

中国堤防工程施工丛书

ZHONGGUO
DIFANG GONGCHENG
SHIGONG
CONGSU

16

土工合成材料法

徐国新 洪议学 董建军 陈彦生 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

TV87

2

中国堤防工程施工

ZHONGGUO

DIFANG GONGCHENG

SHIGONG

CONGSHU

16

土工合成材料法

徐国新 洪议学 董建军 陈彦生 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系《中国堤防工程施工丛书》之一，主要介绍了土工合成材料法的定义、适用范围、工法原理、施工材料与设备、施工工艺流程、质量控制及检验，并通过典型案例来说明土工合成材料法的广泛应用。书中还介绍了一些土工合成材料法的新工艺、新技术以及我国目前土工合成材料法的研究现状及发展趋势。

本书可供从事水资源开发利用、河道和堤防等工程技术人员阅读，并可供从事土木建筑、公路交通、铁道桥隧、地基处理等设计、科研、施工、监理、生产与管理方面的人员以及中职、中专和高等院校的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

土工合成材料法 / 徐国新等编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2006

(中国堤防工程施工丛书; 16)

ISBN 7-5084-3546-X

I. 土... II. 徐... III. 堤防—防洪工程—水工材料: 合成材料 IV. TV4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 009424 号

书 名	中国堤防工程施工丛书·16 土工合成材料法
作 者	徐国新 洪议学 董建军 陈彦生 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32开本 7.5印张 202千字
版 次	2006年2月第1版 2006年2月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	25.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

编 著 者 的 话

沿江、河、湖、海的岸边修建的挡水建筑物称为堤；构建在河谷或河流中拦截水流的水工建筑物称为坝。“防水的堤坝”合称为“堤防”（《辞海》1999年版缩印本第668页）。

目前，中国堤防总长近30万km，其中江、河、湖堤长达27万余km，海堤1万余km；大、中、小型库坝8.5万座，总库容5184亿m³；蓄滞洪区近百处，总容积980亿m³。这些数量均名列世界前茅。

1998年大水以后，在中央积极财政政策的支持下，堤防建设进度加快，长江、黄河、淮河、海河、松花江、辽河和珠江等七大流域以堤防为重点的防洪体系进一步完善，堤防建设标准普遍提高，抗御大洪水的能力增强。到2000年，新建与加固堤防已长达7400km，流域干、支流Ⅰ、Ⅱ级重要堤防达标1.02万km；海堤达标6000km；全国有236座城市达到国家防洪标准。所有这些成果的取得，离不开采用“新材料、新技术和新工艺”的历史性突破。《中国堤防工程施工丛书》正是“三新”应用的总结与理论的升华。

丛书分四篇十八册，即总论篇的《堤防工程施工工法概论》、《堤防工程探测、监测与检测》；护岸工程篇的《抛石法》、《沉排法》、《柴枕法》、《板桩法》、《模袋法》和《吹填法》；防渗工程篇的《深搅法》、《高喷法》、《注浆法》、《射水法》、《抓斗法》、《切槽法》、《振动沉模板法》和《土工合成材料法》；补强篇的《化灌法》、《抗碳化法》。

各册分别介绍了各工法的定义、适用范围、工法原理、施工

材料与设备、施工工艺及流程、施工质量控制与检查验收标准、工程应用典型案例。书前汇集了相应的术语与符号；书末附有相关的施工用表、规范与设备细目。丛书内容简明扼要，通俗易懂，集知识性、实用性和可操作性于一体，实为当代水资源堤防工程施工工法大全。

“科学有无止境的前沿”，“技术有不停滞的进步”。我们深信，编撰并出版《中国堤防工程施工丛书》，无疑有着十分重要的意义。分册的陆续问世，将有助于相关学科领域和企业单位获得更高、更深与更多的创新与发展。

2005年5月

前 言

土工合成材料，是继木材、水泥和钢材之后于20世纪30年代研发出来的一类新型材料。它既是多行业使用的商品，又是多学科交融的技术。国际上，习惯地将木材、水泥、钢材和土工合成材料并列称其为“四种工程材料”。

