

南京水利科学研究院 主编

土工合成材料测试手册

水利电力出版社

345

土工合成材料测试手册

南京水利科学研究院 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书由全国11个单位经过2年的时间,在进行大量的比较试验基础上编写了土工合成材料的测试项目和测试方法。

内容分三大部分:

合成材料的物理、力学性质,包括:厚度、单位面积质量,孔径大小,抗拉,撕裂,顶破等;

水力特性,包括:渗透性,抗渗性,淤堵特性等;

材料与土作用特性,包括:摩擦、拔拉等。

书中除列有试验方法外,还附有说明书,说明试验原理、对仪器的要求、试验中注意的事项、成果的整理方法等。它具有原水利电力部颁布的《土工试验规程》编写的特色。

本书可供从事土工设计、施工和科研人员使用,也可供有关大专院校师生参考。

土工合成材料测试手册

南京水利科学研究院 主编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 7.625印张 167千字

1991年3月第一版 1991年3月北京第一次印刷

印数 0001—3820 册

ISBN 7-120-01318-1/TV·464

定价5.75元

前 言

土工合成材料已广泛应用于岩土工程中，然而，目前还没有可供遵循的统一测试方法。在当前工程设计和产品选择中迫切需要这类材料的特性指标，南京水利科学研究院向水利部申请“土工合成材料工程性质的测试及标准化研究”的专题研究项目，其目的为研究合成材料特性及工程性质的统一测试方法，编写《土工合成材料测试手册》。该项研究得到水利部科教司和水利技术开发基金委员会的立项，作为专项任务下达，并给予全面指导；它也是国家自然科学基金会“土工合成材料加固土体的机理、分析方法及其应用研究”项目的研究内容之一，受到该基金会的支持。

本手册由南京水利科学研究院负责组织编写，得到了北京水利电力经济管理学院研究生部、武汉水利电力学院、长江科学院、松辽水利委员会科学研究所、黑龙江省水利科学研究所、天津大学、浙江大学、铁道部科学研究院铁道建筑研究所、中国科学院武汉岩土力学研究所和天津纺织工业标准检测中心等10个单位协助，共同完成。

本手册是在广泛吸收国内外测试方法的基础上，并结合最近研究成果编写而成的。本手册包括了土工合成材料四个方面的特性试验，即物理特性、水力学特性、力学特性及土和织物相互作用特性试验，共18个试验项目。其中物理特性和力学特性参照国内外沿用的纺织品测试方法，因而比较成熟；水力学特性及土和织物相互作用特性试验由于影响因素较多，尚无较为成熟的方法。对于水力特性，除考虑织物本

身的特性外，还要考虑工程土料与水力条件的作用；相互作用的特性，则要求试验方法模拟工程条件。基于这两类试验在工程设计中比较重要，根据已有资料和研究结果推荐了有关测试方法。本手册中所列的18个试验方法作为建议方法，经过试用，积累资料，为今后进一步制订规程作基础。

本手册在编写过程中，自始至终得到“土工合成材料技术协作网”的支持，在此谨致谢意。

本手册各章的主要编写人员如下。第一章由王正宏（北京水利电力经济管理学院研究生部）、马梅英（南京水利科学研究院）编写；第二至第四章由马学敏（天津纺织工业标准检测中心）、王正宏编写；第五、第十八章由王钊、陆士强（武汉水利电力学院）编写；第六、第七章由王钊（武汉水利电力学院）、陈星柏（松辽水利委员会科学研究所）编写；第八至第十一章由马梅英、杨明昌（南京水利科学研究院）编写；第十二至十五章由史存林（铁道部科学研究院铁道建筑研究所）、王安江（黑龙江省水利科学研究所）、杨明昌编写；第十六、第十七章由王正宏、许仲生（长江科学院）、杨明昌编写；第十九章由陆士强、王钊编写。由马梅英负责统一全稿，最后经窦宜（南京水利科学研究院）、王伟（南京水利科学研究院）审阅。

