

分级等温法确定发泡聚苯乙烯压缩蠕变性能

刘晓曦

(空军工程大学工程学院, 西安 710038)

摘要 为了合理评估发泡聚苯乙烯(EPS)的压缩蠕变性能, 在分析 EPS 压缩蠕变研究现状的基础上, 将分级等温法(SIM)应用到 EPS 压缩蠕变研究中, 得到 EPS 的分段蠕变曲线。研究了温度对 EPS 压缩强度的影响, 在 44℃ 时压缩强度曲线出现突变, 并导致压缩蠕变明显增加。研究表明, SIM 可用于分析 EPS 的压缩蠕变性能, 供设计和施工单位参考。

关键词 道路工程 发泡聚苯乙烯 压缩蠕变 分级等温法

发泡聚苯乙烯(EPS)是由 PS 颗粒发泡而成, 即在加热软化过程中颗粒膨胀形成许多均匀封闭空腔, 这种结构决定了 EPS 具有轻质、耐压、耐久等诸多优良工程特性, 常用于防止软基上填土的沉降, 防止桥台和道路垂直错位, 修建直立挡墙, 置换地基, 作为减压、防冻、防渗材料及建筑外墙保温板等^[1~3]。这些应用可以明显地减小作用在结构上的静态和动态荷载, 可以简化施工, 能有效防止病害和起到节能的作用, 且在某些特殊工程中为其它材料所不可替代。

置于结构中的 EPS 使用寿命一般在 30 a 以上, 长期承受静态压缩, 因此它的压缩蠕变性能对工程长期稳定性有较大影响, 这是人们极为关心的一个问题。材料的蠕变是指在温度、载荷不变的条件下, 其应力和变形随时间变化的现象。EPS 材料的蠕变主要受材料自身特性、载荷水平、环境温度等因素影响。目前工程领域对 EPS 材料压缩蠕变特性的研究还很少, 对蠕变现象的研究主要集中在对土工格栅等材料的拉伸性能上。

常规的蠕变试验耗时长、费用高, 这使得加速土工材料蠕变试验方法广泛应用, 国内外应用最多的是时温叠加(TTS)法和分级等温(SIM)法。TTS 法的缺点是试验是对多个试样进行的, 蠕变主曲线不确定。在国内, 李丽华等^[4]采用 SIM 法对土工合成材料的蠕变性能进行了研究。在国外, 加速土工材料蠕变试验方法已得到广泛的应用, 主要是针对土工织物, 如 D. Narejo 等^[5]采用 SIM 法评估土工网的压缩蠕变性能, E. G. Missirlis 等^[6]使用 TTS 法评估 EPS 的压缩蠕变性能。笔者研究 SIM 法是否适用于 EPS 的蠕变, 应用 SIM 法确定 EPS 的压缩蠕变性能, 并得到 EPS 在较高温度下力学性能的相关结论。

1 SIM 法介绍

SIM 法是在 TTS 法的基础上发展起来的一种更先进的方法。其基本原理是, 对一个试样连续加载, 分级升温, 通过升高温度后缩小时间比例做出蠕变应变和时间的对数关系图, 垂直移动各段曲线去除热膨胀对蠕变曲线的影响, 水平移动后得到主曲线。如果缩小时间的比例恰当, 则得到的曲线前一段的末端斜率与后一段的始端斜率精确匹配。

进行 SIM 试验首先假定在较高的温度下材料的粘弹特性是可以加速的, 其以 3 个理论为基础。

(1) Arrhenius 公式^[7] 描述了材料物理和化学反应中反应速度与温度的关系, 公式的通常形式是:

$$k = k_0 e^{-(E/RT)} \quad (1)$$

式中: k ——反应速度;

k_0 ——速度常数;

E ——激活能量;

R ——通用气体常数;

T ——绝对温度。

$$\ln \frac{\dot{\epsilon}_1}{\dot{\epsilon}_2} = \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (2)$$

式中: $\dot{\epsilon}_1$ ——温度 T_1 时的应变;

$\dot{\epsilon}_2$ ——温度 T_2 时的应变。

(2) Williams-Landel-Ferry 公式^[8] 该公式引入了时间修正系数 a_T , 该值在不同的温度下与应变相关, 是粘弹性过程中特定温度下与时间的过程关系。

$$\dot{\epsilon}(T_0, t) = \dot{\epsilon}\left(T, \frac{t}{a_T}\right) \quad (3)$$

式中: $\dot{\epsilon}$ ——初始温度下的应变;

T_0 ——初始温度;

t ——时间;

ε ——较高温度的应变;

T ——较高温度的;

