

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2022.05.07

引用格式: 张航飞, 韩晓影, 钟强生, 等. 四川省峨边县玄武岩特征及开发利用前景[J]. 中国地质调查, 2022, 9(5): 61–68.
(Zhang H F, Han X Y, Zhong Q S, et al. Characteristics and development prospects of basalt in Ebian County, Sichuan Province[J]. Geological Survey of China, 2022, 9(5): 61–68.)

四川省峨边县玄武岩特征及开发利用前景

张航飞^{1,2}, 韩晓影³, 钟强生¹, 竹合林¹, 梁成¹, 郭文彦¹

(1. 四川省地质矿产勘查开发局二零七地质队, 四川 乐山 614000; 2. 张金元劳模创新工作室, 四川 乐山 614000; 3. 华北理工大学 矿业工程学院, 河北 唐山 063210)

摘要: 四川省峨边县玄武岩矿资源丰富, 但尚无开发利用纤维用玄武岩的矿山。从玄武岩的矿石组构、化学成分和玄武岩拉丝性能判别指标 3 个方面开展纤维用玄武岩评价工作。研究结果显示: 研究区致密块状玄武岩和杏仁状玄武岩多属拉斑系列与碱性系列的过渡型岩石, 玻基玄武岩均为碱性系列; 拉斑玄武岩系列矿石的化学成分具有 SiO_2 含量较高、 $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 和 TiO_2 含量较低、 FeO/MgO 值较大的特征; 区内致密块状玄武岩适合连续玄武岩纤维生产, 而杏仁状玄武岩的杏仁中含有石英和方解石等次矿物, 玻基玄武岩具有火山玻璃成分含量高、杏仁状构造及酸度系数过高等特征, 均不宜作为生产玄武岩纤维的原料。研究区玄武岩矿具备纤维用玄武岩资源储备地的潜力, 建议采用综合开发的方式利用玄武岩矿资源。

关键词: 纤维用玄武岩; 化学成分; 开发利用; 四川省峨边县

中图分类号: P588.14

文献标志码: A

文章编号: 2095–8706(2022)05–0061–08

0 引言

我国已把玄武岩纤维列为重点发展的四大纤维之一, 实现了工业化生产^[1]。玄武岩连续纤维已在纤维增强复合材料、摩擦材料、造船材料、隔热材料、汽车行业、高温过滤织物以及防护领域等得到了广泛应用^[2]。然而目前针对纤维用玄武岩原矿开展的研究工作较少, 矿源保障与产业发展存在矛盾^[3]。2017 年四川省率先开展了省内纤维用玄武岩矿的调查与评价工作, 并于省内中二叠统的峨眉山玄武岩组中发现了 4 个适宜连续玄武岩纤维生产的矿体, 其中 1 个矿体位于乐山市金口河区, 另外 3 个位于凉山州^[3]。

前人研究表明微晶玄武岩、辉绿岩、斑状玄武岩、杏仁状玄武岩、玻基玄武岩等岩石类型都可以进行玄武岩拉丝^[4–5]。纤维用玄武岩矿的性能主要受岩石矿物组成、熔融温度、熔体黏度、拉丝温

度、烧失量等因素影响, 其评价体系有岩矿体系、成分体系、黏温体系等^[3]。纤维用玄武岩对岩石组构要求较高, 其中粗玄结构、拉斑玄武结构、玻基斑状结构、玻璃质结构等对玄武岩纤维制备工艺与性能的影响显著^[6]。此外, 玄武岩的化学成分^[3, 7–10]和拉丝性能判别指标^[11–13]也决定着其是否可作为纤维用玄武岩原矿。

四川省峨边县玄武岩广泛分布, 现有建筑用玄武岩矿山 20 个, 尚未开展纤维用玄武岩的评价工作。本文采取野外露头调查、钻探工程、地球化学等手段, 测试分析了研究区玄武岩的矿石组构、化学成分、酸度系数、黏度系数等评价指标, 研究成果有利于拓展区内玄武岩矿石的开发价值。

