

塑料土工格栅长期蠕变行为的预测

郭奕崇 信春玲

陈 强 贾宗杰

(北京化工大学,北京 100029) (北京福田建材有限责任公司,北京 101117)

摘要 建立塑料土工格栅蠕变性能测试室,测试了格栅试样的蠕变应变随时间的变化情况。测试在一定温度、湿度条件下进行,并对各试样加载了不同的载荷。从得到的时间-应变关系图中发现,当载荷水平较低时,蠕变发展缓慢;载荷水平较高时,蠕变发展较快且应变较大,并在测试周期内发生断裂。采用时间-温度等效和时间-应力等效相结合的叠加方法,预测了格栅的长期蠕变行为。根据叠加结果得出,格栅在温度为15℃、载荷水平为20%的使用环境下,使用寿命可达100 a以上。测试的格栅试样在低于20%载荷水平下使用是安全的,而当载荷水平高于40%时,很可能在短时间内发生断裂。

关键词 塑料土工格栅 蠕变 应变 载荷水平 预测

塑料土工格栅是一种新型的土工合成材料,主要用于土木工程中对土体的加固。制作塑料土工格栅的主要原料为高密度聚乙烯(HDPE)或聚丙烯,成品具有网状结构。格栅在土体中长期受到稳定拉伸力的作用。在这一过程中,格栅产生蠕变,其应变可能超过规定值,使土木结构变形过大而失效。由此可见格栅的蠕变性能对其工程应用的重要性。而观察完整的蠕变过程需要很长时间,所以人们常用短时蠕变数据通过等效方法来预测长期蠕变行为。蠕变数据的获取和对长期蠕变行为的预测是研究格栅蠕变性能的重要内容。在工程实际中,有关这两方面的工作尚很薄弱,使得格栅设计许用值的确定常具有盲目性。笔者在实验测试的基础上,尝试用叠加法预测较长周期内格栅的应变发展情况。

1 塑料土工格栅的蠕变测试

1.1 与测试有关的物理量

(1) 蠕变应变 蠕变应变是测试试样在长期静载荷的作用下,其伸长量与初始长度之比。

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (1)$$

式中: ε ——蠕变应变;

l ——试样在任一时刻的长度, mm;

l_0 ——试样的初始长度, mm。

(2) 蠕变应力 蠕变应力是试样受到的外力与试样截面积之比。

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (2)$$

式中: σ ——蠕变应力, Pa;

F ——试样所受到的外力, N;

S ——试样的横截面积, m^2 。

(3) 强度 通常强度与应力的量纲相同,但涉及格栅强度的量纲为单位宽度上的力。例如有关土工格栅的国家标准^[1]中规定用每延米拉伸屈服力来表示其强度,笔者沿用这一做法。在加载、数据处理时的载荷强度可用式(3)表示:

$$L = \frac{F}{W} \quad (3)$$

式中: L ——载荷强度, N/m 或 KN/m;

F ——试样所受的载荷, N 或 KN;

W ——试样的宽度, m。

1.2 试样制备

首先挤出厚度为3~3.5 mm的HDPE板,打孔后单向拉伸,制成单向拉伸格栅。然后根据BS 6906 Part 5制取蠕变试样。

1.3 测试装置与测试条件

蠕变测试在可调温度、湿度的实验室中进行。格栅试样的蠕变测试装置见图1。

如图1所示,测量系统的上、下两夹钳分别固定在初始长度为 l_0 的测量区的上下边界处。两个安装在上夹钳上的千分表读数反映测量区长度的变化,

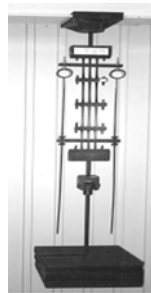


图1 塑料土工格栅的蠕变测试装置

两表读数的平均值可作为测量结果用于后续处理。实验温度为 20℃, 相对湿度为 45% ~75%。所加载荷根据试样的拉伸强度决定。为此在 Instron-1121 型拉伸试验机上对试样做拉伸试验。在本次蠕变测试中, 试样所承受的载荷分别为拉伸强度的 20%、30%、40%、50% 和 55%。试样的拉伸强度及测试中所加的载荷强度见表 1。

