

羊毛新型抗静电整理剂的开发及性能

刘旭东^{1,2}, 孔祥峰³, 魏玉娟^{1,2}, 许佳^{1,2}

- (1.河北科技大学 纺织服装学院, 河北 石家庄 050000;
2.河北省纺织服装技术创新中心, 河北 石家庄 050000;
3.河北多维康助剂有限公司, 河北 邢台 054000)

摘要:用常见的抗静电剂对羊毛织物进行抗静电整理时,其抗静电效果往往受环境湿度的影响。文章使用6种抗静电剂、氧化石墨烯和还原氧化石墨烯对羊毛织物进行抗静电整理并将其复配,分析助剂浓度和环境湿度对织物抗静电性能的影响。结果表明:多数表面活性剂类抗静电剂浓度达到25.000 g/L后才有明显的抗静电效果,且其抗静电性能受环境湿度的影响较大,变化率最高可达68.4%;氧化石墨烯(GO)和还原氧化石墨烯(rGO)的加入可提升低浓度抗静电剂对织物整理后的抗静电性能,降低其对湿度的敏感性。该研究为开发环境适应性广的羊毛用抗静电整理剂提供一种新思路。

关键词:羊毛织物;抗静电;湿度稳定性;石墨烯

中图分类号:TS 195.2

文献标志码:A

文章编号:1000-4033(2025)03-0031-05

Development and Performance Research of New Antistatic Agent for Wool Fabric

Liu Xudong^{1,2}, Kong Xiangfeng³, Wei Yujuan^{1,2}, Xu Jia^{1,2}

- (1.College of Textile and Garments, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050000, China;
2.Hebei Technology Innovation Center for Textile and Garment, Shijiazhuang, Hebei 050000, China;
3.Hebei Duoweikang Auxiliary Co., Ltd., Xingtai, Hebei 054000, China)

Abstract:When common antistatic agents are used for antistatic finishing on wool fabrics, the antistatic effect is often affected by the ambient humidity. Six kind of antistatic agents, graphene oxide and reduced graphene oxide were used for antistatic finishing on wool fabrics, and then they were mixed. Effects of auxiliary concentration and ambient humidity on the antistatic properties of fabrics were analyzed. The results show that most surfactant antistatic agents need to reach a concentration of 25.000 g/L to have an obvious antistatic effect. And their antistatic properties are greatly affected by the ambient humidity, with a maximum change rate of 68.4%. The addition of graphene oxide and reduced graphene oxide can improve the antistatic properties and the sensitivity to humidity of low-concentration antistatic agents. This research provides an idea for developing an antistatic agent for wool fabric with good environmental adaptability.

Key words:Wool Fabric; Antistatic Finishing; Humidity Stability; Graphene

羊毛纤维作为一种常见的天然纤维,手感柔软舒适,色泽鲜艳明亮,且吸湿性和弹性出色,羊毛纤维服装穿着舒适、轻盈,具有优异的保暖能力,尤其是在气候较为寒冷的北方冬季,深受消费者们的青睐。但羊毛纤维的表面结构导致了严重的静电现象^[1],羊毛纤维由20种 α 氨基酸组成,具有较好的

基金项目:河北省创新能力提升计划-高水平人才团队建设专项(205A1401H);石家庄市科技计划-重大科技专项(246191477A)。

专利名称:一种氧化石墨烯复配的抗静电处理剂(ZL 202211416114.5)。

作者简介:刘旭东(1997—),男,硕士研究生。主要从事纺织品功能整理相关的研究。

通讯作者:许佳(1984—),女,副教授,博士。E-mail:zhuner7162008@163.com。

亲水性,但羊毛纤维的外部由鳞片层构成,鳞片层外侧为类脂层,使羊毛纤维表面具有疏水性,因此羊毛表面易产生电荷聚集,进而导致静电问题的产生^[2]。由于羊毛纤维具有一定的吸湿性,因此在环境湿度较高时,羊毛纤维的静电现象会减弱,相反在低湿度情况下,静电现象更加严重^[3]。此外,羊毛生产加工过程中与机器的摩擦会产生大量静电,如果处理不当不仅会导致纤维的缠附或断裂,甚至会影响机器的正常运转,造成损失。

