

水利科技推广项目  
水利工程土工织物设计指南

水利工程土工织物  
设计指南

# 水利工程 土工织物 设计指南

水利部科技教育司  
水利部科技推广中心  
松辽水利委员会科研所

水利工程土工

水利科技  
推广项目

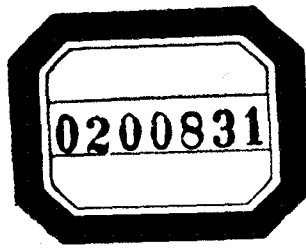
水利工程土工织物设计指南

0831

水利工程土工

水利电力出版社





水利部信息研究所	
图书总号	
分类号	TU43

水利科技推广项目



006392 水利部信息所

# 水利工程土工织物 设计指南

水利部科技教育司  
水利部科技推广中心  
松辽水利委员会科研所

水利电力出版社

(京)新登字115号

## 内 容 提 要

本书依据国内已有的大量实践经验和国外有关成果,对土工织物在水利工程和其它岩土工程中的应用与发展,土工织物和土工膜的基本性质,及其在反滤、排水、江河护岸、防汛抢险、隔离、加筋和防渗等方面的应用,从理论到应用技术作了较全面的介绍。为使读者更好地理解 and 掌握土工织物的设计原则和施工原则与方法,书中还列举了许多工程实例。

本书可供水利科技工作者使用,对于从事其它岩土工程的设计、科研、施工、管理人员和有关院校师生亦有很好的参考价值。

2050/14

水利科技推广项目

水利工程土工织物设计指南

水利部科技教育司 水利部科技推广中心

松江水利委员会科研所

\*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 15.75印张 357千字  
1993年12月第一版 1993年12月北京第一次印刷

印数 0001—2000册

ISBN 7-120-01873-6/TV·680

定价 15.00元

## 前 言

土工织物和土工膜及有关产品是用于岩土工程中以人工聚合物为主要原材料的新型建筑材料。早在30年代初，国外就使用塑料薄膜作为水池防渗，50年代开始已逐渐广泛用于渠道防渗和土坝上游防渗层。土工织物于50年代末开始用于海岸护坡工程。到70年代，特别是由于非织造土工织物的出现，土工织物的研究与应用得到了迅速发展。现在，土工织物和土工膜及有关产品已广泛应用于岩土工程的各个领域，成为岩土工程技术中的一个新的重要分支，为岩土工程技术的发展开拓了新的天地，提供了新的活力，也提出了许多新的课题，它标志着岩土工程的一场革命。

土工织物和土工膜及有关产品之所以应用如此广泛和发展如此之快，在于它们具有强度高、柔性大、整体性强、耐久性好、施工简便和经济等独特的优点，可以解决如水利工程中的反滤、排水、防冲、软基加固、堤坝护坡、边坡稳定、防渗、隔离和加筋等各种问题。可以说没有任何一种现有工程材料能发挥如此众多的功能。而且，土工织物与土工膜可以适应各种气候、地形和工程条件，并能解决一般技术难以做到的设计与施工问题。

当然，土工织物和土工膜及有关产品也并不是万能的，重要的是要研究和确定各种产品的适用条件和应用技术，并在实际应用中根据具体的工程条件正确选择适宜的产品类型，掌握相应的设计与施工原则和方法。

土工织物及有关产品问世以来，在广泛应用的同时开展了大量的研究工作，提出了许多有关的应用理论和设计方法，这对于认识土工织物、土工膜和有关产品的性能及其推广应用起了很好的作用。但也应该看到，这些设计方法带有明显的局限性，甚至有相互矛盾的现象。因而，在实际应用中主要还是参照已有的实际应用成果，对于设计的合理性和可靠度还很难作出确定的评价。这就说明土工织物及有关产品在岩土工程中应用的理论和研究方法研究仍然何等重要。

目前，土工织物及有关产品在我国的应用正在蓬勃发展，在水利工程中的应用更是如此。尽管应用时间很短，但取得的技术成果和经济效益却是极为显著的。据不完全统计，仅东北地区的水利工程中就应用了土工织物和土工膜300多万 $m^2$ ，应用范围包括反滤、排水、堤坝护坡、防冲、护岸、土体加固、防汛抢险、水土保持和防渗等方面，并且在应用技术上结合我国的国情和地区特点。但是，这并不是说土工织物及有关产品的应用已被人们了解和接受，而且由于国家还缺乏适当的可作为依据的有关设计原则和方法，因而在实际应用中往往是教条式的，甚至带有一定盲目性地搬用国外已有的成果，这也是影响这种材料推广应用的一个原因。

基于上述情况，尽管有不少问题目前仍在研究之中，但还是有必要并且可能在依靠已有实践经验和吸取国外有关成果的基础上，结合我国国情提出一个土工织物和有关产品适合在水利工程中应用的，哪怕是初步的技术文献。这也是编写本书的出发点。其目的在于

