



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113151700 A

(43) 申请公布日 2021.07.23

(21) 申请号 202110487623.6

(22) 申请日 2021.04.30

(71) 申请人 中广核铀业发展有限公司

地址 100020 北京市朝阳区芍药居北里101号世奥国际中心A座32层

(72) 发明人 张剑勇 刘洋 赵良仁 孙元芳 唐文生 韩雪涛 杨加可 徐喆 姜峰 张子敏 刘青

(74) 专利代理机构 深圳市洪荒之力专利代理有限公司 44541

代理人 庄露露

(51) Int. Cl.

G22B 60/02 (2006.01)

G22B 3/08 (2006.01)

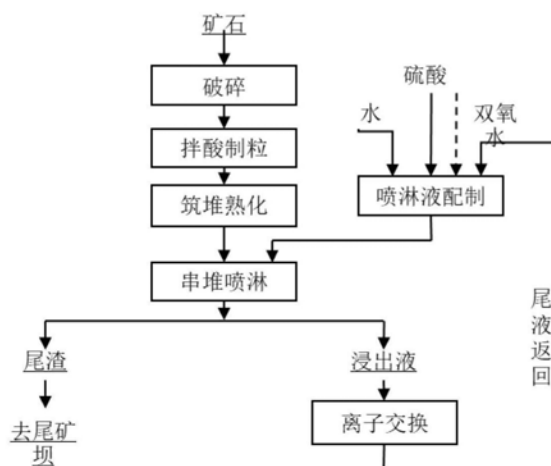
权利要求书1页 说明书11页 附图5页

(54) 发明名称

一种铀矿石高堆堆浸方法

(57) 摘要

本发明适用铀矿冶技术领域,提供铀矿石高堆堆浸方法,包括:将铀矿石进行高压辊磨处理至粒度不大于8mm;在铀矿碎石中加入浓硫酸及含胶结剂的水溶液,经混合后筑堆,用喷淋液对熟化处理后的胶结矿粒筑堆进行串堆喷淋浸出,喷淋液为硫酸溶液中加入硫酸亚铁配置而成,将浸出液经离子交换处理所得余液返回至喷淋液中,喷淋强度为10~20 l/h/m<sup>2</sup>,当检测到浸出液的铀浓度低于50mg/L时,向喷淋液中加入氧化剂。本发明利用胶结制粒手段结合拌酸熟化和高酸喷淋提高浸出率,克服堆高造成渗透性差以及矿石本身矿性、渗透性差等不利因素,成功实现湖山铀矿在堆高9m的条件下,铀的浸出率达到80%以上,明显优于现有堆浸技术。



1. 一种铀矿石高堆堆浸方法,其特征在于,包括:  
将铀矿石进行高压辊磨处理,得到粒度不大于8mm的铀矿碎石;  
在所述铀矿碎石中加入浓硫酸以及含胶结剂的水溶液,经混合均匀后进行筑堆处理,得到筑堆高度为4~12m的胶结矿粒筑堆;  
用喷淋液对熟化处理后的胶结矿粒筑堆进行串堆喷淋浸出,所述喷淋液为在硫酸溶液中加入硫酸亚铁配置而成,并将所得浸出液经离子交换处理后得到的余液返回至所述喷淋液中,喷淋强度为10~20 l/h/m<sup>2</sup>,当检测到浸出液的铀浓度低于50mg/L时,向所述喷淋液中加入氧化剂。
2. 根据权利要求1所述的铀矿石高堆堆浸方法,其特征在于,所述铀矿碎石、浓硫酸、胶结剂的质量比为1000:(15~34):(0.075~0.15)。
3. 根据权利要求1所述的铀矿石高堆堆浸方法,其特征在于,所述筑堆高度为9m。
4. 根据权利要求1所述的铀矿石高堆堆浸方法,其特征在于,所述氧化剂为双氧水、高氯酸钠中的一种。
5. 根据权利要求1或4所述的铀矿石高堆堆浸方法,其特征在于,所述氧化剂为双氧水;所述双氧水的浓度为1~3g/L,添加量为0.5~3kg/t铀矿石。
6. 根据权利要求1所述的铀矿石高堆堆浸方法,其特征在于,所述胶结剂为聚丙烯酰胺。
7. 根据权利要求1所述的铀矿石高堆堆浸方法,其特征在于,所述浓硫酸的质量分数不小于90%。
8. 根据权利要求1所述的铀矿石高堆堆浸方法,其特征在于,所述喷淋液中硫酸溶液的浓度为15~100g/L,铁离子的浓度不小于3g/L。
9. 根据权利要求1所述的铀矿石高堆堆浸方法,其特征在于,所述熟化处理的时间为1~8天。
10. 根据权利要求1所述的铀矿石高堆堆浸方法,其特征在于,所述串堆喷淋浸出的时间为30~50天。

## 一种铀矿石高堆堆浸方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于铀矿冶技术领域,尤其涉及一种铀矿石高堆堆浸方法。

### 背景技术

[0002] 铀矿水冶技术主要有常规搅拌浸出、地下浸出和堆置浸出(简称“堆浸”)。相比于常规搅拌浸出,堆浸虽然存在资源回收率较低和适应性差的不足,但是也具有基建投资少,生产成本低和能耗低等优点。我国铀矿资源矿床存在规模小、矿体分散、品位低等特点,非常适合堆浸技术的发展,因此大部分铀矿企业采用了堆浸水冶工艺回收低品位铀矿石,这也进一步促进了我国堆浸技术的成熟发展。根据铀矿床条件和矿石性质不同,自上世纪80年代开始,我国开始研究堆浸铀矿水冶技术。经过近四十年年的发展,目前我国已有多种堆浸技术实现了工业化应用。其中包括细粒级堆浸技术、浓酸熟化-高铁淋滤堆浸技术、细菌氧化浸出堆浸技术和渗滤堆浸技术等,且资源回收率仅比常规搅拌浸出的回收率低2%-6%,实现了铀资源的最大化利用。

[0003] 湖山铀矿是世界上已发现的少有的大型铀矿之一,总资源量近30万吨,其中低品位铀矿石约占1/3,为世界第二大铀矿。为实现资源最大化利用,对湖山铀矿的低品位矿石,前期做过堆浸实用性探索试验,结果表明铀的浸出率仅为65%左右,远低于常规搅拌浸出技术90%左右的浸出率。同时由于湖山铀矿堆浸规模大,堆体较高产生了浸出期间矿石离析、沟流和表面结构等问题,这将进一步降低堆浸效率。

[0004] 由此可见,现有的堆浸技术存在铀的浸出率低以及堆浸效率低,不能充分回收湖山铀矿的铀资源的问题。

### 发明内容

[0005] 本发明实施例的目的在于提供一种铀矿石高堆堆浸方法,旨在解决现有的堆浸技术存在铀的浸出率低以及堆浸效率低,不能充分回收湖山铀矿的铀资源的问题。

[0006] 本发明实施例是这样实现的,一种铀矿石高堆堆浸方法,包括:

[0007] 将铀矿石进行高压辊磨处理,得到粒度不大于8mm的铀矿碎石;

[0008] 在所述铀矿碎石中加入浓硫酸以及含胶结剂的水溶液,经混合均匀后进行筑堆处理,得到筑堆高度为4~12m的胶结矿粒筑堆;

[0009] 用喷淋液对熟化处理后的胶结矿粒筑堆进行串堆喷淋浸出,所述喷淋液为在硫酸溶液中加入硫酸亚铁配置而成,并将所得浸出液经离子交换处理后得到的余液返回至所述喷淋液中,喷淋强度为10~20l/h/m<sup>2</sup>,当检测到浸出液的铀浓度低于50mg/L时,向所述喷淋液中加入氧化剂。

