

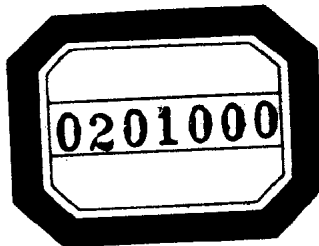
Shuili gongcheng
Yingyong tugong zhiwu de
Sheji he shigong

杨代华 编著

水利工程
应用土工织物的
设计和施工



成都科技大学出版社



006561 水利部信息所

~~16141~~

TV5

水利工程应用土工织物的设计和施工

杨代华 编著

成都科技大学出版社

（成都）

（成都）

（成都）

（成都）

（成都）

（成都）

（成都）

（成都）

（成都）

（成都）

（成都）

（成都）

（成都）

（成都）

（成都）

内 容 提 要

本书主要介绍水利工程应用土工织物的设计和施工。全书概述了土工织物在国内外发展概况和应用实践；介绍了土工织物基本特性；土工织物的排水、渗滤、分隔、保护、加固强化土体等五大功能及土工膜防渗，土工织物特殊应用等方面的设计和计算方法；简述了土工织物、土工膜的施工，目前国内一些厂家生产的土工织物、土工膜的特性，有关试验资料，产品开发和鉴定。

全书对土工织物应用于水利工程作了较为系统、全面的叙述和分析，可供水电工程设计人员，从事土工织物应用人员，大、中专师生参考。

21048/17

水利工程应用土工织物的设计和施工 杨 代 华 编 著

成都科技大学出版社出版 发行
四川省宜宾地委机关印刷所印刷
开本 787×1092毫米 $\frac{1}{32}$ 印张：8.25
1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷
印数：1—2000 字数：185千字

ISBN7-5616-0362-2/TV·6

定价：5.50元

说 明

土工织物是一种新的建筑材料。它具有强度高，柔性大，整体性强，耐久性好，在岩土工程中的应用，具有流体传输、渗滤、分隔、加固强化土体、防渗和保护等多种功能，解决了岩土工程界中用常规方法难以解决的防渗、稳定、超软基处理、防洪抢险等工程问题，达到省工、省料、缩短工期，节省投资的良好效果。

岩土工程是土木工程的一部份，也是水利工程的一个主要部份，它包括了土力学和岩石力学的范围。土工织物的出现，给岩土工程带来了很多新的研究课题，产生了一系列的新技术，标志着岩土工程一场巨大革命。

为了向广大水电工程技术人员介绍土工织物的知识，根据国内、外有关资料，以及在四川省宜宾地区应用于水利工程的实践，并考察了湖南省维尼纶厂无纺布分厂土工织物生产和产品开发等情况，编写了这本书。

本书在编写和定稿过程中，得到成都科技大学陆文海教授的大力支持和指导；得到南京水科院陶同康高级工程师的帮助和指导；得到四川省水电厅农田水利管理局、宜宾地区水电局、四川省宜宾地区土工合成材料学会等有关领导和同志的支持和帮助。罗幸英工程师参加了七至九章的编写和全书的清稿、校稿工作。水利电力部、交通部南京水利科学研究院、吉林省水利科技情报中心站、中国土工合成材料技术协作网等有关部门为编写本书提供了宝贵的资料，在此一并致谢。

水利工程应用土工织物，目前还是年轻的边缘学科；还有一系列研究课题，等待着人们去开发，去研究。由于水平有限，对土工织物新技术的理解不一定得当，书中缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

笔 者

1987.12.30

目 录

第一章 概 论

- 第一节 土工织物的定义 (1)
- 第二节 土工织物发展简况 (2)
- 第三节 合成纤维材料的性能 (8)
- 第四节 土工织物的种类 (14)
- 第五节 土工织物的功能 (17)

第二章 土工织物的基本特性

- 第一节 物理特性 (20)
- 第二节 力学特性 (23)
- 第三节 水力特性 (24)

第三章 土工织物排水设计

- 第一节 土工织物排水的作用 (28)
- 第二节 渗流计算 (29)
- 第三节 土工织物的透水性 (34)
- 第四节 土工织物排水在水利工程中的应用形式 (41)

第四章 土工织物滤层设计

- 第一节 渗透变形 (49)

