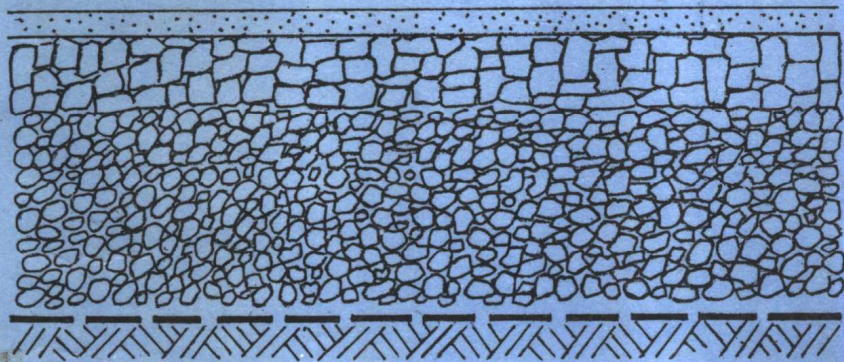


土工织物 工程设计

周 蓝 玉



西安交通大学出版社

1.7

交通

977257

T0531.7
7741

605317
7741

ext.

土工织物工程设计

周蓝玉

江苏工业学院图书馆
藏书章

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书系统阐述了土工织物在公路工程中的各种应用,主要包括排水、防冲刷、路基路面、软基路堤、加筋土坡和加筋土挡墙等工程的设计方法和施工要点,并简要介绍了土工织物的分类、工程性质以及选用原则等基本知识。本书可供土木建筑专业供工程技术人员设计施工参考,也可作为大专院校有关专业高年级选修课和研究生教材,也可供工程技术人员设计、施工时参考。

(陕)新登字 007 号

土工织物工程设计

作者 周蓝玉

责任编辑 潘瑞麟

西安交通大学出版社出版

(邮政编码 710049)

陕西广播电视印刷厂印装

各地新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 11.25 字数 197 千字

1992 年 12 月第 1 版 1992 年 12 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN7-5605-0533-3/TU·11 定价:7.80 元(平) 11.00 元(精)

前 言

高分子合成纤维与相关材料在土木工程中的应用已有二三十年的发展历史,近十年来在我国也有飞速的发展。由于目前尚缺少有关土工织物作用机理和工程设计方法方面的系统介绍,使得这一新技术、新材料的进一步推广受到影响。作者根据多年工程实践和研究成果,参考美国若干技术标准,写成了本书,希望能够解决一些当务之急。

全书分为两部分。第一部分首先介绍土工织物的分类、工程作用机理(第一章)和基本性质(第二章),然后分别扼要介绍在排水工程(第三章)、防冲刷工程(第四章)、路面工程(第五章)、软基上的加筋路堤(第六章)、加筋土坡(第七章)和加筋土挡墙(第八章)等公路构造物中土工织物的工程设计原则和施工要点。

第二部分是设计范例,介绍上述六类工程的典型设计方法和步骤,可供具体工程设计参考。

本书编写工作得到了美国联邦公路总局张剑潭博士的热情支持,并承蒙允许使用该局大量技术资料与照片。周承元、李滔、徐日庆和汪益敏等同志先后参加了部分章节的资料收集、校核与编写工作。西安交通大学出版社给予了大力协助。作者在此一并表示衷心谢意。

作 者

1991 年夏

ADP4 109

目 录

第1部分 设计原则

第1章 绪论

1.1 概述	(1)
1.1.1 织物的成分	(1)
1.1.2 织物的纤维	(1)
1.1.3 织物的分类	(2)
1.2 织物的工程作用	(3)
1.3 织物的发展历史与现状	(4)

第2章 土工织物的性质和选用原则

2.1 织物的工程性质	(6)
2.1.1 力学性质	(6)
2.1.2 水力学性质	(11)
2.1.3 耐久性	(15)
2.2 影响织物性质的因素	(16)
2.2.1 织物的成分	(16)
2.2.2 织物的结构	(18)
2.3 织物选用原则	(26)

第3章 排水工程中的土工织物

3.1 概述	(28)
3.2 织物的选择	(29)
3.3 设计原则	(29)
3.4 设计步骤	(34)
3.5 施工要点	(38)
3.6 平面排水织物与复合排水板	(40)
3.6.1 概述	(40)
3.6.2 设计原则	(41)
3.6.3 施工要点	(42)

