

玄武岩纤维纱线性能的试验研究

吴 霞¹, 陈慰来¹, 王志钧², 余彩芬²

(1. 浙江理工大学材料与纺织学院, 杭州 310018; 2. 绍兴银桥纺织有限公司, 浙江绍兴 312069)

摘 要: 研究某种玄武岩纤维有捻纱的拉伸性能、耐高温性能以及耐酸碱性能。实验结果表明:在热稳定性试验中,该玄武岩纤维有捻纱的拉伸断裂强度在 250℃之前随着温度的升高而增加,在 250℃之后随着温度的升高而降低;在耐酸碱性能试验中得出,该玄武岩纤维耐酸性强于耐碱性。

关键词: 玄武岩纤维; 纱线; 强度; 耐高温性; 耐酸碱性能

中图分类号: TS102.4 **文献标识码:** A

0 引 言

玄武岩纤维是一种新型高性能、绿色环保型纤维,它在空气和水介质中不会放出有毒物质,其在废弃后能降解,降解后即成为土壤的母质,对环境友好。玄武岩纤维阻燃性能好、力学性能良好,可被广泛应用于不同的工业领域,如高温烟气过滤材料、增强水泥制品等方面,具有很大的发展前景。

玄武岩矿石主要由 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 、 TiO_2 等多种氧化物陶瓷成分组成,因此玄武岩纤维在耐高温、化学稳定性、耐腐蚀性、力学性能等许多方面具有优良的特性^[1]。 SiO_2 是玄武岩中的主要氧化物,由它组成的结构骨架有利于纤维的弹性和化学稳定性^[2]。玄武岩是由地球熔岩形成,这使得玄武岩存在先天的不足:不同矿床玄武岩的成分波动较大,同一矿点化学成分也有一定的波动。玄武岩矿石成分的波动使其制得的纤维在物理、化学性能等方面存在一定的差异。本文对某种玄武岩纤维纱线的耐高温性能、耐酸碱性能进行测试和研究,期望对开发玄武岩纤维在过滤材料方面的应用具有参考意义。

1 实验部分

1.1 实验材料

实验材料选取国内某玄武岩纤维有限公司生产的玄武岩纤维有捻纱,纱线线密度 129.77 tex,单纤维直径 8 μm ,纱线捻度 144 捻/m。

1.2 实验条件及方法

1.2.1 拉伸试验

测定前对实验试样进行预调湿(在不超过 50℃,相对湿度 10%~25%下调湿)至少 4 h,并置于温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$,相对湿度为 63%~67%实验用大气下吸湿平衡。在恒温恒湿实验室对纱线进行拉伸试验,温湿度为 20℃、65%,应用 YG061 型电子单纱强力仪,参照 GB/T7690.3—2001 单根纱线断裂强力及断裂伸长测定方法测试,每组试验不少于 20 个有效数据。由于在拉伸时玄武岩纤维纱线会在夹头处打滑或被夹断,因此在夹口处垫上织物解决这一问题。

1.2.2 热稳定性试验

将实验试样放入 XF4 型高温加热器中,纱线在 40、70、100、130、160、190、220、250、280、310、340、370、400℃下加热 3 h,待试样自然冷却后将其取出,进行拉伸实验,测试纱线的拉伸断裂强度及断裂

伸长率,按下式计算纱线强度保持率,

纱线强度保持率= $\frac{\text{处理后纱线强度 } P_1}{\text{处理前纱线强度 } P_0} \times 100\%$ (1)

1.2.3 耐酸性试验

用 YG086 型缕纱测长仪取 9 份 100 m 的纱。分别将蒸馏水,0.5、1.0、1.5、2.0 mol/L 盐酸,0.5、1.0、1.5、2.0 mol/L 氢氧化钠 9 种介质放入 9 个烧杯中,置于恒温水浴锅中,加热至 100℃ 保持恒温,将测取的 9 份玄武岩纤维纱线试样放入烧杯,加热 3 h 后取出;用蒸馏水冲洗、干燥;测试纱线的拉伸断裂强度,按式(1)计算纱线的强度保持率;在 Olympus Vanox AHB-K1 万能显微镜下观测纱线中纤维的形态。

2 结果与讨论

2.1 拉伸试验

典型的拉伸强力与伸长的关系曲线如图 1 所示。

图 1 可以看出,拉伸曲线起始阶段的曲线斜率接近零,然后逐渐增大;拉力达到一定值时纱线产生断裂,此时纱线强力会迅速下降;拉伸过程没有明显的屈服点。由于纱线有一定的捻度,在拉伸初始阶段纱线中的纤维还没有完全伸直,纱线伸长但是其抗拉强力没有变化;随着拉力的增加,拉伸强力与纱

