DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2023.04.009

BL－600型指盘式搂草机关键部件设计与试验

杨茂林[1, 2]，MOHAMMAD Nizamuddin Inamdar[1]，刘坤宇[3, 4]，焦巍[3, 4*]

(1. 林肯大学学院工程与建筑环境学院，八打灵再也，47301，马来西亚；2. 内蒙古河套学院，内蒙古巴彦淖尔，010003；3. 中国农业科学院草原研究所，内蒙古呼和浩特，010010；4. 农业农村部草原畜牧业装备科学观测试验站，内蒙古呼和浩特，010010)

摘要：在我国大力发展牧草收获机械的背景下，为适应内蒙古地区搂草作业地面环境复杂，减小机具运输占地面积，提高工作效率本文主要对BL－600型指盘式搂草机的整体结构、主要零部件弹齿进行了应力分析、连杆机构进行了设计，解决了机器运输体积大、不易掉头且弹齿容易变形和断裂等问题。分别采用Proe/Mechanica模块建模仿真等手段对弹齿的应力进行分析，根据仿真结果确定可靠有效的弹齿材料。通过对搂草运动的分析确定工作机具的结构和位置以及油缸的行程。进而提高了整体机具对工作环境的适应能力。同时，针对机具进行了试验验证，搂草机漏搂率为2%，达到设计要求，该机型性能稳定、具有较强的实用性和推广价值。

关键词：指盘式搂草机；弹齿；油缸；折叠运动仿真

中图分类号：S225.2＋7　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：2096-7217 (2023) 04-0065-06

杨茂林，MOHAMMAD Nizamuddin Inamdar，刘坤宇，焦巍. BL－600型指盘式搂草机关键部件设计与试验[J]. 智能化农业装备学报(中英文)，2023，4(4)：65－70

YANG Maolin，MOHAMMAD Nizamuddin Inamdar，LIU Kunyu，JIAO Wei. Design and experiments on the key components of BL－600 finger wheel rake [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization，2023，4(4)：65－70

0 引言

我国是一个人口大国，大力发展畜牧业是我国经济发展的基础，畜牧养殖业是我国农业的重要组成部分之一。这对农牧业收货机械装备的配备提出了新的挑战[1]。

20世纪以来是欧美各国草地机械发展的高峰期，各种新型和各类联合作业机具相继研制成功，并得到迅速推广。目前欧美各国几乎所有的农机公司都生产草地改良、牧草生产、收获机械和加工机具[2]。美国凯斯纽荷兰公司的牵引式指盘式搂草机从5.3～11 m，可提供7种作业宽度。西德克拉斯公司生产的搂草机，采用关节梁和关节传动轴，可变换各转子之间多种相互位置，可改变作业幅宽、作业项目，运输时可摆顺并减小运输宽度[3-4]。

这些牧草收获机械除了满足可靠性外，而且还在操作、智能、液压、电磁力以及智能系统应用技术方面取得了快速的进展[4]。

我国从解放初期开始生产牧草机械，到20世纪80年代已经形成一定的生产规模[5-9]；在《全国草食畜牧业发展规划(2016—2020年)》中，着力夯实饲草料生产基础是规划的5项重点任务之一，规划中提出了“推进研制适应不同区域特点和不同生产规模的饲草生产加工机械。”草食性畜牧机械化及装备是转变农业发展方式、提高农村生产力的重要基础，是实施乡村振兴战略的重要支撑。

随着畜牧业的发展，牧草种植的面积逐年增加，侧向指盘式搂草机等牧草收获机械的市场需求也逐年增加，搂草机对于人工种植的草场在进行牧草收获时显得非常重要，国内目前研制的指盘式搂草机是国内市场上广泛使用的搂草机，适用于高产草场，并不适用于内蒙古地区的旱地草场，指轮是指盘式搂草机的主要工作部件，每台机器有4～16个指轮。指轮既能绕自身轴心旋转，又能绕机梁上的轴承孔摆动，随地面呈浮