适应当前水利工程中应用土工织物和有关产品的现状和需要，为设计和施工部门提供一个较为实用的指导性方法，同时起到普及和推广的作用。

土工织物和土工膜及有关产品在岩土工程实际应用中仍在不断开拓，各种专门用途的产品相继出现，种类繁多。本书只能根据当前水利工程的现实，主要限于土工织物与土工膜。在写法上采取按功能设计的方式，并根据各种功能进行介绍，力求系统地举出一些典型的工程设计与施工实例，给出简明的基本理论、设计和施工原则与方法。在内容上力求能反映80年代末本领域的技术水平。

本书由水利部科技教育司和水利部科技推广中心、松辽水利委员会科研所组织，大连理工大学土木系、辽宁省水利科学研究所、吉林省水利科学研究所、黑龙江省水利科学研究所参加编写。本书由徐伯孟主编。编写人员有：徐伯孟（概论和第一、二、六章），尚全夫（第三、四章），陈关庆（第五、八章），孔庆栓（第六、七章），洪有纬（第九章），刘育红（第十章）。刘俊辉、朱文琴、陈志云同志参加了编制和修改工作，刘鹏秀同志承担了主要描图工作。在编写过程中，曾先后三次集中对全书进行讨论修改，最后由徐伯孟同志统一修改定稿。北京水利电力经济管理学院王正宏教授对本书作了详细审阅，提出了不少宝贵意见，在此表示衷心感谢。

作者们力图从理论和应用的论述上达到上述目的，但是正如前述，这种新型材料的应用还有不少问题尚待深入研究，加之作者们的经验和水平有限，本书中难免有疏漏和不当之处，恳请有关同志提出批评指正。

编 者

1992. 8.

# 目 录

前 言

绪论 .....	1
第一章 土工织物和土工膜的种类 .....	6
第一节 土工织物 .....	6
第二节 土工膜 .....	8
第二章 基本特性与试验 .....	11
第一节 基本要求 .....	11
第二节 物理性质 .....	11
第三节 力学性质 .....	13
第四节 水力性质 .....	22
第五节 耐久性 .....	28
第三章 土工织物反滤设计 .....	31
第一节 概述 .....	31
第二节 土工织物反滤层的特性和反滤机理 .....	31
第三节 土工织物反滤设计 .....	34
第四节 土工织物反滤层施工 .....	46
第五节 土工织物反滤设计应用举例 .....	46
第四章 土工织物排水设计 .....	66
第一节 概述 .....	66
第二节 排水设计所需的基本资料和要求 .....	66
第三节 土工织物排水设计与举例 .....	67
第四节 施工要求 .....	82
第五章 江河堤岸与土坝护坡 .....	85
第一节 概述 .....	85
第二节 块石护坡 .....	86
第三节 预制混凝土构件护坡 .....	90
第四节 模袋混凝土护坡 .....	91
第五节 土工织物生物护坡 .....	107
第六章 河岸护脚与丁坝工程 .....	110
第一节 概述 .....	110
第二节 土工织物软体沉排设计 .....	111
第三节 软体沉排施工 .....	118
第四节 软体沉排护脚工程实例 .....	121
第五节 丁坝应用土工织物设计 .....	126

第六节	丁坝施工	129
第七节	丁坝工程实例	130
第八节	软体沉排在闸底防冲中的应用	132
第七章	海洋防潮堤防护	134
第一节	概述	134
第二节	防潮堤土工织物设计	134
第三节	防潮堤土工织物护坡施工	145
第四节	防潮堤设计实例	147
第八章	防汛抢险	153
第一节	概述	153
第二节	防汛抢险	153
第三节	软体排的制作与沉放	157
第九章	土体加筋和隔离设计	159
第一节	概述	159
第二节	加筋土挡土墙设计	162
第三节	加筋土挡土墙设计举例	179
第四节	堤坝加固	185
第五节	地基加固	199
第六节	无铺砌道路	201
第七节	土工织物施工阶段的强度要求	207
第十章	土工膜防渗设计	209
第一节	概述	209
第二节	土石坝工程土工膜防渗	210
第三节	渠道土工膜防渗	227
第四节	蓄水池工程土工膜防渗	237
第五节	其它工程土工膜应用实例	242

# 绪 论

## 一、定义

土工(纺)织物(Geotextiles)和土工膜(Geomembranes)这两个术语,最初是于1977年4月在巴黎举行的“纤维织物在土工中的应用国际会议”(International Conference on the Use of Fabrics in Geotechnics),即现在通称的第一次国际土工织物会议上由基劳德(Giroud J.P.)等提出的,后来成为国际上通用的专业名词。前者指用于岩土工程中的透水纺织品的总称,后者是指用于岩土工程中极不透水的膜状制品的总称。

