

# 玄武岩纤维研究现状

刘昱君 樊争科 侯琳 郭晶 陈宇博

陕西元丰纺织技术研究有限公司, 陕西 西安 710038

**摘要:**介绍了玄武岩纤维的来源及组成成分,以及玄武岩纤维相较于其他纤维优异的性能及性价比优势;综述了玄武岩纤维在路面建设领域、过滤材料领域及安全防护服装领域的研究现状;展望了玄武岩纤维制品的研究方向。

**关键词:**玄武岩纤维;绿色环保;力学性能;路面增强;高温过滤;安全防护;表面改性

中图分类号:TQ 343

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2024)05-0027-04

## Research status of basalt fibers

Liu Yujun, Fan Zhengke, Hou Lin, Guo Jing, Chen Yubo

Shaanxi Yuanfeng Textile Technology Research Co., Ltd., Xi'an 710038, Shaanxi, China

**Abstract:** The source and composition of basalt fibers, and their excellent performance and higher cost performance compared with other fibers, were introduced. The research status of basalt fibers in pavement construction field, filter material field and safety protective clothing field were summarized. Finally, the research direction of basalt fiber products was prospected.

**Keywords:** basalt fiber; green environmental protection; mechanical property; pavement enhancement; high temperature filtration; safety protection; surface modification

我国于2002年将“连续玄武岩纤维及其复合材料”列入国家“863计划”。玄武岩纤维是一种高性能纤维,其价格较低、原料丰富,且生产技术相对成熟,生产过程绿色环保,具备较大的发展潜力,已在工业领域投入使用。

现阶段,安全防护服领域用高性能纤维主要有芳纶1313(间位芳纶)、芳纶1414(对位芳纶)、聚对苯撑苯并二噁唑(PBO)纤维、聚酰亚胺(PI)纤维等;在航空航天及工业等领域,碳纤维、碳化硅纤维及氧化铝纤维等占据着重要地位。这些纤维虽性能

优异,但价格普遍偏高。对比之下,玄武岩纤维性价比相对较高,且绿色环保。随着研究的深入,未来玄武岩纤维制品有望代替碳纤维、芳纶等制品,用于航空航天结构件及安全防护服等领域<sup>[1-2]</sup>,为社会带来良好的经济效益和环保效益。

## 1 玄武岩纤维简介

玄武岩矿石是生产玄武岩纤维的原料,它是一种在地表形成的基性喷出岩。玄武岩矿石的构成较

收稿日期:2024-01-23

作者简介:刘昱君,女,1997年生,工程师,主要研究方向为功能性纺织品

通信作者:侯琳,高级工程师,619963208@qq.com

复杂,其主要成分为氧化硅和氧化铝等氧化物,它们赋予玄武岩矿石优异的力学性能、耐酸碱性能及特殊的色泽外观。玄武岩矿石在四川、云南、贵州等地区均有分布,且种类繁多。按次要矿物的不同,玄武岩矿石可分为橄榄玄武岩、紫苏辉石玄武岩等;按结构构造的不同,玄武岩矿石可分为气孔状玄武岩、杏仁状玄武岩等;按化学成分和矿物成分的不同,玄武岩矿石可分为高铝玄武岩、碱性玄武岩和拉斑玄武岩等。目前,国内已有若干企业具备完善的生产条件,能很好地利用丰富的玄武岩矿石资源。

玄武岩矿石取自天然,其存储量丰富,成本也相

对较低。 $\text{SiO}_2$  质量分数为 50%~53% 的玄武岩矿石经投料、熔样、转移熔体、拉丝等工序后,即可获得玄武岩纤维<sup>[3]</sup>。整个玄武岩纤维制备过程不会产生其他碱金属氧化物等有害物质,绿色无污染。陈松等<sup>[4]</sup> 梳理和总结了连续玄武岩纤维的生产工艺及存在的技术瓶颈,并对原料均化、池窑设计、浸润剂品种及下游市场开发等提出了建议,为投资和开发连续玄武岩纤维提供了参考。王娟<sup>[5]</sup> 概述了玄武岩纤维的国内外研究现状,总结了玄武岩纤维的生产方法,并分析了纤维的性能。表 1 对比了玄武岩纤维及部分高性能纤维的主要性能及价格<sup>[6-8]</sup>。

表 1 玄武岩纤维和部分高性能纤维主要性能及价格对比

Tab. 1 Key properties and price comparison among basalt fiber and some high performance fibers

