

# 逆流谷物烘干机扫仓搅龙结构参数研究

邵长发 毛志怀

(中国农业大学)

**摘 要** 通过对扫仓搅龙中物料的运动分析, 推导出保证搅龙高效输送谷物的基本条件, 以及搅龙轴直径、螺距、螺旋升角等基本参数的计算式, 从而得出适用于逆流烘干机的扫仓搅龙最佳结构参数。鉴于目前常用的变直径变螺距扫仓搅龙加工困难, 研究了排粮后仍保持仓顶平整的等螺距的扫仓搅龙各叶片谷物输送量的分布曲线, 提出了等螺距锥一直分段组合式螺旋结构。通过在 5HPN 型平床逆流干燥机上的应用表明, 研究结果完全符合实际要求。

**关键词** 扫仓搅龙 等螺距 锥-直分段组合搅龙 烘干机

扫仓搅龙是仓式或平床式逆流谷物烘干机的一个关键工作部件, 通过扫仓搅龙在仓底一边自转一边公转, 将下层已被烘干的谷物一层层排出, 仓内谷物在重力作用下, 缓慢向下流动, 并由上而下逐渐干燥。自转中保证谷物输出流畅。公转扫仓时保持谷物上层平整、不偏仓, 以便仓内风阻平衡, 从而保证干燥的均匀性。这是扫仓搅龙设计的重要条件。

## 1 保证谷物输送流畅的基本条件

### 1.1 $r-v$ 曲线的确定

设扫仓搅龙以转速  $n$  绕  $X$  轴作回转运动, 距回转中心  $r$  处的物料  $A$ , 在螺旋面的作用下, 呈一空间运动状态<sup>[1,2]</sup>, 它是由与螺旋面发生相对滑动的圆周速度  $v_t$  及沿  $X$  轴方向移动的推进速度  $v_x$  复合而成。其运动速度由速度三角形可得<sup>[1,2]</sup>, 即

$$v_t = \frac{S n}{60} \frac{\frac{S}{2\pi r} + f}{\left(\frac{S}{2\pi r}\right)^2 + 1} \quad (1)$$

$$v_x = \frac{S n}{60} \frac{1 - f \frac{S}{2\pi r}}{\left(\frac{S}{2\pi r}\right)^2 + 1} \quad (2)$$

式中  $S$  ——搅龙螺距, mm;  $f$  ——物料对螺旋面的摩擦系数,  $f = \tan \Phi^{[4]}$ ;  $n$  ——搅龙的转速, r/min;  $\alpha$  ——搅龙的螺旋升角,  $\tan \alpha = S/2\pi r^{[4]}$ 。

当搅龙的转速  $n = 256$  r/min 时, 取物料对钢叶片的摩擦系数  $f = 0.35^{[1]}$ , 螺距分别为  $S = 65$  mm、 $S = 100$  mm 代入上式, 可得到物料运动速度  $v_t$ 、 $v_x$  随半径变化的  $r-v$  曲线如(图 1)。

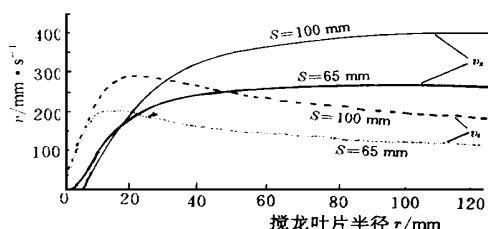
### 1.2 谷物输送的基本条件

扫仓搅龙以角速度  $\omega$  绕轴  $X$  作回转运动时, 圆周速度  $v_t$ , 使谷物绕搅龙轴旋转。由  $r-v$

收稿日期: 1999-01-20

邵长发, 副教授, 北京海淀区清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)机械工程院, 100083

曲线知, 速度  $v$  在螺旋半径长度范围内是变量, 靠近回转中心处, 圆周速度  $v_t$  增幅较大且急剧增至最大值, 而该段推进速度  $v_x$  则明显偏低。于是, 谷物移动过程中, 内层物料较快地绕轴转动外移, 谷物彼此产生相对滑动, 形成附加物料流, 既影响谷物轴向输送又增加能耗。随着半径的增加, 谷物的圆周速度  $v_t$  渐减并趋于平缓, 而推进速度  $v_x$  渐增。只有叶片上任一点的物料其推进速度  $v_{x_{ri}}$  均大于该点的圆周速度  $v_{t_{ri}}$  时, 谷物沿搅