随着土工织物应用领域的不断扩展,合成材料工程性能的不断开发,越来越多的与土工织物有关的新产品相继出现,并在岩土工程中发挥了杰出的作用。例如土工格栅、土工网、塑料排水板及各种各样的复合材料等。由于这些产品已远远超出了“土工(纺)织物”的范畴,因而有人提出采用“土工合成品”(Geosynthetics)等名词,但在国际上仍未统一。1990年在荷兰举行的第四次国际会议上则使用了“土工织物、土工膜及有关产品”的名称。

根据上述情况,我们采用如下定义:

土工织物——用于岩土工程中具有透水性能的纤维纺织品。但在本书中仅只论述合成纤维织物。

土工膜——用于岩土工程中极不透水的薄膜制品。本书中主要介绍合成材料的土工膜。

## 二、功能和应用范围

任何一种材料或产品都有它一定的应用范围,而应用范围又是由其功能决定的。

土工织物在水利工程及其它有关工程中的应用,归纳起来有反滤、排水、防护、加筋、隔离等几种功能。此外,还可与其它材料复合组成不透水织物用于防渗。土工膜的功能则主要是防渗。这些功能及其应用将在第三章至第十章详细论述,这里只做概要说明。

### (一) 反滤功能

土工织物具有良好的透水性能(渗透系数约为 $A \times 10^{-1} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$ ),又有适当小的孔隙,因而既可满足水流通过的要求,又可防止基土颗粒过量流失而造成的管涌和流土破坏。利用土工织物的这种功能,在实际工程中可以用它来代替传统的砂砾反滤层,例如堤坝护坡的反滤层(垫层)、坝后排水反滤层、涵闸出口护坡反滤层和减压排水井的反滤等。

### (二) 排水功能

土工织物具有良好的垂直和水平排水能力,而且可以调节,因此,它可有效地作为排水设施把土中的水分汇集起来排出。例如,挡土墙的排水、坝体内垂直和水平排水以及作为加速土体固结的排水等。土工织物的排水功能往往与反滤功能相结合,起两方面的作用。

### (三) 防护功能

利用土工织物良好的力学性质与透水性,可把它用于防止水流冲蚀和保护基土不受外



界作用破坏。例如堤坝护坡垫层、河岸护底、海岸或防潮堤保护、防止坡底冲刷、防汛抢险等。

#### (四) 加筋功能

将土工织物埋入土中可借织物与土界面的摩阻力，限制土体侧向位移，等效于施加侧压力增量，从而使土体强度有所提高，承载力增大；加筋使应力扩散，有助于调整地基沉降。例如堤坝等各种结构物下的软土地基或强度不足的地基加固，在冻土和稀泥土上修筑临时道路，防止沥青混凝土路面裂缝，修筑加筋土墙，稳定边坡，防治冻融或其它作用造成的滑坡等。

#### (五) 隔离功能

土工织物的隔离作用是把两种不同材料分隔开，以防止相互混杂，或为某种目的将同一材料分隔开。例如土石坝、堤防、路堤等不同材料的各界面之间的分隔层；铺入冻胀性土中，切断毛细水流以消减土的冻胀和上层土融化时过湿而引起的沉陷或翻浆等现象；做埋入土中的隔离层，防止返碱等。

#### (六) 防渗功能

土工织物可用某种防水材料如乙烯树脂、合成橡胶、聚胺脂或塑料等浸渍或涂刷后成为不透水的织物，这样，它就和土工膜一样可用于各种防渗结构中，而且，在力学和水力学性质上往往具有更多的优点。不透水织物和土工膜已广泛应用于堤坝、水库、水池、渠道、屋面和地下洞室等防渗防水工程，还可在满足结构刚度的条件下充气或充水作为挡水结构物。

应该说明的是，土工织物在实际应用中往往同时起两种或两种以上的作用。例如排水反滤及隔离作用、防冲与反滤作用经常是联系在一起。上述功能的划分是以土工织物在实际应用中所起的主要作用而言，不是指它的单一作用。

### 三、工程应用的发展简况

人类应用天然纤维作建筑材料，把稻草或枝条埋入土体或垒筑土墙，用梢料捆排和苇席保护河岸防止冲刷或加固软弱地基等已有几千年的历史。这些材料在工程建设上发挥了很大的作用，而且至今仍在不少地方应用。但是，植物一类天然纤维易腐烂，不能耐久、应用功能有限，因而只能有限地应用在临时性和半永久性以及重要性不大的工程中。而且，这些材料来源越来越不足，还存在着运输困难和不经济等缺点。

随着石油化学工业的发展，在本世纪出现了高分子合成材料制品，继而出现了以尼龙、维尼龙、聚脂、聚丙烯等不同原材料和工艺过程的现代土工织物，逐步广泛应用于各类岩土工程中，成为岩土技术领域的一项重大革新。

