功能所决定的。根据土工合成材料的特性和分类,其主要功能有:过滤作用、排水作用、隔离作用、加筋作用、保护作用。在实际工程中应用时,往往是一种功能起主导作用,而其他功能也相应地不同程度地在起作用。另外常将有纺织物涂膜或无纺织物与塑料薄膜复合而制成复合土工膜,用于工程防渗。因此土工合成材料总体有六大基本功能,现分述如下:

1. 过滤作用

滤层材料必须具备两个条件:一是必须有良好的透水性能,当水流通过滤层后,水的流量不减少;二是必须有较多的孔隙,其孔径又比较小,以阻止土体内土颗粒的大量流失,防止产生土体破坏现象。

土工合成材料完全具备上述两个条件,不仅有良好的透水、透气性能,而且有较小的孔径,孔径又可根据土的颗粒情况在制作时加以调整,使颗粒不被水流带走,起到了过滤作用。

过滤作用是土工合成材料的主要功能,被广泛地应用于水利、铁路、公路、建筑等各项工程中。在砂石料紧缺的地区,用土工合成材料做反滤层,更显示出它的优越性。

有纺织物与无纺织物均可作滤层材料,而无纺织物,特别是针刺无纺织物过滤效果较好,虽然强度不如有纺织物高,一般对强度要求不是很高的情况下,大部分均是选用无纺织物作滤层。

2. 排水作用

无纺织物是良好的透水材料,无论是织物的法向或水平向,均具有较好的排水能力,能将土体内的水积聚到织物内部,形成排水通道,排出土体。土工合成材料现已广泛应用于土坝、路基、挡土墙以及软土地基的排水固结等方面。

3. 隔离作用

将土工合成材料放在两种不同的材料之间或不同粒径的同一材料之间以及土体表面与上部建筑结构之间,使其隔离开来。当受外部荷载作用时,虽然材料受力互相挤压,而由于土工合成材料在中间隔开,不使互相混杂或流失,保持材料的整体结构和功能(图 1-3)。隔离用的土工合成材料必须有较高的强度,以承受外部荷载作用时产生的应力,保证结构的整体性。土工合成材料作为隔离材料已广泛应用于铁路、公路路基、土石坝工程、软弱地基处理以及河道整治工程。

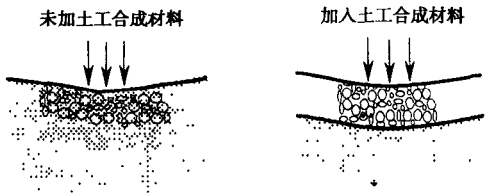


图 1-3 土工合成材料的隔离作用

4. 加筋作用

土工合成材料可作为软弱地基的加固补强材料。由于土工合成材料具有较高的抗拉强度,将其埋置在土体之中,可增强地基的承载力,同时可改善土体的整体受力条件,提高整体强

度和建筑结构的稳定性，较多地应用于软弱地基处理、陡坡、挡土墙等边坡稳定方面（图 1-4）。

5. 防护作用

土工合成材料可以将比较集中的应力扩散开，也可将应力由一种物体传递到另一物体，使应力分解，防止土体受外力作用破坏，起到防护作用，主要应用于河道整治、护岸、护底工程，以及海岸防潮、道路坡面防护等工程方面。

防护分两种情况：一是表面防护，即是将土工合成材料放置于土体表面，保护土体不受外力影响而破坏；二是内部接触面保护，即是将土工合成材料置于两种材料之间，当一种材料受集中应力作用时，而不使另一种材料破坏。

6. 防渗作用

将土工合成材料表面涂一层树脂或橡胶等防水材料，或将土工合成材料与塑料薄膜复合在一起形成不透水的防水材料即土工膜。

土工膜以薄型无纺布与薄膜复合较多，按工程需要可制成一布一膜、二布一膜或三布二膜等，所选用的无纺布与薄膜厚度也可按需要而定，也可选用较厚的无纺布与薄膜复合。其中薄膜起防水、防渗作用，而无纺布则起导水作用，一举两得。