根据静电现象产生的机理分析,羊毛的抗静电整理法可分为增加导电性和增加吸湿性两种。可通过在羊毛纤维中掺入导电高分子材料,如聚吡咯^[4]、聚苯胺^[5]等;或与金属导电纤维等进行混纺,从而提升羊毛纤维的导电性。俞俭等^[6]采用氧等离子体刻蚀法处理羊毛鳞片层,得到聚苯胺-羊毛导电织物,电导率达 1.075 S/cm。但根据此方法制得的纤维一般颜色较深,染色会受到影响,且手感会变差,同时工艺较复杂,成本较高,应用并不广泛。另一类方法就是在纤维表面添加具有亲水性基团的助剂,从而增加羊毛纤维表面的亲水性。最常用的是表面活性剂类的抗静电剂,该类整理剂通过增加羊毛织物表面的亲水性从而达到抗静电,整理法简单快捷,成本较低^[7]。但由于表面活性剂分子与纤维表面并没有较强的结合力,因此抗静电效果的耐洗性差,且对湿度的敏感性较强。因此,在生产过程中,常添加大量抗静电剂,在车间配有多台加湿器,以保证生产过程的顺利进行。

石墨烯是一种性能优异的二维纳米材料,具有良好导电性^[8],氧化石墨烯是一种石墨烯功能化后的衍生物,结构中含有大量含氧基

团。与石墨烯相比,导电性稍弱,但其亲水性、分散性稍强些^[9],因此石墨烯材料具有应用于羊毛织物抗静电的潜在前景。已有研究证明了石墨烯在羊毛织物上的抗静电作用^[10],但目前难以解决因石墨烯引入带来的表面色泽问题,导致织物发黄或发黑。本研究试图将氧化石墨烯(GO)和还原氧化石墨烯(rGO)与抗静电剂复配,制得复合型抗静电剂,克服表面活性剂类抗静电剂的湿度敏感性及石墨烯引入的表面色泽问题,测试不同浓度、湿度下的抗静电性能并进行优化,探究石墨烯对抗静电剂环境湿度稳定性的影响,获得最优配方,以期用于服用日常喷剂型抗静电剂。

1 试验部分

1.1 试验材料

材料:全毛纬平针织物(克质量 175.50 g/m²,河北多维康助剂有限公司)。

试剂:阳离子型抗静电剂 KD-4、阴离子型抗静电剂 YL、非离子型抗静电剂 HL(河北省多维康助剂有限公司),脂肪醇聚氧乙烯醚硫酸钠(AES)、脂肪醇聚氧乙烯醚(AEO-7,山东优索化工科技有限公司),十六烷基三甲基氯化铵(CTAC,天津市大茂化工试剂厂),氧化石墨烯(GO,七台河宝隆泰石墨烯新材料有限公司),保险粉(天津市化学试剂三厂)。

仪器:YG(B)342D 型织物感应式静电仪(温州市大荣纺织仪器有限公司),JJ523 BC 型电子天平(常熟市双杰测试仪器厂),温度湿度计(北京博德福伟业仪器仪表有限公司),YG751B 型电脑式恒温恒湿箱(宁波纺织仪器厂)。

1.2 试验方法

1.2.1 表面活性剂整理羊毛织物

将阳离子型抗静电剂 KD-4

和CTAC、阴离子型抗静电剂 YL 和 AES、非离子型抗静电剂 HL 和 AEO-7,配制 5.000~60.000 g/L 的乳化液,使用小型喷雾瓶将 1.0 g 的整理液喷涂至 45 mm×45 mm 的羊毛织物表面,随后将其放置在干燥器中平衡 24 h,将样品放置于恒温恒湿箱中,设置温度 20 ℃,相对湿度 30%,平衡 24 h 后取出,进行抗静电性能测试。

