

人力脱粒机不同传动方式的研究

王建民^① 邵治东 唐忠强
姜 燧 童景强 王传斌
(贵州省山地农机所)

提 要 人力脱粒机的齿轮传动与柔性传动,是我国当今的两种主要传动方式。通过对机构的运动分析,指出脱粒机的齿轮传动优于柔性传动,后者隐藏着严重缺点,因其脚踏板速度特性不佳,影响脱粒性能,而且操作者劳累。

关键词 脱粒机 传动方式

1 引 言

近年来人力脱粒机出现了一种新的传动方式——柔性传动(属专利技术)。由于柔性传动(以下简称柔传)不需要齿轮,因此生产制造比较容易,成本也比齿轮传动(以下简称齿传)低,很多地、县农机厂,已经着手大批量生产,推广了这种柔传脱粒机。可以说,新的传动方式来势迅猛,但相关理论的研究尚未跟上。

1993年我们研制了柔传、齿传两种脱粒机进行了对比试验;同时对两种机构进行运动分析,从理论上得到了提高。研究成果对今后人力脱粒机的选型设计使用推广有一定的指导意义。

2 柔性传动脱粒机

2.1 结构与工作原理

该机主要由摇杆、柔带、皮带轮、胶带及滚筒等组成见图1。

当摇杆 A_1 、 O 、 B_1 的 A_1 端被踩时, B_1 端就扯拉缠绕在皮带轮上的柔带 B_1S , 迫使皮带轮及滚筒绕 C 点旋转。当摇杆旋转到终止位置 A_2 、 O 、 B_2 时, 由于操作者抬脚, 反向缠绕在皮带轮上的胶带的收缩力促使皮带轮快速反转, 柔带被重新缠绕在皮带轮上, 摇杆被拉回到起

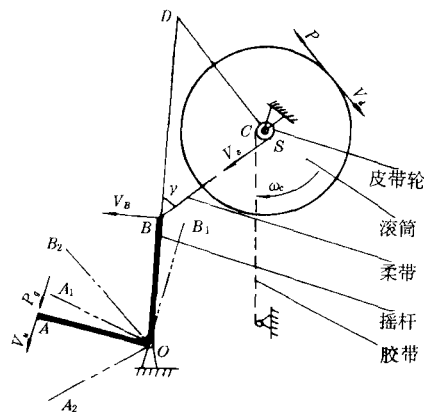


图1 柔性传动脱粒机机动图

Fig. 1 Mechanism of the flexible transmission type thresher

收稿日期:1994-09-03

①王建民, 工程师, 贵州省贵阳市 贵州省山地农机所, 550002

始位置 A_1, O, B_1 。皮带轮是通过自行车小链轮与滚筒主轴相连的,因此它反转时并不影响滚筒的继续旋转。

2.2 机构运动分析

2.2.1 脚踏板速度解析式

当摇杆处在一个任意位置 AOB 处(图1)。延长 SC 线及 OB 线,得交点 D ,由于 B 点速度 V_B 垂直于 BD , S 点速度 V_S 垂直于 SD ,因此可以确定 D 点即为柔带直线段 BS 的速度瞬心,所以:

$$V_S = \omega_D \cdot SD = \omega_c \cdot R$$

$$\text{即} \quad \omega_D = \frac{\omega_c \cdot R}{SD} \quad (1)$$

式中 ω_D —柔带直线段角速度,rad/s; ω_c —皮带轮角速度,rad/s; R —皮带轮半径,mm。

$$V_B = \omega_D \cdot BD = \omega_o \cdot l \quad (2)$$

式中 ω_o —摇杆角速度,rad/s; l —摇杆 BO 段长度,mm。

将(1)式代入(2)式中经整理得:

$$\frac{\omega_c}{\omega_o} = \frac{l \cdot SD}{R \cdot BD} = \frac{l}{R} \cdot \sin \gamma$$

式中 γ —拉力角,是摇杆 OB 或其延长线与柔带 BS 之间的夹角,共有 2 个角,但只取其中 $\leq 90^\circ$ 者。

柔传脱粒机脚踏板速度为:

$$V_u = \omega_o \cdot L = \frac{\omega_c \cdot R \cdot L}{l \cdot \sin \gamma} \quad (3)$$

