

TECHNIQUE AND APPLICATION OF
GEOSYNTHETICS IN HYDRO PROJECTS

水利工程

土工合成材料

技术和应用

水利部建设与管理司 编

科学普及出版社

水利工程土工合成材料 技术和应用

水利部建设与管理司 编

科学普及出版社
· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

水利工程土工合成材料技术和应用/水利部建设与管理司编. —北京:
科学普及出版社, 2000. 11 (2008. 5 重印)

ISBN 978 - 7 - 110 - 04985 - 3/TV · 2

I. 水… II. 水… III. 水工材料: 合成材料 IV. TV4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 56267 号

科学普及出版社

北京海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081

电话: 62179148 62173865

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市地矿印刷厂印刷

*

开本: 850 毫米 × 1168 毫米 1/16 印张: 26 字数: 612 千字

2000 年 11 月第 1 版 2008 年 5 月第 3 次印刷

印数: 6001 - 9000 册 定价: 98.00 元

(凡购买本社的图书, 如有缺页、倒页、
脱页者, 本社发行部负责调换)

《水利工程土工合成材料技术和应用》

编 委 会

主 任：俞衍升

副 主 任：许明堂 董哲仁 李新军
张严明

委 员：李 勇 陈明忠 安中仁
费骥鸣

《水利工程土工合成材料技术和应用》

编 写 组

主 编：葛文辉

副 主 编：王正宏 包承纲 孙献忠

编 辑：（以姓氏笔画为序）

丁留谦 王正宏 王育人

王 钊 包承纲 冯 俐

石红伟 司毅军 孙献忠

刘凤桐 刘六宴 吴春良

张鸿茂 陈 环 葛文辉

薛占群

序

土工合成材料是一种新型的岩土工程材料，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，具有反滤、排水、隔离、防渗、防护、加筋等多种功能和重量轻、施工简易、运输方便、价格低廉、料源丰富等优点，近几十年来在各类岩土工程中得到广泛的应用，取得了良好的经济、社会和生态环境效益。因而，这一新材料、新技术被誉为岩土工程理念和技术的重大突破。

我国水利行业应用土工合成材料始于 20 世纪 60 年代，先用于渠道防渗，后来逐渐推广到水库、水闸防渗以及堤防护岸、反滤、防汛抢险等领域，但由于缺乏标准、规范以及价格等方面原因，大大制约了土工合成材料在水利建设中的应用。在 1998 年百年不遇的特大洪水的防汛抢险斗争中，土工合成材料发挥了重要作用，充分显示出其快捷、简便、有效的优势，从而引起党中央、国务院的高度重视和社会的广泛关注，国务院领导亲自指示要在堤防等工程中采用。为贯彻落实党中央、国务院指示精神，在国家经贸委的指导下，水利部尽快制定规范，加强宣传，选择不同类型工程试点，组织技术交流，科学有序地开展了土工合成材料的推广应用。1999 年 4 月水利部在全国范围内选定了 50 项水利土工合成材料示范工程，探索和积累土工合成材料在水利工程中成功应用的经验。1999 年 7 月国家经贸委、建设部从水利土工合成材料示范工程中，选择了湖北王甫洲水利枢纽围堤防渗等 4 项工程，确定为全国土工合成材料应用示范工程。

迄今，示范工程已相继完成。为及时总结示范工程的宝贵经验，以典型示范带动土工合成材料在全国水利工程建设中的推广应用，

水利部建设与管理司组织了从事土工合成材料科研、管理、设计、施工、教学的知名专家，在各地示范工程技术总结的基础上选择了其中比较有代表性的 43 项，编写了这本《水利工程土工合成材料技术和应用》，这是一件很有意义的事情。本书资料翔实，内容丰富，既有土工合成材料技术的一般知识，又有在水利工程中应用的具体实践，既有各个示范工程的详细实例介绍，又有示范工程实施的普遍经验，反映了土工合成材料在我国水利工程建设应用中达到的最新水平，具有很高的实用价值。

这本书既是 43 项示范工程的纪实，又是广大水利工程建设、设计、施工、监理、科研、教学等技术人员实用工具书。可以预见，本书的出版必将使我国水利工程土工合成材料的推广应用上升到一个新水平，为水利工程建设带来显著的经济效益、社会效益和环境效益。

