

不同层数的超高分子量聚乙烯纬平针织复合材料冲击损伤

李翠玉^{*1,2}, 杨雪¹, 冯亚男¹, 罗岳文¹

(1. 天津工业大学 纺织学院, 天津 300387; 2. 天津工业大学 先进纺织复合材料教育部重点实验室, 天津 300387)

摘要: 研究了不同层数超高分子量聚乙烯(UHMWPE)纤维/环氧树脂纬平针织复合材料的冲击性能,并讨论了其冲击损伤模式。复合材料板分别为 4、6、8 层纬平针织结构,采用真空辅助树脂传递模塑(VARTM)工艺层合而成,以不同的冲击能量(10~55 J)冲击复合材料板直至层合板被穿透,得到冲击能量与吸收能量关系图以及接触力-挠度曲线。分析了不同冲击能量下,复合材料中织物的损伤形式和破坏过程。研究表明:在 3 种针织结构复合材料中,8 层纬平针织结构承受载荷的能力最强,6 层纬平针织结构次之,4 层纬平针织结构最差;随着冲击能量的增加,3 种试样的冲击挠度均增大;基体开裂、纤维断裂是试样被渗透时有效的损伤模式,基体和纤维断裂是试样被穿孔时有效的损伤模式。

关键词: 纬平针织结构;复合材料;VARTM;冲击性能;损伤形式

中图分类号: TB332

文献标志码: A

文章编号: 1000-3851(2015)02-0557-08

利用机织物、针织物、编织物以及非织造布等纺织品作为增强材料与基体结合所形成的复合材料称为纺织结构复合材料,具有层结构的纺织复合材料层合板是抗冲击损伤的主要结构形式^[1-3]。在纺织结构复合材料研究中,纬编针织复合材料层板的应用较晚,但是由于其本身特有的一些优良力学性能,如抗冲击性能好、能量吸收性能优良等,使得纬编针织复合材料越来越受到人们的重视。然而,在低速冲击载荷下,纬编针织复合材料层板容易出现分层的现象,如果继续使用,会因层板的部分损伤而造成整体的结构失稳,这威胁到使用时的安全问题。因此,纺织复合材料层合板的冲击性能一直是研究者的重点研究对象^[4-8]。

近年来,学者们^[9-12]开始研究针织复合材料层合板的冲击响应,其中 Aktaş 等^[9]利用分离式霍普金森压杆研究了 1D、2D 和 3D 混杂 8 层机织针织结构复合材料的冲击性能及冲击后行为。结果表明:随着冲击能量(I)的增加,冲击装置和试样间的接触载荷增大,而冲击后剩余压缩强度(CAI)降

低。Aktaş 等^[10]研究了机织针织物的铺层序列对玻璃/树脂混杂复合材料冲击及冲击后响应的影响,并用有限元分析(FEA)验证了里外层均为针织物时的抗冲击性能最好。学者们研究了 3 种纬编针织结构形式^[10-12],即米兰诺、1+1 罗纹和平针。研究表明,针织结构和结构参数的改变会影响复合材料的耐损伤性和损伤容限,总线圈密度较高的针织结构具有较好的结构完整性、耐损伤性及较高的损伤阻抗。

Sugie 等^[11]用落锤式冲击试验装置研究了玻璃纤维/碳纤维混杂多轴向经编针织结构(MWK)复合材料的冲击性能。Aktaş 等^[12]基于材料拉伸和压缩性能,对纬编针织结构增强复合材料的冲击及冲击后压缩性能进行了研究。并有学者采用不同的冲头质量^[13-16]、冲击能量^[15-18]和冲头形状^[19-22]研究了复合材料层合板的冲击响应。

纺织复合材料层合板的结构也是表征其力学性能的关键指标,研究者已经研究了纤维体积含量、层合板的厚度、纤维取向和板材的尺寸对复合材料

收稿日期: 2014-04-11; **录用日期:** 2014-07-03; **网络出版时间:** 2014-07-22 10:15

网络出版地址: www.cnki.net/kcms/detail/10.13801/j.cnki.fhclxb.20140722.003.html

基金项目: 国家自然科学基金(51403154, 51303128); 天津市应用基础与前沿技术计划(13JCYBJC16800)

通讯作者: 李翠玉,副教授,硕士生导师,研究方向为纺织复合材料。 E-mail: lcytju@gmail.com

引用格式: 李翠玉,杨雪,冯亚男,等. 不同层数的超高分子量聚乙烯纬平针织复合材料冲击损伤[J]. 复合材料学报, 2015, 32(2): 557-564. Li C Y, Yang X, Feng Y N, et al. Impact damage on ultrahigh molecular weight polyethylene weft knitted composites with different layers[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2015, 32(2): 557-564.