[0010] 本发明实施例提供的铀矿石高堆堆浸方法,通过对铀矿石进行高压辊磨处理至一定粒度后,对其进行拌酸胶结制粒处理,可得筑堆高度为4~9m的胶结矿粒筑堆,经熟化处理后在一定喷淋强度下进行高酸串堆喷淋浸出;本发明利用胶结制粒手段克服了堆高造成渗透性差的问题,并且结合拌酸熟化和高酸喷淋提高浸出率,克服矿石本身矿性及渗透性

差等不利因素,抑制浸出液沉淀的产生,成功实现湖山铀矿在堆高9m的条件下,铀的浸出率达到80%以上,明显优于现有堆浸技术。

### 附图说明

[0011] 图1是本发明实施例提供的铀矿石高堆堆浸工艺流程图;

[0012] 图2是本发明实施例提供的不同喷淋强度影响试验中各柱随浸出时间的延长对应浸出液浓度变化曲线图;

[0013] 图3是本发明实施例提供的不同喷淋强度影响试验中各柱随浸出时间的延长对应铀的液计浸出率变化曲线图;

[0014] 图4是本发明实施例提供的不同堆高影响试验中各柱随浸出时间的延长对应浸出液浓度变化曲线图;

[0015] 图5是本发明实施例提供的不同堆高影响试验中各柱随浸出时间的延长对应铀的液计浸出率变化曲线图;

[0016] 图6是本发明实施例提供的不同拌酸制粒条件影响试验中各柱随浸出时间的延长对应浸出液浓度变化曲线图;

[0017] 图7是本发明实施例提供的不同拌酸制粒条件影响试验中各柱随浸出时间的延长对应铀的液计浸出率变化曲线图;

[0018] 图8是本发明实施例提供的不同初始喷淋酸度影响试验中各柱随浸出时间的延长对应浸出液浓度变化曲线图;

[0019] 图9是本发明实施例提供的不同初始喷淋酸度影响试验中各柱随浸出时间的延长对应铀的液计浸出率变化曲线图。

### 具体实施方式

[0020] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0021] 湖山铀矿的矿石主要为白岗岩型铀矿石,铀矿物嵌布粒度细小,需要破碎至较小粒度进行堆浸,并不利于采用高堆堆浸。由于铀矿浸出的特殊性,堆浸高度过高将导致浸出液酸度降低而产生堆内沉淀并造成堵塞。但是鉴于湖山铀矿的规模,其堆浸台架试验的设计高度已经达到6m以上,采用更高的堆高进行堆浸势在必行,而且在世界铀矿水冶史上没有先例,如何解决堆高的影响是堆浸技术在湖山铀矿成功应用的关键。

[0022] 本发明实施例为解决现有的堆浸技术存在铀的浸出率低以及堆浸效率低,不能充分回收湖山铀矿的铀资源的问题,提供了一种铀矿石高堆堆浸方法,其通过对铀矿石进行高压辊磨处理至一定粒度后,对其进行拌酸胶结制粒处理,可得筑堆高度为4~9m的胶结矿粒筑堆,经熟化处理在一定喷淋强度下进行高酸串堆喷淋浸出;即利用胶结制粒手段克服堆高造成渗透性差的问题,并且结合拌酸熟化和高酸喷淋提高浸出率,克服矿石本身矿性及渗透性差等不利因素,抑制浸出液沉淀的产生,成功实现湖山铀矿在堆高9m的条件下,铀的浸出率达到80%以上,明显优于现有堆浸技术。

[0023] 如图1所示,本发明实施例提供的一种铀矿石高堆堆浸方法,包括以下步骤:

[0024] 步骤S1:将铀矿石进行高压辊磨处理,得到粒度不大于8mm的铀矿碎石。

[0025] 在本发明实施例中,经前期试验过程中分别针对高压辊磨处理工艺、普通磨矿工艺以及铀矿碎石粒度进行的研究,发现在同一铀矿碎石粒度条件下,经高压辊磨处理得到的铀矿碎石对应的铀的浸出率高于经普通磨矿处理得到的铀矿碎石,且当铀矿碎石的粒度大于8mm时对应所得铀的浸出率明显下降,而随着铀矿碎石的粒度变小,所得铀的浸出率越高。

[0026] 步骤S2:在所述铀矿碎石中加入浓硫酸以及含胶结剂的水溶液,经混合均匀后进行筑堆处理,得到筑堆高度为4~12m的胶结矿粒筑堆。

[0027] 在本发明实施例中,通过在铀矿碎石中加入浓硫酸以及含胶结剂的水溶液以进行拌酸胶结制粒,要求制粒成型后水的质量百分比占10%左右即可,本发明实施例所用水为蒸馏水。

[0028] 在本发明实施例中,所述铀矿碎石、浓硫酸、胶结剂的质量比为1000:(15~34):(0.075~0.15)。本发明通过拌酸熟化技术采用浓酸拌混熟化后稀酸浸出,但拌酸量过高将造成酸的反应不完全;过低又造成浸出液pH值太高而产生沉淀。采用适量拌酸与高酸喷淋,分解硫酸在拌酸和喷淋过程中的酸用量,同时配以制粒以增加矿堆渗透性能,达到提高浸出效果的目的。

[0029] 在本发明实施例中,所述胶结剂为聚丙烯酰胺,应该注意的是,其他与聚丙烯酰胺性质相当的胶结剂均可使用。

[0030] 在本发明实施例中,所述浓硫酸的质量分数只要满足不小于90%即可。

[0031] 在本发明实施例中,筑堆高度优选为9m。铀矿堆浸由于粒级较小,喷淋强度太大容易造成积液。为了确保流经矿堆的溶液保持一定的余酸,堆浸高度往往受到一定限制,这对于大型堆浸来说,将大大增加堆场面积,大幅度增加项目投资。从目前世界上堆浸生产来看,精细化堆浸中,高度通常控制在6m以下。国内铀矿堆浸生产企业,堆高控制在4~5m。而本发明经研究确定最佳堆高为9m,实现大规模堆浸高堆技术在铀矿行业的首次应用,创新性地实现铀矿精细化堆浸的堆高突破。

[0032] 在本发明实施例中,熟化处理过程为酸对矿石一个自然渗透的过程,而熟化处理的时间一般是按照约定俗成,可参考现有技术,如熟化处理的时间可为1-8天。

[0033] 步骤S3:用喷淋液对熟化处理后的胶结矿粒筑堆进行串堆喷淋浸出,所述喷淋液为在硫酸溶液中加入硫酸亚铁配置而成,并将所得浸出液经离子交换处理后得到的余液返回至所述喷淋液中,喷淋强度为10~20L/h/m<sup>2</sup>,当检测到浸出液的铀浓度低于50mg/L时,向所述喷淋液中加入氧化剂。

[0034] 在本发明实施例中,所述氧化剂为双氧水、高氯酸钠中的一种。本发明经前期试验发现,不同的氧化剂种类选择对铀的浸出率的影响较少,且浸出效果均较为理想,经过比较,考虑经济性和氯离子对堆浸后端工序的影响,应优选为H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>。其中,H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的浓度为1~3g/L,添加量为0.5~3kg/t铀矿石。另外,需要注意的是,氧化剂不能加入过早,否则矿石中还原性物质(如硫化物等)会大量消耗氧化剂,经试验发现当检测到浸出液的铀浓度低于50mg/L时,再向所述喷淋液中加入氧化剂,可在保证铀的浸出率的同时,大大减少氧化剂量的消耗。

