

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2021.03.008

某硬岩铀矿磁场强化浸出试验研究

陈 向, 阳 俊, 廖德华

(湖南有色金属职业技术学院 资源环境系, 湖南 株洲 412006)

摘 要:江西某花岗岩型难浸硬岩沥青铀矿石,采用常规稀硫酸浸出时稀硫酸、双氧水药剂消耗大,浸出时间长,铀浸出率较低。为了提高该难浸硬岩铀矿的浸出率,通过采用稀土永磁内磁处理器对稀硫酸进行磁化处理后再进行浸出铀的对比试验。试验结果表明,在磁场强度为610 kA/m、磁化时间45 min、磨矿细度 -0.295 mm 含量占88%、硫酸浓度为21%、 H_2O_2 用量为0.7%、浸出时间3.5 h的条件下,获得了浸出矿渣含铀0.0092%、铀浸出率为91.24%的试验指标。与常规条件下铀浸出试验对比,铀浸出率提高了8.99个百分点,浸出矿渣含铀量减少0.0168个百分点,并且稀硫酸浓度降低2个百分点, H_2O_2 用量减少0.1个百分点,浸出时间缩短0.5 h。磁场强化硬岩铀矿浸出工艺为硬岩铀矿浸出技术提供了新的强化浸出方法,同时也为同类型矿山的浸出提供技术参考。

关键词:铀矿;磁处理;酸浸

中图分类号:TD958;TF111.31

文献标志码:A

文章编号:1671-9492(2021)03-0045-05

Experimental Study on Intensified Leaching of a Hard Rock Uranium Ore by Magnetic Field

CHEN Xiang, YANG Jun, LIAO Dehua

(Department of Resources and Environment, Hunan Nonferrous Metals of Vocational and Technical College, Zhuzhou 412006, Hunan, China)

Abstract: A granite-type refractory uranium ore in Jiangxi province is leached with dilute sulfuric acid, which consumes large amount of sulfuric acid and hydrogen peroxide, and results in long leaching time and low uranium leaching rate. In order to improve the leaching rate of the refractory hard rock uranium ore, the rare earth permanent magnet internal magnetic processor was used to magnetize the dilute sulfuric acid and then carry out the comparative test of leaching uranium. The results show that under the conditions of magnetic field intensity of 610 kA/m, magnetization time of 45 min, grinding fineness of 88% -0.295 mm , sulfuric acid concentration of 21%, H_2O_2 dosage of 0.7% and leaching time of 3.5 h, the uranium content in leaching slag is 0.0092% and the uranium leaching rate is 91.24%. Compared with the conventional uranium leaching test, the uranium leaching rate is increased by 8.99 percentage points, the uranium content in leaching slag is reduced by 0.0168 percentage points, the dilute sulfuric acid concentration is reduced by 2 percentage points, H_2O_2 consumption is reduced by 0.1 percentage points, and the leaching time is shortened by 0.5 h. The magnetic field enhanced hard rock uranium ore leaching process provides a new enhanced leaching method for hard rock uranium ore leaching technology, and also provides a technical reference for the leaching of the same type of mines.

Key words: uranium ore; magnetic treatment; acid leaching

铀在地壳中分布比较广泛,资源较丰富,但是高品位的铀矿床极少,且矿体分散,大多矿床形态复

杂。铀矿物主要为氧化物、磷酸盐、硅酸盐等,常以细粒浸染状态存在,因此铀矿床不适宜采用普通的

收稿日期:2020-08-10

基金项目:湖南省教育厅科学研究项目(19C1375)

