

JTG

中华人民共和国强制性行业标准

JTG 3460—2026

公路工程土工合成材料试验规程

Test Methods of Geosynthetics for Highway Engineering

2026-05-12 发布

2026-08-01 实施

中华人民共和国交通运输部发布

前 言

根据《交通运输部办公厅关于下达 2015 年度公路工程行业标准制修订项目计划的通知》（交办公路函〔2015〕312 号）的要求，由交通运输部公路科学研究院承担《公路工程土工合成材料试验规程》（JTG E50—2006）（简称“原规程”）的修订工作。

原规程自 2006 年 10 月 1 日实施以来，对统一公路工程土工合成材料试验方法，指导和规范土工合成材料的试验起到了重要作用。

本次修订工作遵循协调性、前瞻性、面向规程使用对象的原则进行。编写组在总结十多年来公路工程土工合成材料试验检测技术发展经验和相关科研成果的基础上，吸收了公路工程土工合成材料试验检测实践中逐渐形成的、成熟的新技术和新设备，经分析论证和广泛征求国内外专家意见，完成了修订工作。经批准后以《公路工程土工合成材料试验规程》（JTG 3460—2026）（以下简称“本规程”）发布实施。

本规程分为 7 章和 1 个附录，主要内容包括：1 总则、2 术语和符号、3 试样制备与数据处理、4 物理性能试验、5 力学性能试验、6 水力学性能试验、7 耐久性能试验，附录 A 土工合成材料试验记录表格。

本规程的修订要点包括：

1. 补充术语和符号。
2. “试样制备和数据处理”部分：修订了取样与试样准备。
3. “物理性能试验”部分：修改了厚度测定和尺寸测定试验方法；新增了硬质泡沫塑料导热系数试验（防护热板法和热流计法）和硬质泡沫塑料吸水率试验。
4. “力学性能试验”部分：修订了宽条拉伸试验、接头/接缝宽条拉伸试验、窄条拉伸试验、圆柱（CBR）顶破强度试验、拉伸蠕变性能试验和塑料排水带芯带压屈服强度试验；新增了软式透水管扁平耐压力试验、管材环刚度试验、握持拉伸试验和硬质泡沫塑料压缩性能试验。
5. “水力学性能试验”部分：修订了塑料排水带通水量试验和等效孔径试验（干筛法）。
6. “耐久性能试验”部分：修订了抗氧化性能试验、抗酸碱液性能试验、抗紫外老化性能试验（氙弧灯法和荧光紫外灯法）；新增了炭黑分散试验、低温脆化温度试验、维卡软化温度试验和氧化诱导时间试验。
7. 增加了附录 A “土工合成材料试验记录表格”。

本规程由刘英、田波、孙家凤负责起草第 1 章，王稷良、罗翥负责起草第 2 章，侯荣国、彭鹏负责起草第 3 章，刘怡林、刘英负责起草第 4 章，刘英、杨广庆负责起草第 5 章，白建颖、张鹏程负责起草第 6 章，杨广庆、王志杰负责起草第 7 章，刘英、

杨广庆、张鹏程负责起草附录 A。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规程日常管理组，联系人：刘英（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079597；传真：010-62075650；电子邮箱：y. liu@rioh. cn），以便下次修订时参考。

主 编 单 位：交通运输部公路科学研究院

参 编 单 位：石家庄铁道大学

上海勘测设计研究院有限公司

主 编：刘 英

主要参编人员：杨广庆 白建颖 彭 鹏 刘怡林 张鹏程 田 波
罗 翥 孙家凤 王稷良 侯荣国 王志杰

主 审：吴万平

参与审查人员：邓卫东 张留俊 薛忠军 杨明昌 朱耀庭 彭 超
郑 鸿 侯永生 李连生 易 富

目次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	试样制备与数据处理	5
T 1101—2026	取样与试样准备	5
T 1102—2006	试验数据处理与报告	7
4	物理性能试验	10
T 1111—2006	单位面积质量测定	10
T 1112—2026	厚度测定	11
T 1113—2006	幅宽测定	14
T 1114—2026	尺寸测定	16
T 1115—2026	硬质泡沫塑料导热系数试验（防护热板法）	19
T 1116—2026	硬质泡沫塑料导热系数试验（热流计法）	21
T 1117—2026	硬质泡沫塑料吸水率试验	24
5	力学性能试验	29
T 1121—2026	宽条拉伸试验	29
T 1122—2026	接头/接缝宽条拉伸试验	37
T 1123—2026	窄条拉伸试验	41
T 1124—2006	粘结点极限剥离力试验	47
T 1125—2006	梯形撕破强度试验	48
T 1126—2026	圆柱（CBR）顶破强度试验	50
T 1127—2006	刺破强度试验	53
T 1128—2006	落锥穿透试验	55
T 1129—2006	直剪摩擦特性试验	57
T 1130—2006	拉拔摩擦特性试验	62
T 1131—2026	拉伸蠕变性能试验	66
T 1132—2026	软式透水管扁平耐压力试验	72
T 1133—2026	管材环刚度试验	74
T 1134—2026	握持拉伸试验	79

T 1135—2026	塑料排水带芯带压屈强度试验	81
T 1136—2026	硬质泡沫塑料压缩性能试验	83
6	水力学性能试验	87
T 1141—2006	垂直渗透性能试验 (恒水头法)	87
T 1142—2006	耐静水压试验	91
T 1143—2026	塑料排水带通水量试验	93
T 1144—2026	等效孔径试验 (干筛法)	95
T 1145—2006	淤堵试验	98
7	耐久性能试验	102
T 1161—2026	抗氧化性能试验	102
T 1162—2026	抗酸、碱液性能试验	104
T 1163—2026	抗紫外老化性能试验 (氙弧灯法)	109
T 1164—2026	抗紫外老化性能试验 (荧光紫外灯法)	114
T 1165—2006	炭黑含量试验	119
T 1166—2026	炭黑分散试验	122
T 1167—2026	低温脆化温度试验	125
T 1168—2026	维卡软化温度试验	130
T 1169—2026	氧化诱导时间试验	134
附录 A	土工合成材料试验记录表格	138

1 总则

1.0.1 为规范、统一公路工程土工合成材料试验方法，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于公路工程土工合成材料应用设计、施工、养护及质量检查验收等各阶段的性能试验。

1.0.3 本规程使用的仪器设备，应经检定或校准合格，并应在使用中定期核查。

1.0.4 本规程采用国家法定计量单位制。

1.0.5 公路工程土工合成材料的性能试验除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 土工合成材料 geosynthetics

工程建设中应用的以人工合成或天然聚合物为原料制成的工程材料的总称。公路工程中常用的有土工织物、土工格栅、土工膜、土工网和土工防排水材料等。

2.1.2 当量孔径 equivalent opening size

用于表示土工网、土工格栅等网格型土工合成材料孔隙大小的指标，是将某种形状的网孔换算为等面积圆的直径。

2.1.3 梯形撕破强度 tearing strength

在两夹持器内的试样呈梯形，撕破梯形试样所需的最大力。

2.1.4 圆柱 (CBR) 顶破强度 CBR burst strength

圆柱形顶压杆垂直顶压试样，直至破裂过程中测得的最大顶压力。

2.1.5 刺破强度 puncturing strength

直径 8mm 的刚性顶杆以规定的速率垂直顶刺试样，直至破裂过程中测得的最大力。

2.1.6 穿透孔径 amount of cone penetration

规定尺寸的落锥在土工合成材料上方 500mm 高度处自由落下时，穿透土工合成材料的孔洞直径。

2.1.7 扁平耐压力 compression resistance

软式透水管径向压缩至某应变时产生的抵抗力。

2.1.8 握持强度 grab breaking load

在试样宽度范围内，试样局部被夹持的条件下进行拉伸过程中出现的最大拉力。

2.1.9 压屈强度 compressive strength

塑料排水带的芯带在外力作用下抵抗压裂、倾倒破坏的能力。

2.1.10 垂直渗透系数 coefficient of vertical permeability

层流状态下，水流垂直于土工织物平面，水力梯度等于 1 时的渗透流速。

2.1.11 透水率 permittivity

层流状态下，水位差等于 1 时垂直于土工织物平面方向的渗透流速。

2.1.12 流速指数 velocity index

试样两侧 50mm 水头差下的流速。

2.1.13 耐静水压 static hydraulic pressure

对土工合成材料施加液压扩张直至破坏过程中测得的最大液压。

2.1.14 梯度比 gradient ratio

淤堵试验中，水流通过土工织物试样及其上 25mm 厚土样时的水力梯度与水流通过织物上覆厚度为 25 ~ 75mm 范围土样时的水力梯度的比值。

2.1.15 排水带通水量 discharge capacity of prefabricated band-shaped drains

排水带的芯带与滤膜复合体在侧压力作用下，沿排水带截面的纵向通水能力。

2.1.16 等效孔径 equivalent opening size

能有效通过土工织物的近似最大颗粒直径，例如 O_{90} 表示土工织物中 90% 的孔径低于该值。

2.1.17 炭黑分散度 dispersion of carbon black

炭黑颗粒在试样中的分散程度。

2.1.18 脆化温度 brittleness temperature

在规定试验条件下，试样破损率为 50% 时的温度。

2.1.19 氧化诱导时间 oxidation induction time

试样在高温氧气条件下开始发生自动催化氧化反应的时间。

2.1.20 环刚度 ring stiffness

单位长度的管材在直径方向发生 3% 变形量时所产生的抗压力。

2.2 符号

C_v ——变异系数;
 D_e ——当量孔径;
 E ——接头/接缝效率;
 f ——摩擦系数;
 $f_{g(\delta)}$ ——摩擦比;
 G ——单位面积质量;
 GR ——梯度比;
 J ——割线模量;
 k ——垂直渗透系数;
 O_e ——等效孔径 (当 e 为 90% 时, 以 O_{90} 表示);
 OIT ——氧化诱导时间;
 Q ——通水量;
 S_f ——接头/接缝强度;
 T_{50} ——脆化温度;
 v ——流速;
 W ——幅宽;
 α_f ——拉伸强度;
 δ ——厚度;
 ε ——伸长率;
 θ ——透水率;
 σ ——标准差;
 τ ——剪应力。

条文说明

术语、符号是土工合成材料通用性标准, 在文献检索、情报传递、行业间沟通中起着重要的作用, 是制定其他方法标准和产品标准的依据和基础, 具有普遍的指导意义。本次修订, 符号原则上与国标相应标准保持一致, 并考虑了与其他行业相关标准的一致性。产品名称术语非等效采用了《土工合成材料 第 1 部分: 术语和定义》(ISO 10318-1: 2015) 和《土工合成材料 术语和定义》(GB/T 13759—2009) 的有关定义; 同时根据新增项的内容, 增加了握持强度、扁平耐压力、炭黑分散度、脆化温度、氧化诱导时间、环刚度等术语。

3 试样制备与数据处理

T 1101—2026 取样与试样准备

1 适用范围

本方法用于土工合成材料的取样与试样准备。

2 取样程序

2.1 样品数及外观

取样的样品数应满足相关试验项目要求，所选材料外观应无破损。

2.2 样品的裁取

2.2.1 在同一批产品中随机抽取 3 卷进行检查，外观和幅宽检查合格后，再从 3 卷产品中任意选 1 卷裁取样品。

2.2.2 取样前，应按试验标准获取试样的数量、形状和其他信息。全部试验的试样应在同一样品中裁取。

2.2.3 取样时应尽量避免污渍、折痕、孔洞，或其他生产加工过程中产生的可视缺陷。

2.2.4 卷装材料外表面的头两层产品不应取做样品，在卷装上沿着垂直于机器方向（生产方向即卷装长度方向）的整个宽度方向裁取样品，样品应足够长，以获得所要求的试样数量。

2.3 样品的标记

2.3.1 按《土工合成材料 现场鉴别标识》（GB/T 14798）的规定标记样品。

2.3.2 当样品的两面有显著差异时，应在样品上标记正面或反面。

2.4 样品的存储

若暂不制备试样，样品应保存在干净、干燥、阴凉避光处，并避开化学物品侵蚀和机械损伤。卷装材料样品可卷起，但不应折叠。管状材料和块状材料样品应注意堆放高度，避免发生倾倒。

3 试样准备

3.1 取样过程中，应检查样品，保证样品在测试前物理状态没有发生变化，如含水率、表面张力等。

3.2 用于每次试验的试样，应从样品纵向和横向上均匀地裁取，且距样品幅边至少 10cm。

3.3 试样应具有代表性，对同一项试验，应避免两个以上的试样处在相同的纵向或横向位置上，应采用梯形取样法，如图 T 1101-1 所示。若不可避免或试验另有规定，应在报告中注明情况。

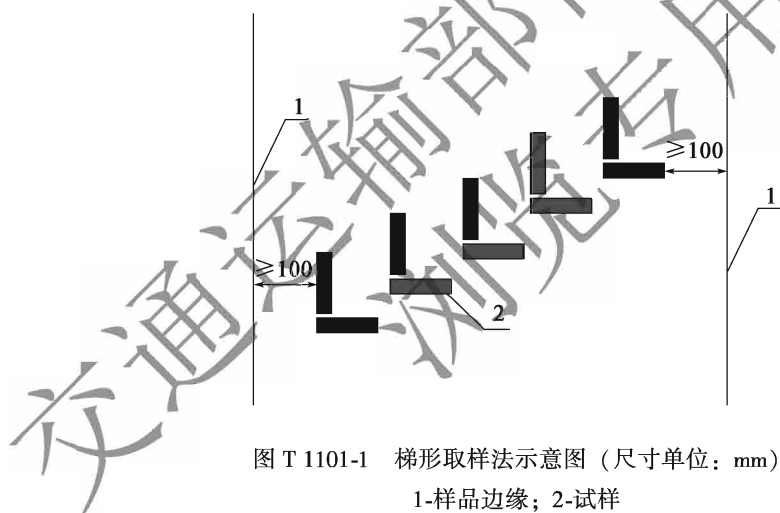


图 T 1101-1 梯形取样法示意图 (尺寸单位: mm)

1-样品边缘; 2-试样

3.4 试样应沿着纵向和横向切割，需要时标出样品的纵向、横向，除试验有其他要求外，样品上的标志必须标到试样上。

3.5 在切割结构型土工合成材料时，可制定相应的切割方案。应根据样品上的标记来标识各个试样，以保证正确识别试样。

3.6 当制样造成材料破碎，发生损伤，可能影响试验结果时，应重新取样。

4 试样状态调节

4.1 土工织物

试样应置于温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $65\% \pm 5\%$ 的环境中进行状态调节，调节时间不少于 24h。

4.2 塑料类土工合成材料

试样应置于温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的环境中进行状态调节，调节时间不少于 4h。

4.3 当试样不受环境影响时，可不进行状态调节处理，但应在报告中注明试验时的温度与湿度。

4.4 在无特别说明的情况下，各项试验中对试验室环境温度、湿度要求同第 4.1 ~ 4.3 条。

条文说明

取样与试样准备的不同，直接影响检测的最终结果，统一取样和试样准备的方法，是各项试验共同遵守的基本原则。制定时参考了《土工合成材料 取样和试样制备》(ISO 9862: 2023)、《土工合成材料 取样和试样准备》(GB/T 13760—2009) 和《土工合成材料测试规程》(SL 235—2012) 的有关规定。

T 1102—2006 试验数据处理与报告

1 适用范围

本方法用于土工合成材料试验数据的处理和计算，规定了算术平均值 $\bar{X}$ 、标准差 σ 和变异系数 C_v 的计算方法。

2 算术平均值

算术平均值 $\bar{X}$ 按式 (T 1102-1) 计算：

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (\text{T 1102-1})$$

式中： n ——试样个数；

X_i ——第 i 块试样的试验值；

$\bar{X}$ —— n 个试样试验值的算术平均值。

3 标准差

标准差 σ 按式 (T 1102-2) 计算:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)} \quad (\text{T 1102-2})$$

4 变异系数

变异系数 C_v 按式 (T 1102-3) 计算:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% \quad (\text{T 1102-3})$$

5 试验数据的取舍

试验异常数据的取舍, 应按各章节的具体规定进行。

没有明确规定时, 按 $\pm 3\sigma$ 标准差作为舍弃标准, 即舍弃 $(\bar{X} \pm 3\sigma)$ 范围之外的试验值。

基于保证率的取值为:

$$\text{下限值: } X = \bar{X} - Z_a \sigma$$

$$\text{上限值: } X = \bar{X} + Z_a \sigma$$

双边分布, 保证率 90% 时, Z_a 取 1.645; 保证率 95% 时, Z_a 取 1.960。

单边分布, 保证率 90% 时, Z_a 取 1.282; 保证率 95% 时, Z_a 取 1.645。

6 结果计算

结果计算应包括下列通用内容:

- (1) 试验数据的取舍按本规程 T 1102 中 5 的规定进行;
- (2) 当有效数据小于规定的试样个数时, 应增加样品数量;
- (3) 试验结果按算术平均值取值, 按本规程 T 1102 的规定计算标准差和变异系数。

7 试验报告

试验报告应包括下列通用内容:

- (1) 本标准号;
- (2) 试样名称、规格;
- (3) 试验结果;
- (4) 试验环境条件;
- (5) 试验日期、试验人员;
- (6) 试验中规定应注明的情况;
- (7) 任何偏离规定程序的详细说明。

条文说明

本方法对数据取舍进行了修改，按照正态分布的概率统计方法确定舍弃标准，本方法是后面各项试验均应遵守的共同规定。

试验结果的统计分析需要知道某个指标检测值的分布形式，而分布形式需要由较多的试验数据来判断和检验。从实用观点看，公路用材料性质的试验值可以认为是符合正态分布（或对数正态分布）的，因此，本规程中规定的数据统计方法以正态分布为基础。

根据样本算术平均值 $\bar{X}$ 和样本标准差 σ ，计算不同概率下观测值的波动范围，分为双边和单边两类。试验值的波动范围按式（T 1102-4）计算：

$$\bar{X} - Z_a \sigma < X < \bar{X} + Z_a \sigma \quad (\text{T 1102-4})$$

式中： Z_a ——与规定概率有关的系数。

4 物理性能试验

T 1111—2006 单位面积质量测定

1 适用范围

本方法用于测定土工合成材料单位面积质量。

2 仪器设备及材料

2.1 剪刀或切刀。

2.2 称量天平：分度值不大于0.01g。

2.3 钢尺：分度值不大于0.5mm。

3 试验步骤

3.1 取样按本规程 T 1101 的有关规定进行。

3.2 试样状态调节按本规程 T 1101 中4 的规定进行。

3.3 试样制备

3.3.1 土工织物除符合本规程 T 1101 的有关规定外，用切刀或剪刀裁取面积为10 000mm²的试样10块，剪裁和测量精度为1mm。

3.3.2 土工格栅、土工网等孔径较大的材料，除符合本规程 T 1101 的有关规定外，试样尺寸应能代表该种材料的全部结构，剪裁后应测量每个试样的实际面积。

3.4 将裁剪好的试样按编号顺序逐一在天平上称量，读数精确至0.01g。

4 结果计算

4.1 每块试样的单位面积质量按式 (T 1111-1) 计算，精确至0.01g/m²。

$$G=\frac{M\times 10^6}{A}$$

(T 1111-1)

式中： G ——试样单位面积质量（ g/m^2 ）；
 M ——试样质量（ g ）；
 A ——试样面积（ mm^2 ）。

4.2 计算 10 块试样单位面积质量的平均值 $\bar{G}$ ，精确至 $0.1\text{g}/\text{m}^2$ ；若需要，按本规程 T 1102 的规定计算标准差 σ 和变异系数 C_v 。

5 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

单位面积质量是土工合成材料物理性能指标之一，反映产品的原材料用量，以及生产的均匀性和质量的稳定性，与产品性能密切相关。目前国内外测定单位面积质量的标准有《土工合成材料 测定土工织物及其相关制品的单位面积质量的试验方法》（ISO 9864：2005）、《土工合成材料 土工布及土工布有关产品单位面积质量的测定方法》（GB/T 13762—2009）等，这些标准均采用称重法，主要参数见表 T 1111-1，本方法参数与上述标准基本一致。

表 T 1111-1 参数对照

标准编号	试样面积（ mm^2 ）	试样数量
ISO 9864：2005	10 000（100×100）	10
GB /T 13762—2009	10 000	10

考虑到土工格栅、土工网这类孔径较大的土工合成材料，固定的面积不一定能代表材料的全部结构，所以特别规定对该类材料允许放大试样尺寸，以能代表材料结构为准；剪裁时应从肋间对称剪取并计算试样的实际面积。

T 1112—2026 厚度测定

一、土工织物厚度测定

1 适用范围

本方法用于测定土工织物厚度。

2 仪器设备及材料

2.1 基准板：直径应大于压脚直径的 1.75 倍。

2.2 压脚：圆形，表面光滑，面积为 $25\text{cm}^2 \pm 0.2\text{cm}^2$ ，压脚应能提供垂直于试样表面 2kPa 、 20kPa 和 200kPa 的压强，允许偏差为 $\pm 0.5\%$ 。

2.3 厚度计量表：分度值不大于 0.01mm 。

2.4 秒表：最小分度值为 0.1s 。

3 试验步骤

3.1 取样按本规程 T 1101 的有关规定进行。

3.2 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

3.3 试样制备除符合本规程 T 1101 的有关规定外，截取有代表性的试样 10 块，试样直径应大于压脚直径的 1.75 倍。

3.4 测定 $2\text{kPa} \pm 0.01\text{kPa}$ 压强下的常规厚度

3.4.1 擦净基准板和压脚，调整压强至 $2\text{kPa} \pm 0.01\text{kPa}$ ，压脚放在基准板上，调整厚度计量表为零点。

3.4.2 提起压脚，将试样自然平放在基准板与压脚之间，轻轻放下压脚，在对试样施加恒定压力 30s 后记录厚度计量表读数，精确至 0.01mm 。提起压脚，取出试样。

3.4.3 重复上述步骤，完成 10 块试样的测试。

3.5 根据需要调整压脚，使压强为 $20\text{kPa} \pm 0.1\text{kPa}$ ，重复 3.4 规定的步骤，测定 $20\text{kPa} \pm 0.1\text{kPa}$ 压强下的试样厚度。

3.6 根据需要调整压脚，使压强为 $200\text{kPa} \pm 1\text{kPa}$ ，重复 3.4 规定的步骤，测定 $200\text{kPa} \pm 1\text{kPa}$ 压强下的试样厚度。

4 结果计算

4.1 计算在同一压强下所测定的 10 块试样厚度的算术平均值 $\bar{X}$ ，精确至 0.01mm 。

4.2 若需要，按本规程 T 1102 的规定计算标准差 σ 和变异系数 C_v 。

5 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

二、土工膜厚度测定

1 适用范围

本方法用于测定土工膜厚度，适用于没有压花和波纹的土工薄膜、薄片。

2 仪器设备及材料

2.1 厚度测量仪：最小分度值为 0.001mm，测量仪所有测量面应是抛光的。

2.1.1 当测量仪上下测量面均为平面时，每一测量面直径应为 2.5 ~ 10mm，两测量平面不平行度应小于 5 μ m。下测量面应可调节，以满足上述要求。测量面对试样施加的压力宜为 0.5 ~ 1.0N。

2.1.2 当测量仪上测量面为凸面，下测量面为平面时，上测量面的曲率半径应为 15 ~ 50mm，下测量面的直径应不小于 5mm，测量面对试样施加的压力应为 0.1 ~ 0.5N。

3 试验步骤

3.1 取样除符合本规程 T 1101 的有关规定外，在距样品纵向端部 1m 处，沿横向整个宽度截取试样，试样条宽 100mm，无折痕和其他缺陷。

3.2 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

3.3 清洁试样表面和仪器各测量部位。测量前应检查或调整测量仪零点，在每组试样测量后应重新检查其零点。

3.4 提起测头，将试样自然平放在两测量面之间，平缓放下测头，使试样受到规定压力，待读数稳定后，记录读数。

3.5 按等分试样长度的方法确定测量厚度的位置点：当土工膜（片）长度大于或等于 1500mm 时，至少测 30 点；当土工膜（片）长度在 300 ~ 1500mm 时，至少测 20 点；当土工膜（片）长度小于或等于 300mm 时，测 10 点。对于未裁毛边的样品，应在离边缘 50mm 以外进行测量。

4 结果计算

4.1 试验结果以试样的平均厚度和厚度的最大值、最小值表示，精确至 0.001mm。

4.2 若需要,按本规程 T 1102 的规定计算平均厚度的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

5 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外,还应包含:

- (1) 测量仪测量面形状和负荷;
- (2) 试样长度、测点数量。

条文说明

土工织物厚度是指土工织物在承受一定压力时,正反两面之间的距离。产品的厚度对其力学性能和水力学性能都有很大影响,目前国内外测定土工织物及其有关产品厚度的标准有《土工合成材料 规定压力下厚度的测定》(ISO 9863-1:2016)、《土工合成材料 规定压力下厚度的测定 第1部分:单层产品》(GB/T 13761.1—2022),各标准的参数要求基本一致,见表 T 1112-1。本次修订参照 GB/T 13761.1—2022 进行。试验过程中通过调整压脚上方砝码的重量来得到不同的压强。

表 T 1112-1 参数对照

标准编号	压脚面积 (mm ²)	压力 (kPa)	加压时间 (s)	试件数量
ISO 9863-1:2016	≥2 500	2/20/200	30	10
GB/T 13761.1—2022	2 500	2/20/200	30	10

本方法用于测定土工织物的厚度和复合土工织物的总厚度,对于复合产品中各层厚度的测定应采用《土工布 多层产品中单层厚度的测定方法》(GB/T 17598—1998)的规定进行。

土工膜厚度的测定是采用机械测量方法测定土工薄膜和薄片厚度,试验方法参照《塑料 薄膜和薄片 用机械法测定厚度》(ISO 4593:1993)和《塑料薄膜和薄片 厚度测定 机械测量法》(GB/T 6672—2001)的有关内容。相较于 JTG E50—2026,本次修订对仪器设备和试验步骤进行了具体地规定。

T 1113—2006 幅宽测定

1 适用范围

本方法用于测定土工织物的幅宽,其他类型的土工合成材料可参照执行。

2 仪器设备及材料

2.1 钢尺:长度大于土工织物宽度或大于 1m,分度值不大于 1mm。

2.2 测定桌:具有平滑的表面,其长度与宽度大于放置好的土工织物被测部分。

3 试验步骤

3.1 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

3.2 试样应平铺于测定桌，被测试样可以是全幅织物、对折织物或管状织物，在该平面内应避免织物的扭变。织物应在无张力状态下调湿和测定。为保证织物松弛，全幅织物、对折织物和管状织物试样均应处于无张力状态下放置。

3.3 长度超过 5m 的样品：

将样品平放在测定桌上，除去张力，以大致相等的间距（不超过 10m）标出至少 5 处测点，测点离样品头尾端至少 1m。测量每一测点处的幅宽，测量精确至 1mm。

3.4 长度小于 5m 的样品：

将样品平放在测定桌上，除去张力，以大致相等的间距标出至少 4 处测点，测点不应标在距样品两端小于 1/5 样品长度处，测量每一测点处的幅宽，测量精确至 1mm。

4 结果计算

4.1 试样幅宽用测试值的算术平均值表示，单位为米（m）。

4.2 若需要，按本规程 T 1102 的规定计算标准差 σ 和变异系数 C_v 。

4.3 计算精确至 1mm，按照下列要求进行修约：

幅宽为 0.1 ~ 0.5m，精确至 1mm；

幅宽为 0.5 ~ 1m，精确至 5mm；

幅宽 > 1m，精确至 10mm。

5 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

幅宽是土工合成材料规格中重要的指标之一，直接影响产品的有效使用面积。本试验原理是将松弛状态下的织物试样在标准大气条件下置于光滑平面上，使用钢尺测定织物幅宽。织物全幅宽是与织物长度方向垂直的织物最靠外边间的距离。

目前土工合成材料尚没有统一专用的幅宽测定方法，土工织物幅宽的测定通常采用《纺织品 织物长度和幅宽的测定》（GB/T 4666—2009）的测试方法，土工塑料膜材和片材则采用《塑料薄膜和薄片长度和宽度的测定》（GB/T 6673—2001）的测试方法。本方法主要参照 GB/T 4666—2009 进行修订，适用于大多数土工合成材料。

T 1114—2026 尺寸测定

一、土工格栅、土工网网孔尺寸测定

1 适用范围

本方法用于测定土工合成材料网孔尺寸，适用于孔径较大的各类土工格栅、土工网，其他类型的土工合成材料可参照执行。

2 仪器设备及材料

2.1 游标卡尺：分度值不大于 0.02mm。

2.2 其他：坐标纸、铅笔、求积仪。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

3.3 试样制备除符合本规程 T 1101 的规定外，每块试样应至少包括 10 个完整的有代表性的网孔。

4 试验步骤

4.1 对较规则网孔的试样：当网孔为矩形或偶数多边形时，测量相互平行的两边之间的距离；对三角形或奇数多边形，测量顶点与对边的垂直距离。同一测点平行测定两次，两次测定误差应小于 5%，取平均值；每个网孔至少 3 个测点，读数精确至 0.1mm，取平均值。

4.2 对孔边呈弧线或不规则网孔的试样，检测时应将试样平整地放在坐标纸上固定好，用削尖的铅笔紧贴网孔内壁将网孔完整地描画在坐标纸上，用同一坐标纸一次描出所有的应测孔，每个网孔测描两次。

5 结果计算

5.1 计算网孔面积

5.1.1 对较规则网孔，网孔面积按式 (T 1114-1) ~ 式 (T 1114-4) 计算：

等边三角形网孔: $A = 0.5774h^2$ (T 1114-1)

矩形网孔: $A = h_x h_y$ (T 1114-2)

正五边形网孔: $A = 0.7265h^2$ (T 1114-3)

正六边形网孔: $A = 0.8860h^2$ (T 1114-4)

式中: A ——网孔面积 (mm^2);

h 、 h_x 、 h_y ——网孔高度 (mm), 如图 T 1114-1 所示。

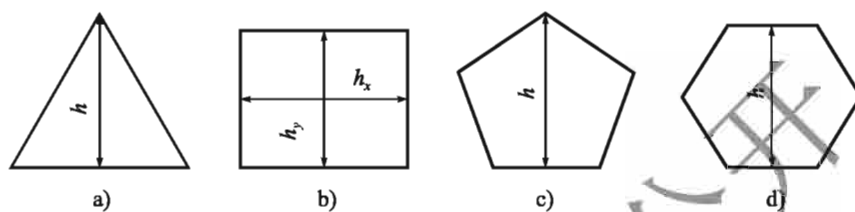


图 T 1114-1 土工格栅、土工网网孔尺寸测试示意图

5.1.2 对不规则网孔, 用求积仪测描每个网孔的面积, 测两次, 两次测量值误差应小于 3%, 取平均值。

5.2 网孔的当量孔径按式 (T 1114-5) 计算, 精确至 0.1mm。

$$D_e = 2\sqrt{A/\pi} \quad (\text{T 1114-5})$$

式中: D_e ——网孔的当量孔径 (mm)。

计算 10 个网孔当量孔径的平均值 $\bar{D}_e$, 精确至 1mm。若需要, 按本规程 T 1102 的规定计算标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

二、排水板、塑料排水带宽度和厚度测定

1 适用范围

本方法用于测定排水板、塑料排水带宽度和厚度。

2 仪器设备及材料

2.1 游标卡尺: 分度值不大于 0.01mm。

2.2 其他: 铅笔。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

使用游标卡尺,在距离试样端头 0.5m 处设置标记点,每隔 20cm 测读一次试样宽度和厚度,宽度和厚度分别测 10 个点,精确至 0.1mm。

5 结果计算

计算 10 个宽度测点尺寸的平均值,精确至 0.1mm。

计算 10 个厚度测点尺寸的平均值,精确至 0.1mm。

若需要,按本规程 T 1102 的规定计算标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

三、硬质泡沫塑料外观尺寸测定

1 适用范围

本方法用于测定硬质泡沫塑料外观尺寸。

2 仪器设备及材料

2.1 游标卡尺:分度值不大于 0.02mm。

2.2 其他:铅笔。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

使用游标卡尺,分别在硬质泡沫塑料的长度、宽度、厚度取至少 5 个测点,测点应均匀分布。取至少 5 个测点尺寸计算平均值,精确至 0.1mm。

5 结果计算

分别计算 5 个长度、宽度、厚度尺寸的平均值,精确至 0.1mm。

若需要,按本规程 T 1102 的规定计算标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

在一些工程中,有时需要确定土工格栅、土工网等大孔径网材的平均孔径,由于这些材料孔径较大且往往不规则,因此无法用常规的筛分法或显微镜测量,本方法是针对这类材料制定的。

用卡尺测量时,应注意卡角紧贴孔边但不能使孔边受力变形;用铅笔描画时,也要求如此。在测量和描画时,可从上到下或从左到右依次测量,以免重复。当土工网材网孔形状不在本规程所列范围内时,可自行推导面积公式或用求积仪直接测量面积。

复合排水板、塑料排水带产品的尺寸在工程应用中将直接对其排水性能产生影响,本次修订明确了其产品宽度、厚度的测试方法。硬质泡沫塑料的长度、宽度、厚度尺寸测定主要参考了《泡沫塑料与橡胶 线性尺寸的测定》(GB/T 6342—1996)。

T 1115—2026 硬质泡沫塑料导热系数试验 (防护热板法)

1 适用范围

本方法用于防护热板法测定硬质泡沫塑料的导热系数。

2 仪器设备及材料

2.1 双试件装置:由两个相同的试件、试件中间的加热单元和试件两侧的冷却单元组成。加热单元由一个圆形或方形的加热器和两块金属面板组成,包括分离的计量部分和围绕计量部分的防护部分,这两部分之间有一隔缝。冷却单元是与加热单元形状一样的、均温的连续平板。热流量由加热单元分别经两侧试件传给外侧冷却单元,如图 T 1115-1 所示。

2.2 单试件装置:加热单元的一侧用绝热材料和背防护单元代替试件和冷却单元,如图 T 1115-2 所示。绝热材料两表面温差应为零。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 对带有自然表皮或复合层的产品,应在试验前将表皮或复合层去掉,切取芯部,试样两平面的平行度误差不应大于 1%,试样厚度宜取 25mm。每一个试验条件的试样数量为 3 个。

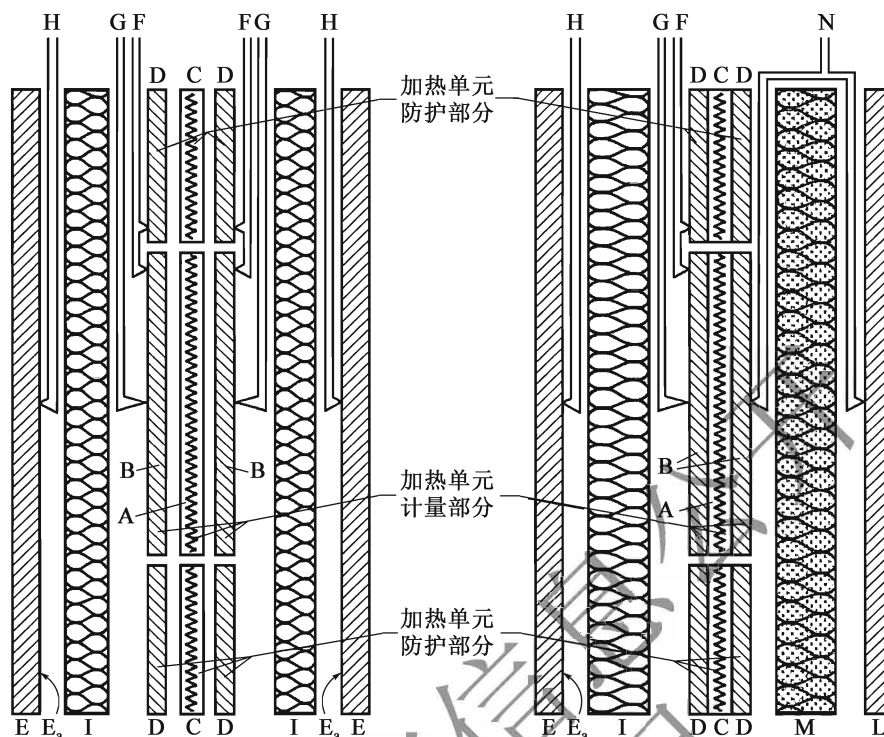


图 T 1115-1 双试件装置

图 T 1115-2 单试件装置

A-计量加热器；B-计量面板；C-防护加热器；D-防护面板；E-冷却单元；E_a-冷却单元面板；F-计量加热器和防护加热器温差热电偶；G-加热单元表面热电偶；H-冷却单元表面热电偶；I-试件；L-背防护单元；M-背防护绝热材料；N-计量加热器和背防护单元温差热电偶

3.3 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 环境条件

调节防护热板组件周围气体的相对湿度，使其露点温度比冷却单元温度低 5K 以上。

4.2 温差选择

试验温差为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

4.3 热流量测定

测量施加于计量部分的平均电功率，准确度不低于 0.2%，宜使用直流电和自动稳压的输入功率，输入功率的随机波动、变化引起的热板表面温度波动或变化应小于热板和冷板之间温差的 0.3%。

4.4 冷却控制

使用双试件装置时，调节冷却单元或计量加热器使两侧试件的温差不大于2%。

4.5 温差检测

测定计量面板和冷却单元面板或试件表面的温度差，以及计量面板到防护面板的温度差。

5 结果计算

按式 (T 1115-1) 计算硬质泡沫塑料导热系数：

$$\lambda_t = \frac{\phi \cdot d}{A (T_1 - T_2)} \quad (\text{T 1115-1})$$

式中： λ_t ——温度 t 时的导热系数 [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$];

ϕ ——加热单元计量部分的平均加热功率 (W);

d ——试件的平均厚度 (m);

A ——试件的计量面积 (m^2)，双试件装置时取单试件装置计量面积的 2 倍;

T_1 ——试件热面平均温度 (K);

