

某微细粒砷黄铁矿包裹金矿的非氰浸出研究

孟宇群¹, 代淑娟², 宿少玲¹, 沈海涛¹

(1. 中国科学院金属研究所, 沈阳 110016; 2. 辽宁科技大学 矿业工程学院, 辽宁 鞍山 114051)

摘 要: 采用非氰浸化剂(石硫合剂)对含金为 2.47 g/t 的甘肃某微细粒砷黄铁矿包裹金矿进行浸出试验, 研究预处理方式和浸出工艺对金浸出率的影响。结果表明, 石硫合剂对金的直接搅拌浸出率低于 30%, 该矿属难浸金矿石; 采用边磨边浸-搅拌浸出的方式, 浸出率可提升至 68.4%; 增加碱式预氧化处理, 可将金的浸出率进一步提升到 80%以上。采用最优的工艺, 边磨边碱式预氧化 36 h, 经石硫合剂搅拌浸出 5 h, 金的浸出率可达到 91.5%。

关键词: 有色金属冶金; 难浸金矿; 非氰浸出; 边磨边浸; 预氧化

中图分类号: TF831 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2019)03-0033-06

Study on Non-cyanide Extraction for a Ore Micro-fine Gold Enclosed by Arsenopyrite

MENG Yuqun¹, DAI Shujuan², SU Shaoling¹, SHEN Haitao¹

(1. Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shengyang 110016, China;

2. School of Mining Engineering, Liaoning University of Science and Technology, Anshan 114051, Liaoning, China)

Abstract: The effect of pre-oxidation and leaching technology on leaching rate of gold was studied by using lime sulfur agent as extraction agent to leach a micro-arsenopyrite coated gold ore with a gold content of 2.47 g/t in Gansu province. The results showed that direct agitation leaching rate of gold was less to 30% by lime sulfur agent. The ore was refractory gold ore. The leaching rate of gold was improved to 68.4% by stirring-grinding-leaching method. The extraction rate of gold was enhanced to over 80% by adding alkaline pre-oxidation treatment. The leaching rate of gold was 91.5% by alkaline pre-oxidation for 36 h and grinding-leaching for 5 h using lime sulfur agent.

Keywords: nonferrous metallurgy; refractory gold ore; non-cyanide leaching; leaching-grinding; pre-oxidation

难处理金矿石是指不能用常规浸出工艺提取黄金或传统直接氰化金的浸出率不超过 80%的金矿资源^[1-3]。按矿石类型划分, 难处理金矿石有硫化物矿石、炭质矿砂石和碲化物矿石等。导致金矿石难处理的原因主要包括金被包裹、金属硫化物的影响和炭质物的影响^[4]。硫化物矿石成分复杂, 氰化浸出时, 硫化矿物多不稳定, 与氰化物作用会消耗大量的氧、碱和氰化物, 使金浸出率明显降低。其中部分硫化矿金矿中金的嵌布粒度极细且被其载体矿物

(如黄铁矿、砷黄铁矿/毒砂等)包裹, 浸出剂无法与金接触增加了金的浸出难度。由于此类包裹金矿物储量丰富, 分布广泛, 其加工利用研究受到广泛关注^[5-6]。这类金矿石中金的提取一般需经氧化预处理, 常用的预处理手段有焙烧氧化法、加压氧化法、微生物氧化法、微波氧化法和化学氧化法^[7-9]。

含砷硫化矿金矿石因含有毒元素砷对环保要求更高, 用焙烧氧化法因产生剧毒的 As_2O_3 而被明确禁止; 砷(特别是高砷含量)的存在会影响微生物氧

化法的氧化效果;加压氧化法需要高压设备,投资大,高压安全运行应用困难较大;化学氧化法是目前最有前景的处理方法,因其在常温常压下进行,因此备受关注。中国科学院金属研究所成功研发了常温常压强化碱浸预氧化提金新工艺专利技术^[10],利用超细磨塔式磨浸机的机械活化、搅拌和碱浸预氧化作用,在常温常压下使硫、砷矿物发生氧化反应,从而使包裹金得到解离和暴露,经调浆和浸出作业,可高效提金^[11-14]。

该工艺已经广泛应用于我国 20 余种典型的难处理金矿石,矿石中砷氧化转化率一般在 90%以上,硫氧化率一般为 20%~40%,金浸出率从预处理前的一般不到 30%提高到 90%以上。不仅显著提高金的资源利用率,且工艺简单,易于实施。

