2017年8月 August 2017

DOI: 10.19476/j.ysxb.1004.0609.2017.08.19

# 基于动态沉降压密实验的 深锥浓密机关键参数确定

李公成<sup>1</sup>,王洪江<sup>1</sup>,吴爱祥<sup>1</sup>,高志勇<sup>1</sup>,杨锡祥<sup>2</sup>,彭乃兵<sup>3</sup>

(1. 北京科技大学 土木与资源工程学院, 北京 100083;

2. 伽师县铜辉矿业有限责任公司, 喀什 844000;

3. 陡埠(北京)科技服务有限公司,北京 101101)

摘 要: 基于动态沉降压密实验,研究浓密机耙架在不同搅拌速率下的浓密效果。结果表明:各搅拌速率下停留 8h时,浓密机底流浓度(质量分数)均达到最大,随着搅拌速率的增加,底流浓度先增加后降低,底流浓度随搅拌 速率的增加符合抛物线变化规律;搅拌速率1r/min时达到最大底流浓度74.54%,搅拌速率0.1r/min时达到最小 底流浓度71.38%,适合该尾矿的最佳搅拌速率为0.4 r/min,此时底流浓度为72.55%。最后基于凯奇沉降模型、 供排料平衡理论,建立浓密机直径计算模型和高度确定方法,浓密机直径与最小沉降速率密切相关,浓密机泥层 高度与直径比为0.9时可取得最佳底流浓度。以新疆某铜矿深锥浓密机为例,计算得到浓密机直径为14m。高度 为14m,浓密机试运行表明:浓密机底流浓度维持在69.5%~72%之间,浓缩效果良好。研究成果为深锥浓密机 关键参数确定提供重要的方法及理论依据。

关键词:动态沉降压密;搅拌速率;底流浓度;直径;高度 文章编号:1004-0609(2017)-08-1693-08 中图分类号:TD853;TD861

文献标志码:A

膏体充填技术因其突出优点,在众多矿业国家认 可并应用[1-2]。作为膏体充填料浆制备的关键设备,深 锥浓密机利用动态浓缩原理,将传统的充填料浆浓密、 过滤两段脱水作业简化为一段沉降浓密作业,流程简 单、能耗低且底流浓度高,发展势头强劲[3-5]。国内外 众多学者对深锥浓密机脱水浓密机理的相关研究也越 来越多,焦华喆等<sup>[6]</sup>通过全尾砂沉降实验,分析了细 粒尾矿沉降规律及其机理,并通过实验数据回归分析 得到简易的沉降速度模型;GLADMAN等<sup>[7]</sup>认为动态 搅拌会提高脱水的速率和扩大脱水区域: RUDMAN 等<sup>[8]</sup>研究了尾矿浆屈服应力和耙子转速对扭矩的影 响,并提出耙动效率的计算方法;王勇等<sup>[9]</sup>建立了浓 密机底流浓度与浓密机高径比之间的数学模型; 吴爱 祥等<sup>[10]</sup>基于动态浓密实验,分析了导水杆数量和排列 对尾矿浓密的影响机理: 王洪江等[11]基于凯奇沉降模 型,得到非排料模式下深锥浓密机沉降规律,对深锥 浓密机处理能力进行了初步探索; 湛含辉等<sup>[12]</sup>通过静 态实验和理论计算得到浓密机高度计算模型,建立了 基于浓密高度的底流浓度模型;王卫等[13]从动态角度 出发,提出浓密机动态压缩高度,优化了浓密机高度 计算模型。

以上研究均表明了浓密机结构对沉降脱水性能有 着至关重要的影响<sup>[14-15]</sup>。然而,国内外针对深锥浓密 机供排料平衡下的直径、高度等结构参数的研究较少, 深锥浓密机的生产设计长期受到国外个别企业的技术 垄断,直接影响着建设投资,一定程度上阻碍深锥浓 密机的发展。因此,对供排料平衡下的深锥浓密机的 直径和高度进行系统地研究具有一定的理论价值和工 程意义。

鉴于以上原因,本文作者以新疆某铜矿深锥浓密 机为例,基于全尾砂动态沉降压密实验,研究动态平 衡下的浓密脱水规律,提出深锥浓密机直径计算模型 及高度计算方法,为工程应用提供理论依据。

