

种子玉米机械脱粒最佳施力方式试验^{*}

接鑫 李晓峰 孙亮 杜鑫 高连兴

(沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110161)

【摘要】 为深入研究种子玉米脱粒特性和脱粒损伤机理,改进玉米脱粒机,降低脱粒损伤,提高脱粒效率,以隆迪 401 玉米种子为对象,应用 LDS 微机控制电子拉压试验机等进行了脱粒试验,研究了玉米种子品种、含水率、作用部位及不同约束性质下的种子玉米脱粒力学特性。结果表明:在同样试验条件下,玉米穗大端籽粒脱粒较容易,小端次之,中部较难;纵向弯曲力小于侧向弯曲力,侧向弯曲力小于压力;种子玉米脱粒时的最佳施力方式为纵向弯曲力。

关键词: 种子玉米 脱粒 最佳施力方式 纵向弯曲力

中图分类号: S513; S226.1⁺2 **文献标识码:** A

Experiment on Optimal Forcing Method for Seed-corn Thresher

Jie Xin Li Xiaofeng Sun Liang Du Xin Gao Lianxing

(College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract

In order to research threshing seed-corn identity and damage mechanism, improve threshing principle, reduce damage and enhance efficiency, the threshing experiments for Longdi-401 seed-corn were carried out by using the LDS microcomputer control and electron draw press test machine, to investigate the effects of variety, moisture condition, force position and restriction property. The results show that under the same condition, it's easiest at corn bottom fringe to thresh, the second is at top fringe and the last is middle fringe; the longitudinal bending force is the optimal forcing method for threshing.

Key words Seed-corn, Threshing, Optimal forcing method, Longitudinal bending force

引言

种子玉米不仅价格高,而且其质量对产量有着显著影响。脱粒对种子玉米破碎与内部损伤至关重要,在很大程度上决定了种子玉米的加工质量^[1-2]。商品玉米和种子玉米籽粒的损伤形式除破碎外,还存在表皮裂纹、内部胚乳裂纹损伤形式,其中内部胚乳裂纹又分为热应力裂纹与机械裂纹。内部裂纹因表皮完好而不易被发现,具有极严重的潜在危害。初步研究表明,玉米籽粒内部机械裂纹

对种子玉米的发芽和出苗有较大影响,对玉米生产带来严重的潜在危害^[3-4]。

本文研究种子玉米脱粒最佳施力方式和玉米内部机械损伤机理,为改进玉米脱粒机,减轻种子玉米脱粒损伤打下基础。

1 种子玉米与籽粒特征

种子玉米果穗和籽粒均不同于商品玉米,其形状与排列具有不规则性(图 1),籽粒与穗轴结合力大,不容易脱粒。在玉米穗的纵行轴线方向上,籽粒

收稿日期: 2009-08-27 修回日期: 2009-09-16

^{*} 国家自然科学基金资助项目(50675143)、高等学校博士学科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)和沈阳市科技攻关项目(1071214-1-00)

作者简介: 接鑫,硕士生,主要从事农业机械装备研制研究,E-mail: ningyuan0760@163.com

通讯作者: 高连兴,教授,主要从事农业机械和生物质加工研究,E-mail: lianxing_gao@126.com

之间排列紧密;籽粒与籽粒行间从果柄以上一直到冠部 2/3 排列紧密,有 1/3 欠紧密或不接触,种子玉米籽粒坚硬,呈现脆性;玉米籽粒通过果柄结合力束缚在种子玉米芯上,果柄结合力大于商品玉米。果柄与玉米芯的连接强度与玉米的品种、成熟度、湿度有关,同一穗上不同部分籽粒的脱粒难易程度差异很大,脱粒功的大小几乎相差 20 倍^[5]。