甘肃某金矿为典型的难浸金矿石,本文以石硫合剂对该矿石进行非氰浸出,研究边磨边浸工艺和碱式预氧化处理对金浸出的影响。

1 实验部分

1.1 样品性质

样品来自甘肃某地。采用 X 射线荧光光谱及化学分析法,测定原矿化学成分及含量,测定结果列于表 1;采用 X 射线衍射分析样品中的矿物组成,结果见图 1。根据表 1 和图 1 的结果,该含砷金矿石主要金属矿物为砷黄铁矿,主要脉石矿物为石英、方解石、铁白云石,斜长石等。镜下未发现金矿物,估计金以细粒、微细粒包裹形式存在为主,又因金与硫化矿关系密切,推断金主要包裹在砷黄铁矿中。主要可回收元素为金(2.47 g/t),有害元素砷含量为 6.07%,为砷黄铁矿包裹的金矿。

表 1 原矿化学成分及含量

Tab.1 Mineral composition and content of the ore

元素	Au(g/t)	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃
含量/%	2.47	3.27	5.2	45.58	0.11	6.25
元素	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO
含量/%	1.28	19.4	0.16	0.161	10.41	0.013
元素	As ₂ O ₃	SeO ₂	Rb ₂ O	CuO	SrO	Na ₂ O
含量/%	8.024	0.018	0.003	0.028	0.013	0.14
元素	WO ₃	PbO	B ₂ O ₃	As	S	
含量/%	0.035	0.013	0.028	6.07	2.50	

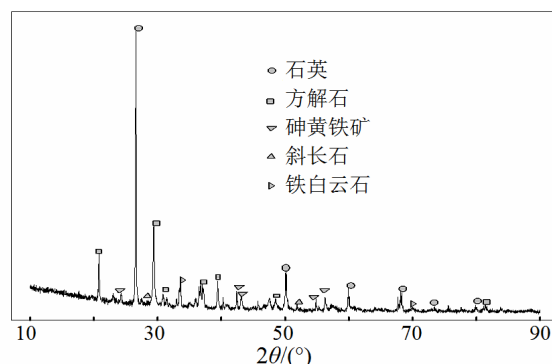


图 1 矿物 XRD 分析图谱

Fig.1 The XRD pattern of the mineral

1.2 仪器设备及试剂

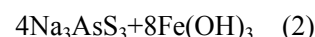
高效节能塔式磨浸机(简称磨浸机)为自制磨浸设备, $\phi 159 \text{ mm} \times 840 \text{ mm}$, 功率 500 W。日本岛津 AA-6300 原子吸收分光光度计用于金的测定;德国布鲁克公司布鲁克 S8TLGERX 射线荧光谱仪对样品进行多元素测定。

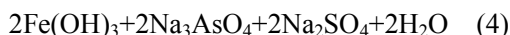
主要试剂包括专用非氰浸出剂石硫合剂,所用石灰(CaO)和氢氧化钠(NaOH)均为工业试剂。

1.3 实验原理

含砷难处理金矿石中的金粒被紧紧包裹于砷黄铁矿、黄铁矿等载金硫化物中。砷黄铁矿属高级晶族,等轴晶系,黄铁矿属低级晶族,单斜晶系。矿石中金的含量与矿石中黄铁矿和砷黄铁矿的含量关系密切。该类矿石中金的粒度非常细小,有的呈超次显微金存在。要使金解离,靠常规的磨矿方法显然是不可能的,必须通过化学氧化手段才能得以实现,本工艺采用强化碱浸预处理的方法。由于砷黄铁矿是含砷难浸金矿石中的主要载金矿物,它的溶解是湿法提金预处理工艺中的关键和难点。

毒砂自然氧化动力学非常缓慢,在相同条件下,毒砂(FeAsS)的氧化分解速度约比黄铁矿(FeS₂)高约 4.5 倍,但矿物被磨细后,热稳定性降低,发生溶解的反应活性和反应速度提高,使其氧化反应可以在常温常压下发生。砷、硫矿物发生的氧化反应如下:





由于砷黄铁矿比黄铁矿易氧化, 在黄铁矿-砷黄铁矿共同体中总是优先氧化毒砂。氧化中生成的硫代硫酸盐有助于金的浸出。碱浸为放热反应, 既可使矿浆温度上升, 又可加快氧化反应速度, 并使随后的氰化过程在较高温度下进行。这一特点有利于本工艺在高原、寒冷地区有效应用。碱浸结束后, 难浸金矿转变为易浸金矿。