第4章 防冲刷工程中的土工织物

4.1 概述	(44)
--------------	------

4.2	设计原则	(45)
4.3	设计步骤	(47)
4.4	施工要点	(49)
4.5	临时性防冲刷织物设计	(51)
4.5.1	概述	(51)
4.5.2	织物拦砂障	(52)

第5章 路面工程中的土工织物

5.1	织物分隔层的设计与施工	(54)
5.1.1	织物的作用	(54)
5.1.2	永久性和临时性道路	(55)
5.2	临时性道路中的织物设计	(55)
5.2.1	设计原则	(55)
5.2.2	设计步骤	(56)
5.3	永久性道路和高等级公路中的织物设计	(59)
5.3.1	设计原则	(59)
5.3.2	设计步骤	(60)
5.4	织物的选择	(60)
5.5	施工要点	(61)
5.6	织物罩面的设计与施工	(63)
5.6.1	设计原则	(63)
5.6.2	施工要点	(64)

第6章 软土地基加筋路堤中的土工织物

6.1	概述	(67)
6.2	设计原则	(68)
6.3	织物的选择	(71)
6.4	设计步骤	(73)
6.5	施工要点	(74)

第7章 加筋土坡中的土工织物

7.1	织物的选择	(78)
7.2	设计步骤	(80)
7.3	施工要点	(86)

第8章 加筋土挡墙中的土工织物

8.1	概述	(88)
8.2	织物的选择	(90)
8.3	设计步骤	(92)

8.4 施工要点	(100)
----------------	-------

第2部分 设计范例

第9章 路肩排水织物反滤层

9.1 设计说明	(103)
9.2 已知条件	(103)
9.3 设计步骤	(104)
9.4 结论	(108)

第10章 织物加筋土坡

10.1 设计说明	(110)
10.2 已知条件	(110)
10.3 设计步骤	(111)
10.4 结论	(121)

第11章 永久道路织物分隔层

11.1 设计说明	(122)
11.2 已知条件	(122)
11.3 设计步骤	(123)
11.4 结论	(130)

第12章 临时道路织物分隔层

12.1 设计说明	(131)
12.2 已知条件	(131)
12.3 设计方法	(131)
12.4 结论	(143)

第13章 软土地基织物加筋路堤

13.1 设计说明	(143)
13.2 已知条件	(143)
13.3 设计步骤	(144)
13.4 结论	(150)

第14章 织物加筋土挡墙

14.1 设计说明	(151)
14.2 已知条件	(151)
14.3 设计步骤	(152)
14.4 结论	(164)

参考文献

第1章 绪 论

1.1 概 述

土工合成材料(Geosynthetics)是以高分子聚合物为原料的新型建筑材料,广泛应用于土木工程各个领域。

土工合成材料的种类很多,其中有一类具有透水性质的布状织物,叫作“土工织物”,俗称“土工布”,英文称作“Geotextile”,由“Geotechnique”(岩土工程)和“Textile”(纺织物)两词拼接而成。在文献中它有很多同义词,如 Engineering Fabrics, Geotechnical Fabrics, Civil Engineering Fabrics, Geofabrics, Filter Fabrics 和 Plastic Filter Cloth 等,所指的都是透水性较高的人工合成织物。为叙述方便,以下简称“织物”。

根据工程的不同需要,织物除制成布状以外,还可以制成其它很多形状,如粗格架状的土工格(Geogrid)、土工网(Geonet)和土工垫(Geomat)等,或者将上述织物组合起来,制成土工复合材料(Multy-Geotextile)。

在土工合成材料中,有一种不透水的薄膜状材料,称作“土工(薄)膜”(Geomembrane)。本书讨论的织物不包括这种材料。

概括地说,目前土工合成材料主要包括:土工织物(透水、布状)、土工网、格、垫(粗格或网状)、土工薄膜(不透水、膜状)和土工复合材料(以上材料的组合)。

1.1.1 织物的成分

织物的成分是人造聚合物。

目前常用的聚合物有聚丙烯(丙纶, Polypropylene)、聚酯(涤纶, Polyester)、聚乙烯(Polyethylene)、聚酰胺(锦纶, Polyamide)、尼龙(Nylone)和聚偏二氯乙烯(Polyvinylidene Chloride)等。织物原料多采用聚丙烯和聚酯,以聚乙烯为原料的有两三种,以聚偏二氯乙烯为原料的目前只有一种。

