

某难处理金矿加压氧化提金试验研究

马 辉¹, 伊山廷², 袁朝新^{1*}, 郭持皓¹, 梁东东³, 曹佳旭¹, 李拓夫¹

(1. 矿冶科技集团有限公司; 2. 山东金创金银冶炼有限公司; 3. 中国有色金属建设股份有限公司)

摘要:难处理金矿占世界金矿总资源量的三分之二左右,在可以预见的未来,金、银等贵金属的获取将依赖于难处理矿石的开采及提取。随着新质生产力概念的提出,传统冶金行业需要开发更加高效的工艺进行生产。对某难处理金矿进行矿物性质分析,以及直接浸金试验与加压氧化预处理后浸金试验。直接浸金试验研究了磨矿细度、浸金药剂种类、反应时间等因素的影响,在最佳试验条件下金浸出率为 48.27%;加压氧化预处理后浸金试验研究了加压氧化过程中体系、温度、酸耗及停留时间等因素的影响,得到最佳预处理条件为浓硫酸介质,添加量 180 kg/t,反应温度 260 ℃,氧分压 0.3 MPa,总压力 5.0 MPa,釜内停留时间 2.5 h,矿浆浓度 40%,获得金浸出率为 84.06%,为难处理金矿浸金提供了依据。

关键词:难处理;金矿;加压氧化;预处理;浸出率;新质生产力;最佳条件

中图分类号:TF831

文章编号:1001-1277(2025)01-0030-07

文献标志码:A

doi:10.11792/hj20250106

引 言

黄金作为国家战略性资源,不仅在电子通信行业、首饰行业中起着举足轻重的作用,更在世界各国作为特殊货币进行储存。2023 年,中国生产黄金 519.29 t,其中,国内原料黄金产量为 375.16 t,自 2007 年以来连续 16 年位居世界第一^[1]。世界上的易处理金矿由于不断开采,其金资源量正在不断减少,难处理金矿成为主要金矿资源。难处理金矿占世界金矿总资源量的三分之二左右^[2],在可以预见的未来,金、银等贵金属的获取将依赖于难处理矿石的开采及提取。随着新质生产力概念的提出,黄金提炼行业要摆脱对传统生产力的依赖,将目光投向之前无法解决的艰难课题,创新高效能地发展新质生产力,以难处理金矿作为目标进行详细研究并开发新的工业生产工艺,从而提高难处理金矿的金回收率。

难处理金矿一般指采用直接浸出工艺难以有效提取矿物中金的金矿,即使用传统浸出工艺浸出金时,金浸出率低于 80%的金矿^[2],导致难以直接浸出的原因为矿石中金被毒砂或黄铁矿包裹^[3-5]、浸出过程中二次产物再次包裹金、碳质的存在及与其他难溶矿物连生^[6-8]。为了更加高效提取难处理金矿中的金,提出了针对性的工艺以达到打开金包裹及降低其他杂质元素对浸金过程的负面影响^[9],这些工艺包括焙烧、焙烧酸浸、生物氧化及加压氧化^[10-13]。对于

难处理金矿,使用传统处理方法,其金浸出率只有 60%^[14],康健等^[15]针对难处理金矿采用碱性加压预氧化—氰化浸出工艺,最终获得了 64.15%的金浸出率。加压氧化法是在有氧高温高压条件下,加入碱或酸分解含硫、砷的矿物,使金暴露,有利于后续浸出,从而达到提高金浸出率的目的^[16],可分为碱性加压氧化法和酸性加压氧化法。相比其他预处理方法,加压氧化法具有反应速度快、对空气无污染、硫砷等有害元素脱除率高等显著优点^[17-20]。黄金的提取是从自然界获取高价值金属最直接的手段之一,在中国已经有数千年的历史。随着时代的发展,在黄金提取领域引入新质生产力的概念可以通过科技创新、信息化和智能化手段,提升黄金提取的效率和质量。近年来,随着易浸金矿资源的枯竭,对难处理金矿的研究也在不断发展,但面临着浸出率低及环境污染严重等问题,新质生产力通过对传统生产力的突破,结合科技创新,可以提高生产效率并实现绿色冶金。在黄金提取领域还需对新科技创新进行系统性研究。

通过对国内某难处理金矿性质的研究,认为其金浸出率较低的原因是矿石中存在严重的矿物包裹和杂质矿物连生,本文通过加压氧化预处理有效解决了矿物包裹问题,大幅提高了金回收率。

1 试验原料

试验原料来自中国西部地区的某难处理金矿,对

收稿日期:2024-07-19;修回日期:2024-09-23

基金项目:山东省重点研发计划项目(2023CXGC010903)

