

凸轮轴动应力测试及其分析

新疆大学机械工程学院 王春耀 郭小军
新疆农科院农机化所 陈发 王学农 刘跃

【摘要】 应用动态、静态应变分析仪对残膜清理滚筒凸轮轴进行了静、动应力实地测试及其分析，并深入地研究了凸轮轴、挑膜齿在正常工作条件下的受力情况，为下一轮改进设计提供必要的依据。

【关键词】 残膜清理滚筒、凸轮轴、应力测试

1、引言

地膜覆盖技术的应用推广对提高农作物产量、促进作物早熟、抑制杂草生长具有明显的效果，但长期使用造成土壤和生态环境的严重污染。在新疆，农田残膜回收最多的是棉田^[1]。由于农膜经过长期日照、风化，强度大幅降低、碎片较多，极难回收，新疆农科院农机化所研制了残膜回收作业机具，该机具捡拾效果较好，基本能满足我区不同棉花种植模式的要求。根据该所与我校等单位共同承担的国家自然科学基金项目的合同任务，要求完成“弧形挑膜齿清理滚筒”的部件相关研究工作，为残膜清理滚筒的结构工艺及参数设计提供技术依据，有必要对凸轮轴、挑膜齿在正常工作时的受力情况进行分析研究，为此我们对残膜清理滚筒凸轮轴的应力进行了实地测试和分析。

2、残膜清理滚筒工作原理简介

弧形往复挑膜齿残膜清理滚筒机构主要由滚筒、凸轮盘组（2组）、凸轮轴、挑膜齿组等构成(图1所示)。工作时，机具以某一速度向前运动，滚筒由驱动轮经齿轮机构驱动，绕着与机架固联的凸轮轴转动，挑膜齿组上的滚轮轴沿凸轮槽作滑动，从而带动整个挑膜齿组作往复旋转运动。由于凸轮中心与滚筒中心存在偏心距，运动时，挑膜齿相对滚筒表面伸出、缩回。挑膜齿伸出用于捡膜，挑膜齿缩回，用于脱膜。

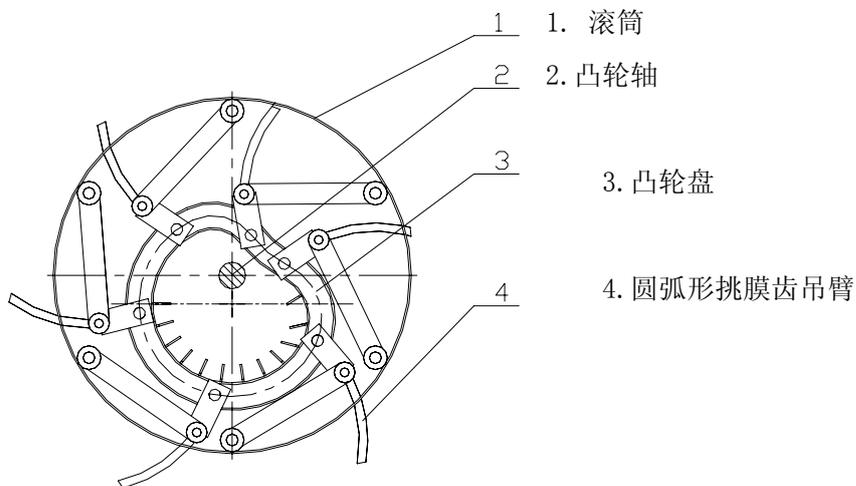


图1 残膜清理滚筒机构构造图

3、凸轮轴危险截面分析

在残膜清理滚筒中挑膜齿组是一个关键部件，由于在机组作业过程中，整个挑膜齿组在凸轮作用下做往复旋转运动，挑膜齿也随之周期性地入土和出土，挑膜齿上受到周期性荷载以及各种随机荷载的作用，要直接测试挑膜齿上的受力难度较大，但可通过对与挑膜齿组固结的凸轮轴进行直接测量而间接得到。因此我们在凸轮轴上贴应变片测试轴上的应力，再进行载荷的分配，即可间接得到挑膜齿上的受力。凸轮轴是直径为 45mm 的 45#钢，由于直径偏大，轴的变形太小，再加上动应力测试时其他干扰因素较多，有必要将轴上的应变放大，因此，我们在凸轮轴危险截面处把轴的直径适当车细，以便加大应变程度的敏感性，提高测试的准确性。

