

# PPS 针刺过滤毡的热态拉伸性能

崔宁<sup>1,2</sup> 李亚儒<sup>3</sup> 施永明<sup>1,2</sup>

1 中国纺织科学研究院有限公司, 北京 100025

2. 生物源纤维制造技术国家重点实验室, 北京 100025

3. 四川安费尔高分子材料科技有限公司, 四川 德阳 618200

**摘要:** 测试高温条件(90、130、170 和 190 °C)下以聚苯硫醚(PPS)为基布和以聚四氟乙烯(PTFE)为基布的 PPS 针刺过滤毡的拉伸性能, 并与其常温下的拉伸性能进行对比。结果表明, 高温条件下 2 种基布针刺毡的经纬向断裂强力均出现不同程度的下降; PTFE 基布针刺毡在 190 °C 下的纬向断裂强力仅为常温下的 20%; 所有 PPS 针刺过滤毡试样的定负荷伸长率均随着测试温度的升高而增加。

**关键词:** 针刺过滤毡; 聚苯硫醚(PPS); 聚四氟乙烯(PTFE); 基布; 拉伸性能

中图分类号: TQ 342<sup>+</sup>. 73

文献标志码: A

文章编号: 1004-7093(2024)12-0014-06

## Tensile properties of PPS needle punched filter felts under heated condition

Cui Ning<sup>1,2</sup>, Li Yaru<sup>3</sup>, Shi Yongming<sup>1,2</sup>

1. China Textile Academy, Beijing 100025, China;

2. State Key Laboratory of Bio-based Fiber Manufacturing Technology, Beijing 100025, China;

3. Sichuan Unfire Polymer Material Technology Co., Ltd., Deyang 618200, Sichuan, China

**Abstract:** Tensile properties of two types of polyphenylene sulfide (PPS) needle punched filter felts with PPS scrim and polytetrafluoroethylene (PTFE) scrim at high temperature (90, 130, 170 and 190 °C) were tested and compared with those at normal temperature. It was found that at high temperature, the warp and weft breaking strength of the two types of needle punched felts decreased to varying degrees. The weft breaking strength of the felt with PTFE scrim at 190 °C was only 20% of that at normal temperature. And elongation under constant load for all the PPS needle punched felt samples increased with the increase of test temperature.

**Keywords:** needle punched filter felt; polyphenylene sulfide (PPS); polytetrafluoroethylene (PTFE); scrim; tensile property

袋式除尘已成为控制工业烟气细颗粒物和实现超低排放的主流技术<sup>[1]</sup>, 不同种类的过滤材料已开发应用于燃煤电厂、垃圾焚烧厂、水泥生产企业等场合<sup>[2]</sup>。在工业领域袋式除尘工况中, 过滤用针刺毡

材料需在高温环境下经受腐蚀性气体侵蚀, 以及粉尘冲刷及清灰喷吹气流等的机械力作用。高温损伤和机械损伤是导致过滤材料失效的重要原因<sup>[3]</sup>。目前针对过滤材料力学性能的研究大多数是在常温

收稿日期: 2024-08-07

作者简介: 崔宁, 男, 1971 年生, 硕士, 正高级工程师, 主要从事熔融纺高性能纤维及产业用纺织品开发工作, cuining1@cta.gt.cn

下进行的,而常温条件下得出的研究结果不能完全表征高温下过滤材料的性能。已有研究探究了高温对过滤针刺毡及过滤袋组件的影响。如:柳静献等<sup>[4]</sup>测试分析了针刺毡试样在高温下持续放置 24 h,再在常温下平衡一定时间后的热收缩率、断裂强力等指标变化情况;王向钦等<sup>[5]</sup>研究了不同类型针刺过滤袋用聚四氟乙烯(PTFE)缝线在高温条件下的拉伸性能,结果表明,缝纫线的拉伸断裂强力随温度的上升而下降,拉伸断裂伸长率则随温度的上升而增大;毛宁等<sup>[6]</sup>研究了聚苯硫醚(PPS)、涤纶和芳纶等不同类型的针刺过滤材料在高温下挺度的变化情况,并据此判断滤料在使用过程中是否经历过超温;严烁等<sup>[7]</sup>探究了聚苯硫醚过滤材料高温下的经

向和纬向拉伸特性。本文选择 2 种类型的 PPS 针刺过滤毡,分别为 PPS 基布过滤毡与 PTFE 基布过滤毡,测试其高温下的经向和纬向断裂强力、断裂伸长率及定负荷伸长率等力学性能指标,并与常温下的相应指标进行对比,分析滤袋运行工况条件下 PPS 针刺过滤毡可能出现的综合性能与常温条件下的差异。

