

化工技术

聚丙烯纤维拔出试验声发射监测

宣卫红^{1,2} 王艳² 陈晓洪²

(河海大学土木与交通学院¹, 南京 210098; 金陵科技学院², 南京 211169)

摘要 系统地进行了室内纤维拔出试验和声发射试验,以探究聚丙烯纤维混凝土/砂浆材料的粘结破坏机理。根据聚丙烯纤维拔出试验的拔出力-拔出位移曲线,提出将聚丙烯纤维拔出破坏模型分五个阶段:完全粘结、完全粘结至部分脱粘、部分脱粘至最大脱粘、最大脱粘至完全脱粘、摩擦拔出。同步进行的声发射试验表明,累计计数-时间曲线与聚丙烯纤维拔出力-拔出位移曲线有较好的相关性,同时,声发射试验结果为提出的聚丙烯纤维拔出破坏模型提供了较好的佐证。

关键词 聚丙烯纤维 纤维拔出试验 声发射 粘结性能。

中图法分类号 TQ342.62; **文献标志码** A

声发射是一种常见的物理现象,大多数材料变形和断裂时均伴有声发射,但材料的声发射信号强度很弱,人耳不能直接听见,需借助灵敏的电子仪器才能检测出来。用仪器探测、记录和分析声发射信号以及利用声发射信号推断声发射源的技术称为声发射检测技术。

目前,采用声发射技术进行监测主要包括:(1)不同材料破坏时对应的声发射信号的描述。(2)相同材料不同破坏阶段对应的声发射信号的描述。Park^[1]研究了玄武岩纤维和碳纤维(NicalonSiC)破坏实验的能量、峰值幅值,建立了声发射事件与纤维破坏的对应关系。Mouhmid^[2]认为即使在高噪声环境下,也能动态监测玻璃纤维砂浆拉伸破坏,包括:第一阶段为弹性阶段,伴随着可忽略的声发射活动;第二阶段为由基体塑性和微裂缝控制的非线性阶段,声发射幅值为40 dB—60 dB之间;最后阶段为由声发射活动描述的破坏阶段。Bohse^[3]研究了玻璃纤维和碳纤维的声发射能量特征,能够区分基体裂缝、纤维断裂和界面破坏,包括纤维与基体的粘

结破坏、纤维拔出破坏。Groot^[4]研究玻璃纤维复合材料开裂时对应的频率为90 kHz—180 kHz,纤维的破坏频率范围300 kHz以上,脱粘频率在240 kHz—310 kHz之间,拔出频率在180 kHz—240 kHz之间。

1 研究意义

近年来,新型复合建筑材料-纤维水泥基材因其良好的性能在建筑工程等多个领域得到了广泛应用。界面性能是影响复合材料性能的重要因素之一,需要专门研究。界面粘结强度可由纤维拔出试验获得^[5]。试验时,在基体上施加固定约束,在纤维自由端施加轴向拉力,试验装置如图1所示^[6]。



图1 纤维拔出试验及声发射监测装置

为进一步明确纤维拔出过程中,材料的粘结破坏机理,本文在聚丙烯纤维水泥基材粘结性能试验

2010年8月30日收到 江苏省建设系统科技计划项目、
江苏省高校自然科学基金面上项目资助
第一作者简介:宣卫红(1963—),浙江诸暨人,教授,研究方向:结构工程及材料。E-mail:xwh@jit.edu.cn。

过程中,同步进行纤维水泥基材的破坏过程声发射信号监测;以声发射信号特征参数为纽带,建立聚丙烯纤维水泥基材微观反映与宏观表象的联系,用宏观性能特征揭示微观作用机理。

2 试验方案

采用 Scotchcast 纤维进行拔出试验,为了纤维拔出时受力更均匀,以期获得正常的声发射信号,纤维埋置 4 根,试件参数见表 1。

表 1 试件参数

试件编号	水灰比	埋置长度/mm	纤维根数	试验情况
1	0.5	10	4	正常
2	0.5	20	4	正常

声发射信号的采集用 PCI—2 公司的 2 通道 Mistras 2001 数据采集系统。宽频传感器 1045S,带宽 100 kHz—1.5 MHz。凡士林作耦合剂,2 个传感器分别用耦合剂粘于试件表面,间距为 70 mm。按照折铅步骤,对系统进行校正后再进行数据采集。声发射系统参数设置如表 2 所示。

表 2 声发射采集系统参数设置

参数名称	参数值	参数名称	参数值
采样率	1 MS/S	PDT	200 μs
前置放大器增益	40 dB	HDT	800 μs
门槛	45 dB	HLT	1 000 μs