T_2 ——试件冷面平均温度 (K)。

6 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

导热系数是硬质泡沫塑料重要的物理性能指标，其试验方法是本次修订的新增项。本试验中防护热板法的原理是在稳态热流条件下，在具有平行表面的均匀板状试件内存在着—维均匀热流密度。

目前国内外有关的试验方法有《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法》(ISO 8302: 1991)、《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法》(ASTM C177-19e1)、《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法》(GB/T 10294—2008) 等，本试验参考了以上标准的相关内容，按照该方法确定的导热系数可用于预测实际使用情况时硬质泡沫塑料的热品质。

T 1116—2026 硬质泡沫塑料导热系数试验 (热流计法)

1 适用范围

本方法用于热流计法测定硬质泡沫塑料的导热系数。

2 仪器设备及材料

由加热单元、冷却单元、热流计和试件组成。图 T 1116-1 为单试件不对称布置，热流计可以面向任一单元放置。图 T 1116-2 为单试件热流计对称布置。图 T 1116-3 为双试件对称布置，其中两块试件应基本相同，且由同一样品制备。

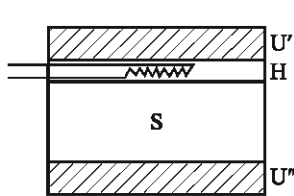


图 T 1116-1 单试件不对称布置



图 T 1116-2 单试件热流计对称布置

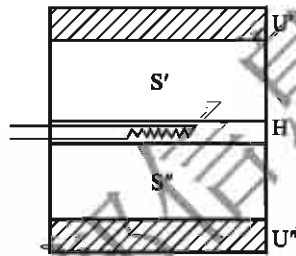


图 T 1116-3 双试件对称布置

U'、U''-冷却和加热单元；H、H'、H''-热流计；S、S'、S''-试件

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 对带有自然表皮或复合层的产品，应在试验前将表皮或复合层去掉，切取芯部，试样两平面的平行度误差不应大于 1%，试样厚度宜取 25mm。每一个试验条件的试样数量为 3 个。

3.3 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 环境条件

当测定平均温度与试验室空气温度有显著差异时，应用箱体或外壳保护热流计装置，且保持箱内温度等于试件的平均温度。冷却器的露点温度比冷却单元温度低 5K 以上。

4.2 温差选择

试验温差为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

4.3 热流量和温度测定

根据热流计平均温度、输出电压、试件的平均温度及温差来检查热平衡状态。热流计的输出变化值应在平均值的 $\pm 1.5\%$ 范围内，达到热平衡状态后，测定试件冷、热面的温度。

5 结果计算

5.1 单试件不对称布置时，导热系数按式 (T 1116-1) 计算：

$$\lambda = \frac{fed}{\Delta T} \quad (\text{T 1116-1})$$

式中： λ ——导热系数 $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ ；

f ——热流计的标定系数 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{V})]$ ；

e ——热流计的输出电压 (V)；

d ——试件的平均厚度 (m)；

ΔT ——试件冷、热面的温差 (K)。

5.2 单试件双热流计对称布置时，导热系数按式 (T 1116-2) 计算：

$$\lambda = \frac{0.5 (f_1 e_1 + f_2 e_2) d}{\Delta T} \quad (\text{T 1116-2})$$

式中： f_1 ——第一个热流计的标定系数 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{V})]$ ；

f_2 ——第二个热流计的标定系数 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{V})]$ ；

e_1 ——第一个热流计的输出电压 (V)；

e_2 ——第二个热流计的输出电压 (V)。

5.3 双试件布置时，导热系数平均值按式 (T 1116-3) 计算：

$$\lambda_{\text{avg}} = \frac{fe}{2} \left(\frac{d'}{\Delta T'} + \frac{d''}{\Delta T''} \right) \quad (\text{T 1116-3})$$

中： λ_{avg} ——导热系数平均值 $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$ ；

d' ——第一个试件的平均厚度 (m)；

d'' ——第二个试件的平均厚度 (m)；

$\Delta T'$ ——第一个试件冷、热面的温差 (K)；

$\Delta T''$ ——第二个试件冷、热面的温差 (K)。

6 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

本试验中热流计法的原理是当热板和冷板在恒定温度和温差的稳定状态下,热流计装置在热流计中心测量区域和试件中心区域存在一个单向稳定热流密度,该热流穿过热流计的测量区域及试件的中心区域。

目前国内外有关的试验方法有《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法》(GB/T 10295—2008)、《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法》(ISO 8301:1991),本试验参考了以上标准的相关内容,按照该方法确定的导热系数可用于预测实际使用情况时硬质泡沫塑料的热品质。

T 1117—2026 硬质泡沫塑料吸水率试验

1 适用范围

本方法用于测定硬质泡沫塑料的吸水率。

2 仪器设备及材料

2.1 浸泡液:蒸馏后至少放置 48h 的蒸馏水。

2.2 天平:能悬挂网笼,精确至 0.1g。

2.3 网笼:由不锈钢材料制成,大小能容纳试样,底部附有能抵消试样浮力的重块,顶部有能挂到天平上的挂架,如图 T 1117-1 所示。

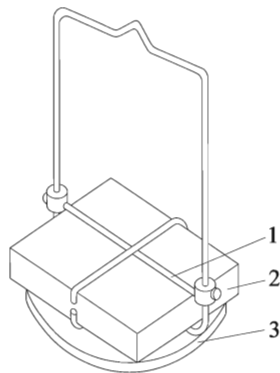


图 T 1117-1 装有试样的网笼

1-网笼; 2-试样; 3-重块

2.4 圆筒容器：直径不小于 250mm，高度为 250mm。

2.5 塑料薄膜：如聚乙烯薄膜。

2.6 切片器：能切割厚度为 0.1 ~ 0.4mm 的样品薄片。

2.7 载片：将两片玻璃片用胶布粘接成活叶状，中间放一张印有标准刻度（长度 30mm）的透明塑料薄片，如图 T 1117-2 所示。

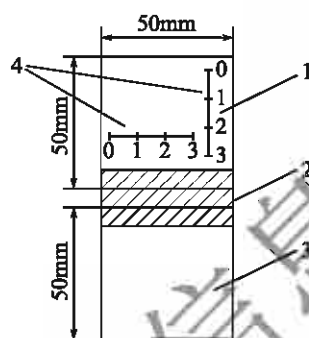


图 T 1117-2 载片装置

1-标准玻璃载片；2-软胶布粘接；3-空白盖片；4-标准刻度尺

2.8 投影仪：适用于 50mm × 50mm 标准幻灯片的通用型 35mm 幻灯片投影仪，或带有标准刻度的投影显微镜。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行，试样数量不应少于 3 个。

3.2 试样尺寸为 $(150\text{mm} \pm 1.0\text{mm}) \times (150\text{mm} \pm 1.0\text{mm}) \times$ 产品厚度，且体积不小于 500cm^3 。对带有自然表皮或复合表皮的产品，试样厚度即为产品厚度；对于厚度大于 75mm 且不带表皮的产品，试样应加工成 75mm 的厚度，两平面之间的平行度公差不得大于 1%。

3.3 采用机械切割方式制备试样，试样表面应光滑、平整、无粉末，常温下放于干燥器中，每隔 12 h 称一次，直至连续两次称重质量相差不大于平均值的 1%。

4 试验步骤

4.1 称量干燥后试样质量 (m_1)，准确至 0.1g。

4.2 测量试样线性尺寸，用于计算试样初始体积 V_0 ，精确至 0.1cm^3 。

4.3 在试验环境下将蒸馏水注入圆筒容器内。

4.4 将网笼浸入水中，除去网笼表面气泡，挂在天平上，称其表观质量 (m_2)，精确至 0.1 g。

4.5 将试样装入网笼，重新浸入水中，并使试样顶面距水面约 50mm，用软毛刷或搅动除去网笼和样品表面气泡。

4.6 用塑料薄膜覆盖在圆筒容器上。

4.7 浸泡 $96\text{h} \pm 1\text{h}$ 后，移去塑料薄膜，称量浸在水中装有试样的网笼的表观质量 (m_3)，精确至 0.1 g。

4.8 从水中取出试样，立即重新测量其尺寸。为测量方便，在测量前用滤纸吸取表面水分。目测试样溶胀情况，测定溶胀和切割表面泡孔体积的校正。

5 结果计算

5.1 试样均匀溶胀体积校正系数 S_0 按式 (T 1117-1) ~ 式 (T 1117-3) 计算：

$$S_0 = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \quad (\text{T 1117-1})$$

$$V_1 = \frac{d_1 l_1 b_1}{1\,000} \quad (\text{T 1117-2})$$

$$V_0 = \frac{dlb}{1\,000} \quad (\text{T 1117-3})$$

式中： V_1 ——试样浸泡后体积 (cm^3)；

V_0 ——试样初始体积 (cm^3)；

d ——试样初始厚度 (mm)；

l ——试样初始长度 (mm)；

b ——试样初始宽度 (mm)；

d_1 ——试样浸泡后厚度 (mm)；

l_1 ——试样浸泡后长度 (mm)；

b_1 ——试样浸泡后宽度 (mm)。

5.2 切割表面泡孔体积校正：

用切片器切割试样，其厚度应小于单个泡孔的直径，将试样插入带有刻度的载片中，再用投影仪将其投影到屏幕上。从投影影像上，首先在标尺长 30 mm 范围内确定泡孔或

孔壁数目，然后将直线长度除以泡孔数目，得到平均泡孔弦长 t ，按式 (T 1117-4) 计算平均泡孔直径；若试片长度小于 30 mm，则在最大长度上确定泡孔数目。当泡孔结构各向异性时，则在三个主要方向上分别测定平均泡孔直径，并以 3 个结果的平均值表示。

$$D = \frac{t}{0.616} \quad (\text{T 1117-4})$$

式中： D ——平均泡孔直径 (mm)；

t ——平均泡孔弦长 (mm)。

有自然表皮或复合表皮的试样，按式 (T 1117-5) 计算，各表面均为切割面的试样可按式 (T 1117-6) 计算。若平均泡孔直径小于 0.50mm，且试样体积不小于 500cm³，则切割面泡孔体积校正较小，可以忽略。

$$V_c = \frac{0.54D(l d + b d)}{500} \quad (\text{T 1117-5})$$

$$V_c = \frac{0.54D(l d + l b + b d)}{500} \quad (\text{T 1117-6})$$

式中： V_c ——试样切割表面泡孔体积 (cm³)。

5.3 吸水率 (W_{Av}) 按式 (T 1117-7) 计算：

$$W_{Av} = \frac{m_3 + (V_1 - V_c) \rho - (m_1 + m_2)}{V_0 \rho} \times 100 \quad (\text{T 1117-7})$$

式中： W_{Av} ——吸水率 (%)；

m_1 ——试样质量 (g)；

m_2 ——网笼浸在水中的表观质量 (g)；

m_3 ——装有试样的网笼浸在水中的表观质量 (g)；

ρ ——水的密度 (取 1.0g/cm³)。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外，还应包含：

- (1) 浸泡时间；
- (2) 校正系数；
- (3) 经过校正的吸水率结果及平均值；
- (4) 各试样的平均泡孔直径。

条文说明

吸水率是硬质泡沫塑料重要的物理性能指标，其试验方法是本次修订的新增项。本试验原理是通过测量在蒸馏水中浸泡一定时间试样的浮力来测定材料吸水率。其中，平均泡孔直径的测定原理是用切片器切割试样，其厚度应小于单个泡孔的直径。将试样插入带有刻度的载片中，再用投影仪将其投影到屏幕上，在规定长度内，确定泡孔或孔壁数目，并据此计算平均泡孔弦长，再利用数学公式将平均弦长换算为平均泡孔直径。

目前国内外有关的试验方法有《硬质泡沫塑料吸水率的测定》(ISO 2896: 2001)、《塑料吸水率的试验方法》(ASTM D570-22)、《硬质泡沫塑料吸水率的测定》(GB/T 8810—2005)。本方法参照 ISO 2896: 2001 和 GB/T 8810—2005 的相关内容，该吸水率试验方法有两大主要功能：第一，作为材料吸水率的指导准则，当吸湿性、电气性能或机械性能间的关系，以及尺寸和外观测定后，可作为这些性能暴露在水中或潮湿环境中的变化情况的指导准则；第二，作为产品均匀度的控制试验。第二项功能主要适用于片状、棒状或管状成品的试验。

5 力学性能试验

T 1121—2026 宽条拉伸试验

1 适用范围

本方法用于测定土工合成材料的拉伸性能，适用于网状土工合成材料和除土工膜外的片状土工合成材料，包括土工网、土工格栅、土工织物等。

2 仪器设备及材料

2.1 拉伸试验机：达到一级试验机要求，具有等速拉伸功能，拉伸速率可以设定，并能测读拉伸过程中试样的拉力和伸长量，记录拉力-伸长曲线，可装载伸长计。

2.2 夹具：钳口表面应有足够宽度，大于 200mm，以保证能够夹持试样的全宽，并采用适当措施避免试样滑移和损伤。对大多数材料宜使用压缩式夹具，包括自动加压和机械式，但对使用压缩式夹具出现过多钳口断裂或滑移的材料，可采用绞盘式夹具。如图 T 1121-1 所示。

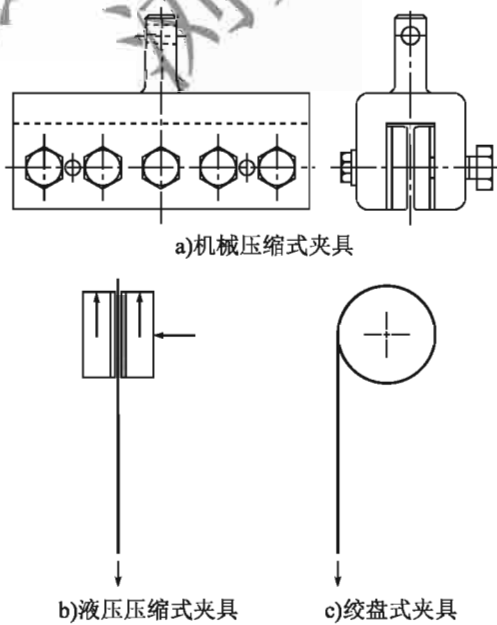


图 T 1121-1 拉力测试夹具

2.3 伸长计：能够测量试样上两个标记点之间的距离，对试样无任何损伤和滑移，能反映标记点的真实动态行程。伸长计可以是力学、光学或电子形式的，伸长计的精度应达到 $\pm 2\%$ 。

2.4 蒸馏水：仅用于浸湿试样，满足《分析实验室用水规格和试验方法》（GB/T 6682）的三级水要求。

2.5 非离子润湿剂：仅用于浸湿试样。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 纵向和横向各剪取至少 5 块试样。

3.3 试样尺寸

3.3.1 非织造土工织物、针织土工织物、土工网、土工网垫、排水复合材料及其他产品

每块试样的最终宽度为 $200\text{mm} \pm 1\text{mm}$ ，试样长度满足夹钳隔距 100mm，其长度方向与外加载荷的方向平行。对于使用切刀或剪刀裁剪时可能会对试样的结构造成影响的材料，可以使用热切或其他技术进行裁剪，并应在报告中注明。合适时，为监测滑移，可在钳口处沿试样的整个宽度，垂直于试样长度方向画两条间隔 100mm 的标记线。

3.3.2 机织土工织物

对于机织土工织物，将每块试样裁剪至约 220mm 宽，然后从试样两边拆除数目大致相等的边纱以得到 $200\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 的名义试样宽度。

3.3.3 单向和双向土工格栅

每个试样至少为 200mm 宽，试样长度至少包含 3 个交叉点，且不小于 300mm。试样的夹持线在交叉点处，除被夹钳夹持住的交叉点外，还应包含至少 1 排交叉点，如图 T 1121-2 所示。对横向节距小于 75mm 的产品，在其宽度方向上应至少有 4 个完整的抗拉单元（抗拉肋条）。对于横向节距大于或等于 75mm 而小于 120mm 的产品，在其宽度方向上应包含至少 2 个完整的抗拉单元。对节距大于 120mm 的产品，其宽度方向上具有 1 个完整的抗拉单元即可满足测试要求。

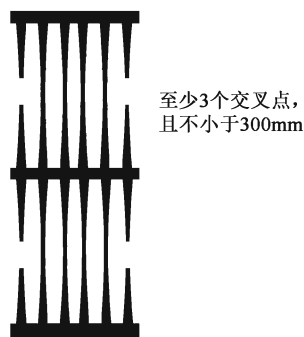


图 T 1121-2 单向土工格栅试样尺寸图

3.4 湿态试样

当需要测定湿态最大拉力和干态最大拉力时，剪取试样长度至少为通常要求的两倍。将每个试样编号后对折剪切成两块，一块用于测定干态最大拉力，另一块用于测定湿态最大拉力，这样使得每一对拉伸试验都是在含有相同纱线或相同肋的试样上进行的。

3.5 试样状态调节

试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

用于湿态试验的样品应浸入温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的水中，浸泡时间应至少 24h，且应使试样完全润湿，即在浸泡更长的时间后最大拉力或伸长率无显著差异。为使试样完全浸润，可在水中加入不超过 0.05% 的非离子润湿剂。

4 试验步骤

4.1 设定拉伸试验机

选择试验机的负荷量程，使抗拉力在满量程负荷的 10% ~ 90%。

设定试验机的拉伸速度，对于伸长率超过 5% 的土工合成材料，设定试验机的拉伸速度，使试样的拉伸速率为隔距长度的 $20\%/\text{min} \pm 5\%/\text{min}$ 。对于伸长率小于或等于 5% 的土工合成材料，选择合适的拉伸速度，使所有试样的平均断裂时间为 $30\text{s} \pm 5\text{s}$ 。

若使用绞盘夹具，需在试验报告中注明使用了绞盘夹具。

4.2 夹持试样

将试样在夹具中对中夹持，注意纵向和横向的试样长度应与拉伸力的方向平行。合适的方法是将预先画好的横贯试件宽度的两条标记线尽可能与上下钳口的边缘重合。对湿态试样，从水中取出后 3min 内进行试验。

4.3 安装伸长计

若使用伸长计，不得对试样有任何损伤，并保证试验中标记点无滑移。

4.4 测定拉伸性能

4.4.1 开动试验机连续加荷直至试样断裂，停机并恢复至初始标距位置。记录最大拉力，精确至 1N，记录最大拉力下的伸长量 ΔL ，精确至 0.1mm。从试样的拉力-伸长曲线图上，计算该试样的预负荷。预负荷相当于最大拉力的 1%，记录因预负荷产生的夹持长度的增加值 L'_0 ，精确至 0.1mm。

4.4.2 根据试验中观测的试样情况、土工合成材料特有的变异性，判断试验结果是否应剔除。若试验过程中试样在夹钳中滑移，或在距夹钳口 5mm 以内的范围内断裂，该试验值应剔除，另取一试样进行试验。

4.4.3 若试样在夹具中滑移，或多于 1/4 的试样在钳口附近 5mm 范围内断裂，可采取下列措施：夹具内加衬垫；对夹在钳口内的试样加以涂层；改进夹具钳口表面。无论采用了何种措施，都应在试验报告中注明。

4.5 测定特定伸长率下的拉伸力

使用合适的记录测量装置，测定在任一特定伸长率下的拉伸力，精确至 1N。

5 结果计算

5.1 拉伸强度

每个试样的拉伸强度按式 (T 1121-1) 计算：

$$\alpha_f = F_f C \quad (\text{T 1121-1})$$

式中： α_f ——拉伸强度 (kN/m)；

F_f ——最大拉力 (kN)；

C ——计算系数，由式 (T 1121-2)、式 (T 1121-3) 求得。

对于土工织物、土工网及土工复合材料等相关产品：

$$C = \frac{1}{B} \quad (\text{T 1121-2})$$

式中： B ——试样名义宽度 (m)。

对于单向和双向土工格栅：

$$C = \frac{N_m}{N_s} \quad (\text{T 1121-3})$$

式中： N_m ——试样 1m 宽度内的肋数，由式 (T 1121-4) 求得；

N_s ——试样的测试肋数。

$$N_m = \frac{n}{L} \quad (\text{T 1121-4})$$

式中： L ——样品宽度（m），由式（T 1121-5）求得；

n ——样品宽度上的肋数，由 L_1 长度范围内肋数减去最外缘两肋得到，如图 T 1121-3 所示。

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2} \quad (\text{T 1121-5})$$

式中： L_1 ——样品最外侧两根筋带间的外缘距离（m），以筋带外侧为量测点；

L_2 ——样品次外侧两根筋带间的内缘距离（m），以筋带内侧为量测点，如图 T 1121-3 所示。

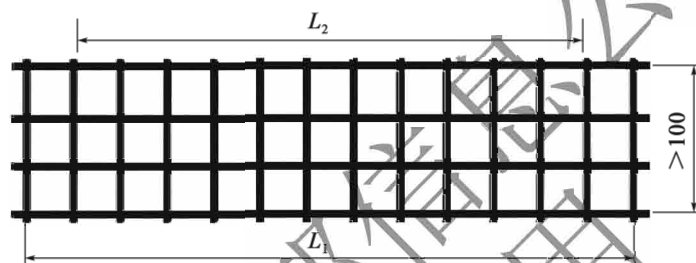


图 T 1121-3 格栅宽度计算示意图（尺寸单位：mm）

5.2 最大拉力下的伸长率（图 T 1121-4）

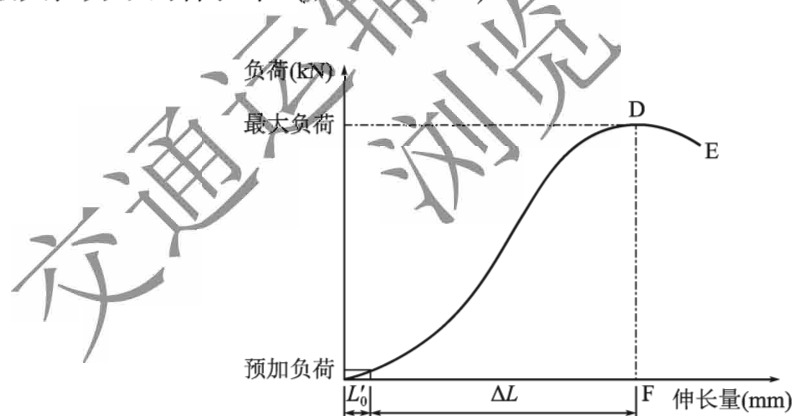


图 T 1121-4 夹持试样的拉力-伸长曲线图

每个试样在最大拉力下的伸长率按式（T 1121-6）计算：

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0 + L'_0} \times 100 \quad (\text{T 1121-6})$$

式中： ε ——伸长率（%）；

L_0 ——名义夹持长度（mm）；

L'_0 ——预负荷伸长量（mm）；

ΔL ——最大拉力下的伸长量（mm）。

5.3 特定拉力下的伸长率

每个试样在特定拉力下的伸长率按式 (T 1121-7) 计算:

$$\varepsilon_s = \frac{\Delta L_s}{L_0 + L'_0} \times 100 \quad (\text{T 1121-7})$$

式中: ε_s ——特定拉力下的伸长率 (%);

L_0 ——名义夹持长度 (mm);

L'_0 ——预负荷伸长量 (mm);

ΔL_s ——特定拉力下的伸长量 (mm)。

5.4 特定伸长率下的拉伸强度

每个试样在特定伸长率下的拉伸强度按式 (T 1121-8) 计算, 例如伸长率 2% 时的拉伸强度为:

$$F_{2\%} = f_{2\%} C \quad (\text{T 1121-8})$$

式中: $F_{2\%}$ ——对应 2% 伸长率时拉伸强度 (kN/m);

$f_{2\%}$ ——对应 2% 伸长率时试样的测定拉力 (kN);

C ——计算系数, 由式 (T 1121-2)、式 (T 1121-3) 求得。

5.5 分别对纵向和横向试样的拉伸强度、最大拉力下的伸长率、特定拉力下的伸长率及特定伸长率下的拉伸强度计算平均值, 拉伸强度精确至 0.01kN/m, 伸长率精确至 0.1%。若需要, 按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外, 还应包含:

- (1) 试样状态, 湿样或干样;
- (2) 每个方向的试样数量;
- (3) 若需要, 分别计算测定值的标准差或变异系数;
- (4) 夹具形式, 包括夹具尺寸、钳口表面形式、变形测量系统;
- (5) 若需要, 给出典型的拉力-伸长曲线。

条文说明

土工合成材料的拉伸强度和伸长率是各项工程设计中最基本的技术指标, 拉伸性能的好坏, 可以通过拉伸试验进行测试。测定土工合成材料拉伸性能的试验方法有宽条法和窄条法。窄条法测试相对容易操作, 由于宽条法的拉伸相对能体现出土工合成材料的整体性能, 使试验结果更加符合实际情况, 所以宽条法在国际标准和国外先进国家的相关标准中优先采用。由于一些土工合成材料在拉力作用下, 隔距长度范围内有收缩 (“颈缩”) 的趋势, 对于土工织物, 本方法采用的试样宽度大于长度, 这是本方法与其

他测定织物拉伸性能试验方法的根本区别。较大的试样宽度降低了收缩对该类土工合成材料的影响，并可提供与所期望的土工合成材料现场工作特性较为接近的指标。

测定土工合成材料拉伸性能的试验方法主要包括：《土工合成材料 宽条拉伸试验》（ISO 10319: 2015）和《土工合成材料 宽条拉伸试验方法》（GB/T 15788—2017）采用的是宽条法；《土工合成材料 塑料土工格栅》（GB/T 17689—2008）采用窄条或宽条拉伸，仲裁使用宽条法；美国标准《土工格栅拉伸测试方法》[ASTM D6637/D6637M-15 (2023)] 采用窄条或宽条法。

本次修订的宽条拉伸试验方法，主要参考了《土工合成材料 宽条拉伸试验》（ISO 10319: 2015），并结合 ASTM D6637 对隔距长度和名义夹持长度进行了定义。为方便进行试验，本方法给出如下几个定义。

(1) 名义夹持长度：用伸长计测量时，名义夹持长度为在试样的受力方向上，两参考标记点间的初始距离，一般为 60mm（两边距试样对称中心为 30mm），记为 L_0 。对于格栅，标记点应在试样中部抗拉肋条的中心线上，两标记点间隔至少 60mm，且至少含有一个交叉点，两标记点距试样中心对称，且两标记点的距离为格栅节距（两相邻交叉点的中心距）的整数倍，如图 T 1121-5 所示。

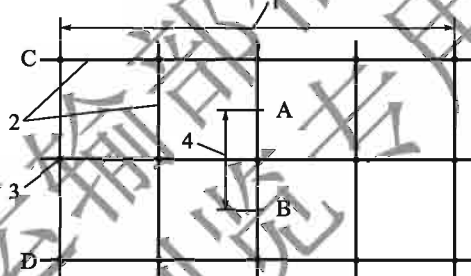


图 T 1121-5 双向格栅样片

1-宽度；2-肋条；3-交叉点（样片的边缘需保留至少 10mm 的末端）；4-名义夹持长度（A、B 两标点的距离）

用夹具的位移测量时，名义夹持长度为隔距长度，记为 L_0 。其中，对于土工织物，夹具初始间距一般为 100mm；对于格栅，夹具初始间距（夹具的中心线到中心线）至少 300mm，且夹具间样片至少包含 1 排交叉点，试样在夹具间保持平直。

(2) 隔距长度：试验机上下两夹具之间的距离，当用夹具的位移测量时，隔距长度即为名义夹持长度。对于土工织物，隔距长度即为夹具初始间距，一般为 100mm。对于格栅，隔距长度即为试验机上下两夹具之间的距离（夹具的中心线到中心线），且保证格栅节点必须夹持在夹具中心，如图 T 1121-6 所示。

(3) 预负荷伸长量：在相当于最大拉力 1% 的外加拉力下，所测的夹持长度的增加值，以 mm 表示（图 T 1121-4 中的 L'_0 ）。

(4) 实际夹持长度：名义夹持长度加上预负荷伸长量。

(5) 最大拉力：试验中所得到的最大拉伸力，以 kN 表示（图 T 1121-4 中的 D 点）。

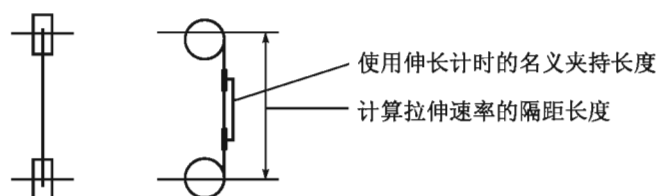


图 T 1121-6 不同夹具的隔距长度

(6) 特定拉力下的伸长率：试样被拉伸至某一特定拉力下对应的伸长率，以%表示。

(7) 特定伸长率下的拉伸强度：试样被拉伸至某一特定伸长率时每单位宽度的拉伸力，以 kN/m 表示。

本方法较 JTG E50—2026 的主要修订内容包括：①修改了使用夹具位移测量时名义夹持长度的取值和要求。②由于格栅 2%、5% 应变时的强度受隔距的取值影响比较明显，因此，隔距长度定义为夹具中心线到中心线的距离，避免了样片在夹具中的变形对数据的影响。③对适合土工格栅测试的夹具进行图示。④对土工织物试样制备进行了分类说明。⑤明确了单向、双向格栅试样的长度至少为 300mm，且至少 3 个交叉点。⑥操作步骤中，拉伸速率由名义夹持长度的 $20\%/min \pm 5\%/min$ ，更改为隔距长度的 $20\%/min \pm 5\%/min$ 。⑦给出了特定拉力下的伸长率的定义和计算公式。

土工合成材料伸长量的测量可以采用伸长计或夹具位移，两种方法各有特点。夹具位移测量伸长量比较简单、容易，但受夹具内材料变形的影响，有时准确度可能稍低，可适当增加试样的长度来减小该影响。伸长计测量伸长量，相对比较准确，但操作起来比较复杂，常用的伸长计包括机械类、电子类和视频类伸长计。目前，国内大部分生产、检测单位使用夹具位移来计算伸长量。对于土工织物类开孔结构小的材料，其伸长率较高，且延伸率指标的范围较宽（如 40%~80%），也没有 2%、5% 应变时的强度要求，为了减小颈缩的影响，样片的宽度应大于长度。对于土工格栅类材料，网孔尺寸的范围也较大，产品的伸长率较小，且有 2% 和 5% 应变强度的要求（低应变时强度），对伸长量的测定要求非常高，因此起始长度（标距长度）就显得较为重要。国际上，ISO 10319 采用伸长计来适应不同土工合成材料产品伸长量的测量，而 ASTM D6637/D6637M-15 (2023) 则对应土工格栅、土工织物、土工网等产品分别制定测试标准。

为了提高测试精度，对于变形较小的单向和双向塑料土工格栅材料，参考美国标准 ASTM D6637/D6637M-15 (2023)，试样长度至少包含 3 个交叉点，且不小于 300mm。

确定某些试样在接近夹钳边的位置断裂的确切原因是困难的。若是由于夹钳损坏试样而产生钳口断裂，则其结果应剔除。但是，若仅是由试样中薄弱部位的不均匀分布造成，则该结果是合理的。

T 1122—2026 接头/接缝宽条拉伸试验

1 适用范围

本方法用于测定土工合成材料接头和接缝拉伸性能，适用于网状土工合成材料和除土工膜外的片状土工合成材料，包括土工织物、土工复合材料、土工格栅等。

2 仪器设备及材料

2.1 拉伸试验机：达到一级试验机要求，具有等速拉伸功能，拉伸速率可以设定，并能测读拉伸过程中试样的拉力和伸长量，记录拉力-伸长曲线。

2.2 夹具：应具有足够宽度以夹持试样的整个宽度，有适当的方式限制试样的滑移或损伤，每个夹钳表面的宽度应至少与试样（200mm）同宽。

2.3 蒸馏水：仅用于浸湿试样，满足《分析实验室用水规格和试验方法》（GB/T 6682）的三级水要求。

2.4 非离子润湿剂：仅用于浸湿试样。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样数量

剪取含接头/接缝试样至少 5 块，每块试样应含有一个接头或接缝，若需要湿态试验，另增加 5 块试样。

3.3 试样尺寸

从连接或缝合的样品中剪取试样，每块试样应具有足够的长度以保证 100mm 加接头或接缝宽度 b 的初始夹持长度，使接头或接缝位于垂直于拉力方向的试样中心线上。试样宽度为 200mm，接头或接缝处的试样两侧加宽 25mm，保证试验过程中接头或接缝的稳定（图 T 1122-1）。

3.3.1 非织造土工织物

非织造土工织物按图 T 1122-1 所示剪取试样，每块试样最终宽度为 200mm，在平行于接头/接缝的两端各延长 25mm，从试样上剪去图 T 1122-1 中阴影区域时， A 角应为 90° 。

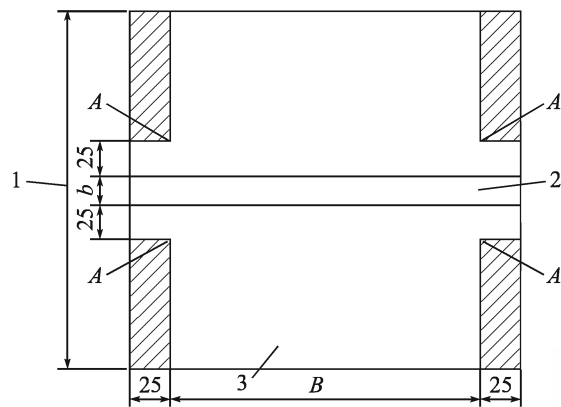


图 T 1122-1 试样的准备 (尺寸单位: mm)

1-试样长度; 2-接头/接缝; 3-制备好的试样; A-裁剪角; B-试样宽度; b-接头/接缝宽度

3.3.2 机织土工织物

在距试样中心线 25mm 加 $b/2$ 的距离处剪 25mm 长的切口, 以便拆去边纱得到 200mm 的名义宽度, 如图 T 1122-1 所示。

3.3.3 针织土工织物

采用热切方式, 但不得损伤图 T 1122-1 中的 A 部位。

3.3.4 土工格栅

对于土工格栅, 试样宽度不宜小于 200mm, 且拉伸单元不少于 5 个, 长度应大于 100mm 加接头宽度, 接头两侧应含有至少一排节点或交叉连接处, 这些节点或交叉连接处不应包括被夹钳夹持住的及形成接头的节点或交叉连接处, 剪去离该排节点 10mm 处的肋条或交叉连接部位 (图 T 1122-2)。试样的交叉连接处至少应比被测试的拉伸单元宽 1 个节距, 以利形成接头。同时, 在宽度上, 连接样片的下样片比上样片多 1 根肋, 避免测试时试样偏斜。

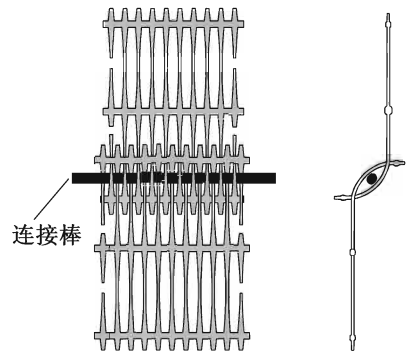


图 T 1122-2 土工格栅试样图

3.4 指标特征

作为接头/接缝的指标特征试验时，接合/缝合在一起的两个单元应是同一方向（经向或纬向、纵向或横向）的，接头/接缝垂直于受力方向。

3.5 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

3.6 湿态试验

对于湿态试验，试样应浸入温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的水中，浸润时间应足以使试样完全润湿或至少 24h。为使试样完全湿润，可以在水中加入不超过 0.05% 的非离子型润湿剂。

4 试验步骤

4.1 设定拉伸试验机

选择试验机的负荷量程，使抗拉力在满量程负荷的 10% ~ 90%。

调整两夹具间的隔距为 $100\text{mm} \pm 3\text{mm}$ 再加上接头或接缝宽度，土工格栅、土工网除外。设定试验机的拉伸速度，使试样的拉伸速率为隔距长度的 $(20\% \pm 5\%) / \text{min}$ 。

4.2 夹持试样

将试样放入夹钳中心位置，长度方向与受力方向平行，保证标记线与钳口吻合，以便观察试验过程中试样是否出现打滑。对于湿态试样，从水中取出后，3min 内开始进行试验。

4.3 测定接头/接缝拉伸强度

开启拉伸试验机，直至接头/接缝或材料本身断裂。记录最大拉力，精确至 1N。观察和记录试样断裂原因。

4.4 异常数据剔除准则

出现下列情况时，剔除该试验结果并另取试样进行试验：①试样是从图 T 1122-1 的 A 点处开始断裂；②试样在夹具中滑移。

5 结果计算

5.1 接头/接缝强度

按式 (T 1122-1) 计算接头/接缝强度，精确至 0.01kN/m 。

$$S_t = F_t C \quad (\text{T 1122-1})$$

式中： S_f ——接头/接缝强度 (kN/m)；

F_f ——最大拉力 (kN)；

C ——计算系数，由式 (T 1122-2) 或式 (T 1122-3) 求得；

对于土工织物：

$$C = \frac{1}{B} \quad (\text{T 1122-2})$$

对于土工格栅、土工网：

$$C = N_m / N_s \quad (\text{T 1122-3})$$

式中： B ——试样名义宽度 (m)；

N_m ——试样 1m 宽度内的肋数，计算方法同本规程 T 1121 中 5 的规定；

N_s ——试样的测试肋数，以肋数数量少的计算。

5.2 计算 5 块试样的接头/接缝强度的平均值 $\bar{S}_f$ ，若需要，按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

5.3 接头/接缝效率

若需要计算接头/接缝效率，按本规程 T 1121 的方法测定 5 块无接头/接缝试样的平均拉伸强度 $\bar{\alpha}_f$ ，其拉伸方向应与接头/接缝试样相同。按式 (T 1122-4) 计算接头/接缝效率，精确至 0.1%。

$$E = \frac{\bar{S}_f}{\bar{\alpha}_f} \times 100 \quad (\text{T 1122-4})$$

式中： E ——接头/接缝效率 (%)；

$\bar{S}_f$ ——接头/接缝平均强度 (kN/m)；

$\bar{\alpha}_f$ ——母材的平均拉伸强度 (kN/m)。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外，还应包含：