[0035] 在本发明实施例中,所述硫酸溶液的浓度为15~100g/L,作为初始喷淋酸度。经前

期试验发现,随着初始喷淋酸度的下降,对应铀的浸出率也有所下降。

[0036] 在本发明实施例中,经前期试验发现,喷淋强度在 $201\text{h}/\text{m}^2$ 以内时,随着喷淋强度的增大对应铀的浸出率增大,而当喷淋强度大于 $201\text{h}/\text{m}^2$ 时,将产生积液,需要停止喷淋。

[0037] 在本发明实施例中,喷淋时间主要取决于浸出率,一般喷淋时间越长,浸出率越高;但是喷淋周期过长不适合快速回收资源,因此一般是30~50天,优选40天,时间过长不经济。一般在检测到尾液的铀的浓度低于 $10\text{mg}/\text{L}$ 时,可以结束喷淋。

[0038] 在本发明实施例中,初始配置的喷淋液是通过在硫酸溶液中加入硫酸亚铁配置而成,保持铁离子浓度不小于 $3\text{g}/\text{L}$ ,在初次喷淋过程中,引入 $\text{Fe}^{2+}$ 起到催化剂作用, $\text{Fe}^{2+}$ 与氧化剂反应生成 $\text{Fe}^{3+}$ ,进而 $\text{Fe}^{3+}$ 与四价铀反应生成易溶解于溶液的六价铀和 $\text{Fe}^{2+}$ ,如此循环,可提高铀的浸出率;一般只有当喷淋液中的铁离子浓度低于 $3\text{g}/\text{L}$ 时,才会在喷淋液中加入硫酸亚铁;另外,由于铀矿石内含有铁离子,因此,通常仅初始喷淋液引入适量铁离子,经浸出液返回喷淋液后,后续喷淋液中的铁离子浓度一般能保持在不小于 $3\text{g}/\text{L}$ ,故无需再额外补充铁离子。

[0039] 在本发明实施例中,离子交换处理手段可参照现有技术进行实施。

[0040] 值得注意的是,本发明在拌酸熟化技术的基础上,结合湖山铀矿的特点,采用拌酸熟化、制粒、高酸喷淋等技术相结合,是拌酸熟化技术的一次延伸和提高,对推动低品位堆浸工业生产应用有着十分重要的意义。另外,堆浸高度的突破,将有利于大幅度减少堆场面积,这对于大型堆浸有着十分积极的作用。

[0041] 以下给出本发明某些实施方式的实施例,其目的不在于对本发明的范围进行限定。如无特殊说明,本发明实施例所采用的原料均来自商购或者采用常规的制备方法制备得到。

[0042] 实施例

[0043] 本实施例中,该铀矿石高堆堆浸方法,包括:

[0044] 对湖山铀矿的低品位矿石进行高压辊磨处理,破碎至粒度小于或等于 $8\text{mm}$ ;在所得铀矿碎石中加入质量分数为90%的浓硫酸以及含聚丙烯酰胺的水溶液,混合均匀后得到筑堆用的胶结矿粒,其中,铀矿碎石、浓硫酸、胶结剂的质量比为 $799\sim 837:20:0.125$ ,并控制制粒成型后水的质量百分比为 $8.75\%\sim 9.76\%$ ;将所述胶结矿粒进行筑堆处理,得到筑堆高度为 $9\text{m}$ 的6柱胶结矿粒筑堆(对应表1-2中1-1~1-6);用喷淋液对熟化处理1~8天后的各柱胶结矿粒筑堆进行串堆喷淋浸出,初始喷淋液为在硫酸溶液中加入硫酸亚铁配置而成,其中,硫酸溶液的浓度保持为 $100\text{g}/\text{L}$ ,铁离子的浓度保持为 $3\text{g}/\text{L}$ ,并将所得浸出液经离子交换处理后得到的余液返回至所述喷淋液中,喷淋强度为 $201\text{h}/\text{m}^2$ ,当检测到浸出液的铀浓度低于 $50\text{mg}/\text{L}$ 时,向所述喷淋液中加入浓度为 $3\text{g}/\text{L}$ 的双氧水,各柱添加量为 $0.87\sim 2.76\text{kg}/\text{t}$ 铀矿石,各柱串堆喷淋浸出的时间为 $22\sim 46$ 天。

[0045] 对各柱胶结矿粒筑堆的拌酸制粒条件以及试验结果记录如表1-2所示:

[0046] 表1拌酸制粒条件

[0047]

柱号	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6
矿石干重(kg)	837	836	824	799	826	825
拌酸后湿重(kg)	927	926	903	881	913	812
水分(%)	9.76	8.81	8.75	9.27	9.60	9.48

拌酸量 (kg/t)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
胶结剂量 (g/t)	125	125	125	125	125	125
原矿品位 (ppm)	220	186	227	220	223	215
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> (g)	184.125	155.406	186.986	175.761	174.151	177.448
矿堆高度 (m)	9	9	9	9	9	9
堆比重 (t/m <sup>3</sup> )	1.52	1.51	1.49	1.45	1.50	1.50
熟化时间 (d)	3	6	8	6	2	1

[0048] 表2

柱号	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	
喷淋强度 (l/h/m <sup>2</sup> )	20	20	20	20	20	20	
初始喷淋酸度 (g/L)	100	100	100	100	100	100	
总液固比 (L/S)	0.99	1.48	1.44	1.08	0.73	0.65	
浸出时间 (d)	28	46	42	30	24	22	
[0049] 硫酸 (kg/t)	总加入量	61.36	92.58	68.76	47.05	37.00	32.89
	补加	57.98	85.2	51.96	37.05	30.99	29.62
	消耗	47.45	81.47	45.01	28.62	21.27	24.3
双氧水加入量 (kg/t)	1.66	2.76	2.22	1.66	0.87	1.13	
Fe <sup>2+</sup> 加入量 (kg/t)	1.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
尾渣品位 (ppm)	34.11	38.22	31.78	40.67	34.67	44.22	

[0050]

渣汁浸出率 (%)	84.50	79.45	86.00	81.51	84.45	79.43
矿堆沉积率 (%)	2.2	1.1	1.7	2.1	0.9	1.1

[0051] 综上,从表1可知,本发明实施例提供的铀矿石高堆堆浸方法,利用胶结制粒手段克服了堆高造成渗透性差的问题,并且结合拌酸熟化和高酸喷淋提高浸出率,克服矿石本身矿性及渗透性差等不利因素,抑制浸出液沉淀的产生,经串柱循环试验确定本发明可实现湖山铀矿在堆高9m的条件下,铀的浸出率达到80%以上,明显优于现有堆浸技术。

[0052] 以下为本发明在前期小批量试验过程中针对湖山铀矿矿石特性,对堆浸工艺条件进行强化和优化,以确定处理湖山低品位矿石的高堆浸出工艺和工艺参数进行的相关研究,具体地,本发明采用室内柱浸试验分别进行了氧化剂选择试验以及高压辊磨与普通磨矿对比试验,采用串柱试验分别进行了不同喷淋强度影响试验、不同堆高影响试验、不同拌酸制粒条件影响试验以及不同初始喷淋酸度影响试验。

#### [0053] (1) 氧化剂选择试验

[0054] 称取一定量的湖山低品位矿石,将其研磨到355 $\mu$ m,然后加入到烧杯中,控制固液比为1:1。往烧杯中添加硫酸保持pH在1.5左右,添加硫酸亚铁保持铁离子浓度为3g/L,然后再分别添加一定量的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、MnO<sub>2</sub>和NaClO<sub>3</sub>,保持氧化还原电位在500mV左右,常温下浸出24h后考察铀的浸出率。具体试验条件以及试验结果如表3所示。