## 1 试验

### 1.1 试样

选用 2 种类型的国产针刺过滤毡,其规格参数如表 1 所示。

表 1 2 种类型针刺过滤毡试样的规格参数

Tab. 1 Specifications of two types of needle punched filter felt samples

试样类型	针刺层纤维	基布纤维	基布排列密度/[根·(100 cm) <sup>-1</sup> ]		针刺毡面密度/(g·m <sup>-2</sup> )
			经密	纬密	
PPS 基布针刺毡	PPS	PPS	650	183	552
PTFE 基布针刺毡	PPS	PTFE	1 600	780	582

按照 GB/T 3923.1—2013《纺织品 织物拉伸性能 第 1 部分:断裂强力和断裂伸长率的测定(条样法)》制备经纬向针刺过滤毡试样。将生产过程中针刺过滤毡行进方向定义为针刺过滤毡的经向,垂直于针刺过滤毡行进方向的定义为纬向。

受加热箱中专用夹具测量量程和夹头行程的限制,本研究无法按照国家标准中规定的尺寸要求制备试样。本文将针刺过滤毡裁剪成长 100 mm、宽 30 mm 的试样。

### 1.2 试验仪器

Instron 2343 型万能材料力学试验机、控温热箱。

### 1.3 测试方法

将控温热箱加热至设定温度(本文设置 4 个温度:90、130、170 和 190 ℃),再将裁剪好的针刺毡试样固定在控温热箱内的夹具上,关好控温热箱前门,待温度平衡后,参照 GB/T 3923.1—2013 对试样进行拉伸性能测试。夹持距离为 70 mm、拉伸速度为 300 mm/min。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同温度下针刺毡的拉伸特征对比

在常温及 90、130、170 和 190 ℃ 条件下,分别测试 PPS 基布针刺毡和 PTFE 基布针刺毡的经纬向拉伸性能,对其拉伸特性进行分析与讨论。

#### 2.1.1 PPS 基布针刺毡

PPS 基布针刺毡在不同温度下的拉伸应变曲线如图 1 所示。可以看出,该针刺毡在不同温度下的经向和纬向拉伸特性基本一致。所有测试温度条件下,经向拉伸过程均基本上可分为 3 个阶段。以常温下的试样为例,在拉伸过程的第一阶段,试样应力随着应变的增加而增加;当应变达到 16% 时,进入拉伸的第二阶段,应力迅速下降并在拉伸应变曲线上产生了一个应力极值;应变超过 20% 后,进入拉伸的第三阶段,应力再次随应变的增加而增加,直至试样断裂。相关研究<sup>[8]</sup>表明,拉伸的第一阶段主要由基布承担拉伸应力;应变达到 16% 时,基布中的纱线开始断裂,此时应力迅速减小;当拉伸过程继续

发生并进入拉伸的第三阶段时,应变继续增加,非织造层中的短纤维通过排列调整而平行于应力方向,此阶段的应力主要由纤维之间的相对滑移、纤维与基布层之间的相对滑移,以及纤维自身的形变产生。由图 1b)可以看出,纬向拉伸应力基本表现为随着应变的增加而增加,只是在应变达到 18%左右时,试样的拉伸应变曲线出现了较剧烈的波动。这同样是由于应变达到此水平时,基布中的纱线逐渐断裂所致。

随着测试温度的升高,经向试样因基布层断裂而在拉伸应变曲线上产生的应力极值减小,说明构成基布的 PPS 纱线的强力随着测试温度的升高而下降。同样,试样的断裂强力也随着测试温度的升高而下降,断裂伸长率则随着测试温度的升高而增加。表明非织造层由于纤维之间相对滑移、纤维与基布层之间相对滑移,以及纤维自身形变而综合产生的拉伸第三阶段的应力,也随着测试温度的升高而下降。纬向试样拉伸过程受测试温度的影响与经向试样的相同,即随着测试温度的升高,试样断裂强力明显下降,断裂伸长率则随之增加。

