

玉米摘穗机构低断茎拉茎刀辊设计与试验

崔涛 李克鸿 屈哲 韩丹丹 杨丽 张东兴

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 拉茎辊与摘穗板组合式摘穗机构收获时效率高、损失小,但是容易引起茎秆折断导致收获含杂率升高,针对此问题,分析了含杂产生的原因,对拉茎刀辊式结构进行了改进,在刀辊之间添加一个L型凸棱辅助下拉茎秆,保证工作过程中对茎秆的连续竖直下拉。通过理论分析计算和计算机模拟的方法,确定了改进后结构的基本参数并进行了试制加工。选取3种不同型式的摘穗机构(4刀片式拉茎辊和固定式摘穗板、4刀片式拉茎辊和间隙可调式摘穗板及新型低断茎拉茎刀辊和间隙可调式摘穗板)为试验因素进行了台架试验。试验结果表明,不同型式的摘穗机构对收获含杂率的影响不显著,但是不同型式拉茎刀辊对收获含杂率影响显著;结合间隙可调式摘穗板和低断茎拉茎刀辊,收获含杂率相比传统机构能够降低1.85个百分点;其中间隙可调式摘穗板和低断茎拉茎刀辊对含杂率降低的贡献分别为67.0%和33.0%;采用低断茎拉茎刀辊和间隙可调式摘穗板摘穗机构收获含杂率最小,仅为1.45%,满足国标规定要求。

关键词: 玉米; 摘穗机构; 拉茎辊; 设计; 试验

中图分类号: S225.5⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0222-05

Design and Experiment of Low Trash Snapping Knife Rolls for Corn

Cui Tao Li Kehong Qu Zhe Han Dandan Yang Li Zhang Dongxing

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Snapping mechanism with four knife rolls and stripper plates has the advantages of smaller kernel damage, faster capacities and higher ground speeds compared with spial-ribbed snapping rolls, but knife rolls are more aggressive, which can lead to more stalk breakage and more trash in the load. In order to solve this problem, a new type of fluted rolls was designed through the analysis of causes of stalk breakage. Four additional rolls of L shape were installed between each knife roll, which provided a straight pull-down of stalks. Theoretical analysis and computer simulation were made to determine structure parameters, and then an experimental prototype was made to test its performance. The experiment was carried out in existed snapping apparatus test bench, and three snapping mechanisms were chosen to do this comparison, which were traditional four blades snapping rolls and fixed snapping plate, four blade pull stalk rolls and clearance adjustable snapping plate and the new snapping rolls and clearance adjustable snapping plate. The ratio of trash in load was measured. Experiments results were analyzed by carrying out variance and significance analysis of effects assessed. Different snapping mechanisms had no significant effects on ratio of trash in load with confidence of 0.95, but different snapping knife rolls had significant effects on ratio of trash in load. The ratio of trash in load was reduced from 3.3% to 1.45% with combination of clearance adjustable snapping plate and new snapping knife rolls compared with traditional four blade snapping rolls and fixed snapping plate, wherein the contribution ratio of adjustable snapping plate and new blade rolls were 67.0% and 33.0%,

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(51405495)、国家现代玉米产业技术体系建设项目(CARS-02)和农业部土壤-机器-植物系统技术重点实验室项目

作者简介: 崔涛(1985—),男,讲师,主要从事农业机械装备与计算机测控研究,E-mail: cuitao@cau.edu.cn

通信作者: 张东兴(1958—),男,教授,博士生导师,主要从事农业机械装备与计算机测控研究,E-mail: zhangdx@cau.edu.cn

respectively. The ratio of trash in load was the least with new snapping knife rolls and clearance adjustable snapping plate, which was 1.45%, and it met the requirement of national standard regulations and achieved the design purpose.

