

弹齿滚筒式残膜捡拾机构捡膜特性分析

卢博友, 薛少平, 薛惠岚, 杨青, 刘洪萍

S223.5

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院、陕西 杨陵 712100)

[摘要] 运用运动及动力学分析方法,建立了直齿弹齿滚筒式残膜捡拾机构的运动模型及残膜相对弹齿运动的运动微分方程,找出了影响机构工作性能的主要因素,最后提出了具体的改进措施。

[关键词] 残膜回收;残膜捡拾机构;弹齿滚筒;捡膜特性分析;工作性能

[中图分类号] S223.5

[文献标识码] A

在现有的残膜回收机中,较普遍地采用了直齿型弹齿滚筒机构作为残膜的捡拾机构,实践表明,该捡拾机构的工作性能尚有许多不如意之处^[1~5]。本研究对机构的运动特性及捡膜的动力特性,进行了较全面的分析,找出了影响机构工作性能的主要因素,并有针对性地提出了几点改进措施。

1 弹齿滚筒式捡膜机构的结构及工作原理

机构主要由滚筒、直齿型弹齿构成(见图1)。工作时,机具以速度 V 运动,滚筒由驱动轮经齿轮机构驱动,绕固联于机架上的轴 O' 转动,弹齿由滚筒上的孔眼带动,绕机架上的轴 O 与滚筒同向转动。由于偏心距 OO' 的存在,运动中弹齿相对滚筒表面可伸出、缩回,弹齿伸出,用于捡膜;弹齿缩回,用于脱膜。

2 弹齿的运动分析

2.1 弹齿运动方程的建立

设机架以匀速度 V 作直线平动,弹齿滚筒机构(即图2示的转动导杆机构)的滚筒半径为 R ,匀速转动的角速度为 ω ;弹齿长度为 L ,转角为 β ,偏心距 $OO'=e$ 。

建立动坐标系 $X'O'Y'$ 于机架上,则弹齿自由端 A 的相对运动方程为 $X'_A=L\sin\beta$, $Y'_A=e+L\cos\beta$,绝对运动方程为 $X_A=Vt+X'_A$, $Y_A=e+L\cos\beta$ 。由文献[6]知 $\sin\beta=\frac{R}{\rho}\sin\omega t$, $\cos\beta=\frac{1}{\rho}(R\cos\omega t-e)$,由图2几何关系知 $\rho^2=e^2+r^2-2eR\cos\omega t$,又由残膜被捡拾时应具有连续性的条件(即滚筒转1周所卷膜长度应等于机器在此期间相对地面的前进距离),得机器前进速度 V 与滚筒转动角速度 ω 间的关系为 $V=R\omega$ 。据以上关系式,求得弹齿 A 端的绝对运动方程为:

[收稿日期] 1999-11-23

[基金项目] 杨凌农业科技专项基金资助项目(98A13)

[作者简介] 卢博友(1950—),男,副教授。

$$X_A = Vt + \frac{LR}{\rho} \sin \frac{V}{R}t, Y_A = e + \frac{LR}{\rho} (R \cos \frac{V}{R}t - e) \quad (1)$$

给定 R, V, L , 求得弹齿 A 端的绝对运动轨迹为图 3 所示的倒余摆线。

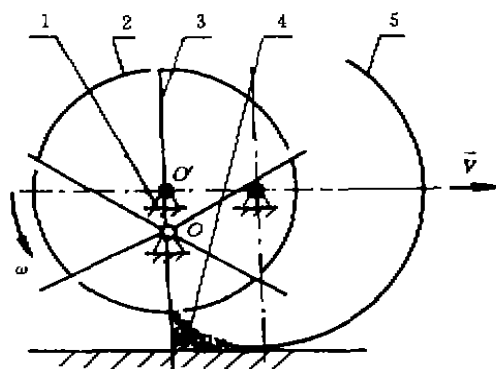


图1 捡膜机构简图

1. 机架; 2. 滚筒; 3. 弹齿; 4. 残膜; 5. 驱动轮

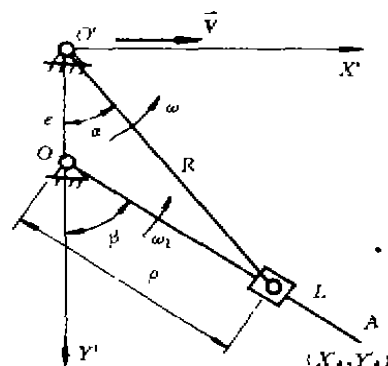


图2 机构运动分析简图

2.2 滚筒 1 周上排齿量的确定

为使机构具有连续收膜的功能, 滚筒 1 周上应具有适当的排齿量, 滚筒 1 周上排齿量的多少, 应依据弹齿 A 端的绝对轨迹曲线确定。

设弹齿入土深度为 h (其值常取 $3 \sim 5$ cm), 由图 3 得, 弹齿入土深度 h 与其在土中划过长度 L_m 间的关系为:

$$L_m = B + Vt_0 = 2\sqrt{h(2L-h)} + Vt_0 \quad (2)$$

式中, t_0 表示弹齿从入土到出土所经历的时间,

可由方程 $[R^2 + e^2 - 2R \cos(\frac{V}{R}t_0)](2hL - h^2) = L^2R^2[1 - \cos^2(\frac{V}{R}t_0)]$ 求出; $B = 2\sqrt{h(2L-h)}$ 表示机架不动时, 弹齿转动 1 周的划土长度。

为了确保捡膜的连续性, 两相邻弹齿轨迹曲线位于土内部分应有一重叠量 $\frac{\Delta}{2}$ (图 3), 这样, 弹齿的有效划土长度为 $L_{mp} = L_m - \Delta$ 。若在弹齿转动 1 周内, 机架水平方向的位移为 L_0 , $L_0 = V \frac{2\pi}{\omega}$

$= 2\pi R$, 则滚筒同一圆周上应布置的弹齿数为 $n = \frac{L_0}{L_{mp}} = \frac{2\pi R}{L_{mp}}$ 。

$$\frac{L_0}{L_{mp}} = \frac{2\pi R}{L_{mp}}$$

综上, 弹齿滚筒机构在适当的配齿情况下, 具备连续捡膜的功能。

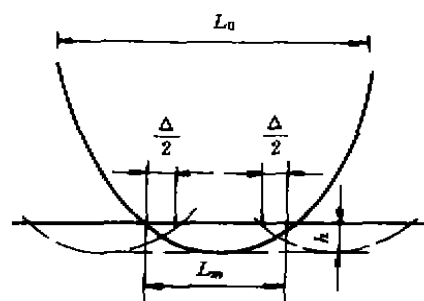


图3 弹齿齿端绝对轨迹曲线及其绝对划长度

3 弹齿捡膜的力学分析

弹齿能否捡起残膜,将取决于弹齿捡膜时残膜的受力特性。由后述分析可以看到,残膜的受力状况,将因弹齿的作用区域不同而异。以下将弹齿的作用区域分为压膜区和挑膜区,并分别讨论弹齿位于这两不同区域位置时的捡膜特性。此处压膜区指弹齿从接触残膜时的位置运动到垂直位置时所经过的区域,挑膜区指弹齿从垂直位置运动至脱膜后的位置所经过的区域。

3.1 弹齿位于挑膜区时捡膜的力学特性

3.1.1 残膜相对运动微分方程的建立 设某瞬时,位于弹齿 ρ' 处质量为 m 的残膜质点 M ,受诸力的作用沿弹齿由 A 向 O 以相对速度 V_r ,相对加速度 a_r 运动(图 4)。现求其相对于弹齿的运动规律。

分析残膜质点 M 的受力,有重力 mg 、弹齿反力 N 、动滑动摩擦力 F ,以及根据相对运动动力学理论附加的牵连惯性力 F_{ge}^n 、 F_{ge}^r ,科氏惯性力 $F_{gk}^{[7]}$ 。

因机架作直线平动,故残膜质点 M 相对弹齿的运动微分方程为:

$$m \bar{a}_r = m \bar{g} + \bar{F} + \bar{N} + \bar{F}_{ge}^r + \bar{F}_{ge}^n + \bar{F}_{gk} \quad (3)$$

式中, $F_{ge}^n = ma_e^n$; $F_{ge}^r = ma_e^r$;

$$F_{gk} = ma_k \quad (4)$$

式中, a_e^n 、 a_e^r 、 a_k 分别表示牵连运动法向加速度、牵连运动切向加速度及科氏加速度,其方向与图 4 示相应惯性力方向相反,大小由复合运动法求得:

$$a_k = 2\omega_1 V_r, a_e^n = \rho' \omega_1^2, a_e^r = \rho' \epsilon_1 \quad (5)$$

式中, $\omega_1 = \frac{R^2 - Re \cos \omega t}{\rho^2} \omega$, $\epsilon_1 = \frac{R\omega(\omega - 2\omega_1)e}{R^2 + e^2 - 2eR \cos \omega t} \sin \omega t$ 分别表示弹齿转动的角速度、角加速度,其表达式由上述的式 $\cos \beta = \frac{1}{\rho} (\cos \omega t - e)$ 经对时间 t 求导得出。

