

塑料土工格栅拉伸过程的试验研究

郭奕崇 闫宝瑞 信春玲 李庆春

(北京化工大学,北京 100029)

摘要 通过试验研究了塑料土工格栅的拉伸过程,总结了结晶聚合物土工格栅试样拉伸的一般规律,根据聚合物拉伸理论解释了试验现象,并探讨了塑料土工格栅连续稳定拉伸的条件。试验表明,塑料土工格栅试样的各成肋部分沿纵向被依次拉伸伸长是连续生产的基础;可由材料的应力-应变关系初步判定塑料土工格栅试样拉伸的连续性,这对新型塑料土工格栅材料、工艺的研发,缩短试验周期是有利的。

关键词 塑料 土工格栅 拉伸 应力 应变

塑料土工格栅用于土木工程中对土体的加固,其成品具有网状结构。由于塑料土工格栅在制作过程中要经过拉伸,可使其拉伸强度得到大幅度提高,材料的性能也可得到充分体现。拉伸是塑料土工格栅生产中最为关键的工艺步骤,它直接影响制品的力学性能和外观,直接影响生产的稳定性和连续性,因此提高对塑料土工格栅拉伸过程的认识十分重要。笔者主要通过试验来探讨塑料土工格栅连续稳定拉伸的力学条件,以期对生产提供一定参考。

1 聚合物拉伸的一般规律^[1,2]

图1示出聚合物拉伸的一般规律。其中非结晶聚合物拉伸时典型的应力 σ -应变 ε 曲线如图1a所示。这一过程大致可分为三个阶段:第一阶段从拉伸开始到A点,应力的增加与应变的增加成正比,曲线在此阶段为一直线,拉伸符合虎克定律 $\sigma = E\varepsilon$ 其中 $E = \sigma_A / \varepsilon_A$ 为拉伸弹性模量, σ_A 为比例极限; ε_A 为与之相应的应变。这种弹性行为是由聚合物分子键长、键角变化引起的。第二阶段,应力超过比例极限后,应力应变之间不再呈线性关系,当应力增大到最大值 σ_Y 时开始出现应变增加、应力不变,多数情况下是应力呈少许下降、再基本保持不变的现象。其原因是随着应力的增大,链段运动的松弛时间 τ 缩短,当 τ 减小到一定时链段开始运动,使聚合物产生大变形,应力下降(图1a中的Y-C段),称为“应变软化”。第三阶段,从C点以后由于大量链段的运动、取向,材料强度进一步提高,导致应力再次增大。这三个阶段在应力-应变曲线上表现为随着应变的增大,应力值从上升到下降、然后再上升这样两个转折。

结晶聚合物拉伸时的应力-应变曲线的转折更加明显,见图1b。它基本上由三条直线及应变软化处的下降部分组成。结晶聚合物因有晶区与非晶区

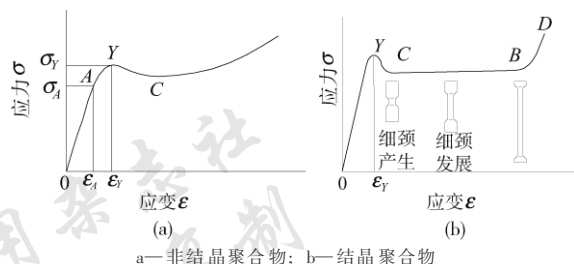


图1 聚合物拉伸的一般规律

两部分,其拉伸机理与非结晶聚合物不同。从0点到接近Y点为弹性形变部分,在此过程球晶发生变形,沿拉伸方向被拉成椭圆形。拉伸继续进行,球晶中的片晶发生滑移、破裂,部分分子链被从晶体中拉出形成直链。从热力学角度讲,晶格受到破坏,发生了相转变,试样长度、厚度(及宽度)的变化都较剧烈,宏观表现为被拉试样局部(一处或多处)出现细颈,横截面积明显减小。在细颈处滑移、破裂的晶体和被从晶体中拉出的分子链形成取向的微纤结构,分子链排列紧密,分子间作用力增大,强度增大,迫使拉伸转向于细颈相邻的强度较低的部分,宏观表现为细颈沿拉伸方向发展。在试样受拉部分全部发展为细颈以后,再继续拉伸必须增大应力,曲线上表现为屈服-增强的转变即B点。