冲击性能的影响。本文旨在研究不同层数的纬平针织结构对复合材料冲击性能的影响，结合试样的外观损伤形态来分析冲击损伤，为抗冲击用超高分子量聚乙烯(UHMWPE)纤维纬编针织复合材料层合板中针织物结构的制备与层数的选择提供参考依据。

1 实验材料的制备及其冲击性能测试

1.1 实验材料

实验材料为 UHMWPE 长丝，表 1 为长丝的性能参数。基体为无色低黏度的 GCC-135 环氧树脂和蓝色 GCC-137 固化剂。

1.2 针织用 UHMWPE 纱线的准备

为满足针织用纱的要求，需对 UHMWPE 长丝进行再处理，特别是需要进行抗静电、增加捻度等处理。UHMWPE 纱线分步骤改造而成：使用意大利 CORCHI ICL-1 型络筒机(教学用)对长丝进行退绕，使用 DST_{w-01} 型数字式小样并捻联合机对退绕的长丝加捻(见图 1)，加捻后所得纱线实际线密度为 67 tex。为保证纬编织造过程的顺利进行，将锭子上的纱线通过络筒机卷绕到锥形筒子上。

1.3 纬平结构针织物的制备

使用 LXC-252SC 龙星电脑横机进行织造，机

号为 12E，表 2 和表 3 分别为纬平针织物的上机及下机工艺参数。

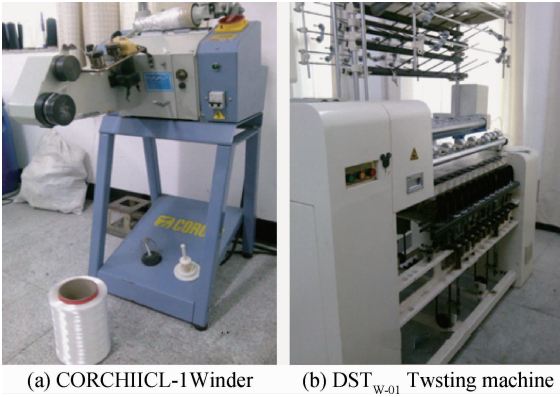


图 1 实验所用的络筒机与并捻机

Fig. 1 Winder and twisting machine used in this experiment

表 1 UHMWPE 长丝性能参数

Table 1 Property parameters of UHMWPE filaments				
Linear density/tex	Strength/MPa	Modulus/MPa	Elongation/%	Mass/kg
69.67	34.04	1 361	2.97	1.86

表 2 纬平针织物的上机工艺参数

Table 2 Process parameters on machine of weft plain knitted fabrics		
Stitch depth	Tension/N	Head speed/(m · s ⁻¹)
90	25	0.4

表 3 纬平针织物的下机工艺参数

Table 3 Processing parameters off machine of weft plain knitted fabrics						
Thickness/mm	Course density/(course · (5 cm) ⁻¹)	Wale density/(wale · (5 cm) ⁻¹)	Total density/(loops · (25 cm) ⁻²)	Knit weight/(g · m ⁻²)	Diameter/mm	Under-full coefficient
0.76	46.66	26.70	1 245.84	208.13	0.295	25.24

1.4 针织复合材料的制备

采用对称铺层结构，以[0/90]_s的铺层方式分别叠加 4、6、8 层纬平结构针织物，例如 6 层的铺层方式为[0/90/0/90/0/90]，设计厚度分别为 3.0、4.5、6.0 mm。采用真空铺助树脂传递模塑(VARTM)作为复合成型工艺，图 2 为 VARTM 工艺流程图，树脂和固化剂的质量比为 100 : 30，所有试样的树脂含量均为(25 ± 2) wt%，室温固化 24 h，制得不同厚度的复合材料，复合材料层板的纤维含量为(34 ± 2) vol%，在复合成型过程中，部分树脂会粘附在模具上，残留在注射管里等原因使得树脂含量与纤维体

积含量有一定的误差。

1.5 冲击性能测试

试验试样分别为 4、6、8 层纬平针织复合材料，低速冲击试验按照 ASTM D7136-2007《纤维增强聚合物基复合材料落锤式冲击性能标准试验方法》^[23]进行，试样尺寸为 150 mm × 100 mm，纬平针织复合材料冲击试样整体与局部图如图 3 所示。使用上海英特朗公司产的 Instron 9250HV 冲击试验机，图 4 为冲击实验支持夹具。

在室温条件下，以不同的冲击能量对试样进行冲击。冲头是一个直径为 12.5 mm 的半球状落锤，冲击器连接一个最大承载能力为 22.4 kN 的力传感器。总的冲击质量(包括冲头、力传感器和十字

