

# 金属纤维纺织品在工业上的应用与展望

孙 鹏<sup>1</sup> 陈文豆<sup>1</sup> 董 钺<sup>2</sup> 姜飞龙<sup>1</sup> 原锋辉<sup>1</sup> 许佩敏<sup>1</sup> 张 阁<sup>1</sup>

- 西安菲尔金属过滤材料股份有限公司, 陕西 西安 710201;
- 空装驻新乡地区军事代表室, 河南 新乡 453000

**摘要:** 综述了金属纤维纺织品的类型(机织物、针织物、烧结毡), 重点介绍了金属纤维纺织品在电磁屏蔽、燃烧器、玻璃热弯成型、过滤等领域的应用, 展望了金属纤维纺织品未来的发展方向和市场前景。

**关键词:** 金属纤维; 纺织品; 电磁屏蔽; 过滤; 燃烧器

中图分类号: TS 106

文献标志码: A

文章编号: 1004-7093(2024)01-0023-08

## Application and prospect of metal fiber textiles in industry

Sun Peng<sup>1</sup>, Chen Wendou<sup>1</sup>, Dong Tan<sup>2</sup>, Jiang Feilong<sup>1</sup>, Yuan Fenghui<sup>1</sup>,  
Xu Peimin<sup>1</sup>, Zhang Ge<sup>1</sup>

1. Xi'an Filter Metal Materials Co., Ltd., Xi'an 710201, Shaanxi, China;

2. Military Representative Office of Air Force Equipment in Xinxiang Distric, Xinxiang 453000, Henan, China

**Abstract:** The types of metal fiber textiles (woven fabrics, knitted fabrics, sintered felts) were reviewed. The application of metal fiber textiles in electromagnetic shielding, burners, glass hot bending, filtration and other fields was introduced. The future development direction and market prospect of metal fiber textiles were prospected.

**Keywords:** metal fiber; textile; electromagnetic shielding; filtration; burner

金属纤维制品于 20 世纪 70 年代进入市场,并在各个领域如石油化工、纺织、军事、航空航天、环境保护等领域得以广泛应用。金属纤维及其制品的发展为各工业领域带来了新的技术和应用,推动相关产业的发展。在民用和国防工业的许多领域,金属纤维及其制品被视为不可或缺的关键材料。目前,金属纤维织物的生产在一些发达国家已成为新兴产业,我国金属纤维及其制品的发展正由刚刚起步走向逐渐发展成熟。在科技进步与市场需求的推动下,这类产品在产业用纺织品领域具有广阔的市场和应用前景。

## 1 金属纤维概述

金属纤维是由金属通过一定的加工工艺制备而成的具有一定长径比的纤维材料。不同于传统纺织原料中的纤维,金属纤维的直径可达 1~80  $\mu\text{m}$ ,比头发丝(直径 70~100  $\mu\text{m}$ )更细。能制备金属纤维的金属材料主要有不锈钢、镍、镍合金及其他耐高温合金。相比于传统的金属材料,金属纤维因其较大的比表面积而具有一些独特的性能:内部结构方面,金属纤维通常由多个细小的金属丝或金属纤维束组成,这使其具有更高的柔韧性和可塑性,可以弯曲、

收稿日期:2023-08-18

作者简介:孙鹏,男,1980 年生,硕士,工程师,研究方向为金属纤维及金属纤维制品加工

通信作者:陈文豆,1593941376@qq.com

拉伸和扭曲,适应各种形状和应用;磁性方面,某些金属纤维如铁纤维、钴纤维等可以在电磁场中表现出磁性特性,广泛应用于电磁屏蔽、传感器和能量转换等领域;热阻方面,金属纤维的导热性能较好,这有助于热量的传递和耗散,因此可以用作散热材料、隔热材料或用于对热导电性要求较高的应用场合;熔点方面,金属纤维的熔点普遍较高,在高温环境下具有出色的耐热性能、强度保持能力和耐腐蚀性能,适用于各种高温领域的应用<sup>[1]</sup>。目前,金属纤维的制备方法主要有3种:熔体萃取法、拉拔法和切削法<sup>[2]</sup>。金属纤维不仅保持了金属材料的优点,还具有非金属合成纤维的一些特殊性能。目前,国际上只有比利时、德国、美国、日本和中国等少数国家掌握了金属纤维的制备技术。这些国家中的一些企业已具备一定的生产规模,如比利时贝卡尔特公司、日本精线公司,以及中国西安菲尔特公司等。