织物大多由同一种聚合物制成。根据工程的需要,有的织物由多种聚合物制成,或者在织物产品中加入玻璃丝和钢丝等,以增加强度。

1.1.2 织物的纤维

构成织物的最小结构单元是聚合物纤维。在织物制造过程中,首先由原材料

制造聚合物纤维,然后由纤维制成织物。

聚合物纤维有三种:

(1) 长丝 一种连续的细长纤维,由熔融状聚合物经过挤压、拉延而成。在加工过程中,聚合物分子定向排列,从而提高了材料的强度。

(2) 短丝 由长丝切割而成,长约 2~10cm。

(3) 扁丝 一种带状纤维,宽约 1~3mm。在拉延过程中,分子也受到定向排列,使强度增大。

有时将纤维纺成纱线。纱线一般有以下五种:

(1) 单长丝纱线 由单根长丝组成的纱线。

(2) 复合长丝纱线 由多根长丝并成的纱线。

(3) 交织纱线 由多根短丝捻成的纱线。

(4) 扁丝纱线 由带状扁丝组成的纱线。

(5) 扁丝束 由多根带状扁丝交织连结成的纱线。

织物纤维通常用“线密度”,即单位长度纤维或纱线的质量来描述,其单位为“特”(tex), $1\text{tex}=1\text{mg/m}$ 或 1g/km 。在纺织学中,以长 9 000m,重 1g 的纤维粗细程度作为纤度(细度)单位,称为“旦”(Denier)(非法定),即 $1\text{tex}=9\text{Denier}$ 。

1.1.3 织物的分类

按照不同的制造工艺,可将织物分为有纺、无纺、编织和复合织物四种类型。

1. 有纺织物(Woven Fabrics)

由经线和纬线相互交织而成的织物,与日用布相似。根据经线和纬线的夹角不同,又可分为平纹织物(经、纬线相互垂直)和斜纹织物。

有纺织物的纱线,可由一种或多种纤维纺成。由单长丝纱线织成的有纺织物较薄,厚度约 0.5mm;由复合长丝、交织纱线和扁丝束织成的有纺织物较厚,约为 3~5mm。

2. 无纺织物(Nonwoven Fabrics)

将纤维沿一定方向或随机地以某种方法相互结合而制成的织物。

纤维之间相互结合的方法有:

(1) 化学粘合法 使用乳胶、橡胶、纤维素衍生物、合成树脂等粘合剂,将纤维相互粘结固定。

(2) 热粘合法 通过加热使部分纤维熔化,再使纤维相互粘合。这种织物一般较薄,厚度为 0.5~1mm。

(3) 针刺粘合法 用许多带倒钩刺的针穿刺纤维网垫,使纤维相互缠结固

定,成为整体平面状织物,所用纤维大多为短丝。这种织物一般较厚,约1~5mm。

3. 编织织物(Knitted Fabrics)

由一股或多股纱线组成的线卷相互连锁而制成,又称“针织物”,其工艺过程如同机制毛衣。使用单长丝和复合长丝。

4. 复合织物(Composite Fabrics)

将编织织物、有纺织物和无纺布物等重叠在一起,用粘合或针刺等方法使其相互组合加工而成的织物称做复合织物。

织物产品的名称,通常在织物类型前面冠以聚合物种类,后缀织物单位面积重量,如“聚丙烯针刺无纺布物 340(g/m²)”。

目前几种主要的织物产品如表1-1所示。

表 1-1 几种主要织物产品

织物类型	纤维类型	成分
有纺织物	单 丝	聚丙烯 聚偏二氯乙烯
	复 丝	聚 酯 聚丙烯
	扁 丝	聚丙烯
无纺布物	短纤维 连续长丝	聚丙烯,聚酯, 尼龙,多种成 分纤维混纺
复合织物	由多种成分纤维制成	

1.2 织物的工程作用

织物在工程中可以起到多方面的作用,概括起来有以下四种:

1. 排水作用

织物是多孔隙透水介质,埋在土中可以汇集水分,并将水排出土体。织物不仅可以沿垂直于其平面的方向排水,也可以沿其平面方向排水,即具有水平排水功能。

2. 反滤作用

为防止土中细颗粒被渗流潜蚀(管涌现象),传统上使用级配粒料反滤层。而有纺和无纺布物都能取代常规的粒料,起反滤层的作用。工程中往往同时利用织物的反滤和排水两种作用。

3. 分隔作用

在岩土工程中,不同的粒料层之间经常发生相互混杂现象,使各层失去应有的性能。将织物铺设在不同粒料层之间,可以起分隔作用。例如,在软弱地基上铺设碎石粒料基厚时,在层间铺设织物,可有效地防止层间土料相互贯入和控制不均匀沉降。织物的分隔作用在公路、铁路软土路基处理中很有效果。

4. 加筋作用

织物具有较高的抗拉强度和较大的破坏变形率,以适当方式将其埋在土中作为加筋材料,可以控制土的变形,增加土体稳定性。

在一项工程中,可能要求织物发挥多种作用,其中有的是主要的,有些是次要的。织物在各种工程中的作用见表 1-2。

表 1-2 织物在各种工程中的作用

主要作用	工 程	次要作用
分 隔	道路和铁路路基	反滤,排水,加筋
	填土,预压稳定	排水,加筋
	边坡防护,运动场,停车场	反滤,排水,加筋
排 水	挡土墙,垂直排水	分隔,反滤
	横向排水(铺在薄膜下)	加筋
	土坝	反滤
	铺在水泥板下	—
加 筋	沥青混凝土路面	—
	路面底基层	反滤
	挡土结构	排水
	软土地基	分隔,排水,反滤
	填土地基	排水
反 滤	沟渠,基层,结构和坡脚排水	分隔,排水
	堤岸防护	分隔

1.3 织物的发展历史与现状

人类利用各种材料加固土体的历史可以追溯到纪元前若干世纪。据科学考证,在数千年前人类就利用芦苇加筋粘土建造房屋。三千多年以前,巴比伦人曾

把植物纤维掺在土中建造庙宇。我国战国末期的都江堰工程,就使用了“竹笼”技术。在《史记》和《汉书》中,也都有利用天然柴、竹等材料加固土体、建造堤防的记载。

实际上,在独立于人类文明的自然界,许多鸟类和昆虫都本能地利用非土材料(草与树枝等)加固泥土巢穴;树木依靠庞大的根系吸收养料、水分,同时也加固了赖以立足的地基。这些都是“以非土材料加固土体”原理的自然体现。

在近代,1930年美国北卡罗来纳州首次使用棉纺织品加固路基土。合成纤维商品自1913年在欧洲问世,至今已有近百年历史,但合成织物用于土木工程仅始于50年代末。当时,美国人R. J. Barrett在佛罗里达州首次将透水性合成纤维有纺织物铺设在护岸混凝土块下,作为防冲刷保护层,因而他被称为“土工织物之父”。

1957年荷兰用尼龙有纺织物制成砂袋,用于岸堤堵口工程,前西德、日本等国也用合成纤维砂袋加固防波堤和路堤。无纺织物首次应用于1969年,在土坝上游防冲体底面作为反滤层。一般认为,有纺织物于50年代首先在美国应用,无纺织物的应用在70年代始于欧洲。

70年代以后,在国外,织物的应用从公路、铁路路基工程逐步扩展到挡土墙、土坝等大型永久性工程。进入80年代,土工格、土工网和土工垫等新材料相继出现,进一步加快了土工合成材料应用技术的发展。

与欧美国家相比,土工合成材料在我国的应用起步大约晚了十几年。早在60年代中期,我国就开始将塑料薄膜用于渠道防渗工程。70年代,一种由扁丝纤维织成的编织物,即通常所称的“化纤包装袋”开始应用于河道与涵闸工程。其原料多采用聚丙烯和聚乙烯,具有易于生产、成本低、强度较高和延伸率高等优点。

80年代初,我国铁道部门开始试用无纺织物,其原料大多为聚丙烯,其次为聚丙烯和尼龙。自80年代中期,水利、港建、航道和公路部门开始推广应用。据1988年上半年统计,全国使用土工合成材料的工程已达500多项,其中以无纺织物居多,占使用量一半以上,其次为土工薄膜和有纺织物,约各占20%,其余主要是塑料排水板和各种化纤模袋及复合材料。

