

轻质分散相水力旋流器的分割尺寸

赵庆国¹, 刘相东²

(1. 北京工业大学环境与能源工程学院, 北京 100022; 2 中国农业大学机械工程学院, 北京 100083)

摘要: 轻质分散相水力旋流器在食用油的提炼、奶品脱脂、果汁浓缩等农副产品加工以及废水回用于农田水利的过程中有着广泛的应用前景。该文根据旋流器的分离效率模型计算并关联了轻质分散相水力旋流器的分割尺寸 d_{50} , 可作为衡量旋流器分离能力的标志。得到的结果可适用于不同的流体流量、不同的分流比、不同的流体物性参数以及不同尺寸关系的旋流器。根据计算结果, 分流比对分割尺寸的影响比较小, 半锥角、溢流口尺寸与底流口尺寸对分割尺寸的影响比较大。旋流器大小、流体的流量以及物性参数对旋流器分割尺寸的影响比较直接, 当旋流器尺寸 R_0 、流量以及物性参数变化时, 分割尺寸的改变遵循旋流器数不变的规律。由于分割尺寸与 R_0 的平方根成正比, 所以旋流器尺寸越小, 分割尺寸也越小, 因此旋流器的分离能力也就越大。

关键词: 水力旋流器; 分割尺寸; 旋流器数; 理论预测

中图分类号: TQ 028.4⁺6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)04-0049-05

1 引言

桔油的提炼过程中需要进行油水分离, 豆油、菜籽油等各种食用油的精练过程中也都需要将油与固体混渣进行分离, 脱脂奶的生产过程中需要将油脂与奶水进行分离, 在城镇生活污水回用于农田水利的过程中也需要首先将其中的油污或其它类污染物进行分离, 所有这些都属于两相或多相不溶性混合物的分离过程。传统的两相液液或固液混合物的分离采用的是重力沉淀或浮上的方法, 这种分离方法不仅分离效率低、需要预先留出因可能的处理量的波动而增加的处理能力, 而且分离设备需要占用大量的空间。离心机虽然分离效率比较高, 然而其动力消耗大、处理能力小、需要间歇性卸料或清洗的特点也不适用于长期的连续性分离过程。在分散相液滴或固相颗粒为几至 200 μm 的范围内, 水力旋流器是一种经济、高效的分离设备, 分离效率高、占用空间小、设备投资少并适合于连续性生产。根据处理液中分散相的密度是大于还是小于连续相的密度, 水力旋流器分为重质分散相旋流器 (heavy dispersion hydrocyclone) 和轻质分散相旋流器 (light dispersion hydrocyclone) 两大类^[1], 一般, 在用旋流器进行两相液液或固液混合物的分离时, 需要用第一级旋流器进行预分离, 然后在第二级分离中同时将连续相液体进行进一步的分离 (澄清) 以及将预分离过程中分离出来的分散相的液体或固体进一步脱除液体 (浓缩), 因此常见的旋流器分离工艺中一般都同时包括轻质分散相旋流器与重质分散相旋流器。目前在淀粉的分离^[2,3]、油水分离^[4,5]、果汁的浓缩^[6]以及污水处理^[7]中已经出现大量的旋流器方面的应用报道。

旋流器的分离效率与分散相颗粒的大小密切相关,

为了简洁地对比不同旋流器对被处理物料的分离能力, 规定分离效率为 50% 时对应的单一分散相的颗粒尺寸为分割尺寸, 简记为 d_{50} 。分割尺寸的大小可以作为对比不同旋流器的分离能力的一个标志数据, 分割尺寸越小表示这个旋流器的分离能力越高。目前人们对重质分散相旋流器的分割尺寸研究得比较多, 由于液液旋流器的研究工作起步较晚, 有关液液旋流器的分割尺寸方面的研究鲜有报道, 目前唯一可以追踪的与液液水力旋流器分割尺寸相关的数据来源于 M. T. Thew 等对于实验数据的拟合结果^[5,8], 其中他们使用了 d_{75} 的概念 (分离效率为 75% 时对应的分散相粒度)。但当旋流器的结构尺寸之间的比例关系与 Thew 的旋流器不一致时, 人们就缺乏对比不同轻质分散相旋流器分割尺寸的方法。