## 2 金属纤维纺织品

金属纤维纺织品是一类特殊的纺织品,由金属纤维材料制成,具有金属的性质和特点。金属纤维纺织品为产业用纺织品的设计和应用提供重要支持。工业工作环境中存在着各种危险因素,如火焰、高温、刺穿等。金属纤维纺织品可以用于制作防火服、防刺服和防静电服等防护服装,为工作人员提供安全保护。还可以用金属纤维制作导电织物,实现电子设备的电磁屏蔽、导电和接地等功能。金属纤维纺织品已广泛应用于电子产品的制备和组装过程中,能够确保电子设备的可靠性与功能性。纺织品中金属纤维的应用主要有两种方式:一种是通过传统的纺纱方式先制备金属纯纺纱线或混纺纱线再用于织造,另一种是直接将金属纤维加工成织物。由于金属纤维的模量大,弹性及塑性变形小,无卷曲,抱合力差,故纯金属纤维的纺纱与织造过程十分困难,可以通过将金属纤维与其他纺织纤维混纺,提高其可纺性。目前市场上的金属纤维纺织品主要有机织物、针织物和非织造材料(毡)等,它们的共同特点是耐高温。金属纤维纺织品也可以通过不同方式的纺织工艺生产加工,获得优异的热调节、紫外和电磁屏蔽,以及抗菌、抗应力、防静电等功能<sup>[3]</sup>。

### 2.1 金属纤维机织物

金属纤维机织物是以金属纤维为原料,经过整

经、机织、水洗、烘干等工序制备而成的织物。这种织物均匀性好(图1),制备工艺简单、生产效率高、生产成本较低。金属纤维机织物组织结构多为简单的三原组织,即平纹组织、斜纹组织和缎纹组织。常见的金属纤维机织物多采用1/1平纹、2/2斜纹等组织结构。金属纤维机织物的经纬纱呈90°相互垂直搭接,形成的网孔多为方形孔,具有网孔清晰、网面平挺,耐高温、耐磨等特性<sup>[4]</sup>。



图1 金属纤维机织物

Fig. 1 Woven fabric of metal fiber

金属纤维机织物既具有传统纺织面料的柔软性,可以根据需要裁剪出各种形状尺寸,又具有金属本身优良的导热、导电、耐腐蚀、耐高温等特性。如纯铁铬铝合金纤维机织物可在1050℃的高温下持续使用,并且具有高透气和可延展的特性,广泛用于制备耐高温热缓冲材料,在生产汽车玻璃、光伏玻璃及电子产品过程中使用,以及制备耐高温过滤材料,用于各种强腐蚀材料过滤与高温烟气过滤等严苛环境中,其还专门用于制备各种燃气燃油锅炉、瓦斯炉头、熔炼炉、壁挂炉等,同时它还是诸多工业领域和国防安全建设的关键材料。许佩敏等<sup>[5]</sup>以集束拉拔工艺生产的70芯、直径为40μm的铁铬铝合金纤维丝束为原料,经包覆、机织、水洗、烘干等工序,制备集束拉拔铁铬铝合金纤维机织物。所得机织物组织结构清晰,厚度均匀,透气性好,抗氧化性优异,回弹性较小,可满足全预混表面燃烧器用火焰载体的要求,市场应用前景较好。

### 2.2 金属纤维针织物

金属纤维针织物是一种通过将金属纤维弯曲成圈,并通过延展线连接而成的网状材料(图2)。金属纤维针织物具有良好的纵向和横向延展性,但其纵向和横向断裂强力与断裂伸长率存在差异,通常

横向断裂伸长率大于纵向,而纵向断裂强力大于纵向。造成这种差异的主要原因是金属纤维针织物的网眼结构主要通过排列整齐的圈柱承载纵向拉力,表现为金属丝的轴向强力;而横向拉伸时,承载力主要来自圈弧,表现为金属丝的钩结强力。一般而言,金属丝的轴向强力大于钩结强力,因此金属纤维针织物的纵向断裂强力大于横向断裂强力。另外,金属纤维纱线与常规纺织纤维纱线区别还表现在其摩擦因数较大。金属纤维纱线之间以及金属纤维纱线与送纱机构之间的摩擦会导致针织过程中的退绕困难、送纱机构磨损、送纱张力不稳定及纱线弯曲困难。此外,金属纤维纱线与其他纱线之间的摩擦因数也较大,这会导致纱线退绕困难,纱线从纱筒上退绕时产生的气圈不稳定,容易导致纱线断头及编织过程中出现漏针等问题,进而导致织物上产生织疵。