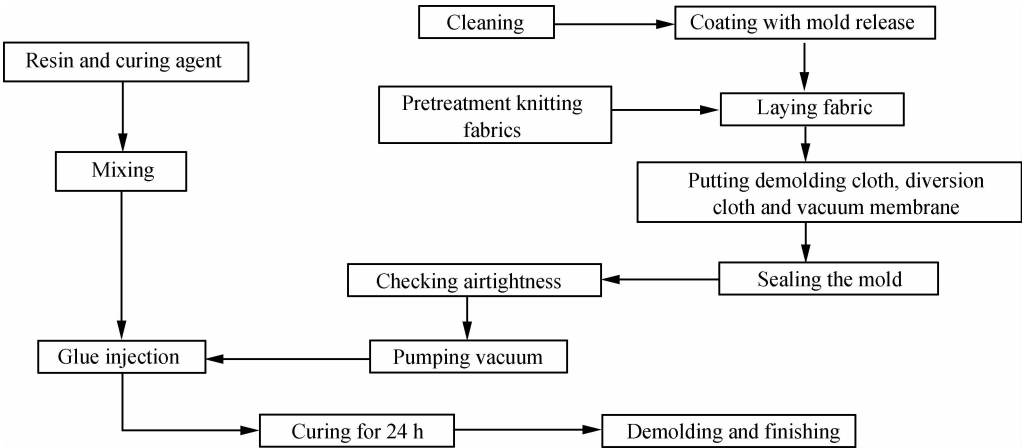


图 2 VARTM 工艺流程图
Fig. 2 Flowchart of VARTM process

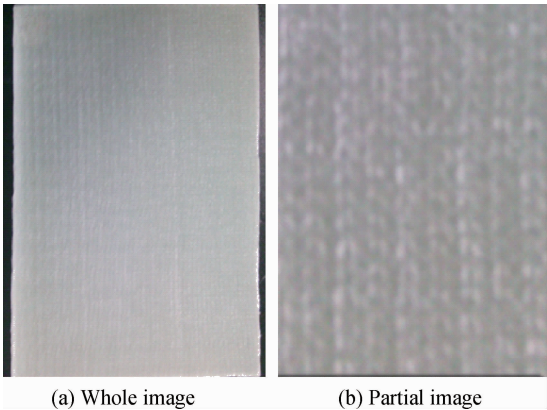


图 3 纬平针织复合材料冲击试样整体与局部图
Fig. 3 Whole and partial images of impact specimen of weft plain knitted fabric composites

头)为 5.027 kg。试件由气动夹具固定，相同试样在不同的冲击能量下分别测试 5 块，实验结果取 5 个试样的平均值，所有试样均保证不发生二次冲击。不同层数纬平针织复合材料的冲击能量水平如表 4 所示。

表 4 不同层数纬平针织复合材料的冲击能量水平
Table 4 Impact energy levels for each weft plain knitted fabric composites of different layers

Layer	Impact energy/J
4	10, 15, 20, 25, 30
6	15, 25, 35, 40, 45
8	15, 25, 35, 45, 55

2 结果与讨论

2.1 冲击试验结果与分析

通过对冲击试样的分析发现，冲击试样表现为 3 种趋势^[19]：反弹、渗透和穿孔(或变形、变形但未穿透、穿透)。冲击试验中，冲头以一定的能量冲击试样，当接触到试样时，冲头被反弹回来，此时接触载荷为零，因此当冲击能量不够大时会出现反弹的现象；冲击试样时，内部发生变形即冲击载荷渗透到试样内部为渗透；穿透是在冲击能量足够大的前提下，以致试样出现穿孔，穿透后，接触载荷几乎始终保持恒定，此时试样和冲头间仍有少部分载荷存在。

根据冲击表现趋势，选择具有代表性的冲击能量作图。图 5(a)~图 5(c)分别为 4 层(冲击能量 10、15、30 J)、6 层(冲击能量 15、25、45 J)、8 层(冲击能量 15、35、55 J)纬平针织复合材料在不同冲击能量下的接触力-时间曲线。可以观察到，曲

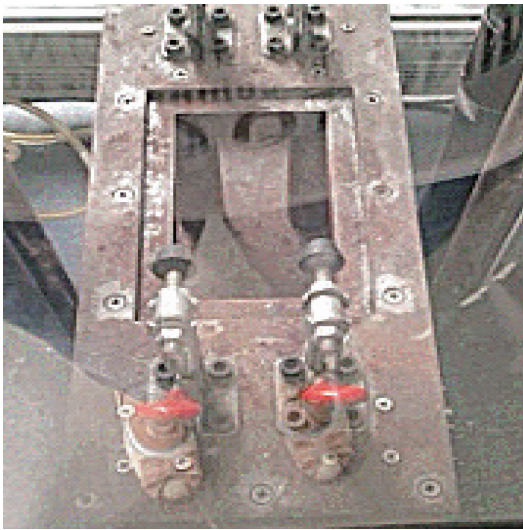


图 4 冲击实验支持夹具
Fig. 4 Impact test support fixture

线表现为 3 种总体趋势：当试样产生渗透现象前，接触力的总趋势是随着时间的增加而增大；之后接触力开始下降；待试样被穿透后，接触力几乎保持恒定。在相同的冲击能量下，3 种试样的接触时间不同，随着复合材料层数的增加，接触时间总的趋势为减少，显而易见，这与纬编针织复合材料的层合数有关，随着复合材料层合数的增加其强度也在增加。

图 6(a)~图 6(c)分别为 4、6、8 层纬平针织复合材料在不同冲击能量下的接触力-挠度曲线。可以观察到，所有曲线都是封闭式的。接触力随

着层数的增加而增大，接触力较小时，复合材料层板接触力出现小幅度的波动，这是由于损伤刚开始产生并扩展使层板的刚度发生变化；当接触力达到最高峰后猛然下降，此时应力重新分布，板继续承受接触力，直至冲头离开。3 种(4、6、8 层)纬编针织复合材料分别在 30、45、55 J 的冲击能量下发生穿孔。相同冲击能量下，层合数越少，挠度越大。