式中 L —摇杆 OA 段长,mm。

2.2.2 拉力角 γ

拉力角 γ 可反映摇杆拉扯柔带的速度与力量两者方向间的一致程度。

如以 γ_1, γ_2 代表摇杆处在起始与终止位置上的拉力角,那么几乎所有的柔传脱粒机 γ 角的变化规律都是:

$$\overset{\text{渐增}}{\gamma_1} \rightarrow 90^\circ \rightarrow \overset{\text{渐减}}{\gamma_2}$$

表 1 实测贵州几种柔传脱粒机的始、末拉力角

Tab. 1 The measured start and end angles of pull of 3 models of flexible transmission threshers made in the Guizhou Province

项目	5TG-600 型	5TY-550 型	5TGR 型
γ_1	68°	80.5°	70°
γ_2	67°	61°	70°

从表 1 可见,一般柔传脱粒机 γ 角都不小于 60° 。只要设计合理, γ 角可控制在 70° 以上。

γ 角为 90° 时,表示此刻摇杆拉扯柔带的速度与力量的方向完全相同,摇杆的速度全部用在使皮带轮旋转上,传动处在最有效的位置上; γ 角较小,表示此刻摇杆拉扯柔带的速度中有较大的分速度处在与力量垂直的位置上,该分速度不能促使皮带轮旋转,仅只是使柔带

围皮带轮缠绕而已。

2.2.3 柔传的瞬时传动比 i_s

$$i_s = \frac{\omega_r}{\omega_b} = \frac{l}{R} \cdot \sin \gamma$$

由上式可见柔传与齿轮啮合传动有相同之处：角速度之比与回转件半径成反比；不同之处是：柔传瞬时传动比 i_s 尚要引进一个随位置不同而变化着的系数 $\sin \gamma$ 。

2.2.4 脚踏板速度 V_n 的分析

在(3)式中，令滚筒作匀速转动(即 ω_r 是常数)，忽略柔带厚度因此 R 也是常数。则分析所需的 V_n ，唯有 γ 是变量，但 γ 变化有规律，一般都不越出下式范围，即：

$$60^\circ \xrightarrow[\text{渐升}]{\gamma_1} 90^\circ \xrightarrow[\text{渐降}]{\gamma_2} 60^\circ$$

当 $\gamma=90^\circ$ 时 $\sin \gamma=1$ ，此时 V_n 值最小。因此可以判断：当滚筒匀速转动时，柔传脱粒机脚踏板速度沿行程分布为两头大，中间小。但总的说来，波幅不大，多数情况接近于作匀速运动。

当 γ 在 $90^\circ \sim 70^\circ$ 之间变化时，其最小速度与最大速度之比 $K \geq 94\%$ 。

当 γ 在 $90^\circ \sim 60^\circ$ 之间变化时，其 $K \geq 86.6\%$ 。

3 齿轮传动脱粒机

图 2 为当滚筒作匀速转动时，齿传脱粒机机动图，图中选画的脱粒机是脚踏板上、下行程各占曲柄 180° 转角的类型(其他类型与它没有实质性区别，只有小的差异)。

B 点的运动方程为：

$$X_B = \overline{OF} - \overline{BF}$$

$$= R \cos \omega_0 t - J \sqrt{1 - \left(\frac{R}{J} \sin \omega_0 t\right)^2}$$

式中 ω_0 —曲柄角速度(是某个设定的常数)，rad/s； t —时间，s； R —曲柄半径，mm； J —连杆长，mm； l —摇杆 BC 段长，mm。

将式中 $\sqrt{1 - \left(\frac{R}{J} \sin \omega_0 t\right)^2}$ 展成级数，舍弃各高次项，则：

$$X_B = R \cos \omega_0 t - J \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{R}{J}\right)^2 \cdot \sin^2 \omega_0 t \right]$$

齿传脱粒机脚踏板速度 V_z ：

$$V_z = V_B \cdot \frac{L}{l} = \frac{L \omega_0 R}{l} \left(-1 + \frac{R}{J} \cos \omega_0 t\right) \cdot \sin \omega_0 t = V_{z1} + V_{z2}$$