作 者

1990.10.25

主 要 符 号

- A ——试样面积 (cm^2);
 B ——试样宽度 (cm);
 c_0 ——粘聚力 (kPa);
 c_r ——残余粘聚力 (kPa);
 C_v ——变异系数 ($\%$);
 D_r ——穿透孔径 (mm);
 e ——孔隙比;
 f^* ——似摩擦系数;
 GR ——梯度比;
 h ——水位或高度 (cm);
 Δh ——水位差 (cm);
 i ——水力梯度;
 k ——渗透系数 (cm/s);
 k_{20} ——标准温度 (20°C) 下的渗透系数 (cm/s);
 k_n ——垂直织物平面的渗透系数 (cm/s);
 k_n^{20} ——标准温度 (20°C) 下垂直织物平面的渗透系数 (cm/s);
 k_s^{20} ——标准温度 (20°C) 下土的渗透系数 (cm/s);
 k_{s0}^{20} ——标准温度 (20°C) 下土和织物系统的渗透系数 (cm/s);
 k_t ——沿织物平面的渗透系数 (cm/s);
 k_t^{20} ——标准温度 (20°C) 下沿织物平面的渗透系数 (cm/s);
 L ——试样长度 (cm);
 L_0 ——试样初始长度 (cm);
 L_r ——试样破坏时长度 (cm);
 ΔL ——位移量 (cm);
 M ——试样质量 (g);
 m ——试样单位面积质量 (g/m^2);

- m_i ——粒料投放量 (g);
- n ——孔隙率 (%) 或试样数 (块);
- O ——孔径 (mm);
- O_{95} ——等效孔径 (mm);
- P ——垂直荷载 (N, kN);
- P_b ——胀破强度 (kPa);
- P_f ——试样最大抗拉力 (N, kN);
- p ——法向压力 (kPa);
- Q ——渗流量 (cm^3/s);
- R ——粒料筛余率 (%);
- T ——水平荷载 (N, kN);
- T_b ——圆球顶破强度 (N, kN);
- T_c ——CBR顶破强度 (N, kN);
- T_d ——拉拔力 (N, kN);
- T_e ——握持强度 (N, kN);
- T_p ——刺破强度 (N, kN);
- T_s ——拉伸强度 (kN/m);
- T_t ——撕裂强度 (N, kN);
- t ——时间 (s);
- V ——总流量 (cm^3);
- v ——渗透流速 (cm/s) 或变形速率 (mm/min);
- δ ——试样厚度 (mm);
- ϵ_p ——试样伸长率 (%);
- η_T —— $T^\circ\text{C}$ 时水的动力粘滞系数 ($\text{kPa}\cdot\text{s}$);
- η_{20} —— 20°C 时水的动力粘滞系数 ($\text{kPa}\cdot\text{s}$);
- θ ——导水率 (cm^2/s);
- θ_{20} ——标准温度 (20°C) 下的导水率 (cm^2/s);
- ρ ——试样原材料密度 (g/cm^3);
- σ ——标准差;

τ —— 剪应力 (kPa);

φ —— 摩擦角 ($^{\circ}$);

φ_r —— 残余摩擦角 ($^{\circ}$);

ψ —— 透水率 (1/s);

ψ_{20} —— 标准温度 (20 $^{\circ}$ C) 下的透水率 (1/s)。

目 录

前言

主要符号

第一章	总论	1
第二章	单位面积质量试验	10
第三章	厚度试验	17
第四章	孔隙率计算	28
第五章	孔径试验	31
第六章	垂直渗透系数试验	48
第七章	水平渗透系数试验	65
第八章	条带拉伸试验	78
第九章	握持拉伸试验	98
第十章	撕裂试验	106
第十一章	胀破试验	115
第十二章	圆球顶破试验	124
第十三章	CBR顶破试验	130
第十四章	刺破试验	138
第十五章	落锥穿透试验	144
第十六章	直接剪切摩擦试验	149
第十七章	拉拔摩擦试验	166
第十八章	淤堵试验	183
第十九章	防水性试验	201
附录一	英汉名词对照	219
附录二	国外有关土工合成材料的机构和组织	231