目前土工膜已广泛应用于水利工程的堤、坝、水库中起防渗作用，以代替粘土心墙、防渗斜墙等。同时也应用于渠道、蓄水池、污水池、游泳池、房屋建筑、地下建筑物、环境工程等方面，作为防渗、防漏、防潮材料。

必须指出，上述土工合成材料的六个功能并不是绝对独立的，有时一种土工合成材料应用于某一项工程中，同时具备上述的几种功能，有的是主要的，有的是次要的。例如在公路路堤底部的碎石层和软土地基之间放置土工合成材料，就同时具有“加筋”、“隔离”、“过滤”和“排水”的作用，其中“加筋”和“隔离”作用是主要的，其他则次之。

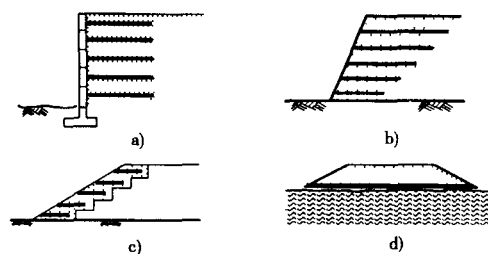


图 1 4 土工合成材料加筋

a) 加筋挡土墙；b) 加筋陡坡；

c) 边坡修补；d) 软土地基上的路堤

第二章 土工合成材料的性质和相关产品

§ 2.1 高聚物的性质

合成是将简单的物质（元素或化合物）制成较复杂的物质的方法。用合成方法制得的材料称为合成材料，主要包括合成纤维、合成橡胶、合成树脂和塑料等高分子物质。

煤、石油、天然气、石灰石以及一些农副产品如棉籽壳、玉米芯、蓖麻油为制造合成材料的原始原料，它们经过加工，提炼出可供化学合成的有机物质如苯、苯酚、甲苯、二甲苯、乙烯、丙烯、糠醛、乙炔等，最后经聚合作用成为各种高分子化合物（高聚物）。高分子化合物是制造合成材料的基础原料。

高聚物按国际理论化学和应用化学协会（IUPAC）的定义是组成单元相互多次重复连接而构成的物质。通常认为聚合物材料包括塑料、橡胶和纤维三类。实际上，随着高分子合成材料、复合材料、互穿聚合物网络、功能高分子材料等的不断涌现，各类高聚物材料的概念重叠交叉，它们之间并无严格的界限。

（1）高聚物的特征和基本概念

高聚物在结构和性能上都有其与低分子化合物不同的特征，现择其最主要几点简单分述如下：

①具有巨大的分子量 高聚物是由数目很大（一般为 $10^3 \sim 10^7$ ）的重复结构单元以共价键的形式连接而成的聚合物，所以具有大分子量是其首要特征。以最简单的聚乙烯为例，其分子量为 $6 \times 10^4 \sim 80 \times 10^4$ ，超高分子量聚乙烯可达 $200 \times 10^4 \sim 300 \times 10^4$ 。高聚物的性能主要取决于其分子量及分子量分布。

②复杂的链结构 高聚物按其大分子链的几何形状，可分为线型、支链型 交联网状体型等。如纤维多呈线型结构物，硫化橡胶和酚醛树脂等呈网状体型结构。

③晶态与非晶态的共存 高聚物可以呈晶态和非晶态结构，但是多为晶态与非晶态共存。故同一种高聚物既有固态性质（有固定的形状和体积），又有液态性质（加热可以流动）。

④同一种高聚物可加工为不同性质的材料 同一种高聚物根据使用要求不同，可以加工为性质完全不同的材料。例如聚氨酯树脂可以加工为聚氨酯弹性纤维，又可加工为聚氨酯橡胶，还可加工为聚氨酯泡沫塑料。

