

土工合成材料应用技术

徐日庆 王景春 等编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

土工合成材料应用技术/徐日庆, 王景春等编著.
北京: 化学工业出版社, 2005.3
ISBN 7-5025-6722-4

. 土... . 徐... 王... . 岩土工程-合成
材料 . TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 015564 号

土工合成材料应用技术
徐日庆 王景春 等编著
责任编辑: 邢 涛
文字编辑: 林 丹
责任校对: 吴 静
封面设计: 潘 峰

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
材料科学与工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
[http:// www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷有限责任公司印装
开本 850mm×1168mm 1/32 印张 9 字数 241 千字
2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-6722-4 TB·122
定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

土工合成材料作为一种新型的岩土工程材料，具有加筋、隔离、过滤、排水、防渗、防护等多种功能，在土木工程各个领域得到了大量应用。由于土工合成材料的独特性能，其应用的深度和广度都在不断发展。1998年，长江、松花江、嫩江发生了历史上罕见的洪水灾害，在抗洪抢险中土工合成材料发挥了重要的作用，受到各生产厂家、研究单位、设计单位和施工单位的高度重视，同时也受到相关部门和领导的关注，有力地影响和推动了土工合成材料技术在我国的发展及应用。

自1991年参加编写《土工织物工程设计》一书到现在，已有13个年头了，在最近十多年的时间里，土工合成材料在我国发展很快，在道路工程、铁路工程、建筑工程、水利工程、港口工程、环境工程和抢险救灾中得到大量应用。土工合成材料已成为21世纪最重要的工程材料之一。为适应形势的需要，我国各职能部门组织编制了国家标准，行业技术规范及应用手册，这些工作极大地促进和规范了土工合成材料的应用。

土工合成材料品种繁多且不断推陈出新，相关研究也紧随其后，新技术、新方法、新工艺不断问世。为了将有关成果介绍给相关读者，在化学工业出版社组织下，我们决定组织编写《土工合成材料应用技术》一书。

《土工合成材料应用技术》全书共有7章：第1章绪论，介绍了土工合成材料的发展历史、技术标准、工程作用和最新动态；第2章土工合成材料的种类和性质，介绍了土工合成材料的种类和性质；第3章滤排技术，介绍了过滤作用机理、过滤准则、排水材料的渗透性、过滤和排水材料的选择、设计方法以及工程实例；第4章隔离技术，介绍了隔离的设计准则、设计方法、材料选择、施

工技术要求及工程应用；第 5 章加筋技术，介绍了加筋的设计原则、设计方法、织物选择、施工要点和工程应用；第 6 章防护技术，介绍了防止水流冲蚀、防冻胀及防沥青路面反射裂缝的措施，防水流冲蚀防护结构、防冻结构、防道路反射裂缝的设计与施工；第 7 章防渗技术，介绍了用于防渗的土工合成材料，防渗结构的设计原则、设计计算、施工要点及工程应用。本书第 1 章由徐日庆编写，第 2 章由徐日庆、王景春编写，第 3 章由刘增永、王景春编写，第 4 章由黄斌、徐日庆编写，第 5 章由朱益、刘增永编写，第 6 章由朱世哲、王景春编写，第 7 章由龚慈、徐日庆编写。全书由徐日庆、王景春统稿，定稿。郭印对全书进行了校对。

限于编者水平，书中不当或错误之处，敬请读者批评指正。

编著者

2004 年 8 月浙江大学求是园

内 容 提 要

全书分7章，内容包括土工合成材料的种类和性质、滤排技术、隔离技术、加筋技术、防护技术和防渗技术。

本书较全面地介绍了土工合成材料的种类、工程性质，过滤、排水、隔离、加筋、防护和防渗的工作原理、设计准则、设计方法以及在实际工程中的应用，适当介绍了该领域的最新成果和发展趋势。

本书可作为广大土木工程专业人员的参考读物，亦可兼作高等院校土木工程专业的教材。

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 土工合成材料的发展历史	1
1.1.1 古代的原始土工材料	1
1.1.2 现代的土工合成材料	1
1.1.3 相关的学术活动	4
1.2 土工合成材料的种类	5
1.3 土工合成材料的技术标准	7
1.4 土工合成材料的工程作用	8
1.5 土工合成材料的新近动态.....	10
主要参考文献	10
第 2 章 土工合成材料的种类和性质	12
2.1 概述	12
2.2 土工合成材料的种类.....	13
2.2.1 土工织物.....	13
2.2.2 土工膜.....	16
2.2.3 土工复合材料.....	17
2.2.4 土工特种材料.....	21
2.3 土工合成材料的性质.....	39
2.3.1 物理性质.....	39
2.3.2 力学性质.....	40
2.3.3 水力学性质.....	51
2.3.4 耐久性.....	63
2.3.5 界面摩擦性质.....	65
主要参考文献	68
第 3 章 滤排技术	70

