

吉林某高铁钾长石工艺矿物学

彭姣，黄红军，王盼，于俊杰，刘芳芳

(中南大学 资源加工与生物工程学院, 战略含钙矿物资源清洁高效利用湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410083)

摘要: 以吉林某高铁钾长石矿为研究对象, 通过X射线衍射分析、电子探针分析、光学显微镜分等分析手段对钾长石矿样进行化学组成、矿物嵌布状态以及粒度组成等工艺矿物学研究。研究结果表明, 该矿样中主要是钾长石、钠长石、石英, 铁元素主要分布在赤铁矿、褐铁矿以及磁铁矿中。矿样中钾长石以针柱状的细粒产出, 部分铁矿物嵌布在钾长石微晶基底、孔洞边缘或浸染在脉石矿物中, 为复杂难处理钾长石矿。且-0.0385 mm矿样中 Fe_2O_3 含量达到2.36%, 需要在后续处理中进行脱泥、磁选、浮选、酸洗作业才能使产品达到高端钾长石市场要求。

关键词: 钾长石; 工艺矿物学; 赤铁矿; 高铁

doi:[10.3969/j.issn.1000-6532.2022.03.034](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6532.2022.03.034)

中图分类号: TD973 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2022)03-0193-05

钾长石属于碱性系列长石, 是透长石、正长石和微斜长石三个同质多象变体矿物的总称, 也是世界分布最广泛、储量最大的非水溶性钾资源^[1]。钾长石由于其熔点低、高熔融粘度、良好的化学稳定性等特点, 广泛应用于玻璃及玻璃制品、陶瓷、钾肥, 研磨材料的领域中^[2]。

虽然我国钾长石矿资源丰富, 但是由于绝大部分都含有石英、黑云母、金红石、磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿等杂质, 均需要进一步加工使其可以应用于工业生产中^[3]。无论是全球还是我国, 在对钾长石需求上皆处于产量小于市场对钾长石的需求量的处境, 且它们之间的差距越来越大, 尤其是在高品质钾长石方面, 需求量远高于高端钾长石市场供应量, 因此我国每年均须进口大量的优质钾长石产品以满足国内需求^[4]。故而如何充分利用钾长石矿资源, 实现高品质钾长石回收成为钾长石工业应用的重中之重。由于在钾长石工业应用中, 钾长石原材料的质量要求以及品质划分之一就是所含有颜色的矿物尤其是含铁矿物的多少。如在玻璃行业的应用中要求 Fe_2O_3 小于

0.2%, 在陶瓷的应用中要求 Fe_2O_3 小于0.15%~0.5%^[5]。因为在生产玻璃时, 原材料中的铁会对玻璃的透光度和颜色造成不良影响; 在陶瓷生产过程中, 铁易让产品表面产生黑点, 熔疤和熔洞^[6]。所以对含铁量高的钾长石进行研究, 有效降低其氧化铁矿物含量, 使得这部分钾长石资源可以充分补充国内高端钾长石资源缺口是十分必要的。本文从工艺矿物学角度出发, 采用各种检测手段对吉林某高铁钾长石进行全面分析, 查清该钾长石的化学成分、元素含量、嵌布关系和粒度分布等, 为后续该钾长石降铁提纯工艺研究提供理论依据^[7-8], 为实现钾长石资源高值化整体化利用奠定基础。

1 钾长石矿物组成

1.1 矿石化学元素分析

钾长石矿多元素化学分析结果见表1。由表1可知, 该样品中主要含有K、Si、Al、Fe、Na、Ca等元素, 其中K元素含量12.78%、Si元素含量29.2%达到钾长石产品工业应用标准, 然

收稿日期: 2020-08-09

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目(91962223)