[0055] 表3

试验条件											
[0056]	样品	固体含量%	样品重量g	水g	磨矿粒度P80, $\mu\text{m}$	温度 $^{\circ}\text{C}$	反应时间h	pH	ORP mV	$\text{Fe}^{2+}$ 添加量, g/L	
	主组	55	2600	2127	355	25	24	1.5	480	3	
合样											
试验结果											
	1号带					2号带					
[0057]	氧化剂	硫酸消耗量 (kg/t)	氧化剂消耗量 (kg/t)	浸出渣平均品位 (ppm)	原矿平均品位 (ppm)	浸出率 (%)	硫酸消耗量 (kg/t)	氧化剂消耗量 (kg/t)	浸出渣平均品位 (ppm)	原矿平均品位 (ppm)	浸出率 (%)
	$\text{MnO}_2$	33.1	15.3	48	248	81.0	28.9	13.1	32	229	86.4
	$\text{H}_2\text{O}_2$	-	2.7	45	248	82.8	18.1	2.8	35	229	85.1
	$\text{NaClO}_3$	23.1	2.9	48	248	81.1	18.1	3.6	33	229	85.9
备注: 1号带样品与2号带样品分别对应湖山铀矿不同矿坑采集的样品											

[0058] 综上,从上表3可知,不同的氧化剂选择对于浸出率的影响较少,1号带样品平均浸出率达到81%以上,2号带样品平均浸出率达到85%以上,浸出渣品位均低于50ppm,浸出效果较理想。经过比较,并考虑经济性和氯离子对堆浸后端工序的影响,选择 $\text{H}_2\text{O}_2$ 和 $\text{MnO}_2$ 作为备选氧化剂进行下阶段实验。然而, $\text{MnO}_2$ 只是在搅拌浸出的时候做了对比试验,后期发现其并不适合用于堆浸。

[0059] 需要注意的是,本次试验中,氧化剂加入量较多,特别是软锰矿,与湖山项目可研阶段的试验对比显著增加。通过对实验步骤的分析,认为氧化剂不能加入过早,否则矿石中还原性物质(如硫化物等)会大量消耗氧化剂。经过分析,将在后面的试验中加入硫酸后,2小时后再添加氧化剂,以便优化氧化剂的添加量。

[0060] (2) 高压辊磨与普通磨矿对比试验

[0061] 称取一定量的湖山低品位矿石,分别将其研磨到不同粒度,然后加入到烧杯中,控制固液比为1:1。往烧杯中添加硫酸保持pH在1.5左右,添加硫酸亚铁保持铁离子浓度为3g/L,然后再添加 $\text{H}_2\text{O}_2$ 保持氧化还原电位为500mV左右。常温下浸出7天后考察铀的浸出率。具体试验条件以及试验结果如表4-6所示。

[0062] 表4



试验条件										
	1号带主组合样					2号带主组合样				
[0063] 粒度 P100 mm	15	12	8	8 (HP GR)	4 (HP GR)	15	12	8	8 (HP GR)	4 (HP GR)
样品重量	4903g	4881g	4830g	5134g	5203g	4960g	4987g	4951g	5039g	5103g
水	4012g	3994g	3952g	4200g	4257g	4058g	4080g	4051g	4123g	4175g

[0064] 表5

[0065] 其他条件	固体含量%	温度, °C	浸出周期 d	pH	氧化剂 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> 添加量 g/L	氧化还原位
	55%	常温	7	1.66	50%	3	490

[0066] 表6

1号带主组合样摇瓶试验结果				
P100 (mm)	P80 (mm)	硫酸酸耗 (kg/t)	氧化剂添加量 (kg/t)	液计浸出率 (%)
15	12.52	13.1	3.1	55.2
12	9.96	13.2	3.3	62.9
8	5.15	15.5	3.4	73.3
8 (HPGR)	4.51	20.4	3.3	75.9
4 (HPGR)	2.44	19.6	3.9	81.4
2号带主组合样摇瓶试验结果				
P100 (mm)	P80 (mm)	硫酸酸耗 (kg/t)	氧化剂添加量 (kg/t)	液计浸出率 (%)
15	13.09	11.1	2.9	62.0
12	9.46	11.4	3.2	65.0
8	6.03	13.0	3.2	72.8
8 (HPGR)	4.04	15.3	3.6	83.1
4 (HPGR)	2.39	14.6	4.1	87.7

[0069] 综上,从表4-6可知,在同一铀矿碎石粒度条件下,经高压辊磨处理得到的铀矿碎石对应的铀的浸出率高于经普通磨矿处理得到的铀矿碎石,且当铀矿碎石的粒度大于8mm

时对应所得铀的浸出率明显下降,而随着铀矿碎石的粒度变小,所得铀的浸出率越高。

[0070] (3) 不同喷淋强度影响试验

[0071] 对湖山铀矿的低品位矿石进行高压辊磨处理至粒度8mm;在所得1t铀矿碎石中加入20kg质量分数为90%的浓硫酸以及含125g聚丙烯酰胺的水溶液,混合均匀后得到筑堆用的胶结矿粒,控制制粒成型后水的质量百分比为10%左右;将胶结矿粒筑堆9m后用硫酸溶液浸出,喷淋强度分别为10、17、20、40、60、80 $l/h/m^2$ 。添加硫酸亚铁保持铁离子浓度为3g/L,然后再添加 $H_2O_2$ 保持氧化还原电位为500mV左右。待浸出液铀浓度低于10mg/L时停止喷淋,测试各柱随浸出时间的延长对应浸出液浓度以及铀的浸出率,如图2-3所示。具体试验条件以及试验结果如表7所示。

[0072] 表7

[0073]	柱号	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6
	喷淋强度 ( $l/h/m^2$ )	10	20	40	60	80	17
	初始喷淋酸度 (g/L)	100	100	100	100	100	100
	总液固比 (L/S)	0.83	1.64	/	/	/	1.12
	浸出时间 (d)	49	49	2	1	0	37
	液计浸出率 (%)	78.16	84.78	积液, 停	积液, 停	积液, 停	78.72

[0074]	硫酸	加入	63.71	72.2	止喷淋	止喷淋	止喷淋	83.36
	(kg/t)	消耗	59.37	58.15				70.37
	双氧水加入量 (kg/t)	1.35	2.95	1.76				
	$Fe^{2+}$ 加入量 (kg/t)	1.35	2.95	1.76				
	尾渣品位 (ppm)	33.67	26.44	30.78				
	渣计浸出率 (%)	76.45	81.51	81.68				
	矿堆沉积率 (%)	0.4	0.8	0.2	0.0	0.2	0.6	

[0075] 综上,从表7可知,喷淋强度在20 $l/h/m^2$ 以内时,随着喷淋强度的增大对应铀的浸出率增大,而当喷淋强度大于20 $l/h/m^2$ 时,将产生积液,需要停止喷淋。另外,结合图2-3可知,喷淋强度为10-20 $l/h/m^2$ 时对应柱堆随着时间的延长对应浸出液浓度成规律性下降,而铀的浸出率在喷淋强度达到20 $l/h/m^2$ 时,可在更短的浸出时间内达到80%以上。

[0076] (4) 不同堆高影响试验

[0077] 对湖山铀矿的低品位矿石进行高压辊磨处理至粒度8mm;在所得1t铀矿碎石中加入20kg质量分数为90%的浓硫酸以及含75g聚丙烯酰胺的水溶液,混合均匀后得到筑堆用的胶结矿粒,控制制粒成型后水的质量百分比为10%左右;将胶结矿粒分别筑堆4m、5m、9m后用硫酸溶液浸出,喷淋强度为20 $l/h/m^2$ 。添加硫酸亚铁保持铁离子浓度为3g/L,然后再添加 $H_2O_2$ 保持氧化还原电位为500mV左右。待浸出液铀浓度低于10mg/L时停止喷淋,测试各柱随浸出时间的延长对应浸出液浓度以及铀的浸出率,如图4-5所示。具体试验条件以及试验结果如表8所示。

