

含水率对种子玉米脱粒性能的影响机理^{*}

高连兴 李 飞 张新伟 张永丽 刘 新 焦维鹏

(沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110866)

【摘要】 为深入探明含水率对玉米种子脱粒的影响机理,以铁丹 I 代一号等 3 个品种种子玉米为研究对象,进行了不同含水率下玉米种子籽粒破损强度、果柄强度和脱粒作用力等试验。试验结果表明,含水率对玉米种子脱粒的影响主要体现在籽粒破损强度和脱粒作用力两个方面:随着含水率的下降,玉米种子籽粒破损强度显著提高,因而脱粒时不容易破碎;脱粒作用力随着含水率下降显著下降,其主要原因是籽粒之间侧向与纵向间隙变大、相互没有挤靠和支撑作用,同时果柄强度下降。试验还表明,含水率高于 25% 时,籽粒之间侧向与纵向没有间隙,而含水率下降到 14.26% 时,籽粒之间侧向与纵向间隙接近最大且变化缓慢。

关键词: 玉米种子 脱粒 含水率 机理

中图分类号: S513; S226.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)12-0092-05

Mechanism of Moisture Content Affect on Corn Seed Threshing

Gao Lianxing Li Fei Zhang Xinwei Zhang Yongli Liu Xin Jiao Weipeng

(College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract

In order to study the effect of moisture content on seed corn threshing mechanism, the typical three varieties of corn seed, such as Tiedan I Generation 1 etc., were selected and a series of experiments for different moisture contents of seed damage strength, handle strength and threshing-force were completed. The test results showed that the effect of moisture content on corn threshing was mainly reflected in two aspects of seed damage strength and the threshing-force. There was a significantly increasing on damage strength of corn seed kernels as the moisture content down, and then the corn seed kernels were not easily broken during threshing. These main reasons were the lager longitudinal and lateral clearance, not extrusion or support among kernels, for the significantly dropping of the threshing-force with the moisture content decline, and the handle strength dropped at the same time too. The test results also showed that there was no longitudinal and lateral clearance among kernels when the moisture content was higher than 25%, the longitudinal and lateral clearance among kernels near the biggest changed slowly when the moisture content was below 14.26%.

Key words Corn seed, Threshing, Moisture content, Mechanism

引言

脱粒是玉米收获的重要环节,机械脱粒容易使玉米籽粒破碎损伤。对于玉米种子而言,脱粒过程导致的破碎与内部损伤是不容忽视的问题,尤其内部损伤不易被发觉,播种到田间不但浪费种子、增加

成本,而且造成缺苗,以致减产,特别是影响机械化精播技术的应用^[1~3]。衡量玉米脱粒机脱粒性能的主要指标是脱粒效率与脱粒损伤,其取决于两个方面:一是脱粒机的工作原理、关键部件的结构与材料、脱粒机主要工作参数等,这些因素决定了机械脱粒的施力方式和机械作用强度、物料运动学与动力

收稿日期: 2011-04-12 修回日期: 2011-05-06

^{*} 国家自然科学基金资助项目(50675143)、高等学校博士点专项科研基金资助项目(200801570007)、辽宁省自然科学基金资助项目(20082124)和沈阳市科技攻关资助项目

作者简介: 高连兴, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品收获与加工机械研究, E-mail: lianxing_gao@126.com

学规律;二是玉米果穗及其籽粒的物理机械特性,如玉米品种、果穗形状、含水率、籽粒类型及在穗轴排列规律与籽粒机械强度等,这些因素决定了玉米本身的脱粒及其损伤的难易程度,从而决定了脱粒效率与损伤率^[4~7]。

国内外学者对上述问题进行了大量、深入的研究,取得了许多成果^[8~13]。然而,作为脱粒效率与损伤重要因素的含水率如何影响玉米,特别是种子玉米脱粒难易程度的研究尚未见有文献报道。本文拟从含水率对种子玉米籽粒破损强度、种子玉米籽粒果柄强度和籽粒在果穗上的挤靠程度进行试验研究,揭示含水率对种子玉米脱粒的影响机理,为设计种子玉米脱粒机、制定最佳脱粒工艺参数提供理论参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料与设备