将(3)式向图 4 所示的 η 、 ξ 两轴分别投影并利用式(4)、动摩擦定律 $F = f' N$ (f' 为动摩擦系数)及关系式 $a_r = \frac{d^2 \rho'}{dt^2}$, $V_r = \frac{d\rho'}{dt}$, 求得残膜沿弹齿运动的微分方程为:

$$\frac{d^2 \rho'}{dt^2} = 2f' \omega_1 \frac{d\rho'}{dt} + f' g \sin \beta + f' \frac{\rho' \omega e (\omega - 2\omega_1) \sin \omega t}{R^2 + e^2 - 2eR \cos \omega t} + g \cos \beta + \rho' \omega_1^2 \quad (6)$$

给定初始条件,就可求得方程的定解。

3.1.2 初始条件的确定及运动微分方程的求解 初始条件包括初始时残膜在弹齿上的位置及运动速度。初始位置可选定为

$$t = t_0 \text{ 时, } \rho' = \rho_0 \quad (7)$$

设初始时,静置于地面上的残膜在图 4 位置与弹齿 ρ_0 处的 D 点相接触,此时残膜沿

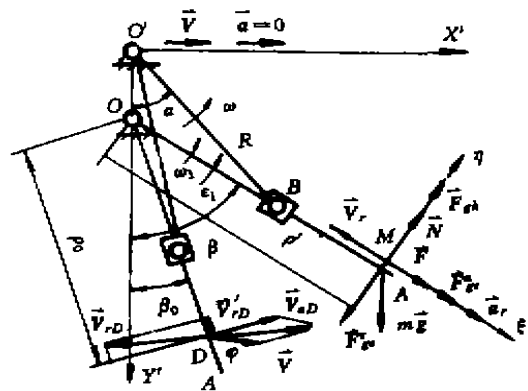


图 4 挑膜区内残膜受力速度分析

弹齿运动的速度 $\vec{V}_{rD}$ 应是其相对弹齿 D 点运动速度 $\vec{V}_{cD}$ 沿弹齿 DO 向的分量,而 $\vec{V}_{rD}$ 则应与弹齿 D 点此时的绝对运动速度 $\vec{V}_{aD}$ 大小相等、方向相反。由复合运动法求得弹齿上 D 点的绝对运动速度 V_{aD} 大小如下:

$$V_{aD}^2 = (V + \rho_0 \omega_1 \cos \beta_0)^2 + (\rho_0 \omega_1 \sin \beta_0)^2, \varphi = \arctg \frac{\rho_0 \omega_1 \sin \beta_0}{V + \rho_0 \omega_1 \cos \beta_0} \quad (8)$$

由图4得残膜沿弹齿运动的初始速度为

$$V_{r0} = V_{aD} \sin (\beta_0 - \varphi) \quad (9)$$

解方程(6),(7),(9),可得残膜沿弹齿运动的基本规律。

取 $\omega = 6.75$, $h = 4$ cm, $L = 25$ cm,对弹齿刚出土时位于其端点 A 的残膜,利用(6),(7),(9)式经计算机求解,求得残膜相对弹齿运动的位置 ρ 值恒大于25 cm,此结论说明残膜质点不会沿弹齿由 A 点向 O 点运动,即残膜质点不会被弹齿捡起。

3.2 弹齿位于压膜区时捡膜的动力特性

仿前述的力及速度的分析方法,作出残膜质点 M 在压膜区的受力及运动图见图5,图中 N' 是地面对残膜的弹力,其余力及运动量含义同前。建立残膜相对弹齿的运动微分方程得:

$m \vec{a}_r = m \vec{g} + \vec{F} + \vec{N} + \vec{F}_{ge}^r + \vec{F}_{ke}^r + \vec{F}_{fk}^r + \vec{N}'$ 。由于方程中 N' 力是一未知力,其值与土壤质地密切相关,预先较难确定。故此方程求不出定解。以下仅定性分析残膜相对弹齿的运动性。由图5可见,残膜不仅不存在沿弹齿 AO 向作用的主动动力,而且存在着背离 AO 向的主动动力 F_{ge}^r , mg 及初始速度 V_{r0} 。由这一受力及运动特征,可以断定,在压膜区内,残膜不仅不会沿弹齿由 A 向 O