收稿日期：2023-06-10　　修回日期：2023-10-10

基金项目：内蒙古自治区科技计划项目(2021GG0332、2022YFXZ0028)；中央引导地方科技发展资金项目(2021ZY0019)；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1610332020024)；内蒙古自治区自然科学基金项目(2023LHMS05045)

第一作者：杨茂林，男，1986年生，内蒙古乌海人，博士研究生，讲师；研究方向为农业智能化装备。E-mail：387990440@qq.com

*通信作者：焦巍，男，1986年生，内蒙古包头人，博士，副研究员；研究方向为草地机械与装备。E-mail：jiaowei@caas.cn

动状态[10-11]。

内蒙古紫花苜蓿草场地形条件恶劣,指轮弹齿在转动过程中与地面接触会与地面的石子发生撞击而造成断齿,因此对弹齿的工作有效性分析尤为重要;对于内蒙古地区而言,传统的非折叠式搂草机工作效率低,运输时不能折叠、所占空间大,搂草机在工作时对道路狭窄崎岖的偏远山地等地形地貌的适用性较差,因此研究设计可折叠式的侧向双排搂草机对于提高搂草机的工作效率有着重要的意义[11-12]。

1 搂草机总体结构及工作原理

横向指盘式搂草机在作业过程中,工作空间受到作业环境的限制,工作幅宽为4 060~4 800 mm故侧向指盘支撑部分应采用可旋转的支架,动力由拖拉机液压油缸提供,配套动力为4驱52 kW,液压壁提升力为3 000 N。本机选用m=40(弹齿数)的弧形弹齿,指盘数为8个,直径为1 400 mm,特别适用于稠密的牧草,能以8~15 km/h的作业速度工作,效率较高。指盘式搂草机的指盘转速较高,要在复杂的地形上工作,故应在设计中应考虑到运动件指盘及弹齿的材料及弹齿的强度的问题,设计中需要考虑到搂集的草条要松散通风好,便于干燥存储,所以需配有翻草机构。

本机主要由横梁、基座架、左右旋转架、传动机构、指盘支架、L形支架、指盘、翻草架体、底座立柱、左右行走轮及支架、支腿等几部分组成;结构示意如图1所示。



图1 指盘式搂草机的结构轴测图

Figure 1 Axonometric drawing of the disc rake structure

工作原理:弹齿及指盘固连在指盘支架上,由L型支架调整机具的作业面角度,通过牵引板将搂草机与动力输出端相连接,拖拉机液压系统通过连杆机构实现指盘支架的起落,机具工作时,前进过程中弹齿和地面接触,摩擦力使得指盘旋转,弹齿旋转时将草条向斜后方搂集,通过指盘间的传递将割倒后杂乱的草条集中到中间区域,还可以采用该方式对草条进行翻转,防止草条潮湿变质,最终形成草铺,方便后续捡拾打捆的作业。

2 指盘式搂草机主要零部件的设计

2.1 弹齿基本参数确定

指盘上的弹齿数量是实现搂草机有效搂草的重要影响因素。一般弹齿数量m可通过φ角和弹齿间夹角θ的偶数倍关系确定,即

$$\theta=\frac{1}{K}2\arccos\left(1-\frac{h}{R}\right) \tag{1}$$

$$\varphi=2\arccos\left(1-\frac{h}{R}\right) \tag{2}$$

$$m=\frac{360K}{2\varphi} \tag{3}$$

式中:K——影响系数(K=4, 6, 8…);

m——弹齿数目;

h——相邻弹齿轨迹交线,选用h=40 mm;

R——指盘半径,选用R=700 mm;

φ——在草层下面转过的角度,即通过角;

θ——弹齿间的夹角,(°)。

由式(2)计算可得:φ=130°。

当K=14时,m=40。

该搂草机的指盘半径R=700 mm,相邻指盘弹齿的轨迹角线h为40 mm,指盘平面与搂草机前进方向成δ角,前进角为δ_{min}=45°、δ_{max}=60°。