- (1) 试样的状态，即干态或湿态；
- (2) 夹具的类型，包括夹钳尺寸和夹钳表面；
- (3) 每一试样的断裂类型；
- (4) 若需要，计算接头/接缝效率。

条文说明

施工中土工合成材料的接头/接缝是不可避免的，而接头和接缝处往往是整个结构中的薄弱点，从某种意义上讲，接头/接缝的强度就是整个产品的强度，直接影响工程

的质量和寿命。本方法参考了《土工合成材料 接头/接缝宽条拉伸试验》(ISO 10321: 2008)和《土工合成材料 接头/接缝宽条拉伸试验方法》(GB/T 16989—2013),对原方法进行了修订,目的是通过测试产品的接头/接缝拉伸强度,来了解该产品实际可达到的强度,也可以与无接头/接缝的同一产品的拉伸强度进行比较,确定该产品的接头/接缝效率。

接头/接缝宽条拉伸试验方法适用于含有接头/接缝的土工织物和土工格栅,是对现成的接缝样品进行测试,对于无接头或接缝的样品不适用。这是因为试验方法中没有规定接头/接缝形式,但如果有关协议,或委托方提供具体的接头/接缝方法,则可按协议或提供的方法制备试样。另外试验不计算伸长率。

为方便进行试验,本方法做如下定义:①接缝是两块或多块土工合成材料缝合起来的连续缝迹;②接头是两块或多块分开的土工合成材料,由除缝合外的其他方法接合起来的连接处;③接头/接缝强度是由缝合或接合两块或多块土工合成材料所形成连接处的最大抗拉强度,以 kN/m 为单位;④接头/接缝效率是接头/接缝强度与在同方向上所测定的土工合成材料的强度之比,以%表示。

修订主要内容包括:①明确该方法不适用于土工膜;②为便于测试,对土工格栅的试样尺寸及制备进行了修改,在宽度上,连接样片的下样片比上样片多 1 根肋。

试验时应注意观察和记录断裂原因:①材料断裂;②缝线断裂;③材料与接头/接缝滑脱;④撕裂型的纱线断裂;⑤接缝开裂;⑥上述两种或多种组合;⑦其他破坏形式。

T 1123—2026 窄条拉伸试验

1 适用范围

本方法用于测定土工合成材料的拉伸性能,适用于土工织物、土工格栅、土工带及土工复合材料等相关产品。

2 仪器设备及材料

2.1 拉伸试验机:达到一级试验机要求,具有等速拉伸功能,拉伸速率可以设定,并能测读拉伸过程中试样的拉力和伸长量,记录拉力-伸长曲线。

2.2 夹具:钳口应有足够的约束力,并采取适当措施避免试样滑移和损伤,如图 T 1123-1 所示。对大多数材料宜使用压缩式夹具,包括自动加压和机械式。使用压缩式夹具容易出现钳口断裂或滑移的材料,可采用绞盘式夹具。

2.3 伸长计:能够测量试样上两个标记点之间的距离,对试样无任何损伤和滑移,能反映标记点的真实动态行程。伸长计可以是力学、光学或电子形式的,伸长计的精度应

达到 $\pm 2\%$ 。

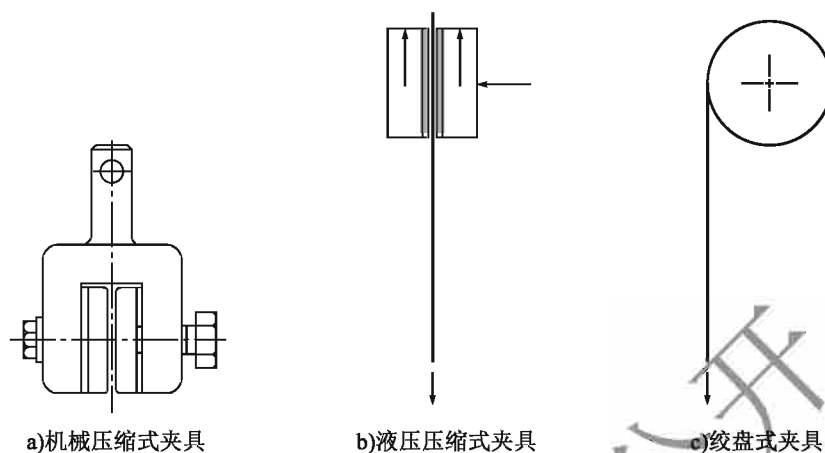


图 T 1123-1 窄条试样拉伸测试夹具

2.4 蒸馏水：仅用于浸湿试样，满足《分析实验室用水规格和试验方法》（GB/T 6682）的三级水要求。

2.5 非离子润湿剂：仅用于浸湿试样。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样数量

土工格栅：纵向和横向各剪取至少 10 根单肋试样。

土工带：剪取至少 10 个试样。

土工织物：纵向和横向各剪取至少 5 个试样。

3.3 试样尺寸

3.3.1 土工格栅

试样长度至少包含 3 个交叉点，且不小于 300mm。试样的夹持线在交叉点处，除被夹钳夹持住的交叉点外，还应包含至少 1 排交叉点，如图 T 1123-2 所示。为避免裁样造成样片的强度损失，图 T 1123-2 中右侧样条的水平肋裁断点到节点的长度要求大于 20mm。

3.3.2 土工织物

试样宽度 50mm，长度不小于 200mm，且应有足够长度的试样伸出夹具，试样计量长度为 100mm。对于机织土工织物，裁剪试样宽度 60mm，在两边抽去大约相同数量的边纱，使试样宽度达到 50mm。

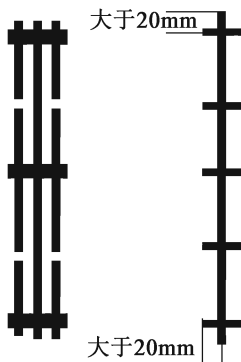


图 T 1123-2 土工格栅样片尺寸图

通常进行试样的干态拉伸强度试验，当需要进行湿态拉伸试验时，剪取试样长度至少为通常要求的两倍。将每个试样编号后对折剪切成两块，一块用于测定干态拉伸强度，另一块用于测定湿态拉伸强度，这样使得每一对拉伸试验是在含有相同肋（纱线）的试样上进行的。

3.4 试样状态调节

试样温、湿度调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。湿态试验所用试样应浸入温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的蒸馏水中，浸润时间应足以使试样完全润湿或至少 24h，为使试样完全湿润，也可以在水中加入不超过 0.05% 的非离子型润湿剂。

4 试验步骤

4.1 设定拉伸试验机

选择试验机的负荷量程，使抗拉力在满量程负荷的 10% ~ 90%。设定试验机的拉伸速度，为隔距长度的 $20\%/\text{min} \pm 5\%/\text{min}$ 。若使用绞盘夹具，需在试验报告中注明使用了绞盘夹具。

4.2 夹持试样

将试样在夹具中对中夹持，注意纵向和横向的试样长度应与拉伸力的方向平行。合适的方法是将预先画好的横贯试件宽度的两条标记线。尽可能与上下钳口的边缘重合。对湿态试样，从水中取出后 3min 内进行试验。

4.3 安装伸长计

若使用伸长计，在安装伸长计时，注意不能对试样有任何损伤，并保证试验中标记点无滑移。

4.4 测定拉伸性能

开动试验机连续加荷直至试样断裂，停机并恢复至初始标距位置。记录最大拉力，

精确至 1N，记录最大拉力下的伸长量 ΔL ，精确至 0.1mm。从试样的拉力-伸长曲线图上，计算该试样的预负荷。预负荷相当于最大拉力的 1%，记录因预负荷产生的夹持长度的增加值 L'_0 ，精确至 0.1mm。

若试样在夹钳中滑移，或在距钳口 5 mm 范围内断裂，结果应被剔除。若试样在夹具中滑移，或多于 1/4 的试样在钳口附近 5 mm 范围内断裂，可采取下列措施：夹具内加衬垫；对夹在钳口内的试样加以涂层；改进夹具钳口表面。

无论采用了何种措施，都应在试验报告中注明。

4.5 测定特定伸长率下的拉伸力

使用合适的记录测量装置，测定在任一特定伸长率下的拉伸力，精确至 1N。

5 结果计算

5.1 拉伸强度

5.1.1 土工格栅拉伸强度按式 (T 1123-1) 计算：

$$\alpha_f = \frac{f_n}{L} \quad (\text{T 1123-1})$$

式中： α_f ——拉伸强度 (kN/m)；

f ——试件的最大拉伸力 (kN)；

L ——样品宽度 (m)；

n ——样品宽度上的肋数，由 L_1 长度范围内肋数减去最外缘两肋得到。

样品宽度 L 按式 (T 1123-2) 计算：

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2} \quad (\text{T 1123-2})$$

式中： L_1 ——样品最外侧两根筋带间的外缘距离，以筋带外侧为量测点；

L_2 ——样品次外侧两根筋带间的内缘距离，以筋带内侧为量测点，如图 T 1123-3 所示。

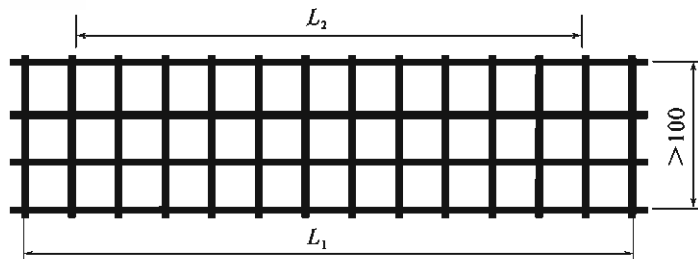


图 T 1123-3 格栅宽度计算示意图 (尺寸单位: mm)

5.1.2 土工织物拉伸强度按式 (T 1123-3) 计算：

$$\alpha_f = \frac{f}{B} \quad (\text{T 1123-3})$$

式中： α_f ——拉伸强度（kN/m）；
 f ——试件的最大拉伸力（kN）；
 B ——试样名义宽度（m）。

5.1.3 土工带拉伸强度，以试样最大拉力表示，单位为 kN。

5.2 试样最大拉力下的伸长率（图 T 1123-4），按式（T 1123-4）计算：

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0 + L'_0} \times 100 \quad (\text{T 1123-4})$$

式中： ε ——最大拉力下的伸长率（%）；
 L_0 ——名义夹持长度（mm）；
 L'_0 ——预负荷伸长量（mm）；
 ΔL ——最大拉力下的伸长量（mm）。

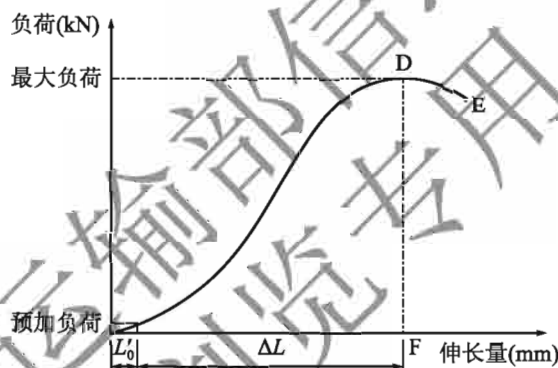


图 T 1123-4 夹持试样的拉力-伸长曲线图

5.3 特定拉力下的伸长率

按式（T 1123-5）计算每个试样在特定拉力下的伸长率：

$$\varepsilon_s = \frac{\Delta L_s}{L_0 + L'_0} \times 100 \quad (\text{T 1123-5})$$

式中： ε_s ——特定拉力下的伸长率（%）；
 L_0 ——名义夹持长度（mm）；
 L'_0 ——预负荷伸长量（mm）；
 ΔL_s ——特定拉力下的伸长量（mm）。

5.4 特定伸长率下的拉伸强度

计算每个试样在特定伸长率下的拉伸强度，例如土工格栅伸长率 2% 时的拉伸强度，按式（T 1123-6）计算：

$$F_{2\%} = \frac{f_{2\%} n}{L} \quad (\text{T 1123-6})$$

式中: $F_{2\%}$ ——对应 2% 伸长率时的拉伸强度 (kN/m);

$f_{2\%}$ ——对应 2% 伸长率时的拉伸力 (kN);

n ——样品宽度上的肋数;

L ——样品宽度 (m)。

5.5 分别对纵向和横向试样的拉伸强度、最大拉力下的伸长率、特定拉力下的伸长率及特定伸长率下的拉伸强度计算平均值, 拉伸强度精确至 0.01kN/m, 伸长率精确至 0.1%。若需要, 按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外, 还应包含:

- (1) 试样状态, 湿样或干样;
- (2) 每个方向的试样数量;
- (3) 若需要, 计算特定拉力下的伸长率和特定伸长率下的拉伸强度;
- (4) 若需要, 分别计算测定值的标准差或变异系数;
- (5) 夹具形式, 包括夹具尺寸、钳口表面形式、变形测量系统和初始夹具隔距;
- (6) 若需要, 给出典型的拉力-伸长曲线。

条文说明

测定土工合成材料拉伸性能的试验方法有宽条法和窄条法。两种试验方法和步骤基本相同, 只是试样宽度不同, 国际上多采用宽条法。但考虑到高强材料的不断出现, 宽条法试验难度较大, 且复现性比窄条法差, 所以仍保留两种不同的方法。

窄条法测试相对宽条法容易操作, 目前相关标准包括:《土工合成材料 塑料土工格栅》(GB/T 17689—2008) 采用单筋或宽条拉伸, 仲裁使用宽条法;《玻璃纤维土工格栅》(GB/T 21825—2008) 采用窄条法; 美国标准 ASTM D6637/D6637M-15 (2023) 采用窄条或宽条法。相关定义见本规程 T 1121 的条文说明。

本次修订的试验方法, 参考 GB/T 17689—2008 和 ASTM D6637。较 JTG E50—2026 的主要不同点包括: ①扩大了适用范围, 方法适用于土工织物和土工带; ②修改了使用夹具位移测量时, 名义夹持长度的取值和要求; ③由于土工格栅 2%、5% 应变时的强度受隔距的取值影响比较明显, 因此隔距长度定义为夹具中心线到中心线的距离, 避免了样片在夹具中的变形对数据的影响, 见图 T 1121-6; ④对于适合土工格栅测试的夹具, 进行图示; ⑤明确了样片的长度为 300mm, 且至少 3 个交叉点; ⑥操作步骤中, 拉伸速率由名义夹持长度的 20%/min $\pm$ 5%/min, 更改为隔距长度的 20%/min $\pm$ 5%/min; ⑦给出了特定拉力下的伸长率的定义和计算公式。

T 1124—2006 粘结点极限剥离力试验

1 适用范围

本方法用于测定土工格栅粘结点极限剥离力。

2 仪器设备及材料

2.1 拉伸试验机：达到一级试验机要求，应具有等速拉伸功能，拉伸速率可以设定和控制。

2.2 剥离试验专用夹具：宽度可调，以便夹持不同宽度试样，并能保持剥离时试样不滑移和损伤。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 制样

截取 5 个剥离试样，每个剥离试样都含一个粘结点，试件如图 T 1124-1 所示。

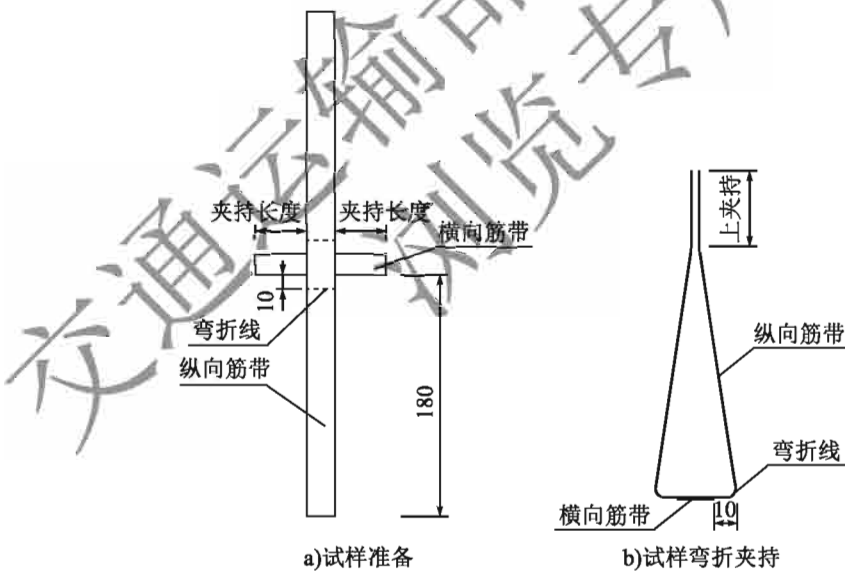


图 T 1124-1 剥离试样示意图（尺寸单位：mm）

3.3 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 设定拉伸试验机

选择量程范围，使剥离最大拉力在满量程负荷的 10% ~ 90%，并设定拉伸速率为

50 mm/min $\pm$ 5 mm/min。

4.2 夹持试样

安装剥离试验专用夹具，将试样横向筋带夹持在夹具中，调整夹持器的间距，使夹具水平夹住试样粘结点横向筋带的两端（靠近纵向筋带处），夹持长度为横向筋带宽度的两倍且不小于 50mm，使两夹持面和剥离轴线处在同一平面上，以保证剥离时试样不发生扭曲（图 T 1124-1）。

4.3 测定剥离性能

启动拉伸试验机进行试样粘结点的剥离试验，直到粘结点完全剥离方可停机，记录剥离时的最大剥离力，精确至 1N。

5 结果计算

土工格栅粘结点极限剥离力，以 5 个试样最大剥离力的算术平均值表示，精确至 1N。若需要，按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

随着工程技术要求的不断提高，对土工格栅的结点强度提出了更高的要求，传统的粘焊方式已不足以满足工程需求，新型的超声波高频、高强焊接加工，使土工格栅结点强度大幅提高。因此，本规程修订过程中，将粘焊点极限剥离力修订为粘结点极限剥离力，同时对负载量程的选择进行了修改。本方法在原试验方法的基础上，参照《公路工程土工合成材料 第 1 部分：土工格栅》(JT/T 1432.1—2022) 的相关要求，其他土工合成材料粘结点极限剥离力的测定也可参照执行。

T 1125—2006 梯形撕破强度试验

1 适用范围

本方法用于测定土工织物梯形撕破强度。

2 仪器设备及材料

2.1 拉伸试验机：达到一级试验机要求，应具有等速拉伸功能，拉伸速率可以设定，并能测读拉伸过程中的拉力和伸长量，记录拉力-伸长曲线。

2.2 夹具：宽度应足够夹持整个试样的宽度，且应在试验过程中保证试样不滑移或破损。

2.3 梯形样板：形式及尺寸如图 T 1125-1 所示。

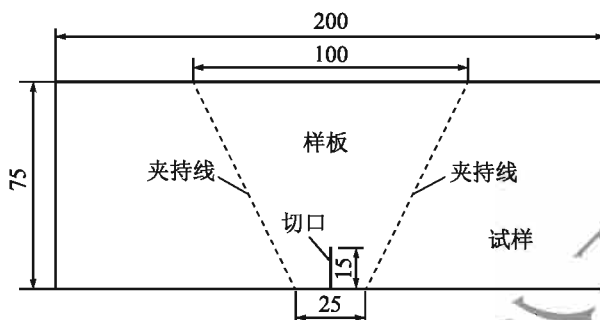


图 T 1125-1 梯形试样平面图（尺寸单位：mm）

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 制样

纵向和横向各取 10 块试样，每块试样的尺寸为长 $75\text{mm} \pm 1\text{mm}$ ，宽 $200\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 。用梯形板在每个试样上画一个等腰梯形，按图 T 1125-1 所示在梯形短边中心剪一个 $15\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 的切口。

3.3 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 设定拉伸试验机

调整拉伸试验机卡具的初始距离为 $25\text{mm} \pm 1\text{mm}$ ，设定满量程范围，使试样最大撕破拉力在满量程负荷的 10% ~ 90%，设定拉伸速率为 $100\text{mm}/\text{min} \pm 5\text{mm}/\text{min}$ 。

4.2 夹持试样

将试样放入夹具内，使夹持线与夹钳钳口线平齐，然后旋紧上、下夹钳螺栓，同时要注意试样在上、下夹钳中间的对称位置。

4.3 测定撕破强度

开动拉伸试验机，直至试样完全撕破断开，记录最大撕破强度值，精确至 1N。若试样从夹钳中滑出或不在切口延长线处撕破断裂，则应剔除此次试验数据，并在原样品上再截取试样，补足试验次数。

5 结果计算

纵、横向撕破强度以各自 10 次试验的算术平均值表示，精确至 1N。若需要，按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

修订过程中进一步明确了试样的尺寸、试验机夹具初始距离，并参考国内外相关标准及试样典型撕裂曲线，对负载量程的范围进行了调整。

T 1126—2026 圆柱 (CBR) 顶破强度试验

1 适用范围

本方法用于测定土工合成材料顶破强度，适用于土工织物、土工膜及其复合产品。

2 仪器设备及材料

2.1 试验机：达到一级试验机要求，应具有等速加荷功能，加荷速率可以设定，并能测读加荷过程中的荷载、位移量，记录荷载-位移曲线。

2.2 顶破夹具：应保证试样不滑移或破损。环形夹具内径为 $150\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ (图 T 1126-1)，其中心必须在顶压杆的轴线上。

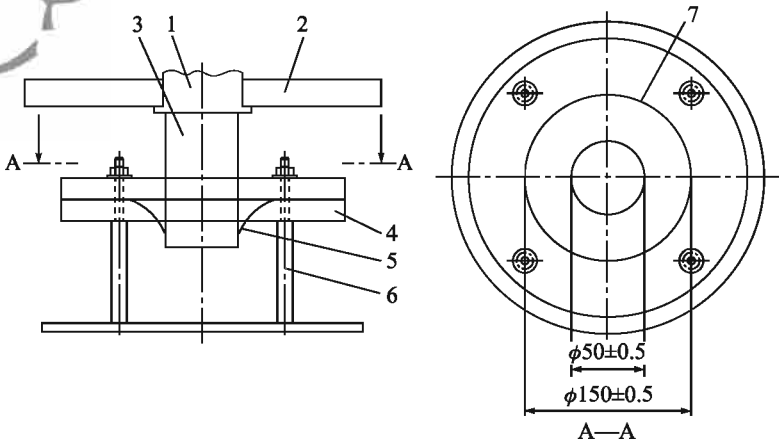


图 T 1126-1 夹持系统装置示意图 (尺寸单位: mm)

1-测压元件; 2-十字头; 3-顶压杆; 4-夹持环; 5-试样; 6-CBR 夹具的支架; 7-夹持环的内边缘

2.3 顶压杆：直径为 $50\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 的钢质圆柱体，高度大于 100mm ，顶端边缘倒成半径为 $2.5\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 的圆弧（图 T 1126-2）。

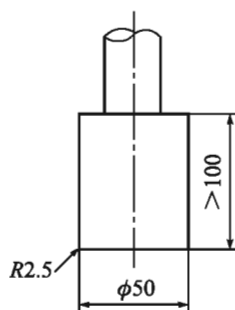


图 T 1126-2 顶压杆（尺寸单位：mm）

3 试样制备

按本规程 T 1101 的规定取样。裁取 $\phi 300\text{mm}$ 的圆形试样 5 块，试样上不得有影响试验结果的可见斑点。

试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 设定试验机

选择试验机的满量程范围，使试样最大顶破力在满量程负荷的 $10\% \sim 90\%$ ，设定顶压杆的下降速度为 $50\text{mm}/\text{min} \pm 5\text{mm}/\text{min}$ 。

4.2 夹持试样

将试样放入环形夹具内，在试样自然状态下拧紧夹具，以避免试样在顶压过程中滑动或破损，将夹持好试样的环形夹具对中放于试验机上。

4.3 测定顶破性能

启动试验机，预加张力为 20N 时，开始记录位移。观察和记录顶破情况，直到试样完全顶破为止，记录顶破强度，精确至 1N ；记录顶破位移值，精确至 1mm 。若土工织物在夹具中有明显滑动，则应剔除此次试验数据，并补做试验至 5 块。

5 结果计算

5.1 分别计算 5 块试样的顶破强度、顶破位移的平均值。顶破强度精确至 1N ，顶破位移精确至 1mm 。

5.2 按式（T 1126-1）计算变形率，精确至 1% 。

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 \quad (\text{T 1126-1})$$

$$L_1 = \sqrt{h^2 + L_0^2} \quad (\text{T 1126-2})$$

式中： h ——顶压杆位移 (mm) (图 T 1126-3)；

L_0 ——试验前夹具内侧到顶压杆顶端边缘的距离 (mm)；

L_1 ——试验后夹具内侧到顶压杆顶端边缘的距离 (mm)；

ε ——变形率 (%)。

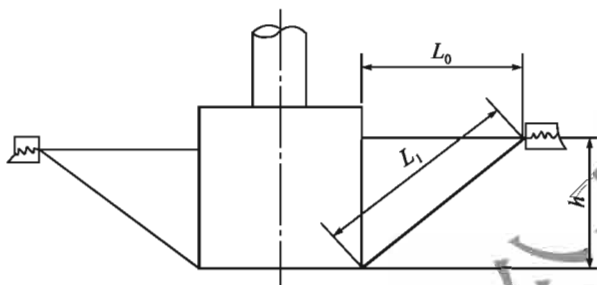


图 T 1126-3 顶破试验示意图

5.3 若需要，按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

土工合成材料在工程结构中要承受各种法向静态力的作用，所以顶破强度是土工合成材料力学性能的重要指标之一。评价顶破强度的方法不少，其中专用于土工织物、土工膜及其有关产品的方法有 CBR 顶破（圆柱形顶杆）和圆球顶破，其中 CBR 顶破强度被广泛应用于土工织物产品标准的技术要求中（图 T 1126-4）。本次修订主要包括：明确本方法的适用范围；对顶压杆尺寸进行细化；将顶压速率修改为 $50\text{mm/min} \pm 5\text{mm/min}$ ，与《土工合成材料 静态顶破试验（CBR 法）》（GB/T 14800—2010）一致；增加“预加张力为 20N 时，开始记录位移”。

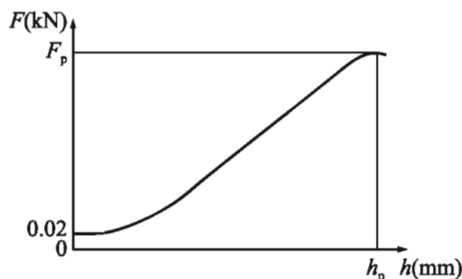


图 T 1126-4 顶压力-位移典型曲线示意图

h -位移； F -顶压力； F_p -顶破强度； h_p -顶破位移

为便于理解和开展试验，本方法给出了如下定义：①顶破位移是从顶压杆顶端开始与试样表面接触时起，直至达到顶破强度时，顶压杆顶进的距離。②变形率是环形夹具

内侧至顶压杆边缘之间试样的长度变化百分率。

T 1127—2006 刺破强度试验

1 适用范围

本方法用于测定土工织物、土工膜等材料的刺破强度。

2 仪器设备及材料

2.1 试验机：达到一级试验机要求，应具有等速加荷功能，加载速率可以设定，能测读加载过程中的荷载、位移量，记录荷载-位移曲线，要求行程大于 100mm，加载速率能达到 $300\text{mm}/\text{min} \pm 10\text{mm}/\text{min}$ 。

2.2 环形夹具：内径 $45\text{mm} \pm 0.025\text{mm}$ ，底座高度大于顶杆长度，有较高的支撑力和稳定性。

2.3 平头顶杆：钢质实心杆，直径 $8\text{mm} \pm 0.01\text{mm}$ ，顶端边缘倒角 $0.5\text{mm} \times 45^\circ$ 。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 制样

裁取圆形试样 10 块，直径不小于 100mm，试样上不得有影响试验结果的可见疵点，根据夹具的具体结构在对应螺栓的位置处开孔。

3.3 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 设定试验机

选择试验机的满量程范围，使试样最大刺破力在满量程负荷的 10% ~ 90%，设定加载速率为 $300\text{mm}/\text{min} \pm 10\text{mm}/\text{min}$ 。

4.2 夹持试样

将试样放入环形夹具内，在试样自然状态下拧紧夹具（图 T 1127-1）。将装好试样的环形夹具对中放于试验机上，夹具中心应在顶杆的轴心线上。

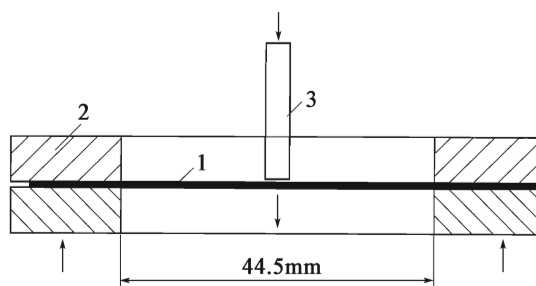


图 T 1127-1 刺破试验示意图

1-试样; 2-环形夹具; 3- $\phi 8\text{mm}$ 平头顶杆

4.3 测定刺破性能

4.3.1 启动试验机, 直到试样完全刺破, 记录顶杆顶压试样时的最大压力值即为刺破强度, 精确至 1N。

4.3.2 若土工织物在夹具中有明显滑移则应剔除此次试验数据。

4.3.3 对于土工复合材料, 在可能出现双峰值的情况下, 无论第二个峰值是否大于第一个峰值, 均以第一个峰值作为试样的刺破强度。

4.3.4 对于湿态试样, 从水中取出后 3min 内进行试验。

4.4 按照上述步骤, 测定其余试样, 直至得到 10 个测定值。

5 结果计算

计算 10 块试样刺破强度的平均值, 精确至 1N。若需要, 按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

刺破强度的原理方法与 CBR 顶破强度类似, 但在顶杆直径、试样面积和顶压速率上有所不同。刺破强度反映的是土工合成材料抵抗小面积集中负荷的能力, 适用于各种机织土工织物、针织土工织物、非织造土工织物、土工膜和复合土工织物等产品。但对一些较稀松或孔径较大的机织物不适用, 土工网和土工格栅一般不进行该项试验。因此, 修订时明确了本方法的适用范围。

T 1128—2006 落锥穿透试验

1 适用范围

本方法用于测定土工合成材料抵抗冲击和穿透性能，适用于土工织物、土工膜及土工复合材料等相关产品。

2 仪器设备及材料

2.1 环形夹具的内径为 $150\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 。

2.2 落锥架为支撑环形夹具的框架，锥尖至试样的距离为 $500\text{mm} \pm 2\text{mm}$ ，如图 T 1128-1 所示。

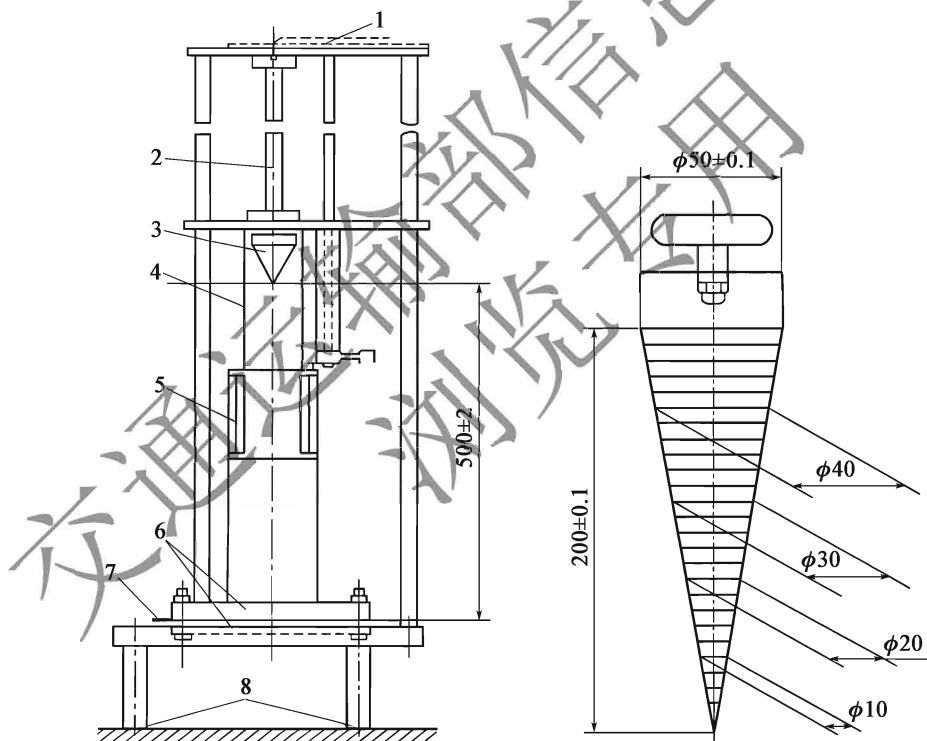


图 T 1128-1 落锥仪及量锥示意图（尺寸单位：mm）

1-释放系统；2-导杆；3-落锥；4-金属屏蔽；5-屏蔽；6-夹持环；7-试样；8-水平调节螺钉

2.3 不锈钢落锥：锥角 45° ，最大直径为 50mm ，表面抛光，总质量为 $1\,000\text{g} \pm 5\text{g}$ 。

2.4 量锥顶角比落锥小，最大直径为 50mm ，质量为 $600\text{g} \pm 5\text{g}$ ，标有刻度，如图 T 1128-1 所示。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 制样

裁取圆形试样 5 块,大小应与所用试验装置相适应,试样上不得有影响试验结果的可见斑点。若已知被测试样品两面的特性不同,应对两面分别试验 5 块试样,并在试验报告中说明,给出每面的试验结果。

3.3 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 将试样无褶皱地在环形夹具中夹紧,对试样施加预张力,并防止试验过程中试样的滑移。

4.2 将装有试样的环形夹具放置在框架上,如图 T 1128-1 所示,采用适当的方法,保证夹具在框架中对中水平放置。

4.3 释放落锥,从锥尖离试样 $500\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 的高度自由跌落在试样上,记录任何不正常的现象。若落锥在试样上跳动,第 2 次落下形成又一个破洞,这种情况下,测量较大的破洞。

4.4 立即从破洞中取出落锥,将量锥在自重的作用下放入破洞,10s 后测读该洞的直径,读数精确至 1mm。测量值应是在量锥处于垂直位置时的最大可见直径。若材料的各向异性明显,即纵向和横向的性能不同,除测量较大的破洞外,有必要对其他破洞孔径进行说明。若完全穿透试样,则不需测量,记录为完全穿透。

5 结果计算

计算试样破洞直径的算术平均值,精确至 0.1mm。若需要,按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

注:若落锥完全穿透一块或多块试样,造成 50mm 的破洞,则不需计算平均值和变异系数。这种情况下,应在试验报告中报出单值,并就该性能作出专门的说明。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外,还应包含:

- (1) 不正常的状态，如第 2 次穿透；
- (2) 根据破洞形状指出材料各向异性的程度。

条文说明

落锥穿透试验是模拟具有尖角的石块或锐利物掉落在土工织物上，对土工织物造成损坏的试验，用于评价土工织物抵抗冲击和穿透的能力。试验可用来检查土工织物是否符合现场施工对其性能的要求。由于土工格栅和土工网本身具有网格形状，所以落锥穿透试验不适用于这类产品。

在试验过程中，由于落锥穿透破洞的大小是评定试验结果的最终指标，所以破洞的测量精度很重要，必须使用专用量锥进行测量，而不能用长度测量工具（例如卡尺）代替，二者的测量结果一般是不一致的。同时还应注意，在放置量锥时，不要转，不要压，使其在自重的作用下自然垂直地进入破洞。

T 1129—2006 直剪摩擦特性试验

1 适用范围

本方法用于测定土工合成材料与土体之间的界面直剪摩擦性能。

2 仪器设备及材料

2.1 直剪仪

有接触面积不变和接触面积递减（标准土样直剪仪）两种直剪仪，分别如图 T 1129-1 和图 T 1129-2 所示。

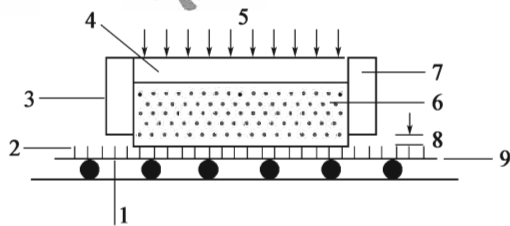


图 T 1129-1 接触面积不变直剪仪示意图

1-刚性滑板；2-土工合成材料试样；3-水平反作用；4-法向力加载系统；5-法向力；6-土体；7-刚性剪切盒；8-最大 0.5mm 隔距；9-水平力

2.1.1 剪切盒

剪切盒分为相互分离的上下两部分，具有足够的刚性，能保证施加拉力时不发生变形。

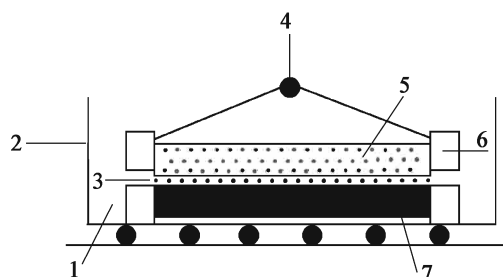


图 T 1129-2 接触面积递减直剪仪示意图

1-标准剪切盒；2-水平力；3-土工合成材料试样；4-法向力；5-土体；6-水平反作用；7-试样基座

(1) 接触面积不变的剪切盒：剪切盒内部尺寸不小于 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ ，长宽比不大于 2。进行单向土工格栅与土体的直剪摩擦试验时，剪切盒内部长度应不小于相邻横肋的间距。剪切盒下部为刚性滑板时，滑板的长度至少为剪切盒长度加上试样尺寸的 16.5%，以保证在剪切相对位移达到 16.5% 时试样和土体之间完全接触。

(2) 接触面积递减的剪切盒：上下剪切盒大小相等，内部尺寸不小于 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 。进行单向土工格栅与土体的直剪摩擦试验时，剪切盒内部长度应不小于相邻横肋的间距。