图 2 金属纤维针织物  
Fig. 2 Knitted fabric of metal fiber

为降低高刚度、高模量、低延展性金属纤维纱线的弯曲刚度,便于针织工艺的顺利进行,Xue 等<sup>[6]</sup>分析了两种不同扭曲过程对纱线表面形态和弯曲刚度的影响。结果表明,在相同的纱线线密度条件下,通过降低纱线中单丝的线密度,可以降低纱线的弯曲刚度,提高纱线的柔软度,便于编织;赵阿卿等<sup>[7]</sup>对不锈钢纤维的纺纱工艺及纯不锈钢纤维针织物的编织工艺进行分析研究,发现纯不锈钢纤维在纺织品实际成形过程中存在一定的缺陷,纺纱时纱线摩擦因数大、毛羽多,编织过程中纱线退绕和成圈困难。基于此,他们通过调整纱架、储纱器、导纱瓷眼、织针的位置,确保纱路畅通,通过确定合理的喂纱量和卷绕速率,改进不锈钢纤维针织面料的表面品质,并通过加装与纱线退绕同步的导纱装置等办法,实现了金属纤维针织物的无疵点织制。

### 2.3 金属纤维烧结毡

金属纤维烧结毡(图 3)是一种采用金属纤维制成的非织造布。先采用非织造布制备工艺铺制金属纤网,然后在高温下烧制成金属纤维毡。常用的铺网方式有干法成网、湿法成网等。其中,干法成网由于可制备较大尺寸和较厚的金属纤维毡而得以广泛应用。



图 3 金属纤维烧结毡  
Fig. 3 Sintered felt of metal fiber

金属纤维烧结毡具有出色的性能:高孔隙率和优良的渗透率使得其具有较小的压力损失和较大的流量;较大的纳污容量和高过滤精度使得其使用过程中压力曲线上升缓慢,更换周期较长;出众的耐高温和耐腐蚀性能使得其可长期在高达 600 °C 的温度下使用,并且具有良好的抗硝酸、碱、有机溶剂及药品腐蚀的能力;可进行折波处理以增大过滤面积,获得更好的过滤效果,并且可以进行焊接加工;强度高,即使在液体强烈冲刷或强烈震动的情况下,纤维也不会脱落;具有可清洗再生的特点,可以多次使用,寿命较长。基于金属纤维烧结毡的上述优良特性,其被广泛应用于化纤、石油、冶金等领域。

近年来,除过滤领域外,金属纤维烧结毡还被大量用于航空、船舶和建筑等领域的吸声降噪。Lippitz 等<sup>[8]</sup>研究了金属纤维毡作为消声器吸声材料的适用性,分析了孔隙形态、吸收系数及消声器几何参数对阻尼的影响,给出了金属纤维毡的孔隙形态、流动电阻率与吸收型消声器阻尼电位之间的关系。Zhu 等<sup>[9]</sup>将具有不同孔隙结构的 2 层或 3 层金属纤维按一定顺序叠加,然后烧结成梯度多孔材料。研究表明,所得梯度多孔结构能有效提高材料的吸声性能,孔隙梯度界面的方向和数量对吸声性能也有显著的影响。

### 3 金属纤维纺织品的应用

#### 3.1 电磁屏蔽

金属纤维电磁屏蔽纺织品的制备方法主要有对织物进行防辐射后整理、将金属纤维与普通纤维混纺后织制织物、在多层织物中使用金属丝网夹层3种<sup>[10]</sup>。用于人体及设备的电磁屏蔽纺织品,屏蔽效率为20~70 dB,相当于将能量衰减1/10 000~1/100 000,即透射量仅为入射量的1/10 000~1/100 000。防电磁波辐射导电混纺纱制成的织物不仅具有较好的电磁屏蔽性能,而且具有优异的服用性能,其产品轻薄、柔软、透气、耐久且坚固,穿着舒适。此外,金属纤维电磁屏蔽织物的缝合加工也非常方便,只需使用普通的缝纫机和缝纫线进行缝合即可。金属纤维电磁屏蔽织物的洗涤也非常方便,其洗涤方法与普通织物相同,而且经多次反复洗涤后,电磁屏蔽性能几乎不变。

##### 3.1.1 对金属纤维织物进行后整理

为减小防护服质量,提高金属纤维织物的舒适性,大多数电磁屏蔽织物的后整理方法主要集中在涂层沉积、电镀、化学方法、真空沉积或溅射涂层等方面<sup>[11-12]</sup>。采用涂层技术将磁性涂料涂覆于金属纤维织物表面,或将磁性涂料涂覆于常规纤维表面,再织制成织物,可实现电磁屏蔽。涂层法能够实现对金属纤维织物的均匀涂层,使织物在保持舒适性的同时具有良好的透气性。但需要注意的是,这种方法可能会对环境造成一定程度的污染。

