

硬质聚氨酯泡沫塑料隔爆性能的研究

陈网桦^a 朱卫华^a 彭金华^a 王成^a 王福力^b 刘荣海^a

(^a 南京理工大学化工学院 南京 210094) (^b 兵总生产安全局 北京 100823)

摘要 对四种不同密度的硬质聚氨酯泡沫塑料(简称 RPUF)隔爆性能进行了研究. 发现随着 RPUF 材料密度的增加, 其被发雷管爆炸概率为 50% 时的隔板厚度不断下降. 对密度为 0.09 和 0.345 g/cm³ 的 RPUF 材料作了静态压缩及动态冲击压缩试验(应变率为 10³ s⁻¹). 结果表明此材料具有较好的吸能缓冲性能, 并且在所研究的密度范围内, 随着密度的增加, 材料的吸能缓冲性能增加, 隔爆性能也增强.

关键词 硬质聚氨酯泡沫塑料 隔爆 静态压缩 动态冲击 吸能缓冲

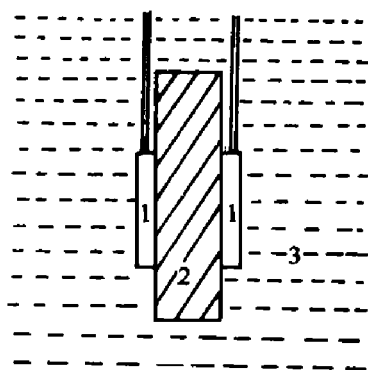
中图法分类号 TQ 328.1 TB302

1 引言

轻质隔爆防护材料在军事工业、民用爆破等行业中都有相当广泛的应用^[1-2]. 例如, 利用这种材料可以制成炮手的防护服、危险工种操作防护设备等, 还可以制成少量危险品(炸药、雷管等)贮存运输箱. 然而, 目前对此轻质隔爆材料的开发研究尚不充分. 本文旨在在此方面做些探索性的工作. 文中, 作者选用有一定机械强度的硬质聚氨酯泡沫塑料(RPUF)作为隔爆材料进行研究.

2 实验装置及实验方法

2.1 隔爆试验



- 1 雷管;
- 2 隔爆材料;
- 3 砂浴
- 1 Detonators
- 2 Gap material
- 3 Sand pool

图1 隔爆试验示意图

Fig 1 The schematic diagram of gap test

* 本课题由兵总生产安全局资助.

1996-04-15收到原稿, 1996-06-18收到修改稿.

隔爆试验如图 1 所示。选用 8 号铜壳雷管为试验的主发雷管和被发雷管。实验时不断调整隔爆材料的厚度,看被发雷管被殉爆情况,找出最大殉爆距离后,用上下法求出被发雷管 50% 不爆的距离(简称半爆距离 L_{50}),并以此表征 RPUF 材料的隔爆性能。

2.2 RPUF 材料的静、动态压缩试验

RPUF 材料的静态压缩试验是在万能试验机上进行的。试样规格为 $\text{O}35\text{mm} \times 10\text{mm}$, 静压速度为 1mm/min , 相应的形变应变率为 $1.67 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ 。

其动态压缩实验使用的设备为分离式 Hopkinson 压杆(简称 SHPB)。众所周知, SH-PB 技术是目前研究材料在高应变率 ($10^2 \sim 10^4 \text{s}^{-1}$) 下动态力学行为的重要手段。其基本原理: 在假定试样内部应力状态均匀的前提下, 利用入射杆上测得的入射波、反射波以及透射杆上测得的透射波来计算试样在冲击载荷作用下的应力-应变及应变率-时间等关系。实验中由于透过 RPUF 试样后的应力波信号衰减约二个数量级, 故在透射杆上使用了灵敏度系数较高的半导体应变片(其动态灵敏度系数经标定为 86.2)^[3]。实验试样的规格为 $\text{O}35\text{mm} \times 10\text{mm}$ 。

3 实验结果与分析

3.1 RPUF 材料隔爆试验的结果

表 1 列出了四种不同密度 RPUF 材料隔爆试验的结果, 其中空气的半爆距离即指图 1 中隔爆材料为空气时两雷管之间的距离。

表 1 RPUF 材料隔爆试验结果

Table 1 Gap test results of RPUF material

材料密度 $\rho / (\text{g}/\text{cm}^3)$	空气	0.091	0.226	0.345	0.474
半爆距离 $L_{50} / (\text{mm})$	45.0	25.3	14.7	12.5	8.5

将表 1 结果绘于图 2 中。从表 1 及图 2 可以看出, RPUF 材料具有一定的隔爆能力, 且在实验密度范围内, 其半爆距离 L_{50} 随着密度的增加有着显著的降低。可见 RPUF 材料的密度对其隔爆性能有很大的影响, 在实际工程应用中必须考虑正确选择材料的密度。