1 研究区地质概况

1.1 区域地质背景

研究区位于峨边县城 115° 方向, 距离县城约

收稿日期: 2022–02–09; 修订日期: 2022–07–15。

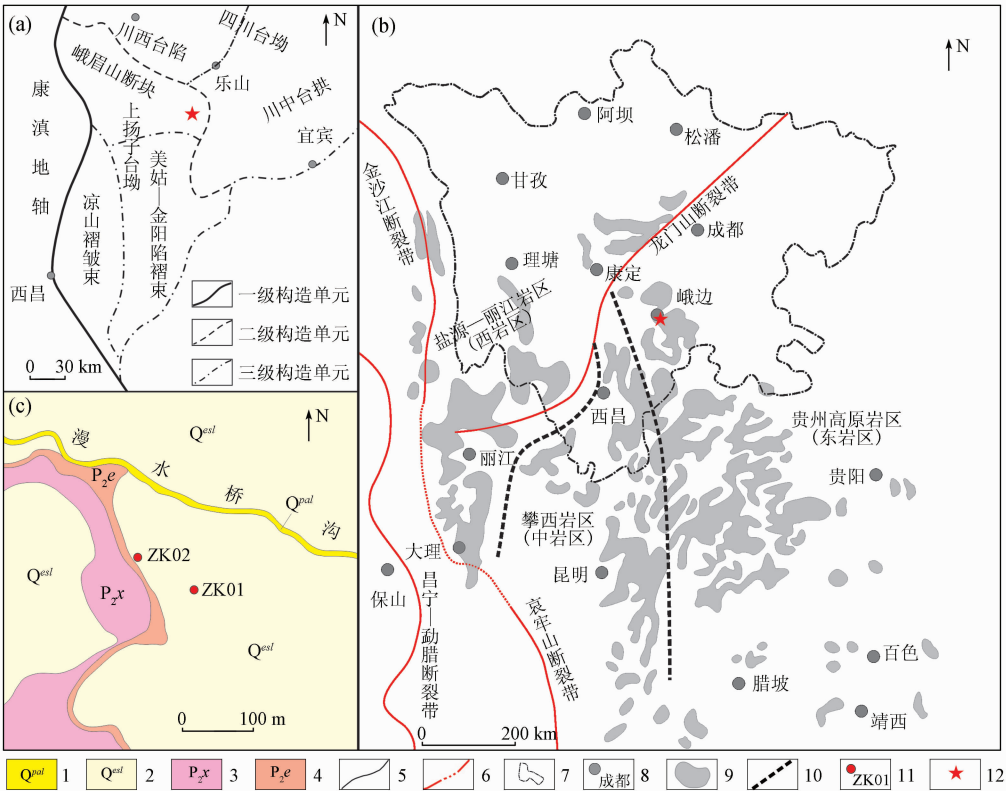
基金项目: 四川省地质矿产勘查开发局“峨边县沙坪镇玄武岩地质勘查(编号: 2021–37)”项目资助。

第一作者简介: 张航飞(1990—), 男, 工程师, 主要从事地质调查与矿产勘查工作。Email: 765316210@qq.com。

通信作者简介: 韩晓影(1989—), 女, 讲师, 主要从事地质调查与矿业工程工作。Email: hanxiaoying_cup@126.com。

2.5 km,大地构造单元属于扬子准地台—上扬子台坳—峨眉山断块(图 1(a))^[14]。前人将峨眉山玄武岩分为西岩区(盐源—丽江岩区)、中岩区(攀西岩区)和东岩区(贵州高原岩区)等^[3],峨边县的峨眉山玄武岩位于东岩区,覆盖面积约占峨边县县域面积的 1/3,约 600 km²(图 1(b))。区内玄武岩厚约 270~800 m,具多个喷发旋回,每个旋回又分为若干个韵律层,多旋回、多韵律层的存在使区内发

育多层化学性质相对稳定的致密块状玄武岩^[15]。区内及周边地区出露地层包括二叠中统峨眉山玄武岩组、宣威组和第四系,断裂构造不发育,地质构造简单(图 1(c))。区内地层主要发育于苦木山—石碑岗向斜东南翼和九坝背斜北翼,玄武岩矿体呈单斜层状产出,赋存于下二叠统茅口组与上二叠统宣威组之间。



1. 第四系冲洪积层; 2. 第四系残坡积层; 3. 中二叠统宣威组; 4. 中二叠统峨眉山玄武岩组; 5. 地质界线; 6. 实测及推测断裂; 7. 四川省界; 8. 地名; 9. 玄武岩分布区; 10. 岩区分界线; 11. 钻孔位置及编号; 12. 研究区位置。

图 1 研究区构造位置(a)^[14]、峨眉山玄武岩分布(b)^[3]以及区域地质简图(c)

Fig.1 Tectonic location (a)^[14], Emei Mountain basalt distribution (b)^[3] and geological sketch map (c) of the study area

1.2 矿层特征

研究区玄武岩矿体赋存于二叠系峨眉山玄武岩组上部,呈层状产出,矿体倾向北西,倾角 7°~11°,为缓倾斜矿床,主要为一套以似熔岩为主的陆相喷发玄武岩,属陆相裂谷裂隙喷溢的产物,岩性主要以深灰色致密块状玄武岩为主,其次为灰绿色杏仁状玄武岩、褐黑色玻基玄武岩等(图 2)。玄武岩矿层顶部常发育 0~1.5 m 厚的强风化玄武岩,泥质含量高(5%~10%),岩石结构、构造大部分已被破坏,钻孔岩心呈不规则碎块。玄武岩矿层的顶

板为宣威组黏土岩层,残余厚度 0~1.0 m,岩性多为紫红色铁质黏土岩,与下伏峨眉山玄武岩呈假整合接触。区内宣威组多遭受剥蚀,矿层顶板为第四系残坡积层或冲洪积层,残坡积层岩性主要由松散黏土、中粗砂、细砾石组成,含少量植物残体和腐殖质;冲洪积层岩性多为灰、深灰色卵石、砂卵砾石,卵石成分较简单,以砂岩、玄武岩为主,砾径一般 5~30 cm,呈椭圆状、次圆状。矿层的底板为下二叠统茅口组灰岩,研究区钻孔及露头未揭露。

