

攀西地区某用于制造纤维的玄武岩工艺矿物学研究

张凯军^{1,2}, 霍冀川^{1,2}, 黄阳^{1,2}, 于鹏鹏², 李俊², 李兴平², 霍泳霖^{1,2}

(1. 环境友好能源材料国家重点实验室, 四川 绵阳 621010; 2. 西南科技大学材料科学与工程学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 用于制造玄武岩纤维的玄武岩原料性质是影响其产品性能的关键因素。本文通过X射线荧光光谱仪、X射线衍射仪、岩矿鉴定分析等手段, 对攀西地区某用于制造纤维的玄武岩的化学成分组成、矿物组成及嵌布特征等进行了详细研究。结果表明该玄武岩中主要矿物为斜长石、辉石、绿泥石和石英, 还有少里的磁铁矿等金属矿物, 其中二氧化硅和三氧化二铝总量达到64.28%, TFe品位为13.65%, 玄武岩中主要矿物的嵌布关系与当前工业化生产用的玄武岩原料基本一致。由于铁质组分对玄武岩纤维制备工艺和产品性能的影响较大, 还对该玄武岩进行初步的磁选除铁实验, 并成功获得了高铁玄武岩和高铁玄武岩, 为玄武岩纤维的制备提供了多种可能的原料。

关键词: 玄武岩; 玄武岩纤维; 工艺矿物学; 嵌布特征; 磁选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.02.028

中图分类号: TD924 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 02-0163-05

玄武岩纤维, 是以玄武岩矿石为原料, 在高温下熔融拉丝而得到的一种高性能的无机矿物纤维, 已被我国列为重点发展的四大纤维之一(碳纤维、芳纶、超高分子量聚乙烯、玄武岩纤维)。它具有原料充足、绿色环保、耐高温、化学稳定性好、抗拉强度高特点, 性能优良。玄武岩纤维及其复合材料在电子、汽车、消防、建筑、军事、石油化工、航天航空等高科技技术领域都发挥着重要作用, 有很好的应用前景^[1]。

然而, 用于制造玄武岩纤维的天然玄武岩矿石成分及组成波动大, 不同地区都有所差异, 没有非常固定的组成和比例, 且由玄武岩原矿制备的玄武岩纤维的性能, 取决于玄武岩原料的化学成分及其质量分数, 所以并不是所有地方的玄武

岩都是制造玄武岩纤维的优质原料。但是天然玄武岩原矿的化学成分还是比较相似的, 主要有: SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 K_2O 、 TiO_2 、 CaO 等及少量的其他杂质, 只是在各成分的含量上有些差别^[2]。

现在玄武岩纤维的原料选取主要有两种主要方式, 其一是根据配方直接寻找符合度较好成分波动小且储量较丰富的玄武岩矿石, 后经过人工配料、混料得到符合要求的原料, 可以称为配合工艺, 另一种则不经过配料且仅以玄武岩矿石作为制备纤维的原料, 这种对玄武岩原矿的要求更高, 可以称为原矿工艺。两者对比起来本各有优劣, 配合工艺的原矿选择面广原材料易得但需要额外消耗其他配料在混料中也需要额外能耗,

收稿日期: 2019-12-05; 改回日期: 2020-02-22

基金项目: 四川省先进材料重大科技专项项目 (2019ZDZX0023)

作者简介: 张凯军 (1995-), 男, 硕士, 主要研究方向为玄武岩选矿研究。

通讯作者: 霍冀川 (1962-), 男, 硕士, 教授, 主要研究方向为玄武岩纤维原矿与高性能玄武岩制备, E-mail: huojichuan@swust.edu.cn

