

# 多功能机械化旋筛的研究

## —载料旋晃机构的开拓与应用

许林成

(机械系)

### 一、引言

本多功能机械化旋筛是参照古老的且为当今某些行业广泛应用的手动旋筛基本工作原理而研制出来的一个新机种。已申请发明专利。经1986年10月,中国发明协会审批将该机参展于第二届全国发明展览会。

手动旋筛依其特殊的工作表面和旋晃运动,很适合加工团子食品(如滚粘芝麻团子、包馅元宵等)和分选难以筛风选的散粒混合物(如清理粮谷下脚、野生作物等)。但是,此一加工工具和操作方法已与现代化生产不相适应。

本项发明的任务就在于妥善解决手动旋筛工作过程的机械化和连续化问题,使之成为符合现代生产要求的多功能型加工工艺设备以及在更广泛领域内应用的配套装置。

### 二、结构特点与工艺性能

图1是多功能机械化旋筛的总体外形。进料斗1和分选料筒2一起被支撑在具有十字形接头的内摆架3、外摆圈4和机架9(其前后方安置排料淌板10)之上;内摆架的底部装有万向联轴节5,其轴颈与减速器7输出端的曲柄滑块轴承6保持动配合;三相异步电动机(或无级调速电动机)8的输出转速通过三角带传动和减速器的降速之后,以所要求的工作转速驱动曲柄滑块轴承沿逆时针方向等速周转,同时让整个料筒完成有确定规律的旋晃运动。

为了适应不同的加工工艺条件,借助手轮可分别调整曲柄滑块轴承对减速器输出轴的偏心距以及分选料筒对内摆架的拔高,从而可在预定范围内改变料盘的倾角及盘心的回转半径。另外,还可以无级或有级地改变料盘的每分钟旋动次数,力求此三个基本参数获得良好配合。

分选料筒的几个主构件采用了不同结构形式和可拆式联接,以利于变换工艺路线。其一实施例如图2所示,用来加工团子食品。生产时,带有粘性的生团或馅团随同细粒物料(如芝麻、糯米粉)合流,通过进料斗1而散落在分选料盘2上。由于混合物受到匀布凹点金属圆盘的不间断旋晃,故能促其自动分级、均匀滚转。已滚粘大了的团子朝分离圈3内沿转移,并被“刮”分出去,经筒体的外螺旋槽4分成四路进入布满筛孔的溜槽5。由此分离出来的团子和细粒物料分别汇集于筒底的两个排料管(参阅总图),再排至机架前后方的淌板上。

本文1987年7月15日收到。

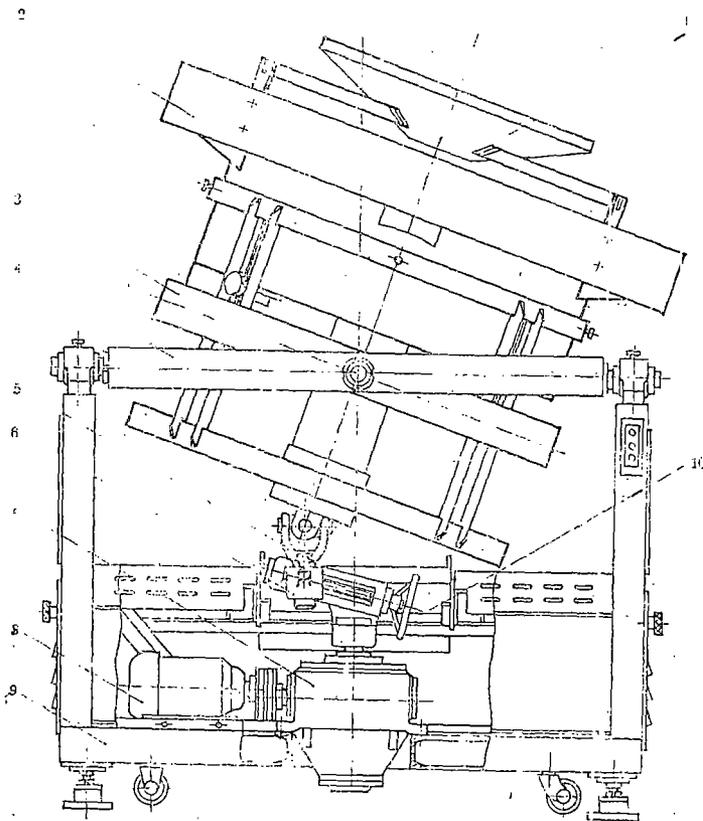


图1 多功能机械化旋筛

进料斗出口、分离圈内沿同料盘的间距都是可调的，从而控制适宜的料层厚度及工艺效果。

考虑到生团等物料质地较软，所以采取了逐级缓降的措施，保证产品不发生严重的变形与破裂，还力求减轻冲击与噪声。

下面结合图3说明另一个实施例。此分选料筒主要用来清理某些难以筛风选的散粒混合物。但要强调，待分选的混合物二组分必须具有较大的比重以及粒度的差异，这样才能借旋晃料盘促其自动分级，将集浮的轻质物沿分离圈连续地“刮”分出去引至无筛孔溜槽，同时使沉下的重质物落入圆盘周边。同前例一样，最后分别排至机外。

评定多功能机械化旋筛工艺性能的两项主要指标，一是加工质量(或分选效率)，二是生产能力。影响因素颇多，而且相互制约。概括说来，这不单取决于料盘的直径、倾角、盘心回转半径和旋动次数的良好配合，还同原料性质、料层厚度、分离圈宽度及拔高、圆盘表面性状及周边孔道开度等等有着密切关系。为此，要求进机流量和主轴转速都必须保持相对稳定。

例如，加工芝麻团子时，所用料盘直径为1000、1200mm，测得台时产量为300~600kg，驱动功率为0.7~1kW。清理稻谷下脚(含稻谷15%，碎米38%，石子40%，其他7%)时，所用料盘直径为800、1000、1200mm，测得上层物含谷率为90%左右，下层物含米石率为98%左右，台时产量为500~1500kg，驱动功率不超过1kW。