Key words: corn; snapping mechanism; snapping rolls; design; experiment

引言

摘穗装置是玉米收获机的核心部件,卧式摘穗装置是目前大多数收获机采取的摘穗形式。卧式装置又分为摘穗辊式及拉茎辊与摘穗板组合式^[1-3]。其中摘穗辊式机构作业时清洁度高,但是收获时由于果穗与高速回转的摘穗辊不分离易发生果穗大端啃伤现象,收获损失偏高;而拉茎辊与摘穗板组合式机构虽然收获效率较高、损失较小,但是由于对茎秆的压缩较大,易导致茎秆折断,收获时果穗含杂率较高^[4-6]。

拉茎辊与摘穗板组合式机构摘穗性能主要受到拉茎辊形式、摘穗板边缘形式等结构参数及拉茎辊间隙、摘穗板间隙、拉茎辊转速、摘穗机构作业倾角、机具作业速度等工作参数的影响^[7-12]。目前常用的拉茎辊形式主要有六凸棱式和拉茎刀辊式,在我国六凸棱式拉茎辊应用较为广泛^[1]。六凸棱式拉茎辊在作业过程中,存在对茎秆的压缩、弯折,在茎秆有虫蛀或摘穗瞬间摘穗力急剧增大时,极易导致在茎秆脆弱处发生折断,导致收获含杂率升高;而拉茎刀辊式拉茎辊在下拉茎秆过程中,垂直下拉茎秆,避免了茎秆的弯折,但是由于刀片会切入茎秆内部,容易引发茎秆轴向机械力学性能的改变,如果下一组刀片未形成对茎秆的有效夹持,容易发生茎秆折断导致收获含杂率升高。为了解决拉茎辊与摘穗板组合式摘穗机构收获时含杂率较高的问题,本文在4刀片式拉茎刀辊基础上进行改进,添加4个“L”型直线凸棱组成一种低断茎拉茎辊,加强摘穗作业过程中对茎秆的有效夹持,以期减小收获含杂率。

1 原理

传统的4刀片式拉茎刀辊与摘穗板组合式摘穗机构如图1所示。

4刀片式拉茎辊与摘穗板组合式摘穗机构作业过程中,4个拉茎刀片和拉茎辊轴在固定螺栓的作用下组成刀片式拉茎辊。每行摘穗单元包含一对拉茎辊。作业过程中一对拉茎辊相向回转运动,相邻刀片依次切入、下拉茎秆,在果穗到达摘穗板处时由于摘穗板的阻碍作用完成摘穗作业。相对于摘穗辊和传统6凸棱式拉茎辊,刀片式拉茎辊下拉效率更高,且为垂直下拉,避免了茎秆的弯折,但是传统拉茎辊存在的收获含杂高的问题依然没有得到解决,

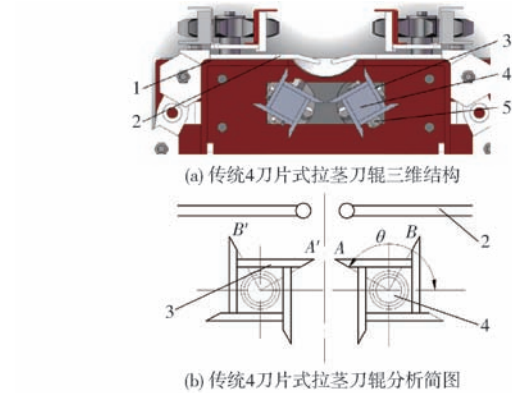


图1 传统4刀片式拉茎刀辊结构

Fig. 1 Structure of traditional four blades snapping rolls
1. 机架 2. 摘穗板 3. 拉茎刀片 4. 拉茎辊轴 5. 拉茎刀片固定螺栓

主要是由于刀片对茎秆的切入易造成茎秆断裂,当下一组刀片未及时钳拉住茎秆时,容易造成收获含杂升高。

针对这种情况,对4刀片式拉茎辊工作时序进行分析,寻求增强茎秆夹持能力的方法。针对传统刀片式拉茎辊,选取相邻2个刀片进行分析,刀片顶点分别为A、A'、B、B'。由于一对拉茎辊关于中心对称,因此只需对A、B两点的方向的坐标进行分析即可,A点X轴方向的运动方程为

$$x_A = 50 + r\cos(\pi - \theta) \tag{1}$$

式中 x_A ——右拉茎辊刀片顶点A某一时刻的X轴坐标,mm

r ——A点的回转半径,取实验室现有机构值, $r = 48.375$ mm

θ ——A点相对于右拉茎辊回转中心的相位角,(°)

