

辽宁省自然科学基金资助项目

土工合成材料 在寒区 堤岸防护工程中 应用研究与实践

王殿武
邹大鹏
王铁生
曹广祝

主编



辽宁科学技术出版社
LIAONINGKEXUEJISHUCHUBANSHE

辽宁省自然科学基金资助项目

土工合成材料在寒区堤岸防护 工程中应用研究与实践

王殿武 邹大鹏 王铁生 曹广祝 著

辽宁科学技术出版社

·沈阳·

图书在版编目 (CIP) 数据

土工合成材料在寒区堤岸防护工程中的应用 / 王殿武等著 .—沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2005. 6

ISBN 7-5381-4455-2

I. 土… II. 王… III. 土木工程—合成材料—应用—冻土区—护岸 IV. U656.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 039982 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮编: 110003)

印刷者: 辽宁印刷集团美术印刷厂

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 19

字 数: 440 千字

印 数: 1 ~ 600

出版时间: 2005 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2005 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 刘晓娟

封面设计: 苍晓东

版式设计: 玉 莲

责任校对: 刘 庶 王玉宝 史莉华

定 价: 60.00 元

联系电话: 024-23284360

邮购热线: 024-23284502 23284357

E-mail: lkzsb@mail.lnpgc.com.cn

http: //www.lnkj.cn

内 容 提 要

本书是基于作者多年来结合辽宁省几大河流防洪护岸或海堤防护工程进行土工合成材料应用技术研究取得的两项国际先进水平、四项国内领先水平科研成果，建立的四处水利部土工合成材料应用示范工程，尤其是1998年长江及松花江、嫩江大水过后东北地区大规模河道整治工程上千万平方米土工合成材料的应用研究与实践成果，以及国内外相关资料研究分析撰写而成的。

本书全面论述了土工合成材料新技术的现状和发展。对河道险工的类型、成因和发展及其危害进行了系统的理论分析和阐述；并结合多年试验研究成果和工程应用实践，较为系统地介绍了寒区堤岸防护工程应用的土工合成材料类型及其工程性能指标；重点介绍了土工合成材料老化性能试验分析研究成果。尤其是长达16年跟踪工程实例进行的老化试验成果，为工程放心地选择土工合成材料提供了新的可靠依据。根据防护工程受间歇水流作用或冲刷作用的特点，通过室内试验、现场淘刷试验、工程应用实测分析及理论分析研究，提出了较大孔径织造布用于防护工程中的反滤新准则： $O_{90} \leq 10d_{90}$ ，突破了目前国内外普遍采用的 $O_{90} \leq (1 \sim 2)d_{90}$ 设计指标。结合多年试验研究成果，试验示范工程及典型工程实例，工程大规模应用实践总结，提出了一整套土工合成材料堤岸防护工程设计、施工方法，具有寒区特色和创新性。结合辽宁省河道工程实际情况，介绍了土工合成材料堤岸防护工程定额的研究成果。经效益分析表明，土工合成材料在东北寒区堤岸防护工程中的应用至少已节省工程直接投资9.4亿元以上，取得直接经济效益超过15亿元以上，防洪效益可达200亿元以上。

本书可供科研、大专院校研究人员和师生参考，有关工程设计、施工、建设、监理及管理部門的广大工程技术人员和管理人员借鉴或参考。

前 言

土工合成材料以其性能优良,施工简便,显著降低工程造价和易于解决复杂、难度大的工程技术问题的独特优势而被称作“第四大工程材料”,越来越广泛地应用于土木工程中的各个领域。针对土工合成材料在寒区堤岸防护工程应用中存在的工程特性试验、保土性设计准则、抗老化性能、工程结构设计和施工等诸多方面问题,结合1998年长江及松花江、嫩江大水过后东北地区大规模的河道整治工程上千万平方米土工合成材料的应用,尤其是辽宁省“九五”期间投资9.42亿元的浑河、大辽河整治和1998年开始的丹东鸭绿江(中国侧)防洪护岸工程建设以及1999年立项的“河道险工综合治理技术研究”辽宁省重大科技攻关项目,并在辽宁省自然科学基金(项目编号:20032095)资助下,开展了“土工合成材料在寒区堤岸防护工程中应用研究与实践”项目研究工作。

本书在查阅大量国内外文献基础上,根据作者多年从事土工合成材料新技术研究取得的成果和经验,全面论述了土工合成材料新技术的发展过程及现状。包括土工合成材料的定义、分类和应用领域,土工合成材料的发展历程,土工合成材料的特性、功能和应用情况。尤其是论述了土工合成材料技术发展所面临的前沿课题,包括材料品种,力学特性试验与加筋设计,水力学特性试验与滤层设计,土工膜渗透特性与防渗厚度设计,蠕变、老化和其他特性以及施工技术等方面存在的需要进一步研究解决的问题。

