

DOI: 10.13475/j.fzxb.20180506306

玄武岩机织增强热黏合 抗穿刺鞋中底基材的力学性能

孙菲¹, 李婷婷¹, 林佳弘^{1,2,3,4}, 吴华铃², 楼静文^{1,3,4,5}

(1. 天津工业大学 纺织科学与工程学院, 天津 300387; 2. 逢甲大学 纤维与复合材料学系, 台湾 台中 40724;
3. 闽江学院 海洋学院, 福建 福州 350108; 4. 福建省新型功能性纺织纤维及材料重点实验室(闽江学院),
福建 福州 350108; 5. 亚洲大学 生物信息与医学工程学系, 台湾 台中 41354)

摘要 为提高鞋中底基材的抗穿刺性与柔韧性, 降低成本, 通过玄武岩基机织物增强和热压加固的工艺制备抗穿刺鞋中底基材, 分析了低熔点聚酯纤维比例对鞋中底基材拉伸、顶破和静态穿刺头 A、B、C 性能的影响。结果表明: 随着低熔点聚酯纤维(LMPET)含量的增加, 抗穿刺强度先增强后逐渐减弱; 当低熔点纤维含量为30%时, 鞋中底基材的拉伸载荷为793.6 N(未热压)和759.9 N(热压), 顶破载荷为445.5 N(未热压)和767.9 N(热压); 鞋中底基材对不同形状的穿刺头的平均静态抗穿刺力分别为329.0 N(未热压)和392.4 N(热压); 热黏合加固对顶破和抗穿刺性能的提升效果显著。

关键词 鞋中底基材; 抗穿刺; 玄武岩平纹织物; 安全鞋; 力学性能

中图分类号: TS 179 文献标志码: A

Mechanical properties of basalt plain fabric reinforced hot bonded puncture-resistant insoles composites

SUN Fei¹, LI Tingting¹, LIN Jiahong^{1,2,3,4}, WU Hualing², LOU Chingwen^{1,3,4,5}

(1. School of Textile Science and Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 2. Department of Chemistry and Materials, Feng Chia University, Taichung, Taiwan 40724, China; 3. Ocean College, Minjiang University, Fuzhou, Fujian 350108, China; 4. Fujian Key Laboratory of Novel Functional Fibers and Materials (Minjiang University), Fuzhou, Fujian 350108, China; 5. Department of Bioinformatics and Medical Engineering, Asia University, Taichung, Taiwan 41354, China)

Abstract In order to improve puncture-resistance and flexibility and reduce costs of insoles composites, basalt plain fabric and hot bonding were adopted to reinforce the puncture resistance stability of the insole composite. The influences of the amount of low-melting-point polyester fibers properties of tensioning, bursting and static puncturing of flat-head (A), spherical-head (B), and pointed-head (C) probes were analyzed. The result shows that, with the increasing of low-melting-point polyester fibers, the puncture resistance firstly increases then decreases gradually. When the low-melting-point fiber content is 30%, the tensile strength of the insoles material is 793.6 N under non-hot pressing (NHP) and 759.9 N under hot pressing (HP), and the bursting strength is 445.5 N (NHP) and 767.9 N (HP). The average static resistance of the insoles to different shapes is 329.0 N (NHP) and 392.4 N (HP). The effect of hot bonding reinforcement on bursting and puncture resistance is significant.

Keywords insole composite; puncture resistance; basalt plain fabric; safety shoes; mechanical property

收稿日期: 2018-05-25 修回日期: 2018-11-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(51503145, 11702187); 天津市自然科学基金项目(18JCQNJC03400); 福建省自然科学基金项目(2018J01505, 2018J01504); 天津市高等学校创新团队项目(TD13-5043); 绿色染整福建省高校工程研究中心开放基金项目(2017001A, 2017001B, 2017002B)

第一作者: 孙菲(1992—), 女, 博士生。主要研究方向为纺织复合材料的结构及性能。

通信作者: 楼静文(1972—), 女, 教授, 博士。主要研究方向为防护复合材料、生物医用复合材料结构及性能。E-mail: cwlou@ctust.edu.tw