##### 3.1.2 金属纤维与普通纤维混纺织制

采用金属纤维混纺纱织制织物也是一种常见的电磁屏蔽织物生产方法。金属纤维以不锈钢为主,部分采用银线、镍线、铜线。通常,金属纤维在电磁屏蔽织物中的混合比例为5%~30%(质量分数)。金属纤维质量分数越高,所得织物的电磁屏蔽效果越好<sup>[13]</sup>。但金属纤维的质量分数超过一定值,会导致织物质感厚重,并且坚硬、不耐折,因此,选择适当的金属纤维混合比例显得尤为重要。此外,纱线中金属纤维的排列连续度越好,则电磁屏蔽效能越好;纤维密度越大,电磁屏蔽效能越好。然而,织物的电磁屏蔽效能越高,意味着织物的导电性越好,而这会带来一些安全隐患。

目前,金属纤维混纺织物已用于地毯或其他家用纺织产品<sup>[14]</sup>,此外,其还可用于军事、电子设备和

系统等领域。

##### 3.1.3 多层织物中使用金属丝网夹层

金属丝网夹层电磁屏蔽是一种常见的电磁屏蔽技术,用于阻隔电磁波的传播和干扰。它由2层绝缘材料之间夹以金属丝网构成。金属丝网夹层利用金属网网的导电性能和绝缘材料的绝缘性能实现电磁屏蔽性能。金属丝网可以有效反射和吸收电磁波,并将其引导到地面,从而阻止电磁波的传播。同时,绝缘材料隔离金属丝网,避免电磁波透过屏蔽层。

金属丝网夹层电磁屏蔽材料可以根据需要进行定制和安装,适用于各种形状和尺寸的设备与结构。与其他电磁屏蔽材料相比,金属丝网夹层电磁屏蔽材料具有成本较低,易于加工和维护等优点。但金属丝网夹层类产品较笨重,服用性能差,在民用纺织品中应用较少。目前,金属丝网夹层电磁屏蔽材料广泛应用于电子设备、通信设备、医疗设备、军事装备等领域。它可以用于制造屏蔽箱、屏蔽房间、屏蔽门窗等,保护设备使其免受电磁辐射和电磁干扰的影响。此外,金属丝网夹层电磁屏蔽材料还适用于无线电信号屏蔽、电磁辐射控制等领域。

#### 3.2 燃烧器

随着中国“煤改气”工程的迅速发展,以可燃气体为代表的清洁能源,如天然气,正在各地迅速发展。全预混式燃烧是指在燃气燃烧反应发生前,将燃气和所需的全部空气按最佳比例一次性混合均匀,以达到瞬间完全燃烧的效果。相比其他燃烧方式,全预混式燃烧具有火焰短、温度高、燃烧充分、热效率高以及有害气体如 $\text{NO}_x$ 和CO排放量少的优点<sup>[15]</sup>。金属纤维燃烧器(图4)属于全预混式燃烧器。使用耐高温铁铬铝等金属纤维织物作为燃烧媒介,可以在燃烧过程中产生蓝焰和红焰效果,将燃烧效率提高约30%,同时CO和 $\text{NO}_x$ 排放量降低约25%<sup>[16]</sup>,节能减排效果显著。这种以耐高温金属纤维织物为核心的燃烧器在市场上具有巨大的潜力,每年的需求量可达100万套。目前几乎没有其他材料可以替代它,尤其是在当前阶段,需求量呈逐步增长的趋势。

金属纤维燃烧器具有下述特点:燃烧头外形适应性强,可制成圆盘形、圆柱形、球形等多种形状,并且具有良好的抗热震性和抗力学冲击性;燃烧强度高,可在较大的范围内调节燃烧功率,范围可达100~10 000  $\text{kW/m}^2$ ;  $\text{NO}_x$ 排放量较低,可以控制在

