

# RPUR 静载和动载压缩性能研究

王伟力 曾 亮 朱建方

( 海军航空工程学院兵器科学与技术系, 烟台 264001)

**摘要** 对 4 种不同密度的硬质聚氨酯泡沫塑料(RPUR)的静载和动载压缩性能进行了实验研究。结果表明, RPUR 材料的静载和动载压缩应力-应变曲线具有几乎相同的特性,其压缩性能与材料密度相关;因 RPUR 材料的压缩屈服应力较低,且其加载卸载压缩应力-应变曲线迟滞明显,因此不适于单独作为工程结构和路基等材料使用。

**关键词** 硬质聚氨酯泡沫塑料 静载 动载 压缩性能 响应

硬质聚氨酯泡沫塑料(RPUR)因具有快速固化、与其它材料间的结合性良好、原料来源广泛、储藏和使用方便等特点而在工业领域及人们的日常生活中得到广泛应用。但目前主要是作为夹层材料和保温材料使用<sup>[1]</sup>。

如果能利用 RPUR 突出的快速固化特性,将其用于道路或其它工程的快速抢修,将极大地减少抢修时间。但是 RPUR 能否满足路基、工程结构材料的基本动载和静载压缩性能要求值得考察。笔者基于此目的,对 RPUR 的静载和动载压缩性能进行了较细致的实验研究,尝试为 RPUR 材料的改性、复合与合成工艺及应用提供重要的依据。

## 1 实验部分

### 1.1 原材料

异氰酸酯: M20S, 粘度 150 mPa·s, 韩国 BASF 公司;

聚醚多元醇: 635SA, 羟值(470 ±20) mg KOH/g, 粘度 2000 mPa·s, 金陵石化公司化工二厂;

发泡剂: F-11、F-123, 市售;

催化剂: 三亚乙基二胺和辛酸亚锡, 市售;

泡沫稳定剂: 硅油 L-580, 美国杜邦公司;

键增长剂: 1,4-丁二醇, 南京化工厂。

### 1.2 设备与仪器

通用力学试验机: 英国 Instron 公司;

霍普金森压杆实验装置(SHPB): 14.5 mm, 中国兵器工业集团第五三研究所。

### 1.3 试样制备

按配方分别称量聚醚多元醇及发泡剂、催化剂、泡沫稳定剂等助剂, 配制成粘度约 400 mPa·s 的组合物, 再加入适量的异氰酸酯进行模塑发泡, 制备成密度为 0.07、0.1、0.2、0.4 g/cm<sup>3</sup> 的 RPUR<sup>[2]</sup>。

按国家标准将 RPUR 坯料经切割和磨制制成

50 mm × 50 mm × 50 mm 的方形标准静载压缩试样和 16 mm × 6 mm 的片状标准动载压缩试样。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同密度 RPUR 的静载压缩性能<sup>[3,4]</sup>

图 1 给出了 4 种不同密度的 RPUR 的压缩应力-应变曲线。

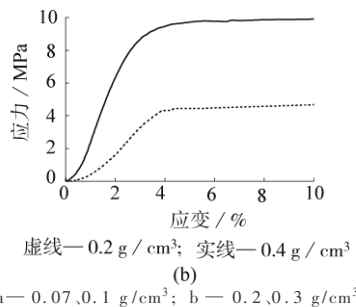
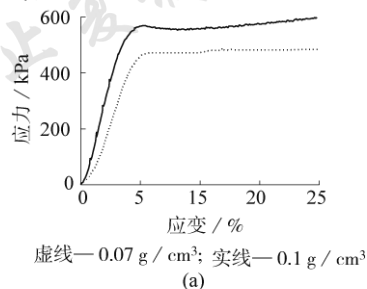


图 1 4 种不同密度的 RPUR 的压缩应力-应变曲线

由图 1 可以看出, 随着 RPUR 密度的增加, RPUR 材料的压缩屈服应力、压缩弹性模量(起始近乎直线段的斜率)显著增加, 因此从提高 RPUR 承载力的角度来说, 提高材料的密度是非常有效的方法。另外, 屈服点对应的应变却基本一致, 这一现象可能暗示了 RPUR 的泡孔结构效应和密实基体材料的性质等决定了 RPUR 的屈服点应变的有限性, 屈服后 RPUR 进入了近乎平直的大变形阶段, 此时, 材

料承载能力不会提高, 这说明 RPUR 承受的压应力一旦达到或超过其屈服应力, RPUR 则将发生沿压应力方向的不可恢复的大塑性变形。

图 2 给出了 2 种密度的 RPUR 的静态加载、卸载、再加载、再卸载的压缩应力 - 应变曲线。由图 2 可以看出, 在塑性段的卸载呈非线性, 卸载的起始段接近线弹性, 卸载斜率接近加载弹性段的斜率, 后段表现为非线性; 再加载的起始段可以近似为线弹性, 斜率近似为首次加载斜率, 后段表现为非线性, 并再次出现塑性的平台段, 近似于首次加载曲线的延拓。因此在加载、卸载、再加载过程中除了有外力的能量通过泡沫塑料泡孔的破裂等留在材料中之外, 不能使材料的承载能力明显提高, 材料仍表现出了大变形的塑性性质。当 RPUR 的泡孔完全被压塌而变成近乎密实的材料时, 其承压能力才可明显提高, 但此时 RPUR 可能已出现破裂、破碎, 实验结果也证明了这一点。

