

湖北省两竹地区四个铌矿矿石性质及可选性实验研究

刘爽, 康健, 李健, 朱丹, 林璠, 黄鹏, 鲁力

(自然资源部稀土稀有稀散矿产重点实验室, 湖北省地质试验测试中心,
湖北 武汉 430034)

摘要: 两竹地区铌矿矿石性质复杂, 即使同在蒋家堰—天宝铌钽成矿带, 其不同矿区矿点的矿石性质都不尽相同, 主要含铌矿石类型以及矿石可选性都各有区别。本文分别对蒋家堰、天宝、野虎以及岩屋沟—青岩沟矿区的四个不同铌矿矿石性质和矿石可选性进行总结, 结果表明, 该区矿石普遍属于难选矿石, 蒋家堰及岩屋沟 K120 样品的可选性要优于其他样品, 矿石矿物嵌布粒度和分散量是影响其选矿指标的重要因素。

关键词: 铌矿石; 微细粒; 选矿; 浮选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.01.014

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 01-0088-05

铌被广泛应用于冶金工业、原子能工业、航空航天工业、军事工业、电子工业、化学工业、超导材料以及医疗仪器等方面。近年来, 湖北省高度重视两竹(竹山-竹溪)地区地质找矿工作, 通过实施两竹地区铌金多金属矿调查评价、竹溪县岩屋沟—青岩沟地区铌多金属矿预—普查等省地勘基金项目, 查明了区内铌矿富矿体赋存特征和分布规律, 总结了铌钽稀土矿成矿模式, 指导区域地质找矿取得重要进展^[1-3]。

通过地质科研与找矿勘查, 查明两竹地区是湖北省重要的稀有稀土矿成矿区, 主要有两个主要成矿带, 一是庙垭铌钽稀土成矿带^[4], 以庙垭铌稀土矿、土地岭铌钽矿、文家湾铌钽矿为代表, 含矿岩石主要为正长岩、碳酸岩、粗面岩、粗面质凝灰熔岩、(含砾)岩屑晶屑凝灰岩; 二是蒋家堰-天宝铌钽成矿带, 以蒋家堰铌钽矿、青岩沟铌矿、天宝铌矿床为代表, 含矿岩石为粗面质熔结凝灰岩、粗面质熔结火山角砾岩、含钾长石斑

晶粗面岩^[5-6]。

两竹地区铌矿矿石性质复杂, 即使同在蒋家堰-天宝铌钽成矿带, 其不同矿区矿点的矿石性质都不尽相同, 主要含铌矿石类型以及矿石可选性都各有区别, 本文将分别进行介绍。

1 竹溪县蒋家堰矿区铌矿

竹溪县蒋家堰矿区铌稀土矿行政区划隶属湖北省竹溪县蒋家堰镇。该区矿石自然类型是蚀变正长岩型铌稀土矿石; 工业类型为碳酸盐化碱性岩原生铌稀土矿石。具有斑状结构、粒状变晶结构。块状构造、弱定向构造。

矿区矿石物质组分复杂, 主要铌矿物有铌金红石、铌铁矿及烧绿石, 矿物含量分别为 0.6%、0.05% 和 0.02%; 主要含稀土元素矿物有独居石、氟碳钙铈矿, 其他金属矿物褐铁矿、黄铁矿含量低, 无回收利用价值。脉石矿物主要为方解石、正长石、斜长石、石英和黑云母等。

收稿日期: 2019-11-11; 改回日期: 2020-10-15

基金项目: 湖北省地质局科研项目资助 (KJ2019-30); 自然资源部稀土稀有稀散重点实验室青年基金项目资助

作者简介: 刘爽 (1981-), 女, 高级工程师, 研究方向为选矿工艺及实验研究。

铌元素主要以铌金红石、铌铁矿和烧绿石形式存在，其中以铌金红石的形式存在的铌占原矿中铌总量的 47.20%，铌铁矿中的铌占原矿铌含量的 35.80%，烧绿石中的铌占原矿铌含量的 17%。

矿石中 有用矿物（铌矿物、稀土矿物）粒度均较细，一般在 0.01 ~ 0.05 mm 之间，其中铌金红石 -0.038 mm 75.37%，铌铁矿 -0.038 mm 77.32%，烧绿石 -0.038 mm 达到 79.25%，而且分布分散，包含于其他脉石矿物（如黑云母、长石及碳酸盐矿物）中，连生关系复杂，单体解离度较低，增加分选难度^[7]。