前文^[9,10]给出了单锥水力旋流器的迁移率计算模型, 并且根据 Thew 对实验数据的回归结果证实计算方法能获得可靠的迁移率数据。在此基础上, 如果已知旋流器结构参数、流体物性参数、操作条件以及确定的分离效率即可计算出相对应的分散相粒度的大小, 因此可以得到旋流器的分割尺寸 d_{50} 。

必须说明的是, 由于前文中的迁移率计算模型中只限定是分离轻质分散相的旋流器, 而没有对旋流器的结构尺寸进行简化, 因此可用来计算不同结构尺寸轻质分散相旋流器的分割尺寸。又由于在计算模型中并没有限定轻质分散相是固体颗粒或液滴, 因此计算结果等同地适用于轻质分散相的液液分离或固液分离过程。

2 单锥旋流器迁移率分析与无因次数组方法

球坐标系与柱坐标系中的坐标以及单锥旋流器中计算用结构参数分别表示于图 1 和图 2。为了便于说明, 现将前文中得到的有关流场及迁移率计算的公式列出如下^[2]:

内流场部分

$$\varphi = \sigma^2 \{ [K - \ln(\tan(\theta/2))] \sin^2\theta - (1 - \cos\theta) \} - D(1 - \cos\theta) \quad (1)$$

其中

收稿日期: 2002-11-07 修订日期: 2003-02-15

基金项目: 北京市自然科学基金 (8032006) 资助

作者简介: 赵庆国 (1962-), 男, 汉族, 博士, 副教授, 从事水力旋流器分离技术方面的研究工作。北京市 北京工业大学环境与能源工程学院, 100022



$$K = \frac{1}{1 + \cos\alpha} + \ln[\tan(\alpha/2)] \quad (2a)$$

$$D = \frac{1 - F}{1 - \cos\alpha} \quad (2b)$$

$$\sigma = \frac{D}{\gamma_m^2 (1 + \cos\theta) \ln[\tan(\alpha/2)/\tan(\theta/2)]} \quad (3)$$

其中 φ 为以 $Q/2\pi$ 为基准的无因次流函数, $\gamma = \rho/R_0$ 为无因次坐标, $\gamma_u = \sqrt{z_u^2 + r_0^2}/R_0 = \sqrt{\zeta + \eta}$, $\zeta = z_u/R_0 = r_u/(R_0 \tan\alpha) = \eta/\tan\alpha$, $\eta = r_0/R_0$, $\eta_u = r_u/R_0$, $\theta = \arctan(r_0/z_u) = \arctan(\eta/\zeta)$ 。

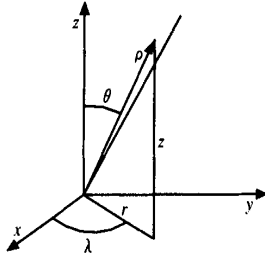


图1 球坐标系 (ρ, θ, λ) 与柱坐标系 (r, λ, z)

Fig 1 Spherical coordinate system (ρ, θ, λ) and cylindrical coordinate system (r, λ, z)

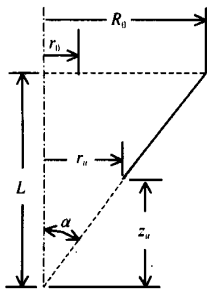


图2 单锥旋流器计算用结构参数

Fig 2 Fundamental structural parameters of single-cone hydrocyclones

柱坐标系下以 $vel = Q/2\pi R_0^2$ 为基准对各流速分量进行无因次化后得到的的无因次流速分量分别为

$$\text{径向 } u = -2\sigma \frac{1 - \cos\theta}{\sin\theta} - \frac{D}{\gamma^2} \sin\theta \quad (4)$$

$$\text{轴向 } w = 2\sigma[K - 1 - \ln(\tan(\theta/2))] - \frac{D}{\gamma^2} \cos\theta \quad (5)$$

$$\text{切向 } v = \frac{\sqrt{(V/vel)^2 + 2\sigma[\varphi + (1 - F)]}}{\gamma \sin\theta} \quad (6)$$