作者简介:陈 向(1985-),女,湖南浏阳人,硕士,副教授,主要从事复杂矿产资源综合利用及稀贵金属的回收利用。

通信作者:阳 俊(1985-),男,江西赣州人,硕士,副教授,主要从事矿山工程安全技术,溶浸采矿技术。

选矿方法进行回收,大多数矿山对铀矿直接碎磨后,进行化学选矿浸出处理;还有些铀矿山直接对原矿进行堆浸或地浸^[1]。饶苗苗等^[2]对广东某低品位铀矿进行硫酸浓度、铁浓度和温度对铀矿浸出的影响试验,在硫酸浓度、三价铁离子浓度分别为 214.5 g/L、11.1 g/L 条件下,获得了较高的铀浸出率,同时说明了三价铁离子可加速铀浸出率。龙清等^[3]对某铀矿回收率较低的情况进行了损失途径分析,并结合实际情况采取了减小原矿处理量、加强洗涤效果、减少铀在沉淀母液和转型尾液中的损失等措施,大大提高了铀矿回收率。王洪明等^[4]在高酸耗铀矿堆浸中采用活化技术,在投资低、工艺简单的基础上提高铀矿浸出率 9 个百分点,同时得出活化技术在酸法浸出中效果比碱法浸出中更明显。曹文乐等^[5]对某硬岩铀矿进行浓酸熟化法与常规酸浸法比较,得到浓酸熟化法可大大提高铀矿浸出率,并且投资成本较低。选矿研究者为了有效提高矿物的分选回收,在矿业行业中引入磁处理技术来弥补常规选冶法的不足,并且获得了一定的效果。罗仙平等^[6]提出了磁处理化学浸出具有比较好的应用前景,因为此法仅需要增加磁场,而不需要改变浸出工艺流程,且能有效提高选冶指标。邱廷省等^[7]在常规硫脲浸金的基础上引入磁场,得出了磁处理技术不仅可以减小药量,缩短浸出时间,同时可提高金浸出率。方夕辉等^[8]采用磁处理技术处理某稀土,稀土纯度比常规条件下浸出可提高 3~4 个百分点。

为了提高江西某难浸硬岩铀矿的浸出率,在常规铀矿稀硫酸浸出基础上,对硫酸溶液进行磁化处理,再对该铀矿进行酸浸处理试验研究,探讨了铀矿浸出过程中磁处理技术对铀浸出率的影响。

1 矿石性质

江西某难处理铀矿,矿床类型为花岗岩型,矿石较为致密坚硬,硬度在 6~8 级,属于硬岩铀矿床,较难浸出。铀矿物主要为沥青铀矿,沥青铀矿呈胶状结构,以斑点、星点、团块浸染状、细脉状构造产出,粒径 0.01~0.02 mm,与方解石、黄铁矿、赤铁矿等紧密共生,与高岭石等粘土矿物伴生;其他金属矿物主要有闪锌矿、赤铁矿和黄铁矿等,脉石矿物以方解石、石英、磷灰石、高岭石、萤石等为主。对于硬质岩类原生矿石,在无氧化剂的环境下其浸出率极低,属难浸矿石。矿样中主要化学组分分析结果见表 1。由表 1 结果可知,该铀矿石中铀含量为 0.183%,为主要回收矿物。

表 1 矿样主要化学组分分析结果

Table 1 Results of main chemical components analysis of ore sample

组分	U	FeO	Fe ₂ O ₃	CaF ₂	Al ₂ O ₃	ZnO
含量	0.183	1.78	1.17	1.34	6.01	0.017
组分	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂
含量	2.58	0.95	1.31	2.45	0.082	78.21

2 常规条件下酸浸试验

针对江西某硬岩铀矿矿样性质特点,在矿样粒度为-0.295 mm 占 88%、H₂O₂ 为氧化剂的条件下,采用稀硫酸酸浸工艺回收铀,浸出试验流程见图 1,硫酸浓度为 22%、浸出时间为 4 h,不同 H₂O₂ 浓度对铀浸出率的试验结果见表 2;H₂O₂ 浓度为 0.8%、浸出时间为 4 h,不同硫酸浓度对铀浸出率的试验结果见表 3。由表 2、3 结果可知,通过常规条件下稀硫酸浸出条件试验,最终获得在 H₂O₂ 浓度为 0.8%,稀硫酸浓度 23%,浸出时间 4 h 时,浸出矿渣含铀 0.026%,铀浸出率为 82.25%的试验指标。