表 1 格栅试样的拉伸强度及载荷强度

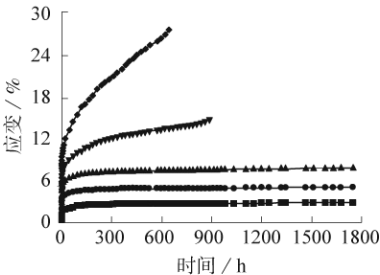
项目	试样编号				
	1	2	3	4	5
拉伸强度 /kN · 根 ⁻¹	1.6303	1.5310	1.4870	1.5310	1.5936
肋条数目 /根	4	3	3	3	3
试样初始宽度 /mm	101.2	79.2	79.5	78.6	79.2
载荷水平 /%	20	30	40	50	55
测试载荷力 /kN	1.3042	1.3779	1.7844	2.2965	2.6294
肋条横截面积 /mm ²	7.44	8.19	8.39	9.45	8.32
初始应力 /MPa	43.825	56.081	70.936	81.005	105.346

表 1 中拉伸强度是拉伸试验中的实测值, 即拉伸屈服力。肋条数目是蠕变测试的肋条根数, 载荷水平是人为规定的, 用于测试载荷力的确定。测试载荷力是拉伸强度、肋条数目及载荷水平三者的乘积, 而初始应力用于叠加计算。

1.4 测试数据的记录与测试曲线的绘制

开始时, 测量时间间隔为 1、6、12、30 min, 1、2、3、5、7、10 h, 以后每隔 24 h 测量一次, 记录左右仪表的读数。平均左右肋条的变形量就可以得到整个试样在各个测量时刻的变形量。本次测试中数据的总记录时间为 1700 h。

根据蠕变实验得到的基本数据可作出时间-应变关系图, 如图 2 所示。从图 2 可以很明显地看出, 在相同的时间内, 试样所承受的载荷越大, 则相应的应变值也越大。当载荷水平小于或等于 40% 的时候, 在约 380 h 后格栅试样的应变曲线十分平缓, 接近水平。这说明当载荷水平小于或等于 40% 的时候, 蠕变的发展会变得越来越缓慢。当载荷水平大



■—20%载荷水平; ●—30%载荷水平; ▲—40%载荷水平;
▼—50%载荷水平; ◆—55%载荷水平

图 2 格栅试样在 1700 h 内的时间-应变关系图

于 40% 时, 应变曲线比较陡峭, 在短时间内应变就已经超过了 10%。其中载荷水平为 50% 的 4 号试样在 900 多小时的时候发生断裂, 载荷水平为 55% 的 5 号试样在 600 多小时的时候发生断裂。从时间-应变关系中可得出初步的结论, 即格栅不应在高于 40% 的载荷水平下使用。

2 塑料土工格栅长期蠕变行为的预测

2.1 理论背景

对格栅长期蠕变行为预测的理论依据是等效原理, 常用的等效方法为时间-温度叠加。Y. C. Bhuvanesh 等建议了一个时间-应力叠加方法, 并进一步把它与时间-温度叠加相结合^[2]。笔者使用这种把时间-温度叠加和时间-应力叠加相结合的方法来处理数据, 以期使预测的时间更长。表述时温等效的 WLF 方程可用式(4)表示:

lg α_t = lg $\frac{t}{t_s} = \frac{-C_1(T - T_s)}{-C_2 + (T - T_s)}$ (4)

式中: α_t——时间-温度转换因子;
t、t_s——实验温度和参考温度下的观察时间, s;
C₁、C₂——经验常数;
T、T_s——实验温度和参考温度, K。

当选择玻璃化转变温度(T_g)作为参考温度时, C₁ = 17.44, C₂ = 51.6。当从温度 T₂ 转化到另一温度 T₁ 时, 则可得到:

lg α_t = $\frac{-17.44(T_2 - T_g)}{51.6 + (T_2 - T_g)} - \frac{-17.44(T_1 - T_g)}{51.6 + (T_1 - T_g)}$ (5)

时间-应力的叠加可用式(6)表示^[2]:

ln α_σ = ln $\frac{\sigma_2}{\sigma_1} + \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)V}{kT}$ (6)

式中: α_σ——时间-应力转换因子;
σ₁、σ₂——参考应力和实验应力, Pa;
V——活化体积, m³;
k——玻尔兹曼常数, 1.3806 ×10⁻²³ J · K⁻¹;
T——实验温度, K。

把时间-温度叠加和时间-应力叠加相结合, 文献[2] 建议了以下表达式:

lg α_{t,σ} = lg α_t + lg α_σ (7)