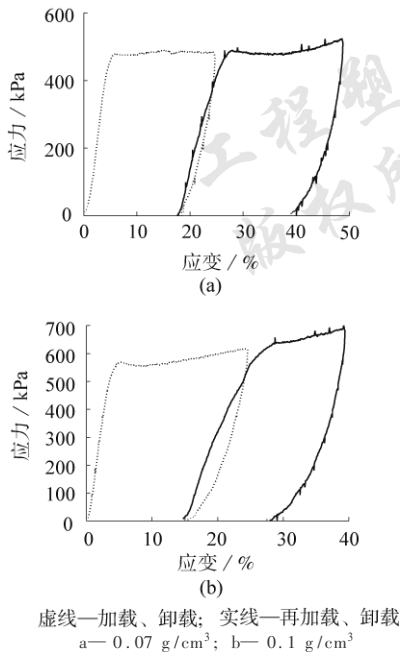


图 2 2 种密度的 RPUR 的加载、卸载、再加载、再卸载的压缩应力 - 应变曲线

2.2 不同密度的 RPUR 的动载压缩性能<sup>[3,4]</sup>

一般材料的动载和静载压缩性能是有明显差别的, 主要体现在压缩屈服应力与加载速率有关。图 3 示出不同应变率下不同密度的 RPUR 的压缩应力 - 应变曲线。对比图 3 和图 1 可以看出, 不同密度的 RPUR 的动载和静载压缩应力 - 应变曲线具有几乎相同的特性, 在弹性的起始段和大变形的塑性段压缩屈服应力随 RPUR 密度的增加而提高, 表明在

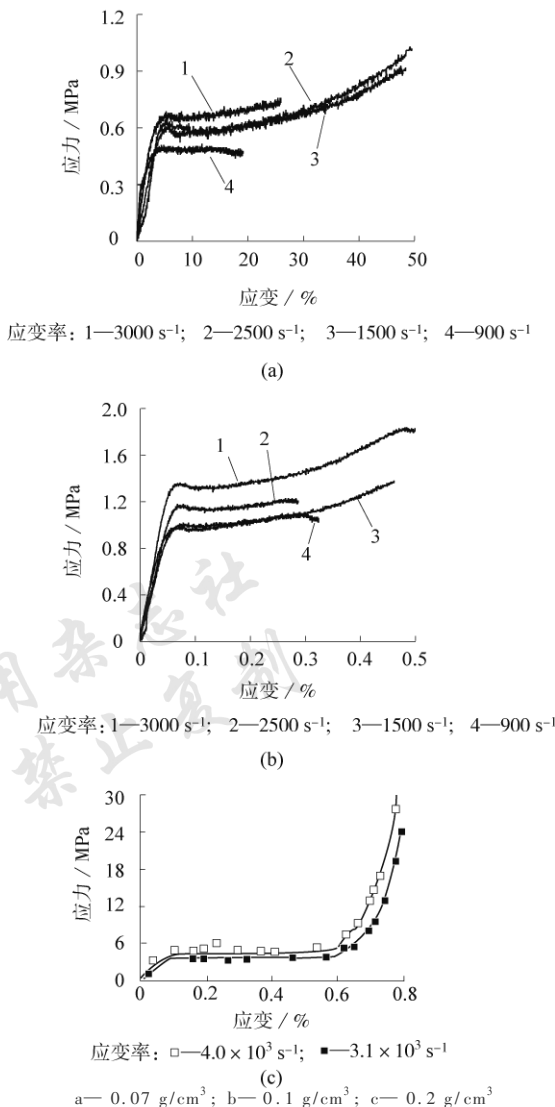


图 3 不同应变率下不同密度的 RPUR 的压缩应力 - 应变曲线  
动载下 RPUR 表现出的压缩行为基本上等同于静载场合。但随应变率的提高, 动载下 RPUR 的压缩屈服应力比静载时有一定的提高。

考虑到在实际关心的载荷作用下 RPUR 的应变率不高, 因此可以认为动载下 RPUR 的压缩性能与静载下差别不大, 可以近似地按静载的情况考虑。

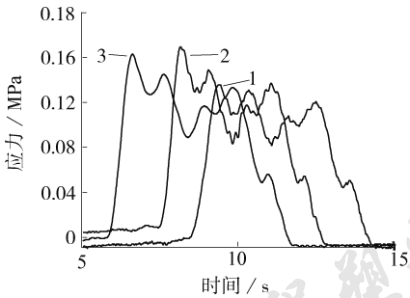
需要说明的是, 所给出的 RPUR 的动载测试结果可能有一定误差。这主要因为: 其一是 RPUR 材料的力学强度较低, 试样加工制作困难, 难以保证加工过程中材料不产生缺陷; 其二是由于 RPUR 材料声阻抗较低, 动载测试难免有误差, 特别是对于低密度的 RPUR 更是如此。