1.2.2 氧化石墨烯和还原氧化石墨烯整理羊毛织物

配制 0~0.700 g/L 的 GO 分散液,在超声分散 30 min 之后,使用小型喷雾瓶将约 1.0 g 的抗静电剂整理液喷洒至羊毛织物的表面(45 mm×45 mm),随后将其放置在干燥器中 24 h 后,将样品放置于恒温恒湿箱中,设置温度 20 ℃,相对湿度为 30%,平衡 24 h 后取出,进行抗静电性能测试。

用保险粉将 GO 还原,得到还原氧化石墨烯(rGO),配制 0~0.300 g/L 的 rGO 分散液,重复上述试验。

1.2.3 环境适应性试验

将整理剂喷洒至羊毛的表面(45 mm×45 mm)后,得到的样品放置在干燥器中平衡 24 h,并置于恒温恒湿箱中,设置温度 20 ℃,相对湿度分别为 30%、40%、50%、60%、70%,平衡 24 h 后取出,测试抗静电性能。

1.3 测试与表征

抗静电性根据 GB/T 12703.1—2008《纺织品 静电性能的评定 第1部分:静电电压半衰期》进行测试。

2 结果与讨论

2.1 表面活性剂处理羊毛抗静电效果及环境湿度适应性

2.1.1 不同表面活性剂整理毛织物的抗静电性能

羊毛织物经不同浓度的阳离子型抗静电剂 KD-4 和 CTAC、阴

离子型抗静电剂 YL 和 AES、非离子型抗静电剂 HL 和 AEO-7 处理后,羊毛织物静电半衰期与质量浓度之间的关系如图 1 所示(温度 20 ℃,相对湿度 30%)。其中,未经处理样品的静电电压半衰期为 66.23 s。

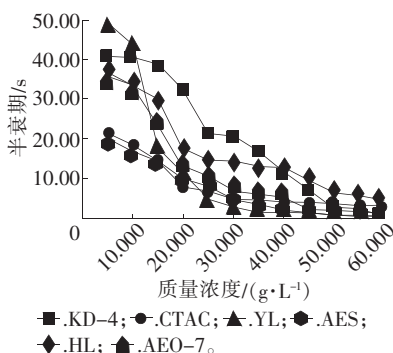


图 1 不同浓度表面活性剂整理后羊毛织物的静电半衰期

由图 1 可知,经表面活性剂整理后,织物的半衰期明显缩短,抗静电剂浓度越大效果越显著。由于抗静电剂需要达到一定的浓度才能在纤维表面形成由亲水基团组成的膜层,提高其吸湿性,因此低浓度时表面活性剂几乎没有效果。考虑到后续复配工艺,应选择低浓度时抗静电性能更为出色的助剂。当质量浓度为 20.000 g/L 时,经抗静电剂 YL 处理后织物的半衰期为 11.17 s,经 AES 处理后织物的半衰期为 10.03 s,经 CTAC 处理后织物的半衰期为 7.88 s,经 AEO-7 处理后织物的半衰期为 13.46 s,这 4 种助剂处理后织物半衰期小于 15.00 s,满足 C 级抗静电织物标准^[1],而阳离子型抗静电剂 KD-4 和非离子型抗静电剂 HL 处理后的样品和半衰期仍然大于 15.00 s,这是由于商用抗静电剂还掺杂其他助剂成分,低浓度时抗静电性能弱于表面活性剂。而根据摩擦带电序列表,羊毛处于正电末端,摩擦后易带正电荷,阴离子型抗静电剂可在一定程度上中和电荷,抗静电性能

更为出色^[12],所以阴离子型抗静电剂效果略优于阳离子和非离子型抗静电剂。此外,当 CTAC 的浓度超过 15.000 g/L 时,处理后的织物表面形成一层白色薄膜,手感变硬;而 AEO-7 随浓度的上升,抗静电效果明显弱于抗静电剂 YL 和 AES,因此选用抗静电剂 YL 和 AES。