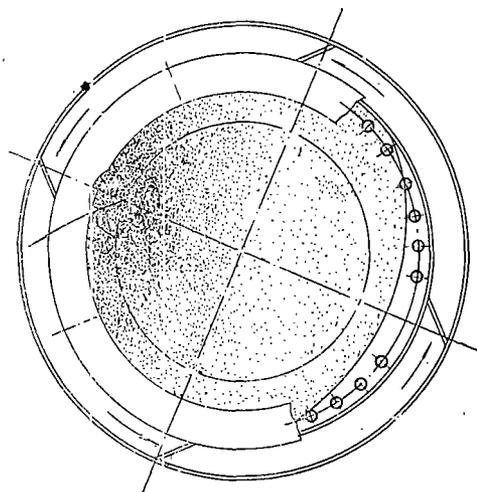
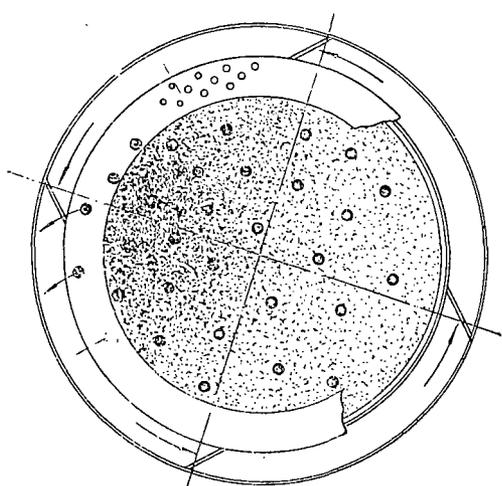
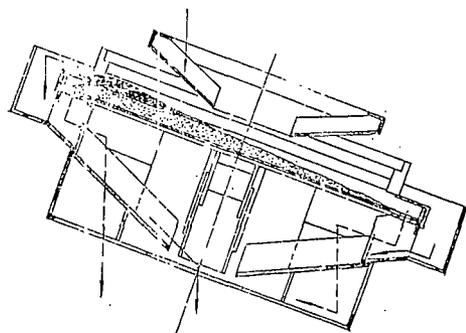
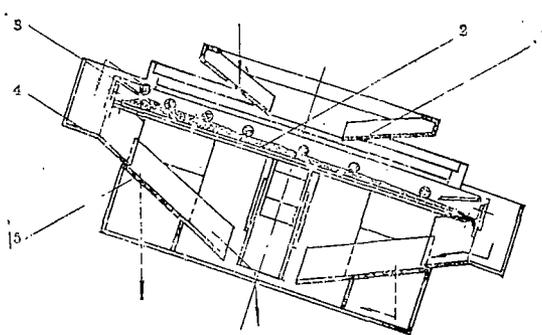


图2 分选料筒(加工团子食品)

图3 分选料筒(清理散粒物料)

总之,本机械化旋筛功能独特,结构简单,操作方便,耗电不多。在食品、医药、化工、建材、选矿、农副产品等工业部门有应用推广价值。今后要进一步扩大其功能,并开发小型旋晃机,使之更加完善。

### 三、工作原理与参数分析

#### 1. 主机构自由度

参阅图1,本机械化旋筛的主体部分(不含减速器等传动件)乃是由低副组成的第一族单封闭形空间连杆机构。尽管减速器输出端的曲柄滑块轴承与内摆架底部的万向联轴节轴颈构成一可轴向位移的圆柱副,然而一旦借螺杆手轮沿导槽将曲柄滑块轴承定位,且对主机构附加垂向移动的公共约束,就应根据下式求其自由度<sup>[1]</sup>

$$W = 5n_0 - 4P_5 - 3P_4 - 2P_3 - P_2$$

式中  $n_0$ ——运动链的活动杆数,取为5

$P_5$ ——五级运动副数,取为6

$P_4, P_3, P_2$ ——四级以下运动副数,取为零

即

$$W = 5 \times 5 - 4 \times 6 = 1$$

因此，整个机构的运动规律，在所有几何参数均确定的条件下，仅取决于原动主轴的角位移或角速度。

### 2. 料盘运动规律

参阅图4和图5。令料盘A与内摆圈的两个中心O重合，经该点取空间直角坐标系x、y、z；盘面的有效半径为R，倾角为β，最低点为j(R, α)；原动主轴以角速度ω作逆时针方向转动，相应于时间t的角位移α = ωt。

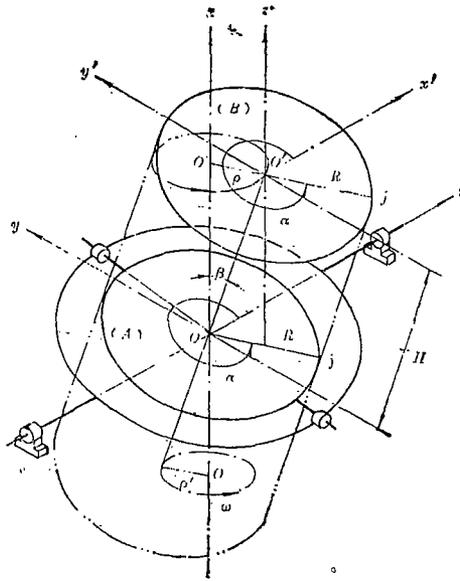


图4 分选料筒的支承与旋晃机构

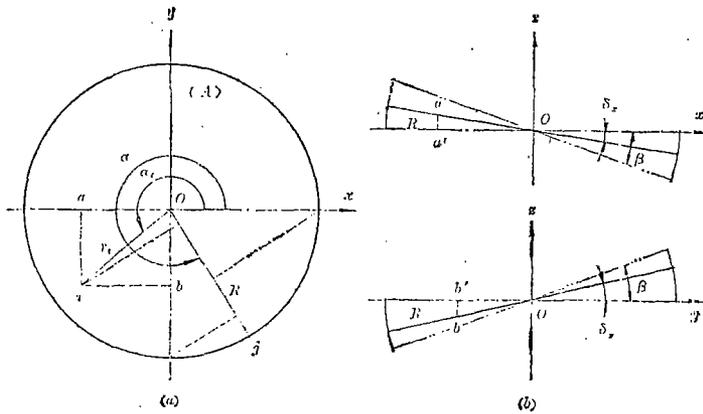


图5 料盘的纯旋晃运动(H=0)

在盘面上任取一定点  $i(r_i, \alpha_i)$ ，因其运动轨迹是一条绕盘心  $O$  且沿垂直平面摆动的圆弧，故得该点的空间位移方程：

$$\begin{aligned} x_i &= r_i \cos \alpha_i \cos \delta_x \\ y_i &= r_i \sin \alpha_i \cos \delta_y \\ z_i &= -r_i \cos(\alpha_i - \alpha) \sin \beta \end{aligned}$$