分散相液滴的流速

$$\text{径向 } u_d = u + st \cdot vel \cdot \frac{d^2}{r} v_d^2 = u + H_y \left(\frac{d}{d_{50}} \right)^2 \left(\frac{1}{\eta} \right) v_d^2 \quad (7)$$

$$\text{轴向 } w_d = w \quad (8)$$

$$\text{切向 } v_d = v \quad (9)$$

其中 $st = (\rho_c - \rho_d)$ 为物性参数的组合参数, η 为柱坐标系中的无因次径向坐标, $\eta = r/R_0$; $H_y = st \cdot vel \frac{d_{50}^2}{R_0} =$

$$\frac{Q(\rho_c - \rho_d)d_{50}^2}{36\pi\mu R_0^3}$$

为本文中定义的旋流器数。

迁移率计算部分

$$\text{运动轨迹方程 } \frac{dz}{dr} = \frac{d\zeta}{d\eta} = \frac{w_d}{u_d} \quad (10)$$

迁移率的计算过程如下:

a 首先根据(1) ~ (3) 式在锥顶部截面计算满足 $\mathcal{Q}r = r_i, z = R_0/\tan\alpha = F$ 的径向距离坐标 r_i ;

b 根据 r_i 来计算 w , 则 w 满足: $w = \frac{Q}{\pi(R_0^2 - r_i^2)}$ 则

c 根据 $\sigma = -\frac{1TR_0^2 V^2}{QW}$ 来确定 V , 则

$$V = \sqrt{-\frac{\sigma V Q}{TR_0^2}} = \sqrt{-2\sigma w vel} = 2vel \sqrt{\sigma \left[1 - \left(\frac{r_i}{R_0} \right)^2 \right]} \quad (11)$$

d 利用(4) ~ (9) 式, 对任一直径为 d 的液滴, 根据(10) 式计算分散相流体的轨迹, 计算起点从 $(r = r_0, z = z_u)$ 开始, 可计算分散相流体质点在 $z = L$ 截面的径向坐标 r_n , 则分离效率为

$$\epsilon = \mathcal{Q}r = r_i, z = L) - \mathcal{Q}r = r_n, z = L) = F - \mathcal{Q}_n \quad (12)$$

折算分离效率为

$$\epsilon = \frac{\epsilon - F}{1 - F} = -\frac{\mathcal{Q}_n}{1 - F}$$

改变液滴直径 d , 重复上面的计算过程, 即可得到迁移率或折算迁移率曲线。

根据(2b) 及(3) 式可知

$$\sigma = \sigma(F, \alpha, \gamma_u, \theta) \quad (13)$$

根据(1) ~ (9) 式及(13) 式, 知

$$\varphi = \varphi(F, \alpha, \gamma_u, \theta, \gamma, \theta) \quad (14)$$

$$u = u(F, \alpha, \gamma_u, \theta, \gamma, \theta) \quad (15)$$

$$v = v(F, \alpha, \gamma_u, \theta, \gamma, \theta) \quad (16)$$

$$w = w(F, \alpha, \gamma_u, \theta, \gamma, \theta) \quad (17)$$

$$u_d = u_d(F, \alpha, \gamma_u, \theta, H_y, d/d_{50}, \gamma, \theta, \eta) \quad (18)$$

$$v_d = v_d(F, \alpha, \gamma_u, \theta, \gamma, \theta) \quad (19)$$

$$w_d = w_d(F, \alpha, \gamma_u, \theta, \gamma, \theta) \quad (20)$$

$$r_i = r_i(F, \alpha, \gamma_u, \theta) \quad (21)$$

$$r_n = r_n(F, \alpha, \gamma_u, \theta) \quad (22)$$

从(10) 式 (18) ~ (22) 式可知,

$$\epsilon = \epsilon(F, \alpha, \gamma_u, \theta, H_y, d/d_{50}) \quad (22a)$$

$$\epsilon = \epsilon(F, \alpha, \gamma_u, \theta, H_y, d/d_{50}) \quad (22b)$$

从(22a) 和(22b) 所表示的无因次参数之间的关系可知, 如果用单一分散相粒度下的(折算) 分离效率与无因次分散相粒度 d/d_{50} 之间的关系来表示(折算) 迁移率, 则(折算) 迁移率将只取决于 $F, \alpha, H_y, \gamma_u, \theta$ 等参数。其中流体流量、流体物性参数以及分割尺寸的影响包含在旋流器数 H_y 中。由于流体流量与流体物性参数是已知参数, 在计算时只要确定了分割尺寸 d_{50} 就可以得到旋流器数。换言之, 只要我们已知任意条件下的旋流器数, 也就可以知道该条件下的分割尺寸 d_{50} 了。根据(22b) 式, 旋流器数将只与 $F, \alpha, \gamma_u, \theta$ 4 个参数((22b) 式

