

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

C22B 3/18

C22B 3/04

C22B 3/06

C22B 23/00



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 00817169.6

[45] 授权公告日 2005 年 7 月 6 日

[11] 授权公告号 CN 1209475C

[22] 申请日 2000.11.24 [21] 申请号 00817169.6

[30] 优先权

[32] 1999.12.15 [33] AU [31] PQ4689

[86] 国际申请 PCT/AU2000/001437 2000.11.24

[87] 国际公布 WO2001/044519 英 2001.6.21

[85] 进入国家阶段日期 2002.6.14

[71] 专利权人 太平洋矿产技术澳大利亚有限公司

地址 澳大利亚西澳大利亚

[72] 发明人 科林·J·亨特

审查员 孙红花

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

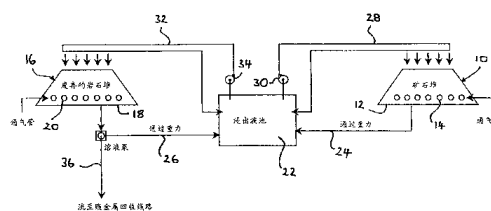
代理人 赵仁临 张平元

权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图 5 页

[54] 发明名称 细菌辅助的堆浸出方法

[57] 摘要

一种细菌辅助的堆浸出方法，其特征在于包括以下步骤：提供矿石堆，其中氧化硫化矿；提供生物接触器，该接触器接种了氧化亚铁的细菌；提供至少一个浸出液池，以将浸出液供给两个矿石堆，并接收来自这两个矿石堆的浸出液；及放出部分浸出液，并将其传送至金属回收装置。



ISSN 1008-4274

1. 一种细菌辅助的堆浸出方法，其特征在于包括以下步骤：
提供矿石堆，以在其中氧化硫化矿；
5 提供生物接触器，该接触器接种了氧化亚铁的细菌；
提供至少一个浸出液池，以向矿石堆和生物接触器供给浸出液，并接收来自矿石堆和生物接触器的浸出液；
使至少一个浸出液池中的浸出液传送至生物接触器，及
从至少一个浸出液池和/或生物接触器中放出部分浸出液，并将该部分
10 浸出液传送至金属回收装置。
2. 根据权利要求 1 的细菌辅助的堆浸出方法，其特征在于硫化矿的氧化是通过矿质化学营养细菌的作用实现的。
3. 根据权利要求 1 或 2 的细菌辅助的堆浸出方法，其特征在于该生物接触器是以第二矿石堆的形式提供的。
- 15 4. 根据权利要求 3 的细菌辅助的堆浸出方法，其特征在于一个或两个矿石堆都在其底部或接近其底部通气。
5. 根据权利要求 3 的细菌辅助的堆浸出方法，其特征在于该第二矿石堆是由比较惰性的废弃岩石构成的。
6. 根据权利要求 4 的细菌辅助的堆浸出方法，其特征在于该第二矿石
20 堆是由比较惰性的废弃岩石构成的。
7. 根据权利要求 3 的细菌辅助堆浸出方法，其特征在于该第二矿石堆接种了氧化铁硫杆菌。
8. 根据权利要求 4 的细菌辅助堆浸出方法，其特征在于该第二矿石堆接种了氧化铁硫杆菌。
- 25 9. 根据权利要求 5 的细菌辅助堆浸出方法，其特征在于该第二矿石堆接种了氧化铁硫杆菌。
10. 根据权利要求 6 的细菌辅助堆浸出方法，其特征在于该第二矿石堆接种了氧化铁硫杆菌。
11. 根据前述权利要求 3 至 10 中任一项的细菌辅助堆浸出方法，其特
30 征在于所放出的浸出液取自第二矿石堆。
12. 根据前述权利要求 11 的细菌辅助堆浸出方法，其特征在于浸出液

再循环通过矿石堆一次以上，以提高其中所溶解的金属含量。

13. 根据前述权利要求 11 的细菌辅助堆浸出方法，其特征在于浸出液中的至少部分三价铁通过水合作用沉淀。

14. 根据权利要求 13 的细菌辅助的堆浸出方法，其特征在于浸出液中的铁沉淀形成黄钾铁矾或针铁矿和酸。

15. 根据权利要求 13 的细菌辅助的堆浸出方法，其特征在于铁的沉淀发生在生物接触器中。

16. 根据权利要求 14 的细菌辅助的堆浸出方法，其特征在于铁的沉淀发生在生物接触器中。

17. 根据权利要求 13 的细菌辅助堆浸出方法，其特征在于铁的沉淀仅发生在矿石堆或生物接触器中，或者在二者中均发生。

18. 根据权利要求 14 的细菌辅助堆浸出方法，其特征在于铁的沉淀仅发生在矿石堆或生物接触器中，或者在二者中均发生。

19. 根据权利要求 15 的细菌辅助堆浸出方法，其特征在于铁的沉淀仅发生在矿石堆或生物接触器中，或者在二者中均发生。

20. 根据权利要求 16 的细菌辅助堆浸出方法，其特征在于铁的沉淀仅发生在矿石堆或生物接触器中，或者在二者中均发生。

细菌辅助的堆浸出方法

5 技术领域

本发明涉及一种细菌辅助的堆浸出方法。更具体地，本发明的细菌辅助的堆浸出方法是用于从硫化矿中回收镍及相关贱金属的。

背景技术

10 目前，通过细菌辅助的堆浸出方法从硫化矿中回收贱金属仅限于次级的硫化铜矿，如辉铜矿和铜蓝。黄铜矿(初级的硫化铜矿)是明显的例外，且目前尚不能成功地进行堆浸出方法。迄今为止，还不存在可以利用的经证实的方法，以成功地对除了铜的硫化物(不包括黄铜矿)以外的硫化镍、硫化锌或任何其它贱金属硫化物进行细菌辅助的堆浸出方法。

15 本发明的细菌辅助堆浸出方法的目的之一是克服与现有技术相关的问题，或者至少为所述问题提供有用的可供选择的办法。

上述有关背景技术的讨论的目的只是为了更容易地理解本发明。应当理解，该讨论不是确认或承认所引用的任何材料在澳大利亚在本申请的优先权日构成公知常识的一部分。

20 在整个说明书中，除非上下文另外需要，否则词语“包括”(“comprise”)或者其变体(“comprises”或“comprising”)均应理解成包括所陈述的整体或整体组，但并不排除其它整体或整体组。

发明内容

25 本发明提供一种细菌辅助的堆浸出方法，其特征在于包括以下步骤：
提供矿石堆，其中氧化硫化矿；
提供生物接触器，该接触器接种了氧化亚铁的细菌；
提供至少一个浸出液池，以向矿石堆和生物接触器供给浸出液，并接收来自矿石堆和生物接触器的浸出液；
30 使至少一个浸出液池中的浸出液传送至生物接触器，及
从至少一个浸出液池和/或生物接触器中放出部分浸出液，并将该部分