由于

$$\begin{aligned} \sin \delta_x &= \frac{1}{R} | -R \cos(0^\circ - R) \sin \beta | \\ &= \sin \beta | \cos \alpha | \\ \sin \delta_y &= \frac{1}{R} | -R \cos(270^\circ - \alpha) \sin \beta | \\ &= \sin \beta | \sin \alpha | \end{aligned}$$

代入原式，解出：

$$x_i = r_i \cos \alpha_i \cos [\arcsin (\sin \beta \cos \alpha)] \tag{1}$$

$$y_i = r_i \sin \alpha_i \cos [\arcsin (\sin \beta \sin \alpha)] \tag{2}$$

$$z_i = -r_i \sin \beta \cos (\alpha_i - \alpha) \tag{3}$$

参阅图 4 和图 6。令料盘  $B$  与内摆圈(或料盘  $A$ )的中心距为  $H$ ，上盘中心  $O'$  对  $z$  轴的回转半径为  $\rho, \rho = H \sin \beta$ 。这样，上盘既绕其中心作纯旋晃运动，又绕定轴作同周期的正圆平移运动，据此求出盘面任一点  $i$  作复合运动的空间位移方程：

$$x_i = r_i \cos \alpha_i \cos [\arcsin (\sin \beta \cos \alpha)] + \rho \cos \alpha \tag{4}$$

$$y_i = r_i \sin \alpha_i \cos [\arcsin (\sin \beta \cos \alpha)] + \rho \sin \alpha \tag{5}$$

$$z_i = -r_i \sin \beta \cos (\alpha_i - \alpha) \tag{6}$$

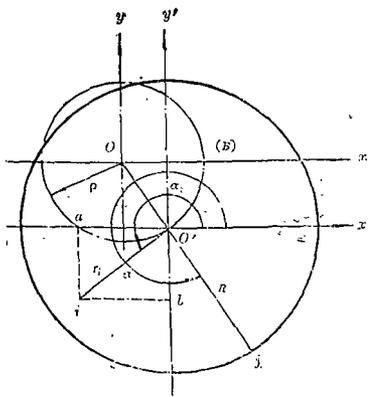


图 6 料盘的复合运动( $H > 0$ )

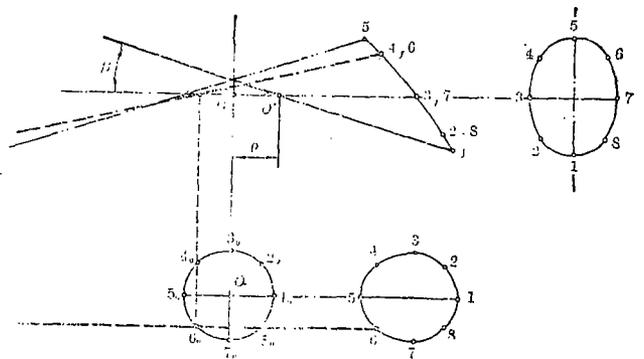


图 7 料盘的复合运动轨迹

图 7 表示料盘作复合运动时盘面某点的空间运动轨迹在三视图上的投影。后面借解析作

图法近似确定盘上物料相对运动轨迹时将用到这个水平投影曲线。

为便于计算分析,在料盘上沿  $y$  轴方向选一点  $i$ ,即取  $r_i \leq R$ ,  $\alpha_i = 270^\circ$ ,且令  $\rho = 0$ ,由(1)、(2)、(3)式可求该点的空间运动速度和加速度;除  $v_{xi} = 0, a_{xi} = 0$  外,其余分量为:

$$v_{yi} = \frac{r_i \omega \sin^2 \beta \sin 2\alpha}{2\sqrt{1 - \sin^2 \beta \sin^2 \alpha}} \tag{7}$$

$$a_{yi} = \frac{r_i \omega^2 \sin^2 \beta}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta \sin^2 \alpha}} \left[ \cos 2\alpha + \frac{\sin^2 \beta \sin^2 2\alpha}{4(1 - \sin^2 \beta \sin^2 \alpha)} \right] \tag{8}$$

$$v_{zi} = r_i \omega^2 \sin \beta \cos \alpha \tag{9}$$

$$a_{zi} = -r_i \omega^2 \sin \beta \sin \alpha \tag{10}$$

图8为示意绘出的各函数曲线,其中出现一临界相位角  $\alpha_r$ ,表示在此条件下分速度  $v_{yi}$  达到最大值  $v_{yimax}$ ,而分加速度  $a_{yi} = 0$ 。按式(8)写出推导结果:

$$(4 \sin^2 \alpha_r - \sin 2\alpha_r \operatorname{tg} 2\alpha_r) \sin^2 \beta = 4 \tag{11}$$

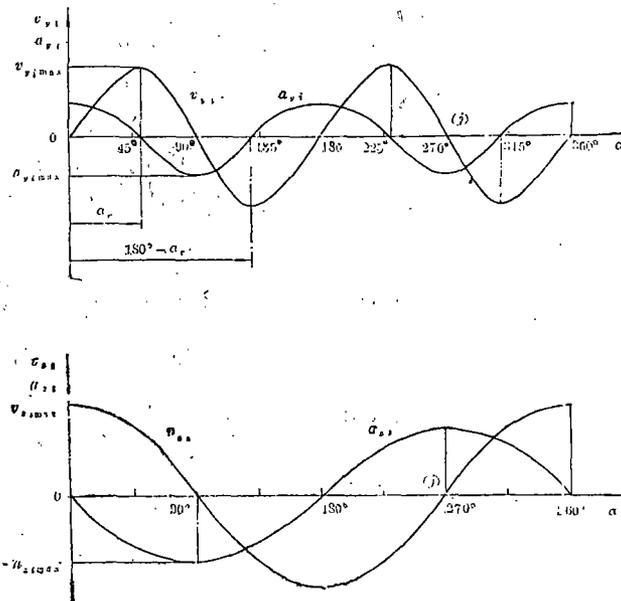


图8 料盘运动速度与加速度曲线

可见,  $\alpha_r$  仅取决于  $\beta$ ; 若  $\beta = 15^\circ \sim 20^\circ$ , 对第一象限而言,  $\alpha_r = 45.5^\circ \sim 45.9^\circ$ 。