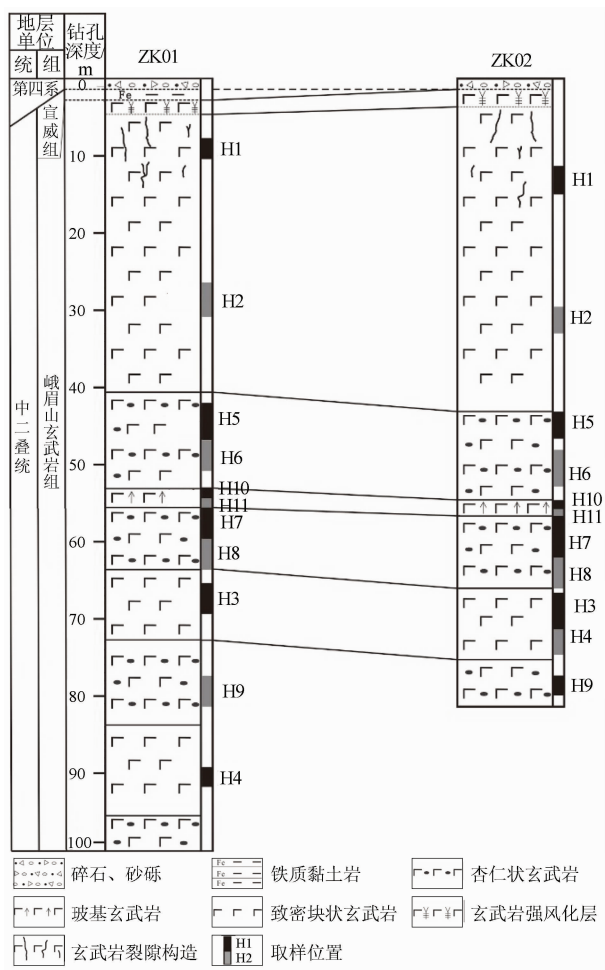


图2 研究区钻孔综合柱状对比图和取样位置
Fig.2 Comprehensive profile of boreholes and sampling location in the study area

2 矿石特征

本研究的玄武岩样品采集自峨边县峨星村的钻孔岩心,均为全段组合样,岩石类型包括致密块状玄武岩、杏仁状玄武岩和玻基玄武岩3种。选取

部分样品磨制薄片,在偏光显微镜下进行观察。

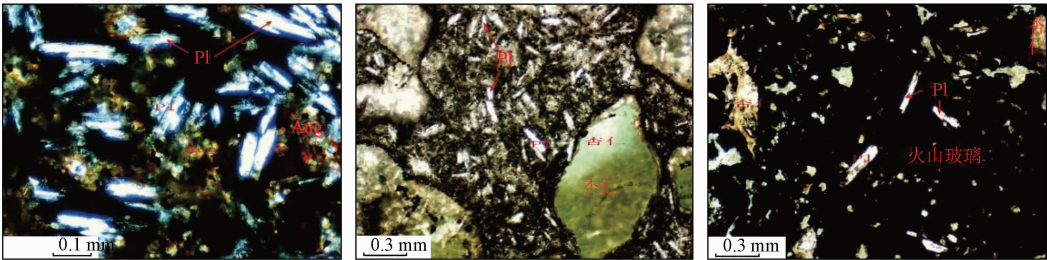
岩心样品中,致密块状玄武岩呈间隐间粒结构,块状构造(图3(a)),主要由斜长石(50%~55%)、普通辉石(5%~25%)和隐晶质(20%~45%)组成,普通辉石、隐晶质充填在斜长石间隙中,形成间隐间粒结构;斜长石主要呈细小微晶板状、针状杂乱交错分布,无色,晶粒粒径0.05~0.3mm;隐晶质基质主要呈浅褐色,少量蚀变为棕色黑云母;普通辉石呈它形粒状,粒径0.02~0.05mm(图3(d))。杏仁状玄武岩多为间隐间粒结构,杏仁状构造与块状构造(图3(b)),主要由斜长石(35%~55%)、杏仁(10%~35%)、隐晶质(20%~35%)、普通辉石(0%~25%)组成,普通辉石、隐晶质充填斜长石间隙中,形成间隐间粒结构;斜长石主要呈细小板状杂乱交错分布,粒径0.05~0.5mm,颗粒见绢云母化;隐晶质基质主要呈浅褐色,少量蚀变为绿泥石;普通辉石呈它形粒状,粒径0.02~0.15mm;杏仁形态呈不规则状,粒径0.5~10mm,由石英、绿泥石、方解石等矿物充填;绿泥石主要呈绿色片状、鳞片状集合体充填在岩石气孔中,或呈微晶集合体充填在斜长石晶粒之间,主要为隐晶质组分蚀变的结果,少量绿泥石主要为斜长石、辉石等蚀变的产物(图3(e))。玻基玄武岩为玻基斑状结构,杏仁状构造与块状构造(图3(c)),主要由斜长石斑晶(2%~7%)、火山玻璃基质(58%~63%)、杏仁(30%~40%)组成,斑晶杂乱分布于基质中,斜长石斑晶呈无色、自形长板状,粒径0.2~0.5mm。基质由火山玻璃组成,呈褐黑色。杏仁呈不规则状-圆状,粒径0.1~2.5mm,由石英、绿泥石充填(图3(f))。