利用土工合成材料对水利、交通、建筑、能源、环保和军工等领域的岩土工程进行反滤、排水、隔离、防渗、防护和加筋，全世界只有半个多世纪的历史。在我国，尤其是1998年大洪水以来，土工合成材料法作为堤防施工的一类工法则仅仅是近10年的事。

土工合成材料法具备施工简单、造价低廉、美化环境、适应性强诸特点，特别是在加筋土堤坝、加筋土围堰、加筋土边坡、加筋土挡墙、加筋土桥台、加筋土垃圾填埋场封层和加筋土江、河、湖、海景滩的广泛应用上，被世人同称为“岩土工程界的一场革命”。

在《中国堤防工程施工丛书》的16种单列工法中，土工合成材料法的国内外有关规范、规程、标准最全最多；国内近5年的文献总量也在其他工法的前茅。

在《中国堤防工程施工丛书》的统一架构与部署上，《土工合成材料法》一书重点对近10年来主要是水资源开发利用、河道堤防等工程六大功能应用方面进行实践总结与理论升华，并兼顾其他领域的典型经验作介绍。但将其中的土工模袋专列为“模袋法”另册出版。

《土工合成材料法》一书采取集体讨论和分工合作的方式进

行编著，由徐国新执等编撰前言、术语、符号、绪论、工法原理、施工材料与设备、施工质量控制及验收标准及参考文献；由洪议学执笔编撰施工工艺及流程、工程应用典型案例和附录等；董建军、陈彦生作了部分章节的编撰。全书由董建军策划，陈彦生统稿。

由于编著者水平有限，书中难免有不当之处，敬希读者指正。

编著者

2005年10月

术语表

土工合成材料：指以人工合成的聚合物为原料制成的各种类型产品，是岩土工程中应用的合成材料的总称。目前主要包括土工织物、土工膜、土工复合材料和土工特种材料等。

土工织物：指透水性的平面土工合成材料，我国俗称为土工布。目前主要包括织造型（有纺）和非织造型（无纺）土工织物。

有纺土工织物：指由两组平行细丝或纱按一定方式诸如机织、针织或编织而成的土工织物。我国俗称为有纺土工布。目前以单丝、多丝和裂膜织造成平纹、斜纹和缎纹等产品。

无纺土工织物：指由细丝或纤维定向排列并结合在一起的诸如机械粘合、化学粘合或热粘合而成的土工织物。我国俗称无纺土工布。

土工膜：指在岩土工程中主要用作防渗和隔离的一种不透水高聚合物薄膜。又叫土工隔膜，或土工薄膜。目前主要包括聚合物土工膜和沥青土工膜。

土工复合材料：指由两种或两种以上的土工合成材料诸如布、膜等组合在一起的产品。目前主要包括复合土工膜及复合土工织物、复合防水材料等。

复合土工膜：指由土工膜和土工织物（有纺或无纺）复合在一起的产品，诸如二层、三层、五层复合膜等。

塑料排水带：指由不同凹凸截面形状、具有连续排水槽的合成芯材、外包无纺土工织物构成的复合排水材料，又叫塑料排水板。

塑料盲沟：指由滤膜包裹立体网状结构的塑料芯体组成的起集排沟中渗水作用的一种复合土工排水体系。

土工特种材料：指专门用于岩土工程某种功能而特别组构成面、体结构的土工合成材料，诸如土工格栅、土工模袋、土工格室、土工网、玻纤网、土工垫、土工管、土工包、土工织物膨润土垫、聚苯乙烯板块等。

