

塑料土工格栅的长期性能与质量保证

逢钧仪

(青岛科技大学高分子科学与工程学院, 青岛 266042)

摘要 利用时温叠加原理和最小偏差原理,对同一系列多种规格的高密度聚乙烯(HDPE)单向拉伸土工格栅在不同温度下的蠕变性能进行测试,并结合数学方法在短期内预测其长期性能。该方法置信度高,可广泛应用于塑料土工格栅质量保证及工程设计中,大大减小了工程设计的误差,确保了塑料土工格栅使用的安全性。

关键词 蠕变试验 塑料土工格栅 长期性能 质量保证

塑料土工格栅是一种加筋材料,其蠕变性能是关系工程结构长期稳定性的重要因素。人们从 20 世纪 80 年代开始在 40℃对塑料土工格栅进行加速蠕变试验,并利用按照时温等效原理绘制的叠合曲线预测塑料土工格栅的长期设计强度。为了尽可能缩短外推距离,测试时间通常要持续 10 000 h 甚至更长。20 世纪 90 年代以来,人们开始使用更高的测试温度(如 50℃),但测试时间仍需 10 000 h^[1]。

近年来,为了缩短测试时间,人们对阶段等温蠕变测试方法进行了研究并取得一定进展。现在可以在较短的时间内预测某些塑料如高密度聚乙烯(HDPE)、聚丙烯或聚对苯二甲酸乙二酯等土工格栅的长期性能。

笔者现以 HDPE 土工格栅为例来探讨加速蠕变测试方法及其在质量保证方面的应用。

1 方法原理

蠕变测试是在恒定的温度和载荷下,连续或按规定的時間间隔记录试样的伸长量,直至达到“失效时间”。从工程应用角度考虑,试样的“失效时间”定义为当应变达到 20% 或试样断裂所需的时间,以最先满足条件者为准。如果应变不足 20% 试样就断裂,则记录断裂时间。

同样的蠕变现象,既可以在较高的温度下较短的时间内观察到,也可以在较低的温度下较长的时间内观察到。借助转换因子 S 可实现将较高温度下的蠕变测试数据转换成较低参考温度下的数据,并按时温等效原理绘制叠合曲线。通常,根据工程应用中加筋挡土墙的墙体温度确定参考温度,也可取全年平均气温与最热月份施工现场的正常气温的算术平均值作为墙体的有效温度。这里取 20℃为参考温度。

为了获得足够的数据绘制叠合曲线,在 20、40、50℃下,1~1 000 h 的时间范围内,每种试样至少需

要 3 个数据点。

2 实验部分

2.1 材料

HDPE 单向拉伸土工格栅:拉伸强度为 50、65、90、130、170 kN/m 5 种规格,以下分别用 A、B、C、D、E 表示,青岛颐中格栅股份有限公司。

2.2 实验装置与测试仪器

20、40℃和 50℃独立恒温实验系统:温度控制精度在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的温差范围内,自制;

万能拉伸试验机:GT7001-MS-5 型,台湾高铁科技股份有限公司;

专用夹具:夹面足够宽,不损伤试样,且能限制试样的滑移,自制;

加载系统:具有有效的防振措施,能保证恒定的静载荷,且具有对试样施加预张力的能力,自制;

悬重物:质量明确、方便加载,并备有多种规格,自制。

2.3 试样的制备

从 HDPE 单向拉伸土工格栅长度与宽度方向上随机剪取长度为 5 个完整单元的测试试样。蠕变试样的名义标记长度为试样中间 3 个完整单元的长度,750 mm 左右。

2.4 测试方法

设定测试温度,将试样预热 12 h 以上。然后施加预载荷,取施加预载荷的试样长度作为初始长度。1 min 内迅速而平稳地将全部载荷加到试样上,开始记录时间并测量伸长量。按式(1)计算各时间的应变:

$$\varepsilon = \Delta L \times 100 / L_R \quad (1)$$

式中: ε ——应变, %;

ΔL ——加预载荷至测读时间的伸长量, mm;

L_R ——初始长度, mm。

对于 5 种规格的土工格栅产品, 3 个温度下至少要做 45 组测试, 笔者做了 63 组试验^[2]。其中, 测试时间为 1 ~ 10 h 的 18 组; 10 ~ 100 h 的 22 组; 100 ~ 1 000 h 的 15 组; 1 000 ~ 2 000 h 的 4 组; 2 000 ~ 5 000 h 的 4 组。