张基尧

二〇〇〇年九月八日

目 录

序

第一章 土工合成材料应用概况	1
第一节 引言.....	1
第二节 土工合成材料发展简史.....	3
第二章 土工合成材料的类型、特性和在水利工程中的应用	6
第一节 土工合成材料的含义及主要种类.....	6
第二节 土工合成材料的特点和基本功能.....	8
第三节 土工合成材料及其制成品的主要用途和主要性能指标	13
第四节 水利工程土工合成材料若干应用实例	14
第三章 示范工程的实施	20
第一节 示范工程的确定与要求	20
第二节 工程设计	23
第三节 工程施工	37
第四节 工程监理	45
第五节 质量管理	48
第六节 工程原型观测	50
第四章 示范工程实施的主要经验、问题和对土工合成材料技术发展的建议	55
第一节 示范工程实施的主要经验和收获	55
第二节 示范工程中的一些问题	59
第三节 关于土工合成材料技术发展的建议	61
第五章 国家经贸委、建设部选定的示范工程实例	64
〔实例 5-1〕 汉江王甫洲水利枢纽围堤防渗工程	64
〔实例 5-2〕 治理深圳河第二期第二阶段工程	89
〔实例 5-3〕 江苏仪征长江护岸工程	108
〔实例 5-4〕 江苏江阴长江护岸工程	116
第六章 水利部选定的示范工程实例	123
〔实例 6-1〕 北京永定河堤防治理工程	123
〔实例 6-2〕 第二松花江谢屯护岸工程	129
〔实例 6-3〕 第二松花江朱船口护岸工程	135
〔实例 6-4〕 第二松花江石屯护岸工程	144
〔实例 6-5〕 鸭绿江文安滩围堤护坡工程	148
〔实例 6-6〕 黑龙江同江市三江口护岸工程	153

〔实例 6-7〕	江苏扬中长江护岸工程	157
〔实例 6-8〕	山东跋山水库除险加固工程	161
〔实例 6-9〕	山东分沂入沭调尾拦河坝护坡工程	170
〔实例 6-10〕	蚌埠城市圈堤加固改造工程	175
〔实例 6-11〕	长江南堤新河口泵站地基抗渗加固工程	180
〔实例 6-12〕	武汉长江堤防龙王庙险段综合治理工程	184
〔实例 6-13〕	黄河下游荆隆宫堤段防渗护坡工程	190
〔实例 6-14〕	江苏新沂河堤防除险加固工程	196
〔实例 6-15〕	浑河整治张庄子砂堤防渗工程	206
〔实例 6-16〕	鄱阳湖二期治理成朱联圩防渗工程	216
〔实例 6-17〕	鸭绿江丹东市城区防洪堤防渗工程	222
〔实例 6-18〕	松花江干流富锦东堤防渗工程	226
〔实例 6-19〕	沈阳浑蒲灌区总干渠防渗护坡工程	228
〔实例 6-20〕	江苏宜兴东岭水库除险加固工程	247
〔实例 6-21〕	济南鹊山调蓄水库防渗工程	250
〔实例 6-22〕	山东浮岗水库修复工程	259
〔实例 6-23〕	湖南华容县团洲垸堤防防渗工程	267
〔实例 6-24〕	湖南益阳烂泥湖垸堤防防渗工程	274
〔实例 6-25〕	湖南安乡县安猷垸堤防防渗工程	279
〔实例 6-26〕	浙江龙湾东片标准堤防渗工程	288
〔实例 6-27〕	大洼三角洲平原水库护坡工程	292
〔实例 6-28〕	浑河整治李家房岗险工护岸工程	312
〔实例 6-29〕	松花江永利乡护坡工程	320
〔实例 6-30〕	鸭绿江丹东市城区防洪堤护岸工程	325
〔实例 6-31〕	江苏无锡锡澄运河护岸工程	336
〔实例 6-32〕	江苏宜兴北溪河护岸工程	342
〔实例 6-33〕	江苏宜兴太湖大堤护岸工程	344
〔实例 6-34〕	江西长江干流永安堤护坡工程	347
〔实例 6-35〕	河南封丘县黄河护底护岸工程	350
〔实例 6-36〕	郑州黄河护底工程	356
〔实例 6-37〕	松花江下六家子护岸工程	364
〔实例 6-38〕	江苏扬州古运河驳岸挡墙工程	367
〔实例 6-39〕	浙江里墩水库供水工程	375
参考文献		389
附录一	全国水利土工合成材料示范工程汇总表	390
附录二	有关规程、规范一览表	399
编后		400

