

舒适型化学防护服织物的研发与性能测试

殷瑜敏¹ 房罗伟² 陈双¹ 张传杰^{2,3,4} 孙明志³ 郭肖青²

1. 东华大学 纺织学院, 上海 201620;
2. 青岛大学 纺织服装学院, 山东 青岛 266071;
3. 山东浦特柯材料科技有限责任公司, 山东 威海 264499;
4. 青岛大学 威海创新研究院, 山东 威海 264200

摘要:为解决现有化学防护服防护性能与舒适性难以兼备的问题,以功能性织物为外层材料,聚四氟乙烯(PTFE)微纳米纤维膜为阻隔层材料,单向导湿织物为里层材料,采用热熔胶膜黏合工艺对其进行复合,开发舒适型化学防护服多层复合型化学防护材料。对多层复合型化学防护材料的性能进行测试,并与3种市售防护服材料进行对比。研究表明,所开发的防护服材料在具备高效阻隔作用的同时,具有良好的柔软、透气、透湿等舒适性。研究为进一步开发舒适型化学防护服提供参考。

关键词: 化学防护服;阻隔性;舒适性;多层复合材料

中图分类号:101.92⁺3

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2024)04-0027-06

Development and performance testing of comfortable chemical protective clothing fabrics

Yin Yumin¹, Fang Luowei², Chen Shuang¹, Zhang Chuanjie^{2,3,4}, Sun Mingzhi³, Guo Xiaoqing²

1. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China;
2. College of Textile and Garment, Qingdao University, Qingdao 266071, Shandong, China;
3. Shandong Puteke Material Technology Co., Ltd., Weihai 264499, Shandong, China;
4. Weihai Innovation Research Institute of Qingdao University, Weihai 264200, Shandong, China

Abstract: In order to solve the problem that the protection performance and comfort of the existing chemical protective clothing are difficult to combine, the comfortable multi-layer composite chemical protective materials for chemical protective clothing were developed through using functional fabric as the outer material, polytetrafluoroethylene (PTFE) micro-nano fiber film as the barrier material, and single guide wet fabric as the inner layer material, combined with the hot melt adhesive film process. The properties of the multi-layer composite chemical protective material were tested and compared with those of 3 kinds of commercially available protective clothing fabrics. The results showed that the developed protective clothing materials had high efficiency barrier effect, and good comfort such as soft, breathable and moisture permeable. The study provides references for further development of comfortable chemical protective clothing.

基金项目:泰山产业领军人才工程资助;系列舒适型高效阻隔防护服的关键技术研发及产业化(tscy20221176)

收稿日期:2024-02-26

作者简介:殷瑜敏,2001年出生,在读硕士研究生,主要研究方向为功能性织物制备与性能测试

通信作者:郭肖青,副教授, gxiaoqing@163.com

Keywords: chemical protective clothing; barrier property; comfort; multilayer composite

化学防护服是特种作业人员、消防人员等在从事涉及化学危害等活动时最重要的防护屏障^[1],防护服质量直接关系到使用人员的安危和救援任务的顺利开展。随着时代的发展,人们对防护服的性能要求也不断提高,除了需考核化学防护服的防化学品渗透性能、物理力学性能外,舒适性也成为一项重要的考核指标^[2-4]。

目前市场上的化学防护材料主要有隔绝型、吸附型、解毒型和选择透过型等类型,但这些防护材料普遍存在防护功能单一^[5]、舒适性差或防护功能强但舒适性差等问题,严重限制了其应用^[6]。近几年,化学防护服也逐渐朝着多功能化、舒适化等方向发展^[7-9]。为解决目前市场上化学防护服导湿性、透气性差^[10]等服装舒适性方面的问题,本文通过对不同类型的化学防护材料进行复合,制备多层复合型化学防护材料,并对其阻隔性能、力学性能和舒适性能进行测试与评价。研究旨在为

舒适型化学防护服织物的制备提供更多参考与理论支持。

1 试验

1.1 试验原料

试验所需原料如表 1 和图 1~图 3 所示。其中,多层复合型防护材料的外层采用涤纶铜镍防辐射织物或涤纶抗静电织物,目的是在实现防护服基本防护作用的基础上,达到防护功能的多样化;中间阻隔层分别采用 2 种不同孔径、厚度的聚四氟乙烯 (PTFE) 微纳米多孔膜,并对制得的多层复合型防护材料进行性能测试与对比,探究 PTFE 形态结构、力学性能与多层复合型防护材料舒适性之间的关系;内层创新性采用单向导湿织物,旨在实现织物的透气导湿功能。不同材料的复合通过聚酰胺 (PA) 热熔胶膜黏合工艺实现。

