



中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路工程土工合成材料力学性能各向异性 试验规程

Test code for Anisotropy of Mechanical Properties of Geosynthetic
Materials for Highway Engineering

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction
Standardization

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction

Standardization

公路工程土工合成材料力学性能各向异性
试验规程

Test code for Anisotropy of Mechanical Properties of Geosynthetic
Materials for Highway Engineering

主编单位：山西省交通科技研发有限公司

发布机构：中国工程建设标准化协会

施行日期：20xx 年 xx 月 xx 日

人民交通出版社股份有限公司

XX 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会“关于开展 2021 年第一批中国工程建设标准化协会标准(CECS G)制修订项目编制工作的通知(中建标公路【2021】88 号)”的要求,由山西省交通科技研发有限公司承担《公路工程土工合成材料力学性能各向异性试验规程》(以下简称“本规程”)的制订工作。

编写组针对目前在设计分析和施工过程中,加筋土结构均基于土工合成材料受力方向确定或各向同性假设,现行土工合成材料力学性能试验规程得到的强度指标无法真实反映筋材实际受力状况的问题,规范和总结公路工程土工合成材料力学性能各向异性的技术成果,制订我国公路工程土工合成材料力学性能各向异性试验规程。

本规程分为 5 章,主要内容包括总则、规范性引用文件、术语与符号、基本规定、试验方法。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理,由山西省交通科技研发有限公司负责具体技术内容的解释,在执行过程中如有意见或建议,请函告本规程日常管理组,中国工程建设标准化协会公路分会(地址:北京市海淀区西土城路 8 号;邮编:100088;电话:010-62079839;传真:010-62079983;电子邮箱:shc@rioh.cn),或山西省交通科技研发有限公司(地址:山西省太原市小店区武洛街 27 号,邮政编码:030032,电子邮箱:sxjtkjyfkgb@163.com)以便修订时参考。

主编单位: 山西省交通科技研发有限公司

参编单位: 武汉大学

太原理工大学

山西路桥建设集团有限公司

东南大学

坦萨土工合成材料(中国)有限公司

中北大学

主 编：张军

主要参编人员：郑烨炜、赵紫阳、孙志杰、苗晨曦、张青江、谢明星、庄妍、
何波、董彦莉、贾亚飞、郗宁

主 审：刘怡林

参与审查人员：

目 录

1 总则	1
2 术语与符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	2
3 试样制备与数据处理	4
3.1 适用范围	4
3.2 取样与试样准备	4
3.3 试验数据整理与计算	6
4 各向异性宽条拉伸试验	8
4.1 适用范围	8
4.2 定义	8
4.3 仪器设备及材料	9
4.4 试样制备	9
4.5 试验步骤	10
4.6 结果计算	11
4.7 试验报告	12
5 各向异性直剪摩擦特性试验	13
5.1 适用范围	13
5.2 定义	13
5.3 仪器设备及材料	14
5.4 试样制备	16
5.5 试验步骤	16
5.6 结果计算	18
6 各向异性拉拔摩擦特性试验	19
6.1 适用范围	19

6.2 定义	19
6.3 仪器设备及材料	20
6.4 试件制备	20
6.5 试验步骤	20
6.6 结果计算	22
6.7 试验报告	22
7 各向异性拉伸蠕变与拉伸蠕变断裂性能试验	23
7.1 适用范围	23
7.2 定义	23
7.3 仪器设备及材料	24
7.4 试样制备	25
7.5 试验步骤	26
7.6 试验报告	27
附录 1 各向异性拉伸试验记录表	28
附录 2 各向异性直剪试验记录表	29
附录 3 各向异性拉拔试验记录表	30
附录 4 各向异性拉伸蠕变与拉伸蠕变断裂性能试验	31

1 总则

1.0.1 本规程规定了考虑土工合成材料各向异性的力学性能试验技术要求，包括各向异性宽条拉伸试验、各向异性直剪摩擦特性试验、各向异性拉拔摩擦特性试验及各向异性拉伸蠕变与拉伸蠕变断裂性能试验要求。

1.0.2 本规程适用于公路工程所应用的双向土工格栅的力学性能各向异性试验要求。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 双向土工格栅 biaxial geogrid

由二维网格状抗拉条带形成的用于加筋的土工合成材料。

2.1.2 各向异性 anisotropy

土工合成材料在不同方向自身、筋-土界面力学行为不同的现象定义为土工合成材料力学行为各向异性。

2.1.3 包络图 envelope diagram

各个试验方向土工合成材料的力学参数连接而成的曲线成为包络图。

2.1.4 拉伸强度 tensile strength

试验中试样被拉伸直至断裂时每单位宽度的最大拉力。

2.1.5 伸长率 elongation

对应于最大拉力时的应变变量，以百分率表示。

2.2 符号

为简化本规程的文字或标识，对采用的符号进一步明确和汇总。

表 2.2.1 符号

符号	名称
α_f	拉伸强度
ε	伸长率

$f_{g(\delta)}$	摩擦比
f	摩擦系数
τ	剪应力
$\overline{X}$	平均值
σ	标准差
C_v	变异系数

3 试样制备与数据处理

3.1 适用范围

3.1.1 本规程适用于双向土工格栅的各向异性宽条拉伸试验、各向异性直剪摩擦特性试验、各向异性拉拔摩擦特性试验及各向异性拉伸蠕变与拉伸蠕变断裂性能试验。

3.2 取样与试样准备

本方法进行了修订，取样时分别取 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 和 90° 等双向土工格栅不同方向的试样。