图 7 为在 5 种不同冲击能量(见表 4)下，4、6、8 层纬平针织复合材料最大接触力-冲击能量与接触总时间-冲击能量曲线。

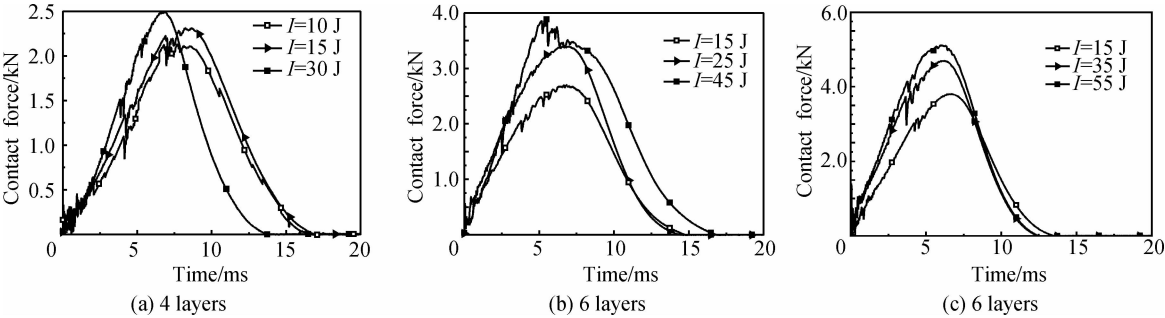


图 5 4、6、8 层纬平针织复合材料在不同冲击能量下的接触力-时间曲线

Fig. 5 Contact force-time curves for four, six and eight layers weft plain knitted composites under various impact energies

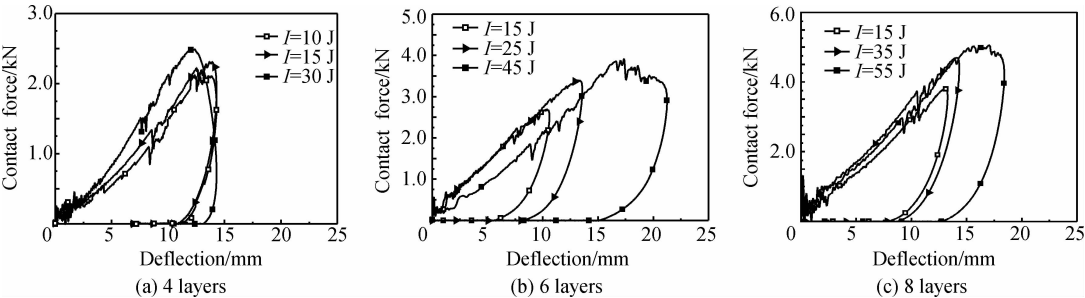


图 6 4、6、8 层纬平针织复合材料在不同冲击能量下的接触力-挠度曲线

Fig. 6 Contact force-deflection curves for four, six and eight layers weft plain knitted composites under various impact energies

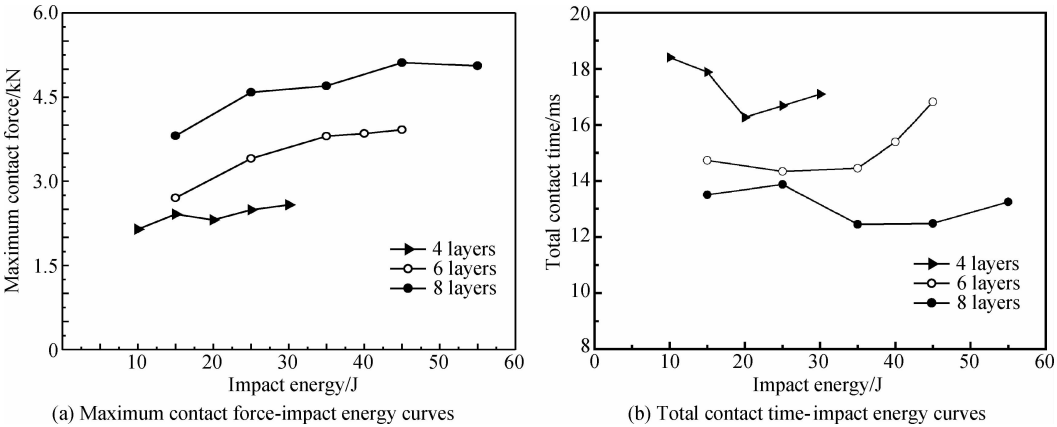


图 7 4、6、8 层纬平针织复合材料的最大接触力-冲击能量和接触总时间-冲击能量曲线

Fig. 7 Maximum contact force-impact energy and total contact time-impact energy curves for four, six and eight layers weft plain knitted composites

由图 7(a)可以观察到, 对于针织复合材料的最大接触力-冲击能量的关系曲线, 曲线可以分为 2 个区域, 第 1 个区域是复合材料发生反弹和渗透的时期, 此时最大接触力迅速增大, 这是由于试样受到冲击时发生脱层和基体开裂、破坏, 随着冲击能量的增加, 纤维也开始出现断裂, 因而最大接触力持续增大;第 2 区域是试样发生穿孔时期(其中 4 层纬平针织复合材料试样发生穿孔, 6 层和 8 层纬平针织复合材料试样均未发生穿孔), 最大接触力有下降的趋势, 这是由于穿孔导致试样发生严重性破坏。8 层纬平针织复合材料试样的最大接触力最高, 而 4 层纬平针织复合材料试样的最大接触力最低。

图 7(b) 为 3 种针织复合材料试样的接触总时间-冲击能量的关系曲线。综合考虑图 7(a)和图 7(b), 可以观察到, 试样的最大接触力越低, 其接触时间越长, 反之, 具有较高最大接触力试样的接触时间比较短, 例如 8 层纬平针织复合材料试样的最大接触力最高, 但其接触总时间最少。除 6 层纬平针织复合材料试样外, 其他 2 种试样达到穿孔能量阈值时, 接触时间几乎没变, 6 层纬平针织复合材料试样的不同之处是由于在较大冲击能量下, 冲头迅速穿透织物。

