

土工布的蠕变特性研究

汤宝润 杨蓉娟 俞云龙

(天津纺织工学院)

【摘要】 土工布的蠕变取决于外载荷水平及环境温度等。本文利用时间与温度等效规律，对土工布的蠕变量进行线性处理，并预测了长期载荷作用下蠕变量。

一、引言

土工布广泛地应用于永久性工程中，在长期载荷作用下会产生较大的形变，使土建结构丧失稳定，造成许多灾难性的事故；并因土工布产生较大变形，使土工布的功能大大减弱。为了使土工布在长期载荷作用下发挥其功能，必须研究其蠕变特性，并采用时间与温度等效规律，预测土工布的蠕变寿命。

二、试验

1. 蠕变试验

根据土工布的使用条件，研究常温状态下的拉伸蠕变。拉伸蠕变是在恒定载荷长期作用下，其形变随时间增加而增长的关系；在预定的试验条件下（一定温度和湿度）试样承受恒定载荷时，测定其时间函数的伸长量。以此预测

土工布长期使用的性能及其寿命。

2. 试样及物理指标

采用的试样为A号针刺型土工布，测试其纵向蠕变。测试每个载荷水平下五块试样，试样尺寸为 $170 \times 50 \text{mm}^2$ ，有效尺寸为 $100 \times 50 \text{mm}^2$ ，拉伸夹持距离为 100mm 。其土工布试样的物理指标见表1。

表1 土工布试样物理指标

编号	土工布结构	原料	质量 (g/m^2)	2KPa压力 下的厚度 (mm)	密度 (Kg/m^3)
A	针刺短纤维	涤纶	422	3.05	130.9

3. 试验条件

试验温度选择在土工布的实际使用状态 $20 \sim 80^\circ\text{C}$ ，在此范围内观测土工布蠕变量的变化。为此，在试验室内观测恒定温度下土工布承受不同外载荷作用时拉伸蠕变与时间的关系，

以分析土工布的蠕变特性。

4. 试验设备及选择载荷

试验均在日本—DSS—500 岛津 万能试验机上进行的, 本机附有高温试验箱。

在蠕变试验中, 选择恒定载荷大小应根据土工布的断裂强度或长时间蠕变特性而定。为了对应拉伸曲线的不同阶段, 选用了 49N, 98N, 147N, 196N, 245N, 294N 等外载荷。为了数据处理方便, 采用外载荷水平 q ($q =$ 恒定载荷/断裂强度)。

三、土工布的蠕变特性

1. 载荷水平对土工布蠕变量的影响

(1) 恒定载荷大小与蠕变量的关系

土工布是非线性粘弹性材料, 一般情况下其形变由三部分组成: 急弹性形变、缓弹性形变及塑性形变。急弹性形变为土工布受力后瞬时产生, 即载荷与形变符合虎克定律, 缓弹性形变在载荷作用下, 形变量随时间延长而增大, 这两种形变都是可恢复的。而不可恢复的形变, 称为塑性形变。随着外载荷大小的不同, 土工布三部分形变各自占的百分比也不同, 因此, 蠕变试验中恒定载荷的大小及恒定载荷作用下的时间长短, 决定了形变量的变化。

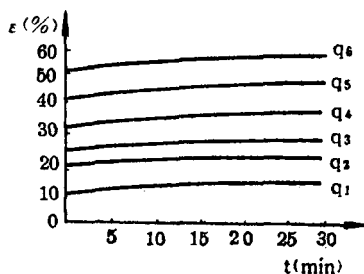


图 1 时间与蠕变曲线

蠕变试验时选择各温度

表 2 不同温度时载荷水平

温度 (°C)	载 荷 水 平 q					
	q1	q2	q3	q4	q5	q6
20	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.72
40	0.12	0.24	0.36			
60	0.12	0.24	0.36			
80	0.12	0.24				
100	0.12	0.24				

下的载荷水平 q 如表 2。

(2) 蠕变曲线

在测试时间为 30 分钟内的蠕变量见表 3, 时间与蠕变曲线如图 1 所示。

表 3 土工布 A 的蠕变 ϵ
($T = 20^{\circ}\text{C}$, $RH = 65\%$)

