

# 磨矿浸出工艺在赛乌素金矿的应用及效果

吴 庆 华\*

**提 要** 赛乌素金矿采用磨矿浸出技术取得了显著的技术经济效益。该厂洗涤作业洗涤水全部使用贫液,磨矿用水全部使用二次贵液,使NaCN单耗由1.15kg/t矿降低到0.55kg/t矿,搅拌槽浸出时间由23h减少到16h,金的浸出指标无明显变化。当原矿品位在5g/t左右时,磨矿回路中金的浸出率在75%左右,金的总浸出率在95%左右。

**关键词** 磨矿浸出 贫液 二次贵液

## 1 前言

磨矿浸出工艺在国外黄金氰化厂应用较多,是比较成熟的浸出工艺。然而国内氰化厂采用磨矿浸出的不多,有关这方面的资料也很少报道。为什么国内氰化厂很少采用磨矿浸出技术呢?主要存在以下几点认识。

(1) 采用磨矿浸出后氰化厂内所有溶液和矿浆都含有氰化物和溶解金,给生产管理增加难度,金易造成机械损失。

(2) 磨矿机中矿浆温度较高,氰化物除与金的反应速度加快外,与其它金属离子的反应速度也加快,氰化物消耗量增大。

(3) 受温度的影响,氰化物在磨矿机中易遇热分解,挥发出HCN气体,既污染环境,又危害工人身体健康。

赛乌素金矿全泥氰化厂自1987年投产以来,不断改进和完善磨矿、搅拌槽两段浸出工艺,加强技术管理,使两段浸出、两段洗涤提金流程日趋完善,并积累了丰富的经验。赛乌素金矿全泥氰化厂的生产实践不仅客观地解答了上述认识问题,而且证明采用磨矿浸出技术可加快金的浸出速度,增大氰化厂

的生产能力,节省氰化物用量,降低生产成本。

## 2 全泥氰化厂概况

赛乌素金矿全泥氰化厂于1987年1月投入生产,设计日生产能力为100t,设计流程为全泥氰化,锌粉置换工艺。该厂于1989年扩建到200t/d,1993年再次扩建,扩建后生产能力为300t/d。

氰化厂1987年投产后,一直沿用设计流程进行生产。实践证明,设计流程先进,设备选择合理,生产稳定,氰化回收率高。生产流程见下图,历年生产指标见表1,主要材料消耗见表2,现行氰化流程和主要工艺设备分述如下。

磨矿分为两个完全相同的系列,均采用两段闭路磨矿,磨矿细度为95%—0.074mm。

浸出、洗涤为两段浸出、两段洗涤流程。第一段浸出在磨矿回路中进行,浸出率为75%左右;第二段浸出在12个串联的 $\phi 3\text{m} \times 5\text{m}$ 轴流式浸出槽中进行,浸出浓度40%,浸出时间约16h,两段浸出金的总浸出率在93%~96%。第一段洗涤在一台 $\phi 15\text{m}$ 单层

\* 北京有色冶金设计研究总院高级工程师 北京 100038

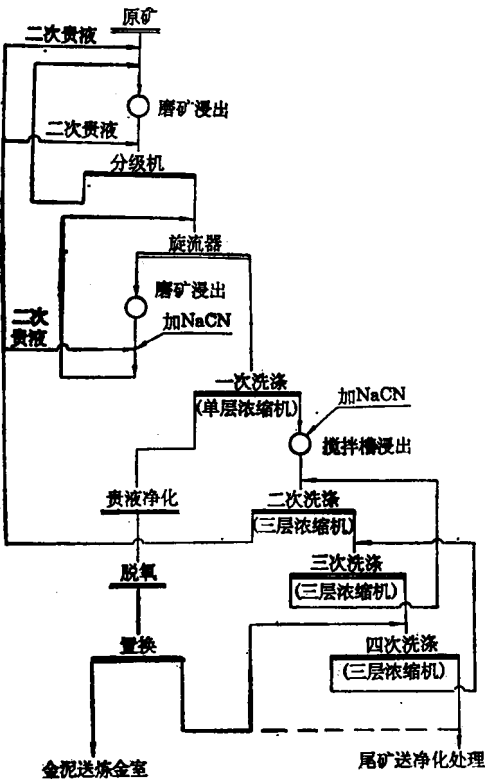
表1 全泥氰化厂历年生产指标

日期	原矿品位 (g/t)	氰渣品位 (g/t)	排液品位 (g/m <sup>3</sup> )	浸出率 (%)	洗涤率 (%)	置换率 (%)	氰化总回收率 (%)
1988年	7.00	0.26	0.11	96.60	96.03	96.67	89.68
1989年	6.43	0.30	0.11	95.39	98.21	99.25	92.98
1990年	6.01	0.31	0.12	94.84	97.75	99.35	92.10
1991年	5.44	0.31	0.12	94.23	97.55	99.76	91.70
1993年	2.82	0.20	0.064	92.96	96.83	99.73	89.77
1994年	3.35	0.22	0.08	93.43	96.81	99.77	90.09