第一章 土工合成材料应用概况

第一节 引言

土工合成材料是一种新型的岩土工程材料,它是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。土工合成材料可分为土工织物、土工膜、复合型土工合成材料和特种土工合成材料等类型,具有排水和反滤、防渗、加筋与加固、防护、隔离与封闭,以及包裹等多种功能,它具有重量轻、施工简易、运输方便、价格低廉、料源丰富等优点,为岩土工程提供了一种崭新的较为理想的材料,并由此而带来一种实施简便和经济有效的技术途径。鉴于这种人工合成材料有多功能优点,蕴藏着相当广阔的开拓前景和强大生命力,因此近三四十年在全世界范围内得到迅速的发展和广泛的应用,取得了良好的经济、社会和生态环境效益;在抗御自然灾害的斗争中,更显示出其快捷、简便、有效的特点。因此,这一新材料和新技术被人们誉为 20 世纪岩土工程中一项技术革命和 21 世纪岩土工程材料的新曙光。

土工合成材料在工程中正式使用不过 40 多年的历史,但自从它登上工程舞台以来,就在工程建设中引起了一场不小的变革。这种变革就其深度来说,不仅反映在工程材料的使用上,而且涉及设计原理、计算方法、施工工艺、施工设备以及工程管理上;就其广度来说,则几乎涵盖了所有的土木建筑类工程,其中当然也包括水利水电工程和岩土工程等。从目前的发展情况看来,可以说,土工合成材料已经渗透到水利工程土建方面的各个角落,而且其影响正与日俱增,其发展正方兴未艾。为了具体地理解这种变革的情况,这里试举几个例子加以说明。

以往土坝、土堤建设中要采用很厚的防渗粘土斜墙或心墙,其厚度可达数米到数十米。而采用塑料薄膜防渗,厚度就可变得很薄,由不足 1mm 到数 mm。文献[1]的统计资料表明,国外 49 项工程,坝(堤)高 6 ~ 57m,平均高 22.8m,采用防渗土工膜厚度只有 0.32 ~ 3.5mm,平均 0.73mm,可以说较传统的粘土防渗有了根本性的改变。具体到某一项工程,如汉江王甫洲水利枢纽围堤防渗工程,原采用粘土心墙和水平铺盖防渗,所用粘土方量达 165 万 m³,重量达 300 多万 t,平均运距 18km,而采用土工膜后,重量只有 300 多 t,节约投资约达 2000 多万元,约占原工程费用的 1/3,而且施工非常方便,可大大缩短工期。又如原需用砂石料滤层的堤坝护坡,改用土工织物作滤层,不但重量轻,造价低,而且施工简易。砂砾反滤层是一种多层的松散的材料,施工时要将其按颗粒大小分层填筑,互相不能混杂,施工难度很大,尤其是在较陡的斜坡上施工,有时还需借助临时模板。而采用土工织物作滤层,则只需将每平方米数百克重、合乎设计要求的织物铺放平顺,就可起到很好的反滤作用,而且还具有整体性好的优点。对于水井滤层施工,就更能显示出其优越性。以往不管是减压井或取水井,都是用钢管或混凝土管做成,管外铺设粒径由粗到细的滤层。在一个直径达数十厘米、

深达数十米的井孔中,要将松散颗粒沿管壁分层填筑,施工难度可想而知。就是做成了,也很容易发生淤堵。现采用土工织物,施工就变得比较容易,只要在透水花管外按设计包好土工织物,下管后,再在织物外填实透水材料,不但施工简便,造价便宜,而且质量也容易保证。在支挡建筑物的设计中,以往常常采用大面积的砌石或混凝土重力式挡土墙,用料量大,造价高。采用土工合成材料修建加筋土挡墙,则混凝土的用量大为减少,而且也更加美观。

综上所述,采用土工合成材料,可使建筑物不论在结构、外形、施工和造价上都发生很大的变化。因此,1986年4月在维也纳召开的第三届国际土工织物(后改为土工合成材料)会议上,当时的土工合成材料国际协会主席 J. P. Giroud 提出了一篇总报告,题目为《从土工织物到土工合成材料—岩土工程领域的一场革命》,把这种变革说成是一场革命,这是一种有远见的评价。但这种革命性的变革也会使一些使用者产生一些疑虑。比如我国有些人怀疑,传统的数米甚至数十米厚的防渗土心墙和斜墙就能用薄薄的一层土工膜所代替?万一土工膜发生小的破洞,不就形成了一个上下畅通的通道吗?如此等等。加之我国的许多工程师对土工合成材料的性能还不很熟悉,且这种材料在工程中的应用尚处于初期发展阶段,许多技术还不成熟,也没有相应的设计规范可循,这就给土工合成材料在我国的推广应用带来一定困难。但土工合成材料这种新生事物,是有生命力的。虽然在最初阶段,这种产品价格昂贵,又加之多数人对这种新技术不熟悉,因此“曲高和寡”,反应不很热烈,但是由于改革开放政策和国外的先进生产技术和一批产品迅速引入我国,使得土工合成材料开始在我国得到初步的应用。而工程的应用反过来又促进产品品种和质量的提高,使土工合成材料产品逐渐多样化和规格化。与此同时,随着学术交流的开展,在有识之士的积极宣传和推广下,土工合成材料的学术组织应运而生。(最初于1984年在天津成立了一个学术组织的雏形“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”,继而在1995年,由国家民政部批准,成立了“中国土工合成材料工程协会”,各地区也相继成立了省、市协会)。它们对推广土工合成材料在我国的应用起了积极的作用。