作者简介: 彭姣(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向为矿物加工工程。

通信作者: 黄红军(1980-), 男, 副教授, 博士, 研究方向为矿物加工工程。

而 TFe 含量 1.201% 远高于钾长石产品所要求的铁最高品位 0.2%，需要着重进行除铁处理才可使其

产品符合标准。

表 1 钾长石矿多元素分析结果/%
Table 1 Multi-elemental analysis results of potassium feldspar ores

O	Na	V	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti
46.64	0.435	0.032	9.359	29.204	0.017	0.037	12.78	0.11	0.075
Mn	TFe	Ni	Ga	Rb	Sr	Zr	Ag	Pb	Y
-	1.201	-	0.003	0.048	0.010	0.036	-	0.010	0.003

1.2 矿石矿物组成

钾长石矿样 XRD 分析结果见图 1。

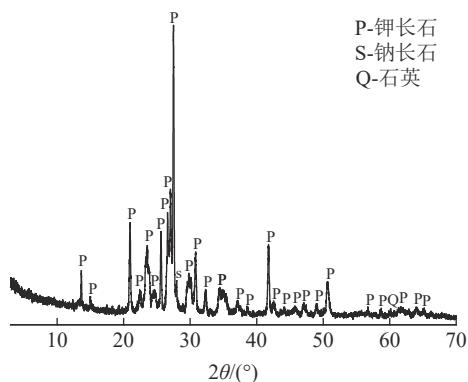


图 1 钾长石矿样 XRD 衍射

Fig.1 X-ray diffraction pattern of potassium feldspar ores

通过图 1 的 XRD 衍射图谱定量分析可得，该样品中主要矿物为钾长石（91.13%），另外还存在钠长石（4.97%），石英（3.62%）等。

1.3 矿石中含铁矿物物相分析

为了有针对性的去除钾长石中的含铁矿物，对钾长石矿样中的含铁矿物进行物相分析，物相分析结果见表 2。

由表 2 可知，该钾长石矿石中铁元素主要分布在赤褐铁矿，占 59.87%。少部分分布在硅酸铁、碳酸铁以及磁铁矿中，三者占总铁的质量分数合计为 34.72%，其中硅酸铁的铁含量占 18.07%，碳酸铁的铁含量占 9.28%，磁铁矿的铁含量占 7.39%。在钾长石选别工艺中，赤褐铁矿、磁铁矿可以通过磁选作业和将钾长石分离，而硅酸铁、碳酸铁则需要进行浮选等化学选别方法除杂。

表 2 钾长石矿铁物相分析结果

Table 2 Iron phase analysis results of potassium feldspar ores

铁物相	碳酸铁	磁铁矿	硫化铁	赤褐铁矿	硅酸铁	总铁
含量/%	0.111	0.088	0.065	0.719	0.217	1.201
分布率/%	9.28	7.39	5.39	59.87	18.07	100.00

2 主要矿物嵌布状态和共生关系

该矿样呈具砖红色，为孔洞较发育、结构较均匀的块状矿石。经镜下观察鉴定，样品的主要矿物种类较为简单，非金属矿物主要是钾长石，次为钠长石、石英、斜长石、蒙脱石和少量黑云母、绢云母；金属矿物含量较高的是赤铁矿，偶见褐铁矿、磁铁矿，其他微量矿物尚见锆石、磷灰石等。

（1）钾长石

钾长石约占 91.1%，是矿石中的主体矿物。图 2 为钾长石嵌布特征，钾长石主要呈单向延长的针柱状，嵌布粒度细且均匀，粒径一般小于 100 μm ，少数粒度在 -50 μm ，以相互紧密镶嵌构成的致密状集合体为主分布在基质中，局部为放射状、束状构造，周边镶嵌部分微细粒铁矿物，单偏光镜下绝大部分钾长石由于发生了蒙脱石化呈现出混浊状的特征。钾长石的电子探针分析结果见表 3，可以看出钾长石中主要杂质元素为 Fe、Na，TFe、 Na_2O 的平均含量均为 0.20%。由此认为有 TFe 含量为 0.20% 的铁矿物是与钾长石矿紧密共生的，故而后续钾长石矿的磨矿粒度要求很细，才有利于其与脉石矿物、杂质金属矿物解离，提高后续选矿作业回收率。

