

饲料收获机矮秆割台拨禾轮导轨运动轨迹研究*

王进华 王泽群 贾晶霞 叶红艳

(中机美诺科技股份有限公司, 北京 100083)

【摘要】 对矮秆割台核心喂入部件拨禾轮的结构和运动轨迹进行了分析研究,利用计算机辅助软件对拨禾轮导轨曲线进行了优化设计,并对拨禾弹齿运动轨迹进行了模拟,找出了保证矮秆割台能够正常工作的弹齿运动轨迹形状,确定其正常工作的拨禾轮速比区间为 $(0.78, \infty)$ 。

关键词: 青贮饲料收获机 矮秆割台 拨禾轮 运动轨迹 计算机辅助设计

中图分类号: S817.11*7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)S0-0152-04

Guide Rail Trajectory of Mower Table Reel Device for Silage Harvester

Wang Jinhua Wang Zequn Jia Jingxia Ye Hongyan

(MAE Northern Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract

Structure and moving trajectory of reel device which was the key parts of silage harvest machine mower table were analyzed. Guide rail curves of reel device were optimized by using computer aided design software. The tooth shape trajectory was simulated to fit the silage harvester to operate. The wheel speed ratio interval for the silage harvester to work normally was $(0.78, \infty)$. It could provide theoretical reference, improve the working efficiency and enhance the performance of silage harvester.

Key words Silage harvester, Mower table, Reel device, Trajectory, Computer aided design

引言

目前,我国饲草生产体系建设滞后,与发达国家相比,青贮饲料的产业化急需解决,其关键是实施青贮饲料的收获机械化^[1-4]。用作青贮饲料的禾本科和豆科等矮秆作物在我国种植范围相当广泛,矮秆青贮饲料作为家畜的补充饲料不可或缺,对应的矮秆青贮收获机械需求量也很大。青贮饲料收获机矮秆割台主要用于禾本科、豆科牧草等矮秆青贮作物的收获^[5]。国内外对矮秆割台的研究相对较少。矮秆青贮作物收获主要利用通用型青饲机挂接矮秆割台来完成,田间工作时,割台作业效率和收获效果都不理想,矮秆割台的喂入性能有待进一步提高。

拨禾轮装置是青贮饲料收获机矮秆割台喂入机构的核心部件,其作用是抓取青贮作物茎秆并将茎

秆输送至螺旋输送机,使割台顺利完成对矮秆青贮作物的收获喂入工作。拨禾轮弹齿的运动轨迹直接决定矮秆割台的喂入性能。

本文以9265型自走式青贮饲料收获机为研究对象,通过对其配备的矮秆割台喂入机构关键零部件(拨禾轮导轨和弹齿)运动轨迹的研究分析,优化割台结构,并找到割台正常工作的拨禾轮速比区间。

1 矮秆割台结构研究

1.1 矮秆割台整体结构

矮秆割台主要由拨禾轮、螺旋输送机、切割器、推禾杆以及机架组成(图1)。作业时,作物植株与割台之间有一个相对速度,即青贮饲料收获机的前进速度。推禾杆以此速度将作物植株推至倾斜(倾斜方向为机器前进方向),以便拨禾轮弹齿从根部

收稿日期: 2011-08-15 修回日期: 2011-09-08

* 国家农业部农业科技成果转化项目(03EFN211100010)

作者简介: 王进华, 硕士生, 主要从事收获机械技术及装备研究, E-mail: wangjh1@maen.com.cn

通讯作者: 王泽群, 研究员, 主要从事收获机械技术及装备研究, E-mail: wangzq@maen.com.cn

抓取作物。经切割器切割后的作物,在弹齿的作用下沿着割台底部壳体向后输送至螺旋输送机,作物经螺旋输送机集拢后而被输送至主机喂入辊,经喂入装置逐步压紧、压实后输送至切碎装置,最后经切碎装置切碎后通过抛送筒被抛送至接料车中。