表 1 试验原料规格参数

Tab. 1 Specifications of test raw materials

材料类型	成分与规格参数	来源
涤纶铜镍防辐射织物	涤纶+铜镍;面密度为 70 g/m ²	广州玖锦电子材料有限公司
涤纶抗静电织物	涤纶/导电丝(质量比 98/2);面密度为 108 g/m ²	苏州得先机纺织有限公司
常规 PTFE 微纳米多孔膜	厚 30 μm;孔径<3 μm	威海云龙复合纺织材料股份有限公司
超薄 PTFE 微纳米多孔膜	厚 5 μm;孔径为 0.3 μm	威海云龙复合纺织材料股份有限公司
单向导湿织物	涤纶/丙纶(质量比 50/50);面密度为 155 g/m ²	广州秀华纺织有限公司



图 1 试验用织物材料照片
Fig. 1 Photos of test fabrics

以 3 款市售常规防护服材料(表 2)作为对比样,与本文制得的多层复合型化学防护材料进行性能对比。

1.2 制备工艺

以涤纶铜镍防辐射织物或涤纶抗静电织物为外层、不同孔径和厚度的 PTFE 微纳米多孔膜为阻隔

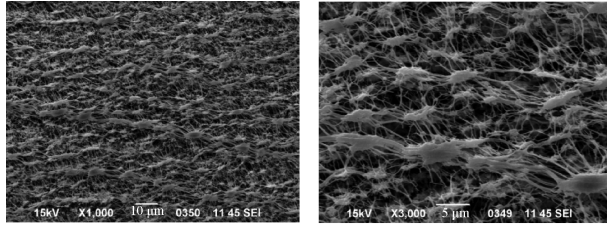


图 2 PTFE 微纳米多孔膜的扫描电子显微镜图
Fig. 2 Scanning electron microscope images of PTFE micro-nano porous membranes

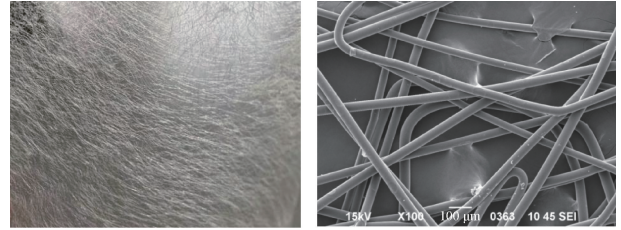


图 3 PA 热熔胶膜实物图与扫描电子显微镜图
Fig. 3 Physical image and scanning electron microscope image of PA hot melt adhesive membrane

表 2 对比样的规格参数

Tab. 2 Specifications of contrast samples

编号	材料类型	工艺	成分	来源
B1	医用一次性防护服面料	二层,点胶复合	聚丙烯+聚乙烯	威海云龙复合纺织材料股份有限公司
B2	化学复合防护面料	三层,点胶复合	涤纶+聚氨酯+涤纶	威海云龙复合纺织材料股份有限公司
B3	军用防护复合面料	三层,点胶复合	涤纶+PTFE+涤纶	威海云龙复合纺织材料股份有限公司

层、单向导湿织物为里层,以 PA 热熔胶膜作为黏结材料,采用热熔层压工艺^[11]对材料进行复合,得到 4 种不同的多层复合型化学防护材料(试样 A1~试样 A4,图 4)。其中,试样 A1 由涤纶铜镍防辐射织物、常规 PTFE 微纳米多孔膜与单向导湿织物复合而成,试样 A2 由涤纶铜镍防辐射织物、超薄 PTFE 微纳米多孔膜与单向导湿织物复合而成,试样 A3 由涤纶抗静电织物、常规 PTFE 微纳米多孔膜与单向导湿织物复合而成,试样 A4 由涤纶抗静电织物、超薄 PTFE 微纳米多孔膜与单向导湿织物复合而成。