凸轮轴的受力简图如图 2 所示，A、B 端点处滚筒的两端由轴承支撑，左、右凸轮盘分别安装在 E、F 点处。机架总重： $m=250\text{kg}$ ，经 UG(Unigraphics)软件计算得到六个挑膜杆齿组的总重量为 79.5kg。两个凸轮盘组的总重量大约为 11.2kg。并把挑膜杆齿组的重量的一半分别分配到滚筒和凸轮盘上（弯矩图如图 2 所示）。由图可知，凸轮盘 E 点处的铅垂方向弯矩最大，为危险界面。

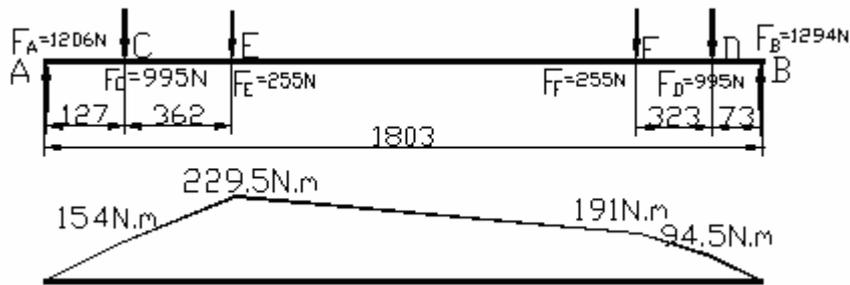


图 2 凸轮轴受力及弯矩图

在机具正常作业时，挑膜齿组所受的土壤阻力经粗算在 922 牛左右，此阻力在凸轮盘 E 点处产生的弯矩约为 218.6N.m。所以，危险界面 E 点处铅锤与水平方向的弯矩经合成后的合成弯矩为 316N.m。右凸轮盘安装处的合成弯矩为 200.7N.m，根据公式可得出危险界面处最大正应力为 37.78 Mpa。由此最大正应力来选出较为合理的安全系数（安全系数=弯曲疲劳极限/最大正应力），从而确定危险界面处新的轴径。从手册查得当安全系数=2.1 时轴径为 30 mm，再综合考虑其他因素我们最终确定危险界面处即凸轮盘安装位置处左右两侧轴径车细到 32mm。