堤岸防护主要是指对河道险工险段的整治,而整治险工险段历来都是河道整治工程的重要组成部分。只有清楚不同险工险段的特点、成因及发展趋势和危害程度,才能“对症下药”,选择最优的治理技术措施。因此本书对河道险工的类型、成因和发展及其危害进行了系统的理论分析和阐述,为河道险工治理技术措施的选择提供了科学依据。

土工合成材料在防洪护岸工程上的广泛应用,已引起了“治河工程的一场革命”。1998年全国土工合成材料应用量达4亿 m^2 ,80%以上都集中在防洪工程上。本书结合多年试验研究成果和工程应用实践,较为系统地介绍了寒区防洪工程应用的土工合成材料类型及其工程性能指标,渗透、摩擦、渗流等土工合成材料与接触材料的性能试验成果,尤其是土工合成材料在寒区工程上应用的抗冻性能试验成果,对寒区堤岸防护工程推广应用土工合成材料这种新技术具有重要指导意义。同时进行了系统的土工合成材料老化性能试验分析研

究,尤其是长达16年跟踪工程实例进行的老化试验成果,为工程放心地选择土工合成材料提供了新的可靠依据。根据防护工程受间歇水流作用或冲刷作用的特点,通过室内试验、现场淘刷试验、工程应用实测分析及理论分析研究,提出了较大孔径织造布用于防护工程中的反滤新准则: $O_{90} \leq 10d_{90}$,突破了目前国内外普遍采用的 $O_{90} \leq (1 \sim 2) d_{90}$ 设计指标,从而为较大孔径土工织物推广应用提供了新的依据。

土工合成材料用于河道治理工程中具有反滤、隔离、防冲、防渗、整体性、适应性六大功能作用。土工合成材料主要用于平顺护岸的护坡滤层、平顺护岸护脚的防冲垫层、丁坝护底(或充填坝体)、盖重压载防冲、模袋混凝土、沙基沙堤防渗、围堰及度汛抢险等临时性工程措施。东北地区河道治理工程应用的土工合成材料主要有织造(机织、编织)土工织物、非织造(无纺)土工织物、土工膜、复合土工织物、复合土工膜、土工模袋、土工格栅等多种类型。结合多年试验研究成果,试验示范工程及典型工程实例,工程大规模应用实践总结,提出了一整套土工合成材料堤岸防护工程设计、施工方法,尤其是提出的冻胀、冰压力设计参数的确定,以及综合考虑风浪、冻胀、冰压力、水力冲刷、渗流等作用的设计步骤和方法,具有理论系统性、实际可操作性,同时具有寒区特色和创新性;软体排冬季冰期施工工艺(包括冰上铺排自然沉排、冰上铺排强制性沉排、冰下下排)填补了土工织物施工技术方面的一项空白;液压机械开槽及抓斗成槽垂直铺设土工膜进行沙堤沙基防渗施工也具有开拓性和创新性;机织模袋混凝土护岸填补了辽宁省河道治理新技术的一项空白。

通过系统分析表明,土工合成材料在东北寒区堤岸防护工程中的应用已取得十分显著的经济效益、社会效益和环境生态效益。主要体现在三个方面:一是采用新材料、新技术、新成果比传统护岸型式或方法节省的工程直接投资;二是按已完成防洪工程分摊防洪效益;三是生态效益和社会效益。

基于作者多年来结合辽宁省几大河流防洪护岸或海堤防护工程进行土工合成材料应用技术研究取得的两项国际先进水平、四项国内领先水平科研成果,建立的四处水利部土工合成材料应用示范工程,尤其是1998年长江及松花江、嫩江大水过后东北地区大规模河道整治工程上千万平方米土工合成材料的应用研究与实践成果,以及国内外相关资料研究分析成果撰写而成的《土工合成材料在寒区堤岸防护工程中应用研究与实践》一书,将为推动土工合成材料这一新兴学科的发展起到积极促进作用。

全书共分8章。第1章,概述;第2章,江河防洪要素及险工形成机理;第3章,堤岸防护工程中土工合成材料特性试验研究;第4章,土工合成材料老化性能试验研究;第5章,土工织物防护工程反滤准则试验研究;第6章,

寒区土工合成材料堤岸防护工程设计；第7章，寒区土工合成材料堤岸防护工程施工技术；第8章，土工合成材料在寒区堤岸防护工程中应用实践。第4、第6、第7章及第1、第2、第3、第5、第8章大部分内容均由王殿武撰写；王铁生撰写了第2、第3章部分内容；邹大鹏撰写了第1、第8章部分内容；曹广祝撰写了第5章部分内容及全书的插图绘制；全书由王殿武统稿。