3.1	概述.....	70
3.2	过滤技术.....	71
3.2.1	过滤作用机理.....	71
3.2.2	过滤准则.....	76
3.2.3	过滤材料的选择.....	83
3.3	排水技术.....	86
3.3.1	排水材料的渗透性.....	86
3.3.2	排水设计方法.....	90
3.3.3	排水材料选择	112
3.4	工程实例	112
	主要参考文献.....	118
第4章	隔离技术.....	122
4.1	概述	122
4.2	设计准则	123
4.2.1	挡土准则	124
4.2.2	渗透准则	124
4.2.3	强度准则	125
4.3	设计方法	130
4.3.1	未铺砌道路的设计	131
4.3.2	铺砌道路的设计	135
4.4	土工合成材料的选择	136
4.5	施工技术要求	136
4.5.1	土工织物的展铺和连接方法	136
4.5.2	防止土工织物破坏的施工要求	139
4.6	工程应用	141
	主要参考文献.....	144
第5章	加筋技术.....	145
5.1	概述	145
5.1.1	简介	145
5.1.2	加筋机理	147

5.2	设计原则	148
5.3	设计方法	149
5.3.1	加筋土挡墙设计	149
5.3.2	加筋土垫层设计	156
5.3.3	加筋土坡设计	160
5.4	土工织物的选择	162
5.4.1	力学性质	163
5.4.2	耐施工性	163
5.4.3	耐久性	164
5.5	施工要点	164
5.5.1	加筋土挡墙	164
5.5.2	加筋土垫层	165
5.5.3	加筋土坡	168
5.6	工程应用	169
5.6.1	用土工合成材料防护铁路路基边坡	169
5.6.2	土工合成材料加筋土挡墙	170
	主要参考文献.....	177
第 6 章	防护技术.....	178
6.1	概述	178
6.2	防冲蚀结构设计	179
6.2.1	土工织物软体沉排	179
6.2.2	连锁压块软体沉排	195
6.2.3	土工合成材料石笼和沉枕	199
6.2.4	土工模袋	207
6.2.5	三维网垫植被护坡	214
6.3	防冻结构设计	217
6.3.1	土的冻胀特性及危害	217
6.3.2	护坡防冻和挡墙防冻结构设计	218
6.4	防道路反射裂缝	222
6.4.1	路面使用质量的评价	222

6.4.2	防治反射裂缝的土工合成材料	223
6.4.3	织物层厚度、强度及耐温性	225
6.4.4	施工要点	226
6.5	防有害物质扩散蔓延	228
6.5.1	固体废料储存	228
6.5.2	废液及液体储存	232
6.5.3	沼气池的覆盖层	235
6.5.4	工程实例——北京六里屯垃圾填埋场	236
6.6	防振动设施	238
6.6.1	隔振屏	238
6.6.2	工程实例——设置在比利时 Limelette 地方的隔 振屏	238
	主要参考文献	240
第 7 章	防渗技术	242
7.1	概述	242
7.1.1	土工防渗材料发展概况	242
7.1.2	应用范围	243
7.2	土工合成防渗材料	244
7.2.1	土工膜	244
7.2.2	复合土工膜	245
7.2.3	土工合成材料膨润土垫	245
7.2.4	土工合成防渗材料的选择	246
7.3	防渗结构	246
7.3.1	防护层和上垫层	246
7.3.2	支持层和下垫层	247
7.3.3	排水、排气设施	247
7.3.4	防渗结构类型及选择	247
7.4	设计原则	248
7.4.1	土石堤坝防渗设计	248
7.4.2	输水渠道防渗设计	250

7.5	设计计算	251
7.5.1	土工膜厚度计算	252
7.5.2	防渗层渗漏量计算	256
7.5.3	边坡稳定性计算与锚固	261
7.6	施工要点	266
7.6.1	拼接方法	266
7.6.2	检验方法	269
7.6.3	铺设方法	270
7.7	工程应用	271
7.7.1	复合土工膜膜厚计算	271
7.7.2	渗漏量计算	273
7.7.3	土工织物厚度计算	274
7.7.4	土工膜抗滑稳定分析	275
7.7.5	工程施工	275
主要参考文献.....		276