选用自然干燥的辽宁主栽玉米品种铁丹 I 代一号、铁丹 I 代二号和郁青为试验材料。主要试验设备有 SFY-6 型数显式红外线快速水分测定仪、万能生物材料机械性能试验机 (Model 3344 Single Column Materials Testing System)、尼康 D90 型体视显微镜 (变焦范围 0.75 X ~ 7.5 X)、尼康数码相机、微型计算机、电子天平和游标卡尺等。

1.2 试验方法与步骤

选取 3 种玉米品种的 5 个不同含水率水平 11.11%、14.26%、18.26%、23.13% 和 30.55%, 首先将玉米籽粒样品磨碎至粉末状,用 SFY-60 型红外线快速水分测定仪测定其含水率。然后进行玉米籽粒破损强度、玉米籽粒果柄强度和玉米脱粒作用力等试验。

(1) 玉米籽粒破损强度试验

以最小破裂力即破损强度为试验指标,按 3 种放置方式 (图 1) 在万能生物材料机械性能试验机上进行单因素试验。试验时将玉米籽粒置于压板中心并固定,调整上压头至恰好未接触到玉米籽粒,进入 Bluehil 程序界面,在方法界面中设定试验控制参数:加载速度 0.5 mm/min、上限载荷 400 N、上限位移 3 mm、上限下降载荷百分率 20%、上限下降载荷 5 N;在测试界面中依次点击载荷调零键、开始键、完成键、退出键。试验中得到的载荷-变形曲线最高点载荷即为籽粒破裂时的最小载荷。试验重复 10 次,取平均值。

(2) 玉米籽粒果柄强度试验

玉米籽粒果柄强度是指无支撑行和支撑粒的单个玉米籽粒与玉米芯轴的连结强度,分为抗压强度、

纵向抗弯强度和侧向抗弯强度。试验时测定玉米果柄断裂时的抗压力、纵向作用力和侧向作用力 (图 2a、2c 和 2e)。

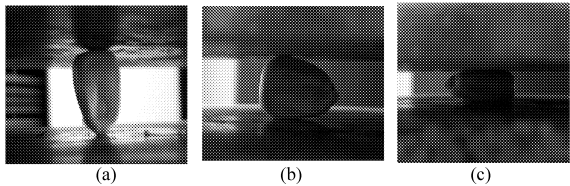


图 1 玉米籽粒不同放置方式

Fig. 1 Different kinds of grain corn placement

(a) 立放 (b) 侧放 (c) 平放

(3) 玉米脱粒作用力试验

玉米籽粒果柄强度是影响玉米脱粒的因素之一,反映了单个玉米籽粒脱粒难易程度的一种理想状态。实际脱粒过程中玉米以整个果穗喂入,籽粒受到脱粒部件机械作用的同时,玉米籽粒之间也存在相互挤靠、支撑作用。因此,必须研究有支撑行或支撑粒时玉米脱粒的作用力——玉米脱粒作用力。本试验参照接鑫等试验方法^[11],以郁青玉米籽粒为试验对象,以含水率、作用力方向、支撑行数或支撑粒数 (籽粒约束形式) 为试验因素,以玉米脱粒力为试验指标。脱粒施力方向为对籽粒的压力 F_1 、沿果穗纵向方向的纵向作用力 F_2 和沿果穗切向方向的侧向作用力 F_3 。籽粒约束形式为支撑的行数或粒数,用下标第 2 位数字表示,如下标第 2 位数字为零时,表示受力籽粒周围没有支撑行或支撑粒 (图 2a、2c 和 2e);下标第 2 位数字为 1 时,表示受力籽粒某一个方向有 1 个支撑行或 1 个支撑粒 (图 2b、2d 和 2f)。本试验中支撑行数或支撑粒数最多选取 3 个。下标第 3 位数字 m,表示施力部位在玉米种穗中部。

