

## 固定栅板平转浸出器设计改进

曹瑞军<sup>1</sup>, 申燕<sup>1</sup>, 郑圣军<sup>1</sup>, 孔帅<sup>2</sup>, 李庚<sup>1</sup>, 林凤岩<sup>1</sup>, 王伟<sup>1</sup>, 郑峰<sup>1</sup>

(1. 济宁市机械设计研究院有限公司, 山东 济宁 272000; 2. 山东凯斯达机械制造有限公司, 山东 济宁 272000)

**摘要:**为了降低粕残油, 解决平转浸出器油斗内粕末堆积等问题, 结合浸出过程合成图, 对固定栅板平转浸出器的喷淋和油斗布置提出了一些新的看法。通过分析瞬时前提量, 得出混合油前提量的计算方法。同时, 分析了浸出器运转过程中所产生的摩擦力矩(功率计算的基础), 得出了较为精确的计算公式。实践表明, 所设计的平转浸出器应用6年有余, 粕残油在0.5%以下, 自清式油斗大大减少了设备的清理频次, 摩擦力矩公式也被证明是相对精确的。

**关键词:**平转浸出器; 浸出过程合成图; 前提量; 自清式油斗; 摩擦力矩

中图分类号: TS224; TQ643 文献标识码: B 文章编号: 1003-7969(2023)08-0142-04

### Design improvements of fixed – bottom rotocele extractor

CAO Ruijun<sup>1</sup>, SHEN Yan<sup>1</sup>, ZHENG Shengjun<sup>1</sup>, KONG Shuai<sup>2</sup>,  
LI Geng<sup>1</sup>, LIN Fengyan<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>, ZHENG Feng<sup>1</sup>

(1. Jining Machinery Design and Research Institute Co., Ltd., Jining 272000, Shandong, China;

2. Shandong Chemsta Machinery Manufacturing Co., Ltd., Jining 272000, Shandong, China)

**Abstract:** In order to reduce residual oil in meal and prevent fines accumulation inside the miscella funnel of rotocele extractor, some new ideas about spray and arrangement of miscella funnel were presented according to the combination chart of extraction. The calculation method of miscella amount pumped forward was obtained through the analysis of the instantaneous amount pumped forward. In addition, the friction torque (basis for power calculations) generated during the operation of the extractor was analyzed, and the accurate calculation formula was obtained. Practice has shown that the improved rotocele extractor has been in use for over 6 years, residual oil rate is below 0.5%, the self-cleaning miscella funnel greatly reduces the frequency of equipment cleaning, and the friction torque formula has also been proven to be relatively accurate.

**Key words:** rotocele extractor; combination chart of extraction; amount pumped forward; self-cleaning miscella funnel; friction torque

平转浸出器是植物油浸出工艺中较早使用的浸出器类型, 其优点是结构简单, 运行平稳, 兼有喷淋与浸泡两种萃取方式, 混合油浓度梯度明显, 混合油浓度高, 混合油中粕末少, 粕残油较低, 粕片完整, 特别适用于大豆低温粕的制取。喷淋管和油斗布置是平转浸出器设计的核心, 其直接影响粕残油和混合

油浓度。喷淋管和油斗隔板之间的夹角与混合油前提量(本级油斗的混合油泵入前一级油斗上面的料格内并落入前一级油斗的量占泵循环量的比例)之间的关系一直没有科学定量的数学表达, 同时油斗内粕末堆积也是浸出器操作中常见的问题, 极易对下游蒸发工序造成换热列管结垢等不利影响。另外, 平转浸出器作为低速重载设备, 传动系统对于安全生产和制造成本至关重要, 而传动系统设计的关键是功率计算。笔者结合公司多年的设计经验和客户的反馈、建议, 在JPS900型平转浸出器的油斗结构和喷淋管布置方面做了一些新的思考和尝试, 并

收稿日期: 2022-11-14; 修回日期: 2023-04-21

基金项目: 山东省重点研发计划(重大科技创新工程)项目(2021CXGC010808)