作者简介:马 辉(1997—),男,助理工程师,硕士,从事有色金属冶金工作;E-mail:mahuibgrimm@163.com

* 通信作者:袁朝新(1971—),男,教授级高级工程师,硕士,从事冶金工艺研究与设计工作;E-mail:yuan_cx@bgrimm.com

矿石进行化学成分分析,结果见表 1。

表 1 矿石化学成分分析结果

Table 1 Chemical composition analysis results of ores			
成分	w/%	成分	w/%
Au ¹⁾	2.49	Co	<0.005
Ag ²⁾	2.54	Cr	0.0051
Si	48.73	Li	<0.005
S	4.06	Mn	0.007 6
Hg	0.007 3	Ni	<0.005
Fe	3.7	Pb	0.018
Al	1.52	Sb	0.019
Mg	0.057	Sn	<0.005
Ca	0.77	Be	<0.005
Cu	<0.005	Bi	<0.005
As	0.1	Cd	<0.005
Ba	0.011		

注:1) $w(\text{Au})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$; 2) $w(\text{Ag})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$ 。

由表 1 可知:矿石中金品位为 2.49 g/t,银品位为 2.54 g/t。矿石中硫品位为 4.06 %,砷品位为 0.1 %,铁品位为 3.7 %,这 3 种元素可能形成毒砂或者黄铁矿,这 2 种矿物会严重阻碍氰化浸出过程。矿石中硅品位高达 48.73 %,被大量 SiO_2 包裹的金元素难以参与到氰化浸出过程中。

为了分析矿石的矿物组成及金的分布状态,利用 X 射线衍射仪(XRD)及扫描电镜(SEM)对矿物进行分析,XRD 分析结果见图 1,扫描电镜镜下图片见图 2,能谱图见图 3,能谱元素面分布见图 4,能谱分析结果见表 2。

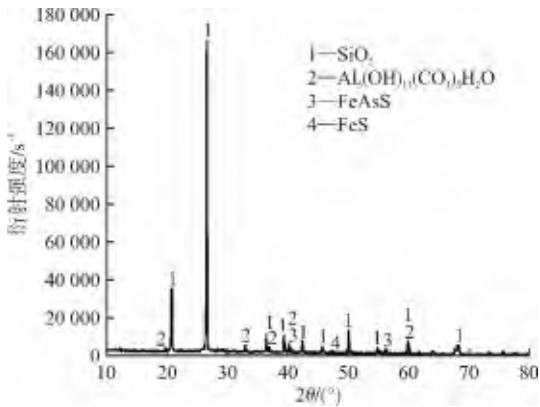


图 1 XRD 分析结果
Fig. 1 XRD analysis results

由图 1 可知:矿石中主要矿物为 SiO_2 ,伴生少量的 $\text{Al}_5(\text{OH})_{13}(\text{CO}_3)_5\text{H}_2\text{O}$ (水碳铝石)、FeS 及 FeAsS。其中,FeS 及 FeAsS 的峰值较小,表明 FeS 及 FeAsS 含量较低。由图 2~4、表 2 可知:经过破碎的矿石结构光滑,主要组成元素为 Si、O,夹杂少量 S、Al 及 Fe,与 XRD 分析结果一致。矿石中存在大量 SiO_2 相,FeS 赋存在 SiO_2 基底中或者单独存在,铝氧化物单独存在于矿石中。