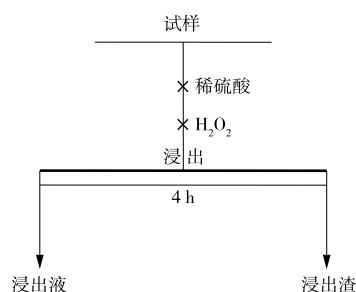


图 1 浸出试验流程

Fig. 1 Flowsheet of leaching tests

表 2 H₂O₂ 用量对铀浸出率的影响

Table 2 Effect of hydrogen peroxide dosage on uranium leaching rate

序号	H ₂ O ₂ 用量	铀浸出率
1	0.4	76.35
2	0.6	79.23
3	0.8	81.75
4	1.0	81.96

表 3 硫酸浓度对铀浸出率的影响

Table 3 Effect of sulfuric acid concentration on uranium leaching rate

序号	硫酸浓度	铀浸出率
1	19	78.91
2	21	80.31
3	23	82.25
4	25	82.26

3 磁处理条件下酸浸试验

朱元保等^[9]研究了不同磁场强度条件下水的pH值、溶解氧、紫外光谱及难溶盐的溶解度。结果表明,经磁化的蒸馏水和自来水的pH值均升高,水中的溶解氧都有明显增加。作者通过利用磁处理技术^[10-12]改变溶液中的溶解氧等性质,研究了磁处理条件下白钨矿与含钙矿物的浮选分离、黑钨矿的磁化浮选、碳酸氢钠沉淀稀土浸出液等技术,结果表明磁处理可以有效促进矿物的浮选分离。由于pH值、溶解氧含量对铀矿的浸出工艺是主要影响因素,因此通过外加磁场对稀硫酸进行磁化处理,以此改善浸出中的pH值和溶解氧含量,达到强化铀矿的浸出效果。本试验通过采用稀土永磁内磁处理器对稀硫酸进行磁化处理,重点考虑磁场强度和磁化时间两个因素^[6],研究经过磁化处理后的稀硫酸用于铀矿酸浸工艺的效果。

3.1 磁场强度试验

在矿样粒度-0.295 mm占88%、 H_2O_2 用量为0.8%、稀硫酸浓度23%、浸出时间4 h、磁化时间40 min的条件下,对稀硫酸进行磁化处理。不同磁场强度处理后的稀硫酸对铀矿进行浸出,浸出试验结果见图2。图2结果表明,磁场强度的增大有利于铀矿的浸出率,当磁场强度达到610 kA/m时,铀矿的浸出率为84.53%,此时铀矿浸出效果最佳。

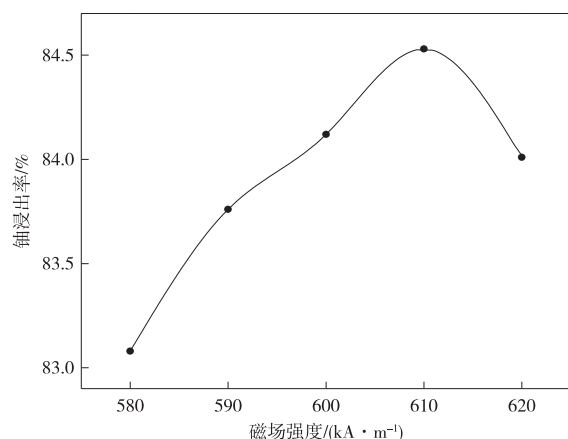


图2 不同磁场强度对铀矿酸浸试验的影响

Fig. 2 Effect of different magnetic field intensity on acid leaching tests of uranium ore

3.2 磁化时间试验

磁化时间是磁处理技术中的另一个非常重要的因素。在矿样粒度-0.295 mm占88%、 H_2O_2 用量为0.8%、稀硫酸浓度23%、浸出时间4 h、磁场强度610 kA/m的条件下,对稀硫酸进行不同时间的磁化处理,将磁化处理后的稀硫酸用于铀矿浸出,浸出试

验结果见图3。从图3结果可知,当磁化时间低于45 min时,延长磁化时间有利于铀矿的浸出;但当磁化时间超过45 min,继续增加磁化时间,铀矿浸出率呈下降趋势。因此,确定合适的磁化时间为45 min。此时,铀矿浸出率为85.76%。