### 3. 物料运动规律

综合对料盘的运动分析,不难确定盘面做复合运动的任一瞬时,加于质量为  $m$  的物料颗粒上的惯性力。由图8和图9对定点  $i$  转换,包括水平径向惯性力  $P_{ri}$  ( $P_{ri} = ma_{ri}, a_{ri} = a_{yi}$ ), 垂直惯性力  $P_{zi}$  ( $P_{zi} = ma_{zi}$ ) 和水平离心惯性力  $P_l$  ( $P_l = m\rho\omega^2$ ) 在内的各个矢量显然都对称于通过下限点  $j$  和  $z$  轴所作的垂直平面。以此旋动对称面为分界,只要能找出半个盘面上任意位置的物料受力状况,就可扩展研究物料相对整个盘面的运动规律。

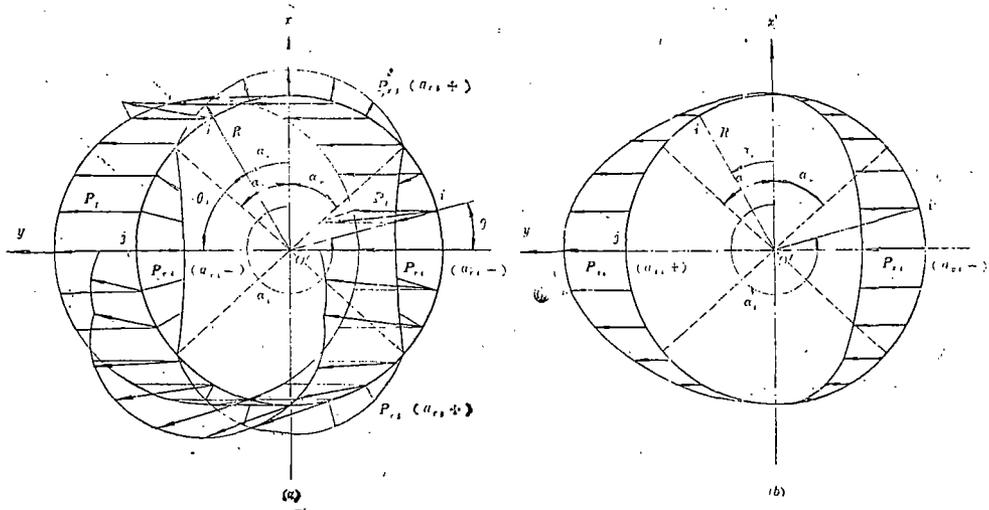


图 9 盘上物料颗粒各向惯性力的分布规律

为此，需借图10确定加于某一颗物料上水平径向惯性力  $P_{r,i}$  与盘面的夹角  $\gamma_i$ 。令  $P_{r,i}$  与  $y$  轴的夹角为  $\theta_i$ ，从图 9 (a) 看出，当  $0 \leq \alpha_i \leq 180^\circ$  时， $\theta_i = |90^\circ - \alpha_i|$ ；当  $180^\circ \leq \alpha_i \leq 360^\circ$  时， $\theta_i = |270^\circ - \alpha_i|$ ，遂导出

$$\text{tg} \gamma_i = \text{tg} \beta |\sin \alpha_i| \quad (12)$$

但是，盘上物料所受的实际作用力，只不过两个，即重力和摩擦力，它们与前述的惯性力构成了假想动平衡。其中，重力  $G = mg$  ( $g$  为重力加速度)，而摩擦力  $F_{s,i}$  与物料同盘面接触的正压力  $P_{n,i}$  及摩擦系数  $f$  有关，即  $F_{s,i} = f P_{n,i}$ 。

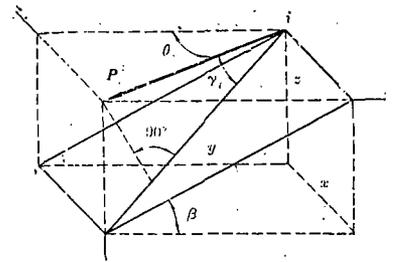


图 10 盘上物料颗粒水平径向惯性力的空间相位角

参阅图 9、图10、图11得知

$$P_{n,i} = m[(g - a_{z,i}) \cos \gamma_i - (\rho \omega^2 \sin \beta \pm a_{r,i} \sin \gamma_i)] \quad (13)$$

与此相对应，沿盘面方向物料颗粒所受的合力

$$P_{s,i} = \sqrt{P_{r,s,i}^2 + P_{l,s}^2 + 2P_{r,s,i}P_{l,s} \sin \alpha_i} \quad (14)$$

式中

$$P_{r,s,i} = m[(g - a_{z,i}) \sin \gamma_i \pm a_{r,i} \cos \gamma_i]$$

$$P_{l,s} = m \rho \omega^2 \cos \beta$$

计算时，当  $0 \leq \alpha_i \leq 180^\circ$ ， $a_{r,i}$  前应取“+”号；当  $180^\circ \leq \alpha_i \leq 360^\circ$ ， $a_{r,i}$  前应取“-”号。

实用中，为使同盘面接触的所有物料均能产生相对运动，必须满足此一条件： $F_{s,i} \leq P_{s,i}$ 。当然，也可改写成加速度的关系式，令  $F_{s,i} = f m a_{n,i}$ ， $F_{s,i} = m a_{s,i}$ ，故得

$$f a_{n,i} \leq a_{s,i} \quad (15)$$

并取  $a_{i,i} = f a_{n,i} = f[(g - a_{z,i}) \cos \gamma_i - (\rho \omega^2 \sin \beta \pm a_{r,i} \sin \gamma_i)] \quad (16)$

根据图11所示的  $a_{r,i}$  与  $a_{s,i}$  分布曲线确认，在料盘下限点  $j$  ( $r_i = R, \alpha_i = 90^\circ, \theta_i = 0, \gamma_i = \beta$ )，