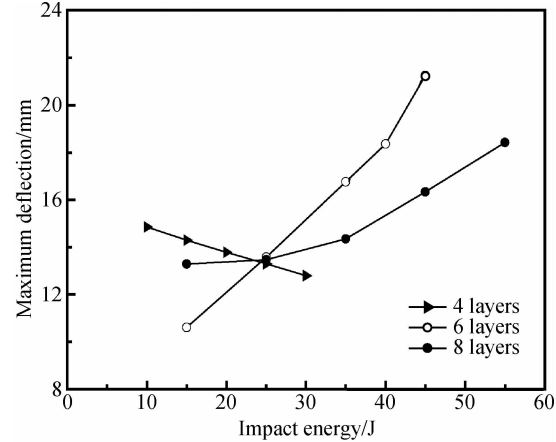
图 8 为 4、6、8 层纬平针织复合材料最大挠度-冲击能量和永久挠度-冲击能量曲线。结合两曲线综合考虑, 随着冲击能量的增大, 最大挠度和永久挠度均增大。

图 9 为 4、6、8 层纬平针织复合材料能量分析图。接触力-挠度曲线下的面积即为冲击试样吸收的能量。图中虚线代表相同的能量水平线, 即该线表示冲头具有的冲击能量和试样吸收的能量是等效的。实线和虚线的第 1 交点和第 2 交点分别等价于渗透和穿孔发生时的能量水平。在每 1 个冲击能量的实线和虚线之间的间隙等于冲击器保持恒定的能量, 这种能量称为过剩能量。过剩能量越高意味着针织复合材料所吸收的能量越少。从图 9 中还可以看出, 对于 4 层试样, 在冲击能量为 15 J 时的过剩能量最大, 为 0.9 J;对于 6 层试样, 在冲击能量为 25 J 时的过剩能量最大, 为 0.8 J;对于 8 层试样, 在冲击能量为 35 J 时的过剩能量最大, 为 0.6 J。

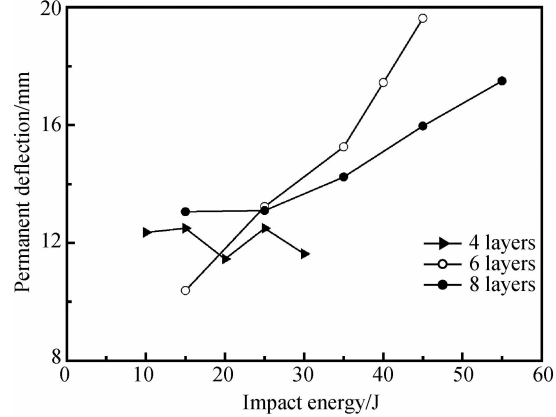
2.2 冲击试样损伤机制分析

当复合材料受到外来物质撞击时, 材料会出现一些损伤, 包括基体开裂、纤维断裂、边缘脱层和分层等。这些破坏模式取决于冲击物本身的参数

(如形状和冲击质量)、冲击能量以及复合材料板的结构参数。



(a) Maximum deflection-impact energy curves



(b) Permanent deflection-impact energy curves

图 8 4、6、8 层纬平针织复合材料最大挠度-冲击能量和永久挠度-冲击能量曲线

Fig. 8 Maximum deflection-impact energy and permanent deflection-impact energy curves for four, six and eight layers weft plain knitted composites

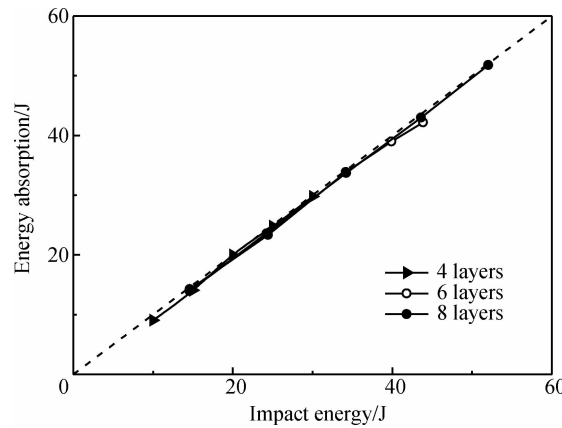


图 9 4、6、8 层纬平针织复合材料能量分析图

Fig. 9 Energy analyzing images for four, six and eight layers weft plain knitted composites

试验采用目视检测方法，它是评价损伤检测的一种重要的标准方法。图 10~图 12 分别给出了 4、6、8 层纬平针织复合材料在不同冲击能量下的冲击损伤图，描述了针织复合材料试样 3 个阶段，即反弹(图 10(a)、图 11(a)、图 12(a))、渗透(图 10(b)、图 11(b)、图 12(b))和穿孔(图 10(c)、图 11(c)、图 12(c))。