由于本书涉及内容古老而新颖，作者的知识深度和广度有限，故书中难免有误，诚请读者批评指正。

作 者

2005年1月

目 录

第1章 概 述	1
1 土工合成材料的定义、分类和应用领域	1
2 土工合成材料的发展历程	2
3 土工合成材料的特性、功能及应用	6
4 土工合成材料技术发展现状及前沿课题	13
5 本研究的主要内容及重大意义	18
第2章 江河防洪要素及险工形成机理	21
1 江河防洪基本知识	21
2 江河险工类型	29
3 险工的成因发展及危害	30
4 本章小结	49
第3章 堤岸防护工程中土工合成材料特性试验研究	51
1 土工合成材料工程特性的基本概念	51
2 土工合成材料基本工程性能试验	53
3 国内外有关试验成果	62
4 本章小结	71
第4章 土工合成材料老化性能试验研究	73
1 土工合成材料老化原因及其机理	73
2 土工合成材料老化试验方法	77
3 土工织物的老化试验研究	78
4 土工膜的老化试验研究	87
5 土工特种材料老化试验研究	92
6 土工合成材料老化试验结果理论分析	95
7 土工合成材料的防老化措施	100
8 本章小结	101
第5章 土工织物防护工程反滤准则试验研究	104
1 土工织物的反滤特性和机理	104
2 已有反滤准则	105
3 较大孔径织造布保土性准则的试验研究	107
4 较大孔径织造布保土性准则的理论研究	115
5 较大孔径织造布保土性设计新准则及影响因素	126
6 本章小结	127

第6章 寒区土工合成材料堤岸防护工程设计	129
1 寒区土工合成材料堤岸防护工程主要结构型式	129
2 寒区土工合成材料堤岸防护工程主要设计参数的确定	135
3 寒区土工合成材料堤岸防护护坡工程设计	147
4 寒区土工合成材料堤岸防护护脚(底)工程设计	160
5 坝(墙)式护岸工程设计	167
6 土工膜防渗工程设计	173
7 本章小结	189
第7章 寒区土工合成材料堤岸防护工程施工技术	192
1 土工织物反滤与排水施工	192
2 土工织物软体排护脚(底)施工	195
3 土工模袋混凝土施工	202
4 沙堤沙基防渗工程施工	212
5 本章小结	229
第8章 土工合成材料在寒区堤岸防护工程中应用实践	233
1 应用情况简述	233
2 典型工程实例	234
3 土工合成材料防洪护岸工程预算定额	271
4 效益分析	274
5 本章小结	283
结 语	285
参考文献	290

第 1 章 概 述

土工合成材料是应用于岩土工程中合成材料的统称。土工合成材料的最早应用可追溯到 20 世纪 20 年代。1926 年美国公路部门曾采用过在棉布上洒沥青而制成的材料,其型式类似于土工膜。其后,人们曾采用聚氯乙烯土工膜作为游泳池的防渗材料。美国垦务局 1953 年在渠道上首先应用聚乙烯薄膜,1957 年开始应用聚氯乙烯薄膜。1959 年意大利的 Contrada Sobeta 堆石坝使用聚异丁烯合成橡胶薄膜。1960 年捷克的 Dobsina 堆石坝使用聚氯乙烯薄膜。苏联以聚乙烯膜进行渠道防渗也有较长历史。1958 年,美国佛罗里达州利用聚氯乙烯织物作为海岸块石护坡的垫层,被认为是应用现代土工合成材料的开始。以近代人工聚合物为原料的土工织物最早大规模应用的实例,是 20 世纪 50 年代初的荷兰三角洲工程,据估计,用量超过了 1 000 万 m^2 ,大大促进了土工合成材料的工程应用^[1]。

1 土工合成材料的定义、分类和应用领域

1.1 土工合成材料的定义

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、反滤、防渗、排水或保护土体的作用。土工合成材料可分为土工织物、土工膜、复合土工合成材料和特种土工合成材料等类型。目前国内五个工程应用方面的规范均有表述,大同小异。现将 GB 50290—1998《土工合成材料应用技术规范》^[26]的表述列出:土工合成材料(Geosynthetics)系指工程建设中应用的土工织物、土工膜、土工复合材料、土工特种材料的总称。目前出现的已有大约 20 多种不同类型。常见的几种土工合成材料类型的定义表达如下:

(1) 土工织物(Geotextile) 系指透水性土工合成材料。按制造方法不同分为织造土工织物(Woven geotextile)和非织造(无纺)土工织物(Nonwoven geotextile)。织造土工织物系指由纤维纱或长丝按一定方向排列的机织土工织物;非织造土工织物系指由短纤维或长丝按随机或定向排列制成的薄絮垫,经机械结合、热黏或化黏而成的织物。