# 1 实验

# 1.1 实验材料

实验尾矿取自新疆某铜矿,全尾砂基本物理性质 见表 1,尾砂粒度组成见图 1,尾砂粒度较小,70μm

**基金项目**:国家自然科学基金资助项目(51374034);北京市科技计划项目(Z161100001216002);国家"十二五"科技支撑计划项目(2012BAB08B02) 收稿日期:2016-01-13;修订日期:2017-01-09

通信作者: 王洪江, 教授, 博士; 电话: 15901196527; E-mail: wanghj1988@126.com

以下尾砂占 64.32%, 平均粒径为 58 μm。根据尾砂性 质选择阴离子型聚丙烯酰胺絮凝剂 XT9020, 其指标 见表 2。

### 表1 全尾砂物理性质

 Table 1
 Physical properties of unclassified tailings

Specific gravity	Loose bulk	Loose	Dense bulk	Dense
of tailings/	density/	porosity/	density/	porosity/
$(t \cdot m^{-3})$	$(t \cdot m^{-3})$	%	$(t \cdot m^{-3})$	%
2.662	1.190	55.30	1.604	39.74



图1 全尾砂粒级组成

Fig. 1 Grain size curves of paste materials

### **表 2** XT9020 絮凝剂部分指标

Table 2 Som	e indexes	of flocculant	XT9020
-------------	-----------	---------------	--------

Туре	Molecular weight/10 <sup>6</sup>	Solid content/%	Dissolution rate/h
XT9020	1200	≥90	≤1

# 1.2 动态沉降浓密实验装置

如图 2 所示,该装置内径 100 mm,上部留有加 料口,侧壁接有溢流管,筒壁正面有刻度,整个装置 呈透明状,可直接记录沉降高度,观察浓密情况。该 装置具有以下特点:1)顶部具有专门的絮凝剂添加位 置,使得絮凝剂添加混合更加方便、均匀;2)内部添 加了一个转速可调的耙架,由电脑控制转速,转速范 围是 0.03~2.5 r/min。与传统的静态沉降浓密装置相 比,该装置实验过程更加接近实际深锥浓密机运行情 况。

#### 1.3 实验过程及结果

1) 称取尾砂、水及絮凝剂溶液质量,先在实验装置中加入水和絮凝剂溶液,见配料表 3,并设定搅拌 速率为 3 r/min,搅拌 5 min;





图 2 动态压密实验装置

**Fig. 2** Dynamic compaction experimental device: (a) Design model; (b) Dimensional scaled model. 1—Micromotor; 2—Bolt; 3—Shaft; 4—Glass cylinder; 5—Water guide rod; 6—Mud scraping rake; 7—Reclaiming port; 8—Fixing device

2) 重新设定搅拌速率为 0.1 r/min,采用自制漏斗 向装置中添加尾砂,自开始添加尾砂计时,记录不同 时间时的固液分离界面高度。

3) 在相同絮凝剂浓度(0.3%),相同絮凝剂单耗(25 g/t)的条件下设定搅拌速率分别为 0.3、0.5、0.75、1 和 2 r/min,记录固液分离界面高度。

 4) 将不同搅拌速率、不同时刻的固液分离界面高 度绘制成表 4。

# 2 分析与讨论

浓密脱水过程的主要评价指标是底流浓度。本实 验采用的是底流质量浓度,即底流中固体的质量占总 砂浆质量分数。通过量取模型上部澄清的水柱的质量 来测定下部沉降压实的尾矿浓度,此尾矿浓度即为底 流浓度,其计算公式<sup>[16]</sup>为:

$$c' = \frac{m}{m + m_1 - m_2} \tag{1}$$

表3 浓密脱水实验配料表

Sample No.	String rate/( $r \cdot min^{-1}$ )	Quantity of tailings/g	Quantity of water/g	Quantity of flocculant solution/g		
1	0.1	1000	2250	8.33		
2	0.30	1000	2250	8.33		
3	0.50	1000	2250	8.33		
4	0.75	1000	2250	8.33		
5	1.00	1000	2250	8.33		
6	2.00	1000	2250	8.33		

