

# 某铀矿高钙矿浆絮凝沉降工艺优化试验研究

高尚, 贾秀敏, 师留印, 钟平汝

(核工业北京化工冶金研究院, 北京 101149)

**摘要:** 针对某铀矿高钙矿浆固液分离中存在的矿浆沉降速度较低、固-液分离效果变差等问题, 研究采用了静态絮凝法沉降该铀矿高钙矿浆, 考察了絮凝剂种类及用量、混合絮凝剂配比及加入方式对沉降效果的影响。结果表明: 由 WZ944 絮凝剂与 5330 絮凝剂配制的混合絮凝剂可使高钙矿浆沉降速度显著提高, 2 种絮凝剂的最佳质量配比为 1:1, 混合絮凝剂最低用量为 35 g/t。试验结果可为该铀矿固-液分离工艺流程优化设计提供参考。

**关键词:** 铀矿; 钙; 矿浆; 絮凝; 絮凝剂; 沉降; 固-液分离; 多级逆流倾析

**中图分类号:** TL212; TF803.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2617(2024)04-0461-05

**DOI:** 10.13355/j.cnki.sfyj.2024.04.016

絮凝沉降技术广泛应用于水处理及铀矿冶领域, 是改善固-液分离效果的重要方法之一。在铀矿采冶过程中, 矿物在搅拌浸出后, 通过逆流倾析在浓密机中加入絮凝剂进行沉降, 可大幅提升矿浆分离效率, 从而快速从矿浆中去除浸出渣, 得到含铀浸出液, 同时也有利于后续对浸出液的纯化处理。

某铀矿床常规浸出水冶厂的固-液分离工艺流程中, 浸出矿浆经由水力旋流器分级后, 溢流矿浆在絮凝剂作用下进入浓密机, 经 5 级连续逆流倾析后, 清液送下一流程。在该过程中使用絮凝剂可有效提高浓密机处理能力<sup>[7]</sup>, 其原理是利用絮凝剂的凝聚作用和絮凝作用, 将分散体系的稳定性破坏, 之后使矿浆颗粒在内聚力的作用下吸附在一起, 形成颗粒较大的絮团, 进而使矿浆沉降速度提升, 达到快速固液分离的目的<sup>[13]</sup>。

絮凝剂的使用虽有利于提升固液分离效率, 但目前由于进料矿石钙含量较高, 导致所生成的硫酸钙对絮凝沉降过程中固体颗粒的沉降造成影响<sup>[14]</sup>, 使得添加絮凝剂后仍存在矿浆沉降速度慢、沉降效果差等问题, 影响水冶厂的稳定运行。因此, 为提高沉降速度, 进一步优化工艺条件, 针对目前生产中出现的絮凝沉降效果不佳等问题,

对比研究了几种不同的絮凝剂对某铀矿高钙矿浆的絮凝沉降效果, 以期优选出适宜的絮凝剂类型及使用工况。

## 1 试验原料与方法

### 1.1 试验原料

#### 1.1.1 试验矿浆

试验原料取自某铀矿水冶厂第 1 级浓密机的进料矿浆, 矿浆浓度为 10.80%, 密度为 1.11 g/cm<sup>3</sup>。同时对其进行粒径分布测试, 浓密机进料矿浆的粒级分布见表 1。可以看出, 粒度低于 325 目的矿浆占比为 66.93%, 矿浆粒级整体偏细, 沉降效果较差。

表 1 浓密机进料矿浆粒级分布

粒度/目	质量分数/%
+20	0.45
-20~+40	0.87
-40~+70	2.42
-70~+200	19.32
-200~+325	10.00
-325	66.93

收稿日期: 2024-04-30

基金项目: 中核集团集中研发项目(中核科发[2021]-144号)。

第一作者简介: 高尚(1997—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为铀矿水冶。

### 1.1.2 絮凝剂

从阴、阳离子型絮凝剂、两性絮凝剂与非离子絮凝剂4类絮凝剂中选择11种进行试验,其中包括当前生产所用5330型号絮凝剂。11种絮凝剂的型号及分子量见表2。

表2 11种絮凝剂型号及分子量

序号	类型	型号	分子量/万
1	阴离子型	AZ7925	1 600
2		AZ9020	1 400
3		PZ4610	1 000
4		AZ5005	800
5	阳离子型	CZ4002	800
6		CZ4060	800
7		CZ5005	1 000
8	两性型	WZ944	1 500
9		WZ924	1 300
10		FZ4001	1 300
11	非离子型	5330	1 000