(a) 致密块状玄武岩岩心照片 (b) 杏仁状玄武岩岩心照片 (c) 玻基玄武岩岩心照片

图3-1 研究区玄武岩岩心与正交偏光照片

Fig.3-1 Core and orthogonally polarized photographs of basalt in the study area



(d) 致密块状玄武岩正交偏光照片 (e) 杏仁状玄武岩正交偏光照片 (f) 玻基玄武岩正交偏光照片
Pl. 斜长石; Aug. 普通辉石

图 3-2 研究区玄武岩岩心与正交偏光照片

Fig. 3-2 Core and orthogonally polarized photographs of basalt in the study area

3 纤维用玄武岩评价

3.1 矿石组构

从岩石的结构和矿物组成看(图 3),研究区致密块状玄武岩和杏仁状玄武岩作为玄武岩纤维用原料的综合表现接近拉斑玄武岩,其熔融温度较低,熔体的化学成分均匀,黏度和表面张力等物理性能变化小,是生产玄武岩纤维的潜在对象^[6]。研究区玻基玄武岩由于含大量玻璃质,在熔制过程中继承了玻璃质结构岩石的特点,且所含的斑晶会增加熔体成分和物理性质的不均匀性,对于拉丝工艺控制和产品质量保障具有负面影响^[6]。

玄武岩中的杏仁状构造对玄武岩纤维制备工艺与性能有一定的不利影响^[6]。研究区的杏仁状

玄武岩和玻基玄武岩均发育杏仁状构造,其中杏仁中的石英具有较高的熔点和极高的黏度,会在玄武岩熔体中形成黏度极不均匀的条纹或节瘤,严重影响拉丝工艺和纤维质量^[6];方解石在高温下会释放 CO₂并形成气泡,对玄武岩纤维拉丝过程及其纤维质量产生极为不利的影响^[6]。川西南地区峨眉山玄武岩以大陆溢流相为主^[16],区内玄武岩为巨厚的岩流或岩被,呈面状产出。从矿石组构看,区内溢流相的致密块状玄武岩是制备玄武岩纤维的优选原料。

3.2 矿石化学成分

地球化学测试由四川省峨眉山地质工程勘察院完成,使用仪器为 ICP-6300 型电感耦合等离子发射光谱仪和 GGX-600 型火焰原子吸收分光光度计,分析精度优于 5%,测试结果见表 1。

表 1 研究区玄武岩化学成分及拉丝性能评价指标
Tab. 1 Analysis results of basalt chemical composition and drawing performance
evaluation indexes of samples in the study area

岩性	样品编号	元素含量/%										烧失量/%	酸度系数 (Ma)	黏度系数 (Mv)	FeO/Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SiO ₂ + Al ₂ O ₃				
致密块状玄武岩	ZK01-H1	49.60	12.90	5.50	9.35	7.84	4.00	0.63	2.61	3.87	62.50	3.00	5.28	2.20	1.70
致密块状玄武岩	ZK01-H2	49.81	13.40	5.57	10.02	4.01	4.09	0.34	4.60	4.01	63.20	3.46	7.80	2.40	1.80
致密块状玄武岩	ZK01-H3	49.64	13.10	4.66	9.11	7.87	3.96	2.64	2.02	3.65	62.70	2.66	5.31	2.20	1.96
致密块状玄武岩	ZK01-H4	50.38	13.40	5.08	9.84	6.88	4.07	0.54	2.67	4.09	63.80	2.62	5.83	2.30	1.94
杏仁状玄武岩	ZK01-H5	49.43	12.99	7.52	8.11	5.38	5.45	0.40	4.14	2.66	62.40	3.20	5.76	2.10	1.08
杏仁状玄武岩	ZK01-H6	50.47	12.95	8.08	7.65	5.11	5.52	0.23	4.16	2.51	63.40	2.82	5.97	2.20	0.95
杏仁状玄武岩	ZK01-H7	50.05	13.52	7.13	6.89	6.18	3.84	2.91	2.48	3.76	63.60	2.80	6.35	2.40	0.97
杏仁状玄武岩	ZK01-H8	46.86	12.86	7.09	8.35	4.82	6.08	0.73	3.53	3.92	59.70	4.96	5.48	2.00	1.18
杏仁状玄武岩	ZK01-H9	52.10	13.23	5.03	6.84	3.75	4.31	3.09	2.32	3.68	65.30	4.76	8.11	2.80	1.36
玻基玄武岩	ZK01-H10	51.34	13.08	6.82	7.65	3.16	2.03	6.28	0.60	3.29	64.40	5.13	12.40	3.00	1.12