本文所使用的石硫合剂为非氰浸出剂, 其浸金有效成分主要为硫化钙(CaS_x)和硫代硫酸盐, 其浸金原理类似多硫化合物和硫代硫酸盐浸金^[15]。

1.4 实验方法

1.4.1 细磨-搅拌浸出

将 3000 g 矿样、3000 mL 水, 置于磨浸机中磨至适宜细度。加水调浆至矿浆浓度 35%, 将样品输送到搅拌浸出槽中, 以石灰调 pH $\approx$ 9, 加入一定量石硫合剂。搅拌浸出在室温下进行, 转速为 720 r/min(ϕ (叶轮)=55 mm), 后续的搅拌浸出均采用这一操作条件。

1.4.2 边磨边浸-搅拌浸出

取 3000 g 矿样、3000 mL 水和 12 g 非氰浸出剂石硫合剂加入磨浸机中边磨边浸。边磨边浸时, 采用石灰调 pH 至 9 左右, 通入少量空气。按照磨矿细度的要求控制边磨边浸时间。边磨边浸结束后, 加水调浆至矿浆浓度 35%, 将样品输送到搅拌浸出槽中, 采用石灰调 pH 至 9 左右, 再加入石硫合剂继续搅拌浸出。

1.4.3 细磨-碱式预氧化-搅拌浸出

取 3000 g 矿样、3000 mL 水, 加入磨浸机中细磨至要求细度。加水调浆至矿浆浓度 40%, 补加氢氧化钠维持 pH 为 11~12, 进行搅拌碱浸预氧化。预氧化结束后, 加水调浆至矿浆浓度 35%, 将样品输送到搅拌浸出槽中, 加入石硫合剂搅拌浸出。

1.4.4 边磨边碱式预氧化-继续搅拌碱式预氧化-搅拌浸出

取 3000 g 矿样、3000 mL 水和 20 g 氢氧化钠, 加入磨浸机中进行边磨边碱式(pH>12)预氧化, 预氧化时通入空气。样品磨至适宜细度后, 加水调浆至矿浆浓度 40%, 补加氢氧化钠维持 pH=11~12, 继续进行搅拌碱浸预氧化。预氧化结束后, 加水调浆至矿浆浓度 35%, 将样品输送到搅拌浸出槽中, 加入石硫合剂继续搅拌浸出。

1.5 测定和计算

先将待测样品焙烧, 用王水将焙烧渣溶解后用活性炭吸附, 烧除活性炭后将烧残灰用王水溶解、定容。采用原子吸收测定试液中的金含量, 回算待测样品中的金品位。浸出率采用下式计算:

$$\text{金浸出率} = (1 - \text{浸渣金品位} / \text{原矿金品位}) \times 100\% \quad (6)$$

2 结果与讨论

2.1 细磨/边磨边浸-搅拌浸出

2.1.1 磨矿细度对浸金效果的影响

采用细磨-搅拌浸出流程, 在浸出矿浆浓度为 35%、浸出时间 8 h、非氰浸出剂石硫合剂用量 6 kg/t 条件下, 考查磨矿细度对浸金效果的影响, 实验结果如图 2 所示。

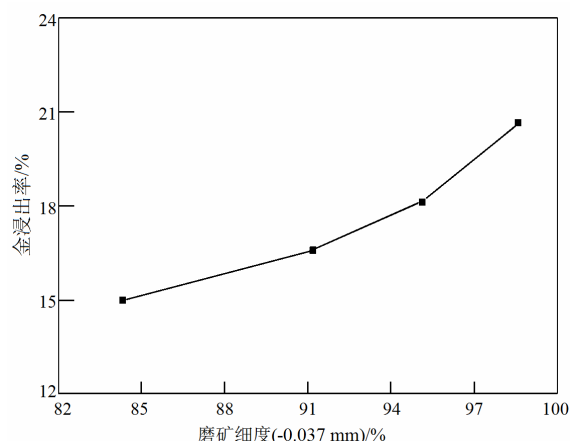


图2 磨矿细度对浸金效果的影响

Fig.2 The effects of grinding fineness on extraction of gold

由图 2 可以看出, 金的浸出率随着磨矿细度的增加而增加, 说明细磨有利于提高金的浸出率。但即使磨至-0.037 mm 占 98.6%的条件下, 金的浸出率仅为 20.6%。难浸原因可能与金以细粒微细粒硫化矿包裹形式存在有关。