以图1所示状态为起始状态,在1/4周期内 θ 在 $[150.29^\circ, 240.29^\circ]$ 区间内发生变化。

B点X轴方向的运动方程为

$$x_B = 50 + r\cos\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \tag{2}$$

式中 x_B ——右拉茎辊刀片顶点B某一时刻的X轴坐标,mm

在Matlab中作出其在1/4周期内的运动轨迹^[13],如图2所示。

从图2中可看出,随着拉茎辊的旋转,A点、A'点所在的拉茎辊逐渐切入茎秆,在 $\theta = 180^\circ$ 左右时切入距离最深,随后A点、A'点所在刀片逐渐远离茎

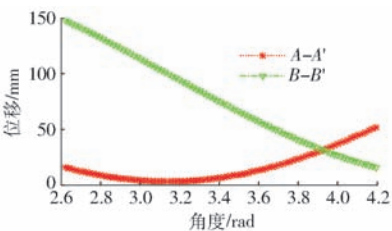


图2 4刀片式拉茎辊A-A'点、B-B'点位移1/4周期运动轨迹

Fig. 2 Movements of point A-A', B-B' in 1/4 period for four blades snapping rolls

秆,在这个过程中,B点、B'点所在的拉茎刀片逐渐向茎秆逼近,但是在210°~240°之间的范围,此时A点、A'点所在的拉茎刀片已经离开茎秆,而B点、B'点所在的拉茎刀片还未形成对茎秆的有效夹持,此时,如果茎秆在摘穗板处发生折断,就易导致在拨禾链的作用下,茎秆向果穗收集箱输运,从而导致收获含杂。此时,如果在A点和B点之间添加一个辅助夹持机构,使其在210°~240°相位角之间形成对茎秆的有效夹持,则可有效地避免上述情况的发生。

因此,在不改变原有拉茎刀辊结构的基础上,通过在A、B刀片之间添加一“L”型凸棱机构,借助刀片的固定螺栓将其与刀片固定在一起形成一套拉茎机构,如图3所示。

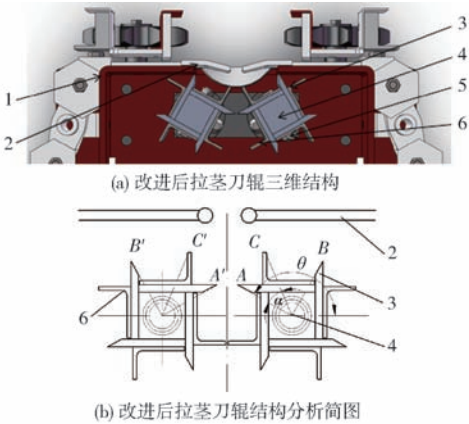


图3 改进后拉茎刀辊结构

Fig. 3 Improved knife rolls

1. 机架 2. 摘穗板 3. 拉茎刀片 4. 拉茎辊轴 5. 拉茎刀片固定螺栓 6. L型凸棱

注:C、C'为“L”型凸棱顶点;θ为A点相对于右拉茎辊回转中心的相位角,(°);α为C点相对于右拉茎辊回转中心的相位角与A点相对于右拉茎辊回转中心的相位角之差,(°)。

为了确定添加的“L”型凸棱的设计参数,对其进行模型分析。取“L”型凸棱的顶点为C,对应的另一拉茎辊上的点为C'。

C点X轴方向的运动方程分别为

$$x_c = 50 - R\cos(\pi - (\theta - \alpha)) \tag{3}$$

式中 R——C点相对于右拉茎辊回转中心的回转半径,mm

α——C点相对于右拉茎辊回转中心的相位角与A点相对于右拉茎辊回转中心的相位角之差,(°)

同时,在θ=180°左右时,由于A-A'切入茎秆最深,为了防止茎秆发生折断,C与C'的距离应小于茎秆直径,即

$$x_c \leq \lambda d \tag{4}$$

式中 λ——茎秆有效夹持系数,取λ=0.9
d——玉米茎秆直径,通过对实际植株的测量得到,mm

在θ=240°时,C与C'的距离也应小于茎秆直径,满足对茎秆的夹持。

为了得到植株茎秆直径的基本参数,在试验地块连续测量50株玉米植株结穗位下第一节茎秆的直径,由于玉米茎秆的截面为类椭圆形,测量过程中区分长径和短径,其中长径为(25.9±1.85)mm,短径为(20.4±1.46)mm。在设计过程中,选择椭圆的较短径作为玉米植株直径d,这里d取20mm。为了使拉茎辊在茎秆下拉过程中线速度一致,保证下拉过程中茎秆速度稳定,L型凸棱的回转直径为R与原有刀尖的回转直径相同,R=48.375mm。

