

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.09.019

# 大型胶乳碟式分离机的主要参数设计\*

吕丽珍,陶渊卿,章伟达,杨晓军  
(浙江轻机实业有限公司,浙江 杭州 311401)

**摘要:**为了提高胶乳碟式分离机的离心浓缩处理量至 650 kg/h,延长每一循环分离时间至 2.5 h~3 h,对大型胶乳碟式分离机转鼓部件的主要参数等进行了研究,对转鼓部件主要零件的强度进行了有限元计算及评定。通过计算、选择,确定了大型胶乳碟式分离机转鼓部件的主要参数,同时利用 LX-460 的实际运行参数及处理量、产量的结果,推导出了大型胶乳碟式分离机的处理量。研究表明,该大型胶乳碟式分离机的处理量达到 650 kg/h~700 kg/h,每一循环分离时间达到 2.5 h~3 h,整个分离循环时间内浓缩胶乳的橡胶含量、胶清的橡胶含量稳定,实际运行达到了预期的效果。

**关键词:**转鼓直径;转鼓转速;碟片半径;碟片中性层;处理量

中图分类号:TH122;TQ051.8

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)09-0985-04

## Design of the main parameters for large latex disc-separator

LV Li-zhen,TAO Yuan-qing,ZHANG Wei-da,YANG Xiao-jun  
(Zhengjiang Qingji Industry Co.,Ltd.,Hangzhou 311401,China)

**Abstract:** In order to increase the centrifugal concentration processing capacity to 650 kg/h and prolong the separation time of each cycle to 2.5 hours-3 hours, the main parameters of bowl parts for large latex disc-separator were studied. The strength of the main parts of the bowl parts was calculated and evaluated by finite element. The main parameters were determined through calculation and selection. The processing capacity of large latex disc separator was deduced by the actual operating parameter and processing capacity of LX-460. The results indicate that the processing capacity reaches 650 kg/h-700 kg/h and separation time of each cycle reaches 2.5 hours-3 hours, the rubber content of concentrated latex and skim latex are stable during the whole separation cycle time, which meet the new requirement of users.

**Key words:** bowl diameter;bowl rotate speed;radius of disc;disc central layer;processing capacity

## 0 引言

胶乳浓缩方法主要有离心法、膏化法、蒸发法<sup>[1]</sup>,但在各种浓缩天然胶乳的生产方法中,以离心浓缩法最多。

在离心浓缩分离过程中,随着分离时间延长,天然胶乳沉积的杂质和凝胶会越来越多,甚至会堵塞喇叭管,导致新鲜胶乳不能再流入离心机,而从溢流口流出,致使离心分离过程停滞<sup>[2]</sup>。目前,采用的人工排渣型碟式分离机,在每一循环分离结束后,要将进料

桶、收集盖等移去,打开转鼓部件,人工去除转鼓内的固相杂质和喇叭胶,并对转鼓内的零件进行清洗。因此,如何提高离心浓缩单位时间内处理量,以及延长离心浓缩每一循环分离时间,这是分离机制造公司和分离机浓缩天然胶乳用户最关心的问题。

目前,国内在用的胶乳碟式分离机型号主要有 LX-460 及 LX-560 等,处理量均在 500 kg/h 以下,循环分离时间在 2 h~2.5 h。

本研究将通过相关参数设计,把分离机的处理量值提升至 650 kg/h 左右,循环时间提升至 2.5 h~3 h。

收稿日期:2019-05-22

基金项目:国家火炬计划资助项目(2010GH040951);科技部科技型中小企业技术创业基金资助项目(12C26213302837)

作者简介:吕丽珍(1970-),女,浙江东阳人,高级工程师,主要从事分离机械方面的研究。E-mail:zqjllz@163.com

# 1 离心法的工艺流程及工作原理

## 1.1 离心浓缩法的工艺流程

经前期工艺处理后,从橡胶树上割下的天然胶乳在进入碟式分离机时,橡胶含量(质量分数)在 30% 左右。天然胶乳经碟式分离机分离获得两组液体和一组固体。一组液体是橡胶含量(质量分数)不小于 60% 和少量非橡胶成分的浓缩天然胶乳,另一组液体是橡胶含量(质量分数)约 5% 左右和部分非橡胶成分的胶清,固体为杂质。