(2) 土工膜(Geomembrane) 系指由聚合物或沥青制成的一种相对不透水薄膜。

(3) 土工格栅(Geogrid) 系指内有规则的网状抗拉条带形成的用于加筋的土工合成材料。其开孔可容周围土、石或其他土工材料穿入。

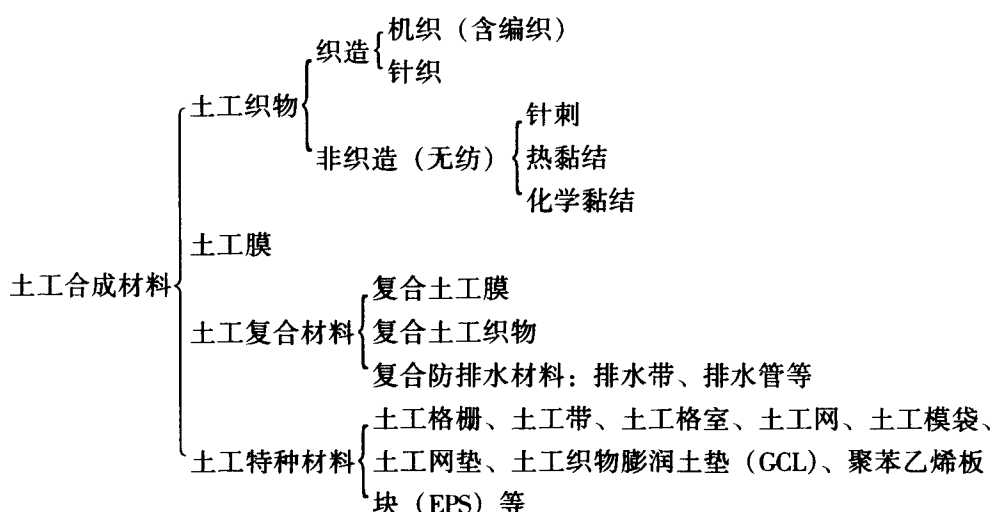
(4) 土工网(Geonet) 系指由平行肋条经以不同角度与其上相同肋条黏结为一体的用于平面排液、排气的土工合成材料。

(5) 土工模袋(Geofabriform) 系指由双层化纤织物制成的连续或单独的袋状材料,其中充填混凝土或水泥砂浆,凝结后形成板状防护块体。

(6) 土工复合材料 (Geocomposite) 系指由两种或两种以上材料复合成的土工合成材料。

(7) 塑料排水带 (Strip geodrain) 系指由不同凹凸截面形状, 具有连续排水槽的合成材料芯材, 外包无纺土工织物构成的复合排水材料。

1.2 土工合成材料的分类^[26~30]



1.3 土工合成材料应用领域

土工合成材料目前已被广泛应用于水利、水电、电力、公路、铁路、建筑、海港、水运、采矿、军工等工程的各个领域。

2 土工合成材料的发展历程

2.1 古代岩土工程材料

以天然植物作为岩土工程材料, 已经有几千年的历史。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^[62], 至今约有五六千年。今天在玉门一带仍可见用砂、砾石和红柳或芦苇压叠而成的汉长城遗址^[61], 在许多缺少石料的偏僻农村, 一些住房的墙体、火炕的土坯或房顶防雨层, 甚至城郊一些蔬菜大棚的墙体还仍用稻草、禾谷秸秆等加筋土泥做成。由此可见, 这种土中加筋的建筑方法, 在中国一直延续到今天。水利工程利用梢料、柳枝、秸料、竹苇、麻绳、木桩等天然纤维材料进行河道护岸工程或抢险工程历史也是相当悠久的, 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。”可见当时的堵口技术就已比较成熟了。以后逐代改进, 利用梢料、柳枝、秸料、竹苇、麻绳、木桩等杂料, “以土压之, 杂以碎石”形成了我国所特有的“埽工”。国外用木排修筑道路, 用土中加筋修筑庙塔等利用天然植物作为岩土工程材料的历史也有四五千年。远在公元前 3000 年以前, 英国人

就曾在沼泽地带用木排修筑道路^[87]。公元前 2000 年至 1000 年,古巴比伦人曾利用土中加筋修筑庙塔。到 20 世纪 20 年代,美国还试用棉织品加强路面,在第二次世界大战中,英国曾在路基上铺放梢辊和帆布,以便装甲车通过^[75]。20 世纪初叶,美国利用金属构件分层加固一座土坝的下游坝坡,为岩土工程开辟了一个新领域。到 20 世纪 60 年代,金属加筋的应用得以迅速推广^[1],以后又逐渐发展到利用钢筋混凝土构件作为土的加筋材料。天然植物作为岩土工程材料致命的缺点就是易腐烂,不能耐久。金属的应用虽然提高了一步,但由于金属容易腐蚀,抵御化学腐蚀的能力较弱,而且成本较高,因而限制了使用的范围。