注: 浸出率下降的原因是处理的氧化矿比例逐年减少, 硫化矿比例增大和原矿品位逐年下降。

表2 全泥氰化厂历年主要材料消耗

日期	钢球 (kg/t矿)	NaCN (kg/t矿)	石灰 (kg/t矿)	锌粉		醋酸铅	
				(kg/t矿)	(g/m <sup>3</sup> 贵液)	(kg/t矿)	(g/m <sup>3</sup> 贵液)
1988年	3.07	1.11	10.56	0.13	—	0.013	—
1989年	3.41	1.16	9.16	0.13	36.24	0.012	3.4
1990年	4.28	0.61	11.51	0.12	34.5	0.005	1.44
1991年	5.06	0.553	11.84	0.145	—	0.006	—
1993年	2.35	0.501	7.81	0.141	36.46	—	—
1994年	1.63	0.53	10.36	0.16	46.32	0.0022	0.64



全泥氰化、锌粉置换生产流程

浓缩机中进行, 浓缩机溢流为含金贵液进入置换系统, 底流进入浸出槽浸出。经浸出槽浸出后的矿浆进入两台并联的 $\phi 9\text{m}$ 三层逆流洗涤浓缩机中进行第二段洗涤, 三层浓缩机溢流为二次贵液, 二次贵液大部分返回磨矿系统循环使用, 少部分作为第一段洗涤作业的洗涤水, 三层浓缩机底流为最终尾矿排弃。两段洗涤的总洗涤率在96%左右。

锌粉置换有两个系列。第一系列由2台 $20\text{m}^2$ 管式过滤机、1台 $\phi 1500\text{mm} \times 3600\text{mm}$ 脱氧塔、1台 $\phi 300\text{mm}$ 圆盘加锌机和2台 $20\text{m}^2$ 压滤机组成, 小时最大处理能力为 $32\text{m}^3$ 贵液; 第二系列(扩建增加的)由1台 $1884\text{mm} \times 1488\text{mm}$ 叶片式净化槽、1台 $\phi 1500\text{mm} \times 3600\text{mm}$ 脱氧塔、1台 $\phi 300\text{mm}$ 圆盘加锌机和1台 $20\text{m}^2$ 压滤机组成, 小时最大处理量为 $20\text{m}^3$ 贵液。单层浓缩机产出的贵液经沉淀、过滤、脱氧后在压滤机中进行锌粉置换, 置换贫液返回三层洗涤浓缩机作洗涤水, 金泥送炼金室冶炼。置换率在99.5%左右。

### 3 磨矿浸出生产实践

赛乌素金矿矿石主要是含金石英脉氧化矿石和含金蚀变岩氧化矿石, 矿石中有碍氰化浸出的矿物较少, 矿石性质简单, 属于易浸矿石。因此, 设计采用全泥氰化, 锌粉置换提金工艺。氰化浸出在磨矿回路和搅拌浸出槽中进行, 其工艺特点是除磨矿用水使用二次贵液外, 还在磨矿回路中适量加入NaCN以达到强化磨矿浸出、缩短浸出时间、节省NaCN用量、提高浸出率的目的。全泥氰化厂投产后, 虽然生产稳定, 氰化浸出率高达95%以上, 但是NaCN用量在1.2kg/t矿左右(见表1和表2中1989年以前的生产指标

和材料消耗)。NaCN用量偏高的原因主要有以下几点。

(1) 回水系统管路结垢堵塞, 加入磨矿作业二次贵液很少。

(2) 磨矿作业矿浆pH值偏低, 使氰化的矿物没有得到充分氧化。

(3) 浸出过程中加药制度控制不严。

该厂的工程技术人员针对上述问题, 采取有力措施, 逐项加以解决, 使浸出工艺得到了充实和完善。1990年NaCN用量从1989年的1.16kg/t矿下降到0.61kg/t矿, 氰化厂生产能力由第一次扩建的设计能力200t/d提高到300t/d(第二次扩建设没有增加浸出搅拌槽), 浸出指标没有明显降低, 对比指标详见表3。赛乌素金矿全泥氰化厂降低NaCN