2.1.2 刚性滑板

剪切盒应装在刚性滑板上，刚性滑板由低摩擦滚排或轴承支撑在底座上，滑板可在剪切方向上自由滑动。

2.1.3 水平力加载装置

用于推动下剪切盒在水平方向上恒速位移的加载装置，位移速率为 $1\text{mm/min} \pm 0.2\text{mm/min}$ 。

2.1.4 法向力加载装置

能均匀地对上盒中的土体界面施加法向力，在下剪切盒恒速位移过程中法向力始终保持恒定且垂直的装置，法向力精度为 2%。

2.1.5 测定剪切力和剪切相对位移的装置

测量剪切力装置的测量精度为 0.5%，测量剪切相对位移装置的测量精度为 0.02mm。

仪器的设计应考虑土体为粗粒土时的剪切膨胀，保证剪切盒上下部分之间的间隙等于试样厚度加 0.5mm。填土及压密时上剪切盒与土工合成材料试样之间应装配密封条，以避免土粒堵塞上剪切盒和土工合成材料之间的间隙。

2.2 试样基座

用于放置试样，可为土质基座、硬木质基座、表面粒度为 P80 的氧化铝标准摩擦基座或其他刚性基座。若要模拟实际情况，也可在下剪切盒内填土，但应使土工合成材料在法向压力作用下仍水平地位于上下剪切盒之间，剪切过程中保证剪切面发生在土工合成材料与土体界面上。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样数量和尺寸

每种样品每个被测试方向取 4 个试样。试样的大小应适合于试验仪器的尺寸，宽度略大于剪切面宽度。若样品两面不同，两面都应试验，每面试验 4 块试样。

3.3 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 将土工合成材料试样平铺在位于剪切盒下部的刚性水平基座上，前端夹持在剪切区的前面。试样与基座之间用胶黏合（当使用 P80 氧化铝标准摩擦基座或下剪切盒内填土时可不黏合），黏合后试样应平整、没有折叠和褶皱。试验过程中试样和基座之间不允许产生相对滑移。

对于土工格栅类土工合成材料试样，宜采用在下剪切盒内填土的试验方法。当下剪切盒内填土时，下剪切盒内土体应分层填筑、密实，土样表面应平整。

4.2 安装上剪切盒：向上剪切盒内装填厚度不小于 50mm 的土体，土体厚度应均匀，并按照工程要求的含水率和压实标准填（压）实。

4.3 安装水平力加载装置、位移测量装置（百分表或位移传感器），并对试样施加 50kPa 的法向压力。

4.4 施加水平荷载，位移速率视土性而定，对砂土宜取 0.5mm/min，对黏性土宜取 0.5 ~ 1.0mm/min，上下剪切盒之间按上述速率发生相对位移。连续或间隔测量剪切力 T ，同时记录对应的剪切相对位移 ΔL ，间隔时间为 12s，开始时也可视情况加密，直至相对位移达到剪切面长度的 16.5% 时结束试验。

4.5 卸下土工合成材料试样，仔细除去被测试样上的土体，检查和记录试样是否发生伸长、褶皱或损坏。

4.6 重复步骤 4.1 ~ 4.5, 在 100kPa、150kPa 和 200kPa 等法向应力下再各试验一块试样。

5 结果计算

5.1 按式 (T 1129-1) 计算作用于每块试样的法向应力:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (\text{T 1129-1})$$

式中: σ ——法向应力 (kPa);

P ——法向力 (kN);

A ——土工合成材料与土体接触面积 (m^2)。

5.2 按式 (T 1129-2) 计算作用于每块试样的剪应力:

$$\tau = \frac{T}{A} \quad (\text{T 1129-2})$$

式中: τ ——剪应力 (kPa);

T ——剪切力 (kN)。

若使用接触面积递减的仪器, 试样接触面积则为变值, 每次计算均应使用与最大剪切力出现时相对应的实际接触面积值。

5.3 剪应力和对应的剪切相对位移的关系曲线如图 T 1129-3 所示, 据此求取每块试样的最大剪应力。当剪应力与位移关系曲线出现峰值时, 该峰值即为最大剪应力; 当关系曲线不出现峰值时, 取位移量为剪切面长度的 10% 时对应的剪应力作为最大剪应力。

5.4 对于所有试样 (4 个), 最大剪应力和对应的法向应力的关系曲线如图 T 1129-4 所示, 据此绘出最佳拟合直线, 直线与法向应力轴之间的夹角即为土工合成材料与土体的界面摩擦角 φ_{sg} , 最大剪应力轴上的截距为土工合成材料和土体界面的表观黏聚力 c_{sg} 。

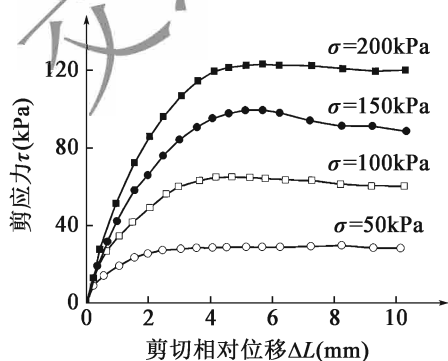


图 T 1129-3 剪应力与剪切相对位移关系曲线

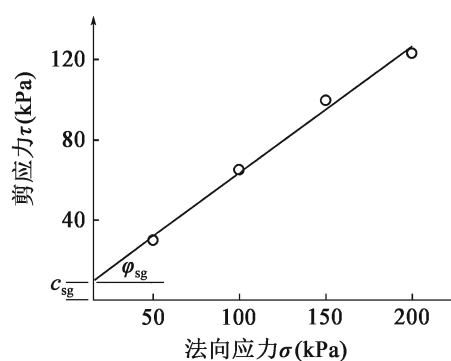


图 T 1129-4 最大剪应力与法向应力关系曲线

5.5 按式 (T 1129-3) 计算每块土工合成材料试样与土体的界面阻力系数 f_{gs} 。

$$f_{\text{gs}} = \frac{\tan \varphi_{\text{sg}}}{\tan \varphi_{\text{s}}} \quad (\text{T 1129-3})$$

式中： f_{gs} ——界面阻力系数；
 φ_s ——土体的内摩擦角（°）；
 φ_{sg} ——土工合成材料与土体的界面摩擦角（°）。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外，还应包含：

- (1) 试样的被测方向（纵向或横向）、正面或反面；
- (2) 剪应力与剪切相对位移的关系图；
- (3) 最大剪应力与法向应力的关系图；
- (4) 试样与土体之间的表观黏聚力、界面摩擦角和界面阻力系数；
- (5) 试验中是否有破损或不正常现象的观察记录。

条文说明

土工合成材料与土体之间的界面摩擦特性是工程结构稳定性必须考虑的重要因素之一。界面摩擦特性中的直剪试验是使用直剪仪对土工合成材料与土体进行直接剪切试验，以模拟它们之间的作用过程，评价土工合成材料与土体的界面摩擦特性。《公路土工合成材料应用技术规范》（JTG/T D32—2012）中提出了界面阻力系数的概念，为此在结果计算中增加了该指标的计算方法。为便于理解和开展试验，本方法给出如下一些定义：

- (1) 剪切相对位移（ ΔL ）是直剪试验中土工合成材料试样与土体之间的位移（mm）；
 - (2) 法向力（ P ）是对试样施加的恒定垂直力（kN）；
 - (3) 剪切力（ T ）是恒速位移条件下剪切试验中测得的水平力（kN）；
 - (4) 法向应力（ σ ）是单位面积的法向力（kPa）；
 - (5) 剪应力（ τ ）是土工合成材料/土体直剪摩擦试验中单位面积施加的剪切力（kPa）；
 - (6) 最大剪应力（ τ_{max} ）是位移量在剪切面长度的 0% ~ 16.5% 范围内，沿土工合成材料与土体界面产生的最大剪切力（kPa）；
 - (7) 界面摩擦角（ φ_{sg} ）是直剪试验时土工合成材料与土体之间的摩擦角，为最大剪应力与法向应力关系图中各点的“最佳拟合直线”的斜率（°）；
 - (8) 表观黏聚力（ c_{sg} ）是直剪试验时土工合成材料与土体之间的黏聚力，为最大剪应力与法向应力关系图中各点的“最佳拟合直线”上法向应力等于 0 时的剪应力（kPa）；
 - (9) 界面阻力系数（ f_{gs} ）是直剪试验时，在相同的法向应力下， $\tan\varphi_{sg}$ 与 $\tan\varphi_s$ 的比值。
- 本方法参考了《土工布及其有关产品 摩擦特性的测定 第 1 部分：直接剪切试验》（GB/T 17635.1—1998）和 *Standard Test Method for Determining the Shear Strength of Soil-Geosynthetic and Geosynthetic-Geosynthetic Interfaces by Direct Shear*（ASTM D5321/D5321M-21）。

T 1130—2006 拉拔摩擦特性试验

1 适用范围

本方法用于测定土工合成材料与土体之间的拉拔摩擦性能。

2 仪器设备及材料

2.1 试验箱：为矩形箱体，侧壁有足够的刚度，受力时不变形，箱体内部尺寸不宜小于 $500\text{mm} \times 250\text{mm} \times 250\text{mm}$ （长×宽×高）。箱体一面侧壁的半高处开一贯穿全宽的窄缝，高约 5mm ，供试样引出箱体用。紧贴窄缝内壁，安置可上下抽动的插板，用于调整窄缝的缝隙大小，防止土粒漏出（图 T 1130-1）。

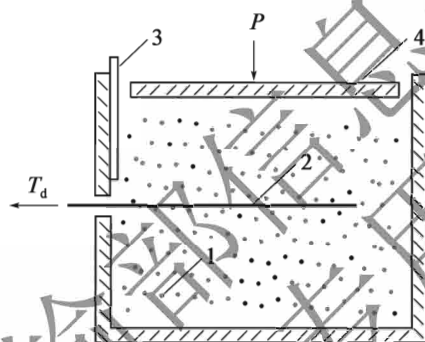


图 T 1130-1 拉拔试验箱示意图

1-土样；2-试样；3-插板；4-加压板

2.2 加载系统

法向应力的加载装置在试验过程中应保持恒压，且均匀作用在填土表面上。水平加载装置通过固定试样的水平夹具进行应变控制加载。夹具的有效宽度应比试样宽度大 10mm 左右，且应能将试样均匀夹紧。

2.3 测量系统

法向和水平向测力装置可用拉力传感器或其他测力装置。垂直和水平位移用百分表或位移传感器测量，测量精度为 0.01mm 。

3 试件制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样数量和尺寸

试样数量不少于 5 块，其宽度应小于试验箱宽度，长度视夹具情况而定，应保证有

足够的长度固定试样，且不小于土工格栅相邻横肋的间距。

3.3 试样端部加固

从试验箱引出的试样应进行端部加固，可采用粘胶加固（如环氧树脂），将试样牢固粘贴在加固板上。

4 试验步骤

4.1 将土料填入试验箱，按要求的压实指标分层压实，压实后的填土水平面略高于试验箱一侧窄缝下缘。

4.2 将土工合成材料试样水平放于压实后的填土面上，要求平整无皱。当采用单向拉伸塑料土工格栅时，长度方向应不小于相邻纵肋间距，并居中放置。试样一端从窄缝引出箱外，注意两边对称，并和水平夹具连接固定。插入可调整窄缝宽度的插板，使插板下缘正好在试样表面之上，将插板固定。

4.3 继续往箱内填土，分层压实直至达到要求的压实指标，压实后土面平整，并略低于箱顶，放上加压板。

4.4 安装垂直和水平位移百分表。将垂直加荷千斤顶对中于试验箱，对加压板施加一微量的垂直荷载，使加压板与土面接触良好，将百分表读数调零。将夹有试样的水平夹具连接到水平加荷装置上。

4.5 施加要求的垂直荷载，使土体固结。固结时间视土性而定，对砂性土，固结时间不少于 15min；对黏性土，要求垂直变形增量每小时不大于 $0.00025h$ （ h 为土样高度，单位为 mm）作为固结稳定标准，测量并记录相应的压缩量。施加一微量水平荷载，使水平加荷装置的各处受力绷紧，将百分表读数调整为零。

4.6 施加水平荷载，开始拉拔，测读并记录位移量和水平拉力。拉拔速率视土性而定，采用应变控制方法加荷时，一般采用 $0.2 \sim 3.0 \text{ mm/min}$ 的位移速率；对砂性土，可采用 0.5 mm/min ；对黏性土，宜取 $0.5 \sim 1.0 \text{ mm/min}$ 。

4.7 试验进行到下列情况时方可结束：①水平荷载出现峰值，继续试验至达到稳定值；②土工合成材料试样被拉断；③水平荷载数值达到稳定或出现降低现象，整个试样的拔出速率等于试验设定的位移速率。

4.8 改变垂直荷载，重复步骤 4.1 ~ 4.7，进行不同垂直荷载下相应的拉拔摩擦试验。为求得拉拔摩擦强度，要求在 4 级不同垂直荷载下进行试验，其中最大的一级荷载

(压力) 应不小于设计荷载。

5 结果计算

5.1 按式 (T 1130-1) 计算作用于每块试样的法向应力:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (\text{T 1130-1})$$

式中: σ ——法向应力 (kPa);

P ——法向力 (kN);

A ——试验箱的水平面积 (m^2)。

5.2 按式 (T 1130-2) 计算作用于每块试样的剪应力:

$$\tau = \frac{T_d}{2LB} \quad (\text{T 1130-2})$$

式中: τ ——剪应力 (kPa);

T_d ——水平荷载 (kN);

L 、 B ——埋在土体内部的土工合成材料的长度和宽度 (m)。

5.3 绘制各级法向应力下剪应力与拉拔相对位移的 τ - ΔL 关系曲线 (图 T 1130-2)。

5.4 绘制 τ - σ 曲线 (图 T 1130-3), 求得界面的摩擦强度。

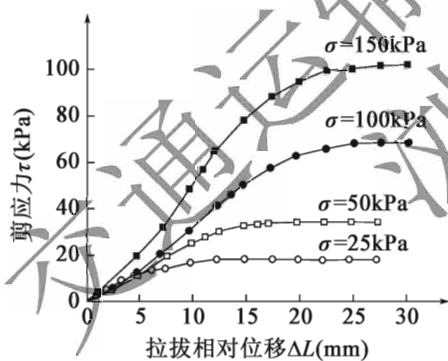


图 T 1130-2 τ - ΔL 曲线

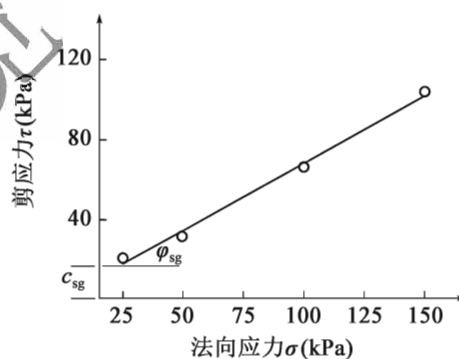


图 T 1130-3 τ - σ 曲线

绘制各级法向应力和最大剪应力的关系曲线, 如图 T 1130-3 所示。

对于所有试样 (5 个), 最大剪应力和对应的法向应力关系曲线如图 T 1130-3 所示, 据此绘出最佳拟合直线, 直线与法向应力轴之间的夹角即为土工合成材料与土体的界面摩擦角 φ_{sg} , 最大剪应力轴上的截距为土工合成材料和土体界面的表观黏聚力 c_{sg} 。

5.5 按式 (T 1130-3) 计算每块土工合成材料试样与土体的界面阻力系数 f_{gs} :

$$f_{gs} = \frac{\tan \varphi_{sg}}{\tan \varphi_s} \quad (\text{T 1130-3})$$

式中： f_{gs} ——界面阻力系数；
 φ_s ——土体的内摩擦角（°）；
 φ_{sg} ——土工合成材料与土体的界面摩擦角（°）。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外，还应包含：

- (1) 试样夹持方法；
- (2) 试样拔出长度；
- (3) 剪应力与拉拔相对位移的关系曲线图；
- (4) 最大剪应力与法向应力的关系曲线图；
- (5) 试样与土体之间的表观黏聚力、界面摩擦角和界面阻力系数；
- (6) 试验中是否有破损或不正常现象的观察记录。

条文说明

拉拔摩擦与直剪摩擦的试验机理不同，结果通常存在差异。一般来讲，土工合成材料单面和土发生位移时，直剪摩擦试验较能反映实际情况；当双面均与土发生位移时，拉拔试验更为合适。

《公路土工合成材料应用技术规范》（JTG/T D32—2012）中提出了界面阻力系数的概念，为此在结果计算中增加了该指标的计算方法。为便于理解和开展试验，本方法给出如下一些定义：

- (1) 拉拔相对位移（ ΔL ）是拉拔试验中土工合成材料试样与土体之间的位移（mm）。
- (2) 法向力（ P ）是对试样施加的恒定垂直力（kN）。
- (3) 剪切力（ T ）是恒速位移条件下，试验中测得的水平力（kN）。
- (4) 法向应力（ σ ）是单位面积的法向力（kPa）。
- (5) 剪应力（ τ ）是土工合成材料在土中进行拉拔试验时单位面积的剪切力（kPa）。
- (6) 界面摩擦角（ φ_{sg} ）是拉拔试验时土工合成材料与土体之间的摩擦角，为最大剪应力与法向应力关系图中各点的“最佳拟合直线”的斜率（°）。
- (7) 表观黏聚力（ c_{sg} ）是拉拔试验时土工合成材料与土体之间的黏聚力，为最大剪应力与法向应力关系图中各点的“最佳拟合直线”上法向应力等于 0 时的剪应力（kPa）。
- (8) 界面阻力系数（ f_{gs} ）是拉拔试验时，在相同的法向应力下， $\tan\varphi_{sg}$ 与 $\tan\varphi_s$ 的比值。

本次修订参考了 *Standard Test Method for Measuring Geosynthetic Pullout Resistance in Soil* [ASTM D6706-01 (2021)]。单向土工格栅作为加筋加固作用的土工合成材料，其与周围土体的拉拔摩擦特性对工程结构设计具有重要影响。试验结果至少能反映单向土工格栅一个完整单元在土体中的拉拔特性。大量的研究表明，试验结果会受到试验箱侧

壁摩擦阻及拉拔过程中土体剪胀的影响,因此,拉拔试验箱尺寸及试样宽度对结果影响很大。本次修订将试验箱体的尺寸由 25cm×20cm×20cm (长×宽×高) 修改为 50cm×25cm×25cm (长×宽×高),且规定单向土工格栅伸入拉拔试验箱土体中的长度至少应包含一个完整的单元、试样长宽比不宜小于 2。

在拉拔试验中,要求被测试样应是被拔出的而不是被拉断的,当试样刚度较低时,试样在箱外的部分在拉力作用下会发生很大的变形,甚至被拉断。解决这个问题的办法是,事先将试样的引出部分进行加固,可采用粘胶加固(如环氧树脂)或将加固板牢固地粘贴在土工合成材料试样上,以保证拉拔过程中不脱开。

T 1131—2026 拉伸蠕变性能试验

1 适用范围

本方法用于测定土工合成材料拉伸蠕变性能。

2 仪器设备及材料

拉伸蠕变与拉伸蠕变断裂性能试验仪器设备应包括试样夹具、加载系统、变形测量系统和计时系统。

2.1 试样夹具

夹具应具有足够宽度以夹持试样的全宽,并能限制试样的滑移而不损伤试样。名义标记长度的标记点与试样夹具的最小距离应不小于 20mm。

2.2 加载系统

2.2.1 加载框架应有足够的刚度,能支撑荷载。加载框架应与外部振动隔离,不受该框架上或相邻框架上其他试样断裂的影响。

2.2.2 拉伸蠕变荷载应恒定,并精确至 $\pm 1\%$ 。

2.2.3 可直接使用重锤或通过杠杆系统,或使用机械液压或气压系统施加拉伸蠕变荷载。每次试验前应校验加载系统,以确认施加到试样上的荷载满足要求。

2.2.4 加载系统应具有对试样施加预张力的能力;加载系统应使加载方便,加载时间不超过 60s。

2.3 变形测量系统

伸长计能测量试样上两个参考点之间名义标记长度的变化,应能保证测量结果确实

代表了参考点的真实动程。可使用任何仪器测量标记长度的变化，精度为名义标记长度的 $\pm 0.1\%$ 。通常使用机械、电子或光学的伸长计测量仪器。试验过程中应保证读数的重现性和仪器的长期稳定性。

2.4 记时系统

记时系统的精度为 $\pm 1\%$ ，具有设定时间为零的能力，并能在发生蠕变断裂时记录即时时间。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样数量

- (1) 用于拉伸蠕变性能的测定：4 块试样；
- (2) 用于拉伸蠕变断裂的测定：12 块试样；
- (3) 用于拉伸强度的测定：按本规程 T 1121 的规定。

另外，若采用技术代表宽度的试样进行拉伸蠕变性能和拉伸蠕变断裂的测定，剪取试样时应考虑试样的数量。

3.3 试样尺寸

3.3.1 试样尺寸的确定：

- (1) 与使用仪器的尺寸相适应；
- (2) 与使用的测量装置精度相适应；
- (3) 根据技术代表宽度确定；
- (4) 保证使名义标记长度的两个标记参考点与夹持器的距离不小于 20mm。

3.3.2 试样的最小名义标记长度：

- (1) 不小于 200mm；
- (2) 对土工格栅，不少于两个完整的网格单元；
- (3) 对所有样品，能保证名义标记长度的测量精度为 $\pm 0.1\%$ 。

3.3.3 试样的宽度：

对按本规程 T 1121 的规定试验时表现出明显横向收缩（ $\geq 10\%$ ）的产品，样宽 200mm；对土工格栅宜采用 5 根肋条宽，切断外侧两根肋条，试验中以 3 根肋条承受荷载，要避免对中间 3 根肋条造成任何损伤；其他的土工合成材料取 1 个技术代表宽度。

3.4 试样状态调节

试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。由于该试验时间长达 10 000h，

忽略湿度控制时应以相同聚合物材料的样品进行的类似时间周期试验的试验资料为基础。

4 试验步骤

4.1 拉伸蠕变的测定

在规定的温、湿度环境条件下,将一恒定静荷载施加于试样上。荷载均匀分布于试样的整个宽度。连续记录或按规定的时间间隔记录试样的伸长,该荷载保持不少于 10 000h。若不足 10 000h 试样发生断裂,则记录断裂时间。宜进行不同温度环境下的拉伸蠕变性能试验,温度控制为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

4.1.1 按本规程 T 1121 的规定测定样品的宽条拉伸特性,包括试样的拉伸强度、断裂伸长率和横向收缩率。

4.1.2 按本规程 T 1121 的规定测定技术代表宽度试样的拉伸强度和断裂伸长率。若需要,评价所使用的技术代表宽度试样的有效性,详见条文说明中的计算示例。

4.1.3 根据本方法 3.3.2 要求的标记长度在试样上标记参考点后,将试样安装在夹具上。

4.1.4 施加预张力,预张力等于拉伸强度的 1%,以 kN/m 表示。

4.1.5 测定标记长度作为初始标记长度,精确至 $\pm 0.1\%$ 。

4.1.6 若适用,安装和固定伸长计,并设置初始伸长值为 0。

4.1.7 从试样拉伸强度的 20%、30%、40%、50% 和 60% 范围内选择 4 级荷载进行试验。4 块试样分别施加 4 级不同的荷载,加载时间不超过 60s。

4.1.8 加载结束时即为试验的零点时间。按下列时间测量名义标记长度的变化量 ΔL ,精确至 $\pm 0.1\%$:

(1) 1、2、5、10、30min;

(2) 1、2、5、10、30、100、200、500、1 000h,每 500h 测试和记录 1 次,直到试验结束。

4.2 拉伸蠕变断裂的测定

在规定的温、湿度环境下,将一恒定静荷载施加于试样上,荷载均匀地分布于试样

整个宽度。该荷载保持到试样断裂，由试样断裂即停止记时的记时系统记录断裂时间。宜进行不同温度环境下的拉伸蠕变断裂性能试验，温度控制为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

4.2.1 按本规程 T 1121 的规定测定样品的宽条拉伸特性，包括试样的拉伸强度、断裂伸长率和横向收缩率。

4.2.2 按本规程 T 1121 的规定测定技术代表宽度试样的拉伸强度和断裂伸长率。若需要，评价所使用技术代表宽度试样的有效性。

4.2.3 将试样安装在夹具上。

4.2.4 从试样拉伸强度的 50%、60%、70%、80% 和 90% 范围内选择 4 级荷载进行试验。3 块试样施加一档荷载，共计试验 12 块试样。加载结束时即为试验的零点时间。

4.2.5 记录发生蠕变断裂时的时间。

5 结果计算

5.1 拉伸蠕变曲线

绘制拉伸应变与蠕变时间的关系曲线。横坐标为蠕变时间的对数值 $\log t$ （单位为 h），纵坐标为拉伸应变 ε （ $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 100$ ，其中 ΔL 为伸长量， L 为初始标距长度）。

5.2 拉伸蠕变断裂曲线

绘制拉伸蠕变荷载与断裂时间的关系曲线。横坐标为断裂时间的对数值 $\log t$ （单位为 h），纵坐标为试验过程中施加的拉伸蠕变荷载。

5.3 技术代表宽度试样的确定

5.3.1 土工格栅、土工网技术代表宽度的确定

按本规程 T 1121 的规定测定宽条样的拉伸强度和伸长率；准备减宽试样，测量减宽试样的拉伸强度和伸长率。当减宽试样同时满足拉伸强度偏差不超出 $\pm 5\%$ 、伸长率偏差不超出 $\pm 20\%$ 时，可以确定为技术代表宽度。

计算拉伸强度时，还需确定每米宽度的拉伸单元。尽可能地把整卷宽度的样品放在一个平面上，使用长度至少为 1.5m 的尺子测量约为 1m 内的拉伸单元所对应的宽度，以 mm 表示。根据该单元数计算每米宽度的拉伸单元个数，精确至 0.1 个单元。同时记录试样上的拉伸单元个数。

5.3.2 土工织物技术代表宽度的确定

准备减宽试样,其宽度应小于200mm、大于50mm;按本规程T 1121的规定测定宽条样和减宽试样的拉伸强度和伸长率,分别计算两种宽度试样的拉伸强度和伸长率。减宽试样若同时满足拉伸强度偏差不超出 $\pm 5\%$ 、伸长率偏差不超出 $\pm 20\%$,可以确定为技术代表宽度。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程T 1102所列内容外,还应包含:

- (1) 宽条拉伸试验的平均拉伸强度、伸长率和试样的横向收缩;
- (2) 加载方式的描述;
- (3) 蠕变载荷;
- (4) 名义标记长度;
- (5) 绘制拉伸应变与蠕变时间关系曲线;
- (6) 绘制拉伸蠕变荷载与断裂时间的关系曲线;
- (7) 试验中是否有破损或不正常现象的观察记录。

条文说明

土工合成材料的一个重要特性是在恒定荷载下其变形是时间的函数,即表现出明显的蠕变特性。作为加筋加固作用的土工合成材料应具有良好的抗蠕变性能,否则在长期荷载的作用下,若材料产生较大的变形将会使结构失去稳定。由于该试验耗时长,且步骤复杂,建议不作为日常质量控制试验。为便于理解和开展试验,本方法给出如下一些定义。

(1) 名义标记长度是未加预张拉力时,在平行于拉伸荷载方向的试样上两标记参考点之间的初始标距长度 L 。对于土工格栅,应至少包括2个完整单元。

(2) 技术代表宽度是在规定的试验方法和试验条件下,宽度小于200mm的试样,其拉伸强度和伸长率与宽度为200mm的试样相比,分别在 $\pm 5\%$ 和 $\pm 20\%$ 的范围内,则该宽度试样可进行拉伸蠕变试验,其宽度为技术代表宽度。

(3) 拉伸蠕变是在恒定的拉伸荷载长期作用下,试样随时间延续而产生的拉伸变形。

(4) 拉伸蠕变断裂是在恒定的拉伸荷载长期作用下,试样发生拉伸断裂破坏。

(5) 拉伸蠕变荷载是施加在试样上每单位宽度的恒定静荷载。通常拉伸蠕变荷载以该样品的拉伸强度的百分比表示。拉伸蠕变荷载包括预荷载和加荷装置所施加的长期荷载。

(6) 加载时间是施加拉伸蠕变荷载至规定值所需的时间。

(7) 蠕变时间是从加载时间结束起到拉伸蠕变结束时所经历的时间。

(8) 蠕变断裂时间是从加载时间结束起直到试样发生拉伸蠕变断裂所经历的时间。

(9) 横向收缩是在拉伸试验过程中试样宽度减小的现象,以在预张力下名义标记

长度中间的试样宽度减小的百分比表示。

关于蠕变特性的试验方法，国内外标准包括 *Geotextiles and geotextile-Related products—Determination of tensile creep and creep rupture behaviour* (ISO 13431: 1999)、*Standard Test Method for Determining the Unconfined Tension Creep and Creep Rupture Behavior of Planar Geosynthetics Used for Reinforcement Purposes* (ASTM D5262-21)、《土工布及其有关产品 拉伸蠕变和拉伸蠕变断裂性能的测定》(GB/T 17637—1998)、《塑料土工格栅蠕变试验和评价方法》(QB/T 2854—2007)。国标的技术内容非等效于 ISO 13431: 1999。

本方法参照 ISO 13431: 1999、ASTM D5262-21 和 GB/T 17637—1998 的技术内容，明确了蠕变试验主要测定两项指标，即拉伸蠕变性能（在静态荷载下试样伸长与时间的关系）和拉伸蠕变断裂时间（在静态荷载下试样直到断裂所需的时间）。规定了在满足要求的前提下，为降低长期试验的时间及费用，允许采用小于本规程 T 1121 中测定拉伸强度规定的 200mm 的宽度以技术代表宽度进行蠕变拉伸试验。如何确定能否采用技术代表宽度，见示例。

应当指出，土工合成材料蠕变性能的特征是有一定困难的，目前没有相关的国际标准和国家标准，国内外许多大企业、机构有自己的方法，用于评价土工合成材料的蠕变性能。例如时间温度分级表示、外推演算等，这些方法各有利弊，但都没有形成评价标准。

本方法规定的试验方法是测定土工合成材料在不受土壤约束条件下的拉伸蠕变性能，其结果不能真实代表土工合成材料在土壤中的蠕变特性，但可用于同一条件下不同产品的性能比较。

本次修订参照 ASTM D5262-21 和 QB/T 2854—2007，明确了土工格栅试样的制备方法 & 进行拉伸蠕变性能试验和拉伸蠕变断裂试验的荷载等级。

示例 1：土工格栅

(1) 土工格栅宽度 986mm 内有 43 个拉伸单元，每米宽度的拉伸单元数为 43.6。

(2) 宽条拉伸试样 8 个独立单元，其宽度为： $(8/43.6) \times 1\,000 \approx 183.5\text{mm}$ 。

测定的宽条试样的平均拉伸强度为 10.8kN，伸长率为 12.8%，横向收缩为 0。

每米宽度的拉伸强度为： $(1\,000/183.5) \times 10.8 \approx 58.9\text{kN/m}$ 。

(3) 减宽试样有 3 个拉伸单元，其宽度为： $3 \times 1\,000/43.6 \approx 68.8\text{mm}$ 。

测定 3 个拉伸单元宽试样的平均拉伸力为 4.086kN，伸长率为 13.4%。

每米宽度的拉伸强度为 $(1\,000/68.8) \times 4.086 \approx 59.4\text{kN/m}$ 。

(4) 结论：3 个拉伸单元宽试样的拉伸强度与宽条试样的拉伸强度偏差小于 5%，伸长率偏差小于 20%，所以允许用 3 个拉伸单元宽试样为技术代表宽度试样进行拉伸蠕变试验。

示例 2：土工织物

(1) 测定的 200mm 宽度试样的平均拉伸强度为 31.4kN/m，伸长率为 10.7%。

(2) 测定的 60mm 宽条试样的平均拉伸强度为 30.2kN/m，伸长率为 15.2%。

结论：宽条为 60mm 试样与 200mm 试样的拉伸强度偏差在 5% 以内，伸长率偏差大

于 20%，所以不允许以宽度为 60mm 的试样作为技术代表宽度试样进行拉伸蠕变试验。

典型拉伸蠕变曲线和拉伸蠕变断裂曲线如图 T 1131-1 和图 T 1131-2 所示，其中 T_1 、 T_2 、 T_3 为蠕变试验温度。

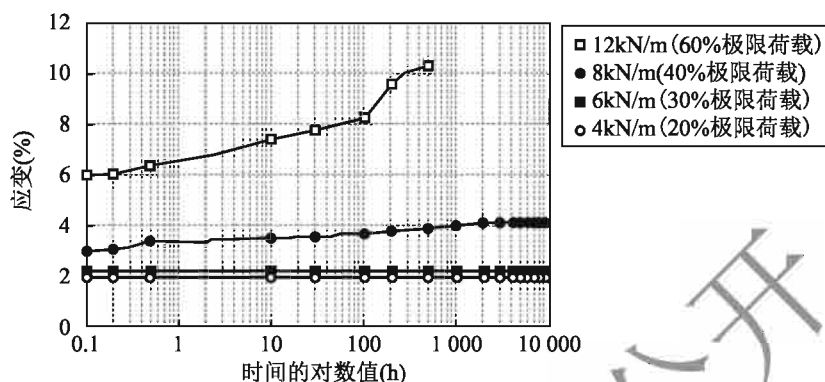


图 T 1131-1 拉伸应变与蠕变时间关系曲线示例

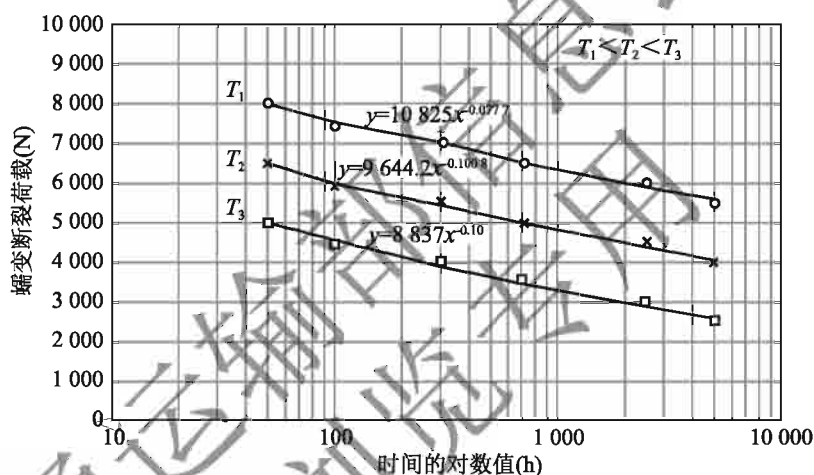


图 T 1131-2 拉伸蠕变荷载与断裂时间关系曲线示例

T 1132—2026 软式透水管扁平耐压力试验

1 适用范围

本方法用于测定软式透水管的扁平耐压力。

2 仪器设备及材料

2.1 试验机：达到一级试验机要求，应具有等速加荷功能。

2.2 压具：如图 T 1132-1 所示，压具中央的圆孔直径应与试样直径一致，两个对开压具之间的间隙为直径的 1/3。压具长度应不小于 25cm，且与试样长度匹配，上下模块的两侧设与底座相垂直的导向板，选用变形较小的硬质材料。

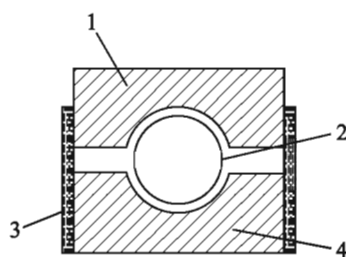


图 T 1132-1 压具横截面示意图

1-上模块；2-试样；3-导向板；4-下模块

2.3 百分表：最小分度值应为 0.01mm。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 制样

每组试样数量应不少于 3 个。管径不大于 25cm 时，试样长度应为 25cm；管径大于 25cm 时，试样长度至少应与管径成 1:1 的比例。

3.3 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 设定试验机

选择试验机的负荷量程，使耐压力在满量程负荷的 10% ~ 90%。设定压缩速率为管径的 $(2\% \pm 0.5\%) / \text{min}$ 。

4.2 安装试样

将下模块、透水管及上模块依次装在试验机上，使两端齐平，加在模块上的荷载应居中并保证全部传递到透水管上。

4.3 测定耐压性能

开启试验机，预先施加 20N 的压力使模块与管材密合接触。记录使变形量为外径的 1%、2%、3%、4% 和 5% 的压力（有自动记录压力-位移曲线装置的可记录压力-位移曲线），精确至 1N。

4.4 重复上述步骤，完成所有试样的测试。

5 结果计算

扁平耐压力按式 (T 1132-1) 计算:

$$P = \frac{F}{L} \quad (\text{T 1132-1})$$

式中: P ——扁平耐压力 (kN/m);

F ——试样压力 (kN);

L ——试样长度 (m)。

应分别计算各个不同应变时的扁平耐压力, 并计算各个不同应变时扁平耐压力的平均值, 精确至 0.01kN/m。若需要, 按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

软式透水管是由高强度螺旋圈状钢丝支撑体外包土工织物滤层及强力合成纤维外覆保护层制成的管状排水材料。圈状支撑体要求具有足够的耐压能力。因此, 本次修订新增了“软式透水管扁平耐压力试验”。

试验方法主要参考《土工合成材料测试规程》(SL 235—2012), 采用的是应变法, 即测试软式透水管在一定管径压缩应变时单位长度上的耐压力, 测试结果与《软式透水管》(JC/T 937—2004) 的产品技术要求一致。

T 1133—2026 管材环刚度试验

1 适用范围

本方法用于测定具有环形横截面的热塑性塑料管材环刚度。

2 仪器设备及材料

2.1 压缩试验机

达到一级试验机要求, 具有等速加压功能, 压缩速率可以设定, 能通过两个相互平行的压缩平板对试样施加足够的负荷, 并达到规定的直径变形量。负荷测量装置能测定试样在直径方向产生 1% ~ 4% 变形量时所需的负荷。根据不同管材的公称直径, 试验加载速率见表 T 1133-1。