4、凸轮轴的静、动应力测试

4.1 试验目的和内容

测试弧型挑膜齿残膜机清理凸轮轴在正常工作（实地）、静止状态下的静、动态应力情况，以及工作时滚筒的转速，为清膜滚筒的强度分析和改进设计提供必要的依据。

4.2 试验方案设计

由于危险截面在凸轮安装处，在该处左右两侧选取两个截面作为实测截面（如图 3 所示）来进行静、

动态测试。轴的上表面及侧表面的两个应变片分别用于测量轴的纵向应力和水平方向应力。

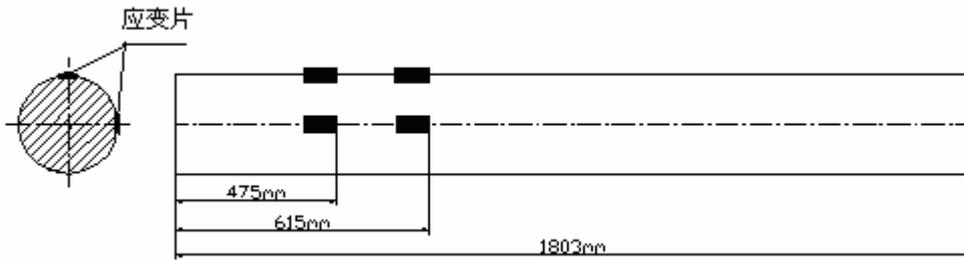


图3 凸轮轴测试截面图

4.3 试验仪器与设备

弧型挑膜齿残膜机一台，JDT-654 型拖拉机一台，YJ-31 型静态应变仪一台，YD-34 型动态应变仪一台，笔记本电脑一台，发电机一台，稳压电源一台。

4.4 测试时间、地点

静态测试于 2004 年 10 月 10 日~15 日在新疆农机化研究所进行。动态测试于 2004 年 10 月 22 日-26 日在新疆兵团农六师芳草湖总场园艺场二连棉田进行。

4.5 静态测试

静态分两次对四个点进行测试，采用半桥接法，由 YJ-31 型静态应变仪直接读出应变值，再用材料力学公式 $\sigma = E\varepsilon$ 计算应力，其中 $E=210GPa$ 。测试结果如表 1 所示。

表 1 各截面应变值表（单位： $\mu\varepsilon$ ）

应变片号	1 号	2 号	3 号	4 号
应变平均值	-241	-81	-271	-29

注：1 号应变片和 3 号应变片测试轴的纵向应力 2 号应变片和 4 号应变片测试轴的水平方向受力。应变片标定值：9250，灵敏度系数 2.0。

从表中可看出各应变片都有应变值，并且所测应变值纵向较水平方向大得多，最大正应力为 3 号应变片， $\sigma_{\max} = 56MP_a$ 。从理论上说这基本符合实际情况，说明我们先前所作准备工作符合要求，为后面的动应力测试奠定了很好的基础。

4.6 动态测试

动态测试分四种工况即在机器工作的两种速度和两种耕深下进行测试，由于测试是在离驻地很远的棉田进行，所以需自备发电机和稳压电源。应变曲线由电脑记录，发电机固定在残膜回收机机架上并与稳压电源相连，向 YD-34 型动态应变仪和笔记本电脑提供持续稳定的电源。其测试框图如图 4 所示。

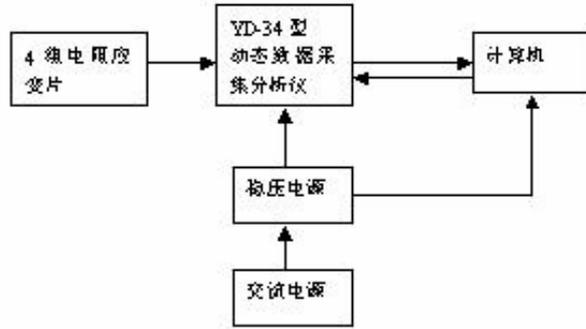


图4 测试框图

动态测试分别在正常工作速度的快一和快二档两种速度及耕深分别为 $Y_1 \sim Y_2\text{cm}$ 、 $Y_{12} \sim Y_3\text{cm}$ (如表 2) 四种情况下进行, 同时也对滚筒的转速以及残膜回收率进行测量。

表 2 备注: 表中速度为实测速度值 (含上下行程)

机组速度	耕深	
	$Y_1 \sim Y_2\text{cm}$	$Y_{12} \sim Y_3\text{cm}$
快一档 ($V_m=4.68 \sim .544\text{Km/h}$)	A (1, 1)	A (1, 2)
快二档 ($V_m=6.69 \sim 7.54\text{Km/h}$)	A (2, 1)	A (2, 2)