3 试验结果及分析

3.1 试验结果

将聚丙烯纤维拔出力-拔出位移曲线和同步采集的声发射累计计数-时间曲线绘制在同一张图中,讨论拔出力、拔出位移与声发射信号之间的关联性。

将图 2、图 3 的拔出力-拔出位移曲线上的拐点作为关键点,其特征值示于表 3、表 4。

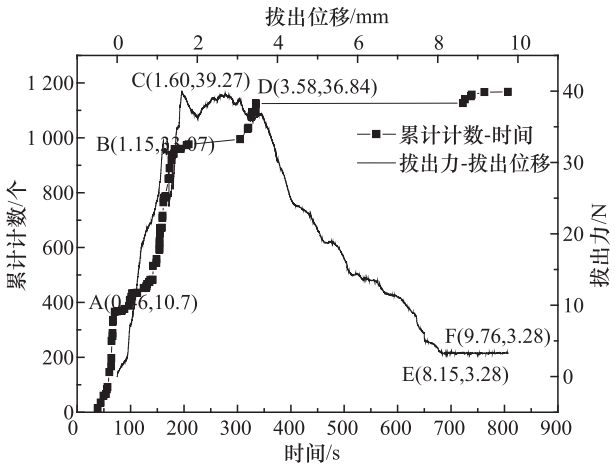


图 2 试件 1 的拔出力-拔出位移及累计计数-时间曲线

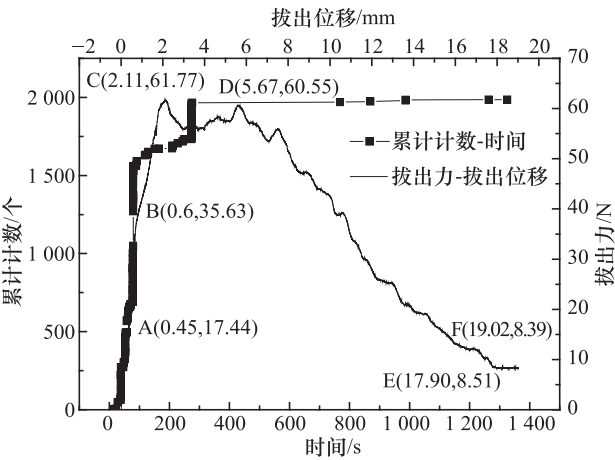


图 3 试件 2 的拔出力-拔出位移及累计计数-时间图

表 3 试件 1 拔出力-拔出位移曲线关键点汇总表

关键点	A	B	C	D	E	F
拔出位移/mm	0.45	1.15	1.60	3.58	8.15	9.76
与纤维全长的比例/%	4.5	11.5	16.0	35.8	81.5	
拔出力/N	10.70	33.07	39.27	36.84	3.28	3.28
与峰值拔出力的比例	0.27	0.84	1.0	0.94		

表 4 试件 2 拔出力-拔出位移曲线关键点汇总表

分析点	A	B	C	D	E	F
拔出位移/mm	0.45	0.68	2.11	5.67	17.90	19.02
与纤维全长的比例/%	2.25	3.4	10.55	28.35	89.5	
拔出力/N	17.45	35.63	61.77	60.55	8.51	8.39
与峰值拔出力的比例	0.28	0.58	1.0	0.98		

3.2 聚丙烯纤维拔出破坏模型

根据图 2—图 3 及表 3—表 4 的试验结果,将聚丙烯纤维拔出破坏过程分为五个阶段:

3.2.1 完全粘结阶段

当拔出力较小时,即 $F \leq 0.3F_{\max}$,拔出力-拔出位移关系近似直线(图 2、图 3 中 OA 段), A 点相当于弹性极限。此阶段纤维-砂浆完全粘结,相应的位移平均值约为纤维长度的 3.4%。

3.2.2 完全粘结至起始脱粘阶段

随着拔出力的增加,拔出力约为 $(0.3-0.7)F_{\max}$,曲线偏离直线,位移比拔出力增长得快,此阶段拔出端纤维粘结力逐渐增大至起始脱粘(图 2、图 3 中 AB 段)。

3.2.3 起始脱粘至最大脱粘阶段

随着拔出力进一步增加,拔出力约为 $(0.7-1.0)F_{\max}$,曲线进一步弯曲,位移增长速度进一步加快,表明纤维砂浆脱粘部分进一步加大,直至达到最大脱粘状态,此时拔出力达到曲线上的峰值拔出力起始点 C ,峰值拔出力为 $F_{\max}$,相应的位移平均约为 13.3% 纤维长度。

3.2.4 最大脱粘至完全脱粘阶段

超过 C 点后,拔出力围绕峰值小幅度波动至 D 点,此阶段由纤维砂浆的最大脱粘到整个纤维的完全脱粘,体现的是整个纤维由静到动的质的变化过程,相应的位移约为 32.1% 纤维长度。

3.2.5 摩擦拔出阶段

超过 D 点后,曲线进入下降段,纤维被逐渐拔出,此时只有单纯的摩擦作用。拔出力随着拔出位移的增大近似线性地减小,可据此计算出纤维-砂浆摩擦力,相应的位移约为 85.5% 纤维长度。

3.3 聚丙烯纤维拔出试验声发射信号特征分析

进一步研究声发射信号特征,找出与纤维拔出破坏模型的相关性。将声发射累计计数-时间曲线与纤维拔出力-拔出位移曲线以同步时间为基准绘制在同一张图中(图 2—图 3)。

