

# 玄武岩纤维品质影响因素及应用分析

陈明凤 陈 廷

苏州大学 纺织与服装工程学院, 江苏 苏州 215021

**摘要:**介绍了玄武岩纤维的制备原理和加工过程,分析了影响玄武岩纤维品质的因素,综述了其作为高性能纤维的应用,最后探讨了玄武岩纤维未来的发展方向。

**关键词:**玄武岩纤维;纤维品质;制备原理;纤维组分;影响因素;应用

中图分类号:TS 102.4

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2024)02-0007-06

## Analysis of factors influencing quality of basalt fibers and their application

Chen Mingfeng, Chen Ting

College of Textile and Clothing Engineering, Soochow University, Suzhou 215021, Jiangsu, China

**Abstract:** The fiber preparation principle and processing process of basalt fibers were introduced. The factors affecting the quality of basalt fibers were analyzed and their application as high-performance fibers was summarized. Finally, the development direction of basalt fibers was discussed.

**Keywords:** basalt fiber; fiber quality; preparation principle; fiber component; influence factor; application

玄武岩纤维是以火山喷发后的玄武岩矿石作为原料,经熔融拉丝制成的一种新型高性能无机矿物纤维。玄武岩纤维的品质决定了其在应用市场上的占有规模,因此,对影响玄武岩纤维品质的因素进行分析大有必要。基于此,本文将从玄武岩纤维的加工流程出发,对影响其品质的因素进行概述,综述其应用,以期高性能玄武岩纤维的进一步研发和应用推广提供参考。

### 1 制备原理

玄武岩虽是一种坚硬的岩石,却能够以其作为原料拉出连续长度达数十千米的微米级( $10^{-6}$  m)细丝。玄武岩拉制成纤的基本原理是将结晶态的岩石转变成玻璃态结构,进而拉伸出玻璃态的连续细丝。研究表明,玄武岩纤维的本体为非晶态,表现出近程

基金项目:国家自然科学基金项目(51303121);中国纺织工业联合会科技计划项目(2021036);江苏高校“青蓝工程”(2023年)

收稿日期:2023-11-13

作者简介:陈明凤,女,1999年生,在读硕士研究生,主要研究方向为产业用纤维及制品的制备技术

通信作者:陈廷,教授,tingchen@suda.edu.cn

有序、远程无序的结构特征。纤维呈圆柱体,表面光滑,表面能较高,具有极性<sup>[1]</sup>。加工过程中,先将玄武岩岩石熔融,得到的熔体在约 1 400 ℃ 下经漏板漏出,进入常温区(20~30 ℃),骤然降温使玄武岩熔体来不及结晶而转变成玻璃态。玻璃态的玄武岩细丝在缠绕机快速缠绕作用下不断拉伸,形成连续的玄武岩纤维。缠绕机的缠绕速度越快,拉制的丝越细,产率也越高,但缠绕速度不能过快,应与漏丝量相适应。