我国土工织物的生产和应用,发展速度很快,特别是针刺无纺织物的生产和使用量近年大幅度增长,但尚缺少统一的测试方法和完善的设计理论。当前,除引进外资和国外先进技术外,更重要的是应密切结合我国的土质条件和工程特点,努力开发、研制我国急需的产品,不断提高质量性能和降低成本,大力推广应用,总结设计、施工经验,同时加强织物作用机理方面的研究,逐步统一技术标准,使这一新的建筑材料在工程建设中发挥更大的作用。

第2章 土工织物的性质和选用原则

随着织物应用范围日趋扩大,织物产品的种类和规格也不断增多。如何在繁多的产品中选用最适合工程要求的织物,就成为一个重要的问题。本章介绍织物的基本工程性质及其影响因素。

2.1 织物的工程性质

织物具有非常独特的工程性质,包括力学性质、水力学性质和耐久性。目前,世界各国对织物性质指标的测定方法尚无统一规定,评价标准也不一致,这里只介绍各性质指标的一般定义和常用测定方法,有些是国外流行的方法,如美国的ASTM (American Society for Testing Materials 美国材料试验学会)标准等。

2.1.1 力学性质

1. 抗拉强度

抗拉(伸)强度(Tensile Strength)是织物的一个重要指标,它反映织物所能承受的最大(极限)拉伸荷载。织物在拉伸过程中横截面积显著减小,强度不容易测定与控制,所以通常规定以单位宽度织物承受的拉力作为抗拉强度的量度,不同于一般的强度单位。织物在工作状态下受到的拉伸作用十分复杂,目前多采用不同的试验方式模拟实际的拉伸作用,因而就出现了不同的抗拉强度指标。

(1) 抓拉强度

抓拉强度(Grab Strength)见图 2-1(a)。一般规定织物试件宽 10cm,长 20cm,夹具宽 2.5cm,以 30cm/min 的速度施加作用力,测定织物被拉断时的抗拉强度。由于规定了试件的宽度,通常只以力(kN)作为强度单位。

(2) 窄条抗拉强度

窄条(Narrow Strip)抗拉强度如图 2-1(b)所示。试件宽 2.5cm 或 5cm,长 15cm,夹具间距 7.5cm,以 30cm/min 的速度拉伸至破裂。以单宽(单位宽度)受力(kN/m)为单位。有时以标准试件宽度进行试验,以力(kN)为单位。