2.2 现代土工合成材料简史

近代土工合成材料的发展是与人工聚合物——塑料、合成纤维和合成橡胶的发展分不开的。人工聚合物的发展始于 19 世纪 70 年代至 20 世纪初,直到 20 世纪 30 年代至 50 年代才使得不同类型的合成纤维投入生产并得到广泛应用。合成材料开始应用于土工建筑上的确切年代已很难考证。据推测,大约在 20 世纪 30 年代或 40 年代初,聚氯乙烯薄膜首先应用于游泳池的防渗^[99],之后于 20 世纪 50 年代至 60 年代大量塑料防渗薄膜被广泛地应用于灌溉工程的渠道防渗,以后又发展到水闸、土石坝和其他一些建筑物。合成纤维在土工中的应用始于 20 世纪 50 年代末期。1958 年, R. J. Barrett 在美国佛罗里达州利用聚氯乙烯织物作为海岸块石护坡的垫层,一般认为是现代土工织物的开端。实际上,在 1957 年以前,以合成纤维织物做成的沙袋已经在荷兰、德国、日本等国家应用了^{[75][101]}。20 世纪 60 年代,合成纤维土工织物在美国、欧洲和日本逐渐推广^[69]。于 20 世纪 60 年代末期非织造土工织物(无纺布)的应用,给土工合成材料带来新的生命。1968~1970 年,法国和英国相继将其应用于无路面道路,德国用于护岸工程^[77]。在 20 世纪 70 年代,这种土工织物很快地从欧洲传播到美洲、西非洲和澳洲,最后传播到亚洲。

“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”。这两个名词使用了许多年。近十年来大量的以合成或聚合物为原料的其他类型的土工合成材料纷纷问世,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”^[1](Geosynthesics)一词来概括各种类型的材料,最近几年这一名词已被多数工程师所接受,国际、国内目前已经形成了规范的统一名词,即“土工合成材料”。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也在迅速提高,使其逐渐形成一门新的边缘性学科。它以岩土力学为基础,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 年在法国巴黎召开的“织物在岩土工程中的应用国际会议”被看成是第一届国际土工织物会议。1982 年在美国 Las Vegas 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(IGS)”。1984 年在美国的 Denver 召开了“国际土工膜会议”。1986 年在奥地利维也纳召开了“第三届国际土工织物会议”,我国有 3 名代表参加了会议。1990 年在荷兰海牙召开了“第四届国际土工织物、土工膜及有关产品会议”,我国有 5 位代表参加,并提交论文 5 篇。1994 年在新加坡召开了“第五届国际土工织物、土工膜及有关产品会议”^[7-9],我国有 15 位代表参加,提交论文 10 篇。1998

年在美国的 Atlanta 召开了“第六届国际土工合成材料学术会议”^{[10][11]}，我国有 12 名代表参加，提交论文 9 篇。2002 年 9 月在法国巴黎尼斯召开了“第七届国际土工合成材料学术会议”，我国有 30 多名代表参加，提交论文 37 篇。在这期间还召开了很多地区性或专门性的国际会议，大大促进了这一新材料和新技术的发展。据估计，全世界每年应用土工合成材料的工程至少达万项以上，土工合成材料应用的年需求量达 10 亿 m^2 以上^[6]。

合成材料在我国的应用开始于 20 世纪 60 年代中期，首先是塑料薄膜在渠道防渗方面的应用，较早的工程有河南人民胜利渠、陕西人民引渭渠、北京东北旺灌区和山西的几处灌区。主要原料是聚氯乙烯，个别是聚乙烯，薄膜厚度 0.12 ~ 0.38mm，效果都良好^[1]。以后推广到水库、水闸和蓄水池等工程。1965 年为了防治桓仁水电站混凝土支墩坝的裂缝漏水，用沥青聚氯乙烯热压膜锚固并粘贴于上游坝面，取得了良好的防治效果，是我国利用土工合成材料处理混凝土坝裂缝的首例^[48]，同年在河北省子牙新河献县枢纽，曾利用黏土夹塑料薄膜作为进洪闸上游护坦的防渗措施。1979 ~ 1980 年宁夏石嘴山市修建了一座容积为 25 万 m^3 的蓄水池，采用厚度为 0.1mm 的聚氯乙烯薄膜防渗，运用多年，效果良好^[54]。1984 年陕西西骆峪水库采用三层厚 0.06mm 的聚乙烯薄膜防止库区渗漏。从 1983 年开始，北京市采用了编织布与塑料薄膜相结合的复合型结构型式，解决了十几处已建中小型水利工程的渗漏问题，取得了成功的经验^[46]。这一结构型式曾被推广到其他省市。较厚的土工膜到 20 世纪 80 年代中期才在我国开始应用。1986 年，河北省在乱木水库利用 0.8mm 的聚氯乙烯土工膜处理了库区台地的渗漏。1989 年，水口水电站利用土工织物和土工膜的复合物修筑堆石围堰的心墙。近几年来完成的或施工中的一些较大型工程，多数采用单层的较厚的土工膜^[51]。

