

PE 纤维胶丝束拉伸损伤过程的声发射特性研究

王从科 李金鹿 张 霞 赵付宝 杨雪艳 张吉雷
(中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)

摘要 研究了聚乙烯(PE)纤维胶丝束拉伸损伤过程中的声发射(AE)特性, 确定了 PE 纤维胶丝束拉伸损伤过程中不同损伤阶段的 AE 特性, 得到了不同损伤类型的 AE 参数特征。研究发现, 判定 PE 纤维胶丝束失效的依据是出现幅度大于 90 dB、持续时间大于 1 042 μ s 的 AE 信号。
关键词 声发射 聚乙烯纤维 拉伸损伤

声发射(AE)是一种常见的物理现象, 大多数材料变形和断裂时都产生 AE。在不同的损伤阶段, 材料的 AE 特性是不同的, 通过分析 AE 特性可了解材料内部的损伤情况。作为一种动态无损检测技术, AE 检测技术可用于监视材料在变形、失效过程中的损伤累积, 鉴别失效机制和确定损伤部位等, 实现对材料在负载过程中损伤破坏情况的实时检测^[1]。

笔者对聚乙烯(PE)纤维胶丝束在直接拉伸断裂、分级加载拉伸断裂和重复加载拉伸断裂 3 种加载方式下的 AE 特性进行研究, 对不同损伤阶段和损伤类型进行表征, 得到了 AE 特性值, 为评价 PE 纤维胶丝束损伤失效行为提供了基础数据。

1 实验部分

1.1 原材料

PE 纤维胶丝束: 440dtex, 北京同益中特种纤维技术有限公司。

1.2 主要仪器、设备

多通道 AE 检测仪: DISP-4 型, 美国 PAC 公司;

传感器: R15 型, 美国 PAC 公司;
电子拉力试验机: T-10A 型, 深圳瑞格尔仪器有限公司;

扫描电子显微镜(SEM): QUANTA200 型, 美国 FEI 公司。

1.3 实验方法及条件

将 PE 纤维胶丝束按 GB/T 3362-2005 制备成图 1 所示的试样。将试样安装到电子拉力试验机的加载装置上, 然后用快干胶将传感器粘结到试样上, 背后衬以加强板, 将传感器与 AE 检测仪连接, AE 试验装置示意图见图 2。AE 试验参数: 检测门槛 30 dB; 定时参数 PDT 50 μ s; HDT 100 μ s; HLT 200 μ s; 频率 100 ~400 kHz; 传感器谐振频率 150 kHz; 前置放大器增益 40 dB; 区域定位方式; 其它参数设置见

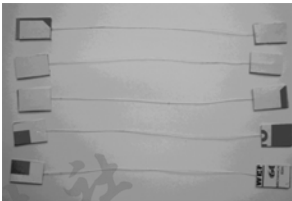


图 1 PE 纤维胶丝束试样实物照片

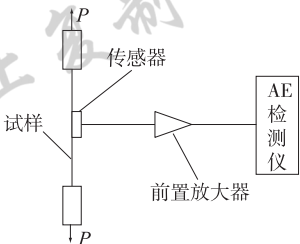


图 2 AE 试验装置示意图

表 1。直接拉伸断裂试验时, 将试样一次拉断; 分级加载拉伸断裂试验时, 设置 3 个保载台阶进行分级拉伸, 第 3 个保载台阶结束后将试样拉断; 重复加载拉伸断裂试验时, 设置 3 个加载峰值重复加载 3 次, 第 4 次拉断。

表 1 AE 试验参数设置

项目	直接拉伸断裂	分级加载拉伸断裂	重复加载拉伸断裂
加载速度 / $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	2	2	2
保载时间 / min		2、3、2	
保载载荷 / N		25、50、75	
加载峰值 / N			25、50、75