一般认为，合成纤维织物在工程中的应用始于50年代末期。当时，美国佛罗里达州于1958年在大西洋海岸的一处混凝土护岸翻修工程中采用了聚丙烯纤维编织物代替常规的粒状反滤层材料<sup>[1]</sup>；1958年日本在修复受台风灾害的伊势湾海岸围垦田的围堤时，采用了维尼龙非织造物代替树枝做沉排<sup>①</sup>。在此后的约10年中，合成纤维织物在岩土工程中的应

① 高桥修三，土工织物在日本的应用现状和展望，中国土工织物学术会议论文集。

用发展比较慢，这一时期使用的织物基本上是编织型的，而且主要用于护岸防冲等较次要和临时性的工程，最常用的聚合物是聚丙烯，也有采用尼龙、聚脂和其它一些合成纤维的。

60年代后期，针刺和热粘非织造型织物的出现才真正推动了土工织物的广泛应用。由于非织造型织物具有更好地适应工程要求的力学和水力特性，成本又低，因而，尽管编织型土工织物仍然是岩土工程中应用良好的一种主要织物，而且这种织物类型和用途仍在不断开拓，但非织造型土工织物的发展速度则快得多。例如美国到1980年应用的土工织物中，针刺和纺粘型织物已占93%，而编织型织物仅占7%。1977年在法国巴黎召开的第一次国际土工织物学术讨论会，更进一步推动了土工织物应用的发展。土工织物的生产形成了专业生产体系，类型也越来越多。纺织工业的厂商根据具体工程的不同要求生产出不同用途的产品，包括不同厚度、孔径、强度和延伸性；长丝和短丝；聚脂和聚丙烯等不同原材料的针刺和纺粘型织物。除了这些纺织结构及其各种变种的织物外，一些新型结构如土工网（Geonet）、土工格栅（Geogrid）及其它各种组合型产品相继问世。从而使土工织物在水利、公路、铁路、建筑、矿冶等各类工程中的应用得到了迅速发展。据估计，到1984年全世界已有10万多处工程铺设了2亿多 $m^2$ <sup>[2]</sup>。与此同时，欧美各国对土工织物在岩土工程中应用的机理和设计方法，土工织物的物理力学性质和测试方法等进行了日益深入和系统的研究，提出了许多设计准则，并出版了一些指南或参考手册。为加强国际间的联系和交流，促进土工织物及有关产品的学术研究和工艺发展，1983年在法国巴黎成立了国际土工织物协会（IGS）。1977年在法国巴黎，1982年在美国的拉斯维加斯，1986年在奥地利的维也纳和1990年在荷兰的海牙先后举行了四次国际土工织物会议。其中第四次土工织物与土工膜及有关产品国际会议有53个国家和地区的正式代表678人，包括厂商和随员在内约1000人，比前几次会议的人数都多，会议论文共248篇，约相当于第一次会议的3.8倍和上次会议的1.5倍，这也从一个侧面说明土工织物及有关产品的迅速发展。

在我国，合成纤维工业的发展较晚，因而这种材料在岩土工程中的应用比先进国家大致晚20年。50年代初，水利工程中已开始进行塑料薄膜作渠道防渗试验，现在，土工膜（包括塑料薄膜、橡胶膜、沥青材料及一些复合材料）已推广应用于水库和水池防漏等方面。土工织物于70年代末开始应用，最初是在河道和涵闸防冲工程中采用了织造型土工织物，80年代初开始应用非织造型土工织物，基本上是针刺型的。

我国应用土工织物的时间虽然较晚，但由于一些科研、设计和工程部门对这项新技术接受较快，工程试验中显示出来的效果明显，有国外经验可以借鉴，因此土工织物的研究和应用，以及产品方面的发展都很快。1984年，水利部门组织了土工织物协作网，后来逐渐扩大，并于1986年全国土工织物学术讨论会上成立了全国土工合成材料技术协作网。在这期间，国内有不少地方举行了区域性的土工织物应用经验交流会或现场会。例如自1986年以来，东北地区水利工程中应用土工织物经验交流会已举行了三次。这些活动对促进土工织物的应用和发展起了积极的宣传和推动作用。现在，土工织物和土工膜已在我国的水利、电力、公路、铁路、海港、矿冶和军工等各类工程中广泛应用，取得了明显的技术经济效益。据不完全统计，仅东北水利工程中近几年已有300多项工程使用土工织物和土工

膜，使用数量为500多万 $m^2$ ，取得了巨大的经济效益，应用范围也从80年代初主要用于堤坝护坡滤层扩大到河道和海堤护岸、涵闸防冲、土石坝防渗、排水、隔离加固、防汛抢险、水土保持和冻害防治等各个领域。