1.3 性能测试

1.3.1 阻隔性能测试

为清晰地展示所得多层复合型化学防护材料的防渗透性能,本文对材料进行宏观防渗透测试:首先,将多层复合型化学防护材料裁剪成若干尺寸为 5 cm^2 的正方形试样;然后,在试样下方放 1 张滤纸,再在试样表面滴加由直接染料与质量分数为 10% 的氢氧化钠构成的混合溶液;接着,将试样置于封闭的容器中放置 60 min;最后,观察并记录是否有染料透过试样。

根据 GB 24539—2021《防护服 化学防护服》测试多层复合型化学防护材料的拒液性能和穿透性能,以探讨其对化学试剂的阻隔性能。本文采用拒液性能表征多层复合型化学防护材料抗液态化学物质的穿透性能。拒液试验测试装置如图 5 所示。试

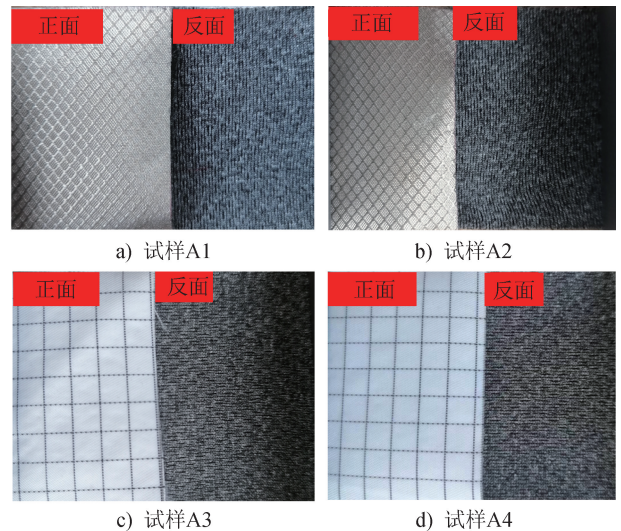


图 4 4 种不同的多层复合型化学防护材料照片
Fig. 4 Photos of 4 kinds of different multilayer composite chemical protective materials

验具体过程如下:首先,将各多层复合型化学防护材料裁剪成 $360\text{ mm} \times 235\text{ mm}$ 大小的试样;然后,称取溶液质量 m_1 ,薄膜、滤纸与试样总质量 m_1 ;将称量好的薄膜、滤纸与试样依次放入透明槽内并使三者相互紧密贴合,再称取烧杯质量 m_2 ;使用自动注射器,分别注射 10 mL 质量分数为 30% 的硫酸与 10 mL 质量分数为 10% 的氢氧化钠进行拒液性能测试,注射速度为 $10\text{ mL}/(10\text{ s})$;注射结束即开始计时,60 s 后取下试样,称取薄膜、滤纸与试样总质量 m_1' ,烧杯及烧杯中收集到的溶液质量 m_2' 。最后,按式(1)和

式(2)计算各多层复合型化学防护材料试样的穿透指数(I_p)与拒液指数(I_R)。

$$I_p = \frac{m'_1 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$I_R = \frac{m'_2 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

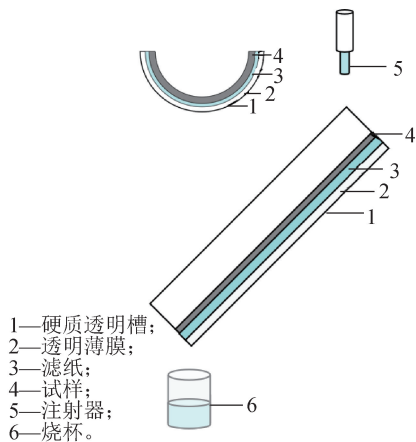


图5 拒液试验测试装置示意

Fig. 5 Diagram of liquid repellent test device

1.3.2 手感舒适性及透湿透气性测试

根据 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测试》,使用 YG461E-Ⅲ型全自动透气量仪测试多层复合型化学防护材料试样的透气性。根据 GB/T 12704.2—2009《纺织品 织物透湿性试验方法 第2部分:蒸发法》,采用标准中的正杯法,使用 YG601 H-Ⅱ型电脑式织物透湿仪测试多层复合型化学防护材料试样的透湿性。根据 T/ZFB 0003—2019《纺织品 相对手感值的测试仪器法》标准,使用 PhabrOmeter[®] System 型法宝仪评价多层复合型化学防护材料试样的相对手感,测试结果用于评价材料手感舒适性。