3.2.1 适用范围

规定了卷装双向土工格栅的取样方法与试样准备方法。

3.2.2 取样程序

(1) 取卷装样品

- 1) 取样的卷装数按相关文件规定。
- 2) 所选卷装双向土工格栅应无破损，卷装呈原封不动状。

(2) 裁取样品

- 1) 全部试验的试样应在同一样品中裁取。
- 2) 卷装双向土工格栅的头两层不应取作样品。
- 3) 取样时应尽量避免污渍、折痕、孔洞或其他损伤部分，否则要加放足够数量。

(3) 样品的标记

- 1) 样品上应标明下列内容：
 - ① 商标、生产商、供应商；
 - ② 型号；
 - ③ 取样日期；
 - ④ 要加标记表示样品的卷装长度方向。
- 2) 当样品两面有显著差异时，在样品上加注标记，标明卷装双向土工格栅的正面或反面。

- 3) 如果暂不制备试样, 应将样品保存在洁净、干燥、阴凉避光处, 并且避开化学物品侵蚀和机械损伤。样品可以卷起, 但不能折叠。

3.2.3 试样准备

(1) 用于每次试验的试样, 应从样品长度和宽度方向上均匀地裁取, 但距样品幅边至少 10cm, 分别取 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 和 90° 等不同方向的试样, 并标记取样方向。

(2) 试样不应包含影响试验结果的任何缺陷。

(3) 对同一项试验, 应避免两个以上的试样处在相同的 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 和 90° 位置上。

(4) 试样应沿着卷装长度和宽度方向切割, 需要时标出卷装的长度方向。除试验有其他要求, 样品上的标志必须标到试样上。

(5) 样品经调湿后, 再制成规定尺寸的试样。

(6) 在切割双向土工格栅时可制定相应的切割方案。

(7) 如果制样造成材料破碎, 发生损伤, 可能影响试验结果, 则将所有脱落的碎片和试样放到一起, 用于备查。

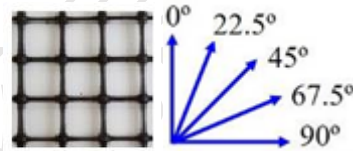


图 3.2.3 双向土工格栅取样示意图

3.2.4 调湿和状态调节

(1) 双向土工格栅

按 GB/T 2918 标准中第 6 条规定, 在温度 $23^\circ\text{C}\pm 2^\circ\text{C}$ 的环境下, 进行状态调节, 时间不少于 4h。

(2) 如果确认试样不受环境影响, 则可省去调湿和状态调节的处理程序, 但应在记录中注明试验时的温度和湿度。

3.2.5 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- (1) 试样的制取与准备方法;

(2) 试样选择、制取、准备过程中观察到的详细情况，和做同一试验时在纵向和横向位置上的取样情况；

(3) 任何与取样程序规定不符的详情；

(4) 制样的日期，所选卷的来源；

(5) 样品的名称、规格、供应商、生产商和型号。

条文说明

取样与试样准备的不同，直接影响试验的最终结果。统一取样和试样准备的方法，是各项试验应共同遵守的基本原则，也是减少争议的必要手段，考虑了双向土工格栅的各向异性，修订了原有“取样与试样准备”方法，采取 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 和 90° 等不同方向的双向土工格栅试样取样方法。本方法中的取样方法与试样准备方法适用于所有类型的卷装双向土工格栅。

3.3 试验数据整理与计算

3.3.1 适用范围

(1) 本方法规定了双向土工格栅各向异性试验的数据整理和计算。

(2) 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。

(3) 给出了异常试验数据的取舍原则。

(4) 本方法内容适用于所有双向土工格栅各向异性试验，是后面各项试验均应遵守的共同规定。

3.3.2 算术平均值

算术平均值 $\bar{X}$ 按下式计算：

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3.1)$$

式中：n——试样个数；

X_i ——第 i 块试样的试验值；

$\bar{X}$ ——n 块试样值的算术平均值。

3.3.3 标准差

标准差 σ 按以下公式计算：

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n - 1)} \quad (3.2)$$

式中符号意义同式 (4.1)。

3.3.4 变异系数

变异系数 C_v 按以下公式计算：

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% \quad (3.3)$$

式中符号意义同式 (3.1)、式 (3.2)。

3.3.5 试验数据取舍

试验异常数据的取舍，应按各章节的具体规定进行。如没有明确规定，可按 K 倍标准差作为取舍标准，即舍去那些在 $\bar{X} \pm K\sigma$ 范围以外的测定值。试件数量不同， K 值不同。 K 值按表 3.3.5 选用。

表 3.3.5 统计量的临界值

试件数量	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
K	1.15	1.46	1.67	1.82	1.94	2.03	2.11	2.18	2.23	2.28	2.33	2.37