#### 四、展望

土工织物在岩土工程中的应用能得到如此迅速的发展是由于这种材料所具有的优点，即它在工程应用中具有良好的技术性能和经济效益决定的。这些优点主要表现在：

(1) 具有较高的抗拉强度、延伸性和整体性。可以抵抗外力的作用，适应不同的地形条件，加筋可与土实现良好的结合，特别是用作防冲反滤层时不会象松散材料那样易被淘刷破坏。

(2) 具有良好的水力特性。土工织物具有细小的孔隙，孔隙率可达90%以上，透水性和保土能力强，特别适于作各类工程的排水和反滤层；浸渍和喷涂防水材料土工织物和其它土工膜则极不透水，可用于各类工程的防渗。

(3) 稳定性好。现场土中和水中使用多年的土工织物试样试验说明，它与原样之间没有显著差别。

(4) 可生产性强。可由工厂生产不同规格和性能要求的产品，质量易于保证，产量高。

(5) 施工简便、迅速。这易于保证工程质量，特别是用作反滤层时更是如此。此外，还可节省施工机械设备和解决一般方法难以施工的问题，例如水下施工问题。

(6) 重量轻、运输方便。例如面积 $5000m^2$ ，厚度为20cm的颗粒材料反滤层约需10t卡车运75台次，若用 $300g/m^2$ 的土工织物，重量仅1.5t，只需一台卡车运输一次。

(7) 工程造价低。例如用土工织物代替传统砾料反滤层，除工程地点有充足砂砾料外，一般均可节省工程费用10%~30%；用土工织物代替粘土或其它防渗材料亦可大大节省投资。

上述土工织物和土工膜的功能和优点说明，这些材料在水利工程和其它岩土工程中的应用具有广阔的前景。我国应用土工织物的发展速度尽管较快，但在应用的范围和数量上都还是远远不够的。因此，今后有必要着重在如下四个方面继续努力：

(1) 总结已有的应用技术，积极推广，不断扩大应用范围，提高应用水平。土工织物和土工膜及有关产品在岩土工程中的应用也和其它经过试验和实用证明是成功的新技术一样，设计理论往往落后于实践，而且有赖于实践。所以，在它们发展的初期，人们总是要借助于已有的成功经验。这就说明，总结近十年来我国应用土工织物及有关产品的经验和实例，同时吸取国外有益经验，切实组织推广是十分必要的。正因为这样，本书在论述设计和施工要求的同时，尽可能全面简明地提供适当的应用实例。

(2) 进一步宣传和普及专业知识和应用技术，加强相互间的信息沟通。尽管这些年国内在这方面的工作很活跃，水利系统亦进行了许多活动，包括技术交流、举办学习班、现场会与经验报道等，但有关土工织物及有关产品的应用知识及其意义还不能说已完全普及，特别是在不少管理部门和设计人员对土工织物这一新型材料还比较生疏，专业技术人员还很少的情况下，进一步加强这方面的工作仍然是很重要的。

(3) 加强试验研究, 提高应用水平。我国这些年在土工织物的试验研究方面, 特别是结合现场试验已取得了许多成果, 仅就两次全国土工织物学术交流会上提出的文章就有180余篇即可以证明。总的说来, 我国的试验研究水平与国外的差距并不大, 但是到目前为止, 土工织物及有关产品的应用还没有比较成熟的设计和施工规范和产品标准, 测试方法仍不统一。国外已有一些标准, 但往往是根据某一特定条件提出的, 甚至相互间不一致或矛盾, 这些也是影响土工织物应用进一步发展的原因。这就需要加强试验研究, 重视对已有工程的监测, 特别是对那些比较重要或典型工程中土工织物长期运行效果的检测, 为设计提供适当的方法和经验。

(4) 土工织物及有关产品的应用主要是纺织工业与土木工程领域相结合的结果。由于纺织工业和土木工程是各自独立的技术领域, 因此, 二者之间需要紧密配合。土木工程技术人员需要了解合成纤维和材料及有关产品的特性, 研究应用中的设计和施工技术, 而纺织部门及其专业人员也要了解工程应用的特殊要求和有关知识。应该说, 我国目前还缺乏专门生产土工织物及有关产品的工厂, 已有的产品基本上是一些纺织厂的附属产品, 而且产品单一, 有些产品质量低, 成本高。因此, 增加产品品种并逐步系列化, 提高产品质量和降低成本是关系土工织物发展的重要一环。可以预见, 纺织工业与土木工程界的密切合作将使土工织物的发展出现更广阔的前景。

## 参 考 文 献

- [1] Civil Works Construction Guide Specification for Plastic Filter, Fabric CW-02215, 1977, 11.
- [2] Charles Xhicerer, Geotextiles- A New Challenge for the Geotechnical Profession, Water Power and Dam Construction, 1985, 12.