中 $\epsilon = 50\%$, $d/d_{50} = 1$) 有关。

3 操作参数与流体物性参数对分割尺寸的影响

旋流器数 $H_y = \frac{Q(\rho_c - \rho_l)d_{50}^2}{36\pi\mu R_0^3}$, 根据(22b) 式及上面的分析, 只要我们关联出旋流器数与 F 、 α 、 γ_n 、 θ 四个参数之间的关系, 有可以获得任意条件下的分割尺寸 d_{50} , 其中操作参数中只有分流比 F 为影响参数, 而 α 、 γ_n 、 θ 均为结构参数。计算分流比对分割尺寸的影响时取底流口半径: $r_u = 8.75\text{mm}$, 溢流口半径 $r_o = 3\text{mm}$, 半锥角 $\alpha = 0.75^\circ$; 锥顶半径 $R_0 = 17.5\text{mm}$, 流量 $Q = 2 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$, 物性组合参数 $s_r = (1010 - 865.4)/(18 \times 66610^{-4}) = 1.20500 \times 10^4 (\text{s}/\text{m}^2)$, 则分割尺寸与分流比之间的关系见图 3 所示, 其中分割尺寸 d_{50} 随分流比的增加稍有增加, 说明随着分流比的增加, 旋流器的实际分离能力有所下降, 但增加的幅度非常小, 至少在 $F < 28.6\%$ 时, 分割尺寸的变化不足 $3\mu\text{m}$, 因此分流比对旋流器分离能力的影响不是很大。图中的连线为拟合曲线, 拟合结果为

$$d_{50} = 795.266F^4 - 361.500F^3 + 64.5123F^2 + 2.69614F + 9.76363(\mu) \quad (23)$$

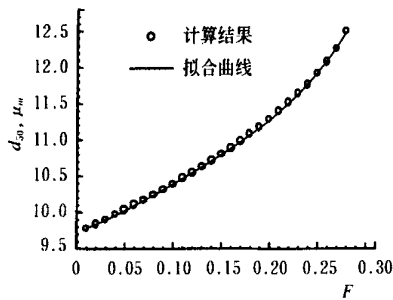


图 3 d_{50} 与分流比之间的关系

$r_u = 8.75\text{mm}$, $r_o = 3\text{mm}$, $\alpha = 0.75^\circ$
Fig. 3 Cut size d_{50} versus split ratio for $r_u = 8.75\text{mm}$, $r_o = 3\text{mm}$ and $\alpha = 0.75^\circ$

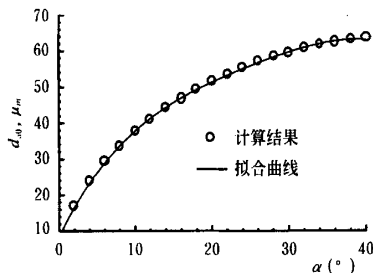


图 4 分割尺寸 d_{50} 与半锥角 α 之间的关系

Fig. 4 Cut size d_{50} versus semi cone-angle α

4 旋流器结构参数对迁移率的影响

影响分割尺寸的旋流器结构尺寸中包括 α 、 γ_n 、 θ 三个参数, 其中 γ_n 和 θ 两个参数为球坐标系中的参数, 它们对分割尺寸的影响也可以用柱坐标系中的参数 $\eta =$

$R \propto \eta = r_u/R_0$ 来表示, 因此在考察旋流器结构参数对分割尺寸的影响时, 只需研究 α 、 η_u 、 η_o 的影响即可。

4.1 半锥角 α 对分割尺寸的影响

当其他参数不变而只增大锥角时, 锥体部分的高度减小, 流体在旋流器内的停留时间减小, 分离效率必然降低, 分割尺寸 d_{50} 也必然增大。下面计算所依据的参数为 $Q = 2 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$, $s_r = 1.2051 \times 10^4 \text{s}/\text{m}^2$, $F = 10\%$, $R_0 = 17.5\text{mm}$, $\eta_u = 0.5$, $\eta_o = 0.1714$ 。计算与拟合结果见图 4 所示, 其中分割尺寸 d_{50} 与半锥角 α 之间的关系可以表示为

$$d_{50} = -4.45155 \times 10^{-5}\alpha^4 + 4.46216 \times 10^{-3}\alpha^3 - 0.182062\alpha^2 + 4.35500\alpha + 8.48062 \quad (24)$$

