

腈氯纶/棉/锦纶 6 阻燃防静电面料的 制备与性能研究

吕欢 徐炎炎 赵雷 刘琳 孙智亮

陕西元丰新材料科技有限公司, 陕西 西安 710000

摘要: 基于腈氯纶/棉混纺股线, 以及通过混纺与包芯 2 种纺纱工艺制备的腈氯纶/棉/锦纶 6 股线, 并结合含股炭黑复合导电长丝制成的导电纱, 开发了 3 种阻燃防静电面料。通过纱线力学性能, 以及织物力学性能、耐磨性能、阻燃性能及抗静电性能的测试, 探究了纱线结构对织物性能的影响。结果表明: 含包芯纱的织物的断裂强力和撕破强力分别较含混纺纱的织物提升约 32% 和 35%, 且阻燃性能更优; 含锦纶 6 的织物在耐磨测试中整体外观保持较好; 2 种腈氯纶/棉/锦纶 6 阻燃防静电面料均展现出优异的抗静电性能 (屏蔽系数 ≥ 0.80 , 半衰期 < 0.01 s), 且经 50 次洗涤后抗静电性能仍保持稳定。研究结果为开发兼具高强、耐磨、阻燃、抗静电的多功能防护面料提供了依据与参考。

关键词: 腈氯纶; 棉纤维; 锦纶 6; 包芯纱; 力学性能; 阻燃性能; 耐磨性能; 抗静电性能

中图分类号: TS 156

文献标志码: A

文章编号: 1004-7093(2025)11-0040-06

Study on preparation and properties of acrylo-nitrile-vinyl chloride copolymer/cotton/polyamide 6 flame-retardant antistatic fabrics

Lü Huan, Xu Yanyan, Zhao Lei, Liu Lin, Sun Zhiliang

Shaanxi Yuanfeng Prosafe Co., Ltd., Xi'an 710000, Shaanxi, China

Abstract: Three types of flame-retardant antistatic fabrics were developed based on acrylo-nitrile-vinyl chloride copolymer/cotton blended plied yarns, as well as acrylo-nitrile-vinyl chloride copolymer/cotton/polyamide 6 plied yarns prepared through two spinning processes – blending and core-spinning – and conductive yarns combined with plied carbon black-based composite conductive filaments. The influence of yarn structure on fabric properties was investigated through tests on yarn mechanical properties, as well as fabric mechanical properties, abrasion resistance, flame retardancy, and antistatic performance. The results showed that the breaking strength and tearing strength of the fabric containing core-spun yarns were improved by approximately 32% and 35%, respectively, compared to those of the fabric containing blended yarns, and it also exhibited superior flame retardancy. The fabric with polyamide 6 maintained better overall appearance during abrasion testing. Both types of acrylo-nitrile-vinyl chloride copolymer/cotton/polyamide 6 flame-retardant

基金项目: 陕西省高性能纤维材料应用研发共性技术研发平台 (2024ZG-GXPT-05)

收稿日期: 2025-08-08

作者简介: 吕欢, 女, 1994 年生, 硕士, 研究方向为安全防护用纺织品研究与开发, 370895377@qq.com

通信作者: 徐炎炎, dlpxyy@163.com

antistatic fabrics demonstrated excellent antistatic performance (shielding factor ≥ 0.80 , half-life < 0.01 s), and their antistatic performance remained stable after 50 wash cycles. The research findings provide the basis and reference for the development of multifunctional protective fabrics with high strength, abrasion resistance, flame retardancy, and antistatic performance.

Keywords: acrylo-nitrile-vinyl chloride copolymer fiber; cotton fiber; polyamide 6 fiber; core-spun yarn; mechanical property; flame retardancy; abrasion resistance; antistatic performance

当前,市场上高性价比的阻燃面料主要为经阻燃后整理的全棉、涤/棉、棉/锦等面料。后整理阻燃面料无需采用价格高昂的本质阻燃纤维,其仅通过添加阻燃剂便可获得阻燃效果,原料成本与工艺成本均相对较低。但部分阻燃剂可能与纤维发生化学反应,致使面料的强度和耐磨等性能降低,且面料的阻燃性能会随着洗涤次数的增多出现衰减^[1]。