第二节	滤层的类型和作用	(50)
第三节	土工织物滤层的特性	(52)
第四节	土工织物滤层的设计方法	(57)
第五节	土工织物滤层设计实例说明	(74)

第五章 土工织物分隔层的设计

第一节	土工织物分隔层的作用	(77)
第二节	土工织物分隔层的保砂性分析	(79)
第三节	土工织物分隔层的强度分析	(80)
第四节	土工织物分隔层计算例题	(96)

第六章 合成材料在岩土工程中的加劲设计

第一节	合成材料在岩土工程中加劲的概念	(103)
第二节	土工合成材料加劲应用的形式	(106)
第三节	加劲设计方法	(110)

第七章 土工合成物防冲保护的设计

第一节	土工合成物防冲保护的基本形式	(129)
第二节	模袋充填设计	(133)

第八章 土工膜防渗设计

第一节	概 述	(144)
第二节	土工膜的种类及其性能	(145)
第三节	土工膜防渗结构的基本型式	(151)
第四节	土工膜的防渗设计	(153)
第五节	土工膜防渗层的稳定分析	(166)

第九章 土工织物在水利工程中的特殊应用

- 第一节 闸式土工织物的应用 (174)
- 第二节 预制排水组合构件的应用 (180)
- 第三节 土工织物在软基上修筑堤坝的稳定分析 ... (185)
- 第四节 能生长植物的加筋土工建筑物 (192)

第十章 土工织物的施工

- 第一节 施工准备工作 (199)
- 第二节 土工织物的铺砌 (202)
- 第三节 土工膜的施工 (206)

附 录:

- 附录一 常用单位换算表 (223)
- 附录二 土工织物及土工膜特性表 (227)
- 附录三 湖南省维尼纶厂无纺布分厂考察记实 (250)

第一章 概 论

土工织物是七十年代崛起的新颖工程材料，它具有强度高、弹性好、耐磨、耐化学腐蚀、滤水、不霉烂、不缩水、不怕虫蛀的良好性能。应用于水利工程，造价低廉，施工简便，整体性好，且能改善和增强工程结构，给水利工程设计、施工带来巨大的变化，打破了水利工程设计徘徊多年的局面，促使水利工程在设计和施工方面出现转机，带来了一场巨大的变革。

在我国将土工织物应用于水利工程还处于初始阶段。它既可用于临时性水利工程（如施工围堰、临时运输道路、临时溢洪道护面、防洪抢险等等），也可用于永久性的水工建筑，解决了水利工程中难以解决的防冲、排水、渗透、分隔、保护、土体加固、超软基处理等等问题，因此，土工织物有着广阔的发展前景。

第一节 土工织物的定义

一九七七年四月在巴黎举行的“纤维在岩土工程中的应用”的国际会议（现在都把它看成是第一届国际土工织物会议）上由基劳特（Giroud）和潘非（Perfetti）建议并确立了“土工织物”（Geotextile）和“土工膜”（Geomembrane）两个名词，这是从岩土工程建设和科学技术上描述合成纤维及其织物的新工程技术名词，它着眼于岩土工程之通称，在未确立新名词之前，其名称极不统一，诸如“土工纤维”、“渗透布”、

“合成纤维”、“塑料纤维”、“塑料布”、“土木工程纤维”等等。

何谓土工织物，就是所有透水的用于岩土工程的天然或合成纤维产品之统称。土工膜就是不透水的土工织物。这说明合成纤维用于岩土工程，又区别一般生活用的合成纤维织物。由于合成纤维远比天然纤维和人造纤维具有更优越的性能和低廉的价格，所以土工织物现已被人们普遍重视和接受。

第二节 土工织物发展简况

土工织物这种形式的材料已存在数千年，经历了几千年的天然纤维的应用，近代合成纤维的发展，土工织物形成的初期阶段，以及土工织物技术概念交流和建立一系列专业机构，并发展成为有独自的专业名词，有不同制造工艺以及用于工程建设的设计计算理论，试验方法和施工规程的一门学科。

