

# Experimental Study on the Improvement of Slurry Settlement by Shear-Flocculation

Shenxi Chen<sup>1</sup>, Yaping Li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Water Conservancy Bureau, Wuxi, Jiangsu, China

<sup>2</sup>Binzhou College, Binzhou, Shandong, China

Email: srefxn@126.com; haoliyaping06@163.com

**Abstract:** With self-designed and produced shear-flocculation device, we made a study on the factors of the shear-flocculation settlement of slurry. Through the systematic experimental study on the factors as flocculant concentration, floccular stirring speed and floccular stirring time, we obtained the optimal conditions for the shear-flocculation settlement of the samples we studied on. And we found: The mechanical stirring intensity makes an important impact on shear-flocculation.

**Keywords:** shear-flocculation; slurry; settlement; flocculant; agglomerant

## 剪切絮凝改善煤泥水沉降效果的试验研究

陈沈希<sup>1</sup>, 李亚萍<sup>2</sup>

<sup>1</sup>无锡市锡山区水利局, 江苏省无锡市, 中国, 214100

<sup>2</sup>滨州学院, 山东省滨州市, 中国, 256500

Email: srefxn@126.com; haoliyaping06@163.com

**摘要:** 利用自行设计和制作的剪切絮凝装置进行了煤泥水剪切絮凝沉降研究, 对絮凝剂浓度、絮凝搅拌速度和时间; 凝聚剂浓度、凝聚搅拌速度和时间等剪切絮凝条件进行了试验研究, 得到了所用煤样的最佳剪切絮凝沉降条件。试验发现: 机械搅拌强度对剪切絮凝有重要影响。

**关键词:** 剪切絮凝; 煤泥水; 沉降; 絮凝剂; 凝聚剂

煤泥水处理一直是影响选煤生产的重要环节。由于不断循环利用的煤泥水自身粘度和浓度高等特点, 使得煤泥水中的细泥沉淀速度极其缓慢, 导致大量细泥进入循环水系统, 严重影响主选系统的分选精度和产品质量<sup>[1, 2, 3]</sup>。

论文主要研究剪切絮凝在煤泥水沉降过程中的作用, 对剪切絮凝的条件: 絮凝剂浓度、絮凝搅拌速度和时间; 凝聚剂浓度、凝聚搅拌速度和时间进行研究, 以找出所用煤样的最佳剪切絮凝沉降条件, 为选煤厂改善煤泥水沉降效果提供技术依据。

## 1 试验设计

### 1.1 试验方案设计

首先设计制作出剪切絮凝的试验装置(图 1), 然后对影响剪切絮凝的各因素条件进行试验, 以找出最佳条件。根据选煤生产实际, 试验用煤泥水浓度配制成



Figure1 Unit used for shear-flocculation Experiments

图 1 剪切絮凝试验装置

30g/L; 絮凝剂为聚丙烯酰胺, 加入絮凝剂搅拌一定时间, 然后静止沉降 40s, 抽取液面下 25mm 处上清液, 用浊度计测定其浊度, 比较剪切絮凝沉降效果。

## 1.2 具体试验设计

(1) 仅加入絮凝剂, 分别对煤样 1 (原生煤泥) 和煤样 2 (浮选尾煤) 进行剪切絮凝试验。

① 煤样 1 和煤样 2 的絮凝药剂浓度试验: 对不同的药剂浓度进行试验, 根据试验结果, 选择最佳的絮凝剂浓度。

② 剪切强度试验: 在不同的搅拌时间和搅拌速度下对煤泥水进行剪切絮凝沉降试验。根据试验结果, 找出最佳的搅拌强度。

(2) 针对煤样 1 特性再加入凝聚剂, 进行两种药

剂配合的剪切沉降试验。

① 凝聚药剂: 对不同的凝聚药剂浓度进行沉降试验。根据试验结果, 选择最佳的药剂浓度。

② 剪切强度: 选择上面试验所得的絮凝药剂最佳结果条件, 凝聚搅拌强度方法同絮凝搅拌方法。

## 2 絮凝剂沉降试验及结果分析

### 2.1 絮凝药剂浓度试验

对煤样 1 和煤样 2 分别在不同的絮凝剂浓度下进行沉降试验, 并按上述方法测试上清液浊度, 结果列于表 1、表 2。

Table 1 Results of the settlement tests at different flocculant concentrations on coal Sample 1