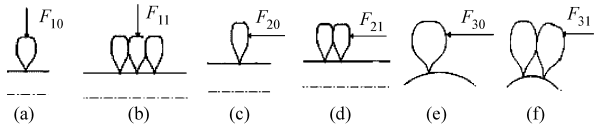


图 2 玉米脱粒施力方式与约束形式示意图

Fig. 2 Structure of corn kernel stress

(a) 单粒受压 (b) 单粒支撑受压 (c) 单粒纵向受弯 (d) 单粒支撑纵向受弯 (e) 单粒侧向受弯 (f) 单粒支撑侧向受弯

2 试验数据及结果分析

2.1 玉米籽粒破损强度

在 5 个不同含水率水平下的铁丹 I 代一号、铁丹 I 代二号和郁青 3 种玉米籽粒依次为立放、侧放、平放时破损强度及其变化规律如图 3 所示。试验结果表明,3 种玉米籽粒在 3 种放置方式下的破损强度均随含水率下降而显著提高;其中低含水率时破损强度变化较快而高含水率时变化较缓,破损强度

由大到小的顺序依次为平放、侧放、立放。以铁丹 I 代一号(图 3a)为例,在含水率为 11.11% 时,对立放、侧放、平放时的籽粒破损强度分别为 97.13 N、128.48 N、210.94 N,均大于其含水率为 30.55% 时

的籽粒破损强度 66.32 N、95.42 N、162.53 N;其中含水率 11.11% 平放时得到最大破损强度 210.94 N,含水率为 30.55% 立放时得到最小破损强度 66.32 N。图 3b、3c 中也显示出相似规律。

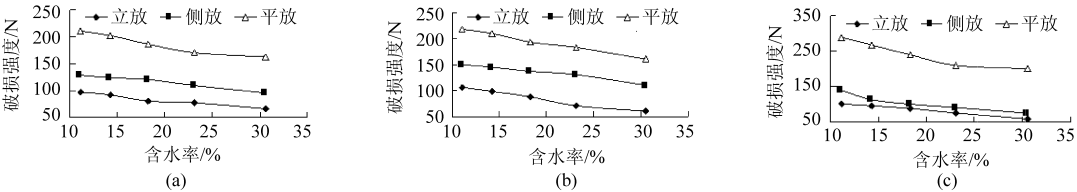


图 3 破损强度随含水率变化曲线

Fig. 3 Rupture strength with variation of water content

(a) 铁丹 I 代一号 (b) 铁丹 I 代二号 (c) 郁青

研究发现,随着含水率的升高玉米籽粒破损强度下降并出现一定塑性,尤其立放时载荷作用线通过种胚,产生的塑性变形比较严重。含水率较低时玉米籽粒破损强度提高,但呈现脆性变形,易出现内部裂纹。由此可见,含水率直接影响玉米籽粒破损强度与变形性质,不同品种玉米种子籽粒破损强度与变形有一定差异,脱粒时需要选择适当的含水率范围。

2.2 玉米果柄强度

从玉米脱粒作用力定义可知,当支撑行数或支撑粒数为零时玉米脱粒作用力即为玉米籽粒果柄强度。对郁青玉米果穗中部进行 4 水平含水率、4 种约束形式、3 种施力方式脱粒试验,其结果如表 1 所示。

试验结果表明,籽粒果柄纵向弯曲强度、侧向弯

曲强度和抗压强度均随着含水率的增大而提高(图 4),即果柄强度增大,意味着脱粒难度有所增大。其中含水率为 11.11% 时有最小果柄强度 F_{20m} 为 0.134 N,含水率为 23.13% 时有最大果柄强度 F_{30m} 为 3.391 N。分析认为,含水率较低时果柄变细、变脆,机械强度下降;相反,含水率增加时果柄变粗、韧性增强、机械强度增大,故而脱粒难度有所增大。从果柄强度指标来讲,脱粒时玉米含水率不宜过大。

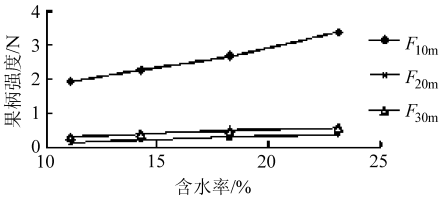


图 4 玉米穗中部果柄强度随含水率变化曲线

Fig. 4 Handle strength on the middle ear grain-pivot with moisture content changes