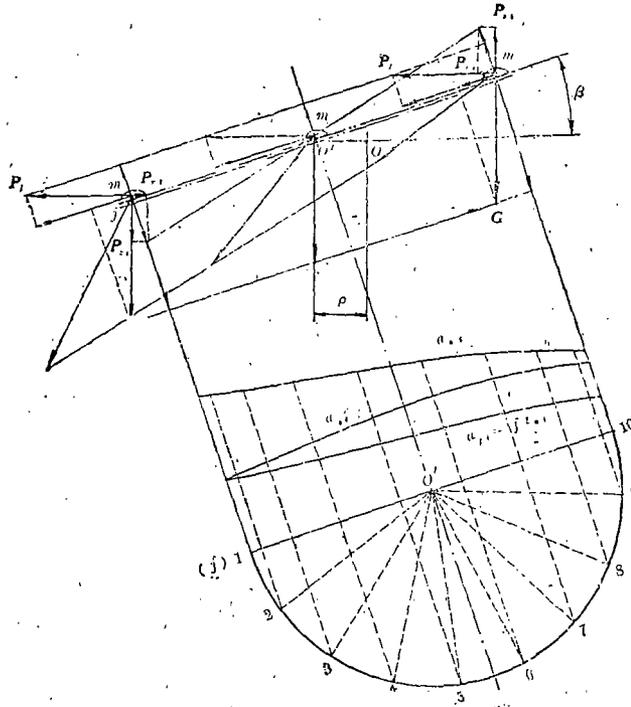


图11 盘上物料颗粒运动受力的综合分析

加速度值

$$a_{1i} = f[(g + R\omega^2 \sin\beta) \cos\beta - (\rho\omega^2 - R\omega^2 \sin\beta \operatorname{tg}\beta) \sin\beta]$$

为最小, 而加速度值

$$a_{2i} = (g + R\omega^2 \sin\beta) \sin\beta + (\rho\omega^2 - R\omega^2 \sin\beta \operatorname{tg}\beta) \cos\beta]$$

为最大, 取上二值借式(15)校核盘上物料的流动性能理应足够可靠。进而求得主轴转速

$$n \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g(f \operatorname{ctg}\beta - 1)}{\rho(f + \operatorname{ctg}\beta) - fR \cos\beta(1 + \operatorname{tg}^2\beta)}} \quad (\text{r/min}) \quad (17)$$

为以后论证方便, 令

$$n_R = \frac{\pi}{30} \sqrt{\frac{g(f \operatorname{ctg}\beta - 1)}{\rho(f + \operatorname{ctg}\beta) - fR \cos\beta(1 + \operatorname{tg}^2\beta)}} \quad (\text{r/min}) \quad (18)$$

显然要求  $n \geq n_R$ 。

对式(17)进行计算分析可知, 影响  $n$  的主要因素为  $\beta$ 、 $\rho$ 、 $R$  和  $f$ ; 若增大  $\beta$ 、 $\rho$  而减小  $R$ 、 $f$  值, 那么  $n$  值便可降低。

通过实验, 证明了上述结论的正确性。例如, 加工芝麻团子时, 选取  $R = 600\text{mm}$ ,  $\rho = 210\text{mm}$ ,  $\beta = 14^\circ$ ,  $f = 0.49$ ; 清理稻谷下脚时, 选取  $R = 500\text{mm}$ ,  $\rho = 170\text{mm}$ ,  $\beta = 18^\circ$ ,  $f = 0.49$ , 都计算得  $n_R = 36\text{r/min}$ , 应用效果良好。

考察物料相对盘面的运动轨迹, 旨在深入研究产生向上偏流和集浮现象的实质, 为选择适宜的工作条件提供理论依据。

取单一颗粒作为分析对象，而忽略颗粒之间的相互作用；盘面绝对平整，物料由初始静止状态转为运动状态，不滚动，料盘周边的壁面也对它毫无约束。这样，便可运用解析作图法近似求解。

1) 参阅图 9。根据对原点  $i$  的转换，将式(8)中的  $a_{yi}, \alpha$  各代以  $a_{ri}, \alpha_i$ ；将式(10)中的  $\alpha$  代以  $\alpha_i$ 。然后按式(16)求出与  $\alpha_i = 90^\circ \sim 270^\circ$  相对应的  $a_{ri}, a_{zi}$  及  $\gamma_i, a_{fi}$  各值，经计算再将  $a_{fi}$  改为  $a_{fi} = A_i + B_i r_i$  (—经先确定了  $R, \beta, \rho, f, \omega$  则  $A_i, B_i$  只取决于  $\alpha_i$ ) 的函数形式。

2) 参阅图 12。以  $\rho$  为半径画盘心  $O'$  的轨迹圆，等分为  $k$  段，并标注  $1_0 \sim k_0$ 。每一弧段所对应的时间  $t = \frac{60}{kn}$ 。

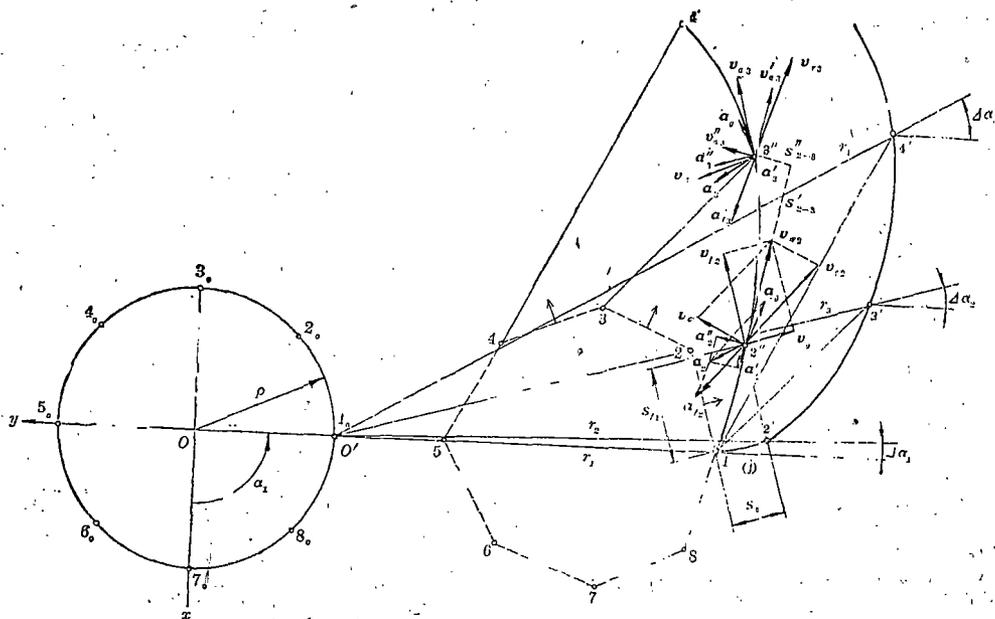


图 12 盘上物料颗粒绝对与相对运动轨迹的求解方法

3) 沿  $O'-j$  连线选点 1 作为物料颗粒的初始位置，且令  $\alpha_1 = 90^\circ, r_1 \leq R$ 。画该点牵连运动轨迹的水平投影曲线，由所得  $1 \sim k$  各点连成为  $k$  个折线段，确定各段的盘面倾斜方向及重力加速度分量  $a_g = g \sin \beta$ 。