随着人们自我防护意识的增强,安全鞋的应用越来越广泛。安全鞋是用来保护脚底免受尖锐物伤害的个体防刺装备,其中具有抗穿刺性能的鞋应用最为广泛。作为复合材料的增强材料有芳纶纤维^[1-2]及树脂基质通过纺织热黏合得到的非织造布^[3-5]等;玻璃纤维由于其具有较高的强度,耐腐蚀、耐热、绝缘性好等优点也可作为纤维增强复合材料^[6-7]。很多学者还对纤维进行改性涂覆,使其具有更好的力学性能^[8-10]。此外, Yang 等^[11]探索了穿刺变形和破裂机制与聚合物结晶形态的关系; Kim 等^[12]讨论了刀刺和锥刺对抗穿刺性能的影响;在非织造布的制备过程中,过程参数如机器的喂料速度、针刺密度、针刺深度等会对非织造布的力学性能产生影响^[13-15];对于需要进行热黏合加工的非织造布,热压温度和热压时间等^[16-18]也会非织造布的性能产生影响,同时低熔点聚酯纤维在非织造布中的含量也会对其力学性能产生影响^[19-21]。

本文提出了以低熔点聚酯短纤维混杂非织造布,通过玄武岩机织布^[22]补强和热黏合加固提升整体材料的抗穿刺性能,同时提高抗穿刺的稳定性。研究了低熔点纤维含量和热黏合对不同形状穿刺头抗穿刺性能及拉伸、顶破等力学性能的影响。所研制的鞋中底基材具有柔韧性佳、易加工和易弯曲等优点。

1 实验部分

1.1 实验材料

低熔点聚酯(LMPET)纤维线密度为7.8 dtex,长度为64 mm;聚酯(PET)纤维线密度为2.2 dtex,长度为51 mm。以上纤维均由远东新世纪股份有限公司提供。玄武岩机织布,经纬密均为50根/(10 cm),经纬纱的线密度均为330 tex,平纹,由坤广国际贸易有限公司提供。

1.2 玄武岩增强复合鞋中底基材的制备

LMPET纤维和PET纤维按质量比为0/100,30/70,50/50和70/30的比例混合,经过给棉机、开棉机、梳棉机和叠棉成型、针刺机形成LMPET/PET非织造布,2层非织造布之间用玄武岩织物补强。织物经过针刺热压复合后其力学性能较未针刺直接热压复合大幅提升^[23],因此在本文实验中对复合基材以针刺深度为1.3 cm,针刺密度为100针/cm²预针刺复合^[24]。复合后样品一组在130℃处理5 min

热压成型,另外一组未经热压处理。图1示出鞋中底基材的结构示意图。

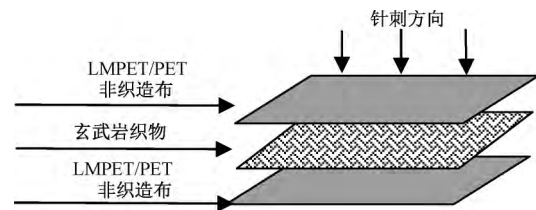


图1 复合鞋中底基材的结构示意图

Fig.1 Structural diagram of puncture resistant insole

1.3 测试方法

1.3.1 拉伸强力测试

根据 ASTM D5035—2011《织物的拉伸强力与断裂伸长量标准测试规范(条样法)》,使用 Instron5566 万能强力试验机进行拉伸测试。试样尺寸为180 mm×25.4 mm,夹具间距为76 mm,拉伸速率为(305±13) mm/min。

1.3.2 顶破强力测试

根据 ASTM F2054—2012《运用阻隔板内部气体加压法对软包装密封处进行皮裂试验的标准试验方法》,使用 Instron5566 万能强力试验机进行顶破强力测试。样本尺寸为100 mm×100 mm;以直径为8 mm的圆柱形冲头从样品上方顶破;速度为(100±10) mm/min。

1.3.3 静态穿刺强力测试

根据 ASTM F1342—2005《防护服材料抗穿刺的标准测试方法》,使用 Instron5566 万能强力试验机进行穿刺测试。样本尺寸为100 mm×100 mm,测试速率为508 mm/min。测试穿刺头尺寸如图2所示。穿刺头A直径为8 mm,平头;穿刺头B直径为8 mm,圆头;穿刺头C直径为5 mm,锥尖处直径为1 mm,尖圆头。

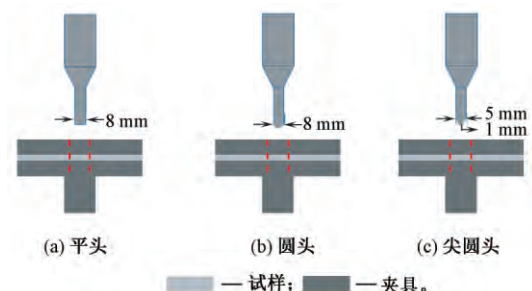


图2 静态穿刺3种穿刺头示意图

Fig.2 Images of flat-head (a), spherical-head (b) and pointed-head (c) probes of static puncture resistance test