表3

全泥氰化厂浸出对比指标

日期	平均日处理矿量 (t/d)	原矿品位 (g/t)	氰渣品位 (g/t)	浸出率 (%)	搅拌槽浸出时间 (h)	NaCN用量 (kg/t矿)	磨矿细度 (-0.074mm)
试验	—	7.93	0.36	95.46	15	4.0	96%
1989年	140	6.43	0.30	95.39	23	1.16	95%
1990年	240	6.01	0.31	94.84	20	0.61	95%
1991年	280	5.44	0.31	94.23	17	0.553	95%
1994年	300	3.35	0.22	93.43	16	0.53	95%

消耗主要采取了以下措施。

#### 3.1 磨矿用水全部使用二次贵液

众所周知, 全泥氰化厂磨矿用水使用二次贵液是节省氰化物的有效途径之一。为了实现磨矿用水全部使用二次贵液, 达到减少NaCN消耗, 降低生产成本的目的, 该厂于1990年对回水系统进行了彻底改造。磨矿用水使用二次贵液能降低NaCN的用量的原因是, 在浸出过程中, NaCN浓度一般控制在0.05%左右, 而二次贵液中NaCN浓度在0.03%左右, 这就是说, 在浸出过程中只需补充部分NaCN就可满足金、银的浸出需要。赛乌素金矿氰化厂第一段磨矿在不补加NaCN的条件下, 金的浸出率达到35%左右。因此, 无论是从理论上分析还是从实践的角度

观测, 都证明磨矿浸出使用二次贵液可降低NaCN消耗, 而且二次贵液循环利用率越高, 节省的NaCN就越多。

磨矿浸出的实质是重复利用置换贫液中剩余的NaCN, 这是因为二次贵液来源于置换贫液, 因此, 提高贫液的循环利用率, 使贫液中保持有较高的NaCN浓度是实现磨矿浸出的关键, 在全泥氰化过程中贫液是否可全部循环使用, 一直是大家所关心和探讨的一个问题。一种观点认为氰化过程中贫液全部循环使用(即洗涤作业洗涤水全部使用置换贫液, 磨矿用水又全部使用洗涤浓缩机产出的二次贵液), 经一段时间后, 溶液中可溶性离子的浓度会越来越高, 逐渐趋于饱和, 出现溶液“中毒”现象, 严重影响氰化指

标。赛乌素金矿从1990年开始三层洗涤浓缩机洗涤水全部使用置换贫液（多余的贫液排弃），磨矿用水又全部使用二次贵液（多余部分进入第一段洗涤作业作洗涤水），使贫液在浸出、洗涤、置换过程中形成大循环，循环使用率在85%左右，实现了工艺用水全部使用贫液（只有砂泵水封水使用新水）。实践证明，氰化过程循环使用贫液对浸出率、洗涤率和置换率均无影响，其原因大致有以下几点。

(1) 全泥氰化处理的矿石大多数性质简单，有碍氰化的矿物较少，因而氰化溶液中可溶性离子也较少。

(2) 在置换过程中，贵液中的可溶性离子大部分随同金、银一起被锌沉淀出来，金泥中含有大量的铜、铁、铅等金属和其它杂物证明了这一点。

(3) 三层洗涤浓缩机底流排放浓度一

般控制在45%~50%，排弃一吨尾矿就排走1~1.3m<sup>3</sup>尾液。因此，处理一吨矿石必须加入相应的新水才能使生产流程中的水量保持平衡，这部分新水通常以砂泵水封水的形式（副叶轮砂泵除外）和地面冲洗水加入流程中去，使氰化溶液的性质得到了改善，所以在洗涤过程中没有必要排弃部分贫液，补加部分新水以达到改善氰化溶液性质的目的。

### 3.2 适量添加NaCN

加快金的浸出速度，缩短金的浸出时间，增大浸出生产能力是磨矿浸出的主要目的，实现这一目的的主要措施是在磨矿回路中适量添加NaCN，强化磨矿浸出条件。赛乌素金矿在第二段磨矿回路中加入部分NaCN，收到了明显的浸出效果。测定数据表明，在磨矿回路中金的浸出率占75%左右，浸出测定指标列于表4。