[0078] 表8

	柱号	3-1	3-2	3-3	
[0079]	堆高 (m)	8.97	4.13	5.35	
	初始喷淋酸度 (g/L)	100	100	100	
	总液固比 (L/S)	1.64	2.58	1.90	
	浸出时间 (d)	49	42	42	
	液计浸出率 (%)	84.78	84.55	78.49	
[0080]	硫酸 (kg/t)	加入	72.2	68.86	60.49
		消耗	58.15	61.49	55.14
	双氧水加入量 (kg/t)	2.95	5.42	4	
	Fe <sup>2+</sup> 加入量 (kg/t)	2.95	5.42	4	
	尾渣品位 (ppm)	26.44	24.25	27.17	
	渣计浸出率 (%)	81.51	83.72	81.77	
	矿堆沉积率 (%)	0.8	0.7	0.9	

[0081] 综上,从表8可知,筑堆高度在9m以内时,随着筑堆高度的增加对应铀的浸出率相当,均达到80%以上;尤其,从图4-5可知,筑堆高度在9m以内时对应柱堆随着时间的延长对应浸出液浓度成规律性下降,而铀的液计浸出率在筑堆高度达到4.13m时可在浸出时间为25天时达到80%以上,其次为在筑堆高度达到9m时可在浸出时间为34天时达到80%以上。

[0082] (5) 不同拌酸制粒条件影响试验

[0083] 对湖山铀矿的低品位矿石进行高压辊磨处理至粒度8mm;在所得1t铀矿碎石中分别加入一定量的质量分数为90%的浓硫酸以及含一定量的聚丙烯酰胺的水溶液,混合均匀后得到筑堆用的胶结矿粒,控制制粒成型后水的质量百分比为10%左右;将胶结矿粒筑堆9m后用硫酸溶液浸出,喷淋强度为20l/h/m<sup>2</sup>。添加硫酸亚铁保持铁离子浓度为3g/L,然后再添加H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>保持氧化还原电位为500mV左右。待浸出液铀浓度低于10mg/L时停止喷淋。

[0084] 具体地,本发明前期对拌酸制粒条件进行了初步试验,具体试验条件以及试验结果如表9所示。结果表明:采用30.7kg/t的拌酸量开展浸出试验发现,其在20天左右的时间里,浸出率仅有50%多。而且当喷淋强度增加时,浸出率有明显增加的趋势。于是进一步增加了不同拌酸量对浸出率影响的试验,试验结果表明,当拌酸量在13-28kg/t时,随着拌酸量的降低,浸出率有增加趋势,但是当拌酸量低于16kg/t后,浸出率又逐渐降低。因此,结合以上试验结果,以及矿石平均酸耗25.8kg/t的实际情况,选取了15kg/t和20kg/t作为最优拌酸量开展了进一步试验,具体试验条件以及试验结果如表10所示;并对各柱随浸出时间的延长对应浸出液浓度以及铀的浸出率进行测试,结果如图6-7所示。

[0085] 表9

柱号	拌酸量	胶结剂用量	喷淋强度	浸出时间	浸出率
	kg/t	g/t	l/h/m <sup>2</sup>	d	%
[0086] 1	30.7	127	8	21	51.35
2	30.7	129	12	16	54.03
3	27.59	100	11	109	82.41
4	24	100	11	131	84.73
5	16.55	100	11	110	85.09
6	13.8	100	16	123	82.21
7	13.8	75	16	108	82.38

[0087] 表10

[0088] 柱号	4-1		4-2	
拌酸量 (kg/t)	15		20	
胶结剂拌入量 (g/t)	75		125	
初始喷淋酸度 (g/L)	100		100	
总液固比 (L/S)	1.64		1.13	
浸出时间 (d)	49		34	
液计浸出率 (%)	84.78		71.97	
硫酸 (kg/t)	加入	72.2	61.34	
	消耗	58.15	56.33	
双氧水加入量 (kg/t)	2.95		1.64	
[0089] Fe <sup>2+</sup> 加入量 (kg/t)	2.95		1.64	
尾渣品位 (ppm)	26.44		28.13	
渣计浸出率 (%)	81.51		82.08	
矿堆沉积率 (%)	0.8		3.1	

[0090] 综上,由表10可知,当拌酸量为15kg/t时,在浸出49天后,其浸出率达到了81.51%;当拌酸量为20kg/t时,在浸出34天后,浸出率达到82.08%;因此选取20kg/t作为堆浸矿石的最佳拌酸量。

#### [0091] (6) 不同初始喷淋酸度影响试验

[0092] 对湖山铀矿的低品位矿石进行高压辊磨处理至粒度8mm;在所得1t铀矿碎石中分别加入20kg质量分数为90%的浓硫酸以及含125g聚丙烯酰胺的水溶液,混合均匀后得到筑堆用的胶结矿粒,控制制粒成型后水的质量百分比为10%左右;将胶结矿粒筑堆9m后用硫酸溶液浸出,喷淋强度为20l/h/m<sup>2</sup>。添加硫酸亚铁保持铁离子浓度为3g/L,然后再添加H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>保持氧化还原电位为500mV左右。待浸出液铀浓度低于10mg/L时停止喷淋,测试各柱随浸出

时间的延长对应浸出液浓度以及铀的浸出率,如图8-9所示。具体试验条件以及试验结果如表11所示。

[0093] 表11

	柱号	5-1	5-2	5-3
	堆高 (m)	8.97	9	9
	初始喷淋酸度 (g/L)	100	50	15
	总液固比 (L/S)	1.13	1.04	1.17
[0094]	浸出时间 (d)	32	32	32
	液计浸出率 (%)	71.97	80.12	78.67
	硫酸 (kg/t)	加入	61.34	68.38
		消耗	56.33	62.33
	双氧水加入量 (kg/t)	1.64	1.46	1.66
	Fe <sup>2+</sup> 加入量 (kg/t)	1.64	1.46	1.66
[0095]	尾渣品位 (ppm)	28.13	27.78	28.56
	渣计浸出率 (%)	82.08	80.97	79.60
	矿堆沉积率 (%)	3.1	1.9	3.1

[0096] 综上,从表11以及图8-9可知,当初始喷淋酸度为15-100g/L时,随着储时喷淋酸度的增加,其浸出率呈现逐渐增加的趋势,尤其是当初始喷淋酸度为100g/L时,达到了82.08%。此外,考虑到尾液余酸过低容易造成矿堆渗透性差,因此选用100g/L作为初始喷淋酸度。

