

# 甘蔗收获机两段螺旋式扶起机构设计与试验<sup>\*</sup>

宋春华<sup>1</sup> 区颖刚<sup>2</sup> 刘庆庭<sup>2</sup>

(1. 广东交通职业技术学院海事与港航学院, 广州 510800;

2. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642)

**【摘要】** 为了确定两段螺旋式扶起机构的结构参数,运用虚拟技术对该机构和甘蔗扶起过程进行了运动学仿真,设计了两段螺旋式扶起机构样机,在高速摄影的环境下进行了甘蔗扶起性能试验,获得扶起机构对甘蔗的作用及影响规律。结果表明:扶起机构适用于侧向倒伏角为 $45^{\circ} \sim 165^{\circ}$ 的甘蔗;速比为0.59,拣拾段安装角为 $5^{\circ}$ ,输送段安装角为 $60^{\circ}$ 时,扶起甘蔗效果最好。

**关键词:** 甘蔗收获机 扶起机构 仿真 设计 试验

**中图分类号:** S225.5<sup>+</sup>3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)08-0089-05

## Design and Experiment of Two Sections Spiral Sugarcane Lifter for Sugarcane Harvester

Song Chunhua<sup>1</sup> Ou Yinggang<sup>2</sup> Liu Qingting<sup>2</sup>

(1. Maritime College, Guangdong Communication Polytechnic, Guangzhou 510800, China

2. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

### Abstract

Based on dynamic simulation, two sections spiral sugarcane lifter was designed and a sample machine was made. The effect rules of the two sections spiral sugarcane lifter were got through experimental test associated with the application of high-frequency photograph technology. The experiment results showed that, the two sections spiral sugarcane lifter worked well with lodge-angle of  $45^{\circ} \sim 165^{\circ}$ . Furthermore, the lifter worked best when the parameter of movement was 0.59, and the picking angle of setting was  $5^{\circ}$ , and the transportation angle of setting was  $60^{\circ}$ .

**Key words** Sugarcane harvester, Sugarcane lifter, Simulation, Design, Experiment

### 引言

甘蔗收获机使用的扶起机构有螺旋式和拨指链式两种。甘蔗茎秆较粗,生长往往纵横交错,其倒伏程度、高矮、种植密度等对扶起机构的工作都有影响,拨指链式扶起机构在甘蔗收获机上使用受到一定限制。螺旋式扶蔗机构主要优点是结构紧凑,容易实现动力的传送,但对侧向倒伏严重的

甘蔗扶起效果不理想,难以满足我国滨海地区甘蔗受台风和季风影响而严重倒伏的实际状态,尤其是甘蔗侧向倒伏呈顺倒生长,在甘蔗收获过程中最难扶起<sup>[1-9]</sup>。

本文提出一种两段螺旋扶起机构,并对其工作机理、结构参数、扶起效果等进行研究,探索提高扶蔗质量、减少收获损失的途径,为甘蔗收获机械设计提供依据。

收稿日期: 2011-10-17 修回日期: 2011-11-27

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目(50875091)和广东省科技计划资助项目(2010B020314004)

作者简介: 宋春华,副教授,博士,主要从事机械设计研究,E-mail: calvin330@126.com

通讯作者: 区颖刚,教授,博士生导师,主要从事甘蔗收获机械设计与研究,E-mail: ouying@scau.edu.cn

## 1 机构仿真设计

### 1.1 虚拟样机建模

虚拟样机采用 Pro/E 软件建模,应用 Mechanism/Pro 接口将模型导入 ADAMS 中。滚筒直径为 150 mm,螺距为 160 mm,拣拾段长度为 600 mm,输送段长度为 1 800 mm。建立笛卡尔右手坐标系, $X$ 轴是机车前进方向, $Z$ 轴是垂直地面向上扶升方向, $Y$ 轴与  $XOZ$  平面垂直, $M_x$ 为甘蔗水平约束力矩, $M_z$ 为垂直约束力矩,虚拟样机模型如图 1 所示。