4) 按已知条件依次计算和确定与料盘牵连运动轨迹  $1 \sim k$  相对应的物料颗粒的绝对运动轨迹和相对运动轨迹，然后将各点连成光滑曲线。

图(12)中，符号  $s, v, a$  分别代表物料的位移、速度和加速度；下角标  $a, e, r, f, g$  分别表示与绝对运动、牵连运动、相对运动和摩擦力、重力等因素相关。

试取  $k = 8$ ，对点  $1'' \rightarrow 2''$  的绝对运动过程：

$$\begin{aligned}
 S_{f1} &= \frac{1}{2} a_{f1} t^2 & , & & S_g &= \frac{1}{2} a_g t^2 \\
 v_{f2} &= a_{f1} t & , & & v_g &= a_g t \\
 v_{a2} &= v_{f2} + v_g = v_e + v_{r2} & \left( \text{矢量和, } v_e = \frac{\pi \rho n}{30} \right)
 \end{aligned}$$

求得点2'', 再引1~2'连线(与2~2''平行且等长)确定点2', 量 $r_2, \Delta\alpha_1$ 值。

对点2''→3''的绝对运动过程:

$$\alpha_2 = 135^\circ - \Delta\alpha_1$$

$$a_{t2} = A_2 + B_2 r_2$$

$$a_2 = a_{t2} + a_g = a'_2 + a''_2 \text{ (矢量和, } a_{t2} \text{ 与 } v_{t2} \text{ 二矢量方向相反)}$$

$$S'_{2-3} = v_{a2}t - \frac{1}{2}a'_2 t^2, \quad S''_{2-3} = \frac{1}{2}a''_2 t^2$$

求得点3'', 再引1~3'连线(与3~3''平行且等长)确定点3', 量 $r_3, \Delta\alpha_2$ 值。

对点3''→4''的绝对运动过程:

$$\alpha_3 = 180^\circ - \Delta\alpha_2$$

$$a_{t3} = A_3 + B_3 r_3$$

$$v_{a3}' = v_{a2} - a'_2 t, \quad v''_{a3} = a''_2 t$$

$$v_{a3} = v'_{a3} + v''_{a3} = v_e + v_{r3} \text{ (矢量和)}$$

$$a_3 = a_{t3} + a_g = a'_3 + a''_3 \text{ (矢量和, } a_{t3} \text{ 与 } v_{r3} \text{ 二矢量方向相反)}$$

$$S'_{3-4} = v_{a3}t - \frac{1}{2}a'_3 t^2, \quad S''_{3-4} = \frac{1}{2}a''_3 t^2$$

求得点4'', 仿上法再确定点4'。其余类推。连接1'-2'-3'-4', 即为所求的物料颗粒相对运动轨迹。

下面举两个实例进一步说明其应用。若取 $r_1 = 500\text{mm}$ ,  $\rho = 170\text{mm}$ ,  $\beta = 18^\circ$ ,  $f = 0.49$ ,  $n = 36\text{ r/min}$ , 则所求的各运动轨迹曲线即如图13所示。其特点是:

1) 盘上物料颗粒的相对运动轨迹, 经二三次旋甩才趋于稳定而呈一条正圆曲线。它的运动周期和方向同料盘一致。该轨迹的中心为 $O'$ , 半径较大, 几乎接近于分离圈的内沿, 这正是期望达到的目标。

2) 若将盘心的轨迹点27视为料盘的瞬时下限点 $j$ , 那么与其对应的物料颗粒相对运动轨迹点27'显然超前于上限点 $j'$ 约 $27^\circ$  (此值并非确定的, 与物料颗粒初始位置有关), 这样便找到了物料层形成向上偏流和集浮凸起的基本依据。

3) 选取较大的 $\beta$ 值, 并配合适当的 $\rho, f, n$ 值, 可使物料的集浮中心靠近分离圈的内沿匀速地环流, 所以此方案适用于分选具有足够比重差和粒度差的散粒混合物。

对加工团子食品, 要求它能浮在细粒物料之上, 且呈现螺旋线状的相对运动轨迹, 以充分发挥机械化旋筛的独特功能, 实现无撞击的均匀滚粘效果。通过对图14的求解得知, 应重新组合基本参数, 让 $\beta$ 偏小而 $\rho$ 偏大一些。