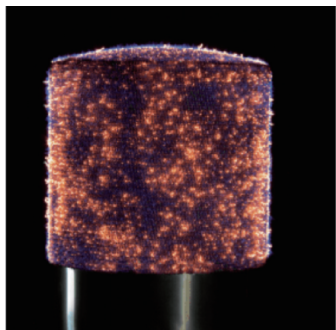


图 4 金属纤维燃烧器  
Fig. 4 Metal fiber burner

20 mg/m<sup>3</sup> 以下。

金属纤维燃烧器具有明显的环保效应。金属纤维燃烧头具有均流作用,可以使炉膛内的火焰分布均匀,从而实现燃烧的均衡。同时,燃烧后的烟气与金属纤维之间存在强烈的对流换热,使出口烟气温度迅速下降,炉膛内不会出现局部高温区域,大大抑制了热力型氮氧化物的生成。燃烧器采用全预混燃烧方式,还可以根据不同负载进行空燃比的调整,使整个燃烧过程中的过剩空气系数降低,从而有效抑制快速型氮氧化物的生成。由于全预混表面燃烧速度快,混合气体在炉膛内停留时间极短,这也导致了氮氧化物生成量减少。通过这种方式,金属纤维织物燃烧器能够有效减少氮氧化物的排放<sup>[17]</sup>。作为金属纤维燃烧器的核心材料,金属纤维织物具有低污染物排放,燃烧噪声小,抗热冲击性强,以及燃烧强度高,使用寿命长等特点。铁铬铝金属纤维燃烧器的使用寿命不超过 1 100 °C,短时极限温度可达 1 250 °C<sup>[18]</sup>。

### 3.3 热弯玻璃成型

车用玻璃是汽车的重要组成部分。为确保车用玻璃的质量和安全性,其生产过程中必须严格遵守各项规则。传统层压热弯玻璃的生产方式为,在压机中,玻璃片首先被加热到约 650 °C,然后通过施加一定的压力,将其压在有弧度的不锈钢模具上,使玻璃弯曲成型<sup>[19]</sup>。然而,刚性模具与玻璃的直接接触可能会导致玻璃中出现不可避免的缺陷。为确保玻璃质量,可以在模具上覆盖一层耐热分离材料(HRSM)。施加一定压力使玻璃压在覆盖有 HRSM 的模具上,压下后,弯曲环向下移动,滚轮将成型的玻璃输送至淬火区,快速淬灭<sup>[20]</sup>。

目前使用的成本较低的 HRSM 是由陶瓷或玄武岩纤维制成的。但这两种材料脆弱易碎,使用寿

命较短。用脆性纤维制成的 HRSM,也很难确保所得玻璃的质量稳定。采用金属纤维织制的金属纤维针织物是一种先进且具有优势的 HRSM。柔性织物与玻璃接触,避免了刚性模具与玻璃直接接触,这在确保成型玻璃的质量方面起着重要作用<sup>[21-22]</sup>。目前,不锈钢针织物被认为是最优异的护模材料,可以保护玻璃使其不变形。尽管不锈钢纤维和织物的成本较高,但 1 块不锈钢纤维护模织物可以制作多达 10 000 块质量稳定的玻璃。金属纤维织物用作护模材料具有使用寿命长和避免划痕、点蚀的优点;金属纤维优异的阻尼效果还可减少玻璃的振动,并且可承受 600~700 °C 的高温;安装方便;不会留下划痕或产生凹陷的中空玻璃。

采用金属纤维织物制作玻璃热弯成型护模材料(图 5)也存在一定的缺陷,如目前所采用的圆纬针织工艺存在非各向同性变形特性和高温下织物下垂等缺点<sup>[23-24]</sup>。在将织物安装到模具上的过程中,织物会因张力变化而产生不均匀变形,导致厚度均匀度、局部抗压缩性和表面光滑度发生改变。这可能会严重影响玻璃的品质。因此,为保证玻璃质量,护模织物需要耐高温,并且具有足够的透气性,良好的柔软性及合适的厚度<sup>[25]</sup>。目前,我国在金属纤维织物耐热分离材料方面的研究还不够成熟,需加大研发力度,降低产品生产成本,以应对激烈的市场竞争。

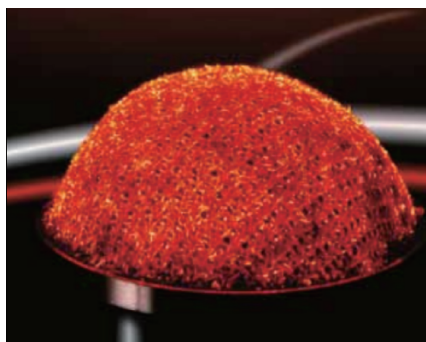


图 5 金属纤维织物制作的玻璃热弯成型护模材料(图片来源于 Bekaret)

Fig. 5 Glass hot bending mold material made of metal fiber fabric (Photo credit: Bekaret)