2.1.2 不同表面活性剂整理羊毛织物的环境湿度稳定性

羊毛织物经 15.000 g/L 阴离子型抗静电剂 YL 和 AES 整理并经不同湿度环境调湿处理后,羊毛织物静电半衰期与相对湿度之间的关系如图 2 所示(温度 20 ℃)。

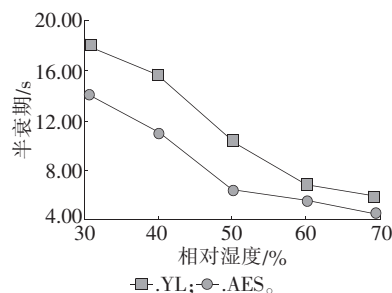


图 2 不同环境湿度下抗静电剂整理后织物的静电半衰期

由图 2 可知,抗静电剂 YL 和 AES 对环境湿度的变化都较为敏感,经抗静电剂 YL 处理后织物在环境湿度为 30%~70% 的条件下,半衰期会从 18.12 s 降至 5.84 s,下降了 67.8%;经 AES 处理后的织物半衰期也从 14.20 s 骤降至 4.49 s,下降了 68.4%,性能差异较为显著,表明在湿度差异较大的条件下,低浓度抗静电剂的性能表现并不稳定,受湿度影响程度较为明显。

2.2 石墨烯处理羊毛织物后的抗静电效果及环境湿度稳定性

2.2.1 GO 和 rGO 整理羊毛后的抗静电性能

羊毛织物按 1.2.2 工艺整理,经 0~0.700 g/L GO 处理后,羊毛织物静电半衰期与 GO 浓度之间的关系如图 3 所示(温度 20 ℃,相对

湿度 30%)。

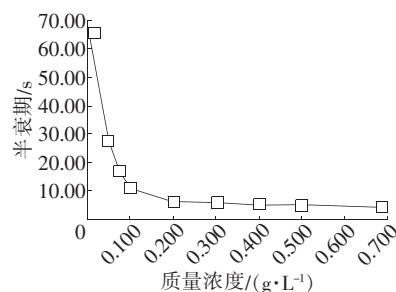


图 3 不同浓度 GO 整理后织物的静电半衰期

由图 3 可知,少量 GO 的加入即可使羊毛织物的抗静电性能得到大幅度提升,但随着 GO 浓度升高,对抗静电性能的提升效果越来越小。未处理羊毛的半衰期为 66.23 s,而加入 0.100 g/L 的 GO 时织物半衰期骤降到 10.75 s,较低浓度时就使织物具有一定抗静电性能。当 GO 浓度大于 0.200 g/L 后,曲线变平缓,继续增大浓度对半衰期的影响不显著,而浓度过高会对织物的手感造成明显影响,因此浓度梯度选择为 0.075~0.300 g/L。

羊毛织物经 0~0.300 g/L 的 rGO 处理后,毛织物静电半衰期与 rGO 浓度之间的关系如图 4 所示(温度 20 ℃,相对湿度 30%)。

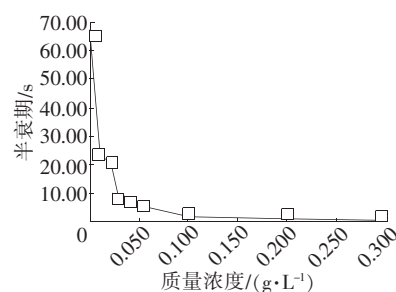


图 4 不同浓度 rGO 整理后织物的静电半衰期

由图 4 可知,rGO 对织物的抗静电性能提升优于 GO。这是由于氧化石墨烯相比于石墨烯,电子传导能力减弱,若将其还原为还原氧化石墨烯,能增强其导电性^[13]。由于导电能力的提升比亲水性的提升对羊毛织物的抗静电性能造成

的影响大,因此 rGO 表现的效果更好。当 rGO 的质量浓度为 0.300 g/L 时,织物的静电电压半衰期可降至 0.63 s,性能优异,但当 rGO 的质量浓度大于 0.100 g/L 时干燥后会在织物表面留下一层薄膜,严重影响织物手感。当 rGO 的浓度为 0.030 g/L 时,相对于 0.020 g/L 对半衰期的提升较为显著,因此选择 0.030 g/L 进行后续试验。