作者简介: 曹瑞军(1981), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事粮油设备研发工作(E-mail) movwxy@163.com。

推导出了精确计算摩擦力矩的公式,可为功率选取、机械传动计算提供依据。

## 1 浸出喷淋管和油斗的布置

### 1.1 浸出过程合成图

高尔道夫曲线<sup>[1]</sup>反映了浸出时间和料坯含油量的关系,是设计平转浸出器喷淋程序的主要理论依据。高尔道夫曲线显示,整个浸出过程分两个阶段,在第一个阶段溶剂溶解游离油,在第二个阶段溶剂提取料坯细胞内部的油脂,两个阶段共用时78 min。

目前,国外制作的平转浸出器在生产大豆高温粕时,运转1周的时间在45~60 min;受坯片厚度、

料坯含水量、浸出温度、料液比等因素综合影响,国内制作的平转浸出器在生产大豆高温粕时运转1周的时间在75~90 min;因低温粕残油要求在0.5%以下,生产大豆低温粕的平转浸出器运转1周的时间在90~120 min。

本设计中的JPS900型平转浸出器外径为9 m,转子共设置20个料隔板,每个料格占18°;设置了9个油斗,配置8个循环喷淋管,1个新鲜溶剂喷淋管,设定转子运转1周时间为115 min。将浸出器的喷淋、料格、油斗沿外壳体展开后得到的展开图与高尔道夫曲线结合,可得到图1所示的浸出过程合成图。

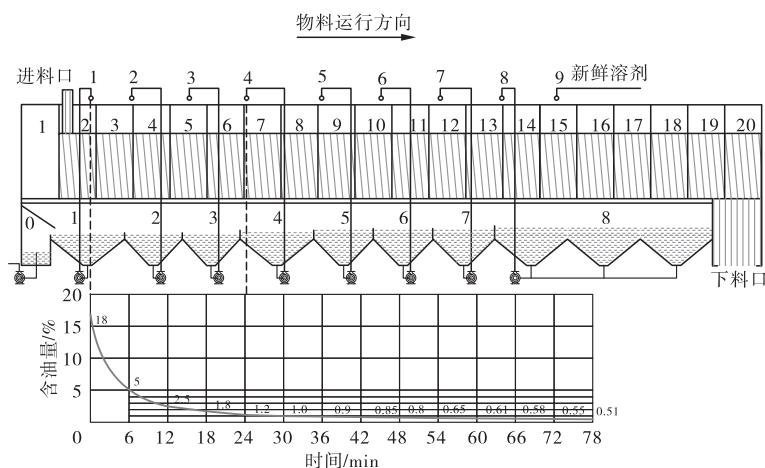


图1 浸出过程合成图

### 1.2 浸出过程分析

浸出过程采用逆流萃取方式,依靠料坯与溶剂或混合油之间的浓度差,将料坯中的油彻底提取出来,这其中既有分子扩散作用,亦有对流扩散作用<sup>[2]</sup>,最后得到高浓度混合油和低残油的豆粕。

#### 1.2.1 第一阶段和第二阶段浸出过程分界点的确定

第一阶段和第二阶段浸出过程的分界点就是料坯中的游离油被彻底溶出的时间点。从高尔道夫曲线(图1)可以看出,24 min(残油为1.2%)之前料坯中的残油下降明显,但之后的曲线近乎为一条水平直线。因此,可以将此节点作为浸出第一阶段和第二阶段的分界点。图1中,此节点就在4号喷淋处,为保证料坯中的游离油能尽量沥干,故将4号和5号喷淋的间距加大至36°,以延长4号喷淋后的沥干时间,并相应地加大4号油斗的跨度。

#### 1.2.2 渗透速度的确定

影响混合油在料坯中渗透速度的因素主要有料层高度、坯片厚度、料坯含水量、料坯粉末度、栅板间隙、料坯含油量等。

目前,在低温粕预处理工艺中,坯片厚度为0.25~0.35 mm,料坯含水量 $\leq 10\%$ ,料坯粉末度 $\leq 3\%$ (过0.25 mm筛)。

在进料口区域,为了防止过多的粕末进入混合油,固定栅板采用0.45~0.55 mm的较小间隙栅板;在浸出阶段,采用0.55~0.65 mm间隙栅板;在沥干阶段,为使沥干彻底,采用0.75~0.85 mm的大间隙栅板。