1998年我国长江流域和东北松花江、嫩江流域相继出现大洪水,在党和政府的正确领导下,在全国动员了极大的人力物力进行抗洪抢险,取得了决定性的胜利。在抗洪抢险工作中,使用了大量的土工合成材料,发挥了不可替代的作用。据不完全统计,1998年全国土工合成材料用量达4亿 m^2 ,若按幅宽1.0m计算,可绕地球10圈。国务院朱镕基总理对推广应用土工合成材料极为重视,在短期内曾几次作过相关文件批示,如1998年9月6日的批示中写道“请有关部门贯彻落实,首先在今年开始的大修堤防工程中采用”。在上述批示的推动下,成立了由国家经贸委牵头,建设部、铁道部、交通部、水利部、民航局、质量技术监督局、纺织局、建材局、轻工局、石油化工局等有关部门参加的土工合成材料推广应用协调小组,全面负责贯彻朱总理关于推广应用土工合成材料的重要指示,确定抓紧以下三项重点工作:①制定应用土工合成材料的规范与标准;②确定一批土工合成材料重点生产企业予以颁布;③在全国建设一批不同类型的应用土工合成材料的示范工程。国家领导和有关领导机关的支持和具体领导,使土工合成材料的推广应用进入了一个全新阶段,即由政府部门出面的、有指导的推广应用阶段,这将使我国土工合成材料的应用进入一个大发展阶段。这个大发展阶段的特点是:制定规程规范,使设计和施工人员有“规”可依,使土工合成材料的应用规范化,并逐渐走向成熟;确定土工合成材料重点生产企业,以利于保证土工合成材料的质量提高和品种多样;建设不同类型的示范工程,可为今后在工程中使用土工合成材料提供一些可供具体

学习的经验。本总结即是这些示范工程的实施情况和经验的概括,具体包括如下几部分内容:第一章为土工合成材料应用概况,主要叙述土工合成材料在工程中的应用概况和发展简史;第二章为土工合成材料的类型、特性和在水利工程中的应用,主要叙述土工合成材料的含义及主要种类、特点及基本功能、主要用途和主要性能指标以及在水利工程中若干应用实例;第三章为示范工程的实施,这是本总结的主要内容,较详细地论述工程设计、施工、监理、质量管理和原型观测等;第四章为示范工程实施的主要经验、问题和对土工合成材料技术发展的建议,可作为有关部门拟订今后发展计划的参考;第五章和第六章分别是国家级和水利部的示范工程的实例介绍,可供有关类似工程参考借鉴。

第二节 土工合成材料发展简史

从国际范围来看,土工合成材料的应用最早可以追溯到 30 年代,主要在美国用于渠道防渗。但当时只是零星的应用,并未把它作为一种独立的工程材料,有意识地、自觉地应用,也谈不上应用技术的研究。