岩性	样品编号	元素含量/%										烧失量/%	酸度系数 (Ma)	黏度系数 (Mv)	FeO/ Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SiO ₂ + Al ₂ O ₃				
玻基玄武岩	ZK01-H11	51.07	14.23	6.63	6.85	3.24	2.12	5.31	0.27	3.59	65.30	5.70	12.19	3.20	1.03
致密块状玄武岩	ZK02-H1	51.09	13.08	5.25	9.08	5.08	4.19	0.43	4.03	3.91	64.20	3.00	6.93	2.40	1.73
致密块状玄武岩	ZK02-H2	50.60	12.99	5.36	9.36	7.22	3.99	0.63	2.59	3.99	63.60	2.60	5.67	2.30	1.75
致密块状玄武岩	ZK02-H3	47.98	13.32	5.39	9.09	7.78	4.57	1.86	2.27	4.11	61.30	2.94	4.97	2.10	1.69
致密块状玄武岩	ZK02-H4	50.14	13.67	5.24	9.01	6.87	4.05	1.99	2.20	3.74	63.80	2.54	5.84	2.30	1.72
杏仁状玄武岩	ZK02-H5	51.21	13.04	6.58	6.87	4.11	5.06	0.87	3.59	3.61	64.20	4.38	7.00	2.50	1.04
杏仁状玄武岩	ZK02-H6	51.29	12.86	7.18	8.27	4.52	5.61	0.06	4.29	2.46	64.20	3.34	6.33	2.20	1.15
杏仁状玄武岩	ZK02-H7	49.13	12.69	7.07	8.14	4.86	5.71	0.43	3.06	3.57	61.80	4.50	5.85	2.20	1.15
杏仁状玄武岩	ZK02-H8	50.84	13.07	7.06	8.08	5.30	5.36	0.28	4.46	2.64	63.90	2.56	5.99	2.20	1.14
杏仁状玄武岩	ZK02-H9	49.77	13.75	6.29	6.97	4.37	5.84	1.07	2.92	4.01	63.50	4.42	6.23	2.40	1.11
玻基玄武岩	ZK02-H10	51.10	14.43	6.78	7.54	3.17	1.94	5.22	0.20	3.75	65.50	5.73	12.84	3.20	1.11
玻基玄武岩	ZK02-H11	50.83	14.01	6.77	7.38	3.52	2.03	4.87	0.54	3.63	64.80	5.91	11.67	3.10	1.09

目前国内外并未针对连续纤维用玄武岩矿产勘探开发制定具体的行业或国家标准。矿石成分中的 SiO₂ 和 Al₂O₃ 含量主要影响玄武岩熔体黏度、纤维弹性等^[9]；高含量的铁氧化物(FeO 和 Fe₂O₃)可提高纤维的耐高温性能,但会降低其透热性^[8]；CaO 和 MgO 含量则影响原料的熔化和细纤维制取^[9]；适量的 K₂O 与 Na₂O 对提高玄武岩纤维的防水性能和耐腐蚀性起到了重要作用^[8]；低 TiO₂ 含

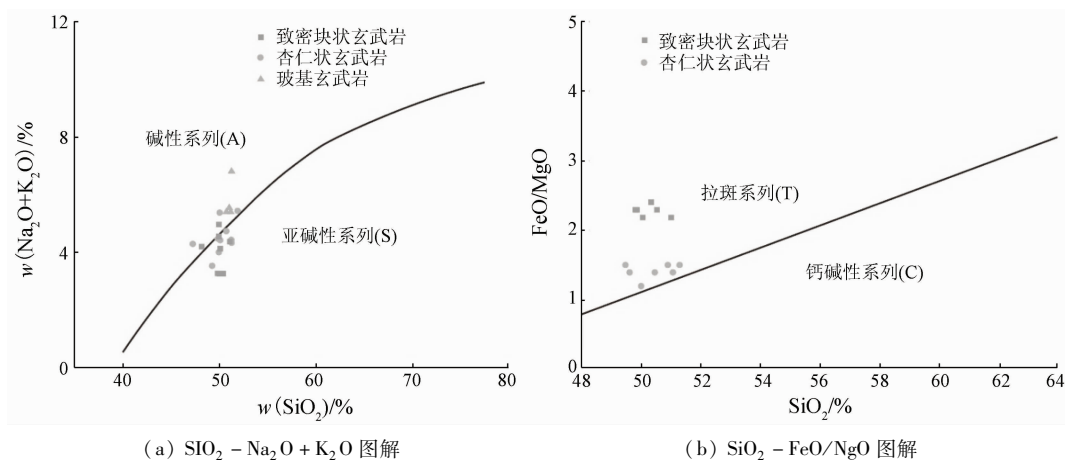
量能提高熔体的黏度和表面张力,有利于形成长纤维,提高其化学稳定性和力学性能^[9]；烧失量对纤维成丝率有一定影响^[3]。本文纤维用玄武岩原料推荐的成分范围参考了前人研究成果中的生产合格值^[3,17-20]。化学成分对比显示,除了部分样品的(Fe₂O₃ + FeO)与 TiO₂ 含量略高,研究区玄武岩的各项指标基本符合优质纤维用玄武岩矿石的标准(表 2)。

表 2 纤维用玄武岩原料成分汇总
Tab.2 Summary of basalt ingredients with successful wiredrawing

数据来源	元素含量/%							烧失量/%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O + Na ₂ O	
陈鹏等 ^[20]	45~69	12~19	5~15	6~12	3~7	0.9~2.0	2.5~6.5	—
石钱华 ^[18]	51.60	14.60~18.3	9~14	5.9~9.4	3.0~5.3	0.8~2.25	3.6~5.2	—
付法凯等 ^[17]	45~60	12~19	5~15	6~12	3~7	0.9~2.0	2.6~6.0	—
张剑等 ^[3]	48.29~53.31	12.81~17.04	1.67~9.37(Fe ₂ O ₃) 3.14~9.30(FeO)	3.93~9.27	1.68~5.13	1.23~3.71	3.16~5.32	1.70~5.77
阳伟等 ^[19]	45~53	11~19	5~15	6~12	3~10	1~5	2.5~6	—
本研究	47~53	13~18	9~15	6~9	4~6	1~4	2.5~6.5	≤4