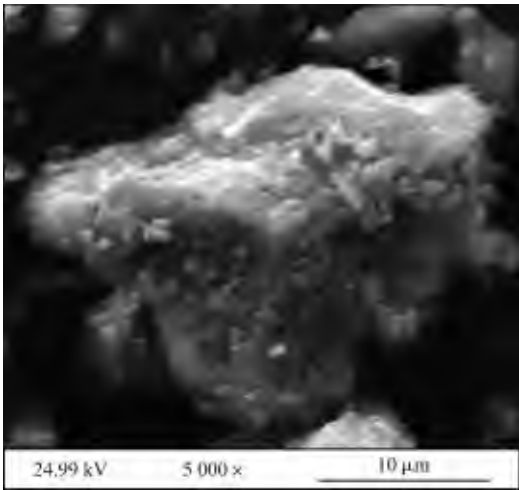


图 2 扫描电镜镜下图片
Fig. 2 Scanning electron microscope images

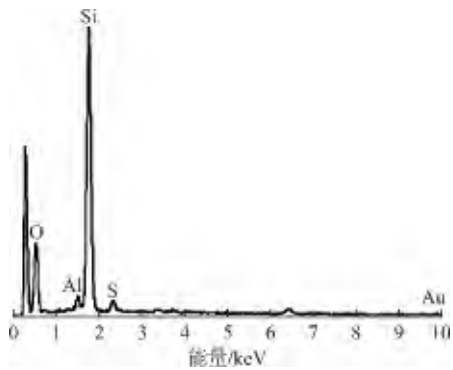


图 3 能谱图
Fig. 3 Energy spectrum diagram

金物相分析结果见表 3。由表 3 可知:矿石中大部分金存在于单体金+连生金中,铁等氧化物和硫化物包裹金占比为 24.10 %。

2 直接浸金试验研究

2.1 试验方法

将破碎、磨矿后的原矿制成矿浆,加入石灰乳液调节其 pH 至适当水平,混合浸金药剂。控制反应时间,完成浸金过程后,进行固液分离,对残渣进行洗涤、烘干、称量,并分析其中的金含量,计算金浸出率。

2.2 结果与讨论

2.2.1 磨矿细度对金浸出率的影响

试验条件:磨矿细度-0.038 mm 占比分别为 44.29 %、51.31 %、69.19 %、76.08 %和 90.00 %,液固比 3 : 2,pH 值 11.5,浸金药剂 A,药剂用量 6 kg/t,反应时间 48 h。磨矿细度试验结果见表 4。

由表 4 可知:随着磨矿细度逐渐提高,金浸出率缓慢上升并趋于稳定。这主要是因为磨矿细度的增加释放了原本被矿物包裹的金,使金更好地与浸金剂

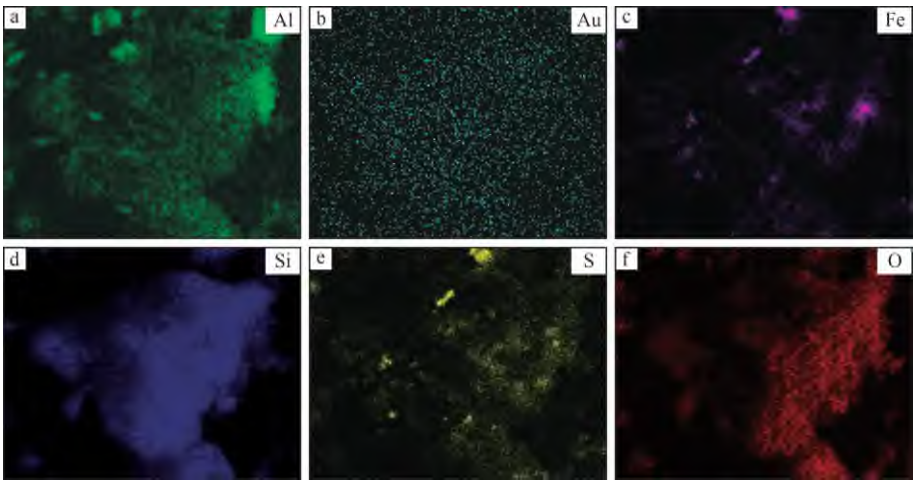


图 4 能谱元素面分布

Fig. 4 Elemental face distribution from energy spectrum analysis

表 2 能谱分析结果

Table 2 Energy spectrum analysis results

元素	$w/\%$
O	45.68
Al	2.87
Si	47.14
S	2.91
Au ¹⁾	1.40

注: 1) $w(\text{Au})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$ 。

表 3 金物相分析结果

Table 3 Phase analysis results for gold

相别	$w(\text{Au})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$
碳酸盐包裹金	0.09
硅酸盐包裹金	0.09
铁等氧化物包裹金	0.28
硫化物包裹金	0.32
单体金+连生金	1.71
总金	2.49

表 4 磨矿细度试验结果

Table 4 Grinding fineness test results

$w(\text{磨矿细度} - 0.038 \text{ mm})/\%$	尾渣 Au 品位/ ($\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$)	产渣率/%	金浸出率/%
44.29	1.58	93.96	40.38
51.31	1.48	95.31	43.35
69.19	1.38	95.15	47.27
76.08	1.38	93.34	48.27
90.00	1.38	93.40	48.25

发生反应,从而促进了金的浸出过程。在磨矿细度-0.038 mm 占比 76.08 %时,金浸出率达到最高值,为 48.27 %。因此,确定磨矿细度为-0.038 mm 占比 76.08 %。