浸出液传送至金属回收装置。

硫化矿或其部分的氧化优选通过矿物质化学营养细菌的作用来实现。

还优选生物接触器以第二矿石堆的形式提供。

优选一个或两个矿石堆在其底部或接近底部通气。

- 5 所述第二矿石堆优选由比较惰性的废弃岩石构成。该第二矿石堆可以接种氧化铁硫杆菌或类似的细菌。

浸出液的放出部分优选取自第二矿石堆。

浸出液通过矿石堆循环大于一次，以提高其中溶解金属的含量。

在本发明的一个实施方案中，浸出液中至少部分三价铁通过水合沉淀。

- 10 铁的沉淀优选仅在矿石堆或生物接触器中的一个或两个中发生。

附图说明

现将参照其两个实施方案和附图，仅以实施例的方式描述本发明，在附图中：

- 15 图 1 是根据本发明第一实施方案的细菌辅助堆浸出方法的示意图或流程图；

图 2 是根据本发明第二实施方案的细菌辅助堆浸出方法的示意图或流程图；

图 3 是实施例 I 的粉碎矿样的尺寸分布图；

- 20 图 4 是实施例 III 的浸出液池中的三价铁、亚铁和总铁的质量对时间的曲线图；及

图 5 是从实施例 III 的浸出堆中浸出镍的比率的曲线图。

具体实施方式

- 25 在图 1 所示的是根据本发明第一实施方案通过矿质化学营养细菌的作用而进行的细菌辅助堆浸出方法全部矿石或部分矿石的流程图。在不渗透的浸出垫 12 上将浸染的硫化矿石堆积成矿石堆 10。设想该浸染的硫化矿石可以经过一次或多次的预处理，例如凝聚，以提高其渗透性，或者经过某种形式的浓缩步骤以提高贱金属的含量。

- 30 矿石堆 10 装有并缝的通气管 14，插在矿石堆 10 的底部，为存在于浸染的硫化矿石中的细菌提供氧源和碳源。促使这些细菌在矿石堆中增殖和

繁殖，进而氧化硫化矿。

预计本发明的方法可能需要不同种类的细菌繁殖于矿石堆中，而且这类细菌必需通过接种法引入于矿石堆中。这可以在堆积矿石堆 10 之前、期间或之后，通过添加包含优选细菌的溶液于要处理的材料中来实现。

- 5 在另一不渗透的浸出垫 18 上提供生物接触器，如由比较惰性的废弃岩石构成的第二矿石堆 16。类似地，矿石堆 16 在接近其底部装有开缝的通气管 20。矿石堆 16 接种了氧化亚铁的细菌，如氧化铁硫杆菌，其可以是也可以不是矿石堆 16 固有的。

提供浸出液池 22，并分别利用重力进料管线 24 和 26 接收来自矿石堆 10 和 16 的浸出液。矿石堆 10 通过其中装有泵 30 的进料管线 28，接收来自浸出液池 22 的浸出液。没有进料给矿石堆 10 的浸出液返回浸出液池 22。

矿石堆 16 通过其中装有泵 34 的进料管线 32，接收来自浸出液池 22 的浸出液。没有进料给矿石堆 16 的浸出液返回浸出液池 22。

- 15 关于浸出液到矿石堆 10 和 16 的供给，优选将一致的且分布均匀的浸出液供给于矿石堆 10 和 16 的顶部或侧面。在源于矿石堆 16 的重力进料管线 26 中提供放出管线 36，并且用于从图 1 所示的工艺流程中放出浸出液(与浸出液池 22 中的浸出液相比，此时的亚铁缺乏)，使之进入金属回收装置。然后，可以利用常规的湿法冶金装置从该浸出液中回收贱金属。

- 20 据信，在图 1 所示流程图中的某些位置对浸出液进行加热或冷却可能是有利的。

作为选择，预计所提供的生物接触器也可以是填充柱或旋转生物接触器的形式。

- 25 在图 2 所示的是根据本发明第二实施方案通过矿质化学营养细菌的作用而进行的细菌辅助堆浸出方法全部矿石或部分矿石的流程图。该流程图基本上与图 1 所示的第一实施方案的流程图相同，并且相同的数字代表相同的部件。

- 30 第一实施方案中的浸出液池 22 被惰性岩石池 40 和矿石池 42 等两个池子替代。矿石池 42 通过重力进料管线 44 接收来自矿石堆 10 的浸出液。矿石堆 10 通过进料管线 28 接收来自池 42 的浸出液。未进料给矿石堆 10 的浸出液返回池 42。

矿石堆 16 通过进料管线 32 接收来自惰性岩石池 40 的浸出液。未进料给矿石堆 16 的浸出液返回池 40。池 40 通过其中安装了泵 48 的重力进料管

线46接收来自矿石堆16的浸出液。

来自惰性岩石池40的溢流通过溢流管线50进入矿石池42。来自矿石池42的液体除了进料给矿石堆10外,还通过中间管线52和进料管线32进料给矿石堆16。

5 在源于矿石堆16的重力进料管线46中提供放出管线52,并且用于从图2所示的工艺流程中放出浸出液(与池42中的浸出液相比,此时的亚铁缺乏),使之进入金属回收装置。然后,可以利用常规的湿法冶金装置从该浸出液中回收贱金属。

据信,利用分立的池40和42可使该工艺具有比图1所示工艺更大的适应性。例如,第二实施方案的矿石堆可以在不同的pH及亚铁与三价铁比例
10 的条件下工作。

还可以预计,浸出液可优选地循环通过矿石堆10和16一次以上,以提高所溶解的金属的含量。而且可以证实,一定形式的pH控制是有利的。

仍可以进一步预计,浸出液中的全部或部分三价铁可以方便地通过水合
15 处理而沉淀,进而形成黄钾铁矾或针铁矿,同时还生成酸,通常是硫酸。可以促使这种情况在远离矿石堆10的位置发生,例如在矿石堆16中发生。

本发明的方法提供了从其硫化矿石中回收镍及其它贱金属(如钴和锌)的经济方法。可以预期,根据本发明方法的生产贱金属的资金和运行成本比常规的回收方法更有利。还可以预期,利用该方法可以沉积贱金属品位较低
20 的矿,而利用常规的或现有技术的方法在经济上通常是不可行的。

下面将参照大量的实施例对本发明进行说明。但是,应当理解,下面的实施例不是对上述的本发明的一般性的限制。

实施例1

25 进行实验室规模的小型试验性质的柱操作,以便尝试最优化本发明第一实施方案的堆浸出方法操作条件。

在该实施例中,使用500 kg来源于西澳大利亚(澳大利亚)Radio Hill矿床的浸染矿石样品的原始试样。该样品先进行干燥,然后破碎、混合并分裂成次级样品,以便进行原矿分析、接种体繁殖、生物浸出最优化及小型试验
30 性质的试验。已知该浸染矿石含有大约0.92%Cu、0.67%Ni和0.34%Co。