[0097] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明的保护范围应以所附权利要求为准。

[0098] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

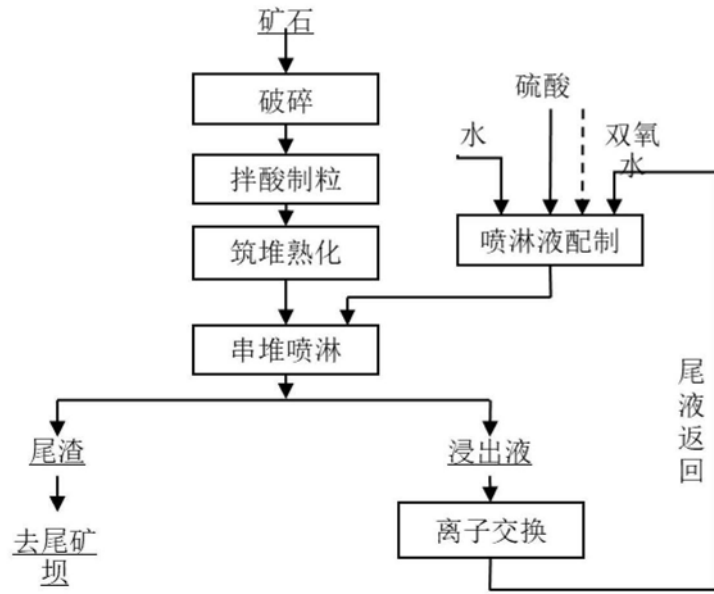


图1