土工织物的应用，在我国起步较晚，但发展很快。1976 年在江苏省长江嘶马护岸工程中，首先使用由聚丙烯扁丝织成的编织布，结合聚氯乙烯绳网和混凝土块压重，组成软体排，防止河岸冲刷。类似的软体排相继应用在江苏省江都西闸和湖北省长江堤防工程。进入 20 世纪 80 年代，编织布的应用日渐增多，除用于软体排外，还普遍应用于制造土、砂、石袋、土枕、石枕以及软弱地基加固等工程。非织造型土工织物（一般简称无纺布物）的应用，开始于 20 世纪 80 年代初期。从 1981 ~ 1985 年，铁路部门曾布置了几十个试验路段，利用无纺布物防止基床的翻浆冒泥，成功率达 90% 以上。1984 年，云南的军用道路及江苏和吉林省的一些公路利用无纺布物提高路基强度，解决路基沉陷及翻浆冒泥等问题。针刺型无纺布物在水利工程中的应用发展更为迅速。1984 ~ 1985 年间，云南的麦子河水库，江苏昆山的暗管排水工程，内蒙古的翰嘎利水库，天津的鸭淀水库，黑龙江的引嫩工程，河北的庙宫水库都用其作为反滤层。经过几年的考验，效果全都良好^[2-6]。自 20 世纪 80 年代中期以后，无纺布物的应用很快推广到储灰坝、尾矿坝、水坠坝、港口码头、海岸护坡以及地基处理等工程。随着应用范围的不断扩大，生产针刺型土工织物的工厂也如雨后天春笋般纷纷建立起来。

另外，还有几种土工合成材料在我国发展也很快。一种是加固软土地基的塑料排水板（带），从 1981 ~ 1983 年在天津新港试用以后，到 20 世纪 80 年末期，已应用于七八个省市的港口码头、高速公路、电厂厂房、飞机场、铁路等工程^{[1][51]}；一种是浇筑混凝土用的化纤模袋，开始试用于江苏省的南官河口岸，到 20 世纪 80 年代末期，已推广到七八个省市

三十几项工程,仅辽宁省大洼三角洲的平原水库护坡一处工程就应用近 30 万 m^2 土工模袋,1998 年长江大洪水过后,此项技术在大江南北、东北地区更得到了广泛应用^{[1][139]};另一种是塑料低压输水管道,20 世纪 70 年代末从国外引进,目前已普遍应用于河北、山东、河南、山西、东北各省和京、津两市广大的井灌区^[1]。其他类型的土工合成材料,如合成橡胶、塑料锚杆、塑料条带、泡沫塑料、塑料格栅等,也已在我国某些工程中应用,但为数尚不太多。

随着土工合成材料的普遍推广,试验研究工作和有关学术团体也蓬勃发展起来。许多学校和科研单位,或制订研究计划,或举办短期培训,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“土工合成材料技术协作网”,同年在天津召开了“全国土工织物学术讨论会”^[2]。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“第二届全国土工合成材料学术讨论会”^[3],同时成立了“国际土工织物学会中国委员会”(相当于中国分会)。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”^[4]。1995 年在“土工合成材料技术协作网”的基础上正式成立了国家一级学术组织——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会议”^[5]。2000 年在湖北宜昌召开了“第五届全国土工合成材料学术会议”^[6]。2004 年在陕西西安市召开了第六届全国土工合成材料学术会议^[7]。六次学术会议都编辑出版了专门学术会议论文集,收录的论文都在百篇以上。第五届会议收录学术论文多达 180 篇,共分六个主题,即①反滤与排水,14 篇;②防渗,22 篇;③加筋与加固,54 篇;④防护与环保,24 篇;⑤产品与测试,24 篇;⑥其他,16 篇。此外还有特邀报告和专题报告 26 篇^[6]。第六届会议收录论文 86 篇,总数比往届少了一些,但还是涵盖了材料的基本功能和各行各业的工程类别,其内容是非常丰富的,新颖的。尤其是一些以特大型工程为主体的论文,展示了我国近年来在长江入海口、多年冻土区、沙漠地带、水毁修复和垃圾填埋等一些新领域的新成就,其中长江入海口深水航道的治理工程使用土工织物 3285 万 m^2 ,创下了世界之最,青藏铁路永久冻土区,1998 年大洪水过后修复和加固 1000 多千米“三江”堤防,新建 2 万 km 高速公路及上百个环工填埋场,土工合成材料的大规模的应用,均具有重要创新和影响作用。许多省市或地区也成立了相应的土工合成材料学会或分会组织,并分别召开了许多地区性的学术会议或学术活动。这些学术团体和学术活动有效地推动了土工合成材料生产和应用技术在我国的发展。据估计,我国至 1996 年已在近万项土建工程上应用了土工合成材料,总用量达 $2.0 \text{ 亿} \sim 3.0 \text{ 亿 m}^2$ 。1998 年长江、嫩江大洪水过后,由于当时朱镕基总理的重视和多次批示及有关部委的大力推广,使 1998 年全国土工合成材料总用量达到空前的 4 亿 m^2 ,比美国年用量还多,为世界之最^[6]。

纵观现代土工合成材料在我国三十多年的发展史,可将其应用历程大致分为三个阶段:20 世纪 80 年代中期以前的初创阶段;20 世纪 80 年代中期至 90 年代中期的发展阶段;20 世纪 90 年代后期开始的逐渐成熟阶段,主要表现为:①材料产品的多样性。几乎所有土工合成材料品种都有了国内自己的产品,有些品种的质量达到国际同类产品的先进水平;②使用的广泛性。几乎所有可以采用土工合成材料的部门都在积极使用这种新材料,以往使用较少的环保工程方面,近年也在逐步推广;③应用技术不断进步。国家或行业上