针对大豆坯片进行多次实测及调研,得到混合油在料坯中的渗透速度:第一阶段平均渗透速度为45 mm/s,第二阶段平均渗透速度为60 mm/s。本设计设定料层高度为2.5 m左右,则渗透时间分别约为55 s和41 s,对应的转子旋转的角度分别为2.9°和2.1°。

#### 1.2.3 喷淋管相对于油斗隔板的夹角的确定

在浸出器的喷淋方式上,本设计采用行业普遍认可的“混合式”喷淋方式,即部分混合油参与“自喷自”,部分混合油被“前提”。混合油在油斗间的溢流会一定程度上破坏浓度梯度,要尽量避免,混合油各梯度间的流动要依靠“前提”来完成,为此,要

保证混合油的前提量等于新鲜溶剂的补充量。

在我公司的浸出工艺中,料溶质量比为1:(0.8~1),循环泵的循环量与料坯体积比为(2.5~3.0):1,由此推算出前提量占比为20%~30%,取中间值25%。

混合油前提量占比与喷淋管相对于油斗隔板的夹角( $\delta$ )有关,国内文献中对于此夹角的计算过于简单,且不准确。

为了计算混合油的前提量,我们任意取一个料

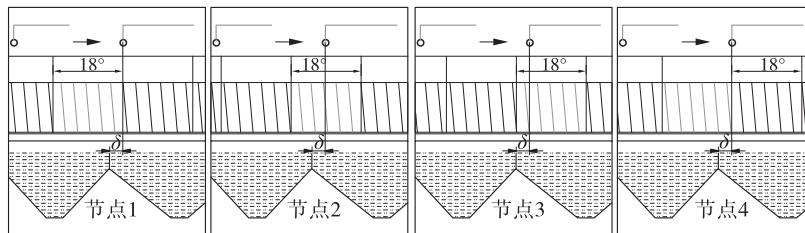


图2 瞬时前提量分析

根据以上分析,以转子旋转的角度为横坐标,以瞬时前提量占比为纵坐标,绘制瞬时前提量变化趋势图,如图3所示。

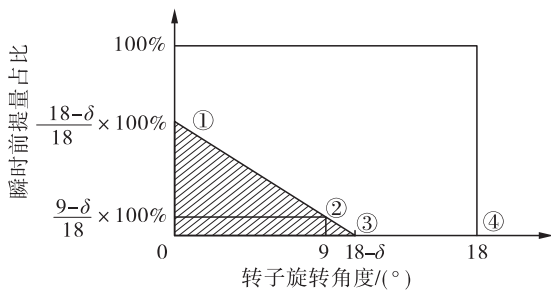


图3 瞬时前提量变化趋势图

图3中所示线段即为任意一个料格经过任意一个喷淋管的喷淋范围时,该喷淋管处的混合油瞬时前提量占比与转子旋转角度之间的关系,转子每转18°,便重复此趋势1次,依此趋势一直循环,便是整个浸出过程。

根据瞬时前提量占比与时间的关系,可求得两者的函数方程,对函数在区间内求定积分可得出前提量占比,根据定积分的几何意义可知,图中阴影面积与空白处面积之比即前提量与自循环量之比(因本文仅需计算前提量占比,无须计算具体数值,推导过程不再赘述)。故前提量的占比( $Y$ )即阴影处面积除以两者面积之和,如公式(1)所示。

$$Y = \frac{\frac{1}{2} \times (18 - \delta) \times \frac{18 - \delta}{18} \times 100\%}{100\% \times 18} \quad (1)$$

本设计中,除了1号喷淋为“自喷自”方式外,其余喷淋均采用“混合式”,将前提量占比25%带入公式(1)就可算出 $\delta = 5.3^\circ$ ,考虑到混合油在料坯中