2 结果与讨论

2.1 直接拉伸断裂过程的 AE 特性

(1) 数据分析

图 3、图 4 分别示出 PE 纤维胶丝束试样直接拉伸断裂过程中载荷、AE 幅度、振铃计数随时间的变化情况和 AE 历程图。从图 3、图 4 可以看出, 直接

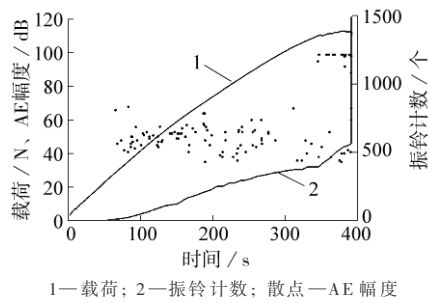
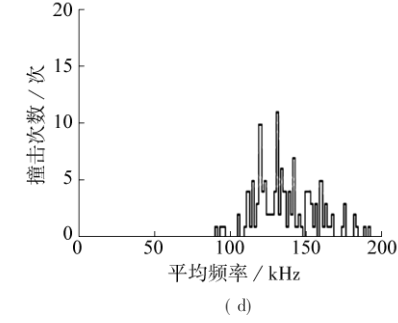
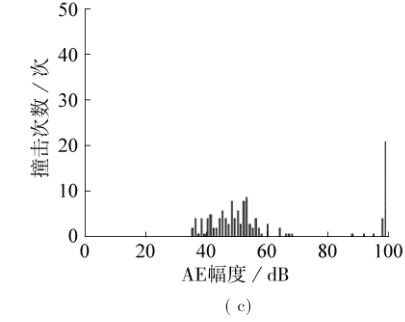
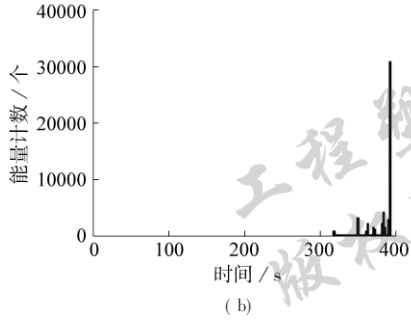
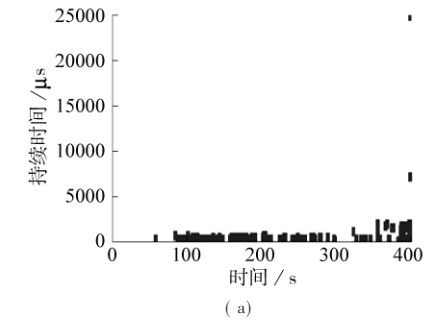


图3 直接拉伸断裂过程载荷、AE 幅度、振铃计数随时间的变化情况



a—持续时间—时间；b—能量计数—时间；
c—撞击次数—AE 幅度；d—撞击次数—平均频率

图4 直接拉伸断裂过程 AE 历程图

拉伸断裂过程中产生的 AE 信号较少, 共采集到 128 个 AE 信号。根据图 3, 可以将整个拉伸断裂过程分为 3 个阶段: 第 1 阶段(0 ~55.8 s) 为损伤孕育阶段。试样制备过程中纤维单丝之间的不平行、伸直状态不一致、树脂基体在纤维束内部渗透不均匀及界面初始应力等造成的原始缺陷在外部载荷的作用下逐渐产生损伤; 第 2 阶段(55.8 ~349 s) 为损伤累积发展阶段, 试样的损伤累积主要来自两个方面: 一是粘结不牢的界面产生的损伤变成了微裂纹; 二是纤维内部因弹塑性变形而引起的结构变化使纤维处于拉直绷紧状态, 存在缺陷的纤维单丝产生的损伤变成了微裂纹。此阶段共采集到 84 个 AE 信号。开始产生 AE 信号的时间和载荷分别为 55.8 s、26.6 N[载荷比(各台阶力值与断裂最大値之比) 为 0.235]。从图 3、图 4 还可看出, 在该阶段, AE 信号的数量和幅度随载荷的增大而稳定变化, 信号幅度集中在 35 ~70 dB(约占全部信号的 66%), 信号持续时间小于 700 μs、产生的能量计数较弱。该阶段损伤类型为界面裂纹和纤维微裂纹; 第 3 阶段(349 s ~断裂) 为失稳破坏阶段。随着载荷的不断增大, 纤维、树脂间的界面发生纵向剪切破坏, 使存在缺陷的纤维单丝瞬间承受巨大的应力, 使损伤能量积累到极限发生失稳性破坏。这种纤维单丝的不同时刻断裂导致应力的重新分布, 随着应力的不断加大, 剩余的纤维束不能承受较大的外部载荷而发生整体断裂。从图 4 可以看出, 该阶段的能量计数大幅提高, 在时间 349 s、载荷比为 0.926 时出现持续时间为 1 121 μs、幅度为 95 dB 的 AE 信号后, 在低幅度信号伴随下出现 27 个幅度大于 98 dB 的 AE 信号, 试样发生断裂, 表明 349 s 时试样出现了致命的损伤。从试样拉伸断口的 SEM 照片(见图 5) 可以看到纤维断裂、界面分离等现象。此阶段共采集到 44 个 AE 信号, 其中包含 28 个纤维断裂信号。