线伸长之间呈近似线性关系。拉力再增加,纱线抗拉强力增大至最大值并断裂。

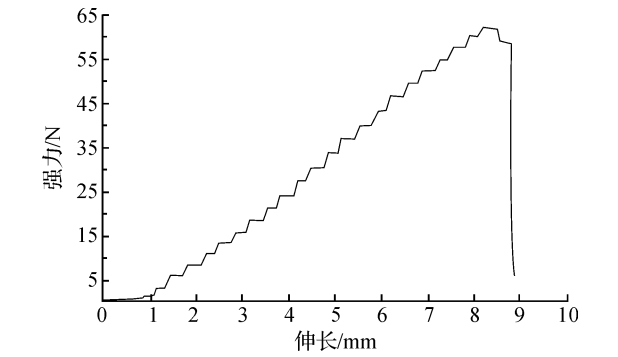


图 1 玄武岩纤维纱线拉伸曲线

曲线形态以呈阶梯形上升,是因为纱线为有捻纱,在拉伸过程中,所有纤维不是同时被拉直而受力,各纤维由于屈曲程度不同,纱线里层纤维最先被拉直,然后是次外层纤维,第三、第四层直至最外层纤维被拉直而受力,在这一过程中,纱线抗拉伸强力呈阶梯状上升,直到所有纤维被拉伸受力,此时纱线强力达到最大,强力再增加纱线的纤维被拉断,纱线强力便直线下降。

2.2 热稳定性试验特性

热稳定性实验结果如表 1 及图 2 所示。表 1 为纱线的拉伸断裂在不同温度下加热 3 h 后的变化情况。图 2 为纱线的强度保持率随温度的变化曲线。

表 1 在不同温度下加热 3 小时后纱线的拉伸断裂的变化情况

测试项目	温度/℃												
	40	70	100	130	160	190	220	250	280	310	340	370	400
断裂强度/(cN/tex)	48.5	49.0	50.4	51.4	52.8	55.2	57.6	61.4	51.8	47.0	40.3	33.6	28.8
断裂伸长率/%	2.48	2.51	2.53	2.56	2.58	2.63	2.70	2.82	2.57	2.45	2.28	2.10	1.96

注:玄武岩纤维纱线在常温下(温度为 20±2℃,相对湿度为 65%)的断裂强度为 48cN/tex,断裂伸长率为 2.46%。

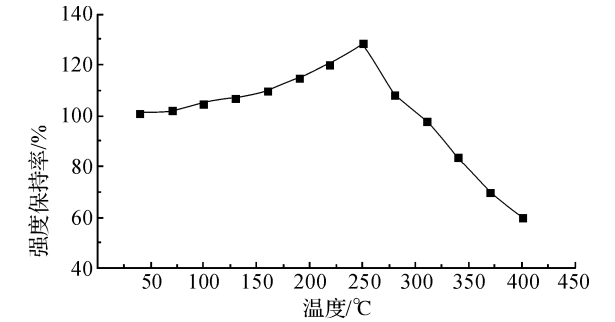


图 2 纱线的强度保持率随温度的变化

从表 1 中可以看出,该纱线在常温到 250℃ 的范围内,纱线的断裂伸长率随着温度的升高而增大,符合一般的规律;但从 250℃ 之后,却随着温度的升高而降低。这是因为 250℃ 后玄武岩纤维纱线强力随温度的上升而下降、脆性增加。该玄武岩纤维纱

线的断裂伸长率低于 3%。

从表 1 以及图 2 中可以看出,该纱线的断裂强度在 250℃ 之前随着温度的升高而增大,在 250℃ 之后随着温度的升高而降低。其断裂强度在 160~250℃ 区间内相比原始强度增加了 18%,这是玄武岩纤维的一项重要特征。该玄武岩纤维纱线在 400℃ 高温条件下,其断裂强度仅能保持原始强度的 60%,这与文献[3]中所说的玄武岩纤维在 600℃ 下工作其断裂强度仍能保持原始强度的 80% 相差较大,表明该玄武岩纤维的耐高温性能有待进一步提高。

玄武岩纤维为非晶态物质,其含有的多种金属氧化物会影响玄武岩纤维的机械、化学性能。玄武岩纤维中,铁氧化物占 5%~15%,铁氧化物比例的

波动会造成性能的波动,FeO/Fe₂O₃比例越高,纤维抗拉强度越大。同时Fe₂O₃和FeO能改变溶质参数,影响导热性,在原料中大量引入Fe₂O₃(矿石)可提高纤维的使用温度。所以该玄武岩纤维拉伸断裂随温度的变化性质与Fe₂O₃、FeO的含量有一定关系。