表 1 玉米穗中部脱粒作用力试验结果

Tab. 1 Determination results of threshing-force on the middle ear grain-pivot

脱粒施力方向	含水率 /%	脱粒作用力/N			
		约束形式(支撑行数或粒数)			
		0	1	2	3
压力 F_{1jm}	11.11	1.929	2.746	3.015	3.158
	14.26	2.277	3.138	3.800	4.219
	18.26	2.679	3.923	4.502	5.205
	23.13	3.391	4.615	5.022	6.124
纵向作用力 F_{2jm}	11.11	0.134	0.702	1.357	1.682
	14.26	0.227	0.973	1.658	1.989
	18.26	0.310	1.211	1.919	2.436
	23.13	0.393	1.425	2.132	2.737
侧向作用力 F_{3jm}	11.11	0.312	0.617	1.476	1.764
	14.26	0.406	0.931	1.998	2.395
	18.26	0.500	1.236	2.315	3.026
	23.13	0.579	1.491	2.631	3.513

2.3 玉米脱粒作用力

试验结果(表 1)表明,无论施力方式和脱粒约束形式如何,各种脱粒作用力均随着含水率的增加而增大;同一含水率下,脱粒作用力随着支撑行数或支撑粒数的增加而明显增大(图 5)。在含水率为 11.11% 时,不同约束形式下的玉米穗中部脱粒压力 F_{1jm} 、 F_{2jm} 、 F_{3jm} 远小于含水率为 23.13% 时相应的数值。

试验结果表明,玉米含水率不仅影响玉米籽粒果柄强度,而且对脱粒作用力产生更大影响。分析上述规律认为,含水率在某种程度上改变了玉米籽粒之间的相互作用即约束形式,需要进一步考察含水率对脱粒作用力的影响机理。

3 籽粒约束形式

为进一步考察含水率对脱粒作用力的影响机理,用尼康 D90 型体视显微镜观察,测定了 5 个含

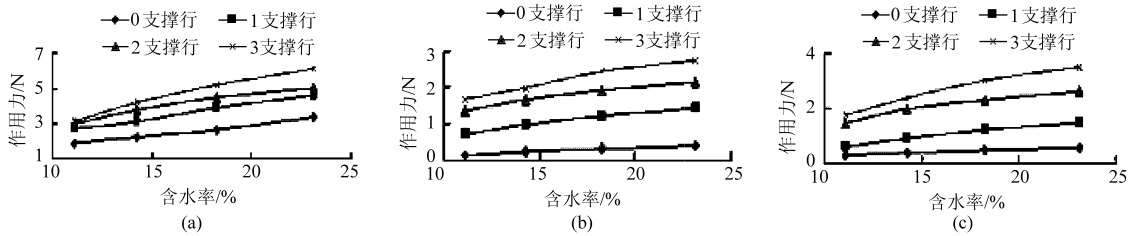


图 5 玉米穗中部籽粒果柄强度与脱粒作用力随含水率变化曲线

Fig. 5 Handle strength and threshing-force on grain-pivot of middle ear with moisture content changes

(a) 压力 F_{1jm} (b) 纵向作用力 F_{2jm} (c) 侧向作用力 F_{3jm}

水率下 3 个品种玉米籽粒纵向与侧向间隙(表 2), 并通过图像技术统计缝隙变化规律。试验步骤:用尼康 D90 型体视显微镜观察并针对果穗籽粒空隙拍照(图 6a),对照片进行放大 10 倍处理(图 6b),应用 Matlab 软件对图像采用分水岭算法分割处理(图 6c),处理后的图像附加 0.3 mm×0.3 mm 的栅格(图 6d),通过 AutoCAD 中的标注测定种子玉米籽粒在果穗上侧向排列间隙 b_1 与间隙长度 l_1 、纵向排列间隙 b_2 与间隙长度 l_2 。

试验结果(表 2)表明:当含水率下降到约 25% 时,3 种玉米穗上籽粒均开始出现侧向间隙和纵向间隙;随着含水率进一步下降,籽粒间隙均近似于线性增大;当含水率下降到约 14%~15% 时,籽粒间的侧向间隙和纵向间隙基本达到最大值;当含水率继续下降时,籽粒间隙变化不大(图 7)。以铁丹 I 代一号(图 7a)为例,当含水率下降到 14.26% 时,籽粒侧向间隙 b_1 和纵向间隙 b_2 分别达到 0.379 mm 和 0.112 mm;当含水率下降到 11.11% 时,籽粒侧向间隙 b_1 和籽粒纵向间隙分别增大到 0.388 mm 和