一、世界土工织物发展简史

在我国应用天然纤维作为建筑材料，并用来加筋土体已有几千年的历史；至今保存着许多加筋土工程（如长城的某些部分）。在我国古代，土加筋的重要意义还在于用“土与木”来标志土木工程。两千多年前，我国黄河河工护岸的“帚工”，就是将薪柴（稻草、麦秸、高粱杆、柳枝等），绳缆、木桩和土料筑成的，并一直延用至今。在公元两百多年前四川省的都江堰就用竹笼、马叉围堰引水和护岸。利用天然材料来稳定土体的办法，在两千多年前就由我国传到日本，并一直延续应用到近代。但是由于缺乏理论研究，一直没有得到发展。

随着高分子化学工业的飞速发展,在本世纪,纺织工业经受了人工合成纤维的一场大革命,出现了各种不同原材料及其加工工艺的合成纤维产品。一九一三年首次制成聚氯乙烯(PVC)商用合成纤维,但应用有限。一九三〇年首次由美国杜邦公司制成现代的合成纤维,即聚酰胺(尼龙),于一九四〇年成功地成为商品。其后在英国、法国、意大利、美国其它公司等,相继生产聚脂纤维、粗聚乙烯纤维产品、高强度细聚乙烯纤维丝、聚丙烯纤维,并将连续的纤维丝制成无纺布,土工格栅、塑料网络、排水滤板、土工线状构件、土工合成物等等。

土工织物应用的兴旺发展,是从六十年代后期防腐合成无纺纤维织物出现后大力发展的。七十年代初法国首次在伐尔克鲁斯(Valcros)坝,在上游坡面采用土工织物与土工膜联合使用,并用土工织物做下游坝址的排水滤层。在市场上又出现了质轻、强度高和廉价的纺粘无纺织物,自此之后,土工织物系统地应用于水利工程中的排水、渗滤、分隔、防冲护岸、加固土体、堵口、软基、超软基处理、防渗等等,使土工织物应用技术日趋完善,并在工程的设计和施工中产生了一次巨大的飞跃,系统的理论逐渐形成。这就说明土工织物技术的发展,依赖于物美价廉的成品供应。

初次大量销售土工织物是从七十年代开始的,由于工程应用迅速发展,在一九八四年全世界有十多万项不同的工程中铺用了三亿多平米土工织物。

二、我国土工织物应用简况

当前,我国土工织物正处于迅速推广应用的初始阶段。一方面生产部门正从日常生活衣着方面,向土木工程及其它工程

领域进行开发推广应用；另一方面土木工程及其它工程领域急需新材料，以推进科学技术的发展。

1981年铁道系统首先引进土工织物，并在铁路路基上试铺，以解决路基的翻浆冒泥的问题。1982年南京水科院首先开展了土工织物室内试验研究工作。1983年10月在山东泰安召开的第二届全国渗流力学和第一届水电工程渗流学术讨论会上第一次提出了土工织物专题论文。自此以后，全国水利界纷纷开展土工织物室内、外试验和应用。1984年成立了全国土工织物科技情报协作网，现有两百多个网员单位，遍布全国28个省、市、自治区的各个行业。1985年4月在云南省曲靖市召开“麦子河水库土坝应用土工织物现场评定会”，这是我国第一次评定土坝应用土工织物的现场会。1986年10月在天津召开了第一届全国土工织物学术讨论会，会上中国科学院学部委员黄文熙教授在开幕词中指出：“土工织物具有不少的优越性，它在基本建设工程中的推广应用，是一种革命的措施。”这次会议还选择了部分论文，并出版了《中国土工织物学术讨论会论文选集》，它展示了我国近几年来在土工织物应用和研究方面取得的成果，对向新的应用领域不断开拓，有不可低估的潜在能力。1986年底四川省宜宾地区第一次在屏山县的黑沟子水库采用土工织物与塑膜组合做防渗斜墙，对塑膜后的液气排输有了完整的工程实施，是已成水库组合膜防渗的绝妙布设形式。