1.3.3 物理力学性能测试

根据 GB 24539—2021《防护服 化学防护服》测试多层复合型化学防护材料试样的撕破强力。根据 GB/T 21196.2—2007《纺织品 马丁代尔法织物耐磨性的测定 第2部分:试样破损的测定》测试多层复合型化学防护材料试样的耐磨性,试验仪器为 YG401H-9 型马丁代尔测试仪,采用羊毛毡底衬对试样进行 3 000 次平磨后,观察其外观变化和破损情况。

1.3.4 防辐射性能测试

根据 GB/T 30142—2013《平面型电磁屏蔽材料

屏蔽效能测量方法》,使用织物防电磁辐射性能测试仪对制备多层复合型化学防护材料试样的外层织物进行防辐射性能测试,以表征多层复合型化学防护材料试样的防辐射性能。

2 结果与讨论

2.1 对化学物质的阻隔性

2.1.1 防渗透性能

防渗透性能试验结束后,试样 A1~试样 A4 及其下方滤纸的表面情况如图 6 所示。由图 6 可以看出,测试结束后,液滴在多层复合型化学防护材料试样表面以不同的形态铺展开,但滤纸上未出现明显的染料痕迹,证明试样具有良好的防渗透性能。这是因为各多层复合型化学防护材料表面机织物纱线间的缝隙较大,液体容易穿透,但 PTFE 膜孔径较小^[12-13],化学试剂分子无法通过。因此,本文制备的多层复合型化学防护材料能够有效阻隔有害化学物质,确保穿着人员安全。

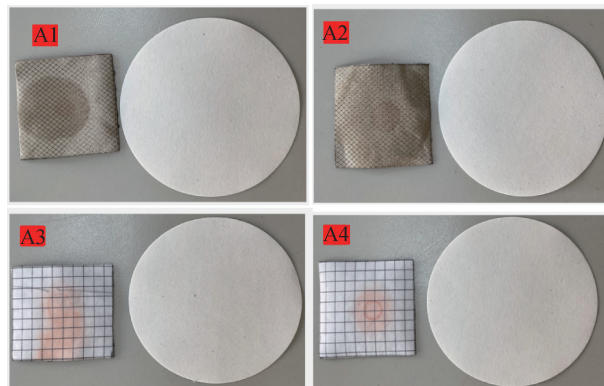


图6 试样的防渗透性能测试结果

Fig. 6 Permeability resistance test result of samples

2.1.2 拒液性能

4 种多层复合型化学防护材料试样的穿透指数与拒液指数测试与计算结果如表 3 所示。由表 3 可知,所有试样的拒液和液体穿透性能均达到了 GB 24539—2021 中规定的 3 级要求(拒液指数大于 95.0%,穿透指数小于 1.00%),表明本文制备的 4 种多层复合型化学防护材料对化学试剂均具有良好的阻隔性能。

2.2 手感舒适性及透湿透气性

2.2.1 手感舒适性

本文测试多层复合型化学防护材料的柔软度和

表 3 试样的穿透指数与拒液指数测试结果

Tab. 3 Test results of penetration index and liquid repellent index of samples

试样编号	穿透指数/%	拒液指数/%	拒液和液体穿透性能分级/级
A1	0.51	96.7	3
A2	0.43	98.9	3
A3	0.52	97.4	3
A4	0.44	98.2	3

褶皱回复率,并用由这 2 个测试指标计算得的综合手感评价系数表征材料的舒适性。4 种多层复合型化学防护材料试样手感舒适性测试结果如图 7 所示。由图 7 可知,试样 A3 和试样 A4 的综合手感评价系数远大于试样 A1 和试样 A2 的,即以涤纶铜镍防辐射织物作为外层材料的多层复合型化学防护材料,其手感舒适性不及以涤纶抗静电织物为外层的多层复合型化学防护材料,这可能是涤纶铜镍防辐射织物本身的柔软度不及涤纶抗静电织物所致。