第 1 章 绪 论

1.1 土工合成材料的发展历史

1.1.1 古代的原始土工材料

据科学考证，数千年前人类就利用芦苇加筋黏土建造房屋，三千多年前，英国人曾在沼泽地带用木排修筑道路。在我国，远在新石器时代，我们的祖先就利用茅草作为土的加筋材料。在河南发现的仰韶遗址距今五六千年，有很多简陋住室的墙壁和屋顶就是利用草泥修筑的。公元前 2000 ~ 公元前 1000 年，古巴比伦人曾把织物纤维掺在土中建造庙宇。

实际上，在独立于人类文明的自然界，许多鸟类和昆虫都本能地利用非土材料（草与树枝等）加固泥土巢穴；树木依靠庞大的根系吸收养料水分，同时也加固了赖以立足的地基。这些都是“以非土材料加固土体”原理的自然体现。

1.1.2 现代的土工合成材料

在现代，1930 年美国北卡罗来纳州首次使用棉纺织品加固路基土。在第二次世界大战中，英国曾在路基上铺放梢辊和帆布，供装甲车通行；荷兰曾大量利用柳枝、梢料加固堤坝，防止冲刷。合成纤维自 1913 年在欧洲问世以来，至今已有百年历史，但合成材

料用于土木工程却开始于 20 世纪 50 年代末。当时，美国人 R. J. Barrett 在佛罗里达州首次将透水性合成纤维有纺织物铺设在护岸混凝土块下，作为防冲刷保护层，因而他被称为“土工织物之父”。

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 年在美国佛罗里达州大西洋海岸防护工程中，聚氯乙烯有纺织物被置于土与石块之间，作为海岸防冲刷。经过 27 年的观察，其状态仍然良好。1985 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 年在日本伊势湾海岸，海堤和围堤因台风遭到灾难性破坏。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，采用维纶编织布成功代替沉排。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，并用做道路、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 年在海岸保护工程中，丹麦采用透水或不透水砂袋，用水力充填法冲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。

一般认为，有纺织物于 20 世纪 50 年代首先在美国应用，无纺布物的应用在 70 年代始于欧洲。

20 世纪 70 年代以后，在国外，织物的应用从马路、铁路路基工程逐步扩展到挡土墙、土坝等大型永久性工程。“土工织物”(geotextile) 和“土工膜”(geomembrane) 是 1977 年 J. P. Giroud 与 J. Perfetti 首先提出来的。他们把透水的土工合成材料称为“土

工织物”，不透水的称为“土工膜”。这两个名词被使用了许多年。近十几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的纷纷问世，已经超出了“织物”和“膜”的范畴。进入 80 年代，土工格栅、土工网和土工垫等新材料相继出现，进一步加快了土工合成材料应用技术的发展。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，现在这一名词已被人们所接受。

与世界先进国家相比，土工合成材料在我国的应用大约晚了十几年。在 20 世纪 60 年代中期，我国才开始将塑料薄膜用于渠道防渗工程。在 70 年代，一种由扁丝纤维织成的编织物，即通常所称的“化纤包装袋”，开始应用于河道与涵闸工程，其原料多采用聚丙烯和聚乙烯，具有易于生产、成本低、强度较高和延伸率小等优点。

20 世纪 80 年代开始，从国外引进的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，首先用于路基层，解决了路基翻浆冒泥问题。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，用于水库过滤层。

20 世纪 90 年代以来，土工织物由于所具有的功能和特性以及在实际工程中的应用效果，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应用范围广、应用量大，如三峡水电工程、秦山核电站、京杭大运河等工程。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，并获得了较好的经济效益和社会效益。

我国土工织物的生产和应用发展速度很快，特别是针刺无纺布物的生产和使用量近年来大幅度增长，但尚缺少统一的测试方法和完善的设计理论。当前，除引进外资和国外先进技术外，更重要的是应密切结合我国的土质条件和工程特点，努力开发、研制我国急需的产品，不断提高质量性能和降低成本，总结设计、施工经验，大力推广应用，同时加强织物作用机理方面的研究，逐步统一技术