图1  $r-v$  曲线Fig 1  $r-v$  curve

龙轴向输送才有保证, 即  $v_{x_{ri}} - v_{t_{ri}} > 0$ , 由式(1), (2) 有  $1 - f \frac{S}{2\pi r} - \frac{S}{2\pi r} - f > 0$   
若螺旋叶片内径为  $r_0$ , 则保证任意点谷物输送的基本条件为

$$r_0 > \left( \frac{1+f}{1-f} \right) \frac{S}{2\pi} = r \quad (3)$$

## 2 扫仓搅龙主要参数的确定

### 2.1 搅龙轴直径 $d_0$ ( $d_0 = 2r_0$ ) 的确定

由式(3)可知, 在具有条件  $d_0 \geq 2r$  时, 才能满足搅龙输送性能的要求。

搅龙轴直径不仅应符合上述性能要求, 还需对搅龙的刚度、径向结构尺寸和生产率等因素综合考虑, 以便获得最佳结果。

### 2.2 搅龙螺距 $S$ 的确定

当转速  $n$  及物料(亦即摩擦系数)一定时, 相同半径  $r$  处, 螺距大的, 物料运动速度  $v$  就大, 如(图2)所示, 要使叶片上任一点的推进速度  $v_{x_{ri}}$  均大于该点的圆周速度  $v_{t_{ri}}$ , 其临界点为  $v_x = v_t$ 。假设起码在  $D$  处有  $v_x = v_t$ , 则螺距  $S$  与搅龙叶片最大外径  $D$  的关系是:

$$\text{当 } v_x = v_t, \text{ 则有 } S = \left( \frac{1-f}{1+f} \right) \pi D$$

其中, 农业物料对钢的摩擦系数一般为  $0.3 \sim 0.6$ <sup>[1]</sup>, 所以螺距  $S$  应满足条件:

$$S = (1.6 \sim 0.8) D \quad (f \text{ 小时取大值})。$$

### 2.3 搅龙叶片内径螺旋升角 $\alpha_0$ 的确定

只有当推进速度  $v_x > 0$  时, 物料才能被轴向输出, 由(2)式可知, 当螺距  $S$ 、转速  $n$  一定时,

$$\text{应有: } 1 - f \frac{S}{2\pi r} > 0, \text{ 于是有 } 1 - \tan \varphi \tan \alpha > 0 \quad \text{即 } \tan \alpha < \frac{1}{\tan \varphi} = \cot \varphi$$

所以  $\alpha < 90^\circ - \varphi = \alpha_{\max}$ , 搅龙叶片不同半径处螺旋升角  $\alpha$  不同, 内径  $r_0$  处为  $\alpha_0$ , 其值最大, 须满足:  $\alpha_0 < \alpha_{\max}$

### 2.4 搅龙的生产率决定其叶片的最大外径 $D$

通常搅龙的生产率  $Q$  (kg/h) 可由螺旋叶片上物料的平均速度近似求出<sup>[1~3]</sup>。

$$\text{生产率: } Q = 3600 F \bar{v}_x \rho \Psi$$

式中  $\bar{v}_x$ ——被送物料水平输送的平均推进速度, m/s;  $F$ ——被送物料层的横断面积, m<sup>2</sup>;  
 $\rho$ ——被送物料的密度, kg/m<sup>3</sup>;  $\Psi$ ——充满系数。

物料水平输送的平均推进速度  $\bar{v}_x$  (m/s) 可用积分方法计算, 取其近似值, 即

$$\bar{v}_x = \frac{1}{2} \int_{r_0}^{\frac{D}{2}} v_x \, dr \quad \text{则 } \bar{v}_x = \frac{S n}{60}$$

当生产率  $Q$ 、转速  $n$  已知, 螺距  $S$  给定时, 扫仓搅龙叶片最大外径  $D$  (m) 应是

$$D = \sqrt{\frac{Q}{15\pi S n \Psi \rho} + d_0^2} \quad (4)$$

### 3 保持仓内谷物上层平整的最佳扫仓搅龙结构

#### 3.1 扫仓搅龙各叶片谷物输送量不等原则

一般搅龙输送物料时, 各叶片的输送量相等, 均等于前一叶片的输送量。而扫仓搅龙则一面自转输送谷物, 一面公转一层层将底仓的粮食排出。当搅龙公转一个角度  $\theta$  时, 各叶片扫过的物料量是不等的, 靠近回转中心的叶片, 扫过的量少。同时, 各叶片工作时均要将各自所扫过区域的谷物输送出去, 即每一段叶片不仅要接受前一叶片的输送量, 还要输送自身吃入的物料, 这是一个累积的过程。欲使排粮过程中整个仓底均匀地排出一层谷物, 顶层粮食表面均匀下降, 既不发生堆积现象, 也不使仓内谷层扰动, 扫仓搅龙必须满足各叶片谷物输送量不等原则, 即在任一时间段里, 越靠近公转中心, 其叶片的输送量应越大。各叶片的输送量的累积效应, 可用下式表示

$$Q(x) = \frac{\theta}{2} \rho S^2 (2N x - x^2) h \quad (x = 1, 2, 3, 4, \dots, n, n < N)$$

式中  $R$  ——仓体半径,  $N = R/S$ ;  $h$  ——粮层厚度;  $n$  ——搅龙叶片序号, 其他符号同前。

当螺距  $S$  一定时, 取  $h$  为扫仓厚度, 可得出任一时间段里搅龙各叶片应具有谷物输送量的分布曲线(图 2)。该曲线表明了各叶片之间谷物输送量的量化关系。