土工格栅：指由有规则的网状抗拉带形成的主要用作岩土工程加筋、隔离和防护的土工合成材料。

土工模袋：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，凝结后形成板状等防护块体。

土工格室：指由土工格栅、土工织物或土工膜、条带等构成的网格状或蜂窝状三维结构材料。

土工网：指由平行肋条径以不同角度与其上相同肋条粘结为一体，主要作用平面排液、排气的土工合成材料。

玻纤网：指以玻璃纤维制成的平面网状材料。

土工垫：指以热塑性的树脂为原料，经挤出、拉伸而成的相互缠绕并在接点上相互熔合、底部为高弹模基层的三维网垫。

土工织物膨润土垫：指土工织物或土工膜间包有膨润土或其他低透水性材料，用针刺、缝接或化学粘接而成的一种防水材料。

聚苯乙烯板块：指由聚苯乙烯加入发泡剂膨胀经模塑或挤压而成，主要防冻胀、防震动的—种轻型板块。

土工管：指由高强度的土工织物制成的大型尺寸（长×直径达几十米×几米）管袋主要用作河流、圩田、护岸、水下围堰与防护堤的产品。

土工包：指由高强度织造型土工织物铺设在开底的空驳船内、将疏浚的泥沙充填其上并包裹封合，主要用作防护大面积崩岸、堤防迎水坡堵漏、河岸与河底淘冲的—种大尺寸（长40m、体积800~1000m³）的现场实施土工特种材料。

管袋砂枕：指由滤布和粒状填料构成的柔性抗冲刷系统。它由两块结实的聚丙烯编织布以—定时间距缝合后填入200kg以上砂子而形成。

示坡线：指垂直于等高线且指示斜坡降落方向的短线。

施工坐标系：指施工放样而建立的其坐标轴与建筑物的主轴线—致或平行的平面直角坐标系统。

河漫滩：指河流洪水期间淹没的河谷谷底两侧的滩地。

滑坡：指斜坡岩土体沿贯通剪切面向临空面下滑的现象。

崩塌：指组成斜坡或河岸的岩土体急剧向下崩落的现象。

毛细水：指在潜水面以上由毛细力维持的水。

孔隙水：指存在于岩土孔隙内的地下水。

塌岸：指岸坡在水位升降及风浪冲蚀下发生坍塌破坏的现象。

下渗：又叫入渗。指降水通过地表进入土壤中或地面以下的过程。

渗透：指在水力梯度作用下流过多孔介质的液流。

颗粒级配：指土中各种不同颗粒按其粒径大小的分布。

界限粒径：指土在物理力学性质土呈现质变的某些特征粒径。

限制粒径：又叫控制粒径。指颗粒大小分配曲线上重量比为 60% 的粒径，以 d_{60} 表示。

有效粒径：指颗粒大小分配曲线上重量比为 10% 的粒径，以 d_{10} 表示。

平均粒径：指砂、土以重量加权的平均粒径，以 d_{50} 表示。

不均匀系数：指以限制粒径 (d_{60}) 与有效粒径 (d_{10}) 之比值表示土中颗粒级配均匀程度的一个参数，即 d_{60}/d_{10} 。

曲率系数：指颗粒分配曲线上重量比为 30% 的粒径 (d_{30}) 平方值除以限制粒径 (d_{60}) 与有效粒径 (d_{10}) 的乘积所得的比值作为反映颗粒级配优劣程度的一个参数，即 $d_{30}^2 / (d_{60} \cdot d_{10})$ 。