2.2 指盘弹齿推动牧草速度计算

指盘旋转的速度会影响草条的质量,因此指盘推草速度的计算尤为重要,对指盘进行运动学分析,设置空间直接坐标系,弹齿受力点为原点,X、Y、Z轴分别对应弹齿平面和法相。

弹齿的运动方程

$$\begin{cases} x=Vt\cos\delta+R\sin\omega t \\ y=Vt\sin\delta \\ z=R(1-\cos\omega t) \end{cases} \tag{4}$$

弹齿绝对速度在坐标上的投影

$$\begin{cases} V_{ox}=\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=V\cos\delta+\omega R\cos\omega t \\ V_{oy}=\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=V\sin\delta \\ V_{oz}=\dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}=\omega R\sin\omega t \end{cases} \tag{5}$$

弹齿的动力是由地面阻力提供,其作用在XOZ平面内,使得弹齿以角速度ω沿顺时针方向转动弹齿的绝对速度

$$V_o=V\sqrt{1+\cos^2\delta(1-2\cos\omega t)} \tag{6}$$

指盘弹齿的转动速度影响牧草移动速度,速度过快会将牧草的叶子击落,牧草质量会有损失,经过分析

得弹齿进入草层时，可知

$$\omega t = 360^\circ - \arccos\left(1 - \frac{H}{R}\right) \tag{7}$$

式中：H——草层下面至地面的距离。

将式(6)带入式(5)得

$$V_{0'} = V\sqrt{1 + \cos^2\delta\left(\frac{2H}{R} - 1\right)} \tag{8}$$

式中：$V_{0'}$——弹齿进入草层时的速度，m/s；

V——搂草机前进速度，m/s。

得 $\begin{cases}\delta = 45^\circ\text{时}, V = 2\ \text{m/s}, V_{0'} = 2.3\ \text{m/s}\\ \delta = 60^\circ\text{时}, V = 4\ \text{m/s}, V_{0'} = 4.3\ \text{m/s}\end{cases}$

2.3　指盘弹齿受力分析

对弹齿作业时的受力进行分析，假设弹齿在工作过程中指盘平面与搂草机前进方向呈δ角，由于地面情况复杂弹齿与石块撞击时会产生较大的冲击，如果将弹齿和石块看作一个单独的系统，在进行研究时，可将石块设定速度为0，当指盘以速度v撞击石块，而石块撞击后以相同的速度随弹齿一起运动，此过程也可看作撞击物以速度v撞向弹齿。分析结果如图2所示，在作业过程中弹齿分别受到重力G，指盘支架压力F_1，地面给予的摩擦力f，石块的冲击力F_2，指盘圈的弹力$F_{1'}$。

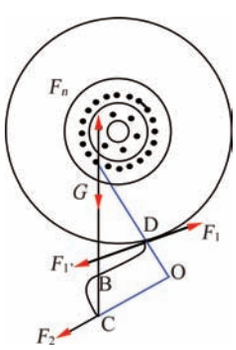


图2　弹齿受力图

Figure 2　Force analysis of the disc rake teeth

由动量定理得

$$F_2 \times t = Mv_2 - Mv_1 \tag{9}$$

式中：F_2——石头给予的冲击力，N；

t——撞击时间，s；

M——石块的重量，kg；

v_1——机具前进速度，m/s；

v_2——弹齿和小石块的速度，m/s。

式中碰撞石块的质量M=1.2 kg，撞击时间t=0.02 s，为保证弹齿材料在受力极限条件下能够正常工作，对理论最大力值赋予相应的安全系数，经过查表[13-14]得农牧业机械的安全系数范围是1.0～1.5，由于弹齿工作环境复杂，对材料特性要求高，故安全系数设为1.5。

$\begin{cases}v = 2\ \text{m/s}\text{时}, \text{弹齿受到的撞击力} F = 198\ \text{N}\\ v = 4\ \text{m/s}\text{时}, \text{弹齿受到的撞击力} F = 369\ \text{N}\end{cases}$