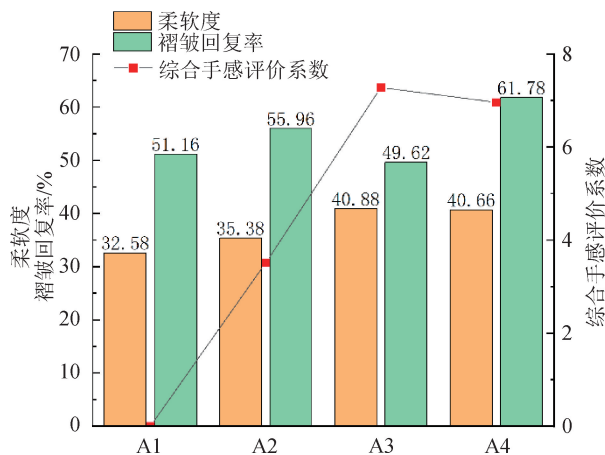


图 7 试样的手感舒适性测试结果

Fig. 7 Handfeel comfort test results of samples

2.2.2 透湿性

若化学防护服的透湿性差,则其无法及时将人体产生的热量和汗液排出,舒适性会大幅降低,并且也会增加使用人员的工作负担。因此,透湿性也是衡量防护服舒适性的重要指标。本文制得的 4 种多层复合型化学防护材料试样与 3 种对比样的透湿率测试结果如图 8 所示。由图 8 可以看出,本文制备的多层复合型化学防护材料的透湿率远高于对比样的。这是因为多层复合型化学防护材料内层的单向导湿面料可迅速将材料内部的水气导出至材料外

部,因而透湿性更好。另外,对比样材料层与层之间的复合采用的是点胶工艺,点胶的部位影响材料透湿,而本文制备多层复合型化学防护材料采用的是热熔胶膜黏合工艺,其黏胶面积较小,从而使得材料的透湿性得以改善。

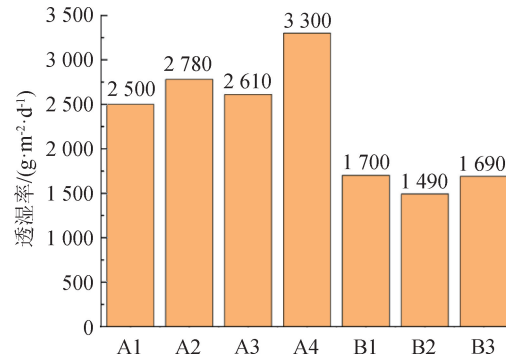


图 8 试样的透湿率测试结果

Fig. 8 Moisture permeability test results of samples

2.2.3 透气性

防护服的透气性越好,热湿传递效率越高,穿着时的舒适感越强^[14-15]。本文制得的 4 种多层复合型化学防护材料试样与 3 种对比样的透气率测试结果如图 9 所示。目前现行的标准中尚未对化学防护服的透气性作明确的规定,市售防护服的透气性也普遍较差,如对比样 B1、B2 和 B3,其透气率小,透气性差。由图 9 还可以看出,以超薄 PTFE 微纳米多孔膜作为阻隔层的多层复合型化学防护材料(试样 A2 和试样 A4),其透气率大于以常规 PTFE 微纳米多孔膜为阻隔层的多层复合型化学防护材料(试样 A1 和试样 A3)及 3 种对比样(试样 B1、试样 B2 和试样 B3)的。这是因为超薄 PTFE 微纳米多孔膜的厚度较小,孔曲折程度较小^[16],因而用其制备的多层复合型化学防护材料透气性更好,材料的整体舒适性提高。

2.3 物理力学性能分析

2.3.1 撕破强力

本文制得的 4 种多层复合型化学防护材料试样与 3 种对比样的撕破强力测试结果如图 10 所示。由图 10 可以看出,所制备的 4 种多层复合型化学防护材料试样的经纬向撕破强力均大于 60 N,达到了 GB 24539—2021 中规定的 4 级要求(撕破强力 >60 N),且本文制备的 4 种多层复合型化学防护材料试样的撕破强力均高于对比样的。