由图1可见,两种聚合物的拉伸机理与过程是不同的,图1a所示为非结晶聚合物的玻璃化转变温度 T_g 以下的典型拉伸应力-应变曲线^[1]。当温度升高到 T_g 与粘流温度之间时,曲线的转折将进一步趋于平坦。图1b是对结晶聚合物熔点以下绘出的^[2]曲线。比较图1a、图1b可以看出,结晶性聚合物的曲线转折更为明显。此外,结晶性聚合物拉伸过程有细颈现象出现,细颈的产生和发展表明,在任一时刻拉伸的变形及所消耗的能量集中在一个较小

的区域内。

2 塑料土工格栅的拉伸过程及特点^[3-7]

图 2 是自制的拉伸试验装置示意图。其主体结构为加热箱,上夹头串接测力传感器后固定在机架上,下夹头与液压缸的活塞杆相连。在进行拉伸试验之前,上下夹头分别夹住试样的两端预热,在加热箱温度达到试验规定值并保温一段时间后,即按一定速度(50 mm/min 左右)拉伸。拉伸时活塞杆下行,试样受拉伸长。拉伸速度通过调整液压油路流量调节,拉伸行程(可反映拉伸比)由行程指针(图 2 中未示出)指示。

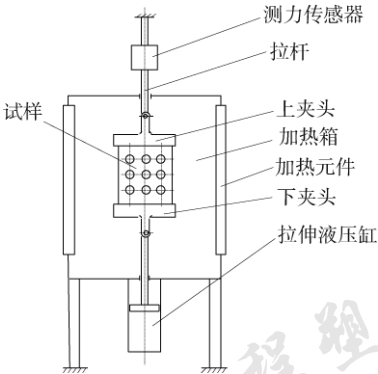
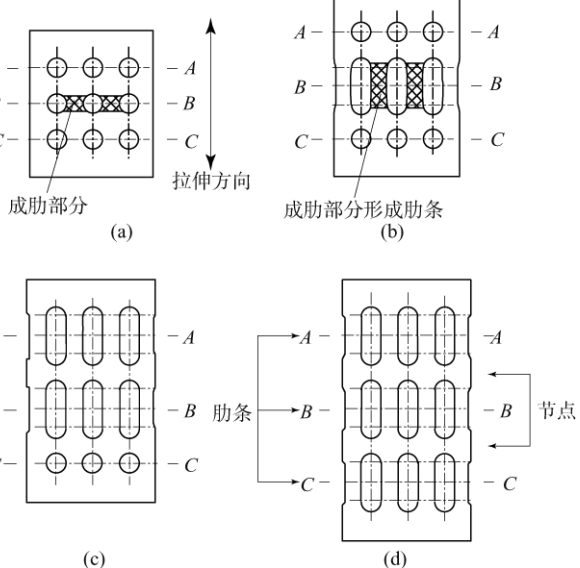


图 2 塑料土工格栅拉伸试验装置示意图

图 3 示出塑料土工格栅拉伸试样及拉伸过程。图 3a 是拉伸试样,原料为齐鲁石化公司产的高密度聚乙烯(HDPE) 6098 配以适量的添加剂,试样厚度为 2 ~5 mm,沿其拉伸方向开有三排孔。A-A、B-B 和 C-C 三个截面是试样拉伸方向上横截面积最



a—拉伸试样; b—第一排孔(B-B)被拉长;
c—第二排孔(A-A)被拉长; d—第三排孔(C-C)被拉长

图 3 塑料土工格栅拉伸试样与拉伸过程示意图

小的截面。为以后叙述方便,把图 3 中 B-B 截面处阴影部分称为成肋部分,拉伸时它们产生很大的形变而形成肋条。A-A 和 C-C 截面处同样有成肋部分(图 3 中未用阴影示出)。加热温度(加热箱温度)为 95 ~105℃,拉伸速度为 50 ~200 mm/min。