2.4　指盘弹齿材料分析

针对普通指盘搂草机在实际工作中弹齿由于碰撞而出现的断齿问题，本研究从弹齿的材料上进行了深入分析研究[15-17]。由于在内蒙古地区，牧草机械化收获作业环境复杂，草地表层杂物、石块较多，弹齿在工作过程中常与地面的石块撞击，为提高弹齿工作的稳定性和可靠性，综合材料特性及成本，选取了弹簧钢作为弹齿的材料。模拟弹齿在搂草的过程中会受到障碍物的撞击时的情况，将弹齿材料设置为55Si2Mn的弹簧钢，赋值相关材料参数，弹齿材料如表1所示。

表1　弹齿材料的选择

Table 1　Choice of spring steel material

	极限工况下的分析结果	55Si2Mn材料
最大应力σ/MPa	738.2	785～981
最大位移s/mm	12	40

对弹齿添加重力及相关负载载荷，重力载荷参数设置为Y方向，赋值9.8 m/s^2，撞击面与前进方向成δ角，弹齿为圆柱形，撞击面为曲面，为提高模拟精度，对弹齿的接触面编辑分割，在弹齿的圆柱面上建立一个与中心面成δ角的平面，对曲面进行分割，根据式(9)计算得，当机具的前进速度v=2 m/s时受到的冲击力为198 N，机具前进速度变为v=4 m/s时受到的冲击力为369 N，在模型中添加的约束单位为MPa，而弹齿与小石块接触的面积为780 mm^2，由以上可得

$\begin{cases}v = 2\ \text{m/s}\text{时}, \text{弹齿受到的冲击为}0.253\ \text{MPa}\\ v = 4\ \text{m/s}\text{时}, \text{弹齿受到的冲击为}0.473\ \text{MPa}\end{cases}$

利用Proe/Mechanica模拟弹齿真实作业环境，为指盘外圈添加约束固定，弹齿的L形折弯处分两次添加载荷为198 N、369 N，对弹齿进行网格划分及应力分析，如图3所示。

通过有限元分析发现，弹齿作业过程中，所有到的外界冲击应力主要集中在弧形区域，且由于该应力的作用，使得位移发生变化[18]，当石块撞击弹齿时，弹齿在X、Z方向产生一定量的位移，末段弧形区域产生的应力较大，如图4所示。分析弹齿作业所有应力及应变曲线可以发现，应力主要集中在弹齿弧形末段，随着曲线弧长度的增加，在0～10 mm区间应力慢慢分散，当曲线弧长为15 mm时应力几乎为零，随着弧形的过度，应力开始增大，直到达到最大245 MPa。55Si2Mn材料的应力足以满足弹齿的工作要求。

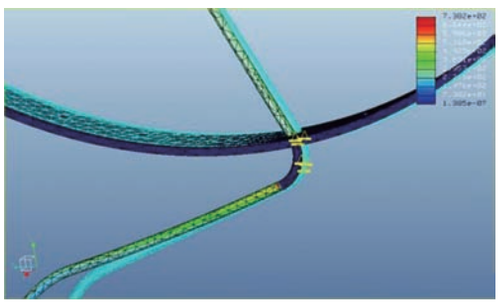
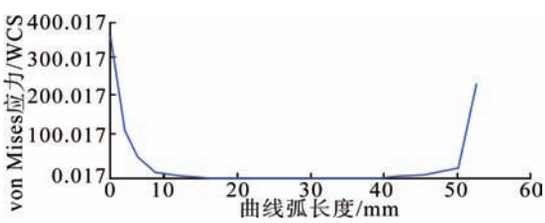
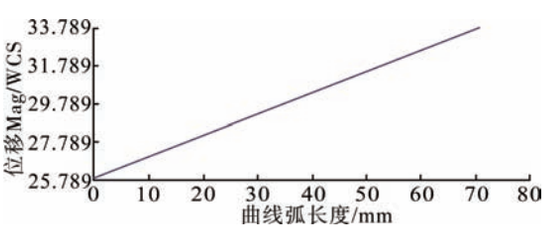