将次级样品粉碎,并通过ICPMS分析 CO_3^{2-} 、总S及31种元素。使用多种筛目至38微米的筛目对样品的粒度分布进行分析。化验粒度分析的每

一部分的 Ni 和 Cu 的含量。各部分的粒度分布和化学分析结果见表 2 和图 1。

表 1
化学分析结果

元素	浓度(mg/Kg)	元素	浓度(mg/Kg)
铝	23000	钼	16.2
锑	2.4	镍	6670
砷	12	钾	3760
钡	222	铷	4.5
铍	0.4	硒	7
铋	2	银	5.3
硼	<1	钠	14700
镉	2.1	铈	113
钙	60100	硫	4.05
铬	476	碲	1.1
钴	336	铊	<0.1
铜	9230	锡	12.2
铁	111000	铀	0.3
铅	34.8	钒	173
锂	12.4	锌	203
镁	40400	CO ₃ ²⁻	<0.5
锰	1520		

表 2

5 筛子及有关 RH 浸染原矿的化学分析

筛子# (目)	保留质量 (g)	保留百分数 %	累积通过百分数 %	Cu (%)	Ni (%)
4	0	0	100.0		
-4 +6	344	34.37	65.6	0.84	0.60
-6 +10	295	29.47	36.2	0.90	0.60
-10 +18	139	13.89	22.3	0.89	0.58
-18 +30	53	5.29	17.0	0.89	0.55
-30 +45	42	4.20	12.8	0.94	0.60
-45 +80	42	4.20	8.6	0.98	0.70
-80 +100	9	0.90	7.7	1.08	0.96
-100 +200	21	2.10	5.6	1.25	1.26
-200	56	5.59	-	1.79	1.45

起初对不同研磨粒度的矿石进行热硝酸浸出试验，以测定 Radio Hill 浸染矿石的最佳粒度范围。据测定，为了充分暴露浸出的矿化作用，需要 4 目的研磨粒度(4.76mm)。如果通过破碎所产生的精细成分过高，则通常利用凝聚作用使其粗大化，以防止浸出期间可能存在的溢流。制备 3.5kg -4 目的破碎的矿石样品，并将其装填到 3"的塑料柱子中。泵入酸化水并将其喷入柱子中，以在溢流发生之前进行最大的渗滤。渗透试验的结果见下面的表 3：

表 3
Radio Hill 浸染矿石的渗滤试验

柱子:	3"直径
装填的矿石:	3.5 kg (100 % -4.76mm)
矿石高度:	17.75"
水型:	喷射
临界流速:	492 ml/分钟
柱子的面积:	0.00145 m ²
流速:	0.20359 L/小时/m ²
流速(ml/分钟)	观测
155	良好
230	良好
385	良好
405	良好
460	良好
485	良好
520	溢流
495	溢流
420	良好
435	良好
495	溢流
492	溢流点

10

进行试验以使浸出培养物的选择和操作条件最优化。对不同的培养物、温度条件、pH 及最后的营养物添加进行试验。用来最优化金属萃取的黄铜矿培养物及固有培养物的试验基质总结于如下的表 4 中：

表 4
最优化试验基质

试验#	接种物	温度 (°C)	pH	营养物(g/l)				
				(NH ₄) ₂ SO ₄	K ₂ HPO ₄	MgSO ₄ ·7H ₂ O	H ₃ PO ₄	H ₂ SO ₄
1	Radio Hill	40	1.0	1.0	0.5	0.16		2.0
2	POT	40	1.0	1.0	0.5	0.16		2.0
3	Radio Hill	45	1.0	1.0	0.5	0.16		2.0
4	POT	45	1.0	1.0	0.5	0.16		2.0
5	Radio Hill	50	1.0	1.0	0.5	0.16		2.0
6	POT	50	1.0	1.0	0.5	0.16		2.0
7	Radio Hill	55	1.0	1.0	0.5	0.16		2.0
8	POT	55	1.0	1.0	0.5	0.16		2.0
9	Radio Hill	60	1.0	1.0	0.5	0.16		2.0
10	POT	60	1.0	1.0	0.5	0.16		2.0
11	POT	60	0.8	1.0	0.5	0.16		2.0
12	POT	60	1.0	1.0	0.5	0.16		2.0
13	POT	60	1.4	1.0	0.5	0.16		2.0
14	POT	60	1.8	1.0	0.5	0.16		2.0
15	POT	60	2.2	1.0	0.5	0.16		2.0
16	POT	60	1.4	1.0	0.5	0.16		2.0
17	POT	60	1.4	0.5	0.25	0.08		2.0
18	POT	60	1.4	0.3	0.16	0.053		2.0
19	POT	60	1.4	1.0	0.0	0.0	0.331	2.0
20	POT	60	1.4	1.0	0.0	0.0		2.0
				(NH ₄) ₂ SO ₄	K ₂ HPO ₄	(NH ₄) ₂ HPO ₄	K ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄
21	POT	60	1.4	1.0	0.5	0.0	0.0	2.0
22	POT	60	1.4	0.0	0.0	0.38	0.5	2.0
23	POT	60	1.4	0.0	0.0	0.38	0.0	2.0
24	POT	60	1.4	0.0	0.0	0.61	0.5	2.0
25	POT	60	1.4	三价铁浸出				
26	POT	60	1.4	试验 21 的条件-试验 25 残余物的生物浸出				

每个试验均在 5 升的通气反应器中进行。每个容器上加有所制备的接种物 3 升和矿石样品 300 克。容器在足以使固体保持悬浮的速度(450~500 rpm) 5 下进行搅拌。根据需要监测容器的溶解氧(DO)、pH、氧化还原电位(ORP)、Fe²⁺、Fe³⁺及 Fe^总。加酸以保持所需的 pH。从容器中取出溶液样品并过滤，且使固体返回浸出容器中。

通过原子吸收光谱(AAS)分析溶液样品的金属浓度。待用 H_2SO_4 洗涤并干燥之后, 分析最终浸出残余物的 Ni、Co、Cu、Fe 和 S。初步的最优化试验结果示于下面的表 5 中。在 50~60℃ 的温度和 1~1.8 的 pH 下, 利用申请人的(POT)接种物, 在 14~21 天内可以得到大于 90%Cu 和 Ni 的萃取率。按 5 类似的方式进行共萃取(corextraction), 尽管萃取率低一些, 但也大于 85%。