α_T ——修正系数。

修正系数 α_T 由 WLF 经验公式确定:

$$\lg \alpha_T = \frac{-C_1(T - T_0)}{C_2 + T - T_0} \quad (4)$$

式中: C_1 和 C_2 是经验常数。

(3) Boltzmann 叠加原则^[9] ①材料的应变取决于材料加载的整个过程; ②每次加载或温度效应是分离的; ③材料总应变是各过程应变的总和。应用该原则可得到不同载荷下的应变, 以及加载过程中所对应的总应变。虽然在 SIM 蠕变试验中载荷保持不变, 但每个温度等级可以被认为是不同的载荷, 而不同温度等级下的材料蠕变不同。

2 试验部分

2.1 试样和试验仪器

试样采用湖北襄樊银祥泡沫厂生产的 EPS, 材料的密度依据 GB/T 6343-1995^[10] 测得为 20.5 kg/m³, 试样用加热电阻丝切割而成, 试样尺寸为 50 mm × 50 mm × 50 mm。试验仪器采用电子万能试验机、专配高低温箱和高温加热设备。

2.2 试验温度

对于加速试验, 试验温度的控制对材料蠕变结果的影响较大, 温度升高将会加速 EPS 的压缩蠕变。SIM 方法中, 起始温度一般采用实验室室温, 最后温度根据材料的玻璃化转变温度确定, 每步间隔为 7℃ 左右, 每步持续时间为 10 000 s。笔者进行了 6 个温度分级试验(23、30、37、44、51、58℃)。试验温度由高低温箱控制, 温度的精度为 ±0.5℃。

2.3 试验结果

(1) 初始温度下的压缩 EPS 无侧限单轴压缩试验是根据 GB 8813-1988^[11] 在温度 23℃、湿度 50% 下进行的。试验选取 3 个试样, 其应力应变曲线见图 1。EPS 的压缩强度选为应变 10% 时所对应的应力值^[12]。得到平均压缩强度为 (104.7 ± 2.8) kPa, 该值被用于计算 SIM 试验中施加的载荷。

另外, 压缩试验温度从 23℃ 到 58℃, 中间间隔 7℃, 选用了 6 个不同等级的试验温度。对于每次压缩试验, 将试样先在烘箱中放置 2 h 以达到要求的试验温度。每个温度等级也选择了 3 个试样进行试验, 结果如图 2 所示。从图 2 可以看出, 温度的增加导致了压缩强度的降低, 且呈非线性。图 2 斜线斜率的突变发生在 44℃, 出现这一现象的原因目前还

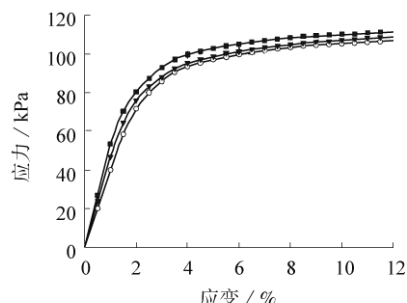


图 1 标准条件下 EPS 压缩应力应变曲线

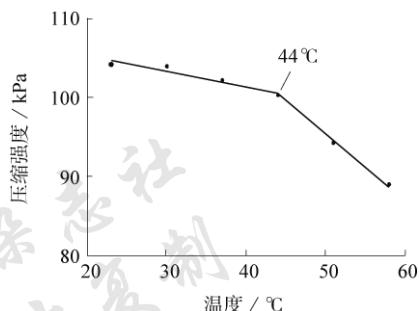


图 2 不同温度下 EPS 的压缩强度

未明确, 可能与 EPS 内部结构变化有关。

(2) SIM 法 压缩蠕变试验中采用 SIM 法的温度间隔为 7℃, 采用了 6 个温度分级。试验试样的恒定压力为压缩强度的 20%, 在各自的温度等级和载荷下持续时间 10 000 s。图 3 示出试样在 6 个温度等级下的应变与时间的关系曲线。

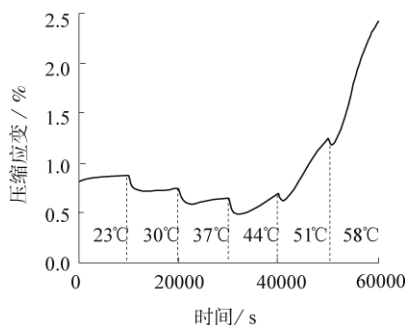


图 3 EPS 的 SIM 曲线

从图 3 可以看出, EPS 在每一个温度等级初始阶段应变值呈下降趋势, 反映其热膨胀效应。当温度为 23 ~ 37℃ 时, 在每一个试验温度等级, 当试样达到平衡后应变值趋于稳定。然而, 在 44 ~ 58℃ 时, 应变值不再保持恒定, 而是随着试验温度的增加而逐渐增加。从 44℃ 开始出现的这种变化可以和压缩试验中出现斜率突变联系起来, 同时说明在 44℃ 以下采用 SIM 法来预测 EPS 的压缩蠕变性能是可行的。这也与国外的相关研究类似, E. G. Mis-

sirlis 等^[6]在使用 TTS 方法评估 EPS 的压缩蠕变性能时, 仅限于试验温度 50℃ 以下, 因为在温度为 52℃ 以上时材料表现出明显的非线性。