土工合成材料作为一种专门的材料始于 50 年代。首先在美国、以后又在欧洲和日本等地迅速地扩展,主要用于中小型的护岸和防护工程上。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,可以认为这是土工织物应用于工程的开始。50 年代末至 60 年代初荷兰的三角洲工程是正规的、大规模的使用土工合成材料的典型工程范例,估计其使用量超过 1000 万 m^2 ,仅在东谢尔德闸工程中,所用的土工合成材料产品有:由丙纶有纺织物制成的沥青、碎石软体排(每块面积为 $17\text{m} \times 400\text{m}$),由丙纶纺织布作排底布的混凝土块软体排(每块面积为 $30\text{m} \times 200\text{m}$),由上层的砾石软体排(每块面积为 $60\text{m} \times 30\text{m}$)和下层的反滤软体排(每块面积为 $200\text{m} \times 42\text{m}$)组成的基础褥垫,和由绵纶有纺织物(面积为 $8\text{m} \times 100\text{m}$)做成的圆形长筒内装入砾石而形成的砾石枕。荷兰三角洲工程的成功实践引起国际上对土工合成材料的广泛重视,它被认为是一种新型的土木工程材料正式成为岩土工程的一个里程碑,从此开始了它的为人瞩目的发展历程。60 年代末开始于欧洲的非织造型土工织物的出现,80 年代后排水管的广泛应用等,都是土工织物发展史上的重要事件。1977 年在法国巴黎召开了“织物在岩土工程中的应用”国际会议,被认为是第一届国际土工织物会议,以后每隔 4 年召开一次国际会议,至 1998 年已召开了 6 届,历届国际会议对土工合成材料的应用与发展均起了很大的推动作用。“国际土工织物学会(IGS)”成立于 1983 年。以后由于各种新产品的不断涌现,“土工织物”的名词已不能涵盖全部的合成材料产品,因此,1990 年在海牙召开的第四届国际会议上更名为“国际土工织物、土工膜及相关产品会议”。在第五届国际会议上又将“国际土工织物学会”正式改名为“国际土工合成材料学会”,国际会议的名称也改为“国际土工合成材料学术会议”。这些国际性的交流活动,促进了土工合成材料向世界各地大力地推广和向各个工程领域迅速地渗透。据不完全统计,全世界每年应用土工合成材料的工程至少在 1 万项以上,所用的土工合成材料超过 10 亿 m^2 。

我国在水利和岩土工程等领域中应用土工合成材料的历史也已超过 30 年,作为一种新型的土工材料得到我国工程界的认同,开始广泛地应用,则是在 80 年代之后。近年来,特别是'98 洪水后,在政府有关主管部门推动下,对工程应用加以规范化的管理,有组织地引导

使用,有目的地研究和开发,促进了这项新技术在我国的发展,使土工合成材料的工程应用出现了一个前所未有的新局面。朱镕基总理在 1998 大汛后批示“首先要从今年开始的大修堤防工程中采用”,稍后又几次批示:“百年大计,质量第一,标准就高不就低,定点宜少不宜多,防止一哄而起,危害国家。更不应搞重复建设。请经贸委就推广土工布的情况和应注意的问题起草一个通报,发各部门,各地区。”“推广土工布一定要符合规范,保证质量,不得强行推广。”朱镕基总理这些重要指示给土工合成材料的推广指明了正确的方向,为今后在我国既积极又慎重地使用这种新材料、新技术规定了应当遵循的指导方针。

按照这样的指导方针,再来回顾和展望我国土工合成材料的发展历程就会有更清晰的思路。

我国应用土工合成材料最早也是在 60 年代从水利工程开始的,至今用得最多的也是水利工程领域。早在 60 年代初期,河南人民胜利渠、陕西人民引渭渠,北京东北旺灌区和山西几处灌区采用了聚氯乙烯和聚乙烯薄膜作渠道防渗材料,效果良好。不久推广到水库、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,取得了良好的效果。这是我国利用土工合成材料处理混凝土坝裂缝的首例。

在 70 年代后期和 80 年代,土工膜用于防渗补漏工程屡见不鲜。1983 年开始,北京市采用了编织布与塑料薄膜相结合的复合土工膜解决了十几处已建的中小型水利工程的渗漏问题,这是复合土工膜应用的雏形。与此同时,铁路上也成功地应用氯丁橡胶作为基面的封闭层。可以认为,塑料薄膜和合成橡胶是我国应用最早的土工合成材料。

土工织物的应用在我国相对较晚,1976 年江苏省长江嘶马护岸工程,是应用编织布的首例,所用的材料为聚丙烯扁丝织成,结合聚氯乙烯网绳和混凝土块压重,组成软体排,防止河岸冲刷,稍后在长江其他地段的护岸和江都西闸等工程上也都使用了类似的软体排,以代替传统的埝工。内装砂、石等的编织布土枕、石枕等用来加固地基的例子也时有所闻。然而在这一时期,土工织物和应用技术在美欧和日本等国则发展十分迅速,而我国则尚处于初始阶段,比世界上的先进水平落后了十几年。

