

## 螺旋弹簧输送装置的试验研究

崔清亮

吕忠孝

(山西农业大学) (中国农业大学农业工程研究院)

**摘要** 参照螺旋搅龙的设计计算方法, 给出了螺旋弹簧输送装置在垂直向上输送物料时的临界转速、垂直向上分速度和理论生产率的计算公式。试验测定了临界转速和实际生产率, 并对试验结果和计算值进行了对比分析。

**关键词** 螺旋弹簧; 输送装置; 试验研究

**分类号** TH 224; S 817.16

### The Experimental Research on Spiral Spring Feeding Device

Cui Qingliang

Lü Zhongxiao

(Shanxi Agricultural University) (Agricultural Engineering Institute, CAU)

**Abstract** Referring to the design and calculation method of the spiral agitating device, the formulas of critical revolution speed, perpendicular upward velocity and theoretical feeding rate are developed. When the spiral spring feeding device carries material, the critical revolution speed and practical feeding rate are confirmed, the experimental outcomes and the formulas are compared.

**Key words** spiral spring; feeding device; experimental research

螺旋弹簧输送装置是一种利用螺旋弹簧的旋转推动物料沿着输料管移动, 并在开口处卸出的输送设备, 可用于颗粒料和粉料等物料的水平输送、倾斜输送和垂直输送; 当输料管为柔性时, 在一定范围内还可以在空间作任意弯曲输送。它不适用于输送易结块和黏性大的物料, 也不适用于有腐蚀和易爆的场所。当输料管布成L型时, 在水平段加料, 螺旋弹簧就产生使物料强迫喂入的力, 并使物料在垂直段由下向上提升, 这样使用效果更好<sup>[1]</sup>。该种输送装置结构简单, 输送物料均匀, 密封性好, 制造安装和维护方便, 是一种简便实用的输送装置。

### 1 工作原理

当螺旋输送装置工作时螺旋弹簧在电机驱动下作高速旋转, 被输送物料在螺旋弹簧上的任一点都产生轴向推力和径向离心力。在离心力的作用下, 物料被甩到输送管壁和螺旋弹簧之间, 并形成物料层, 物料层受到管壁摩擦力和物料内摩擦力的作用, 而与螺旋弹簧之间产生相对运动, 使物料层不随螺旋弹簧同步旋转而是沿着另一条螺旋线运动, 从而向上(或向前)输送物料。

收稿日期: 2000-04-12

崔清亮, 山西太谷 山西农业大学农业工程系, 030801

吕忠孝, 北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区) 194 信箱, 100083

## 2 理论计算公式

通过对在垂直输送状态下物料的受力和运动分析, 得出了螺旋输送装置垂直输送物料时的临界转速、垂直方向上分速度和理论生产率的计算公式<sup>[2]</sup>。

临界转速是指物料层在螺旋弹簧作用下, 将要产生垂直向上的分速度, 但尚未与螺旋弹簧产生相对运动时, 螺旋弹簧的最低转速, 是确定螺旋弹簧输送装置最低转速的依据。计算公式如下

$$n_c = \frac{30}{\pi} \left( \frac{g \tan(\alpha + \beta)}{r_1 \mu} \right)^{1/2} \quad (1)$$

式中:  $n_c$  为临界转速,  $r \cdot m \cdot \text{in}^{-1}$ ;  $\mu$  为物料与输料管内壁的摩擦因数;  $r_1$  为螺旋弹簧的半径,  $m$ ;  $\beta$  为物料与螺旋弹簧的摩擦角, ( $^\circ$ );  $\alpha$  为螺旋弹簧的螺旋升角, ( $^\circ$ );  $g$  为重力加速度,  $m \cdot s^{-2}$ 。

当螺旋弹簧的实际转速超过临界转速时, 其上任一点的圆周速度就超过该点物料颗粒所能具有的在临界状态下的最大圆周速度, 从而使物料颗粒与螺旋弹簧之间产生相对运动。物料颗粒垂直向上分速度为

$$v_n = \frac{\pi r}{60} (n_r - n_c) \sin(2\alpha) \quad (2)$$

式中:  $v_n$  为物料颗粒垂直向上的分速度,  $m \cdot s^{-1}$ ;  $n_r$  为螺旋弹簧的实际转速,  $r \cdot m \cdot \text{in}^{-1}$ 。

在确定了物料垂直向上输送的速度后, 便可得到输送装置的理论生产率

$$Q_{th} = 367 \rho_l v_n \quad (3)$$

式中:  $Q_{th}$  为理论生产率,  $kg \cdot h^{-1}$ ;  $\rho_l$  为输料管内被输送物料线质量,  $kg \cdot m^{-1}$ ,  $\rho_l = 1000V \rho / s$ ; 其中  $\rho$  为被输送物料的体积质量,  $kg \cdot m^{-3}$ ,  $s$  为螺旋弹簧的螺距,  $m$ ,  $V$  为一个螺距长度内所包含物料的容积,  $m^3$ 。

