

模型意义

为了研究针对浓密机运转过程中的控制理论，需要构建浓密机动态变化模型，用以对浓密机的真实运行状况进行仿真，辅助控制算法的相关研究。

本篇模型[1]介绍包含变量定义、浓密机动态模型、参考依据三部分。

变量定义

模型输入参数

序号	变量	含义	量纲	论文参考值	补充说明
1	$f_i(t)$	进料泵频	Hz	40	扰动量
2	$f_a(t)$	底流泵频	Hz	85	控制量
3	$f_f(t)$	絮凝剂泵频	Hz	40	控制量
4	$c_i(t)$	进料单位体积含固量	kg/m^3	73	扰动量
5	$h(t)$	当前泥层界面高度	m	1.48	初始值有公式计算（下给），后续输入值由上一时刻计算得出y
6	$c_u(t)$	当前底流单位体积含固量	kg/m^3	680	初始值人为设定，后续输入值由上一时刻计算得出y

工艺参数(人为给定)

注：以下工艺参数相比原文有诸多更改

序号	变量	含义	量纲	论文参考值(为了单位统一，与原论文有区别)	补充说明
1	ρ_s	干砂密度	kg/m^3	4150	无
2	ρ_e	介质表观密度	kg/m^3	1803	无
3	μ_e	悬浮体系的表观粘度	$Pa \cdot s$	2	原文给的0.1，导致例子下沉降速度太快
4	d_0	浓密机进料口处的球形颗粒直径	m	0.00008	原文给的0.0008，阮博士说例子大小为数十 μm 级别
5	p	平均浓度系数	无	0.5	无
6	A	浓密机横截面积	m^2	300.5	原文浓密机直径50m，面积算出来1937.5,还是太大导致例子下沉降速度，改小点
7	k_s	絮凝剂作用系数	s/m^2	0.157	原文为0.36，还是太大导致例子下沉降速度太快，改小点
8	k_i	压缩层浓度系数	无	0.0005*3600	会影响泥层界面高度处的浓度
9	K_i	进料流量与进料泵频的系数	无	50/3600	无
10	K_u	底流流量与底流泵频的系数	无	2/3600	无
11	K_f	絮凝剂流量与絮凝剂泵频的系数	无	0.75/3600	无
12	θ	压缩时间（底流压缩到满足出料要求得液固比所需时间）	s	3000	个人感觉就是粒子在浓密机的停留时间，原文85，小到不能接受

常数(不需要人为给定)

序号	变量	含义	量纲	论文参考值	补充说明
1	g	重力加速度	m/s^2	9.8	无

求解过程中间变量

序号	中间变量	含义	公式	量纲	补充说明
1	$q_i(t)$	进料流量	$q_i(t)=K_i f_i(t)$	m^3/s	无
2	$q_u(t)$	底流流量	$q_u(t)=K_u f_u(t)$	m^3/s	无
3	$q_f(t)$	絮凝剂添加量	$q_f(t)=K_f f_f(t)$	m^3/s	无
4	$d(t)$	絮凝作用后的颗粒直径	$d(t)=k_s q_f(t)+d_0$	m	无
5	$u_t(t)$	颗粒的干涉沉降速度	$u_t(t)=\frac{d^2(t)(\rho_s-\rho_e)g}{18\mu_e}$	m/s	无
6	$u_r(t)$	底流导致的颗粒下沉速度	$u_r(t)=\frac{q_u(t)}{A}$	m/s	无
7	$c_i(t)$	泥层高度处单位体积含固量	$c_i(t)=k_i q_i(t)c_i(t)$	kg/m^3	无
8	$c_a(t)$	泥层界面高度内平均单位体积含固量	$c_a(t)=p\left[c_i(t)+c_u(t)\right]$	kg/m^3	文献4
9	$W(t)$	单位时间内进入浓密机内的固体质量	$W(t)=c_i(t)q_i(t)$	kg/s	无

目标求解参数

1.

底流单位体积含固量变化率 $\dot{c}_u(t)=\frac{dc_u(t)}{dt}$
2.

泥层高度变化率 $\dot{h}(t)=\frac{dh(t)}{dt}$

模型输出参数

1.

底流单位体积含固量 $c_u(t)=c_u(t)+\dot{c}_u(t)\Delta t$
2.