图3 弹齿的应变及应变能

Figure 3 Strain and strain energy of the disc rake



(a) 应力变化曲线



(b) 应变变化曲线

图4 弹齿尾部的应力及应变曲线

Figure 4 Curver of strain and displacement in the arc section of the disc rake

3 折叠传动机构的设计

3.1 连杆传动机构作用

折叠牵引连杆机构是侧向折叠式搂草机重要组成部分之一,主要起中间传递运动与动力的作用,搂草机液压执行系统通过该机构的传递将液压力施加于指盘,从而控制搂草机工作状态,开展搂草作业。

3.2 连杆传动机构设计简图及其工作原理

合理的设计折叠牵引连杆机构对整个搂草机至关重要,本设计采用传统六杆机构,该机构具有结构简单、连接方便、成本较低和工作性能可靠等特点。连杆传动机构三维模型如图5所示。

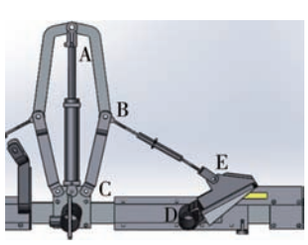


图5 连杆传动机构

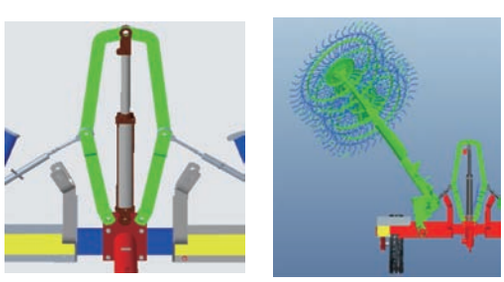
Figure 5 Link drive mechanism schematic diagram

工作原理:图中油缸A为主动件,液压油缸上下往返运动带动杆CB与DE分别绕着旋转副C与B进行转动,从而带动连杆BE运动,进而使得连架杆绕着D点旋转起到对指盘支架打开和折叠的作用。

3.3 连杆传动机构运动模拟

利用Proe/Mechanica模块进行建模,然后进行运动仿真,检查连杆传动机构是否有干涉,测出油缸行程范围、旋转支架旋转角。该运动仿真采用机构模块,既能进行运动仿真,又能实现动态分析。通过运动仿真可以测量出机构运动特征,如位置、速度与加速度等;使测量值直观反映在图标,并可以计算出轨迹曲线以及运动包络范围。通过动态分析模块,根据实际工况添加动力、阻尼以及定义各零部件材料(该机构选用45号碳素刚材料,其特点是有较强的强度和刚度机械性能较好等特征,使机构仿真逼近实际工作状态,从而使仿真结构具有可行性。

运动仿真准备工作:经过分析机具所有的零部件,对各零件进行建模并装配,对于转动副部分的配合添加配合为销轴连接,液压系统添加线性马达,模拟上升速度为10 mm/s,启动时间设置20 s,最小间隔0.1 s,添加组件属性密度为7.38,在Z方向,为装配体添加重力条件,然后进行分析计算,在运行结束后点生成分析报告。仿真过程及结果如图6及图7所示。



(a) 连杆机构牵引L型支架图 (b) L型支架折叠状态图

图6 牵引机构及L型指盘支架的运动轨迹

Figure 6 Motion trace of the traction mechanism and L - shaped disc rake skeleton

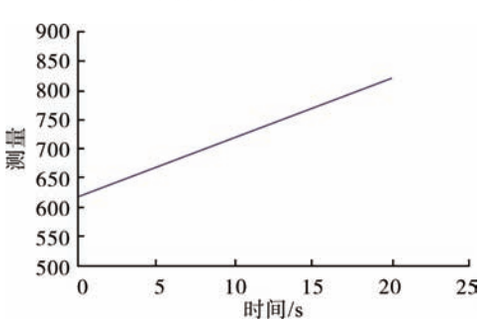


图7 油缸行程

Figure 7 Stroke of the cylinder

根据运动仿真可得主架的运动轨迹,当其角度为0~70°的时机构没有干涉碰撞,牵引连杆机构的受力

较为均匀，在旋转主架支撑指盘支架工作的时候L型指盘支架与地面保持平行，此时旋转主架的角度为0°，此时油缸处于最小位移处，随着油缸的上升，指盘支架随着旋转主架旋转，到达70°的时候油缸达到最大位移处，由分析可得油缸的行程为200 mm。