⑤高的品质系数 所谓品质系数是指极限强度与密度之比。由于高聚物的极限强度高而密度小，故其品质系数较传统材料（钢材、混凝土等）高，是一种有发展前途的新材料。

高聚物虽然分子量较大、原子数较多，但是都是由许多低分子化合物聚合而成的。例如聚乙烯（ $\cdots - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \cdots$ ）是由低分子化合物乙烯（ $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ ）聚合成的，若将 $-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$ 看作聚乙烯大分子中的一个重复结构单元，则聚乙烯可写成 $\{\text{CH}_2 - \text{CH}_2\}_n$ 。

由上而知，可以聚合成高聚物的低分子化合物称为“单体”（Monomer），如上例中的乙

烯 ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$)。组成高聚物最小的重复结构单元称为“链节”(Chain element)，如上例中的一 CH_2-CH_2- 。相应组成的大分子称为“聚合物”(Polymer)，如上例的 $\{-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\}_n$ 。聚合物中所含链节的数目 n 称为“聚合度”。聚合度很大 (103 以上) 的聚合物称为“高聚物”(High Polymer)。表 2-1，为塑料的聚合方式示意图。

塑料的主要种类及聚合方式				表 2-1
单 体		链 节 结 构		高 聚 物
乙烯 $\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} & - & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$		$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$		聚乙烯 (PE) $\left[\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right]_n$
丙烯 $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & & \\ \text{C} & - & \text{C} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ & & \text{H} \end{array}$		$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ & & \text{H} \end{array}$		聚丙烯 (PP) $\left[\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ & & \text{H} \end{array} \right]_n$
氯乙烯 $\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} & - & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{Cl} \end{array}$		$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{Cl} \end{array}$		聚氯乙烯 (PVC) $\left[\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{Cl} \end{array} \right]_n$
苯乙烯 $\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} & - & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$		$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$		聚苯乙烯 (PS) $\left[\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_n$
甲基丙烯酸甲酯 $\begin{array}{c} & & \text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{C} & - & \text{C} \\ & & \\ \text{H} & & \text{C}-\text{O} \\ & & \\ & & \text{O} \\ & & \\ & & \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ & & \\ & & \text{H} \end{array}$		$\begin{array}{c} & & \text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & & \\ \text{H} & & \text{C}-\text{O} \\ & & \\ & & \text{O} \\ & & \\ & & \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ & & \\ & & \text{H} \end{array}$		聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) $\left[\begin{array}{c} & & \text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & & \\ \text{H} & & \text{C}-\text{O} \\ & & \\ & & \text{O} \\ & & \\ & & \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ & & \\ & & \text{H} \end{array} \right]_n$

(2) 高聚物的命名和分类

高聚物的命名方法主要有四种。

习惯命名：

- ①按原料单体的名称，在其前冠以“聚”字。
- ②部分高聚物在原料后附以“树脂”二字命名。

系统命名法：

按国际理论化学与应用化学联合会命名法，是将聚合物的重复结构单元按照有机化合物系统命名法命名，最后再在前面冠以“聚”字。

系统命名法虽然比较严谨，但冗长繁琐，除正规科技文献外，少有采用。

英文缩写：

由于高聚物名称较长，读写不便，所以常用英文名称的缩写表示，例如聚乙烯用 PE、聚丙烯用 PP、氯丁橡胶用 CR、丁苯橡胶用 SBR 等等。

按高聚物材料的性能和用途可分为下列三类：

①塑料 具有可塑性的高聚物材料。可塑性是指当材料在一定温度和压力下受到外力作用时产生变形，在外力除去后仍能保持受力前的形状的特性。按其能否进行二次加工，又可分为：热塑性塑料（线型结构高聚物材料）和热固性塑料（体型结构高聚物材料）两类。

②橡胶 具有显著高弹性的高聚物材料。在外力作用下可产生较大的变形，当外力卸除后又可回复原来的形状，按其产源可分为天然橡胶和合成橡胶两类。

③纤维 是柔韧、纤细而且均匀的线状或丝状，并具有相当长度（约直径 100 倍以上）、强度和弹性的高聚物材料，纤维可分为天然纤维和化学纤维（包括人造纤维和合成纤维）两类。