通常依据 SiO₂ 和 (K₂O + Na₂O) 含量将火成岩划分为碱性系列(A)和亚碱性系列(S),依据 FeO/MgO 值和 SiO₂ 含量将亚碱性系列划分为拉斑系列(T)和钙碱性系列(C)^[6]。投图结果显示(图 4),研究区玄武岩样品中的致密块状玄武岩和杏仁状玄武岩多为亚碱性系列中的拉斑玄武岩系列,化学成分具有 SiO₂ 含量较高(>49%)、(K₂O + Na₂O) 含量较低(<5%)、FeO/MgO 值较大(1.5~4)和 TiO₂ 含量较低(<4%)的特征。由于 SiO₂ 含量相对

较高,(K₂O + Na₂O) 含量较低,拉斑玄武岩系列岩石制备的连续纤维具有更高的耐酸性和稳定性,市场价格高^[21]。研究区的玻基玄武岩均为碱性系列,相较于拉斑玄武岩而言,富含碱性氧化物且具有较低的熔化温度^[22],生产玄武岩纤维时的能耗相对较低,但碱度过高会导致其熔体的高温黏度远低于玄武岩纤维的成形黏度^[6],并会降低纤维的化学稳定性与热稳定性,影响其应用领域、使用效能和产品价格^[23]。

图4 研究区玄武岩的地球化学分类图解^[6]Fig. 4 Geochemical classification diagrams of basalts in the study area^[6]

3.3 拉丝性能判别指标

目前,玄武岩的拉丝性能判别指标包括酸度系数、黏度系数、 $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 值以及 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 含量等^[11-13]。

酸度系数(Ma)是评价拉丝性能最重要的参数,主要根据玄武岩化学成分计算出玄武岩的酸度系数^[13],本文使用 Tatarintseva 等^[24]的计算方法。当酸度系数小于1.5,纤维成品易碎且耐化学性差,一般工艺要求成纤维的酸度系数在3~6为最佳^[24]。研究区致密块状玄武岩酸度系数4.97~7.80,平均值5.85;杏仁状玄武岩酸度系数5.48~8.11,平均值6.16;玻基玄武岩酸度系数11.67~12.84,平均值12.27,超出适宜范围。从酸度系数考虑,致密块状玄武岩和杏仁玄武岩适合连续玄武岩纤维生产。

黏度系数(Mv)是描述玄武岩熔体黏度的重要参数,本文使用 Franzson 等^[25]的计算方法。玄武岩熔体黏度直接影响玄武岩纤维生产的稳定性和产品品质,一般工艺要求连续玄武岩纤维生产的最佳黏度系数为2~3^[25]。研究区致密块状玄武岩黏度系数2.1~2.4,平均值2.3;杏仁状玄武岩黏度系数2.0~2.8,平均值2.3;玻基玄武岩黏度系数3.0~3.2,平均值3.1,略超出适宜范围。从黏度系数考虑,致密块状玄武岩和杏仁玄武岩适合连续玄武岩纤维生产。

在 $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 值小于0.5的玄武岩熔体中,大量 Fe^{3+} 会在纤维成形过程中与空气中的氧气结合形成氧化膜,降低纤维的抗拉强度并影响拉丝工艺^[11,21]。研究区致密块状玄武岩的 $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 值

1.69~1.96,平均值1.78;杏仁状玄武岩 $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 值0.95~1.36,平均值1.11;玻基玄武岩 $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 值1.03~1.12,平均值1.09。从 $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 值考虑,致密块状玄武岩、杏仁玄武岩和玻基玄武岩均适合连续玄武岩纤维生产。

随着 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 含量的增加,玄武岩纤维的抗拉强度上升、热膨胀系数减小、热稳定性提高^[13]。 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 含量一般不应超过78%^[26]。研究区各类玄武岩样品 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 含量介于59.7%~65.5%,平均值63.6%,均适合连续玄武岩纤维生产。

综上所述,研究区致密块状玄武岩的矿石结构、化学成分和各项拉丝性能判别指标均适合连续玄武岩纤维生产;杏仁状玄武岩除因其杏仁中含有的石英和方解石等次矿物而不利于玄武岩纤维生产外,其余各项指标均满足生产条件,作为玄武岩纤维用原料时要做好充分的技术可行性与合理性分析^[6];玻基玄武岩因其主要成分为火山玻璃、具有杏仁状构造及酸度系数过高等因素不利于拉丝工艺和纤维成品质量,同时区内玻基玄武岩厚度较薄,一般2~3 m(图2),故不宜选取该类岩石作为原料生产玄武岩纤维。

4 开发利用建议

将玄武岩只进行简单破碎用作路基的垫石或混凝土骨料,会造成矿产资源价值大打折扣,需寻求更科学的矿产资源综合利用方案^[27]。

区内峨眉山玄武岩组的致密块状玄武岩各项指标符合拉丝玄武岩原料的要求,应考虑以综合开

发的方式利用玄武岩矿产资源,将不适合用来生产玄武岩纤维的杏仁状玄武岩和玻基玄武岩用作建筑用石料,重点考虑将致密块状玄武岩从建筑用玄武岩转变为纤维用玄武岩。

5 结论

(1)研究区峨眉山玄武岩组的矿石类型主要有致密块状玄武岩、杏仁状玄武岩和玻基玄武岩,致密块状玄武岩的构造、化学成分和各项拉丝性能判别指标均适合连续玄武岩纤维生产,杏仁状玄武岩的杏仁中含有石英和方解石等次矿物,不利于玄武岩纤维生产,不宜选取玻基玄武岩作为纤维用玄武岩的生产原料。