（2）铁矿物

该钾长石矿中杂质铁矿物有两种类型存在（图 3），一种是磁铁矿、赤铁矿和褐铁矿等独立的铁矿物，呈无定形的粒状、团块状、细脉状、微脉状产出；另一种是皮膜状、浸染状铁质集合体，常浸染嵌布在钾长石粒间或表面，形成浸染构造。这也是导致矿样肉眼下显砖红色的原因。不过浸染的程度并不十分均匀，沿边部及裂隙通常较为明显，局部呈条带状。由表 4 的铁矿物电子探针分析结果可以发现铁矿物中主要杂质为硅，仍含有少部分钾、钠、钙、铝。综合表 3 钾

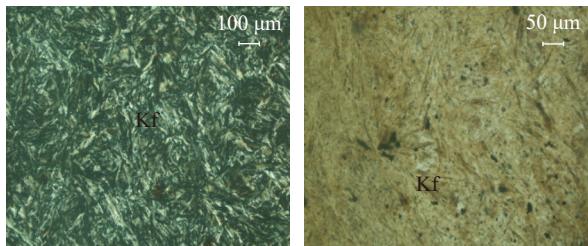


图2 钾长石(Kf)嵌布特征
Fig.2 Distribution characteristics of potassium feldspar (Kf)

长石电子探针分析结果可看出该钾长石矿中的部分铁元素是以晶格取代或嵌入状、浸染形式存在的，属于复杂难处理的钾长石矿^[6]，仅仅使用常规选矿办法很难得到良好效果，需要充分解离后通过酸洗等化学方法才能得到有效的降低。

表3 钾长石矿电子探针化学成分分析结果 / %
Table 3 Electron probe analysis of potassium feldspar ores

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	总量
64.63	18.10	0.21	-	0.22	16.12	99.28
65.32	18.20	0.25	-	0.28	16.03	100.08
64.89	18.10	0.06	0.02	0.13	16.46	99.66
64.46	18.07	0.27	0.04	0.17	16.89	99.92

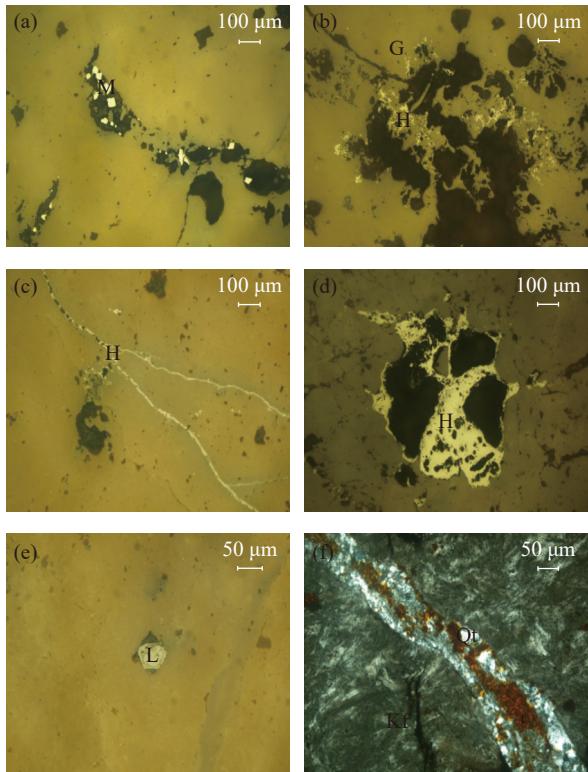


图3 铁矿物嵌布特征
Fig.3 Distribution characteristics of iron

磁铁矿（图3a）主要以自形、半自形等轴粒状产出，粒径常<20 μm，主要沿黑色孔洞边缘断

表4 铁矿物电子探针化学成分分析结果 / %
Table 4 Electron probe analysis of iron ores

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	总量
3.03	0.03	75.50	-	0.07	0.04	78.67
2.99	0.08	77.47	0.05	0.09	0.12	80.85
11.37	1.40	67.10	0.34	0.22	0.15	80.69
3.96	0.04	74.98	0.03	-	0.08	79.35