(3) 特宽条抗拉强度

织物试件的长宽比直接影响到拉伸试验结果,即使是同种织物也会因长宽

比不同而使试验结果各异。为此提出特宽条(Very Wide Strip)拉伸试验方法,见图 2-1(c)。该法多用于研究织物的应力-应变特征。

(4) ASTM 宽条(Wide Strip)抗拉强度,见图 2-1(d)。

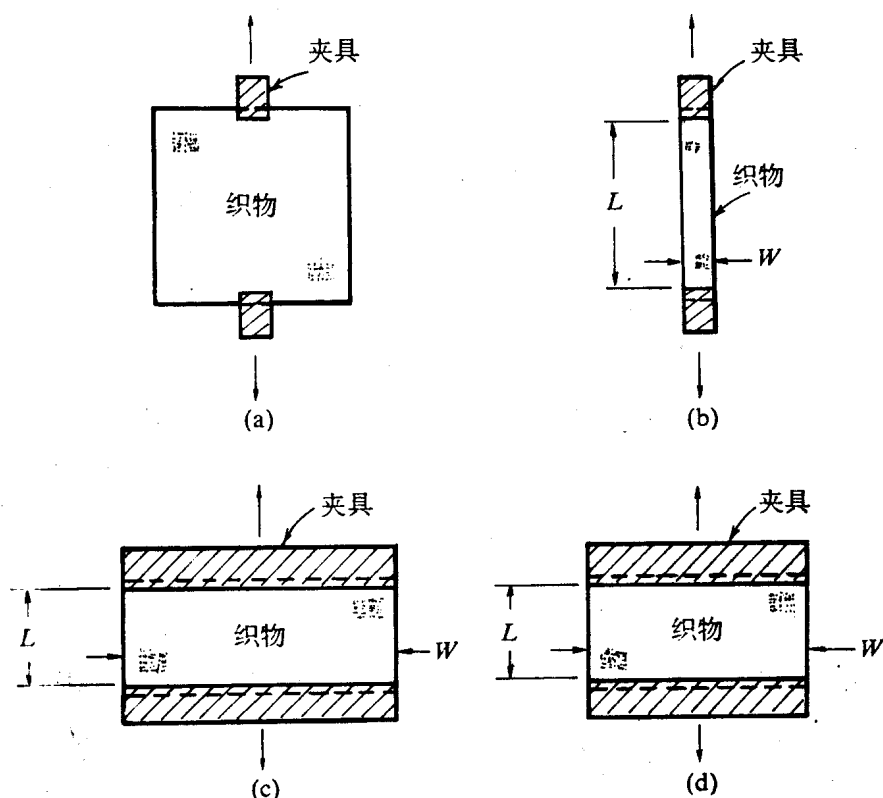


图 2-1 织物抗拉强度试验

(a) 抓拉强度试验; (b) 窄条抗拉强度试验($W/L \approx 1/12$); (c) 特宽条抗拉强度试验($W/L > 2$); (d) ASTM 宽条抗拉强度试验($W/L = 2$)

2. 拉伸模量

拉伸模量(Tensile Modulus)反映织物在受拉伸过程中的应力-应变特征。各类织物的单向拉伸应力-应变关系曲线如图 2-2 所示,图中列出复丝有纺(1)、针刺无纺(2)、热粘合无纺(3)和单丝有纺(4)四种织物的典型应力-应变曲线。可以看到,针刺无纺织物在较小应力下可以达到较大的应变。热粘合无纺织物由于粘合牢固,在相当的应力范围内应力-应变曲线为直线段,然后发生塑性蠕变。有纺织物(1,4)不同于无纺织物(2,3),前者具有显著稳定的高模量。