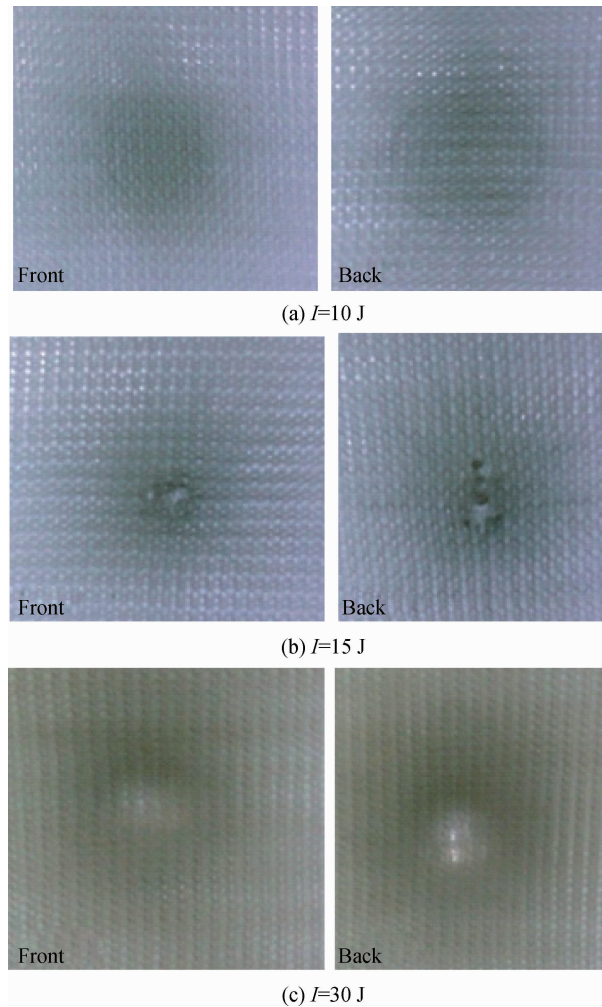


图 10 4 层纬平针织复合材料在 10、15、30 J 冲击能量下的冲击损伤图

Fig. 10 Impact damage images of four layers weft plain knitted composites under impact energy of 10, 15, 30 J

对于 4 层纬平损伤试样，当冲击能量为 10 J 时，损伤表现为反弹，正反面并无明显损伤，这是因为针织物线圈的作用抑制了裂纹的产生，如图 10(a)所示；图 10(b)试样正面有明显的凹坑，由于层板的刚度发生变化，再增大冲击能量，试样将被穿透，如图 10(c) 所示。

由图 11(a)可知，当冲击能量为 15 J 时，试样发生反弹，复合材料基体破裂。当冲击能量为 25 J

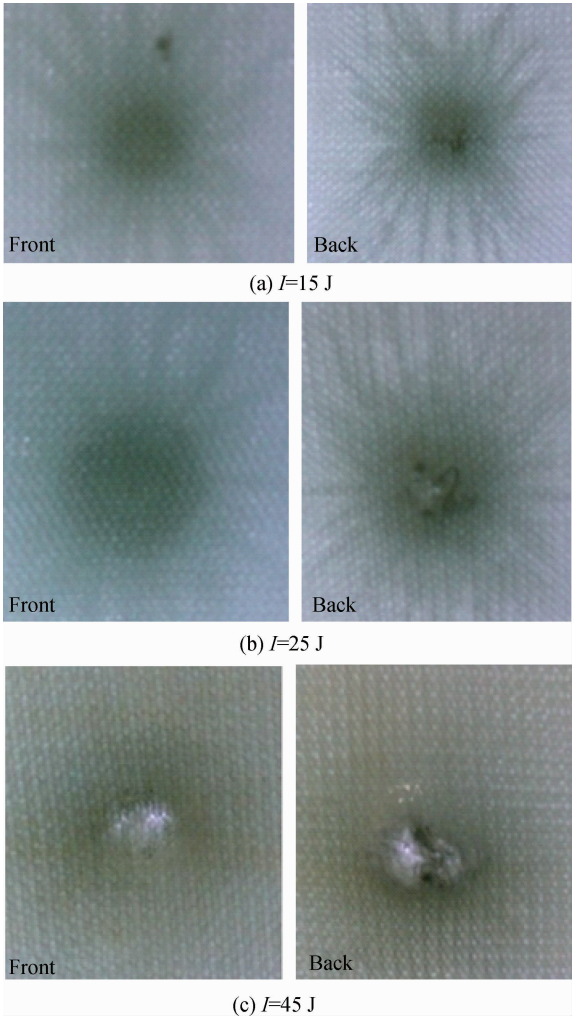


图 11 6 层纬平针织复合材料在 15、25、45 J 冲击能量下的冲击损伤图

Fig. 11 Impact damage images of six layers weft plain knitted composites under impact energy of 15, 25, 45 J

时，试样发生渗透，复合材料的基体开裂，且纤维部分断裂；当冲击能量为 45 J 时，试样被穿透，复合材料的纤维断裂。

对于 8 层损伤试样，冲击能量为 15 J 时，试样发生反弹，如图 12(a)所示；且在冲击能量为 25 J 时，试样开始有渗透的迹象；冲击能量为 35 J 时，试样发生渗透，在冲击能量为 45 J 时，试样的损伤程度较大；冲击能量为 55 J 时，试样有明显的孔洞。

由图 10~图 12 可知，4、6、8 层纬平针织复合材料的反弹能量阈值应分别低于 10、15、15 J，复合材料试样表面出现损伤痕迹；4、6、8 层纬平针织复合材料的渗透能量阈值应分别低于 15、25、35 J，试样的基体开裂、纤维分裂是有效的损伤模式，即在渗透能量下，由于试样的中心面偏离导致基体裂