条文说明

本方法未做修订，只是在条文的编排和文字内容上进行了编辑性修改，是后面各项试验均应遵守的共同规定。

4 各向异性宽条拉伸试验

4.1 适用范围

(1) 本方法规定了用宽条试样测定双向土工格栅各向异性拉伸力学性能的试验方法。

(2) 本方法适用于双向土工格栅。

(3) 本方法包括测定调湿和浸湿两种试样拉伸性能的程序，包括单位宽度的最大负荷和最大负荷下的伸长率以及特定伸长率下的拉伸力的测定。

4.2 定义

(1) 名义夹持长度

1) 用伸长计测量时的名义夹持长度：在试样的受力方向上，标记的两个参考点间的初始距离，一般为 60mm（两边距试样对称中心为 30mm），记为 L_0 。

2) 用夹具的位移测量时的名义夹持长度：初始夹具间距，一般为 100mm，记为 L_0 。

(2) 隔距长度：试验机上下两夹持器之间的距离，当用夹具的位移测量时，隔距长度即为名义夹持长度。

(3) 预负荷伸长：在相当于最大负荷 1% 的外加负荷下，所测的夹持长度的增加值，以 mm 表示（见图 4.2.1 中的 L'_0 ）。

(4) 实际夹持长度：名义夹持长度加上预负荷伸长（预加张力夹持时）。

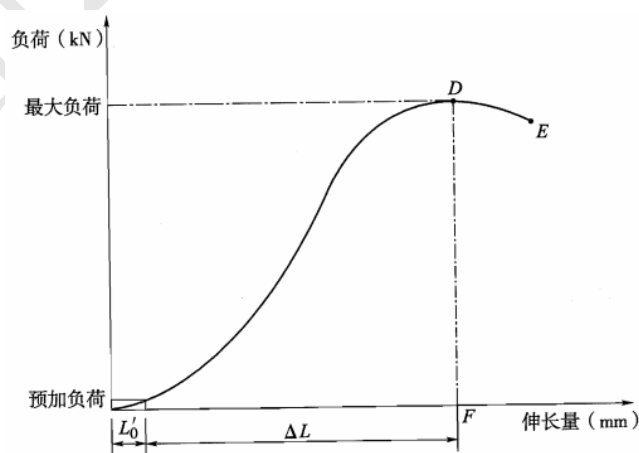


图 4.2.1 松式夹持试样的负荷-伸长曲线图

(5) 最大负荷：试验中所得到的最大拉伸力，以 kN 表示（见图 4.2.1 中的 D 点）。

(6) 伸长率：试验中试样实际夹持长度的增加与实际夹持长度的比值，以%表示。

(7) 最大负荷下伸长率：在最大负荷下试样所显示的伸长率，以%表示。

(8) 特定伸长率下的拉伸力：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。

(9) 拉伸强度：试验中试样拉伸直至断裂时每单位宽度的最大拉力，以 kN/m 表示。

4.3 仪器设备及材料

(1) 拉伸试验机：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) 夹具：钳口表面应有足够宽度，至少应与试样 200mm 同宽，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。

(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程。伸长计包括力学、光学或电子形式的。伸长计的精度应不超过 $\pm 1\text{mm}$ 。

(4) 蒸馏水：仅用于浸湿试样，见 GB/T 6682。

(5) 非离子润湿剂：仅用于浸湿试样。

4.4 试样制备

(1) 取样：按本规程 3.2 的规定取样。

(2) 试样数量：每个被测试方向取 5 块试样，试样 45°对称时取样 15 个（0°、22.5°、45°方向各取样 5 个），试样 90°对称时取样 25 个（0°、22.5°、45°、67.5°、90°方向各取样 5 个）。

(3) 试样尺寸

1) 每个双向土工格栅试样至少为 200mm 宽，并具有足够长度。试样的夹持线在节点处，除被夹钳夹持住的节点或交叉组织外，还应包含至少 1 排节点或交叉组织；对于横向节距大于或等于 75mm 的产品，其宽度方向上应包含至少两个

完整的抗拉单元。

如使用伸长计，标记点应标在试样的中排抗拉肋条的中心线上，两个标记点之间应至少间隔 60mm，并至少含有 1 个节点或 1 个交叉组织。

2) 当需要测定湿态最大负荷和干态最大负荷时，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负荷，另一块用于测定湿态最大负荷。

(4) 试样调湿和状态调节

1) 双向土工格栅试样状态调节按本规程 3.2.4 的第 (1) 条规定进行。

2) 如确认试样不受环境影响，则可不进行调湿和状态调节，但应在报告中注明试验时的温度和湿度。

4.5 试验步骤

(1) 拉伸试验机的设定

双向土工格栅按本方法 4.4 第 (3) 条规定进行。选择试验机的负荷量程，使断裂强力在满量程负荷的 30%~90% 之间。设定试验机的拉伸速度，使试样的拉伸速率为名义夹持长度的 $(20\% \pm 1\%) / \text{min}$ 。

如使用绞盘夹具，在试验前应使绞盘中心间距保持最小，并且在试验报告中注明使用了绞盘夹具。

(2) 夹持试样

将试样在夹具中对中夹持，注意双向土工格栅试样的测试方向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地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。

(3) 试样预张

对已夹持好的试件进行预张，预张力相当于最大负荷的 1%，记录因预张试样产生的夹持长度的增加值 L'_0 。

(4) 使用伸长计时

在试样上相距 60mm 处分别设定标记点（分别距试样中心 30mm），并安装伸长计，注意不能对试样有任何损伤，并确保试验中标记点无滑移。

(5) 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。记录最大荷载，精确至满量程的 0.2%；记录最大荷载下的伸长量 ΔL ，精确到小数点后一位。

如试样在距钳口 5mm 范围内断裂，结果应予剔除；每个方向至少试验 5 块有效试样。如试样在夹具中滑移，或者多于 1/4 的试样在钳口附近 5mm 范围内断裂，可采取下列措施：

- 1) 夹具内加衬垫；
- 2) 对夹在钳口内的试样加以涂层；
- 3) 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。

(6) 选用不同取样方向的试样，重复 (1) ~ (5) 步骤进行不同方向的拉伸试验，其中操作步骤 (2) 时，注意使试样的取样方向与拉伸力的方向平行。

(7) 判断试样是 90°对称还是 45°对称；若是 90°对称，则完成试样分别在 0°、22.5°、45°、67.5°以及 90°时的拉伸试验。若是 45°对称，则完成试样分别在 0°、22.5°、45°时的拉伸试验。

(8) 绘制各个方向双向土工格栅试样的拉伸强度和最大荷载下的伸长率包络图。

4.6 结果计算

(1) 拉伸强度

使用公式 (4.1) 计算每个试样在不同测试方向上的拉伸强度：

$$\alpha_f = F_f C \quad (4.1)$$

式中： α_f ——拉伸强度 (kN/m)；

F_f ——最大荷载 (kN)；

C ——由式 (4.2) 求出；

$$C = N_m / N_s \quad (4.2)$$

N_m ——试样 1m 宽度内的拉伸单元数；

N_s ——试样内的拉伸单元数。

(2) 最大负荷下的伸长率 (见图 4.2.1)