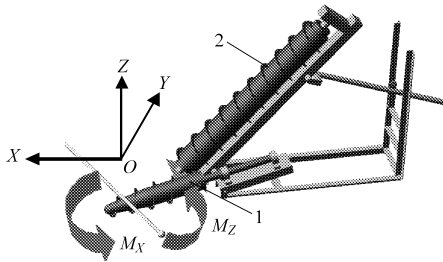


图 1 两段螺旋式扶起机构虚拟样机模型  
Fig.1 Virtual prototyping model of two sections spiral sugarcane lifter  
1. 拣拾段 2. 输送段

### 1.2 运动学仿真

扶起机构转速为 150 r/min,机车前进速度为 0.21 m/s,甘蔗属性设置如表 1 所示<sup>[10]</sup>。针对不同倒伏状态甘蔗,进行了甘蔗运动仿真。

表 1 甘蔗仿真属性

Tab.1 Sugarcane properties of simulation

参数	数值	参数	数值
甘蔗长度/m	3	甘蔗密度/ $g \cdot cm^{-3}$	0.438
甘蔗质量/kg	2.5	泊松比	0.33
抗剪切模量/MPa	300	水平力矩/ $N \cdot m$	35.3
弹性模量/MPa	1 173	甘蔗倒伏角/ $(^\circ)$	15
扶点位置/m	0.3	垂直力矩/ $N \cdot m$	52.3

图 2 为甘蔗空间运动轨迹。0~2.5 s 时甘蔗在拣拾段扶起,甘蔗与扶蔗器相对运动,甘蔗轨迹  $H$  运动趋势向下,在 2.5 s 时刻拣拾段与输送段衔接,位移有突变。在 2.5~6.5 s 时甘蔗在输送段传送,位置移动量不大,向  $Z$  方向扶升。甘蔗在整个扶起过程运行平稳。

图 3 为甘蔗空间运动速度。甘蔗被扶起过程中,空间运动速度波动均匀,在 2.5 s 时拣拾段向输送段过渡,输送段转速对甘蔗有碰撞,速度有突变。甘蔗能扶起至最高点用时为 6.5 s。

图 4 为甘蔗空间运动加速度。甘蔗与扶起机构一旦接触,由于扶起机构的瞬间撞击,加速度有一峰

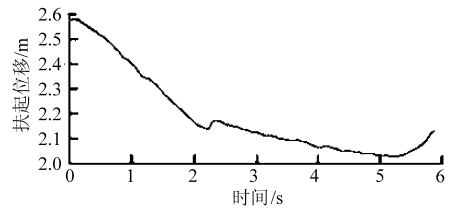


图 2 甘蔗空间运动轨迹

Fig.2 Spatial motive locus of sugarcane

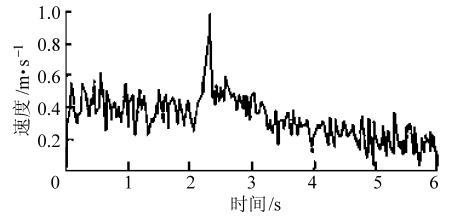


图 3 甘蔗空间运动速度

Fig.3 Spatial movement speed graph of sugarcane

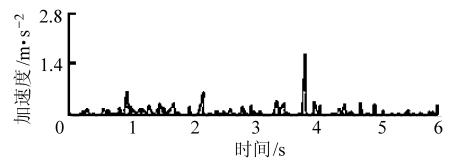


图 4 甘蔗空间运动加速度

Fig.4 Spatial motive acceleration graph of sugarcane

值,在 0~2.5 s 甘蔗与拣拾段相互作用。在 4.2 s 时加速度有突变,甘蔗与扶起机构接触力达到最大,产生振动。甘蔗在扶升过程受力均匀,能够满足甘蔗收获机作业性能要求。