伴随着现代科学对高性能纤维的持续研究,本质阻燃纤维面料在阻燃防护产品中占据着关键地位,其是由本质阻燃纤维经纺纱并织造而成的。本质阻燃纤维如芳纶、芳腈纶、聚苯硫醚纤维等,阻燃性能十分优异,但存在价格高昂、服用性能欠佳等不足^[2-3]。改性阻燃纤维如阻燃黏胶纤维、腈氯纶、阻燃涤纶等,主要通过向基体物质中引入阻燃成分,赋予材料阻燃效果,价格处于中低水平,通常需要与多种纤维搭配使用。其中,腈氯纶融合了腈纶与含氯纤维的优点,具备优异的阻燃性能,极限氧指数可达 26%~34%^[4]。早期研发的腈氯纶/棉混纺阻燃面料阻燃性能良好、服用性能佳、性价比相对较高,但与其他芳纶类面料相比,强力水平较低、耐磨性能欠佳^[5-6]。

本研究将选取阻燃性能优良的腈氯纶、舒适透气的棉纤维以及强度高、耐磨性好的锦纶 6 进行混合搭配,通过设计不同结构的纱线以及织造工艺,引入炭黑基复合导电长丝^[7],制备 2 种腈氯纶/棉/锦纶 6 阻燃防静电面料,测试并分析纱线与织物的主要性能,确定最佳阻燃服用面料制备工艺,以期在提升织物强力、耐磨等性能的同时,有效规避因静电火花引发的灾害事故,为阻燃面料的安全性提供更为可靠的保障。

1 原料性能与试验设计

1.1 纤维及纱线原料

腈氯纶规格为 1.5 dtex \times 38 mm,断裂强度为

3.4 cN/dtex,断裂伸长率处于 20.0%和 40.0%区间。锦纶 6 短纤规格为 1.5 dtex \times 38 mm,断裂强度达 7.5 cN/dtex,断裂伸长率为 37.3%。锦纶 6 长丝束规格为 4.44 tex/12 F(即 40 D/12 F)。炭黑基复合导电长丝束规格为 2.22 tex/3 F(即 20 D/3 F),其是将碳纳米管、炭黑、石墨烯等导电材料均匀分散于纺丝液基体中,再通过纺丝工艺加工制得的,纤维具备良好的导电性能,能将产生的静电迅速消散,有效避免静电的局部蓄积,同时具备电晕放电能力,能向大气释放静电,因此即便在未接地的情况下该纤维也可借助电晕放电的方式消除静电。

腈氯纶/棉(60/40)股线(简称 A 线),由 2 根线密度为 11.8 tex 的腈氯纶/棉(60/40)单纱合股加捻制得。利用 A 线加工的织物简记为 1[#]织物。

腈氯纶/棉/锦纶 6(50/30/20)混纺纱股线(简称 B 线),由 2 根 11.8 tex 的腈氯纶/棉/锦纶 6(50/30/20)混纺纱合股加捻制得。利用 B 线加工的织物简记为 2[#]织物。

腈氯纶/棉/锦纶 6(50/30/20)包芯纱股线(简称 C 线),由 2 根 11.8 tex 的腈氯纶/棉/锦纶 6(50/30/20)包芯纱合股后加捻制得,其中包芯纱的芯体为 4.44 tex 的锦纶 6 长丝束,外层是质量配比为 63/37 的腈氯纶与棉纤维。利用 C 线加工的织物简记为 3[#]织物。

导电纱由 2 根 A 线(或 B 线或 C 线)与 1 根炭黑基复合导电长丝束合股加捻制成,捻度设计为 500 T/m。

1.2 织物规格设计

面料成品面密度设定为 180 g/m²,允许误差范围为 $\pm 5\%$ 。依据腈氯纶/棉织物的生产经验,坯布经溢流染色工艺加工后,质量增幅在 12%~18%。基于此,坯布面密度设计为 160 g/m²。坯布的经纬向纱线线密度均为 11.8 tex \times 2,经纱密度和纬纱密度分别为 362 根/(10 cm)和 268 根/(10 cm)。坯布经纱采

用单一品种(即或 A 线或 B 线或 C 线),纬向采用 2 种纱线,其中 1 种与经纱相同,另 1 种为导电纱。经纬纱按照 2/1 的斜纹组织织造成坯布,其中纬向按一定间隔织入 1 根导电纱。炭黑复合导电长丝占织物整体的 1%~2%(质量分数)。