2.2.2 GO 和 rGO 整理羊毛后的环境湿度稳定性

羊毛织物经 0.075~0.300 g/L GO 处理后,毛织物静电半衰期与环境湿度之间的关系如图 5 所示(温度 20 ℃)。

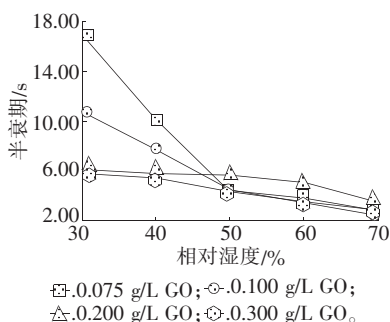


图 5 不同环境湿度下经 GO 处理后织物的静电电压半衰期

由图 5 可知,当 GO 的浓度较低时,整理后织物的抗静电性能随湿度变化较大,0.075 g/L 的 GO 处理后织物的静电电压半衰期在环境湿度由 30% 升至 70% 后可由 17.04 s 降低至 2.74 s,下降了 83.9%;随着 GO 浓度升高,织物的抗静电性能更出色且随湿度的变化率降低。0.100、0.200、0.300 g/L 的 GO 织物的半衰期随湿度的变化率分别为 78.4%、43.9%、51.5%。这是由于 GO 的导电性弱于 rGO,但表面丰富的含氧集团也为织物提供了一定的亲水性,但综合提供的抗静电性能较差,因此样品的抗静电性能受湿度影响较为明显;当 GO 浓度升高后,在织物表面形成的导电结

构更为完整,因此受湿度影响程度减小。GO 浓度选择 0.200 g/L。

羊毛织物经 0.030~0.050 g/L 的 rGO 处理后,毛织物静电半衰期与环境湿度之间的关系如图 6 所示(温度 20 ℃)。

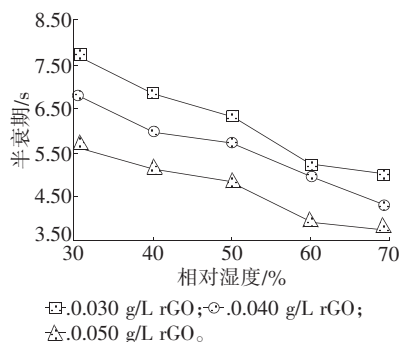


图 6 不同环境湿度下经 rGO 处理后织物的静电电压半衰期

由图 6 可知,3 块样品的静电电压半衰期随湿度的变化幅度差异都不大,3 块织物的半衰期随湿度的变化率分别为 35.6%、37.4%、34.3%,稳定性优于 GO,且浓度的升高不会对稳定性有显著影响,因为 rGO 表面是疏水性的,只为织物提供导电性,且强于 GO。有研究表明,还原氧化石墨烯的导电性能几乎不受湿度影响,因此随 rGO 浓度的升高,织物受湿度影响的抗静电性能变化率保持稳定,而羊毛较好的吸湿性导致随着其湿度增加,织物静电电压半衰期减小。因此,rGO 对于湿度变化的敏感程度低于 GO,且随着浓度的升高保持相对稳定。考虑到 rGO 浓度越高对织物的影响越明显,因此选择浓度较低的 0.030 g/L。