$V$  值的估算: 假设在输送过程中物料不是充满输料管, 而是在螺旋弹簧的作用下抛向输料管壁, 在螺旋弹簧与输料管之间形成一物料层, 如略去弹簧本身所占容积, 则在一个螺距  $s$  长度内物料的容积为

$$V = \frac{\pi}{4} [(D_1 - 2\delta)^2 - (D_2 - d - \Delta D)^2] s$$

式中:  $D_1$  为输料管的外径,  $m$ ;  $\delta$  为输料管壁厚,  $m$ ;  $D_2$  为螺旋弹簧的中径,  $m$ ;  $d$  为弹簧丝的直径,  $m$ ;  $\Delta D / 2$  为处于螺旋弹簧内径至其旋转中心的物料带动层的厚度, 它与物料特性有关。这里当物料为玉米时取  $\Delta D = 0.016 m$ , 物料为小麦时取  $\Delta D = 0.010 m$ 。

当然, 物料在输送管内不同位置的垂直向上分速度及物料在管内的空间分布状态, 与物料特性、输料管内表面的状态、螺旋弹簧丝的断面形状和表面状况、螺旋弹簧的转速等因素有关,  $V$  值估算的精确性需试验验证。

## 3 试验及结果分析

### 3.1 试验装置

试验装置见图 1。采用动力为无级调速电机, 额定功率为 5.5 kW, 调速范围为 120~1200  $r \cdot m \cdot \text{in}^{-1}$ ; 输料管为聚乙烯塑料管, 其外直径  $D_e = 63 \text{ mm}$ , 壁厚  $\delta = 5 \text{ mm}$ , 弯曲半径  $r_2 = 1.5 \text{ m}$ ,

水平段长度  $l = 3 \text{ m}$ , 垂直段高度  $h = 3 \text{ m}$ ; 螺旋弹簧中径  $D_t = 34 \text{ mm}$ , 螺距  $s = 34 \text{ mm}$ , 弹簧丝直径  $d = 6 \text{ mm}$ 。

3.2 试验物料<sup>[3]</sup>

- 1) 玉米。体积质量  $796 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 颗粒尺寸为  $9 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ ,  $\mu$  为 0.44,  $\beta$  为  $17.74^\circ$
- 2) 小麦。体积质量  $816 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 颗粒尺寸为  $7 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ ,  $\mu$  为 0.42,  $\beta$  为  $16.70^\circ$

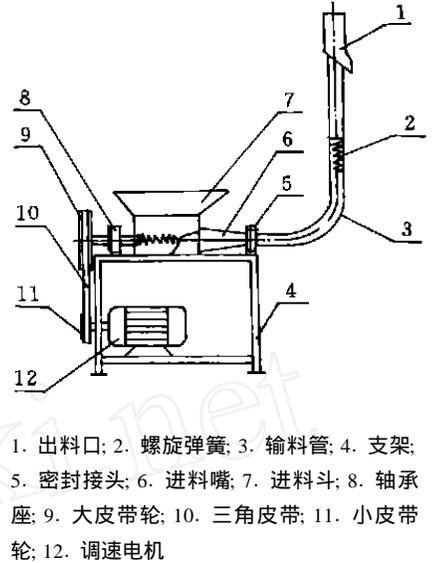
3.3 测试内容

- 1) 分别测试输送玉米和小麦的临界转速  $n_c$ ;
- 2) 分别测试输送玉米和小麦时, 在几种不同转速下的实际生产率  $Q_r$ ;

- 3) 观察物料在输料管内的状态;
- 4) 测量物料输送后的破碎率。

3.4 测试结果

- 1) 输送玉米和小麦的临界转速分别为  $280$  和  $285 \text{ r}\cdot\text{m}^{-1}$ 。
- 2) 输送玉米和小麦在转速为  $300 \sim 1000 \text{ r}\cdot\text{m}^{-1}$  (增量为  $100 \text{ r}\cdot\text{m}^{-1}$ ) 时的实际输送生产率  $Q_r$  见表 1。



1. 出料口; 2. 螺旋弹簧; 3. 输料管; 4. 支架; 5. 密封接头; 6. 进料嘴; 7. 进料斗; 8. 轴承座; 9. 大皮带轮; 10. 三角皮带; 11. 小皮带轮; 12. 调速电机