使用公式 (4.3) 计算每个试样的伸长率:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0 + L'_0} \times 100 \quad (4.3)$$

式中: ε ——伸长率 (%);

L_0 ——名义夹持长度 (使用夹具时为100mm, 使用伸长计时为60mm);

L'_0 ——预负荷伸长量 (mm);

ΔL ——最大负荷下的伸长量 (mm)。

(3) 特定伸长率下的拉伸力

计算每个试样不同测试方向上特定伸长率下的拉伸力, 用公式 (4.4) 计算, 用 kN/m 表示。例如, 伸长率 2%时的拉伸力:

$$F_{2\%} = f_{2\%} C \quad (4.4)$$

式中: $F_{2\%}$ ——对应 2%伸长率时每延米拉伸力 (kN/m);

$f_{2\%}$ ——对应 2%伸长率时试样的测定负荷 (kN);

C ——由式 (4.2) 求出。

(4) 平均值和变异系数

1) 按本规程 3.3 的规定分别对 0°、22.5°、45°、67.5°和 90°不同测试方向试样的拉伸强度、最大负荷下伸长率及特定伸长率下的拉伸力计算平均值和变异系数, 拉伸强度和特定伸长率下的拉伸力精确至 3 位有效数字, 最大负荷下伸长率精确至 0.1%, 变异系数精确至 0.1%。

2) 每组有效试样为 5 块。

4.7 试验报告

试验结果记录表见附录 1, 试验报告应包括以下内容:

- (1) 试样名称、规格;
- (2) 试样状态, 湿样或干样;
- (3) 每个方向的试样数量;
- (4) 每个方向的拉伸强度;
- (5) 每个方向最大负荷下的伸长率;

- (6) 如果需要, 分别计算出与 2%、5%和 10%的伸长率相对应的拉伸力;
- (7) 测定值的标准偏差或变异系数;
- (8) 试验机的型号;
- (9) 夹具型式, 包括夹具尺寸、钳口表面型式、变形测量系统和初始夹具隔距;
- (10) 如果需要, 给出典型的负荷伸长曲线;
- (11) 任何偏离规定程序的详细说明。

条文说明

本次修订对原有宽条拉伸试验中只要求对纵向和横向两组试样进行试验修订为对 0°、22.5°、45°、67.5°和 90°不同方向试样进行拉伸试验, 充分考虑双向土工格栅在不同方向上存在力学性能各向异性的情况。

5 各向异性直剪摩擦特性试验

5.1 适用范围

(1) 本方法规定了使用直剪仪和标准砂土测定双向土工格栅各向异性摩擦特性的试验方法。

(2) 本方法适用于双向土工格栅, 当使用刚性基座试验土工格栅时, 摩擦结果应进行校正。

5.2 定义

(1) 相对位移 (ΔL)

剪切试验中试样与砂土之间的位移 (mm)。

(2) 法向力 (P)

对试样施加的恒定垂直力 (kN)。

(3) 剪切力 (T)

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)

单位面积的法向力 (kPa)。

(5) 剪应力 (τ)

砂土/双向土工格栅摩擦试验中单位面积的剪切力 (kPa)。

(6) 最大剪应力 (τ_{max})

位移量在剪切面长度的 0~16.59%范围内, 沿砂土/双向土工格栅界面产生的最大剪切力(kPa)。

(7) 摩擦角 (φ_{sq})

双向土工格栅和土之间的摩擦角,为最大剪应力对法向应力关系图中各点的“最佳拟合直线”的斜率($^{\circ}$)。

(8) 表观粘聚力 (C_{sq})

双向土工格栅与土之间的抱合力,为最佳拟合直线上法向应力等于 0 时的剪应力 (kPa)。

(9) 砂土最大剪应力 ($\tau_{s, max}$)

砂土（在一定法向压力下）的最大剪应力（kPa）。

(10) 砂土/基座最大剪应力 ($\tau_{sup, max}$)

砂土/试样基座剪切试验中的最大剪应力 (kPa)。

(11) 摩擦比 ($f_{g(\delta)}$)

在相同的法向应力下，砂土/双向土工格栅间最大剪应力 τ_{max} 与砂土最大剪应力 $\tau_{s,max}$ 之比。

5.3 仪器设备材料

(1) 直剪仪：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，分别见图 5.3.1 和图 5.3.2。

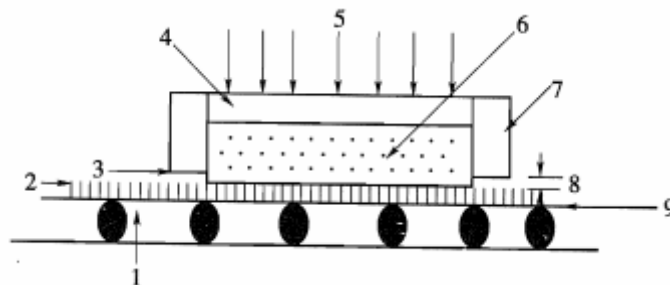


图 5.3.1 接触面积不变直剪仪示意图

1-刚性滑板; 2-土工格栅试样; 3-水平反作用; 4-法向力加载系统;