2.2.2 浸金药剂种类对金浸出率的影响

试验条件:磨矿细度-0.038 mm 占比 76.08 %,液固比 3 : 2, pH 值 11.5, 浸金药剂分别为 A、B、C、D,

药剂用量 6 kg/t, 反应时间 48 h。浸金药剂种类试验结果见表 5。

表 5 浸金药剂种类试验结果

Table 5 Leaching reagent type test results

浸金药剂	尾渣 Au 品位/ ($\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$)	产渣率/%	金浸出率/%
A	1.38	93.34	48.27
B	1.35	95.60	48.17
C	1.36	95.44	47.87
D	1.36	95.04	48.09

由表 5 可知:金浸出率受浸金药剂种类变化影响较小,均维持在 48 % 左右,后续试验继续使用 A 浸金药剂。

2.2.3 反应时间对金浸出率的影响

试验条件:磨矿细度-0.038 mm 占比 76.08 %,液固比 3 : 2, pH 值 11.5, 浸金药剂 A, 药剂用量 6 kg/t, 反应时间 24 h、48 h、72 h。反应时间试验结果见表 6。

表 6 反应时间试验结果

Table 6 Reaction time test results

反应时间/h	尾渣 Au 品位/ ($\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$)	产渣率/%	金浸出率/%
24	2.19	95.95	15.61
48	1.38	93.34	48.27
72	1.33	96.49	48.46

由表 6 可知:金浸出率受反应时间的影响较大,随着反应时间增加,金浸出率随之上升;当反应时间为 48 h 时,金浸出率达到 48.27 %;当反应时间为 72 h 时,金浸出率仅比反应时间 48 h 时提高了 0.19 百分点。因此,确定最佳反应时间为 48 h。

2.2.4 物相分析

对最佳试验条件下的浸出渣进行物相分析,并与

原矿浸出渣物相进行对比,结果见表 7。

表 7 浸金前后矿物物相对比
Table 7 Comparison of mineral phases before and after gold leaching

相别	原矿		浸出渣	
	$w(\text{Au})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$	分布率/%	$w(\text{Au})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$	分布率/%
碳酸盐包裹金	0.09	3.62	0.06	4.51
硅酸盐包裹金	0.09	3.62	0.07	5.26
铁等氧化物包裹金	0.28	11.24	0.17	12.78
硫化物包裹金	0.32	12.85	0.16	12.03
单体金+连生金	1.71	68.67	0.87	65.42
总金	2.49	100.00	1.33	100.00

由表 7 可知:直接浸金过程中包裹金很难被浸出,主要是单体金和连生金被浸出,占总浸出金的 72 %。造成金浸出率偏低的原因:一方面,仍有大量的单体金和连生金未被浸出,可能是由于这部分金虽然没有形成物相包裹,但金以次显微形式存在,粒度极细,形成了物理包裹;另一方面,存在大量被其他物相包裹的金。增加磨矿细度或延长反应时间,均不足以形成有效的浸金行为,导致金浸出率不高。

3 加压氧化试验研究

采用直接浸金工艺无法获得理想的金浸出率。矿石中存在的硫化物及铁等氧化物包裹的金无法有效参与到浸金过程中,而占比较大的单体金+连生金在直接浸出过程中也无法大量参与到浸金过程中。为了更高效地提取矿石中的金,采取加压氧化工艺对矿石进行预处理后浸金。

3.1 试验方法

将破碎、磨矿后矿石同介质和水混合后制成矿浆,将矿浆置于加压釜中,往加压釜中通入一定量的氧气进行加压氧化预处理,对预处理后的矿浆进行固液分离,加压氧化渣进一步磨矿,将磨矿后的加压氧化渣同一定量水制成矿浆后,加入石灰乳液调节其 pH 至适当水平,混合浸金药剂。控制反应时间,完成浸金过程后,进行固液分离,对残渣进行洗涤、烘干、称量,并分析其中的金含量,计算金浸出率。

3.2 结果与讨论

3.2.1 加压氧化不同(酸碱度)体系对金浸出率的影响

试验条件:介质(浓硫酸、氢氧化钠、浓硫酸+浓硝酸)添加量 160 kg/t,设定温度 220 ℃,氧分压 0.3 MPa,总压力 2.6 MPa,釜内停留时间 2 h,矿浆浓度 40 %。在加压氧化后,将加压氧化渣干燥后置于振磨机中振磨 10 min,获得磨矿细度-0.038 mm 占比 90 %的样品。浸金试验条件:浸金药剂 A,调浆 pH 值 11.5,浸出药剂用量 6 kg/t,液固比 3 : 2,浸金时间

48 h。加压氧化不同(酸碱度)体系试验结果见表 8。

表 8 加压氧化不同(酸碱度)体系试验结果
Table 8 Test results of pressurized oxidation under different pH conditions