### 3.4 过滤

随着环保要求的日益严格和节能降耗标准的提高,高温气体排放问题成为许多企业面临的难题。由于高温烟尘成分复杂,传统材料难以处理,因此寻找可靠的滤材成为亟待解决的问题。在众多高温除尘

技术中,介质除尘器是应用最广泛、过滤效率最高、热利用率较高的一种除尘技术。介质除尘器的核心在于过滤材料的选择。目前,主要采用的过滤材料有多孔陶瓷材料、多孔金属材料 and 化学纤维材料等。其中,金属纤维毡的孔隙率达 90%,且能够生产具有高渗透率和高过滤效果的过滤介质。金属纤维毡中烧结纤维组分的孔径通常为 10~250 μm。烧结介质的高孔隙度使其能够用于不同的微过滤过程,并具有较高的清洁性和耐久性,优异的耐腐蚀性和耐高温性,以及较高的防污能力和良好的清洁性能<sup>[26]</sup>。

烧结毡可以用于化学品、液压、润滑油和燃料过滤器、喷墨打印机、药品、食品和饮料等领域的液-固过滤中,也可用于炼油、化学加工、矿石冶炼、水泥和钢铁制造、煤炭气化及核过滤等领域的气-固过滤中。金属纤维烧结毡还可以用于需高度耐高温和耐化学性的液体与空气过滤器领域,它们可以被焊接成具有高结构完整性的过滤器<sup>[27]</sup>。例如,铁铬铝毡的抗氧化、耐高温和耐腐蚀性能优异,具有高透气性,是一种理想的高温气体过滤材料。相比非金属除尘滤袋的适用温度(不超过 300 ℃)和不锈钢除尘滤筒的适用温度(不超过 450 ℃),铁铬铝除尘滤筒的适用温度更高,通常可达 1 000 ℃。

目前,金属纤维烧结毡如不锈钢、铁铬铝、哈氏合金、镍等纤维烧结毡已成功实现了大规模生产,并广泛应用于高温烟气除尘、柴油车尾气净化、煤化工及表面燃烧等行业。这些金属纤维烧结毡不仅具有优异的除尘效果,而且能够有效提升设备的运行效率<sup>[28]</sup>。其中,不锈钢纤维烧结毡是目前使用量最大、应用领域最广的金属纤维烧结毡之一。此外,金属纤维织物也可用作过滤片,捕获热气流中的粗颗粒,还

可以用作隧道炉出入口的隔热罩或隔热帘<sup>[29]</sup>。

### 3.5 其他应用

除上述应用外,金属纤维制品在其他工业领域也广泛应用。

在航空航天领域,由于金属纤维织物具有良好的导热性能和耐高温性能,可以用于制造航空航天器的热保护材料,还可以将金属纤维织物制成防静电材料,用于飞机内部和外部的静电控制。由于具有高耐热性和耐腐蚀性,以及良好的隔声性能,金属纤维烧结毡可以用作飞机发动机和燃气轮机的高温部位的热隔离材料<sup>[30]</sup>。由于具有高电导率,金属纤维可用作飞机结构的碳纤维增强聚合物基质,防止飞机受到雷击,降低雷电损伤程度。

在建筑领域,金属纤维可以用于增强混凝土聚合物基质,提高建筑物强度。金属纤维也适合作为混凝土和轮胎材料的钢筋材料。由于这些应用对材料在轻质方面没有极端的要求,因此可以不考虑金属纤维相对密度高的问题<sup>[31]</sup>。

在汽车领域,金属的高导热性使金属纤维具有加热应用的条件,不锈钢纤维已被用于汽车座椅加热或用作电池加热器。此外,还适合制作面板加热器和方向盘加热器等产品。金属纤维烧结毡还可以用作汽车制造中的隔热材料。

在医疗领域,金属纤维织物可用于医疗器械与医疗保健产品的制备,且因具有抗菌、导电等特性,金属纤维织物可应用于医用敷料、医用导管等产品中,提高产品的功能性与安全性。

此外,金属纤维还可以加工成服用纺织品,用于制作可加热的服装、手套、鞋、毯子及睡袋等。目前,不锈钢纤维制品的发展已经基本成熟,表 1 列出了

表 1 已开发出的不锈钢纤维纺织品及其用途  
Tab. 1 Developed stainless steel fiber textiles and their uses