$0.5^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$

同时考虑分流比与半锥角的影响, 可将(23) 式与(24) 式合并为

$$d_{50} = 0.0858640c_F c_\alpha$$

其中

$$c_F = 795.266F^4 - 361.500F^3 + 64.5123F^2 + 2.69614F + 9.76363$$

$$c_\alpha = -4.45155 \times 10^{-5}\alpha^4 + 4.46216 \times 10^{-3}\alpha^3 - 0.182062\alpha^2 + 4.35500\alpha + 8.48062 \quad (25)$$

4.2 底流口尺寸 $\eta_u (= r_u/R_0)$ 对分割尺寸的影响

底流口尺寸越大, 从溢流口排出的分散相越少, 分离效率越低, 反映在分割尺寸上则是 d_{50} 随底流口的增加而增加。图 5 所示为分割尺寸 d_{50} 随底流口尺寸的变化情况, 其变化关系和表示成

$$d_{50} = 137.418\eta_u - 71.9315\eta_u^2 + 11.9604 \quad (26)$$

$0.4 \leq \eta_u \leq 0.62857$

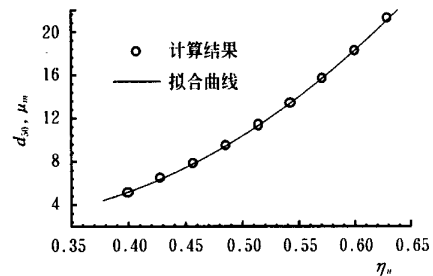


图 5 分割尺寸 d_{50} 随底流口尺寸的变化: $F = 10\%$

Fig. 5 Cut size d_{50} versus underflow size η_u at $F = 10\%$

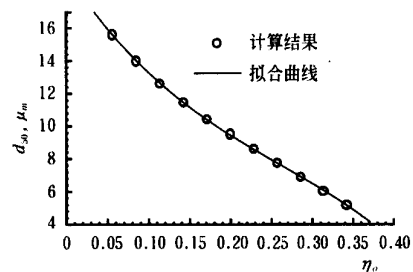


图 6 分割尺寸 d_{50} 随溢流口尺寸的变化: $F = 10\%$

Fig. 6 Cut size d_{50} versus overflow size η_o at $F = 10\%$

4.3 溢流口尺寸 η 对分割尺寸的影响

分割尺寸随溢流口尺寸的趋势与随底流口变化的趋势正好相反,即分割尺寸随溢流口的增加而减少,见图 6 所示,用最小二乘法拟合的曲线关系可表示成

$$d_{50} = -238.952\eta + 187.919\eta - 78.0074\eta + 19.4179 - 0.05714\eta - 0.34286 \quad (27)$$

4.4 汇总

根据前面的计算结果,将所有的影响因素同时归入分割尺寸的计算式,由(25)~(27)式可得

$$d_{50} = 8.00531 \times 10^{-4} c_F c_{\alpha} c_u c_o (\mu\text{m}) = 8.00531 \times 10^{-10} c_F c_{\alpha} c_u c_o (\text{m})$$

其中

$$c_F = 795.266F^4 - 361.500F^3 + 64.5123F^2 + 2.69614F + 9.76363$$

$$c_{\alpha} = 4.45155 \times 10^{-5} \alpha^4 + 4.46216 \times 10^{-3} \alpha^3 - 0.182062 \alpha^2 + 4.35500 \alpha + 8.48062$$

$$c_u = 137.418\eta - 71.9315\eta + 11.9604$$

$$c_o = -238.952\eta + 187.919\eta - 78.0074\eta + 19.4179$$

根据本文计算时所依据的参数, $vel = \frac{2 \times 10^{-3}}{2\pi \times 0.0175^2} = 1.03938 \text{ m/s}$, $st = 1.20500 \times 10^4 \text{ s/m}^2$, $R_0 = 0.0175 \text{ m}$, 则轻质分散相水力旋流器的分割尺寸可用旋流器数表示为

$$H_y = \frac{Q(\rho_c - \rho_d)d_{50}^2}{36\pi\mu R_0^3} = vel \cdot st \cdot \frac{d_{50}^2}{R_0} = 1.03938 \times 1.20500 \times 10^4 \times \frac{(8.00531 \times 10^{-4})^2}{0.0175} (c_F c_{\alpha} c_u c_o)^2 = 0.458648 (c_F c_{\alpha} c_u c_o)^2 \quad (28)$$