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 絮凝剂溶解试验

将11种絮凝剂各称取0.100 g( $\pm 0.001$  g),加入到装有100 mL去离子水的烧杯中,用搅拌

器搅拌,控制搅拌速度为60 r/min,观察絮凝剂溶解情况,直至絮凝剂完全溶解成透明胶质状态,得到浓度为0.1%的各絮凝剂。

### 1.2.2 絮凝沉降试验

对试验用高钙矿浆进行静态单级絮凝沉降试验,步骤如下:

1)均匀搅拌高钙矿浆样品,使呈均匀分散状态,然后快速加入到500 mL量筒中,定容至满刻度,记录液面初始高度。

2)将装有矿浆样品的量筒迅速加入上述定量配制的絮凝剂,封紧量筒口后,上下翻转使矿浆充分混匀;然后将量筒平稳放置于试验台上,此时作为计时零点,每隔一段时间记录界面高度,试验时间为1 h;沉降过程基本结束后,观察最终压缩体积并测定清液浊度。

3)根据记录的界面高度随时间的变化数据绘制沉降曲线,并计算自然沉降速度。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 絮凝剂的选择

为了筛选满足当前生产需要的最佳絮凝剂类型,取11种不同型号的絮凝剂对高钙矿浆进行絮凝沉降试验,用量均为100 g/t,对比分析不同絮凝剂的沉降效果,试验结果见表3。

表3 不同种类絮凝剂的絮凝沉降试验结果

序号	絮凝剂型号	试验现象	清液浊度/NTU	压缩体积/mL	沉降速度/(m·h <sup>-1</sup> )
1	AZ7925	无絮团,基本不沉降	—	—	—
2	AZ9020	有絮团,沉降极慢,溶液较清亮	73	215	—
3	PZ4610	有细小絮团,沉降极慢,溶液较清亮	102	223	—
4	AZ5005	有絮团,沉降慢,溶液较清亮	40	185	0.62
5	CZ4002	有絮团,沉降慢,溶液混浊	546	191	0.78
6	CZ4060	有絮团,沉降慢,溶液混浊	705	184	0.57
7	CZ5005	有絮团,沉降慢,溶液混浊	576	195	0.83
8	WZ944	有絮团,沉降快,溶液微混	195	180	3.28
9	WZ924	有絮团,沉降快,溶液微混	225	180	2.76
10	FZ4001	有絮团,沉降快,溶液混浊	234	225	2.08
11	5330	有絮团,沉降慢,溶液清亮	62	210	0.58

由表3看出:除AZ7925絮凝剂在加入混匀后无法形成絮团外,其他10种絮凝剂对矿浆均有絮凝沉降效果;3种两性絮凝剂WZ944、WZ924、

FZ4001的沉降速度最快,其原因是酸法浸出矿浆固体颗粒带负电荷,且体系含有Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>和Fe<sup>3+</sup>等正电离子与其他粒子,会对阳离

子型絮凝剂的沉降效果产生负面影响,而两性絮凝剂分子链节上同时含有正电荷和负电荷基团,可以通过电性中和、吸附桥联及分子间“缠绕”包裹作用产生较大絮团颗粒以利于脱水;4种阴离子型絮凝剂 AZ7925、AZ9020、PZ4610、AZ5005 沉降速度较慢,这是由于其会对带负电荷固体颗粒选择性絮凝,导致絮凝效果变差。

由表 3 还可看出:两性型絮凝剂 WZ944 的沉降速度和压缩体积均明显优于其他絮凝剂;但从沉降后的清液浊度来看,非离子型絮凝剂 5330 最佳。因此对 2 种絮凝剂进行进一步试验。