式中 L —摇杆总长，mm； V_{z1} —主要由曲柄旋转产生的速度，mm/s； V_{z2} —主要由连杆摆动而产生的速度，mm/s。

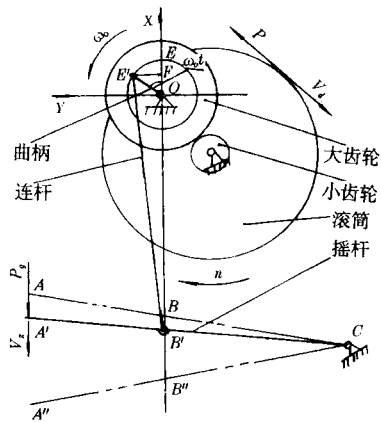


图 2 齿轮传动脱粒机机动图
Fig. 2 Mechanism of the gear transmission type thresher

由于 $|-1|$ 比 $|\frac{R}{J} \cos \omega_0 t|$ 大得多,因此可以得出结论,对应于滚筒匀速转动,齿传脱粒机脚踏板速度是一个以正弦波为主体的图形。

4 脚踏板速度图象

为了形象地、可比地反映出不同速度的特性,我们画出了当脚踏板行程 H 、周期 T 、传动比 i 等均相等的两种脱粒机脚踏板速度图象。

表 2 一种柔传脱粒机脚踏板速度

(当 $H=240\text{mm}$ $i=4$ $T=0.75\text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$)

Tab. 2 Footboard speed of one kind of flexible transmission thresher

t/s	0	$\frac{T}{24}$	$\frac{T}{12}$	$\frac{T}{6}$	$\frac{T}{4}$	$\frac{T}{3}$	$\frac{5T}{12}$	$\frac{11T}{24}$	$\frac{T}{2}$
$\omega_0 t$	0°	60°	120°	240°	360°	480°	600°	660°	720°
γ	70°	75°	79.3°	86.6°	90°	81°	75.5°	73.5°	71°
$\frac{1}{\sin \gamma}$	1.06	1.04	1.02	1	1	1.01	1.03	1.04	1.06
$V_u/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	681	662	652	641	640	648	660	668	677

从图 3 可以看到,若不计 V_{z2} ,那么在 bc 段,时间区间约在 $\frac{T}{9} \sim \frac{7}{18}T$,相当于曲柄转角 $40^\circ \sim 140^\circ$ 之间, V_z 大于 V_u ,最大倍数约为 1.6 倍。

V_u 曲线 $abcd$,只是它的有效部分。事实上脚踏板在下踩行程开始时,其原始速度为 0。在它作加速运动以后,才能到达 a 点。在这过程中脚踏板要经历一段空行程,并且在 a 点还要发生碰撞。同样,到达 d 点之后,操作者虽已抬脚,脚踏板还要继续下行到速度降为 0,这又是一个空行程。在脚踏板上行程终了时还要发生一次碰撞。

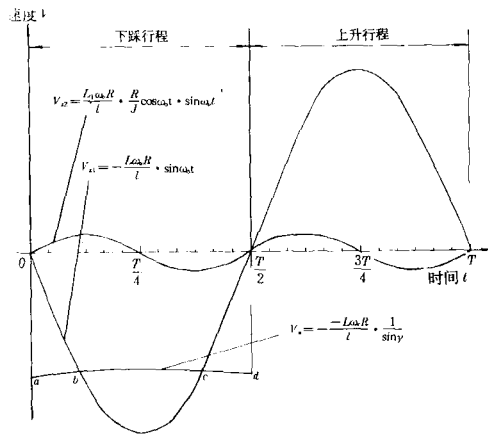


图 3 两种脱粒机脚踏板速度图象

Fig. 3 Speed of the footboard of two kind of threshers

5 机构的静力计算与对比分析

对脱粒机而言,忽略杆件惯性力(低速机构惯性力很小)及各付的功率损耗,若滚筒又作匀速转动,根据能量守恒定律有:

$$P_g \cdot V = P \cdot V_d$$

式中 V —脚踏板瞬时速度, mm/s; V_d —滚筒钉齿线速度, mm/s; P —滚筒阻力 kg; P_0 —脚踏力, 持久作业, 两人共为 50kg。

若 $P_0V > PV_d$, 则滚筒加速旋转;

若 $P_0V < PV_d$, 则滚筒减速旋转。

众所周知, 人工持把, 禾把在滚筒上方, 沿滚筒切向喂入的脱粒作业, 负荷很不均匀, 缠绕与冲击都在一瞬间达到最大值。因此人力脱粒机禾把主体接触弓齿瞬间, 都有瞬时输入功小于消耗功的问题, 因此滚筒转速将下降。