第一章 总 论

1.1 土工合成材料及其在工程中的应用

当今被广泛应用于岩土工程中的土工合成材料，它是高分子聚合物产品的统称。早在20世纪20年代，化工部门即成功地生产出人工合成材料，但直到50年代后期，这种材料才逐渐地作为一种新型的建筑材料被推广应用于岩土工程。早期的产品主要是透水的有纺及无纺土工织物，后来又生产出不透水的土工膜。随着工程实践的要求和制造工艺的提高，又陆续制造出高强加筋用的土工格栅和其它组合产品。这样，原来的土工织物一词已远不能概括各类产品的含义，于是在国际上出现了许多替代名称，其中土工合成材料一词最为通用，不过习惯上仍常笼统地称之为土工织物。

最近20年来，随着对合成材料工程特性的深入研究、工程实践经验的积累、特殊规格产品研制能力的提高以及产品市场的日益扩展，土工合成材料的应用规模得到飞跃发展，几乎涉及铁道、公路、水利、海港、建筑、采矿等各个领域。形成这种局面的原因，除合成材料具有质量轻、柔性大、强度高、耐腐蚀、生产工厂化、成本低、运输和施工方便等众多优点外，还由于其在工程应用中的适应性强，具有多方面的功能。土工合成材料主要具有下列功能：

1. 过滤作用：水和气可自由地通过土工织物，但土颗粒却有效地被截留或控制。典型的用途为代替砂砾料作反滤材料。

2. 排水作用：流体允许沿织物平面排出。例如用于地下或坝内排水。

3. 隔离作用：把两种不同粒径或性质的材料隔开，例如用作铁路地基和道渣的隔层。

4. 加筋作用：使土中应力和应变重新分布，增加其强度和稳定性。例如用于软基加固、修筑轻型挡土墙等。

5. 防护作用：防止坡面在渗流力或波浪力作用下的坍塌、淘刷和失稳。例如用于河道和海岸的防冲护坡。

6. 封闭作用：阻止水、气或有害物质的渗流。例如用于水池或渠道防渗，弃料坑的封闭等。

对于各个具体工程来说，土工合成材料常常同时发挥上述几种功能，起着多方面的综合作用。

由于合成材料的经济和技术上的优势，使其应用范围业已遍及岩土工程的各个方面。据有关文章报导，到1984年，全世界已有10万项以上的工程采用了3亿多平方米的土工织物，其中北美占一半以上，欧洲占2/5，日本、南太平洋和南非的应用也较多。专家们估计，到本世纪末，欧洲将会有千分之一的土地为这种材料所覆盖。值得一提的是，土工膜的应用历史悠久，早在60年代就已用于工程防渗。我国开发这种新材料和新技术的起步稍晚，在70年代末始用于铁路地基整治翻浆冒泥，其后逐步推广于其它土建系统。短短的十多年，在制造、应用和研究方面都取得了令人瞩目的成绩。据1988年的统计，国内采用这种新技术的工程项目也超过了500项；产品类型和质量不断增多和提高；生产能力已能满足当前的需求量；有关理论和实用研究队伍也初具规模。回顾土工合成材料的发展历程和开拓前景，正如国际著名专家J.P.Giroud把这一技术誉为“土木工程中迄今最深刻的一

次革命”是十分确切的。

但是，就客观现状而言，这项新技术的兴起毕竟历时不长，加上土工合成材料系由高分子聚合物制成，其延伸性大，有明显的蠕变和应力松弛现象，因而其性能易随环境因素而变化；此外，土工织物通常埋在土内，土与织物界面的相互作用机理十分复杂，至今没有解决。所以尽管土工合成材料的应用已较为普遍，但对材料特性的认识，各种功能的工作机理以及设计方法等方面都存在大量有待探讨的课题。总之，为使这项新技术得到进一步发展，迫切需要解决两个问题：材料的性状测试和工程设计规范。

土工合成材料的性状测试包括测定材料自身的物理力学特性和提供可靠的材料与土的相互作用特性。物理力学特性可评定材料的质量和适用性；相互作用特性可为工程设计提供指标，这些指标也是进一步研究材料改性和开发新品种的依据。但是，目前国内外还没有可供遵循的统一测试标准。为了解决当前国内产品制造、材料选择和工程设计中迫切需要的材料特性指标值，本手册编写组在广泛吸收国内外经验的基础上，结合编写组两年来进行的标准化研究成果编写本手册。