表 2 籽粒排列间隙测定结果

Tab. 2 Determination results of clearance among kernels

品种	含水率 /%	侧向间隙		纵向间隙	
		侧向间隙 长度 l_1 /mm	纵向间隙 长度 l_2 /mm	侧向间隙 长度 b_1 /mm	纵向间隙 长度 b_2 /mm
铁丹 I 代一号	11.11	0.388	3.065	0.118	2.692
	14.26	0.379	3.013	0.112	2.658
	18.26	0.230	1.748	0.070	1.600
	23.13	0.041	0.529	0.014	0.496
	30.55	0	0	0	0
铁丹 I 代二号	11.11	0.317	2.364	0.176	2.220
	14.26	0.309	2.325	0.165	2.196
	18.26	0.180	1.424	0.102	1.253
	23.13	0.035	0.467	0.025	0.438
	30.55	0	0	0	0
郁青	11.11	0.674	4.310	0.362	4.643
	14.26	0.658	4.264	0.341	4.578
	18.26	0.366	2.790	0.218	2.712
	23.13	0.069	1.243	0.039	1.237
	30.55	0	0	0	0

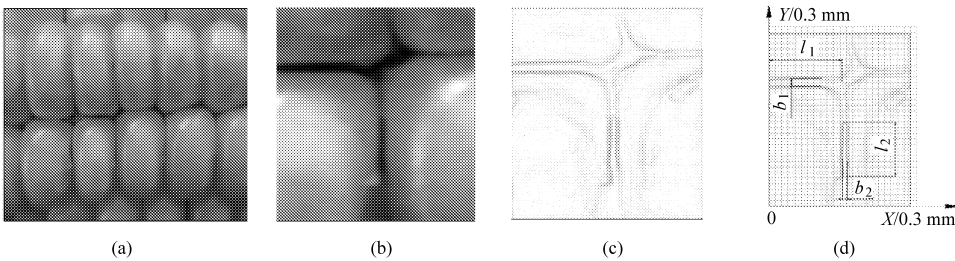


图 6 籽粒排列间隙图片处理过程

Fig. 6 Image processing of clearance among kernels

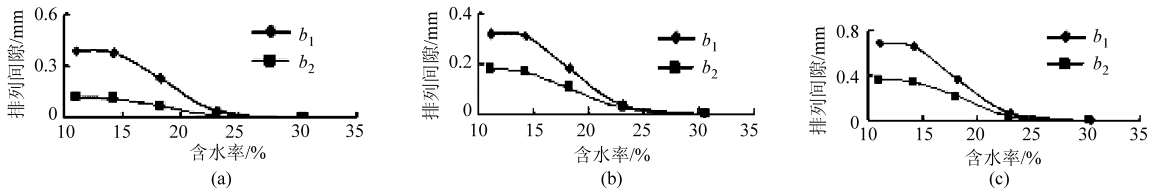


图 7 籽粒排列间隙宽度随含水率变化关系

Fig. 7 Alignment clearance width among kernels with moisture content changes

(a) 铁丹 I 代一号 (b) 铁丹 I 代二号 (c) 郁青

0.118 mm。由此可见,当含水率对玉米脱粒影响的另一因素是籽粒约束形式的变化,即当含水率高时,玉米籽粒侧向与纵向相互挤靠而形成支撑,增大了脱粒作用力;当含水率降到一定程度时,由于玉米籽粒的体积收缩、籽粒之间出现间隙,因而玉米籽粒容易松动,玉米脱粒作用力明显下降。从试验结果来看,当种子玉米含水率下降到 15% ~ 16% 时,玉米籽粒间的侧向间隙和纵向间隙已经足够大,因此脱粒变得比较容易,从而脱粒损伤下降,脱粒效率提高。

4 结 论

(1) 3 种施力方式下玉米籽粒破损强度均随含水率下降而显著提高,其中低含水率时破损强度变化较快而高含水率时变化较缓。

(2) 玉米籽粒果柄强度均随着含水率的增大而

提高,即脱粒难度有所增大。其中含水率为 11.11% 时有最小连结强度 F_{20m} 为 0.134 N,含水率为 23.13% 时玉米种子果柄强度 F_{10m} 为 3.391 N。