# 第一章 土工织物和土工膜的种类

## 第一节 土工织物

常用的土工织物分为织造型和非织造型两大类<sup>①</sup>，其原材料是合成纤维。

### 一、合成纤维及其性质

纤维分为天然纤维、人造纤维和合成纤维三大类。天然纤维是以棉、毛、丝、麻等天然物质为原材料加工而成；人造纤维是以从提纯的木质浆液中得到的纤维素为基本材料，经溶解、抽丝而成的纤维；而合成纤维则是以天然气、煤、石油等非纤维素物质用化学方法合成的高分子聚合物为原料，在溶剂内溶解或加热融化后，通过喷丝头设备上的细孔抽丝而成。

合成纤维不同于天然纤维的一个特点是可以抽成不同细度的丝。表示纤维细度的单位称为旦尼尔（denier），简称“旦”。长度9000m的纤维质量1克（g）为1旦。表示纤维细度的另一个单位是“特（tex）。长度1000m的纤维质量为1克时称为1特。可见，特是旦尼尔的9倍。

合成纤维可以在加工过程中通过不同的方式和工艺制成不同的形式，例如连续抽丝形成的长纤维、将连续长纤维按要求长度切成的短纤维、用两种不同聚合物制成的复合纤维、以及不同形状的纤维等。这样就可以制出不同类型和不同性质的土工织物产品。

合成纤维比天然纤维和人造纤维具有更为优越的物理力学性能，除了以上各点外，它具有强度高、弹性好、耐磨、耐化学腐蚀和生物侵蚀等优点。因而，不但在生活服务领域，而且在工农业和土木工程以及军工等方面都具有广泛的用途。

合成纤维的种类及其变种有几十种，目前大量生产的有6种：锦纶（聚酰胺）、涤纶（聚酯）、丙纶（聚丙烯）、腈纶（聚丙烯腈）和氯纶（聚氯乙烯），其中用于制造土工织物的主要是涤纶和丙纶，其它也有少量使用，如锦纶用于制作混凝土模袋等。几种合成纤维的某些物理力学性质见表1-1。

### 二、织造型土工织物

织造型土工织物（Woven Geotextiles）是把交织纵向纱（经纱）和横向充填纱（纬纱）在梭织机或无梭织机上交织而成的织物，又常称为编织布、机织布。织造布的基本形式有平纹、斜纹和缎纹三种。目前所用的织造型土工织物为平纹型，其形式是一上一下交叉。这种织物结构紧密，具有较高的强度。但是这种织物的纤维交织点互不粘结，使用过程中纤维可能串动，使孔眼发生变化；当布边破损或纤维断裂时容易绽开或纤维脱落；此外，这种织物不具备水平透水能力。织造型土工织物目前主要用于岸坡保护、堤坝等土体

<sup>①</sup> “织造”和“非织造”常被称为“有纺”和“无纺”。

纤维性能参考表

表 1-1

性能	品种	锦纶		涤纶		腈纶		维纶		丙纶		氯纶
		短纤维	长丝	短纤维	长丝	短纤维	长丝	短纤维	长丝	短纤维	长丝	
断裂强度 (g/袋)	干态	4.5~7.5	4.8~6.4	4.7~6.5	4.3~6.0	2.5~5.0	4.0~6.5	6.0~9.0	4.5~7.5	4.5~7.5	4.5~7.5	2.5~4.0
	湿态	3.7~6.4	4.2~5.9	4.7~6.5	4.3~6.0	2.0~4.5	3.2~5.2	5.0~7.9	4.5~7.5	4.5~7.5	4.5~7.5	2.5~4.0
结节强度 (g/旦)		3.7~5.5	4.3~6.0	4.0~5.0	3.8~4.4	2.0~4.0	2.4~4.0	4.8~7.2	8.0~14.0	8.0~12.0	8.0~12.0	2.0~3.0
断裂延伸 (%)		25~60	25~45	35~50	20~32	25~50	12~26	9~22	30~60	25~60	25~60	20~70
初始模数 (g/旦)		8~30	20~45	25~50	90~160	25~62	25~70	70~180	20~40	40~120	20~40	15~50
定伸弹性率 (%)		95~100		90~95		90~95	70~85		96~100		96~100	70~85
比重		1.14		1.38		1.17	1.26~1.30		0.91		0.91	1.39
标准吸湿率 (%)		4.5		0.4~0.5		1.2~2.0	5.0		0		0	0
耐光耐候性 (长时间光照)		发黄、强度下降		强度几乎不下降		优良	良好		强度显著下降		强度显著下降	良好
耐虫蛀、耐霉烂性		良好		良好		良好	良好		良好		良好	良好
耐磨性		优良		优良		较差	良好		优良		优良	良好
耐热性		软化点180°C, 熔点215~250°C, 不自燃, 可在120°C以下使用		软化点240°C, 熔点260°C, 不自燃, 可在180°C以下使用		软化点190~240°C, 可在150°C以下使用	软化点220°C, 耐干热, 不耐湿热		软化点140~160°C, 100°C收缩0~5%		软化点90~100°C, 70°C开始收缩	
耐氧化剂		良好		良好		良好	良好		良好		良好	良好
耐碱性		50%烧碱, 28%氨水, 强力无影响		10%烧碱, 28%氨水, 强度几乎不降低		在浓碱浓氨水中发黄, 但强度不下降	浓碱中强度几乎不下降		耐浓碱		耐浓碱	耐强碱
耐酸性		耐30%盐酸, 20%硫酸, 10%硝酸, 不耐浓酸		耐35%盐酸, 75%硫酸, 60%硝酸		耐35%盐酸, 65%硫酸, 45%硝酸	耐10%HCl, 30% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 不耐浓酸		耐浓酸		耐浓酸	耐强酸
溶解性能		溶于酚类、浓甲酸、冰醋酸		溶于热间甲酚、硝基苯、邻氯苯胺、DMF等		溶于DMF二甲基亚砜、浓溶液	溶于热吡啶、酚、甲酚、浓甲酸、不溶于一般溶剂		耐一般溶剂、溶于热氯化烃、甲苯、二甲苯等		耐一般溶剂、溶于热吡啶、环己烷等	耐一般溶剂, 溶于四氢呋喃, 环己烷等