一、常用的高分子聚合物（高聚物）

高聚物种类甚多，一般常用做土工合成材料基础材料或素材的有：聚乙烯/聚丙烯、聚酯、聚酰胺、聚乙烯醇、聚氯乙烯、聚丙烯腈、聚烯烃、聚四氟乙烯、聚氨基甲酸酯、腈橡胶、氯醇橡胶、氯丁橡胶、丁基橡胶、聚苯乙烯等。

1. 聚乙烯（Polyethylene 或 Polythene，缩写：PE）

聚乙烯是由乙烯聚合而成的高分子化合物，有低分子量、高分子量两种。低分子量的聚乙烯一般是无色、无臭、无味、无毒的液体，相对密度约 0.92，不溶于水，微溶于松节油、石油醚、甲苯等；高分子量的聚乙烯纯品是乳白色蜡状固体粉末，经加入稳定剂后可加工成粒状。聚乙烯具有热塑性，在常温下不溶于一般溶剂中，但在脂肪烃、芳香烃和卤代烃中长时间接触时能溶胀，在 70℃ 以上时可稍溶于甲苯、醋酸、戊酯中。聚乙烯在空气中加热或受日光影响时，发生氧化作用；能耐大多数酸碱的侵蚀，吸水性小；在低温时仍能保持柔软性。其电绝缘性高。由不同制法可得不同相对密度（0.92~0.96）和不同物理机械性能的产品。密度高的其机械强度、熔点和硬度等，都较密度低的高。可用一般热塑性塑料的成型方法加工。主要用以制造塑料制品（如薄膜），也可抽丝成纤维，以及织物的涂层。

2. 聚丙烯（Polypropylene，缩写：PP）

聚丙烯是一种热塑性树脂，由丙烯聚合而成。根据分子结构的不同，有无规聚丙烯、等规聚丙烯和间规聚丙烯三种。工业生产的等规聚丙烯是白色无臭、无味的固体；相对密度 0.90~0.91；耐热性高，使用温度范围 -30℃~140℃；韧性和耐化学腐蚀性能很好，可用作工程塑料。其抗拉强度 33.7~42.2MPa，抗弯强度 4.2~56.2MPa，冲击强度 10.7~43 N·cm/cm²，热变形温度（0.46MPa）99℃~116℃。主要用于制造塑料制品、薄膜、合成纤维。易于模塑，可与其他单体如苯乙烯共聚。与乙烯和丁二烯共聚得橡胶状聚合物，称为 EPDM 橡胶。

3. 聚酯（Polyester，缩写：PET）

聚酯是由二元或多元醇和二元或多元酸缩聚而成的高分子化合物的总称，包括聚酯树脂、聚酯纤维、聚酯橡胶等。聚酯是不饱和的，可通过氧化物催化剂使之成为交联热固性聚合物，广泛用于制作泡沫材料、薄膜、纤维和涂料，制造层压制品，模制品板材的增强塑料。

4. 聚酰胺（Polyamide，缩写 PA）

聚酰胺（又称聚酰胺树脂）是具有许多重复酰胺基团的树脂性物质的总称，主要由二元酯与二元胺，或由氨基酸经缩聚而成，通常是白色至淡肉色的不透明固体，熔点 $180^{\circ}\text{C} \sim 280^{\circ}\text{C}$ ，不溶于乙醇、丙酮、醋酸乙酯和烃类普通溶剂，但溶于酚类、硫酸、甲酸、醋酸和某些无机盐溶液。耐油脂、矿物油和水，在高温和压力下会导致水解。其吸水性较大；干燥时有一定的电绝缘性，易于聚集静电。其机械性能都很优越，且很相近。主要用于制作合成纤维、塑料、涂料和胶粘剂等。

5. 聚乙烯醇 (Polyvinyl alcohol, 缩写: PVA)

聚乙烯醇是由聚乙烯酯与醇反应得到，是水溶性粘合剂和乳化剂。

6. 聚氯乙烯 (Polyvinyl chloride, 缩写: PVC)