4　草场试验

基于上述设计结果，对BL－600型指盘式搂草机进行了优化设计，并进行搂草作业试验。主要根据GB/T14247—2015搂草机试验方法，选取搂集草条平均密度和搂草作业中漏搂率为试验评价指标。

主要测试仪器：土壤硬度计、土壤水分测定仪、钢卷尺、电子天平、快速水分测定仪、电子数显卡尺、数显外径千分尺、电子秒表、风速干湿计、牵引力测试仪等。

主要试验内容：漏搂率、功率消耗、防止缠草、草条宽度、运输宽度等。

基本试验条件：作业速度：10～20 km/h；试验动力：22 kW；牧草类型：苜蓿；试验面积200 m×100 m。

主要试验结果：搂前牧草含水率为20%，草叶比为40%，草条牧草重量为0.84 kg/m^2，草条铺放厚度为0.124 m；草条宽度0.8 m；漏搂率为2%；运输宽度3.2 m，符合JB/T7766—2011《指轮式搂草机》标准。

5　结论

1）本文完成了搂草机的L型指盘支架的总体结构设计，重点对指盘弹齿工作时发生断裂这一问题进行了分析，并通过计算机模拟仿真及有限元分析手段得到弹齿的最优材料55Si2Mn弹簧钢，解决了工作过程中弹齿断裂的问题。

2）对连杆传动机构进行设计并进行动画仿真，分析了主要支架的转动角度0～70°时各部件受力均匀，不发生干涉，油缸的行程为200 mm。在这一参数下指盘搂草机结构紧凑、机具工作部件展开和收放自如，关键部件工作稳定可靠，能够有效减少运输过程中所占空间，完全适应内蒙古草地的复杂工作环境。试验结果符合JB/T7766—2011《指轮式搂草机》标准与牧草搂集需求。

3）农业收获机械化是现代农业的目标，提高农业机械的“三率”是现代农业机械发展的根本，智慧农业技术的应用将会对农业收获机械的发展提高强有力的科技支撑，随着农业科技的发展，为实现自动化，下一步将在BL－600型指盘式搂草机上添加北斗导航系统、感知系统，实现搂草机的智能感知、自动导航、从而精准作业，推动农业收获机械化的发展。

参　考　文　献

[1] 禹振军，高娇，蒋彬，等．北京市畜牧业机械装备发展现状与建议[J]．农业工程，2021，11(5)：16－19.
YU Zhenjun，GAO Jiao，JIANG Bin，et al. Development status and suggestions of animal husbandry machinery and equipment in Beijing [J]. Agricultural Engineering，2021，11(5)：16－19.

[2] 保平．我国草地机械与草地畜牧业发展现状分析[J]．农村牧区机械化，2012(6)：11－14.

[3] 杨天兴，杨娜，王玲．甘肃省牧草生产机械化发展现状与对策研究[J]．农业机械，2010(3)：108－110.

[4] 姚煜冬．关于牧草机械化生产的初步探讨[C]// 中国农业机械学会．中国农业机械学会成立40周年庆典暨2003年学术年会论文集．沈阳市农业机械化研究所，2003：2.

[5] 王常慧，董宽虎，赵祥．生产优质苜蓿草粉的加工技术与市场开发[J]．中国饲料，2002(18)：29－30.

[6] 马国玉，袁洪方，刘鹏军，等．现阶段我国牧草机械的需求分析[J]．农机化研究，2011，33(2)：222－225
MA Guoyu，YUAN Hongfang，LIU Pengjun，et al. Research survey on demand of Chinese forage machine at present [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research，2011，33(2)：222－225.

[7] 李佳．我国农业机械化现状与发展对策研究——以山东为例[D]．泰安：山东农业大学，2009.
LI Jia. Agricultural mechanization in China current situation and Development strategies—Shandong Province [D]. Tai’an：Shandong Agricultural University，2009.