根据织物不同的拉伸应力-应变关系和实际工程需要,织物模量分为以下三种:初始切线模量、支距切线模量和任意应变水平的割线模量,见图 2-3。

许多织物可以在 100%的延伸率时不发生断裂,但工程上一般多以 10%或

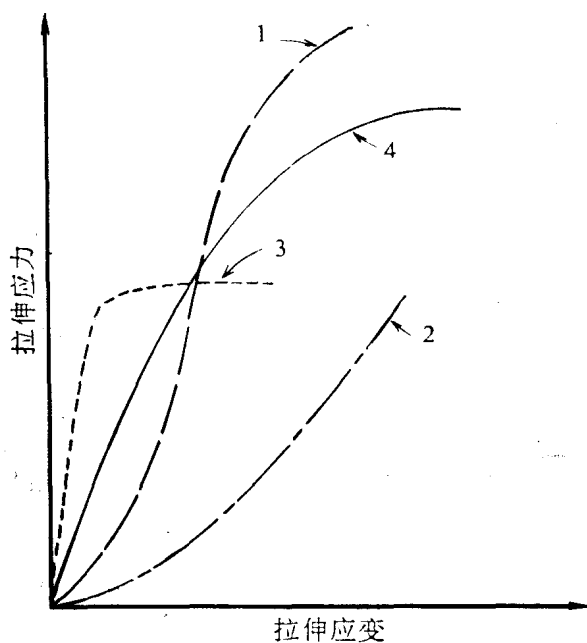


图 2-2 织物拉伸应力-应变关系曲线

1—复丝有纺织物; 2—针刺无纺布; 3—热粘合无纺布; 4—单丝有纺织物

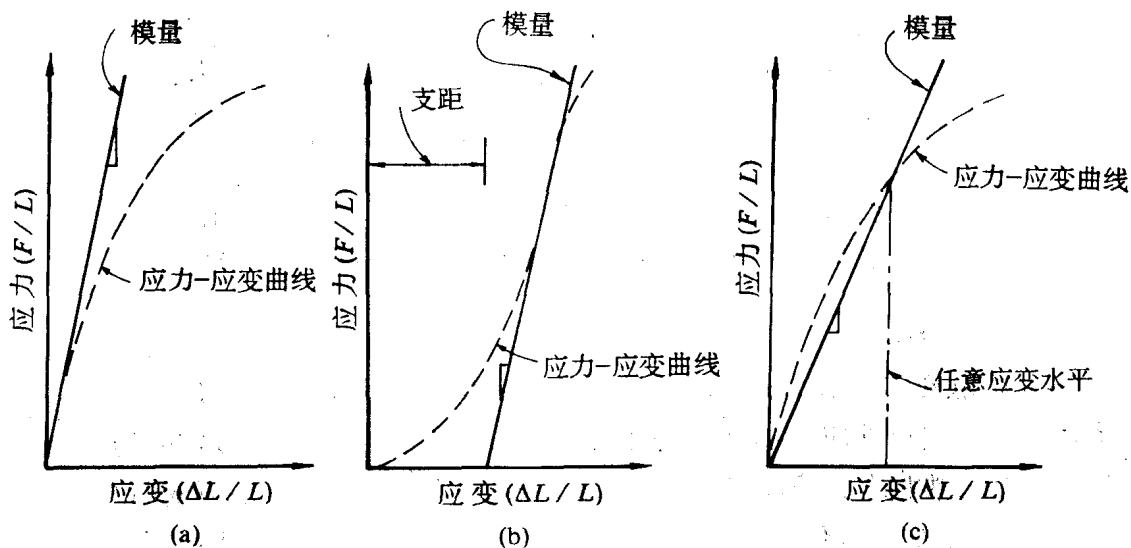


图 2-3 织物的拉伸模量

(a) 初始切线模量; (b) 支距切线模量; (c) 任意应变水平的割线模量

15%的延伸率作为允许标准。

3. 顶破强度

顶破强度(Burst Strength)表示织物承受均匀球面拉伸荷载的能力。顶破试

验模拟织物在工程中承受缝隙水或均匀土压力等受力状态,常用的试验方法有三种:Mullen 液压顶破试验、圆球和 CBR 顶破试验(图 2-4)。

在 Mullen 液压顶破试验中,以 95ml/min 的速度对织物加压至顶破为止。织物的顶破强度一般为 350~8 300kN/m²。

美国 ASTM 采用圆球顶破试验,以 30cm/min 的速度对织物加压。这种方法简便易行,但不适用于有纺织物。

CBR 顶破试验采用土工试验中常用的 CBR 试验设备,方法简便,在国外普遍采用。

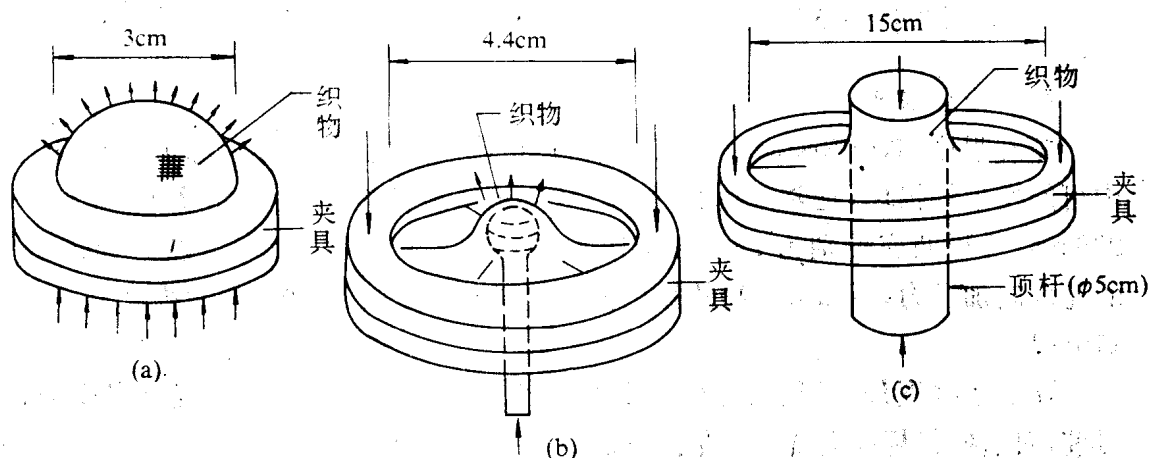


图 2-4 顶破强度试验

(a)液压顶破试验;(b)圆球顶破试验;(c)CBR 顶破试验

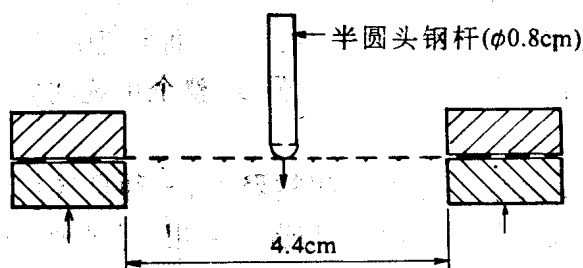


图 2-5 刺破强度试验

4. 刺破强度

“刺破”是指织物被尖锐物戳穿。刺破强度(Puncture Resistance)反映织物抵抗发生这种现象的能力。试验方法如图 2-5 所示。需要注意的是,圆头钢杆往往不适用于有纺织物,美国 FHWA (Federal Highway Administration, 美国联邦公路总局)规定用平头钢杆。

5. 穿透强度