2 结果与讨论

2.1 LMPET 纤维含量对基材拉伸性能影响

图 3 示出低熔点聚酯纤维含量对玄武岩增强鞋中底基材拉伸强力的影响。图中: MD 表示针刺机的机械输出方向; CD 表示针刺机的机械输出方向的垂直方向。低熔点聚酯纤维含量从 0 到 70% 增加时,最大拉伸强力呈先上升后下降的趋势。当低熔点聚酯短纤含量从 0 上升至 30% 时,鞋中底基材 CD 方向的拉伸强力从 592.3 N 上升至 793.6 N,且 CD 方向的拉伸力大于 MD 方向。这是因为研究所使用的铺网机构为交叉式铺网,梳棉机输出棉网的方向与针刺机出料方向互相垂直,造成非织物基布中 CD 方向的纤维排列顺向性比 MD 方向佳。当 CD 方向受拉伸作用力时,由于纤维排列顺向性较高,纤维之间接触面积增大,因此纤维沿受力方向互相滑移时产生的摩擦阻力较大,同时纤维沿受力方向伸直而产生的伸长量较少,造成非织物 CD 方向的拉伸强力高于 MD 方向。

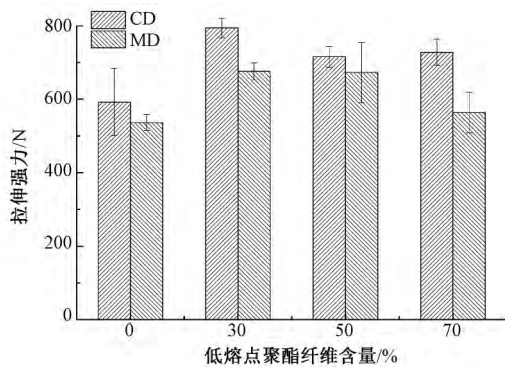


图 3 低熔点聚酯纤维含量对未热压玄武岩增强鞋中底基材拉伸强力的影响

Fig.3 Tensile strength of basalt plain fabric reinforced non-hot pressed insoles composites

图 4 示出热压后玄武岩增强复合基材的拉伸强力和低熔点聚酯纤维含量的关系。热压后,玄武岩增强鞋中底基材在 MD 方向的拉伸强力较未热压有所提高,且 CD 方向与 MD 方向的差值减少。MD 方向的拉伸强力在低熔点聚酯纤维含量为 30% 时达到最大,为 759.9 N。这主要是因为经热压后基材中所形成的黏结点面积增大,使纤维无法沿受力方向互相滑移^[25],增大了 MD 方向的拉伸强力,提高了纤维的稳定性。该结果与文献[26]的研究结果一致。热压后的基材最大拉伸强力提升的幅度不多,主要原因是热压以后纤维间的脆性增大。基材经过拉伸形成了织物分

层,使玄武岩织物承担了主要拉伸力,因此热压未大幅提升拉伸强力。

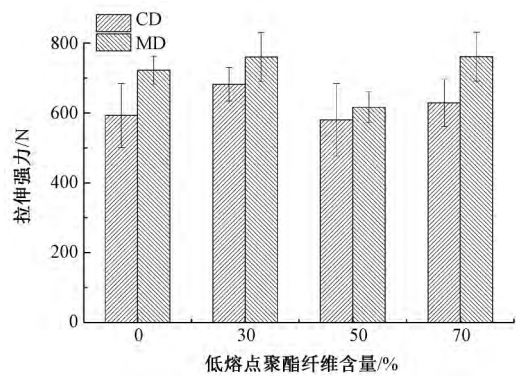


图 4 低熔点聚酯纤维含量对热压玄武岩增强复合鞋中底基材拉伸强力的影响

Fig.4 Tensile strength of basalt plain fabric reinforced hot pressed insoles composites

2.2 LMPET 纤维含量对基材顶破强力影响

图 5 示出低熔点聚酯纤维含量对玄武岩增强复合鞋中底基材顶破强力的影响。在未热压时,低熔点聚酯短纤含量从 0 到 70% 增加时,顶破强力变化不大,为 445.5 N,说明面层非织造布的低熔点聚酯纤维含量对顶破强力影响不大;中间层玄武岩机织物主要承受顶破的效果,对顶破强力有影响。