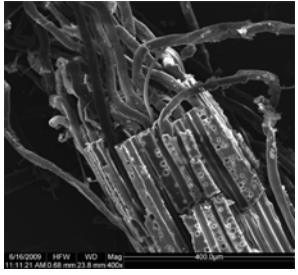


图5 试样拉伸断口的 SEM 照片

由图 3、图 4 还可以看出, 直接拉伸断裂过程中约占全部信号 78.1% 的 AE 信号幅度为 35 ~70 dB,

持续时间小于等于 700 μs 。信号幅度大于 80 dB 的信号约占全部信号的 21.9%, 其持续时间大于等于 1100 μs , 平均频率集中在 90 ~200 kHz 的信号占全部信号的 98% 以上。

(2) 不同损伤类型的 AE 特征参数表征

由于 AE 信号幅度和持续时间是表征损伤类型的主要参数^[2], 因此对 3 次有效试验得到的试验数据进行分析处理。为便于数据分析, 首先以 3 次试验中纤维胶丝束开始失效时的最低信号幅度 90 dB 为依据, 认为其后出现的大于 90 dB 的信号为纤维断裂信号, 然后进行统计, 结果见表 2。由表 2 得出 PE 纤维胶丝束断裂的 AE 特征值, 见表 3。

表 2 AE 统计数据

编号	纤维微裂纹等			纤维断裂		
	撞击次数/次	幅度范围/dB	持续时间范围/ μs	撞击次数/次	幅度范围/dB	持续时间范围/ μs
1	42	35 ~64	117 ~652	4	90 ~99	1042 ~4 263
2	59	35 ~68	45 ~575	1	99	3 707
3	83	35 ~66	119 ~682	28	95 ~99	1 121 ~1 961

表 3 PE 纤维胶丝束试样典型损伤类型的 AE 特征值

损伤类型	信号幅度/dB	最大持续时间/ μs
纤维微裂纹等	<68	<682
纤维断裂	>90	>1042

(3) PE 纤维胶丝束的失效依据

从图 3、图 4 可以看出, 当能量计数明显提高, 持续时间明显增大, 出现幅度大于 90 dB 的 AE 信号时, PE 纤维胶丝束开始失效。高幅度信号对应长的持续时间, 一般可将出现幅度大于 90 dB、持续时间大于 1042 μs 的 AE 信号作为判定 PE 纤维胶丝束失效的依据。

2.2 分级加载拉伸断裂过程的 AE 特性

图 6 示出 PE 纤维胶丝束试样分级加载拉伸断裂过程中载荷、AE 幅度随时间的变化情况。由图 6 可知, 当载荷为 0 ~25 N 时, 加载过程中几乎没有 AE 信号产生, 保载过程没有 AE 信号产生, AE 起始

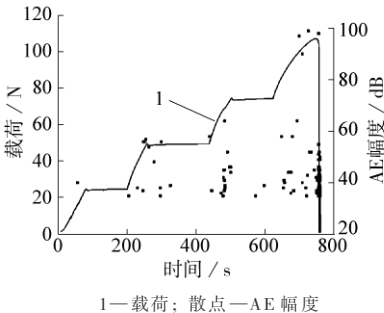


图 6 分级加载拉伸断裂过程载荷、AE 幅度随时间的变化情况

载荷大约为 16.5 N(载荷比为 0.154); 当载荷为 25 ~50 N 时, 加载过程中产生的 AE 信号数量多于第 1 个加载过程, 信号持续产生到 50 N 保载过程前段, 保载过程信号幅度不超过 60 dB; 当载荷为 50 ~75 N 时, 加载过程中产生的 AE 信号数量大于前两次加载过程, 在 75 N 保载时有信号产生, 保载过程其信号幅度不超过 40 dB; 保载结束继续加载时, AE 信号数量又开始增多, 断裂时信号数量剧烈增加。

根据图 6 计算出 3 个保载台阶下 AE 的持续时间, 见表 4。由表 4 可知, 当载荷为 25 N(载荷比 0.233) 时, 没有产生 AE 信号, 说明 PE 纤维胶丝束抗蠕变性能较好; 当载荷达到 50 N(载荷比 0.466) 时, 产生 AE 信号, 说明 PE 纤维胶丝束开始蠕变。