仿真试结果确定该扶起机构适用于倒伏仰角小于  $15^\circ$ 、侧向倒伏角  $45^\circ \sim 165^\circ$  的甘蔗。

## 2 扶起机构样机设计

根据虚拟仿真分析,对扶起机构进行物理样机设计,扶起机构的试验装置如图 5 所示。

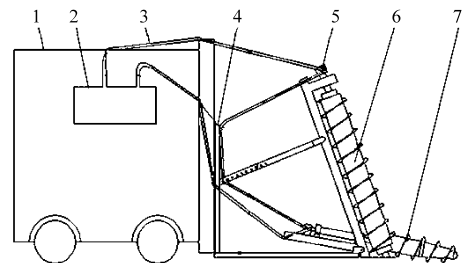


图 5 扶起机构试验装置示意图

Fig.5 Schematic diagram of sugarcane lifter

1. 机车 2. 液压站 3. 油管 4. 机架 5. 液压马达 6. 输送段  
7. 拣拾段

扶起机构是螺旋式拣拾段与输送段的组合,两段螺旋滚筒不在同一个平面内。输送段最低点低于拣拾段底面,有利于两段的衔接过渡。拣拾段与输送段分别由相同型号的液压马达驱动,液压马达的油路串联连接,从而使两段螺旋机构能达到相同

的转速。扶起机构结构参数为：拣拾段直径 150 mm，拣拾段螺距 150 mm，拣拾段长度 800 mm，输送段直径 200 mm，输送段螺距 160 mm，输送段长度 1 500 mm。

扶起机构用角钢和槽钢焊接支撑，拣拾段通过螺杆和螺母调节固定，角度调节范围为  $0^\circ \sim 15^\circ$ 。输送段通过角钢的孔位固定调节角度，角度调节范围为  $45^\circ \sim 90^\circ$ 。扶起机构随机车前进，并且旋转，对左、右两侧倒伏的甘蔗均起到扶起作用。

### 3 性能试验

#### 3.1 试验条件

##### 3.1.1 试验设备

试验用机车是由华南农业大学工程学院自制。试验土壤湿容积密度为  $1.18 \text{ g/cm}^3$ 、湿基含水率 26.23%、平均圆锥指数  $1.2154 \text{ MPa}$ ，属中粘土。

##### 3.1.2 试验材料

试验品种为粤糖 128 号，取自华南农业大学湛江基地。试验甘蔗密度为  $0.418 \text{ g/cm}^3$ ，湿基含水率 68.73%，平均单株蔗质量  $1.41 \text{ kg}$ ，试样要求通直，无虫害。

##### 3.1.3 试验指标

甘蔗扶起试验指标是指甘蔗从接触拣拾段开始，扶起到输送段最高点所用的时间。

#### 3.2 正交试验

##### 3.2.1 试验方法

正交试验的因素与水平安排如表 2 所示。选用  $L_{27}(3^{13})$  正交试验表进行试验。

表 2 正交试验的因素与水平

Tab.2 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	因素			
	扶起机构转速 $n/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	输送段安装角 $\alpha/(\text{°})$	拣拾段安装角 $\beta/(\text{°})$	前进速度 $v_m/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
1	90	60	5	0.21
2	120	70	10	0.36
3	150	80	15	0.50

##### 3.2.2 试验结果

试验结果如表 3 所示。每组试验重复 10 次，取平均值得到扶起时间。较优水平是  $A_3B_1C_1D_3$ 。从极差  $R$  得出，因素影响主次顺序为：扶起机构转速、机车前进速度、拣拾段安装角（拣拾段与地面夹角）和输送段安装角（输送段与地面的夹角）。