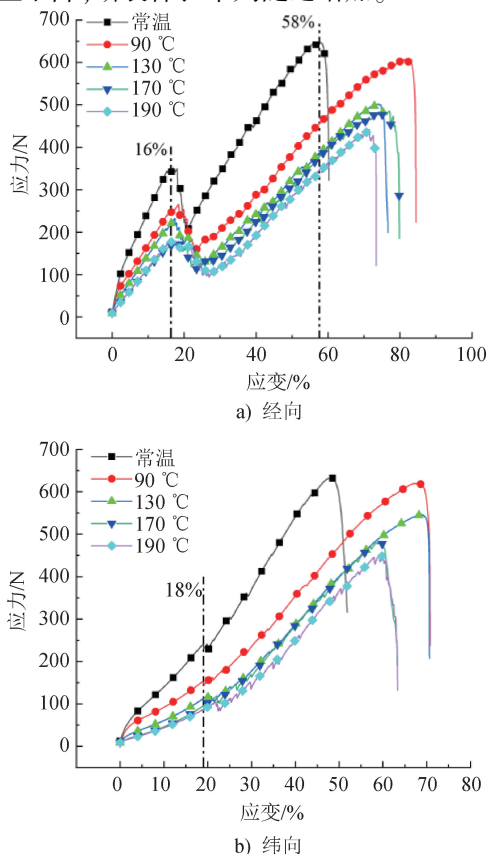


图 1 PPS 基布针刺毡在不同温度下的拉伸应变曲线  
Fig. 1 Tensile strain curves of needle punched felts with PPS scrim at different temperatures

### 2.1.2 PTFE 基布针刺毡

PTFE 基布针刺毡在不同温度下的拉伸应变曲线如图 2 所示。由 2a) 可以看出,该针刺毡经向拉伸断裂特性与 PPS 基布针刺毡经向的类似,也经历 3 个拉伸阶段。以常温下的试样为例,在拉伸过程的第一阶段,PTFE 基布层应变产生的应力随着应变的增加而迅速增加;当应变约为 12% 时,进入拉伸的第二阶段,基布中的纱线开始断裂,应力迅速减小,拉伸应变曲线上产生了一个应力极大值;拉伸第三阶段的应力和应变同样是由于 PPS 纤维之间的相对滑移、PPS 纤维与 PTFE 基布之间的相对滑移,以及 PPS 纤维自身的形变综合产生的。由于本文选用的 PTFE 基布针刺毡中 PTFE 基布的纱线排列密度较高,为 1 600 根/(100 cm),因此产生的应力极大值较高,达 625 N。又由于 PTFE 纤维的摩擦因数很小,第三阶段产生的应力未超过该应力极大值。

从图 2a) 还可以看出,随着测试温度的升高,PTFE 基布针刺毡经向拉伸阶段产生的应力极大值显著下降,这可能与 PTFE 基布在高温下的蠕变行为有关。第三阶段产生的综合应力随着测试温度的升高而呈现出大幅减小的趋势,但不同测试温度下试样所表现出的拉伸特征也不尽相同。当测试温度为 90 °C 和 130 °C 时,PPS 短纤维在经过拉伸的第二阶段纤维沿着拉伸应力方向重排后,其拉伸第三阶段的应力随着应变的增加而有所提高,但断裂强力远不及常温下的水平。测试温度升高至 170 °C 后,拉伸第三阶段试样的应力几乎不再增加,出现了平台期,直至试样断裂。

PTFE 基布针刺毡纬向上的 PPS 短纤维与基布的纬向纱线平行排布,因此拉伸过程中,基布断裂后不发生 PPS 纤维沿拉伸应力方向的重排,应力将直接作用于非织造层。由图 2b) 可以看出,常温测试条件下,PTFE 基布所承受的应力较高,因此基布中的纱线断裂后应力大幅下降,拉伸应变曲线上仍然产生了一个应力极大值。但随着测试温度的升高,因高温蠕变作用,PTFE 基布所承载的应力大幅下降,其拉伸应变曲线上不再出现应力极大值。纬向拉伸基本表现为随着测试温度的升高,试样断裂强力显著下降,断裂伸长率则显著增加。PTFE 基布针刺毡试样在高温下的纬向拉伸特征与常温下存在明显的差异。常温测试条件下,PTFE 基布纬向拉

伸与经向拉伸过程类似,也会因基布层的断裂而出现应力迅速下降并在拉伸应变曲线上产生拉伸应力极小值。但随着测试温度的升高,试样不再出现应力极大值和极小值,并且 PTFE 基布层发生断裂所对应的应力值大幅下降。这可能是 PTFE 材料在高温下发生蠕变<sup>[9]</sup>,造成 PTFE 基布的应力显著下降所致。