随着国际交流日益增多,我国参加各种国际活动,开始引进外国的先进土工合成材料产品和应用技术,对我国起了很好的借鉴和推动作用。1986 年 4 月我国有代表 3 人第一次参加了在维也纳召开的“第三届国际土工织物会议”,打开了通向世界的渠道。1990 年在荷兰海牙召开的“第四届国际土工织物、土工膜及相关产品会议”我国有 5 位代表参加,提交论文 5 篇。1994 年在新加坡召开的“第五届国际土工织物、土工膜及相关产品会议”我国有 15 位代表参加,提交论文 10 篇,在大会上宣读 2 篇。1998 年在美国亚特兰大召开的“第六届国际土工合成材料学术会议”,我国有 12 名代表参加,提交论文 9 篇。在这期间,还多次参加了地区性或专门性的国际会议,有助于我国获得国际上新的信息,促进这项新技术在我国的发展。这个阶段的特点是从国外引进新的土工合成材料和技术与我国广泛地开发新产品、应用新技术相结合的时期。80 年代中期,我国水利部门开始引进低压塑料输水管道为灌区所用,铁路部门研究试验应用美英等国生产的无纺布物整治和防止铁路路基的翻浆冒泥,取得良好的效果。我国交通部门引进日本生产的塑料芯带和织物滤膜组成的塑料排水带,并自行研制,成功地用于天津新港的软基处理工程中。1983 年,江苏交通部门引进日本的锦纶土工模

袋,用于浇筑混凝土护坡。这些新技术和新材料在我国的尝试,扩大了人们的眼界,启发了人们的思路,因此自 80 年代中期以后,我国掀起了生产和应用土工合成材料的高潮。这时,生产和制造各种土工合成材料的工厂如雨后春笋一般迅速地建立起来,产品几乎涵盖了除土工格栅等少数几个特殊品种外的各种土工合成材料,其中发展得最快的要数无纺土工织物。80 年代中期,无纺土工织物就开始用作水利工程的反滤层材料,效果良好,其实例有云南麦子河水库、内蒙古的翰嘎利水库、天津的鸭淀水库、黑龙江的引嫩工程、河北的庙官水库等,以后更进一步推广到储灰坝、尾矿坝、水坠坝、港口码头、海岸护坡及地基处理工程等。与此同时,织造型土工织物,尤其是它的制成品,以及塑料排水带、土工模袋、低压塑料输水管道都用得十分广泛。另外,复合土工膜、加筋带、土工网垫(植草),泡沫塑料、土工格栅等材料也逐渐得到了应用。据统计,截止 1988 年我国已有 500 多项工程(不包括群众性的小型、临时性的,以及水井和低压管道工程)应用了不同类型的土工合成材料^[2]。另一方面,伴随着土工合成材料在工程中的广泛应用,也导致了技术交流与学术研究的开展。

1984 年 10 月,来自不同单位的 20 多位同志,聚集于天津,在黄文熙教授的倡导和支持下,成立了我国第一个有关土工合成材料的组织——土工织物协作网。1986 年 10 月,在天津召开了第一届全国土工织物学术讨论会,参加会议的代表达 400 多人,其中还包括 20 多位外国专家和厂商,收到论文 70 余篇,气氛热烈,盛况空前。此时网员单位已发展到 180 余个。以后每隔 3~4 年召开一次全国性的学术交流会,至今已开了五届。与此同时,国内的有关的学术组织也相应地组建并积极开展活动,1988 年在水利学会岩土力学专业委员会下,成立了土工合成材料专门委员会;1989 年在中国水力发电工程学会下成立了土工合成材料专业委员会;1990 年成立了国际土工织物学会(IGS)中国委员会(中国分会)。这些学术组织对于推广土工合成材料在我国的应用起了很好的促进和纽带作用,成为一支推广、交流和发展我国土工合成材料工程应用事业的一支活跃的和不可缺少的力量,在相关行业界中有很大的影响。正是鉴于这一点,1995 年在国家主管部门的支持下,正式成立了一级学术组织——中国土工合成材料工程协会,为今后开展各项工作提供了有利条件和创造了良好的环境。协会成立 5 年以来,各项工作开展得更加活跃和有序,很有成效。90 年代中后期开始,我国的土工合成材料技术开始了一个新的发展阶段,其特点是:有组织和规模化,逐步地规范化,注意多种产品的开发,各种可能的领域和场合的推广应用,以及技术上开始有所创新。同时,一些有新意、有实践验证的学术研究成果也逐渐见诸于各种出版物和学术会议中。'98 洪水以后,配合有关部委的部署,积极贯彻国务院领导的有关指示,大力推广和规范土工合成材料在我国的应用,协助编制规程规范,编写各种技术资料,宣传普及各种技术知识,总结各地应用经验等工作。