3 测试结果

以应变为纵坐标, 时间的对数为横坐标作图, 并在图中标出各条曲线相应的单宽载荷。按式 (2) 计算单宽载荷:

$$\alpha = F_t \times N_s / N_m \quad (2)$$

式中: α ——单宽载荷, kN/m;

F_t ——蠕变测试施加的载荷, kN;

N_s ——单位宽度的肋条数, 条/m;

N_m ——试样的肋条数, 条。

图 1 为 C 试样在 20℃ 的应变-时间对数曲线。据此可确定其在各级载荷下的“失效时间”。

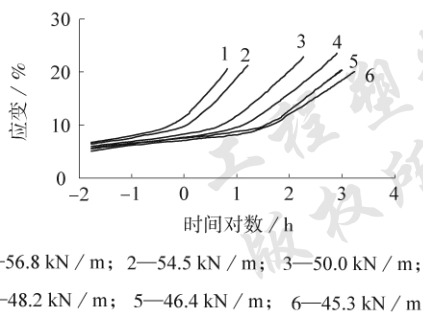


图 1 20℃ 的应变-时间曲线

4 蠕变极限强度 F_{cr} 的确定

4.1 最佳转换因子 S_{40-20} 、 S_{50-20} 的确定

以单宽载荷的对数为纵坐标、时间的对数为横坐标作图, 并对 20、40、50℃ 的实验点分别进行拟合。图 2 为 C 试样在一系列温度下的单宽载荷与时间的双对数曲线。需要说明的是, 若采用多项式进行拟合, 会得到一条曲线, 比直线更加符合数据点的分布, 但最终计算的 F_{cr} 偏高。为了增加测试结果的可靠性, 这里仍采用线性拟合。

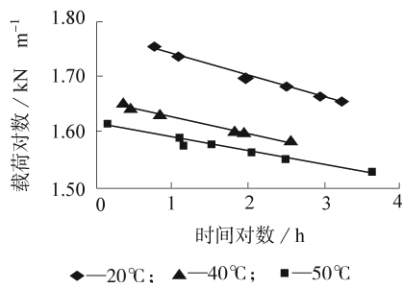


图 2 载荷-时间的关系曲线

选定 20℃ 为参考温度, 依据“最小偏差”原理将高于参考温度下的曲线向右水平移动, 使三条直线彼此叠合连接成一条直线, 见图 3。

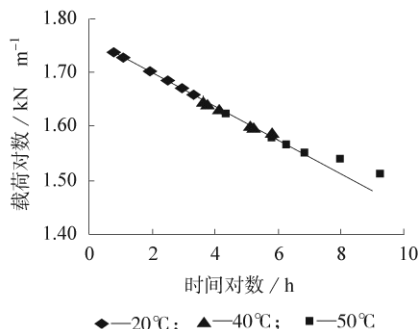


图 3 利用最佳转换因子转换后的载荷-时间关系曲线

其线性回归方程如下:

$$y = -0.0313x + 1.7631 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.9867$$

由 40℃ 和 50℃ 数据向右平移的时间对数标尺, 可确定 C 试样的最佳转换因子 S_{40-20} 、 S_{50-20} 分别为 1 880 和 12。同理可确定其它 4 种试样的 S_{40-20} 与 S_{50-20} 。

4.2 平均转换因子 S_{av} 的确定

对于不同规格的土工格栅, 转换因子略有差异。取 5 种土工格栅转换因子的平均值 ($S_{av,50-20} = 14.6$, $S_{av,40-20} = 1764$), 对高温下的测试数据进行重新转换。使用平均转换因子对 C 试样的测试数据进行转换, 得到的线性回归方程为:

$$y = -0.0309x + 1.7619 \quad (4)$$

$$R^2 = 0.9859$$

两次转换所得的叠合结果差别甚微, 表现在横坐标轴上不超过 0.1 个时间对数单位。因而在以下分析中可以用平均转换因子代替最佳转换因子。

4.3 规化与 95% 置信度载荷的确定

以测试数据的中间值如蠕变 1 000 h 时的强度 α_{000} 去除各级测试的单宽载荷, 将整个系列 5 种土工格栅的测试数据加以规化。由 t 分布表可知 60 组以上数据的 95% 置信度下限为平均值向下偏移 2 个标准方差单位后得到的数值^[3]。据此, 绘制 95% 置信度关系曲线, 可得式 (5):

$$\lg(\alpha / \alpha_{000}) = a - b \lg t \quad (5)$$

式中: α_{000} ——蠕变 1 000 h 的强度, kN/m;