5-法向力；6-标准砂土；7-刚性剪切盒；8-最大 0.5mm 隔距；9-水平力

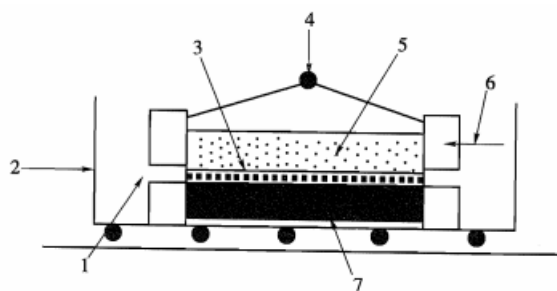


图 5.3.2 接触面积递减直剪仪示意图

1-标准剪切盒；2-水平力；3-土工格栅试样；4-法向力；

5-标准砂土；6-水平反作用；7-试样刚性基座

1) 剪切盒

① 有接触面积不变的剪切盒：剪切盒应具有足够的刚性，在承受负荷时不发生变形，盒内部尺寸不小于 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ ，盒厚至少应为盒长的 50%，以便能容纳砂土层和加压系统。剪切盒下部为刚性滑板，滑板的长度至少为剪切盒长度加上试样尺寸的 16.5%，以确保在相对剪切位移达 16.5% 时试样和砂土之间完全解除。

② 接触面积递减的剪切盒：上下剪切盒大小相等，尺寸至少为 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 。

2) 刚性滑板

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

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，位移速率为 $1\text{mm/min} \pm 0.2\text{mm/min}$ 。

4) 法向力加载装置

能均匀地对剪切面施加法向力，在下剪切盒恒速位移过程中法向力始终保持垂直，精度为 2%。

5) 测定剪切力和相对位移的装置

剪切力测量装置的测量精度为 0.5%。

相对位移测量装置的测量精度为 0.02mm。

注：1.仪器的设计应考虑砂土膨胀，确保剪切盒上下部分之间的间隙等于试样厚度加 0.5mm。

2.填土及压密时上剪切盒与试样之间应装配密封条，以避免土粒堵塞上剪切盒和土工格栅之间的间隙。

(2) 试验基座

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。

(3) 标准砂土

与试样接触的砂土应为标准细颗粒砂土。其粒径级配见表 5.3.1。

表 5.3.1 标准砂土规格

筛网孔径 (mm)	筛余量 (%)	筛网孔径 (mm)	筛余量 (%)
2.00	0	0.50	67±5
1.60	7±5	0.16	87±5
1.00	33±5	0.08	99±5

如果观察到细砂在试验中有流失，砂土级配必须重新校正。

可以对砂土加水以避免砂粒分离，但含水率不得超过 2%。应使用标准土样直剪仪测量砂土在不同法向压力下的最大剪应力及内摩擦角。

5.4 试样制备

(1) 取样：按本规程 3.2 的规定取样。

(2) 试样数量和尺寸：每种样品，每个被测试方向取 4 块试样，试样 45°对称时取样 12 个（0°、22.5°、45°方向各取样 4 个），试样 90°对称时取样 20 个（0°、22.5°、45°、67.5°、90°方向各取样 4 个）。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。如果样品两面不同，两面都应试验，每面试验 4 块试样。

(3) 试样调湿和状态调节：按本规程 3.2 中的第 3.2.4 条规定进行。

5.5 试验步骤

(1) 将试样平铺在位于剪切盒下边部分内的刚性水平基座上，使测试方向与水平力方向平行，前端夹持在剪切区的前面。试样与基座之间用胶粘合（如使

用 P80 氧化铝标准摩擦基座可不粘合)。粘合后试样应平整、没有折叠和褶皱。试验中试样和基座之间不允许产生相对位移。

注：对于大孔径（大于 15mm）、高孔隙率（孔隙面积大于试样总面积的 50%）的土工格栅，也可选用砂土基座（将下剪切盒用标准砂土填充至规定密度）。当选用刚性板作为高孔隙率土工格栅的基座时，必须进行砂土和基座之间的摩擦试验，求出与每个法向应力相对应的最大剪应力（ $\tau_{\text{sup, max}}$ ）。

（2）安装上剪切盒：用预先称准质量的标准砂土填充上剪切盒，装填厚度 50mm。砂土厚度应均匀，压密后的干密度为 1750kg/m^3 。

（3）安装水平力加载仪、位移测量仪（传感器或刻度表），并对试样施加 50kPa 的法向压力。

（4）施加水平荷载，使上下剪切盒之间作速率为 $1\text{mm/min} \pm 0.2\text{mm/min}$ 的相对位移。连续或间隔测量剪切力 T ，同时记录对应的相对位移 ΔL ，间隔时间为 12s，开始时也可视情况加密，直至达到剪切面长度的 16.5% 时结束试验。

（5）卸下试样，仔细地除去被测试样上的标准砂，检查和记录试样是否发生伸长、褶皱或破坏。

（6）重复（1）~（5）步骤，在 100kPa、150kPa 和 200kPa 法向应力下再各试验一块试样。

（7）如需要，试验样品的另一方向或另一面。

（8）选用不同取样方向的试样，重复（1）~（7）步骤进行不同测试方向的直剪试验，其中操作步骤（1）时，注意使试样的测试方向与水平力方向平行。

（9）判断试样是 90° 对称还是 45° 对称；若是 90° 对称，则完成试样分别在 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 以及 90° 时的直剪试验。若是 45° 对称，则完成试样分别在 0° 、 22.5° 、 45° 时的直剪试验。

注：1. 应测定所用直剪仪的固有内阻。当固有内阻与剪切力相比不可忽略时，在进行数据处理时，应先从剪切力测量值中减去固有内阻对测量结果进行修正，再用修正后的结果进行计算。

2. 固有内阻测定方法：组装直剪仪，不放标准砂土、不加法向力，测定剪切盒以 $1\text{mm/min} \pm 0.2\text{mm/min}$ 速率移动 50mm 过程中的最大剪切力，即为直剪仪固有内阻。

5.6 结果计算

(1) 使用式 (5.1) 计算每块试样的法向应力:

$$\sigma = P/A \quad (5.1)$$

式中: σ ——法向应力 (kPa);