玉米籽粒结构大致分为果种皮(果皮和种皮)、胚、胚乳和位于基部的果柄等。玉米果种皮坚硬,是

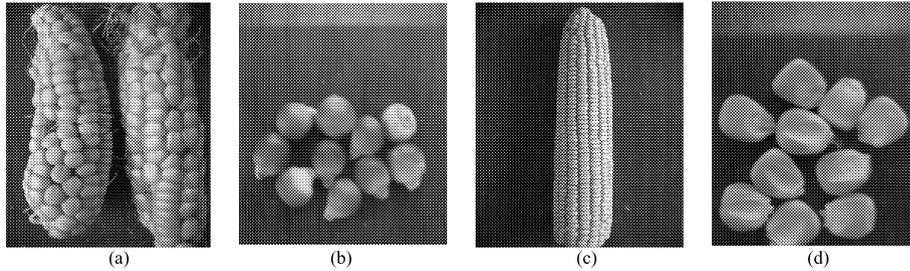


图1 种子玉米和商品玉米外观比较

Fig. 1 Appearance comparison of seed corn with commercial corn

(a) 种子玉米穗 (b) 种子玉米籽粒 (c) 商品玉米穗 (d) 商品玉米籽粒

籽粒的保护层,保护内壁组织;胚是玉米生命活动的主体,最易受到伤害,影响籽粒发芽率和储藏性能;玉米籽粒基部(下端)有一尖形的果柄,它使种子玉米籽粒附着在穗轴上,并且保护胚。果柄与种皮相连,在植物学上是穗轴的一部分(图 2)。种子玉米脱粒时,果柄常常留在种子上,但有时也会脱落。通过试验发现,果柄脱落对种子发芽率和出苗情况也有影响。

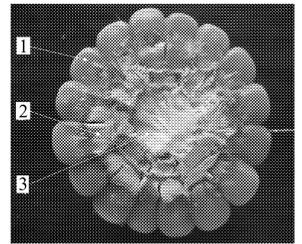


图2 种子玉米横截面图

Fig. 2 Cross section map of seed-corn

1. 籽粒 2. 颖壳 3. 玉米芯

2 试验材料与方法

2.1 试验材料与设备

试验所用种子玉米品种为隆迪 401,来自辽宁省大石桥市种子有限公司,试验时含水率为 15.2%。试验用玉米平均穗长 240 mm,大端平均直径 50 mm,小端平均直径 37 mm。

试验所用仪器有 LDS 型微机控制电子拉压试验机、1214 型谷物品质分析仪、自制试验夹具、量角器、压力弹簧秤、铁钉等。

2.2 试验方案设计

脱粒过程中种子玉米受力十分复杂,其中分别有脱粒滚筒、凹板对玉米穗的冲击、揉搓、挤压和摩擦等作用,同时玉米穗之间与籽粒之间也存在撞击、摩擦等作用,这些力使玉米脱粒的同时也会产生不同形式的损伤。为探索玉米脱粒施力方向和果穗不同部位的脱粒效果,根据脱粒时可能受到的作用力性质、方向及部位,对种子玉米脱粒作用过程进行以下简化:将种子玉米穗施力部位、施力方向以及周围籽粒支撑情况作为主要因素,研究籽粒与玉米芯分离时的最小作用力——即脱粒力最佳施力方式,找出最省功的作用力方向和脱粒过程以及脱粒施力的大小。

选取种子玉米脱粒的施力作用部位、作用力方向、脱粒约束形式——脱粒时的支撑行粒数 3 个因素,将玉米籽粒脱下时的最小作用力——脱粒力的

大小作为试验指标。脱粒施力作用部位分别为果穗上部(小端)、中部、下部(大端);施力方向分别为对籽粒的压力 F_1 、纵向弯曲力 F_2 和侧向弯曲力 F_3 ;支撑行粒数分别为 0、1、2 和 3,机械脱粒的作用性质、作用点及约束性质如图 3 所示。

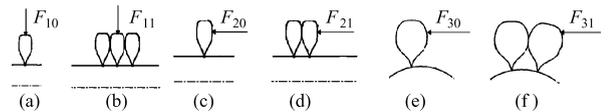


图3 玉米籽粒受力示意图

Fig. 3 Scheme of corn kernel stress

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

脱粒作用力 F 的矩阵形式为

$$F_{ijx} = \begin{bmatrix} F_{1jx} \\ F_{2jx} \\ F_{3jx} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} F_{10t}, \dots, F_{13t}, F_{10m}, \dots, F_{13m}, F_{10b}, \dots, F_{13b} \\ F_{20t}, \dots, F_{23t}, F_{20m}, \dots, F_{23m}, F_{20b}, \dots, F_{23b} \\ F_{30t}, \dots, F_{33t}, F_{30m}, \dots, F_{33m}, F_{30b}, \dots, F_{33b} \end{bmatrix}$$

式中 $i = 1, 2, 3$, 分别表示压力、纵向弯曲力、侧向弯曲力; $j = 0, 1, 2, 3$, 分别表示支撑行粒数; x 表示玉米穗作用部位, t, m, b 分别表示玉米穗的上部、中部和下部。