该玄武岩纤维纱线的断裂强度在250℃之前随着温度的升高而增大,究其原因,可能是纤维在常温到100℃时,纤维中所含有的少量水分子被逐渐转移到纤维表面,最终蒸发脱离纤维,水分子脱出,纤维内部结构得到部分改善,致使纤维的抗拉强力增加。温度继续升高,玄武岩纤维纱线的断裂强度持续增加,可能是纤维内部部分成分发生反应,结构发生变化,纤维本体中原有的结构缺陷得到一定的改

善,导致纤维的力学强度提高;而纤维纱线在160~250℃区间内强力增加较大,说明该温度区间较适合纤维成分发生反应。

当温度超过250℃时,该纱线的断裂强度随着温度的升高而降低,究其原因可能是纤维原有的固态结构被逐渐破坏,纤维开始发生熔融转变,致使纤维的力学性能逐渐降低。

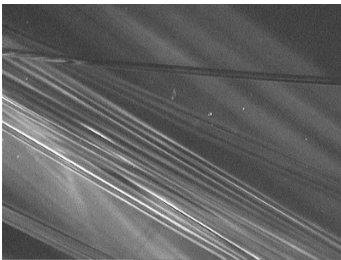
为了提高玄武岩纤维的使用温度,可以通过选取特定成分含量的玄武岩、改变玄武岩纤维的纺丝工艺等方法来达到目的。

2.3 耐酸碱性试验

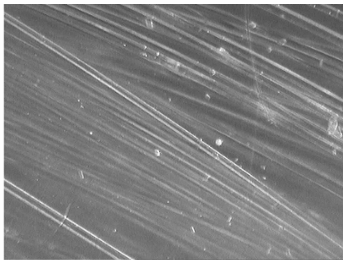
纱线的强度保持率随酸、碱溶液浓度的变化情况如表2所示。图3为酸、碱处理前后纱线的表面形态变化。

表2 纱线的强度保持率随酸、碱溶液浓度的变化

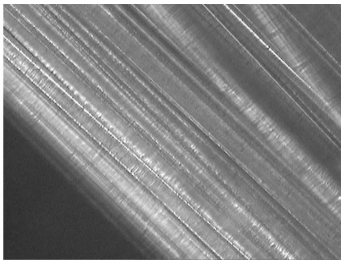
溶液	HCl/(mol/L)				NaOH/(mol/L)				水
	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0	
强度保持率/%	97.66	89.96	82.76	78.31	84.92	70.08	63.96	53.67	98.54



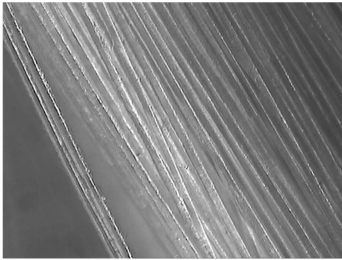
(a) 处理前



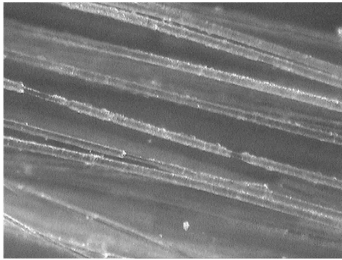
(b) 1.0 mol/L HCl处理



(c) 2.0 mol/L HCl处理



(d) 1.0 mol/L NaOH处理



(e) 2.0 mol/L NaOH处理

图3 纱线的酸、碱处理前后的形态

从表2可以看出,该纱线经过盐酸处理后的强度保持率大于同浓度碱处理后的。经2.0 mol/L的HCl处理,纱线的强度保持率为78.31%,大于文献[4]中所述的65.5%;经2.0 mol/L的NaOH处理,纱线的强度保持率为53.67%,小于文献[4]中所述的81.6%。该玄武岩纤维耐碱性比文献[4]的要差,耐酸性比文献[4]的要好。说明该玄武岩纤维纱线的耐酸性比耐碱性要好。这与文献[5]中所研究的玄武岩纤维耐碱性优于耐酸性的结论恰好相反,表明不同产地的玄武岩制成的纤维耐酸碱性质

不同。

由表2还可看出,该纱线在水中煮沸3 h后的强度保持率不到99%,而文献[4]中所述的玄武岩纤维在水中煮沸3 h后其强度保持率为99.8%。该纱线为有捻纱线,纱线的内层纤维与沸水作用不充分,所以其强度保持率应比无捻纱或单根纤维的强度保持率高,说明该玄武岩纤维纱线耐热水性能较差。