续分布或零星嵌布在孔洞中。

赤铁矿为含量较高的铁矿物，多呈细粒状嵌布于孔洞边缘（图3b），少量呈零散状浸染于脉石矿物中或以微细的网脉结构充填于脉石裂隙中（图3c），极少数可发现颗粒组成不规则团块状集合体嵌布（图3d）。赤铁矿粒度变化极大，细小者小于10 μm，而团块状集合体粒径则约至600 μm。

褐铁矿只出现在极个别矿块，由以下两种嵌布形式产出：1) 呈较为规则的五角十二面体粒状，内部为较清晰的胶状环带结构，粒径小于50 μm，分布于脉石矿物中氧化形成假象黄铁矿（图3e）；2) 与石英嵌布共生呈不规则的短脉状充填于钾长石中（图3f），但分布并不十分连续，粒度为10~50 μm，是晚期热液活动阶段铁质交代的产物。

(3) 石英

石英在矿样中分布广泛，多为极不规则的微细粒状，少数为隐晶质-微晶质，通过集合体形态可分为两类（图4）：一是呈不规则团块状集合体充填于孔洞中，粒度大小在10~500 μm；二是以细脉状、网脉状集合体沿裂隙充填交代于基质中，脉宽不规律，一般在50~200 μm，少数粗者可至300 μm，部分-20 μm。由于石英是该矿样中主要脉石矿物，其嵌布粒度细且与钾长石物化性质相似，故而首先可以通过脱泥降低微细粒级石英含量，再通过弱酸浮选分离石英与钾长石，从而去除石英杂质。

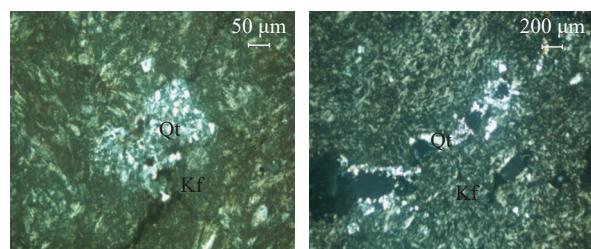


图4 石英(Qt)嵌布特征
Fig.4 Distribution characteristics of quartz(Qt)

(4) 黑云母

黑云母在矿样中出现的较少，多呈片状斑晶（图 5），大部分已发生较强烈的蚀变，嵌布于钾长石组成的基底中，解理较为清晰，晶体粒径约为 400 μm。

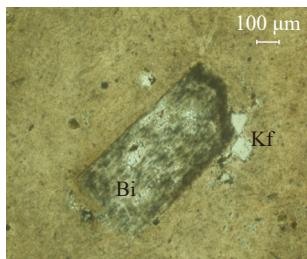


图 5 黑云母 (Bi) 嵌布特征
Fig.5 Distribution characteristics of biotite (Bi)

(5) 斜长石

斜长石零散分布，斜长石斑晶呈较为规则的板片状嵌布基质中（图 6a），局部颗粒聚合成聚斑晶（图 6b），粒度变化大，粒径小的约 300 μm，粒度粗大的达到 1.0 mm 左右，少数组晶体轻微绢云母化（图 6c）。采用最大消光角法测得样品中斜长石的 An=12，能够得知属于更长石的领域。