体系	加压氧化渣		产渣率/%	金浸出率/%
	产率/%	$w(\text{Au})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$		
浓硫酸	85.13	3.03	98.28	73.46
氢氧化钠	86.65	2.86	97.63	65.72
浓硫酸+浓硝酸	91.85	3.03	98.90	70.21

由表 8 可知:在不同体系下,加压氧化后金浸出率不同。在浓硫酸体系下,金浸出率为 73.46 %;在氢氧化钠体系下,金浸出率为 65.72 %;在浓硫酸+浓硝酸体系下,金浸出率为 70.21 %。根据试验结果,加压氧化在浓硫酸体系下可以获得较好的金浸出率。

3.2.2 加压氧化温度对金浸出率的影响

试验条件:在浓硫酸体系下,加压氧化温度为 180 ℃、200 ℃、220 ℃、240 ℃、260 ℃,其余试验条件与 3.2.1 相同。加压氧化温度试验结果见表 9。

表 9 加压氧化温度试验结果
Table 9 Test results of temperature for pressurized oxidation

加压氧化温度/℃	加压氧化渣		产渣率/%	金浸出率/%
	产率/%	$w(\text{Au})/(\text{g} \cdot \text{t}^{-1})$		
180	87.50	3.05	98.98	73.44
200	88.12	3.39	99.67	74.11
220	85.13	3.03	98.28	73.46
240	88.84	3.05	97.93	76.05
260	91.82	3.05	94.92	80.98

由表 9 可知:随着加压氧化温度升高,金浸出率不断升高,在 260 ℃时达到最大值,为 80.98 %。在本试验变量设置范围内未出现极点,但由于试验所使用设备最大加压氧化温度为 260 ℃,因此,在后续加压氧化试验中加压氧化温度为 260 ℃。

3.2.3 加压氧化酸耗对金浸出率的影响

试验条件:在浓硫酸体系下,加压氧化温度为

260 ℃,总压力为 5.0 MPa,浓硫酸添加量为 120 kg/t、140 kg/t、160 kg/t、180 kg/t 及 200 kg/t,其余试验条件与 3.2.1 相同。加压氧化酸耗试验结果见表 10。

表 10 加压氧化酸耗试验结果

Table 10 Test results of acid consumption for pressurized oxidation

加压氧化酸耗/ (kg · t ⁻¹)	加压氧化渣		产渣率/%	金浸出率/%
	产率/%	w(Au)/(g · t ⁻¹)		
120	91.75	2.91	99.46	73.51
140	92.88	2.87	99.76	75.58
160	91.82	3.05	94.92	80.98
180	88.85	3.18	99.26	83.62
200	84.59	3.08	99.71	82.55

由表 10 可知:随着加压氧化过程中酸耗的增加,金浸出率不断增加,直至酸耗为 180 kg/t 时,金浸出率达到 83.62 %;随着酸耗的进一步增加,金浸出率略下降。因此,浓硫酸添加量确定为 180 kg/t。

3.2.4 加压氧化停留时间对金浸出率的影响

试验条件:在浓硫酸体系下,加压氧化温度为 260 ℃,总压力为 5.0 MPa,浓硫酸添加量为 180 kg/t,加压氧化停留时间为 1,1.5,2,2.5 和 3 h,其余试验条件与 3.2.1 相同。加压氧化停留时间试验结果见表 11。

表 11 加压氧化停留时间试验结果

Table 11 Test results of residence time for pressurized oxidation

加压氧化 停留时间/h	加压氧化渣		产渣率/%	金浸出率/%
	产率/%	w(Au)/(g · t ⁻¹)		
1	87.40	3.25	99.58	81.27
1.5	87.82	3.12	98.35	82.53
2	86.86	3.18	99.26	83.62
2.5	85.52	2.99	95.97	84.06
3	86.29	2.99	98.67	82.22

由表 11 可知:随加压氧化停留时间增加,金浸出率先升高后降低,当加压氧化停留时间为 2.5 h 时,金浸出率达到最大值,为 84.06 %。因此,加压氧化停留时间确定为 2.5 h。

3.2.5 加压氧化过程中矿相及微观形态的转变

对加压氧化试验中金浸出率较高的试验样品进行了 XRD、SEM 及物相分析,讨论经过加压氧化后金浸出率提高的原因。加压氧化渣 XRD 分析结果见图 5,扫描电镜镜下图片见图 6,能谱图见图 7,能谱元素面分布见图 8,能谱分析结果见表 12。