通过一系列的重、磁、浮探索实验表明，采用硝酸铅、碳酸钠和 CMC 为调整剂，以羟肟酸为捕收剂^[8]，可以得到产率 1.98%，Nb₂O₅ 品位 2.679%，回收率 60.15% 的浮选粗精矿。浮选精矿经磁选后，Nb₂O₅ 品位可以进一步得到提高。

表 1 蒋家堰铌矿浮选实验结果

Table 1 Flotation results of Jiangjiayan niobium ores

名称	产率 /%	品位 /%	回收率 /%
精矿	1.98	2.679	60.15
尾矿	98.02	0.0359	39.85
给矿	100.00	0.0882	100.00

2 天宝矿区、野虎寨矿区含铌矿石

本部分研究样品分别采自两个不同矿区。其一采自天宝矿区，位于蔡家坝幅中南部天宝乡一带，其岩性主要为次粗面岩、粗面斑岩。铌主要呈铌锰矿、烧绿石、榍石的形式存在^[6]，铌元素分布率分别占 44.17%、29.24% 和 15.43%，其次以易解石、含铌钛铁矿、含铌金红石形式存在，铌元素分布率分别为 5.42%、3.16% 和 2.42%。矿石中铌矿物粒度主要分布于 2 ~ 25 μm，其中褐帘石粒度主要分布于 3 ~ 90 μm，烧绿石、铌锰矿、易解石粒度主要分布于 2 ~ 5 μm。

其二采自野虎寨矿区，位于泉溪幅的东部野虎寨一带。岩浆岩在此区大面积分布，以次粗面岩、粗面斑岩为主，其次为辉绿岩、辉长辉绿岩。

铌主要呈铌易解石、易解石的形式存在，铌元素分布率占 85.47%，其次以铌铁矿、含铌钛铁矿、含铌金红石形式存在，铌元素分布率分别为 8.58%、4.48% 和 1.44%。矿石中铌矿物粒度主要分布于 2 ~ 25 μm，其中褐帘石粒度主要分布于 3 ~ 90 μm，烧绿石、铌锰矿、易解石粒度主要分布于 2 ~ 5 μm。

经过一系列的磁选、重选探索实验，并分别进行了浮选不同捕收剂探索实验^[9-10]，结果表明，磁选精矿富集比较低，重选精矿回收率很低，浮选亦无法获得较好的技术指标。因单一选矿方法皆不能很好地对竹溪铌矿中 有用组分进行有效回收，故进行了重-浮、磁-浮联合流程实验，结果表明虽有富集，尾矿可由原矿 0.082% 降低到 0.068%，但精矿回收率仅 10% 左右，选矿指标仍不理想。

工艺矿物学研究表明，铌在矿石中主要赋存矿物为（铌）易解石和榍石，矿石中铌含量过低，且矿物嵌布细度极其细微，这是导致其选矿指标低的根本原因。

3 岩屋沟 - 青岩沟矿区含铌矿石

湖北省竹溪县岩屋沟 - 青岩沟矿区铌矿分布范围广，出露宽度大，部分裸露地表，覆盖层薄，矿层厚度大，厚度变化较小，构造简单，开采技术条件简单。目前圈出了两条矿体，本研究对象为规模较大的 I 矿体，根据矿石类型，采取 2 种矿石样品，分别编号为 K60 和 K120。

3.1 K 60 矿样

K 60 属于碱性火山岩型铌矿床，矿石品位低（原矿中含 Nb₂O₅ 为 0.0855%），铌矿物主要以副矿物形式产出，含量低，粒度细小，偏光显微镜下观察困难。原矿中主要有价元素为铌以及稀土元素（包括铈、镧、钆、铈和钇等）。含铌矿物主要为易解石和榍石、有极少量烧绿石；易解石粒度微细（-1 μm 95.01%），多呈板状、柱状或不规

则粒状，集合体可见与钾长石、钠长石和黑云母连生，常见呈微细粒包含于钾长石和钠长石中。另外，Nb 以类质同像的形式赋存于榍石中，有的榍石中不含，平均含 Nb₂O₅ 0.92%，常见呈不规则柱状或粒状与长石、云母和方沸石连生或以包裹体形式包含其中，偶尔可见包含钛铁矿。次要含铌矿物烧绿石和细晶石呈完全类质同象，烧绿石粒度微细（-10 μm），常见呈微细粒包裹体包含于钠长石、钾长石，并多见与钛铁矿连生。铌在矿石中的元素配分见表 2。