三、土工织物技术发展的原因

土工织物产品不断增长，应用范围不断扩大，并发展成为专门的学科，究其原因，主要有以下几个方面：

（一）岩土工程需要一种膜状材料

岩土结构物是由粒块状材料建成，其整体性因冲刷、渗透、沉降、地震等因素而失稳、破坏。为了改善粒、块状材料的性质，需要一种膜状材料予以补充。土工织物是三向柔性材料，可制成任意大，不受生物腐蚀，它能满足岩土工程需用高强度、耐腐蚀膜状材料的要求。建造三向岩土工程结构，利用二向元件，而二向元件又从单向元件（纤维）制成，这是利用材料的有效方法。而土工织物、土工膜或高分子格栅，在岩土工程中应用获得成功，正是这种利用材料的原因之一。因此，土工织物与土工膜用作岩土工程的加劲、分隔、排水或衬砌，将分别制成土的肌肉、脉络与表皮，使这种材料具有众多功能的作用。

（二）土工织物改变了岩土工程设计理论

有些岩土工程结构物从理论上研究却处于破坏的边缘，但是，应用了土工织物，这些结构物得到稳定，并运用良好。例如在软基上建筑土坝，应用了土工织物，坝体得到稳定。这主要是土工织物为基土提供了侧限的张力膜功能，这种功能来自土工织物的连续性和抗拉元件的特性。

岩土工程因材料组成不同，在材料变更的界面常会有一定的应力梯度（即液体压力梯度、机械应力梯度），这是工程设计中的棘手部分。例如堆石粘土心墙坝，粘土心墙提供不透水区，而堆石区提供强度，但是，心墙与堆石的界面，因为应力梯度产生破坏，即水压力梯度可引起管涌，剪应力梯度会造成裂缝。四川省古蔺县的胡家沟水库就因心墙与堆石过渡区（砂、砾料）的破坏，而产生内坝坡塌坑，影响工程的安全运行。从工程实践来看，在过渡区应用土工织物就能消减应力梯度，这就需要研究土工织物应用于过渡区的设计理论。总之，土工织物应用于岩土工程的不同部位，就能发挥它的不同功能，起到

不同的作用。这就使岩土工程界接触到纺织专业，去研究土工织物与环境（液体或固体）相互作用的特性，去研究土工织物应用于岩土工程的物理、力学、水力学的特性，使之应用于工程，也就改变着岩土工程的设计理论而形成一种专门的科学。

（三）土工织物质优、价廉、节省工程投资

土工织物的出现和发展是由于高分子化学工业的飞速发展，出现了不同原材料及其加工工艺的合成纤维产品分不开的。合成纤维远比天然纤维和人造纤维具有更优越的性能，而化工、纺织界为开拓市场，必然向工程界渗透，逐渐得到工程界的重视，开展了应用土工织物的研究。

工程界应用土工织物后，发现它还具有以下优点：

（1）铺设质量易于控制；（2）施工时受气候的影响不大；（3）其性质较土更均匀可靠；（4）能跨越土的软弱点，从而缓和土的缺陷，隔离了可能要混杂的土层，保证了工程质量；（5）施工简便，工期缩短；（6）工程量减少，运输方便，节省投资；（7）能耐腐蚀和有多种功能作用，材料质量保证，增加工程的可靠性。由于有以上优点，所以在工程界中应用发展迅速。例如四川省屏山县黑幽水库，应用了土工织物后，节省土石方9500立米，节省1.2万多工日，减少投资3万余元。重钢护岸工程，护岸长2340米，护岸高30余米，护岸坡1:1.6~1:1.73，填料100多万立米，应用土工布作过滤层，工程竣工后，经洪水考验，长江洪水超过设计标高2米，护岸工程安全稳定，并节约工程费2000余万元，具有显著的经济效益和社会效益。

（四）土工织物技术交流和专业机构是发展成为专门学科

的关键因素

土工织物取得成功的主要因素是它放入岩土工程内发挥了作用，这是土工织物本身特性发挥的效益。这种效益的发挥是岩土工程界许许多多人的作用。这是我们祖先遗留的启示，是高分子化学工业、纺织工业和岩土工程界的努力。这些努力是通过学术交流和专业机构的建立而发展成功的。岩土工程界为了交流土工织物技术，建立了专业机构，确立了一系列专用名词和应用土工织物的技术理论。并发展成为一门学科。

1977年4月在巴黎举行了“纤维在岩土工程中应用”的国际会议(现在都把这次会议看成是第一届国际土工织物会议)，这次会议对推动土工织物在岩土工程中的应用起到了巨大的作用。