而原矿工艺由于只用矿石原料相对节省能耗也无需消耗其他资源,但由于对原矿要求高很难找到相符的原矿,同时相符原矿的储量不高也是制约其发展的重要原因之一。

当前,攀西某地的玄武岩被用作配合工艺制造玄武岩纤维的原料,为了高效合理的利用和开发该资源,本研究系统的考察该玄武岩矿石的工

艺矿物学特征^[3-6],并在此基础上开展初步的磁选除铁实验,获得了一定的选别指标,为利用该玄武岩制造玄武岩纤维提供参考。

1 玄武岩矿石的物质组成

1.1 玄武岩矿石的主要化学成分分析

玄武岩矿石的主要化学成分分析结果见表1。

表1 玄武岩矿石主要化学成分分析结果 /%

Table 1 Analysis results of main chemical composition of the samples

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	BaO	SrO	ZrO ₂	SO ₃	CuO	ZnO	Cl
49.17	15.11	4.55	9.10	9.34	4.09	3.87	2.4	1.43	0.5	0.16	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01

可以看出玄武岩矿石的主要化学成分是SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、FeO、CaO、MgO、TiO₂、Na₂O、K₂O和少量的P₂O₅、MnO、BaO、SrO、ZrO₂、SO₃、CuO、ZnO等。

其中SiO₂和Al₂O₃是玄武岩所含有的基本氧化物,由它们组成纤维的结构骨架,他们的含量会影响熔体的粘度,含量增加更容易制备长纤维但同时也需要形成纤维的温度也会提高,基本氧化物含量在60%~80%时,纤维具有较好的强度,热稳定性和化学稳定性,此矿石基本氧化物含量为64.28%,在此范围内;铁质组分能够影响玄武岩的热性能,提高纤维的使用温度,使玄武岩纤维具有高温稳定性^[7],但是铁质组分的含量影响纤维的结晶能力,当其含量高时,在纤维形成过程中会形成磁铁矿,其中铁离子在磁铁矿结构中占据八面体位置,而磁铁矿在此过程中会沉积在坩埚底部,堵塞喷丝头开口,导致纤维断裂,不利用长纤维的制造^[8-11],因此通过磁选得到铁品位不同的玄武岩纤维原料对后续配料生产高性能纤维有重要意义。

1.2 玄武岩矿石的矿物组成

原矿矿物成分分析结果见表2。

表2 玄武岩矿石主要矿物成分分析结果

Table 2 Analysis results of main mineral composition of the samples

矿物名称	斜长石	辉石	绿泥石	石英	磁铁矿	钛铁矿	黄铜矿	斑铜矿
含量 /%	45.64	27.07	14.69	9.59	3.01	偶见	偶见	偶见

由表2可知,矿石中的主要矿物为斜长石,其他矿物还有辉石、绿泥石、石英、磁铁矿等,其中其中铁质组分主要分布在磁铁矿、辉石和绿泥石中,磁铁矿属于强磁性矿物,可以在较弱的磁场下分离;绿泥石、辉石属于弱磁性矿物,需要在磁场强度H=480~1840 kA/m的磁选机才可以选出;斜长石,石英属于非磁性矿物,可以通过强磁选使之与磁性矿物分离。

2 玄武岩矿石的类型与结构构造

2.1 玄武岩矿石结构构造

玄武岩矿石为亚碱性拉斑玄武岩,具斑状结构,主要为斜长石,辉石斑晶,基质是介于粗玄结构和间隐结构之间的过渡结构,也称间粒间隐结构,在杂乱排列的斜长石长条状微晶形成的间隙中,除了有粒状辉石和磁铁矿外,还有隐晶质物质^[12]。基质主要成分为斜长石、辉石、绿泥石、石英、隐晶质集合体及金属矿物等。