格和一个喷淋管进行分析,从料格进入喷淋管的喷淋范围开始,到料格转出喷淋管的喷淋范围结束,取4个标志性时间节点,如图2所示。其中:节点1为料格刚进入喷淋管的喷淋范围时,此时的前提量最大,为 $(18 - \delta)/18 \times 100\%$ ;节点2为料格旋转 $9^\circ$ ,进入喷淋管喷淋范围的中间位置时,此时的前提量为 $(9 - \delta)/18 \times 100\%$ ;节点3为料隔板与油斗隔板对齐时,此时的前提量刚降为0%;节点4为料格刚转出喷淋管的喷淋范围时,此时的前提量也是0%。

的渗透速度,则喷淋管相对于油斗隔板的角度分别为:第一阶段 $5.3^\circ - 2.9^\circ = 2.4^\circ$ ,第二阶段 $5.3^\circ - 2.1^\circ = 3.2^\circ$ 。

值得注意的是,渗透速度、料层高度、料格数量等不同时,各参数取值也不同,所对应的 $\delta$ 也不同。

#### 1.2.4 最小油斗角度的确定

高浓度的混合油严禁混入低浓度的油斗中,还要保证每次喷淋渗透完后至少有1 min的沥干时间。基于此原则,最小油斗角度为喷淋管相对于油斗隔板的角度、每个料格角度、渗透时间对应的转子旋转的角度与1 min沥干对应的转子旋转角度( $3.1^\circ$ )之和,则第一阶段最小油斗角度为 $2.4^\circ + 18^\circ + 2.9^\circ + 3.1^\circ = 26.4^\circ$ ,第二阶段最小油斗角度为 $3.2^\circ + 18^\circ + 2.1^\circ + 3.1^\circ = 26.4^\circ$ ,故最小油斗角度统一取 $28^\circ$ ,在本设计中,2号、3号、5号、6号、7号油斗跨度均设置为 $28^\circ$ 。

#### 1.2.5 0号油斗的设置

混合油从8号油斗逐级溢流到1号油斗的过程中浓度逐渐升高,但考虑到1号油斗上方的物料经初次浸泡和喷淋后,会有大量的粕末混入混合油中,国内同行多将3号油斗的混合油先引入1号油斗,再从1号油斗溢流至2号油斗,从2号油斗输出混合油。

在本设计中,为保持混合油和物料的浓度梯度,我们在混合油斗溢流方向的末端设置了0号油斗,仅用于输出混合油,不参与混合油的循环,0号油斗内的混合油全由1号油斗溢流而来,为防止粕末从1号油斗混入,在1号和0号油斗的隔板上设置过滤网,为防止滤网堵塞,在滤网的侧上方设置可拆卸

冲洗管,实时对滤网进行冲洗;为防止粕末从上面落入,在0号油斗的上方设置倾斜的遮拦板。

### 1.2.6 喷淋次数

大豆料坯的理论浸出次数为5<sup>[1,3]</sup>,但该理论计算的前提是每次喷淋后料坯中的混合油要彻底沥干,然后再进行下一次喷淋。平转浸出器作为连续的浸出设备无法满足这一条件,所以只能增加浸出次数。但是浸出次数的增加势必造成每个油斗角度的减小。基于上文的综合分析,我们设置了如图1所示的9个油斗,9个喷淋。

### 1.2.7 自清式油斗的结构

在之前的设计中,每个油槽只有外壳体、锥底、油斗隔板,这样容易在油斗远离出油口的两端锥底部形成“死角”,容易积料,本次设计将油斗两侧的直板改成斜板,并增加了锥底的角度,这样,锥底、两侧斜板共同将混合油汇集于出油口,消除了“死角”,避免了粕末的堆积。

在之前的设计中,容积最大的8号油斗只有1个出油口,导致在远离该出油口的锥底部的混合油几乎静止,使混合油中的粕末逐渐沉降下来,本设计将该油斗等分为3个小油斗,每个小油斗分别设置出油口,使各处的混合油充分循环起来,避免了粕末的堆积。