1.2 原材料与各种类型产品简述

1.2.1 按原材料分类

土工合成材料按其聚合物原材料进行分类，采用最多的聚合物有聚丙烯、聚乙烯、聚酯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酰胺等。土工织物的生产过程一般包括两道工序，首先将原

材料制成线型纤维，然后再把线型的细丝、纤维、纱或细条制成平面结构织物。按织物结构形式可分为有纺土工织物、无纺土工织物和针织物。表1.1列有各类聚合物纤维的特性及其织物形式。土工膜的生产一般采用压延方法成型，复合土工膜通常是以有纺织物作筋布，然后上覆聚合物涂层而成。土工格栅的制作方法是先将原材料挤压成板，再经打孔、定向拉伸等工序制成。

表 1.1 各类合成纤维特性与织物形式

聚合物种类	聚 酯 (涤纶)	聚 乙 烯	聚 丙 烯	聚 酰 胺 (尼龙66)	聚 酰 胺 (尼龙6)	聚 酰 胺 (Normex)	碳 氟 化 合 物	聚 氯 乙 烯
纤维特性:								
纤度, 旦*,	7.8	4.5	8	8	8	5.3	1.4	1.8
断裂伸长率, %,	9	25	18	15	17	22	15	25
比 重	1.38	0.94	0.91	1.14	1.14	1.38	2.1	1.69
熔点, °C	260	120	165	250	215	370	370	327
最大工作温度, °C	150	55	90	90	<65	200	280	—
织物形式:								
纺 织	有	有	有	有	有	有	有	有
针 织	有	有	有	有	有	有	有	有
热 粘	有	有	有	有	有	—	有	有
纺 粘	—	—	—	有	有	—	有	有
针 刺	有	有	有	有	有	有	有	有

* 旦denier, 纤度单位, 定长9000m质量1克为一旦。

土工合成材料的种类很多,基本上可归纳为传统的土工织物、专门用途的土工产品、组合土工织物和土工膜等。

1.2.2 传统的土工织物

1. 有纺土工织物：这种织物通常由经纬线编织而成，可分为单丝的、多丝的、扁丝的及不同丝混合的织物。

2. 无纺土工织物：由细丝或短纤维定向排列或任意排列，并使其结合在一起的平面结构。通常采用三种粘合方法：a) 用粘合剂将纤维粘合在一起，称化学粘合无纺土工织物；b) 用加热方法使细丝或短纤维部分熔化联成整体，称热粘（或热熔）无纺土工织物；c) 由带刺小针上下穿刺将纤维勾缠为整体，称为针刺无纺土工织物。

1.2.3 专门用途的土工产品

包括带状织物、席垫、网织品、土工格栅和各种成型塑料片等。

1.2.4 组合土工织物

按工程要求，将上述两种或几种土工织物结合在一起的特制产品称为组合土工织物，例如无纺和有纺织物的组合，有纺织物和土工膜的组合，塑料板和无纺织物的组合或网制品和织物的组合品等。

1.2.5 土工膜

土工膜是用透水性很低的沥青材料或高分子聚合物材料制成的膜形产品。制膜用的高分子聚合物很多，例如聚氯乙烯、聚乙烯、氯化聚乙烯、氯硫化聚乙烯、异丁橡胶等。这类高分子聚合物一般力学强度较低，工程上采用这种不透水土工膜时，通常将这类聚合物压粘在有纺织物和无纺织物的表面构成复合土工膜。在加工过程中常掺入各种外加剂，如稳定剂、杀菌剂等。

除工厂制造的土工膜外，还有在现场原位制成的土工膜。

1.3 国际和国内的有关学术组织和标准

迄今尚无公认的有关土工合成材料的技术规范和试验方法。目前国际上有许多学术机构成立了制订有关土工织物规范和试验方法的标准化委员会，较著名的有：国际土工织物学会（IGS），国际材料和结构研究及测试实验室联合会（RILEM），国际标准化组织（ISO），公路大会常设国际协会（PIARC），国际土力学与基础工程学会（ISSMFE）等。同时一些国家也设立了相应机构，旨在发展本国的土工织物标准试验方法，例如美国材料试验学会（ASTM），英国标准局（BSI），西德工业标准（DIN），日本工业标准（JIS），美国联邦公路管理局（FHWA）等，参见附录二。