泥层高度 $h(t)=h(t)+\dot{h}(t)\Delta t$

浓密机动态模型

模型假设

1.

进料都是球形颗粒
2.

絮凝剂在浓密机的静态混合器中作用完全；
3.

流体的扩散以固液混合物形式进行；
4.

忽略颗粒间的作用、浓密机中把机中轴的影响、趋齿的运动和空间尺度。

浓密机模型

由文献[3],可求泥层高度初始值与泥层高度与泥层界面内平均单位体积含固量之间的关系：

$$h(t)=\frac{W(t)\theta}{A\rho_s}+\frac{W(t)\theta}{A}\left[r_3(t)\right]\tag{1}$$

式中 $r_3(t)$ ：泥层界面内液固比

$$r_3(t)=\rho_l\left(\frac{1}{ca(t)}-\frac{1}{ps}\right)$$

根据固体守恒定律，泥层平均单位固体质量变化量=泥层高度处单位固体量 * 颗粒下降高度 * 浓密机横截面积 - 底流单位固体变化量。

$$\frac{d[c_a(t)Ah(t)]}{dt}=c_i(t)\left[u_t(t)+u_r(t)\right]A-c_u(t)u_r(t)A\tag{2}$$

等式两边同时约去浓密机横截面积A，得：

$$\frac{d[c_a(t)h(t)]}{dt}=c_i(t)\left[u_t(t)+u_r(t)\right]-c_u(t)u_r(t)\tag{3}$$

又知求导法则：

$$\frac{d[c_a(t)h(t)]}{dt}=c_a(t)\frac{dh(t)}{dt}+h(t)\frac{dc_a(t)}{dt}=c_a(t)\frac{dh(t)}{dt}+h(t)p\frac{dc_u(t)}{dt}\tag{4}$$

目标量微分方程

由式（1）（4）联立可得：

令：

$$a=c_a(t)$$

$$b=h(t)$$

$$c=c_i(t)\left[u_t(t)+u_r(t)\right]-c_u(t)u_r(t)$$

$$d=\frac{W(t)\theta}{Ac_a^2(t)}$$

得：

$$\frac{dh(t)}{dt}=\frac{-dc}{b-ad}$$

$$\frac{dc_a(t)}{dt}=\frac{c}{b-ad}$$

$$\frac{dc_u(t)}{dt}=\frac{c}{p(b-ad)}$$

参考依据

1.

王猛. 矿浆中和沉降分离过程模型软件的研发[D]. 沈阳：东北大学，2011.
2.

Borut Zupancic. Extension software for real-time control system design and implementation with MATLAB–SIMULINK [J]. Simulation Practice and Theory, 1998,6：703 – 719.
3.

唐谟堂. 唐判.湿法冶金设备[M]. 长沙：中南大学出版社，2002，137–149.
4.

Youngchul Kim, Wesley O Pipes. Factors influencing suspended solids concentrations in activated sludge settling tanks [J]. Journal of Hazardous Materials, 1999(B69): 95–109.
5.

Kim B H, Klima M S. Development and Application of a Dynamic Model for Hindered–Settling Column Separations [J]. Minerals engineering, 2004, 17(3): 403–410.
6.

李海波. 赤铁矿混合选别全流程智能控制系统的研究[D]. 沈阳：东北大学，2014.
7.

武成瑞, 贾瑶, 王琳岩. 混合选别过程半实物仿真系统[J]. 工程科学学报, 2017, 39(9):1412–1420.
8.

王琳岩, 李健, 贾瑶, et al. 混合选别浓密过程双速率智能切换控制[J]. 自动化学报, 2018, 44(2).
9.

混合选别浓密机底流矿浆浓度和流量区间智能切换控制方法[J]. 自动化学报, 2014, 40(9):1967–1975.
10.

马鲁铭, 高延耀. 湿法冶金设备[M]. 长沙：中南大学出版社，2001，132–154.
11.

姜志新, 谢志铨. 湿法冶金分离工程[M]. 北京：原子能出版社，1993，121–158
12.

Wang L , Jia Y , Chai T , et al. Dual Rate Adaptive Control for Mixed Separation Thickening Process Using Compensation Signal Based Approach[J]. IEEE Transactions on Industrial Electron, 17, PP(99):1–1.