## 2 制备过程

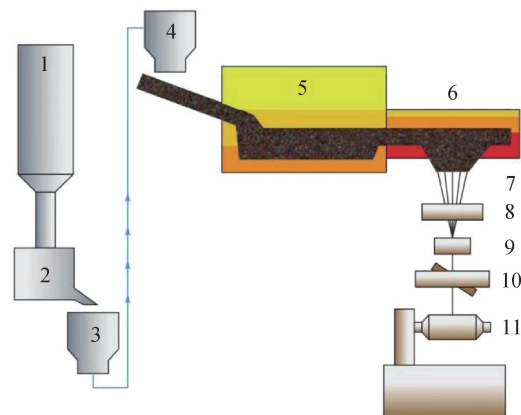
玄武岩纤维以天然玄武岩石为原料,对其粉碎、熔融后,经漏板拉丝制成。玄武岩纤维的加工流程大致分为投料、熔样、熔体转移、拉丝这 4 步<sup>[2-3]</sup>。其中,投料是将经筛选和初步加工的玄武岩原料添加至原料储藏器中,按照预先设定的程序,均匀、定时、定量投入熔样炉中。在熔样炉内,通过气、电或气/电结合的方式,将炉腔内温度升高至 1 500 ℃ 以上,使原料彻底、均匀熔融,且温度和黏度保持稳定,熔体在熔样炉内的纵向深度达 30 cm,该过程称为熔样。熔体转移是指将经均匀化的熔体自动转移至拉丝系统。熔体在拉丝区间即漏板上部保持为恒温、均匀的浅液面,深度为约 15 cm。需要注意的是,在熔体转移过程中,为避免熔样炉底部含杂质的熔体直接进入拉丝区,转移通道底部应比熔样炉底面高出约 10 cm。岩浆通过漏板后,其在自重牵引作用下拉制成细丝,所有喷丝孔拉出的丝合并成缕丝,经快速缠绕后,丝条被抽长拉细,该过程即拉丝。玄武岩纤维的制备工艺流程如图 1<sup>[4]</sup>所示。

## 3 纤维品质的影响因素

影响玄武岩纤维品质的因素有很多,主要有原料组分、关键工艺与设备及浸润剂类型等<sup>[5]</sup>。

### 3.1 原料组分影响

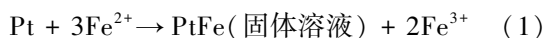
玄武岩纤维的制备工艺,实际上是火成岩再熔融后快速降温形成非晶态纤维的过程,其性能与原料成分密切相关<sup>[6]</sup>。含铁氧化物( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ )和 CaO 主要影响熔体析晶温度,而硅、铝、钛等的氧化物则通过影响熔体黏度来改变纤维拉丝性能。



1—原料储藏器; 2—料斗; 3—原料输送系统; 4—原料添加装置;  
5—初始熔样炉; 6—熔体控温区; 7—漏板及拉丝(形成单丝);  
8—浸润器; 9—形成缕丝; 10—调整纤维拉力; 11—纤维缠绕装置。

图 1 玄武岩纤维的制备工艺流程  
Fig. 1 Preparation process of basalt fibers

成纤过程中,基于铂的催化作用,漏板上发生如式(1)的化学反应,使  $\text{Fe}^{2+}$  与  $\text{Fe}^{3+}$  的占比发生改变,而原料中铁的总含量不变。



玄武岩原料中的含铁氧化物( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ )质量分数为 9%~15%,岩石中的铁氧化物能降低熔体的黏度和析晶温度,提高析晶速度。试验显示, $m(\text{FeO})/m(\text{Fe}_2\text{O}_3)$  越高,则纤维抗拉强度越大。在典型的玄武岩原料组分中,其  $\text{FeO}$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的质量比约为 6<sup>[7]</sup>。肖吉文<sup>[8]</sup>探究了纤维中铁还原指数对玄武岩纤维力学性能的影响,结果表明,单丝抗拉强度随着铁还原指数的增大而逐渐增大,当铁还原指数由 0.31 增大到 0.87 时,单丝抗拉强度从 865.7 MPa 提高至 981.3 MPa。

CaO 是玄武岩的主要成分之一,其含量的增加有利于原料的熔融,能赋予纤维优异的耐腐蚀性和力学性能,从而利于制取细纤维。但 CaO 含量过高,又会提高纤维析晶温度,降低纤维柔韧性。 $\text{SiO}_2$  能够提高熔体黏度,增强纤维化学稳定性与韧性,其含量直接影响原料熔融温度和熔体黏度,在玄武岩石能否拉制成丝及拉丝质量方面起主导作用。通常, $\text{SiO}_2$  质量分数为 49%~53% 的玄武岩石比较适合拉制成丝。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  能提高玄武岩纤维的温度和强度适用上限。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量增加时,熔体黏度相应提高,纤维的力学性能、热稳定性和化学稳定性提升。 $\text{TiO}_2$  有利于提高纤维的化学稳定性和抗腐蚀能力,