百项示范工程的确立、49项国家或行业规范和标准的发布与贯彻是应用技术渐趋成熟的一个标志。然而,由于土工合成材料作为一项新技术,在我国应用的历史尚短,同时,我国科技及科技人员的总体水平还不高,因此我国目前的土工合成材料发展水平,总的来说,还处在“初级阶段”。不论在产品方面,还是在应用技术方面,大体上仍然是仿照外国的技术和经验,而创新的、自主发展的技术寥寥可数,即使有一些也尚显粗糙并未能形成气候,土工合成材料的特点和长处远没有充分显现,与国外在技术上的差距并没有缩小的迹象。因此今后的任务仍然是任重而道远^[6]。

3 土工合成材料的特性、功能及应用

3.1 制造土工合成材料的高分子聚合物种类及主要性能

合成是将简单的物质(元素或化合物)制成较复杂物质的方法。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。它们都是制造土工合成材料的素材。高分子化合物(高聚物)是制造合成材料的基础原料。高聚物的种类甚多,一般常用做土工合成材料基础材料或素材的有:①聚乙烯(Polyethylene或Polythene,缩写:PE);②聚丙烯(Polypropylene,缩写:PP);③聚酯(Polyester,缩写:PET);④聚酰胺(Polyamide,缩写:PA);⑤聚乙烯醇(Polyvinyl alcohol,缩写:PVA);⑥聚氯乙烯(Polyvinyl chloride,缩写:PVC);⑦聚丙烯腈(Polyacrylonitrile,缩写:PAN);⑧聚烯烃(Polyolefin);⑨聚四氟乙烯(Polytetrafluoroethylene,缩写:PTEE);⑩聚氨基甲酸酯(Polyurethane,缩写:PUR);⑪腈橡胶(Nitrile rubber);⑫氯醇橡胶(Chlorophdrin rubber);⑬氯丁橡胶(Neprene);⑭丁基橡胶(Butyl rubber);⑮聚苯乙烯(Polystyrene,缩写:PS)等^[1]。

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。人造纤维是利用自然界的天然高分子化合物——纤维素、蛋白质作原料分别制成的人造纤维素纤维和人造蛋白质纤维。合成纤维是用高聚物为原料,经过熔融或溶解成为黏稠纺丝液,在一定压力下由喷丝头喷丝,并经加工而制成的化学纤维的总称。通常合成纤维成丝后,强度低,手感硬脆,经过一系列处理如拉伸、水冲、上油、干燥、定型等过程而成纤维丝。制长丝还需要加拈和络丝,制短纤维则需经过卷曲和切断等工序,最后得到合成纤维。合成纤维与人造纤维相比,特点是强度较高,吸湿性较小,但染色较难。商品上把人造纤维中的短纤维称纤;而合成纤维中的短纤维一律称纶;人造和合成的长丝则都称长丝。合成纤维原则上是依照其原料构成的物质而命名。如以聚丙烯为主体原料制成的纤维称聚丙烯纤维;以聚氯乙烯为基本原料的称聚氯乙烯纤维,等等。为了通俗易记,商业产品名称统一将聚酯纤维称为涤纶;聚丙烯纤维称为丙纶;聚乙烯醇纤维称为维纶;聚氯乙烯纤维称为氯纶;聚丙烯腈纤维称为腈纶;聚酰胺纤维称为锦纶。土工合成材料素材的一般性能指标包括:其构成的原料,细度,相对密度,强度和延伸率,回弹率和弹性模量,吸湿率和回潮率,电性能(带电性和静电作用),耐磨性,染色性,热、气候、暴露、酸、碱及其他化学品的影响,生物、虫蛀的影响等^[1]。现将目前用于生产制造土工合成材料的六大纶

主要性能指标比较列于表 1-1。

表 1-1 土工合成材料素材六大纤维主要性能比较表^[22]

商业名称	锦纶	涤纶	腈纶	氯纶	维纶	丙纶
化学名称	聚酰胺纤维	聚酯纤维	聚丙烯腈纤维	聚氯乙烯纤维	聚乙烯醇纤维	聚丙烯纤维
干强度 (g/D)	4.5~7.5	4.7~6.5	2.5~5.0	2.5~4.0	4.0~6.5	4.5~7.5
湿强度 (g/D)	3.7~6.4	4.7~6.5	2.0~4.5	2.5~4.0	3.2~5.2	4.5~9.5
断裂伸长率 (%)	25~60	30~50	25~50	20~70	12~26	30~60
伸长 3% 时弹性率 (%)	95~100	90~95	90~95	70~85	70~85	96~100
硬度 (g/D)	18~23	21	5.5~10	12		12
标准吸湿率 (%)	4.5	0.4~0.5	1.2~2.0	0	4.5~5.0	0
耐晒性	较差	优	优	良好	良好	差
耐热性	180℃软化	240℃软化	190℃软化	70℃收缩	220℃软化	140℃软化
耐酸性	良好	优	优	优	良好	优
耐碱性	优	优	优	优	优	优
耐有机溶剂	优	优	优	优	优	优
耐蛀性	优	优	良好	优	良好	优
耐霉性	优	优	优	优	良好	优