根据以上条件,由式(3)、(4)联立得27.95°≤α≤32.06°,分别取α=32°、30°、28°在CATIA中采用上述参数进行建模,将建立的模型分别导入ADAMS中,如图4所示。分别在A、A'、B、B'、C、C'6点建立标记点,对他们之间在X轴方向之间的距离进行点到点测量,设置驱动速度为90(°)/s,进行时间为1s的模拟,得到改进后拉茎辊在1/4周期内的运行轨迹如图5所示^[14-15]。

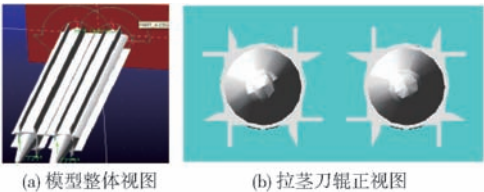


图4 ADAMS模型分析

Fig. 4 Analysis of ADAMS model

从图5可以看出,当α=32°、α=30°、α=28°时,在整个运行周期内,A刀辊刀片、“L”型凸棱、B刀辊刀片交替完成对茎秆的夹持下拉作用,而且在θ=180°时,L型凸棱完成了对茎秆的夹持。通过比较α=32°、α=30°、α=28°3种运行轨迹可以看出,α=28°时,“L”型凸棱在A-A'距离最小(θ=180°)时对茎秆的夹持较强,因此选α=28°作为设计方案进行试制加工。

2 试验与结果分析

根据上述计算确定的最终参数,完成低断茎拉

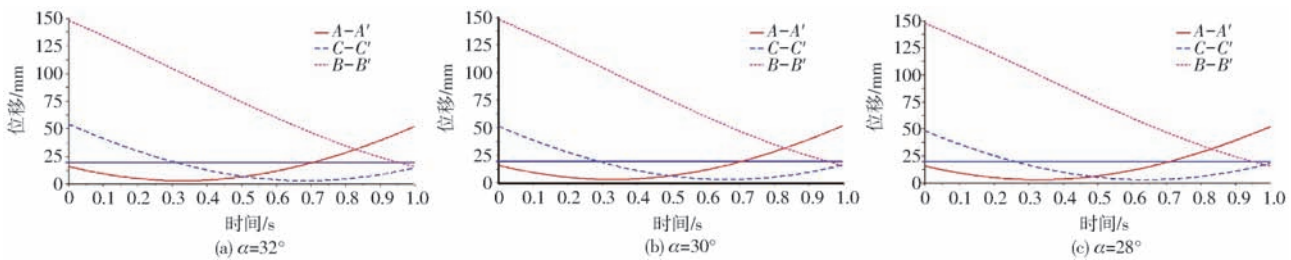


图5 $R=48.375\text{ mm}$ “L”型凸棱不同起始相位角时运动轨迹
Fig.5 Movements of point C&C' at different initial phase angles

茎刀辊的设计,摘穗板采用间隙自动调节式结构,试验在实验室已有的摘穗机构实验台架进行。摘穗板间隙能够根据喂入茎秆的直径进行自动调节,调节范围为18~40 mm。

试验选取3种不同形式的摘穗机构,分别为传统的4刀片式拉茎辊和固定式摘穗板、实验室已有的4刀片式拉茎辊和间隙可调式摘穗板和低断茎拉茎刀辊和间隙可调式摘穗板。试验于2015年11月在河北固安县柳泉镇京泉机械弹簧厂厂房内进行,试验时玉米植株茎秆含水率为72.3%,籽粒含水率为31.0%。