表 5
最优化试验的结果

试验#	细菌	温度 P(℃)	营养物 t	pH	R.T. (天)	Cu (%)	Fe (%)	Ni (%)	Co (%)	S (%)
1	Radio	40	Ok Base	1	8	31.4	62.2	48.6	47.4	36
2	POT	40	Ok Base	1	8	31.8	50.7	37.5	41.6	11.5
3	Radio	45	Ok Base	1	12	15.6	47.1	53.7	56.3	1.8
4	POT	45	Ok Base	1	12	59	66.7	66.6	69.4	36.8
5	Radio	50	Ok Base	1	8	19.7	51	49.3	45.2	8.9
6	POT	50	Ok Base	1	8	97.3	62.1	51.6	55.9	21.6
7	Radio	55	Ok Base	1	14	63.7	67.8	83.5	85.2	43.9
8	POT	55	Ok Base	1	14	98.3	94.6	88.4	90.7	27.9
9	Radio	60	Ok Base	1	9	53	57.5	71.2	79.7	8.1
10	POT	60	Ok Base	1	9	97.8	59.6	76.9	75.9	13.4
11	POT	60	Ok Base	0.8	9	39.6	53.1	74.8	67.1	-9
					22	95.4	65.6	94	87.8	24.1
12	POT	60	Ok Base	1	9	38.3	54.1	76.3	72	-6.2
					22	97.4	62.5	94.2	88	15.4
13	POT	60	Ok Base	1.4	9	61.1	38.4	73.3	69.2	6.9
					22	96.1	54.2	94.1	87	19.9
14	POT	60	Ok Base	1.8	9	85.2	24.3	66.5	60.7	11.6
					22	91.8	30.7	94.6	87.1	-15.1
15	POT	60	Ok Base	2.2	9	50.7	3.5	58	50	-21.3
					22	81.7	11.5	91.4	83	-14
16	POT	60	表 3	1.4	17	88.7	47.2	91.1	86.1	9.3
17	POT	60	表 3	1.4	17	82.8	53.3	91.7	86.3	31.3
18	POT	60	表 3	1.4	17	91.1	53.9	91.5	84.7	29.3
19	POT	60	表 3	1.4	17	97.2	56.7	91.1	85.3	25.9
20	POT	60	表 3	1.4	17	77	54.5	90.5	84.4	31.7
21	POT	60	表 3	1.4	14	90.2	7.5	89.2	84.3	10.7
22	POT	60	表 3	1.4	14	89.4	15.6	89.1	83.1	31
23	POT	60	表 3	1.4	14	92	26	88.4	83.7	19.2
24	POT	60	表 3	1.4	14	83.2	8.9	87.9	80.8	-10.3
25	POT	60	表 3	1.4	23	79.6	三价铁浸出-阶段 1			
26	POT	60	表 3	1.4	三价铁浸出残余物的生物浸出-阶段 2					

总共装备 7 个浸出柱并运行。每个柱子装填约 3 kg 的样品。加热浸出柱以便控制所需的操作温度。自顶部将接种物喷到柱子上,使之渗过试验样品。将浸出液收集在加热的贮存容器(池)中。通过分配器提供空气以使柱子和贮存容器适当地通气。监测浸出液的 DO、pH、ORP、 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 。根据 5 需要加酸以保持所需的 pH。按周取得溶液样品。分析溶液样品的 Ni、Cu、Co 和 Fe。柱子运行 63~208 天。

9 个柱子的操作条件及最终的萃取结果见下面的表 6。在 pH 为 1.4 和 50℃(试验 6)的条件下,获得最佳的柱浸出结果,其中约 80%的金属在运行 52 天之后被萃取出来。实际以选择 1.8 的 pH 作为试验规模的操作条件,以便降低酸消耗(pH 为 1.8 时,0.1 吨酸/吨矿石;而 pH 为 1.4 时,0.2 吨酸/吨 10 矿石)。

表 6

柱试验条件及浸出萃取率

试验#	说明	温度 (°C)	pH	酸/矿石	酸洗	R.T. (天)	Fe (%)	Cu (%)	Ni (%)	Co (%)	S (%)
1	向下流	45	1.5	0.174	不	97	15.1	21.7	68.2	63.7	-
				0.203		163	44.5	46.2	90	80	0.7
2	向上流	45	1	0.244	不	63	30.8	75.8	58	51.3	11
3	向下流	60	1.4	0.190	不	72	22.9	53.2	83	77.6	0.6
				0.249		163	47.3	67.6	93	83.4	-8
5	向下流	60	1.4	0.179	是	34	26.0	69.3	83.8	75.0	3.3
				0.212		79	32.1	75.9	91.4	84.8	9.5
6	向下流	50	1.4	0.193	是	52	26.1	80.5	79.7	72.5	4.8
				0.205		94	33.0	82.8	86.6	79.0	17.2
7	向下流	50	1.8	0.105	是	52	8.0	62.0	79.7	71.2	4.0
				0.106		93	18.2	68.4	85.8	78.0	6.3
9	向下流	45	1.4	0.159	是	59	32.2	53.2	79.6	71.5	7.5
				0.170		105	32.4	54.3	85.6	77.7	17.9

15 柱子 4 和 8 分别用于研究三价铁再生试验和铁沉淀试验,作为增强方法的在矿石堆之外的单独处理步骤。该柱子(3"直径×3'长度)装填了约 3 kg 的破碎成-1/4"的惰性陶瓷鞍状支撑物。将溶液泵至顶部并以 100ml/分钟的速度渗过柱子。将溶液收集在 5 升的容器中并再循环返回柱子。在正常的基础上,检测试验 4 中的 ORP,当溶液达到 600mV 时,加入另外的亚铁

FeSO₄·7H₂O。将循环保持4½月以上，根据 ORP 约每 2~4 天加入亚铁，起初的 30 天示于表 7 中。

表 7
三价铁再生试验(柱子 4)

天	ORP(mV)	FeSO ₄ ·7H ₂ O(g)	Fe ²⁺ (g)	天	ORP(mV)	FeSO ₄ ·7H ₂ O(g)	Fe ²⁺ (g)
0	624	15	3	16	612	15	3
	504				501		
1	526			17	553		
2	590			18	622	7.5	1.5
3	612	15	3		522		
	506			19	613	7.5	1.5
4	534				544		
5	609	15	3	20	616	7.5	1.5
	501				539		
6	510			21	591		
7	561			22	627	30	6
8	617	15	3		490		
	501			23	520		
9	534			24	564		
10	608	15	3	25	623	45	9
	503				473		
11	547			26	502		
12	624	15	3	27	515		
	512			28	541		
13	551			29	599		
14	608	15	3	30	607		
	497				总计(g)	217.5	43.7
15	548				总计(g/天)	7.25	1.46

5

使用 3 kg 基质的亚铁再生柱将平均 1.46 g/天的亚铁转化成三价铁，且范围高达 2 g/天。根据这些数据可以预期，处理来源于 1 吨矿石堆的含金属的溶液，需要 1/4 吨的惰性废弃岩石。

实施试验 8，以便研究通过加强黄钾铁矾沉淀来控制溶液中 Na 和 Fe 的含量。在本发明的堆浸出方法中，拟以碳酸盐的形式用碳酸钙来沉淀铁，并用 Na₂CO₃ 沉淀剩余的贱金属。然后，可以使用含硫酸钠的滤液沉淀出黄钾铁矾钠。这可有效地防止阳离子积聚，从浸出工艺中取出铁，且同时产

生酸。可以预期，在实际中使用通气的废弃岩石堆就足以形成黄钾铁矾。
初步结果见下面的表 8：

表 8
黄钾铁矾沉淀柱(试验 8)

天	ORP	Fe ²⁺ (g/l)	Fe ³⁺ (g/l)	Fe ^{总计} (g/l)	Na(g/l)	注
79	480	1.96	11.04	13.00	3080	
86	701	0.17	14.83	15.00		
93	683	0.22	14.38	14.60	3070	用 NaOH 调节 pH 为 1.10~1.83
102	401			12.50	5810	
107	416	5.59	5.01	10.60	5620	
114	671	3.91	6.29	10.20	5080	
123	444	0.84	7.05	7.89	4980	
128	680	0.45	7.48	7.93	4190	添加 30 g Fe ₂ SO ₄ ·7H ₂ O
135	664	0.119	8.49	8.61	4790	