天然胶乳离心浓缩一般工艺流程如图 1 所示。

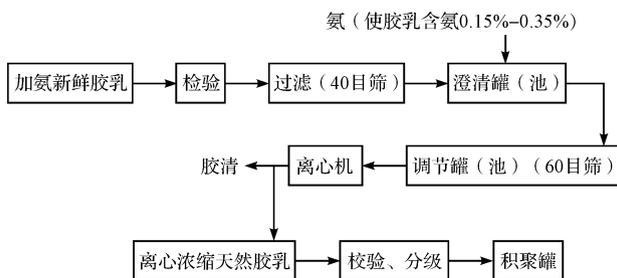


图 1 天然胶乳浓缩工艺流程图

## 1.2 工作原理

胶乳碟式分离机工作原理如图 2 所示。

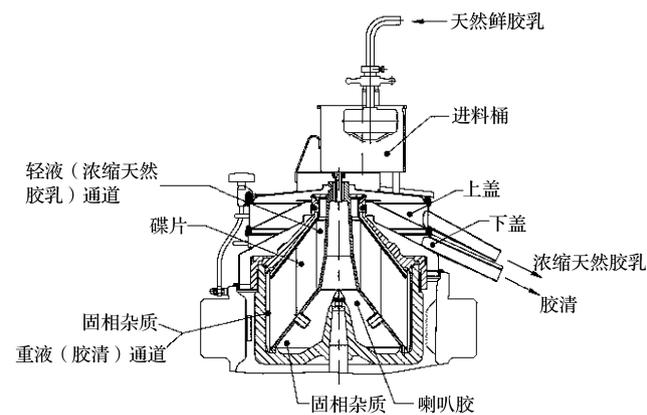


图 2 胶乳碟式分离机工作原理图

图 2 中,经前期工艺处理的天然鲜胶乳依靠重力自流进入胶乳碟式分离机的转鼓部件,该转鼓部件则依靠一组碟片,形成液流的分离通道,通过高速旋转产生的离心力,使鲜胶乳料液中不同比重且互不相容的胶乳、水及细小固体杂质获得不同的离心力,从而在转鼓部件内产生分层,并分离开来。

浓缩天然胶乳由上盖漏口自流至浓胶集料槽,胶清则由下盖漏口自由流至胶清集料槽内,固相杂质和喇叭胶积聚在转鼓内。清除固相杂质和喇叭胶是在分离机运转一个循环分离时间后,停机拆洗转鼓部件时

进行,可用刮刀来清理附着在转鼓内的固相杂质。

## 2 转鼓部件的主要参数设计

液-液或液-液-固分离的碟式分离机处理量是指,满足离心分离要求时,通过碟式分离机的乳浊液流量。

离心分离的产量按  $Q_L$  轻液区( $r_{\text{中}} \sim r_{\text{min}}$ ) 和  $Q_h$  重液区( $r_{\text{max}} \sim r_{\text{中}}$ ) 来区分,计算原理图如图 3 所示。

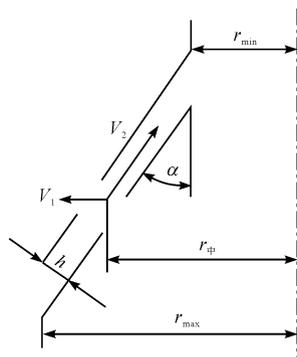


图 3 碟式分离机产量计算原理图

产量计算公式为<sup>[3]</sup>:

$$(1) \text{ 轻液区: } Q_L = \frac{\pi d_{\text{ch}}^2 \Delta Z \omega^2 (r_{\text{中}}^3 - r_{\text{min}}^3)}{27 \mu_L \text{tg} \alpha} \quad (1)$$

$$(2) \text{ 重液区: } Q_h = \frac{\pi d_{\text{cl}}^2 \Delta Z \omega^2 (r_{\text{max}}^3 - r_{\text{中}}^3)}{27 \mu_h \text{tg} \alpha} \quad (2)$$

式中: $d_{\text{ch}}$ —轻液中重组分质点的临界直径; $d_{\text{cl}}$ —重液中轻组分质点的临界直径; $r_{\text{中}}$ —中性层半径; $r_{\text{min}}$ —碟片小端半径; $r_{\text{max}}$ —碟片大端半径; $\mu_L$ —轻液动力粘度; $\mu_h$ —重液动力粘度; $\Delta$ —轻相、重相的密度差; $\omega$ —转鼓旋转角速度; $\alpha$ —碟片半锥角; $Z$ —碟片数量。