“穿透”是指织物纤维间隙因尖锐物贯入而扩大。穿透强度(Penetration Resistance)反映织物抵抗发生这种现象的能力。目前还没有较理想的试验方法,美国

FHWA 推荐的方法(图 2-6)与刺破试验相似,其特点是将贯入杆的圆头(或平头)改为尖角形状。

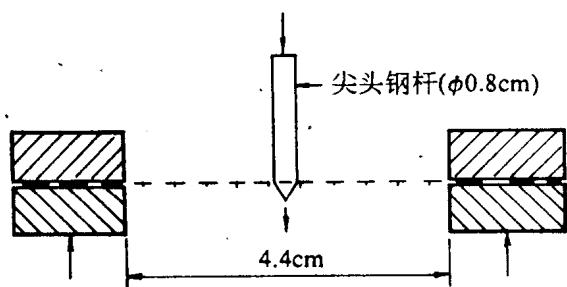


图 2-6 穿透强度试验

6. 冲破强度

冲破强度 (Impact Cutting Resistance) 反映织物抵抗由于尖锐物下落将其“冲破”的能力。试验中用模拟物下落冲击在织物上。英国标准 B6906 推荐的试验方法中,采用重 1kg, 45° 尖角落锤,落距 50cm,织物受力面积 15cm²。

7. 撕裂强度

撕裂强度 (Tear Resistance) 反映织物抵抗撕裂的能力,主要考虑织物在施工中可能发生的损坏。通常采用美国 ASTM 梯形撕裂试验方法:试件尺寸 75mm × 200mm,梯形两底分别为 25mm 和 100mm,夹具沿两腰钳紧织物,以 30cm/min 的速度施加压力,至梯形织物的短边剪口出现撕裂为止。织物的撕裂强度一般为 110~1 300N。

除上述强度外,工程上往往还要求织物的抗切割强度、柔度和缝合强度等。目前,对这些指标尚无统一的量测方法。

8. 织物与土之间的相互作用性质

织物与土之间的相互作用性质主要指两者之间的摩擦力(或相嵌力),对于粘性土来说,还有粘聚力。织物的任何作用,特别是加筋作用,都要依靠织物与土之间的摩擦力与粘聚力来发挥。影响摩擦力和粘聚力的因素有:织物的孔径大小和表面粗糙程度、土的粒径、密度以及颗粒形状等。一般地说,在加筋系统中,如果外部荷载超过织物与土之间的摩擦力和织物本身的抗拉强度,整个系统就会破坏。

目前有两种试验方法测定织物与土之间的摩擦力和粘聚力。一种是拔拉 (Pull-Out) 试验(图 2-7(a)),试验结果一般偏高,仅在特殊情况下采用;另一种是直接剪切试验(图 2-7(b)),设备简单,国外普遍采用。

9. 蠕变

蠕变 (Creep) 是指织物或纤维在恒定应力作用下的连续应变。蠕变速率受温度的影响很大(如随温度升高而增大),并且受应力大小的影响。因此,测定蠕变应在一定温度和相当于具体应用中的应力下进行。

在其它条件相同的情况下,聚酯纤维的蠕变性能优于聚丙烯,即聚酯纤维的