注：D——旦，纤维单位。定长 9000m、重 1g 为旦。

3.2 土工合成材料的工程特性

土工合成材料的特性与其生产原料、制造工艺、纤维组成等性能密切相关，至于其产品形态、原料性能、合成纤维的性能系由出厂前生产部门掌握和控制。此处所讲的土工合成材料的特性系指合成材料用于工程中需要考虑的有关特殊性能指标，一般应包括表 1-1 所列内容，并按工程设计需要确定试验项目：

- (1) 物理性能 单位面积质量、厚度（及其与法向压力的关系）、材料比重、孔径等。
- (2) 力学性能 条带拉伸、握持拉伸、撕裂、顶破、CBR 顶破、刺破、直剪摩擦、拉拔摩擦、蠕变等。
- (3) 水力学性能 垂直渗透系数、平面渗透系数、淤堵、防水性等。
- (4) 耐久性能 抗紫外线能力、化学稳定性、抗冻融性能和生物稳定性等。

上述指标的测试宜模拟工程实际条件进行，并应分析工程实际环境对指标测定值的影响^{[1][18]}。

SL/T 235—1999《土工合成材料测试规程》^[32]收编了 19 个土工合成材料性能指标测试项目，包括：①单位面积重量测定；②厚度测定；③孔径试验（干筛法）；④垂直渗透试验；⑤水平渗透试验；⑥条样拉伸试验；⑦握持拉伸试验；⑧撕裂试验；⑨胀破试验；⑩ CBR 顶破试验；⑪刺破试验；⑫土工膜抗渗试验；⑬直剪摩擦试验；⑭拉拔摩擦试验；⑮土工格栅、土工网及土工带拉伸试验；⑯塑料排水带芯带压屈强度与通水量试验；⑰软式

透水管试验；⑮蠕变试验；⑯淤堵试验。

3.3 土工合成材料的功能^{[1][19][20][139]}

(1) 反滤作用 把土工织物置于土体表面或相邻土层之间，可以有效地阻止土颗粒通过，从而防止由于土颗粒的过量流失而造成土体的破坏。同时允许土中的水或气体穿过织物自由排出，以免由于孔隙水压力的升高而造成土体的失稳等不利后果。把土工织物置于夹有泥沙的流水之中，可以起拦截泥沙的作用。

(2) 排水作用 有些土工合成材料可以在土体中形成排水通道，把土中的水分汇集起来，沿着材料的平面排出体外。较厚的针刺型无纺布和某些具有较多孔隙的复合型土工合成材料都可以起排水作用。

(3) 隔离作用 有些土工合成材料能够把两种不同粒径的土、砂、石料，或把土、砂、石料与地基或其他建筑物隔离开来，以免相互混杂，失去各种材料和结构的完整性，或发生土粒流失现象。土工织物和土工膜都可以起隔离作用。

(4) 加筋作用 很多土工合成材料埋在土体之中，可以分布土体的应力，增加土体的模量，传递拉应力，限制土体侧向位移；还增加土体和其他材料之间的摩擦阻力，提高土体及有关建筑物的稳定性。土工织物、土工格栅、土工网及一些特种或复合型的土工合成材料，都具有加筋功能。

(5) 防渗作用 土工膜和复合型土工合成材料，可以防止液体的渗漏、气体的挥发，保护环境或建筑物的安全。

(6) 防护作用 多种土工合成材料对土体或水面，可以起防护作用。土工织物、注浆模袋、土砂石织物袋、土砂石织物枕、织物软体排等材料防止河岸或海岸被冲刷；土工膜防止垃圾、废料或废液污染地下水或散发臭味。

3.4 土工合成材料的应用^{[1][6][21][23][24][25][139]}

3.4.1 反滤及排水

可根据工程反滤、排水需求，合理选用土工织物、土工复合材料和土工管等。采用土工合成材料作反滤、排水设施的主要工程有：

- (1) 铁路、公路反滤、排水设施。
- (2) 挡墙后排水系统。
- (3) 岸墙后填土排水系统。
- (4) 隧洞、隧道衬砌后排水系统。
- (5) 土石坝过渡层，灰坝、尾矿坝反滤层。
- (6) 防渗铺盖下排气、排水系统。
- (7) 农田水利工程、减压井、农用井等外包体。
- (8) 地基处理塑料排水带预压工程，如图 1-1、图 1-2。

3.4.2 隔离

- (1) 铁路道碴与路基之间的隔离层，或路基与软弱地基之间的隔离层。