同时增强熔体黏度和表面张力,有利于提高纤维强度和形成长丝<sup>[9-14]</sup>。

李松等<sup>[15]</sup>通过正交试验,探究玄武岩组分对熔体黏度的影响,结果发现,几种组分对熔体黏度影响的排序为  $MgO > FeO > SiO_2 > CaO > Fe_2O_3 > Al_2O_3$ 。

玄武岩矿石的化学组分决定了其在高温下的成纤性能<sup>[16]</sup>,但单独考量各组分含量对成纤性能的影响尚且较困难。玄武岩纤维与岩棉的可拉丝酸度系数相近,故引用岩棉行业中常用的酸度系数( $M_a$ )作为原料筛选的参考指标,其以 4 种主要氧化物质量

$$M_a = \frac{m(SiO_2) + m(TiO_2) + m(Al_2O_3)}{m(CaO) + m(MgO) + m(FeO) + m(Fe_2O_3) + m(K_2O) + m(Na_2O)} \quad (2)$$

### 3.2 关键工艺与设备影响

天然玄武岩矿石成分复杂,熔点因各成分共存而不同,因此匀化效果也是决定纤维性质和后续应用性能的重要因素之一<sup>[20]</sup>。刘忠<sup>[21]</sup>研究了匀化温度、匀化时间和样品粒径对纤维直径及纤维强度的影响,结果表明:纤维强度随着匀化温度的升高而增加,且纤维强度在匀化温度为 1 390 °C 时达最大值,强度变异系数则随匀化温度的升高而减小;纤维强度在匀化时间为 5 h 时即可达到较为理想的状态,并且随着匀化时间的进一步延长,熔体聚合度提高,纤维直径减小,玄武岩纤维产生裂纹的概率相应减小,纤维强度呈增加的趋势,强度变异系数减小;但匀化时间超过 10 h,玄武岩熔体的成纤性能快速下降,熔体将不适合拉丝;样品粒径小,熔体结构的聚合度增加,对熔体成纤性能有一定的提升作用,但粒径不能过小,当粒径小于 0.075 mm 的原料质量分数超过 60% 时,玄武岩纤维的强度下降。当熔体黏度较大时,流动速度小影响其匀质性,反之,当熔体黏度较小,有利于匀化效果的提升。闫全英等<sup>[22]</sup>研究了不同温度下玄武岩高温熔体的黏度,结果发现,玄武岩熔体黏度的变化在很大程度上依赖于温度的变化。这表明,熔体黏度可作为匀化温度作用下一种表征熔体匀质性的重要参数。姜德彬等<sup>[23]</sup>在窑炉的入口处添加原料,利用热源辐射将其熔化,并从进料口下方通入惰性气体,同时确保熔体得以充分搅拌,结果表明,通过这种方式,可使原料的熔化速度加快,匀化效果改善。马鹏程等<sup>[24]</sup>设计了一个带翻边的可控温漏板用于玄武岩纤维的拉丝,漏板两端装有可供加热的电极和用来冷却漏板的夹头,两

分数比即  $[m(SiO_2) + m(Al_2O_3)]/[m(CaO) + m(MgO)]$  表征成纤性能<sup>[6]</sup>。通常,酸度系数为 3.5~5.0 时成纤性能最佳<sup>[17]</sup>。樊霆等<sup>[18]</sup>研究了 2 种不同化学组分的玄武岩矿石原料的拉丝性能,结果显示,酸度系数为 6.00 的试样不及酸度系数为 4.69 的试样,后者更能满足玄武岩纤维生产工艺要求。然而,对于玄武岩、辉绿岩、辉长岩等不同的硅酸盐原料而言,有必要结合其化学组分对酸度系数的计算式进行修正与补充。Fomichev 等<sup>[19]</sup>给出的酸度系数计算式如式(2)所示。