4.6.1 试验数据处理

根据实地测试, 当挑膜齿入土深度较浅 ($Y_1 \sim Y_2\text{cm}$) 时, 两种不同速度工况下的拾膜能力均不理想, 故只对入土深度 $Y_{12} \sim Y_3\text{cm}$ 工况下、两种不同速度的数据进行处理。由于每种工况下动态应变仪虽然采集时间不是很长, 但数据量已是非常庞大。所以我们将不同工况下的测试曲线选出三组, 每组取 11~13 个波峰和波谷, 每个通道大约有 400~500 个数据, 测量结果可由电脑记录的曲线直接读出, 然后进行统计计算⁽²⁻³⁾。电脑记录的曲线情况如图 5 和图 6 所示。(注: 通道 4 测量的是轴的纵向应力, 通道 5 测量的是轴的横向即水平方向的应力。)

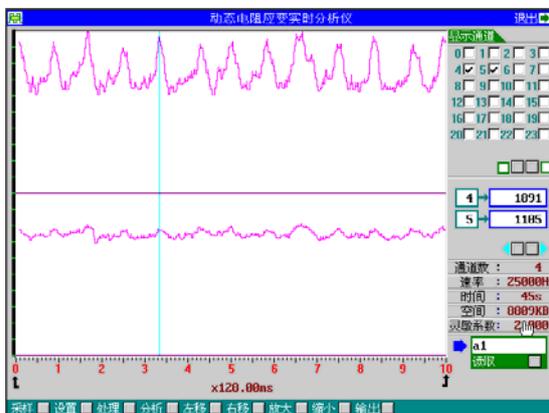


图 5 快二档和齿入土为深度 $Y_{12} \sim Y_3\text{cm}$ 工况下情况

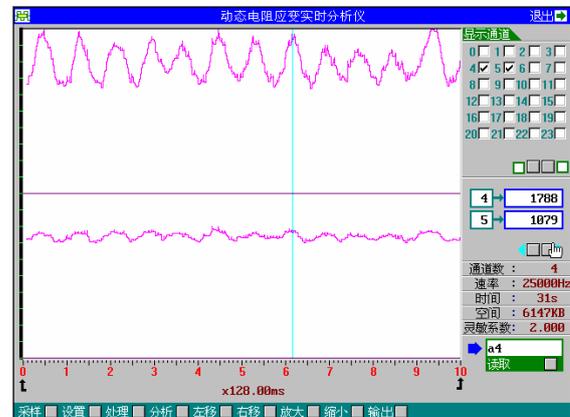


图 6 快二档和齿入土为深度 $Y_{12} \sim Y_3\text{cm}$ 工况下情况

4.6.2 数据结果

我们将每种工况下的三组值经平均处理, 数据统计中所用到的计算公式及各字母含义如下:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m W_i x_i, \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m W_i (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2)$$

其中式中: n —数据总数, W_i —某组数据的出现次数, x_i —各测量值, m —分组数目, \bar{x} —平均值, S —均方根差值, $\bar{\sigma}$ —平均应力, σ_s —应力均方根差值。

测量结果范围表达式: $\bar{x} \pm 2S$ (%5 信度, 即在此范围内包括 95.45% 可能出现的数值, 已是足够可靠)

对应的应力范围为: $\bar{\sigma} \pm 2\sigma_s$

以下是两种工况下的测试数据处理结果汇总⁽⁴⁻⁶⁾ (如表 3、表 4 所示)

表 3 快二档时

测试结果 通道	\bar{X} ($\mu\epsilon$)	S ($\mu\epsilon$)	应变值变化范围 $\bar{x} \pm \gamma = \bar{x} \pm 2S$	$\bar{\sigma}$ (MPa)	σ_s (MPa)	应力值变化范围 $\bar{\sigma} \pm 2\sigma_s$
通道 4	1058	395	268~1848	162.8	60.8	41.2~284.4
通道 5	1021	92	837~1205	157.1	14.2	128.7~185.5

表 4 快一档时

测试结果 通道	\bar{X} ($\mu\epsilon$)	S ($\mu\epsilon$)	应变值变化范围 $\bar{x} \pm \gamma = \bar{x} \pm 2S$	$\bar{\sigma}$ (MPa)	σ_s (MPa)	应力值变化范围 $\bar{\sigma} \pm 2\sigma_s$
通道 4	1134	450.8	683.6~1585.2	174.5	69.3	35.9~313.1
通道 5	960.3	82.9	794.5~1126.1	147.4	12.8	121.8~173.3