表 2 K60 样品铌在矿石中的平衡分配
Table 2 Distribution of niobium in ore K60

名称	矿物含量 /%	Nb ₂ O ₅ 含量 /%	分配量	分配率 /%
钛铁矿	0.2651	1.04	0.002757	3.22
易解石	0.038	27.48	0.010442	12.21
烧绿石	0.004	49.52	0.001981	2.32
榍石	0.9067	0.92	0.008342	9.76
合计	1.2138		0.023522	27.51

注：原矿含 Nb₂O₅ 0.0855%

由表 2 可见，独立矿物中 Nb₂O₅ 的总分布率仅为 27.51%，主要分布于易解石和榍石中，分布率分别为 12.21% 和 9.76%，其余矿物未检出 Nb₂O₅，可能以分散状态或显微包裹体的形式存在，所占分布率为 72.49%。

针对 K60 矿石样品进行了重选（摇床、离心）、磁选（强磁、超导）、浮选以及湿法浸出等试验，结果表明，磁选、重选分选效果不明显，浮选指标不高。浮选采用活性气泡浮选工艺，以改良捕收剂 DB-11 为捕收剂，可获得产率为 8.49%，品位为 0.193%，回收率为 19.88% 的铌粗精矿。

3.2 K 120 矿样

K 120 属于碱性火山岩型铌矿床，矿石品位低（原矿中含 Nb₂O₅ 0.0824%），铌矿物主要以副矿物形式产出，含量低，粒度细小，偏光显微镜下观察困难。矿石中主要铌矿物为易解石，其次为铌铁矿，少量以类质同像的形式赋存于钛铁矿中。铌矿物多与脉石矿物连生，易解石主要呈板条状

或它形粒状，粒径一般为 0.01 mm 左右，颗粒细小，包裹于钠长石、钾长石、磷灰石、黑云母中或与其连生，连生关系复杂。Nb 在矿石中的平衡分配见表 3。

表 3 MLA 分析铌在矿石中的平衡分配
Table 3 Distribution of niobium in ore(MLA)

名称	矿物含量 /%	Nb ₂ O ₅ 含量 /%	分配量	分配率
钛铁矿	0.21	0.77	0.001617	5.60
易解石	0.08	24.31	0.019448	23.60
铌铁矿	0.01	78.00	0.0078	9.47
合计	0.3		0.028865	35.03

由表 3 可知，独立矿物中 Nb₂O₅ 的总分布率仅为 35.03%，主要分布于易解石中，分布率为 23.60%，钛铁矿、铌铁矿中仅占总分布率的 5.60% 和 9.47%，其余矿物未检出 Nb₂O₅，可能以分散状态或显微包裹体的形式存在，所占分布率为 64.97%。通过重选（摇床、离心）、磁选（常规脉动高梯度磁选、超导脉动高梯度磁选）、超导脉动高梯度磁选 - 重选联合流程、浮选以及湿法浸出等实验，来验证该区矿石的可选性。结果表明，K 120 样品的可选性要优于 K 60 样品。虽然强磁和离心分选效果不明显，但超导磁选和摇床对该矿石具有一定的分选富集作用，采用超导磁选 - 摇床联合流程实验，可以得到品位为 0.97%，回收率 21.58% 的铌粗精矿。浮选实验表明，采用活性气泡浮选工艺，DB-11 为捕收剂，可以得到产率为 19.06%，品位为 0.157%，回收率为 36.94% 的铌粗精矿。K 120 活性气泡工艺浮选指标见表 4。

表 4 K 120 样品活性气泡工艺浮选结果
Table 4 Flotation results of active bubble process(K120)

名称	产率 /%	品位 /%	回收率 /%
精矿	19.06	0.157	36.94
尾矿	80.94	0.063	63.06
给矿	100.00	0.081	100.00

结合样品工艺矿物学和选矿实验结果来看，两个样品矿石性质具有一定差异，含铌含稀土矿物不甚相同，粒度均较细微，常规选矿方法对其富集分选效果不明显。部分含铌矿物可以通过超