表 4 为扶起时间方差分析。由表 4 可知，扶起机构转速、机车前进速度、拣拾段安装角和输送段安装角对甘蔗扶起时间有显著影响。

表 3 正交试验安排与试验结果

Tab.3 Results of orthogonal experiment

试验号	因素				扶起时间/s
	$A(n)$	$B(\alpha)$	$C(\beta)$	$D(v_m)$	
1	1	1	1	1	6.025
2	1	2	1	2	5.630
3	1	3	1	3	5.520
4	1	1	2	2	4.362
5	1	2	2	3	4.426
6	1	3	2	1	6.784
7	1	1	3	3	5.792
8	1	2	3	1	5.682
9	1	3	3	2	4.834
10	2	1	3	1	4.568
11	2	2	3	2	3.754
12	2	3	3	3	3.562
13	2	1	1	2	3.252
14	2	2	1	3	3.156
15	2	3	1	1	4.523
16	2	1	2	3	3.531
17	2	2	2	1	4.623
18	2	3	2	2	3.452
19	3	1	2	1	4.516
20	3	2	2	2	4.521
21	3	3	2	3	3.036
22	3	1	3	2	3.125
23	3	2	3	3	3.854
24	3	3	3	1	3.724
25	3	1	1	3	3.254
26	3	2	1	1	3.243
27	3	3	1	2	3.142
$k_1$	5.451	4.269	4.193	4.854	
$k_2$	3.824	4.321	4.206	4.001	
$k_3$	3.601	4.286	4.321	3.586	
极差 $R$	1.85	0.05	0.13	1.27	
较优水平	$A_3$	$B_1$	$C_1$	$D_3$	
主次因素			$A、D、C、B$		

表 4 扶起时间方差分析

Tab.4 Variance analysis of lifting time

变异来源	$A(n)$	$B(\alpha)$	$C(\beta)$	$D(v_m)$
平均	4.292	4.292	4.24	4.147
方差	1.019 8	0.000 7	0.004 9	0.417 9
观测值	3	3	3	3
df	2	2	2	2
置信度 (95.0%)	15.432	0.065	0.175	1.606

### 3.3 单因素试验

#### 3.3.1 试验因素及方法

试验观察得出,当机车前进速度过快时,甘蔗所在的上层螺旋叶片会阻碍其扶升;当扶起机构转速过大时,扶起机构与甘蔗碰撞,造成跌落。

速比  $K$  是甘蔗提升速度  $v_n$  与机车前进速度  $v_m$  的比值,即

$$K = \frac{v_n}{v_m} \quad (1)$$

$$\text{其中 } v_n = \frac{np \cos \delta_m}{60}$$

式中  $\delta_m$ ——扶起机构安装角,取  $\delta_m = 60^\circ$

$n$ ——扶起机构转速

$p$ ——螺距,取  $p = 160 \text{ mm}$

为确定  $K$  值,设计了3组单因素试验,每组试验设定一个转速,进行机车前进速度的单因素试验。根据计算得出  $K$  值,依次是 0.59、0.44、0.33,每组试验重复 10 次,取平均值。试验设计如表 5 所示。

表 5 单因素水平

Tab.5 Levels of single factor experiments

扶起机构转速 $n/r \cdot \text{min}^{-1}$	机车前进速度 $v_m/m \cdot \text{s}^{-1}$		
	1	2	3
90	0.20	0.27	0.36
120	0.27	0.36	0.50
150	0.34	0.45	0.60

#### 3.3.2 试验结果及分析

从仿真及物理样机验证得到,扶起机构适用于侧向倒伏角为  $45^\circ \sim 165^\circ$  的甘蔗。取侧向倒伏角为  $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $135^\circ$ , 拣拾段安装角为  $5^\circ$ , 输送段安装角为  $60^\circ$ , 不同的速比  $K$  对甘蔗扶起效果影响如表 6 所示。从表 6 可知,随着速比  $K$  的增大,甘蔗被扶起的时间在减小。速比  $K$  为 0.59 时,扶起时间最短,扶起机构对甘蔗的扶起效果最好。甘蔗能扶起到输送段的最高点,扶起时间在 4.68 ~ 8.21 s 之间。

用 SPSS 11.5 软件对试验数据进行统计分析,扶起机构转速  $n$  与机车前进速度  $v_m$  对甘蔗扶起时间影响存在交互作用,扶起机构转速与机车前进速度呈二次曲线关系为

$$n = 0.116 4v_m^2 - 1.505 6v_m + 9.294 \quad (2)$$

## 4 高速摄影

选取最优速比及参数组合,进行高速摄影。观察扶起机构对顺倒伏  $60^\circ$  甘蔗作用的运动情况,并进行分析。

表 6 速比  $K$  对甘蔗扶起时间影响

Tab.6 Results of speed ratio  $K$

$K$	极差	甘蔗倒伏角/ $^\circ$				
		45	60	90	120	135
0.33	平均值	0	8.21	7.30	6.00	5.64
	标准差	0	0.46	0.55	0.16	0.13
	极差	0	1.10	1.35	0.38	0.31
0.44	平均值	8.30	6.82	6.01	5.74	5.21
	标准差	0.31	0.35	0.47	0.55	0.53
	极差	0.66	0.82	1.10	1.44	1.41
0.59	平均值	7.90	6.76	5.82	5.13	4.68
	标准差	0.12	0.15	0.14	0.56	0.39
	极差	0.30	0.33	0.35	1.35	0.99