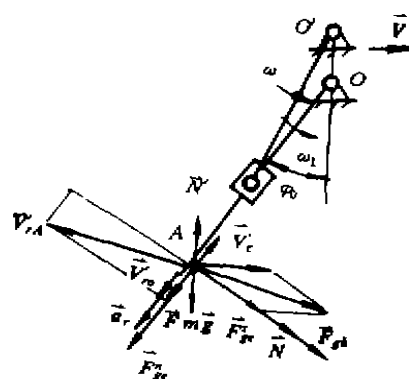


图5 压膜区内残膜的受力运动分析

运动,相反,残膜会因诸主动力的作用,在土壤反力 N' 较小时,被压入疏松的土层内,结果将是,小块残膜被压入土中不能被捡起,造成漏捡;大块残膜则由于膜张力及地表反力的作用虽不会全部被压入土中,但却部分地被压入土中,被压入土中的残膜要么被弹齿划裂造成漏捡,要么缠于弹齿上随弹齿运动从而裹带作物残余茎叶、杂草、土块等,造成捡拾物混杂的问题。

综上所述可见,在挑膜区残膜不会依靠弹齿对其的作用力而被弹齿捡起,在压膜区,残膜因无使其沿弹齿 AO 向运动的主动动力及初速度,故亦不会被弹齿捡起,因之,直齿型弹齿不具备主动捡膜的能力。

上述结论是在理想条件下推出的,实际中,残膜在被捡拾过程中,其受力将远比理想条件下复杂,除了已被分析到的力外,残膜还可能受有弹齿对其的吸附力、地表土壤对其的推挤力、残膜间的拽拉力等等。可能正是由于这些力的作用以及上述压膜区内残膜未被划裂而缠于弹齿上的情况,才使得残膜能被弹齿捡起。

4 弹指滚筒机构工作中的其他问题

如前所述,机构工作中弹齿是由滚筒上的孔眼驱动的,弹齿与滚筒在接触面上存在着

相对滑动。这样,不仅因滑动中的干摩擦会加剧弹齿、滚筒两者的磨损,且由于孔眼处极易夹持残膜,从而造成机构脱膜困难。另外,滚筒上因机构运动需要而设置的条形孔眼一般均较大,因之,在捡膜中,灰尘及细小杂物极易经孔眼进入滚筒内,加剧筒内运动副的磨损、影响机器的使用性能及工作寿命。

5 结 论

1)直齿型弹齿滚筒式捡膜机构,在适当配置弹齿条件下,具备连续捡膜的功能。

2)直齿型弹齿在其捡膜过程中,无因弹齿运动而使残膜沿弹齿向上运动的主动动力,该齿型不具备主动捡膜的能力。

3)在压膜区,残膜受弹齿的作用,极易被压入土中,这是造成漏捡及捡拾物混杂的主要原因。

4)弹齿与滚筒间的相对滑动,极易造成夹膜现象,影响脱膜性能。

根据上述分析,可以认为直齿型弹齿筒滚式捡膜机构捡膜性能不理想,其原因主要在于弹齿形状不合理。弹齿运动机构亦不合理。为了改善该机构的捡膜性能,宜改弹齿形状为曲线型,改变弹齿与滚筒间的运动传递方式。目前,由西北农林科技大学研制的残膜捡拾机,依据上述改进思想设计,其弹齿形状为圆弧型,弹齿与滚筒以铰链相连,并由滚筒拖动。经试验,该机构捡膜性能十分完好。

〔参考文献〕

- [1] 杨树森,沈美音,林素元.弹齿式收膜机工作部件的研究[J].农业工程学报,1988,(2):16-25.
- [2] 张德云,梅 健,黄志东,等.地膜回收技术及机具[J].农牧与食品机械,1994,(6):26-27.
- [3] 梁乃余,常立志.塑料残膜清除机的试验研究[J].农牧与食品机械,1987,(6):5-8.
- [4] 张术林,王 玮.IMS-800型塑料残膜回收机的研究[J].农牧与食品机械,1992,(2):7-10.
- [5] 侯书林,张惠友,那明君,等.关于残膜回收机械化几个问题的思考[J].农机化研究,1988,(1):35-36.
- [6] 华中农学院主编.机械设计(上)[M].北京:人民教育出版社,1980.
- [7] 哈尔滨工业大学理论力学教研室编.理论力学(下)[M].北京:高等教育出版社,1997.

Research on the collecting property of the spring-tooth-cylinder type mulching plastic film collector

LU Bo-you, XUE Shao-ping, XUE Hui-lan, YANG Qing, LIU Hong-ping

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest Science and Technology
University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The equation of movement of the straight spring tooth type mulching plastic film collector and the differential equation of movement of plastic film versus spring tooth were derived by kinetic and dynamic analysis method, affecting factor of the working performance of the collector obtained, and then improvement suggestions were presented.

Key words: used plastic film retrieval; film retrieving collector; spring tooth bowl; collecting character analysis