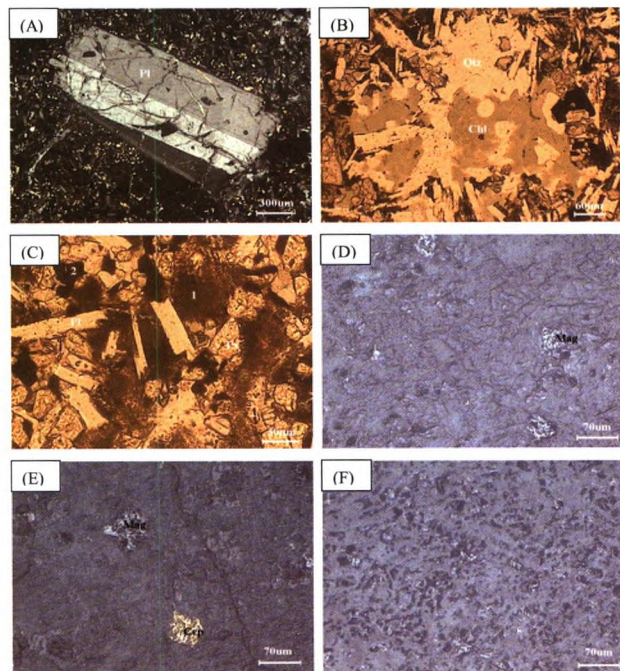
矿石主要为气孔状构造、局部杏仁状构造,杏仁体含量为2%~25%,形态有椭圆状、扁豆状、水滴状等,杏仁体中的填充物主要为绿泥石和石英。

2.2 玄武岩矿石中主要矿物的结构和嵌布特征

(1) 斜长石

斜长石是矿石中含量最多的矿物,约占46%,斜长石斑晶,呈自形厚板状,大小约0.4~3.00 mm,表面干净光亮,轻微绢云母化、绿泥石化蚀变,以单体或团块状集合体分布在基质中;在基质中的

斜长石，板条状，针状，大小约 0.04 ~ 0.20 mm，轻微绢云母化，绿泥石化蚀变，均匀分布（见图 1A、C）。



(A) 自形厚板状斜长石斑晶，透射正交光；(B) 填充在气孔中细微晶石英及绿泥石，透射单偏光；(C) 基质中的斜长石、辉石、磁铁矿及隐晶质集合体，透射单偏光；(D) 自形、半自形粒状磁铁矿颗粒，反射光；(E) 偶见黄铜矿颗粒，反射光；(F) 磁铁矿及其他金属矿呈星点状、浸染状分布于辉石颗粒及隐晶质集合体中。Pl. 斜长石；Chl. 绿泥石；Qtz. 石英；Px. 辉石；Mag. 磁铁矿；Ccp. 黄铜矿。

图 1 玄武岩矿石显微镜下特征

Fig.1 Microphotographs showing ore characters of the basalt deposit

(2) 辉石

辉石，粒状，大小约 0.02 ~ 0.07 mm，具绿泥石化蚀变，蚀变析出铁质矿物呈尘状分布在其颗粒表面，均匀分布在斜长石颗粒，含量约 27%（见图 1A、C）。

(3) 绿泥石

绿泥石，分布在斜长石间或充填在气孔中构成杏仁状构造，含量约 14%（见图 1B、C）。

(4) 石英

石英呈细微晶充填在气孔中，含量约 9%（见图 1B）。

(5) 金属矿物

金属矿物主要为磁铁矿及少量钛铁矿、黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿，磁铁矿两种赋存形式，一

为自形、半自形粒状，分布斜长石、隐晶质集合体间，大小约 0.01 ~ 0.06 mm，含量约 2%，另一种呈星点状、浸染状分布在辉石颗粒表面及隐晶质集合体中，大小约 0.004-0.01 mm，含量约 1%（见图 1D、E、F）。

3 选矿实验

3.1 磁选实验

由上述分析可知，铁组分可能对玄武岩纤维制备和性能造成影响，故得到适宜制备连续玄武岩纤维的低铁玄武岩原料很有必要。因此，本文针对攀西地区某用于制造纤维的玄武岩进行了初步的磁选除铁实验。根据工艺矿物学研究选择原矿细度为 -0.10 mm 53% 的条件下进行弱磁选磁场强度条件实验，考察磁选指标与背景场强的关系，实验结果见图 2、3。