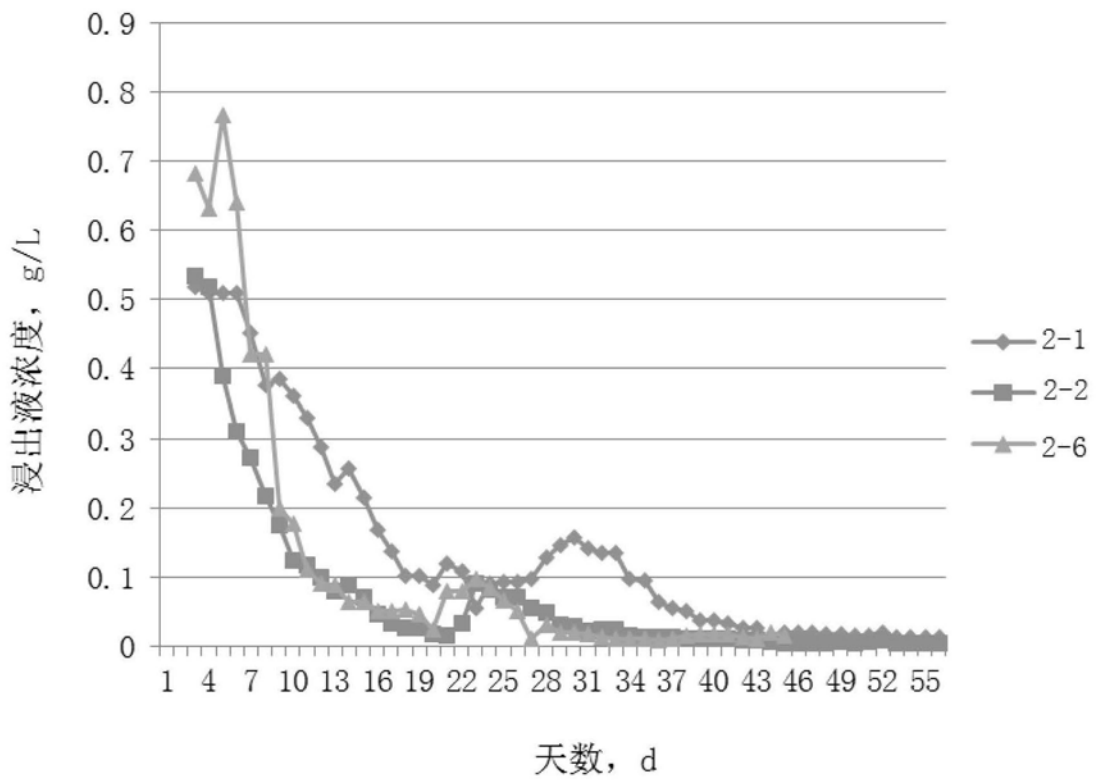


图2

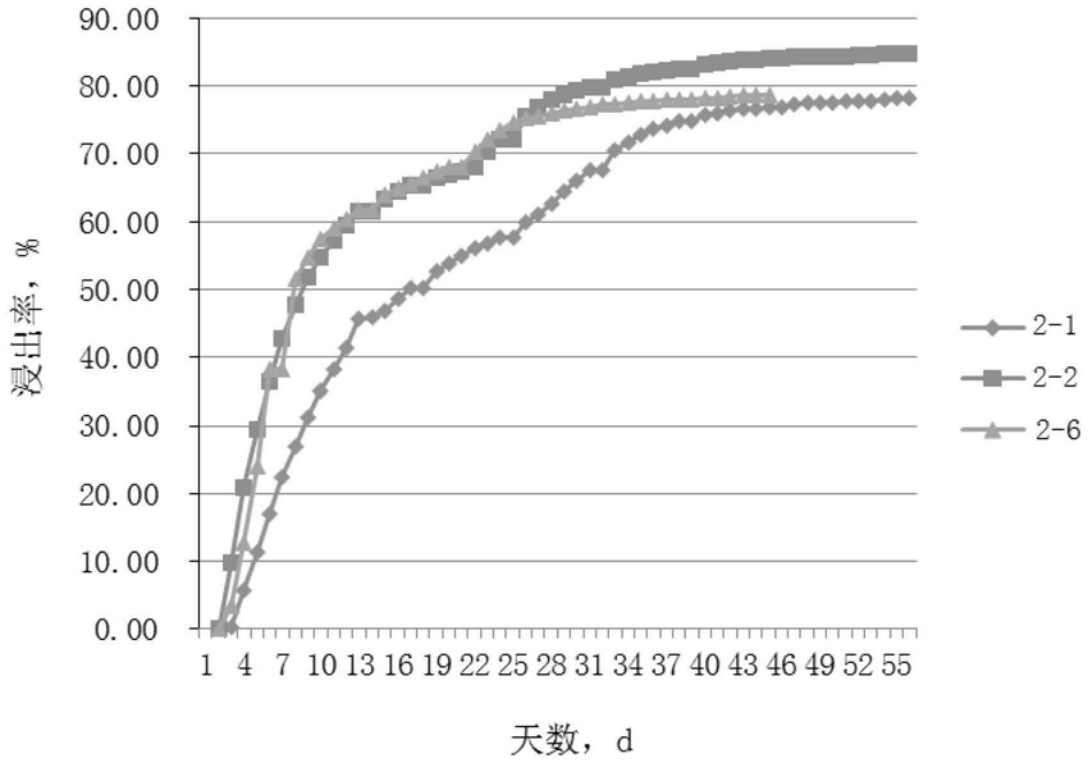


图3

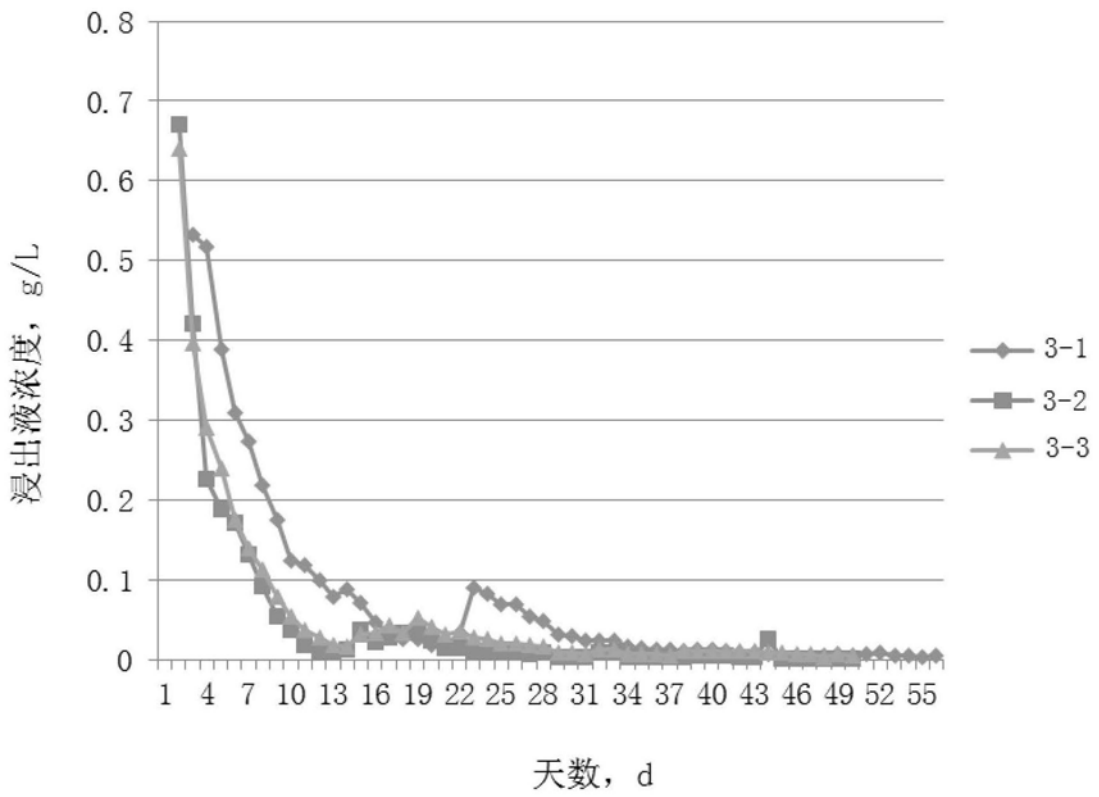


图4

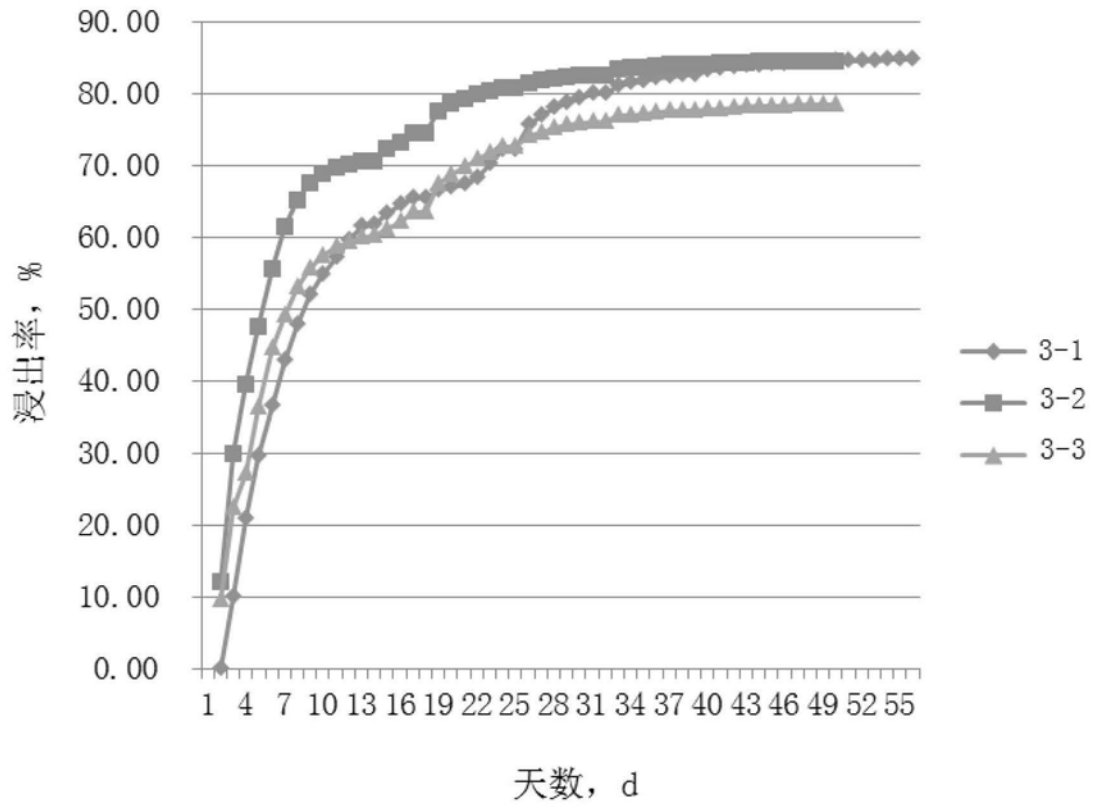


图5