不锈钢纤维质量分数/%	产品名称	用途
0.5~1.0	防静电工作服	用于有静电危害的场所
3.0~5.0	防静电过滤毡	过滤带电粉尘
3.0~5.0	防雷达侦察遮障布	坦克、大炮伪装
5.0~15.0	防微波辐射服	用作人身防护
5.0~15.0	屏蔽用贴墙布	防止外来信号干扰及防止敌方侦察
20.0	假雷达靶子	迷惑敌人,消除器皿或材料带电
30.0~40.0	高压带电作业服	不断电检修输电线路
100.0	纯不锈钢纤维织物	燃烧器、玻璃热弯成型
100.0	纯不锈钢纤维毡	高温气体、酸碱性液体及污水处理过滤

目前已开发出的不锈钢纤维纺织品及其用途<sup>[32]</sup>

## 4 结语与展望

纯金属纤维织物的生产难度大,长期以来,该生产技术一直被个别发达国家所垄断。通过不懈的努力和自主研发,我国已成功打破国外技术垄断,实现了金属纤维织物的产业化生产。金属纤维织物在未来拥有广阔的市场前景,面临巨大的发展机遇和空间。同时,它也将为产业用纺织品的转型升级和走向高端市场做出重要贡献。

### 4.1 新型金属纤维的研发和应用

目前市场上主要的金属纤维是不锈钢纤维、银纤维和铜纤维等。随着科技的不断进步,新型金属纤维的研发和应用将成为趋势。例如,锂离子电池用的锂、钴、镍等金属纤维,以及用于太阳能电池板和电磁屏蔽材料的铜钢纤维等。

### 4.2 金属纤维与其他材料的结合

金属纤维与其他纤维、聚合物、陶瓷等材料的结合也将成为重点发展方向。例如,金属纤维与碳纤维结合可以提高纤维的强度和刚度,金属纤维与聚合物结合则可以改善纤维的导电性和耐热性。

### 4.3 纺织品的多功能化

金属纤维纺织品的多功能化也将成为未来的发展方向。例如,金属纤维可以应用于智能纺织品中,用于实现传感、监测和控制等功能,也可以应用于医疗纺织品中,用于实现导电和抗菌等功能。

### 4.4 生产工艺的优化和创新

随着生产工艺的不断优化和创新,金属纤维纺织品的生产成本将不断降低,同时生产效率和产品品质也将不断提高。例如,采用 3D 打印技术可以实现金属纤维纺织品的快速生产和定制化生产。

综上,金属纤维纺织品具有广阔的发展前景和应用市场。未来,随着科技的不断发展和创新,金属纤维纺织品将不断推陈出新,为各个领域带来更多的应用和价值。金属纤维纺织品的产业化生产与应用不仅需要材料、化工等方面的人才,更与传统纺织技术密不可分。未来,中国纺织行业需要加强人才培养,加大基础研发力度,支持重点产业和重点企业,制定有利于行业发展的激励政策和保障机制,促进国家工业、纺织产业的快速发展。



期刊采编平台



中国知网下载

## 参考文献

- [1] 裴海龙,徐薇,朱发荣. 金属多孔材料的制备及研究现状分析[J]. 中国金属通报, 2021(10): 116-117.
- [2] 潘秋丽,张荣良. 金属纤维的应用及生产方法改进[J]. 金属制品, 2022, 48(1): 10-12.
- [3] REPON M R, MIKUCIONIENE D. Progress in flexible electronic textile for heating application: a critical review[J]. Materials, 2010, 14(21): 6540.
- [4] 李欢,杨理京,杨海彧,等. 超细金属丝编织网状材料的性能和应用[J]. 金属功能材料, 2022, 29(6): 53-58.
- [5] 许佩敏,姜飞龙,康彦,等. 集束拉拔铁铬铝合金纤维机织物的制备及性能研究[J]. 产业用纺织品, 2022, 40(3): 5-8.
- [6] XUE Y, LI P F, LING X L. Research status and progress of aramid[J]. Fiber Materials, 2019, 36(1): 146-152.
- [7] 赵阿卿,朱方龙,张艳梅,等. 不锈钢纤维织物的应用及其纯纺针织物的开发[J]. 针织工业, 2018, 350(3): 14-17.
- [8] LIPPITZ N, ROSLER J, HINZE B. Potential of metal fibre felts as passive absorbers in absorption silencers [J]. Metals, 2013, 3(1): 150-158.
- [9] ZHU J L, SUN J, TANG H P, et al. Gradient-structural optimization of metal fiber porous materials for sound absorption[J]. Powder Technology, 2016, 301: 1235-1241.
- [10] 石东亮. 电磁屏蔽纺织品的开发与检测[J]. 中国纤检, 2005(4): 39-40.
- [11] CHO H J, TABATA I, HISADA K, et al. Characterization of copper-plated conductive fibers after pretreatment with supercritical carbon dioxide and surface modification using Lyocell fiber[J]. Textile Research Journal, 2013, 83(8): 780-793.
- [12] RADEVIC M, MARKOVIC D. A review on the role of plasma technology in the nano-finishing of textile materials with metal and metal oxide nanoparticles [J]. Plasma Processes and Polymers, 2022, 19(4): e2100197.