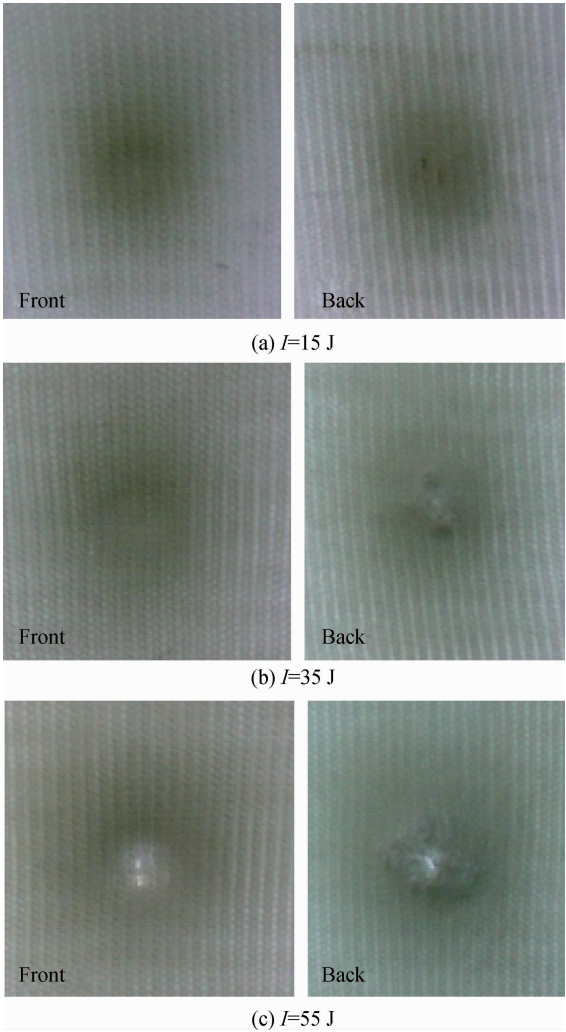


图 12 8 层纬平针织复合材料在 15、35、55 J 冲击能量下的冲击损伤图

Fig. 12 Impact damage images of eight layers weft plain knitted composites under impact energy of 15, 35, 55 J

开、部分纤维断裂;4、6、8 层纬平针织复合材料的穿孔能量阈值应分别低于 30、45、55 J, 除以上损伤模式外, 纤维断裂是其有效的破坏模式。

3 结 论

- (1) 在不同的冲击能量水平下, 4、6、8 层复合材料层板表现为 3 种趋势, 即反弹、渗透和穿孔。
- (2) 在 4、6、8 层 3 种针织结构复合材料中, 接触力表现为先增大后减小, 最后保持恒定的趋势;8 层纬平结构承受载荷的能力最强, 6 层纬平结构次之, 4 层纬平结构最差;随着冲击能量的增加, 3 种试样的冲击挠度均增大。
- (3) 基体开裂、部分纤维断裂是试样被渗透时有效的损伤模式, 纤维断裂是试样被穿孔时有效的

损伤模式。

参考文献:

[1] Lomov S V, Verpoest I. The method of cells and the mechanical properties of textile composites [J]. Composite Structures, 2011, 93(4): 1290-1299.

[2] Malik M H, Arif A F M, Al-Sulaiman F A, et al. Impact resistance of composite laminate flat plates — A parametric sensitivity analysis approach[J]. Composite Structures, 2013, 102: 138-147.

[3] Kamala K V, Rajadurai A, Nageswara R B. Residual strength of laminated composites after impact[J]. Journal of Composite Materials, 2011, 45(9): 1031-1043.

[4] Feng Y N, Li C Y. Materials and structure of weft knitted composites [J]. Technical Textiles, 2013, 31(10): 5-8 (in Chinese).

冯亚男, 李翠玉. 纬编针织复合材料的原料及结构[J]. 产业用纺织品, 2013, 31(10): 5-8.

[5] Zhu L T. Strain rate effect on mechanical behaviors of fibers and ballistic impact damage mechanisms of knitted composites [D]. Shanghai: Donghua University, 2010 (in Chinese).

竺铝涛. 纤维力学性质应变率效应和针织复合材料弹道冲击破坏机理[D]. 上海: 东华大学, 2010.

[6] Hu D M. Transverse impact damage and behavior characterization of 3D multistructured knitted composites under impulsive loading [D]. Shanghai: Donghua University, 2009 (in Chinese).

胡东梅. 三维多重混杂针织结构复合材料横向冲击破坏和性质表征[D]. 上海: 东华大学, 2009.

[7] Ma P B, Jiang G M, Gao Z, et al. Advances in impact tensile properties of 3D textile structural composites[J]. Advances in Mechanics, 2013, 43(3): 329-357 (in Chinese).

马丕波, 蒋高明, 高哲, 等. 纺织结构复合材料冲击拉伸研究进展[J]. 力学进展, 2013, 43(3): 329-357.

[8] Mathivanan N R, Jerald J. Experimental investigation of low-velocity impact characteristics of woven glass fiber epoxy matrix composite laminates of EP3 grade[J]. Materials & Design, 2010, 31(9): 4553-4560.

[9] Aktaş M, Balcıoglu H E, Aktaş A, et al. Impact and post impact behavior of layer fabric composites [J]. Composite Structures, 2012, 94(9): 2809-2818.