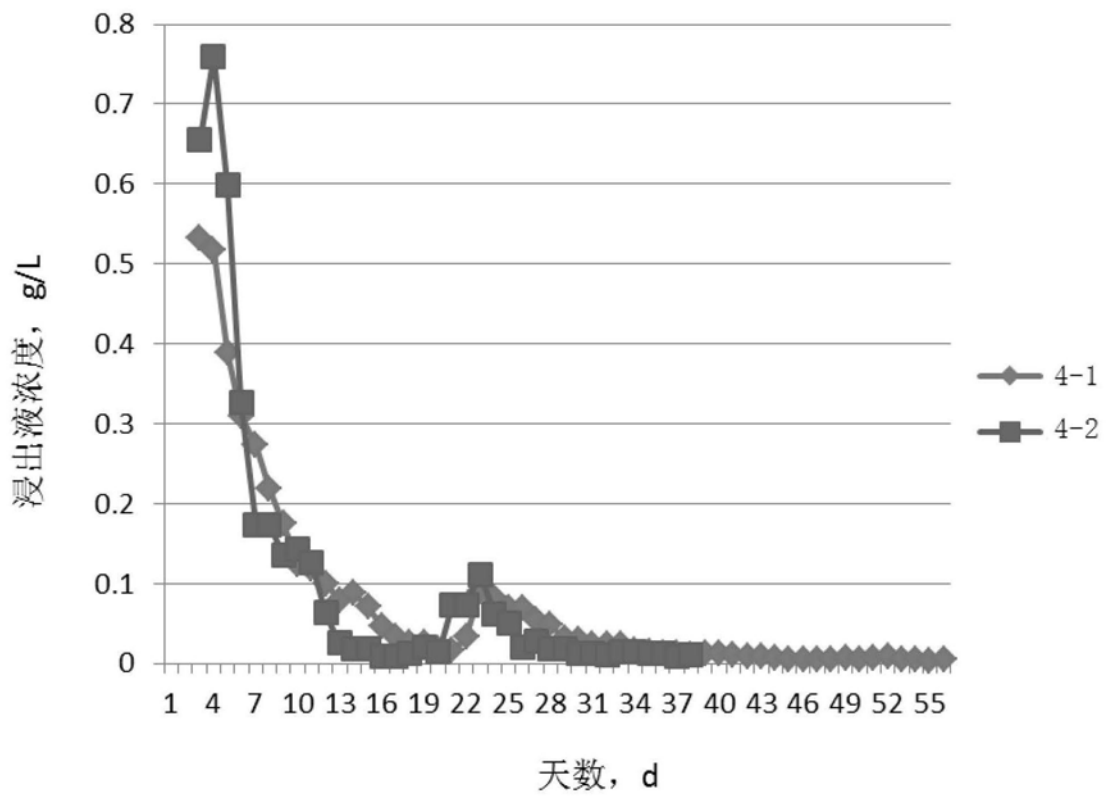


图6



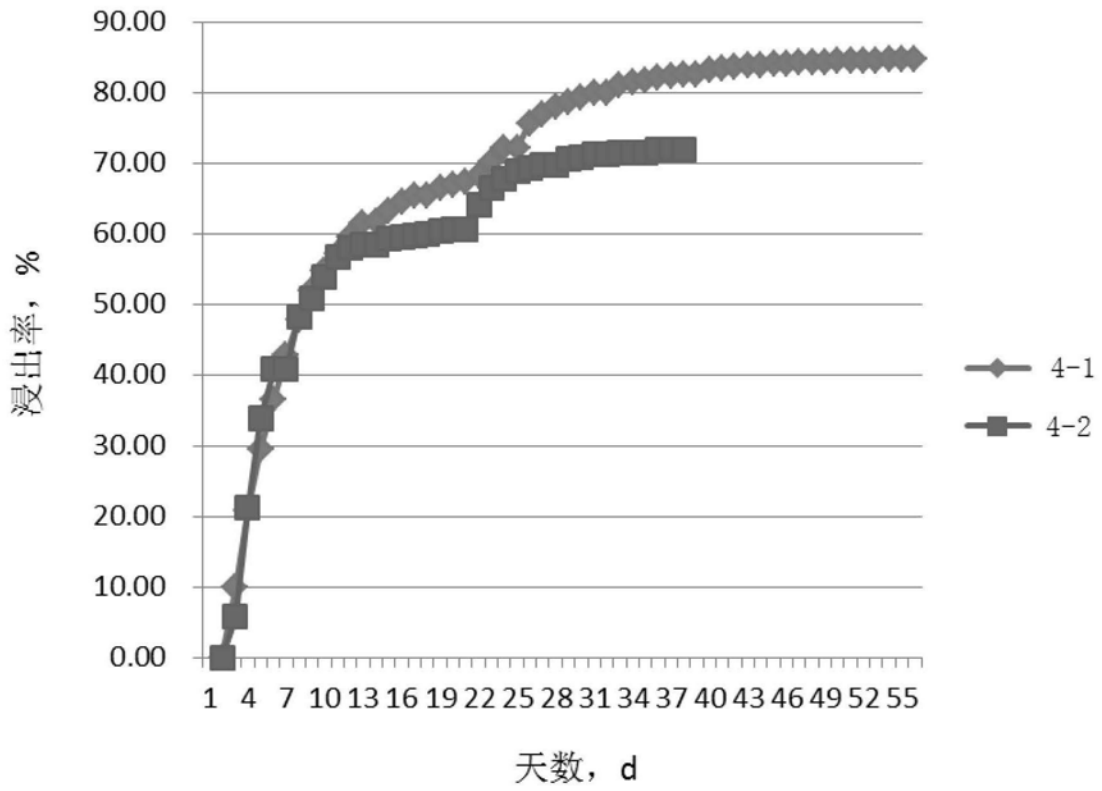


图7

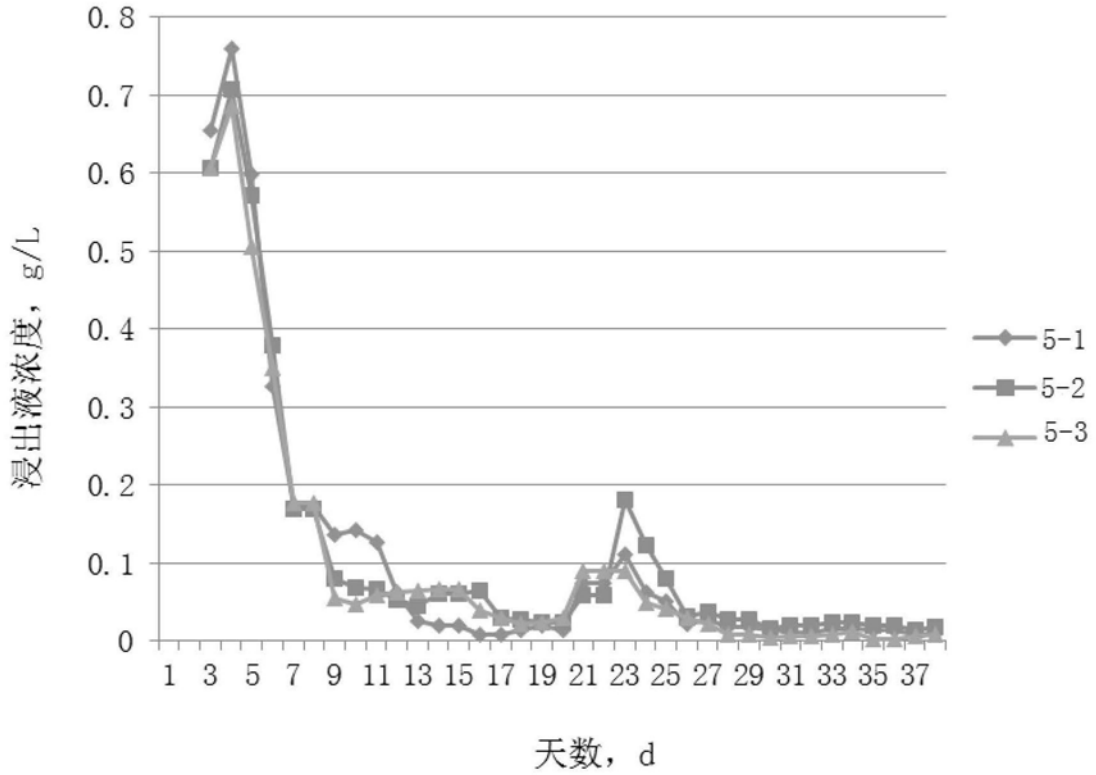


图8

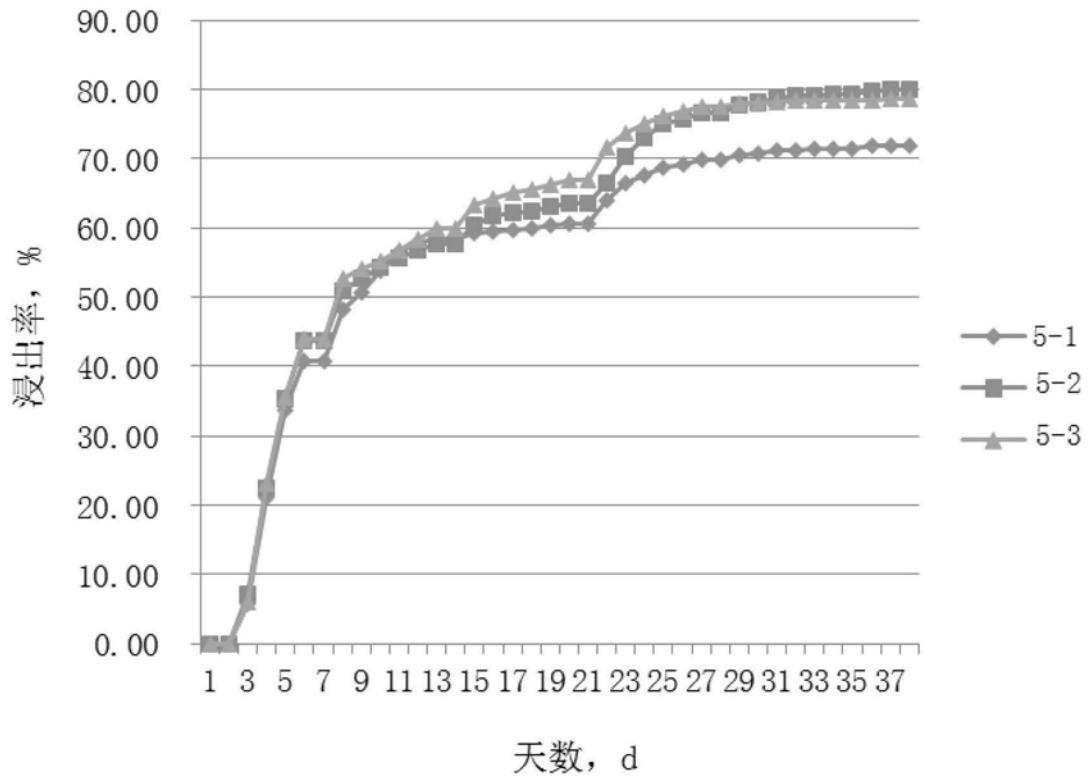


图9