2.3 试验步骤

随机选取种子玉米果穗并按试验方案分组,手工去除周围的籽粒而留下待测的籽粒及其支撑籽

粒,每组制作 50 个样本。试验在 LDS 型微机控制电子拉压机上进行,把试验用玉米穗放在试验机下压板的中心位置,试验时,上压头以固定速度 0.1 m/min 加载力进行加载,上压缩板的压头接触到玉米籽粒时,电子显示屏开始显示压力数据,当玉米籽粒从果穗上脱下时,停止加载,按下“峰值”键,

脱粒力峰值通过电子显示屏读出,记下该值。

在试验中,保证试验机压头与玉米籽粒接触可靠,作用点不滑动。

3 试验结果与分析

试验方案与试验结果如表 1 所示。

表 1 种子玉米脱粒施力方式试验与处理结果

Tab. 1 Disposal ways and experimental result of threshing seed-corn

穗位	力的方向	支撑行 粒数	施力大小/N				平均值	方差
			1	2	3	4		
玉米穗上部(小端)	压力 F_{1jt}	0	2.98	3.01	3.12	3.05	3.040	0.003
		1	3.96	3.78	3.82	2.92	3.620	0.168
		2	4.86	4.95	4.78	4.88	4.868	0.004
		3	5.63	5.95	5.78	5.83	5.798	0.013
	纵向弯曲力 F_{2jt}	0	0.31	0.21	0.16	0.28	0.240	0.003
		1	1.05	1.25	1.16	1.13	1.148	0.005
		2	2.13	2.09	2.15	2.22	2.148	0.002
		3	2.77	2.59	2.75	2.77	2.720	0.006
	侧向弯曲力 F_{3jt}	0	0.51	0.64	0.52	0.57	0.560	0.003
		1	1.26	1.29	1.37	1.41	1.333	0.004
		2	2.13	2.15	1.95	2.27	2.125	0.013
		3	2.95	3.09	2.91	3.05	3.000	0.005
玉米穗中部	压力 F_{1jm}	0	2.40	2.49	2.38	2.52	2.448	0.003
		1	3.64	3.59	3.47	3.49	3.548	0.005
		2	4.02	4.17	4.09	4.12	4.100	0.003
		3	4.91	4.87	4.87	4.95	4.900	0.001
	纵向弯曲力 F_{2jm}	0	0.21	0.21	0.19	0.22	0.208	0
		1	1.11	1.15	0.99	1.00	1.063	0.005
		2	1.83	1.76	1.65	1.72	1.740	0.004
		3	2.23	2.09	2.30	2.33	2.238	0.009
	侧向弯曲力 F_{3jm}	0	0.43	0.50	0.57	0.42	0.480	0.004
		1	1.38	1.25	1.19	1.28	1.275	0.005
		2	2.04	1.96	1.93	1.98	1.978	0.002
		3	2.63	2.82	2.73	2.77	2.738	0.005
压力 F_{1jb}	0	1.78	1.83	1.75	1.92	1.820	0.004	
	1	3.49	3.32	3.33	3.48	3.405	0.006	
	2	3.97	3.87	3.95	3.67	3.865	0.014	
	3	4.69	4.59	4.71	4.76	4.688	0.004	
玉米穗下部(大端)	纵向弯曲力 F_{2jb}	0	0.17	0.15	0.19	0.20	0.178	0.0004
		1	1.20	0.97	0.82	1.12	1.028	0.021
		2	1.14	1.15	1.08	1.17	1.135	0.001
		3	1.48	1.58	1.54	1.55	1.538	0.001
	侧向弯曲力 F_{3jb}	0	0.39	0.41	0.42	0.38	0.400	0
		1	1.11	1.28	1.07	1.29	1.188	0.010
		2	1.59	1.53	1.57	1.48	1.543	0.002
		3	2.31	2.39	2.41	2.46	2.393	0.003

3.1 施力方向对玉米脱粒的影响

种子玉米穗同一部位,相同支撑行粒数的情况下,玉米籽粒脱粒的最小压力明显大于纵向弯曲力和侧向弯曲力,其中纵向弯曲力最小,如图4所示。如图4b,玉米穗中部无支撑情况下,压力 F_{10m} 约是纵向弯曲力 F_{20m} 的12倍,侧向弯曲力 F_{30m} 的5倍;单籽粒支撑受力情况下,压力 F_{11m} 约是纵向弯曲力 F_{21m} 的3.4倍,侧向弯曲力 F_{31m} 的2.8倍;双粒支撑情况下,压力 F_{12m} 为4.1 N,约是纵向弯曲力 F_{22m} 的2.4倍,侧向弯曲力 F_{32m} 的2倍;3粒支撑情况下,压力 F_{13m} 约是纵向弯曲力 F_{23m} 的2.2倍,侧向弯曲力 F_{33m} 的1.8倍。此外,从图中可以看出,随着支撑行粒数的增加,各力均以一定的幅度稳步