 Table 3
 Charge mixture of thickening dewatering test

表4 固液分离界面高度

 Table 4
 Interface height of solid-liquid separation

Sample	String rate/	Interface height of solid-liquid separation/mm									
No. $(\mathbf{r} \cdot \mathbf{min}^{-1})$	0 h	0.17 h	0.50 h	1 h	2 h	3 h	4 h	6 h	8 h	10 h	
1	0.10	346	111	107	102	101	100	99	98	97	97
2	0.30	346	113	109	107	100	99	98	96	95	95
3	0.50	346	112	102	98	97	96	95	94	93	93
4	0.75	346	106	103	102	98	94	92	91	91	91
5	1.00	346	109	100	98	95	92	91	90	89	89
6	2.00	346	109	102	100	98	94	93	93	92	92

式中: c'为底流浓度,%;m1为给料矿浆中水的质量, g;m为给料矿浆中尾砂的质量,g;m2为沉降后量筒 中水柱的质量,g。根据固液分离界面高度计算出不同 停留时间的底流浓度,如图3所示。

由图 3 可知,停留 8 h时底流浓度达到最大,搅 拌速率 1 r/min 时获得最大底流浓度 74.54%,在 0.1 r/min 时获得最小底流浓度 71.38%。随着搅拌速率的



图 3 底流浓度随停留时间变化曲线

Fig. 3 Curve of underflow concentration with resistance time

增大,浓密机的极限底流浓度先增大后减小。这是由 于在低搅拌速率下颗粒絮团未受到充分扰动,结合水 无法完全释放;随着搅拌速率的增大促使部分无法直 接与耙架接触的颗粒受到一定的挤压作用,排出颗粒 间的水分,从而提高底流极限浓度;当搅拌速率超过 某一定值时,耙架对颗粒的扰动过大,底部颗粒受扰 动影响阻碍上面颗粒继续下降,减弱了底部砂浆的压 密效果,降低了底流极限浓度。根据图 4,底流浓度 随搅拌速率的增加符合抛物线变化规律,对该曲线进 行回归,得到方程如下:

$$y = 70.66 + 5.96x - 2.31x^2 \tag{2}$$

式中: *y* 为极限底流浓度, %; *x* 为搅拌速率, r/min。 回归系数为 0.97, 模拟效果较理想。

实际生产中,深锥浓密机底流浓度过小,无法满 足充填要求,底流浓度过大宜造成浓密机压耙现象。 王洪江等<sup>[17]</sup>基于饱和度及泌水率,提出膏体充填料浆 饱和率在101.5%~105.3%、泌水率在1.5%~5%之间时 为最佳。其中,浆体饱和率是指浆体中水的体积与浆 体骨料的孔隙体积之比,即



图 4 底流浓度随搅拌速率变化曲线 Fig. 4 Curve of underflow concentration with stirring rate

$$s_{\rm r} = \frac{v_{\rm w}}{v_{\rm v}} = \frac{c_{\rm V}}{n} \tag{3}$$

$$c_{\rm v} = \frac{1}{1 + \frac{G_{\rm w} c_{\rm w}}{G_{\rm s}(100 - c_{\rm w})}} \tag{4}$$

将式(4)代入式(3)最终得到饱和率公式为

$$S_{\rm r} = \frac{1}{\left[1 + \frac{G_{\rm w}c_{\rm w}}{G_{\rm s}(100 - c_{\rm w})}\right]n} \tag{5}$$

将式(5)变形得

$$c_{\rm w} = \frac{100G_{\rm s}(1 - S_{\rm r}n)}{G_{\rm w}S_{\rm r}n + (1 - S_{\rm r}n)G_{\rm s}}$$
(6)

式(3)~(6)中:  $S_r$  为饱和率, %;  $V_w$  为浆体中水的体积 分数, %;  $V_v$  为充填物料中孔隙的体积分数, %; n为物料的孔隙率, %;  $c_v$  为水的体积比率, %;  $G_s$  为 物料的密度, kg/m<sup>3</sup>;  $G_w$  为水的密度, kg/m<sup>3</sup>;  $c_w$  为浆 体的底流浓度(质量分数), %。