个部件的结合有利于实现漏板温度的精确控制,改善匀化效果,同时还能使得漏板在高温下不易变形,进而延长拉丝漏板的使用年限,降低玄武岩纤维生产成本。薛晓薇等<sup>[25]</sup>将加热电机设置在拉丝通路侧面,同时将熔化区分隔成几个单独区域,通过在前端不设加热电极,后端安置高度逐渐增大的挡板这种方式,实现集中加热,提高了能量利用效率,有利于改善匀化效果。

### 3.3 浸润剂类型影响

拉丝过程中,浸润剂能赋予纤维良好的润滑性和集束性,使其具备适当的黏结性和快干性,既能使数根丝很好地黏合在一起,又能防止丝与绕丝筒或原丝与原丝之间产生黏结,从而满足各道加工工序的需要<sup>[4]</sup>。生产玄武岩纤维使用的浸润剂主要由成膜剂、偶联剂、润滑剂、抗静电剂等组成,这些组分共同作用,有利于改善纤维品质<sup>[26]</sup>。

成膜剂可以增强单丝之间的集束性和黏结性能。陈中武等<sup>[27]</sup>研制了纳米  $SiO_2$  环氧乳液并将其作为成膜剂,探究了其对玄武岩纤维及其复合材料性能的影响,结果表明,经该成膜剂处理的玄武岩纤维拉伸断裂强度达 0.475 N/tex,层间剪切强度达 60.5 MPa。

偶联剂在浸润剂中起桥梁纽带作用,其可与特定物质发生反应,形成化学键,增强纤维黏着力,改善纤维与复合材料的黏着效果<sup>[28]</sup>。杨阳<sup>[29]</sup>用硅烷偶联剂和酰胺型乳液处理玄武岩纤维,结果发现,当偶联剂质量分数为 1.5%、酰胺型乳液质量分数为 8.0% 时,处理后玄武岩纤维的拉伸强度提高了 5.2%,同时拉伸模量提高了 7.2%。

## 4 应用

玄武岩纤维具有较高的抗拉强度和弹性模

量<sup>[30-31]</sup>,较强的耐高温性能和热稳定性,良好的力学性能<sup>[32]</sup>和耐腐蚀性能<sup>[33]</sup>,以及较好的电绝缘性和介电性能等<sup>[34]</sup>。玄武岩纤维与其他高性能纤维的主要性能参数对比如表1所示。

表1 玄武岩纤维与其他高性能纤维的主要性能参数对比

Tab. 1 Comparison of main performance parameters between basalt fibers and other high performance fibers

性能参数	玄武岩纤维	E 玻璃纤维	S 玻璃纤维	碳纤维	芳纶
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	2.63~3.05	2.55~2.62	2.46~2.49	1.78	1.44
拉伸强度/GPa	3.0~4.8	3.1~3.8	4.6~4.8	3.1~5.0	2.7~3.0
电阻率/(Ω·m)	1×10 <sup>12</sup>	1×10 <sup>11</sup>	1×10 <sup>11</sup>	2×10 <sup>-5</sup>	>1×10 <sup>11</sup>
软化温度/℃	960	850	1 056	—	—
最高使用温度/℃	880	350	300	2 000	250
最低使用温度/℃	-260	-63	—	—	—
耐化学性	良好	耐碱性一般	耐碱性一般	良好	耐碱性一般
价格/(万元·t <sup>-1</sup> )	2	0.5	>2	12	20

已有研究表明,玄武岩纤维适合应用于交通、电子、消防、化工、军工、航天工程等众多领域。

## 4.1 交通运输领域

与普通钢材相比,玄武岩纤维具有密度低、强度高、耐腐蚀、耐高温,以及较好的电绝缘性等优良性能,在汽车前端支架、车身、弹簧、消声材料等方面都得以广泛应用<sup>[35]</sup>。王莎莎等<sup>[36]</sup>将玄武岩纤维制成片材,并模压成重型载货汽车外饰件,将其与目前常见的玻璃钢制外饰件进行比较。结果发现,由玄武岩纤维制成的外饰件的拉伸强度、冲击强度和弯曲强度均更高,分别提高了43.9%、31.3%和12.0%。此外,玄武岩纤维外饰件能满足喷涂处理的相关要求,其表面质量也优于玻璃钢制外饰件。周丽等<sup>[37]</sup>以处理过的玄武岩纤维网布作为骨架,交替粘贴橡胶后,将其应用于橡胶输送带,结果发现,该方法提升了输送带的抗拉伸性、耐磨性和安全性,延长了输送带的使用寿命。