聚氯乙烯是氯乙烯的加聚物，具有热塑性，工业品是白色或浅黄色粉末，相对密度约为 1.4，含氯量 $56\% \sim 58\%$ 。低分子量的易溶于酮类、酯类和氯代烃类溶剂；高分子量的则难溶解。聚乙烯具有极好的耐化学耐腐蚀性，但热稳定性和耐光性较差，在 140°C 开始分解出氯化氢，在制造塑料时需加稳定剂。其电绝缘性优，不会燃烧。可用于制塑料、涂料和合成纤维等。根据所加增塑剂的多少，可制成软（质）和硬（质）塑料。前者可用于制透明薄膜；后者可用于制板材、管道等。可用悬浮法聚合，得粉状树脂；用乳液法聚合，得糊状树脂。

7. 聚丙烯腈 (Polyacrylonitrile, 缩写: PAN)

聚丙烯腈是由丙烯腈经聚合而成的高分子化合物，是白色粉末，溶于二甲基甲酰胺或硫氰酸盐等溶液，耐老化强度高，绝热性能好，主要用于制合成纤维，与丁二烯共聚可制得耐油的丁腈橡胶；与苯乙烯等共聚可制得机械强度好的塑料。

8. 聚烯烃 (Polyolefin)

聚烯烃是指不饱和直链烃在高温下催化加聚所得到的任一种高聚物，系热塑性树脂。有些用途是利用其线性结构，但有时也常需交联，例如聚乙烯。

9. 聚四氟乙烯 (Polytetrafluoroethylene, 缩写: PTFE)

聚四氟乙烯（俗称塑料王）是由四氟乙烯经聚合而成的高分子化合物，有粒状、粉状和分散液三种。其固体密度 $2.1 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$ ，成型品具有色泽洁白、半透明外观、蜡状感觉的特点，耐热性好。其最高工作温度 250°C ，最低工作温度 -269°C ，加热至 415°C 时，即缓缓分解，分散生成的气体对人有害。除熔融金属钠和液氟外，能耐其他一切化学药品，在王水中煮沸也不起变化。用聚四氟乙烯制成的工业塑料，其抗拉强度 $14.1 \sim 31.6 \text{ MPa}$ ，抗压强度 12 MPa ，冲击强度 $64 \text{ N} \cdot \text{cm/cm}^2$ ，硬度邵氏 D50 $\sim$ 65，热变形温度（ 0.46 MPa 下） 121°C 。可制成棒、管、带、薄膜等，可应用于性能要求较高的耐腐蚀的管道；也可用于抽丝。其分散液可用作各种材料的绝缘浸渍液和防腐涂层等。

10. 聚氨酯甲酸酯 (Polyurethane, 缩写: PUR)

聚氨酯甲酸酯是由二元酸与二元醇经缩聚生成的聚酯，再与二异氰酸酯缩合而成的高聚物，具有极优良的耐磨性能、高的抗拉强度、良好的耐撕裂和耐氧化等性能，以水或多元醇（如三羟甲基再烷）处理可使形成交链。其硫化胶的抗拉强度和伸长率都高；耐油性与氯丁橡胶相近；气密性与丁基橡胶相近。但耐寒性低（在 -20°C 以上），耐热性不高（在 130°C 以下），耐水和耐腐蚀性都较差。用不同的原料组分和比例，可制成橡胶、塑料、涂料等。

11. 腈 (Nitrile) 及腈橡胶 (Nitrile rubber)

腈特指含一价氰基 (CN) 的有机化合物，其母体物质是氢氰酸 (HCN)。重要的有丙烯

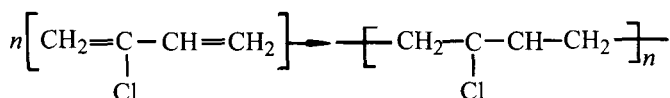
腈、乙腈、乙二腈。丙烯腈与丁二烯共聚制得合成橡胶，即腈橡胶。

12. 氯醇橡胶 (Chlorophdrin rubber)