表 1 煤样 1 在不同絮凝剂浓度下的沉降结果

药剂浓度 ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	0.2	0.4	0.6	0.8	1.2	1.6	2.4
40s 时浊度 (ppm)	142.7	100.5	125.3	190.1	342.5	>400	>400

Table 2 Results of the settlement tests at different flocculant concentrations on coal Sample 2

表 2 煤样 2 在不同絮凝剂浓度下的沉降结果

药剂浓度 ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	0.4	0.8	1.2	1.6	2	2.4
40s 时浊度 (ppm)	60.5	57.9	46.2	47.4	48.5	51.3

由表 1、表 2 的絮凝剂浓度沉降试验可以得出: 煤样 1 絮凝剂最佳浓度为  $0.4\text{g}/\text{m}^3$ , 煤样 2 絮凝剂的最佳浓度为  $1.2\text{g}/\text{m}^3$ 。煤样 2 剪切絮凝沉降效果好于煤样 1。

### 2.2 絮凝剪切强度试验

剪切强度通过搅拌速度和搅拌时间反映。不同搅拌时间和搅拌速度对两煤样絮凝效果的影响见图 2、图 3。

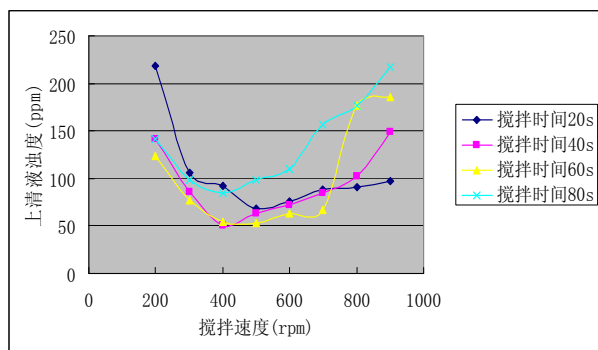


Fig.2 Relationship between floccular effect and stirring speed at different stirring time on coal Sample 1

图 2 煤样 1 在不同搅拌时间下的搅拌速度与絮凝效果关系图

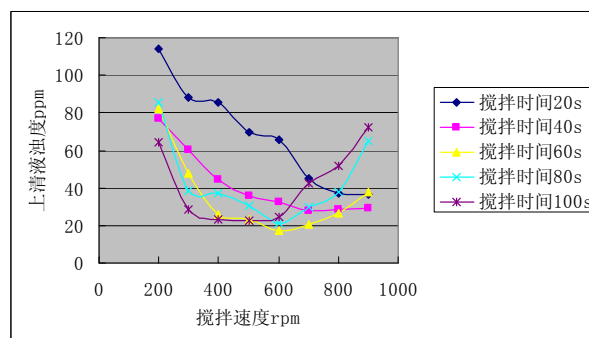


Fig.3 Relationship between floccular effect and stirring speed at different stirring time on coal Sample 2

图 3 煤样 2 在不同搅拌时间下的搅拌速度与絮凝效果关系图

由图 2 和图 3 看出: 煤样 1 和煤样 2 在不同的搅拌强度 (搅拌时间和搅拌速度) 下, 絮凝效果即上清

液的浊度随着搅拌强度的增加逐渐降低；继而在一定范围内变化不大；继续提高搅拌强度，上清液的浊度反而升高。这说明搅拌强度不是越大越好，而是有一个合适的范围。从两煤样总的剪切絮凝沉降效果看，煤样 2 好于煤样 1。

对煤样 1，当搅拌时间为 40s 和 60s，搅拌速度为 400~700rpm 时，絮凝效果较好。

对煤样 2，当搅拌时间为 60s、80s、100s，搅拌速度为 300~700rpm 时，絮凝效果较好。

在剪切絮凝过程中，发现搅拌强度存在一个极值，在该处达到最大的透明度，最快的沉降速度以及最高的浓缩度。这是因为：搅拌强度过小，絮凝剂与矿浆混合、接触不充分，絮凝则不完全；搅拌强度过高，使得某些已经形成的絮团，因高剪切力而遭到破坏，同样影响絮团的形成。