(28) 式可用来计算轻质分散相水力旋流器的分割尺寸,适用于液液分离过程以及固液分离过程,其适用范围为: $F: 0.286, 0.5^\circ; \alpha: 40^\circ, 0.4; \eta: 0.62857, 0.05714; \eta: 0.34286$, 物性参数不限,流量范围只要在高效率操作区上限以下即可。

5 结 语

根据前面的计算与关联结果,可以计算不同的流速、流体物性参数、分流比、半锥角、底流口尺寸与溢流口尺寸下轻质分散相水力旋流器的分割尺寸。由于分割尺寸的大小表示了水力旋流器的分离能力的大小,因此本文的结果为比较不同操作条件、不同流体物性以及不同结构尺寸的旋流器的分离能力提供了一条切实可行的办法。

现有文献中,虽然 Thew 的关联结果中^[1]给出了 d_{75} (分离效率为 75% 时对应的分散相尺寸) 的计算方法,但由于其关联结果只适用于特定比例尺寸的旋流器,因此其关联时不具有普遍适用性,而本文的结果则适用于结构尺寸为各种比例关系的旋流器。

从图 3~6 可知,分流比对分割尺寸的影响相对较小,而半锥角、底流口尺寸与溢流口对分割尺寸的影响很大。由(28)式可知,在分流比与结构尺寸一定的条件下,旋流器大小(表现为 R_0 的大小)、流量以及流体物性

参数的改变对分割尺寸的影响非常直接,其变化关系遵循旋流器数不变的原则。由于分割尺寸与水力旋流器尺寸 R_0 的平方根成正比,因此旋流器尺寸越小,分割尺寸越小,旋流器的分离能力就越大。

符号说明

- D 积分系数, $D = (1 - F)/(1 - \cos\theta)$
- d 分散相颗粒直径, m
- d_{50} 折算分离效率为 50% 时分散相的颗粒直径, m
- F 分流比, 为溢流口流体占进口流体的体积分率
- K 系数, $K = 1/(1 + \cos\theta) + \ln[\tan(\theta/2)]$
- L 柱坐标系中锥顶截面处的轴向坐标, m
- MP 分离效率 ϵ 与分散相颗粒直径 d 或 d/d_{50} 的关系
- MP 折算迁移率, $MP = (MP - F)/(1 - F)$
- Q 流量, m^3/s
- R_0 锥顶部的旋流器半径, m
- r 柱坐标系径向坐标, m
- r_i 锥顶截面假想流体环的内半径, m
- r_n 从溢流口、底流口离开旋流器各有 50% 几率的分散相颗粒在锥顶截面处的径向坐标, m
- r_o 溢流口半径, m
- r_u 底流口半径, m
- st 流体物性参数数组, $st = (\rho_c - \rho_d)/18\mu, \text{s/m}^2$
- u 以 vel 为基准的径向无因次流速, m/s
- V 进口截面的最大切向流速, m/s
- v 以 vel 为基准的切向无因次流速, m/s
- vel 平均流速, $vel = Q/(2\pi R_0^2), \text{m/s}$
- W 进口截面平均轴向流速, m/s
- w 以 vel 为基准的轴向无因次流速, m/s
- z 轴向坐标, m
- z_u 锥段与底流口连接处轴向坐标, $z_u = r_u/\tan\alpha, \text{m}$