据此可以计算出该尾矿最佳底流浓度(质量分数) 的范围为 70.90%~72.55%。根据式(2)在底流浓度 72.55%时的搅拌速率约为 0.4 r/min。

# 3 深锥浓密机关键参数确定

# 3.1 浓密机直径确定

全尾砂沉降过程分为自由沉降区、压密区和过渡 区。自由沉降区由于尾砂浆浓度较低,全尾砂颗粒絮 团靠其重力沉降, 絮团之间干扰性较弱, 沉降速率较 大, 根据凯奇沉降模型<sup>[18-19]</sup>, 在沉降区各层悬浮液浓 度均相等, 其沉降速率 vh 也相等, 因此通过沉降区各 层的固体通量 G 也为定值; 在压密区, 随着泥层压力 的增加和耙架耙动的影响, 自由水逐渐被挤压或耙动 而出, 浓度进一步提高, 全尾砂浓度达到近饱和状态, 尾砂不再沉降, 然而考虑到深锥浓密机排料过程, 存 在底流排放速率 vu, 而浓度从上而下依次增加, 固体 通量也依次增加; 在过渡区, 沉降速率逐渐下降, 这 是由于随着深锥浓密机高度的增加, 全尾砂浓度增加, 全尾砂颗粒或絮团在耙架耙动等作用下相互碰撞挤 压, 阻碍固体颗粒继续下降, 各层浓度逐渐增加, 沉 降速率必然减小, 可以想像必然有一个最小通量值 Gmin, 此值限制了浓密机的处理能力。

通过前述分析,做搅拌速率 0.4 r/min 下的动态沉 降实验,并将实验数据绘制成图 5。根据凯奇沉降模 型,适合该尾矿的 G<sub>min</sub> 值可根据该曲线得到,图中以 固液分离界面高度 H 作为 y 轴,沉降时间 t 作为 x 轴, 回归方程形式如下

$$H_x = a + b \mathrm{e}^{ct_x} \tag{7}$$

a、b、c均为回归参数,对方程求导得沉降速率 $v_x$ 

$$v_x = bc e^{ct_x} \tag{8}$$

过沉降曲线上的任意一点( $t_x$ ,  $H_x$ ), 以 $v_x$ 作为斜率 作切线与y轴相交于 $H_{v_1}$ 

$$H_v = a + be^{ct_x} - bce^{ct_x}$$
<sup>(9)</sup>



图 5 搅拌速度 0.4 r/min 下全尾砂沉降曲线

Fig. 5 Unclassified tailings sedimentation curve in 0.4 r/min

根据模型可得(tx, Hx)处的砂浆体积分数为

$$\varphi_y = \frac{c_0 H_0}{H_y} \tag{10}$$

式中:  $c_0$ 为初始体积浓度,%; $H_0$ 为初始固液分离界 面高度,mm; $\varphi_y$ 为  $t_x$ 处的体积分数,%;则点( $t_x$ , $H_x$ )处的固体通量为

$$G_x = \rho_s \varphi_v v_x \times 3.6 \tag{11}$$

式中:  $G_x$  为高度  $H_x$  处的固体通量,  $t/(h \cdot m^2)$ ; 在底流 尾砂排放理想状态下,还需考虑浓缩体下排速率,最 小固体通量  $G_{min}$  可近似为

$$G_{\min} = G_x + \rho_s v_u \varphi_v \times 3.6 \tag{12}$$

供排料平衡下任意时刻最小固体通量与仓底排出 量均相等<sup>[12]</sup>,即

$$G_{\min} = \varphi_{\rm vd} v_{\rm u} \rho_{\rm s} \tag{13}$$

式中:  $\varphi_{vd}$  为底流体积分数,%。消去  $v_u$ 得到

$$G_{\min} = \frac{3.6bcC_0H_0\rho_s\varphi_{vd}}{(a\varphi_{vd} - 3.6C_0H_0)e^{-ct_x} + bS_{vd}(1-c)}$$
(14)

最终得到深锥浓密机直径 D 为

$$D = 2\sqrt{\frac{Q\left[(a\varphi_{\rm vd} - 3.6C_0H_0)e^{-ct_x} + b\varphi_{\rm vd}(1-c)\right]}{3.6bc\pi C_0H_0\rho_s\varphi_{\rm vd}}}$$
(15)