#### 4. 基本参数分析

由图15和图16所示的混合物料分选状况及其实验曲线看出: 设法合理安排料盘四个基本参数的不同组合乃是提高设备工艺效率的关键所在。



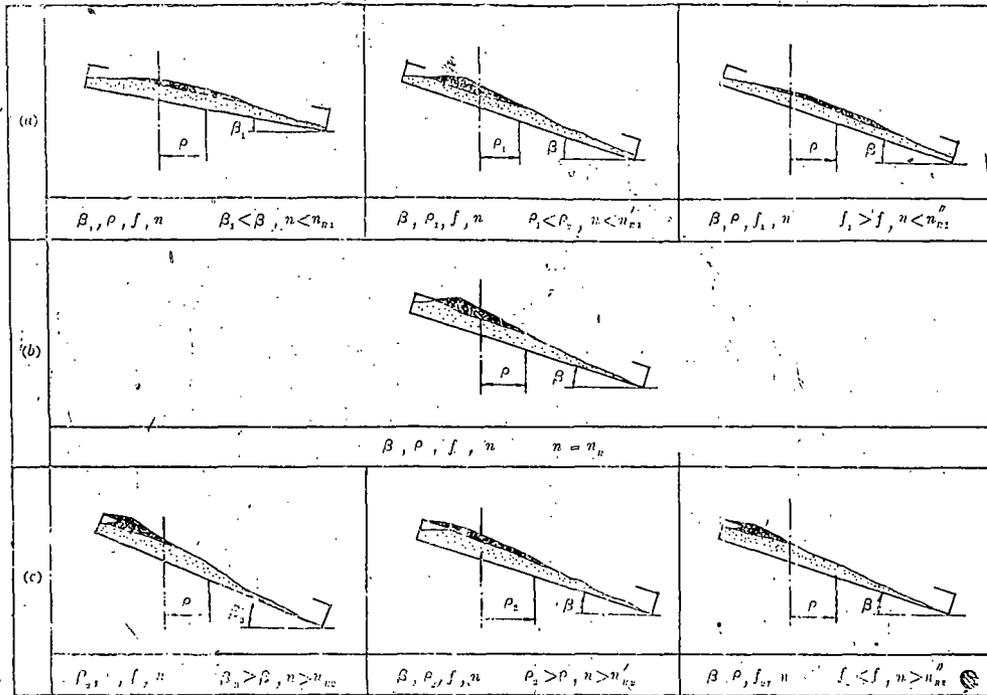


图15 料盘基本参数的不同组合对分选效果的影响。

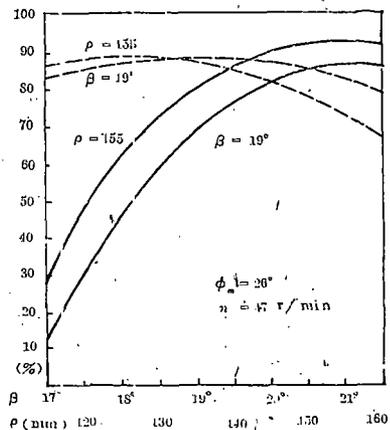
1)料盘旋动次数 料盘每分钟旋动次数与减速器输出轴转速具有等值意义。只有盘面以适当频率旋晃，才能引起物料产生相对运动和自动分级效应。当按式(17)确定  $n$  值时，虽然允许大于  $n_R$ ，但切勿过高，以免物料颗粒之间产生激烈的搅动，反而削弱其集浮效果。再者，最好配备有级或无级的调速装置，以便更好适应生产条件的变化。

2)料盘倾斜角度 已述，引起物料向上偏流和集浮凸起的最根本原因在于旋晃的盘面具有适宜的倾斜度。从图11看出， $a_{1i}$  值是自下而上逐渐减小的，但  $a_{2i}$  值却变化平缓，以致上部区域物料的  $a_{2i} - a_{1i}$  差值和由此反映出来的流动性能也就比下部区域为大。对此结论配合图13求解足以得到更确切的证明。

由计算得知，式(18)根号内的分母项一般为正值，为保证  $n_R > 0$ ，显然要求  $f \text{ctg} \beta - 1 > 0$ ，令  $\phi_m$  为物料同盘面的极限摩擦角，因  $f = \text{tg} \phi_m$ ，解出  $\beta < \phi_m$ 。

实用中，常取  $\beta = \phi_m - (6^\circ \sim 10^\circ)$ ，加工团子食品宜低些。如取  $\beta \geq \phi_m$ ，物料则会沿盘面向下滑落破坏正常工作。

参阅图15，其中(b)为理想工作状况；若  $\beta_1 < \beta$ ，由于  $n < n_{R1}$ ，物料不易向上偏流形成非均匀厚层；而若  $\beta_2 > \beta$ ，由于  $n > n_{R2}$ ，凸起的集浮区会超越分离圈内沿，影响“刮”分效果。



虚线表示分出的轻质物中某组分含量百分比  
实线表示分出的某组分对原料含量百分比

图16 混合物料分选实验曲线

3)料盘表面性状 物料同盘面之间不可能没有摩擦,但要力求 $f$ (或 $\phi_m$ )值偏小,以便配合适当的 $\beta$ 、 $n$ 值促使最下层物料产生良好的相对运动;与此同时,为加强各物料层的相对运动,还有必要在光滑的盘面上匀布凹点(或凸点)。而若象图15(a)的右侧分图表示的那样,取 $f_1 > f$ ,  $n < n''_R$ ,则物料流动不畅,甚至无法形成集浮中心。

4)料盘平移回转半径 运用“平筛”(β=0)的工作原理<sup>[2]</sup>,适当增大料盘的平移回转半径有利于扩大物料层及其集浮中心的相对运动轨迹。在图15中表明了改变β值对分选效果的种种影响。过小,集浮中心达不到分离圈的内沿;而过大,集浮中心又难以形成。

另一方面,一经选定β值,则ρ只与料盘内摆圈的中心距 $H$ 有关;因此,ρ值过大,将使总体构造高大笨重。

## 四、生产能力与驱动功率

### 1. 生产能力

台时产量可按下式计算。

对分选散粒物料

$$Q = \frac{K\pi R^2 h_p \gamma}{T} \quad (\text{kg/h}) \quad (19)$$

对加工团子食品

$$Q = \frac{KNG_p}{T} \quad (\text{kg/h}) \quad (20)$$

式中

$h_p$ ——盘上散粒物料的平均厚度

$\gamma$ ——原料密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$N$ ——料盘可容的团子个数

$G_p$ ——单个团子的平均重量( $\text{kg}$ )

$T$ ——原料完成一次集浮分级(或生团完成一次均匀滚粘)所需的有效时间

$K$ ——工况系数,考虑对连续加料、流量波动、物性变化等因素的校正,由实验测定在给定条件下,为达到预期的生产能力和工艺效率,务必合理控制料层厚度(或团子可容个数及滚粘所配细粒物料量),并确定适当的分离圈内沿高度、料盘周边开孔大小(加工团子应完全封闭孔道)和基本参数组合,从而维持稳定的物料平衡。

强调指出,选择较大的料盘直径对提高生产能力尤有重要意义,这往往牵涉许多因素,除上述以外,尚需着重解决料盘选材、制造方法、定位措施等问题,而且最好能形成系列化产品,便于因地制宜使用。

### 2. 驱动功率

本机械化旋筛在正常运转过程中所消耗的能量主要用来补偿:主体部分(包括承载物料)做旋晃运动的动能损失;物料相对分选料筒各接触面以及整个运动副实现机构传动而产生的摩擦阻抗。