2.3 石墨烯与表面活性剂复配后整理织物抗静电性能随湿度的变化分析

2.3.1 氧化石墨烯与表面活性剂复配后羊毛织物抗静电性能随环境湿度的变化

配制质量浓度为 0.200 g/L 的 GO 分散液,与 15.000、20.000、25.000、

30.000 g/L 的 AES 进行复配,羊毛织物经复配助剂处理后,毛织物静电半衰期与环境湿度之间的关系如图 7 所示(温度 20 ℃)。

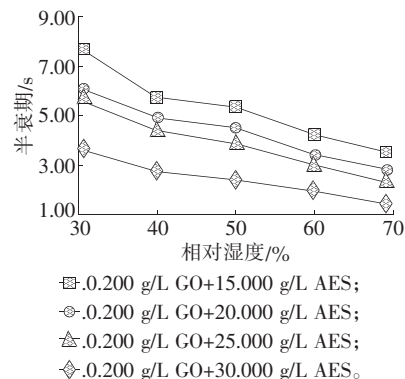


图 7 不同湿度下经 GO 和 AES 处理后织物的静电电压半衰期

由图 7 可知,将 GO 掺杂至低浓度的表面活性剂后,可提高处理织物的抗静电效果及对湿度的稳定性。对比 2.1.1 中单独表面活性剂处理织物试验结果,15.000 g/L AES 掺杂 0.200 g/L 的 GO 织物在湿度为 30% 的条件下,半衰期由 14.20 s 降低至 7.73 s,下降了 45.6%;AES 浓度为 20.000 g/L 的试验组织物的半衰期下降了 39.4%;25.000 g/L 和 30.000 g/L 的试验组织物的半衰期分别下降 30.9% 和 27.9%。这是由于表面活性剂在浓度较低时无法在织物表面形成连续的导电膜结构,抗静电效果较差,加入 GO 可以提升抗静电性能,而表面活性剂达到一定浓度后,表面活性剂体现出的作用更为明显,所以 GO 所带来的抗静电性能提升逐渐降低。

对比 2.1.2 中 15.000 g/L 的 AES 单独整理织物的试验结果,当环境湿度由 30% 上升至 70% 后,15.000 g/L 的 AES 掺杂 0.200 g/L 的 GO 织物半衰期由 7.73 s 降至 3.55 s,降低了 54.1%,当 AES 浓度为 20.000、25.000、30.000 g/L 时织物半衰期的变化率分别为 53.6%、60.0% 和

61.9%，这意味着 GO 的加入可提升表面活性剂类抗静电剂对于环境湿度变化的稳定性，而随着表面活性剂浓度的升高，由于 GO 占比较少，因此表面活性剂受环境湿度的影响更为显著，复配助剂对于环境的稳定性逐渐变差，但优于未处理前的水平，证明 GO 的加入对于抗静电剂对环境的稳定性有一定提升作用，且全部试验组都达到了防静电标准，因此在实际生产过程中可根据需要调节两者配比以达到更出色的效果。

2.3.2 还原氧化石墨烯与表面活性剂复配后羊毛织物抗静电性能随环境湿度的变化

配制质量浓度为 0.030 g/L 的 rGO 分散液，与 15.000、20.000、25.000、30.000 g/L 的 AES 进行复配，羊毛织物经复配助剂处理后，羊毛织物静电半衰期与环境湿度之间的关系如图 8 所示(温度 20 ℃)。

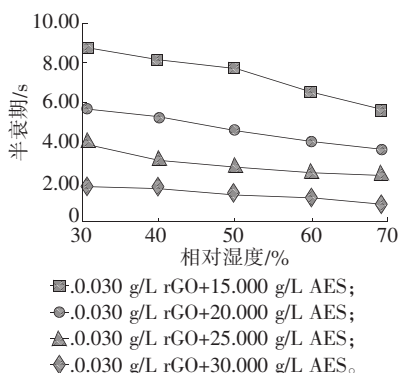


图 8 不同湿度下经 rGO 和 AES 处理后织物的静电电压半衰期

由图 8 可知，对比 2.1.1 中 AES 单独处理织物的试验结果，还原氧化石墨烯的掺杂对织物抗静电效果也有提升。当环境湿度为 30% 时，15.000 g/L 的 AES 掺杂 0.030 g/L 的 rGO 织物的静电电压半衰期由 14.20 s 降至 8.84 s，降低了 37.7%，当 AES 浓度上升至 20.000、25.000、30.000 g/L 时，3 组样品的静电电压半衰期对比掺杂还原氧化石墨烯