(3) 脱粒作用力随着含水率的增加而增大;同一含水率、任一脱粒施力方式下,脱粒作用力随着支撑行或支撑粒数的增加而明显增大。

(4) 玉米穗上籽粒侧向排列与纵向排列间隙均随含水率下降而增大,反之亦然;当含水率约 25% 时籽粒间没有侧向与纵向间隙,籽粒之间相互挤靠,增大了脱粒作用力。随着含水率下降,玉米籽粒体积收缩,籽粒间逐渐出现侧向与纵向间隙,当含水率降到 14.26% 时,籽粒侧向间隙 b_1 和纵向间隙 b_2 分别增大到 0.379 mm 和 0.112 mm,籽粒间隙接近最大,脱粒比较容易;含水率进一步下降时,籽粒侧向与纵向间隙变化不大。

参 考 文 献

- 李力生,潘世强,张盛文. 我国玉米种子加工业的现状与发展对策[J]. 吉林农业大学学报,2001,23(1):116 ~ 120.
Li Lisheng, Pan Shiqiang, Zhang Shengwen. Current situation and development counter measures of corn seed processing industry in China[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2001, 23(1): 116 ~ 120. (in Chinese)
- 周旭. 玉米种子脱粒损伤机理与低损伤脱粒原理研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2006.
Zhou Xu. Study on corn seed threshing damage mechanism and threshing-principles of the low damage[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University,2006. (in Chinese)
- 高连兴,李晓峰,接鑫,等. 大豆内部机械损伤对发芽的影响[J]. 农业机械学报,2010,41(10):63 ~ 66, 102.
Gao Lianxing, Li Xiaofeng, Jie Xin, et al. Inner mechanical damage impact to germination of soybean kernels [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10):63 ~ 66,102. (in Chinese)
- 张克平,黄建龙,杨敏,等. 冬小麦籽粒受挤压特性的有限元分析及试验验证[J]. 农业工程学报,2010,26(6):352 ~ 356.
Zhang Keping, Huang Jianlong, Yang Min, et al. Finite element analysis and experimental verification of wheat grain under compression loads[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 352 ~ 356. (in Chinese)
- 宁纪锋,何东健,杨蜀秦. 玉米籽粒的尖端和胚部的计算机视觉识别[J]. 农业工程学报,2004,20(3):117 ~ 119.
Ning Jifeng, He Dongjian, Yang Shuqin. Identification of tip cap and germ surface of corn kernel using computer vision[J]. Transactions of the CSAE,2004,20(3):117 ~ 119. (in Chinese)
- 朱文学,曹崇文. 玉米应力裂纹的生成和发展过程研究[J]. 农业工程学报,1996,12(2):177 ~ 181.
Zhu Wenxue, Cao Chongwen. Study on formation and development of stress cracks in corn during high temperature drying [J]. Transactions of the CSAE,1996,12(2):177 ~ 181. (in Chinese)
- 徐立章,李耀明,王显仁. 谷物脱粒损伤的研究进展分析[J]. 农业工程学报,2009,25(1):303 ~ 307.
Xu Lizhang, Li Yaoming, Wang Xianren. Research development of grain damage during threshing [J]. Transactions of the CSAE,2009,25(1):303 ~ 307. (in Chinese)
- 周旭,李心平,高连兴,等. 两种脱粒滚筒的玉米籽粒损伤试验研究[J]. 沈阳农业大学学报,2005,36(6):756 ~ 758.
Zhou Xu, Li Xinping, Gao Lianxing, et al. Comparison of corn kernel damage using two types of threshing cylinders[J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2005, 36(6):756 ~ 758. (in Chinese)
- 李心平,高连兴. 差速式玉米种子脱粒机的性能试验[J]. 农业工程学报,2009,25(12):102 ~ 106.
Li Xinping, Gao Lianxing. Performance test on corn thresher with different-speed threshing parts[J]. Transactions of the CSAE,2009,25(12):102 ~ 106. (in Chinese)
- 何晓鹏,刘春和,师建芳,等. 挤搓式玉米脱粒机的研制[J]. 农业工程学报,2003,19(2):105 ~ 108.
He Xiaopeng, Liu Chunhe, Shi Jianfang, et al. Research and design on corn sheller by extruding and rubbing method [J]. Transactions of the CSAE,2003,19(2):105 ~ 108. (in Chinese)