1)主体旋晃运动的能量损失

参阅图4和图17,此一部分功率为

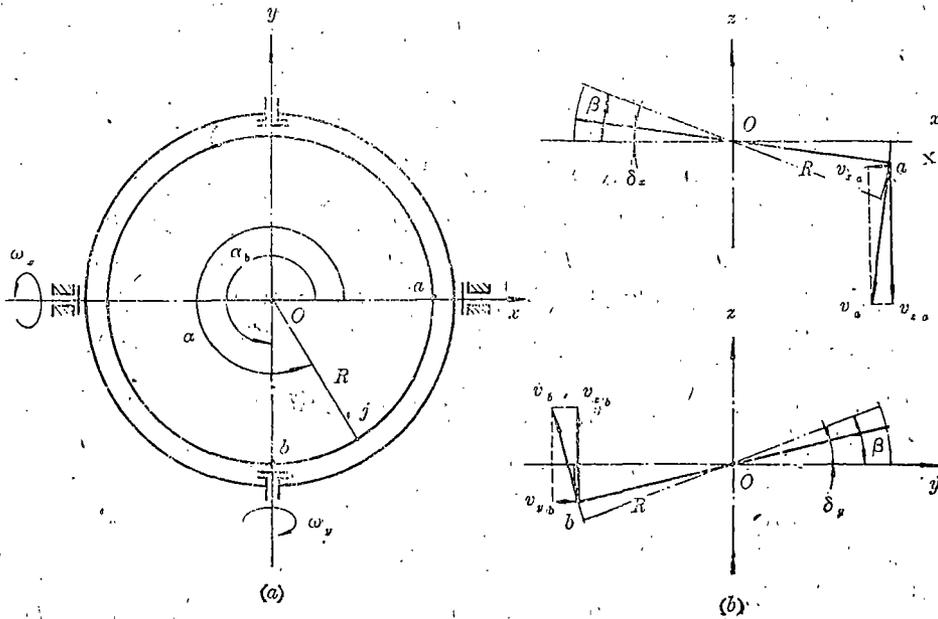


图17 分选料筒内外摆圈的运动分析

$$W_1 = \frac{n}{6 \times 10^3} (I_x \omega_{x\max}^2 + I_y \omega_{y\max}^2) \quad (\text{kW})$$

式中  $I_x$ ——分选料筒(包括承载物料)、内摆架、外摆圈及有关附件对  $x$  轴的转动惯量 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )

$I_y$ ——分选料筒(包括承载物料)、内摆架及有关附件对  $y$  轴的转动惯量 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )

$\omega_{x\max}$ ——外摆圈支轴的最大角速度 ( $\text{rad/s}$ )

$\omega_{y\max}$ ——内摆架支轴的最大角速度 ( $\text{rad/s}$ )

由于

$$\omega_x \frac{v_b}{R} = \frac{v_{zb}}{R \cos \delta_y} = \frac{\omega \sin \beta \cos \alpha}{\sqrt{1 - (\sin \beta \sin \alpha)^2}}$$

$$\omega_y = \frac{v_a}{R} = \frac{v_{za}}{R \cos \delta_x} = \frac{\omega \sin \beta \sin \alpha}{\sqrt{1 - (\sin \beta \cos \alpha)^2}}$$

故得

$$W_1 = \frac{(I_x + I_y) n^3 \sin^2 \beta}{5.47 \times 10^6} \quad (\text{kW}) \quad (21)$$

由图 18 了解到, 该分选料筒内外摆圈支轴的角速度绝对值之和是随原动轴角位移而有所波动的, 当然这会有关构件的受力状况均产生周期性变化。况且  $\beta, n$  愈大, 这种倾向亦愈明显。

2) 物料相对盘面运动的能量损失

如图 19 所示, 物料沿盘面向上偏流大体上形成一个斜切的正圆柱体。设料层的有效半径为  $R$ , 最小和最大厚度分别为 0 和  $h_{\max}$ 。不过从物料与盘面接触摩擦而作功的角度来看, 又可

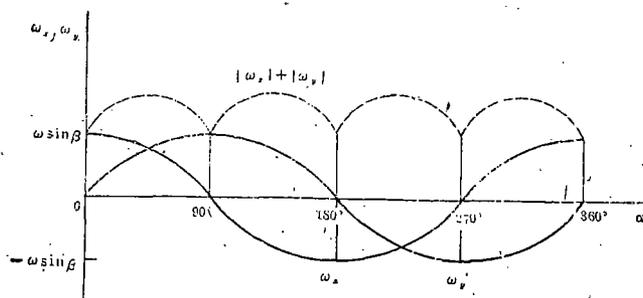


图18 分选料筒内外摆圈的角速度曲线

近似等效地把它当作是一个高度等于 $h_p$ 的正圆柱体。据此,假想在料层中取一半径为 $r$ ,宽度为 $dr$ 的微环形空间,令重力 $dG = 2\pi r dr h_p \gamma g$ ,则物料对整个盘面的摩擦力距

$$M_o = \int_0^R r f dG \cos \beta$$

$$= \frac{2\pi}{3} f h_p R^3 \gamma g \cos \beta \quad (\text{N}\cdot\text{m})$$

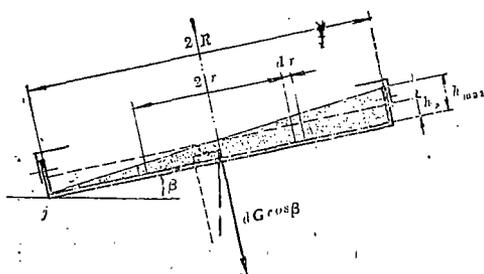


图19 物料层的分布状态及其对盘面的摩擦作用

若整个料层及其集浮中心是绕盘心环流的,运动的周期和方向同原动主轴一致,则相应功率

$$W_2 = M_o \omega = \frac{f h_p R^3 \gamma g n c \cos \beta}{4.56 \times 10^3} \quad (\text{kW}) \quad (22)$$

若加工团子食品,在运用式(22)时,应按下述条件求解盘上物料层当量厚度 $h_p$ ,以置换原式中的 $h_d$ 。仍设团子在盘上可容个数为 $N$ ,单个平均重量为 $G_p$ ,下层细料的平均厚度为 $h'_p$ ,密度为 $\gamma$ ,由于

$$\pi R^2 h_d \gamma = \pi R^2 h'_p \gamma + N G_p$$

得知

$$h_d = h'_p + \frac{N G_p}{\pi R^2 \gamma} \quad (23)$$

倘若 $f, \gamma, h_p$ (或 $h_d$ )保持不变,则影响 $W_2$ 的主要因素是 $R, \beta$ 和 $n$ 。

至此,可求机械化旋筛的驱动功率

$$W_o = \frac{K_o}{\eta_o} (W_1 + W_2) \quad (\text{kW}) \quad (24)$$

式中

$\eta_0$ ——机械总传动效率

$K$ ——安全系数, 一般取1.2~1.3, 以大致计入所有被忽略因素的能耗

### 致 谢

多年来, 本发明曾先后得到本院、南京工学院附属机械厂、南通县包装机械厂有关领导和同志的支持与帮助, 谨致衷心谢意。

### 参 考 文 献

[1] 张启先, 《空间机构的分析与综合》(上册), 机械工业出版社, 1984

[2] Н.М. Бушуев, Семечистительные Машины, Машгиз, 1962