高速摄影设备采用美国 Southern Vision Systems 生产的 GVCC08 - B06 型摄像机,记录容量为 128 MB,记录速度最高为 3 000 帧/s,本次试验记录速度为 250 帧/s,采用碘钨灯照明。

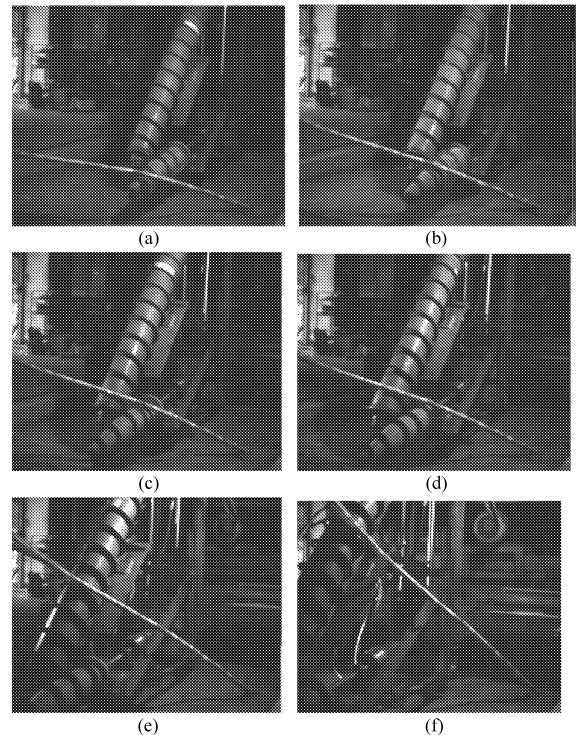


图 6 拣拾段与输送段衔接高速摄影图像

Fig.6 High-speed images in lifting and conveying

(a)  $t = 0.1 \text{ s}$  (b)  $t = 1.4 \text{ s}$  (c)  $t = 2.4 \text{ s}$   
(d)  $t = 2.5 \text{ s}$  (e)  $t = 5.9 \text{ s}$  (f)  $t = 6.7 \text{ s}$

在图 6 中,以拣拾段与甘蔗接触并向上扶起开始,记  $t = 0.1 \text{ s}$ 。甘蔗在拣拾段用时 2.4 s。在 2.5 s 时拣拾段提升甘蔗,同时输送段也接触到甘蔗,两者之间实现平滑过渡。甘蔗在拣拾段由滚筒的支撑力将甘蔗提升起来,叶片的作用力使甘蔗作水平运递。在输送段甘蔗与扶起机构接触应力为摩擦力作用,

螺旋叶片向上提升输送甘蔗。甘蔗扶起到最高点用时为6.7 s。高速摄影对甘蔗的扶起过程与仿真结果一致。

## 5 结论

(1) 两段螺旋扶蔗机构适用于倒伏仰角小于 $15^\circ$ 、侧向倒伏角范围为 $45^\circ \sim 165^\circ$ 的甘蔗,能够适应

我国海滨地区严重倒伏甘蔗的收获需求。

(2) 通过甘蔗扶起运动学仿真和高速摄影,甘蔗能扶起到最高点,扶起时间为4.68~8.21 s。拣拾段与输送段衔接处,对甘蔗扶起有一定的冲击。

(3) 对顺倒伏 $60^\circ$ 的甘蔗,扶起机构拣拾段安装角为 $5^\circ$ ,输送安装角为 $60^\circ$ ,速比 $K$ 为0.59,对甘蔗的扶起效果最好。