3 矿物粒度组成及分布特征

对该钾长石矿石样进行粒度筛分以及对各粒级产物进行化学成分分析，其结果见表 5。

从表 5 可以看出，矿石分布含量与粒级的大小成正比关系，粒级+0.3 mm 72.86%，粒级-0.074 mm 6.01%，且-0.0385 mm 粒级的矿样中氧化铁含量达到了 2.363%，二氧化硅含量为 63.07%，表示这一粒级矿物中石英和铁矿物杂质较多，后续需先进行磨矿条件实验确定合适条件充分将矿物解离开来，并且在磨矿作业后进行脱泥，一方面降

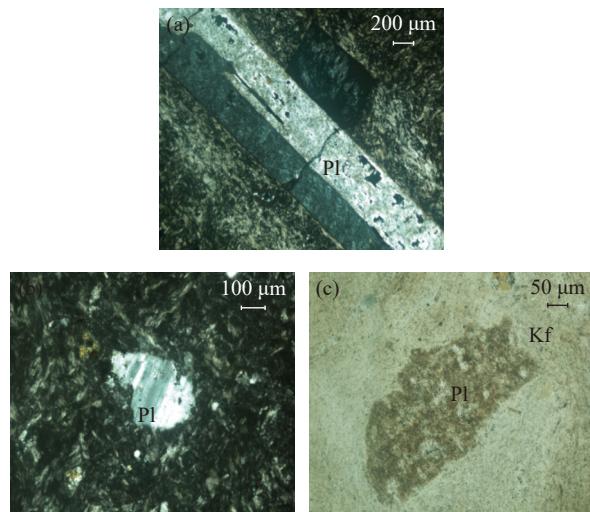


图 6 斜长石 (Pl) 嵌布特征
Fig.6 Distribution characteristics of plagioclase(Pl)

低细泥对选别的负面影响如造成浮选药剂大量消耗，另一方面可以简单有效的提高钾长石产品品位。

4 结 论

(1) 该吉林钾长石矿样中主要矿物是钾长石，次为钠长石、石英，其他脉石矿物是斜长石、黑云母、赤铁矿、磁铁矿。其中钾长石矿物组成为 91.13%，钠长石为 4.97%，石英为 3.62%。

(2) 根据各应用领域对钾长石原材料的工艺要求，该矿样中 TFe 品位 1.201% 过高需要着重降低使其达到优质钾长石标准。而由铁物相分析可知，该矿样中 Fe 相主要存在形式为赤褐铁矿和硅酸铁，两者铁含量占总铁的 82.16%。

(3) 根据电镜观察结果，该矿样中铁矿物以独立的铁矿物形式存在的铁约占样品中铁含量的 60%，通过选矿可将其予以脱除，而呈浸染状粘附于钾长石粒间或表面的铁质物则需要通过酸洗等

表 5 钾长石矿粒度组成分析
Table 5 Analysis of size composition of potassium feldspar ores

粒级/mm	产率/%	含量/%							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO
+0.30	72.86	57.77	14.24	13.12	0.51	0.13	0.92	0.10	0.02
-0.3+0.15	10.15	59.28	14.52	12.99	0.46	0.15	1.03	0.11	0.03
-0.15+0.11	5.90	60.29	14.98	13.20	0.46	0.27	1.23	0.15	0.05
-0.11+0.074	5.08	58.79	14.48	13.04	0.49	0.28	1.38	0.18	0.07
-0.074+0.0385	4.52	59.17	14.47	12.40	0.49	0.38	1.76	0.17	0.09
-0.0385	1.49	63.07	15.80	13.07	0.57	0.58	2.36	0.27	0.09

化学方法才能得到有效的降低。由于石英为主要脉石矿物,且嵌布粒度细、与钾长石物化性质相似,可以首先通过脱泥降低微细粒石英对后续除铁浮选作业的影响,再通过弱酸浮选分离石英与钾长石,从而提高最终产品品质。