3.2 静、动态压缩试验的结果

作者分别对密度为 0.091 和 $0.345 \text{g}/\text{cm}^3$ 的 RPUF 材料作了静、动态压缩试验。在 SHPB 实验中, RPUF 试样典型的应力波形见图 3 将入射波以及透射波经计算机处理得到 RPUF 材料在应变率约为 $2 \times 10^3 \text{s}^{-1}$ 时的应力-应变曲线, 与其静态结果绘于图 4 中。

由图 4 可见, 曲线 3 与 4 (密度为 $0.345 \text{g}/\text{cm}^3$) 比曲线 1 与 2 (密度为 $0.091 \text{g}/\text{cm}^3$) 具有高

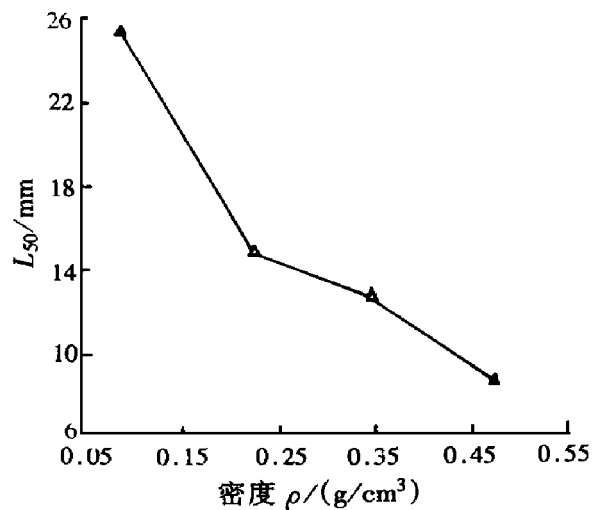
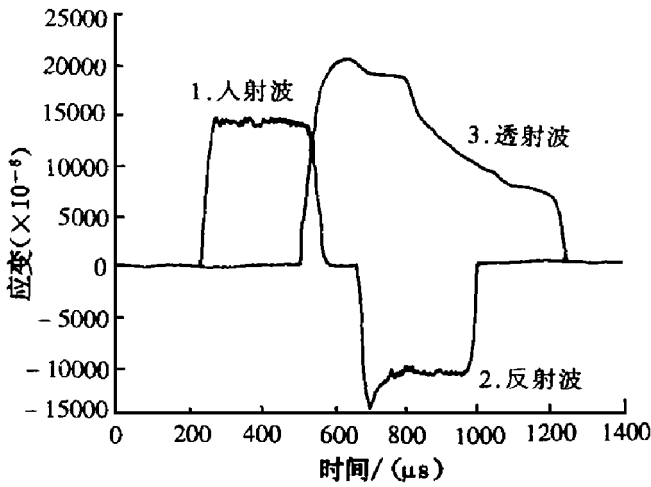


图 2 RPUF 材料隔爆试验结果

Fig. 2 Results of gap tests of RPUF material

得多的屈服应力和弹性模量, 即材料的密度确是影响其力学性能的重要因素。而当材料的密度一定时, 其动态屈服强度及动态压缩弹性模量较静态值又有相应的提高, 即 RPU F 对其变形的应变率具有一定的敏感性。



1 Incident wave 2 Reflected wave
3 Transmitted wave

图 3 SHPB 实验中的典型应力波形

Fig 3 The typical stress wave forms in SHPB tests

3.3 实验结果分析

图 5 为 $0.091\text{g}/\text{cm}^3$ 的 RPU F 材料在准静态载荷作用下的应力-应变曲线 (相应的应变率为 $1.67 \times 10^{-3}\text{s}^{-1}$)。一般认为: RPU F 材料承受动载及静载时变形都经历三个阶段: 弹性变形 $A \rightarrow B$; 屈服平台区 $B \rightarrow C$; 材料压实区 $C \rightarrow D$ [4]; 材料在压实前经过一个较长的屈服平台, 这个性质决定了材料具有吸能缓冲作用。通常以图 5 中阴影部分的面积 E_a 来度量其吸能缓冲性能。从图 4 的结果可知, 材料密度的增加, 将导致其吸能缓冲、抗冲击性能的大大提高。RPU F 具有一定的隔爆性能正是其具有良好的吸能缓冲作用的体现, 表现在它能很好地吸收主发雷管爆炸时形成的冲击波能。另外, 材料密度加大, 其剪切强度提高, 因而对主发雷管爆炸产生的破片的阻挡作用增强, 这从另一方面提高了 RPU F 的隔爆性能。总之, RPU F 的材料密度越大, 其隔爆效果越好。