3 协同使用絮凝剂、凝聚剂试验及结果分析

就试验所用的煤样粒度组成来说，原生煤泥样 1 比浮选尾煤样 2 好，但剪切絮凝沉降效果相反。这说明对于含有微细粒矿物的煤泥水沉降，影响其效果的不仅仅是固体颗粒的粒度组成。

试验测得煤样 1 的表面电动电位为-30.25mV，煤样 2 的表面电动电位为-18.82mV。为消除表面电性对沉降效果的影响，需要向煤泥水中加入凝聚剂。因此，对煤样 1 进行了凝聚剪切条件沉降试验研究。根据实验室条件选取明矾作凝聚剂。

3.1 凝聚剂浓度试验

在不同凝聚剂浓度条件下进行的沉降试验结果列于表 3。由表 3 结果可以发现：当凝聚剂的浓度为 20 ~ 100 g/m<sup>3</sup> 时，效果较好。考虑到经济用药，把凝聚剂浓度 20 g/m<sup>3</sup> 确定为后续试验的药剂浓度。

Table 3 Results of settlement at different agglomerant concentrations  
表 3 凝聚剂浓度对沉降结果的影响

试验编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
凝聚剂浓度 (g/m <sup>3</sup> )	0	20	40	60	80	100	120	140	160
浊度 ppm	84.70	57.90	51.20	53.80	55.10	57.30	143.30	233.00	+400

3.2 凝聚剪切速度试验

试验条件：煤样 1 的煤泥水浓度为 30g/L，絮凝剂浓度 0.4g/m<sup>3</sup>，絮凝搅拌速度 400rpm，絮凝搅拌时间 40s，先加入凝聚剂（20 g/m<sup>3</sup>），剪切搅拌后，再

加入絮凝剂。

试验结果见表 4。考察表 4 所列的沉降效果，搅拌速度为 500rpm 时，上清液浊度最低，絮凝剂效果最好。后续试验把凝聚搅拌速度定为 500rpm。

Table 4 Effect of stirring speed on flocculation (stirring time 40s)  
表 4 搅拌速度对絮凝效果的影响（搅拌时间为 40s）

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
转速 (rpm)	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
上清液浊度 (ppm)	65.20	57.41	48.00	44.00	44.90	45.30	45.50	44.90	57.60

3.3 搅拌时间试验

试验条件：煤样 1 的煤泥水浓度为 30g/L，凝聚剂浓度 20 g/m<sup>3</sup>，凝聚搅拌速度 500rpm；絮凝剂浓度 0.4g/m<sup>3</sup>，絮凝搅拌速度 400rpm，絮凝搅拌时间 40s。

试验结果见表 5。由表 5 结果可知：凝聚搅拌时

间为 30s 时，沉降效果最好。搅拌时间太短，凝聚剂在煤泥水中分散不够，无法与煤泥水中的悬浮颗粒充分接触，不能消除（或降低）煤泥颗粒的表面电性，所以沉降效果不太好；随着搅拌时间的增加，沉降效果达到最佳值；而后又缓慢降低，变化不是很大。

Table 5 Effect of stirring time on flocculation (agglomerate stirring speed 500rpm)  
表 5 搅拌时间对絮凝效果的影响（凝聚转速为 500rpm）

试验号	1	2	3	4	5
搅拌时间 (s)	10	20	30	40	50

浊度 (ppm)	72.50	44.60	40.40	45.50	51.80
----------	-------	-------	-------	-------	-------

煤样 1 加入凝聚剂后,其效果达到甚至超过了煤样 2 不加凝聚剂的沉淀效果。这说明对于表面电位高的煤样,消除电性、压缩双电层对提高沉降效果十分重要。

通过对凝聚剂的浓度、凝聚剪切速度、凝聚剪切时间进行的试验研究(絮凝剂的试验参数不变)发现:凝聚剂浓度对沉降效果影响比较大,添加凝聚剂后的剪切强度(搅拌时间和速度)对沉降效果的影响次之。

### 3.4 结果分析

剪切絮凝团的作用机理可以解释为:在强湍流搅拌的条件下,碰撞平均能量远大于热运动能,使颗粒比起在布朗运动条件下更容易接近;如果疏水颗粒之间碰撞后直接接触,则捕收剂的疏水缔合能有助于聚团的形成;疏水颗粒之间水化膜的减薄和最终被消除的阻力,比碰撞的亲水性颗粒小,有利于聚团的形成<sup>[4]</sup>。