拉伸试验过程中,拉伸试样出现多种现象,比如,拉伸开始时可能出现:① A-A、B-B、C-C 三个截面几乎同时产生细颈;②三个截面依次产生细颈,然后各细颈再发展伸长;③某一截面产生细颈,首先发展伸长,而后另一截面再产生细颈。当细颈发展时也有可能出现下列情况:一是在某一截面处细颈发展,在该处的成肋部分完全形成肋条后,另一截面处细颈再发展;二是某一截面处细颈发展到一定程度后,其它细颈也开始发展,而后随着拉伸过程的继续,各成肋部分同时被拉长,最后形成肋条。

笔者结合试验所得的拉伸曲线,并考虑到塑料土工格栅生产过程中的拉伸方式,总结出一个典型的试样拉伸过程。现针对这一典型过程进行讨论。

拉伸开始后,三个截面中的某一个截面(如 B-B 截面)首先出现细颈,然后细颈逐渐沿纵向发展,使成肋部分形成肋条(见图 3b),肋条处的厚度与宽度均明显减小。此时 A-A、C-C 中的一个截面(如 A-A 截面)再次出现细颈并逐渐发展(见图 3c),最后另一截面(即 C-C 截面)处的成肋部分重复上述过程,格栅的网状形状基本形成,见图 3d。它大致可分为基本未拉伸的节点与经过拉伸的肋条两部分。

塑料土工格栅的原料多为 HDPE 或聚丙烯(PP)。使用结晶聚合物的拉伸规律可以较好地解释单根肋条的形成机理。聚合物材料拉伸时细颈产生于强度较低之处,像图 3a 所示的格栅试样,显然细颈首先出现在横截面积最小的 A-A、B-B 和 C-C 三个截面中的一处,试验中发现一般在 B-B 截面出现,其原因是试验时很难做到使加热箱中的温度均匀,B-B 截面成肋部分所在的加热箱中部通常温度较高。图 4 示出塑料土工格栅拉伸时的拉力 F-伸长 ΔL 曲线。如果各成肋部分的拉伸顺序依次为 B-B、A-A、C-C,则所记录的拉力 F-伸长 ΔL 曲线则如图 4a 所示,0-Y_B-C_B-Y_A 段对应于 B-B 截面所在的成肋部分受拉、细颈产生、发展并形成肋条的过程,其中 Y_B-C_B 段是细颈产生,C_B-Y_A 段为细颈发展。在这一过程中试样的其余部分仅发生弹性形变,试验中可见 A-A、C-C 截面处的圆孔

沿拉伸方向稍微变长,到达 Y_A 点时 $B-B$ 截面处的肋条已形成,微观上形成微纤结构,强度增大。再进一步拉伸时该肋条不再伸长,但应力增大,拉力也随之增大,使 $A-A$ 截面达到屈服点而出现细颈,而后该细颈发展到达 Y_C 点,这一过程对应于 $Y_A-C_A-Y_C$ 段。同样, $Y_C-C_C-B_C-R$ 段对应于 $C-C$ 截面所在成肋部分形成肋条以后, $C-C$ 截面所在的成肋部分被拉伸形成肋条,细颈的发展有时可以使应变达到 800% 左右。

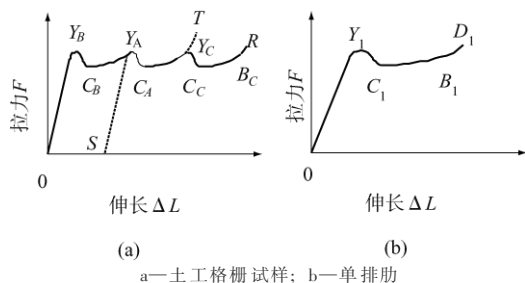


图4 塑料土工格栅试样拉伸时的拉力 F -伸长 ΔL 曲线

分析图 4a 的试验曲线不难得出这样的结论:该曲线由各单排成肋部分受拉时的拉力 F -伸长 ΔL 曲线(见图 4b)重叠而成。图 4a 中 $S-Y_A-C_A-T$ 线段就是 $A-A$ 截面成肋部分受拉过程的完整曲线。图 4b 中,拉力 F -伸长 ΔL 曲线的 C_1-B_1 段是上升的,这是因为试样成肋部分沿拉伸方向横截面积的变化所致。细颈既然产生于横截面积最小处,则它的发展必然因横截面积的逐渐增加而导致拉力的增大。如果不考虑横截面积的变化,则可以看到图 4b 与图 1b 的两条曲线是相似的。两个图中的拉力 F 与应力 σ 、伸长 ΔL 与应变 ε 可以通过比例关系互相转换,因此两图所示的物理关系在本质上相同。