式中: α_{t,σ}——总的转换因子。

2.2 实验数据的处理和讨论

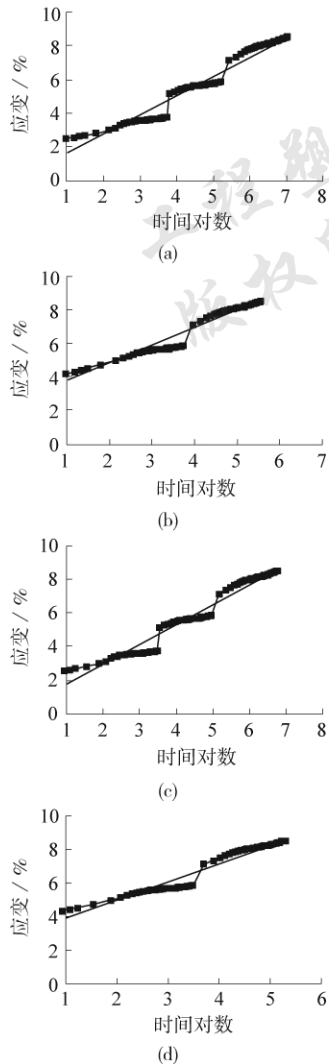
从图 2 可见, 载荷水平为 50% 和 55% 时试样的应变增长较快, 在时间-温度和时间-应力叠加相结合方法中应谨慎使用, 因为在这种方法中, 测试数

据的微小误差会引起叠加结果的很大变化。用20%、30%、40%载荷水平的数据分别向参考温度为10℃、15℃,参考载荷水平为20%、30%的条件平移。根据式(5)~(7)和表1中的初始应力数据计算各转换因子。表2是试样向参考温度10℃、参考载荷水平20%(记为10℃-20%,下同)的条件转换的计算结果。

表2 向参考条件10℃-20%转换的计算结果

项目	试样编号				
	1	2	3	4	5
$\lg \alpha_T$	-0.4974	-0.4974	-0.4974	-0.4974	-0.4974
$\lg \alpha_\sigma$	0	-1.4734	-3.2871	-4.5279	-7.5528
$\lg \alpha_{T, \sigma}$	-0.4974	-1.9708	-3.7845	-5.0253	-8.0502

转换因子求出后,即可进行转换。向不同参考条件转换的结果示于图3。各图中的直线是平移叠加后各点的线性拟合曲线。



a—10℃-20%; b—10℃-30%; c—15℃-20%; d—15℃-30%

图3 向不同参考条件转换的叠加曲线

将图3中10 000 h和100 000 h时各种条件下的应变列于表3;各种条件下应变达到8%所用时间列于表4。表3、表4结果表明载荷水平对应变的影响大于温度对应变的影响。如在10℃、20%载荷水平时应变达到8%需214 a,载荷水平不变而温度改变为15℃后,这一时间为109 a;但如温度不变,载荷水平变为30%,这一时间仅为11 a。

表3 各种条件下的应变 %

参考条件	10℃-20%	10℃-30%	15℃-20%	15℃-30%
10 000 h	5.346	7.110	5.516	7.501
100 000 h	5.761	8.114	5.843	8.259

表4 各种条件下应变达到8%所用时间 a

参考条件	10℃-20%	10℃-30%	15℃-20%	15℃-30%
用时	214	11	109	4

3 结论

(1) 塑料土工格栅的蠕变与所承受的载荷有关,载荷越大,它的应变也越大,但应变与载荷并不呈简单的正比关系。经受40%及以下载荷水平的试样没有发生断裂,它们的蠕变速率一直在递减;而发生断裂的试样在断裂时刻附近蠕变速率将增大。当载荷水平大于40%时,短时间内应变已经超过10%,因此塑料土工格栅不宜在载荷水平高于40%的情况下使用。

(2) 从本次试验的数据及叠加处理所得结果看,塑料土工格栅在温度为15℃、载荷水平为20%的使用环境下,其使用寿命可达100 a以上,即在小于及等于20%载荷水平情况下使用是比较安全的。

参考文献

- 1 GB/T 17689-1999 土工合成材料 塑料土工格栅.
- 2 Bhuvanes Y C, Gupta V B. Long-term prediction of creep in textile fibres. Polymer, 1994, 35(10): 2 226
- 3 胡发亭. 土工格栅长期蠕变行为研究及有限元分析: [硕士论文]. 北京: 北京化工大学, 2002
- 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 Sawicki A, Frankowska K K. Creep behaviour of geosynthetics. Geotextiles and Geomembranes, 1998, 16(6): 365
- 6 Ashmawy A K, Bourdeau P L. Response of a woven and a nonwoven geotextile to monotonic and cyclic simple tension. Geosynthetics International, 1996(3/4): 493
- 7 Jeon H Y, Kim S H, Yoo H K. Assessment of long-term performances of polyester geogrids by accelerated creep test. Polymer Testing, 2002, 21(5): 489
- 8 郭奕崇, 闫宝瑞, 信春玲, 等. 塑料土工格栅拉伸过程的试验研究. 工程塑料应用, 2004, 32(8): 47