α / α_{000} ——规化蠕变载荷;

a ——与蠕变测试的载荷有关的常数;

b ——与系列土工格栅的整体性能有关的常数;

t ——时间, h。
这里 b 取 0.030 9, a 取 0.084 9。对于设计寿命 120 a 的土工格栅, $\lg t = 6.02$, 可将式 (3) 简化为 (用 F_{cr} 表示蠕变 120 a 的 α 值):

$$F_{cr} = 0.792 \times \alpha_{000} \tag{6}$$

式中: F_{cr} ——120 a 的蠕变极限强度, kN/m。

根据式 (6), 在以后的同系列土工格栅测试中, 可由蠕变 1 000 h 的单宽载荷 α_{000} 直接计算 120 a 的蠕变极限强度 F_{cr} , 省去了繁锁的计算并大大缩短了测试时间, 且置信度高达 95%。采用多种不同的测试温度并结合时温等效原理, 同类测试的时间基本不超过 200 h。

4.4 考虑生产中的质量控制因素

上面计算的 F_{cr} 仅为被测批次土工格栅的蠕变极限强度。若要确定蠕变测试的良品下限以指导生产, 则必须对其加以校正。校正方法是用与生产过程中质量控制因素有关的折减系数 RF_m 去除 F_{cr} 。将该下限值再代回到式 (5) 中, 即可得到一组与良品下限对应的 a 值, 见表 1, 从而确定各类土工格栅的载荷与时间之间的关系, 如图 4 所示。

表 1 与各类土工格栅相对应的 a 值

试样	A	B	C	D	E
a 值	1.515 9	1.634 7	1.751 3	1.926 0	2.038 3

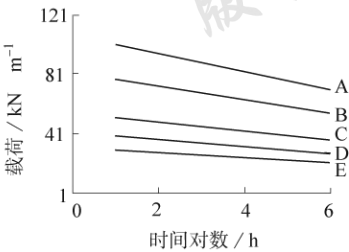


图 4 蠕变下限基本关系曲线

式 (5) 为参考温度与高温数据的叠合曲线的公式, 利用转换因子可以将叠合曲线分解为各测试温度下的独立曲线。其方法是上述确定的平均转换因子代回, 如式 (7) 所示:

$$\lg (\alpha / \alpha_{000}) = a - b \lg (t \times S_{a, t}) \tag{7}$$

C 试样叠合曲线的分解结果如图 5 所示。

5 质量保证应用

为了确定新批次土工格栅的性能能否满足上述下限的要求, 需要对被测试样的失效时间及与该批次土工格栅相对应的时间转换因子两个方面进行考察。

对于新批次的土工格栅, 至少要在 2 种不同的温度下测试, 并将所得的趋势线与基本关系线进行

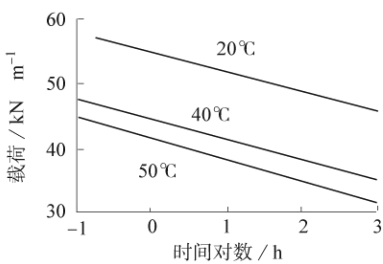
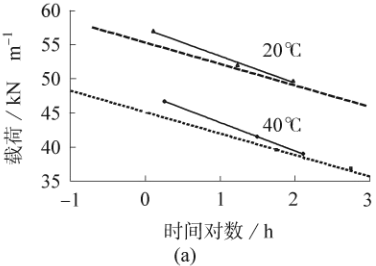


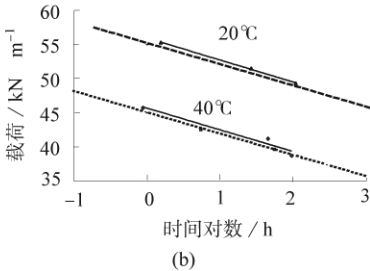
图 5 蠕变下限的基本关系曲线

比较。通过二者位置的比较可考察失效时间的差异; 通过二者斜率的比较可考察转换因子的差异。如果各温度下的趋势线斜率的绝对值都小于或等于基本关系线的斜率, 则时间转换因子的变化符合要求。

图 6 为新批次土工格栅 C 的失效时间曲线。尽管图 6a 所示数据点均位于基本关系线的上方, 但是两条趋势线斜率的绝对值明显偏大。这表明新批次土工格栅的转换因子与绘制基本线时采用的转换因子有较大差异。原转换因子不再适用此批次的产品。图 6b 所示的两条趋势线均与其对应的基本线平行, 且位于上方。虽然有一个数据点在基本线以下, 但测试结果符合要求。