纤维种类	密度/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	抗拉强度/MPa	可长期使用的 最高温度/ $^{\circ}\text{C}$	热导率/ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )	价格/ (万元 $\cdot\text{t}^{-1}$ )
玄武岩纤维	2.60~2.80	3 000~4 840	700	0.031~0.038	1.5~2.2
芳纶	1.37~1.44	2 900~3 400	250	0.04~0.13	20
PBO 纤维	1.54~1.56	5 200~5 800	650	—	200
碳纤维	1.70~2.20	3 500~6 000	500	5~185	12

从表 1 可以看出:相较于芳纶、PBO 纤维及碳纤维,玄武岩纤维密度相对较大,耐高温性能最优异,可长期在 700  $^{\circ}\text{C}$  的高温下正常使用,短期可耐约 900  $^{\circ}\text{C}$  的高温<sup>[9]</sup>,极限氧指数(LOI)值>68,属极难燃纤维;抗拉强度虽次于 PBO 纤维和碳纤维,但价格远低于 PBO 纤维、芳纶及碳纤维。可见,玄武岩纤维具有较高的性价比。

当前,玄武岩纤维的相关产品包括玄武岩纤维无捻粗纱、玄武岩纤维膨体纱、玄武岩纤维短切纱及超细玄武岩纤维网胎等。这些玄武岩纤维相关产品不仅具有优良的力学性能(如高强高模等),还具有良好的化学稳定性,且耐高温,成本低廉,绿色环保,性价比高。

## 2 玄武岩纤维制品应用研究现状

现阶段,玄武岩纤维制品主要在路面建设、过滤材料等领域有较成熟的应用,在安全防护服装领域的应用研究还处于起步阶段。且研究者们仍在多角度地探究最大化发挥玄武岩纤维优势的方案,也取得了一定的成果。

### 2.1 路面建设

早在 1982 年就有研究表明,在路面铺设材料中

加入纤维材料能有效增强路面整体的抗裂能力。路面材料对纤维增强体的力学性能和热性能要求较高。玄武岩纤维本身就具有较好的抗拉强度和耐高温性,且与沥青的结合能力较好。叶权明<sup>[10]</sup> 将玄武岩短纤加入沥青后发现,玄武岩短纤可有效改善沥青的高温性能和温感性能,且添加适量的玄武岩纤维能在一定程度上提高沥青的黏结性能。此外,玄武岩纤维在抗剪切性、拉伸强度、模量等力学性能方面有显著优势,可有效抑制路面横向开裂,并预防半刚性基层反向裂痕的形成<sup>[11]</sup>。热性能方面,玄武岩纤维能在一定程度上提升路面的耐高温等性能<sup>[12]</sup>。何东坡等<sup>[13]</sup> 对掺杂长度为 3、6、12、25 mm 的玄武岩纤维的路面混合料的抗飞散损失性能、高温稳定性、低温抗裂性等指标展开探究,发现在 OGFC-13 沥青混凝土中掺杂长度 6 mm 的玄武岩纤维后,路面材料的各项性能皆得以提升。Jia 等<sup>[14]</sup> 对比了相同纤维体积分数的玄武岩短切纤维和玄武岩纤维格栅对混凝土基体的增强作用,发现:玄武岩短切纤维对混凝土基体的增强作用不明显,过多的掺量还会降低混凝土复合材料的和易性(即流动性、黏聚性、保水性);玄武岩纤维格栅使得混凝土复合材料的抗压、抗拉及抗弯折强度明显增强,且增强效果随格栅层

数的增加而增加。Doddi 等<sup>[15]</sup>研究发现皮层中玄武岩纤维的取向度对其复合材料的储能模量和弯曲性能有显著影响。因此,玄武岩纤维增强体的结构影响其对复合材料的增强作用。彭建湘<sup>[16]</sup>将 3、6、9、12 mm 长的玄武岩纤维掺入 SMA-13 沥青混凝土后测试发现,玄武岩纤维对沥青混凝土的耐温性、稳定性及力学性能均有一定的影响,且玄武岩纤维越长,沥青混凝土各项性能越优异。

## 2.2 过滤材料

过滤材料对绿色、安全生产有着积极的作用。目前,纤维层是过滤有害烟尘的一种有效手段。玄武岩纤维直径较小且表面光滑,能耐 700 ℃ 高温,被视为一种理想的高温过滤用材料。我国玄武岩纤维过滤材料的研究起步较晚,但近年已取得一定的进展。玄武岩纤维滤料通常是将玄武岩纤维与其他纤维以一定比例混合形成网胎后,再利用带有倒钩的刺针作用于网胎,使网胎内纤维形成层间连接,并在网胎内部形成蓬松多孔结构的。这种三维网孔结构可以有效过滤有害烟尘。