标准，使这一新的建筑材料在工程建设中发挥更大的作用。

1.1.3 相关的学术活动

随着使用范围的不断扩大，土工合成材料的生产和应用技术水平也在迅速提高，使其逐渐形成一门新的边缘性科学。它以岩土工程为基础，与石油化学工程和纺织工程有密切联系，应用于土建工程的各个领域。

1977 年，在巴黎召开了“织物在岩土工程中的应用国际会议”(International Conference on the Use of Fabrics in Geotechnics)。后来，人们把这次会议看成是“第一届国际土工织物会议”。1982 年，在美国的拉斯维加斯召开“第二届国际土工织物会议”。1983 年成立了“国际土工织物学会”(International Geotextile Society)简称“IGS”。1984 年在美国的丹佛召开了“国际土工膜会议”。1986 年在维也纳召开了“第三届国际土工织物会议”，1990 年在海牙召开了“第四届国际土工织物、土工膜及有关产品会议”。大多数与会代表主张用“土工合成材料”一词来概括各种类型的有关材料，并将“国际土工织物学会”更名为“国际土工合成材料学会”(International Geosynthetics Society，仍简称 IGS)。1998 年，在美国亚特兰大召开了“第六届国际土工合成材料会议”。2002 年，在法国尼斯召开了“第七届国际土工合成材料会议”。在这期间还召开了很多次地区性或专门性的会议，大大地促进了这一新材料和新技术的发展。

在我国，随着土工合成材料的普遍推广，实验研究工作和有关学术团体也蓬勃发展起来。许多高校和科研单位或制定研究计划，或举办短期培训班培养专门人才。1984 年成立了全国性的“土工织物科技情报协作网”，1986 年改名为“土工合成材料科技书协作网”。同年，在天津召开“全国土工织物学术讨论会”。1988 年在“中国水利学会岩土力学专业委员会”下成立了“土工合成材料专业委员会”，同年在沈阳召开了“第二届全国土工合成材料学术讨论会”，同时成立了“国际土工织物学会中国委员会”。1992 年在

江苏仪征召开了“第三届全国土工合成材料学术讨论会”。

1995年在国务院及各部委的大力支持下，正式成立了一个独立的学术团体——“中国土工合成材料工程协会”。1996年在上海召开了“第四届全国土工合成材料学术讨论会”。这些学术团体和学术活动有效地推动了土工合成材料的生产和应用技术在我国的发展。

2002年由中国土木工程学会、中国土工合成材料工程协会和中国环境科学学会共同组织在浙江大学召开了第一届全国环境岩土工程与土工合成材料技术研讨会，有力地推动了环境岩土工程在我国的发展，促进了土工合成材料技术在工程中的应用。

1.2 土工合成材料的种类

土工合成材料是在岩土工程中应用的合成材料的总称。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。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。它们都是制造土工合成材料的素材。

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起始原料，它们经过加工可提炼出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。

聚合作用为不定数目的小分子结合成为链状或网状大分子的反应，形成的单个分子称作高聚物或大分子。聚合作用是在催化剂作用下从常温、常压直到高温、高压下进行的。聚合分为缩聚和加聚两种。缩聚指两种化合物如苯酚和甲醛的多步催化反应，它除了生成高聚物外还同时析出低分子副产物；加聚指同一烯属分子（单体）间发生的反应如苯乙烯结合生成聚苯乙烯。在聚合反应中引发剂（过氧化物、游离基或短波辐射）是聚合机理必不可少的条件。

聚合方法包括气相聚合、溶液聚合、间歇聚合、乳液聚合及氧化偶合聚合等多种。

高聚物分子量高达几千到几万，绝大多数是许多分子量不同的同系混合物，一般为无定形物，也有晶体共存，但很少全部为晶体。有的高聚物在一定范围内呈现高弹性，在常温或高温下具有一定的塑性或弹性，可被拉成纤维、制成薄膜或模塑成型。

早期曾将土工合成材料分成土工织物（geotextile）和土工膜（geomembrane）两类，分别代表透水和不透水合成材料。之后，由于在工程中透水材料和不透水材料的联合应用不断增多，复合材料、特种合成材料产品大量涌现，使两大类的分法难以互含，因此，国际土工织物学会提出了土工织物及相关产品的分类体系。1983 年 J. P. Giroud 和 R. G. Carroll 提出把土工织物分为四类，相关产品分为六类，见表 1-1。