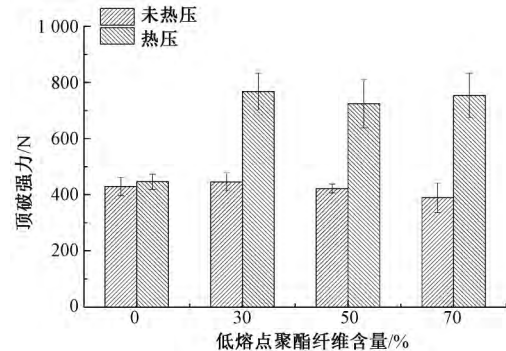


图 5 低熔点聚酯纤维含量对玄武岩增强复合鞋中底基材顶破强力的影响

Fig.5 Bursting strength of basalt plain fabric reinforced insoles composites as related to amount of LMPET fibers

热压后低熔点聚酯短纤含量从 0 到 70% 增加时,顶破强力呈先上升后下降的趋势,当低熔点聚酯短纤含量为 30% 时,拉伸强力达到 767.9 N。因为热压后,表层的低熔点聚酯纤维与玄武岩机织物形成的黏结点面积增加,增加了玄武岩机织物的强力,进而提升顶破强力;当 LMPET 纤维含量继续升高,顶破强力基本不变,这是因为当低熔点聚酯短纤含量为 30% 时,鞋中底基材已达到最佳黏结效果,顶破强力到达极限值,再增加低熔点聚酯纤维含量也无法提升效果。

2.3 LMPET 纤维含量对基材穿刺性能影响

图 6 示出低熔点聚酯纤维含量对玄武岩增强复合鞋中底基材抗平头穿刺性能的影响。随着低熔点聚酯纤维含量增加,基材的穿刺强力先增大后减小。当低熔点聚酯纤维含量为 30% 时,穿刺强力达到最大,分别为 504.7 N 和 582.1 N,且热压后标准差较热压前有所降低,说明复合基材的稳定性有所提高。

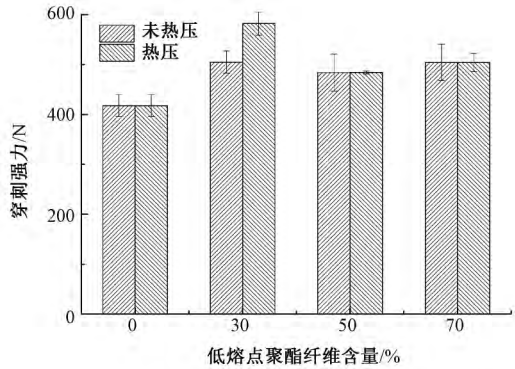


图 6 低熔点聚酯纤维含量对玄武岩增强复合鞋中底基材平头静态穿刺强力的影响

Fig.6 Static puncture resistance of basalt plain fabric reinforced insoles composites as related to flat-head probe

当低熔点聚酯纤维含量从 0 到 30% 增加时,穿刺强力增加,这主要是因为热压后表面的低熔点聚酯短纤与玄武岩机织物形成的黏结点的面积增大,进而静态穿刺强力增加;但低熔点聚酯纤维含量持续增加时,穿刺强力开始下降,原因是低熔点聚酯短纤含量在 30% 时已达最佳黏结效果,穿刺强力达到极限值,再增加低熔点聚酯短纤含量也无法提升效果。但当低熔点聚酯短纤含量从 50% 到 70% 增加时,穿刺强力变化不明显,可看出面层的非织造布的低熔点聚酯短纤含量的改变对平头的静态抗穿刺力影响不大,中间层玄武岩机织物为主要承受抗穿刺力的效果,对抗穿刺力有较大的影响。

图 7 示出低熔点聚酯纤维含量对玄武岩增强复合鞋中底基材抗小圆头穿刺性能的影响。随着低熔点聚酯纤维含量的增加,基材的穿刺强力先增大后减小。当低熔点聚酯纤维含量为 30% 时,穿刺强力达到最大,分别为 419.8 N 和 518.6 N 且热压后标准差较热压前有所降低,说明纤维的稳定性有所提高。当低熔点聚酯短纤含量从 50% 向 70% 增加时,穿刺强力变化不大。其原因和平头类似。