如前所述，土工织物在我国的发展和运用起步较晚，但近年来发展很快，与此同时成立了一些学术机构。土工合成材料技术协作网于1984年成立；水利学会岩土专业委员会土工合成材料专门委员会于1989年初成立；水力发电学会土工合成材料专业委员会也于1989年底成立。这些组织对推广和发展土工合成材料在我国的应用将起重要作用。

1.4 本手册编写内容的安排

本手册在安排编写内容时尽可能地反映岩土工程各个领域所需设计指标的测试项目。在这些项目中，有些项目比较成熟，有些项目不太成熟。编写时，除沿用纺织品试验方法外，部分测试方法还借用了其它有关材料试验方法，例如在编写土与土工织物相互作用的力学与水力学特性时，还

着重参考了土工试验、水工试验规程及其它有关资料。

本手册包括土工合成材料四个方面的特性试验，共有18个试验方法。第1类为物理特性试验：包括单位面积质量，厚度及孔隙率；第2类为水力特性试验：包括孔径，垂直渗透系数及水平渗透系数试验；第3类为力学特性试验：包括条带拉伸，握持拉伸，撕裂，液压胀破，圆球顶破，CBR顶破，刺破及落锥穿透试验；第4类为土与织物相互作用特性试验：包括直剪摩擦，拉拔摩擦，淤堵及防水性试验。

在这些试验中，物理和力学特性试验比较成熟，国内外都沿用纺织品测试方法，试验方法和参数基本已趋一致，当然其中的某些技术条件还有待进一步研究；水力特性试验不很成熟，这类试验既要考虑织物的特性，又要考虑传统粒状材料水力试验的条件和要求，目前试验方法和参数尚未统一；土与织物相互作用试验则更不成熟，这类试验直接为工程设计提供指标，要求试验方法模拟工程条件。进行土与织物相互作用的试验十分复杂而困难，这是因为土与织物相互作用下的应力应变特性不清楚，模拟现场工程条件和应力应变特性的试验方法还远未解决。所以水力特性试验和土与织物相互作用试验都比较困难，尤其后者难度更大。然而这两类试验对工程设计至关重要，迫切需要有个可供遵循的试验方法。在搜集国内外资料的基础上，加上编写组所进行的研究成果，在本手册中暂且列入上述18个试验方法作为建议方法，经过试用，积累资料，为今后进一步制订规程作准备。

1.5 有 关 规 定

在本手册介绍的18个试验方法中，有些规定是通用的，

各试验均可参照执行。现将这些共同规定介绍如下。

1.5.1 制样方法

1. 制样原则

1) 每项试验的试样应从样品的长度与宽度方向上随机剪取, 但距样品的边缘至少100mm。

2) 试样不应含有灰尘、折痕、孔洞、损伤部分和可见斑点。

3) 为同一试验剪取两个以上的试样时, 应避免它们位于相同的纵向或横向位置上, 即采用梯形取样法; 如不可避免(如卷装幅宽较窄), 应在试验报告中注明情况。

4) 剪取试样时应满足精度要求, 可先剪成稍大于要求尺寸的试样, 然后再加工成精确的尺寸。

5) 剪取试样时, 应先有剪裁计划, 然后再执行。

6) 对每项试验所用的全部试样, 应予以编号。

2. 适用范围: 上述原则适用于各类土工合成材料, 但不包括土工格栅等专门用途制品。

1.5.2 调湿

1. 试样一般应置于温度为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $65 \pm 2\%$ 和标准大气压的环境中调湿24小时。

2. 如果确认试样不受环境影响, 则可省去调湿处理, 但应在记录中注明试验时的温度和湿度。

1.5.3 算术平均值、标准差及变异系数的计算公式

1. 算术平均值 $\bar{x}$ 按下式计算:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1.1)$$

式中 n —— 试样块数;