## 2.2 单一絮凝剂用量的确定

为了进一步选择适合的絮凝剂,考察了 WZ944、5330 絮凝剂用量对絮凝沉降效果的影响,试验结果见表 4。

表 4 WZ944 和 5330 絮凝剂用量对絮凝沉降效果的影响

絮凝剂型号	用量/ (g · t <sup>-1</sup> )	清液 浊度/NTU	压缩 体积/mL	沉降速度/ (m · h <sup>-1</sup> )
WZ944	10	286	185	1.38
	30	230	184	2.75
	50	245	180	2.77
	60	232	180	2.96
	80	220	180	3.30
	100	195	180	3.28
5330	30	106	215	0.51
	50	80	212	0.55
	60	78	210	0.57
	80	58	210	0.54
100	62	210	0.58	

由表 4 看出:WZ944 絮凝剂用量在 30~100 g/t 范围内,随用量减小,沉降速度缓慢下降,但用量减少至 10 g/t 时,沉降速度明显降低,此时清液浊度明显上升;而 5330 絮凝剂用量在 30~100 g/t 范围内,沉降速度没有明显变化,但用量降至 30 g/t 时,清液浊度会迅速升高。试验中观察到 5330 絮凝剂用量降至 10 g/t 时,絮凝沉降过程中几乎无法形成絮团,沉降速度大幅下降。所以,为保证 WZ944 和 5330 絮凝剂沉降效果,试验确定 2 种絮凝剂的最低用量均为 30 g/t。

## 2.3 混合絮凝剂的选择

为了进一步优化絮凝沉降工艺条件,配制 WZ944+5330 混合絮凝剂,二者用量均为 30 g/t。对比研究混合絮凝剂与单一絮凝剂的沉降性能,结果见表 5。根据表 5 数据绘制沉降曲线,如图 1 所示。

表 5 单一絮凝剂与混合絮凝剂沉降性能对比

絮凝剂型号	用量/ (g · t <sup>-1</sup> )	沉降速度/ (m · h <sup>-1</sup> )	压缩体积/ mL	清液浊度/ NTU
WZ944	30	2.96	180	232
5330	30	0.57	210	78
WZ944+5330	30+30	2.78	185	104

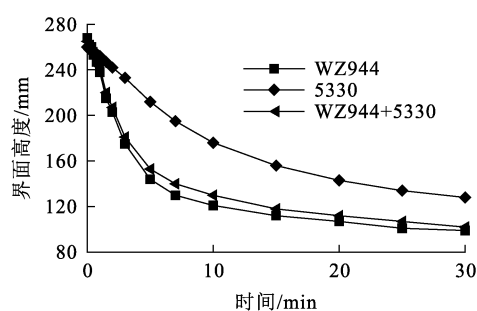


图 1 混合絮凝剂与单一絮凝剂的沉降曲线

由表 5、图 1 看出:从沉降速度和压缩性能来看,混合絮凝剂仅略差于 WZ944 絮凝剂,但与 5330 絮凝剂相比有明显提升;从清液浊度来看,混合絮凝剂比 WZ944 絮凝剂有明显改善,而与 5330 絮凝剂相差不大。说明当前沉降试验条件下,WZ944+5330 混合絮凝剂兼具 WZ944 和 5330 絮凝剂的优势,可以在保证清液浊度的同时显著加快高钙矿浆的沉降速度,能有效解决目前生产中沉降速度慢、固液分离效果差的问题。

## 2.4 混合絮凝剂加入方式的选择

在实际生产中,絮凝剂的加入方式对沉降效果有明显的影响。而混合絮凝剂的加入方式与单一絮凝剂的加入方式不同,有多种加入方式。因此,模拟实际生产,将 WZ944+5330 混合絮凝剂以不同方式加入,加入方式见表 6。絮凝剂用量为 30 g/t,分别考察絮凝剂的混合位置、加入顺序对沉降效果的影响,试验结果如图 2 所示。

表 6 混合絮凝剂的加入方式

序号	加入方式
a	先将 2 种絮凝剂按质量比 1 : 1 混合溶解,再将 30 g/t 混合絮凝剂加入矿浆后混匀
b	同时分别在矿浆中加入 15 g/t WZ944、15 g/t 5330 絮凝剂后混匀
c	先在矿浆中加入 15 g/t WZ944 絮凝剂,混匀后再加入 15 g/t 5330 絮凝剂继续混匀
d	先在矿浆中加入 15 g/t 5330 絮凝剂,混匀后再加入 15 g/t WZ944 絮凝剂继续混匀
e	同时将 15 g/t WZ944 加入洗水、15 g/t 5330 加入矿浆后混匀,再将矿浆与洗水混合