1.2 导轨弹齿式拨禾轮

导轨弹齿式拨禾轮(图2)由轮轴、固装在轴上的幅盘、支臂、齿耙管、弹齿、拨禾板、导轨、滚轮及转臂构成,主要起抓取和输送作物的作用。为了使弹齿能顺利插入作物,并尽量靠近螺旋输送机且不发生干涉,弹齿的运动轨迹由滑道导轨进行控制^[6]。弹齿端部与壳体底板的间隙不能太大,否则将影响对作物的传送。因此导轨形状和弹齿轨迹直接影响矮秆割台的喂入性能。

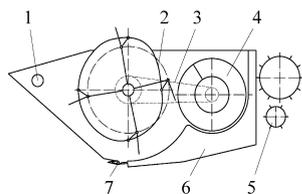


图1 矮秆割台结构示意图
Fig.1 Structure schematic of mower table

1. 推禾杆
2. 导轨弹齿式拨禾轮
3. 传动系统
4. 螺旋输送机
5. 主机喂入辊
6. 机架
7. 切割器

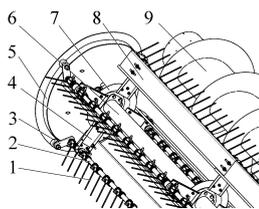


图2 导轨弹齿式拨禾轮结构示意图
Fig.2 Structure schematic of reel wheel

1. 弹齿
2. 齿耙管
3. 滚轮及转臂
4. 支臂
5. 导轨
6. 拨禾轮轴
7. 幅盘
8. 拨禾板
9. 螺旋输送机

图3为导轨控制弹齿运动的原理简图,图中虚线圆 b 为齿耙管运动轨迹, C 点所在虚线 a 为在弹齿齿端绕拨禾轮轴一周的运动轨迹,其为导轨 B 控制下的弹齿的齿端摆动与弹齿绕拨禾轮轴所作圆周运动的合成运动。根据设计参数可知,齿端轨迹 a 的 C_1C_2 段是一段圆心为点 O 的圆弧,弹齿在 C_1C_2 间作圆周运动。如图中所示,齿端轨迹在右侧有明显的凹陷,主要是为了让弹齿尽量靠近螺旋输送机且不发生干涉,实现两者之间对青贮秸秆的连续输送,并且使弹齿指向接近竖直向下,既不丧失对秸秆的拨送功能,又尽可能少地将秸秆回带出割台。本文利用计算机辅助分析 Matlab 软件对导轨形状和弹齿轨迹进行优化设计。

2 关键零部件优化与运动分析

2.1 拨禾轮导轨优化设计

拨禾轮导轨是控制弹齿指向和齿端轨迹的关键部件。合理的导轨形状一方面可以使弹齿保证在机架壳体底板附近位置保持近乎竖直向下的方向,对

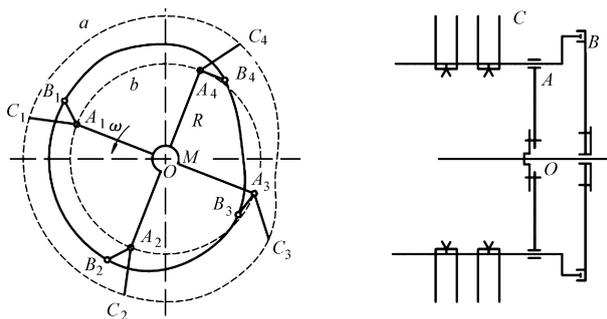


图3 拨禾轮传动结构示意图

Fig.3 Transmission structure of reel wheel

喂入作物产生水平向后的拨送力;另一方面可使弹齿运动到螺旋输送机一侧时尽可能地靠近螺旋输送机且不发生干涉,以减少拨禾轮的返草量;再一方面导轨形状的突变会导致拨禾轮运动时产生机械冲击,运动稳定性差,缩短机器使用寿命。因此,导轨的形状必须是一条平滑连续的曲线。