氯醇橡胶 由环氧氯丙烷均聚或由它和环氧乙烷共聚而成的合成橡胶，溶于环己酮、吡啶、硝基苯、四氢呋喃、二甲基甲酰胺等。其性能较全面，耐热、耐臭氧、耐摩擦、耐撕裂、气密性比丁腈橡胶、氯丁橡胶好。它与纺织材料、金属和其他橡胶的粘合性也很好，可做粘合剂。

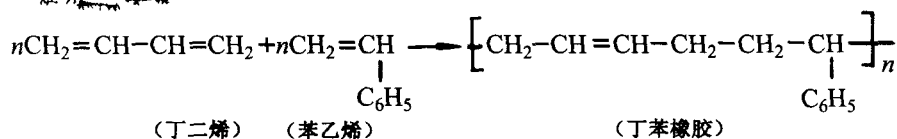
13. 氯丁橡胶 (Neoprene)

氯丁橡胶是以 2-氯-1, 3-丁二烯为主要原料通过共聚制得的一种弹性体，相对密度 1.23g/cm^3 。其玻璃化温度 $-40^\circ\text{C} \sim -50^\circ\text{C}$ ；在 $230^\circ\text{C} \sim 260^\circ\text{C}$ 分解溶于苯等；在矿物油和植物油中则稍溶胀而不溶解；在光的作用下易转变为不溶于苯而具有空间结构的聚合体，具有耐油、耐燃、耐热、耐臭氧、耐酸碱和高的抗拉强度和气密性，但贮存稳定性差（在常温下约 1 年）。常用氧化锌、氧化镁等金属氧化物作氧化剂，可制作橡胶薄膜、也可用于制造涂料胶粘剂。



14. 丁苯橡胶 (Butyl rubber)

丁苯橡胶是丁二烯与苯乙烯共聚而得的共聚物。丁苯橡胶是合成橡胶中应用最广的一种通用橡胶。按苯乙烯占总量中的比例，分为丁苯—10、丁苯—30、丁苯—50 等牌号。白色到淡灰色，无臭无味，密度 0.91g/cm^3 。其玻璃化温度 $-67^\circ\text{C} \sim -69^\circ\text{C}$ ；不溶于乙醇和丙酮；能耐动、植物油；耐氧和臭氧、耐酸和耐碱；耐寒性、气密性和绝缘性都高。其抗拉强度和延伸率也较高，而抗撕裂性和粘性较差，在常温下其弹性约为天然橡胶的 $1/4$ ，弹性随温度增高而下降。



15. 聚苯乙烯 (Polystyrene, 缩写: PS)

聚苯乙烯是一种热塑性树脂，由苯乙烯聚合而成。它是无色、无臭、无味而有光泽的透明固体，密度 $1.04 \sim 1.09\text{g/cm}^3$ ，溶于芳香烃、氯代烃、脂肪族酮和酯等，但在丙酮中只能溶胀。具有耐化学腐蚀性、耐水性和优良的电绝缘性；缺点是耐热性低，易老化发脆。可用作工程塑料或超轻型材。一般工程塑料型：抗拉强度 $35.2 \sim 63.3\text{MPa}$ ，抗弯强度 $61.2 \sim 98.4\text{MPa}$ ，抗压强度 $80.9 \sim 112.5\text{MPa}$ ，冲击强度 $540 \sim 860\text{N} \cdot \text{cm/cm}^2$ (6.4mm 的棒)，硬度洛氏 M65—80，热变形温度 (1.85MPa 以下) $65 \sim 96^\circ\text{C}$ 。主要用于加工塑料制品、绝缘材料，并用于制硬质泡沫塑料、薄膜，也用于制合成纤维（聚苯乙烯纤维）和涂料。

二、化学纤维

纤维分天然纤维和化学纤维。天然纤维包括棉、毛、丝、麻等；化学纤维是由各种不同原料经过化学处理和机械加工而成的纤维。化学纤维包括人造纤维和合成纤维，其分类如图