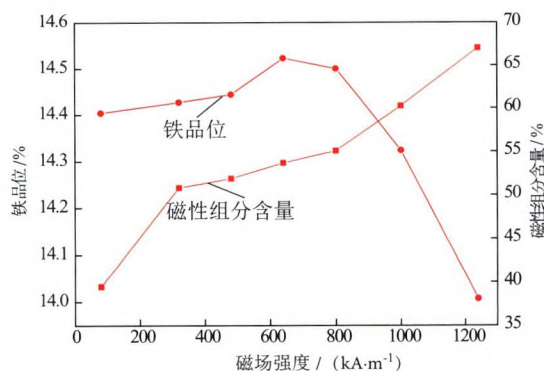


图 2 强磁选磁场强度对磁性组分选别指标的影响

Fig.2 Effect of magnetic separator for field intensity on the magnetic component selection index of high-intensity magnetic separation

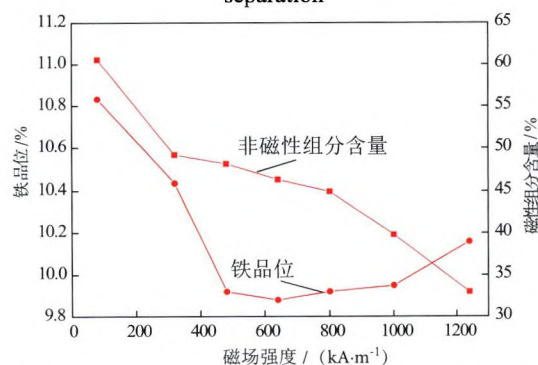


图 3 强磁选磁场强度对贫磁组分选别指标的影响

Fig.3 Effect of magnetic separator for field intensity on the nonmagnetic component selection index of high intensity magnetic separation

由图 2, 3 结果可知: 随着磁场强度的增加, 高铁样品铁的品位呈现先增加后降低的趋势, 磁性组分的含量在逐渐增加, 低铁样品铁的品位呈现先逐渐降低后增加的趋势, 非磁性组分的含量逐渐减少。在 640 kA/m 的磁场强度下, 低铁样品铁品位最低为 9.88%。在此条件实验中, 遵循重品位次回收率的原则, 选定较佳的强磁选磁场强度为 640 kA/m。

3.2 磁选产品分析

为了进一步了解磁选产品的矿物特性, 查明各种矿物的走向, 对在较佳的磁场强度 640 kA/m 的强磁选产品进行了化学成分、矿物相组成分析。

3.2.1 磁选产品的化学成分分析

磁选产品与原矿的化学成分分析结果见表 3。

表 3 样品的化学成分分析结果 /%

Table 3 Analysis results of main chemical composition of the samples

	TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	其他
原矿	13.65	49.17	15.11	9.34	4.09	3.87	2.4	2.37
高铁样品	14.52	48.59	14.71	9.30	4.13	4.21	2.30	2.24
低铁样品	9.88	52.07	16.60	9.58	3.69	3.06	2.69	2.43
格鲁吉亚 拉丝成功	9.78	51.65	15.85	9.35	6.1	-	-	-

表 3 结果表明, 玄武岩矿石经过强磁选工艺, 高铁样品中含铁矿物得到了一定的富集, 铁品位有所提高, 低铁样品中铁的品位得到了有效地降低, 和原矿比, 降低了 3.77 个百分点, 且低铁样品与原矿相比, 与格鲁吉亚拉丝成功的高性能纤维使用原料的成分组成更为接近^[13]。