本文根据导轨已知点坐标和数值分析知识,利用数学建模与仿真软件 Matlab,拟合出一条闭合的样条曲线并求出曲线方程(即为导轨曲线和方程)。根据这条曲线及方程进行数控编程,即可在数控机床上加工出所需要的连续光滑的导轨形状。

导轨曲线拟合及方程求解的 Matlab 程序如下^[7-9]:

```
t = [0:pi/12:2 * pi];
% 曲线上已知点对应的弧度值
r = [293,294,314,348,393,423,433,439,447,
441,439,439,439,439,439,439,439,434,416,393,
373,356,333,310,293];
% 已知点对应的极径值
polar(t,r,'k');
% 画出导轨线性插值曲线
hold on
% 图像保持
p = csape(t,r,'periodic');
% 生成三次样条插值函数
p.coefs
% 显示样条函数的三次多项式系数
t1 = 0:0.01:2 * pi;
% 产生一个由 0 到 2π 的行向量,单位增量
0.01
r1 = ppval(p,t1);
% p 样条在 t1 的函数值
x = r1 * cos(t1);
% 点(t1,r1)对应的横坐标值
y = r1 * sin(t1);
% 点(t1,r1)对应的纵坐标值
```

```
plot(x,y,'k');
% 画出 p 样条的图
```

根据上述程序,利用 Matlab 软件得到三次样条拟合曲线方程形式为: $r = at^3 + bt^2 + ct + d$, 导轨拟合曲线为分段样条曲线,由 Matlab 编程得到其与角度 t 对应的各分段方程的系数 (a, b, c, d) 如表 1 所示。可以证明,在一定条件下,三次样条插值问题的解是唯一的,这里所得导轨样条插值方程具有唯一性^[9]。由拟合程序得到的导轨曲线见图 4,图中折线为线性插值线,光滑曲线为三次样条插值线。

表 1 拟合方程系数
Tab.1 Fitting equation coefficients

序号	a	b	c	d	t
1	-5.85	153.76	-36.03	293	$[0, \pi/12]$
2	-86.54	149.17	43.27	294	$[\pi/12, \pi/6]$
3	73.36	81.20	103.58	314	$[\pi/6, \pi/4]$
4	-374.09	138.82	161.18	348	$[\pi/4, \pi/3]$
5	-26.00	-154.99	156.95	393	$[\pi/3, 5\pi/12]$
6	199.45	-175.41	70.45	423	$[5\pi/12, \pi/2]$
7	119.90	-18.77	19.61	433	$[\pi/2, 7\pi/12]$
8	-344.65	75.40	34.44	439	$[7\pi/12, 2\pi/3]$
9	367.00	-195.29	3.05	447	$[2\pi/3, 3\pi/4]$
10	-120.22	92.96	-23.74	441	$[3\pi/4, 5\pi/6]$
11	2.40	-1.46	0.22	439	$[5\pi/6, 11\pi/12]$
12	-0.83	0.42	-0.05	439	$[11\pi/12, \pi]$
13	0.92	-0.23	0.00	439	$[\pi, 13\pi/12]$
14	-2.84	0.49	0.07	439	$[13\pi/12, 7\pi/6]$
15	10.45	-1.74	-0.26	439	$[7\pi/6, 5\pi/4]$
16	-38.96	6.47	0.98	439	$[5\pi/4, 4\pi/3]$
17	-133.26	-24.13	-3.65	439	$[4\pi/3, 17\pi/12]$
18	126.15	-128.79	-43.68	434	$[17\pi/12, 3\pi/2]$
19	74.52	-29.72	-85.18	416	$[3\pi/2, 19\pi/12]$
20	21.62	28.81	-85.42	393	$[19\pi/12, 5\pi/3]$
21	-161.01	45.79	-65.89	373	$[5\pi/3, 7\pi/4]$
22	120.86	-80.67	-75.02	356	$[7\pi/4, 11\pi/6]$
23	11.97	14.25	-92.41	333	$[11\pi/6, 23\pi/12]$
24	165.66	23.65	-82.42	310	$[23\pi/12, 2\pi]$