当前,有关玄武岩纤维过滤材料的研究主要是围绕混合纤维的种类、纤维配比以及针刺工艺参数(如针刺密度、针刺深度等)对材料过滤性能等的影响展开的。王丹<sup>[17]</sup>以玄武岩纤维/聚苯硫醚纤维复合滤料为研究对象,通过测试孔隙率、透气率及耐磨性等确定了具有最高过滤效率的纤维配比及针刺工艺参数,并发现采用最佳工艺制备的滤料对粒径 0.3~10.0 μm 的微粒具有较好的过滤效率,同时耐用性能优良。周冠辰<sup>[18]</sup>不仅研究了玄武岩纤维/聚苯硫醚纤维复合滤料的最优针刺工艺参数,还重点对浸渍用聚四氟乙烯(PTFE)乳液的最佳浓度进行了探讨。杨炳文<sup>[19]</sup>利用原位聚合法和浸渍法制备了 2 组负载纳米铁酸钴的玄武岩纤维,并以其为原料,利用针刺、充磁等工艺制备了磁性玄武岩纤维滤料。且制备过程中,由于玄武岩纤维开松困难,特采用工业油水对玄武岩纤维进行润湿处理。所得磁性玄武岩纤维滤料相较于未处理的玄武岩纤维滤料,前者能够在高温工作环境中保持稳定的过滤效率,是一种性能优异的过滤材料。

## 2.3 安全防护服装

由于单层面料难以达到 GA 10—2014《消防员灭火防护服》标准对热防护值的要求,因而防火耐

高温服装用面料至少由双层面料组成。玄武岩纤维具备用作防火耐高温安全防护服装用外层面料的潜力。

当前,玄武岩纤维在安全防护服装领域的应用研究还处于起步阶段,原因主要与玄武岩纤维质脆、易断,可纺性较差,纤维表面光滑,且几乎不具备可染性等有关。为使玄武岩纤维具备一定的服用舒适性,部分研究者通过优化纱线混纺比、纱线结构以及进行织物表面处理等方法,成功赋予了玄武岩纤维服用功能。高翼强<sup>[20]</sup>从纤维入手,利用改造的环锭纺小样细纱机制备了棉/玄武岩长丝包芯纱。测试发现,所得包芯纱的强伸性、毛羽及条干水平、包覆效果等均与加工工艺及纱线捻系数有关。如当捻系数为 250 时,芯纱基本不外露,外包纤维对芯纱的包覆效果最好。利用这种包芯纱制备服装用面料,服用舒适性可得到一定程度的改善。闫学军等<sup>[21]</sup>先将阻燃棉纤维、阻燃黏胶纤维与玄武岩纤维混纺,再采用“大张力、高后梁”工艺织制出一种具有轻质、隔热、防火等优良性能的蜂巢组织结构面料。李满意<sup>[22]</sup>尝试对平纹组织的玄武岩纤维织物进行表面等离子体处理,结果发现处理后织物强力损失严重,之后尝试将液体硅橡胶作为涂料主体涂覆在织物表面,发现等离子技术和涂层技术相结合可以有效提高织物的强力,并可通过在涂层剂中添加染料实现对玄武岩纤维织物的染色。

## 3 玄武岩纤维制品研究展望

### 3.1 玄武岩纤维针刺过滤材料的基布结构

玄武岩纤维过滤材料一般是利用针刺工艺加工玄武岩短纤与其他高性能短纤的混合物制得的。尽管后期会结合其他物理或化学(如覆膜或涂覆涂料、粒子等)方法丰富玄武岩纤维针刺过滤材料的功能,但受针刺工艺影响,这种过滤材料仅能实现对较大直径烟气颗粒的过滤。现阶段,玄武岩纤维针刺过滤材料中整体毡结构应用较多,而基布/毡结构应用相对较少,且基布的选择较为单一、集中。同时,在玄武岩纤维针刺过滤材料性能方面,有关耐磨性能改善的研究极少。因此,改变基布/毡结构中基布的原料及结构,设计耐磨性、通透性及拉伸性优异的基布,提升玄武岩纤维针刺过滤材料的整体性能,