式中: *Q* 为浓密机处理量, *t*/h。由图 5 曲线回归得到 *a、b、c* 值分别为 71.9、195.8、-0.036, 初始体积分 数为 5.27%, 初始固液分离界面高度为 260 mm, 计算 得到底流体积分数为 49.8%, 带入式(6)~(15)得浓密机 固体通量随时间变化关系如式(16)所示,浓密机直径*D* 随时间 *t*<sub>x</sub>的变化关系如式(17)所示:

$$G_{\min} = \frac{460.93}{13.52 \mathrm{e}^{0.036t_x} - 101.02} \tag{16}$$

$$D = 2\sqrt{\frac{Q(13.521\mathrm{e}^{0.036t_x} - 101.02)}{1448.07}}$$
(17)

由式(16)知,最小固体通量是关于沉降时间的单 调递减函数,所以在过渡区最后一点,即过渡区与压 缩区交界处固体通量取得最小值,此处取最后一点 *t*=111s,此时最小固体通量为 0.72 t/(h·m<sup>2</sup>);由式(17) 知,在浓密机需求处理量一定的条件下,浓密机直径 是关于沉降时间的递增函数固体通量为时间的单调递 增函数。

#### 3.2 浓密机高度确定

深锥浓密机内竖直方向按固体含量大小可分为澄 清层和泥层。如图 6 所示,泥层又可分为沉降层和压 缩层,随深度的增加,浓度逐渐变大,当增加一定深 度时,变化的幅度逐渐变小,直至固体浓度恒定。

### 1) 澄清层高度

澄清层高度的选择,一般要求保证溢流水的连续 稳定达标排放,避免因生产过程中可能产生的不稳定 因素所造成的跑浆现象。根据矿浆性质及浓密机处理 能力取值,该高度一般取值 1.5~2.0 m。

2) 泥层高度

由动态沉降压密实验,6组实验泥层高度为 89~97 mm,装置直径 100 mm,泥层高度与直径比为 0.89~ 0.97 时,底流浓度 71.3%~74.5%,高径比越大底流浓 度越大,考虑到最佳底流浓度范围为 70.90%~72.55%, 此处高径比取 0.9。



图 6 深锥浓密机高度示意图

**Fig. 6** Schematic diagram of deep cone thickener's height: 1—Clarification layer; 2—Settling layer; 3—Compressed layer

# 4 工程应用

新疆某铜矿依据其充填工艺,浓密机处理能力需 达到 100 t/h,根据式(15)得到其浓密机直径为 13.2 m, 考虑到一定的安全系数最终选取浓密机直径为 14 m, 泥层高度应为 12.6 m,澄清层高度取 1.5 m,浓密机 总高度应为 14.1 m;据此,实际浓密机直径及高度均 为 14 m,现场浓密机如图 7 所示。

试运行生产过程中,深锥浓密机 22 h 连续排料进料运转,并每隔 10 min 自动监测数据,底流浓度随运行时间变化规律如图 8 所示,底流浓度变化范围基本介于 69.5%~72%,满足生产要求。



图 7 现场深锥浓密机

Fig. 7 Deep cone thickener on site





Fig. 8 Curve of underflow concentration with running time

# 5 结论

1) 通过动态沉降浓密实验,得到各搅拌速率下停 留时间 8 h 时均达到极限底流浓度,搅拌速率在 1 r/min 时底流浓度最大为 74.5%,在 0.1 r/min 时最小底 流浓度为 71.3%,底流浓度随搅拌速率变化呈抛物线 规律变化。

2) 基于饱和度和泌水率,得到符合该尾矿的浓密 机底流浓度范围为 70.90%~72.55%,此时最佳搅拌速 率为 0.4 r/min。

3) 基于凯奇沉降模型和供排料平衡理论,建立浓密机直径求解模型,并得到泥层高度与直径比值为0.9时,浓密效果较好。

4) 工程应用表明,依据浓密机直径计算模型和高

度理论分析计算出新疆某铜矿浓密机直径 14 m,高度 为 14 m。浓密机连续运行 22 h 底流浓度变化范围为 69.5%~72%,浓密机运行稳定且满足生产要求。

### REFERENCES

- NASIR O, FALL M. Coupling binder hydration temperature and compressive strength development of underground cemented paste backfill at early ages[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2010, 25(1): 9–20.
- [2] 李公成,王洪江,吴爱祥,于少峰,陈 辉,王晓宁,严庆文. 基于倾斜管实验的膏体自流输送规律[J].中国有色金属学报, 2014,24(12):3122-3168.