5
黄钾铁矾沉淀试验的初步结果是肯定的。参照 79~135 天的柱子表明，
总 Fe 和钠逐步下降，预示发生了黄钾铁矾沉淀。

实施例 II

10 根据本发明的第一实施方案和图 1，建立直径为 4"高为 16'的柱子，以
进行实验性的堆浸出方法试验。该柱子装填了 60kg 破碎至-4 目的矿石，矿
石的总高度为 15'。装填之前，矿石用酸化水润湿并充分混合，以确保精细
15 的矿石分布均匀。酸化水渗过柱子，并且在加入接种物之前的起始的 18 天
中，根据需要加酸，以保持 pH 为 1.8。将自柱子底部排出的溶液泵回 40 升
的贮存容器，然后再循环回来至柱子。使用 POT 黄铜矿接种物启动柱子。
3 天之后，柱子溢流并将柱子转换成向上溢流的方式。

将柱浸出的溢流传送至直径为 6"高为 2'的三价铁再生柱，将亚铁转化，
然后回收金属。第一阶段的柱子在 50℃、pH 1.8 下工作，且溶液流速为
0.085m³/小时/m²(11.0ml/分钟)。第二阶段的再生柱在 45℃、pH 1.8 下工作，
20 且溶液流速取决于三价铁的再生速度。柱子运行 72 天。试验柱及三价铁再
生试验的结果分别示于表 9 和表 10 中。最终的金属萃取率为 Ni71.8%，

Co66.8%，Cu59.6%，Fe23.9%和 S18.4%。

表 9

实验性的柱试验结果

酸浸出:	27.65L 的酸化 H ₂ O							
生物浸出:	27.65L 的酸化 H ₂ O							
进料:	60.679Kg(-4 目, 3.28% H ₂ O, 58.689kg 干重)							
流速:	11ml/分钟(滞留量= 2.65L)							
工作 pH:	1.80							
温度:	50℃							
日期	天	ORP	累积酸	Fe	Ni	Co	Cu	S
		mV	(ml)	(%)	(%)	(ppm)	(%)	(%)
原矿品位:				13.6	0.72	272	1.03	4.6
				溶液分析萃取率				
酸浸出				Fe	Ni	Co	Cu	S
12/18/99	1	281	70	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
12/29/99	13		496	3.4	7.6	6.1	0.3	
01/04/00	19	364	1236	6.8	15.7	13.0	5.7	
01/06/00	21	361	1356	8.0	17.8	16.5	8.4	
01/10/00	25	369	1773	9.6	21.5	20.3	13.1	
01/13/00	28	362	2073	14.8	24.3	23.7	17.0	
01/17/00	29	366	2484	14.2	27.4	27.7	22.3	
01/18/00	30							
生物浸出								
01/20/00	2	367	2514	15.0	29.3	29.5	24.1	
01/22/00	4	柱溢流转换成向上流的方式						
01/26/00	8	356	2614	16.7	34.6	32.9	30.8	
01/31/00	13	383	2714	16.6	40.3	38.9	37.0	
02/03/00	16	383	2755	15.3	39.6	39.0	36.5	
02/08/00	21	400	2787	15.8	49.8	47.5	44.4	
02/11/00	24	405	2797	15.4	52.8	53.4	46.8	
02/14/00	27	400	2807	14.9	55.8	55.5	48.4	
02/21/00	33	409	2832	14.0	59.7	56.0	50.1	
02/24/00	36	411	2857	14.0	61.1	58.8	51.7	
02/28/00	40	410	2877	13.6	67.4	58.1	53.8	
03/02/00	43	415	2912	12.9	65.6	62.3	54.9	
03/07/00	48	415	2983	13.4	69.6	60.2	54.7	
03/09/00	50	413	3008	13.6	68.9	63.6	54.2	
03/13/00	54	418	3061	13.9	69.5	63.8	55.0	
03/16/00	57	422	3101	13.8	70.9	67.4	55.1	
03/27/00	68	447	3216	13.7	73.6	65.9	55.7	
03/31/00	72		3216					
残余物	72			23.9	71.8	66.8	59.9	18.4

表 10

三价铁再生试验的结果

培养物:	对于初次接种, 使用 Inco, 40R1 和 TC4 培养物的混合物										
进料:	3000g 陶瓷, 1.5L 40R1+1.5L Pot 10k 营养物, 600ml 滞留量, 使用 $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (25g/l) 进行三价铁再生										
温度:	45℃		pH:	1.80							
日期	天	ORP1	Fe^{2+}	ORP2	酸	日期	天	ORP1	Fe^{2+}	ORP2	酸
		mV	(g)	mV	(ml)			mV	(g)	mV	(ml)
12/22/99	0	453			0.0	02/05/00	45	698			31.0
12/23/99	1	456			0.0	02/06/00	46	570			31.0
12/24/99	2	471			0.0	02/07/00	47	697	1L TC10	427	31.0
12/25/99	3	505			0.0	02/08/00	48	458			31.0
12/26/99	4	661	20	529	0.0	02/09/00	49	598			31.0
12/27/99	5	610	20	508	0.0	02/10/00	50	659	1L TC10	427	31.0
12/28/99	6	676	20	500	0.0	02/11/00	13 英寸柱		2L Ok		31.0
12/29/99	7	680	20		0.0	02/12/00	51	683			31.0
12/30/99	8	656	20	493	0.0	02/13/00	52	632			31.0
12/31/99	9	676	20	504	0.0	02/14/00	53	685	1L TC10	410	31.0
01/01/00	10	674	20	494	0.0	02/15/00	54	462			31.0
01/02/00	11	676	20	502	0.0	02/16/00	55	398	6L 9K		35.0
01/03/00	12	681	20	498	0.0	02/17/00	56	476			35.0
01/04/00	13	682	20	500	0.0	02/18/00	57	673	1L TC10	427	35.0
01/05/00	14	687	40	484	0.0	02/19/00	58	681	1L TC10		35.0
01/06/00	15	693	60	467	0.0	02/20/00	59	675			35.0
01/07/00	16	668	2L9K	427	0.0	02/21/00	60	667	1L TC10	435	35.0
01/08/00	17	692	20	495	0.0	02/22/00	61	680	2L TC10	421	35.0
01/09/00	18	700	40	477	0.0	02/23/00	62	637	3L TC10	385	35.0
01/10/00	19	702	160	438	0.0	02/24/00	63	526			35.0
01/11/00	20	485			0.0	02/25/00	64	656			35.0
01/12/00	21	654	160	421	1.0	02/26/00	65	693	2L Fe^{2+}	411	35.0
01/13/00	22	485			1.0	02/27/00	66	620	2L Fe^{2+}	408	35.0
01/14/00	23	669	160	430	1.0	02/28/00	67	430			37.0
01/15/00	24	480			1.0	02/29/00	68	600	2L Fe^{2+}	397	41.0
01/16/00	25	494			1.0	03/01/00	69	491			41.0
01/17/00	26	621	160	460	1.0	03/02/00	70	641	2L Fe^{2+}	389	46.0
01/18/00	27	447			1.0	03/03/00	71	470			54.0
01/19/00	28	476			1.0	03/04/00	72	536			54.0
01/20/00	29	535			1.0	03/05/00	73	656			54.0
01/21/00	30	694	1L TC10		1.0	03/06/00	74	651	2L Fe^{2+}	441	61.0
01/22/00	31	525			1.0	03/07/00	75	444			61.0
01/23/00	32	502			1.0	03/08/00	76	660	2L Fe^{2+}	421	61.0
01/24/00	33	649	1L TC10	432	1.0	03/09/00	77	651	2L Fe^{2+}	406	66.0
01/25/00	34	457			1.0	03/10/00	78	634	2L Fe^{2+}	393	69.0
01/26/00	35	503			1.0	03/11/00	79				69.0
01/27/00	36	669	1L TC10	427	31.0	03/12/00	80	710	2L Fe^{2+}	390	69.0
01/28/00	37	459			31.0	03/13/00	81	439			69.0
01/29/00	38	518			31.0	03/14/00	82	641	2L Fe^{2+}	414	69.0
01/30/00	39	682			31.0	03/15/00	83	500			69.0
01/31/00	40	431	1L TC10	427	31.0	03/16/00	84	674	2L Fe^{2+}	416	79.0
02/01/00	41	448			31.0	03/17/00	85	616	2L Fe^{2+}	384	89.0
02/02/00	42	481			31.0	03/18/00	86	620	2L Fe^{2+}	405	89.0
02/03/00	43	678	1L TC10	426	31.0	03/19/00	87	515			89.0
02/04/00	44	458			31.0	03/20/00	88	662	2L Fe^{2+}	400	104.0