是未来研究的重要方向。

### 3.2 其他领域用玄武岩纤维制品

玄武岩纤维虽已在路面建设、过滤材料等领域有着较好的应用,但纤维本身表面光滑、刚度大,导致纤维可纺性差且不可着色,与基体材料结合能力弱,易产生刺痒感等,故现阶段玄武岩纤维在安全防护服装,以及车用、铁路轨道用等纤维增强复合材料中未得到大规模应用。

今后,在防护服装舒适性能的实现方面,可进一步以纱线结构为切入点,如利用包芯纱等结构,或引入可纺性较好的纤维(如棉纤维、黏胶纤维等),开发兼具优异舒适性能和耐高温性能的玄武岩纤维面料。在玄武岩纤维增强复合材料方面,可在纤维增强体表面改性或树脂基体改性<sup>[23-26]</sup>的基础上,进一步探索既能保证改性效果又不影响复合材料整体力学性能的表面处理方法;还应加强玄武岩纤维及其制品在不同载荷、环境下的基础力学性能研究,加强标准引领作用,为玄武岩纤维在汽车及铁路轨道等领域的大规模应用奠定理论基础。

## 4 结语

玄武岩纤维作为一种高性能绿色纤维,较其他高性能纤维有着明显的优势,且市场前景广阔。现阶段,玄武岩纤维的应用主要集中在路面建设和过滤材料领域,安全防护服装领域的应用研究还处于起步阶段。

现有技术尚未突破玄武岩纤维刺痒感强、可纺性差的技术难题,导致研究理论及成果还不足以支撑玄武岩纤维在多领域实现产业化应用。因此,应重点探索不同应用场景下,不同工艺技术及工艺参数对玄武岩纤维制品性能的影响规律,这对玄武岩纤维的实际应用具有一定的指导意义。同时,应继续根据行业发展的需求最大化发挥纤维本身的优势,持续加快玄武岩纤维针刺过滤材料基布及玄武岩纤维制品在其他领域应用的研究。除此之外,玄武岩矿石本身成分也存在一定的波动,生产工艺有待改进,质量标准文件也有待完善。未来,随着技术的不断发展与成熟,玄武岩纤维有望在航空航天、石油化工、个体防护等领域发挥更大的作用。



期刊采编平台



中国知网下载

### 参考文献

- [1] 张玮,谭艳君,刘妹瑞,等.玄武岩纤维的性能及应用[J].纺织科学与工程学报,2022(1):85-89.
- [2] 陈明凤,陈廷.玄武岩纤维品质影响因素及应用分析[J].产业用纺织品,2024,42(2):7-12.
- [3] 宋平,高欢,汪灵,等.玄武岩纤维基本特征及应用前景分析[J].矿产保护与利用,2022(4):173-178.
- [4] 陈松,贾攀,梁凤,等.连续玄武岩纤维生产工艺及技术瓶颈浅析[J].产业用纺织品,2022,40(7):28-32.
- [5] 王娟.玄武岩纤维的生产及其应用[J].国际纺织导报,2022,50(2):3-6.
- [6] 林希宁,张凤林,周玉梅.玄武岩纤维及其复合材料的研究进展[J].玻璃纤维,2013(2):39-44.
- [7] 陈兴芬.连续玄武岩纤维的高强度化研究[D].南京:东南大学,2018.
- [8] 汪灵.矿物材料学原理[M].北京:地质出版社,2021.
- [9] 王森,沈艳琴,武海良.玄武岩纤维的发展现状及趋势[J].纺织导报,2021(5):50-53.
- [10] 叶权明.硅藻土-玄武岩纤维复合改性沥青混合料路用性能及应用研究[D].重庆:重庆交通大学,2022.
- [11] 张艺凡.湿法制备的玄武岩纤维复合改性沥青路用性能研究[J].辽宁省交通高等专科学校学报,2022,24(5):6-9.
- [12] 祖文菊,杨建忠,刘亦冰,等.玄武岩等几种高性能纤维的耐高温性能研究[J].合成纤维,2021,50(11):27-32.
- [13] 何东坡,左惠宇.玄武岩纤维长度对排水沥青路面性能影响研究[J].公路,2021,66(1):13-18.
- [14] JIA M H, XIE W Z, YU K J, et al. A comparative study of the mechanical properties of basalt fiber and basalt grille reinforced concrete composites and theoretical prediction [J]. Journal of Natural Fibers, 2022, 19(13): 5862-5879.
- [15] DODDI P R V, DORA S P, CHANAMALA R. Effect of orientation of basalt fiber skin on damping performance of PALF/epoxy hybrid composites [J]. Journal of Natural Fibers, 2022, 19(14): 7414-7423.

(下转第37页)