导磁选或采用新型捕收剂以活性气泡浮选新工艺进行富集，并有一定的效果，但仍有大部分含铌矿物疑因粒度过于细微或呈分散态存在，导致无法综合回收。

4 结 语

(1) 两竹地区铌矿矿石性质复杂，即使同在蒋家堰一天宝铌钽成矿带，其不同矿区矿点的矿石性质都不尽相同，主要含铌矿石类型以及矿石可选性都各有区别。蒋家堰矿区主要含铌矿物为金红石、铌铁矿；岩屋沟—青岩沟矿区 K 120 样品主要含铌矿物为易解石、铌铁矿；天宝矿区主要含铌矿物为铌锰矿和烧绿石；野虎矿区主要含铌矿物为铌易解石（占 85.47%）；岩屋沟 - 青岩沟 K 60 样品主要以易解石和榍石为主。

(2) 矿石可选矿实验结果表明，两竹地区矿石普遍属于难选矿石，但蒋家堰及岩屋沟 K 120 样品的可选性要优于其他样品，其嵌布粒度细微和铌呈分散状态是影响其选矿指标的重要因素。

(3) 湖北省两竹地区含铌矿石复杂多样，不同矿区或矿点的矿石矿物皆存在差异，但在矿石物质组分研究以及微细粒矿物分选技术方面研究还不够深入，还存在较大的研究空间。

参考文献：

[1] 吴凤贤, 李红伟. 湖北省竹溪县蒋家堰铌钽矿区地球化学异常特征 [J]. 资源环境与工程, 2016,30(6): 729-835.
WU F X, LI H W. Characteristics of geochemical anomalies in the niobium-tantalum mining area of Jiangjiayan, Zhuxi County, Hubei Province [J]. Resources, Environment and Engineering, 2016,30 (6) : 729-835.
[2] 王帅君, 陈志文. 湖北竹溪地区铌矿地质特征及找矿前景分析 [J]. 资源环境与工程, 2016,30(6): 810-814.
WANG S J, CHEN Z W. Geological characteristics and prospecting prospects of niobium ore in Zhuxi area, Hubei province [J]. Resources, Environment and Engineering,

[3] 刘万亮, 刘成新. 南秦岭竹溪天宝一带铌矿地质特征及找矿前景分析 [J]. 资源环境与工程, 2015,29(6): 779-785.
LIU W L, LIU C X. Geological characteristics and prospecting prospect analysis of niobium ore in Zhuxi Tianbao area, South Qinling [J]. Resources, environment and engineering, 2015,29 (6) : 779-785.
[4] 鲁力, 刘爽. 湖北某黑云母方解石碳酸岩型铌矿石赋存状态及可选性评价 [J]. 稀有金属, 2015,39(9): 831-835.
LU L, LIU S. Assessment of the occurrence state and the selectability of a biotite calcite niobium ore in Hubei province [J]. Rare metals, 2015,39 (9) : 831-835.
[5] 杨成, 刘成新. 南秦岭竹溪县天宝乡粗面岩地球化学特征与铌成矿 [J]. 岩石矿物学杂志, 2017,36(5): 605-618.
YANG C, LIU C X. Geochemical characteristics and niobium mineralization of coarse surface rocks in tianbao township, zhuxi county, southern Qinling mountains [J]. Journal of rock mineralogy, 2017,36 (5) : 605-618.
[6] 魏均启, 鲁力. 湖北竹溪县某铌矿物组成及 Nd 的赋存状态 [J]. 矿产综合利用, 2016 (2): 74-77.
WEI J Q, LU L. Mineral composition of niobium ore and occurrence state of Nd in Zhuxi county, Hubei province [J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2016 (2): 74-77.
[7] 朱建光, 周菁. 钛铁矿、金红石和稀土矿选矿技术 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2009.
ZHU J G, ZHOU J. Processing technology of ilmenite, rutile and rare earth minerals [M]. Changsha: Central South University Press, 2009.
[8] 朱建光. 浮选药剂 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993.
ZHU J G. Flotation reagents [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1993: 65-96.
[9] 刘爽, 林璠. 湖北某矿区含铌矿石选矿试验研究 [J]. 矿产综合利用, 2014(6): 35-39.
LIU S, LIN F. Experimental study on dressing of Niobium ore in a mining area in Hubei province [J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2014 (6) : 35-39.
[10] 刘书杰, 王中明. 某微细粒、低品位铌钽尾矿的选矿试验研究 [J]. 有色金属 (选矿部分), 2018(5): 72-77.
LIU S J, WANG Z M. Experimental study on mineral processing of a fine, low-grade Niobium and tantalum tailings [J]. Nonferrous Metals (Mineral processing part), 2018 (5): 72-77.

(下转 203 页)