如分离要求重相液体纯度高时,分离机产量可按  $Q_h$  计算;要求轻相液体纯度高时,分离机产量可按  $Q_L$  计算。两式可归并为:

$$Q = \beta V_g \sum \quad (3)$$

式中: $\beta$ —效率系数; $V_g$ —在重力场中,粒子的沉降速度; $\sum$ —当量沉降面积。

当量沉降面积计算公式如下:

$$(1) \text{ 轻液区: } \sum_L = \frac{2\pi Z \omega^2 (r_{\text{中}}^3 - r_{\text{min}}^3)}{3\text{gtan}\alpha} \quad (4)$$

$$(2) \text{ 重液区: } \sum_h = \frac{2\pi Z \omega^2 (r_{\text{max}}^3 - r_{\text{中}}^3)}{3\text{gtan}\alpha} \quad (5)$$

式中: $\sum_L$ ,  $\sum_h$ —轻液区、重液区当量沉降面积。

在胶乳碟式分离机上,由于产量是按轻液  $Q_L$  计算的,从式(4)可以看出:产量  $Q_L$  与碟片数量  $Z$ 、转鼓旋转角速度  $\omega$ 、中性层半径  $r_{\text{中}}$ 、碟片小端半径  $r_{\text{min}}$  以及碟片半锥角  $\alpha$  有关。

下面就上述主要参数的设计展开论述。

## 2.1 转鼓直径、转鼓转速和碟片半径

转鼓部件是碟式分离机的主要分离部件,由于转鼓部件的运转速度快,应力大而复杂,其设计制造是确保碟式分离机安全运行的关键部件,结合该公司 LX-460、LX-560 在浓缩胶乳的应用,同时根据该公司 DBP-450 可控排渣碟式分离机上超级马氏体材料的应用,本研究初步设计其转鼓内径为  $\varphi 430 \text{ mm} \sim \varphi 440 \text{ mm}$ ,转鼓转速  $n$  为  $7\ 100 \text{ r/min} \sim 7\ 300 \text{ r/min}$ 。考虑到转鼓内壁和碟片大端之间的沉渣空间和重液通道需要,本研究初步设计碟片大端半径  $r_{\max}$  为  $200 \text{ mm} \sim 207.5 \text{ mm}$ 。同时依据胶乳的特性,防止产生凝聚时引起轻液通道的堵塞和喇叭胶形成的情况,本研究初步设计碟片小端半径  $r_{\min}$  为  $60 \text{ mm} \sim 65 \text{ mm}$ 。

## 2.2 碟片中性层

在液-液或液-液-固分离中,碟式分离机轻、重两相的界面中性层半径  $r_{\text{中}}$  的位置是一个很重要的参数。料液由位于中性层半径处的分配孔进入碟片间隙后,在轻、重两相的相界面处分成两组液流,重相液流向周边,轻相液流向中心。当  $r_{\text{中}}$  的位置偏离时,料液进入分配孔时就会破坏已形成的轻、重两相的相界面,产生紊流而影响分离性能。中性层的  $r_{\text{中}}$  位置计算公式为:

$$r_{\text{中}} = \sqrt{\frac{Kr_{\max}^2 + r_{\min}^2}{1 + K}} \quad (6)$$

$$K = \frac{q_L}{q_h} \quad (7)$$

式中: $q_L$ —流过一组碟片的轻相液流量; $q_h$ —流过一组碟片的重相液流量。

根据胶厂 LX-460 胶乳分离机的浓缩分离情况,可测得  $q_L$ 、 $q_h$  值,按式(7) 计算得到平均  $K$  值为 0.68。取  $r_{\max} = 200 \text{ mm}$ ,  $r_{\min} = 62 \text{ mm}$ ,代入式(6),计算得出  $r_{\text{中}} = 136 \text{ mm}$ ;考虑到延长循环分离时所需的进料分配器下方沉渣空间,最终可确定  $r_{\text{中}}$  在  $125 \text{ mm} \sim 130 \text{ mm}$  范围内选取。

## 2.3 碟片半锥角

碟片半锥角  $\alpha$  即碟片母线与轴线的夹角  $\alpha$ ,其应满足  $\tan \alpha > f$  的条件, $f$  为固相沉渣与碟片表面间的摩擦系数, $\alpha$  一般在  $30^\circ \sim 45^\circ$  范围内选取。

碟片间粒子的沉降过程如图 4 所示。

图 4 中,料液通过分布圆半径  $r_f$  处进入分离通道,从碟片的小端半径  $r_{\min}$  处离开,料液在流过分离通道间隙的过程中,实现了粒子的沉降。