人力脱粒机弓齿线速度一般要求达 8m/s, 滚筒转速够高时, 脱粒过程既快、脱净率又高; 滚筒转速不够高时, 脱粒过程既慢, 脱净率又低。

如果图 1、图 2 中两种脱粒机的 H 、 i 、 T 等都相等, 滚筒转速 n 、线速 V_d 、滚筒阻力 P 等又都相等, 那么对比就具备了同等的条件。在每个下踩行程的 bc 段(时间区间 $\frac{T_1}{9} \sim \frac{7}{18}T$)中:

$$\begin{aligned} &V_z > V_u \\ \text{则} &P_0V_z > P_0V_u \end{aligned}$$

上式表示齿传脱粒机在 bc 段区间中瞬时输入功率比柔传的大(最大倍数为 1.6 倍), 因此面对同样的冲击负荷, 它就能够防止滚筒转速下降过多, 能够保证将籽粒快速击落。

在 ad 段及 cd 段区间中, V_z 小于 V_u , 有经验的齿传脱粒机操作者此刻都不会让禾把与滚筒接触, 而是利用脚踏板低速区的优势——可以耗用很小的行程完成滚筒的加速。

相比之下, 柔传脱粒机在滚筒接触禾把时, 转速急剧下降, 生产率与脱净率随之降低。

对应于滚筒的正常转速范围, 柔传脱粒机脚踏板没有为 0 的点; 但脚踏板本身要作上、下变向运动, 一定要有速度为 0 的点。这种情况导致柔传脱粒机脚踏板在每个行程的始末都必然要有: 空行程、碰撞、加速度过大等现象, 操作者脚力消耗很大, 能够作业的行程缩得很短。只要滚筒转速稍高一点, 上述情况就变得十分严重。

从上述分析可见, V_u 曲线行程两端速度较高, 中部速度较低(即 $\gamma_1\gamma_2$ 相对较小)的柔传脱粒机, 其性能尤差。 V_{z1} 曲线是比较理想的, 但 V_{z2} 对其有扰乱的作用。应该尽量减小 V_{z2} 数值, 即应控制 $\frac{R}{J}$ 值见表。

表 3 不同曲柄连杆比时 V_{z2} 对 V_{z1} 波形干扰的最大瞬时值
Tab. 3 The maximum instantaneous value of interference on wave shape of V_{z2} by V_{z1} at different crank and connecting rod

$\frac{R}{J}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$
$\frac{V_{z2\max}}{V_{z1}}$	23.5%	17%	14%	11.7%	10%	8.8%

我们推荐人力脱粒机曲柄连杆比值:

$$\frac{R}{J} \leq \frac{1}{6}$$

曲柄 R 因受多种因素制约,取值范围变化不大,主要要合理设计连杆长度 J 。不要认为连杆能够传动就行了,为了节省材料把它做得很短,例如:贵州生产的 5TG—S27 型脱粒机,其连杆长度仅 220mm,使用效果不好。

柔传脱粒机脚踏板没有固定的起始、终止位置,加上每个下踩行程一开始速度就很高,因此两名操作者的动作难以协调。差不多每踩一次总有 1 人先发力而使另 1 人一脚踩空,站立不稳……。因此柔传方式不能用在双人脱粒机上。

柔传脱粒机作业时,操作者要不断抬脚,否则脚踏板不能自动上升。

在 1993 年对滚筒完全相同的两台脱粒机进行了田间对比试验,结果柔传脱粒机的生产率仅仅为齿传脱粒机的一半,而操作者的疲劳程度却远远超过对方。

6 结 论

1) 滚筒匀速转动时,齿轮传动脱粒机脚踏板速度图象呈正弦波形。行程中部为高速区,有输入功率大的优势,使滚筒能受冲击性很强的负荷而降速不多。行程两边为低速区,有耗用很小的行程即可加速滚筒旋转的优势。行程两端为 0 速点,可以防止空行程与碰撞的发生。

2) 柔性传动脱粒机脚踏板没有上述三种速度区,它只有单一的中速区,因此也没有上述三种优势。作业时滚筒转速下降很大,脚踏板能够作业的行程很短,操作者疲惫不堪,生产率很低。

Research on Different Transmission Types of Threshers

Wang Jianming Shao Zhidong Tang Zhongqiang

Jiang Sui Tong Jingqiang Wang Chuanbing

(Ganzhou Research Institute of Upland Agricultural Machinery)

Abstract

Gear transmission and flexible transmission are two main different transmission types of man-power threshers in China today. Through analysis on movement of threshing mechanism, it was found that there is a series of critical shortcomings in flexible transmission type of thresher, because the footbord speed characteristic is no good causing poor threshing performance and tiresome working condition.

Key words Thresher Transmission type