表4 浸出测定指标

测定日期	原矿品位 (g/t)	磨矿浸出率 (单层浓缩机底流)		总浸出率 (三层浓缩机底流样)	
		渣品位(g/t)	浸出率(%)	渣品位(g/t)	浸出率(%)
1991年5月25日	5.46	0.61	88.82	0.13	97.55
1991年5月26日	3.49	1.13	67.63	0.23	93.33
1991年5月27日	4.46	1.21	72.96	0.21	95.29
1991年5月28日	5.80	1.21	79.14	0.19	96.72
1991年5月29日	4.48	1.29	71.20	0.19	95.68
1991年5月30日	3.51	1.01	71.22	0.19	94.59
1991年5月31日	3.87	1.41	63.44	0.19	95.09
1991年6月1日	3.11	1.09	65.08	0.21	93.25
1991年6月2日	3.02	1.83	39.73	0.25	91.73
1991年6月3日	4.64	1.92	58.51	0.23	95.00
1991年6月4日	4.72	1.71	63.86	0.20	95.70
1991年6月5日	4.99	0.92	81.55	0.23	95.39
1991年6月6日	5.90	0.90	84.75	0.21	96.44
1991年6月7日	7.68	0.91	88.15	0.21	97.27
1991年6月8日	6.88	1.39	79.84	0.26	96.22
1991年6月9日	4.14	0.99	76.08	0.17	95.82
1991年6月10日	3.67	0.71	80.65	0.26	92.90
平均	4.63	1.20	74.11	0.21	95.46

注：测定指标为连续17天51个班的生产平均指标。

一种观点认为,磨矿浸出虽然可以加快金的浸出速度,减少浸出槽台数,但是会增大NaCN的消耗。其理论依据是球磨机中矿浆温度较高,不仅NaCN与金的反应速度加快,而且与其它金属离子的反应速度也会加快,从而消耗更多的NaCN。另外,由于磨矿机中温度较高,NaCN在磨矿机中易遇热分解,挥发出有毒气体HCN,这也会增大NaCN的用量,且还会污染车间环境,危害工人的身体健康。因此,持这种观点者不主张磨矿浸出。如果采用单一添加NaCN的办法来实现磨矿浸出,由于受温度的影响,NaCN的消耗量会有所增加,但从整个氰化过程来看,实现磨矿浸出的主要手段是利用二次贵液,只是通过添加少量NaCN来强化磨矿浸出,提高金的浸出速度,因此,磨矿浸出只能是降低NaCN的消耗。至于NaCN在磨矿过程中受热分解和造成环境污染,只要采取有效的技术措施是完全可以防止的。

(1) 正确选择NaCN添加地点。在磨矿回路中,矿浆池是最理想的NaCN添加点,因为矿浆从磨机中排出,在排矿漏斗中被加入的大量二次贵液所稀释,经分级机分级后流入矿浆池,这时矿浆的温度已恢复到室温,NaCN不会受温度的影响而增大消耗。另外,NaCN加入矿浆后,随同矿浆一起进入砂泵输送系统,金的浸出是在压力输送状态下进行的,与国外采用的管道压力浸出相似,金的浸出速度加快。

(2) 低NaCN浓度浸出。某些试验研究表明,氰化矿浆中可溶性离子的溶解度与NaCN浓度有密切关系,它们的溶解率随着NaCN浓度的增加而上升,尤以铁的溶解率变化更为明显。因此,磨矿浸出保持低NaCN浓度非常重要。磨矿浸出过程中NaCN的加入量应视原矿金品位的高低而定,含金高时多加,含金低时少加,原则上以旋流器溢流中NaCN浓度不高于二次贵液中NaCN浓度为宜。赛乌素金矿全泥氰化厂在磨矿矿浆池

中加入的NaCN为总消耗量的30%~40%(0.2~0.25kg/t),旋流器溢流中NaCN浓度在0.025%左右,低于磨矿补加水0.035%的NaCN浓度,详见表5。从表5可看出,第一段磨矿浸出的NaCN初始浓度为0.035%,第二段磨矿浸出NaCN的初始浓度为0.025%,均低于常规搅拌槽浸出所采用的0.05%左右的NaCN浓度。在这样低的NaCN浓度下浸出,不仅可有效地抑制可溶性离子的溶解,同时对防止NaCN在球磨机中遇热分解也大有益处。