由图 5 可知:矿石中的 FeS 和 FeAsS 经过加压氧化之后,生成极少量的 Fe₂(SO₄)₃,矿石中铝在硫酸环境下生成了 Al₂(SO₄)₃。加压氧化渣中的主体矿物依然是 SiO₂。原矿中的 FeS 和 FeAsS 在反应釜中生成 Fe₂(SO₄)₃,从而释放出原本被包裹的金。由图6~8和表12可知:经过加压氧化后的矿石,其表

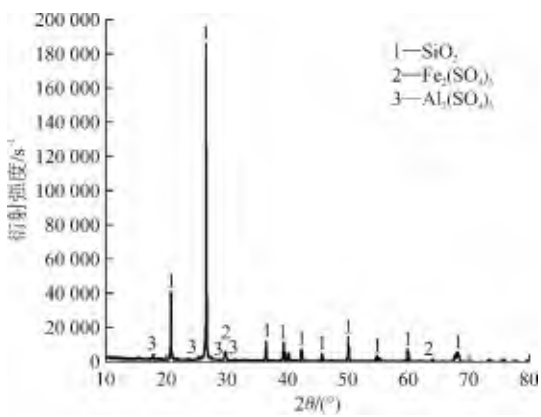


图 5 加压氧化渣 XRD 分析结果

Fig. 5 XRD analysis results of pressurized oxidation residue

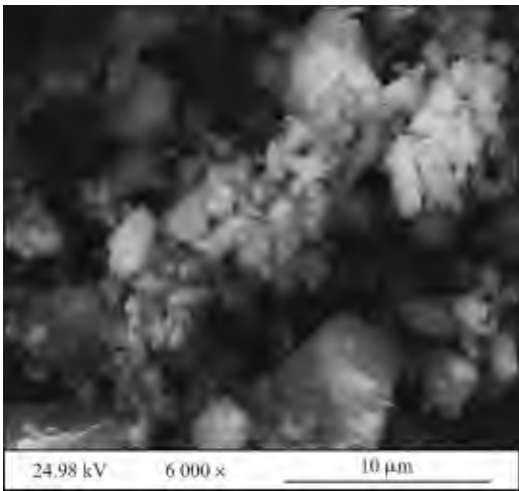


图 6 加压氧化渣扫描电镜镜下图片

Fig. 6 Scanning electron microscope images of pressurized oxidation residue

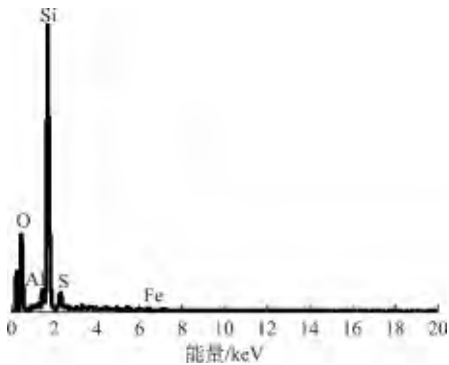


图 7 加压氧化渣能谱图

Fig. 7 Energy spectrum diagram of pressurized oxidation residue

面被破坏程度更加剧烈,矿物颗粒更加细小,更有利于后续浸金的进行;经过加压氧化处理矿石的主要成分仍然是硅的氧化物,含有极少量 Al 和 Fe 的硫酸盐,这表现在 XRD 上是 Fe₂(SO₄)₃ 及 Al₂(SO₄)₃ 峰的出现,但峰的高度很低;加压氧化矿渣中的 Fe 元素被大量反应,在矿石中只以少量 Fe 的硫酸盐形式存在,这与 XRD 分析结果一致。

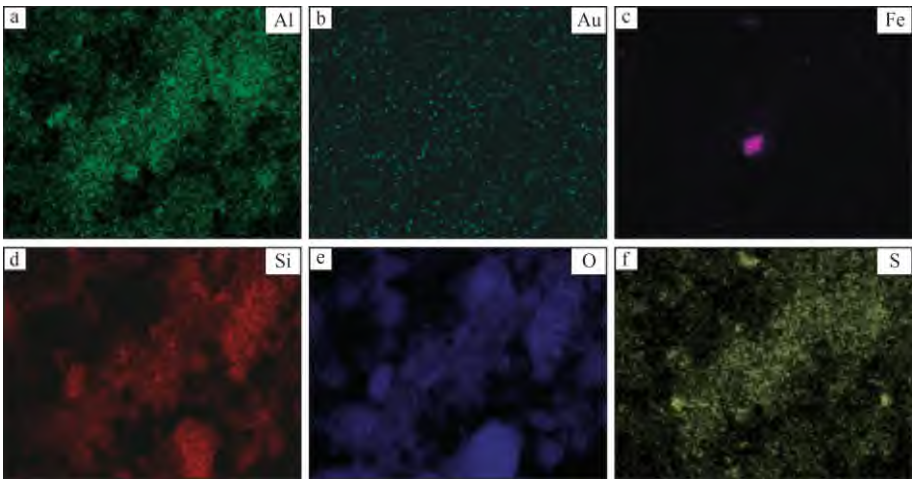


图 8 加压氧化渣能谱元素面分布

Fig. 8 Elemental face distribution from energy spectrum analysis of pressurized oxidation residue