希腊符号

- α 锥段半锥角, rad
- ϵ 分离效率: 溢流口流出的分散相占进口分散相的体积分率
- ϵ 折算分离效率, $\epsilon = (\epsilon - F)/(1 - F)$
- \mathcal{Y} 球坐标系无因次坐标, $\mathcal{Y} = \rho/R_0$
- \mathcal{Y}_u 球坐标系无因次直径, 在 $r = r_o, z = z_u$ 点的 \mathcal{Y} 值
- η 无因次径向坐标, $\eta = r/R_0$
- η_i 溢流口无因次半径, $\eta_i = r_o/R_0$
- η_u 溢流口无因次半径, $\eta_u = r_u/R_0$
- \mathcal{Q} 以 $Q/(2\pi)$ 为基准的无因次流函数
- \mathcal{Q}_n 从溢流口、底流口离开旋流器各有 50% 几率的分散相颗粒在锥顶截面处的流函数, m
- λ 球坐标系中的方位角, rad
- μ 连续相流体的动力粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$
- θ 球坐标系中的经向角, rad
- θ_u $r = r_o, z = z_u$ 时的 θ 值
- ρ 球坐标系径向坐标, m
- ρ_c 连续相流体密度, kg/m^3
- ρ_d 分散相密度, kg/m^3
- σ 系数, 见方程(3)
- ζ 无因次轴向坐标, $\zeta = z/R_0$
- ζ_u 无因次轴向坐标, $\zeta_u = z_u/R_0$



[参 考 文 献]

- [1] 赵庆国 液液水力旋流器的迁移率特性及其预测[J] 北京: 石油大学, 2000
- [2] 李树君, 林亚玲, 李里特, 等. 单级水力旋流器分离马铃薯淀粉的数学模型[J] 农业机械学报, 2002, 33(3): 56~ 59
- [3] 李树君, 林亚玲, 李里特, 等. 马铃薯淀粉全旋流分离系统计算机模拟[J] 农业机械学报, 2002, 33(3): 60~ 62
- [4] Colman D A, Thew M T, Corney D R. Hydrocyclones for oil/water separation[C]. Paper 11, presented at International Conference on Hydrocyclones, 1980, 143~ 166 Cambridge: BHRA Fluid Engineering
- [5] Colman D A, Thew M T. Correlation of separation results from light dispersion hydrocyclones[J]. Chem Eng Res Des, 1983, 61: 233~ 240
- [6] Meza-Velasquez F, Ortega-Rivas E, Olivares-Vargas R. Removal of suspended particles by hydrocyclones in apple juice processing[C]. Hydrocyclone'96, 173~ 181, ed by Claxton D, Svarovsky L and Thew M. Bury St Edmunds: Mechanical Engineering Publications Limited
- [7] 李自力, 訾毅东. 旋流器对电脱盐装置含油污水的处理[J] 化工机械, 2000, 27(4): 225~ 227.
- [8] Nezhati K, Thew M T. Aspects of the performance and scaling of hydrocyclones for use with light dispersions [E]. 3rd International Conference on Hydrocyclones 167 ~ 180 Oxford: BHRA Fluid Engineering
- [9] Zhao Qingguo, Chong-Fang M A. Theoretical predictions of migration probabilities of liquid-liquid hydrocyclones separating light dispersions[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2002, 10(2): 183~ 189
- [10] 赵庆国, 刘相东, 薛敦松. 操作参数和流体物性参数对水力旋流器的迁移率的影响[J]. 高校化学工程学报, 2001, 15(4): 328~ 332

Theoretical prediction of the cut size of hydrocyclones separating light dispersions

Zhao Qingguo¹, Liu Xiangdong²

(1. College of Environmental & Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2. Engineering College, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract Light dispersion hydrocyclones can find their wide applications in the agricultural product processing such as abstraction of edible oil, degreasing milk, concentration of fruit juice, etc and in the process of recovery of irrigating water from town wastewater. Based on the previously developed migration probability model for single-cone light dispersion hydrocyclones, the cut size d_{50} was theoretically predicted and correlated to the hydrocyclone number. The results can be used to compare the separating capacities of different hydrocyclones with different structural parameters under different split ratios, flow rates and fluid properties. It is indicated that the split ratio has a relative small effect on the cutting size while the semi-cone angle and sizes of overflow and underflow orifices have very large effects. The hydrocyclone radius R_0 , the flow rate and the fluid properties affect the cut size d_{50} in such a way that the hydrocyclone number will keep constant when these parameters vary. The separating capacity of a hydrocyclone will increase with decreasing R_0 as the cut size is proportional to the square root of R_0 .

Key words: hydrocyclone; cut size; hydrocyclone number; theoretical prediction