由图 4 分析可知:粒子沉降速度  $V_1$  和轻相液体速度  $V_2$  的矢量和  $V$  的方向确定沉降路径;在沉降速度  $V_1$

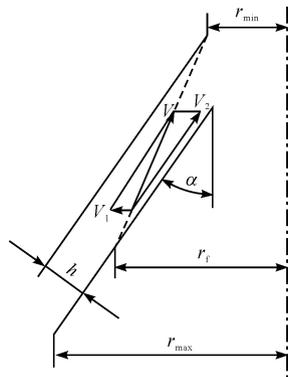


图 4 碟片间粒子的沉降过程图

和轻相液体速度  $V_2$  一定的情况下,如果增大半锥角  $\alpha$ ,速度  $V$  的方向就会朝着不利于粒子沉降的方向改变,从而影响细小粒子的沉降及分离性能,影响生产能力。因此,经综合考虑,确定  $\alpha$  在  $35^\circ \sim 40^\circ$  范围内选取。

## 2.4 碟片厚度、间距、数量

由于碟式分离机转鼓部件的运转速度快,在设计时必须考虑其平衡稳定性,即碟片束高度  $H$  不应当太大<sup>[4]</sup>。在有限的转鼓空间内,碟片数量  $Z$  与碟片间距  $h$  和碟片厚度  $\delta$  有关。胶乳碟式分离机的碟片经每个循环分离后,都需要人工清洗,为了保证碟片不变形和清洗需要,碟片厚度选定为  $0.4 \text{ mm} \sim 0.5 \text{ mm}$ 。

碟片间距  $h$  应使料液中的所有大于临界直径的粒子能够来得及沉降在上碟片的下表面上,同时不会重新被液流带走<sup>[5-6]</sup>。故必须用满足最小间距来确定间距  $h$ ,其计算公式为<sup>[7]</sup>:

$$h \geq 5.29^4 \sqrt{\frac{Q\mu(\psi^3 - 1)}{n^2 Z \Delta r_{\min} \tan \alpha (\sin \alpha - f \cos \alpha)^2}} \quad (8)$$

$$\psi = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}$$

式中: $h$ —碟片间距; $Z$ —碟片数量; $Q$ —分离机处理量; $\Delta$ —轻相、重相的密度差; $f$ —沉渣对碟片表面的摩擦系数; $\alpha$ —碟片半锥角; $n$ —分离机转速; $\mu$ —料液的动力粘度; $r_{\max}$ —碟片大端半径; $r_{\min}$ —碟片小端半径。

结合 LX-460 的实际应用情况,碟片间距  $h$  选取为  $0.4 \text{ mm}$  或  $0.45 \text{ mm}$ 。

方案一:选取碟片厚度  $\delta = 0.5 \text{ mm}$ 、间距  $h = 0.45 \text{ mm}$ ,则碟片数量  $Z$  约为 135;

方案二:选取碟片厚度  $\delta = 0.4 \text{ mm}$ 、间距  $h = 0.4 \text{ mm}$ ,则碟片数量  $Z$  约 160。

## 2.5 转鼓部件有限元强度计算及评定

随着碟式分离机在国内应用越来越广泛,对碟式分离机的设计要求也越来越高,这就要求精确的数值计算,以保证结构的可靠性<sup>[8]</sup>。有限元方法是碟式分

离心机应力和变形计算的有效方法<sup>[9]</sup>。合理设计转鼓部件,对离心机的分离效果、生产能力等起决定性的影响。转鼓部件在旋转时其自身、物料等质量所产生的离心力以及转鼓部件内各零件之间的相互作用,使得转鼓部件内各零件承受极大的作用力。当局部应力接近或到达材料极限值时,会存在零件失效风险<sup>[10]</sup>,因此,在转鼓部件材料的选择采用了超级马氏体。

本文通过对转鼓部件的主要受力零件,转鼓、钵盖、大螺帽、进料分配器创建了三维模型,采用了 ANSYS Workbench 有限元软件,对转鼓部件进行了有限元强度计算及分析、评定。

离心机转鼓强度计算规范依照 JB/T8051-2008。

### 3 参数的选择与产量计算

根据产量计算式(3),本文采用类比法,对大型胶乳碟式分离机的产量、处理量进行计算。

#### 3.1 LX-460 产量情况

LX-460 的实际运行参数为碟片数量  $Z = 110$ , 转速  $n = 7\ 100\ \text{r/min}$ ,  $r_{\text{中}} = 115\ \text{mm}$ ,  $r_{\text{min}} = 55\ \text{mm}$ ,  $\alpha = 40^\circ$ 。实际测得 LX-460 的处理量在  $325\ \text{kg/h}$  左右、浓缩胶乳的产量为  $125\ \text{kg/h}$ 、浓缩胶乳密度  $\rho$  为  $0.95\ \text{g/cm}^3$ 、胶清密度  $\rho$  为  $1.02\ \text{g/cm}^3$ , 换算得出 LX-460 浓缩胶乳产量  $Q_{\text{L1}} = 0.131\ 5\ \text{m}^3/\text{h}$ 。