表 12 加压氧化渣能谱分析结果

Table 12 Energy spectrum analysis results of pressurized oxidation residue

元素	w/%
O	47.33
Al	3.16
Si	44.39
S	3.46
Fe	1.66

在最佳条件下进行试验后,将浸出渣进行金物相分析,结果见表 13。

表 13 浸出渣金物相分析结果

Table 13 Phase analysis results for gold in leaching residue

相别	浸出渣金品位/(g·t ⁻¹)
碳酸盐包裹金	0.09
硅酸盐包裹金	0.02
铁等氧化物包裹金	0.16
硫化物包裹金	0.05
单体金+连生金	0.14
总金	0.46

由表 13 可知:利用加压氧化预处理之后的矿石进行浸金,原本直接浸金无法有效参与反应的硫化物包裹金、铁等氧化物包裹金,以及大量单体金+连生金都有效参与了浸金反应,使得矿石中金得以高效提取。

4 结 论

- 1) 由于金与含硅物相 (SiO₂)、含硫和铁物相 (FeS、FeSAs) 嵌布存在,这些物相对金形成包裹。
- 2) 难处理金矿采用加压氧化预处理工艺后,金矿的物相及微观形态发生了改变,更加有利于金的浸

- 出。
- 3) 直接浸金的最佳反应条件为:磨矿细度 -0.038 mm 占比 76.08 %,液固比 3 : 2 ,pH 值 11.5 ,浸金药剂 A ,药剂用量 6 kg/t ,反应时间 48 h 。金浸出率较低,为 48.27 %。物相包裹、物理包裹严重影响了浸金效果。
- 4) 加压氧化预处理的最佳反应条件为:在浓硫酸体系进行加压氧化,加压氧化温度为 260 ℃ ,总压力为 5.0 MPa ,浓硫酸添加量为 180 kg/t ,停留时间为 2.5 h ,对预处理后的矿石进行浸金,金浸出率得到大幅度提高,为 84.06 % ,为后续工业设计提供了依据。

[参考文献]

[1] 许勇.去年黄金产业主要数据发布[N].中国黄金珠宝,2024-07-30.

[2] 张磊,郭学益,田庆华,等.难处理金矿预处理方法研究进展及工业应用[J].黄金,2021,42(6):60-68.

[3] 宾万达.贵金属冶金学[M].长沙:中南大学出版社,2011.

[4] LI Q, LI D, QIAN F. Pre-oxidation of high-sulfur and high-arsenic refractory gold concentrate by ozone and ferric ions in acidic media[J]. Hydrometallurgy, 2009, 97(1/2): 61-66.

[5] WANG Y, LIU X, YAN J, et al. Selective extraction of arsenic and antimony from gold-bearing sludge using two-stage alkaline leaching[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2021, 167: 105388.

[6] ANDERSON C G. Alkaline sulfide gold leaching kinetics [J]. Minerals Engineering, 2016, 92: 248-256.

[7] FRASER K S, WALTON R H, WELLS J A. Processing of refractory gold ores[J]. Minerals Engineering, 1991, 4(7/8/9/10/11): 1 029-1 041.

[8] ASAMOAH R K, ZANIN M, SKINNER W, et al. Refractory gold ores and concentrates part 2: Gold mineralisation and deportment in flotation concentrates and bio-oxidised products [J]. Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 2021, 130(4): 269-282.

[9] 谷晋川,刘亚川,谢扩军,等.难选冶金矿微波预处理研究[J].有色金属,2003,55(2):55-57.

[10] 刘志楼,杨天足.难处理金矿的处理现状[J].贵金属,2014,35(1):79-83,89.