1982年8月在美国的拉斯维加斯(Las Vegas)召开了第二届国际土工织物会议。

1983年国际土力学学会与基础工程协会(ISSMFE)成立了土工织物技术委员会，这是土工织物为工程界所承认的一个重大步骤。同年初，由国际纤维技术委员会T(38)组建土工织物协会，它是标准化国际组织(ISO)的成员，并于1985年召开了第一次会议，有17个国家和3个国际组织参加。

1986年第三届国际土工织物会议在维也纳召开，国际土工织物协会(IGS)做了大量工作，使这次国际会议取得了成功。在这次国际会议上，我国(大陆)亦有两篇论文交流，并汇集于论文集。

近年来，美国、法国、加拿大、西德、荷兰、苏联、瑞典、英国、日本、中国等等国家相继成立了土工织物技术交流机构，确立了土工织物应用于工程的设计理论、设计准则、测

试方法和现场观测等，为发展应用土工织物做出了贡献。

第三节 合成纤维材料的性能

一、合成纤维材料的优点

人们以天然气、煤、石灰石及石油等作原料，通过化学方法合成高分子聚合物，并利用模拟缫丝设备，抽成各种纤维，这就是合成纤维。

合成纤维的原料不再是天然的纤维素或蛋白质，而是人工合成的高分子聚合物，这是合成纤维与人造纤维的主要区别。

合成纤维比天然纤维和人造纤维的性能更优越。它的强度大、弹性好、耐磨、耐化学腐蚀、不会发霉、不怕虫蛀、不缩水等优点。因此，合成纤维在工、农业生产，国防及尖端技术方面的应用甚广。

二、主要几种合成纤维材料的性能

目前大规模生产的合成纤维就有三、四十种之多，其中，重点发展的有六大纶：锦纶（尼龙）、涤纶（涤纶）、腈纶、氯纶、维纶（维尼纶）及丙纶。而最主要的是锦纶、涤纶和丙纶等三个品种。现简述如下：

（一）锦纶（化学名称为聚酰胺 PA）

锦纶通常系指尼龙 6 和尼龙 66，它是由氨基酸、内酰胺或二元酸和二元胺缩聚反应而生成，由线型非取代脂族单体合成的聚酰胺。

锦纶，最突出的性能是强度高，弹性好及耐磨性能强。其强度比棉花大二、三倍，耐磨性为棉花的十倍，羊毛的二十倍。锦纶绳的强度比同样粗的钢丝绳还要大。锦纶不仅强度高，而且质轻（比棉花轻35%），耐腐蚀，不受虫蛀。锦纶由于长链分子中存在酰胺基，在酰胺基之间可以通过氢键的作用，使大分子间的相互作用力大大加强，这就确保了纤维的强度。另外，分子键上又有许多比较灵活的亚甲基，这些亚甲基不象涤纶分子键上的基团那样刚性，因此，锦纶纤维柔软而富有弹性。日本生产的混凝土模袋（Fabriform mat即法布），就是用尼龙66制成的。

（二）涤纶（聚酯PES）

涤纶是由对苯二甲酸二甲酯与乙二醇进行酯交换而制成。属饱和线型聚酯类。根据试验，涤纶的耐冲击性能比粘胶纤维高二十倍，比锦纶高四倍。在抗腐蚀方面，除对热的浓碱及某些有机溶剂（如甲酚）不稳定外，对其它化学试剂都较稳定。耐磨性好，仅次于锦纶。耐光性好，仅次于腈纶。特别是它的抗皱性和保形性为其它纤维所不及。涤纶的缺点除吸湿性、透气性、染色性差以外，还不能耐长久曝晒。虽然涤纶纤维的结晶度很高，分子排列亦甚紧密，但它对紫外光来说，其紧密程度尚不够，当太阳光中的紫外光一经进入纤维内部，水和氧气分子就可趁机侵入，从而使纤维的强度降低。

（三）丙纶（聚丙烯PP）

丙纶就是聚丙烯纤维，是合成纤维中的后起之秀。其显著特点是质轻而强度大。其比重还不到棉花的三分之一，比涤纶轻得多，能漂浮在水面上，而强度远远超过棉纤维和羊毛，比之强力著称的锦纶也毫不逊色。它耐磨性优异，还能耐酸、耐碱、