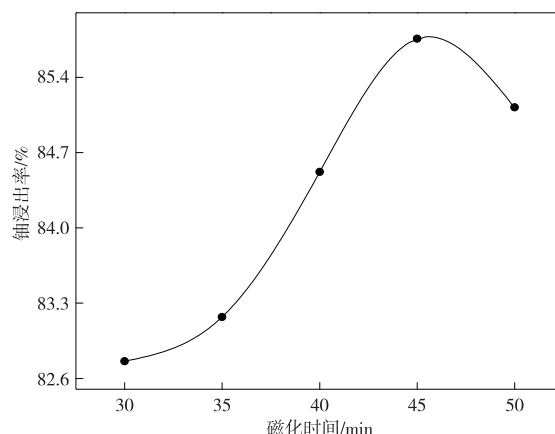


图3 磁化时间对铀矿酸浸试验的影响

Fig. 3 Effect of magnetization time on acid leaching tests of uranium ore

3.3 磨矿细度试验

在磁场强度610 kA/m、磁化时间45 min的条件下,对浓度为23%的稀硫酸进行了磁化处理。固定 H_2O_2 用量为0.8%、浸出时间4 h,考察不同的磨矿细度对铀矿浸出率的影响,试验结果见图4。图4结果表明,随着-0.295 mm粒级含量的增加,铀矿浸出率呈现上升趋势,当-0.295 mm粒级含量达到88%后,铀矿浸出率上升趋势较平缓,继续增大磨矿细度,试验成本也随之增加。因此,确定合适的磨矿细度为-0.295 mm占88%,此时铀矿的浸出率为87.46%。

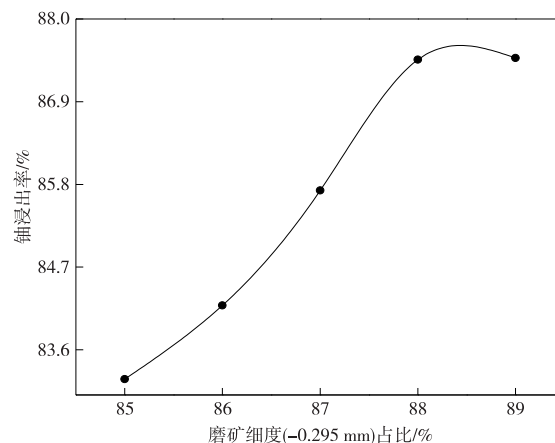


图4 不同磨矿细度对铀矿浸出试验的影响

Fig. 4 Effect of grinding fineness on leaching tests of uranium ore

3.4 硫酸浓度试验

磁处理条件下,在磨矿细度-0.295 mm占88%、

H_2O_2 用量为 0.8%、浸出时间 4 h 条件下,对铀矿进行不同硫酸浓度的酸浸试验,试验结果见图 5。从图 5 结果可看出,随着硫酸浓度的升高,铀矿浸出率有明显上升趋势,当硫酸浓度达到 21%,铀矿浸出率为 88.39%;继续增大硫酸浓度,铀矿浸出率呈下降趋势。因此,确定磁处理条件下的硫酸浓度为 21%。

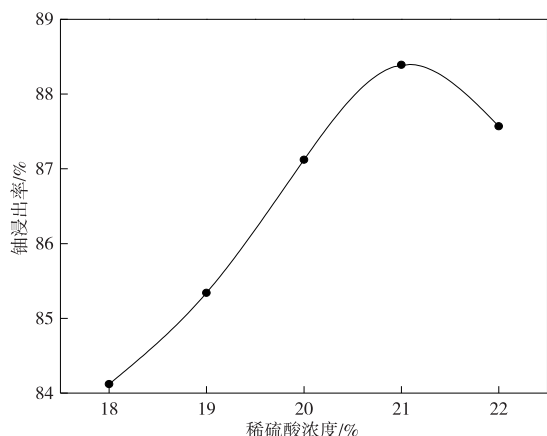


图 5 不同硫酸浓度对铀矿酸浸试验的影响

Fig. 5 Effect of different sulfuric acid concentration on acid leaching tests of uranium ore

3.5 氧化剂 H_2O_2 用量试验

磁处理条件下,在磨矿细度—0.295 mm 占 88%、稀硫酸浓度 21%、浸出时间 4 h 条件下对铀矿进行酸浸处理。磁处理条件下氧化剂 H_2O_2 用量试验结果见图 6。从图 6 可看出,当 H_2O_2 用量少于 0.7% 时,铀矿浸出率随着 H_2O_2 用量的增加而上升;当用量多于 0.7% 时,铀矿浸出率呈现下降趋势。因此,确定合适的 H_2O_2 用量为 0.7%。此时,铀矿浸出率为 89.48%。