由当量沉降面积计算式(4), 计算得到 LX-460 轻相当量沉降面积  $\sum_{\text{L1}} = 2.09 \times 10^8\ \text{cm}^2$ 。

LX-460 产量的计算式为:

$$Q_{\text{L1}} = \beta V_g \sum_{\text{L1}} \quad (9)$$

#### 3.2 大型胶乳碟式分离机产量

综合考虑大型胶乳碟式分离机参数,本文选取碟片中性层  $r_{\text{中}} = 130\ \text{mm}$ , 碟片小端  $r_{\text{min}} = 62\ \text{mm}$ , 碟片数量  $z = 135$ , 转鼓转速  $n = 7\ 200\ \text{r/min}$ , 碟片半锥角  $\alpha = 35^\circ$ 。

由当量沉降面积计算式(4), 计算得到当量沉降面积  $\sum_{\text{L2}} = 4.58 \times 10^8\ \text{cm}^2$ 。

大型胶乳碟式分离机浓缩胶乳产量计算式为:

$$Q_{\text{L2}} = \beta V_g \sum_{\text{L2}} \quad (10)$$

将数据代入式(9,10), 并将(9,10) 两式进行类比, 可得出  $Q_{\text{L2}} = 0.288\ \text{m}^3/\text{h}$ 。根据式(7) 计算出的  $K$

值, 换算出重相胶清  $Q_{\text{L2}} = 0.424\ \text{m}^3/\text{h}$ , 即大型胶乳碟式分离机设计处理量为:  $Q = 706\ \text{kg/h}$ , 可见其在理论上是满足设计要求的。

### 4 结束语

本研究介绍了大型胶乳碟式分离机转鼓部件的主要参数, 如转鼓直径、转鼓转速、碟片半径、碟片中性层等, 以及处理量的计算、选择; 基于这些参数设计了大型胶乳碟式分离机。

该机经过了半年的运行结果表明, 分离机转鼓部件主要参数的设计、选择均满足处理量及循环分离时间的要求, 具体结果如下:

(1) 处理量在  $650\ \text{kg/h} \sim 700\ \text{kg/h}$ ;

(2) 循环分离时间  $2.5\ \text{h} \sim 3\ \text{h}$ ;

(3) 整个分离循环时间内, 浓缩胶乳的橡胶含量以及胶清的橡胶含量稳定。

#### 参考文献(References):

- [1] 王作龄. 最新橡胶工艺原理[J]. 世界橡胶工业, 2004, 31(2): 54-56.
- [2] 杨耀华, 李宗良. 天然胶乳碟式离心机分离效率的影响因素[J]. 橡胶科技, 2014(8): 31-35.
- [3] 陈伟. 工业离心机和过滤机选用手册/全国化工设备设计技术中心站机泵技术委员汇编[M]. 1版. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [4] 钱春雨. 碟式分离机的结果设计及转鼓有限元分析研究[D]. 湖北: 武汉理工大学机电工程学院, 2013.
- [5] 刘广明. 碟式分离机分离效果的分析研究[J]. 2009, 19(1): 27-30.
- [6] 范凤仙, 袁惠新, 付双成. 碟式离心机内流场及固液两相分离过程的研究[J]. 流体机械, 2017, 45(3): 21-25, 80.
- [7] 孙启才, 金鼎五. 离心机原理结构与计算[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [8] 王铭, 梁利华, 陶渊卿, 等. 碟式分离机自动化仿真分析研究[J]. 化工自动化及仪表, 2010, 37(9): 82-85.
- [9] 梁利华, 贾高顺. 碟式分离机转鼓强度计算软件开发[J]. 过滤与分离, 2004, 14(3): 30-33.
- [10] 王森哲. 基于材料特性的碟式分离机转鼓强度评定方法研究[D]. 浙江: 浙江工业大学机械工程学院, 2017.

[编辑: 周昱晨]

#### 本文引用格式:

吕丽珍, 陶渊卿, 章伟达, 等. 大型胶乳碟式分离机的主要参数设计[J]. 机电工程, 2019, 36(9): 985-988.

LV Li-zhen, TAO Yuan-qing, ZHANG Wei-da, et al. Design of the main parameters for large latex disc-separator[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019, 36(9): 985-988.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>