(3) 高碱度浸出。在浸出过程中NaCN的消耗量不仅与NaCN浓度有关,而且与矿浆pH值有关,两者相比,pH值的影响更大。赛乌素金矿全泥氰化厂目前处理的矿石大致分为两种类型,即金—褐铁矿石英脉矿石和硫化石英英脉矿石,矿石中有碍氰化浸出的矿物主要是黄铁矿。在磨矿过程中,黄铁矿和磨矿过程中新生成的铁粉被氧化生成 $Fe^{2+}$ ,在低碱度条件下 $Fe^{2+}$ 易与NaCN反应而消耗NaCN。因此,该厂在第一段球磨机中加入足够量的石灰,在pH值12左右条件下使 $Fe^{2+}$ 进一步氧化生成 $Fe(OH)_3$ 沉淀。这就是生产中NaCN为什么不加入第一段磨矿回路的原因。高碱度磨矿浸出的另一突出优点是可以防止NaCN在磨机中遇热分解。

### 3.3 污水集中返回磨矿系统

磨矿浸出使氰化厂内所有矿浆和溶液都含有NaCN和可溶金,任何跑、冒、滴、漏都会造成金和NaCN的机械损失,这就要求氰化厂的文明生产和技术管理更加严格。但是要做到磨矿系统无跑、冒现象几乎是不可能的。该厂为了减少金和NaCN的流失,除加强生产管理外,在磨矿工段设置了1台泥浆泵,生产中溢出的矿浆和所有溶液通过地沟流入泵池,然后用泵扬送返回磨矿系统,彻底解决了金和NaCN的机械流失问题。

表5 含氰溶液CN<sup>-</sup>浓度测定结果(%)

测定日期	2号旋流器溢流				12号浸出槽矿浆				贵液			
	一班	二班	三班	平均	一班	二班	三班	平均	一班	二班	三班	平均
1991年												
7月22日	0.024	0.02	0.012	0.019	0.049	0.05	0.051	0.05	0.028	0.02	0.039	0.029
7月23日	0.023	0.018	0.02	0.02	0.049	0.05	0.053	0.051	0.034	0.031	0.037	0.034
7月24日	0.028	0.022	0.03	0.027	0.064	0.06	0.065	0.063	0.035	0.033	0.032	0.033
7月25日	0.025	0.026	0.028	0.026	0.07	0.072	0.051	0.064	0.04	0.04	0.04	0.04
7月26日	0.025	0.03	0.025	0.027	0.06	0.064	0.05	0.068	0.037	0.039	0.03	0.035
7月27日	0.025	0.032	0.02	0.026	0.054	0.06	0.045	0.053	0.033	0.036	0.029	0.031
7月28日	0.004	0.028	0.025	0.031	0.048	0.045	0.04	0.044	0.03	0.04	0.035	0.035
平均	—	—	—	0.025	—	—	—	0.055	—	—	—	0.034

测定日期	贫液				磨矿补水(三层溢流)			
	一班	二班	三班	平均	一班	二班	三班	平均
1991年								
7月22日	0.032	0.015	0.032	0.026	0.03	0.03	0.04	0.033
7月23日	0.031	0.03	0.028	0.03	0.029	0.028	0.032	0.03
7月24日	0.028	0.03	0.035	0.031	0.038	0.031	0.05	0.04
7月25日	0.03	0.029	0.036	0.032	0.05	0.03	0.03	0.037
7月26日	0.034	0.036	0.035	0.035	0.03	0.041	0.03	0.034
7月27日	0.03	0.032	0.025	0.028	0.038	0.035	0.045	0.039
7月28日	0.032	0.036	0.03	0.033	0.03	0.035	0.035	0.033
平均	—	—	—	0.031	—	—	—	0.035

注：平均值为算术平均值。

利用率越高，节省的NaCN就越多。

3. NaCN浓度和pH值是影响磨矿浸出的重要因素，采用低NaCN浓度和高碱度磨矿浸出技术既能降低NaCN消耗，又能有效地防止NaCN在磨矿过程中受热分解。赛乌素金矿全泥氰化厂的生产实践表明，磨矿浸出的NaCN浓度控制在0.03%左右，pH值控制在12左右为宜。

#### 4 结语

1. 赛乌素金矿全泥氰化厂采用磨矿浸出工艺取得了显著的技术经济效益，NaCN单耗降到了0.5kg/t矿左右，达到了国内先进水平。

2. 全泥氰化厂利用二次贵液进行磨矿浸出是降低NaCN用量的有效措施，二次贵液

(上接第6页)

选—氰化工艺流程的试验结果。磁选机为SLon型立环脉动高梯度磁选机，背景场强1.2T，进行一次粗选、一次扫选。浮选药剂采用丁基铵黑药和乙基黄药，进行一次粗选、两次扫选。综合回收的铁精矿品位为

TFe50.72%，回收率为60.21%。以上工艺流程，虽然在氰化前增加了磁选和浮选作业，但较全泥氰化的成本仍然要低，具有较好的经济效益。