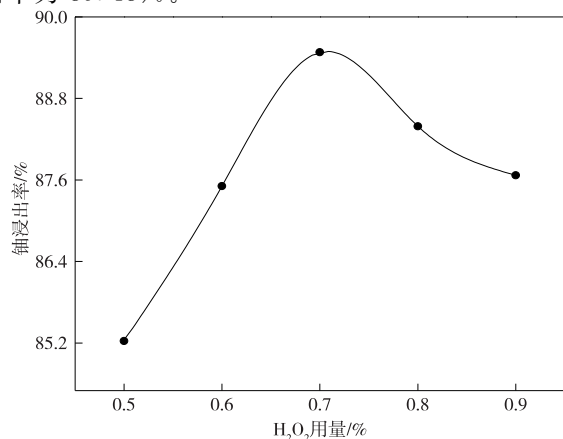


图 6 H_2O_2 用量对铀矿酸浸试验的影响

Fig. 6 Effect of H_2O_2 dosage on acid leaching tests of uranium ore

3.6 浸出时间试验

磁处理条件下,在磨矿细度—0.295 mm 占 88%、稀硫酸浓度 21%、氧化剂 H_2O_2 用量为 0.7% 条件下,对铀矿进行不同时间的酸浸处理,试验结果见图 7。从图 7 可看出,当浸出时间超过 3.5 h 后,铀矿浸出率呈现下降趋势。因此,确定磁处理条件下铀矿酸浸浸出时间为 3.5 h。此时,铀矿浸出率为 91.24%,浸出矿渣含铀 0.0092%。

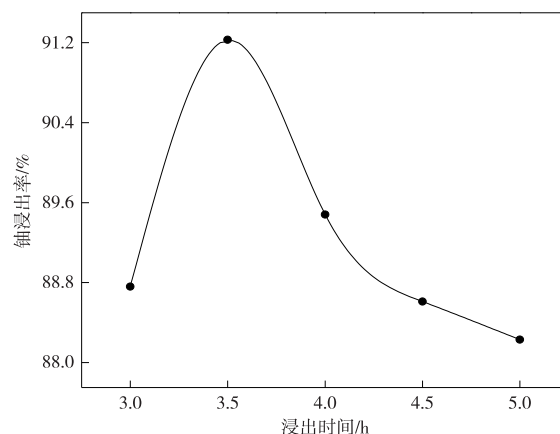


图 7 不同的浸出时间对铀矿酸浸试验的影响

Fig. 7 Effect of leaching time on acid leaching tests of uranium ore

3.7 最佳条件下浸出试验

在条件试验的基础上,进行了最佳条件下铀矿浸出试验。试验条件为:磁场强度 610 kA/m、磁化时间为 45 min、磨矿细度—0.295 mm 占 88%、硫酸浓度为 21%、 H_2O_2 用量为 0.7%、浸出时间为 3.5 h,最终获得了浸出矿渣含铀 0.0092%、铀浸出率为 91.24% 的试验指标。

4 结论

1)江西某硬岩铀矿床,主要金属矿物为沥青铀矿、闪锌矿、赤铁矿和黄铁矿等,脉石矿物以方解石、石英、磷灰石、高岭石、萤石等为主。该矿样中铀含量为 0.183%。

2)在磨矿细度—0.295 mm 占 88%、 H_2O_2 用量为 0.8%、稀硫酸浓度 23%、浸出时间 4 h 条件下对该铀矿进行酸浸处理,铀浸出率为 82.25%,浸出矿渣含铀 0.026%。

3)在磁场强度 610 kA/m、磁化时间 45 min 的条件下,对浓度 21% 的稀硫酸进行了磁化处理。经过磁化处理后,在磨矿细度—0.295 mm 占 88%、氧化剂 H_2O_2 用量 0.7%、浸出时间 3.5 h 条件下对铀矿进行酸浸处理,铀矿浸出率为 91.24%,浸出矿渣含铀 0.0092%。

4)从常规条件和硫酸经过磁化处理后铀矿酸浸对比试验结果可知,磁化条件下铀矿浸出效果更好,浸出率提高了8.99个百分点,浸出矿渣含铀量减少0.0168个百分点,并且稀硫酸浓度降低2个百分点, H_2O_2 用量减少0.1个百分点,浸出时间缩短0.5 h。

5)本试验结果为硬岩铀矿回收提供了新的强化浸出方法,该方法不需改变原有生产工艺,只需外加稀土永磁内磁处理器对稀硫酸进行磁化处理,具有工艺简单、成本低、不产生二次污染等特点,可以为同类型矿山的浸出提供技术参考。