剪切絮凝体系中总的作用能由颗粒间静电排斥能、范德华分子作用能以及颗粒间疏水作用能构成。总作用势能在两颗粒的很短间距上存在一个能垒,一旦机械搅拌赋予颗粒足够的动能,这个小能垒就不能阻止两个颗粒的进一步接近,而形成一个不易被破坏的聚团。因此颗粒必须借助外界机械能量才可以克服这个能垒,相互接触并形成聚团<sup>[5]</sup>。这就是剪切絮凝过程中需要机械搅拌的原因,也正是剪切絮凝的机理及关键所在。

试验证明机械搅拌强度对剪切絮凝是一个关键的调节因素,它对煤泥水的沉降效果相当重要。不同矿物形成的矿泥水的具体剪切絮凝条件需进行试验获得。

## 4 结论

(1)在仅加入絮凝剂的情况下对两种煤样进行试验比较发现:煤样 1 与煤样 2 的絮凝效果差异很大,通过对两种煤样矿物成分、粒度组成、表面电性的试验分析得出:影响煤样沉降的自身重要因素是煤样的粒度组成和表面电性。

(2)煤样 1 的表面电动电位为-30.25mV,煤样 2

的表面电动电位为-18.82mV。煤样 1 的表面电性偏高是其沉降效果差的主要内在因素。加入凝聚剂,降低颗粒的表面电性可提高沉降效果。

(3)对煤样 1 加入凝聚剂和絮凝剂两种药剂进行试验研究,找到最佳剪切絮凝条件:凝聚剂浓度 20 g/m<sup>3</sup>,凝聚搅拌速度 500rpm,凝聚搅拌时间 30s;絮凝剂浓度 0.4g/m<sup>3</sup>,絮凝搅拌速度 400rpm,絮凝搅拌时间 40s。

(4)通过对煤样 2 的沉降试验得出最佳的剪切絮凝条件为:絮凝剂浓度 1.2 g/m<sup>3</sup>,絮凝搅拌速度 600rpm,絮凝搅拌时间 60s。

(5)通过对絮凝剂和煤泥水的剪切搅拌絮凝试验发现:剪切时间和速度对煤泥水的沉降效果影响很大。絮凝剂投入后的搅拌强度(搅拌时间和速度)存在一个最佳区域,这时煤泥水的沉降效果最好。搅拌强度过小,絮凝剂与矿浆混合接触不充分,超细颗粒不能完全被絮凝剂捕捉而结团,则絮凝不完全;反之,如果搅拌强度过高,已结成的絮团会被强剪切力破坏变成小絮团或者更小的颗粒,沉降效果反而变差。

(6)剪切絮凝促使颗粒借助外界机械能克服能垒,并相互接触形成聚团,实现难沉降煤泥水的固液分离。这个结论对其他物质的固液分离也有借鉴作用。

## References (参考文献)

- [1] Zhu Long, Li Yanchun etc. Study on treatment method of high-slime slurry. Coal Mine Environmental Protection, Vol.13, NO.5, 1999.  
朱龙,李艳春等.高泥质煤泥水处理方法的研究.煤矿环境保护,Vol.13,NO.5,1999.
- [2] Cheng Hongzhi, Chang Xiufang. State-of-Arts and Development Trend of Coal Slurry Treatment in China's Coal Preparation Plants. Coal Preparation Technology. 2003.No.6:55-58.  
程宏志,常秀芳.我国选煤厂煤泥水处理技术现状和发展方向.选煤技术,2003.6:55-58.
- [3] Su Yonbo, Li Yafeng etc. Experimental Study on Treatment of Slurry. Journal of Shenyang Architecture and Civil Engineering. Vol.11, No.1, 1995.1.  
苏永渤,李亚峰等.煤泥水治理方法的试验研究.沈阳建筑工程学院学报.Vol.11, [No.1,1995.1.
- [4] Warren L. J.: Principles of Mineral Processing, 1984, Edited by M. H. Jones and J.T. Woodcock, Clunies Ross House
- [5] Warren L. J. Shear flocculation of ultrafine scheelite in sodium oate solution [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1975, 50(2): 307