(a)



(b)

a—不符合要求的情况; b—符合要求的情况

图 6 新批次土工格栅 C 的失效时间曲线

另外, 依据蠕变测试数据绘制等时应力应变曲线, 还可确定各土工格栅一定温度下任一时间、任一应变水平的强度值。图 7 为土工格栅 C 的等时应力应变曲线。

6 对质量保证检测程序的一点建议

如果仅仅考察土工格栅的“失效时间”, 则分别在两个或两个以上不同温度下测试 1 ~ 2 个试样就

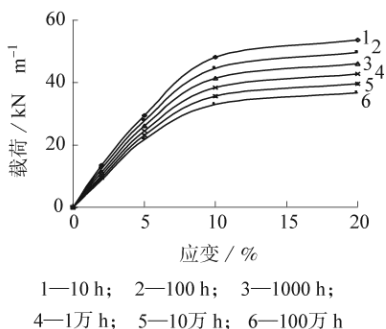


图7 等时应力应变曲线

足够了;如果要绘制趋势线,则至少需要3个数据,并且时间的分布要合理。也就是说,每个温度下至少要测3个数据,且时间分别分布在1、10 h和100 h左右。

要准确确定试验应施加的载荷并不容易。因为基本关系图反映的是最低下限的概念,而大多数试样在实际测试过程中所表现出来的性能都会大大优于此。许多试样的失效时间会比由基本关系式得到的时间长10年甚至几十年,或更多时间。

因此,建议在实际操作过程中按下列程序进行:

(1) 在两个或两个以上不同温度下分别进行3组测试。根据基本关系线分别在1、10 h和100 h的截距确定需要施加的载荷;

(2) 测试开始24 h后,即可检查其中2个载荷

较低的试样的变化情况。如果其失效时间超过了预计时间的2倍,必要时应重新确定合适的载荷,以期分别于10 h和100 h左右达到失效;

(3) 将测试结果及据此得出的趋势线与该土工格栅的基本关系图相比较,根据相对位置与斜率确定新批次土工格栅是否达到蠕变下限要求。

按上述方法,可在200 h(不到9 d)的时间内,通过6个测试数据考察新批次土工格栅的蠕变性能。

7 结论

(1) 利用时温叠加原理和最小偏差原理对塑料土工格栅进行蠕变测试,可以在较短的时间内预测其长期强度。

(2) 通过测试得到一种或者一系列塑料土工格栅的基本蠕变性能关系之后,只需要不到200 h即可完成用于质量保证目的的测试,方便而快捷。

参考文献

- 1 Wrigley N E, Austin R A, Harrison P E. The long-term strength of geogrid reinforcement. Geosynthetics 99. Boston: Massachusetts, 1999.
- 2 ISO 13431 - 1999 Geotextiles and geotextile-related products-determination of tensile creep and creep rupture behaviour.
- 3 ISO 2602 1980. Statistical interpretation of test results estimation of the mean confidence interval.
- 4 ISO 10319 - 1996 Geotextiles-wide-width tensile test.

LONG-TERM PERFORMANCE AND QUALITY ASSURANCE OF PLASTIC GEOGRID

Pang Junyi

(Institute of Polymer Science and Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

ABSTRACT The creep performance of a series of high density polyethylene(HDPE) geogrids at different temperature is tested, and the long-term performance of HDPE geogrids is determined in short period by using the principle of time temperature superposition and the principle of minimizing the error for a least-squares curve fit as well as other mathematical techniques. The method has high confidence. It can be used in quality assurance and engineering design, to minimize the design error and to ensure the security.

KEYWORDS creep test, plastic geogrid, long-term performance, quality assurance

新一代钢塑共挤胶粘剂——钢衬胶

由中国兵器工业集团第五三研究所控股的济南泰和树脂有限公司隆重推出新一代钢塑共挤胶粘剂——钢衬胶。该胶属溶剂型,单组分,适用于极性材料粘接,具有热收缩率低、抗蠕变、粘接强度高、不粘模口、工艺简单等优点。

本公司同时推出J-628聚氨酯胶粘剂,专用于金属与PET膜复合。该胶属溶剂型,单组分,具有高的初粘力和结晶速度,无需熟化,工艺简单,是替代进口胶粘剂的理想产品。

济南泰和树脂有限公司

地址:济南市天桥区新黄路16号

邮编:250033

电话:0531-85936134(传真),85913268,85954227