[8] 齐德山．国内外畜牧机械化发展概况及对我省发展畜牧机械化的几点看法[J]．农机化研究，1986(3)：5－14，2.

[9] 李玉龙．湖南省农业机械化发展研究[D]．长沙：湖南农业大学，2013.
LI Yulong. Study on agricultural mechanization development in Hunan Province [D]. Changsha：Hunan Agricultural University，2013.

[10] 杨莉．搂草机发展现状与趋势[J]．中国农机化学报，2020，41(4)：57－64.
YANG Li. Development status and tendency of rake swather [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization，2020，41(4)：57－64.

[11] 程超，安晶，张克平．水平旋转搂草机设计与试验[J/OL]．农业装备与车辆工程：1－7[2023－11－09].

[12] 陈廉．我国农业企业化发展问题研究[D]．北京：中共中央党校，2013.

[13] 傅美贞．牧草收割机械的现状和发展趋势[J]．农机化研究，2009，31(6)：237－239，242.
FU Meizhen. Current situations and trends of forage grass harvester [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research，2009，31(6)：237－239，242.

[14] 杨晓蓓. 适应市场需求 加快发展牧草机械[J]. 农机市场, 2011(9): 12－14.
[15] 徐秀英, 张维强. 对我国牧草生产机械化现状及发展机遇的思考[J]. 中国农机化, 2004(3): 14－16.
XU Xiuying, ZHANG Weiqiang. Consideration on mechanization condition of forage grass production and its development opportunities in China [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2004(3): 14－16.
[16] 田新庆, 陈国晶, 孙鹏. 甘蔗收割机发展现状与前景展望[J]. 农业装备技术, 2006(5): 12－14.
TIAN Xinqing, CHEN Guojing, SUN Peng. The developing status and future of sugar cane harvester [J]. Agricultural Equipment & Technology, 2006 (5): 12－14.
[17] 杨秀霞. 牧草收获机械化技术试验研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
YANG Xiuxia. The research of forage harvest mechanization technology experiment [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2009.
[18] 傅美贞. GN121 型手扶拖拉机配套旋转式割草机的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
FU Meizhen. Research on GN121 walking tractor supporting rotatory lawn mower [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013.

Design and experiments on the key components of BL－600 finger wheel rake

YANG Maolin[1, 2], MOHAMMAD Nizamuddin Inamdar[1], LIU Kunyu[3, 4], JIAO Wei[3, 4*]

(1. *Faculty of Engineering & Built Environment, Lincoln University College, Petaling Jaya* 47301, *Malaysia*; 2. *Inner Mongolia Hetao College, Bayannaoer* 010000, *China*; 3. *Grassland Research institute Chinese Academy of agriculture science, Hohhot*, 010010, *China*; 4. *Scientific observing and experimental Station of Grassland Animal Husbandry Equipment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hohhot* 010010, *China*)

Abstract: Under the background of vigorously developing herbage harvesting machinery in China, in order to adapt to the complex ground environment of grass rake operation in Inner Mongolia, reduce the transport area of machinery and tools, and improve work efficiency, the overall structure of BL－600 finger-disc rake and its main component of spring teeth with stress analysis and connecting rod mechanism are mainly carried out in this paper in order to solve the problems, such as large volume of machine transport, difficulty in turning around and easy deformation and breakage of spring teeth. Proe/Mechanica module modeling and simulation methods are used to analyze the stress of the spring teeth, so as that reliable and effective spring teeth materials are determined according to the simulation results. The structure and position of the working machine and the stroke of the oil cylinder are determined through the analysis of the motion of the grass rake. In addition, it improves the adaptability of the whole machine to the working environment. At the same time, the experiment verifies that the leakage rate of the rake is 2%, which meets the design requirement. Through experimental research, it is found that the model has stable performance, strong practicability, and promotion value.

Keywords: finger wheel rake; elastic teeth; cylinders; folding motion simulation