图 1 试验装置简图

表 1 实际生产率测试结果

物料	$n_r / (\text{r}\cdot\text{m}^{-1})$							
	300	400	500	600	700	800	900	1000
玉米	350	602	925	1 222	1 586	1 861	2 080	2 350
小麦	266	582	865	1 210	1 410	1 830	2 045	2 311

- 3) 经观察, 在输送过程中, 输料管内的物料均匀分布, 且呈“涡旋”运动状态, 随着螺旋弹簧转速的提高, “涡旋”变得愈深。
- 4) 玉米和小麦输送后的破碎率分别为  $0.2\% \sim 0.3\%$  和  $0.16\% \sim 0.21\%$ 。

3.5 数据处理与分析

1) 试验测得输送玉米和小麦的临界转速分别为  $280 \text{ r}\cdot\text{m}^{-1}$  和  $285 \text{ r}\cdot\text{m}^{-1}$ , 由式(1)计算的临界转速分别为  $269 \text{ r}\cdot\text{m}^{-1}$  和  $293 \text{ r}\cdot\text{m}^{-1}$ , 实测值与理论计算值的相对误差分别为  $3.9\%$  和  $2.8\%$ , 基本相近, 故式(1)可作为设计计算的理论依据。

2) 在结构参数确定的条件下, 理论生产率  $Q_{th}$  与螺旋弹簧的实际转速  $n_r$  成线性关系, 且  $Q_{th}$  随着  $n_r$  的增大而增大(由式(2)和(3)可知)。对表中的测试数据经线性回归, 分别得到输送玉米和小麦的生产率  $Q_r$  和螺旋弹簧的转速  $n_r$  的回归关系式。

$$Q_r = -598.4 + 2.943n_r, R = 0.998$$

$$Q_r = -528.6 + 2.924n_r, R = 0.998$$

实测值、回归结果与理论值的比较见图 2 和图 3。可知: a. 输送玉米的实际生产率比小麦

的略高,主要原因是玉米的颗粒尺寸和内摩擦角比小麦的大,输送时管内形成的物料带动层较厚。b. 在低速(约小于  $600 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ) 输送时,实测生产率比理论值较高,速度越低,偏差越大;在高速(约大于  $600 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ) 输送时,实测生产率比理论值较小。主要原因是输料管布置成L型,在水平段加料,螺旋弹簧产生把物料强迫喂入的力,低速输送时,管内物料的充满系数较大,故实测生产率比理论值较大;在高速输送时,水平段的推力相对减弱,物料颗粒的离心力显著增大,受管壁的反弹作用明显增强,垂直向上分速度反而比理论计算值有所下降,故实测生产率比理论值偏低。

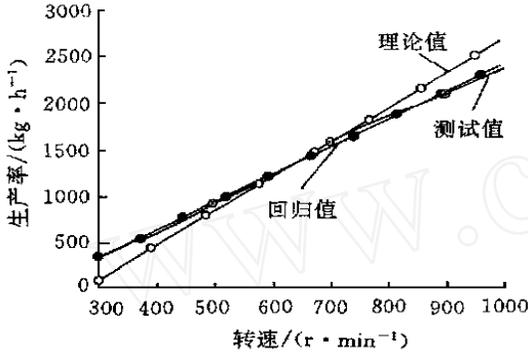


图2 输送玉米时生产率与转速的关系

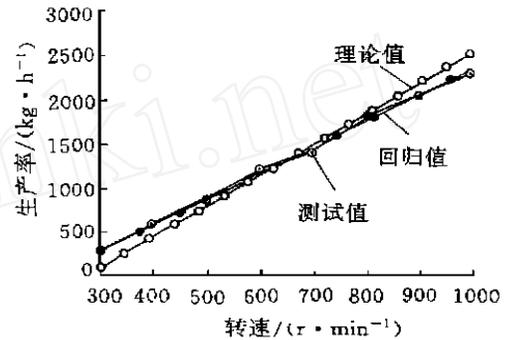


图3 输送小麦时生产率与转速的关系

## 4 结 论

- 1) 本文中给出的螺旋弹簧输送装置的临界转速计算公式, 可以作为设计计算的理论依据;
- 2) 输送物料的理论生产率计算公式可以作为设计计算的参考依据。在低速输送物料时, 实际生产率比理论计算值偏大; 高速输送时, 实际生产率比理论计算值偏小, 且与物料的特性有关。

## 参 考 文 献

- 1 梁庚煌主编 运输机械手册(第二册). 北京: 化学工业出版社, 1983 11
- 2 崔清亮 农户贮粮设备的研究: [学位论文]. 北京: 北京农业工程大学, 1995
- 3 赵学笃, 陈元生, 张守勤, 等编 农业物料学. 北京: 机械工业出版社, 1987 11