表 4 PE 纤维胶丝束试样在保载台阶下 AE 的持续时间

项目	保载台阶		
	1	2	3
载荷/N	25	50	75
载荷比	0.233	0.466	0.699
持续时间/s	0	67	92

2.3 重复加载拉伸断裂过程的 AE 特性

图 7 示出重复加载拉伸断裂过程中载荷、AE 幅度随时间的变化情况。根据图 7 得到费利西蒂比试验数据, 见表 5。从图 7、表 5 可以看出, 每次重复加载都有 AE 信号产生, 且信号幅度均不超过 70 dB。第 1 次重复加载费利西蒂比大于 1, 说明存在凯塞效应。后两次重复加载时, 费利西蒂比均小于 1, 说明存在费利西蒂效应。由于费利西蒂比大于 0.95^[3], 说明小于 75 N 的重复加载对 PE 纤维胶丝束试样的拉伸性能影响不大。

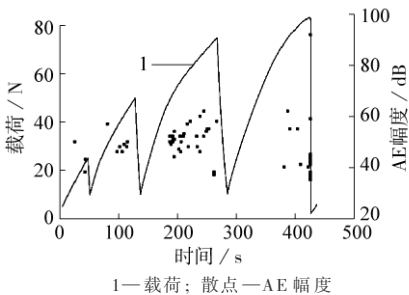


图 7 重复加载拉伸断裂过程载荷、AE 幅度随时间的变化情况

表 5 PE 纤维胶丝束试样的费利西蒂比试验数据

加载次数/次	加载峰值/N	产生 AE 信号时的载荷/N	费利西蒂比
1	25		
2	50	31.4	1.256
3	75	49.3	0.986
4	83.5	72.5	0.967

3 结论

(1) PE 纤维胶丝束试样的拉伸断裂过程一般可分为损伤孕育、损伤累积发展和失稳破坏等 3 个阶段,在整个拉伸断裂过程中微裂纹产生的 AE 信号占主导地位。

(2) PE 纤维胶丝束微裂纹产生的 AE 信号的特征是幅度小于 68 dB、持续时间小于 682 μs 。判定 PE 纤维胶丝束失效的依据是出现幅度大于 90 dB、持续时间大于 1042 μs 的 AE 信号。

(3) PE 纤维胶丝束试样分级加载时,加载过程中的 AE 信号丰富,保载阶段 AE 信号迅速减少,呈

收敛状态。

(4) PE 纤维胶丝束试样重复加载时,产生 AE 信号时的载荷逐渐提高。随着重复加载次数的增加,费利西蒂比呈降低趋势。

参考文献

- [1] 杨明伟,刘哲军,马云中.声发射检测[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 金周庚.碳/环氧复合材料声发射检测方法研究,HT920098 [R].北京:航天部,1992.
- [3] 李家伟,陈积懋.无损检测手册[M].北京:机械工业出版社,2002.

STUDY ON ACOUSTIC EMISSION CHARACTERISTICS OF TENSILE DAMAGE PROCESSES IN PE FIBER

Wang Congke, Li Jinlu, Zhang Xia, Zhao Fubao, Yang Xueyan, Zhang Jilei

(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

ABSTRACT The acoustic emission(AE) characteristics of tensile damage processes in PE fiber was studied by means of testing. By using AE multi-parameter analysis, the AE characteristics of different damage phases were defined and AE parameters of different damage types were obtained. The research indicated that the determinant rule of PE fiber invalidation occurred when the AE extent was more than 90 dB and the duration was more than 1042 μs .

KEYWORDS acoustic emission, PE fiber, tensile damage

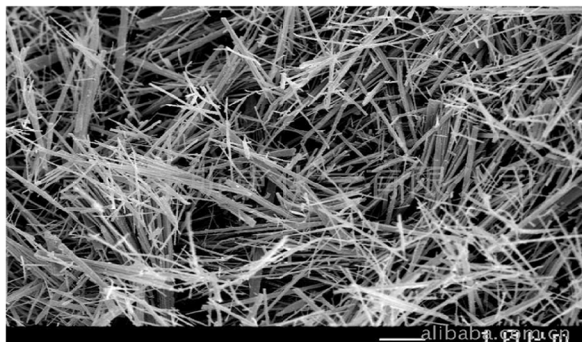


www.wskchem.com

晶须新材料：国际品质、轻质、高强、环保的镁盐晶须（短纤维）

我们提供具有国际品质的聚烯烃类塑料改性填充新材料——碱式硫酸镁晶须。适合PP增强、增刚、稳定尺寸、提高热稳定性。满足汽车专用的仪表板、内饰件等轻质、高强、降低壁厚、光洁美观的需求。满足PP制品形状复杂、尺寸小、壁厚薄需要增强要求。

放大1000倍的电镜照片



典型应用在汽车仪表板上的图片



营口威斯克化学有限公司

电话: 0417-2255013、3803038

联系人: 孙贵楠

地址: 中国营口市六三路韩家学坊

邮编: 115001

传真: 0417-3801048