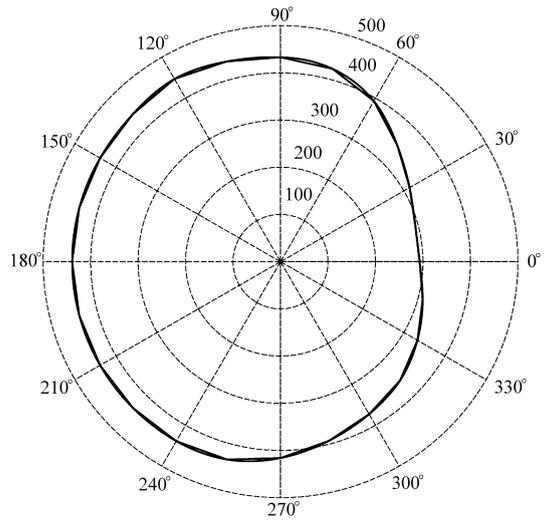


图 4 Matlab 导轨曲线拟合图

Fig.4 Fitting chart of Matlab guide curves

- 式中 x ——弹齿上任一点的水平坐标
- y ——弹齿上任一点的垂直坐标
- v_m ——机器前进速度 t_1 ——工作时间
- R ——弹齿上任一点的瞬时半径
- ω ——弹齿上任一点的瞬时角速度
- H ——拨禾轮轴安装高度
- h ——切割器割刀离地高度

2.2.2 弹齿运动轨迹

根据弹齿绕拨禾轮轴一周的不同位置与拨禾轮回转一周机器前进的距离 L 的关系,弹齿运动轨迹(图 5)可以借助 AutoCAD 软件,用作图法求得。 L 的计算公式为

$$L = \frac{60v_m}{n} \quad (2)$$

式中 n ——拨禾轮转速, r/min

从式(1)和图 5 可知,拨禾轮弹齿上任一点的运动为类余摆线运动。综合拨禾轮工作原理与机构设计参数,弹齿的运动轨迹形状取决于弹齿的运动速度 v_b (图 3 中 C 点的运动速率)与机器前进速度 v_m 的比值。由于弹齿运动受导轨影响,其速度不恒定,在此取拨禾轮圆周速度 v_b (图 3 中 A 点齿耙管的圆周速率)与机器前进速率 v_m 的比值 λ (称为拨

2.2 弹齿运动轨迹分析

2.2.1 弹齿运动方程

拨禾轮工作时弹齿的运动为其受导轨控制的绕拨禾轮轴的转动与机器的前进运动两者的合成运动。其运动方程为

$$\begin{cases} x = v_m t + R \cos \omega t_1 \\ y = H + h - R \sin \omega t_1 \end{cases} \quad (1)$$

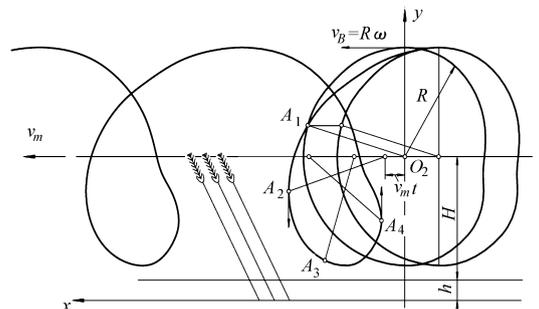


图 5 弹齿运动轨迹和工作原理

Fig.5 Spring tooth trajectory and work principle

禾轮速比) 来分析弹齿运动轨迹的变化。利用 Matlab 软件仿真分析, 可得弹齿轨迹形状随 λ 值不同的变化规律如图 6 所示。 λ 值从 0 变化到 ∞ 时, 拨禾轮的轨迹形状由直线($\lambda = 0$)变化到摆线, 直到闭合曲线($\lambda = \infty$)。要使拨禾轮完成对茎秆的抓取、扶持和推送作用, 就必须使弹齿具有向后的水平分速度。