目前,我国的土工合成材料应用事业方兴未艾,应用的规模日益扩大,但是在应用中的技术进步还有许多事情要做,如何把土工合成材料“用对,用好和用精”,也还有不少问题存在。正是考虑到当前的实际情况,国家经贸委和水利部决定分别在全国范围内建立若干个“土工合成材料应用示范工程”,这一决策是十分正确和必要的,它将对我国土工合成材料的应用规模、质量、成效、以及应用技术的进步,起良好的推动作用。

第二章 土工合成材料的类型、特性和在水利工程中的应用

第一节 土工合成材料的含义及主要种类

土工合成材料是应用于岩土工程的、以人工合成材料为原材料制成的各种产品的统称。因为它们主要用于岩土工程,故冠以“土工”(geo)两字,称为“土工合成材料”,以区别于天然材料,英文名称为“geo-synthetics”。土工合成材料的原材料是高分子聚合物(polymer),它们是由煤、石油、天然气和石灰石中提炼出来的化学物质制成,再进一步加工成纤维或合成材料片材,最后制成各种产品。制造土工合成材料的聚合物主要有聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、聚酯(PET)、聚酰胺(PA)和聚氯乙烯(PVC)等。它们的性能各具特点,可以制成适合不同场合需要的多种土工合成材料产品。这些产品根据我国 GB50290—98《土工合成材料应用技术规范》可分为四大类:土工织物、土工膜、土工复合材料和土工特种材料。其中每一类又可分为若干品种。

一、土工织物(geotextile)

按制造方法的不同,土工织物可进一步划分为如下几种类型:

1. 织造型土工织物(woven geotextile)

又称有纺土工织物,它是最早的土工织物产品,在制造过程中,先将聚合物原料加工成丝、纱或带,再织成平面结构的布状产品。依丝的种类(单丝、多丝和混合丝)和织法(平纹、斜纹和缎纹)的不同,可以使织造型土工织物具有不同的性能,以符合工程要求的强度、经纬强度比、摩擦系数、等效孔径和耐久性等指标。

2. 非织造型土工织物(non-woven geotextile)

这类产品又称无纺土工织物。按粘合方式不同,又可分为热粘合、化学粘合和机械粘合等三种,热粘合法的产品质量好,成本低,品种规格多、用途广、近年来在我国发展较快。化学粘合法的产品在工程中应用较少。机械粘合法是以不同的机械工具将纤维网加固,有针刺法与水刺法等,前者产品厚度一般在 1mm 以上,孔隙率高、渗透性大,反滤排水性能均佳,在水利工程中应用很广,后者产品较为柔软,多用于卫生用品。

二、土工膜(geomembrane)

土工膜是一种基本不透水材料。为满足不同强度和变形需要,有加筋土工膜和不加筋土工膜之分。制造土工膜的聚合物有热塑塑料(如聚氯乙烯)、结晶热塑塑料(如高密度聚乙烯)、热塑弹性体(如氯化聚乙烯)和橡胶(如氯丁橡胶)等。制造土工膜时还需要掺入一定量

的添加剂,以改善某些性能或降低成本。例如掺入碳黑以提高抗日光老化能力,掺入铅盐、钡、钙等衍生物提高抗热、抗光照的稳定性;掺入杀菌剂以防止细菌破坏等。

另有一种土工膜是由沥青聚合物或合成橡胶制成的。制造时又掺入一些纤维,以提高膜的强度,或掺入一些细矿粉以降低成本。

三、土工复合材料(geocomposite)

土工复合材料是两种或两种以上的土工合成材料组合在一起的制品,以满足工程特定的需要。由于不同工程有不同的综合功能要求,故土工复合材料品种繁多,它是代表未来发展方向的产品。目前常用的有如下几种:

1. 复合土工膜(composite geomembrane)

复合土工膜是将土工膜和土工织物(多用非织造针刺土工织物)复合在一起的产品,其制造方法有织物和膜共同压成法和在织物上涂抹聚合物法,制成一布一膜、二布一膜、三布二膜等复合土工膜;以及有纺织物与无纺布结合的复合布。复合土工膜(布)有许多优点,适应性也很强,故工程应用很广。

2. 塑料排水带(prefabricated strip drain)

塑料排水带是由不同截面形状连续塑料芯板外包非织造土工织物(滤膜)而成。芯板起骨架作用,截面形成的纵向沟槽供通水之用,而滤膜多为涤纶无纺布,作用是滤土、透水。塑料排水带宽度一般为 100mm,厚度 3.5~4mm,我国目前排水带最大宽度可达 230mm,国外已有 2m 以上的宽带产品。