前分别降低了 42.9%、51.5%、65.6%，随着 AES 浓度的增加，掺杂 rGO 后样品的抗静电性能提升更加明显，这是因为 rGO 有着较强的导电性，与高浓度抗静电剂形成的导电膜产生协同效应。抗静电剂浓度越高，复配助剂的抗静电性能越显著。

对于不同浓度 AES 而言，当环境湿度由 30% 上升至 70%，15.000、20.000、25.000、30.000 g/L 的 AES 在掺杂 rGO 后，织物静电电压半衰期的变化率分别为 37.0%、37.0%、40.5% 和 51.1%，对比发现，rGO 对抗静电剂性能的稳定性优于 GO 处理试验组，这是由于 rGO 提供的导电性能优于 GO，因此织物获得的抗静电性能更稳定。rGO 对于增强表面活性剂的环境湿度稳定性方面更具优势，因此复配助剂处理后的织物静电电压半衰期对湿度的变化率低于复配 GO 的试验组。

3 结论

3.1 经 6 种表面活性剂整理后，羊毛织物的抗静电性能有着明显提高，其中阴离子型抗静电剂 YL 和 AES 的抗静电效果最为出色，在质量浓度为 60.000 g/L 时，可使织物的静电电压半衰期分别下降到 0.43 s 和 0.41 s。

3.2 使用少量的氧化石墨烯和还原氧化石墨烯对羊毛织物整理后，低湿度条件下即可使织物获得优良的抗静电性能，当氧化石墨烯的浓度为 0.200 g/L，还原氧化石墨烯的浓度为 0.030 g/L 时，制得的喷剂就可使羊毛织物的静电电压半衰期降低至 6.08 s 和 7.75 s，且对织物外观造成的影响较小。

3.3 低浓度的表面活性剂型抗静电剂对于湿度的敏感程度较高，低湿度下效果较差。石墨烯的加入可使抗静电性能与环境湿度稳定性提升，当湿度低至 30% 时复配抗静

电剂处理后织物可满足 C 级抗静电标准，适应多种环境湿度条件。

参考文献

- [1]王译晗,王利平.羊毛及其混纺织物的抗静电整理[J].印染,2015,41(5):30-32,56.
- [2]沈淦清.慎用有机硅对毛纺织品进行柔软整理:毛纺织品的静电现象研究[J].毛纺科技,2005(2):5-8.
- [3]孙小毅,荫怡芬.提高毛织物抗静电功能的理论和效果探讨[J].纺织科学研究,2001(4):16-22.
- [4]曹如川,石小红,李国龙,等.预处理对聚吡咯/羊毛复合导电纱线性能的影响[J].毛纺科技,2022,50(1):28-34.
- [5]张洪峰,杨锦锦,吴壮壮,等.抗静电聚苯胺改性羊毛纤维的制备[J].天津科技大学学报,2019,34(4):42-44,55.
- [6]俞俭,逢增媛,魏取福.聚苯胺整理羊毛织物的导电性能[J].材料科学与工程学报,2018,36(3):376-380.
- [7]丁星星,王培培,刘虎,等.抗静电剂的种类及在各种纺织面料的应用和选择[J].科技传播,2012(1):78.
- [8]胡耀娟,金娟,张卉,等.石墨烯的制备、功能化及在化学中的应用[J].物理化学学报,2010,26(8):2073-2086.
- [9]苗广远.氧化石墨烯的制备及其应用[D].石家庄:河北科技大学,2016.
- [10]刘静芳,刘让同,李亮,等.羊毛织物负载石墨烯及其抗静电功能[J].毛纺科技,2021,49(3):42-46.
- [11]GB/T 12703.1—2008 纺织品 静电性能的评定 第 1 部分:静电电压半衰期[S].
- [12]何天虹,姚金波.一种羊毛抗静电新方法的研究[J].天津工业大学学报,2003(1):25-28.
- [13]GUO H L, WANG X F, QIAN Q Y, et al. A green approach to the synthesis of graphene nanosheets[J].ACS Nano, 2009,3(9):2653-2659.

收稿日期 2024 年 5 月 14 日