PREDICTION OF LONG-TERM CREEP BEHAVIORS OF PLASTICS GEOGRID

Guo Yichong, Xin Chunling

Chen Qiang, Jia Zongjie

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China) (Beijing Futian Building Materials Co. Ltd., Beijing 101117, China)

ABSTRACT A laboratory for testing creep property of plastics geogrid was established and creep behaviors of geogrid specimens were tested. The ambient temperature and humidity were kept steady in the laboratory during the test. Different specimens were subjected to different load levels. Time-strain relation graph got from the testing showed that creep developed slowly under lower load levels while it was accelerated when being subjected to higher load levels and then ruptured. With a method which combines time-temperature superposition and time-stress superposition, long-term creep behaviors of geogrid were predicted. According to the superposition results, the service life of geogrid may achieve to 100 years under 20% load level and at 20℃. The present work shows that geogrid subjecting 20% load level will be safe and if load level exceed 40%, the geogrid may rupture within a short time.

KEYWORDS plastics geogrid, creep, strain, load level, prediction

欢迎订阅《2004 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》

为推动我国工程塑料加工应用技术进步,中国工程塑料工业协会加工应用专委会于 2004 年 9 月 25 日~30 日在成都召开“2004 年中国工程塑料加工应用技术研讨会”。为配合本次会议,《工程塑料应用》杂志社从会议征集的众多来稿中精选出 88 篇优秀论文,连同 12 篇深受读者欢迎的塑料成型加工实用技术讲座,编辑出版了会议的《论文集》。在这些论文中,既有对行业发展有指导意义的专论、综述,也有反映塑料行业技术前沿的专项研究成果;既有高屋建瓴的理论性分析,又有丰富具体的技术实践。内容涉及工程塑料、改性塑料、加工、应用、测试、设备与模具及市场等方方面面。

这百篇论文,紧密结合科研、生产实际,内容丰富翔实,技术水平较高,集中研讨了全行业人士关心的“热点”、“难点”问题,对塑料行业今后的发展大有裨益。这百篇论文,集中反映了我国塑料行业蓬勃发展的现状,展示了我国工程塑料加工应用领域的高新技术成果。她以丰富的内容、翔实的资料为从事工程塑料研究、生产和教学的同行们提供了一本不可多得的宝贵文集,架起了一座相互交流、共同发展的桥梁。

该《论文集》50 元/册。另我社尚有部分 2003 年、2002 年、2001 年和 2000 年编辑出版的《论文集》,价格优惠,共 120 元。全套论文集 170 元,欢迎广大读者同时订阅。

- 《2004 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》 50 元/册;
- 《2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会论文集》 45 元/册;
- 《2002 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》 30 元/册;
- 《2001 年中国工程塑料加工及模具技术研讨会论文集》 25 元/册;
- 《2000 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》 20 元/册。

邮局汇款

收款单位:山东省济南市 108 信箱杂志社
邮政编码:250031 传真:0531-5816706-808 5947355
电话:0531-5816706-805,802 5947355

银行汇款

户名:中国兵器工业集团第五三研究所
开户银行:济南市工商银行八一分理处
帐号:1602001209014424079

欢迎查询有关广告

对于在我刊刊登的所有广告,如读者需要查询更详细的资料或了解情况,请填好《读者查询广告资料服务卡》后寄回或来函。本杂志社将为您提供或转请有关单位提供资料,以满足您的要求。如需购买任何广告单位的材料、设备、仪器及配件等产品,我社将帮助您联系,以保证产品质量,争取优惠价格。欢迎各单位在我刊刊登广告。刊登办法函索即寄。

《工程塑料应用》读者查询广告资料服务卡

No _____

读者姓名_____单位_____

通讯地址_____电话_____邮政编码_____

欲获得《工程塑料应用》_____年第_____期第_____页_____

广告中有关_____的详细资料。

如空位不够,请另附纸。填好后请寄回。

山东省济南市 108 信箱杂志社

邮政编码: 250031