实施例 III

在根据本发明第一实施方案和图 1 构建的实验装置上进行进一步的试验，包括 5000 吨由前述 Radio Hill 浸染矿石组成的矿石堆。图 4 示出了经过一段时间之后液体贮存池中的三价铁、亚铁和总铁量。添加了两条表示趋势的曲线，其一示出了液体贮存池中存在的亚铁 A 的六天滚动平均值，另一条示出了液体贮存池中存在的三价铁 B 的六天滚动平均值。

通过检查，亚铁 A 的滚动平均曲线示出了三个截然不同的发生亚铁转化的时期：

- 第 1 阶段 — 6/6/00 → 14/6/00
- 第 2 阶段 — 18/7/00 → 28/7/00
- 第 3 阶段 — 18/7/00 → 15/8/00

第 1 阶段在 100L/m²/小时的冲洗速度下运行，第 2 和 3 阶段的冲洗速度为 10~50L/m²/小时。在第 3 阶段期间，发现了系统的一些中断，并预期这些中断在进行的基础上操作三价铁发生器时必须考虑到。这三个时期可用于评价堆浸出方法的运行。

由图 4 的趋势曲线外推了贮存池中存在的三价铁和亚铁的量，以提供给定日期的每种铁的数值，见下面的表 11。重要的是应该强调，这些数值不说明矿石或废弃矿石堆中含有的铁量。假设废弃矿石堆中的液体完全是三价铁，在速度计算时无须考虑矿石堆。

表 11

由滚动平均曲线外推的在给定日期贮存池中存在的亚铁和三价铁的含量

日期	三价铁的吨数	亚铁的吨数
6/6/00	1.406	0.918
14/6/00	4.041	0.252
18/7/00	0.526	1.414
28/7/00	2.595	0.701
15/8/00	4.811	0.104

通过检查每一时期的速度曲线发现，亚铁的转化速度在第 1 阶段期间较高，在第 2 阶段期间略低，在第 3 阶段期间最慢。由于溶液中的总铁含量在第 1 阶段期间最高，这表明溶液中的高总铁含量不妨碍亚铁的转化速

度。

通过检查第 1 阶段和第 2 阶段及第 1 阶段和第 3 阶段的铁转化速度发现，存在略微的变化，这看起来取决于进料溶液的冲洗速度。

下面的表 12 说明了每一时期不同流速下经过三个时期的转化速度。所列的流速是经过每一时期的平均流速。

表 12

不同流速下的三价铁的转化速度

日期	三价铁的吨数	流速 L/m ² /小时	经过的时间 (天)	矿石堆的吨数	三价铁的转化 kg/小时	转化速度 g/小时/吨废弃岩石
8/06/00	1.406	100	8	3740	13.72	3.57
14/06/00	4.041	100		3740		
差值	2.635					
18/07/00	0.526	65	10	3740	8.62	2.30
28/07/00	2.595	65		3740		
差值	2.069					
18/07/00	0.526	50	28	3740	6.38	1.70
15/08/00	4.811	50		3740		
差值	4.285					

重要的是应当注意到，没有考虑在三价铁产生堆中沉淀的铁，因此很可能实际上的亚铁转化速度显著地高于表 12 中所列出的。该结果暗示，矿石堆的最大容量位于 100L/m²/小时以上或 65~100L/m²/小时的流速。该结果表明，对于给定的矿石堆，亚铁的转化速度取决于矿石堆的冲洗速度。溶液中铁的总含量看起来对铁转化速度没有有害的影响。