## 参 考 文 献

- 1 牟向伟,区颖刚,张杨. 拨指链式扶起机构试验[J]. 农业机械学报,2009,40(8):49~53.  
Mou Xiangwei, Ou Yinggang, Zhang Yang. Experiment of the finger-chain type sugarcane-lifter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(8):49~53. (in Chinese)
- 2 董世平,王锋德,邱灶杨,等. 自走式棉秆捡拾收获机设计与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(增刊):99~102.  
Dong Shiping, Wang Fengde, Qiu Zaoyang, et al. Design and experiment of self-propelled cotton-stalk combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(Supp.):99~102. (in Chinese)
- 3 李旭,舒彩霞,黄海东,等. 高粗茎秆作物收割技术的研究进展[J]. 农机化研究,2010,32(8):1~6.  
Li Xu, Shu Caixia, Huang Haidong, et al. Harvest cutting technology of thick-tall stem crops at home and abroad[J]. Journal of Agricultural Mechanization, 2010,32(8):1~6. (in Chinese)
- 4 董振,蒙艳玫,李永敏. 不等螺距螺旋扶起机构的设计[J]. 农机化研究,2010,32(12):79~84.  
Dong Zhen, Meng Yanmei, Li Yongmin. Design of non-equidistant pitch sugarcane propping device[J]. Journal of Agricultural Mechanization, 2010,32(12):79~84. (in Chinese)
- 5 高建民,区颖刚. 甘蔗螺旋扶起机构的理论研究及虚拟样机仿真[J]. 农业工程学报,2004,20(3):1~5.  
Gao Jianmin, Ou Yinggang. Theoretical study on spiral sugarcane-lifting mechanism of sugarcane harvester and virtual prototype simulation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004,20(3):1~5. (in Chinese)
- 6 蒙艳玫,刘正士,李尚平,等. 甘蔗收获机排刷式剥叶元件虚拟试验分析[J]. 农业机械学报,2003,34(3):34~46.  
Meng Yanmei, Liu Zhengshi, Li Shangping, et al. Virtual experiment analysis of a brush shape of cleaning element for sugarcane harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003,34(3):34~46. (in Chinese)
- 7 贺俊林,佟金,陈志,等. 指形拨禾轮分禾机构的虚拟设计与运动仿真[J]. 农业机械学报,2007,38(6):53~56.  
He Junlin, Tong Jin, Chen Zhi, et al. Virtual design and kinematic simulation for feed-in mechanism with finger rotor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(6):53~56. (in Chinese)
- 8 解福祥,区颖刚,刘庆庭. 甘蔗收获机组合式扶起装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2011,42(2):94~98.  
Xie Fuxiang, Ou Yinggang, Liu Qingting. Experiment of combined-lifter device for sugarcane harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(2):94~98. (in Chinese)
- 9 戴飞,高爱民,孙伟. 纵轴流锥型滚筒脱粒装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2011,42(1):74~78.  
Dai Fei, Gao Aimin, Sun Wei, et al. Design and experiment on longitudinal axial conical cylinder threshing unit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(1):74~78. (in Chinese)
- 10 刘庆庭. 甘蔗切割机理[D]. 广州:华南农业大学,2004.  
Liu Qingting. The cutting mechanism of sugarcane [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2004. (in Chinese)

(上接第41页)

- 8 何志霞,袁建平,李德桃,等. 柴油机喷嘴喷孔内气液两相湍流场三维数值模拟[J]. 内燃机工程,2005,26(6):18~21.  
He Zhixia, Yuan Jianping, Li Detao, et al. Three-dimensional numerical simulation of two-phase turbulent flow in nozzle of diesel engines[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2005,26(6):18~21. (in Chinese)
- 9 何延东,刘刚. 调速型液力耦合器外特性实验研究[J]. 机床与液压,2011,39(7):48~49.  
He Yandong, Liu Gang. External characteristics experiment of variable speed hydrodynamic coupling[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2011,39(7):48~49. (in Chinese)
- 10 柴博森,马文星,刘春宝. 基于互相关算法的液力耦合器内部流场分析[J]. 农业机械学报,2011,42(12):38~42.  
Chai Bosen, Ma Wenxing, Liu Chunbao. Analysis of internal flow field in hydrodynamic coupling based on cross-correlation algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(12):38~42. (in Chinese)