## 4.2 医用设备领域

与普通玻璃纤维相比,玄武岩纤维具有更高的拉伸强度、弹性模量和较好的化学稳定性。基于此,在医用设备领域,玄武岩纤维可用于替代现有的玻璃纤维器材。马燕玲等<sup>[38]</sup>对应用了玄武岩纤维的医用检测设备床面板进行了图像质量、载荷和力学性能的相关测试,结果发现,其图像质量优于常用玻璃钢材料制成的床面板的,同时载荷承受能力满足相应要求,力学性能也优于玻璃纤维床面板的。此

外,得益于玄武岩纤维特殊的耐温性和优良的化学稳定性,其还可以应用于抗生素生产过程中的空气净化与消毒领域<sup>[39]</sup>。

## 4.3 航空航天领域

玄武岩纤维既耐低温又耐高温(-260~880℃),在高、低温环境下均能保持优异的使用性能。吴智深等<sup>[40]</sup>研究发现,玄武岩纤维在500℃的高温下仍能保持50%的强度,并且抗冻融循环性能优良,经200次冻融循环后,强度并未出现明显的下降。这使得玄武岩纤维在对高低温耐受性都有较高要求的航空航天领域具有良好的应用前景。

## 4.4 国防军工领域

凭借高强度和卓越的耐温特性,玄武岩纤维非常适合用作飞机和导弹的表面材料。此外,因其具有吸波透磁特性,还能实现雷达下隐形的效果。胡显奇等<sup>[41]</sup>研究指出,以玄武岩纤维为增强体制成的复合材料,可以促进军队武器装备的升级换代,增强军队战斗力。张丽娟等<sup>[42]</sup>对玄武岩纤维与涤纶长丝交织物进行阻燃性测试,结果表明,织物在垂直和水平方向均表现出优异的不燃性,可作为阻燃面料用于制作消防服。

## 4.5 海洋工程领域

玄武岩是大洋地壳的重要组成部分,故玄武岩纤维在对海水腐蚀的耐受性方面有着天然的优势。因此,可以在海洋工程领域开展玄武岩纤维高强轻质新产品的研究开发工作<sup>[43]</sup>。

#### 4.6 电子工程领域

玄武岩纤维是一种无机非金属纤维,具有优异的电绝缘性、介电特性、低吸湿率和高耐温性等,可用于制作高质量的印刷电路板,也可作为增强材料用于制备风力发电叶片。在电子工程领域,玄武岩纤维可以完全替代能导电的碳纤维,具有较好的应用前景<sup>[20,44-45]</sup>。刘元军等<sup>[46]</sup>研究了石墨涂层厚度对玄武岩纤维织物力学及电磁学性能的影响,结果表明,随着涂层厚度的增加,织物力学性能增强的同时,对电磁波的屏蔽、衰减、损耗、极化能力也随之提升。

## 5 结束语

本文主要对玄武岩纤维的品质影响因素及其作为高性能纤维的应用进行分析。随着世界各国对环境保护问题的日益重视,对环保型材料的需求将不断增长。玄武岩纤维作为一种生产过程及废弃物都对环境影响较小的高性能纤维材料,在这种背景下将扮演着越来越重要的角色。玄武岩纤维产业未来的发展需科研人员基于对其制备原理、制备过程及品质影响因素等的充分认识,从原料准备、生产加工设备、纤维后处理等多方面全方位开展研究,最终实现玄武岩纤维产业的高质量发展。