图 5 描述了从实施例 III 的矿石堆中镍的回收率。

对本领域的技术人员来说是显而易见的修改和变换被认为是在本发明的范围之内。

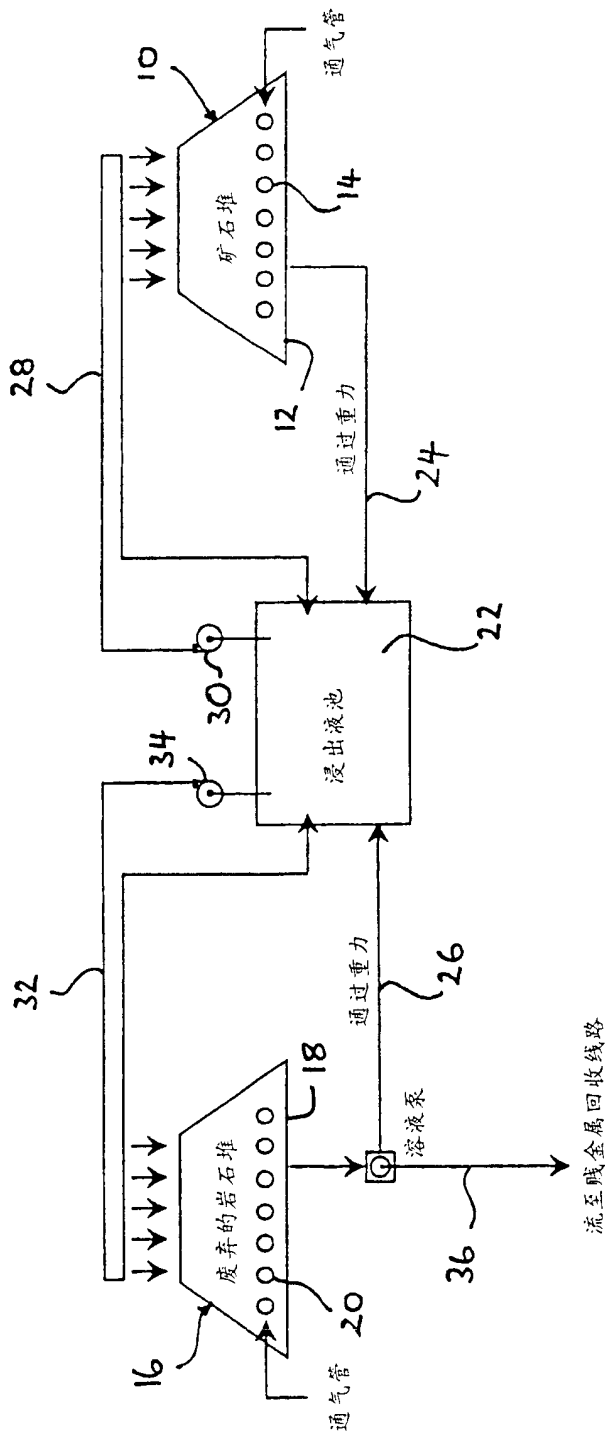


图 1

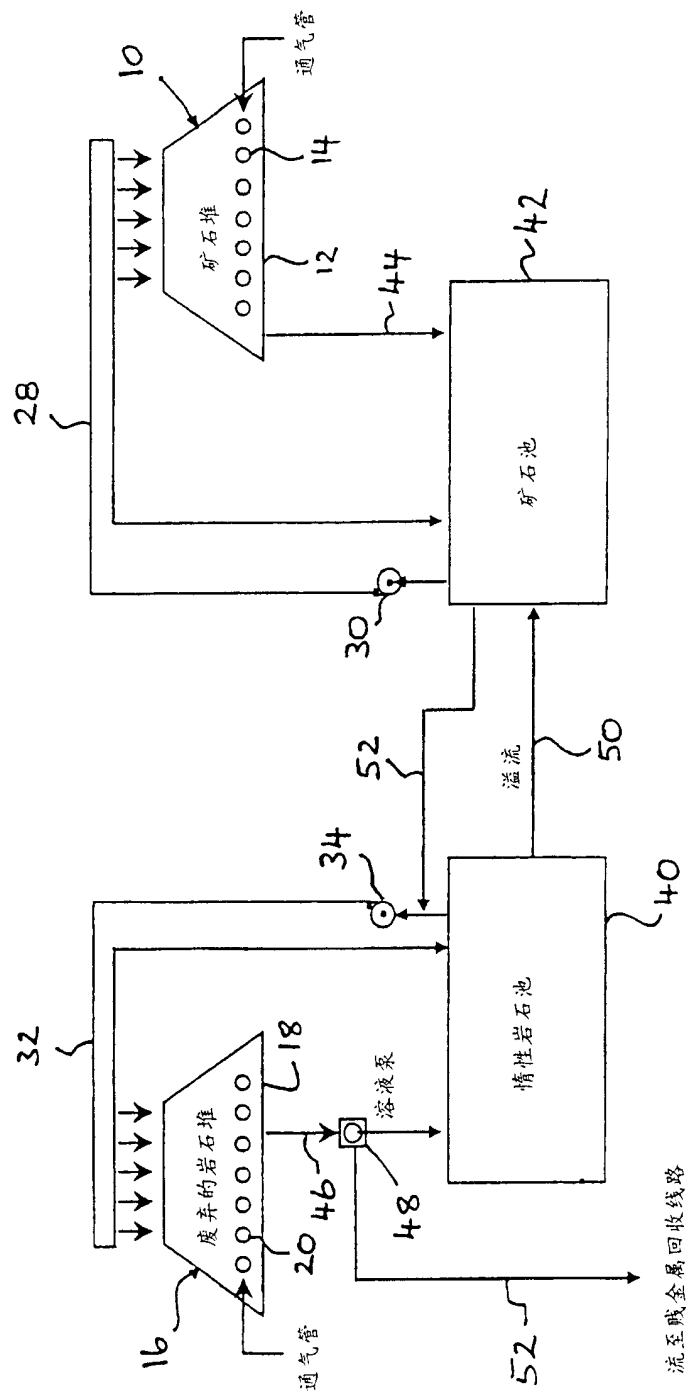