LI Gong-cheng, WANG Hong-jiang, WU Ai-xiang, YU Shao-feng, CHEN Hui, WANG Xiao-ning, YAN Qing-wen. Gravity transport law of paste based on inclined pipe experiment[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2014, 24(12): 3122–3168.

- [3] LAKE P, BORIS M E, GOLLAHER T. High density paste thickener in Siberia[C]// RICHARD J, ANDY F. Proceedings of the 13th International Seminar on Paste and Thickened Tailings. Nedlands: Australian Centre For Geomechanics, 2010: 411–419.
- [4] 王 勇, 吴爱祥, 王洪江, 周 勃. 全尾膏体动态压密特性及 其数学模型[J]. 岩土力学, 2014, 35(2): 168-179.
  WANG Yong, WU Ai-xiang, WANG Hong-jiang, ZHOU Bo. Dynamic thickening characteristics and mathematical model of total tailings[J]. Rock and Soil Mechanics, 2014, 35(2): 168-179.
- [5] HUYNNH L, BEATTIE D A, FORNASIERO D. Effect of polyphosphate and naphthalene suffocate formaldehyde condensate on the rheological properties of dewatered tailings and cemented paste backfill[J]. Minerals Engineering, 2006, 19(1): 28–36
- [6] 焦华喆,王洪江,吴爱祥,吉学文,严庆文,李 祥. 全尾砂 絮凝沉降规律及其机理[J]. 北京科技大学学报, 2010, 32(6): 702-707.

JIAO Hua-zhe, WANG Hong-jiang, WU Ai-xiang, JI Xue-wen, YAN Qing-wen, LI Xiang. Rule and mechanism of flocculation sedimentation of unclassified tailings[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2010, 32(6): 702–707.

- [7] GLADMAN B, de KRETSER R G, RUDMAN M, SCALES P J.
   Effect of shear on particulate suspension dewatering[J].
   Chemical Engineering Research & Design, 2005, 83: 1–4.
- [8] RUMAN M, SIMIC K, PATERSON D A, PATERSON D A, STRODE A, BRENT A, SUTALO I D. Raking in gravity thickeners[J]. International Journal of Minerals Processing, 2008,

- [9] 王 勇,王洪江,吴爱祥. 基于高径比的深锥浓密机底流浓 度数学模型[J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(8): 113-117.
  WANG Yong, WANG Hong-jiang, WU Ai-xiang. Mathematical model of deep cone thickener underflow based on the height to diameter ratio[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2011, 33(8): 113-117.
- [10] 吴爱祥,王 勇,王洪江.导水杆数量和排列对尾矿浓密的 影响机理[J].中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(1): 244-248.

WU Ai-xiang, WANG Yong, WANG Hong-jiang. Effect of rake rod number and arrangement on tailings thickening performance[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014, 45(1): 244–248.

- [11] WANG H J, YANG S K, WU A X. Experimental research on consolidation properties of tailings granule in paste discharge[C]// Achievements and Ambitions—Proceedings of the 2nd ISRM International Young Scholars' Symposium on Rock Mechanics. Beijing, 2011: 199–203.
- [12] 湛含辉,杨小生,蔡明华.浓密机中压缩过程及其有关计算[J]. 金属矿山, 1989, 11: 45-48, 62.
  ZHAN Han-hui, YANG Xiao-sheng, CAI Ming-hua. Thickener compression process and its related calculation[J]. Metal Mine, 1989, 11: 45-48, 62.
- [13] 王 卫,刘丛生. 深锥浓密机槽体高度计算方法的研究[J]. 黄金, 2013, 34(7): 44-47.
  WANG Wei, LIU Cong-sheng. Research on the calculation method of tank height of deep-cone thickener[J]. Gold, 2013, 34(7): 44-47.
- [14] LIANG Z, HAN B P, LIU H. Optimum conditions to treat high-concentration micro particle slime water with bio flocculants[J]. Mining Science and Technology (China), 2010,

20(3): 478-484.