2.1.2 浸出剂用量对浸金效果的影响

样品细磨至-0.037 mm 占 98.6%后, 在浸出矿浆浓度为 35%、浸出时间 8 h 条件下, 调整石硫合剂用量范围为 2~8 kg/t, 考查其用量对浸金效果的影响, 结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出, 金的浸出率随着浸出剂用量的增加而提高。当浸出剂用量 2~6 kg/t 时, 金的浸出率提高幅度较大; 当浸出剂用量超过 6 kg/t 时, 金的浸出率提高幅度较小。综合考虑, 取浸出剂用量为 6 kg/t, 此时, 金的浸出率为 20.6%。

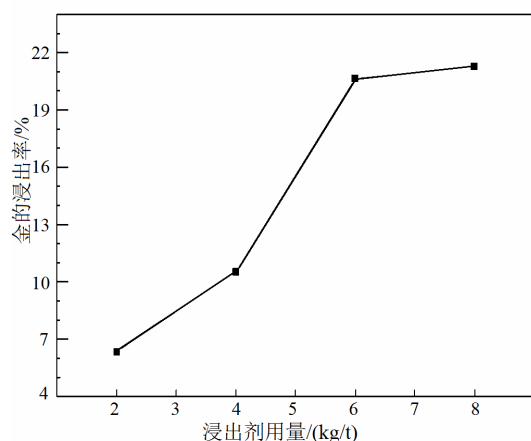


图3 浸出剂用量对浸金效果的影响

Fig.3 The effects of dosage of leaching agent on extraction of gold

2.1.3 浸出时间和方式对浸金效果的影响

浸出时间是影响金浸出效果的重要因素之一。但在上述适宜的磨矿细度和浸出剂用量条件下, 浸出 8 h, 金的浸出率小于 21%, 由此估计, 仅通过延长浸出时间使金的浸出率达到实际生产中可接受的指标是不可能的。

为此, 进行了 2 种磨矿方式下的搅拌浸出时间实验。在磨矿细度-0.037 mm 占 98.6%、浸出剂用量总量为 6 kg/t 条件下, 考查了细磨-搅拌浸出和边磨边浸-搅拌浸出 2 种工艺的搅拌浸出时间对金浸出效果的影响, 结果如图 4 所示。

由图 4 可以看出, 细磨-搅拌浸出和边磨边浸-搅拌浸出 2 种浸出工艺, 金的浸出率均呈现随着浸金时间的增加先提高而后降低的趋势。因此, 非氰浸出的浸出时间需合理控制, 不能太长。如浸出时间过长, 浸出率反而会下降, 其原因可能与浸出时间过长会造成石硫合剂浸金剂的氧化从而使浸出剂活性降低等有关。根据浸金时间结果比较, 石硫合剂浸金剂适宜的浸出时间在 15~20 h 之间。

对比细磨-搅拌浸出和边磨边浸-搅拌浸出 2 种浸出工艺, 后者可显著提高金的浸出率, 在浸出时间 15~16 h 相同的条件下, 金的浸出率由前者的 25.5% 提高到后者的 68.4%。

边磨边浸能够显著提高资源浸出回收率, 原因是塔式磨浸机在使物料被有效磨细的同时, 还能够减薄或破坏矿物颗粒表面由于各种垢膜引起的包裹层或包覆层, 使矿物颗粒露出新鲜、活泼的表面, 这样, 在塔式磨浸机磨矿的同时, 同步加入化学浸出药剂, 能强化药剂浸出的扩散条件, 边磨矿边强化浸出^[16-19]。高效节能塔式磨浸机不仅能经济地对