(a) 4刀片式拉茎刀辊



(b) 低断茎拉茎刀辊

图6 试验用拉茎刀辊
Fig.6 Knife rolls for test

试验选取收获时果穗中茎秆含杂率为试验指标,由于是台架试验,不存在土块等杂物,收获产生的含杂仅指果穗收集箱中的茎秆部分。



(a) 结穗位下部断裂 (b) 结穗位处断裂

图7 不同茎秆断裂方式

Fig.7 Different modes of stem fracture

种表现形式,一种在茎秆结穗位处发生折断,一种是在茎秆结穗位下发生折断。主要由于4刀片式拉茎刀辊对茎秆夹持不足,拉茎刀辊未能形成对茎秆的连续有效夹持,从而导致断裂部分被拨禾链带入果穗收集箱中形成收获含杂。

含杂率计算式为

$$\eta = \frac{m_z}{m} \times 100\% \tag{5}$$

式中 η ——收获果穗茎秆含杂率,%
 m_z ——收获果穗中所含秸秆成分质量,g
 m ——收获过程中果穗收集箱中物质的总质量,g

台架试验每次20株,每个处理重复3次。选取拉茎辊转速750 r/min,玉米植株喂入速度1.2 m/s。试验结果如表1所示。

表1 试验结果
Tab.1 Result of experiment

摘穗机构 类型	试验 序号	果穗 质量/g	籽粒 质量/g	杂质 质量/g	含杂率/ %
4刀片式拉茎辊 和固定式摘穗板	1	3 725	2 948.3	175	4.49
	2	4 380	3 466.7	175	3.84
	3	5 235	4 143.4	80	1.51
	平均值	4 446.7	3 519.5	143.3	3.30
4刀片式拉茎辊 和间隙可调式摘 穗板	1	6 550	5 184.2	135	2.06
	2	5 500	4 353.2	100	1.82
	3	7 255	5 742.2	165	2.27
	平均值	6 435	5 093.2	133.3	2.05
低断茎拉茎刀辊 和间隙可调式摘 穗板	1	5 385	4 262.1	80	1.49
	2	5 920	4 685.6	75	1.27
	3	5 630	4 456.0	90	1.60
	平均值	5 645	4 467.9	81.67	1.45

从表1中可以看出,低断茎拉茎刀辊和间隙可调式摘穗板相比其他机构,含杂率分别降低了1.85个百分点和0.6个百分点,含杂率最低,达到国家标准规定的果穗收获含杂率小于1.5%的标准^[16];对3种摘穗机构试验数据进行方差分析(表2),可以看出虽然不同摘穗机构间收获含杂率存在差异,但对收获含杂率影响不显著。

为进一步明确不同拉茎刀辊对含杂率的影响,

4刀片式拉茎刀辊试验过程中玉米断茎呈现2

在间隙可调式摘穗板的基础上,对4刀片式拉茎辊和低断茎拉茎刀辊的试验数据进行方差分析,结果如表3所示。可以看出,不同形式拉茎刀辊对收获含杂率影响显著。

表2 试验结果方差分析

Tab.2 Results of variance analysis					
差异源	SS	df	MS	F	P
组间	5.21	2	2.60	3.08	0.12
组内	5.07	6	0.84		
总计	10.27	8			

表3 不同拉茎辊类型试验结果方差分析

Tab.3 Variance analysis results of different knife rolls					
差异源	SS	df	MS	F	P
组间	0.54	1	0.54	13.45	0.02
组内	0.16	4	0.04		
总计	0.70	5			

综上所述,可以看出,当将拉茎辊和摘穗率板作为摘穗机构整体考虑时,摘穗机构对收获含杂率影响不显著;但当单独考虑拉茎辊形式时,其对收获含杂率影响显著,低断茎拉茎刀辊的设计能够显著降低收获含杂率。间隙自动调节摘穗板在摘穗过程中能够很好地适应不同植株,能够降低茎秆折断和由此产生的含杂,在试验过程中降低含杂比例约为

67.0%,但此时含杂率仍高于国家标准;在摘穗板间隙自动调节的基础上,采用低断茎拉茎刀辊,进一步降低了收获含杂率,降低比例约为33.0%。2种方式的综合使用,使含杂率由最初的3.30%降至1.45%,降低了1.85个百分点,达到了国家标准的规定。