从图3可以看出,玄武岩纤维经酸碱处理后,其表面形态都发生了变化;但是对比图3(b)与图3(d)、图3(c)与图3(e)可以看出,NaOH对玄武岩纤

维的损害比同浓度的 HCl 要大。处理前的玄武岩纤维表面光滑完好无损,经 1.0 mol/L 的 HCl 腐蚀后,纤维基本没有损伤,但经 1.0 mol/L 的 NaOH 腐蚀后,纤维表面开始有毛糙、有缺陷。经 2.0 mol/L 的 HCl 腐蚀后,纤维表面没有明显缺陷,故其强度下降平缓,但经 2.0mol/L 的 NaOH 腐蚀后,纤维遭到了严重破坏,纤维表面缺陷明显增多,纤维直径明显缩小,导致其强度急剧下降。可见碱对该玄武岩纤维的损伤比较严重,其耐碱性不如其耐酸性。

玄武岩纤维的耐酸碱性与其组成成分及成分含量密切相关。玄武岩纤维含有 Fe、Al、Na、Ca、Mg、K、Ti 等一系列金属元素,属于硅铝酸盐系纤维。SiO₂ 是玄武岩纤维最主要的成分,它又是其网络形成物。玄武岩纤维受酸溶液作用时,H⁺ 置换出纤维中的 Fe²⁺、Fe³⁺、Al³⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Ti⁺,这些离子因置换而被析出,而组成纤维最主要成分的 SiO₂ 基本上没有受到影响,所以纤维的强力下降较平缓。玄武岩纤维受碱作用时,OH⁻ 与纤维中的硅氧骨架网络发生反应,导致玄武岩纤维中硅酸盐离子网络发生断裂,碱浓度越高,OH⁻ 越多,OH⁻ 与纤维中的硅氧骨架网络的反应越容易发生,硅氧骨架网络断裂越多,纤维表面缺陷越多,导致纤维强力下降越快。

总的来说,该玄武岩纤维纱线具有优良的耐热水性、耐酸性、耐碱性能良好。

3 结 论

a) 该玄武岩纤维纱线在 160~250℃ 区间内的

断裂强度相比原始强度增加了 18%,当温度达到 310℃ 时,纱线的拉伸断裂强力与常温相比还能保持 98%,所以该纱线在 160℃~310℃ 高温条件下物理性能保持较好。

b) 玄武岩纤维纱线在 400℃ 度以下的断裂伸长率不到 3%,说明在 400℃ 以内的条件下具有良好的尺寸稳定性。

c) 该玄武岩纤维纱线在盐酸浓度为 0.5 mol/L 时,纱线的强度保持率为 98%,在盐酸浓度为 2.0 mol/L 时,纱线强度保持率仍有 78%;纱线在氢氧化钠浓度为 0.5 mol/L 时,其强度保持率为 85%,当碱浓度达到 2.0 mol/L,其强度保持率为 54%。该玄武岩纤维纱线耐酸性强于耐碱性,但总体来说,纱线的耐酸、碱性能较好,可用于 pH 值为 1~14 的各种除尘工况作业。

参考文献:

[1] 李新娥. 玄武岩纤维在高温烟气过滤上的应用[J]. 纺织科技进展, 2007(5): 18-19.
[2] 金友信. 玄武岩纤维组成及优异性能[J]. 山东纺织科技, 2010(2): 37-40.
[3] 王晓舜. 玄武岩纤维性能与用途探讨[J]. 纺织科技进展, 2010(1): 40-42.
[4] 王明超, 张佐光, 孙志杰, 等. 连续玄武岩纤维及其复合材料耐腐蚀特性[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(10): 1255-1258.
[5] 周荣稳, 宋鹏飞, 王秋美. 玄武岩纤维纱线的性能研究[J]. 山东纺织科技, 2010(3): 3-5.

Experimental Study on the Properties of Basalt Fiber Yarn

WU Xia¹, CHEN Wei-lai¹, WANG Zhi-jun², YU Cai-fen²

- (1. School of Materials and Textiles, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;
2. Shaoxing Silver Bridge Spinning and Weaving Co., Ltd., Shaoxing 312069, China)

Abstract: The tensile strength, high temperature resistance, as well as acid and alkali resistances of a basalt fiber twisted yarn were studied. The thermal stability test indicated that the tensile breakage strength of the basalt fiber twisted yarn increased with increased temperature below 250℃, but decreased with increased temperature above 250℃. The acid and alkali resistance tests indicate that the acid resistance of this basalt fiber is better than its alkali resistance.

Key words: basalt fiber; yarn; strength; high temperature resistance; acid and alkali resistance

(责任编辑: 张祖尧)