- [13] 吴依琳, 李永贵, 麻文效. 金属纤维混纺电磁屏蔽织物的研究进展[J]. 纺织科技进展, 2020 (6): 1-4.
- [14] OZKAN I, BAYKAL P D, KARAASLAN M A. Investigation of electromagnetic shielding properties of metal composite tufted carpets [J]. Journal of The Textile Institute, 2019, 111(4): 476-483.
- [15] 李凯凯, 张国朋, 原锋辉, 等. 铁铬铝纤维织物在燃气热水器行业应用展望[J]. 科学技术创新, 2021 (24): 58-59.
- [16] 孙鱼铭, 黄小美, 向熹, 等. 家用燃气快速热水器低 $\text{NO}_x$ 燃烧技术[J]. 煤气与热力, 2018, 38(11): 42-45.
- [17] 阴建华, 吴红艳, 高翼强, 等. 铁铬铝金属纤维产品在燃烧器上的应用与展望[J]. 上海纺织科技, 2018, 46(11): 1-2.
- [18] 王振兴, 廖雄, 杨俊杰. 全预混金属纤维燃烧器的研究[J]. 煤气与热力, 2011, 31(6): 18-20.
- [19] VANCLOOSTER K, BARBURSKI M, LOMOV S V, et al. Experimental characterization of steel fibre knitted fabrics deformability [J]. Experimental Techniques. 2015, 39(2): 16-22.
- [20] BARBURSKI M, LOMOV S V, LANCKMANS F, et al. Experimental study of steel and glass knitted fabrics thickness under pre-strain and shear [J]. Key Eng Mater, 2013, 554/555/556/557: 385-390.
- [21] BARBURSKI M, LOMOV S, LANCKMANS F, et al. Steel fibre knitted fabric for automotive glass forming: variations of the fabric thickness on the mould and glass optical quality[J]. Journal of Industrial Textiles, 2016, 45(5): 693-706.
- [22] PARSA M H, RAD M, SHAHHOSSEINI M R, et al. Simulation of windscreen bending using viscoplastic formulation [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 170: 298-303.
- [23] FAZITA M R N, JAYARAMAN K, BHATTACHARYYA D. Formability analysis of bamboo fabric reinforced poly (lactic) acid composites [J]. Materials, 2016, 9 (7): 539.
- [24] BARBURSKI M, LOMOV S V. Influence of oxidation on steel fiber yarn and knitted fabric properties[J]. Journal of Industrial Textiles, 2016, 45(6): 1516-1529.
- [25] SURESH S, KUMAR V S S. Effects of fabric structure on the formability characteristics of thermoplastic composites under various process conditions [J]. Transaction of the Canadian Society for Mechanical Engineering, 2018, 42(3): 298-308.
- [26] LIU X D, DING X Y, CHEN C, et al. Investigating the filtration behavior of metal fiber felt using CFD-DEM simulation[J]. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 2019, 13(1): 426-437.
- [27] 王莹, 刘宏斌, 石丹, 等. 焊缝宽度对不锈钢金属纤维毡焊缝力学性能的影响[J]. 山东化工, 2021, 50 (19): 208-209.
- [28] 王建忠, 敖庆波, 刘怀礼, 等. 不锈钢纤维烧结毡在腐蚀环境中的拉伸性能[J]. 粉末冶金工业, 2021, 31(6): 54-59.
- [29] GABRIEL D, PHILIP V, WIM V S. Textile fabric comprising bundles of machined metal filaments: WO1997004152A1[P]. 2000-02-15.
- [30] LIPPITZ N, ROSLER J, HINZE B. Potential of metal fibre felts as passive absorbers in absorption silencers [J]. Metals, 2013, 3(1): 150-158.
- [31] HASSANI A, ARJMANDI M. Enhancement of concrete properties for pavement slabs using waste metal drillings and silica fume[J]. Waste Management & Research, 2010, 28(1): 56-63.
- [32] 崔红. 不锈钢纤维及其产品开发现状[J]. 天津纺织科技, 2002 (2): 7-13.

《产业用纺织品》编辑部全体同仁

恭祝广大读者

新春愉快 身体健康