器的内部结构,减少反向流、二次流、小尺度涡流等现象,能够降低液力偶合器能量的损失,提高其工作性能。

4 结 论

(1) 在制动工况($i=0$)下,基于 PIV 互相关算法提取液力偶合器涡轮流道内速度场分布,实现了

液力偶合器内部流动可视化。

(2) 研究了制动工况($i=0$)下液力偶合器涡轮内部流场结构,分析了影响流场结构分布的原因。液力偶合器能量的损失与二次流、反向流和小尺度涡流等现象有关,降低这些现象的产生能够提高液力偶合器的工作性能。

参 考 文 献

1 马文星. 液力传动理论与设计[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

2 范洁川. 近代流动显示技术[M]. 北京:国防工业出版社,2002.

3 唐洪武. 现代流动测试技术及应用[M]. 北京:科学出版社,2009.

4 盛森芝,徐月亭,袁辉靖. 近十年来流动测量技术的新发展[J]. 力学与实践,2002,24(5):1~14.
Sheng Senzhi,Xu Yueting,Yuan Huijing. New development in the technology of flow measurement over the last decade[J]. Mechanics in Engineering,2002,24(5):1~14. (in Chinese)

5 Huitenda H,Mitra N K. Improving startup behavior of fluid couplings through modification of runner geometry:part I—fluid flow analysis and proposed improvement [J]. ASME Journal of Fluids Engineering,2000,122(4):683~688.

6 Huitenga H,Mitra N K. Improving startup behavior of fluid couplings through modification of runner geometry:part II—modification of runner geometry and its effects on the operation characteristics[J]. ASME Journal of Fluids Engineering,2000,122(4):689~693.

7 Baldassarre A,Lucia M De,Nesi P,et al. A vision-based particle tracking velocimetry[J]. Real-Time Imaging,2001,7(2):145~158.

8 Adrian R J. Particle image velocimetry,a particle guide[M]. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 2007.

9 Adrian R J. Twenty years of particle image velocimetry[J]. Experiments in Fluids,2005,39(2):159~169.

10 Adrian R J. Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics[J]. Annual Review of Fluid Mechanics,1991,23(1):261~304.

11 孙鹤泉,康海贵,李广伟. 基于图像互相关的 PIV 技术及其频域实现[J]. 中国海洋平台,2002,17(6):1~4.
Sun Hequan,Kang Haigui,Li Guangwei. The frequency methods of PIV based on cross-correlation of images[J]. China of Fshore Platform,2002,17(6):1~4. (in Chinese)

12 吴龙华,严忠民,唐洪武. DPIV 相关分析中相关窗口大小的确定[J]. 水科学进展,2002,13(5):594~598.
Wu Longhua,Yan Zhongmin,Tang Hongwu. Determination of the correlation window sizes in correlation analysis of DPIV [J]. Advances in Water Science,2002,13(5):594~598. (in Chinese)

13 王延颀,张永明,廖光煊. 数字粒子图像速度测量原理与实现方法[J]. 中国科学技术大学学报,2000,30(3):302~306.
Wang Yanting,Zhang Yongming,Liao Guangxuan. The principle and realiztion of digital particle image velocimetry[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2000,30(3):302~306. (in Chinese)

(上接第 96 页)

11 接鑫,李晓峰,孙亮,等. 种子玉米机械脱粒最佳施力方式试验[J]. 农业机械学报,2009,40(12):71~75,29.
Jie Xin, Li Xiaofeng, Sun Liang, et al. Experiment on optimal forcing method for seed-corn thresher[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12):71~75, 29. (in Chinese)

12 李心平,高连兴. 种子玉米籽粒果柄断裂机理试验研究[J]. 农业工程学报,2007,23(11):47~51.
Li Xinping,Gao Lianxing. Experimental study on breaking mechanism of kernel stem of corn seed[J]. Transactions of the CSAE,2007,23(11):47~51. (in Chinese)

13 袁月明,栾玉振. 玉米籽粒力学性质的试验研究[J]. 吉林农业大学学报,1996,18(4):75~78.
Yuan Yueming, Luan Yuzhen. Experimental investigation of mechanical properties for corn kernels[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1996, 18(4): 75~78. (in Chinese)