加固、织物挡土墙、制作防冲土枕和混凝土模袋，与非织造型土工织物构成复合型土工织物或与土工膜一起组成复合防渗体等。

### 三、非织造型土工织物

非织造型土工织物 (Nonwoven Geotextiles) 是60年代欧洲兴起和应用的一种产品，由此才真正推动合成纤维织物在土木工程中应用的迅速发展。非织造型土工织物或称不织布，按其不同的生产方式有不同的类型。基本生产方法有针刺法、纺粘法和熔粘法。

针刺织物是用针刺机制成的。将事先通过梳理、弹毛或气流成网形成的纤维网送入装有专门织针的机器中，带钩针的织针上下穿刺纤维网使纤维重新缠结定位，从而使纤维之间形成机械结合。纺粘织物是将挤压通过喷丝头的长纤维丝，用热压、机械或化学方法粘合压制而成。熔粘织物是将挤压通过喷丝头的连续长纤维或短纤维铺成的纤维网，利用其中混配一定量的低熔点纤维，通过热轧辊加热辊压和粘合而成。

针刺法可以制出不同厚度和克重，具有一定膨松性的织物，其孔隙率大，垂直和水平透水性好，特别适用于作排水和反滤材料，以及其它工业和生活用途。

纺粘法可以制出厚度薄而强度高、透水性能好的织物，此外，由于它的制造工序少、生产速度快、成本低、用途广，因此，成为纺织工业中发展最快的方法之一。正因为有这些优点，这种土工织物可在排水、反滤、加筋、防冲和隔离等各类工程中应用。

除了上述两类土工织物外，还有一种叫针织型土工织物 (Knitted Geotextiles)。这种土工织物与前两类织物的区别在于它是采用从织布技术中改变而来的生产方法制成的。由于这种织物很少生产，实际中也很少应用，这里不作介绍。

## 第二节 土 工 膜

按照第二次国际土工膜会议的建议<sup>[1]</sup>，土工膜是指用于土木工程中土工项目的不透水薄膜衬砌或阻隔材料。衬砌是指土工膜用在结构物表面或分界面上隔水；阻隔是指用于土体内部防止水的渗透。组成土工膜的基本材料主要有沥青和合成聚合物，后者主要是指弹性材料（橡胶）和塑性体（塑料），土工膜可以在工厂制成产品或现场直接喷洒在土、混凝土或其它物体表面上，而且无论是工厂生产还是现场喷洒的土工膜，均可在其中用纤维加筋。因此，土工膜可按组成材料、生产方法和加筋与否进行分类：

### 一、按土工膜的组成材料分类

- (1) 热塑塑料：如聚氯乙烯 (PVC)、热塑腈聚氯乙烯 (TN-PVC) 等。
- (2) 结晶热塑塑料：如低密度聚乙烯 (LDPE)，高密度聚乙烯 (HDPE)。
- (3) 热塑弹性体：如氯化聚乙烯 (CPE)、氯磺化聚乙烯 (CSPE)。
- (4) 橡胶：如丁基橡胶 (IIR)、氯丁橡胶 (CR)。
- (5) 沥青类：通常采用吹制沥青制成土工膜，如沥青玻璃丝油毡等。

上列前四类均以聚合物为基本材料，后一种则以沥青为基本材料。此外还有两种或两种以上材料混合而成的土工膜。

聚合物薄膜的品种较多，这些聚合物的化学结构类型可分为交联 (XL)、热塑 (TP) 和部分结晶 (CX) 三种，表1-2列出部分用于土工膜的聚合物类型<sup>[2]</sup>。在用作衬砌的土工膜中，常用的聚合物类型有聚氯乙烯、聚乙烯、氯化乙烯、氯磺乙烯、丁基橡胶、氯丁(二烯)橡胶、乙烯、丙烯橡胶等。