1.3 后整理工艺设计

对制得的坯布采用分步分浴染色法染色,即先运用阳离子染料对腈纶成分进行染色处理,随后使用还原染料对棉纤维进行染色。针对腈纶/棉/锦纶 6 混纺面料,还需采用酸性染料对锦纶 6 成分进行染色。

染色采取溢流染色工艺。温度方面,以低温起始染色,之后逐步升高温度。此外,为防止织物出现磨损现象,染色时需精准调控车速与水速,并添加适量的柔软剂,以降低织物与织物、织物与染液,以及织物与设备之间的摩擦力^[8]。

1.4 性能测试与测试方法

本研究采用的性能测试方法如下,性能要求依据市场调研需求确定。

(1)根据 GB/T 3916—2013《纺织品 卷装纱 单根纱线断裂强力和断裂伸长率的测定(CRE 法)》,采用 HD021S 型电子单纱强力仪对股线强力进行测定。

(2)根据 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)》和 GB/T 3917.2—2009《纺织品 织物撕破性能 第 2 部分:裤形试样(单缝)撕破强力的测定》,采用 YG026HB 型电子织物强力机对织物的断裂强力和撕破强力进行测定。

(3)根据 GB/T 21196.1—2007《纺织品 马丁代尔法织物耐磨性的测定 第 1 部分:马丁代尔耐磨试验仪》,采用羊毛磨,加压 9 kPa,测定织物的耐磨性。摩擦终点参照 GB/T 21196.2—2025《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》^[9]。

(4)根据 ISO 15025:2016 *Protective Clothing - Protection Against Flame - Method of Test for Limited Flame Spread* (《防护服 防火焰 限制火焰蔓延的试验方法》)中的 A 法,测定表面点火时织物的火焰蔓延性能^[10]。

(5)根据 EN 1149-3:2004 *Protective Clothing -*

Electrostatic Properties - Part 3: Test Methods for Measurement of Charge Decay (《防护服 静电性能 第 3 部分:静电衰减的测试方法》)中的方法 2 感应充电法,测定织物的抗静电性能^[11]。

2 纱线及织物性能测试结果与分析

2.1 纱线力学性能

测得 3 种纱线的力学性能如表 1 所示。

表 1 3 种纱线的力学性能

项目	A 线	B 线	C 线
断裂强力/cN	290.5	325.9	458.1
断裂强度/(cN·tex ⁻¹)	12.3	13.8	20.2
断裂伸长率/%	11.2	13.4	18.8

从表 1 得知,在纱线线密度相同的情况下,腈纶/棉/锦纶 6 混纺纱股线(B 线)的断裂强力都高于腈纶/棉股线(A 线)。原因在于,对于短纤混纺纱,纱线的断裂强力由每种纤维的断裂强力决定。锦纶 6 短纤较腈纶、棉纤维具备更高的断裂强力,因此,混入一定量的锦纶 6 短纤有助于提高纱线的断裂强力。

腈纶/棉/锦纶 6 包芯纱股线(C 线)相较于相同纤维配比的腈纶/棉/锦纶 6 混纺纱股线(B 线),其断裂强度(20.2 cN/tex)提升幅度超过 40%,断裂伸长率(18.8%)提升幅度约为 40%。当 C 线受到外力拉伸时,芯体的锦纶 6 长丝束首先承受主要拉力,其高强度特性得以充分发挥,外层纤维通过与芯体长丝的抱合作用,有效传递应力,减少应力集中,从而使得包芯纱在拉伸过程中能够吸收更多能量,表现为更高的断裂强力和断裂伸长率。纱线断裂伸长率的提高也意味着其在受到外力作用时具有更好的变形能力,能在一定程度上缓解冲击,降低纱线在织造和使用过程中断裂的风险。

此外,4.44 tex/12 F 的锦纶 6 长丝束断裂强力达 313.8 cN。将其作为芯体制成包芯纱再加工成 C 线后,C 线的断裂强力达 458.1 cN,足见纱芯为纱体提供了 68.5%的强力支撑。总之,具有较高断裂强力的锦纶 6 长丝束作为芯体,不但显著提高了包芯纱的整体强度,而且承担了纱线断裂时的大部分负荷。