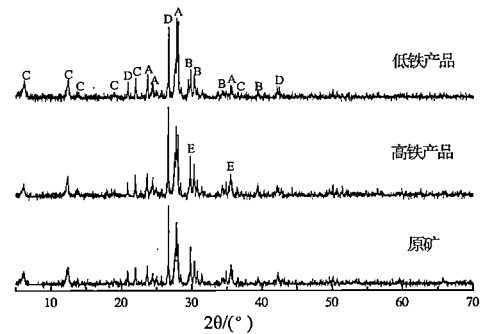
3.2.2 磁选产品的矿相分析与 X 射线衍射谱图分析

磁选产品的 XRD 图谱分析结果见图 4, 矿相分析结果见表 4。

表 4 磁选产品中主要矿物的物相分析

Table 4 Analysis results of main mineral composition of the samples

样品	主要矿物组成 /%				
	斜长石	辉石	石英	绿泥石	磁铁矿
原矿	45.64	27.07	9.59	14.69	3.01
高铁产品	39.91	32.82	6.88	16.15	4.24
低铁产品	55.03	23.10	11.31	10.56	0



A- 斜长石, B- 辉石, C- 绿泥石, D- 石英, E- 磁铁矿

图 4 磁选产品与原矿的 XRD 谱图分析

Fig. 4 XRD spectrum of the samples

表 4 和图 4 结果分析可知, 与原矿相比高铁样品中的磁铁矿、辉石、绿泥石的含量都有所增加, 斜长石和石英的含量相对减少, 低铁样品与之相反且没有在低铁产品中找到磁铁矿, 表明强磁选工艺可以有效对玄武岩的铁质组分进行分离。

4 结 论

(1) 攀西地区某玄武岩为亚碱性拉斑玄武岩, 主要矿物为斜长石、辉石、石英、绿泥石和磁铁矿等。矿石全铁的品位为 13.65%, 铁质组分主要分布在强磁性矿物磁铁矿和弱磁性矿物辉石及绿泥石中。

(2) 矿石主要为气孔状构造、局部杏仁状构造, 矿石的基质为间粒间隐结构, 同时具斑状结构, 主要为斜长石、辉石斑晶。

(3) 较佳的强磁选磁场强度为 640 kA/m, 通过强磁选除去了玄武岩中磁铁矿和部分辉石和绿泥石, 使矿石全铁的品位由 13.65% 降至 9.88%, 达到预先指标, 为之后的选矿与纤维制造工作提供指导与参考。

参考文献:

- [1] 张晓青, 冯静, 王仁舒, 等. 玄武岩纤维的研究进展及应用[J]. 山东化工, 2019, 48(4):53-54.
ZHANG X Q, FENG J, WANG R S, et al. Research progress and application of basalt fiber [J]. Shandong Chemical Industry, 2019, 48(4):53-54.
- [2] 曹海琳, 郎海军, 孟松鹤. 连续玄武岩纤维结构与性能实验研究[J]. 高科技纤维与应用, 2007, 32(5):8-13.

CAO H L, LANG H J, MENG S H. Experimental study on structure and properties of continuous basalt fiber [J]. High Technology Fiber and Application, 2007, 32(5):8-13.

[3] 程强, 任瑞晨, 李彩霞, 等. 辽宁某地区低品位长石矿选矿提纯实验研究 [J]. 非金属矿, 2013 (3):41-42.

CHENG Q, REN R C, LI C X, et al. Experimental study on beneficiation and purification of low-grade feldspar ore in a certain area of Liaoning Province [J]. Nonmetallic Ore, 2013 (3):41-42.

[4] 喻福涛, 管俊芳, 杨晓军. 四川某云母矿的工艺矿物学研究 [J]. 化工矿物与加工, 2018 (2):19-22.

YU F T, GUAN J F, YANG X J. Study on process mineralogy of a mica ore in Sichuan [J]. Chemical Minerals and Processing, 2018 (2):19-22.

[5] 谢峰, 简胜, 张曙光, 等. 云南某半风化钛铁矿工艺矿物学研究 [J]. 矿冶, 2016, 25 (3):89-92.