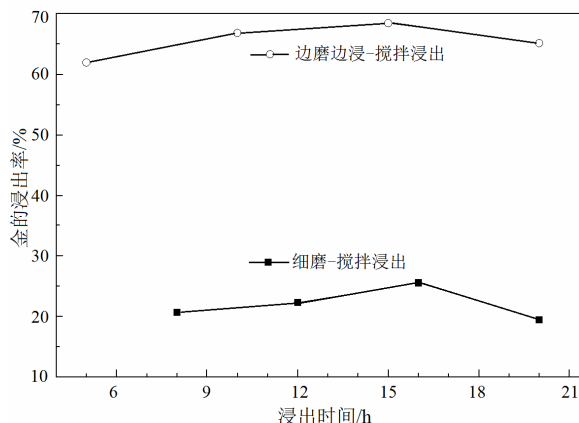


图4 浸出时间对浸金效果的影响

Fig.4 The effects of leaching time on extraction of gold

矿石、含金尾矿、硫酸烧渣等进行细磨和超细磨, 还具有活化磨矿、强化浸出、强化浮选、提高资源回收率等显著特点。

2.2 碱式预氧化-搅拌浸出

通过对细磨-搅拌浸出和边磨边浸-搅拌浸出条件的优化, 金的浸出率虽然得到了大幅提高, 但金浸出率仍低于 70%。原因可能是由于矿石中大量砷黄铁矿的存在以及金主要被砷黄铁矿包裹的影响。针对这类金矿石, 对砷黄铁矿进行氧化预处理, 打开包裹体, 增加浸出剂与金的接触面积是提高金浸出指标的最有效手段。为此, 在磨矿细度-0.037 mm 占 98.6%, 浸金石硫合剂用量为 6 kg/t 的条件下, 进行了细磨-碱式预氧化和边磨边浸-碱式预氧化-碱式预氧化 2 种预氧化实验, 考查了不同碱浸预氧化时间对金浸出效果的影响。

2.2.1 细磨-碱式预氧化-搅拌浸出

样品细磨后再进行碱式预氧化, 不同预氧化时间的浸金效果, 如图 5 所示。

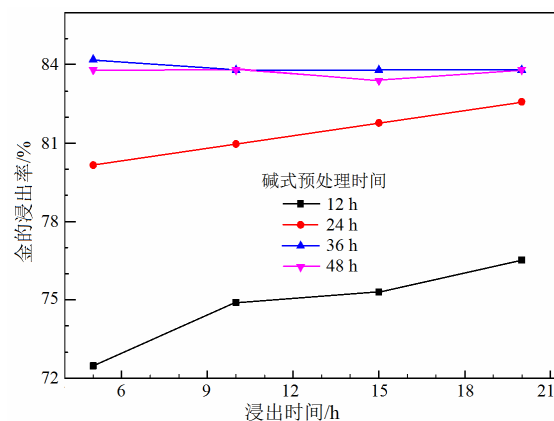


图5 细磨后预氧化时间对金提取效果的影响

Fig.5 The effects of time of pre-oxidation after ground on extraction of gold

由图5可以看出,增加预氧化时间,有利于改善金的浸出效果。当预氧化时间超过36 h后,继续增加预氧化时间,金浸出率变化不大,适宜的碱式预氧化时间为36 h。

当预氧化时间为12 h和24 h时,浸金时,金的浸出率随着浸金时间的增加而提高。当预氧化时间增加到36 h和48 h时,浸金时浸出5 h,金的浸出率即达到84%左右,再增加浸金时间,金的浸出率基本不变。实际生产中,当预氧化时间较长时,因为砷硫矿物氧化更加彻底从而使金的暴露更加完全,较短浸金时间即可达到金的极限浸出率。综合实验结果,细磨后碱式预氧化,预氧化时间36 h条件为最优条件。预氧化36 h后浸金5 h,金的浸出率达到84.2%。

2.2.2 边磨边碱式预氧化-继续搅拌碱式预氧化-搅拌浸出

边磨边碱式预氧化后继续进行搅拌碱浸预氧化,考察不同搅拌碱浸预氧化时间对金提取效果的影响,如图6所示。

将图6与图5对比可以看出,边磨边碱式预氧化后继续进行搅拌碱浸预氧化,在同样的碱浸预氧化时间条件下,可以显著提高细磨后再进行碱式预氧化的金的浸出率。边磨边碱式预氧化后继续进行碱浸预氧化12 h,金的浸出率85.5%,高于细磨后再进行碱式预氧化的预氧化36 h的84.2%的金浸出率。磨矿中同步进行边磨边碱浸,利于预氧化和提高金的回收率。