P ——法向力 (kN);

A ——接触面积 (m^2)。

(2) 使用式 (5.2) 计算每块试样剪应力:

$$\tau = T/A \quad (5.2)$$

式中: τ ——剪应力 (kPa);

T ——剪切力 (kN);

A ——试样接触面积 (m^2)。

如果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。

(3) 根据各直剪方向剪应力和对应的相对位移作图, 求取每块试样各直剪方向的最大剪应力。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, 取位移量为剪切面积长度的 10% 时的剪应力作为最大剪应力。

(4) 对于所有试样, 根据各直剪方向最大剪应力和对应的法向应力作图, 通过各点作出最佳拟合直线, 直线与法向压力轴之间的夹角即为土工格栅和砂土的摩擦角 φ_{sg} , 最大剪应力轴上的截距为土工格栅和砂土的表观粘聚力 C_{sg} 。当试样是 90° 对称时, 各直剪方向分别是 0°、22.5°、45°、67.5° 以及 90°; 当试样是 45° 对称时, 所述各直剪方向分别是 0°、22.5° 以及 45°。

(5) 绘制试样与所填筑的试验土样之间摩擦角和表观粘聚力包络图。

条文说明

土工格栅与土石料之间的摩擦特性是工程结构稳定性必须考虑的因素。摩擦特性中的直剪试验是使用直剪仪和标准砂土对土工格栅进行直接剪切试验, 以模拟它们之间的作用过程, 评价土工格栅的摩擦特性。

本次修订通过设置直剪试验中土工格栅试样的测试方向与水平力方向平行, 实现了土工

格栅试样与试验土样的任意角度直剪试验。

6 各向异性拉拔摩擦特性试验

6.1 适用范围

(1) 本方法规定了测定双向土工格栅与周围土体各向异性拉拔摩擦阻力的试验方法。

(2) 本方法适用于双向土工格栅。

6.2 定义

(1) 拉拔位移 (ΔL)

拉拔试验中试样与砂土之间的位移 (mm)。

(2) 法向力 (P)

对试样施加的恒定垂直力 (kN)。

(3) 剪切力 (T)

恒速位移条件下, 试验中测得的水平力 (kN)。

(4) 法向应力 (σ)

单位面积的法向力 (kPa)。

(5) 剪应力 (τ)

土与双向土工格栅拉拔试验中单位面积的剪切力 (kPa)。

(6) 拉拔摩擦系数 (f)

土与双向土工格栅在拉拔试验中测得的剪应力与法向应力的比值。

(7) 摩擦角 (φ)

双向土工格栅和土之间的摩擦角, 为最大剪应力对法向应力关系图中各点的“最佳拟合直线”的斜率 ($^{\circ}$)。

(8) 粘聚力 (C_u)

双向土工格栅与土之间的抱合力, 为最佳拟合直线上法向应力等于 0 时的剪应力 (kPa)。

6.3 仪器设备及材料

(1) 试验箱：为一矩形箱体，侧壁有足够的刚度，受力时不变形，箱体尺寸不宜小于 $25\text{cm} \times 20\text{cm} \times 20\text{cm}$ （长 $\times$ 宽 $\times$ 高）。箱一面侧壁的半高处开一贯穿全缝的窄缝，高约 5mm ，供试样引出箱体用。紧贴窄缝内壁，安装一可上下抽动的插板，用于调整窄缝的缝隙大小，防止土粒漏出。（见图 6.3.1）

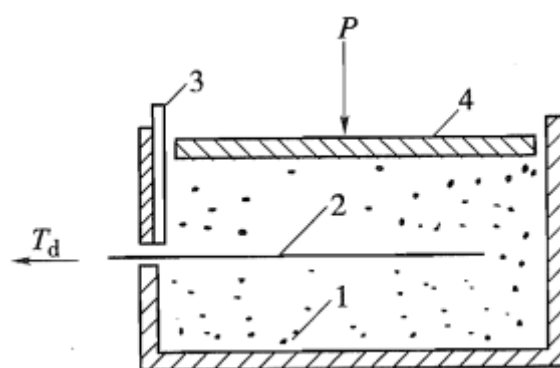


图 6.3.1 拉拔试验箱示意图

1-土；2-试样；3-插板；4-加压板

(2) 加荷系统

1) 法向压力的加压装置应在试验过程中保持恒压，且均匀地作用在土面上。

2) 水平加荷装置应能进行应变控制加荷。

(3) 测量系统

1) 法向和水平向测力装置可用拉压力传感器或其他测力装置。

2) 垂直和水平位移用百分表或位移传感器，测量精度为 0.01mm 。

6.4 试件制备

(1) 取样：按本规程 3.2 的规定取样。

(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，至少为 200mm ，应保证有足够的长度固定试样。

(3) 试样端部加固：从试验箱引出的试样应进行端部加固，可采用黏胶加固（如环氧树脂），将试样牢固地黏贴在加固板上。

6.5 试验步骤

(1) 将土料填入试验箱，按要求的密度分层压实，压实后，土面水平面略

高于试验箱一侧窄缝下缘。

(2) 将试样平放于土面上，要求平整无皱，使试样取样方向 22.5° （即拉拔方向）与水平力方向平行。在长度方向，试样埋入土中的长度为 $100\sim 150\text{mm}$ ，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。插入可调整窄缝高度的插板，使插板下缘正好在试样表面之上，将插板固定。

(3) 继续往箱内填土，分层压实直至到要求的密度，压实后土面平整，并略低于箱顶，放上加压板。

(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。将夹有试样的夹具连接到水平加荷装置上。

(5) 施加要求的垂直荷载，使土料固结。固结时间视土性而定，对粒状土固结时间不少于 15min ；对粘性土，要求垂直变形增量每小时不大于 $0.00025h$ （ h 为土样高度， 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。