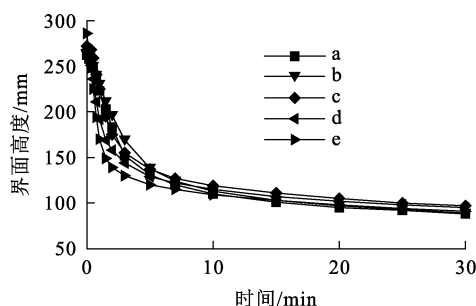


图 2 不同加入方式的沉降曲线

由于加入絮凝剂总量不变,因此不同加入方式对最终压缩体积与清液浊度影响较小,但对沉降初期的沉降速度影响很大。由图 2 看出:先将 2 种絮凝剂混合,再加入矿浆的方式 a 优于同时分别加入 2 种絮凝剂的方式 b。原因是同时分别加入 2 种絮凝剂时,其在矿浆中生成的絮团相互干扰,会降低沉降效果;但如果不同时加入,而是按顺序加入,则能有效降低这种干扰效果,因此方式 a 与方式 c、d 的沉降速度相差不大,仅在沉降试验后期略低于其他加入方式;同时将 2 种絮凝剂分别加入连续逆流倾析的矿浆和洗水中,再将二者混匀时(方式 e),沉降速度比其他方式 a~d 更快,但在实际生产中要额外布置絮凝剂储槽和管路,会额外增加成本,不够经济。

从实际生产角度来看,先将 2 种絮凝剂混合,再加入的方式 a 与其他方式的沉降速度差别不大,且在解决沉降问题的同时能有效降低成本与工作量。因此,确定混合絮凝剂加入方式 a 最为适宜。

### 2.5 混合絮凝剂配比的选择

考虑到生产成本,在 WZ944 絮凝剂用量为 20 g/t 与 30 g/t 的条件下调节混合絮凝剂中 5330 絮凝剂用量,考察混合絮凝剂配比(WZ944/5330 质量比)对沉降效果的影响。

表 7 混合絮凝剂配比对沉降效果的影响

配比	WZ944 用量/ (g · t <sup>-1</sup> )	5330 用量/ (g · t <sup>-1</sup> )	沉降速度/ (m · h <sup>-1</sup> )
3 : 2	30	20	1.21
1 : 1	20	20	2.72
	30	30	2.68
3 : 4	30	40	2.01
1 : 2	20	40	1.36
	30	60	1.92
3 : 8	30	80	2.16
1 : 3	20	60	1.49
1 : 4	20	80	1.52

由表 7 看出:2 种絮凝剂最佳配比为 1 : 1,当混合絮凝剂中 2 种单一絮凝剂中的任意一种过量时都会降低沉降速度;该配比条件下,随其中一种絮凝剂用量增加,沉降速度仅略有下降,原因是絮凝剂用量过大,在沉降开始时,矿浆会形成较大的絮团,导致沉降过程中水阻力增加,进而影响沉降效果。因此,对于当前的实际生产现状,选择絮凝剂配比 1 : 1 为宜。

### 2.6 混合絮凝剂用量的确定

为确定 WZ944+5330 混合絮凝剂的最佳用量,通过加入不同浓度的混合絮凝剂,考察其对矿浆沉降速度的影响,并根据试验数据绘制絮凝沉降曲线,结果如图 3 所示。

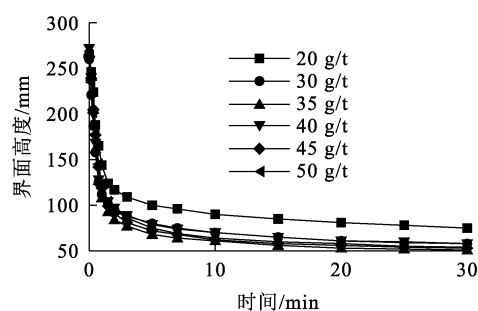


图 3 不同用量混合絮凝剂的沉降曲线

由图 3 看出:混合絮凝剂用量较低时,随用量增加沉降速度加快;用量增至 35 g/t 时,矿浆沉降速度最快;继续增加用量,沉降速度无明显变化。因此,对于目前生产工况下的矿浆,选择混合絮凝剂用量为 35 g/t 为宜。