塑料排水带的施工是利用插带机将其埋设在预定位置,插入深度可达 25m 左右,据说,有的工程已可达 30m 以上,排水带的平面间距约 1~2m,它在公路、码头,水闸等软基加固工程中应用广泛。

3. 排水软管(渗水软管)

排水软管是由高强钢丝圈作为支撑体,以及具有反滤、透水及保护作用的管壁包裹材料两部分构成的。高强钢丝外包一层 PVC 以防锈蚀。包裹材料有三层,内层为透水层,中层为非织造土工织物过滤层,外层为与内层材料相同的覆盖层。目前市场出售的管径有 50mm、80mm 和 98mm,相应的通水量(在坡降 $i=1/250$ 时)为 $46\text{cm}^3/\text{s}$ 、 $163\text{cm}^3/\text{s}$ 和 $311\text{cm}^3/\text{s}$ 。

软式排水管耐压又耐久,且柔软轻便,过滤性和排水性均佳,可用于各种排水工程。

4. 其他复合排水材料

如土工网芯的排水板材等等。

四、特种土工合成材料

1. 土工格栅(geogrid)

土工格栅是在聚丙烯或高密度聚乙烯板材上先冲孔,然后进行加热拉伸而成的带长方形或方形孔的板材,以使格栅具有较高的抗拉强度和较低的延伸率。有的格栅产品其延伸率仅为 9%~15%,而其抗拉强度为 80kN/m (纵向)和 13kN/m (横向),从而成为良好的加筋材料。土工格栅埋在土内,与周围土之间不仅有摩擦作用,而且由于土石料嵌入其开孔中,还有较高的咬合力,它与土的摩擦系数可以高达 0.8~1.0。

2. 土工网 (geonet)

土工网是以聚丙烯或聚乙烯为原料,采用热塑挤出法制成的。与土工格栅相比,它的抗拉强度较低(仅为 $2\sim 8\text{kN/m}$),延伸率较高(可达 20% 以上)。这类产品常用于坡面防护、植草,或用于制造复合排水材料。对于加筋,只能用于受荷载不大的场合。

3. 土工模袋 (fabriform)

土工模袋是由上下两层土工织物制成的大面积连续袋状材料,袋内充填混凝土或水泥砂浆,凝固后形成整体混凝土板,常作为护坡,这种袋体代替了混凝土的浇注模板,故而称为“模袋”。

模袋依其加工工艺、有无排水点以及成型之形状不同,有机织模袋和手工简易模袋之分;机织模袋还有有过滤点模袋,无过滤点模袋,铰链型模袋,框架型模袋等型式。

4. 其他特种土工合成材料

如土工格室 (geocell)、土工管 (geotube) 和土工包 (geocontainer)、聚苯乙烯板块 (EPS)、土工合成材料粘土衬垫 (GCL) 等。它们都已先后在我国不同的工程中开始应用。

第二节 土工合成材料的特点和基本功能

土工合成材料具有许多一般天然岩土材料所没有的特点,概括地说,它具有满足各种类型工程需要的性能,能制成各种符合应用目的的产品,而且由于其质量轻、施工简易快捷、运输方便、不易腐烂、料源丰富等的优点,为岩土工程提供了一种较为理想的材料。在价格方面,目前与某些天然材料相比,尚不具有经济性的优势,但这种材料做成的构件或建筑物,由于使用年限较长,还是经济的。何况近代化学工业发展迅速、技术日臻完善、成本会越来越低,经济优势也会日益显露,从而促进它的应用与发展。

土工合成材料应用于岩土工程的功能是多方面的,就目前应用的情况,可概括为如下几种:

一、排水和反滤

在水利工程或地基工程中,若土体内有多余水分,或者有渗流现象存在,则应当及时排走,以消减土中的孔隙水压力,加速土体的固结压密,增强土体的承载能力和稳定性,这就是排水的含义。

反滤是防止土粒被带走而又保证水能顺畅地排出的作用。

反滤功能的土工合成材料具有排水功能。除具有排水功能外,还有保土性(即阻止土粒的流失)和防淤堵性。所谓堵,即土粒将反滤材料的孔眼塞住;所谓淤,即细粒土附着在反滤材料的孔眼上,从而减弱了它的透水性,甚至失去了透水性。淤的作用需要一定的时间才会体现出来。为此,反滤材料的渗透性应比被保护土的渗透性大,一般应大 10 倍以上。

图 2-2-1 所示为水利工程中土工合成材料用作排水和反滤的一些典型场合。