## 2 浸出器功率的计算

### 2.1 摩擦力矩的计算

平转浸出器的转子在外周驱动力矩( $M_d$ )作用下旋转,因为其于固定栅板之间有一定的间隙,所以转子的转动仅需克服料坯与固定栅板的摩擦力即可。对摩擦力矩的计算进行简单分析。图4为平转浸出器的转子简图,分别以水平线和中心线轴建立坐标系, $r_1$ 为转子内径, $r_2$ 为转子外径, $h$ 为转子高度。

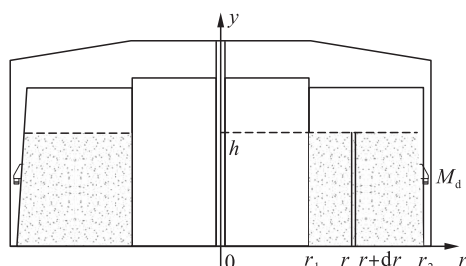


图4 转子简图

在图4区间 $[r_1, r_2]$ 上任取一微区间 $[r, r + dr]$ ,

则该微区间内的料坯绕y轴旋转过程中与固定栅板摩擦产生的摩擦力矩为:

$$dM_f = df \cdot r \quad (2)$$

式中: $df$ 为微区间内的料坯与栅板之间的摩擦力。 $df$ 为:

$$df = 2\pi r dr \cdot hg\rho\mu \quad (3)$$

式中: $h$ 为转子内料坯的最大高度; $g$ 为重力常数; $\rho$ 为料坯密度; $\mu$ 为料坯与栅板之间的摩擦系数。

将式(3)带入式(2)可得:

$$dM_f = 2\pi hg\rho\mu r^2 dr$$

$$则 M_f = \int_{r_1}^{r_2} dM_f = 2\pi hg\rho\mu \int_{r_1}^{r_2} r^2 dr$$

$$M_f = \frac{2}{3}\pi hg\rho\mu (r_2^3 - r_1^3)$$

以上是从理论角度得出的摩擦力矩的计算公式。在本设计中取  $h = 2.5 \text{ m}$ ,  $\rho = 0.6 \text{ t/m}^3$ ,  $\mu = 0.16$ ,  $r_2 = 4.5 \text{ m}$ ,  $r_1 = 1.6 \text{ m}$ , 计算出  $M_f = 428\,489 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

### 2.2 功率的计算

功率计算的公式为  $9\,550P = nM_f s/f$ 。式中: $P$ 为功率; $n$ 为转速; $f$ 为总机械传动效率; $s$ 为安全系数。2.1中已求得  $M_f = 428\,489 \text{ N} \cdot \text{m}$ , 在本设计中,  $n = 0.008\,7 \text{ r/min}$ ,  $f = 0.75$ ,  $s = 2.5$ , 故可计算出  $P = 1.3 \text{ kW}$ , 选取标准功率  $1.5 \text{ kW}$ 。

## 3 结语

所设计的平转浸出器于2016年投入使用,待生产稳定后,电机的转矩系数为38%左右,换算为平转浸出器力矩为468 673  $\text{N} \cdot \text{m}$ 左右,比理论计算值高9.3%左右,在允许范围内,说明本文推导的摩擦力矩公式可用。另外,该平转浸出器已在大豆低温粕浸出车间应用6年有余,粕残油均在0.5%以下。自清式油斗达到了设计要求,基本消除了油斗侧壁的粕末堆积,大大减少了设备的清理频次。下一步会根据现场反馈数据,调整参数取值,使浸出器设计理论计算值更接近实际,为类似设计提供参考。

### 参考文献:

- [1] 李殿宝. 平转浸出器喷淋程序设计及有关问题的探讨[J]. 粮食加工与食品机械, 2004(6): 37-41.
- [2] 张妙法. 油脂制取工艺与设备[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 1991: 337-441.
- [3] 涂果. 平转浸出器工艺设计应注意的几个问题[J]. 中国油脂, 1999, 24(6): 31-33.