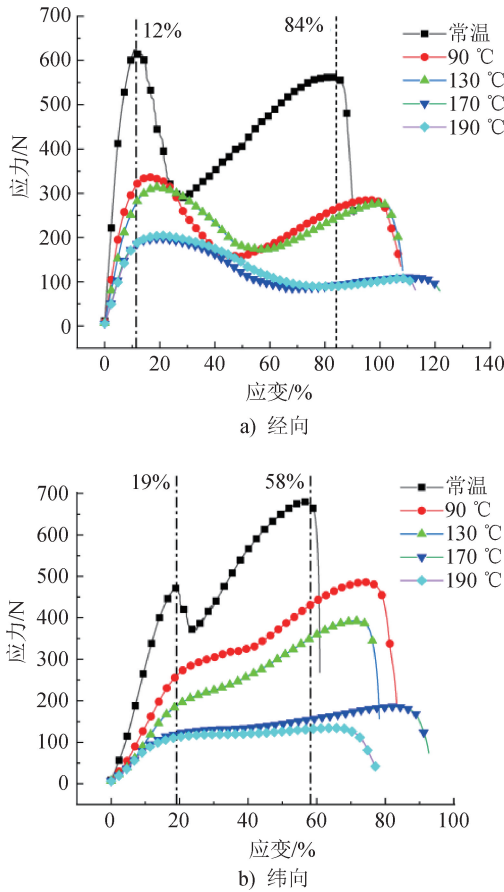


图 2 PTFE 基布针刺毡在不同温度下的拉伸应变曲线  
Fig. 2 Tensile strain curves of needle punched felts with PTFE scrim at different temperatures

## 2.2 不同温度下针刺毡断裂强力的变化

在实际工况应用中,耐温性能也是考核滤料性能的一项重要指标<sup>[10]</sup>。滤料材质、工作温度等因素均直接影响滤料的耐温性能。不同类型的针刺过滤毡,其拉伸强度受测试温度变化影响的程度不同;同一类型的针刺过滤毡,其经向和纬向所受的影响也不尽相同。

2 种类型针刺毡在不同测试温度下断裂强力的变化如图 3 所示。从图 3a) 可以看出,PPS 基布针刺毡的拉伸断裂强力受测试温度的影响程度较小。

常温下其经向断裂强力为 647.5 N、纬向断裂强力为 632.6 N。测试温度分别设置为 90、130、170 和 190 °C 时,对应经向断裂强力分别降低至 604.2、499.8、480.8 和 411.2 N,纬向断裂强力分别降低至 619.3、545.2、480.9 和 450.5 N。测试温度为 190 °C 时,经向断裂强力保持率为常温下的 64%,纬向断裂强力保持率为 71%(表 2)。从图 3b) 可以看出,PTFE 基布针刺毡的拉伸断裂强力受测试温度的影响更明显。常温下,PTFE 基布针刺毡经向和纬向断裂强力分别为 625.0 N 和 679.0 N。测试温度分别设置为 90、130、170 和 190 °C 时,对应试样的经向断裂强力分别降低至 336.1、313.9、197.3 和 188.4 N,纬向断裂强力分别降低至 484.5、391.3、182.5 和 134.1 N。随着测试温度的升高,PTFE 基布针刺毡的经纬向断裂强力均显著下降。测试温度为 190 °C 时,试样经向断裂强力保持率为常温下的 30%,纬向断裂强力保持率仅为 20%(表 2)。

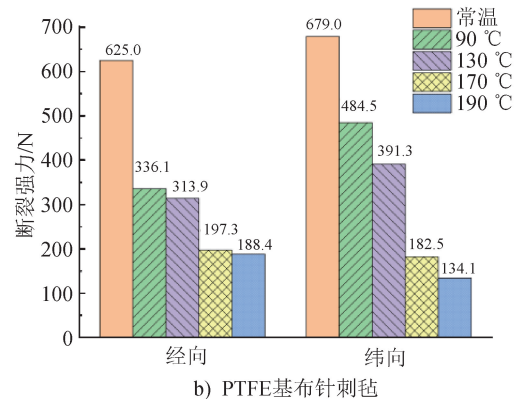
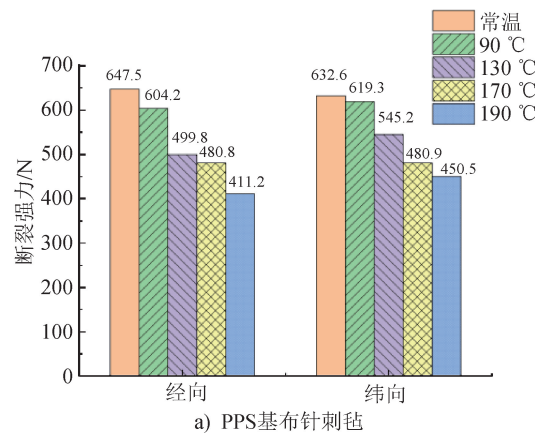