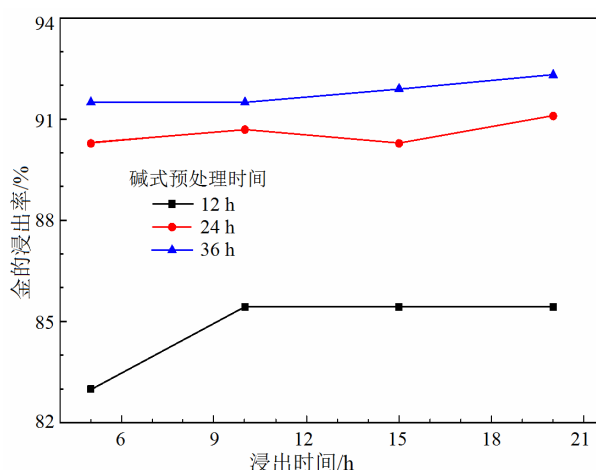


图6 边磨边碱式预氧化后搅拌碱浸预氧化时间对金提取效果的影响

Fig.6 The effects of time of alkaline agitating leaching pre-oxidation after ground-while-leaching on extraction of gold

由图6还可以看出,边磨边碱式预氧化后继续进行碱浸预氧化,增加碱浸预氧化时间同样有利于提高金的浸出效果。这与预氧化时间长,砷硫矿物氧化愈加彻底、金的暴露更加完全,从而更加有利于金浸出的原则相一致。边磨边碱式预氧化后继续进行碱浸预氧化,可明显缩短金的浸出时间。碱浸预氧化12 h,浸出时间约为10 h时,金的浸出率随着浸金时间的增加而提高,浸出时间超出10 h后,金的浸出率不变,维持在85.5%。在边磨边碱式预氧化24 h和36 h的条件下,浸金5 h,金的浸出率即分别达到90.3%和91.5%;浸金时间延长至20 h,金的浸出率略有提高。综合结果,边磨边碱式预氧化后继续进行碱浸预氧化,碱浸预氧化时间36 h条件为最优条件,预氧化后浸金5 h,金的浸出率达到91.5%。

对比图6和图5,边磨边碱式预氧化-进行搅拌碱式预氧化-浸出工艺和细磨-碱式预氧化-浸出工艺的结果,在同样条件下,前者可比后者金的浸出率提高7个百分点以上。边磨边碱式预氧化工艺显著地缩短了金的浸出时间,浸金时在很短的时间内即可获得高的金浸出率。这一优点的合理运用,对于使用石硫合剂非氰化浸金剂提金至关重要,可以有效避免传统浸出工艺浸出时间过长易使浸金剂氧化降低药剂浸出活性的问题。

3 结论

1) 实验样品金品位2.47 g/t,含砷6.07%,含硫2.50%。原矿细磨至磨矿细度-0.037 mm占98.6%,然后在非氰化浸金剂石硫合剂用量为6 kg/t的条件下直接浸出16 h,金的浸出率25.5%,浸出率低于30%。增加磨矿细度、延长浸出时间或增大浸出剂用量对浸出率的提升有限,该微细粒砷黄铁矿属典型难浸金矿石。

2) 边磨边浸可显著提高该矿石中金的浸出率。使用非氰化浸金剂对含金样品进行细磨边磨边浸,边磨边浸至磨矿细度-0.037 mm占98.6%,然后调浆再进行常规搅拌浸出15 h,金的浸出率提高到68.4%,浸金剂用量合计6 kg/t。

3) 碱式预氧化可有效改善金的提取效果,且边磨边碱式预氧化的效果更为显著。在磨矿细度-0.037 mm占98.6%、非氰化浸金剂用量6 kg/t的条件下,采用细磨-碱式预氧化-浸出工艺,碱式预氧化36 h后浸金5 h,金的浸出率提高至84.2%;采

用边磨边碱式预氧化-继续搅拌碱式预氧化-浸出工艺, 碱式预氧化 36 h 后浸金 5 h, 金的浸出率进一步提高至 91.5%。

4) 边磨边碱式预氧化工艺能显著缩短金的浸出时间, 预氧化后浸金时, 在很短的时间内即可获得高的金浸出率。这一优点的合理运用, 对于使用石硫合剂非氰化浸金剂提金至关重要, 可以有效避免传统浸出工艺浸出时间过长易使浸金剂氧化降低药剂浸出活性的问题。

参考文献:

- [1] 李俊萌. 难处理金矿石预处理工艺现状与发展[J]. 湿法冶金, 2003, 22(1): 1-8.
LI J M. The current status and development tendency of pretreatment process for refractory gold ores[J]. Hydrometallurgy of China, 2003, 22(1): 1-8.
- [2] 周博敏, 安丰玲. 世界黄金生产现状及中国黄金工业发展的思考[J]. 黄金, 2012, 33(3): 1-6.
ZHOU B M, AN F L. Current situations of worldwide gold production and considerations on gold industry development in China[J]. Gold, 2012, 33(3): 1-6.
- [3] 王成辉, 徐珏, 黄凡, 等. 中国金矿资源特征及成矿规律概要[J]. 地质学报, 2014, 88(12): 2315-2324.
WANG C H, XU J, HUAN F, et al. Resources characteristics and outline of regional metallogeny of gold deposits in China[J]. Acta geologica sinica, 2014, 88(12): 2315-2324.
- [4] 余建文, 高鹏, 韩跃新, 等. 难浸金矿预处理方法的新进展[J]. 矿冶, 2013, 22(2): 59-62.
YU J W, GAO P, HAN Y X, et al. New advances of refractory gold ore pretreatment method[J]. Mining & metallurgy, 2013, 22(2): 59-62.
- [5] 孙留根, 袁朝新, 王云, 等. 难处理金矿提金的现状及发展趋势[J]. 有色金属(冶炼部分), 2015, 38(4): 38-43.
SUN L G, YUAN C X, WANG Y, et al. Status and development of gold extraction from refractory gold ore [J]. Nonferrous metal (Metallurgy), 2015, 38(4): 38-43.
- [6] 崔毅琦, 王凯, 孟奇, 等. 含砷难处理金矿提金工艺的研究现状[J]. 矿冶, 2015, 24(1): 31-34.
CUI Y Q, WANG K, MENG Q, et al. Research status in technology of extracting gold from refractory gold ores containing arsenic[J]. Mining & metallurgy, 2015, 24(1): 31-34.
- [7] 丁德馨, 胡南, 彭志成, 等. 难处理含金硫精矿的焙烧氧化-硫代硫酸盐浸出[J]. 中国有色金属学报, 2014, 24(3): 831-837.
- [8] 彭志成, 丁德馨, 胡南, 等. 从难处理含金硫精矿中提取金的试验研究[J]. 矿业研究与开发, 2015, 35(2): 47-51.
PENG Z C, DING D X, HU N, et al. Experiment study on gold leaching from refractory gold-bearing sulfur concentrate[J]. Mining R & D, 2015, 35(2): 47-51.
- [9] 张雁, 李骞, 杨永斌, 等. 含砷金矿一段焙烧脱除硫和砷的热力学研究[J]. 贵金属, 2017, 38(2): 52-57.
ZHANG Y, LI Q, YANG Y B, et al. Thermodynamic analysis for removing sulfur and arsenic from a gold ore by one-stage oxidative roasting[J]. Precious metals, 2017, 38(2): 52-57.
- [10] 吴敏杰, 孟宇群, 宿少玲, 等. 含砷含硫难浸金矿的强化碱浸提金工艺: ZL98113812.8[P]. 2003-08-12.
WU M J, MENG Y Q, SU S L, et al. The new technology of intensified alkali leaching pretreatment-extraction gold of refractory gold ore bearing sulfur and arsenic: ZL98113812.8[P]. 2003-08-12.
- [11] MARCHEVSKY N, QUIROGA M M B, GIAVENO A, et al. Microbial oxidation of refractory gold sulfide concentrate by a native consortium[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2017(27): 1143-1149.
- [12] 孟宇群, 代淑娟, 刘德军. 难浸氰化尾渣浮选精矿的常温常压碱浸预处理[J]. 贵金属, 2007, 28(1): 5-8.
MENG Y Q, DAI S J, LIU D J. Cyalkaline pretreatment for refractory gold floatation concentrate of anidation tailings under normal temperature and pressure[J]. Precious metals, 2007, 28(1): 5-8.
- [13] 董再蒸, 韩跃新, 高鹏. 卡林型金矿化学氧化预处理技术研究现状[J]. 金属矿山, 2015, 474(12): 92-97.
DONG Z Z, HAN Y X, GAO P. Research status on chemical pre-oxidation for carlin-type gold ore[J]. Metal mine, 2015, 474(12): 92-97.
- [14] 刘有才, 彭彬江, 林清泉, 等. 某氰化渣的改性石硫合剂法浸金研究[J]. 贵金属, 2016, 37(1): 11-14.
LIU Y C, PENG B J, LIN Q Q, et al. Leaching of a cyanide residue by lime-sulphur-synthetic-solution method[J]. Precious metals, 2016, 37(1): 11-14.