细颈的产生与发展是塑料土工格栅拉伸过程中最为重要的特点,它对土工格栅的生产具有重要的意义,它使变形集中在一个小的区域内,生产过程中已经打孔的塑料板材上各排孔的成肋部分因此可能沿拉伸方向被依次拉伸形成肋条,这对于连续稳定的拉伸十分有利,这样的拉伸方式在很大程度上决定了拉伸工艺的设定和拉伸机构的设计。

3 塑料土工格栅拉伸的条件^[3]

现从材料的应力-应变关系来探讨塑料土工格栅稳定拉伸的条件。如图 1b 所示,细颈在曲线的 Y 点处产生、在 $Y-C-B$ 段发展、在 B 点停止。 B 点后的曲线明显上升,这对塑料土工格栅拉伸十分重要。因为在选定聚烯烃材料之后基本可以保证细颈

一旦产生就能顺利发展,但要使肋条形成后细颈在相邻的成肋部分产生,且已形成的肋条不再变形、断裂的必要条件就是增大肋条强度,在应力-应变曲线上表现为应力增大、曲线上扬,只有这样才能使相邻的成肋部分的应力增大而诱发细颈的产生。图 4b 的试验曲线与图 1b 的曲线本质上相同,推而论之,如果采用具有图 1b 所示应力-应变关系的材料制作塑料土工格栅,基本可以判定能够顺利拉伸。

上述各应力-应变曲线中的应力 σ 是工程应力或表观应力,它和应变 ε 是按 (1) 式、(2) 式计算的:

$$\sigma = F/A_0 \quad (1)$$

$$\varepsilon = (L - L_0)/L_0 \quad (2)$$

式中: A_0 ——试样初始截面积, m^2 ;

L_0 ——试样标距初始长度, m ;

L ——试样标距瞬时长度, m , ($L - L_0$ 即是试样的瞬时伸长量 ΔL)。

实际上拉伸时试样瞬时截面积 A 是不断变化的,在塑料土工格栅拉伸中,材料发生大变形,用 (1) 式来表示应力会随 ε 的增大而出现越来越大的偏差。其瞬时实际应力即真应力 σ_R 应为:

$$\sigma_R = F/A \quad (3)$$

由此可见上述判定存在着工程应力与真应力之间的偏差。真应力 σ_R 与工程应力 σ 的关系为:

$$\sigma_R = F/A = F(1 + \varepsilon)/A_0 = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (4)$$

塑料土工格栅能否顺利拉伸还可从真应力 σ_R -应变 ε 曲线来分析。图 1b 中的 Y 点是工程应力 σ -应变 ε 曲线上的一个极大值,在 (4) 式中令 $d\sigma/d\varepsilon = 0$,可得到真应力 σ_R 与工程应力 σ 极值间的关系:

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{1}{(1 + \varepsilon)^2} \frac{d\sigma_R}{d\varepsilon} (1 + \varepsilon) - \sigma_R = 0 \quad (5)$$

于是有:

$$\frac{d\sigma_R}{d\varepsilon} = \frac{\sigma_R}{(1 + \varepsilon)} \quad (6)$$

工程应力 σ 的极值点与真应力 σ_R 间的关系见图 5。工程应力 σ -应变 ε 曲线上的极值点(图 5 中 σ 曲线上的 Y 点)对应着一定的应变 ε_y 。(6) 式说明在这些应变点所对应的真应力 σ_R -应变 ε 曲线上的 Y_R 点的切线交应变轴于 $\varepsilon = -1$ 点。当过应变轴上 $\varepsilon = -1$ 点可以绘出一条真应力 σ_R -应变 ε 曲线的切线时,说明细颈可以产生,此后可能出现两种情况:一是 $\sigma_R - \varepsilon$ 曲线上仅能绘出一条切线,见图 6a,这说明细颈产生后不断发展直至断裂,不能