图 3 2 种类型针刺毡在不同测试温度下断裂强力的变化  
Fig. 3 Tensile strength changes of the two type needle punched felts at different testing temperatures

表 2 不同测试温度下试样的断裂强力保持率

Tab.2 Tensile strength retention rates of samples at different testing temperatures

试样类型		断裂强力保持率/%				
		室温	90 ℃	130 ℃	170 ℃	190 ℃
PPS 基布针刺毡	经向	100	93	77	74	64
	纬向	100	98	86	76	71
PTFE 基布针刺毡	经向	100	54	50	32	30
	纬向	100	71	58	27	20

拉伸断裂强力是材料的基本力学性能指标。若高温条件下针刺毡的断裂强力保持率过低,则在喷吹气流冲击和粉尘冲刷等的机械作用下,其使用寿命将受到较明显的不利影响。因此,为特定工况选择合适的过滤材料,力学性能及高温下材料的力学性能保持程度是重要的判别指标。

### 2.3 不同温度下针刺毡尺寸稳定性的变化

针刺过滤毡的尺寸稳定性,亦即对抗应力产生的可恢复性弹性形变的能力,其直接影响针刺毡滤袋的除尘效果。本文以试样拉伸过程中在 50 N 应力下所发生的形变程度(即 50 N 定负荷伸长率),评价不同类型针刺毡的尺寸稳定性。

不同温度条件下 2 种类型针刺毡的尺寸稳定性测试结果如图 4 所示。由图 4 可以看出,2 种类型的针刺毡都表现为经向定负荷伸长率小于纬向定负荷伸长率。常温测试条件下,2 种类型试样的经纬向定负荷伸长率相差不大。但随着测试温度的升高,试样的经纬向定负荷伸长率差异明显。对于 PPS 基布针刺毡,当测试温度升高至 130 ℃ 时,试样的经向定负荷伸长率由常温下的 0.9% 增加至 2.2%,纬向定负荷伸长率由常温下的 1.5% 增加至 7.5%。当测试温度升高至 190 ℃ 时,试样的经纬向定负荷伸长率分别增加至 3.9% 和 11.5%。对于 PTFE 基布针刺毡,当测试温度升高至 130 ℃ 时,试样的经向定负荷伸长率由常温下的 0.5% 增加至 1.3%,纬向定负荷伸长率由常温下的 2.0% 增加至 5.8%。当测试温度升高至 190 ℃ 时,试样的经纬向定负荷伸长率分别增加至 2.4% 和 6.2%。

对脉冲清灰袋式除尘过程的研究<sup>[11]</sup>表明,清灰过程中,过滤毡的经向和纬向形变程度不同,且纬向形变程度对清灰效果具有决定性作用。本文的研究结果显示,在同样的外力作用下,针刺毡的纬向形变

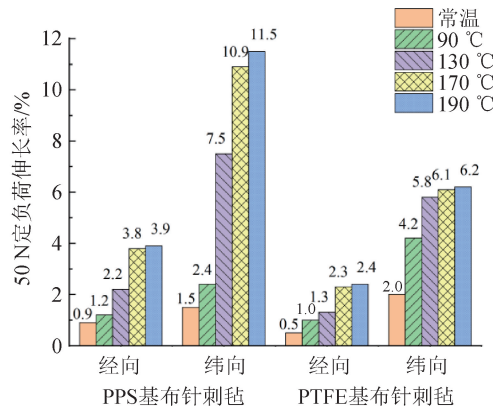


图 4 不同温度条件下 2 种类型针刺毡的尺寸稳定性  
Fig. 4 Dimensional stability of the two types needle punched felts at different testing temperatures

程度明显高于经向,并且测试温度对其纬向形变程度的影响更显著。由图 4 可知,温度从常温升至 190 ℃ 时,PPS 基布针刺毡的纬向形变从 1.5% 增加至 11.5%,形变量增加了 667%,PTFE 基布针刺毡的纬向形变从 2.0% 增加至 6.2%,形变量增加了 210%。即便从 190 ℃ 下试样的 50 N 定负荷伸长率测试结果看,无论是 PPS 基布针刺毡的 11.5%,还是 PTFE 基布针刺毡的 6.2%,都有可能影响针刺毡的孔隙直径,进而影响滤袋的除尘效率。