表 T 1133-1 试验加载速率

管材的公称直径 DN (mm)	压缩速率 (mm/min)
DN ≤ 100	2 ± 0.1
100 < DN ≤ 200	5 ± 0.25
200 < DN ≤ 400	10 ± 0.5
400 < DN ≤ 710	20 ± 1
DN > 710	(0.03 × d_i) ± 5%

注： d_i 根据本方法 3.3 测定。

2.2 压缩平板

- (1) 两块压缩平板的表面应平整、光滑、洁净，试验中不应产生影响试验结果的变形。
- (2) 每块平板的长度应不小于试样的长度，宽度应至少比试样在承受负荷时与压板的接触表面宽 25mm。

2.3 测量量具

测量量具应能测定：

- (1) 试样的长度（本方法 3.2），精确至 1mm；
 - (2) 试样的内径，精确至内径的 0.5%；
 - (3) 在负荷方向上试样的内径变形量，精确至 0.1mm 或变形量的 1%，取较大值。
- 以测量波纹管内径的量具为例，如图 T 1133-1 所示。

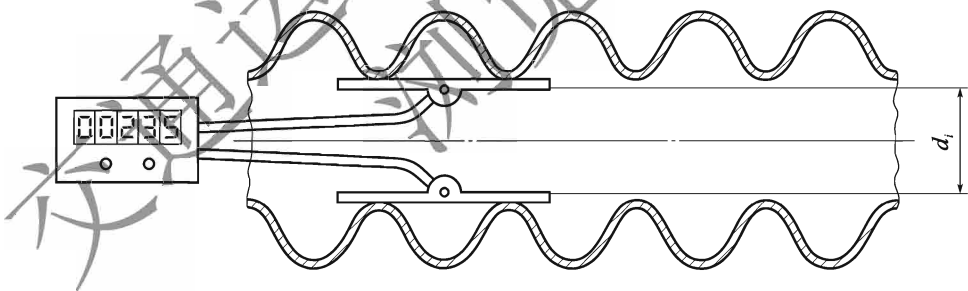


图 T 1133-1 波纹管内径测量示意图

3 试样制备

3.1 标记和数量

在待测管材的外表面，沿轴向在全长画一条直线作为标记，对该段做过标记的管材按规定长度分别截取 3 个试样，使试样的端面垂直于管材的轴线。

3.2 试样的长度要求

- (1) 每个试样按表 T 1133-2 的规定沿圆周方向等分测量 3 ~ 6 个长度值，计算其算

术平均值作为试样的长度，测量精确至 1mm。对于每个试样，在所有的测量值中，最小值不应小于最大值的 0.9 倍。

表 T 1133-2 长度测量的数量

管材的公称直径 DN (mm)	长度测量的数量
DN ≤ 200	3
200 < DN < 500	4
DN ≥ 500	6

- (2) 公称直径不大于 1 500mm 的管材，试样的平均长度应为 (300 ± 10) mm。
- (3) 公称直径大于 1 500mm 的管材，试样的平均长度应不小于 0.2DN。
- (4) 对有垂直的肋、波纹或其他规则结构的结构壁管材，切割试样时应至少包含一个完整的肋、波纹或其他规则结构，切割部位应在肋与肋、波纹与波纹或其他规则结构之间的中点。试样的长度应有最少的、完整的肋、波纹或其他规则结构，其长度应不小于 290mm；对公称直径大于 1 500mm 的管材，长度应不小于 0.2DN，如图 T 1133-2 所示。



图 T 1133-2 从垂直肋管材切取的试样
L-试样长度；P-节距

- (5) 对于有螺旋的肋、波纹或其他规则结构的结构壁管材，试样的长度应等于 $(d_i \pm 20)$ mm，但不小于 290mm，也不大于 1 000mm。

3.3 内径的测定

用下列任一方法分别测定 3 个试样内径：

- (1) 在试样长度中部的横截面处，每间隔 45°依次测量 4 次，取算术平均值，每次测量应精确至内径的 0.5%。
 - (2) 在试样长度中部的横截面处，用内径 π 尺按 ISO 3126 进行测量。
- 分别记录每个试样的平均内径 d_i ，并计算 3 个试样内径的平均值 d_i 。

3.4 试样的陈化

- (1) 试样应至少放置 24h 后才可进行试验。

(2) 对于型式检验或在发生争议的情况下, 试样应放置 $21d \pm 2d$ 。

4 状态调节

除非有特殊规定, 试样应在试验环境温度 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下调节至少 24h。

5 试验步骤

5.1 若能确定试样在某个位置的环刚度最小, 则将第一个试样的该位置与试验机的上平板相接触; 否则放置第一个试样时, 将其标线与上平板相接触。在负荷装置中对另两个试样的放置位置, 应相对于第一个试样依次环向旋转 120° 和 240° 放置。

5.2 对每一个试样, 放置好变形测量仪并检查试样与上平板的角度位置。放置试样时, 应使试样的轴线平行于平板, 其中点垂直于负荷传感器的轴线, 使作用力的方向与负荷传感器的轴线尽量一致。

5.3 下降平板直至接触到试样的上部。

施加一个包括平板质量的预负荷 F_0 , 并用下列方法确定:

(1) $d_i \leq 100\text{mm}$ 的管材, F_0 为 7.5N 。

(2) $d_i > 100\text{mm}$ 的管材, 用式 (T 1133-1) 计算, 结果精确至 1N 。

$$F_0 = 250 \times 10^{-6} \times \text{DN} \times L \quad (\text{T 1133-1})$$

式中: DN——管材的公称直径 (mm);

L ——试样的实际长度 (mm)。

试验中负荷传感器所显示的实际预负荷的准确度应在设定预负荷的 $95\% \sim 105\%$ 。将变形测量仪和负荷传感器调节至零。

5.4 根据表 T 1133-1 的规定以恒定的速率压缩试样, 按照本方法 5.6 的规定连续记录负荷和变形值, 直至达到至少 $0.03d_i$ 的变形量。

注: 当要求测定环柔性时, 继续压缩试样直至达到环柔性所要求的变形量。

5.5 通常负荷和变形量的测量是通过一个平板的位移得到, 但若在试验过程中, 管材的结构壁厚度 e (图 T 1133-3) 的变化超过 5% , 则应通过测量试样的内径变化得到。在有争议的情况下, 应测量试样的内径变化。

典型的负荷-变形量曲线是一条光滑曲线, 否则表明零点可能不正确, 如图 T 1133-4 所示, 可用曲线初始的直线部分倒推至和水平轴相交于 $(0, 0)$ 点 (零点)。

6 结果计算

每个试样的环刚度按式 (T 1133-2) 计算:

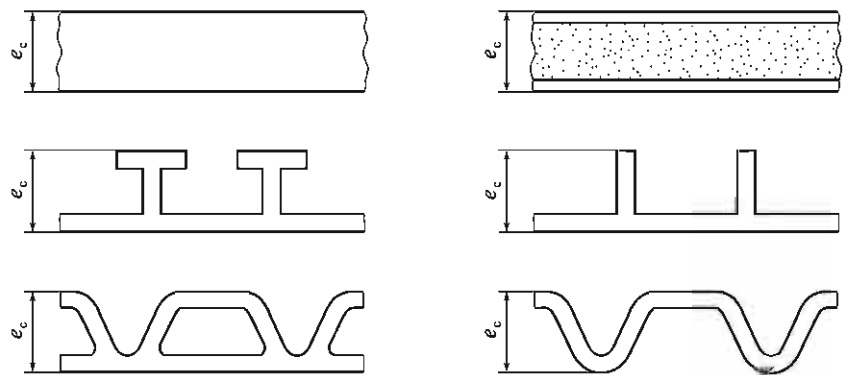


图 T 1133-3 管材结构壁厚度 e_c 的示例

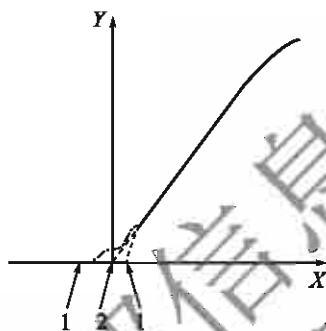


图 T-1133-4 修正零点方法

X -形变 (γ); Y -负荷 (F); 1-表观零点; 2-修正零点

$$S = \left(0.0186 + 0.025 \frac{\gamma}{d_i} \right) \frac{F}{Ly} \times 10^6 \tag{T 1133-2}$$

式中： S ——试样环刚度 (kN/m^2)；
 F ——相对于管材垂直方向 3.0% 变形时的负荷 (kN)；
 L ——试样的长度 (mm)；
 d_i ——3 个试样内径平均值 (mm)；
 γ ——相对于管材垂直方向 3.0% 变形时的变形量 (mm)，如：

$$\frac{\gamma}{d_i} = 0.03$$

计算 3 个试样环刚度平均值，精确至 0.01kN/m^2 。若需要，按本规程 T 1102 的规定计算标准差 σ 和变异系数 C_v 。

7 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

本方法是新增的试验方法。环刚度是塑料管材抗外压负载能力的综合参数，显然，为了保证塑料管材在外压负载下安全工作，环刚度的选择是设计中的关键之一。若管材

的环刚度太小，管材可能发生过大变形或出现压屈失稳而破坏。反之，若环刚度选得太高，必然采用过大的截面惯性矩，将造成材料使用太多，成本过高。

制定本方法参照了《热塑性塑料管材 环刚度的测定》(GB/T 9647—2015)。在关注管材环刚度的同时，管材环柔性也是公路工程中关注的一个问题，因此，本方法增加了管材环柔性测定的可能，若需测定环柔性，可参照《塑料管道系统 热塑性塑料管材 环柔性的测定》(GB/T 39385—2020) 进行。

T 1134—2026 握持拉伸试验

1 适用范围

本方法用于测定土工织物及复合土工材料的握持拉伸性能。

2 仪器设备及材料

2.1 拉伸试验机：达到一级试验机要求，具有等速拉伸功能，拉伸速率可以设定，并能测读拉伸过程中试样的拉力和伸长量，记录拉力-伸长曲线。

2.2 夹具：两夹持面应平行，能防止试样滑动。夹具面钳口尺寸为宽 $25\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 、长 $50\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样数量：纵向、横向各至少 5 个试样。

3.3 试样尺寸：试样为长 $200\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 、宽 $100\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 的矩形试样，如图 T 1134-1 所示。长边平行于拉伸方向，试样计量长度为 75mm 。在长度方向上试样两端应伸出夹具至少 10mm 。

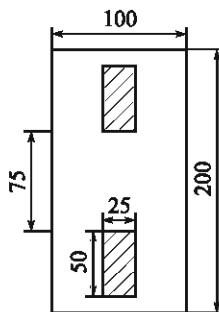


图 T 1134-1 握持拉伸试验试样示意图 (尺寸单位: mm)

3.4 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 设定拉伸试验机

选择试验机的拉力量程,使握持拉伸强度在满量程负荷的 10% ~ 90%,设定试验机的拉伸速度为 $300\text{mm}/\text{min} \pm 10\text{mm}/\text{min}$,将夹具的初始间距调至 $75\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 。

4.2 夹持试样

将试样对中放入夹具内夹紧。

4.3 测定握持拉伸性能

开启试验机拉伸直至试样破坏,记录在拉伸过程中的最大拉力,精确至 1N;记录最大拉力下的伸长量,精确至 0.1mm。从试样的拉力-伸长曲线图(图 T 1134-2)上,计算该试样的预负荷。预负荷相当于最大拉力的 1%,记录因预负荷产生的夹持长度的增加值 L'_0 ,精确至 0.1mm。

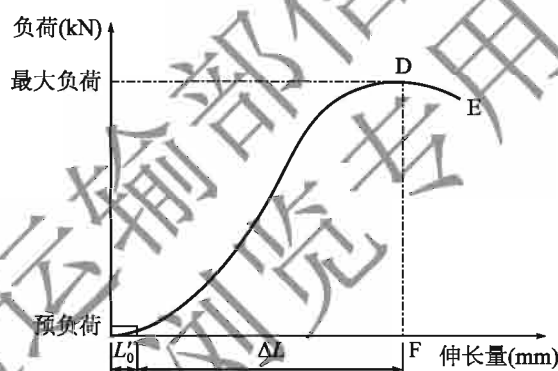


图 T 1134-2 夹持试样的拉力-伸长曲线图

当试样打滑时,则剔除该试验结果,补足试样重新试验。

4.4 重复上述步骤,完成所有试样的测试。

5 结果计算

5.1 握持强度

握持强度为最大拉力值,每组有效试样为纵向、横向各 5 块,计算纵向和横向两组试样握持强度的平均值,精确至 1N。

5.2 伸长率

最大拉力下伸长率按式 (T 1134-1) 计算:

$$\varepsilon_{\text{握}} = \frac{\Delta L}{L_0 + L'_0} \times 100 \quad (\text{T 1134-1})$$

式中： $\varepsilon_{\text{握}}$ ——伸长率（%）；

L_0 ——名义夹持长度（mm），取 75mm；

L'_0 ——预负荷伸长量（mm）；

ΔL ——最大拉力下的伸长量（mm）。

计算纵向和横向两组试样最大拉力下伸长率的平均值，精确至 0.1%。

5.3 若需要，按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

土工织物承受集中力的现象普遍存在，握持强度即反映其分散集中力的能力。其强度由两部分组成：一部分是试样被握持宽度的抗拉强度，另一部分为相邻纤维提供的附加抗拉强度。握持强度与条带拉伸强度之间没有简单的关联性和等效性。

国内外常用的有关土工织物握持强度测试的标准有《土工织物握持拉伸强度试验方法》[ASTM D4632/D4632M-15a (2023)]、《土工合成材料测试规程》(SL 235—2012)。本次新增的握持拉伸试验，其主要测试环节要素与 ASTM D4632/D4632M-15a (2023)、SL 235—2012 一致，主要区别在于对握持强度最大拉力下伸长率的计算进行了明确，要求考虑预拉力伸长量，这与本规程中土工合成材料拉伸试样伸长率的计算规定是一致的，以提高测试结果精度，增强试验可比性。

T 1135—2026 塑料排水带芯带压屈强度试验

1 适用范围

本方法用于测定塑料排水带芯带的压屈强度。

2 仪器设备及材料

2.1 压力试验机：达到一级试验机要求，具有等速加压功能，压缩速率可以设定。

2.2 百分表：变形测量装置量程为不小于 10mm，精度为 0.01mm。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 裁取圆形试样至少 5 块, 试样面积为 50cm^2 (直径 7.98cm)。

3.3 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 设定试验机

选择试验机的负荷量程, 使压屈压力在满量程负荷的 $10\% \sim 90\%$, 设定试验机的压缩速度为 $0.5\text{mm}/\text{min} \pm 0.1\text{mm}/\text{min}$ 。

4.2 安装试样

将试样放在压力试验机上, 上下垫刚性垫板, 对试样施加 $2\text{kPa} \pm 0.1\text{kPa}$ 的预压力, 将百分表调零。

4.3 测定压屈性能

开启试验机对试样等速加压, 直至压力峰值出现即终止试验。此时为压屈压力, 记录此时的变形量, 记录压力-变形曲线。压力精确至 1N , 变形量精确至 0.01mm 。

4.4 重复上述步骤, 完成所有试样的测试。

5 结果计算

5.1 压屈强度按式 (T 1135-1) 计算:

$$P = \frac{F}{10A} \quad (\text{T 1135-1})$$

式中: P ——试样的压屈强度 (kPa);

F ——试样的压屈压力 (N);

A ——试样面积 (cm^2)。

5.2 压屈应变按式 (T 1135-2) 计算:

$$\varepsilon_{\text{芯}} = \frac{\Delta\delta}{\delta} \times 100 \quad (\text{T 1135-2})$$

式中: $\varepsilon_{\text{芯}}$ ——试样的压屈应变 ($\%$);

$\Delta\delta$ ——压屈压力值时试样厚度方向的变形量 (mm);

δ ——试样原始厚度 (mm)。

5.3 计算 5 块试样压屈强度及压屈应变的平均值, 压屈强度精确至 1kPa , 压屈应变精确至 0.1% 。若需要, 按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

在公路工程中，塑料排水带主要用于加固软土地基，在实际工程应用中，塑料排水带是在侧向水土压力作用下工作的，若芯带被压屈，则会大大缩小材料通水断面，降低通水能力。因此，芯带的压屈强度是检验材料通水能力的重要指标。JTG E50—2006 中对于塑料排水带压屈强度试验采用的是分级加压的应力法，其应力-应变曲线不连续，过程复杂且结果误差相对较大。本次修订改为连续等速位移加压的应变法，以压缩过程中出现的压力峰值作为压屈压力值。JTG E50—2006 中试验面积为 30cm^2 或 50cm^2 ，为提高试验结果可比性，统一为 50cm^2 。但对于宽度较小（宽度小于 6.18cm ）的产品，可采用较小的合适面积进行试验。

T 1136—2026 硬质泡沫塑料压缩性能试验

1 适用范围

本方法用于测定硬质泡沫塑料的压缩性能。

2 仪器设备及材料

2.1 压力试验机：达到一级试验机要求，具有等速加压功能，压缩速率可以设定，能同时记录位移和荷载，并绘制荷载-位移曲线。

2.2 压板：压力试验机上配有两块刚性的、光滑的平行压板，应保证压板面积大于试样面积。其中一块压板应固定，另一块可以按规定的恒定速度移动。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样尺寸

3.2.1 试样的厚度为制品的原始厚度，其宽度不小于厚度。在使用时保留表皮的制品，试验时也应保留，反之不保留。

3.2.2 试样的受压面应为正方形，尺寸为 $(100 \pm 1)\text{mm} \times (100 \pm 1)\text{mm}$ 。当试样不能代表样品的全部结构时，可使用较大面积的试样以保证测量的准确度。

3.2.3 试样的平行度应不大于边长的 0.5%，试样的平整度应不大于 0.5mm。若试样不平整，应将试样磨平或用涂层处理试样表面，试验过程中涂层不应出现明显的变形。

3.2.4 试样不得叠加进行试验。试样在制备时应明确试样的底面就是制品使用时的受压面。采取的方法应不改变产品的原始结构。当需更完整了解各向异性材料的特性或试样主方向不能确定时，应制备多组试样。

3.3 试样数量不少于 5 个。

3.4 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 选择试验机的负荷量程，使压缩试验过程中最大负荷在满量程负荷的 10% ~ 90%。

4.2 将试样放置于压板中央，开启试验机，以每分钟压缩试样初始厚度 (d_0) 的 10% 的恒定速度加载，直至试样厚度变为初始厚度 (d_0) 的 85%。

4.3 绘制荷载-位移曲线。

4.4 重复上述步骤，完成所有试样的测试。

5 结果计算

5.1 荷载-位移曲线

根据不同的荷载-位移曲线 (图 T 1136-1) 情况计算压缩强度 σ_m 、相对形变 ε_m 和相对形变为 10% 时的压缩强度 σ_{10} 。

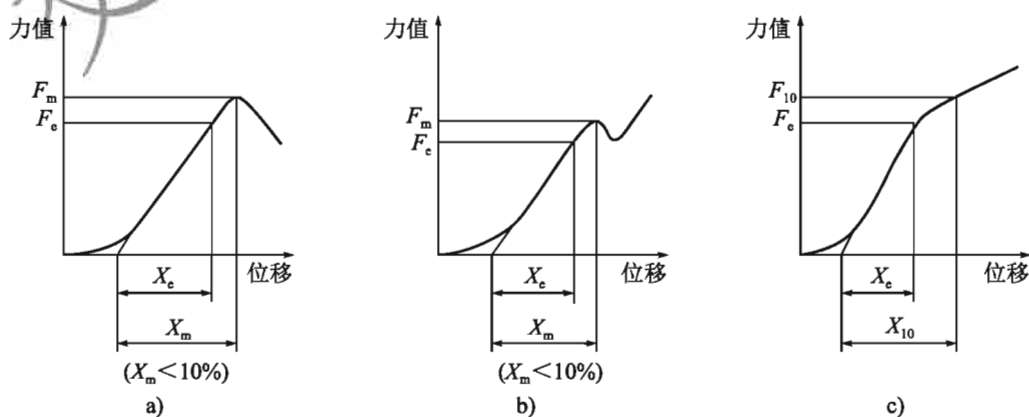


图 T 1136-1 荷载-位移曲线

5.2 压缩强度及其相对形变

5.2.1 压缩强度

按式 (T 1136-1) 计算压缩强度:

$$\sigma_m = 10^3 \times \frac{F_m}{A_0} \quad (\text{T 1136-1})$$

式中: σ_m ——压缩强度 (kPa);

F_m ——相对形变 $\leq 10\%$ 时屈服或破坏所对应的载荷 (N);

A_0 ——试样初始截面面积 (mm^2)。

5.2.2 相对形变

若荷载-位移曲线存在明显的直线部分, 将曲线上斜率最大的直线部分延伸至荷载零位线, 其交点为“形变零点”。若曲线无明显的直线部分或采用上述方法获得的“形变零点”为负值, 则不采用这种方法。此时的“形变零点”取压缩应力为 $250\text{Pa} \pm 10\text{Pa}$ 所对应的形变。

按式 (T 1136-2) 计算相对形变:

$$\varepsilon_m = \frac{X_m}{d_0} \times 100 \quad (\text{T 1136-2})$$

式中: ε_m ——相对形变 (%);

X_m ——相对形变为 10% 时屈服或破坏所对应的位移 (mm);

d_0 ——试样初始厚度 (mm)。

5.3 相对形变时 10% 时的压缩强度

按式 (T 1136-3) 计算相对形变为 10% 时的压缩强度:

$$\sigma_{10} = 10^3 \times \frac{F_{10}}{A_0} \quad (\text{T 1136-3})$$

式中: σ_{10} ——相对形变为 10% 时的压缩强度 (kPa);

F_{10} ——试样产生 10% 相对变形所对应的荷载 (N);

A_0 ——试样初始截面面积 (mm^2)。

5.4 压缩弹性模量

按式 (T 1136-4) 及式 (T 1136-5) 计算压缩弹性模量:

$$E = \frac{d_0}{X_e} \sigma_e \quad (\text{T 1136-4})$$

$$\sigma_e = 10^3 \times \frac{F_e}{A_0} \quad (\text{T 1136-5})$$

式中: E ——压缩弹性模量 (kPa);

σ_e ——在比例极限内的压缩应力 (kPa);
 F_e ——在比例极限内的压缩力 (N);
 X_e ——压缩力为 F_e 时所对应的位移 (mm)。

5.5 结果计算和表示

以所有测量值的平均值作为试验结果,保留三位有效数字。若需要,按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告应包括本规程 T 1102 所列内容。

条文说明

聚苯乙烯泡沫塑料,是以高分子聚合物为原料,加入发泡添加剂制成的,是近些年发展较快的土工合成材料。主要用作公路、铁路的路基填料或地基换填料,以减轻自重,降低地基附加应力,增加路基的稳定性,减小沉降量。因此,本次修订新增了“硬质泡沫塑料压缩性能试验”。试验原理是垂直于试样表面以恒定速率施加荷载,计算其压缩应力。试验方法的制定参照了《硬质泡沫塑料 压缩性能的测定》(GB/T 8813—2020)和《建筑用绝热制品 压缩性能的测定》(GB/T 13480—2014)。试验中应注意,若10%相对形变前发生屈服或破坏,取屈服或破坏时的压缩应力(屈服优先)作为压缩强度,并给出压缩变形。若10%相对形变前未发生屈服或破坏,取相对形变为10%时的压缩应力为试验结果,称其为“相对形变为10%时的压缩强度”。

6 水力学性能试验

T 1141—2006 垂直渗透性能试验（恒水头法）

1 适用范围

本方法用于测定在无负载状态、恒水头及符合层流条件下土工合成材料的垂直渗透性能，适用于具有透水性能的各类土工织物及复合土工织物。

2 仪器设备及材料

2.1 恒水头垂直渗透仪（图 T 1141-1）

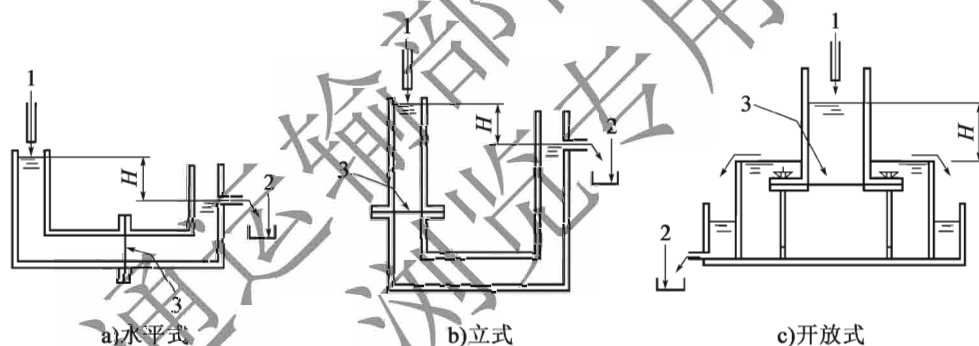


图 T 1141-1 恒水头法渗透仪器示例

1-进水；2-出水收集；3-试样；H-水头差

2.1.1 试样夹持装置：应保证试样有效过水面积不小于 20cm^2 ，试样边缘与夹持装置周壁密封良好，不应有周壁渗漏发生。

2.1.2 恒水头装置：有溢流和水头调节功能，可以设置的最大水头差至少为 70mm ，要求在试验过程中能在试样的两侧保持恒定的水头，具备达到 250mm 恒定水头的的能力。

2.1.3 支撑网格：应使用直径 1mm 的金属丝网格和 $(10 \pm 1)\text{mm}$ 尺寸的筛网放置在试样的背水面，以在试验过程中支撑试样。当仪器中无试样但有试样支撑网格时，在任何流速下测定的支撑网格两侧的水头差必须小于 1mm 。

2.1.4 量测装置：其管路应避免直径的变化，以减少水头损失，水头的量测精确至 1mm 。

2.2 供水系统

试验用水应采用蒸馏水或经过过滤的纯净水，水温宜控制在 18 ~ 22℃，试验水温应尽量接近 20℃，以减小因温度修正带来的不准确性。

2.3 其他用具

2.3.1 秒表，精确至 0.1s。

2.3.2 量筒，精确至 10mL。

2.3.3 温度计，精确至 0.5℃。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 单层试样不少于 5 个，多层试样不少于 5 组。

3.3 试样尺寸应与试验仪器相适应。

3.4 试样应清洁，表面无污物，无可见损坏，不得折叠。

4 试验步骤

4.1 将试样放置于含有湿润剂的水中，轻轻搅动排出试样内可能存在的气泡，浸泡至少 24h 直至试样饱和，湿润剂采用体积分数为 0.1% 的烷基苯磺酸钠。

4.2 将饱和试样装入渗透仪的夹持装置内，安装过程应防止空气进入试样，有条件时宜在水下装样。

4.3 向渗透仪注水，直到试样两侧达到 50mm 的水头差。关掉供水，若试样两侧的水头在 5min 内不能平衡，检查是否有未排除干净的空气，重新排气，并在试验报告中注明。

4.4 调整水流，使水头差达到 $70\text{mm} \pm 5\text{mm}$ ，记录此值，精确至 1mm。待水头稳定至少 30s 后，在一定的周期内，用量筒收集通过仪器的渗透水量，体积精确至 10mL，时间精确至 0.1s，收集水量至少 1 000mL 或收集时间至少 30s。

4.5 分别对最大水头差约 0.8、0.6、0.4 和 0.2 倍的水头差，重复 4.4 的程序，从最

高流速开始，到最低流速结束，并记录下相应的渗透水量和时间。对渗透性能已经基本明确的材料，为控制产品质量，可以只测 50mm 水头差下的流速。

4.6 记录水温，精确至 0.5℃。

4.7 对其他试样重复步骤 4.2 ~ 4.6。

5 结果计算

5.1 流速指数

5.1.1 流速按式 (T 1141-1) 计算：

$$v_{20} = \frac{VR_T}{At} \quad (\text{T 1141-1})$$

式中： v_{20} ——20℃时的流速 (cm/s)；

V ——渗透水的体积 (cm³)；

R_T ——水温为 T 时的水温修正系数，按表 T 1141-1 取值；

A ——试样过水面积 (cm²)；

t ——渗透水的体积达到 V 时的时间 (s)。

5.1.2 计算每块 (组) 试样不同水头差下的流速 v_{20} 。使用计算法或图解法，用水头差 h 对流速 v_{20} 通过原点作最佳拟合二次曲线。在一张图上绘出 5 个试样的水头差 h 对流速 v_{20} 的曲线 5 条。

5.1.3 通过计算法或图解法求出 5 个 (组) 试样 50mm 水头差的流速值，给出平均值和最大、最小值。平均值为该样品的流速指数，精确至 0.1cm/s。对于控制材料质量的目的，只需测定 5 个 (组) 试样 50mm 水头差的流速平均值。

5.2 垂直渗透系数

20℃水温下的垂直渗透系数 k_{20} 按式 (T 1141-2) 计算，结果保留三位有效数字：

$$k_{20} = \frac{v\delta}{\Delta h} R_T \quad (\text{T 1141-2})$$

式中： k_{20} ——水温为 20℃时的垂直渗透系数 (cm/s)；

v ——垂直于土工织物平面水的流动速度 (cm/s)；

δ ——土工织物试样厚度 (cm)；

Δh ——对土工织物试样施加的水头差 (cm)；

R_T ——水温为 T 时的水温修正系数，按表 T 1141-1 取值。

表 T 1141-1 常用水温修正系数

温度 (℃)	R_T	温度 (℃)	R_T
18.0	1.050	20.5	0.988
18.5	1.038	21.0	0.976
19.0	1.025	21.5	0.965
19.5	1.012	22.0	0.953
20.0	1.000		

5.3 透水率

水温为 20℃ 时的透水率按式 (T 1141-3) 计算, 结果保留三位有效数字:

$$\theta_{20} = k_{20} / \delta = v_{20} / \Delta h \tag{T 1141-3}$$

式中: θ_{20} ——水温为 20℃ 时的透水率 (1/s);

k_{20} ——水温为 20℃ 时的垂直渗透系数 (cm/s);

δ ——土工织物单层试样厚度 (cm);

v_{20} ——温度为 20℃ 时, 垂直于土工织物平面水的流动速度 (cm/s);

Δh ——对土工织物试样施加的水头差 (cm)。

5.4 若需要, 按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外, 还应包含:

- (1) 渗透仪规格型号、主要技术指标及供水方式;
- (2) 试样有效过水面积;
- (3) 测定全部渗透性能时, 每个试样的流速对水头损失曲线的集合;
- (4) 水头差为 50mm 时的流速指数 VI_{50} , 若需要, 给出垂直渗透系数和透水率;
- (5) 水温范围, 如需要, 给出试验水溶解氧值。

条文说明

土工织物的渗透特性是其重要水力学特性之一, 在过滤标准及其他有关水力学设计中, 是一项不可缺少的重要指标。垂直于织物平面的渗透特性简称垂直渗透特性, 当水流方向垂直于织物平面时, 其透水性主要用垂直渗透系数表示, 该系数是渗流的水力梯度等于 1 时的渗流流速, 一般服从达西定律。为避免厚度测量引起的误差, 土工织物的渗透特性也可采用透水率来表示。

国内外常用的有关土工织物垂直渗透性能的标准包括《土工布及其相关产品 无负荷下垂直渗透特性的测定》(ISO 11058: 2019)、《土工织物的垂直渗透标准测试方法》(ASTM D4491/D4491M-22)、《土工布及其有关产品 无负荷时垂直渗透特性的测

定》(GB/T 15789—2016)、《土工合成材料测试规程》(SL 235—2012)等。垂直渗透性能的测试方法分恒水头法与降水头法两种,目前普遍采用恒水头法,即在系列恒定水头下测定土工织物的垂直渗透特性。

本次修订主要变化包括:①明确了本方法是在无负载状态、符合层流条件下进行的;②明确试样有效过水面积不小于 20cm^2 ,对设备支撑网格进行了规定;③规定试样数量:单层试样不少于5个,多层试样不少于5组;④明确透水率应采用试样单层厚度进行计算。

国标中有溶解氧含量的规定,编写组经过大量试验,发现溶解氧含量对试验结果影响较小,可以忽略,故本规程取消了此项规定。

T 1142—2006 耐静水压试验

1 适用范围

本方法用于测定土工膜和复合土工膜的耐静水压性能。

2 仪器设备及材料

耐静水压的测定装置应包括进水调压装置、试样夹持及加压装置、压力测定装置等。其主要部件及要求如下(图 T 1142-1):

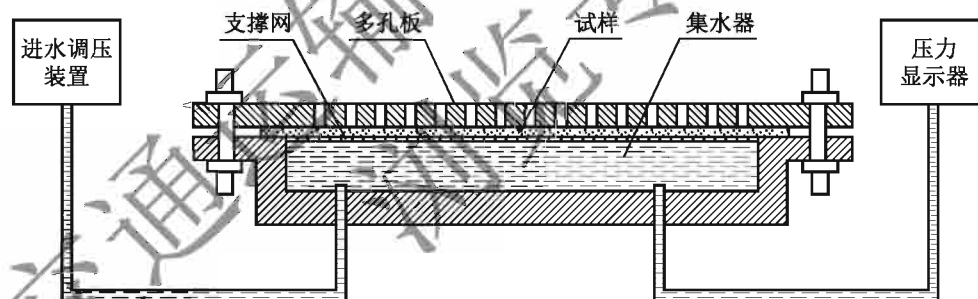


图 T 1142-1 耐静水压装置示意图

2.1 进水调压装置:包括水源、气源、调压阀等,调压范围至少为 $0 \sim 2.5\text{MPa}$,应具有压力恒定功能,加压系统误差为 $\pm 2\%$ 。

2.2 试样夹持及加压装置:由集水器、支撑网和多孔板组成。集水器一般为圆筒状,内腔直径为 $200\text{mm} \pm 5\text{mm}$,也可根据需要选用,但截面面积不小于 200cm^2 ;多孔板内均匀分布直径为 $3\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 的小透孔,孔的中心间距离为 $6\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$;试样夹持后应保证无漏水。

2.3 压力测定装置:量程范围为 $0 \sim 2.5\text{MPa}$,分辨率为 0.05MPa 。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 从样品上至少剪取 3 块试样，其大小应适合使用的仪器，试样上不能有损伤和疵点。

4 试验步骤

4.1 开启进水加压装置，使水缓慢地进入并充满集水器，直至刚好要溢出。

4.2 将试样无褶皱地平放在集水器内的网上，溢出多余水以保证集水器内无气泡；将多孔板盖上，均匀地夹紧试样。对于由纺织材料与膜材复合的试样，应使膜材一面对水面；对于两面是纺织材料而膜处于中间的复合材料，可将面对水面一侧的纺织材料边缘相应于将被夹持的环形部分小心地剥去，也可在被夹持的环形部分涂上玻璃胶等粘合剂，以保证试样被夹持的部分不漏水。

4.3 缓慢调节加压装置，使集水器内的水压上升至 0.1MPa；若能估计出样品耐静水压的大致范围，也可将水压直接加到该范围的下限，开始测试。

4.4 保持上述压力至少 1h，观察多孔板的孔内是否有水渗出。

4.5 若试样未渗水，以每 0.1MPa 的级差逐级加压，每级均保持至少 1h，直至有水渗出时，表明试样有渗水孔或已出现破裂，记录前一级压力即为该试样的耐静水压值，精确至 0.1MPa。

4.6 若只需判断试样是否达到某一规定的耐静水压值，则可直接加压到此压力值并保持至少 1h，若没有水渗出，则判定其符合要求。

多孔板的孔内出现水珠时，若将其擦去后不再有水渗出，则可判断这是由于试样边缘溢流造成的，可以继续试验；若将其擦去后仍有水渗出，则可判断是由于试样渗水造成的，试验可以终止。

4.7 按照步骤 4.1 ~ 4.6 测定其余试样。应保证获得 3 个有效数据，且较低的 2 个值相差在 50% 以内，否则应增加测试 2 ~ 3 个试样。

4.8 以渗流量判断是否渗水。在一定水力压差下渗流量极小时（如小于 $0.1\text{cm}^3/\text{h}$ ）则可认为没有渗水；当渗流量急速增加时，表明试样已出现破坏，试验可以终止。

5 结果计算

以 3 个试样测得耐静水压值中的最低值作为该样品的耐静水压值，结果精确至 0.1MPa。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外，还应包含任何不正常的状态，例如夹持装置边缘渗水等。

条文说明

土工合成材料中的土工膜和复合土工膜，防渗性能是其重要的特征指标之一，在工程实际应用中，对工程寿命有重要的影响。防渗性能通常可用耐静水压指标表征。本次修订主要依据《土工合成材料 防渗性能 第 1 部分：耐静水压的测定》（GB/T 19979.1—2005）进行。

在操作过程中应注意：

(1) 多孔板上的小孔直径和分布间距会对试验结果产生较大的影响。小孔直径和分布间距不同，试验结果不同，没有可比性，所以要严格按标准要求制作多孔板。

(2) 支撑网和多孔板表面应光滑无锐角，以免划伤试件造成漏水。

(3) 当对“两布一膜”试样进行耐静水压试验时，要特别注意密封问题，将面对水面一侧的纺织纤维小心剥掉，以保证被夹持部分不漏水。

T 1143—2026 塑料排水带通水量试验

1 适用范围

本方法用于测定塑料排水带通水量。

2 仪器设备及材料

2.1 通水能力测定仪

可采用立式或卧式（图 T 1143-1 和图 T 1143-2），应满足下列规定：

- (1) 在试样有效受压范围内受到均匀且恒定的侧压力；
- (2) 试样内部在常水头下进行渗流；
- (3) 试样两端连接处必须密封良好，在侧压力作用下不漏水。