(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，按应变控制加荷时，一般采用位移速率为 $0.2\sim 3.0\text{mm/min}$ ；对砂性土，可采用 0.5mm/min 。

(7) 试验进行到下列情况时方可结束：

1) 如果水平荷载出现峰值，或试验进行至获得稳定值。

2) 如果不出现峰值或试样被拉断，表明试样埋在土内的长度超过拔出长度，应缩短埋在土内的长度，并重新试验。

(8) 改变垂直荷载，重复(1)~(7)步骤，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。

(9) 判断试样是 90° 对称还是 45° 对称；若是 90° 对称，重复(1)~(8)步骤，同时在实施(2)步骤时，通过设置拉拔方向 45° 、 67.5° 以及 90° 与水平力方向平行，即完成试样分别在 45° 、 67.5° 以及 90° 时在不同竖向压力下的各向异性拉拔摩擦试验；若是 45° 对称，重复(1)~(8)步骤，在实施(2)步骤时，通过设置拉拔方向 45° 与水平力方向平行，即完成试样分别在 45° 时不同竖向压力下的各向异性拉拔摩擦试验。

6.6 结果计算

(1) 按下式计算界面上的法向应力 σ 和剪应力 τ :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

(6.1)

$$\tau = 0.5 \times \frac{T_d}{LB} \quad (6.2)$$

以上两式中: P 、 T_d ——分别为垂直荷载及水平荷载 (kN);

A ——试验箱的水平面积 (m^2);

L 、 B ——格栅被埋在土内部分的长度和宽度 (m);

σ ——法向应力 (kPa);

τ ——剪应力 (kPa)。

(2) 按下式计算界面上的拉拔摩擦系数 f :

$$f = \frac{\tau}{\sigma} \quad (6.3)$$

(3) 绘制双向土工格栅试样在不同拉拔方向、各级垂直应力下剪应力与相应水平位移 τ - ΔL 的关系曲线。

(4) 绘制 τ - σ 曲线, 求得界面的摩擦强度。

剪应力如有峰值时, 绘制双向土工格栅试样在不同拉拔方向、各级垂直应力下各级法向应力 σ 和剪应力峰值 τ 的关系曲线。土中 φ 为摩擦角, C_u 为粘聚力。

6.7 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- (1) 样品名称、规格型号和状态描述;
- (2) 试验日期;
- (3) 试验用仪器;
- (4) 试样夹持方法;
- (5) 试样拔出长度;
- (6) 各拉拔方向剪应力与法向应力的关系曲线图;

- (7) 各拉拔方向剪应力与拉拔位移的关系曲线图；
- (8) 表观粘聚力、摩擦角和拉拔摩擦系数；
- (9) 任何偏离规定程序的详细说明。

条文说明

本次修订通过设置试样取样方向（即拉拔方向）与水平力方向平行，实现了双向土工格栅试样与试验土样的任意角度拉拔试验，充分考虑了双向土工格栅的各向异性，可有效避免现行规范中试验测试值与双向土工格栅实际受力特性严重不符的问题。

7 各向异性拉伸蠕变与拉伸蠕变断裂性能试验

7.1 适用范围

(1) 本方法规定了测定双向土工格栅各向异性拉伸蠕变和拉伸蠕变断裂性能的试验方法。

(2) 本方法的适用范围，限于由于其过早毁坏或由于其蠕变影响了在结构中的加强作用，而可能造成结构塌陷的产品。

7.2 定义

(1) 拉伸强度

试样被拉伸直至断裂时每单位宽度的最大抗拉力，以 kN/m 表示。

(2) 名义标记长度

未加预张力时，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距离。

(3) 拉伸蠕变

在恒定的拉伸荷载下，试样随时间的拉伸变形。

(4) 拉伸蠕变断裂

在小于拉伸强度的恒定拉伸荷载下，试样的拉伸破坏。

(5) 拉伸蠕变荷载

施加在试样上每单位宽度的恒定的静荷载。

注：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

加载装置所加的荷载。

(6) 加载时间

施加拉伸蠕变荷载至规定值所需的时间。

(7) 蠕变时间

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

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

在拉伸试验过程中试样宽度的减小，以在预张力下标记长度中间的试样宽度的百分比表示。

7.3 仪器设备及材料

总体要求：仪器用具应包括夹持试样的装置、加载系统、变形测量系统和记时系统。

(1) 试样夹具

夹具应具有足够宽度以能够夹持试样，并能限制试样的滑移，而不损伤试样。标记长度的标记点与两个夹持器的距离应不小于 20mm。

(2) 加载系统

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。

拉伸蠕变荷载应恒定，并精确至 $\pm 1\%$ 。

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，以确认所需的荷载加到试样上。

注：需要特别注意，在使用除恒载外的加载系统时，应保证拉伸蠕变荷载是恒定的，并在要求的精度内。

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。

(3) 变形测量系统

伸长计，能够测量试样上两参考点之间标记长度的变化，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，精度为标

记长度的 $\pm 0.1\%$ 。通常使用机械的、电子的或光学的伸长计测量仪器。

注：必须非常小心，保证读数的重现性和仪器的长期稳定性。仪器可连接到一个连续读数的系统上，或一个记录仪器上，也可按规定的时间间隔测量长度的变化。在试样上标记参考点时，应避免在试验过程中的位移或变形。

（4）计时系统

计时系统的精度为 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。

7.4 试样制备

（1）取样：按本规程 3.2 的规定取样。

（2）试样数量

1）用于各向异性拉伸蠕变性能的测定： 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 、 90° 每个测试方向取 4 块试样；

2）用于各向异性拉伸蠕变断裂的测定： 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 、 90° 每个测试方向取 12 块试样；