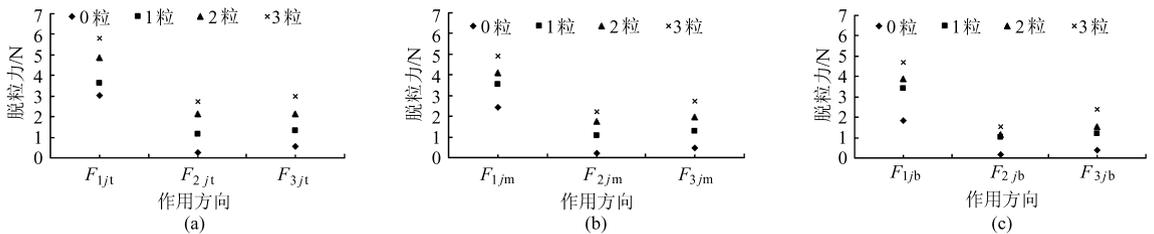


图4 不同部位力的作用方向与脱粒力的关系

Fig. 4 Relation between direction and magnitude of force in the different position

(a) 玉米穗上部 (b) 玉米穗中部 (c) 玉米穗下部

3.2 支撑行粒数与脱粒力的关系

玉米穗同一部位下,随着支撑行粒数的增加,各力均不同程度的增加,如图5所示。以图5a为例,在玉米穗上部,3粒支撑受压的压力 F_{13t} 是5.798 N,约是双粒支撑压力 F_{12t} 的1.2倍、单粒支撑压力 F_{11t} 的1.5倍、无籽粒支撑压力 F_{10t} 的2倍;3粒支撑情况下的纵向弯曲力 F_{23t} 约为双粒支撑纵向弯曲力 F_{22t} 的1.3倍,是单籽粒支撑纵向弯曲力 F_{21t} 的2.4

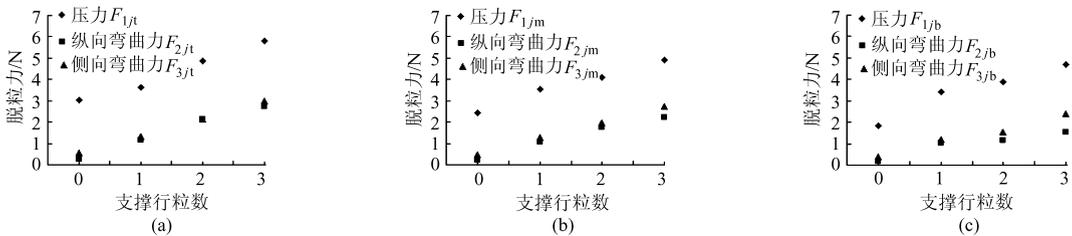


图5 不同部位支撑行粒数与脱粒力的关系

Fig. 5 Relation of force with number of supported rows and kernels in the different position

(a) 玉米穗上部 (b) 玉米穗中部 (c) 玉米穗下部

大,因此需要的脱粒力就越大。

3.3 作用部位与脱粒力的关系

在力的作用方向,支撑行粒数等因素一定的情况下,玉米穗上部(小端)籽粒的脱粒力要大于中部,下部(大端)籽粒的脱粒力最小;无支撑和单籽粒支撑情况下,各力下降幅度不明显,双籽粒支撑和3粒支撑情况下各力下降幅度大于上两种情况,如图6

上升,仅是在图4c中,单籽粒支撑下的纵向弯曲力 F_{21b} 为1.028 N,单籽粒支撑下的侧向弯曲力 F_{31b} 为1.188 N, F_{21b} 略小于 F_{31b} ,两个力的值点比较接近。

出现上述情况的原因是:玉米籽粒能够顺利脱粒的主要原因是受到弯矩的作用, F_{1jx} 是作用在籽粒上部的压力,无法产生弯矩,主要是使籽粒果柄和穗芯连接松动,或使果柄碎裂,从而脱粒,此外,籽粒果柄是由一些成束状的木栓化的细胞组成,其抗压强度远大于抗弯强度,因此,脱粒时需要的压力要远大于弯曲力;另外,由于籽粒果柄横截面近似为椭圆,椭圆短轴沿着玉米穗轴线,长轴垂直于玉米穗轴线,因此在脱粒时,沿着玉米穗轴线的力,即纵向弯曲力要小于侧向弯曲力。