$t(\text{min})$	q1	q2	q3	q4	q5	q6
	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.72
0	11.50	20.90	24.00	31.30	40.70	49.50
1	11.86	21.34	24.44	32.04	41.48	50.80
2	11.98	21.55	24.73	32.37	41.96	51.55
3	12.05	21.68	24.90	32.56	42.21	52.02
4	12.10	21.75	25.02	32.69	42.50	52.31
5	12.14	21.80	25.12	32.80	42.68	52.56
10	12.26	22.00	25.36	32.95	43.21	53.36
15	12.32	22.09	25.47	33.10	43.51	53.76
20	12.36	22.15	25.54	33.18	43.63	54.02
25	12.39	22.19	25.59	33.25	43.77	54.21
30	12.41	22.21	25.62	33.29	43.88	54.35

利用计算机对图 1 中数据分析, 并进行函数拟合, 得到 ϵ 与 t 呈对数关系。将 ϵ 与 $\ln t$ 线性分析, 其结果如下:

载荷水平(q)	回 归 方 程	相 关 系 数 R
0.12	$\epsilon = 11.87 + 0.163 \ln t$	0.9989
0.24	$\epsilon = 21.38 + 0.297 \ln t$	0.9966
0.36	$\epsilon = 24.5 + 0.347 \ln t$	0.9938
0.48	$\epsilon = 32.14 + 0.351 \ln t$	0.9907
0.60	$\epsilon = 41.50 + 0.716 \ln t$	0.9987
0.72	$\epsilon = 50.84 + 1.057 \ln t$	0.9992

上列中蠕变与时间的对数线性相关, 其通式为:

$$\epsilon = a + b \ln t$$

式中: a 为瞬时蠕变量 ($t = 1s$, $\epsilon = a$);

b 为瞬变系数 ($d\epsilon/dt = b/t$).

所以, 随着载荷水平的提高, 瞬时蠕变量也增大, 并且蠕变速度加快。

(3) 等距曲线及等时曲线

土工布的蠕变曲线可以描述载荷(或应变)

与时间的依赖关系。从蠕变曲线中还可得知等距(应变恒定)曲线,即在给定应变 ϵ' 时,外载荷与时间对数的关系,如图2所示。同样,给定时间 t' ,从蠕变曲线上可得到等时曲线,见图3。

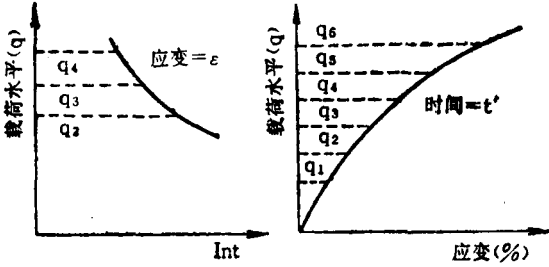


图2 等距曲线

图3 等时曲线

这两种曲线有适用性,例如在等距曲线上,假设 $\epsilon' = 35\%$,若查在载荷水平 q_2 和 q_3 之间或 q_3 和 q_4 之间任一载荷水平下的蠕变时间,则可方便的得到,而且不需要重新试验。同样,在等时曲线上,假设 $t' = 20\text{min}$,则可在一曲线查得任一载荷水平下的应变值或任一应变下的载荷水平,这对于分析土工布的蠕变特性和设计时的计算很有价值。

2. 温度对蠕变的影响

分析温度对土工布的影响,分别观察了40℃、60℃、80℃及100℃时土工布蠕变的过程,其拟合函数如下:

温度	载荷水平	回归方程	相关系数 R
40℃	0.12	$\epsilon = 13.17 + 0.436 \ln t$	0.9968
	0.24	$\epsilon = 27.31 + 0.483 \ln t$	0.9831
	0.36	$\epsilon = 38.27 + 0.738 \ln t$	0.9826
60℃	0.12	$\epsilon = 15.16 + 0.519 \ln t$	0.9953
	0.24	$\epsilon = 33.21 + 0.535 \ln t$	0.9682
	0.36	$\epsilon = 53.39 + 1.347 \ln t$	0.9637
80℃	0.12	$\epsilon = 24.46 + 1.084 \ln t$	0.9847
	0.24	$\epsilon = 33.76 + 1.578 \ln t$	0.9671

在100℃时发现:随蠕变时间增长,试样在长度方向上产生收缩,这主要是土工布在高温下($>T_g$,玻璃温度)涤纶纤维产生热收缩之故。

从上述回归方程中不难看出:在同一外载

荷水平作用下,蠕变量随温度增加而增大,蠕变速率也加快。这从分子运动理论可给予满意的解释。纤维中的大分子链段随温度上升而提高,链段热运动加剧,大分子链段间产生相对运动,纤维伸长导致土工布的形变增大。