XIE F, JIAN S, ZHANG S G, et al. Study on process mineralogy of a semi-weathered ilmenite from Yunnan [J]. Mining and Metallurgy, 2016, 25 (3):89-92.

[6] 汪灵, 陈磊, 李彩侠, 等. 四川峨边五渡钾长石矿工艺矿物学研究 [J]. 矿物岩石, 2011, 31(4):1-6.

WANG L, CHEN L, LI C X, et al. Study on process mineralogy of Wudu potash feldspar deposit in Ebian, Sichuan [J]. Journal of Mineral Petrology, 2011, 31(4):1-6.

[7] 董丽茜, 陈进富, 郭春梅, 等. 玄武岩纤维在环保领域的应用研究现状及展望 [J]. 当代化工, 2018(2):387-391.

DONG L Q, CHEN J F, GUO C M, et al. Research status and prospect of basalt fiber application in environmental protection field [J]. Contemporary Chemical Industry, 2018(2):387-391.

[8] 金友信. 玄武岩纤维组成及优异性能 [J]. 山东纺织科技, 2010, 51(2):37-40.

JIN Y X. Composition and excellent properties of basalt fiber [J]. Shandong Textile Science and Technology, 2010, 51(2):37-40.

[9] Pisciotta A, Perevozchikov B V, et al. Quality Assessment of Melanocratic Basalt for Mineral Fiber Product, Southern Urals, Russia [J]. Natural Resources Research, 2015, 24(3):329-337.

[10] Perevozchikova B V, Pisciotta A, Osovetsky B M, et al. Quality Evaluation of the Kuluevskaya Basalt Outcrop for the Production of Mineral Fiber, Southern Urals, Russia [J]. Energy Procedia, 2014, 59:309-314.

[11] Bandyopadhyay A K, Zarzycki J, Auric P, et al. Magnetic properties of a basalt glass and glass-ceramics [J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 1980, 40(1-3):353-368.

[12] 马鸿文. 工业矿物与岩石. 第3版 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011:213-214.

MA H W. Industrial minerals and rocks. The 3rd edition [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011:213-214.

[13] 黄毅, 潘启权. 贵州大方白龙村建筑用玄武岩矿转变为纤维用玄武岩的探讨 [J]. 有色金属设计, 2018, 45(1):18-20.

HUANG Y, PAN Q Q. Discussion on the transformation of building basalt mine into fiber basalt in Bailong village, Dafang, Guizhou [J]. Nonferrous Metal Design, 2018, 45(1):18-20.

Research on Process Mineralogy of a Basalt Ore Used to Manufacturing Fiber in Panxi

Zhang Kaijun^{1,2}, Huo Jichuan^{1,2}, Huang Yang^{1,2}, Yu Pengpeng², Li Jun², Li Xingping², Huo, Yonglin^{1,2}
(1.State Key Laboratory of Environment-friendly Energy Materials, Mianyang, Sichuan, China; 2.School of Materials Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan, China)

Abstract: The nature of basalt materials is a key factor affecting the performance of basalt fiber products. In this paper, the chemical composition, mineral composition and mineral dissemination characteristics of the ore were deeply analyzed by optical microscopy, chemical analysis, X-ray diffraction, X-ray fluorescence and other analytical methods. The results show that the main minerals in this basalt ore are plagioclase, pyroxene, chlorite and quartz, and a small amount of metal minerals such as magnetite. The total amount of silica and alumina is 64.28%, and the TFe grade is 13.65%. Since the iron component has a great influence on the preparation process and product properties of the basalt fiber, a preliminary magnetic separation and iron removal test is performed on the basalt. High-iron basalt and low-iron basalt have been successfully obtained, providing a variety of possible raw materials for the preparation of basalt fiber.

Keywords: Basalt ore; Basalt fiber; Process mineralogy; Dissemination characteristics; Magnetic separation