期刊采编平台

中国知网下载

## 参考文献

- [1] 曹海琳,郎海军,孟松鹤. 连续玄武岩纤维结构与性能试验研究[J]. 高科技纤维与应用,2007(5):8-13.
- [2] GOGOLADZE P, CHAGELISHVILI V. Method for obtaining fiber from mineral raw; US2005103058 [P]. 2005-05-19.
- [3] POPVSKIJ V M, TETERIN A M, ELTSOV A B, et al. Process of production of miner fiber (variants) and gear for its realization;RU2211193[P]. 2002-10-27.
- [4] 刘嘉麒. 玄武岩纤维材料[M]. 北京:化学工业出版社,2021:65-100.
- [5] 张建伟,余希林,刘嘉麒,等. 连续玄武岩纤维新材料的制备、性能及应用[J]. 材料导报,2023,37(11):234-240.
- [6] 刘昶江,全晓聪,刘忠,等. 玄武岩纤维原料特征分析[J]. 硅酸盐通报,2020,39(12):3858-3865.
- [7] 王正刚,张卫强,张义军,等. 玄武岩纤维性能及其鉴别方法[J]. 玻璃纤维,2015(3):40-47.
- [8] 肖吉文. 不同铁还原指数玄武岩纤维的制备及性能影响[D]. 上海:东华大学,2018.
- [9] GUTNIKOV S I, MALAKHO A P, LAZORYAK B I, et al. Influence of alumina on the properties of continuous basalt fibers[J]. Russian Journal of Inorganic Chemistry, 2009, 54(2): 191-196.
- [10] 刘建勋,崔瀛,杨剑平,等. 玄武岩组分、矿物相对其高温熔融过程的影响[J]. 燕山大学学报,2017,41(4):323-328.
- [11] 李建军,张浩,刘艳春. 玄武岩纤维原矿的化学成分和物相分析[J]. 玻璃纤维,2007(6):1-4.
- [12] 谢尔盖,李中郢. 玄武岩纤维材料的应用前景[J]. 纤维复合材料,2003,20(3):17-20.
- [13] TATARINTSEVA O S, KHODAKOVA N N, UGLOVA T K. Effect of iron oxides on the proneness of synthesized basaltic metals toward fiber formation [J]. Glass & Ceramics, 2012, 69(1/2): 71-74.
- [14] 王屹,余骁,张建军,等. 玄武岩纤维的开发及应用[J]. 玻璃纤维,2017(4):28-31.
- [15] 李松,陈定梅,潘东,等. 玄武岩化学成分对熔体黏度的影响[J]. 化工设计通讯,2021,47(1):159-160.
- [16] NOVITSKII A G, EFREMOV M V. Technological aspects of the suitability of rocks from different deposits for the production of continuous basalt fiber[J]. Glass & Ceramics, 2013, 69(11/12):409-412.
- [17] 张耀明,李巨白,姜肇中. 玻璃纤维与矿物棉全书[M]. 北京:化学工业出版社,2001:65-69.
- [18] 樊霆,童庆,叶文玲,等. 玄武岩纤维矿物组成形态及熔融析晶特性[J]. 中南大学学报(自然科学版),2013,44(10):4307-4311.
- [19] FOMICHEV S V, BABIEVSKAYA I Z, DERGACHEVA N P, et al. Evaluation and modification of the initial composition of gabbro-basalt rocks for mineral-fiber fabrication and stone casting[J]. Inorganic Materials, 2010,46(10):1121-1125.
- [20] 王子焱,钟昊天,贾钰,等. 连续玄武岩纤维生产与制品开发现状分析[J]. 矿产保护与利用,2020,40(3):161-178.
- [21] 刘忠. 原料预处理对玄武岩成纤及纤维性能的影响