表 1-1 土工织物及其相关产品

项 目	分 类	原 材 料
土工织物	针 织 物 (knitted fabric)	单 丝 (mono filament)、多 丝 (multi filament)、各种细股丝
	机 织 物 (woven fabric)	单丝、多丝、成股丝、条膜 (strip film)
	无 纺 织 物 (nonwoven fabric)	纤维 (fiber)
	复 合 纤 维 (composite fabric)	各种原材料的组合
相关产品	条 带 编 织 物 (web webbing)	带状薄膜 (strip)
	(土工)垫 (mats)	刚性大网眼粗纤维 (coarse rather rigid)
	(土工)网 (nets)	挤压出的塑料纤维、丝股为 1 ~ 5 mm
	(土工)格栅 (grids pplymer grids)	聚乙烯、聚丙烯的有孔眼的薄膜状物质
	泡沫塑料 (formed plastic)	有皱起波纹的多孔眼塑料
	复合材料	~ 的材料组合

这一分类未能纳入土工膜，而且土工织物相关产品也不确切。近些年比较一致的看法是把所有土工用的合成材料统称为土工合成

材料 (geosynthetics)。Geosynthetics World (土工合成材料世界) 介绍有关产品和技术讨论时把土工合成材料细分为五类，即土工织物、土工膜、土工格栅土工网、土工排水材料、土工复合材料。

土工合成材料分类随着新材料和新技术的发展还将不断有所变化。我国于 1998 年由水利部会同有关部门共同制定的《土工合成材料应用技术规范》，把土工合成材料分为四大类，即土工织物、土工膜、土工复合材料和土工特种材料，如图 1-1 所示。

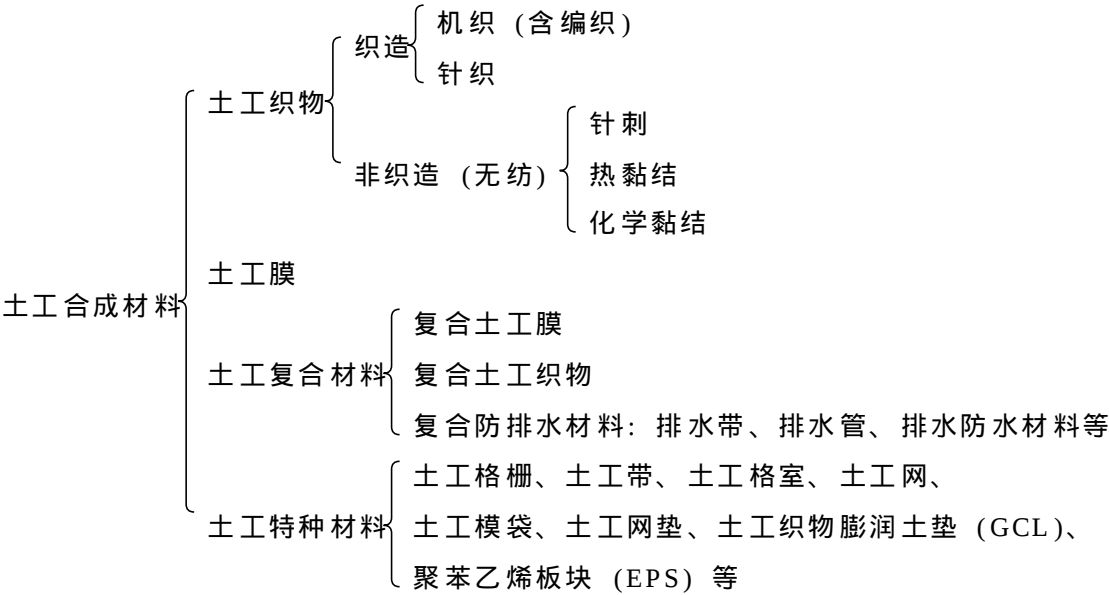


图 1-1 土工合成材料的分类

1.3 土工合成材料的技术标准

选择和应用土工合成材料时，必须了解材料的工程性质，以便正确确定设计参数。有些性质参数是生产厂家提供的，例如产品的类型、聚合物的种类、加工工艺及产品规格等。同一种类型的材料，因为加工工艺及制造过程的不同，其工程性质有时差别很大。因此，使用单位对厂家提供的数据应采取慎重的态度，应抽样试验进行核实和确定。

土工合成材料试验迄今尚无公认的技术规范和试验方法。现行的试验方法多数来源于其他专业，如岩土、纺织、高分子化学等。

国际上，一些国家为了发展本国的土工织物标准试验方法设立