#### 3.2 等螺距锥—直分段组合式螺旋扫仓搅龙结构

由(图 2)知, 为了能在排粮中保持粮仓上层平整、不偏仓, 扫仓搅龙外径应呈抛物线型, 但从便于加工考虑, 可采用几段等节距锥螺旋的组合结构形式来代替。各段的锥度不等, 越靠近公转中心, 锥度越小, 直至为零。各锥螺旋的变直径采用等差数列。其等差级数计算如下:

$$\text{螺旋搅龙长度} \quad L = S n \quad (5)$$

$$\text{锥螺旋小端外径} \quad D_{\text{小}} = D_{\text{大}} - 2L \tan \frac{k}{2} \quad (6)$$

$$\text{锥螺旋各叶片外径} \quad D_n = D_{\text{大}} - (n - 1)q \quad (7)$$

式中  $n$  ——螺旋叶片个数;  $q$  ——级差;  $D_{\text{大}}$  ——锥螺旋大端直径;  $D_{\text{小}}$  ——锥螺旋小端直径;  $k$  ——螺旋锥度。

又如(图 2)所示, 靠近公转中心处曲线较平缓, 即叶片输送量的增量渐少, 因此这一段取为等直径搅龙, 其外径  $D$  值由(4)式求出。(5)、(6)、(7)式联立, 可求出各变直径, 螺旋的节数和级差。其结构形式为‘等螺距锥——直分段组合式螺旋结构’, 如图 3 所示。

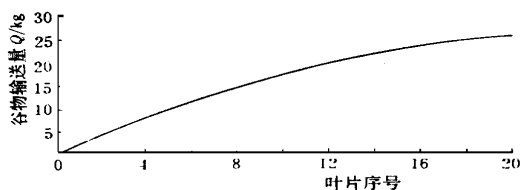


图 2 搅龙各叶片物料输送量分布曲线

Fig 2 The grain transporting column curve of auger flights

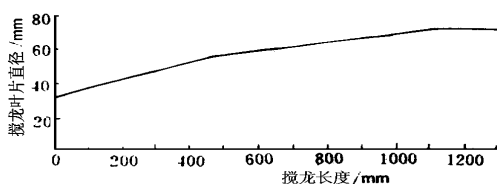


图 3 扫仓搅龙叶片外径曲线

Fig 3 The illustration of the diameter of auger flight

## 4 结 论

1) 本文以搅龙叶片上任一点的物料其推进速度  $v_{x_{ri}}$  均应大于该点的圆周速度  $v_{t_{ri}}$ , 即  $v_{x_{ri}} - v_{t_{ri}} > 0$  为基本条件, 推导出搅龙轴直径  $d_0$ , 内径螺旋升角  $\alpha_0$  以及螺距  $S$  和螺旋外径  $D$  的关系式, 由此得出的参数是保证谷物输送流畅的搅龙最佳参数。它不仅适用于扫仓搅龙, 同样适用于其他输送搅龙。

2) 欲使排粮过程中保持仓内谷物上层平整, 必须遵循扫仓搅龙各叶片谷物输送量不等原则。

3) ‘等螺距锥——直分段组合式螺旋结构’是最佳的扫仓搅龙结构。它既满足整机性能要求, 又便于加工生产。

依据上述结论设计了 5HPN 平床逆流干燥机三种机型的扫仓搅龙, 每种扫仓搅龙均呈‘等螺距锥——直三段组合式螺旋结构’。经过实验及生产实践检验表明, 该搅龙完全满足整机性能要求, 说明本文的研究结论符合实际情况, 具有实用价值。

## 参 考 文 献

- 1 沈再春 农产品加工机械与设备 北京: 中国农业出版社, 1995 11~ 15
- 2 洪致育, 林良明 连续运输机 北京: 机械工业出版社, 1982 219~ 241
- 3 何金榜, 延曦, 陈公望 谷物干燥机械 北京: 中国农业机械出版社, 1988 85~ 150
- 4 濮良贵, 纪名刚 机械设计 北京: 高等教育出版社, 1997 58~ 91, 364~ 386

## Study of Structure Parameters of Sweep Augers for Counter-Flow Dryer

Shao Changfa Mao Zhihui

(China Agricultural University, Beijing)

**Abstract** By analyzing the movement of material in the sweep auger, the conclusion of the basic requirements of auger's efficiently transporting grain was drawn, and the formulas of elemental parameters of axle diameter of auger, its pitch and helix angle and etc were obtained, from which the better structure parameters of sweep augers suitable for counter-flow dryer were got. The characteristics of sweep augers as well as the grain transporting column curves of auger flights with the equal pitch keeping the bin top level after removing grain was analysed. It is considered that the manufacture of popular sweep augers with variable pitch is difficult. Finally the auger of equal pitch with combining structure of straight and taper types was developed. Through applying them to the 5HPN flat-bed counter-flow dryer, it is indicated that the research conclusion meets the actual requirements completely.

**Key words** sweep auger, equal pitch, combination of straight and taper augers dryer