2.2 连接管路宜短而粗，减小水头损失。

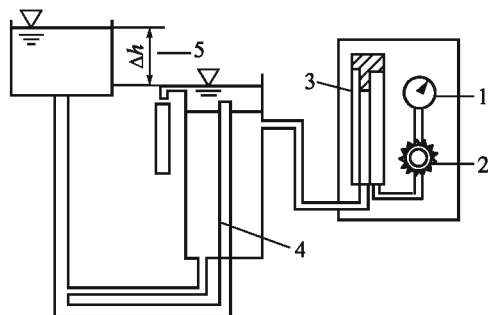


图 T 1143-1 立式通水能力测定仪

1-压力表；2-调压阀；3-体变管；4-排水带；5-水位差

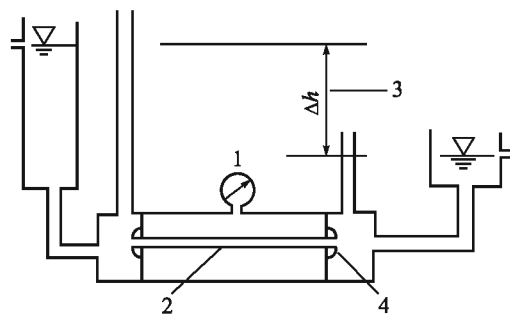


图 T 1143-2 卧式通水能力测定仪

1-压力表；2-排水带；3-水位差；4-端部密封

2.3 上、下游水位容器应有溢水装置，保持常水头；水位容器应有较大容积，保证水流稳定，宜控制水温为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

2.4 包封排水带用的乳胶膜套，应弹性良好、不漏水，膜厚宜小于 0.3mm 。

2.5 其他：如量筒、秒表、温度计、水桶等。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 制样：沿排水带长度方向随机截取 2 块试样，试样长度与通水能力测定仪相匹配。

4 试验步骤

4.1 将包有乳胶膜的排水带装入测定仪内，密封好两端接头，安装好连接部分。

4.2 对压力室施加侧压力，通用的侧压力为 350kPa ，在整个试验过程中保持恒压。

4.3 调节上、下游水位，使排水带在水力梯度 $i=0.5$ 条件下进行渗流。

4.4 在恒压及恒定水力梯度下渗流 0.5h 后测量渗水量，并记录测量时间，以后每隔 1h 测量一次，在相邻的三次通水量测量值中，后两次通水量差值均小于前一次通水量的 5% 为止，以最后一次测读的通水量作为该试样的通水量，即需要同时满足两个试验终止条件：

$$\frac{|Q_n - Q_{(n+1)}|}{Q_n} < 5\% \quad (\text{T 1143-1})$$

$$\frac{|Q_{(n+1)} - Q_{(n+2)}|}{Q_{(n+1)}} < 5\% \quad (\text{T 1143-2})$$

4.5 重复步骤 4.1 ~ 4.4, 测定另一块排水带的通水量, 通水量计算时不做温度修正, 但应注明试验的实际水温。

5 结果计算

5.1 排水带通水量 Q 按式 (T 1143-3) 计算:

$$Q = \frac{W}{ti} \quad (\text{T 1143-3})$$

式中: Q ——通水量 (cm^3/s);

W ——在 t 时段内通过排水带的水量 (cm^3);

t ——通过水量 W 所经历的时间 (s);

i ——水力梯度, 设定 i 为 0.5。

5.2 计算两块排水带通水量的平均值, 精确至 $0.1\text{cm}^3/\text{s}$ 。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外, 还应包含任何不正常的状态, 如密封端渗水等。

条文说明

纵向通水量是塑料排水带整体性能的体现, 是其最重要的工程应用指标。本次修订, 排水带通水量测量的间隔时间由原来的 2h 修订为 1h; 稳定条件原来是 2h 内的变化小于 5%, 修订为在相邻的三次通水量测试值中, 前后两次通水量差值均小于前一次通水量的 5% 为止。参考了中国土工合成材料工程协会试验检测专委会的《实验室比对实施细则 (2016)》中对于稳定条件的规定。增加一次稳定判别, 有助于降低读数误差可能性。

T 1144—2026 等效孔径试验 (干筛法)

1 适用范围

本方法用于测定土工织物和复合土工织物的孔径。

2 仪器设备及材料

2.1 筛子: 直径 200mm。

2.2 标准筛振筛机

横向振动频率: $220\text{次}/\text{min} \pm 10\text{次}/\text{min}$; 回转半径: $12\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 。

垂直振动频率：150 次/min $\pm$ 10 次/min；振幅：10mm $\pm$ 2mm。

2.3 标准颗粒材料

标准颗粒材料通常可选用玻璃珠或球形砂粒，粒径（mm）分组如下：

0.045 ~ 0.063、0.063 ~ 0.071、0.071 ~ 0.090、0.090 ~ 0.125、0.125 ~ 0.180、0.180 ~ 0.250、0.250 ~ 0.280、0.280 ~ 0.355、0.355 ~ 0.500、0.500 ~ 0.710。

2.4 天平：称量 200g，感量 0.01g。

2.5 计时器、细软刷子、剪刀等。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样数量及尺寸：每组试样数量为 5 个。振筛后，若嵌入织物的颗粒不易清出，织物试样不能重复使用，这时，试样数为 $5 \times n$ （ n 为选取的粒径级数）。

3.3 试样状态调节按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 试验前应将标准颗粒材料与试样同时放在标准大气条件下进行调湿平衡。

4.2 将 1 块试样平整、无褶皱地放入能支撑试样而不致下凹的支撑筛网上。从较细粒径规格的标准颗粒中称 50g，均匀地撒在土工织物表面上。

4.3 将筛框、试样和接收盘夹紧在振筛机上，开动振筛机，摇筛试样 10min。

4.4 关机后，称量通过试样进入接收盘的标准颗粒材料质量，精确至 0.01g。然后振拍筛框或用刷子轻轻拭拂清除表面及嵌入试样的颗粒，若嵌入颗粒不易清出，则弃用。

4.5 用下一较粗规格粒径的标准颗粒材料在同一块试样上重复步骤 4.2 ~ 4.4，对于嵌入颗粒不易清出的织物，则用下一较粗规格粒径的标准颗粒材料在另一块试样上重复步骤 4.2 ~ 4.4，直至取得不少于三组连续分级标准颗粒材料的过筛率，并有一组的过筛率达到或低于 5%。

4.6 重复步骤 4.2 ~ 4.5，对剩余试样进行试验。

5 结果计算

5.1 过筛率按式 (T 1144-1) 计算, 结果修约到小数点后两位:

$$B = \frac{P}{T} \times 100 \quad (\text{T 1144-1})$$

式中: B ——某组标准颗粒材料通过试样的过筛率 (%);

P ——某组标准颗粒材料通过试样的过筛量 (g);

T ——每次试验用的标准颗粒材料量 (g)。

5.2 土工织物等效孔径分布曲线的绘制

5.2.1 曲线的绘制

以每组标准颗粒材料粒径的上、下限值和过筛率进行线性内插得到的颗粒直径作为横坐标 (对数坐标), 相应的过筛率作为纵坐标, 描点绘制过筛率与粒径的分布曲线 (图 T 1144-1)。找出曲线上纵坐标 10% 所对应的横坐标值, 即为 O_{90} ; 找出曲线上纵坐标 5% 所对应的横坐标值, 即为 O_{95} , 读取两位有效数字。

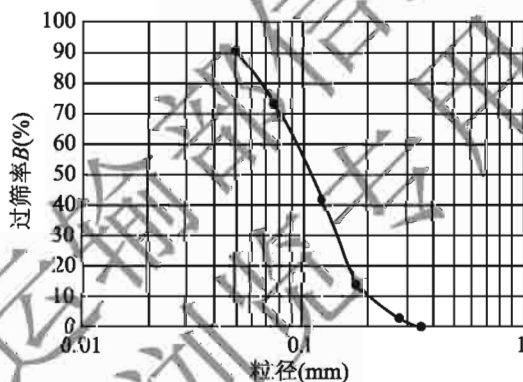


图 T 1144-1 等效孔径分布曲线

5.2.2 O_{90} 、 O_{95} 值的确定

O_{90} 表示 90% 的标准颗粒材料留在土工织物上, 其过筛率 B 为 $100\% - 90\% = 10\%$, 曲线上纵坐标为 10% 所对应的横坐标即定义为等效孔径 O_{90} , 单位为 mm。

O_{95} 表示 95% 的标准颗粒材料留在土工织物上, 其过筛率 B 为 $100\% - 95\% = 5\%$, 曲线上纵坐标为 5% 所对应的横坐标即定义为等效孔径 O_{95} , 单位为 mm。

5.3 计算等效孔径的平均值。若需要, 按本规程 T 1102 的规定计算测定值的标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外, 还应包含:

- (1) 试验条件 (标准颗粒材料的选用、摇筛时间等);
- (2) 孔径分布曲线、等效孔径。

条文说明

孔径是土工织物水力学性能中的一项重要指标,它反映土工织物的过滤性能,既可评价土工织物阻止土颗粒通过的能力,又反映土工织物的透水性。表征土工织物孔径特征的指标是等效孔径。为便于理解和开展试验,本方法给出如下一些定义:

- (1) 标准颗粒材料是洁净的玻璃珠或天然砂粒,其粒径应符合本方法 2.3 的粒径分组要求。
- (2) 孔径是以通过其标准颗粒材料的直径表征的土工织物的孔眼尺寸。
- (3) 等效孔径 (O_e) 是能有效通过土工织物的近似最大颗粒直径,例如 O_{90} 表示土工织物中 90% 的孔径低于该值。

本次修订主要参照了《测定土工织物表观孔径的标准测试方法》(ASTM D4751-21a),首先修订了孔径的计算方法。根据 JTG E50—2006,是用同一规格粒径的标准颗粒材料在 5 块试样上进行试验,然后取平均过筛率,直至取得不少于 3 组连续分级标准颗粒材料的过筛率,并有 1 组的过筛率达到或低于 5%,而后画图得出等效孔径。由于很多土工织物非常不均匀,若用同一规格粒径的标准颗粒材料在 5 块试样上进行试验,然后取平均过筛率,很有可能用较粗规格粒径的过筛率反而大于用较细规格粒径的过筛率,从而无法得出等效孔径值。因此,本次修订为用同一块土工织物试样对不同级别的颗粒材料进行振筛,若嵌入颗粒不易清出,则换样。然后对 5 个或 5 组试样分别进行等效孔径计算,得到平均值和相应的变异系数。

另外,修订了孔径分布曲线的横坐标,由每组标准颗粒材料粒径的下限值修订为每组标准颗粒材料粒径的上、下限值和过筛率进行线性内插得到的颗粒直径作为横坐标。因为颗粒每一级的分组,其上、下限值之差约在 20%。若简单地用平均值,或上、下限值来代表,将带来较大的误差,所以颗粒直径以颗粒分组的上、下限值和过筛率进行线性内插得到,这样可减小误差。

T 1145—2006 淤堵试验

1 适用范围

本方法用于测定土工织物及复合土工织物的抗淤堵性能。

2 仪器设备及材料

2.1 梯度比渗透仪

渗透仪筒体为内径 100mm 的透明圆筒,有夹持单片或多片土工织物试样的装置,周

边应密封良好，圆筒应有一定的高度，织物上方的土样高 100mm，土样上方应有一定的空间使水流均匀稳定。渗透仪圆筒侧壁的 6 根测压管，其内径不小于 3mm，接头处应设滤层，防止土样堵塞管口。进水口、排水口、排气口及 6 根管的分布如图 T 1145-1 所示。土工织物底部应放置具有一定刚度和孔径（6mm）的筛网，以支撑土工织物。筛网和织物一起在夹持装置内密封。

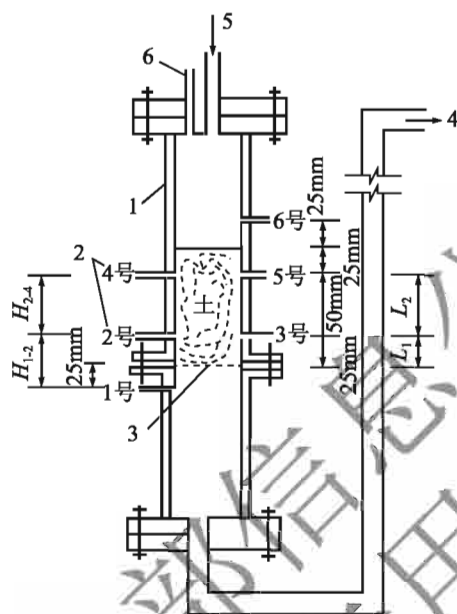


图 T 1145-1 梯度比装置示意图

1-内径为 100mm 的透明圆筒；2-测压管；3-土工织物；4-排水口；5-连常水头水容器；6-排气口

2.2 供水系统：进水和出水装置均应有溢水口，保证常水头。

2.3 测压板：测压管固定在板上，应装有刻度尺，最小分度值为 1mm。

2.4 其他：真空泵、水加热器、秒表、量筒、温度计、水箱等。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的有关规定进行。

3.2 试样数量及尺寸

试样尺寸应与渗透仪尺寸相适应，试样数量根据试验组合和设计滤层中织物的层数确定。

3.3 试验前称量土工织物试样的质量，精确至 0.01g。

3.4 土料风干后进行筛分,剔除粒径大于5mm的颗粒。

3.5 试验用水应采用蒸馏水或经过过滤的纯净水,水温宜比室温高3~4℃。

4 试验步骤

4.1 将织物试样和筛网一起放在夹持装置内,并密封好。

4.2 装入土样,土样高为100mm。对于松土样,可用漏斗将风干土倒入渗透仪内整平即可;对于密实土样,应分层击实至要求的密度。装样过程中应防止测压管的进口被堵塞。

4.3 饱和土样。由排水口管进水,使水由试样底部缓慢流入,可控制进水水头小于25mm,直至水位上升到土样顶面一定高度,方可开始从进水管注水,并使整个容器内充满水(为加速土样饱和,可采用真空泵抽气法或用充CO₂的方法)。

4.4 调节水位,使水力梯度*i*达到1.0,观察测压管内的水位变化。

4.5 当全部测压管读数达到稳定后,将上游进水容器保持常水头,打开出水口阀门,水流通过试样进行渗流。

4.6 每小时测读一次测压管水位和渗水量,同时记录渗水时间和水温,连续测读24h。若读数尚未完全稳定,可适当延长测读时间,直至稳定为止。

4.7 当*i*=1.0时的试验结束后,调整水力梯度*i*,分别对该试样进行*i*=2.5、*i*=4.0及*i*=10.0时的试验。当*i*每增加一级后,应等测压管读数稳定,并在该级梯度下渗流达1.5h以上。当*i*达到10.0且测压管读数稳定后,重复步骤4.5~4.6。

4.8 试验结束,取出土工织物试样,清除表面浮土,烘干后称量土工织物及其内部含土的总质量,精确至0.01g。

5 结果计算

5.1 梯度比GR按式(T 1145-1)计算:

$$GR = \frac{H_{1,2} / (L_1 + \delta)}{H_{2,4} / L_2} \quad (\text{T 1145-1})$$

式中:GR——梯度比;

δ ——土工织物厚度(mm);

$H_{1,2}$ ——测压管1号与2号间的水位差(mm);

H_{2-4} ——测压管 2 号与 4 号间的水位差 (mm);

L_1 、 L_2 ——渗径长 (mm)。

不计土工织物厚度时, GR 按式 (T 1145-2) 计算:

$$GR = \frac{2H_{1-2}}{H_{2-4}} \quad (T 1145-2)$$

5.2 土工织物单位体积试样中的含土量按式 (T 1145-3) 计算:

$$\mu = \frac{m_1 - m_0}{A\delta} \quad (T 1145-3)$$

式中: μ ——土工织物单位体积试样中的含土量 (g/cm^3);

m_0 ——试验前土工织物试样的质量 (g);

m_1 ——试验后土工织物试样的质量 (g);

A ——土工织物试样面积 (cm^2);

δ ——土工织物厚度 (cm)。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外, 还应包含:

- (1) 土样状态的描述;
- (2) 试验时试样的层数;
- (3) 梯度比及梯度比随时间的变化过程曲线;
- (4) 试样单位体积的含土量。

条文说明

判断淤堵通常是由通过土工织物水流量的减小, 以及进入土工织物土颗粒的增多来评估的。流量的减小是用梯度比来定量表示的, 进入土工织物的土颗粒量是用试验后土工织物单位体积的含土量来表示的。对于梯度比试验方法及规定 GR 大于 3 时, 将发生较为严重的淤堵, 不少学者有不同看法或提出修改意见, 但因梯度比试验方法试验历时较短, 操作简单, 相对比较成熟, 所以在淤堵试验中得到普遍应用。本方法主要参考了 FHWA 的《土工织物工程手册》和《土工合成材料测试规程》(SL 235—2012), 并基本保持了其相关章节的内容。

7 耐久性能试验

T 1161—2026 抗氧化性能试验

1 适用范围

本方法用于测定聚丙烯和聚乙烯类土工合成材料（土工膜除外）的抗氧化性能。

2 仪器设备及材料

2.1 拉伸试验机：达到一级试验机要求，具有等速拉伸功能，拉伸速率可以设定，并能测读拉伸过程中试样的拉力和伸长量，记录拉力-伸长曲线。

2.2 恒温烘箱：烘箱有可调节的通风口，箱内有足够的空间供悬挂试样，并能保持设定的温度，温度精度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 耐热的试样夹持夹具：悬挂于烘箱内，试样间有至少 10mm 的间隔。试样距烘箱壁的距离至少为 100mm。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样数量和尺寸

从样品上剪取两组试样，一组用作加热老化的老化样，一组用作对照样。每组纵、横向各取 5 块试样。每块试样的尺寸至少为 300mm × 50mm。机织土工织物每块试样的尺寸至少为 300mm × 60mm，需数经、纬向 50mm 间的纱线根数，分别记录为 n_1 和 n_2 。土工格栅试样在宽度上应保持完整的单元，在长度方向应至少有 3 个连接点，试样的中间有 1 个连接点。

3.3 试样状态调节

试样在入烘箱内老化前不需进行状态调节。进行拉伸性能试验前，对老化样和对照样进行状态调节，按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4 试验步骤

4.1 试验前，应先清洁烘箱和夹具上的残留物。

4.2 设定烘箱温度：聚丙烯材料试样烘箱温度设定为 $110^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ；聚乙烯材料试样烘箱温度设定为 $100^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。聚合物（例如聚丙烯）的热氧化作用可能会释放出有催化作用的物质，因此，不同稳定性的聚合物不应在同一时间、同一烘箱中试验。

4.3 当烘箱温度稳定后，将试样夹持在夹具上，悬挂在烘箱内，试样放在烘箱的中部，试样间彼此不接触，试样的总体积不超过烘箱内空间体积的 10%。

4.4 对于起加筋加固作用的土工合成材料试样，或使用时需要长时间拉伸的试样，聚丙烯材料试样需在烘箱内老化 28d，聚乙烯材料试样需老化 56d。对于起其他作用的土工合成材料试样，聚丙烯材料试样需老化 14d，聚乙烯材料试样需老化 28d。

4.5 由于耐热试验过程中试样可能产生收缩，所以拉伸试验前应将对照样在烘箱内相同温度下放置 6h 后，再调湿进行拉伸试验。

4.6 拉伸性能测定：当试样在烘箱中达到规定的时间后，把试样取出，按本规程相关规定进行调湿和状态调节。按本规程的规定进行拉伸试验。对于机织土工织物，从条样的两侧拆除相等数量的纱线，直到老化样和对照样经、纬向的纱线根数等于 n_1 和 n_2 。分别计算纵、横向拉伸强度的平均值，对照样记为 F_c ，老化样记为 F_e ；分别计算纵、横断裂伸长率的平均值，对照样记为 ε_c ，老化样记为 ε_e 。若其中一块试样的拉伸试验无效，则在相同方向上再取一块试样（经过相同处理）进行试验。

5 结果计算

5.1 拉伸强度保持率按式（T 1161-1）计算：

$$R_F = \frac{F_e}{F_c} \times 100 \quad (\text{T 1161-1})$$

式中： R_F ——试样的拉伸强度保持率（%）；

F_e ——老化样的平均拉伸强度（kN/m）；

F_c ——对照样的平均拉伸强度（kN/m）。

5.2 断裂伸长率保持率按式（T 1161-2）计算的：

$$R_\varepsilon = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_c} \times 100 \quad (\text{T 1161-2})$$

式中： R_ε ——试样的断裂伸长率保持率（%）；

ε_e ——老化样的平均断裂伸长率 (%)；

ε_c ——对照样的平均断裂伸长率 (%)。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外，还应包含：

- (1) 烘箱温度和最大偏差；
- (2) 烘箱温度对对照样的影响。

条文说明

抗氧化性能是土工合成材料耐久性能的重要指标之一。本试验原理是试样悬挂于常规的试验室中进行自然通风，在规定温度下放置一定的时间，聚丙烯材料试样在 110℃ 下进行加热老化，聚乙烯材料试样在 100℃ 下进行加热老化。将对照样和加热后的老化样进行拉伸试验，比较它们的拉伸强度和断裂伸长率。

目前国内外有关的试验方法包括《土工布及其有关产品抗氧化性能的筛选试验方法》(ISO 13438: 2018)、《土工合成材料 评定耐久性的通用试验方法》(EN 12226: 2012)、《土工布及其有关产品 抗氧化性能的试验方法》(GB/T 17631—1998)。

本方法参照采用了 ISO 13438: 2018 和 GB/T 17631—1998 的相关内容，目的在于提供一种方法，用于筛选抗氧化性能好的土工合成材料。试验过程中应注意：

(1) 建议多准备 1~2 块老化样，作为机械性能试验失败时的备用样。

(2) 试验中，烘箱的温度是关键。烘箱在整个试验过程中应保持恒温，以使试样的温度保持在规定试验温度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的范围内。在 14d、28d 或更长时间的试验过程中，必须每天观察并记录试验温度，若发现温度达不到试验要求，应及时查找原因。另外，应把试样放在烘箱的中部；每次试验前，要清洁烘箱和夹具上的残留物。

(3) 聚丙烯或聚乙烯材料的试样在烘箱中长时间放置，可能会发生收缩，所以在剪取试样时可适当放大尺寸，但须使对照样和老化样的尺寸完全一样，以保证试验结果有可比性。

(4) 由于耐热试验过程中试样可能产生收缩，所以对照样必须在与老化样相同的烘箱中放置 6h 后，才能进行拉伸比对试验，而不能用原始样替代对照样直接进行试验。

(5) 聚合物（例如聚丙烯）的热氧化作用可能会释放出有催化作用的物质。因此，不同稳定性的聚合物，不应在同一时间、同一烘箱中试验，除非是土工复合材料。

T 1162—2026 抗酸、碱液性能试验

1 适用范围

本方法用于测定土工合成材料的抗酸、碱液性能。

2 仪器设备及材料

2.1 拉伸试验机：达到一级试验机要求，具有等速拉伸功能，拉伸速率可以设定，并能测读拉伸过程中试样的拉力和伸长量，记录拉力-伸长曲线。

2.2 试验装置：由试验箱外壳、试验箱、电控系统和搅拌系统等组成。

2.2.1 试验箱外壳材料宜为不锈钢板，所用材料应能抗试验用化学品的腐蚀，通常可用硼硅玻璃或不锈钢板。

(1) 试验箱由 3 个大小相同的独立的恒温试验箱组成，分别为酸液试验箱、正常水溶液试验箱和碱液试验箱，3 个试验箱宜并排放置，以便于控制。

(2) 每个试验箱内置多层搁置土工合成材料试验样品的试样架，试样架竖向间距至少为 5cm，试样架距试验箱内壁的距离至少为 10mm，试样架材料宜为不锈钢。

(3) 试验时的试验箱工作温度为 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 每个试验箱均有密封盖。必要时，可使用回流冷凝器。在密封盖上至少有一个可关闭的小孔。

2.2.2 电控系统包括加热装置和温控装置。

2.2.3 搅拌系统用来保持液体以及液体和试样间物质交换均匀。其中，试验箱外壳和工作室之间应设置保温层，保温层内装有岩棉和玻璃纤维等保温材料；保温层的作用是使工作室温度不外逸而影响其温度均匀性。

2.3 试液

2.3.1 无机酸：0.025mol/L 的硫酸。

2.3.2 无机碱：氢氧化钙 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 饱和悬浮液，例如可用约 2.5g/L 的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。应使用化学纯的试剂，试验用水为 3 级水。

在浸渍试验期间，应保持试液的组成不变。在有效元素浓度降低，或相态体系发生变化的情况下，按常规方法调节浓度或更换液体。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样数量和尺寸

从样品上剪取三组试样，一组用作耐酸液的浸渍样；一组用作耐碱液的浸渍样；一组用作对照样。

单位面积质量的测定：每组 5 块试样，每块试样的尺寸至少为 100mm × 100mm。

尺寸变化和拉伸性能的测定：纵、横向应分别测定，试样的尺寸至少为 300mm × 50mm。机织土工织物每块试样的尺寸至少为 300mm × 60mm；土工格栅试样在宽度上应保持完整的抗拉单元，在长度方向应至少有 3 个连接点，试样的中间有 1 个连接点。

建议多准备 1~2 块试样，作为拉伸试验失败时的备用样。若产品上有涂层，且该涂层在使用过程中能被溶液浸透，则应分别对涂层试样和去掉涂层后的试样进行试验。复合产品应分别评定各层的耐酸、碱液性能。但应注意，复合材料的性能可能由于分成单层而受到影响。

4 试验步骤

4.1 浸渍前测定

浸渍前测定，试样应进行状态调节，按本规程 T 1101 中 4 的规定进行。

4.1.1 质量测定

按本规程 T 1111 单位面积质量规定的方法测定 5 块试样的单位面积质量，并计算其平均值 G_0 。

4.1.2 尺寸测定

分别在 5 块试样的中部沿长度方向画一条中心线，在垂直于长度方向上作两条标记线，标记线间的距离至少为 250mm，沿中心线测量两条标记线之间的距离，并计算其平均值 d_0 。试样为机织土工织物时，计数经、纬向 50mm 间的纱线根数，并分别记录为 n_1 和 n_2 。

4.2 浸渍试验

4.2.1 试验用液体的量应是试样重量的 30 倍以上，并能使试样完全浸没。酸、碱两种液体的温度均为 $60^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 。

4.2.2 将耐酸液的浸渍样和耐碱液的浸渍样，在不受任何机械应力的情况下，分别放在盛硫酸溶液和氢氧化钙溶液的容器中，试样之间、试样与容器壁之间以及试样与液体表面之间的距离至少为 10mm。不同材料的试样不应在同一个容器内试验。试样分别在两种液体中浸渍 3d。

氢氧化钙溶液应连续搅拌，硫酸溶液每天至少搅拌一次，测定并记录液体的初始 pH 值。如液体连续使用，至少每 7d 要添加或更换一次，以保持初始时的 pH 值。液体和试样应避光放置。

4.2.3 浸渍样从酸或碱溶液中取出后，先在水中清洗，然后在 0.01mol/L 的碳酸钠溶液中清洗，最后再在水中清洗，要保证清洗充分。

若是涤纶土工织物，从氢氧化钙浸渍液中取出后，需去除附着的对苯二酸钙晶体，可采用方法：在一个不断搅拌的装置中，在 10%（按质量）的氮川三乙酸钠中清洗 5min，然后在 3%（按质量）的乙酸溶液中清洗，最后用水清洗。

4.2.4 将对照样在温度为 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的清水中浸渍 1h，试验用水为三级水。

4.2.5 浸渍样和对照样应在室温下干燥或在 60°C 温度下干燥，在干燥过程中不要对试样施加过大的应力。

4.3 浸渍后测定

4.3.1 外观检查

用肉眼观察酸、碱浸渍样与对照样的差异，例如变色等，并进行记录。

4.3.2 质量测定

按本规程 T 1111 单位面积质量测定方法，分别测定浸渍样和对照样的单位面积质量，并计算各自的平均值 G_e 和 G_o 。

4.3.3 尺寸测定

将浸渍样和水浸渍后的对照样调湿后，沿中心线测量两条平行线之间的距离，并计算其平均值 d_e 和 d_o 。

4.3.4 拉伸性能

按本规程的规定进行拉伸试验。对于机织土工织物，从条样两侧拆除大致相等数量的纱线，直到浸渍样和对照样经、纬向的纱线根数等于 n_1 和 n_2 ，分别计算纵、横向拉伸强度的平均值，浸渍样记为 F_e ，对照样记为 F_o ；计算断裂伸长率的平均值，浸渍样记为 ε_e ，对照样记为 ε_o 。

4.3.5 显微镜观察

用放大 250 倍的显微镜观察浸渍样和对照样之间的差异，并给出定性的结论。该步骤用于评定有损伤试样的纱线破坏程度。

5 结果计算

分别计算试样在酸、碱液体浸渍后的性能变化。

5.1 质量变化率

质量变化率按式（T 1162-1）计算，修约到小数点后 1 位：

$$P_G = \frac{G_e - G_c}{G_0} \times 100 \quad (\text{T 1162-1})$$

式中: P_G ——试样的单位面积质量变化率 (%), 值为负时表示质量损失, 为正时表示质量增加;

G_e ——浸渍样的平均单位面积质量 (g/cm^2);

G_c ——对照样的平均单位面积质量 (g/cm^2);

G_0 ——浸渍前试样的平均单位面积质量 (g/cm^2)。

5.2 尺寸变化率

尺寸变化率按式 (T 1162-2) 计算, 修约到小数点后 1 位:

$$P_d = \frac{d_e - d_c}{d_0} \times 100 \quad (\text{T 1162-2})$$

式中: P_d ——试样的尺寸变化率 (%), 值为负时表示收缩, 为正时表示伸长;

d_e ——浸渍样的平均尺寸 (mm);

d_c ——对照样的平均尺寸 (mm);

d_0 ——浸渍前试样的平均尺寸 (mm)。

5.3 拉伸强度保持率

拉伸强度保持率按式 (T 1162-3) 计算, 修约到小数点后 1 位:

$$R_F = \frac{F_e}{F_c} \times 100 \quad (\text{T 1162-3})$$

式中: R_F ——试样的拉伸强度保持率 (%);

F_e ——浸渍样的平均拉伸强度 (kN/m);

F_c ——对照样的平均拉伸强度 (kN/m)。

5.4 断裂伸长率保持率

断裂伸长率保持率按式 (T 1162-4) 计算, 修约到小数点后 1 位:

$$R_\varepsilon = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_c} \times 100 \quad (\text{T 1162-4})$$

式中: R_ε ——试样的断裂伸长率保持率 (%);

ε_e ——浸渍样的平均断裂伸长率 (%);

ε_c ——对照样的平均断裂伸长率 (%).

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外, 还应包含:

(1) 视觉评定结果, 若使用显微镜观察, 标明放大倍数;

(2) 分别报出试样在酸、碱液中浸渍后的性能变化：质量变化率 P_G ；尺寸变化率 P_d ；拉伸强度保持率 R_F ；断裂伸长率保持率 R_e 。

条文说明

土工合成材料在工程应用中，不可避免会受到酸、碱溶液的侵蚀，抗酸、碱性能是土工合成材料耐久性能的重要指标之一。本试验原理是将试样完全浸渍于试液中，在规定的温度下持续放置一定的时间。分别测定浸渍前和浸渍后试样的拉伸性能、尺寸变化率和单位面积质量。比较浸渍样和对照样的试验结果。

目前国内外有关的试验方法包括《土工布及其有关产品 抗酸碱液性能的筛选试验方法》(ISO 12960: 2020)、《土工合成材料 评定耐久性的通用试验方法》(EN 12226: 2012)、澳大利亚标准《土工布 试验方法 方法 12: 耐久性测定 抗碳氢化合物和化学试剂》(AS 3706. 12—2001)、《土工布及其有关产品 抗酸、碱液性能的试验方法》(GB/T 17632—1998)。

本方法参照采用了 ISO 12960: 2020 和 GB/T 17632—1998 的相关内容，目的在于提供一种方法，筛选出抗酸、碱的土工合成材料，而不是获得实际使用寿命。

试验中应注意：

(1) 由于没有定型仪器，可根据标准要求自行配置，本规程给出了建议的试验装置。

(2) 3 组试样的尺寸完全一致，只有这样才能保证试验结果的可比性。

(3) 在测定质量变化时，应以浸渍前试样的面积为准，不用考虑浸渍后的尺寸变化。

(4) 由于浸渍样在浸渍的过程中可能产生收缩，所以对照样必须在相同温度的水中浸泡 1h，而不能用原样直接作为对照样使用。

T 1163—2026 抗紫外老化性能试验（氙弧灯法）

1 适用范围

本方法用于使用氙弧灯作为光源测定土工合成材料的抗紫外老化性能。

2 仪器设备及材料

2.1 光源

2.1.1 光源应由一个或多个有石英套管的氙弧灯组成，其光谱范围包括波长大于 270nm 的紫外光、可见光和红外光。为模拟日光，采用滤光器来滤除短波长的紫外辐射，见表 T 1163-1。使用滤除红外辐射的滤光器，可防止对试样产生不必要的加热，这种加热会引起户外暴露不会发生的热降解。

表 T 1163-1 氙弧灯的相对光谱辐照度

光谱带宽 (λ 为波长, nm)	最小限值 (%)	日光基准值 (%)	最大限值 (%)
$\lambda < 290$	—	—	0.15
$290 \leq \lambda \leq 320$	2.6	5.4	7.9
$320 < \lambda \leq 360$	28.2	38.2	39.8
$360 < \lambda \leq 400$	54.2	56.4	67.5

注：1. 290 ~ 400nm 的光谱辐照度定为 100%。
2. 氙弧灯光源发出少量低于 290nm 的辐射，在某些情况下，这会引起试样在户外暴露的情况下并不会发生的老化反应。

2.1.2 试样暴露面上任一位置的辐照度至少应为该暴露面最高辐照度的 80%，若不能满足此要求，应对暴露试样进行周期性换位。

2.2 试验箱

试验箱应由惰性材料制成，试验箱的辐照度、温度和湿度均应可控，同时具有喷淋装置。光源的定位应使试样表面的辐照度满足相应的要求。

2.3 辐照仪

辐照仪用于测量试件表面辐照度或辐照量，辐照仪应安装在能获得与测试样品表面相同辐照度的位置。

辐照仪必须在使用的光源辐射区域内进行校准，且每年至少进行一次全面校准。

当进行辐照度测量时，应明确波长范围。通常情况下，可采用特定波长范围（如 300 ~ 400nm）的辐照度或以某一单波长（如 340nm）为中心的窄波带辐照度。

2.4 温度传感器

温度传感器一般分为黑标温度计与黑板温度计两类，通常选用黑标温度计。温度传感器应安装于试样的暴露区内，辐照量和冷却条件与试样相同。

2.4.1 黑标温度计

典型的黑标温度计是由长 70mm、宽 40mm、厚 0.5 ~ 1.2mm 的不锈钢平板制成。平板对光面涂覆耐老化黑色涂层。涂覆后的平板至少吸收至 2 500nm 波长总入射光通量的 90%。用铂电阻传感器测量平板温度，传感器安装在平板背光面的中心位置。

2.4.2 黑板温度计

典型的黑板温度计是由一块长约 150mm、宽 70mm、厚 1mm 的金属平板制成。平板对光面涂覆耐老化黑色涂层。涂覆后的平板至少吸收至 2 500nm 波长总入射光通量的

90%。用热敏传感器测量平板温度，传感器置于平板对光面的中心位置。

2.4.3 温度计所指示的温度取决于光源的辐照度和试验箱内的温度及空气流动速度。黑标温度计通常与导热性差的暗色材料暴露表面温度相当，黑板温度通常与金属材料暗色涂层的温度相当。在典型试验条件下，黑标温度计的指示温度较黑板温度计的指示温度高 3 ~ 12℃。

2.5 润湿和控湿装置

2.5.1 喷淋系统：试验箱应能提供间歇喷淋装置，喷淋水应能均匀分布于试样表面。

2.5.2 相对湿度控制装置：试样表面流通空气的相对湿度应予以控制，并用湿度传感器进行测量。湿度传感器应安装在空气流动且避免光线直射和水喷淋的位置。

2.5.3 试验用水不应在试样表面留下明显的污迹和沉淀物。可通过蒸馏、去离子和反渗透方法得到符合要求的试验用水。

2.6 试样架

试样架可采用有背板或无背板形式，应采用不影响试验结果的惰性材料（例如铝合金或不锈钢）制成。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样数量

从样品上裁取两组试样，每组 5 个试样。一组用作老化样，一组用作对照样，老化样与对照样应在样品纵、横向的同一轴线上就近裁取（图 T 1163-1），数量应满足本规程相应指标的要求，建议多制备 1 ~ 2 块试样，以备试验失败时补足试样。

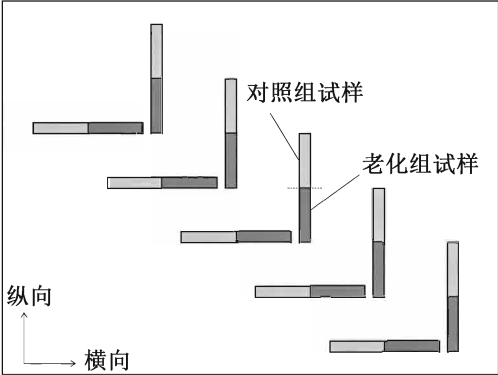


图 T 1163-1 试样制备示意图

3.3 试样尺寸按照本规程相应指标的试验要求裁剪，通常是进行拉伸强度试验。

4 试验步骤

4.1 暴露条件

4.1.1 黑标温度：应控制温度为 $65^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。若使用黑板温度，应在试验报告中予以说明。

4.1.2 相对湿度：试验箱内空气相对湿度控制在 $50\% \pm 10\%$ 。

4.1.3 辐照仪进行辐照量的测量时：

采用宽带法的，波长范围 $300 \sim 400\text{nm}$ ，辐照度为 $41\text{W}/\text{m}^2 \pm 2\text{W}/\text{m}^2$ 。

采用窄带法的，在 340nm 控制点光谱密度为 $0.35\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm}) \pm 0.02\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$ 。