参考文献

- [1] 《矿产资源综合利用手册》编辑委员会. 矿产资源综合利用手册[M]. 北京:科学出版社,2000:319-336.
Editorial Committee of "Handbook of Comprehensive Utilization of Mineral Resources". Handbook of comprehensive utilization of mineral resources [M]. Beijing: Science Press, 2000: 319-336.
- [2] 饶苗苗,周仲魁,郑立莉,等. 低品位铀矿浸出试验研究[J]. 有色金属(冶炼部分),2019(8):52-56.
RAO Miaomiao, ZHOU Zhongkui, ZHENG Lili, et al. Study on leaching of low-grade uranium mines [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2019(8): 52-56.
- [3] 龙清,刘安琴,于素芹,等. 提高某铀矿回收率的工艺改进措施[J]. 中国矿业,2017,26(9):142-147.
LONG Qing, LIU Anqin, YU Suqin, et al. Some improvement in the technologies for increasing the metal recovery in a certain uranium mine [J]. China Mining Magazine, 2017, 26(9): 142-147.
- [4] 王洪明,孟晋,康绍辉,等. 活化技术在高酸耗铀矿堆浸中的应用研究[J]. 铀矿冶,2004,23(1):9-12.
WANG Hongming, MENG Jin, KANG Shaohui, et al. Applied research on the treatment of high acid consumption uranium ore with activate heap leaching [J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2004, 23(1): 9-12.
- [5] 曹文乐,窦小平. 浓酸熟化——一种有效的硬岩铀矿浸出方法[J]. 铀矿地质,1998,14(4):214-217.
CAO Wenle, DOU Xiaoping. Acid curing: An effective method for leaching uranium from uranium ores of hard rock [J]. Uranium Geology, 1998, 14(4): 214-217.
- [6] 罗仙平,邱廷省,方夕辉,等. 磁处理技术的理论及其在矿冶中的应用[J]. 南方冶金学院学报,2001,22(2):86-89.
LUO Xianping, QIU Tingsheng, FANG Xihui, et al. Theory of magnetic treatment technique and its applications in mining and metallurgy [J]. Journal of Southern Institute of Metallurgy, 2001, 22(2): 86-89.
- [7] 邱廷省,罗仙平,付丽珠. 磁场强化硫脲浸金试验研究[J]. 黄金,1999,20(9):32-34.
QIU Tingsheng, LUO Xianping, FU Lizhu. Study on gold leaching with thiocarbamide intensified by magnetic field [J]. Gold, 1999, 20(9): 32-34.
- [8] 方夕辉,尹艳芬,邱廷省,等. 磁处理对碳酸氢铵沉淀稀土母液体系的影响[J]. 矿产综合利用,2004(3):7-9.
FANG Xihui, YIN Yanfen, QIU Tingsheng, et al. The influence of magnetic treatment on rare earth lixivium during precipitation by NH_4HCO_3 [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2004(3): 7-9.
- [9] 朱元保,颜流水,曹祉祥,等. 磁化水的物理化学性能[J]. 湖南大学学报(自然科学版),1999,26(1):21-25.
ZHU Yuanbao, YAN Liushui, CAO Zhixiang, et al. Physical and chemical properties of magnetized water [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences Edition), 1999, 26(1): 21-25.
- [10] 廖德华,陈向. 从某钨矿尾矿中磁化浮选萤石试验[J]. 有色金属(选矿部分),2017(3):40-44.
LIAO Dehua, CHEN Xiang. Study on magnetization treatment flotation technique of fluorite from tungsten tailings [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2017(3): 40-44.
- [11] 陈向,廖德华. 某难选黑钨矿磁化浮选研究[J]. 有色金属(选矿部分),2020(3):47-51.
CHEN Xiang, LIAO Dehua. Study on magnetized flotation of a refractory wolframite [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2020(3): 47-51.
- [12] 陈向,廖德华. 磁处理强化碳酸氢钠沉淀稀土浸出液过程的研究[J]. 矿业工程,2020,40(3):99-101.
CHEN Xiang, LIAO Dehua. Magnetization process for strengthening the precipitation of rare earth leach solution by sodium bicarbonate [J]. Mining Engineering, 2020, 40(3): 99-101.