5、结论及改进方案

5.1 结论

在动态即机组工作情况下, 从以上数据处理及统计结果看, 轴纵向 (铅垂) 应力大于水平方向的应力, 纵向应力的变化幅度远大于水平方向。

1) 当机组前进速度为快一档时, 铅垂方向最大动应力为 313 MPa, 最小应力值为 36MPa, 应力变化幅度为 277 MPa; 当机组前进速度为快二档时, 铅垂方向最大动应力为 284 MPa, 最小应力值为 41MPa, 应

力幅度为 243 MPa。

综上所述可得出以下结论：捡膜滚筒的纵向应力随着挑膜齿入土和出土作周期性的变化，幅值较大，当机组前进速度为快二档时，铅垂方向的最大应力幅度都比快一档低。

2) 当机组前进速度为快一档时，水平方向最大动应力为 173 MPa，最小应力值为 122 MPa，应力变化幅度为 51 MPa；当机组前进速度为快二档时，水平方向最大动应力为 185 MPa，最小应力值为 128 MPa，应力幅度为 57 MPa；水平应力随着挑膜齿入土和出土做周期性的变化，幅度变化较小，说明水平方向的土壤阻力比较均匀即挑膜齿之间的重叠较合理并且挑膜齿拣膜的连续性比较良好。

3) 挑膜齿的入土深度对拾膜能力有很大的影响，当入土小于 Y_2 时，其拾膜能力明显降低。

5.2 存在的问题、改进方案

5.2.1 存在的问题

- a) 发电机和机组对测量有一定地干扰，导线屏蔽不好。
- b) 由于时间短，测量工况、测点太少，如机组过田埂、刹车等突发情况以及滚筒不同转速下，没有进行相应的测量。
- c) 所测凸轮轴是在原轴基础上对两个断面车细以后进行的，故其部位存在着较大的应力集中。

5.2.2 改进方案

- a) 凸轮轴的强度主要取决于动态情况，应按疲劳强度进行校核。
- b) 在下一轮改进设计时建议将轴的直径加工为 35-38mm。在满足强度要求的情况下，可节约材料 25%-36%。

参考文献：

- [1]. 王学农,冯斌,陈发等. 4JSM—1 800 棉秸秆还田及残膜回收联合作业机研制, 新疆农机化, 2003, 4
- [2]. 北京农业机械化学院. 农机测试技术, 高等学校试用教材, 1981, 3
- [3]. 张汝矣, 沈观林等. 试验应力分析实验指导, 清华大学出版社, 1981
- [4]. 那明君, 董欣, 侯书林等. 残膜回收机主要工作部件的研究, 农业工程学报, 1996, 6
- [5]. 吉林工业大学农机系. 应变片电测技术, 机械工业出版社 1978, 7
- [6]. 朱明铨, 李晓莹等. 机电工程智能检测技术与系统, 高等教育出版社, 2002, 6

The stress test and its analysis on the plastic film residue pick up cylinder's camshaft

WANG Chun-yao¹, CHEN Fa², WANG Xue-nong², GUO Xiao-jun¹

(1. College of Mechanical Engineering, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang, 830008, China;
2. Research Institute for Agricultural Mechanization of Xinjiang Academy of Agricultural Science, Urumqi, Xinjiang, 830091, China)

本文版权归新三思集团公司及作者本人所有，转载必究。

Abstract: In order to provide necessary warranty for the next improvement design, we have had dynamic and static field tests and analysis on the plastic film residue pick up cylinder' s camshaft using dynamic and static resistance strain instruments, and have studied the forces acted on the camshaft and the plastic film residue pick up finger under the normal working conditions.

Key words: plastic film residue pick up cylinder; arc finger for film residue pick up; stress tests