2.2 织物力学性能

测得 3 种织物的力学性能如表 2 所示。

表 2 3 种织物的力学性能

项目	1# 织物	2# 织物	3# 织物	
断裂强力/N	经向	533	672	886
	纬向	356	480	632
撕破强力/N	经向	13	19	26
	纬向	12	17	23

由表 2 得:在相同面密度的条件下,普通腈氯纶/棉混纺织物(1# 织物)的断裂强力相对较低。当混入锦纶 6 后,织物因纱线强力增大而断裂强力和撕破强力均有所提高。在相同纤维配比的情况下,3# 包芯纱织物的经纬向断裂强力较 2# 混纺纱织物的经纬向断裂强力提升约 32%,这是由于含包芯纱的 C 线的断裂强力显著高于相同纤维配比的含混纺纱的 B 线。此外,包芯纱外层的短纤与芯体的长丝紧密结合,不仅增强了纱线间的抱合力,还进一步提升了织物强力的稳定性。撕破强力方面,3# 织物较相同纤维配比的 2# 织物提升约 35%,这主要是因为含包芯纱的织物在承受外力作用时,纱线芯体锦纶 6 长丝束凭借自身良好的延伸性,能够有效地传递和分散应力,缓解织物局部应力集中的情况,进而提高织物的整体抗撕裂性能。此外,包芯纱不仅断裂强力较高,断裂伸长也较大,较大的断裂伸长率有助于提高撕破强力。

织物强力指标测试结果表明,采用含包芯纱结构的纱线能够显著改善织物的强力性能,尤其在断裂强力和撕破强力方面,提升效果显著,这对于提高面料在实际使用过程中的耐用性和抗破坏能力尤为重要,其能满足更多具有较高要求的应用场景之需求,为后续开发高性能防护面料提供了有力支撑。

2.3 织物耐磨性能

表 3 呈现了 3 种织物耐磨性能的测试结果。从表 3 能够看出,在相同测试方法(马丁代尔法)和相同外力加压(9 kPa)下,1# 织物呈现出较差的耐磨性能。引入锦纶 6 后,无论是含混纺纱的 2# 织物还是含包芯纱的 3# 织物,均展现出优异的耐磨性能。分析其原因在于,锦纶 6 的分子链结构具有稳定性,其强度较高,且分子链排列紧密有序,这样当纤维受到

外力作用时,其能够有效地分散应力并抵抗磨损,赋予纤维优异的耐磨特性。

表 3 3 种织物的耐磨性能

项目	1# 织物	2# 织物	3# 织物
耐磨性/转	35 000	100 000	>100 000

图 1 展示了相同纤维配比的腈氯纶/棉/锦纶 6 织物(2# 与 3# 织物)经耐磨试验测试后的布面破损状况。从图 1 能够直观地观察到,在经历相同转数的摩擦后,2# 织物中有 2 根以上的独立纱线完全断裂,并形成了较大的破洞,3# 织物中包芯纱外层的腈氯纶、棉纤维逐渐被磨断直至脱离纱体结构,但芯体锦纶 6 长丝束耐磨性优异,其未发生断裂,故而织物最终呈现出网络状的形态。可见,锦纶 6 长丝束的连续性不仅为织物提供了稳定的结构支撑,还增强了织物整体的耐磨性能。尽管含包芯纱的 3# 织物在耐磨试验中未出现明显的破洞,相关指标也能满足市场需求,但其布面外观及服用效果受到了一定的影响,故后续研发工作可对此方面进行针对性的改进。

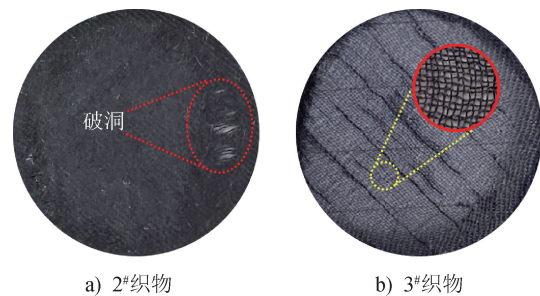


图 1 织物耐磨性测试

Fig. 1 Fabric abrasion resistance test

2.4 织物阻燃性能

腈氯纶具有优良的阻燃性能,而棉纤维和锦纶 6 遇火后会快速燃烧,且棉纤维在离开火源后存在续燃现象。因此,为评判织物的阻燃性能,本研究分别对 3 种织物开展火焰蔓延性能测试,结果见表 4。