[10] Aktaş A, Aktaş M, Turan F. The effect of stacking sequence on the impact and post-impact behavior of woven/knit fabric glass/epoxy hybrid composites[J]. Composite Structures, 2013, 103: 119-135.

[11] Sugie T, Nakai A, Hamada H. Effect of CF/GF fibre hybrid on impact properties of multi-axial warp knitted fabric composite materials[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2009, 40(12): 1982-1990.

[12] Aktaş A, Tercan M, Aktaş M, et al. Investigation of knit-

- ting architecture on the impact behavior of glass/epoxy composites[J]. *Composites Part B: Engineering*, 2013, 46: 81-90.
- [13] Wu T, Cao H J, Qian K, et al. Preparation and bending property of T-type braided composites[J]. *Materials Review*, 2012, 26(19): 410-413 (in Chinese).
吴涛, 曹海建, 钱坤, 等. T型编织复合材料的制备及弯曲性能研究[J]. *材料导报*, 2012, 26(19): 410-413.
- [14] Yi P Y, Li Z, Chen X H, et al. Optimizing damage resistance of composite under low-velocity impact based on the application of solid-shell coupling model[J]. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2011, 30(3): 191-197 (in Chinese).
伊鹏跃, 李真, 陈秀华, 等. 基于实体-壳耦合模型的复合材料层压板冲击损伤阻抗优化[J]. *复合材料学报*, 2011, 30(3): 191-197.
- [15] Abounaim M, Diestel O, Cherif C. High performance thermoplastic composite from flat knitted multi-layer textile preform using hybrid yarn[J]. *Composites Science and Technology*, 2011, 71(4): 511-519.
- [16] Xu Y H, Yuan X L. Bending properties of co-woven-knitted basalt fiber fabric reinforced composites[J]. *Journal of Textile Research*, 2013, 34(1): 36-39 (in Chinese).
徐艳华, 袁新林. 玄武岩纤维机织针织复合织物增强复合材料的弯曲性能[J]. *纺织学报*, 2013, 34(1): 36-39.
- [17] Si Z Q, Li J, Hu H, et al. Research on mechanical properties of multiple knit structure composites[J]. *Knitting Industry*, 2010(1): 15-18 (in Chinese).
司昭群, 李俊, 胡红, 等. 多重针织结构复合材料力学性能研究[J]. *针织工业*, 2010(1): 15-18.
- [18] Tao L J, Lin F L, Yin X H, et al. Preparation and study on weft knitted fabric reinforced composites[J]. *Journal of Wuhan University of Science and Engineering*, 2010, 23(4): 4-7 (in Chinese).
陶丽军, 林凤玲, 殷肖海, 等. 纬编针织增强复合材料的制备与研究[J]. *武汉科技学院学报*, 2010, 23(4): 4-7.
- [19] Han S, Duan Y X, Li C, et al. Bending properties of non-crimp stitched carbon fabric reinforced composites of different knit patterns[J]. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2011, 28(5): 52-57 (in Chinese).
韩帅, 段跃新, 李超, 等. 不同针织结构经编碳纤维复合材料弯曲性能[J]. *复合材料学报*, 2011, 28(5): 52-57.
- [20] Abounaim M D, Cherif C. Flat-knitted innovative three-dimensional spacer fabrics: A competitive solution for lightweight composite applications[J]. *Textile Research Journal*, 2012, 82(3): 288-298.
- [21] Mao C J, Xu X W, Zheng D. Experimental investigation of stitched laminates subjected to low-velocity impact and compression after impact[J]. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2012, 29(2): 160-166 (in Chinese).
毛春见, 许希武, 郑达. 缝合复合材料层板低速冲击及冲击后压缩实验研究[J]. *复合材料学报*, 2012, 29(2): 160-166.
- [22] Demircan O, Kosui T, Ashibe S, et al. Effect of stitch and biaxial yarn types on tensile, bending, and impact properties of biaxial weft-knitted composites[J]. *Advanced Composite Materials*, 2014, 23(3): 239-260.
- [23] American Society for Testing and Materials International. ASTM D7136-2007 Standard test method for measuring the damage resistance of a fiber reinforced polymer matrix composite to a drop-weight impact event[S]. West Conshohocken: ASTM International, 2007.

Impact damage on ultrahigh molecular weight polyethylene weft knitted composites with different layers

LI Cuiyu^{*1, 2}, YANG Xue¹, FENG Yanan¹, LUO Yuewen¹

(1. Institute of Textile, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 2. Key Laboratory of Advanced Textile Composites, Ministry of Education, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

Abstract: The impact properties of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) fiber/epoxy weft plain knitted composites by vacuum assisted resin transfer molding (VARTM) process were investigated by considering impact energy and absorption energy profile diagram and the related contact force - deflection curves. The composites consisting of 4, 6, 8 layers weft plain knitted structure were subjected to different impact energies (10-55 J). The damage modes and damage processes of fabrics under varied impact energies were also discussed. Results show that the maximum contact force is observed in 8 layers weft plain knitted structure, followed by 6 layers weft plain knitted structure, and the minimum contact force is observed in 4 layers weft plain knitted structure; the impact deflection of three knitted composites is increased by increasing the impact energy; the effective damage modes for penetration are matrix cracking and fiber splitting, matrix and fiber breakage is the effective damage mode in the case of perforation.

Keywords: weft plain knitted structure; composites; VARTM; impact properties; damage mode