3 结论

(1)拉茎辊作为摘穗板与拉茎辊组合式摘穗机构的核心工作部件,其设计形式影响收获含杂率,在下拉茎秆过程中保证对玉米茎秆的连续、不间断下拉能够降低收获含杂率。

(2)4刀片与4“L”型凸棱组合式拉茎刀辊能够保证拉茎辊下拉过程中对茎秆的连续不间断下拉。根据对田间收获期玉米植株生长参数的测量,通过理论计算和ADAMS运动学分析,确定了“L”型凸棱的设计参数。

(3)台架试验表明,不同摘穗机构的对收获含杂率的影响不显著,但摘穗机构的组成部分之一——拉茎辊对收获含杂率影响显著。间隙自动调节式摘穗板虽然能够降低收获含杂率,但降低后的含杂率依然高于国标;进一步采用4刀片与4“L”型凸棱组合形式的低断茎拉茎刀辊,含杂率最终降至1.45%,达到了国标要求。

参 考 文 献

1 陈志. 玉米全价值收获关键技术与装备[M]. 北京:科学出版社,2014.

2 STOUT B A, CHEZE B. CIGR handbook of agricultural engineering, Volume III: plant production engineering[M]. Michigan, USA: American Society of Agricultural Engineers, 1999.

3 SRIVASTAVA A K, GOERING C E, ROHRBACH R P, et al. Engineering principles of agricultural machines [M]. 2nd edition. Michigan, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers,2006.

4 王优,张强,于路路. 玉米摘穗装置的应用现状与展望[J]. 农机化研究,2011,33(1):228-229.

WANG You, ZHANG Qiang, YU Lulu. The present situation of corn snapping device and its expectation [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2011, 33(1): 228-229. (in Chinese)

5 贾洪雷,王刚,赵佳乐,等. 间距自适应差速玉米摘穗辊设计与试验[J]. 农业机械学报,2015,46(3):97-102.

JIA Honglei, WANG Gang, ZHAO Jiale, et al. Design and experiment of spacing-adaptive differential snapping rollers for corn harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015,46(3):97-102. (in Chinese)

6 佟金,贺俊林,陈志,等. 玉米摘穗辊试验台的设计和试验[J]. 农业机械学报,2007,38(11):48-51.

TONG Jin, HE Junlin, CHEN Zhi, et al. Research and development of testing device with snapping rolls for corn harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2007,38(11):48-51. (in Chinese)

7 郭春芳,郭金跃,赵秀全. 玉米收获机板式割台参数分析[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2011,31(4):377-380.

GUO Chunfang, GUO Jinyue, ZHAO Xiuquan. Plate cutting device parameter analysis of corn harvest machine[J]. J. Shanxi Agri. Univ.: Natural Science Edition, 2011,31(4):377-380. (in Chinese)

8 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:机械工业出版社,2007.

9 KEPNER R A, BAINER R, BARGER E L. Principles of farm machinery[M]. Westport: AVI Publishing Company, 1978.

10 JOHNSON W H, LAMP B J. Principles, equipment and system for maize harvesting[M]. Wooster: Agricultural Consulting Associates, INC., 1966.

11 杜岳峰,朱忠祥,宋正河,等. 小型玉米收获机分禾与摘穗装置性能仿真[J]. 农业机械学报,2012,43(增刊):100-105.

DU Yuefeng, ZHU Zhongxiang, SONG Zhenghe, et al. Simulation of divider and snapping roll for small-scale corn harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012, 43(Supp.):100-105. (in Chinese)

12 崔涛,刘佳,张东兴,等. 摘穗与秸秆粉碎式作业机构设计与试验[J]. 农业机械学报,2012,43(10):95-100.

CUI Tao, LIU Jia, ZHANG Dongxing, et al. Design and experiment of cob-picking and stalk-chopping united mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012,43(10):95-100. (in Chinese)

13 魏鑫. Matlab R2014a 完全自学一本通[M]. 北京:电子工业出版社,2015.

14 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 2版. 北京:国防工业出版社,2014.

15 陈志伟,董月亮. MSC ADAMS 多体动力学仿真基础与实例解析[M]. 北京:中国水利水电出版社,2012.

16 GB/T 21962—2008 玉米收获机械 技术条件[S]. 2008.