4.1.4 暴露周期：每 120min 为一个暴露周期，每周期由 90min 光照、 30min 光照结合喷淋组成。

4.1.5 老化时间：时间可选 0h （对照组）、 150h 、 300h 、 500h 或更长的时间。

4.1.6 黑暗周期：若需要，可增加黑暗周期，具体由有关各方商定。

4.1.7 其他暴露条件经协商后也可采用，但应在试验报告中详细说明。

4.2 安放试样到试样架，使试样暴露面朝向光源，保证试样不受任何外在应力。

4.3 设置试验暴露条件，开启老化试验箱，整个试验期间保持设备状态正常。

4.4 试验结束后，取出老化组样品，同对照组试样一同进行拉伸强度等试验。

5 结果计算

5.1 分别计算老化组和对照组的拉伸性能指标的平均值，精确度按相应的指标规定。

5.2 拉伸强度保持率

拉伸强度保持率按式 (T 1163-1) 计算，精确至 0.1% ：

$$R_F = \frac{F_c}{F_c} \times 100 \quad (\text{T 1163-1})$$

式中： R_F ——试样的拉伸强度保持率 (%)；

F_e ——老化样的平均拉伸强度 (kN/m)；

F_c ——对照样的平均拉伸强度 (kN/m)。

5.3 断裂伸长率保持率

断裂伸长率保持率按式 (T 1163-2) 计算, 精确至 0.1%：

$$R_e = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_c} \times 100 \quad (\text{T 1163-2})$$

式中： R_e ——试样的断裂伸长率保持率 (%)；

ε_e ——老化样的平均断裂伸长率 (%)；

ε_c ——对照样的平均断裂伸长率 (%)。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外, 还应包含：

- (1) 仪器型号、光源及滤光系统的详细说明, 包括更换时间表和更换位置时间表、试样表面辐照度；
- (2) 黑标温度计或黑板温度计型号及安装形式；
- (3) 黑标温度或黑板温度及相对湿度的平均值或偏差、喷水和凝露周期；
- (4) 试样的背板、支撑架及附件的性质, 试样转动条件；
- (5) 若采用辐照仪, 详细说明情况。

条文说明

抗紫外老化性能是土工合成材料耐久性能的重要指标之一。氙弧灯法测定材料抗紫外老化性能, 是用氙弧灯作为光源对试样进行暴晒, 主要是模拟和强化自然气候中的光、热、湿气和雨水等老化因素, 其光谱与自然光极为相似。为便于理解和开展试验, 本方法给出了如下一些定义：

- (1) 氙弧灯是利用氙气放电而发光的电光源。
- (2) 辐照度是单位面积的辐射能, 单位为 W/m^2 。
- (3) 光谱密度是以波长 a 为中心的微小波长宽度 (1nm) 范围内辐照度与该波长宽度之比 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})]$ 。
- (4) 保持率是老化组相应指标的平均值与对照组相应指标平均值之比 (%)。

目前国内外氙弧灯法的试验方法标准主要包括《塑料 实验室光源暴晒试验方法 第2部分：氙弧灯》(ISO 4892-2: 2013)、《土工布抗紫外光和雨水性能的试验方法》(ASTM D4355/D4355M-21)、《塑料 实验室光源暴露试验方法 第2部分：氙弧灯》(GB/T 16422.2—2022), 其主要参数见表 T 1163-2。

表 T 1163-2 参数对照表

项目	ISO 4892-2: 2013	ASTM D4355/D4355M-21	GB/T 16422. 2—2022
黑标 (板) 温度 (℃)	65 ± 3 (黑标)	65 ± 3 (黑板)	65 ± 3 或 100 ± 3 (黑标)
相对湿度 (%)	50 ± 10	50 ± 10	50 ± 10 或 20 ± 10 或不控制
暴露周期 (min)	干燥 102 喷淋 18	干燥 90 喷淋 30	干燥 102 喷淋 18
暴露时间 (h)	根据要求	150/300/500	根据要求
宽带辐照度 (300 ~ 400nm) (W/m ²)	60 ± 2	—	60 ± 2
窄带光谱密度 (340nm) [W/ (m ² · nm)]	0. 51 ± 0. 02	0. 35 ± 0. 02	0. 51 ± 0. 02

本方法参照了 ISO 4892-2: 2013 和 ASTM D4355/D4355M-21 的相关内容, 即采用氙弧灯对试样进行耐候性试验。氙弧灯经过滤后的辐射与太阳光极相似, 在暴晒过程中, 按一定时间周期进行喷淋, 模拟自然界的气候条件; 在对试样进行长时间的暴晒后, 比较暴晒前后材料性能的变化, 如通常进行老化前后拉伸试验, 测定试样强度和伸长的保持率。由于人工气候毕竟与实际气候有一定的差异, 所以试验结果多用于评价其老化趋势。

相较于 JTG E50—2006, 本次修订的内容主要包括:

- (1) 将 290 ~ 400nm 的光谱辐照度定为 100%;
- (2) 增加周期性换位的条件;
- (3) 引入了宽带和窄带的概念, 做出辐照度和光谱密度的区分;
- (4) 对黑板温度计、黑标温度计说明进行了调整;
- (5) 对试验条件进行了明确的规定。

T 1164—2026 抗紫外老化性能试验 (荧光紫外灯法)

1 适用范围

本方法用于使用荧光紫外灯作为光源测定土工合成材料的抗紫外老化性能。

2 仪器设备及材料

2.1 光源

2.1.1 本方法选用两种类型的荧光紫外灯管作为试验光源, 分别为 UVA-340 和 UVB-313 型灯管 (表 T 1164-1)。

表 T 1164-1 荧光紫外灯的相对光谱辐照度

光谱带宽 (λ 为波长, nm)	UVA-340 辐照度 (%)	日光基准辐照度 (%)	UVB-313 辐照度 (%)
$\lambda < 290$	0 ~ 0.01	—	1.3 ~ 5.4
$290 \leq \lambda \leq 320$	5.9 ~ 9.3	5.4	47.8 ~ 65.9
$320 < \lambda \leq 360$	60.9 ~ 65.5	38.2	26.9 ~ 43.9
$360 < \lambda \leq 400$	26.5 ~ 32.8	56.4	1.7 ~ 7.2

注：1. 290 ~ 400nm 的光谱辐照度定为 100%。
2. 荧光紫外灯主要的发射集中在 300 ~ 400nm 的带宽内，其发出的可见光光谱是有限的。

2.1.2 光源的位置应正对试样，确保试样暴露区域任何位置的辐照度至少为此区域最大辐照度的 70%。若试样暴露区域内任何位置的辐照度在最大辐照度的 70% ~ 90%，则应对试样进行周期性的位置变换。位置变换方法和时间表应根据相关方协商确定。若试样暴露区域内任何位置的辐照度至少为最大辐照度的 90%，无须对试样进行周期性的位置变换。

2.2 试验箱

2.2.1 试验箱应由惰性材料制成，试验箱的辐照度、温度和冷凝均应可控，光源的定位应使试样表面的辐照度满足相应的要求。必要时，试样箱应具备喷淋功能。

2.2.2 试验箱应放置在离墙面或其他试验设备至少 0.3m 的位置，离试验箱最大不超过 150mm 的范围内测得的周围温度应保持在 18 ~ 27℃。

2.3 辐照仪

辐照仪应符合本规程 T 1163 的要求。

2.4 温度传感器

温度传感器应符合本规程 T 1163 的要求。

2.5 润湿装置

2.5.1 冷凝系统：试验箱应具备间歇冷凝装置，通过加热水形成的水蒸气在试样的测试面产生凝露，并使试样均匀湿润。

2.5.2 喷淋系统：必要时，试验箱应具备间歇喷淋装置，喷淋水应能均匀分布于试样测试面。

2.5.3 试验用水不应在试样表面留下明显的污迹和沉淀物。可通过蒸馏、去离子和

反渗透方法得到符合要求的试验用水。

2.6 试样架

试样架应由不影响试验结果的惰性材料制成。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行。

3.2 试样数量：从样品上裁取两组试样，一组用作老化样，一组用作对照样，老化样与对照样应在样品纵、横向的同一轴线上就近裁取（图 T 1164-1），数量应满足本规程相应指标的要求，建议多制备 1~2 块试样，以备试验失败时补足试样。

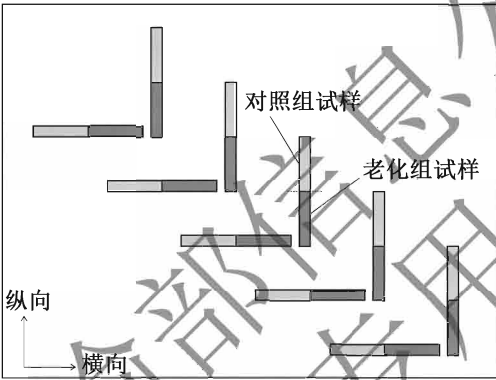


图 T 1164-1 试样制备示意图

3.3 试样尺寸：采用本规程相应指标的试验要求裁剪，通常是进行拉伸强度试验。

4 试验步骤

4.1 暴露条件

暴露条件应按表 T 1164-2 设置，暴露面为土工织物的土工合成材料宜参照土工织物的老化试验条件执行，暴露面为其他材料的土工合成材料宜参照土工膜的老化试验条件执行。其他暴露条件经协商后也可采用，但应在试验报告中详细说明。

表 T 1164-2 荧光紫外老化暴露条件

产品类别	土工织物		土工膜
光源	UVA-340 灯管	UVB-313 灯管	UVA-340 灯管
光谱密度	340nm 处 $0.76\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm}) \pm 0.02\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$	313nm 处 $0.71\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm}) \pm 0.02\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$	340nm 处 $0.78\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm}) \pm 0.02\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$
暴露周期	12h 为一个周期，8h 光照，黑标（板）温度 $60^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ ；4h 冷凝，冷凝时关闭光源，黑标（板）温度 $50^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$	8h 为一个周期，4h 光照，黑标温度 $60^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ ；4h 冷凝，冷凝时关闭光源，黑标（板）温度 $50^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$	24h 为一个周期，20h 光照，黑标温度 $75^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ ；4h 冷凝，冷凝时关闭光源，黑标（板）温度 $60^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$

续表 T 1164-2

产品类别	土工织物		土工膜
老化时间	根据实际需要确定：推荐的试验时间为 120h、144h、168h、240h、456h 或更长时间	根据实际需要确定：推荐的试验时间为 96h、144h、200h、400h 或更长时间	根据实际需要确定：推荐的试验时间为 480h、960h、1 440h、1 920h、2 400h 或更长时间

4.2 安放试样到试样架，使试样暴露面朝向光源。安放状态不应使试样受到任何外在应力。

4.3 设置试验暴露条件，开启老化试验箱，整个试验期间保持设备状态正常。

4.4 试验结束后，取出老化组样品，同对照组试样一同进行相应指标的试验，通常为拉伸强度试验。

5 结果计算

5.1 分别计算老化组和对照组拉伸性能指标的平均值，精确度按相应的指标规定。

5.2 拉伸强度保持率

拉伸强度保持率如按式 (T 1164-1) 计算，精确至 0.1%：

$$R_F = \frac{F_e}{F_c} \times 100 \quad (\text{T 1164-1})$$

式中： R_F ——试样的拉伸强度保持率 (%)；

F_e ——老化样的平均拉伸强度 (kN/m)；

F_c ——对照样的平均拉伸强度 (kN/m)。

5.3 断裂伸长率保持率

断裂伸长率保持率按式 (T 1164-2) 计算，精确至 0.1%：

$$R_\epsilon = \frac{\epsilon_e}{\epsilon_c} \times 100 \quad (\text{T 1164-2})$$

式中： R_ϵ ——试样断裂伸长率保持率 (%)；

ϵ_e ——老化样的平均断裂伸长率 (%)；

ϵ_c ——对照样的平均断裂伸长率 (%)。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外，还应包含：

- (1) 试验箱型号、灯及滤光系统的详细说明, 包括更换时间表和更换位置时间表、试样表面辐照度;
- (2) 黑标温度计或黑板温度计型号及安装形式;
- (3) 黑标温度或黑板温度及相对湿度的平均值和偏差、喷水和冷凝期;
- (4) 试样的背板、支撑架及附件的性质, 试样转动条件;
- (5) 若采用辐照仪, 详细说明情况。

条文说明

抗紫外老化性能是土工合成材料耐久性能的重要指标之一。荧光紫外灯法测定材料抗紫外老化性能, 是用荧光紫外灯作为光源对试样进行暴晒, 利用荧光紫外灯在试验室环境下对材料进行加速老化。为便于理解和开展试验, 本方法给出了如下一些定义:

- (1) 荧光紫外灯是将低压汞弧波长为 254nm 的辐射, 通过荧光物质转化为波长更长的紫外线的灯;
- (2) 辐照度是单位面积的辐射能, 单位为 W/m^2 ;
- (3) 辐射能是以各种波长的光子或电磁波形式在空间传播的能量;
- (4) 紫外辐射是单色组成的波长小于可见光、大于 100nm 的辐射能量。紫外辐射的光谱范围不作统一界定, 根据使用者的需要而不同。国际照明委员会 (CIE) 在光谱范围 100 ~ 400nm 间进行如下划分, UVA: 315 ~ 400nm, UVB: 280 ~ 315nm, UVC: 100 ~ 280nm;
- (5) UVA 型荧光紫外灯是发射波长小于 300nm 的辐射能占其总辐射能的百分比小于 2% 的荧光紫外灯;
- (6) UVB 型荧光紫外灯是发射波长小于 300nm 的辐射能占其总辐射能的百分比大于 10% 的荧光紫外灯;
- (7) 冷凝暴露是试样表面经规定的辐照时间后转入模拟夜间的无辐照状态, 此时试样表面仍受暴露室内热空气和水蒸气的饱和混合物加热作用, 而试样背面继续受到周围空间的空气冷却, 形成试样表面凝露的暴露状态。

本方法参照采用了《塑料 实验室光源暴露试验方法 第 3 部分: 荧光紫外灯》(GB/T 16422.3—2022)、《土工合成材料 抗紫外老化性能试验 荧光紫外灯法》(GB/T 46539—2025) 及《塑料 暴露于实验室光源的方法 第三部分: 荧光紫外灯》(ISO 4892-3: 2016) 的相关内容。其中部分数据参考《非金属材料荧光紫外老化试验方法》(ASTM G154-23)、《利用荧光紫外冷凝设备测试未加筋聚烯烃土工膜暴露效应的试验方法》(ASTM D7238-20) 及《纺织品 耐候性试验 紫外光曝晒》(GB/T 31899—2015)。

UVA-340 灯管光谱的相对辐照度更接近日光光谱相对辐照度, 得到的试验数据与户外老化试验数据能建立更好的关联性。根据《土工合成材料 耐久性评估指南》(ISO/TS 13434: 2020) 的规定, 可在较高水平的辐射、结合温度和湿度的循环, 对所

有土工合成材料进行加速耐候性试验。对于荧光紫外法, EN 12224: 2000 基于 $50\text{MJ}/\text{m}^2$ 辐射量, 5h 光照 (50 ± 3) $^{\circ}\text{C}$ 加 1h 喷淋的循环, 根据土工材料试验后的强度保留率, 结合产品的具体应用, 来确定材料在现场可摊铺暴露的时间, 土工格栅可参考该暴露条件。

本方法参考 ASTM D7238-20, 制定了土工膜的暴露条件。此外, ISO/TS 13434: 2020 也建议对防渗类土工材料, 若暴露时间 1 年, 则材料在 $40\text{W}/\text{m}^2$ 的辐照度和 5h 光照加 1h 喷淋循环下, 辐照量 $350\text{MJ}/\text{m}^2$ 后需保持其初始强度和伸长率的 75%。

UVB-313 灯管虽与日光光谱有一定差异, 但使用这类灯管是目前最快速完成老化试验的选择, 节省时间的同时也十分经济, 因此, 在质量检测和产品研发领域得到大量应用。

利用 UVB-313 灯管的老化试验在我国已持续了数十年, 积累了很多经验。根据以往测试经验, 设计部门经常提出的老化试验后产品合格与否的判断标准如下:

- (1) 96h 老化, 强度保持率大于 90%;
- (2) 144h 老化, 强度保持率大于 70%;
- (3) 200h 老化, 强度保持率大于 50%。

T 1165—2006 炭黑含量试验

1 适用范围

本方法用于测定聚烯烃土工合成材料(含聚丙烯、聚乙烯)的炭黑含量。

2 仪器设备及材料

2.1 高纯度氮气: 氮气中氧含量小于 $20\text{mg}/\text{kg}$, 储存于配有减压阀和流量表的钢瓶中。

2.2 石英样品舟: 长 $50 \sim 60\text{mm}$ 。

2.3 管式电炉: 温度可达 600°C 以上, 用于裂解试样。

2.4 马福炉: 温度可达 $1\,000^{\circ}\text{C}$ 以上, 用于煅烧试样。

2.5 玻璃干燥器: 用于放置样品舟。

2.6 天平: 感量 $0.000\,1\text{g}$ 。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行, 从样品中取 3 份样, 切碎后称量, 每份约 1g ,

准确至 0.000 1g。

3.2 称量环境温度为 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

4 试验步骤

4.1 将管式电炉升温至 $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ 。打开氮气钢瓶，使氮气进入管式电炉。调节流量计，使氮气通入管式电炉的流速为 200mL/min，大约 5min。

4.2 将装有样品的样品舟推入管式电炉的中心，调节高纯度氮气流速为 100mL/min，于 $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ 的温度下热解 45min。

4.3 热解终了时，将样品舟移回至管式电炉的低温部分。继续保持通入高纯度氮气 10min。

4.4 取出样品舟，置于干燥器中冷却，称量，准确至 0.000 1g。

4.5 将样品舟置于马福炉中煅烧 15min，温度为 $900^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ ，直至炭黑全部消失为止。再放入干燥器中冷却至室温，称量，精确至 0.000 1g。

5 结果计算

炭黑含量按式 (T 1165-1) 计算：

$$c = \frac{m_2 - m_3}{m_1} \times 100 \quad (\text{T 1165-1})$$

式中：c——炭黑含量 (%)；

m_1 ——试样质量 (g)；

m_2 ——样品舟和试样在 550°C 热解后的质量 (g)；

m_3 ——样品舟和灰分在 900°C 煅烧后的质量 (g)。

取 3 个试验结果的算术平均值，精确至 0.1%。若需要，按本规程 T 1102 的规定计算标准差 σ 和变异系数 C_v 。

灰分含量按式 (T 1165-2) 计算：

$$c_1 = \frac{m_3 - m_0}{m_1} \times 100 \quad (\text{T 1165-2})$$

式中： c_1 ——灰分含量 (%)；

m_0 ——样品舟质量 (g)。

取 3 个试验结果的算术平均值，精确至 0.1%。若需要，按本规程 T 1102 的规定计算标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外,还应包含:

- (1) 炭黑灰分含量、灰分含量的平均值,以质量百分比表示;
- (2) 若灰分含量大于试样质量的 1%,则要报出灰分含量,并注明测定炭黑含量可能超过实际值。

条文说明

聚烯烃材料包括聚丙烯、聚乙烯等烃类材料。炭黑是聚烯烃塑料制品中的重要助剂,产品中添加一定量的炭黑,有屏蔽紫外线防止老化的作用。对于用聚烯烃为原材料的土工合成材料产品,炭黑的含量对其防老化性能起着关键性作用。由于抗紫外老化性能的试验方法、试验条件要求高,试验周期长,所以常用“炭黑含量”来评价和控制其抗紫外老化性能。聚丙烯、聚乙烯塑料土工格栅和聚乙烯土工膜等,其产品标准规定,炭黑含量不低于 2%。本试验原理是一定量的样品在氮气流中于 $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ 温度下热解 45min,并在 $900^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ 温度下煅烧。根据热解和煅烧前后的质量差,计算炭黑含量和灰分含量。

本方法参考了《聚烯烃管材和管件 炭黑含量的测定 煅烧和热解法》(GB/T 13021—2023)。用热失重法来测定炭黑含量,是通过热裂解使聚烯烃成为低分子物质并由氮气流带走,然后通过煅烧使炭黑转化为二氧化碳,用裂解后的质量与煅烧后的质量之差,就可以得到样品中的炭黑含量。该方法简单易行,准确度高。

试验中应注意影响试验结果的因素:

(1) 氮气中氧气含量的影响

普通氮气的纯度一般为 99.9%,含有 0.1% 的氧气和其他成分。由于样品中的炭黑在裂解过程中会与氮气中少量的氧气反应生成二氧化碳而逃逸,使得测试结果偏低。有试验数据表明,未经除氧的氮气所测得的炭黑含量只有实际含量的 75% 左右,而除氧的氮气,测试结果可达到实际含量的 97% 以上。所以规定氮气中氧含量应小于 20mg/kg。

(2) 灰分含量的影响

若试样的灰分含量偏高,由于不知道残留灰分原来的化学成分,不能排除其中含有可分解、吸收的杂质,这将直接影响测试结果的准确性。因此规定,当试样灰分含量大于试样质量的 1% 时,应在报告中注明。

(3) 可分解添加物的影响

试样中若含有在 550°C 热解时不能分解而在 900°C 煅烧时能分解的添加物,如碳酸钙等,则煅烧时由于添加物的分解、逸出,使质量差 ($m_2 - m_3$) 出现偏差,造成测试结果大于实际值。

T 1166—2026 炭黑分散试验

1 适用范围

本方法用于测定炭黑含量小于 5%（质量）的聚烯烃类土工合成材料的炭黑分散度。

2 仪器设备及材料

2.1 薄片切片机：旋转式或铲式超薄切片机，其上装有样品夹和小刀固定器。小刀宜选用钢刀，也可选用玻璃小刀。附件包括滑润剂、防尘罩和镊子。

2.2 显微镜：双目光学显微镜（若需要拍摄显微照片，则必须选用三目式显微镜）。显微镜必须包括一个可移动的试样载物台、两个 10 倍目镜和 5 ~ 20 倍放大物镜。使用过程中，选择相应的物镜使得总的放大倍数可以达到 50 ~ 200 倍。校准十字线（目镜千分尺），装在目镜里，位于目镜镜头和物镜镜头之间。

2.3 光源：强度可变的外部白色光源。

2.4 显微镜盖玻片和载玻片：能获得随机观察区。其制作方法为：从盖玻片的中心分别向两边隔 5mm 处做记号，用玻璃蚀刻法和小刀在做记号的位置沿着长边刻出两条平行线。在每条刻线分别向外 3.2mm 处做记号，对原始线刻蚀平行线，最后完成的盖玻片如图 T 1166-1 所示。盖玻片尺寸必须与放置试样的载玻片尺寸一样大，平行线应能允许看见所有放置的试样。

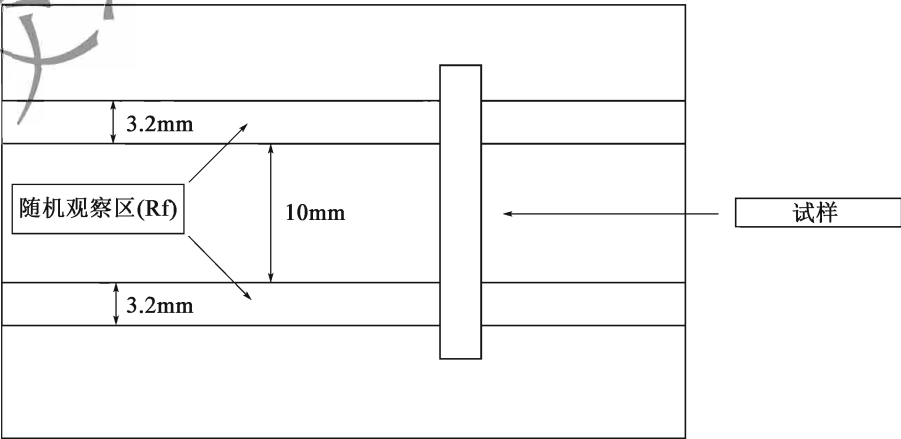


图 T 1166-1 显微镜盖玻片轮廓图

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行，沿土工合成材料的整个卷宽方向随机选取 5 个样品，样品的大小约为 2.5cm^2 。

3.2 试样数量和尺寸

3.2.1 把待测样品裁取合适的尺寸，固定在薄片切片机的支架上，切出厚度在 $8 \sim 20\mu\text{m}$ 的试样。采用四氟乙烷硬化喷雾可以防止炭黑或其他组分的拖尾效应。四氟乙烷硬化喷雾的作用是使试样在切片前温度降至 -15°C 并硬化。

3.2.2 薄切片处理要求

厚度为 $8 \sim 20\mu\text{m}$ ，允许足够的光通过，以使用显微镜观测到炭黑团；没有大的缺陷，包括因刻痕或钝口刀引起的缺口，或因重压或粗糙的处理导致切片局部撕裂和扭曲。

3.3 按照本规程 T 1101 中 4 的规定进行试样状态调节。

4 试验步骤

4.1 每个载玻片上安装 5 个试样，并将显微镜盖玻片盖在 5 个试样上，使盖玻片与试样观察区完全重合。

4.2 通过调整显微镜透光强弱使目镜的十字线清晰。

4.3 把装好的薄切片放在显微镜载物台上。

4.4 选择物镜使放大倍数为 100 倍，用显微镜检查每一个随机观察区，并锁定最大的炭黑团或内含物，计算炭黑团或内含物的面积。非球形的炭黑团的面积通过选取合适的直径计算。

4.5 重复步骤 4.1 ~ 4.4，直到记录 10 组读数为止。从每个切片试样中选取的随机观察区不得多于 2 个，且薄切片试样不得少于 5 个。

5 结果计算

将每个试样的显微外观与显微照片对比，采用最具有可比性的等级评价外观，以全部试样中占多数的等级表示结果。参照《土工合成材料 聚乙烯土工膜》(GB/T 17643—2025)，评价炭黑分布表观等级的显微照片如图 T 1166-2 所示。

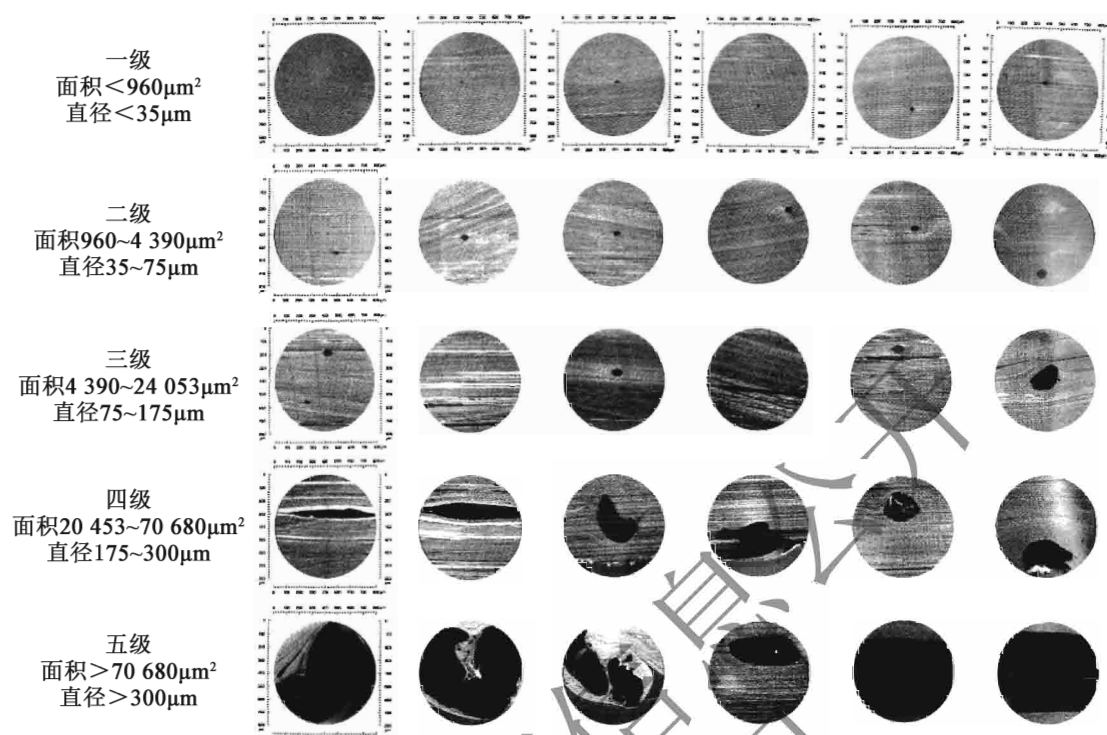


图 T 1166-2 炭黑分散分级图

统计 5 个试样的评级结果作为炭黑分散度的判断依据。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外,还应包含:

- (1) 试样制备方法;
- (2) 显微镜型号、放大倍数。

条文说明

炭黑是聚烯烃塑料制品中的重要助剂,产品中添加一定量的炭黑,有屏蔽紫外线防止老化的作用,而炭黑对紫外线的吸收效率主要视炭黑的分散程度确定,若分散不好,则会影响材料的抗老化性能和力学性能,所以本次修订新增了“炭黑分散试验”。

本试验原理是将经过制备后的样品薄片置于显微镜下进行随机观察,计算每个观察区 (Rf) 中最大的炭黑团或内含物的面积,再根据炭黑分散体参考图来判定其级数。测定炭黑分散的试验方法,目前国内标准有《聚烯烃管材、管件和混配料中颜料或炭黑分散度的测定》(GB/T 18251—2019) 和《土工合成材料 聚乙烯土工膜》(GB/T 17643—2025) (附录 C),美国标准有《炭黑在聚烯烃土工合成材料中的分散度显微评价的标准试验方法》[ASTM D5596-03 (2021)]。

本次修订,新增的炭黑分散试验方法主要依照 GB/T 17643—2025 的附录 C 和

ASTM D5596-03 (2021) 的相关规定, 取土工合成材料试样用切片机制备样品, 通过在显微镜下观察, 测定随机观察区中最大炭黑团的直径并计算面积, 通过与显微照片的比照来确定等级。

T 1167—2026 低温脆化温度试验

1 适用范围

本方法用于测定除发泡类土工合成材料的低温脆化性能。

2 仪器设备及材料

2.1 A 型试验机

试验机由样品夹具、冲头和机械连接部件组成, 正确安装这些部件以保证冲头能在相对恒定的速度下冲击样品。图 T 1167-1 为 A 型试验机冲头和夹具组的尺寸关系, 图 T 1167-2 为安装上试样的 A 型样品夹具, 图 T 1167-3 为 A 型试验机的冲头和夹具的详细说明。其主要部件的尺寸如下:

- (1) 冲头半径为 $1.6\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$;
 - (2) 钳口半径为 $4.0\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$;
 - (3) 冲头中心线与夹具间隙为 $3.6\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$;
 - (4) 冲头的外侧与夹具间隙为 $2.0\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 。
- 冲头速度应达到 $200\text{cm/s} \pm 20\text{cm/s}$, 冲头行程至少达 5.0mm 。

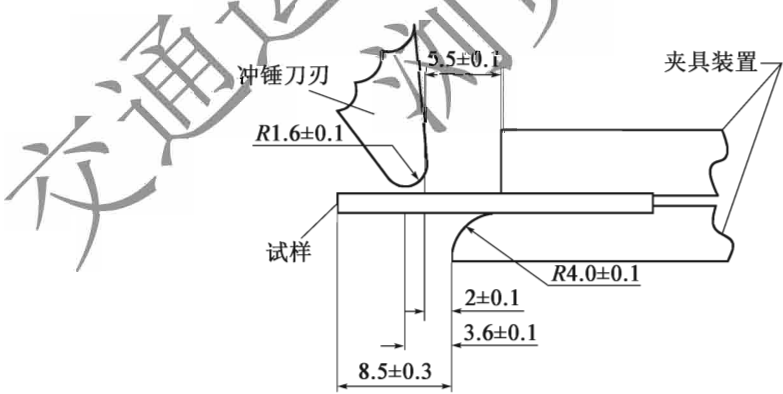


图 T 1167-1 A 型试验机冲头和夹具组件的尺寸关系 (尺寸单位: mm)

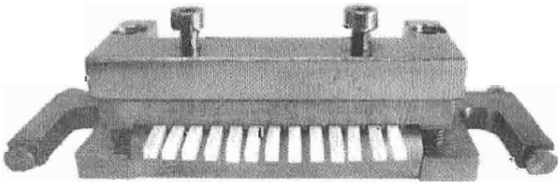


图 T 1167-2 安装上试样的 A 型样品夹具

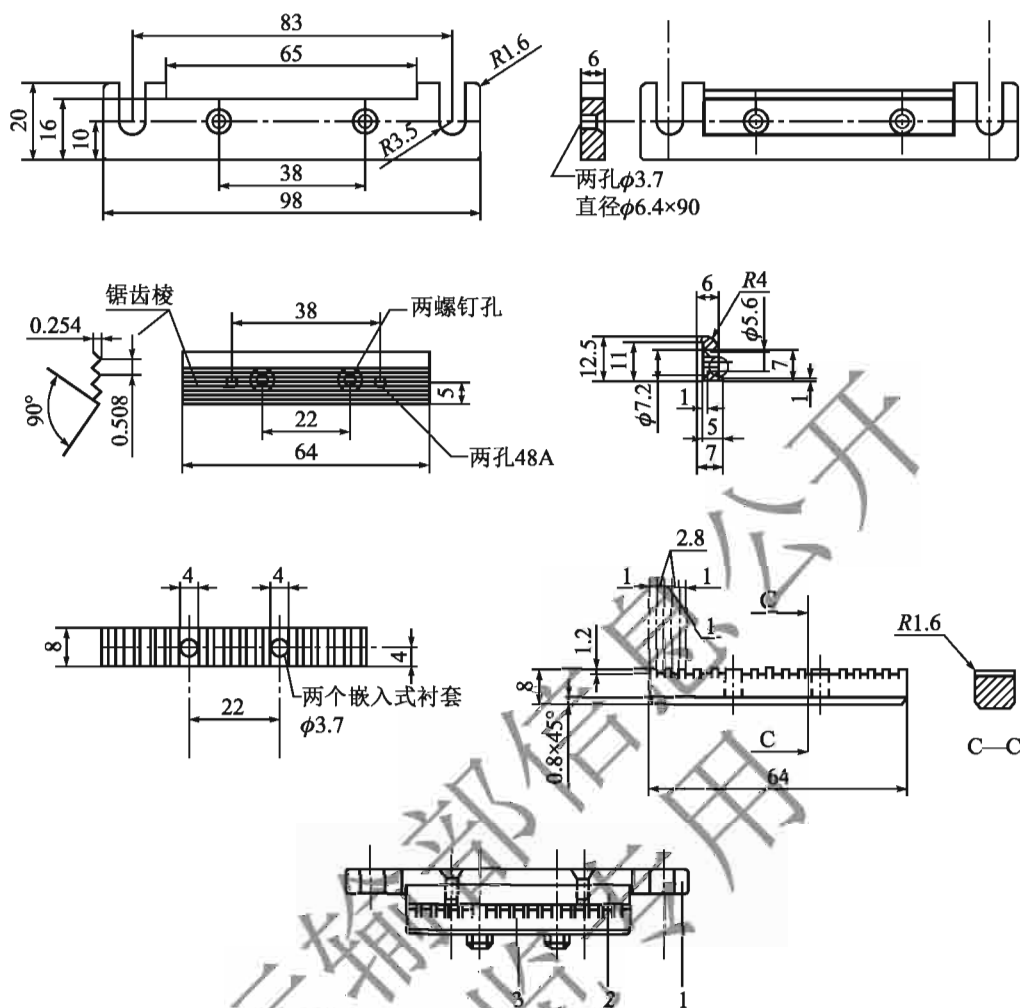


图 T 1167-3 A 型试验机冲头和夹具的具体尺寸 (尺寸单位: mm)

1-冲头；2-夹具；3-试样

2.2 B 型试验机

试验机由样品夹具、冲头和机械连接部件组成，正确安装这些部件以保证冲头能在相对恒定的速度下冲击样品。图 T 1167-4 是 B 型试验机的冲头和夹具组件的尺寸关系，图 T 1167-5 为 B 型样品夹具。其主要部件的尺寸如下：

- (1) 冲头半径为 $1.6\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$;
- (2) 冲头中心线与夹具间隙为 $7.87\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$;
- (3) 冲头外侧与夹具间隙为 $6.35\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$ 。

冲头速度应达到 $200\text{cm/s} \pm 20\text{cm/s}$ ，冲头行程至少达 6.4mm 。

2.3 温度计

应在要求范围内校准且精确至 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，测温装置应尽可能靠近试样。

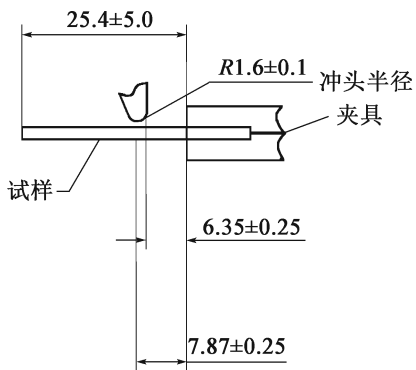


图 T 1167-4 B 型试验机冲头和夹具组件的尺寸关系（尺寸单位：mm）

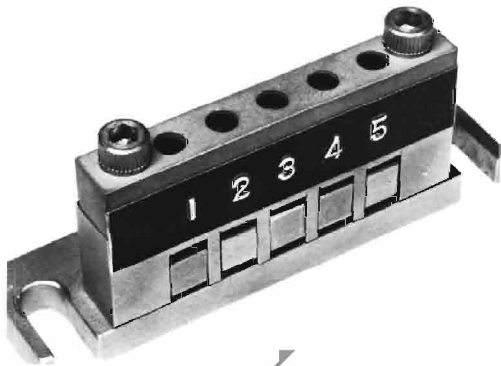


图 T 1167-5 B 型样品夹具

2.4 液体或气体导热介质

在试验温度下，能保证流动性并对试样没有影响的液体都可以使用。传热介质的温度控制在试验温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 内。

液体介质与塑料试样的接触时间短且温度低，对大多数塑料材料，乙醇和干冰的混合物都适用。此混合物可使温度降低至 -76°C ，低于此温度则需要其他传热介质，如硅油、二氯二氟甲烷/液氮或空气浴槽。