3 结论

(1) EPS 的压缩强度与试验温度呈非线性相关, 在临界温度 44℃ 以上, 压缩强度随着温度的增加而明显下降。

(2) 在每个试验温度等级中, EPS 试样存在一定的热膨胀效应, 因此在生成主蠕变曲线时需校正。

(3) 临界温度(44℃) 以下, 可以采用 SIM 法确定 EPS 的压缩蠕变性能。采用 SIM 法对于 EPS 在建筑、公路等工程领域的应用具有一定意义。

参考文献

- 1 张卫兵. 聚苯乙烯泡沫塑料在工程中的应用. 工程塑料应用, 2004, 32(7): 39
- 2 石少卿, 张湘冀, 刘颖芳, 等. 硬质聚氨酯泡沫塑料在军事工程中的应用. 工程塑料应用, 2004, 32(8): 36
- 3 鲁江, 果莉萍. 硬质聚氨酯泡沫塑料在屋面保温防水工程中的应

用. 工程塑料应用, 2005, 33(7): 36

- 4 李丽华, 王钊. 加速土工合成材料蠕变试验的分级等温法. 人民长江, 2003(11): 52
- 5 Narejo D, Allen S. Using the Stepped Isothermal Method for Geonet Creep Evaluation(3rd). Munich: European Geosynthetics Conference, 2004.
- 6 Missirlis E G, Atmatzidis D K, Chrysikos D A. Compressive Creep Behavior of EPS Geofoam (3rd). Munich: European Geosynthetics Conference, 2004.
- 7 Koerner R M, Lord A E, Hsuan Y H. Arrhenius modeling to predict geosynthetic degradation. Geotext Geomembr, 1992(2): 151
- 8 Ferry J D. Viscoelastic Properties of Polymers(3rd). New York: Wiley, 1980.
- 9 Jorge G Z, Brett R B, Justin W K. Creep of geotextiles using time temperature superposition methods. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2004(11): 1158
- 10 GB/T 6343-1995 泡沫塑料和橡胶表观(体积)密度的测定.
- 11 GB 8813-1988 硬质泡沫塑料压缩试验方法.
- 12 Stark T D, Arellano D, Horvath J S. Geofoam applications in the design and construction of highway embankments. NCHRP Web Document 65, TRB of the National Academies, 2004

COMPRESSION CREEP BEHAVIOR OF EPS USING THE STEPPED ISOTHERMAL METHOD

Liu Xiaoxi

(School of Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

ABSTRACT In order to evaluate the compressive creep behavior of expanded polystyrene (EPS), on the basis of the analysis of actuality research of the EPS compressive creep, the subsection creep curves were gained by applying the stepped isothermal method (SIM) to the investigation of compressive creep. In addition, the temperature effect on the compressive strength was studied. The results showed that the slope of strength versus temperature changed abruptly, and led to a significant increase in the creep rate at 44℃. SIM could be used in the detection of compressive creep property of EPS, and gave technological references for design and construction units.

KEYWORDS road engineering, expanded polystyrene, compressive creep, stepped isothermal method

《工程塑料应用》杂志开设“技术转让与合作”、“企业风采”栏目

为作好广大作者、读者单位最新科研成果及新产品、新技术的推广服务,《工程塑料应用》杂志社将在《工程塑料应用》杂志和工程塑料网站(www.epa1973.com)上开设“技术转让与合作”栏目,以便买卖双方有效交流与沟通。栏目内容可涉及科研成果及专利技术的转让,公司新产品、新技术简介等各方面。

另外,为了全方位宣传塑料行业精英企事业单位形象,《工程塑料应用》杂志增设“企业风采”栏目。报道内容主要是企业发展历史、企业文化、企业管理、研发创新能力、新产品发布、攻关项目介绍,人物专访等。来稿字数控制在 5000 字以内,可以附带图片。

《工程塑料应用》是中文核心期刊,是中国工程塑料工业协会会刊,国内外公开发行,屡获国家期刊奖,是中国塑料行业的权威媒体,知名度高,发行量大。可确保您发布的信息有足够的浏览量。

欢迎各有关企事业单位踊跃投稿! 投稿时请提供所发布信息的真实性证明,并加盖单位公章。具体刊登事宜请与编辑部直接联系。

地址: 山东省济南市 108 信箱杂志社 邮编: 250031

电话: 0531-85878057 85878278 传真: 0531-85947355 85878224 E-mail: epa@epa1973.com