高温条件下,尤其是在高于袋式除尘器正常运行温度(通常 $\leq 130$  ℃)条件下,PTFE 基布针刺毡对抗外应力形变的能力强于 PPS 基布针刺毡。因此,在一些超高温及频繁出现超温的除尘工况下,PTFE 基布针刺毡滤袋是更为合适的选择。

## 3 结论

(1) 随着测试温度的升高,PPS 基布针刺毡和 PTFE 基布针刺毡的断裂强力均出现不同程度的下降;以定负荷伸长率表征的 2 种类型针刺毡的尺寸稳定性均随温度升高而有所下降。

(2) 2 种类型的针刺毡均表现为纬向拉伸力学性能受温度的影响更显著。随着测试温度的升高,针刺毡的纬向断裂强力与尺寸稳定性下降程度明显高于经向。由于喷吹工况下,滤袋的清灰效果取决于针刺毡的纬向形变程度,因此,应根据除尘器的工况温度选择合适变形量的针刺毡。

(3) PTFE 基布针刺毡在高温下的断裂强力保

持率远低于 PPS 基布针刺毡,长期高温运行将严重影响其使用寿命,但其定负荷伸长率受温度的影响较小,而这对保持良好的清灰效果与过滤效率相对有利。

由本文的研究结果可知,应根据特定的除尘工况针对性地选择过滤针刺毡基布种类,以确保最优的力学性能与过滤除尘效果。



期刊采编平台



中国知网下载

### 参考文献

- [ 1 ] 王玉红,姚群,陈志炜.我国袋式除尘行业技术新进展[J].工业安全与环保,2020,46(6):65-70.
- [ 2 ] 赵奕,靳向煜,吴海波,等.我国高温烟气非织造过滤材料的现状与发展前景[J].东华大学学报(自然科学版),2020,46(6):874-880.
- [ 3 ] 郭乃盐,赵霞.除尘滤袋失效在线检测分析系统的研发[J].国际纺织导报,2021,49(7):28-31.
- [ 4 ] 柳静献,毛宁,常德强,等.温度对 PPS 针刺毡滤料的
- [ 5 ] 影响研究[C]//2008(沈阳)国际安全科学与技术学术研讨会论文集.沈阳,2008.
- [ 6 ] 王向钦,陈明刚,吴波伟,等.除尘滤袋用 PTFE 复合缝绉线热态拉伸性能分析[J].产业用纺织品,2021,39(12):15-18.
- [ 7 ] 毛宁,高洋,韩旭,等.袋式除尘用滤料挺度与温度关系的试验研究[J].安全与环境学报,2023,23(3):826-829.
- [ 8 ] 严烁,梁燕,周蕊,等.袋式除尘器用聚苯硫醚滤料的拉伸强度及失效演化[J].合成纤维,2022,51(3):20-24.
- [ 9 ] 彭杰,任捷,崔宁.PPS 针刺过滤毡常温下拉伸特点研究[J].产业用纺织品,2020,38(2):22-27.
- [ 10 ] 郑依铭,吴海波.聚四氟乙烯滤料的高温蠕变行为与抗蠕变研究[J].毛纺科技,2022,50(1):1-6.
- [ 11 ] 雷李娜,郭国梁.国内袋式除尘器滤袋滤料标准研究与质量问题分析[J].产业用纺织品,2023,41(11):42-45.
- [ 12 ] ZHENG C H, KANAOKA C. Recent advances in dust collection technology and ISO standardization in bag filtration[J]. Journal of Zhejiang University: Science A, 2018, 19(1): 21-33.
- .....
- (上接第 7 页)
- [ 58 ] 林俊敏.贝尼尔聚乳酸微球缓释制剂的制备方法解析[J].工业微生物,2023,53(4):107-109.
- [ 59 ] LI W, TERRY R N, TANG J, et al. Rapidly separable microneedle patch for the sustained release of a contraceptive [J]. Nature Biomedical Engineering, 2019, 3(3): 220-229.
- [ 60 ] CHEN K, LIU Y H, LIU X H, et al. Hyaluronic acid-modified and verteporfin-loaded polylactic acid nanogels promote scarless wound healing by accelerating wound re-epithelialization and controlling scar formation [J]. Journal of Nanobiotechnology, 2023, 21(1): 241.