2.3 周期性动载下 RPUR 的压缩特性<sup>[5]</sup>

从应用角度来说, 希望材料组成的结构体能承受加载、卸载、再加载、再卸载如此循环的连续变化

的动载荷作用。就 RPUR 而言,其特殊的细观结构形式决定了它加载、卸载过程中的不同轨迹,较低的声速使得加载与卸载过程在结构体中有一定的迟滞性,即使在外力作用点下方的应力分布可能也很不均匀。

图 4 为实测车辆通过地面(在约 0.5 m 深处平铺 RPUR 试样)的压缩应力-时间曲线。由图 4 可以明显看出,应力接近零的载荷谷值基本不存在,也就是说在地面的测量点应力还没到零值(实际上施加的外载荷已接近零)时下一个载荷已来。显然加载卸载的迟滞性是明显存在的,这对变形的恢复是不利的。



1—第 1 次,倒退; 2—第 3 次,倒退; 3—第 5 次,倒退

图 4 实测车辆通过地面的压缩应力-时间曲线(压应力为正)

### 3 结论

(1) RPUR 材料的静载和动载压缩行为有共同的弹性段、屈服段、大变形的塑性段。其压缩屈服应力比其它结构材料低,这也是为什么它不能单独作

为结构材料使用的主要原因。另外,RPUR 的动载硬化(屈服强度提高)现象不很明显,因此可以近似用静载压缩性能来研究其动载问题。

(2) RPUR 材料的压缩性能与其密度有强的依赖关系:密度大,压缩强度则高。若要将 RPUR 作为结构材料使用,应根据载荷情况选择相应密度的 RPUR 或 RPUR 复合材料(如用玻璃纤维或织物增强等)。

(3) 作为路基填充材料来说,RPUR 有其施工上的便利优势。但对于较低密度的 RPUR 而言,较低的屈服应力使得它的承载能力非常有限,一旦外载超过其屈服应力,快速的下陷是不可避免的,使得车辆等的连续通过受到影响;采用高密度的 RPUR 虽会有所改善,但本质变化不大,同时还会造成成本大为提高,固化过程中产生“烧心”等缺陷。

### 参考文献

- 1 方禹声,朱吕民.聚氨酯泡沫塑料.北京:化学工业出版社,1984.
- 2 王伟力,徐标.硬质聚氨酯泡沫塑料力学性能与密度、增强剂含量的关系.工程塑料应用,2001,29(8):8
- 3 王伟力.硬质聚氨酯泡沫塑料模塑工艺与复合构件承力性能的理论设计方法:[学位论文].南京:解放军理工大学,1999.
- 4 王伟力,徐标.增强 PUR-R 泡沫塑料力学性能的测试和讨论.工程塑料应用,2001,29(11):33
- 5 王伟力,李善高,钱七虎. RPUR 破坏及增强机理的细观分析.高分子材料科学与工程,2001,17(4):23

## STUDY ON PROPERTY OF RIGID POLYURETHANE FOAM PLASTIC UNDER STATIC AND DYNAMIC COMPRESSIVE LOAD

Wang Weili, Zeng Liang, Zhu Jianfang

(Department of Ordnance Science and Technology, Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai 264001, China)

**ABSTRACT** Experiments of static and dynamic compressive load are made for four kinds of rigid polyurethane foamed plastics (RPUR) of different density. The results showed that the stress-strain curves of RPUR at static load and dynamic load are similar, and the compressive property is related to the density. The yield strength of RPUR is low and its load-unload curve is apparently lagging feedback, so RPUR can't be applied in the structure and roadbed independently.

**KEYWORDS** rigid polyurethane foam plastics, static load, dynamic load, compressive property, response

### 阿科玛公司推出高性能透明尼龙

阿科玛公司目前正在扩大其新产品——高性能透明尼龙 Rilsan 的生产能力。Rilsan 与传统的产品相比,具有更高的韧性和易加工性,从而能适用于更多的场合,例如运动和休闲用品等。

Rilsan 的特点是不管制品厚度是多少都能保持制品的透明性,这就使得设计师们能设计出任何形状的产品,同时还具有质轻、硬度较高和耐化学药品性,从而使得制品更舒适、更时尚。

(SpecialChem)

### 汽巴精化公司推出 PP 高性能新成核剂

最近瑞士汽巴精化公司推出 PP 高性能新成核剂 Irgastab NA287。该助剂可改善 PP 制品的力学性能和扩大制品颜色选择自由度,从而节省材料。

Irgastab NA287 有助于减小加工制品的翘曲,减少飞边,缩短加工成型时间和提高产量,改进和提高材料的刚性、耐冲击性、硬度和热变形温度,而力学性能的提高则能减薄最终制品壁厚和实现轻量化。这种新成核剂还能提高 PP 制品的透明度,有助于被包装产品的推销。

(金立)