在使用的最高温度下测量暴露前和暴露 15min 后的物理性能，能得出塑料和传热介质之间是否发生作用，两次测量数值不应有明显差异。

2.5 箱体

具有绝缘性。

2.6 搅拌器

使导热介质能均匀循环。

2.7 量具

精度为 0.1mm，用于测量试样的宽度和厚度。

3 试样制备

3.1 A 型试样

试样尺寸：长 $20.00\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$ 、宽 $2.50\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 、厚 $2.00\text{mm} \pm 0.10\text{mm}$ 。可以使用自动冲切机切割。

3.2 B 型试样

试样尺寸：长 $31.75\text{mm} \pm 6.35\text{mm}$ 、宽 $6.35\text{mm} \pm 0.51\text{mm}$ 、厚 $1.91\text{mm} \pm 0.13\text{mm}$ 。

可以使用自动冲切机切割。

4 试验步骤

4.1 预定一种材料的脆化温度时, 推荐在预期能达到 50% 破损率的温度条件下进行试验。在该温度下至少用 10 个试样进行试验。若试样全部破损, 把浴槽的温度升高 10℃, 用新试样重新进行试验; 若试样全部未破损, 把浴槽的温度降低 10℃, 用另一组试样重新进行试验; 若脆化温度未知, 起始温度可以任意选择。

4.2 试验前准备浴槽, 仪器调至起始温度。若用于干冰冷却槽, 把适量的干粉干冰置于绝热的箱体中, 然后慢慢加入导热介质, 直至液面与顶部保持 30 ~ 50mm 的距离。若仪器配备了液氮或干冰冷却系统和自动控温装置, 应遵循仪器制造商提供的说明书操作。

4.3 将试样紧固在夹具内, 并将夹具固定在试验机上 (图 T 1167-3)。

夹具的夹持力过大时, 可能对某些材料造成预应力, 试验时导致试样过早破损。用扭矩扳手控制试样的夹持力, 并应对每一试样施加相同的最小夹持力。

4.4 将夹具降至传热介质中。若使用干冰做冷却剂, 可以通过适时添加少量干冰保持恒温。若仪器配备的是液氮或干冰冷却系统和自动控温装置, 应遵循仪器制造商提供的设置和控温方法操作。

4.5 使用液体介质时, $3\text{min} \pm 0.5\text{min}$ 记录温度并对试样做一次冲击; 使用气体介质时, $20\text{min} \pm 0.5\text{min}$ 记录温度并对试样做一次冲击。

4.6 将夹具从试验仪器中移开, 并把每个试样都从夹具中取出, 逐个检查确定试样是否破损。破损是指试样被分成两段或更多部分, 或目测可见试样上带有裂痕。若试样没有完全分离, 可以沿着冲击所造成的弯曲方向把试样弯至 90°, 然后检查弯曲部分的裂缝。记录试样破损数目和试验温度。

试样被弯曲时的温度应高于试样被冲击时的温度。以 2℃ 或 5℃ 的温度增量增高或降低浴槽温度。重复上述步骤, 直到测出没有试样破损时的最低温度和试样全部破损时的最高温度。

4.7 在 10% ~ 90% 破损范围内进行 4 个或更多个温度点的试验 (用本方法 5.1 中给出的图解法测定 T_{50} 时, 不包含 0% 和 100% 破损时的温度点)。

5 结果计算

脆化温度 T_{50} 可用下列任一方法来测定。

5.1 图解法

在图纸上标出任一温度下试验温度与对应破损百分率的点，并通过这些点画出一条最理想的直线，如图 T 1167-6 所示。线上与 50% 破损百分率相交的点所对应的温度即为脆化温度。

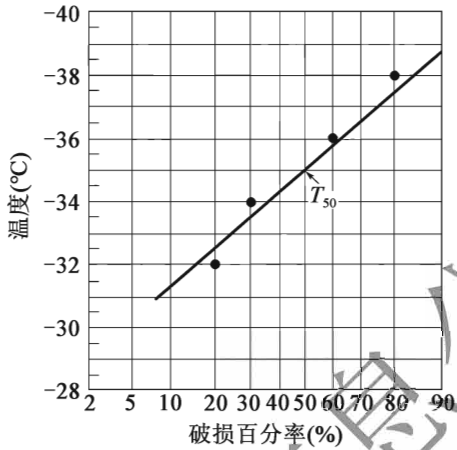


图 T 1167-6 图解法测定脆化温度 T_{50} 示例

5.2 计算法

材料的脆化温度按式 (T 1167-1) 计算：

$$T_{50} = T_h + \Delta T \left(\frac{S}{100} - \frac{1}{2} \right) \quad (\text{T 1167-1})$$

式中： T_{50} ——脆化温度 (°C)；
 T_h ——所有试样全部破损时的温度 (用正确的代数符号) (°C)；
 ΔT ——两次试验间相同的适当温度增量 (°C)；
 S ——每个温度点破损百分率的总和 (从没有发生断裂现象的温度开始下降直至包括 T_h)。把试验结果表示为一个最靠近的摄氏温度数值。
 把试验结果表示为一个最靠近的摄氏温度整数。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外，还应包含：

- (1) 试样状态调节方法，若可能包括模塑和退火后所经过的时间；
- (2) 传热介质。

条文说明

低温脆化性能是土工合成材料耐久性能的重要指标之一，其试验方法是本次修订的新增项。本方法用于测定除发泡类土工合成材料在特定冲击条件下出现脆化破损时的温度。按照试验机和试样类型的不同，分为两种方法，即使用 A 型试验机和 A 型试样的 A 法；使用 B 型试验机和 B 型试样的 B 法。本方法用于测定试样破损率为 50% 时的脆化温度。

目前国内外有关的试验方法包括《塑料 冲击法脆化温度的测定》(ISO 974:2000)、《塑料和弹性体的冲击脆性温度的标准试验方法》(ASTM D746-24)、《塑料 冲击法脆化温度的测定》(GB/T 5470—2008) 等。

破损率为在某一温度下测试足够多的试样，用统计理论来计算破损的试样占统计总量的比重，即破损率 = $\frac{\text{破损的试样个数}}{\text{统计的总个数}} \times 100\%$ 。

塑料在多种用途中需要在承受或不承受冲击条件下进行低温弯曲。加工时产生的取向，热历史、冲击时施加在材料上的力，尤其是施力速度会影响聚合物的脆性。当应用的变形条件与试验方法中规定的条件相似时，脆化温度可用于预测塑料材料的低温行为。脆化温度试验用于测量聚合物失去韧性呈玻璃状的温度。

本方法适用于测定非硬质塑料的脆化温度。考虑到塑料低温脆性破坏的统计特性，必须用足够的试样求取脆化温度。本方法是在规定试验条件下测定脆化温度，其测定值并不代表材料使用的最低温度，但本方法是相对鉴别材料低温性能的重要方法。

T 1168—2026 维卡软化温度试验

1 适用范围

本方法用于测定热塑性塑料土工合成材料的维卡软化温度。

2 仪器设备及材料

2.1 负载杆：装有负荷板，固定在刚性金属架上，能在垂直方向上自由移动，金属架底座用于支撑负载杆末端压针头下的试样，如图 T 1168-1 所示。

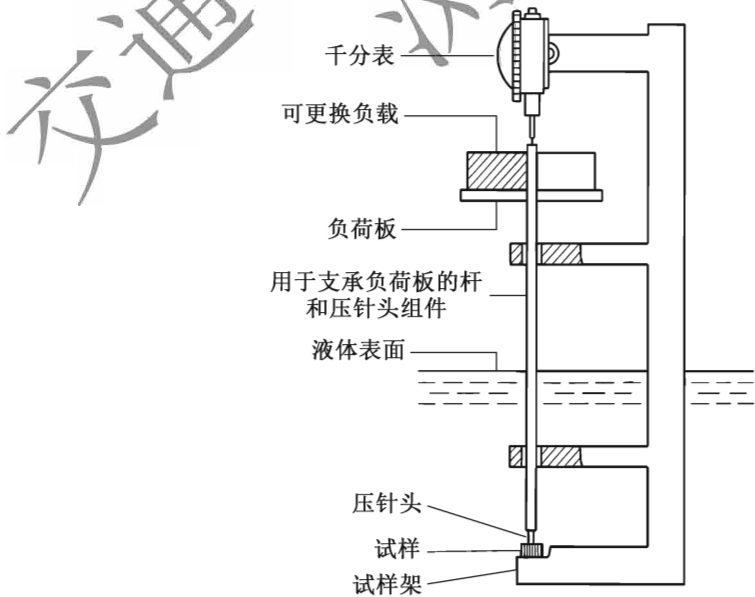


图 T 1168-1 维卡软化温度测定仪示意图

2.1.1 负载杆和金属架构件应具有相同的膨胀系数，部件长度的不同变化会引起试样表现变形读数的误差。

2.1.2 在制造、修理或更换试样架后，应在每个金属架上使用膨胀系数低且厚度与待测试样相当的刚性材料进行空白试验（石英和硼硅玻璃适合作为空白试样的材料），该试验应涵盖待测材料实际测定中的使用温度范围，并对每个温度确定一个校正项。若校正项大于或等于 0.02mm，则记录数值及代数符号，并通过代数方法将其加到刺入深度测量读数，此校正项用于每项试验中。

2.2 压针头：由硬质钢制成的长度不小于 2mm、横截面积为 $(1.000 \pm 0.015) \text{ mm}^2$ 、压针头直径 $(1.128 \pm 0.008) \text{ mm}$ 的圆柱体。固定在负载杆的底部，与试样接触的压针头的下表面应平整，垂直于负载杆的轴线，且无毛刺。

2.3 测量装置

2.3.1 刺入深度测量装置

校准过的千分表、线性可变位移传感器或其他合适的测量装置，测量压针头对试样的刺入深度，读数应可读至 0.01mm。

用千分表时，应记录千分表的推力，并能将千分表的推力记为试样所受推力的一部分。千分表弹簧力向上，应从负荷中减去；若这种力向下，应加到负荷上。整个过程中，由于千分表弹簧上所施加的力变化较大，所以应在压针头刺入试样 1.00mm 处测量。在设备校准过程中确定的向下总推力，包括负载杆、压针头，以及在测试过程中使用的测量范围内由千分表弹簧施加的向上或向下的力，不应超过 1N。

2.3.2 试样尺寸测量装置

游标卡尺或其他合适的测量装置，最小分度值为 0.01mm，符合《塑料 试样线性尺寸的测定》（GB/T 44535—2024）的规定。

2.4 配重：应使施加于试样的负荷达到 $(10 \pm 0.2) \text{ N}$ （ A_{50} 法和 A_{120} 法）或 $(50 \pm 1) \text{ N}$ （ B_{50} 法和 B_{120} 法）。

2.5 加热设备

加热设备宜为液体浴，如图 T 1168-1 所示。对于除气体（空气）之外的传热介质，试样浸入深度至少为 35mm。

应装有高效搅拌器或使传热介质流动的其他装置。若使用液体进行传热，应确定选择的液体在使用温度下是稳定的，且对试样没有影响，例如膨胀或开裂等现象。

若选择不同的加热设备导致试验结果出现差异，则应使用液体浴。

加热设备应装有温度控制器，能以 $(50 \pm 5)^\circ\text{C/h}$ 或 $(120 \pm 10)^\circ\text{C/h}$ 的速率匀速升

温, 加热速率应定期校准。若试验期间每 6min 温度变化为 $(5.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 或 $(12.0 \pm 1.0)^\circ\text{C}$, 则应认为满足加热速率的要求。

注: 加热设备采用加速冷却的方式是可取的。

可采用液体石蜡、变压器油、甘油和硅油作为液体传热介质, 也可采用其他液体。

2.6 测温装置

应使用测量范围适当的温度测量装置, 最小分度值为 0.1°C , 最大允许误差为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。应在设备使用的特定浸入深度和包含待测维卡软化点温度的范围内对温度测量装置进行校准。对于多工位加热设备, 应在每个工位配备一个单独的温度测量装置。在这种情况下, 仪器的温度传感部分距离压针头接触试样的位置不应超过 12.5mm。仪器的感温部分不应接触试样或与金属架的任何部分接触。

注: 温度测量装置的校准方法包括静态校准 (在一个或多个恒定温度下) 和动态校准 (使用恒定的加热速率)。动态校准能测量内置测温装置的温度滞后, 但需要一个具有合适动态特性的参考测温装置。

热电偶应符合《热电偶 第1部分: 电动势规范和允差》(GB/T 16839.1—2018) 和《热电偶用补偿导线合金丝》(GB/T 4990—2010) 的规定。电阻温度计应符合《工业铂热电阻及铂感温原件》(GB/T 30121—2013) 的规定。

3 试样制备

3.1 每个进行测试的样品至少取两个试样。

3.2 试样数量和尺寸

3.2.1 试样为厚 3 ~ 6.5mm、边长至少为 9.5mm 的正方形片或直径至少为 9.5mm 的圆片, 表面平整、平行、无飞边。试样应按照受试材料规定进行制备, 若没有规定, 可以使用任何适当的方法制备试样, 并保证不改变材料性能。若受试样品是模塑材料 (粉料或粒料), 应按照受试材料的有关规定模塑成厚度为 3 ~ 6.5mm 的试样。

3.2.2 对于板材, 试样厚度应等于原板材厚度, 但下述情况除外:

若试样厚度超过 6.5mm, 应根据《塑料 试样的机加工制备》(GB/T 39812—2021) 通过单面机械加工使试样厚度减小到 3 ~ 6.5mm, 并应在试样未进行机械加工的原始表面上进行试验。

若板材厚度小于 3mm, 叠合试样使其总厚度为 3 ~ 6.5mm, 且上层 (试验面) 试样

厚度至少为 1.5mm，但叠合试样数量不应超过 3 个。片材叠合后的试验结果可能与整块板材的试验结果不同。

若试样取自成型部件，应满足下列要求：

- (1) 取自待测部件的相对平坦区域，优选无纹理区域；
- (2) 叠合时试样彼此平面接触；
- (3) 样品纹理表面背向压针头。

3.3 除材料另有规定或要求外，试样应按《塑料 试样状态调节和试验的标准环境》(GB/T 2918—2018) 的规定，在温度为 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $(50 \pm 10)\%$ 的条件下放置至少 16h。若材料的维卡软化温度不受湿度影响，可忽略湿度。

4 操作步骤

4.1 将试样水平放在未加负荷的压针头下，垂直于压针头。压针头离试样边缘不得少于 3mm，与仪器底座接触的试样表面应平整。

4.2 将组合件放入加热装置中，启动搅拌器，在每项试验开始时，加热装置的温度应不超过 25°C ，若预备试验表明试样有较高的维卡软化温度且起始温度不影响测试结果，可采用其他起始温度，但起始温度至少比预计的维卡软化温度低 50°C 。

4.3 压针头处于静止位置，将足量砝码加到负荷板上，以使加载试样上的总推力，对于 A_{50} 和 A_{120} 为 $10\text{ N} \pm 0.2\text{ N}$ ，对于 B_{50} 和 B_{120} 为 $50\text{ N} \pm 1\text{ N}$ 。5min 后，记录千分表的读数（见本方法 2.3）或将仪器调零。

4.4 根据所选择的测试方法，以 $50^\circ\text{C}/\text{h} \pm 5^\circ\text{C}/\text{h}$ 或 $120^\circ\text{C}/\text{h} \pm 10^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度匀速升高温度；当使用加热浴时，试验过程中要充分搅拌加热介质。对于仲裁试验，应使用 $50^\circ\text{C}/\text{h}$ 的升温速率。对某些材料，用较高升温速率（ $120^\circ\text{C}/\text{h}$ ）时，测得的维卡软化温度值可能比 $50^\circ\text{C}/\text{h}$ 升温速率测得的维卡软化温度值高 10°C 。

4.5 当压针头从起始位置起刺入试样的深度达到 $(1.00 \pm 0.01)\text{ mm}$ 时，记下传感器测得的加热介质的温度，即为试样的维卡软化温度。

5 结果计算

若以试样维卡软化温度的算术平均值表示，则保留一位小数。若单个维卡软化温度值之间的差值超过 2°C ，报告单个维卡软化温度值，并用另一组至少 2 个试样重复试验；若单个维卡软化温度值之间的差值仍超过 2°C ，则报告第一次和第二次试验的单个维卡软化温度值。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外,还应包含:

- (1) 试验使用的方法 (A_{50} 或 A_{120} 、 B_{50} 或 B_{120});
- (2) 由一层以上试样制成的复合试样,应注明厚度和层数;
- (3) 使用的传热介质;
- (4) 状态调节和退火方法;
- (5) 材料的维卡软化温度,以 $^{\circ}\text{C}$ 表示;
- (6) 试验中及试验后试样的任何异常情况。

条文说明

维卡软化温度是热塑性塑料土工合成材料耐久性能的重要指标之一,其试验方法是本次修订的新增项。本试验原理是当匀速升温时,测定在某一种负荷条件下标准压针刺入热塑性塑料土工合成材料试样表面 1mm 深度时的温度。本方法用于测定热塑性塑料土工合成材料的维卡软化温度,根据试验条件的不同可分为四种方法,分别为: A_{50} 法使用 10N 的力,加热速率为 $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$; B_{50} 法使用 50N 的力,加热速率为 $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$; A_{120} 法使用 10N 的力,加热速率为 $120^{\circ}\text{C}/\text{h}$; B_{120} 法使用 50N 的力,加热速率为 $120^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

目前国内外有关的试验方法包括《塑料 热塑性材料 维卡软化温度 (VST) 的测定》(ISO 306: 2022)、《塑料维卡 (Vicat) 软化温度的测试方法》(ASTM D1525-25)、《塑料 热塑性塑料 维卡软化温度 (VST) 的测定》(GB/T 1633—2025) 等。

维卡软化温度是将热塑性塑料放于一种传热介质中,在一定的负荷和一定的等速升温条件下,试样被横截面积为 $(1.000 \pm 0.015) \text{ mm}^2$ 的压针头压入 1mm 时的温度。维卡软化温度是评价热塑性塑料土工合成材料耐热性能的重要指标之一。维卡软化温度虽不能直接用于评价材料的实际使用温度,但可以用来指导材料的质量控制,可以就不同的材料按照相同的测试条件进行比较。维卡软化温度越高,表明材料受热时的稳定性越好。

本方法参照采用了 ISO 306: 2022 和 GB/T 1633—2025 的相关内容,目的在于提供一种方法,用于筛选耐热性能好的热塑性塑料土工合成材料。

T 1169—2026 氧化诱导时间试验

1 适用范围

本方法用于测定聚合物材料的氧化诱导时间,适用于土工膜、土工格栅、土工格室等。

2 仪器设备及材料

2.1 试验仪器：能连续记录试样温度的差示扫描量热仪（DSC），精度为 0.1°C 。

2.2 分析天平：感量为 0.1mg 。

2.3 氧气和高纯度氮气供气及气体切换装置。

2.4 气体流量计。

3 试样制备

3.1 取样按本规程 T 1101 的规定进行，在试样上切取一个直径略小于差示扫描量热仪样品皿，即铝盘的圆柱体，然后用锋利刀具从圆柱体上切割一个重 $15\text{mg} \pm 0.5\text{mg}$ 的圆片状试样。

3.2 试样数量：每组试样数量为 5 个。

4 试验步骤

4.1 把样品盘和参比盘放入池内。

4.2 在开始热循环之前允许用氮气预吹扫 5min ，以消除池内所有的残余氧气。从室温开始以 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度加热试样（在 $50\text{mL}/\text{min} \pm 5\text{mL}/\text{min}$ 的氮气流中）至 200°C （设置点）。

4.3 当达到设置温度时，停止加热并在此温度下恒定样品 5min ，打开记录仪。

4.4 一旦恒温时间结束，立即切换至气流速度为 $50\text{mL}/\text{min} \pm 5\text{mL}/\text{min}$ 的氧气，并记录此刻时间，该氧气切换点即为试验的零时刻点。

4.5 继续恒温至出现放热最陡处之后至少 2min （图 T 1169-1），若产品指标中所要求的氧化诱导时间已到，测试者也可自行决定随时终止试验。

4.6 试验结束时，把气体选择开关切换回氮气，并冷却仪器至室温，若接着还要进行另一氧化诱导时间试验，冷却仪器池至 $60 \sim 70^{\circ}\text{C}$ ，可避免样品过早地热氧化。

4.7 在进行不同试验之前，以及做不同配方的试验之间，应在空气（或氧气）中把仪器池加热到 500°C 并保持 5min ，以消除仪器池内的污染物。

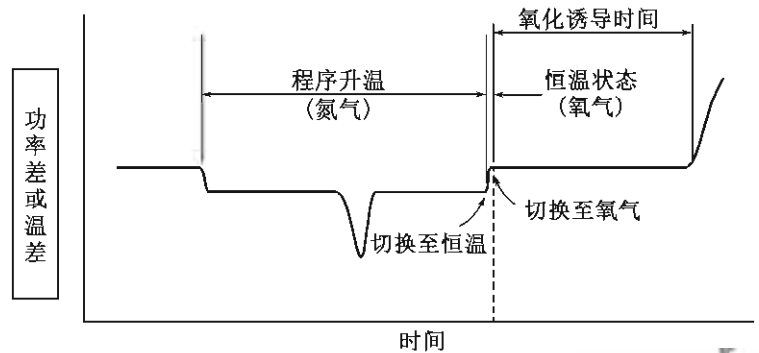


图 T 1169-1 由记录时间为基准的热曲线估算氧化诱导时间

5 结果计算

5.1 热曲线分析

Y轴上的数据为单位质量样品的热流信号，X轴为时间。X轴应尽量延伸以便分析。

5.2 延长基线到氧化放热反应以外。外推放热峰最大斜率处切线，并与基线延长线相交 (图 T 1169-2)。氧化诱导时间可由零时刻点到该点的时间间隔确定，精确至 $\pm 0.1\text{min}$ 。

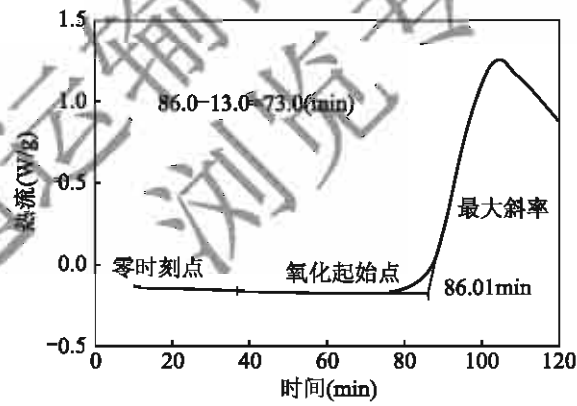


图 T 1169-2 氧化诱导时间的确定

5.3 取 5 个试验结果的算术平均值，精确至 1min。若需要，按本规程 T 1102 的规定计算标准差 σ 和变异系数 C_v 。

6 试验报告

试验报告除应包括本规程 T 1102 所列内容外，还应包含以 min 计的氧化诱导时间平均值。

条文说明

氧化诱导时间是土工合成材料耐久性能的重要指标之一，其试验方法是本次修订的新增项。本试验原理是在惰性气氛（氮气）中以一定恒定速度加热试样及参比物，当达到指定温度时，气氛切换为相同流速的氧气，之后，样品在该温度下恒温直到热曲线上显示有氧化反应发生。从氧气流开始进入的时刻到发生氧化反应的时间间隔即为诱导时间。用差示扫描量热仪（DSC）可以观察到标志着诱导期结束的试样放热突增或温度突增现象。氧化诱导时间可由恒温试验中所记录的数据确定。

目前国内外有关的试验方法包括《塑料差示扫描量热法（DSC） 第6部分：氧化诱导时间（等温 OIT）和氧化诱导温度（动态 OIT）的测定》（ISO 11357-6: 2018）、《用差示扫描量热法测聚烯烃材料氧化诱导期的标准测试方法》（ASTM D3895-19）、《塑料 差示扫描量热法（DSC） 第6部分：氧化诱导时间（等温 OIT）和氧化诱导温度（动态 OIT）的测定》（GB/T 19466.6—2009）等。

本方法参照 ASTM D3895-19 和 GB/T 19466.6—2009 的相关内容，目的在于提供一种方法，用于筛选热稳定性能好的土工合成材料。本方法的测定仅提供了一种由所试材料来评价一定结构塑料混配物热稳定性的方法，并非提供有关抗氧化剂浓度的信息。不同的抗氧化剂，氧化诱导时间或氧化诱导温度可能不同。由于抗氧化剂与配方中其他物质可能存在相互作用，即使抗氧化剂的种类和浓度相同的材料，氧化诱导时间或氧化诱导温度也会有所差异。

氧化诱导时间试验是特定组分稳定剂体系的函数，因而不能用作含有不同树脂、稳定剂、添加剂或所有这些都不相同的配方之间的比较依据。

附录 A 土工合成材料试验记录表格

表 A-1 单位面积质量试验记录表

试验依据:

样品编号		试验环境	℃	%
试样名称		试样面积		
试样规格		试验设备		
设备编号		试验日期		
序号	单位面积 (长度) 质量			
	质量 (g)	长度 (mm)	宽度 (mm)	单位面积质量 (g/m ²)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
单位面积质量平均值 (g/m ²)				
变异系数				
备注				

复核:

试验:

表 A-2 厚度试验记录表

试验依据:

样品编号				试验环境		℃		%	
试样名称				试样规格					
试验设备				设备编号					
试样长度				测点数量					
压强/压力				试验日期					
厚度 (mm)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
厚度最大值 (mm)				厚度最小值 (mm)					
厚度平均值 (mm)									
标准差									
变异系数									
备注									

复核:

试验:

表 A-3 幅宽试验记录表

试验依据：

样品编号		试验环境	℃	%
试样名称		试样规格		
试验设备		设备编号		
幅宽类型		试验日期		
长度 (m)	1			
	2			
	3			
	平均值			
幅宽 (m)	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	最小值		平均值	
变异系数				
备注				

复核：

试验：

表 A-4 尺寸试验记录表

试验依据:

样品编号					试验环境	℃	%		
试样名称					试样规格				
网孔形状					试验设备				
设备编号					试验日期				
序号	1		2		3		平均值	面积	当量孔径
	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h (mm)	A (mm ²)	D_e (mm)
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
当量孔径平均值 (mm)									
变异系数									
备注									

复核:

试验:

表 A-5 硬质泡沫塑料导热系数（防护热板法）试验记录表
试验依据：

样品编号			试验环境	℃	%
试样名称			试样规格		
网孔形状			试验设备		
设备编号			试验日期		
序号	试件厚度 (m)	加热单元计量 部分的加热功率 (W)	试件的计量 面积 (m²)	试件热面 温度 (K)	试件冷面 温度 (K)
1					
2					
3					
平均值					
硬质泡沫塑料导热系数					
备注					

复核：

试验：

表 A-6 硬质泡沫塑料导热系数（热流计法）试验记录表

试验依据：

样品编号			试验环境	℃	%
试样名称			试样规格		
网孔形状			试验设备		
设备编号			试验日期		
序号	热流计的标定系数 [W/ (m ² · V)]	热流计的输出电势 (V)	试件的厚度 (m)	试件热面 温度 (K)	试件冷面 温度 (K)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
平均值					
硬质泡沫塑料导热系数					
备注					

复核：

试验：

表 A-8 宽条/窄条拉伸试验记录表

试验依据:

样品编号	试验环境	℃	%	试样名称	试样规格	
试样描述	试验设备			设备编号	试验日期	
序号	纵向 (单向)			横向		
	拉力 (N)	强度 (kN/m)	延伸率 (%)	2%伸长率 时拉力 (N)	2%伸长率 时强度 (kN/m)	5%伸长率 时强度 (kN/m)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
平均值						
变异系数						
备注						

复核:

试验:

表 A-9 梯形撕破强度试验记录表

试验依据：

样品编号		试验环境	℃	%
试样名称		试样规格		
试验设备		设备编号		
拉伸速率		试验日期		
序号	试样尺寸		纵向	横向
	长度（mm）	宽度（mm）	拉力（N）	拉力（N）
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
平均值				
变异系数				
备注				

复核：

试验：

表 A-10 圆柱 (CBR) 顶破强度试验记录表

试验依据:

样品编号		试验环境		℃	%	
试样名称		试样规格				
试验设备		设备编号				
试样描述		试验日期				
序号	试验前夹具内侧 到顶压杆顶端边缘 的距离 (mm)	试验后夹具内侧 到顶压杆顶端边缘 的距离 (mm)	顶破位移 (mm)	变形率 (%)	CBR 顶破强度 (N)	刺破强度 (N)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
平均值						
变异系数						
备注						

复核:

试验:

表 A-11 落锥穿透试验记录表

[illegible]

复核:

试验:

表 A-12 直剪摩擦试验记录表

试验依据：

试验设备	设备编号		样品编号		试样名称	
试样规格	剪切面积 A		剪切速率		试验日期	
计算公式： $f = \tau / P$ ，其中 $\tau = F / A$						
试验序号	法向压力 P (kPa)	最大拉力 F (kN)	最大剪应力 τ (kPa)	摩擦系数 f	平均值	变异系数
1						
2						
3						
4						
备注						

复核：试验：

表 A-13 拉拔摩擦特性试验记录表

试验依据：

样品编号					试验环境		℃		%		
试样名称					试样规格						
试验设备					设备编号						
样盒尺寸					传感器系数						
试样描述					试验日期						
时间 (min)	位移 (mm)	剪切力									
		法向压力 σ_1 (kPa)		法向压力 σ_2 (kPa)		法向压力 σ_3 (kPa)		法向压力 σ_4 (kPa)			
		读数	剪应力 (kPa)	读数	剪应力 (kPa)	读数	剪应力 (kPa)	读数	剪应力 (kPa)		
摩擦系数 f											
平均值											
备注											

复核：

试验：

表 A-14 拉伸蠕变性能试验记录表

试验依据：

样品编号		试验环境	℃	%
试样名称		试样规格		
试验设备		设备编号		
加荷方式		试样名义标记长度		
试样描述		试验日期		
历时 (h)	伸长量 (mm)			
	蠕变荷载 1 (kN/m)	蠕变荷载 2 (kN/m)	蠕变荷载 3 (kN/m)	蠕变荷载 4 (kN/m)
1/60				
2/60				
5/60				
10/60				
30/60				
1				
2				
...				
备注				

复核：

试验：

表 A-15 软式透水管扁平耐压力试验记录表

试验依据：

样品编号		试验环境		℃		%	
试样名称		试样规格					
试验设备		设备编号					
试样描述		试验日期					
序号	试样长度：		试样直径：				
	压缩应变 (%)	压缩变形 (mm)	压缩强力 (N)				扁平耐压力 (kN/m)
			样品 1	样品 2	样品 3	平均值	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
平均值							
变异系数							
备注							

复核：

试验：

表 A-16 管材环刚度试验记录表

试验依据：

试验设备	设备编号	样品编号	试验日期	
样品名称	试样尺寸 (m)	压缩速率 (mm/min)	报告编号	
检测序号	3.0% 变形时的力值 F (kN)	3.0% 变形时的变形量 Y (mm)	环刚度 $S = (0.0186 + 0.025Y/d) F/LY$ (kN/m ²)	S 平均值 (kN/m ²)
1				变异系数
2				
3				
备注				

试验：

复核：

表 A-17 握持拉伸试验记录表

试验依据：

样品编号		试验环境		℃	%	
试样名称		试样规格				
试验设备		设备编号				
拉伸速率		试验日期				
序号	纵向			横向		
	拉力 (N)	伸长量 (mm)	伸长率 (%)	拉力 (N)	伸长量 (mm)	伸长率 (%)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
平均值						
变异系数						
备注						

复核：

试验：

表 A-18 塑料排水带芯带压屈强度试验记录表

试验依据：

样品编号			试验环境	℃	%
试样名称			试样规格		
试验设备			设备编号		
试样面积			试验日期		
序号	板芯厚度 (mm)	压力 (N)	压屈强度 (kPa)	压缩变形量 (mm)	压屈应变 (%)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
平均值					
变异系数					
备注					

复核：

试验：

表 A-19 硬质泡沫塑料压缩性能试验记录表

试验依据：

样品编号				试验环境	℃	%
试样名称				试样规格		
试验设备				设备编号		
试样面积				试验日期		
序号	试样初始厚度 (mm)	试样初始 截面面积 (mm ²)	相对形变≤10%时 屈服或破坏所对应的载荷 (N)	压缩强度 (kPa)	相对形变 (%)	压缩弹性模量 (kPa)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
平均值						
变异系数						
备注						

复核：

试验：

表 A-20 垂直渗透性能试验（恒水头法）试验记录表

试验依据：

试验仪器	仪器编号	样品编号	样品名称	样品规格	试验日期	
过水面积 A (cm^2)	试样厚度 L (cm)	试验水温 ($^{\circ}\text{C}$)	温度修正 系数 R_T	样品测前 状态	样品测后 状态	
试样序号	水力梯度 1			水力梯度 2		
	测压管读数 (cm)	历时 t (s)	测压管读数 (cm)	渗水量 W (cm^3)	历时 t (s)	k_{20} 平均值 (cm/s)
试样 1	$h_1 =$		$h_1 =$			
	$h_2 =$		$h_2 =$			
试样 2	$h_1 =$		$h_1 =$			
	$h_2 =$		$h_2 =$			
试样 3	$h_1 =$		$h_1 =$			
	$h_2 =$		$h_2 =$			
试样 4	$h_1 =$		$h_1 =$			
	$h_2 =$		$h_2 =$			
试样 5	$h_1 =$		$h_1 =$			
	$h_2 =$		$h_2 =$			
备注						

复核：

试验：

表 A-21 耐静水压试验记录表

试验依据：

试验设备	仪器编号	样品名称		
样品规格	样品编号	试验方法		
样品状态	试验环境	℃	%	试验日期
序号	加压值 (MPa)	渗流量 (cm ³ /h)	耐静水压值 (MPa)	平均值 (MPa)
备注				

复核：试验：

表 A-22 塑料排水带通水量试验记录表

试验依据:

样品编号			试验环境	℃	%
试样名称			试样规格		
试验设备			设备编号		
试样描述			试验日期		
侧压力:	试样长度:		水位差:		
测量时间	渗水情况		样品 1	样品 2	
	渗水量 (cm ³)	历时 (s)			
	通水量 (cm ³)				
	渗水量 (cm ³)	历时 (s)			
	通水量 (cm ³)				
	渗水量 (cm ³)	历时 (s)			
	通水量 (cm ³)				
	渗水量 (cm ³)	历时 (s)			
	通水量 (cm ³)				
	渗水量 (cm ³)	历时 (s)			
	通水量 (cm ³)				
	渗水量 (cm ³)	历时 (s)			
	通水量 (cm ³)				
备注					

复核:

试验:

表 A-23 等效孔径试验（干筛法）试验记录表

试验依据：

试验仪器	仪器编号	样品名称	样品规格	试验日期	
试样尺寸 ϕ (mm)	粒料	投放量 (g)	试验环境	℃	%
检验序号	使用粒径 (mm)	过筛量 (g)	平均过筛量 (g)	平均过筛百分比 (%)	O_{90} (O_{95}) (mm)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

复核：

试验：

表 A-24 淤堵试验记录表

试验依据：

试验仪器	仪器编号	样品编号	样品名称	样品规格	试验日期	土样情况	含土量计算
试样面积 A (cm^2)	试样厚度 δ (cm)	试样高度 (cm)	渗径长 L_1 (cm)	渗径长 L_2 (cm)	测压管水位 (cm)	时间 (min)	梯度比 GR
序号	时间 (min)	1号	2号	4号	$H_{1,2}$	$H_{2,4}$	含土量计算
1							$m_0 = \text{g}$
2							
3							$m_1 = \text{g}$
4							
5							
6							
7							
8							$\mu = (\text{g}/\text{cm}^3)$
9							
10							
11							
12							

试验：

复核：

表 A-26 炭黑含量试验记录表

试验依据：

试验设备 1		仪器编号 1		样品名称			
试验设备 2		仪器编号 2		样品规格			
样品编号		试验环境		℃	%	样品状态	
热解温度 (℃)		煅烧温度 (℃)				试验日期	
序号	样品舟质量 m_0 (g)	试样质量 m_1 (g)	样品舟和试样 热解后的质量 m_2 (g)	样品舟和试样 煅烧后的质量 m_3 (g)	炭黑含量 $C = (m_2 - m_3) / m_1$ (%)	灰分含量 $C_1 = (m_3 - m_0) / m_1$ (%)	平均值 (%)
1							
2							
3							
备注							

复核：

试验：

表 A-27 炭黑分散试验记录表

试验依据：

试验设备	仪器编号		样品名称	
温度 (℃)	湿度 (%)		试验日期	
样品编号	检测序号	直径 (μm)	面积 (μm²)	等级
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
合计	一级_____个, 二级_____个, 三级_____个, 四级_____个, 五级_____个			
备注				

复核：

试验：

表 A-28 低温脆化试验记录表

试验依据：

试验仪器	仪器编号	试样尺寸 (mm × mm × mm)	试验情况 (注：样品破损用“×”表示、样品通过用“√”表示)										样品规格	脆化温度 T_{50}
样品编号	试验速度	传热介质	℃										试验日期	
序号	浴槽温度 (℃)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	破损数	通过数	
备注														

复核：试验：

表 A-29 维卡软化温度试验记录表

试验依据：

试验设备	仪器编号			样品名称	
样品规格	样品编号			试验方法	
升温速度	试验环境	℃	%	样品状态	
传热介质	起始温度	试验日期			
序号	试样厚度 (mm)	油浴温度 (℃)	压针头刺入深度 (mm)	试样软化温度 (℃)	试样软化温度平均值 (℃)
备注					

复核：试验：

表 A-30 氧化诱导时间试验记录表

试验依据：

检测设备		仪器编号		试验日期		报告编号	
氮气流速 (mL/min)		氧气流速 (mL/min)		氧化诱导时间 (min)		平均值 (min)	
样品编号	样品名称	检测序号	试验温度 (°C)	试样质量 (mg)	报告编号		
		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
备注							

试验：

复核：