[11] 李云,王云,袁朝新,等.提高含砷金精矿两段焙烧焙砂中金浸

- 出率的研究[J].有色金属(冶炼部分),2010(6):33-36.
- [12] 潘志刚,谢锋,郑钟伟,等.某高砷金精矿预处理后焙砂硫代硫酸盐浸出研究[J].黄金,2023,44(1):49-52.
- [13] 胡佳航,李文豪,黄李金鸿,等. Ag^+ 催化微生物氧化含砷难处理金矿石试验研究[J].黄金,2022,43(10):58-64.
- [14] 赵福财,栾东武,丁雨波,等.甘肃某含砷难处理金矿选矿试验研究[J].黄金,2024,45(6):45-49,54.
- [15] 康健,姚泽钰,胡良训,等.湖北某低品位含碳质金矿碱性加压预氧化—氰化浸出试验研究[J].黄金,2024,45(6):37-40.
- [16] 许晓阳,蔡创开,丁文涛.某难处理金矿热压预氧化—氰化工艺研究[J].黄金科学技术,2014,22(4):135-138.
- [17] 杨洪英,佟琳琳,殷书岩.湖南某难处理金矿的加压预氧化—氰化浸金试验研究[J].东北大学学报(自然科学版),2007,28(9):1305-1308.
- [18] 许晓阳.难处理金矿石加压氧化—氰化提金技术研究[J].黄金,2020,41(4):50-53.
- [19] 陈汝臻,张磊,郭学益,等.卡林型金精矿加压氧化—铁矾分解—非氰提金研究[J].黄金,2024,45(3):27-31.
- [20] 杨晓峰,梁树丰,潘凤娇.高硫富砷金矿氧化预处理工艺研究现状[J].黄金,2022,43(2):85-89.

Experimental research on gold extraction from a refractory gold ore using pressurized oxidation

Ma Hui¹, Yi Shanting², Yuan Chaoxin¹, Guo Chihao¹, Liang Dongdong³, Cao Jiaxu¹, Li Tuofu¹
(1. BGRIMM Technology Group; 2. Shandong Jinchuang Gold and Silver Smelting Co., Ltd.;
3. China Nonferrous Metal Industry's Foreign Engineering and Construction Co., Ltd.)

Abstract: Refractory gold ores account for approximately two-thirds of the world's total gold resources. In the foreseeable future, the acquisition of precious metals such as gold and silver will rely on the mining and extraction of these refractory ores. With the introduction of the concept of new quality productive forces, the traditional metallurgy industry must develop more efficient processes for production. Mineral property analysis, direct gold leaching experiments, and gold leaching tests after pressurized oxidation pretreatment were carried out on a refractory gold ore. The direct leaching experiment studied the influence of grinding fineness, leaching reagent type, and reaction time. Under the optimal experimental conditions, the gold extraction rate was 48.27%. The pressurized oxidation pretreatment leaching test investigated the influence of factors such as systems, temperatures, acid consumption, and retention time during the pressurized oxidation process. The optimal pretreatment conditions were found to be a concentrated sulfuric acid medium with an addition of 180 kg/t, reaction temperature of 260 °C, oxygen partial pressure of 0.3 MPa, total pressure of 5.0 MPa, retention time of 2.5 h, and slurry concentration of 40%, which resulted in the gold extraction rate of 84.06%. This provides a basis for gold leaching from refractory ores.

Keywords: refractory; gold ore; pressurized oxidation; pretreatment; leaching rate; new quality productive forces; optimal conditions

(上接第23页)

Construction of an AI-based intelligent video monitoring system for safety regulation in a gold mine in Qinghai

Chen Shengkai^{1,2,3}, Ming Pingtian^{1,2,3}, Shen Ning^{1,2,3}

(1. Qinghai 6th Institute of Geology and Mineral Exploration; 2. Dulan Jinhui Mining Co., Ltd.;
3. Engineering and Technology Research Center for the Development of Gold Mining Resources in Qinghai Province)

Abstract: An intelligent mine represents the continuation of digital mine development and integrated automation systems. It is a critical pathway for building green mines, fostering new quality productive forces, enhancing the core competitiveness of mining enterprises, and promoting high-quality development. In the current landscape, mining enterprises actively embrace digital transformation and intelligent upgrades, making the adoption of new quality productive forces essential to improve safety management in mining operations. This study analyzes the current state of development, safety regulation, and digitalization in a gold mine in Qinghai, along with the necessity of constructing an AI-based intelligent video monitoring system for safety regulation. It elaborates on the primary components and key algorithms of the system as well as the results of trial operations. The findings demonstrate that the construction of an AI-based intelligent video monitoring system for safety regulation significantly improves the efficiency of safety regulation, ensures personnel safety, and provides valuable insights for exploring visualized and intelligent remote safety management models.

Keywords: intelligent mine; new quality productive forces; safety regulation; video; AI; algorithm technology; mine safety