(2)峨眉山玄武岩在峨边县广泛分布,资源储量巨大,具备寻找纤维用玄武岩资源储备地的潜力,应采用综合开发方式利用玄武岩矿资源,重点考虑致密块状玄武岩从建筑用玄武岩转变为纤维用玄武岩。建议下一步针对峨边县玄武岩开展应用工艺技术和扩大实验,并进行系统的技术经济评价。

参考文献(References):

- [1] 陈勇. 山西左权县玄武岩开发利用探讨[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2021(4): 22-24, 28.
Chen Y. Development and utilization of basalt in the Zuoquan County, Shanxi Province[J]. China Non-Metallic Miner Ind, 2021(4): 22-24, 28.
- [2] 王跃忠. 四川省纤维用玄武岩找矿远景分析[J]. 矿物学报, 2019, 39(6): 664-672.
Wang Y Z. A prospective appraisal for the exploration of fiber-applied basalts in Sichuan Province, China[J]. Acta Mineral Sin, 2019, 39(6): 664-672.
- [3] 张剑, 徐小明, 刘作磊. 四川省峨眉山玄武岩组连续纤维用玄武岩矿特征分析[J]. 高科技纤维与应用, 2019, 44(3): 52-59.
Zhang J, Xu X M, Liu Z L. Feature analysis of continuous fibre used basalt deposits in Emeishan basalt formation, Sichuan Province[J]. Hi-Tech Fiber Appl, 2019, 44(3): 52-59.
- [4] 魏晨, 郭荣辉. 玄武岩纤维的性能及应用[J]. 纺织科学与工程学报, 2019, 36(3): 89-94.
Wei C, Guo R H. Properties and application of basalt fiber[J]. J Textile Sci Eng, 2019, 36(3): 89-94.
- [5] 苏永虎. 黔西-西北地区纤维拉丝用玄武岩利用前景分析[J]. 西部探矿工程, 2019, 31(3): 118-121.
Su Y H. Analysis on utilization prospect of basalt for fiber drawing in western and northwest Guizhou[J]. West-China Exploration Engineering, 2019, 31(3): 118-121.
- [6] 汪溢汀, 白志民, 余思彬, 等. 原料物相和结构对玄武岩纤维制备工艺与性能的影响[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2020(1): 23-29.
Wang Y T, Bai Z M, Yu S B, et al. Effect of mineral composition and structural of basalt on preparation process and properties of basalt fibers[J]. China Non-Metallic Miner Ind, 2020(1): 23-29.
- [7] Fiore V, Scalici T, Di Bella G, et al. A review on basalt fibre and its composites[J]. Compos Part B: Eng, 2015, 74: 74-94.
- [8] 霍冀川, 雷永林, 王海滨, 等. 玄武岩纤维的制备及其复合材料的进展[J]. 材料导报, 2006, 20(S1): 382-385.
Huo Y C, Lei Y L, Wang H B, et al. Progress of study on the preparation of basalt fiber and composite material of basalt fiber[J]. Mater Rep, 2006, 20(S1): 382-385.
- [9] 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.
Lin X N, Zhang F L, Zhou Y M. Progress of research on basalt fiber and composites[J]. Fiber Glass, 2013(2): 39-44.
- [10] 刘建明. 建立制造连续玄武岩纤维的原料筛选方法与数据库[R]. 北京: 中国科学院, 2014.
Liu J M. The Raw Material Screening Method and Database of Continuous Basalt Fiber were Established[R]. Beijing: CAS, 2014.
- [11] 李建军, 党新安. 玄武岩连续纤维成形工艺研究[J]. 材料科学与工艺, 2009, 17(2): 211-214.
Li J J, Dang X A. Forming technology of continuous basalt fibers[J]. Mater Sci Technol, 2009, 17(2): 211-214.
- [12] 戴存武. 高强纯玄武岩连续纤维生产工艺: 中国, 201210037392. X[P]. 2012-02-20.
Dai C W. High strength pure basalt continuous fiber production process: CN, 201210037392. X[P]. 2012-02-20.
- [13] 张明胜, 许家斌, 费光春, 等. 四川省盐源县纤维用玄武岩开发利用前景[J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(12): 51-54.
Zhang M S, Xu J B, Fei C G, et al. The development and utilization prospect of fiber basalt in Yanyuan area, Sichuan[J]. China Resour Compr Utilizat, 2019, 37(12): 51-54.
- [14] 杨豫川, 彭向辉, 张君, 等. 四川马边麦地坪组磷矿沉积特征及其成矿模式[J]. 科技通报, 2019, 35(1): 29-36.
Yang Y C, Peng X H, Zhang J, et al. Sedimentary characteristics and phosphorite mineralization model of Maidiping Formation in Mabian Area, Sichuan[J]. Bull Sci Technol, 2019, 35(1): 29-36.
- [15] 颜泽, 赵勇. 川西地区纤维用玄武岩矿典型剖面对比研究[J]. 城市地理, 2017(24): 78-79.
Yan Z, Zhao Y. Western Sichuan region fiber with basalt ore comparative study on the typical section[J]. Cult Geogr, 2017(24): 78-79.
- [16] 李天元. 川西南峨眉山玄武岩堆积序列及岩性岩相特征[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
Li T Y. The Accumulation Sequence and Lithologic and Lithofacies Characteristics of the Basalt in Mount Emeishan, Southwest Sichuan[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing),