倍,是无籽粒支撑纵向弯曲力 F_{20t} 的11倍;3粒支撑侧向弯曲力 F_{33t} 约为双粒支撑侧向弯曲力 F_{32t} 的1.5倍,单籽粒支撑侧向弯曲力 F_{31t} 的2.3倍,无籽粒支撑侧向弯曲力 F_{30t} 的5倍。三力均随着支撑行粒数的增加,平稳上升。

分析其原因,玉米穗上籽粒和籽粒之间排列紧密,相互之间有力的作用。籽粒在受到外力时支撑的行粒数越多,排列得越紧密,得到的支持力就越

所示。以图6b为例,无支撑情况下,玉米穗上部纵向弯曲力 F_{20t} 为0.240 N,中部 F_{20t} 为0.208 N,下部 F_{20b} 为0.178 N,单籽粒支撑情况下, F_{21t} 为1.148 N, F_{21m} 为1.063 N, F_{21b} 为1.028 N,从图中折线的变化趋势上看,这两种情况下纵向弯曲力的变化不是很明显,但随着支撑行粒数的增加,图中折线下降的趋势明显增大。

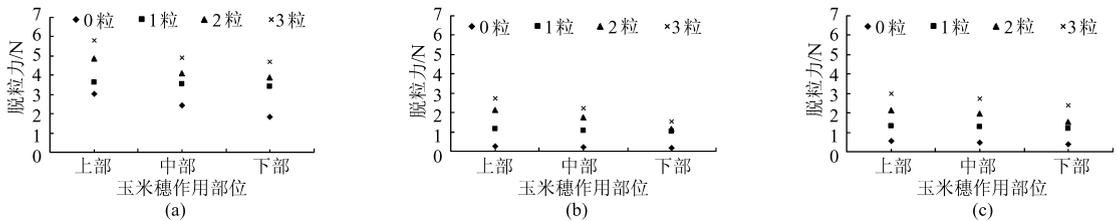


图 6 不同受力方式玉米穗作用部位与脱粒力的关系

Fig. 6 Relationship of force with the position in different direction

(a) 压力 (b) 纵向弯曲力 (c) 侧向弯曲力

分析其原因,玉米穗上部(小端)的籽粒较瘦小,形状近似于圆形,并且上部易有干瘪的未成熟的籽粒,果柄单位面积承受的籽粒自重小,果柄强度较大,玉米在脱粒时受到这些未成熟籽粒的影响,增加了脱粒难度;而玉米穗大端的籽粒比较饱满,果柄单位面积承受的籽粒自重最大,与中部和上部相比,果柄强度较弱,对籽粒的支撑以及防振方面都比较弱,比较容易脱粒。

4 结论

(1)试验结果表明,种子玉米穗的两端容易脱粒,而大端更容易脱粒。分析认为玉米穗大端的籽粒比较饱满,果柄单位面积承受的籽粒自重较大,果柄强度较低,抗弯抗振能力较弱,容易脱粒;而小端的玉米种子籽粒相对较小,同时受到干瘪或未成熟

籽粒的影响,增加脱粒难度。

(2)随着支撑行粒数的增加,无论哪一种脱粒施力方式,脱粒需要的力明显增大,以玉米穗上部为例,支撑行粒数由 0~3 时,压力分别为 3.04、3.62、4.868 和 5.798 N;纵向弯曲力分别为 0.24、1.148、2.148 和 2.72 N;侧向弯曲力分别为 0.56、1.333、2.125 和 3 N。由此认为,玉米脱粒时应按一定方向定向喂入,即按穗的大或小端顺序,使脱粒更加容易,减小作用力并减轻玉米种子损伤,提高脱粒效率。

(3)同一条件下,压力脱粒难度大于纵向弯曲及侧向弯曲脱粒,纵向弯曲力小于侧向弯曲力。因此,玉米在脱粒过程中应首先对其施加籽粒纵向弯曲力,使一部分易脱籽粒先脱落后,顺序地进行脱粒,从而降低脱粒难度,减轻脱粒损伤、提高脱粒效率。