图 2

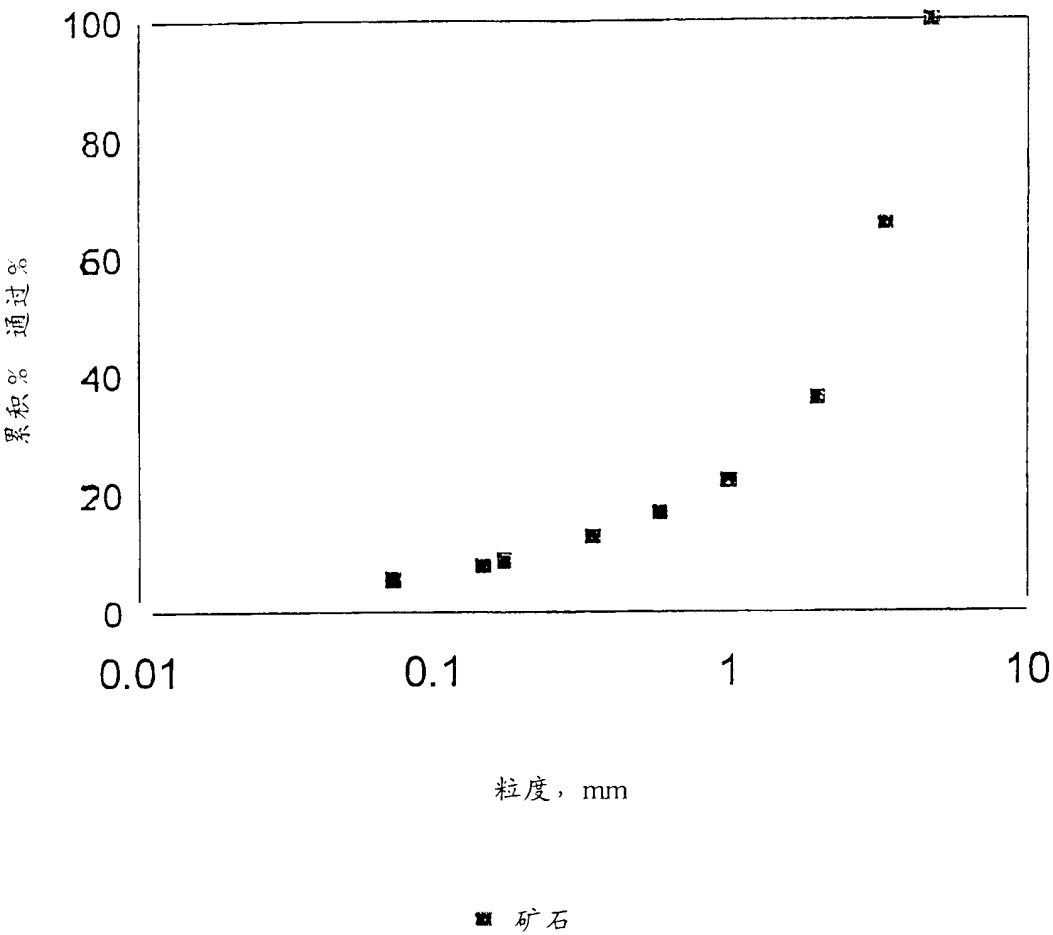


图 3

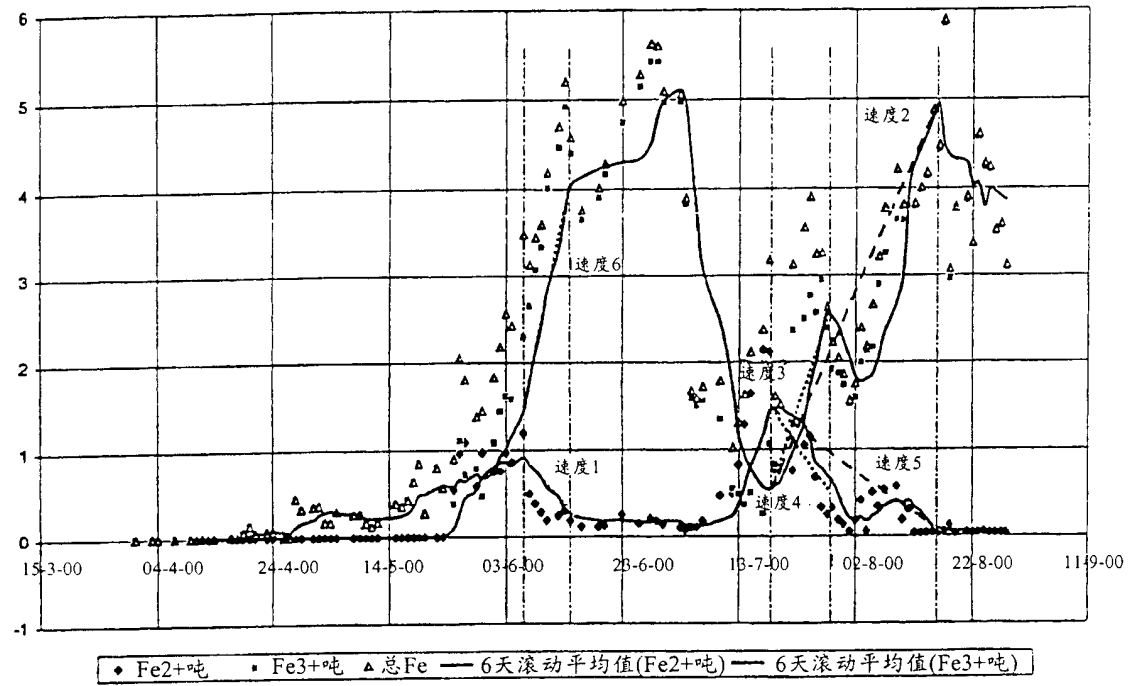


图 4

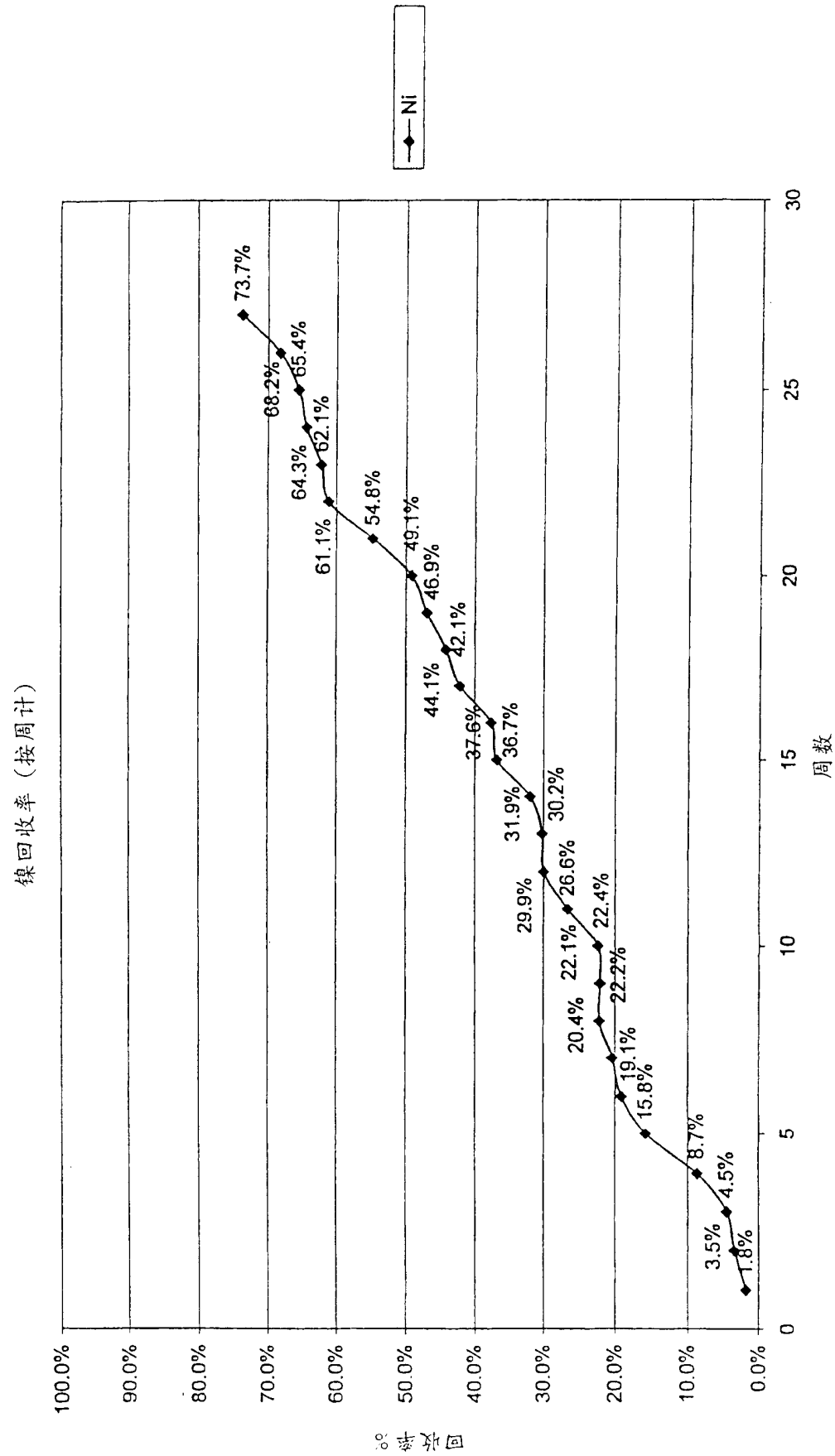


图 5