(4) 钾长石矿样中粒度+0.3 mm 72.86%,在选别作业前需要进行磨矿作业将其解离,且由于原矿中氧化铁含量随着粒度减小而增大,证明确实需要在磨矿后脱泥,可有效降低产品铁的含量。

参考文献:

- [1] 李小静,张福存,方大文.长石精加工现状及发展趋势[J].
金属矿山,2003(2):46-47+57.
- LI X J, ZHANG F C, FANG D W. The status quo and development trend of feldspar finishing[J]. *Metal Mine*, 2003(2):46-47+57.
- [2] 胡兆扬.非金属矿工业手册[M].北京:冶金工业出版社,1992.
- HU Z Y. Handbook of non-metallic mineral industry[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1992.
- [3] 任子杰,罗立群,张凌燕.长石除杂的研究现状与利用前景[J].*中国非金属矿工业导刊*,2009(1):19-22.
- REN Z J, LUO L Q, ZHANG L Y. Research status and prospects of feldspar impurity removal[J]. *China Non-metallic Mineral Industry Guide*, 2009(1):19-22.
- [4] 程福超.某低品位钾长石选矿厂工艺研究与设计[D].阜新:辽宁工程技术大学,2014.
- CHEN F C. Process research and design of a low-grade potassium feldspar beneficiation plant [D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2014.
- [5] 胡波,韩效钊,肖正辉,等.我国钾长石矿产资源分布、开发利用、问题与对策[J].*化工矿产地质*,2005(1):25-32.
- HU B, HAN X Z, XIAO Z H, et al. Distribution, development and utilization, problems and countermeasures of potash feldspar mineral resources in my country[J]. *Chemical Minerals Geology*, 2005(1):25-32.
- [6] 才秀芹,冯明良,王丽仙.玻璃生产中铁的作用与危害[J].
玻璃,2010,37(7):19-24.
- CAI X Q, FENG M L, WANG L X. The role and harm of iron in glass production[J]. *Glass*, 2010, 37(7):19-24.
- [7] 李潇雨,周满庚,王婧.工艺矿物学研究对选矿工艺的重要作用——以宁乡式鲕状赤铁矿为例[J].*矿产综合利用*,2015(1):45-50.
- LI X Y, ZHOU M G, WANG J. Important role of technological mineralogy research on beneficiation technology ——taking Ningxiang-style oolitic hematite as an example[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2015(1):45-50.
- [8] 王蓓,单勇,赵培樑,等.工艺矿物学对难选矿石评价的意义[J].*矿产综合利用*,2015(1):58-60+50.
- WANG B, SHAN Y, ZHAO P L, et al. Significance of process mineralogy for the evaluation of refractory ore[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2015(1):58-60+50.

Study on Process Mineralogy of a High Iron Potassium Feldspar from Jilin Province

Peng Jiao, Huang Hongjun, Wang Pan, Yu Junjie, Liu Fangfang

(School of Mineral Processing & Bioengineering, Central South University, Key Laboratory of Clean and Efficient Utilization of Calcium Mineral Resources in Hunan, Changsha, Hunan, China)

Abstract: By means of X-ray diffraction analysis, scanning electron probe microanalysis and optical microscopy, the chemical composition and mineral intercalation and particle size composition of potassium feldspar in Jilin were studied. The results show that main minerals in the ore is potassium feldspar, albite and quartz, and the iron elements are mainly distributed in hematite, limonite and magnetite. Potassium feldspar is present in the form of needle-shaped fine grain and some iron ore is embedded in the microcrystalline base of potassium feldspar and the edge of hole or immersed in gangue mineral, so the ore belongs to a more difficult ore. In the ore that particle size less than 0.0385 mm, the Fe_2O_3 content reaches 2.36%. All that means the sample needs to be desliming, magnetic separation, flotation and pickling in the follow-up treatment to make the product meet the high-end potassium feldspar market requirements.

Keywords: Potassium feldspar; Process mineralogy; Hematite; High iron