- 2020.
- [17] 付法凯,石毅,汪江河,等. 河南大安玄武岩生产连续纤维的可利用性探讨[J]. 中国非金属矿工业导刊,2009(1):53 – 56.
- Fu F K, Shi Y, Wang J H, et al. Explore the availability of Henan Daan Basalt manufacturing basalt continuous fibers [J]. China Non – Metallic Miner Ind, 2009(1):53 – 56.
- [18] 石钱华. 国外连续玄武岩纤维的发展及其应用[J]. 玻璃纤维, 2003(4):27 – 31.
- Shi Q H. Development and application of continuous basalt fibers abroad[J]. Fiber Glass, 2003(4):27 – 31.
- [19] 阳伟,化得钧,曾令熙,等. 四川省雷波地区纤维用玄武岩找矿远景分析[J]. 矿产综合利用,2022(1):60 – 67.
- Yang W, Hua D J, Zeng L X, et al. A prospective appraisal for the exploration of fiber – applied basalts in Leibo Area, Sichuan Province[J]. Multipurp Util Miner Res, 2022(1):60 – 67.
- [20] 陈鹏,张湛虎,王成勇,等. 玄武岩纤维主要特性研究现状[J]. 无机盐工业,2020,52(10):64 – 67.
- Chen P, Zhang C H, Wang C Y, et al. Research status of main properties of basalt fiber[J]. Inorg Chem Ind, 2020, 52(10):64 – 67.
- [21] Novitskii A G. High – temperature heat insulating materials based on fibers from basalt – type rock materials [J]. Refract Ind Ceram, 2004, 45(2):144 – 146.
- [22] Yoder H S, Tilley C E. Origin of basalt magmas: An experimental study of natural and synthetic rock systems[J]. J Petrol, 1962, 3(3):342 – 532.
- [23] 孙贤初. 安山岩连续纤维成型工艺的研究[D]. 西安:陕西科技大学, 2008.
- Sun C X. Research on the Cotinuous Andesite Fiber Forming Technics[D]. Xian: Shaanxi University of Science & Technology, 2008.
- [24] Tatarintseva O S, Khodakova N N. Obtaining basaltic continuous and staple fibers from rocks in Krasnodar Krai[J]. Glass Ceram, 2010, 67(5):165 – 168.
- [25] Franzson H, Erlendsson O, Hardarson B S, et al. GREENBAS Sustainable Fibres from Basalt Mining [M]. Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 2017.
- [26] Liu J X, Yang J P, Chen M R, et al. Effect of SiO₂, Al₂O₃ on heat resistance of basalt fiber[J]. Thermochim Acta, 2018, 660:56 – 60.
- [27] 赵明良,唐佃花. 玄武岩连续纤维的性能及其复合材料的应用研究[J]. 中国非金属矿工业导刊,2008(4):14 – 15, 34.
- Zhao M L, Tang D H. Research on property of basalt continuous fiber and application in composites [J]. China Non – Metallic Miner Ind, 2008(4):14 – 15,

Characteristics and development prospects of basalt in Ebian County, Sichuan Province

ZHANG Hangfei^{1,2}, HAN Xiaoying³, ZHONG Qiangsheng¹, ZHU Helin¹, LIANG Cheng¹, GUO Wenyan¹

(1. No. 207 Geological Team, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Sichuan Leshan 614000, China; 2. Zhangjinyuan model innovation studio, Sichuan Leshan 614000, China; 3. College of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Hebei Tangshan 063210, China)

Abstract: Ebian county is rich in basalt mineral resources, but there is no mine to exploit and utilize fiber basalt. The evaluation of fiber basalt is carried out from three aspects: ore texture, chemical composition and evaluation parameters of basalt wire drawing performance. The results show that the dense massive basalts and almond – basalts mostly belong to the transitional rocks between tholeiitic series and alkaline series, while the vitrobasalt are all alkaline series in the study area. The chemical composition of tholeiitic series ores is characterized by high SiO₂ content, low alkali metal oxides (K₂O + Na₂O) and TiO₂ content, and high FeO/MgO ratio. The dense massive basalt is suitable for continuous basalt fiber production in the area. Due to the secondary minerals such as quartz and calcite contained in the almond of almond – basalt and high volcanic glass composition, almond structure and high acidity coefficient in vitrobasalt, they are all unfavorable to be used as raw material to produce basalt fiber. The basalt mineral resources are huge in the study area, with the potential for the fiber – applied basalts resource reserves, and it is recommended to utilizing the basalt mineral resources by comprehensive development.

Keywords: fiber basalts; chemical composition; development and utilization; Ebian County of Sichuan Province

(责任编辑:魏昊明)