稳定拉伸;二是可绘出两条切线,见图 6b,说明拉伸形成的肋条可以承受大的应力,迫使细颈转移,实现连续稳定的拉伸。

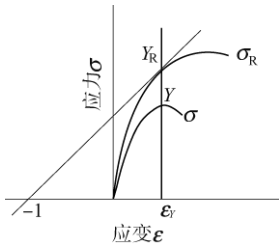
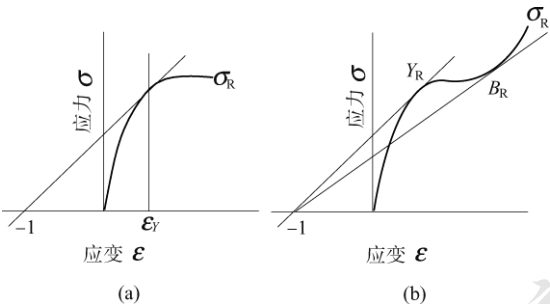


图 5 工程应力与真应力之关系



a—绘出一条切线; b—绘出两条切线

图 6 由真应力 - 应变曲线判定土工格栅试样的可拉伸性

4 结论

(1) 聚合物拉伸的应力 - 应变关系是塑料土工格栅连续生产中各肋条被依次拉伸成型的理论基础。

(2) 拉伸过程中细颈的产生与发展是塑料土工格栅连续生产的关键。

(3) 当材料的工程应力 - 应变曲线有上扬部分或者其真应力 - 应变曲线有两条切线过(- 1, 0) 点时,可进行连续拉伸。

参考文献

- 1 金日光,华幼卿. 高分子物理. 北京: 化学工业出版社, 1991. 164
- 2 张开. 高分子物理. 北京: 化学工业出版社, 1981. 179
- 3 高洁. 土工格栅拉伸机理及工艺研究: [硕士论文]. 北京: 北京化工大学, 2000.
- 4 郭奕崇, 信春玲, 贾宗杰, 等. 塑料土工格栅的生产、应用及发展趋势. 塑料, 2002, 31(4): 53
- 5 胡晓慧. 土工格栅蠕变性能研究: [硕士论文]. 北京: 北京化工大学, 2001.
- 6 GB/T 17689 - 1999 土工合成材料 塑料土工格栅.
- 7 《土工合成材料工程应用手册》编写委员会. 土工合成材料工程应用手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 18

EXPERIMENT ON STRETCHING PROCESS OF PLASTICS GEOGRID

Guo Yichong, Yan Baorui, Xin Chunling, Li Qingchun

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

ABSTRACT The stretching process of plastics geogrids is researched and the general rule of crystalline polymer samples' stretching is summarized, based on the stretching experiment. According to the general principle of polymer material's stretching, the experiment phenomena are explained, and the conditions about continuous and steady stretching of geogrids are discussed. The experiments show that if the neck-shaped parts on the sample are stretched in turn at longitudinal direction, the process will continue. From the stress-strain curve, the continuity of stretching can be determined. The mentioned work is helpful to develop new geogrid materials and technology as well as to shorten experiment period.

KEYWORDS plastics, geogrid, stretching, stress, strain

优惠发售《2000 ~2003 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》光盘

应广大读者的要求,我社已将中国工程塑料工业协会加工应用专委会历年论文集加工制作成光盘版,光盘定价 120 元/盘。需购买的读者请尽快办理邮购手续。汇款时请注明“论文集光盘”。

“论文集光盘版”主要包括以下内容:

- (1) 2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会论文集全文(正文 373 页)及会议通讯录(约 350 人)
- (2) 2002 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集全文(正文 351 页)及会议通讯录(约 250 人)
- (3) 2001 年中国工程塑料加工及模具技术研讨会论文集全文(正文 270 页)及会议通讯录(约 100 人)
- (4) 2000 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集全文(正文 339 页)及会议通讯录(约 200 人)

邮局汇款:

收款单位: 山东省济南市 108 信箱杂志社
邮编: 250031 传真: (0531) 5816706 - 808 5947355
电话: (0531) 5816706 - 805, 802, 801 5947355

银行汇款:

户 名: 中国兵器工业第五三研究所
开户银行: 济南市工商银行八一分理处
帐 号: 1602001209014424079