表 4 3 种织物的阻燃性能

项目	1# 织物	2# 织物	3# 织物	
火焰蔓延 (A 法)	续燃时间/s	<2	>2	<2
	阴燃时间/s	<2	<2	<2
	有无破洞	无	无	无

从表4可知,1#织物展现出较为良好的阻燃热防护性能。尽管其中的棉纤维属易燃材料,但经实践证明,当腈氯纶的含量超过一定比例时,面料基于纤维间的协同效应,具备阻燃特性。对于相同纤维配比的2#和3#织物,在进行表面点火时,含包芯纱的3#织物的阻燃性优于含混纺纱的2#织物。这主要是由于包芯纱外层覆盖的散纤维中腈氯纶质量分数超过60%,而混纺纱中仅有50%(质量分数)的腈氯纶暴露于火焰中。

2.5 织物抗静电性能

对3种织物进行50次洗涤处理,洗涤前后织物的抗静电性能测试结果见表5。从表5能够看出,3种织物的屏蔽系数和半衰期均达到了预设的指标要求,呈现出卓越的抗静电特性。将导电纱按照特定的规律交织于织物中(图2),制备的防静电织物表现出持久的抗静电性能,且经过多次洗涤后,其性能无显著衰减。

表5 3种织物的抗静电性能

Tab. 5 Antistatic performance of three types of fabrics

项目		1#织物	2#织物	3#织物
屏蔽系数	洗涤前	0.82	0.82	0.83
	洗涤后	0.83	0.80	0.82
半衰期/s	洗涤前	<0.01	<0.01	<0.01
	洗涤后	<0.01	<0.01	<0.01

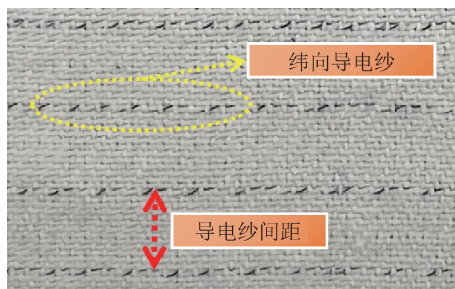


图2 阻燃防静电织物

Fig. 2 Flame-retardant antistatic fabric

3 结论

本研究设计并制备了2种不同纱体结构的腈氯纶/棉/锦纶6股线并织制了阻燃防静电面料,通过对纱线强力以及织物的力学性能、耐磨性能、阻燃性能和抗静电性能进行对比和分析,得到如下主要

结论:

(1)与传统的腈氯纶/棉面料相比,本研究制备的2种腈氯纶/棉/锦纶6阻燃防静电面料具备更高的力学性能和良好的耐磨性能。

(2)相同纤维配比的腈氯纶/棉/锦纶6包芯纱股线相较于混纺纱股线,前者断裂强力和断裂伸长率皆有显著提高。含包芯纱结构的织物不仅在力学性能方面表现卓越,还在火焰蔓延测试中呈现出更为出色的阻燃效果,这体现了纱线结构对面料整体性能的重要影响。

(3)通过特定设计的导电纱交织技术,织物呈现出优异的防静电性能,且在经过多次洗涤后,抗静电性能指标无明显衰减,这确保了抗静电织物在长期使用过程中抗静电性能的持续稳定性,为面料在静电敏感环境中的应用提供了有力支撑。

(4)本研究开发的阻燃服用面料兼具高强、阻燃、防静电等特性,与含芳纶系列的面料相比,成本有所降低。该面料可用于制作阻燃防护服,并应用于矿山、石油、电子、军工等领域。

综上,本研究基于不同纤维材料的协同作用对纱线结构优化并织制成织物,提升了织物的综合性能。未来,可依据具体应用场景与性能需求,开发不同等级的防护面料,拓展其应用领域,满足多领域对高性能阻燃防静电面料的需求。