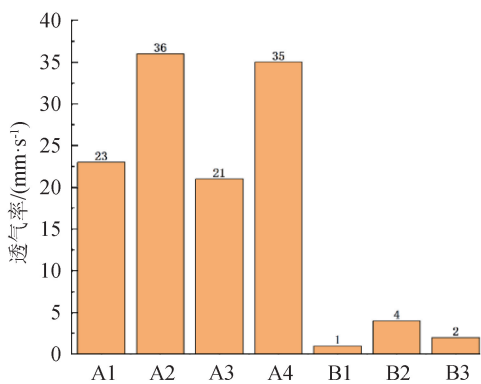


Fig. 9 Air permeability test results of samples

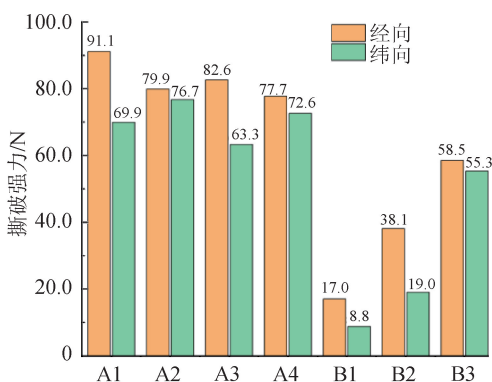


Fig. 10 Tear strength test results of samples

2.3.2 耐磨性

由耐磨性测试结果可知,经 3 000 次摩擦后,试样 A1~试样 A4 表面均未出现明显的变化。这是因为多层复合型化学防护材料试样表面采用的涤纶机织物,其经纬纱交织紧密,在反复摩擦后不易起毛、勾丝。

2.4 防辐射性能

涤纶铜镍防辐射织物与涤纶抗静电织物的电磁屏蔽效能测试结果如图 11 所示。由图 11 可以看出,在频率为 0~3 000 MHz 范围内,涤纶铜镍防辐射织物的电磁屏蔽效能可达 50~70 dB,达到了 GB/T 30139—2013《工业用电磁屏蔽织物通用技术条件》中对屏蔽效能的指标要求(>45 dB)。由于热熔胶膜黏合工艺不影响材料的防辐射性能,这意味着本文制备的含涤纶铜镍防辐射织物的多层复合型化学防护材料具有良好的防辐射性能,能够确保穿着人员免受电磁辐射伤害。

3 结论

开发高舒适且多功能的化学防护服是防护服研

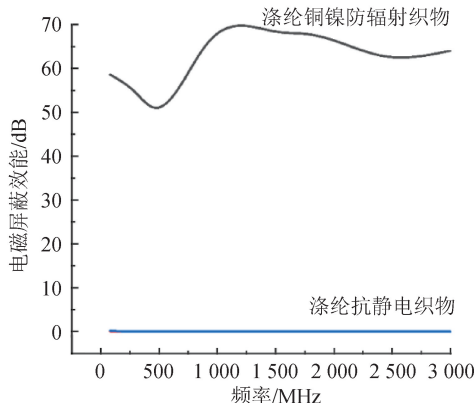


图 11 织物防辐射性能

Fig. 11 Radiation resistance of fabrics

究领域重要的发展方向。为提高化学防护服产品的舒适性,本文将功能性织物、PTFE 微纳米多孔膜与单向导湿面料复合,制备化学防护服用多层复合型化学防护材料,并测试材料的主要性能。对化学物质的阻隔性试验和物理力学性能测试结果表明,所得多层复合型化学防护材料的防渗透性能和拒液性能好,对化学试剂具有良好的阻隔性能,且物理力学性能优良,能满足化学防护服的安全和防护要求。制备的多层复合型化学防护材料与市售产品相比,平均透湿率是对比样的 22 倍,平均透气率是对比样的 16 倍,透湿透气性得到大幅提升,弥补了目前化学防护服舒适性差的不足,为今后化学防护服面料的优化制备提供参考。此外,本文制备的含涤纶铜镍防辐射织物的多层复合型化学防护材料具有防辐射功能,这为拓宽化学防护服的使用途径与应用场景提供了思路。后续可进一步针对化学防护服的多功能化展开研究。



期刊采编平台



中国知网下载

参考文献

- [1] CHEN Q, ZHENG R, FU B L, et al. Comparison of standards for chemical protective clothing on performance requirements and measurements[J]. Journal of Industrial Textiles, 2022, 51 (S2): 1815-1858.
- [2] 崔华帅,屈硕,朱金唐,等.“三明治”结构的可复用医用防护服面料的性能研究[J]. 纺织科学研究, 2022(7): 50-53.

(下转第 47 页)