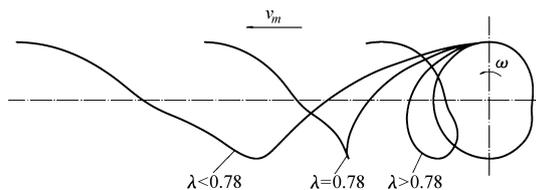


图 6 不同 λ 值时, 拨禾板运动轨迹

Fig. 6 Reel plate motion trajectory with different value of λ

轨迹曲线上各点的切线方向即为弹齿在各种位置时的绝对速度方向, 如图 7 所示。从图 6 分析可知, 当 $\lambda < 0.78$ 时, 轨迹曲线上的任何一点均不具有水平向后的分速度。只有当 $\lambda > 0.78$ 时, 弹齿运动轨迹形成扣环, 在扣环下部, 即弦 CC_1 (见图 7) 的

下方, 拨禾轮具有连续向后的水平分速度。由此可知, 拨禾轮正常工作的必要条件是拨禾轮速比 $\lambda > 0.78$ 。

3 结论

(1) 利用计算机辅助软件 Matlab 拟合出导轨曲线方程, 根据此方程加工而成的导轨形状能够使导轨轨道达到平滑连续的要求, 可以降低矮秆割台工作过程中产生机械冲击, 提高割台运动稳定性, 延长机器使用寿命。

(2) 提出了拨禾轮弹齿运动方程, 并绘出了其轨迹形状。借助计算机辅助分析得到, 只有在拨禾轮圆周速度与机器前进速度的比值大于 0.78 时, 矮秆割台才能正常进行收获作业, 拨禾轮速比可作为调节矮秆割台喂入量和作业速度的理论参考依据。

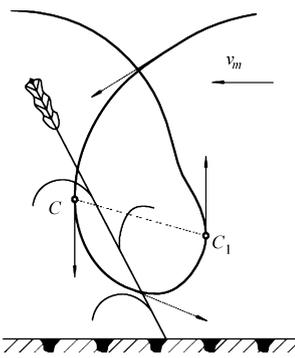


图 7 弹齿运动的绝对速度方向示意图

Fig. 7 Absolute speed of spring tooth movement

参 考 文 献

- 车刚, 万霖, 张伟, 等. 青贮饲料收获机实体设计与实验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 82~86.
Che Gang, Wang Lin, Zhang Wei, et al. Solid design and experiment of forage harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 82~86. (in Chinese)
- 赵新军, 孙宝天. 滑切角圆盘式饲草切碎器的剪切功耗[J]. 农业机械学报, 1995, 26(3): 62~67.
Zhao Xinjun, Sun Baotian. A study on the cutter head energy consumption of forage chopper[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1995, 26(3): 62~67. (in Chinese)
- 万霖, 车刚, 汪春, 等. 4QZR-30 型青贮饲料收获机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 187~190.
Wan Lin, Che Gang, Wang Chun, et al. Design and study 4QZR-30 type of forage harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(3): 187~190. (in Chinese)
- 车刚, 万霖, 赵清华, 等. 平板刀式青贮饲料滚筒切碎器的设计与试验研究[C]// 中国农业机械学会 2006 年学术年会论文集, 2006.
Che Gang, Wan Lin, Zhao Qinghua, et al. Design and experiment on shredding drum of the cylinder-type forage harvester [C]// Academic Annual Meeting Proceedings 2006 of Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006. (in Chinese)
- 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册: 下册 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- 杨世昆, 苏正范. 饲草生产机械与设备 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- 李庆扬, 王能超, 易大义. 数值分析 [M]. 4 版. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- 周品, 赵新芬. MATLAB 数学建模与仿真 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- 丁丽娟, 程杞元. 数值计算方法 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005.