渗透系数：指在层流条件下，渗透速度与水力坡降的比值。

渗透变形：指由渗流作用产生的土体颗粒流失或沸动。常见的渗透变形有管涌和流土。

层间系数：指土工膜防渗工程中，过渡层块石 [粒径 (D_{15})] 和堆石粒径 (d_{85}) 的比值，即 D_{15}/d_{85} 。

吕菜值：又叫刘让值 (Lugeon Value)。指在 100m 水柱压力下，每米长度标准占孔内，历时 10min，平均每 min 压入裂隙中 1L 的水量。

渗透力：指在单位体积土中渗透水流作用在颗粒上的力。其大小等于水力坡降与水密度的乘积。系与孔隙水压力等价的体力，又是作用在土骨架上的切向拖曳力，为矢量。

出逸坡降：又叫出逸梯度。指渗透水自岩土体向其表面逸出点处的水力坡降。

临界水力坡降：又叫临界水力梯度。指不产生流土或管涌的最大水力坡降；或者指开始产生流土或管涌的界限坡降。

在渗透变形中，临界水力坡降定义为破坏水力坡降与破坏的前一级水力坡降的平均值。

流土：指在渗流作用下，土体中某一范围内的颗粒同时随水流发生移动的现象。

管涌：指在渗流作用下，非粘性土体中的细小颗粒通过粗大颗粒骨架的孔隙发生移动或带出，致使土层中形成孔道而产生集中涌水的现象。

涌水冒砂：又叫喷水冒砂。指因土中孔隙水压力水头高于地表面或自由水面而引起的水夹砂粒向表面流动的现象。

潜蚀：指在土体内部发生的管涌。

淤堵：又叫淤填。指在渗流作用下，较高水头区土体内细小颗粒通过粗大颗粒骨架的孔隙移动，引起无粘性土体孔隙堵塞的现象。

边坡临界高度：指安全系数等于1时垂直边坡的最大高度。

透水层：指地下水能渗透通过的岩土层。

隔水层：指能吸收水分但不能使水充分流动的一种多孔岩土层。

不透水层：指没有互相连通孔道的、不能储水和使水流通过的岩土层。

含水层：指充满地下水的透水岩土层。

护岸工程：指为控制主流使其归顺河道，防止岸滩冲蚀而修建丁坝、矶头、顺坝、平顺护岸等工程。

控导工程：指在河道中修建的导引水流及保护滩岸的工程。

静水压强：指水体在静水中一点的压强，即单位面积上的压力。

流速：指流场中任一质点在单位时间内的位移。

流量：指单位时间内通过过水断面的流体体积。

渗流：指液体通过多孔介质或岩石裂隙的流动。

渗透流速：指渗流通过多孔介质横断面中孔隙的流量除以该介质横断面的全部面积所得之流速。

渗流量：指单位时间内通过渗流断面的渗透水量。

渗流阻力：指流体通过多孔介质运动时所受到的阻力。

浸润线：指渗流场中的自由表面线。

渗透坡降：指渗流的水力坡度。

达西定律：又叫“线性渗透定律”。主要指地下水运动的法则。其含意是岩土中液体的渗透速度（ v ）与水力坡度（ J ）成正比，即 $v=KJ$ 。比例系数 K 就是渗透系数。

渗透压力：指水在建筑物上、下游水位差作用下渗入建筑物及地基内而产生的水压力。

反滤：又叫“过滤”或“倒滤”。

反滤层：指沿渗流方向将砂石料或土工织物按颗粒粒度或孔隙逐渐增大的顺序分层铺筑的滤水设施。

不稳定坡：指坡角大于该岩土的安息角，或因不良地质影响呈不稳定状态的岩土体边坡。

反坡：又叫倒坡。指边坡的临空面与水平面之间的夹角小于 90° ，呈倒悬状态的边坡面。

隔离：指防止相邻的不同介质混合。

加筋：指利用土工合成材料的抗拉性能，改善土的力学性能。

加筋土：指由一层或多层水平加筋体与填土交替铺设而形成的一种复合体。

防护：指限制或防止岩土体受外界环境作用而破坏。

褥垫排水：指堤防土坝下游堤身（坝体）与堤坝基之间用排水反滤料铺设的水平排水体。

天然滤层：指在土工织物表面形成的一层由较粗土粒组成的拱架。

滤饼：指在天然滤层上部形成的一层能使水流发生透水性变化而细粒土被阻挡的泥饼。

铺塑：指土工合成材料现场铺设布置。包括土工膜、复合土工膜的垂直铺设；土工布、复合土工织物、复合土工膜等的斜面及水平铺设。

塑膜：主要指土工合成材料中的 PVC、PE 等土工膜。

沟槽：主要指垂直铺塑中用开槽机现场成槽的在地面以下有一定深度与有限宽度的矩形中空体。

————— 符 号 表 —————

- A: 系数; 试件断面积, cm^2
- A_r : 筋材覆盖率, %
- B, b: 系数, 宽度, m
- C: 土体的粘聚力, Pa
- C_c : 曲率系数
- C_u : 不均匀系数
- D: 试件的平均直径, mm
- d: 土颗粒直径, mm
- d_{85} : 土的特征粒径, mm
- E: 土工合成材料的拉伸模量, kPa
- e: 孔隙比
- f: 摩擦系数
- F_s : 安全系数
- g: 重力加速度, 9.8m/s^2
- G_s : 土粒比重
- H, h: 高度, m
- i: 水力梯度
- I_L : 液性指数
- I_P : 塑性指数
- K_a : 主动土压力系数
- K_0 : 静止土压力系数
- K, k: 渗透系数, cm/s
- K_g, k_g : 土工织物的渗透系数, cm/s
- K_s, k_s : 土的渗透系数, cm/s
- L: 长度, m
- M_0 : 滑动力矩
- O_{95} : 土工织物等效孔径, mm
- q: 流量, m^3/s
- Q: 渗水量, m^3