- [D]. 石家庄;河北地质大学,2022.
- [22] 闫全英,胡琳娜,尚德库,等.玄武岩熔体高温粘度和析晶性能研究[J].玻璃与搪瓷,2001(6):21-25.
- [23] 姜德彬,罗大伟.一种玄武岩连续纤维生产方法:CN110590128A[P].2019-12-20.
- [24] 马鹏程,邢丹,蒯雄宇,等.一种连续玄武岩纤维拉丝可控温漏板:CN210085271U[P].2020-02-18.
- [25] 薛晓薇,薛其康,王帅,等.一种用于生产连续玄武岩纤维的高产能拉丝炉:CN109305751A[P].2019-02-05.
- [26] 甘胤.连续玄武岩纤维浸润剂研究进展[J].山东化工,2023,52(10):107-109.
- [27] 陈中武,刘丽,黄玉东.环氧 Pickering 乳液的制备及在玄武岩纤维浸润剂中的应用[J].化学与粘合,2021,43(1):5-11.
- [28] 姜雪.玄武岩连续纤维专用浸润剂的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.
- [29] 杨阳.连续玄武岩纤维表面改性及增强尼龙力学性能研究[D].南京:东南大学,2019.
- [30] DEÁK T. Chemical composition and mechanical properties of basalt and glass fibers: a comparison[J]. Textile Research Journal, 2009, 79(7):645-651.
- [31] DORIGATO A, PEGORETTI A. Fatigue resistance of basalt fibers re-reinforced laminates [J]. Journal of Composite Materials, 2012, 46(15): 1773-1785.
- [32] VIVEK D, GARIMA M, KYONG Y R, et al. A short review on basalt fiber reinforced polymer composites [J]. Composites: Part B, 2015, 73: 166-180.
- [33] WANG M C. Chemical durability and mechanical properties of alkali-proof basalt fiber and its reinforced epoxy composites [J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2008, 27(4): 393-407.
- [34] HAFSA J, RAJESH M. A green material from rock: basalt fiber: a review [J]. The Journal of The Textile Institute, 2015, 107(7): 923-937.
- [35] 杨堃.玄武岩纤维在汽车轻量化中的应用[J].新材料产业,2018(10):30-34.
- [36] 王莎莎,王庆国,王凯,等.玄武岩纤维在汽车外饰件上的应用研究[J].汽车工艺与材料,2019(5):12-15.
- [37] 周丽,郭客,刘晓明,等.一种连续玄武岩纤维复合橡胶输送带及其制备方法:CN114426404A[P].2022-05-03.
- [38] 马燕玲,尚洪,王云平.连续玄武岩纤维在医用影像检测设备床面板中的应用[J].机械制造,2022,60(12):56-58.
- [39] 沈晓梅,刘华武,刘长雷.玄武岩纤维的发展及其应用[J].山东纺织科技,2007(3):48-51.
- [40] 吴智深,陈兴芬.连续玄武岩纤维的标准化与高性能化发展[J].高科技纤维与应用,2022,47(5):16-24.
- [41] 胡显奇,申屠年.连续玄武岩纤维在军工及民用领域的应用[J].高科技纤维与应用,2005,30(6):7-13.
- [42] 张丽娟,任世环,李向红.玄武岩长丝/涤纶交织物阻燃性能测试与研究[J].产业用纺织品,2022,40(2):12-15.
- [43] 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,2022,42(4):173-178.
- [44] 李新娥.连续玄武岩纤维的研发及其应用[C]//中国纺织工程学会.第8届功能性纺织品及纳米技术研讨会论文集.武汉:[出版者不详],2008:166-170.
- [45] 刘金刚,张秀敏,任卫卫,等.玄武岩纤维增强聚酰亚胺复合材料及其在电工绝缘领域中的应用进展[J].绝缘材料,2016,49(12):19-27.
- [46] 刘元军,孙嘉瑞,叶美晨,等.石墨涂层厚度对双层涂层玄武岩纤维织物电磁性能和力学性能的影响[J].纺织科学与工程学报,2018,35(4):1-5.

《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