### 3 结论

对比研究了 11 种新絮凝剂对某铀矿高钙矿浆的沉降性能,得出如下结论:

1) WZ944 絮凝剂具有较好的沉降速度与压缩体积,而当前生产所用的 5330 絮凝剂在降低清液浊度方面具有一定优势。

2) 在相同用量下,WZ944+5330 混合絮凝剂的总体沉降效果优于单一絮凝剂,在沉降速度、压缩效果与清液浊度等方面均表现良好。

3) 结合当前生产中出现的问题,将 WZ944+5330 混合絮凝剂按配比 1:1、用量 35 g/t、先混合后加入方式与矿浆混合,可显著提高高钙矿浆沉降速度。

#### 参考文献:

[1] 廖启华.大型尾矿浓密机沉降效率提升的改造研究[J].有色冶金设计与研究,2023,44(6):5-8.  
[2] 陈辉,王洪江,吴爱祥,等.哈尔滨某矿深锥浓密机的应用改造[J].金属矿山,2015(5):158-161.

[3] 叶开凯,苏学斌,张佳宇,等.二次沉淀法深度处理工艺废水中的铍试验研究[J].湿法冶金,2023,42(3):302-305.  
[4] 周志龙,孟祥瑞,许东升,等.深锥浓密机在某铅锌矿充填系统的技术改造与应用[J].采矿技术,2021,21(4):175-177.  
[5] 王少勇,武鹏杰,张敏杰,等.不同进料流量下深锥浓密机给料井流场特性可视化试验研究[J].矿业研究与开发,2024,44(1):19-24.  
[6] 张雷,郭利杰,许文远,等.细尾砂在矿山充填应用中关键工艺与材料的研究进展[J].材料导报,2023,37(23):106-116.  
[7] 威拉姆斯 R A,张兴仁,李孜.大型逆流倾析浓缩机装置的设计构思[J].国外金属矿选矿,2004(11):4-9.  
[8] 田全宝,兰川,王桂楼,等.刚果(金)某氧化铜矿 908 V 絮凝剂实验室及工业试验研究[J].湖南有色金属,2023,39(6):17-20.  
[9] 肖锦,杞永亮.我国絮凝剂发展的现状与对策[J].现代化工,1997(12):6-9.  
[10] 郑银珠.铜绿山矿尾矿沉降絮凝剂优化选型试验研究[J].中国矿山工程,2023,52(5):71-75.  
[11] 缪亚兵,薛珂,赵文坡,等.某铅锌矿选铅尾矿絮凝沉降及溢流水回用于浮选评价试验研究[J].矿冶工程,2023,43(5):80-84.  
[12] 焦国芮,邹开华,黄毅伟,等.超细全尾砂最优絮凝剂配比优化试验研究[J].铜业工程,2023(6):153-159.  
[13] 林金山,熊泽华.银山矿全尾砂料浆絮凝沉降特性试验研究[J].采矿技术,2024,24(1):199-202.  
[14] 王学魁,李富华,唐娜,等.井矿盐卤水中硫酸钙颗粒沉降过程研究[J].无机盐工业,2017,49(5):22-24.

## Optimization of Flocculation and Sedimentation Process of High-Calcium Slurry in a Uranium Ore

GAO Shang, JIA Xiumin, SHI Liuyin, ZHONG Pingru

(Beijing Research Institute of Chemical Engineering and Metallurgy, CNNC,  
Beijing 101149, China)

**Abstract:** Aiming at the problems such as low settling speed and poor solid-liquid separation effect of a uranium ore high-calcium slurry, static flocculation method was used to settle high-calcium pulp of a uranium ore, and the effects of flocculant type, dosage, mixed flocculant ratio and adding method on the settling effect were investigated. The results show that the settling rate of high calcium pulp can be significantly increased by the mixed flocculant prepared by WZ944 flocculant and 5330 flocculant. The optimal mass ratio of the two flocculants is 1:1, and the minimum dosage of the mixed flocculant is 35 g/t. The research results can provide reference for the optimization design of the uranium ore solid-liquid separation process.

**Key words:** uranium ore; calcium; slurry; flocculation; flocculant; sedimentation; solid-liquid separation; multi-stage countercurrent decantation