表 1-2 衬砌中使用的聚合物薄膜

聚合物名称	缩写	化合物类型	厚度(mm)	纤维加筋	
丁基橡胶	IIR	XL	0.9~2.3	是、否	
表氯醇橡胶	ECO	XL	1.67	是、否	
氯丁橡胶	CR	XL	0.5~1.8	是	
腈橡胶	NBR	XL	0.8	是	
氯化乙烯	CPE	TP	0.5~1.0	是、否	
弹性聚氯乙烯	PVC-E	TP	0.8~0.9	是	
聚氯乙烯	PVC	TP	0.3~0.9	是、否	
氯磺乙烯	CSPE	TP、XL	0.6~1.0	是、否	
乙烯丙烯橡胶	EPDM	XL、TP	0.6~1.6	是、否	
聚乙烯	低密度	LDPE	CX	0.3~0.8	否
	高密度	HEPE	CX	0.5~3.1	否
弹性聚烯烃	ELPO	CX	0.6	否	

注 XL: 交联 TP: 热塑 CX: 部分结晶

各类土工膜中除聚合物或沥青为基本成分外，还会有不同的添加剂。

沥青类薄膜中常用的掺料主要有填料和纤维，有时掺入一定的弹性物质。填料为细粒矿粉，其作用在于增加膜料的劲度，还可降低成本。常用的矿粉有石灰石粉、滑石粉、云母、粉煤灰、石墨等。掺量为沥青与矿粉总重的60%以内，一般为30%。纤维一般用石棉或玻璃丝，其作用是增大膜料强度。弹性物常采用再生橡胶粉等，掺量一般为5%~15%，其作用是改善膜料的物理性质或增强抗裂能力。

聚合物中的添加剂有填料、纤维、改性剂、增塑剂、炭墨、抗氧化剂、稳定剂和杀菌剂。填料为上述的各种矿粉等。常用的纤维有玻璃丝、聚脂或尼龙短纤维等，这两种掺料的作用亦与沥青中的纤维相同。其它掺料有各种不同的作用。改性剂是在膜料制作过程中使混合料增强或软化；增塑剂用于增加膜料的柔性；炭墨增强膜料抗紫外线老化性能；各种稳定剂与抗氧化剂也可增强膜料抗紫外光和臭氧等的老化作用，并在制造过程中使混合物保持稳定；杀菌剂用于防止细菌和菌类对聚合物薄膜的侵蚀。



## 二、按生产方式和加筋与否分类 [3]

### (一) 现场制作的不加筋土工膜

这是把一种热的或冷的粘性材料直接喷洒或涂在要衬砌的结构物表面上形成的。喷洒法制成的不加筋土工膜所用的典型基本材料为沥青、沥青与弹性混合物或聚合物，例如聚胺酯。这种土工膜由于是现场喷洒方式的，最终厚度难以控制，不同地点的厚薄可能相差很大。要求的厚度常在3~7.5mm之间。

### (二) 现场制作的加筋土工膜

它是把一种热的或冷的粘性材料喷洒或敷设在织物上形成的。常用的喷洒材料与上述现场不加筋土工膜相同。常用作加筋的材料为针刺非织造土工织物，因为这种织物对粘性材料有良好的吸附性。这种土工膜的厚度也不容易控制，一般为3~7.5mm。

### (三) 工厂制造的不加筋土工膜

这是在工厂中用聚合材料挤压辊压形成的。聚合物中不放任何加筋织物。

### (四) 工厂制造的增强型土工膜

这一般是在工厂用浸涂法或压延法制造。浸涂土工膜是将加筋用的织物（织造型或非织造型）在一面或两面用聚合物或沥青化合物浸渍或涂敷而成。压延加筋土工膜中使用的加筋织物通常是一种稀松织布，压延土工膜总是用聚合物制造，通常由3层组成：聚合物/稀松布/聚合物；有时由5层组成：聚合物/稀松布/聚合物/稀松布/聚合物。根据顾主的要求可制造带额外层数的土工膜。沥青浸涂的典型厚度为3~10mm，聚合物浸涂和3层压延土工膜的典型厚度为1.0mm。

### (五) 工厂制作的复合土工膜

这是把工厂生产的土工膜（常为压延法或挤压法生产的不加筋土工膜）与一层织物（常为非织造织物）一起辊压而成。

## 参 考 文 献

- [1] Definition of Terms, Proc.Int.Conf. on Geomembranes, 1984, P. A-3.
- [2] Haxo, H. E. and Neixon, N. A., Factors in the Durability of Polymeric Membrane Liners, Proc.Int. Conf. on Geom., 1984.
- [3] Giroud, J. P. and Frobel, R. K., Geomembrane Products, Geotechnical Fabrics Report, Vol. 1, No.2, 1983.