期刊采编平台



中国知网下载

参考文献

- [1] 邹俊杰. 特种防护服的研究和应用[J]. 中国个体防护装备, 2024(1): 13-19.
- [2] 代宏宇, 周梦娟, 张军英, 等. 阻燃黏胶/腈氯纶服用织物的制备与性能[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2022, 48(1): 17-24.
- [3] 孙凡惠, 杨金, 郑敏博, 等. 热防护功能纤维与智能纺织品的研究进展[J]. 科学通报, 2025, 70(17): 2718-2732.
- [4] 赵雷, 任碧孔, 马建超. 阻燃腈氯纶/棉混纺织物的前处理[J]. 印染, 2015, 41(11): 27-28.
- [5] 刘玲, 黄晓梅. 腈氯纶棉混纺织物阻燃性能和力学

- 性能的研究[J]. 棉纺织技术, 2010, 38(10): 26-29.
- [6] 周东方, 傅烜卿, 俞顺顺. 耐久性阻燃腈纶/棉功能性被服面料的研究与生产[J]. 染整技术, 2017, 39(1): 32-35.
- [7] 周仪, 张仁乐, 吴德雯, 等. 有机导电纤维的研究进展[J]. 合成纤维工业, 2022, 45(4): 51-57.
- [8] 张生辉, 马建超, 任碧孔. 阻燃腈氯纶/棉混纺织物的染整加工[J]. 印染, 2012, 38(19): 25-26.
- [9] 殷瑜敏, 房罗伟, 陈双, 等. 舒适型化学防护服织物的研发与性能测试[J]. 产业用纺织品, 2024, 42(4): 27-32.
- [10] 白振华, 陈波, 韩祥. 一种新型阻燃防护服火焰蔓延性测试仪的研发[J]. 棉纺织技术, 2020, 48(9): 71-74.
- [11] 杨素彬, 韩军, 孙旸. 纺织品静电性能试验方法分析[J]. 印染, 2023, 49(1): 66-69.

欢迎订阅《针织工业》

《针织工业》是国家新闻出版广电总局批准的国内外公开发行的针织专业科技期刊, 创刊于 1973 年, 由天津市针织技术研究所、中国纺织信息中心联合主办, 全国针织科技信息中心出版发行。

《针织工业》为全国中文核心期刊, 曾多次获得部、市级奖励, 现已入编纺织领域高质量科技期刊分级目录(2025 版)、美国 EBSCO 数据库文献源、JST 日本科学技术振兴机构数据库(2025)、科技期刊世界影响力指数(WJCI)报告(2024)、中国学术期刊网络出版总库、CNKI 系列数据库(已开通优先数字出版)、中国核心期刊(遴选)数据库、万方数据库、维普资讯网全文数据库等, 在国内外具有广泛的影响力。

《针织工业》主要报道针织行业前沿科技成果与加工实践经验, 推广针织、染整、成衣及新原料、标准、检测等方面的新技术、新工艺、新成果, 兼顾学术性、创新性、前瞻性, 质量水平高, 具有深远的学术影响力。同时, 依托广大院校教授、重点企业资深专家等的支持, 每年举办原料创新、针织技术、针织染整、时尚科技等全产业链技术交流会议和高端论坛, 助力科技成果的转化与应用, 推动行业技术的传播与进步, 促进针织产业的转型升级, 贴近行业, 服务行业, 具有广泛的行业影响力。

《针织工业》主要栏目为针织技术、新型纺织材料、印染技术、制衣技术、检测与标准、行业新闻眼

等, 其剪技术性强、信息量大、剪知名度高、发行覆盖剪面广。

《针织工业》为月刊, 大 16 开, 全部进口铜版纸精印, 国内外公开发行。国际剪标准刊号 ISSN 1000-4033, 国内剪统一刊号 CN 12-1119/TS。邮发剪代号 6-24, 国内剪定价 15 元/期, 全年 12 期, 共计 180 元(含邮费)。读者可在当地剪邮政局剪订阅, 亦可向剪编辑部剪直接剪订阅。

电话: 022-60365364(稿件剪查询)

022-60365363(合作剪与剪订阅)

022-60365362(信息剪中心)

传真: 022-60116367

E-mail: zzgy1973@163.com(稿件剪查询)

zzgyggb@163.com(合作剪与剪订阅)

网站: www.knittingpub.com(针织剪工业)

购书剪网店: http://zhenzhishuwu.taobao.com

官方剪微信: zzgy1973

地址: 天津市剪空港经济剪区东九道 6 号(300308)



《针织工业》官微



购书微店