在40℃~80℃范围内观察短期蠕变,利用时间-温度等效原理推算温度为20℃时土工布的长期蠕变,如图4所示。并发现推算值与实测的蠕变量有明显差异,而推算值高于实测值。其原因与蠕变单元有关,由于时间-温度等效原理的推导过程是以分子链段为运动单元,而土工布的运动单元是以纤维为单元,所以,土工布的蠕变不仅有纤维中分子链段的运动,同时还有纤维间的滑脱运动。为此,在利用时间-温度等效原理时有一定的限制。

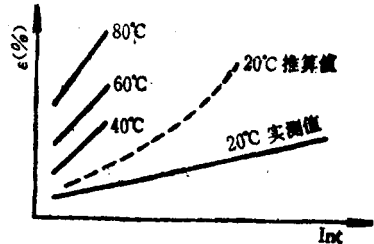


图4 常温下土工布的长期蠕变曲线

3. 蠕变经验公式的适用性

通过实验分析,影响蠕变的主要因素是外载荷水平、温度及时间。但在实际使用时,影响土工布蠕变的因素较复杂,为此,在推算蠕变量时只有结合工程的具体条件。研究土工布的蠕变问题,目前只能通过实验研究,观察其蠕变的规律性,并推算长期蠕变量。本实验推导出的蠕变经验公式只作为评价各种针刺型土工布的蠕变规律,并对长期蠕变量的推算,为估算工程寿命提供依据。

例如在常温下土工布受不同外载荷水平时的蠕变量的推算见表4。

从表4看出:在10年时间内,A型土工布蠕变时(除 $q = 0.72$ 以外)均未超出蠕变极限,相对来说,外载荷水平低,其蠕变寿命则更长。按经验公式只要求出测试方程中的 a 、 b 参数值,即可推算土工布的长期蠕变量。

表 4 A型土工布长期(十年)蠕变值的推算(%)

载荷水平(q)	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.72	蠕变极限(%) = 65.38
蠕变值(ϵ)	15.07	26.40	31.29	39.00	55.52	71.53	

注: $T = 20^{\circ}\text{C}$, $RH = 65 \pm 5\%$, 蠕变极限是拉伸强度最大值时的形变量。

四、土工布的蠕变机理分析

土工布的蠕变与结构密切相关,因针刺法生产的土工布,完全是通过针刺机的穿刺作用,将蓬松的纤维网加固而成,由于刺针的垂直穿入纤维网的作用,使纤维间构成空间纠缠,而针刺的次数和密度越大,这种纠缠就越紧密,纠缠点也就越多,土工布的强度也就越高。

针刺型土工布结构,在外载荷作用下其形变由三部分组成:

- (1) 卷曲纤维的伸直、伸长或断裂。
- (2) 纤维之间纠缠点的松解或断开。
- (3) 纤维之间克服摩擦力互相滑脱。

在拉伸的开始,纤维之间的纠缠和抱合来不及解除,而卷曲纤维伸直,有的纤维则伸长,使土工布立即产生瞬时形变。当外载荷恒定后,随着时间延长,纤维的拉伸使纤维间的纠缠点松解或断裂,纤维间抱合强力减弱产生

滑脱。这种纠缠点的松解或断开,随时间延长而越来越少,因此蠕变量也就越小,蠕变量表现为缓慢变化,几乎趋于恒定。随

着土工布中纤维纠缠点的减少,蠕变必然导致结构的解体,而产生土工布蠕变断裂。

五、结 论

在研究土工布蠕变性能时发现:土工布的蠕变取决于外载荷水平及环境温度等。土工布的蠕变量与时间的对数成线性关系,即 $\epsilon = a + b \ln t$,由该方程可以推算土工布的长期蠕变,对不同结构土工布的蠕变寿命及土建工程结构的稳定性都具有重要意义。

参 考 资 料

- [1] 《天津纺织工学院学报》,1991年, No.4, p. 24.
- [2] 《力学与实践》,1992年, No.2, p.16.
- [3] 《纺织学报》,1991年, No.12, p.33.
- [4] 《Study of the Rheological properties in geotextile》,1991年,国际流变学会论文集,汤宝润。