参 考 文 献

- 李心平,高连兴,马福丽. 玉米种子脱粒特性的试验研究[J]. 农机化研究,2007,2(2):156~158.
Li Xinping, Gao Lianxing, Ma Fuli. Experimental research of seed corn on the threshing property [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 2(2): 156~158. (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. Research the damage mechanism of seed corn and threshing technology with lower damage [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 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)
- 李心平,高连兴,马福丽,等. 玉米种子籽粒冲击损伤的试验研究[J]. 沈阳农业大学学报,2007,38(1):89~93.
Li Xinping, Gao Lianxing, Ma Fuli, et al. Experimental research of corn seed kernel on the impacting damage [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2007, 38(1): 89~93. (in Chinese)
- Burkhardt T H, Stout B A. Laboratory investigations of corn shelling utilizing high velocity impact loading [J]. Transactions of the ASAE, 1974, 17(3): 11~14.
- 张永丽. 种子玉米损伤机理与 5TYZ-1 型脱粒机总体方案研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2007.
Zhang Yongli. Study on damage mechanism of seed corn and the general project of 5TYZ-1 type thresher [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 任露泉. 试验优化设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社,2003.
- 孙本 ■,郭新明,曾苏明,等. 我国玉米生产现状及发展对策[J]. 玉米科学, 2003(专刊):32~33.
- 李心平. 种子玉米脱粒损伤机理及 5TYZ-1 型定向喂入式脱粒机研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2007.
Li Xinping. Study on threshing-damage mechanism and 5TYZ-1 type directional-feeding thresher of seed corn [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2007. (in Chinese)

参 考 文 献

- 1 Phillips A M, Jankovic M, Bailey K. Vehicle system controller design for a hybrid electric vehicle[C]//Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Control Application, 2000.
- 2 Zhang Rongjun, Chen Yaobin. Control of hybrid dynamic systems for electric vehicles[C]// Proceedings of the 2001 American Control Conference Arlington, VA, IEEE, 2001: 2 884~2 889.
- 3 Schuouten N J, Salman M A, Kheir N A. Fuzzy logic control for parallel hybrid vehicle[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2002, 10(3): 460~468.
- 4 童毅, 张俊智, 欧阳明高. 混合动力汽车扭矩管理策略[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2003, 43(8): 1 134~1 137, 1 142.
Tong Yi, Zhang Junzhi, Ouyang Minggao. Torque management strategy for hybrid electric vehicles[J]. Journal of Tsinghua University: Sci. and Tech., 2003, 43(8): 1 134~1 137, 1 142. (in Chinese)
- 5 Zhu Yuan, Chen Yaobin. A four-step method to design an energy management strategy for hybrid vehicles[C]//Proceedings of the 2004 American Control Conference-ACC 2004, Boston, MA, 2004.
- 6 Halvai A, Niassar H, Moghbelli A, Vahedi. Design methodology of drive train for a series-parallel hybrid electric vehicle(SP-HEV) and its power control strategy[C]. IEEE International Conference on Electric Machines and Prives, 2005: 1 549~1 554.
- 7 舒红, 刘文杰, 袁景敏, 等. 混联型混合动力汽车能量管理策略优化[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 31~35, 55.
Shu Hong, Liu Wenjie, Yuan Jingmin, et al. Optimization of energy management strategy for a parallel-series HEV[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 31~35, 55. (in Chinese)
- 8 Dam Hoang Phuc, Pongsathorn Raksincharoensak, et al. Control strategy for hybrid electric vehicles based on driver vehicle following model[C]//Proceedings of SICE-ICASE 2006 International Joint Conference, 2006: 555~560.
- 9 古艳春, 殷承良, 张建武. 并联混合动力汽车扭矩协调控制策略仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(3): 631~636.
Gu Yanchun, Yin Chengliang, Zhang Jianwu. Investigation to coordinated torque control strategy of parallel hybrid electric vehicles[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(3): 631~636. (in Chinese)
- 10 Li Weimin, Xu Guoqing, Wang Zhangcheng, et al. A hybrid controller design for parallel hybrid electric vehicle[C]//IEEE International Conference on Integration Technology, 2007: 450~454.
- 11 Liu Jinming, Peng Huei. Modeling and control of a power-split hybrid vehicle[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2008, 16(6): 1 242~1 251.

~~~~~

(上接第 75 页)

- 10 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)
- 11 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(3): 116~120.  
Li Lisheng, Pan Shiqiang, Zhang Shengwen. Current situation and development countermeasures of corn seed processing industry in China[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2001, 23(1): 116~120. (in Chinese)
- 12 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)
- 13 Mahmoud Ali R, Buchele W F. Corn ear orientation effects on mechanical damage and forces on concave[J]. Transactions of the ASAE, 1975, 18(3): 444~447.