- s_h : 水平间距, m
- s_v : 垂直间距, m
- T : 由加筋材料拉伸试验测得的极限抗拉强度, kN
- T_a : 设计允许抗拉强度, kN
- T_p : 土工合成材料的刺破强度, kN
- T_t : 土工合成材料的抗拉强度, N/5cm
- T_g : 土工合成材料的握持强度, kN
- T_c : 土工合成材料的顶破强度 (CBR 法), kN
- z : 深度, m
- δ : 厚度, m
- θ : 角度; 导水率
- σ : 正应力, MPa
- σ_h : 水平应力, MPa
- σ_v : 垂直应力, MPa
- c_{GS} : 土工合成材料与土体交界面上的界面粘聚力, Pa
- φ_{GS} : 土工合成材料与土体交界面上的界面摩擦角, ($^\circ$)
- f_{GS} : 土工合成材料与土体接触面的界面摩擦系数
- φ : 土体的内摩擦角, ($^\circ$)
- POA: 土工合成材料的开孔率, %
- GR: 水力梯度比

【 目 录 】

编著者的话

前 言

术语表

符号表

1 绪论	1
1.1 定义	1
1.2 适用范围	4
1.3 发展简史	10
1.4 发展趋势	13
2 工法原理	17
2.1 作用机理	17
2.2 工作原理	32
3 施工材料与设备	37
3.1 施工材料	37
3.2 施工设备	70
4 施工工艺及流程	75
4.1 土工织物反滤层施工工艺及流程	75
4.2 土工膜与土工织物作地下隧道衬砌防水密封的 施工工艺与流程	77
4.3 复合土工膜防渗施工工艺	81
4.4 玻纤土工格栅加固公路施工工艺	83
4.5 塑料排水板的施工工艺及流程	86
4.6 土工合成材料加筋土施工工艺	90
4.7 土工合成材料路面裂缝防治施工要点	95
4.8 三维土工网垫生态护坡施工工艺	97

4.9	土工合成材料粘土垫 (GCL) 施工工艺及流程	100
5	施工质量控制及验收标准	105
5.1	施工质量控制	105
5.2	验收标准	112
6	工程应用典型案例	118
6.1	反滤案例	118
6.2	排水案例	127
6.3	隔离案例	132
6.4	防渗案例	140
6.5	防护案例	145
6.6	加筋案例	154
附录	170
附录 A	国内外有关土工合成材料规范	170
附录 B	主要施工用表	194
附录 C	常用土工合成材料中英对照表	204
附录 D	土工织物软体沉排	207
参考文献	210

绪 论

1.1 定 义

土工合成材料法，指利用土工织物（布）、土工膜、土工复合材料和土工特种材料对岩土工程等作反滤、排水、防渗、防护、隔离和加筋的一类施工技术。

鉴于当前国内外土工合成材料规范对其四种材料的分类，又可划分为下列诸子法，即

1.1.1 土工织物（布）法

- (1) 无纺土工织物（布）反滤施工法；
- (2) 无纺土工织物（布）排水施工法；
- (3) 有纺土工织物（布）隔离施工法；
- (4) 无纺土工织物（布）隔离施工法；
- (5) 有纺土工织物（布）防护施工法；
- (6) 有纺土工织物（布）加筋施工法。

1.1.2 土工膜法

- (1) PE 土工膜排水施工法；
- (2) PVC 土工膜排水施工法；
- (3) PE 土工膜防渗施工法；
- (4) PVC 土工膜防渗施工法；
- (5) 土工膜隔离施工法。