3）用于各向异性拉伸强度的测定：按本规程 5.1 的规定。

（3）试样尺寸

1）试样尺寸的确定

- ① 与使用仪器的尺寸相适应；
- ② 与使用的测量装置的精度相适应；
- ③ 保证使标记长度的两个标记参考点与夹持器的距离不小于 20mm。

2）试样的最小标记长度

- ① 不小于 200mm；
- ② 对双向土工格栅，不少于两个完整的网格；
- ③ 对所有样品，能保证标记长度的测量精度为 $\pm 0.1\%$ 。

3）试样的宽度：不少于 3 个双向土工格栅完整的单元；

注：试样尺寸主要影响试验的可行性和精度所需的荷载依赖于试样的宽度。

（4）试样调湿和状态调节：按本规程 3.2 中的第 3.2.4 条规定进行。

7.5 试验步骤

(1) 各向异性拉伸蠕变性能的测定

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 1000h。如果不足 1000h 试样发生断裂, 则记录断裂时间。

1) 按本规程 4 的规定测定样品分别在 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 、 90° 不同方向时的宽条拉伸特性, 包括试样的拉伸强度、断裂伸长率和横向收缩率。

2) 根据本方法 7.4 中 (3) 的第 2) 条规定的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。

3) 施加预张力, 预张力值等于拉伸强度的 1%, 以 kN/m 表示。

4) 测定标记长度作为初始标记长度, 精确至 $\pm 0.1\%$ 。

5) 如适用, 安装和固定伸长计, 并设置初始伸长值为 0。

6) 从以下范围选择 4 档荷载进行试验:

拉伸强度的 10%、20%、30%、40%、50% 和 60%。

每个测试方向的 4 块试样分别施加 4 档不同的荷载, 加载时间不超过 60s。

7) 加载结束时即为试验的零点时间。按下列时间测量标记长度的变化, 精确至 $\pm 0.1\%$:

① 1、2、4、8、15、30、60 (min);

② 2、4、8、24 (h);

③ 3、7、14、21、42 (d)。

(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。

1) 按本规程 4 的规定测定样品分别在 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 、 90° 不同方向时的宽条拉伸特性, 包括试样的拉伸强度、断裂伸长率和横向收缩率。

2) 将试样安装在夹具上。

3) 从试样拉伸强度的 30%~90% 范围内选择 4 档荷载进行试验。针对每个拉伸方向的试样, 3 块试样施加一档荷载, 即每个拉伸方向共计试验 12 块试样。

加载结束时即为试验的零点时间。

注：选择 4 个等距对数时间，如 100h、500h、2000h、10 000h。估计有可能导致进行的

3 个平行试验在 100h 时断裂的荷载水平。根据该结果，对有可能导致在 500h 断裂的荷载进行估计。然后是其他两个荷载水平。

4) 记录发生蠕变断裂时的时间。

7.6 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- (1) 样品名称、规格型号和状态描述；
- (2) 试验开始和结束的日期；
- (3) 试验用仪器；
- (4) 试样调湿和试验用大气条件；
- (5) 不同测试方向时宽条拉伸试验的平均拉伸强度、伸长率和试样的横向收缩；
- (6) 如果需要，按送样者的规定尺寸试样进行蠕变试验，计算平均拉伸强度和伸长率；
- (7) 加载方式的描述；
- (8) 拉伸蠕变荷载以第 (5) 项拉伸强度的百分比表示；
- (9) 测量的蠕变伸长和时间关系的结果表示；
- (10) 名义标记长度；
- (11) 每个试样在不同测试方向时每一荷载下的变形时间对数的关系曲线图，图中应包括所有的数据点；
- (12) 每个试样的拉伸蠕变断裂时间；
- (13) 任何偏离规定程序的详细说明。

条文说明

本次修订对原有拉伸蠕变与拉伸蠕变断裂性能试验中只要求对纵向和横向两组试样进行试验修订为对 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 和 90° 不同方向的试样进行拉伸试验，充分考虑双向土工格栅在不同方向上存在力学性能各向异性的情况。

附录 1 各向异性拉伸试验记录表

名称 组数	土工格 栅型号	试验 方向(°)	断裂强 力(N)	拉伸强度 (N/mm)	标称伸 长(%)	标称伸 长率(%)	断裂时 间(s)	2%伸长强 度(N/mm)	5%伸长强 度(N/mm)
1									
2									
3									
4									
5									
.....									
最大值									
最小值									
平均值									
变异系数 C_v (%)									

附录 2 各向异性直剪试验记录表

名称 组数	土工格 栅型号	试验 方向(°)	法向应力 (kPa)	剪切位移 (mm)	剪切速度 (mm/min)	剪切力 (kN)	剪应力 (kPa)
1							
2							
3							
4							
5							
.....							
最大值							
最小值							
平均值							
变异系数 C_v (%)							

附录 3 各向异性拉拔试验记录表

名称 组数	土工格 栅型号	试验 方向(°)	法向应力 (kPa)	拉拔位移 (mm)	拉拔速度 (mm/min)	剪切力 (kN)	剪应力 (kPa)
1							
2							
3							
4							
5							
.....							
最大值							
最小值							
平均值							
变异系数 C_v (%)							

附录 4 各向异性拉伸蠕变与拉伸蠕变断裂性能试验

名称 组数	土工格 栅型号	试验 方向(°)	试验开始 日期	试验结束 日期	拉伸蠕变荷 载(N/mm)	断裂拉 力(N)	拉伸强度 (N/mm)	标称伸长 (%)	断裂伸长 率(%)	横向收缩 率(%)	断裂时 间(s)
1											
2											
3											
4											
5											
.....											
最大值											
最小值											
平均值											
变异系数 C_v (%)											