- [15] GHESHLAGHI M E, GOHARRIZI A S, SHAHRIVAR A A. Modeling industrial thickener using computational fluid dynamics (CFD), a case study: Tailing thickener in the Sarcheshmeh copper mine[J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2013, 23(6): 885–892.
- [16] 焦华喆,吴爱祥,王洪江,刘晓辉,杨盛凯,肖云涛. 全尾砂 絮凝沉降特性实验研究[J]. 北京科技大学学报, 2011, 33(12): 1437-1441.
  JIAO Hua-zhe, WU Ai-xiang, WANG Hong-jiang, LIU Xiao-hui, YANG Sheng-kai, XIAO Yun-tao. Experiment study on the

flocculation settlement characteristic of unclassified tailings[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2011, 33(12): 1437–1441.

 [17] 王洪江,王 勇,吴爱祥,翟永刚,焦华喆.从饱和率和泌水率角度探讨膏体新定义[J].武汉理工大学学报,2011,33(6): 85-89.

WANG Hong-jiang, WANG Yong, WU Ai-xiang, ZHAI Yong-gang, JIAO Hua-zhe. Research of paste new definition from the view point of saturation ratio and bleeding rate[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2011, 33(6): 85–89.

- [18] 罗 茜. 固液分离[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997: 57-58.
   LUO Qian. Solid-liquid separation[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1997: 57-58.
- [19] 王洪江,陈琴瑞,吴爱祥,翟永刚,张新普. 全尾砂浓密特性 研究及其在浓密机设计中的应用[J]. 北京科技大学学报, 2011, 33(6): 676-681.
   WANG Hong-jiang, CHEN Qin-rui, WU Ai-xiang, ZHAI

Yong-gang, ZHANG Xin-pu. Study on the thickening properties of unclassified tailings and its application to thickener design[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2011, 33(6): 676–681.

# Key parameters determination of deep cone thickener based on dynamical settling and compaction experiments

LI Gong-cheng<sup>1</sup>, WANG Hong-jiang<sup>1</sup>, WU Ai-xiang<sup>1</sup>, GAO Zhi-yong<sup>1</sup>, YANG Xi-xiang<sup>2</sup>, PENG Nai-bing<sup>3</sup>

(1. School of Civil and Resource Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2. Jiashi County Tonghui Mining Co. Ltd., Kashi 844000, China;

3. Steep port (Beijing) Technology Service Co. Ltd., Beijing 101101, China)

**Abstract:** Based on dynamical settling and compaction, the thickening effect of a thickener at different stirring rates of rake was researched. The results show that the underflow concentration of thickener reaches the maximum when the residence time is 8 h at different stirring rates, the underflow concentration increases firstly, then decreases with the stirring rate increasing, which accords with the law of parabola; the maximum underflow concentration of 71.38% is obtained when the stirring rate is 1 r/min, and the minimum underflow concentration of 71.38% is obtained when the stirring rate is 0.1 r/min; the optimum stirring rate which is suitable to the tailings, the optimum underflow concentration is 72.55%. The calculation model and height determining method of thickener are obtained based on a Cage settlement mode and material supplying and discharging theory. The thickener diameter has closely linked to the minimum settlement velocity, the optimum underflow concentration is obtained when the mud layer to diameter of thickener is 0.9. The diameter and height of a thickener are all 14 m through calculating, the field area results show that the underflow concentration keeps stable between 69.5% and 72%, having a good thickening effect. The models can be used as a way to study the key parameters of deep cone thickener.

Key words: dynamical settling and compaction; stirring rate; underflow concentration; diameter; height

Foundation item: Project(51374034) supported by the National Natural Science Foundation of China; Project (Z161100001216002) supported by Beijing Science and Technology Plan, China; Project (2012BAB08B02) supported by the National Science and Technology Pillar Program during the 12th "Five-year" Plan Period, China

Received date: 2016-01-13; Accepted date: 2017-01-09

Corresponding author: WANG Hong-jiang; Tel: +86-15901196527; E-mail: wanghj1988@126.com

(编辑 王 超)