在纤维拔出过程的第一阶段,纤维将拔出力通过界面粘结力传递到界面砂浆上,随着拔出力的增加,参与作用的界面越来越长,逐渐向砂浆内部扩

展,因此,接收到的声发射信号也越来越多。在纤维拔出过程的第二阶段,纤维先在拔出端局部脱粘,内部有新的界面参与作用,此时,纤维向内传递荷载的速度快于纤维脱粘速度,接收到的声发射信号少于第一阶段。在纤维拔出过程的第二阶段,因为纤维与砂浆界面强度的降低,因此相应接收到的声发射信号较少。在拔出过程的第三阶段,纤维向内传递荷载的速度逐渐减慢,但纤维自身变形逐渐加大,脱粘段增大,接收到的声发射信号又开始增多。在拔出过程的第四阶段,拔出力围绕峰值小幅度波动,因此,接收到的声发射信号较少。在拔出过程的第五阶段,单纯是纤维与砂浆的摩擦作用,拔出力逐渐减小,未接收到声发射信号,到纤维末端纤维完全脱离水泥基体时,又有少许声发射信号。

由此可见,声发射信号的累计数与纤维拔出破坏模型的五个阶段有着良好的对应关系。同时,观察纤维拔出力-拔出位移曲线,对应于纤维拔出过程的五个阶段的分界点,声发射信号曲线也有拐点出现。因此,声发射信号特征参数对由拔出力-拔出位移曲线建立的聚丙烯纤维拔出破坏模型给予了较好的佐证。

4 结论

通过聚丙烯纤维拔出试验和同步进行的声发射信号监测试验,得出以下主要结论:

(1) 依据聚丙烯纤维拔出力-拔出位移曲线建立的聚丙烯纤维拔出破坏模型分五个阶段,即完全粘结、完全粘结至起始脱粘、起始脱粘至最大脱粘、最大脱粘至完全脱粘、摩擦拔出阶段。

(2) 低弹性模量聚丙烯纤维拔出破坏模型不同于高弹性模量纤维之处在于:在最大脱粘至完全脱粘阶段拔出力保持较高水平;纤维通过较大的变形传递应力,纤维存在颈缩现象。

(3) 采用声发射技术对聚丙烯纤维拔出试验的全过程进行监测,证明低弹性模量聚丙烯纤维粘结性能的声发射试验的可测性,并为相关的声发射试

验研究提供了有效的系统参数设置值。

(4) 接收到的声发射信号特征与聚丙烯纤维拔出破坏模型有着良好的对应关系,可以为聚丙烯纤维拔出破坏模型提供佐证。

参 考 文 献

- 1 Park J M. A study of interfacial aspects of epoxy-based composites reinforced with dual basalt and SiC fibbers by means of the fragmentation and acoustic emission techniques. *Composites Science and Technology*, 1999;59(3):355—370
- 2 Mouhmid B, Imad A, Benseddig N, *et al.* A study of the mechanical behaviors of a glass fiber reinforced polyamide 6, 6; Experimental investigation. *Polymer Testing*, 2006;25(4):544—552
- 3 Bohse J. Acoustic emission characteristics of micro-failure processes in polymer blends and composites. *Composites Science and Technology*, 2000;60(8):1213—1226
- 4 De Groot P, Wijnen P, Janssen R. Real-time frequency determination of acoustic emission for different fracture mechanisms in carbon/epoxy composites. *Composites Science and Technology*, 1995;55(4):405—412
- 5 赖建中, 孙 伟, 董贺祥. 粗合成纤维混凝土力学性能及纤维-混凝土界面粘结行为研究. *工业建筑*, 2006;36(11):94—97
- 6 Herrera-Franco P J, Valadez-Gonzalez A. A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites. *Composites Part B: Engineering*, 2005;36(8):597—608

Monitoring on Polypropylene Fiber Pullout Tests

XUAN Wei-hong^{1,2}, WANG Yan², CHEN Xiao-hong²

(College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University¹, Nanjing 210098, P. R. China;
Jinling Institute of Technology², Nanjing 211169, P. R. China)

[**Abstract**] Indoor fiber pullout test and acoustic emission (AE) test were used to explore the bonding failure mechanism of polypropylene (PP) fiber concrete/mortar. Based on the force-displacement curves of polypropylene (PP) fiber pullout testing, five phases in the pullout failure process of PP fiber were proposed to the pullout model: complete bonding, complete bonding to partial debonding, partial debonding to maximum debonding, maximum debonding to complete debonding and friction pullout. Acoustic emission was carried out synchronously with pullout test. Results of AE test indicated that the force-displacement curves have good relativity to accumulative counts-time curves gained in synchronous testing, furthermore, the model is proven through synchronous acoustic emissions parameters.

[**Key words**] polypropylene (PP) fiber fiber-pullout test acoustic emission (AE) bonding performance