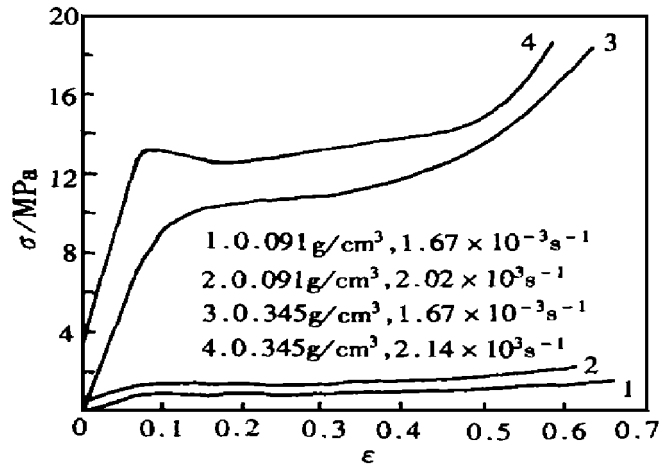


图 4 RPU F 材料静、动态压缩实验结果

Fig 4 The results of static and dynamic compression tests of RPU F material

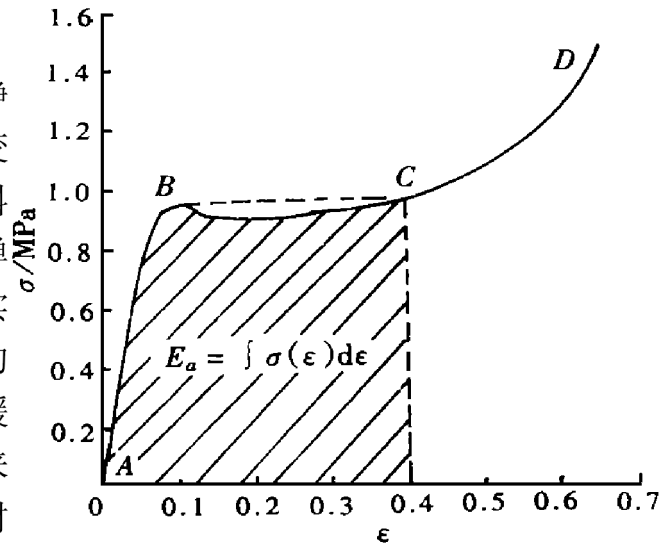


图 5 RPU F 材料 ($0.091\text{g}/\text{cm}^3$) 静载时应力-应变曲线

Fig 5 The stress-strain curve of RPU F material ($0.091\text{g}/\text{cm}^3$) under static loading

4 结 论

RPUF 材料是一种密度较轻, 有一定吸能缓冲性能的较好的隔爆材料。两种密度 RPUF 材料的静、动态压缩实验说明: RPUF 对变形的应变率有一定的敏感性; 密度是影响其力学性能及隔爆性能的重要因素, 在实际工程应用中必须注意正确选用适当的密度。

中国科技大学胡时胜副教授和刘剑飞硕士为研究工作提供了很大的帮助, 在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 H inckley W M, Y ang J C S. A nalysis of R igid Polyurethane Foam as a Shock M itigator. *Exp M ech*, 1975, 15: 177~ 183
- 2 吉田忠雄, 吴建洲, 原一男, 等. 火工品を用いたりウ - ト油井火灾消火計画と火药类の输送のための安全包装品の试验. *灾害の研究*, 1994, 25: 212~ 231
- 3 胡时胜, 唐志平, 王礼立. 应变片技术在动态力学测量中的应用. *实验力学*, 1987, 2: 73~ 82
- 4 G ibson L J, A shby M F. *Cellular Solids Structures & Properties*. Oxford: Pergam on Press, 1988: 357~ 365

GAP TEST INVESTIGATION OF RIGID POLYURETHANE FOAM PLASTICS

Chen W anghua^a, Zhu W uihua^a, Peng Jinhua^a,

W ang Cheng^a, W ang Fu li^b, Liu Ronghai^a

(a *School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science
and Technology, Nanjing, 210094*)

(b *Safety Bureau of Production of W eapon Industries Corporation,
Beijing, 100823*)

ABSTRACT The sympathetic property of rigid polyurethane foam (RPUF) plastics of four different densities is investigated in this paper. It is found that the gap width of 50% explosion probability of passive detonator (L_{50}) decreases with the increase of its density. Then the stress-strain curves of RPUF material of two densities ($0.091\text{g}/\text{cm}^3$ and $0.345\text{g}/\text{cm}^3$) are obtained by quasi-static compression tests and dynamic impact tests with a strain-rate about 10^3s^{-1} . Results of tests show that RPUF is a good cushioning material of energy absorption, and that the increase of density within the experimental range will result in the higher quality of energy absorption and cushioning which leads to the promotion of its antisymphetic property.

KEY WORDS RPUF plastics, gap test, static compression, dynamic impact, energy absorption and cushioning