图 8 示出低熔点聚酯纤维含量对玄武岩增强复合鞋中底基材抗尖圆头穿刺性能的影响。未热压时 3 种测试头的穿刺强力变化趋势大致相同;随着低熔点聚酯纤维含量的增加,基材的穿刺强力先增

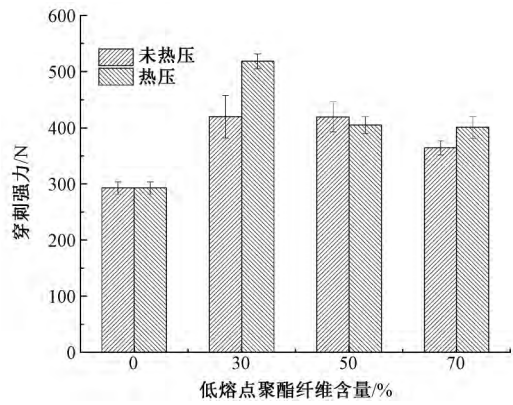


图 7 低熔点聚酯纤维含量对玄武岩增强复合鞋中底基材小圆头静态穿刺强力的影响

Fig.7 Static puncture resistance of basalt plain fabric reinforced insoles composite as related to spherical-head probe

大后减小。当低熔点聚酯纤维含量为 30% 时,穿刺强力达到最大,分别为 62.48 N 和 76.63 N,且热压后标准差较热压前有所降低,说明纤维的稳定性有所提高。

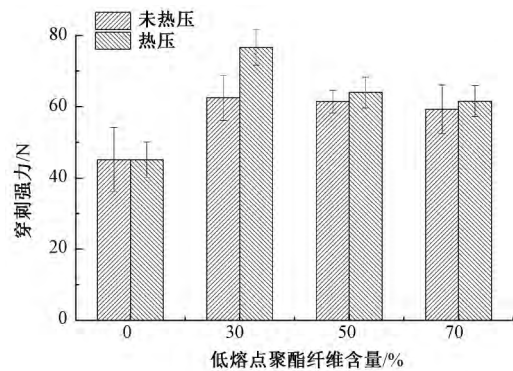


图 8 低熔点聚酯纤维含量对玄武岩增强复合鞋中底基材尖圆头静态穿刺强力的影响

Fig.8 Static puncture resistance of basalt plain fabric reinforced insoles composite as related to pointed-head probe

3 结 论

本文以玄武岩补强和热黏加固工艺成功制备出抗穿刺鞋中底基材,探讨了低熔点聚酯纤维含量对拉伸、顶破和抗不同形状的锥刺器具性能的影响。随着低熔点聚酯含量的增加,玄武岩补强鞋中底基材的拉伸强力和顶破强力均先增大后减小。当低熔点聚酯纤维含量为 30% 时,最大拉伸强力为 793.6 N (未热压) 和 759.9 N (热压),最大顶破强力为 445.5 N (未热压) 和 767.9 N (热压)。在不同测试头下,热压前后基材的静态穿刺强力均先增大后减小。平头测试头 A 最大静态穿刺强力分别为 504.7 N (未热压) 和 582.1 N (热压);圆头测试头 B

最大静态穿刺强力分别为 419.8 N(未热压)和 518.6 N(热压);尖圆头测试头 C 最大静态穿刺强力分别为 62.48 N(未热压)和 76.63 N(热压)。本文研究制备的鞋中底基材柔韧、易加工、易弯曲,且具有较高的抗穿刺性能和较好的抗穿刺稳定性。

FZXB

参考文献:

- [1] 靳向煜,姚瑾.鞋用非织造布合成革的结构与性能[J].纺织学报,1991,12(5):18-21.
JIN Xiangyu, YAO Jin. Construction and properties of nonwoven artificial leather for shoes making[J]. Journal of Textile Research, 1991, 12(5): 18-21.
- [2] JR J B M, WETZEL E D, HOSUR M V, et al. Stab and puncture characterization of thermoplastic-impregnated aramid fabrics [J]. International Journal of Impact Engineering, 2009, 36(9): 1095-1105.
- [3] NIU H, JIAO X, WANG R, et al. Direct manufacturing of flax fibers reinforced low melting point PET composites from nonwoven mats [J]. Fibers & Polymers, 2010, 11(2): 218-222.
- [4] LI T T, LOU Chingwen, LIN Meichen, et al. Processing technique and performance evaluation of high-modulus organic/inorganic puncture-resisting composites [J]. Fibres & Textiles in Eastern Europe, 2014, 22(6): 75-80.
- [5] LATKO P, KOZERA R, SALINIER A, et al. Non-woven veils manufactured from polyamides doped with carbon nanotubes [J]. Fibres & Textiles in Eastern Europe, 2013, 21(6): 45-49.
- [6] XU J Z, YOU B, WANG B G. Curing process simulation of fiberglass-reinforced plastic (FRP) pipes [J]. Materials & Manufacturing Processes, 2009, 24(6): 657-666.
- [7] POORZEINOLABEDIN M, GOLZAR M. Improving the woven glass/epoxy composite for automobile exterior body cover [J]. Materials & Manufacturing Processes, 2011, 26(4): 562-566.
- [8] LIN C C, LOU C W, HSING W H, et al. Evaluation of manufacturing technology and characterization of composite fabric for stab resistant materials [J]. Advanced Materials Research, 2008(55-57): 429-432.
- [9] TIEN D T, KIM J S, YOU H. Stab-resistant property of the fabrics woven with the aramid/cotton core-spun yarns [J]. Fibers & Polymers, 2010, 11(3): 500-506.
- [10] LOU C W, LIN C C, HSING W H, et al. Processing technique and property evaluation of stab-resistant composite fabrics [J]. Advanced Materials Research, 2011(239): 1990-1993.
- [11] YANG Y, PONTING M, THOMPSON G, et al. Puncture deformation and fracture mechanism of oriented polymers [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2012, 124(3): 2524-2536.
- [12] KIM H, NAM I. Stab resisting behavior of polymeric resin reinforced p-aramid fabrics [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 123(5): 2733-2742.
- [13] RAWAL A, ANANDJIWALA R D. Relationship between process parameters and properties of multifunctional needlepunched geotextiles [J]. Journal of Industrial Textiles, 2006, 35(4): 271-285.
- [14] WANG Rui, LI Tingting, LOU Chingwen, et al. Effect of process parameters on puncture resistance of composites by needle punching and thermal bonding techniques [J]. Advanced Manufacturing Processes, 2013, 28(9): 1029-1035.
- [15] LI T T, ZHANG X, PENG H, et al. Thermally bonded PET-basalt sandwich composites for heat pipeline protection: preparation, stab resisting, and thermal-insulating properties [J]. Applied Sciences, 2018, 8(4): 510.
- [16] 邓炳耀,晏雄.热压对芳纶非织造布机械性能的影响[J].纺织学报,2004,25(2):103-105.
DENG Bingyao, YAN Xiong. The hot-press conditions on mechanical properties of aramid nonwoven fabric [J]. Journal of Textile Research, 2004, 25(2): 103-105.
- [17] LIN J H, LIN C C, CHEN J M, et al. Study on the processing technology and mechanical properties of nonwoven fabric composited by recycled PP selvages [J]. Advanced Materials Research, 2011, 287(6): 85-90.
- [18] LOU C W, LIN C C, HUANG C C, et al. Manufacturing technique of stab-resistant laminated composite nonwoven fabrics [J]. Advanced Materials Research, 2011(239): 3342-3345.
- [19] LI T T, WANG R, LOU C W, et al. Evaluation of high-modulus, puncture-resistance composite nonwoven fabrics by response surface methodology [J]. Journal of Industrial Textiles, 2013, 43(2): 247-263.
- [20] LOU C W, LIN C W, LIN C C, et al. The effects of thermal consolidation methods on PET nonwoven composites for thermal insulation use [J]. Advanced Materials Research, 2008, 55(2): 405-408.
- [21] LIN C M, LOU C W, LIN J H. Manufacturing and properties of fire-retardant and thermal insulation nonwoven fabrics with FR-polyester hollow fibers [J]. Textile Research Journal, 2009, 79(11): 993-1000.
- [22] 崔毅华.玄武岩连续纤维的基本特性[J].纺织学报,2005,26(5):120-121.
CUI Yihua. Primary properties of basalt continuous filament [J]. Journal of Textile Research, 2005, 26(5): 120-121.
- [23] 李婷婷.基于应力波传递的多重加固复合织物的防刺结构设计[C]//第五届海峡两岸三地纺织学术论坛论文集.香港:香港理工大学,2014:261-265.
LI Tingting. Puncture-resisting structure design of multiple reinforced composite fabric based on stress wave transmission [C]//The Fifth Cross-Strait Textile Academic Forum Proceedings. HongKong: The HongKong Polytechnic University, 2014: 261-265.

(下转第 64 页)

