

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.027

分置式大蒜收获机设计与仿真*

邢立冉 李汝莘 王铁新 张 姬

(山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018)

【摘要】 针对大蒜收获的农艺要求,设计了一种分置式大蒜收获机,主要由蒜秧剪切和蒜头挖掘两部分组成,分别配置于小四轮拖拉机的前后两端,可一次完成蒜秧剪切、蒜头挖掘及蒜土分离。蒜秧和蒜头分别铺放,便于收集和运输。蒜头用网兜收集后直接晾晒,避免漏收、节省工时和场地。采用偏心连杆机构实现挖掘铲的振动,减小了牵引阻力,降低了能耗。运用 Pro/E 软件对偏心振动机构和挖掘铲进行运动仿真及分析,使整机结构和运动参数得到了优化,为样机试制奠定了基础。

关键词: 大蒜收获机 蒜秧剪切 振动铲 运动和静态分析

中图分类号: S225.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0137-04

Design and Analysis of Split Garlic Harvester

Xing Liran Li Ruxin Wang Tiexin Zhang Ji

(Mechanical & Electronic Engineering College, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract

Based on agronomic requirements of the garlic harvest, one kind of garlic harvester for split was designed. It included garlic seedling shear and garlic mining which configured in the front and rear of the tractor. It can complete garlic stems shear, garlic mining, garlic soil separation once a time. The garlic vine and garlic stack respectively to facilitate the collection and transport. Garlic was collected with a string bag directly after drying, to avoid leakage and save time and venue. Eccentric linkage vibrated the mining shovel, reduced the traction resistance and reduced energy consumption. Eccentric institutions as well as digging shovel motion simulated and analyzed by Pro/E, so that the whole structure and motion parameters were optimized and laid the foundation for the prototype trial.

Key words Garlic harvester, Garlic seedling shear, Vibratory shovel, Movement and static analysis

引言

我国大蒜种植面积大约 80 万 hm^2 , 占全球种植面积的 90% 以上, 主要集中在山东、河南、安徽以及江苏一带, 以紫皮蒜和白皮蒜两大品种为主。大蒜经济效益较高, 且近几年种植面积不断扩大。大蒜如不及时收获就会造成蒜头裂瓣或蒜皮发乌, 严重影响大蒜的质量、降低销售价格、减少蒜农收入, 严重地制约大蒜生产的发展^[1~2]。然而, 现有的大蒜

收获机存在一些问题: 只能收获无套种作物地块上的大蒜, 在大蒜间作种植的情况下适应性差; 大蒜收获时地膜和蒜秧缠绕问题严重, 需要人工整理蒜秧, 费工费时; 整株收获的大蒜, 运输和晾晒的作业量大, 占用更多的空间, 产生许多不便; 收获机的配套动力不足, 影响作业效率和经济性^[3~4]。本文针对山东省金乡县大蒜的种植模式和大蒜收获要求, 借鉴现有大蒜收获机的优点, 设计一种分置式大蒜收获机。

收稿日期: 2012-07-12 修回日期: 2012-07-18

* 山东省科技支撑计划资助项目(2009GG10009037)

作者简介: 邢立冉, 硕士生, 主要从事农业机械化与管理信息系统研究, E-mail: xingliran2006@163.com

通讯作者: 李汝莘, 教授, 博士生导师, 主要从事保护性耕作及农业机械装备技术研究, E-mail: rxli@sda.u.edu.cn

1 总体结构与工作原理

1.1 总体结构

分置式大蒜收获机主要由蒜秧割台和蒜头挖掘装置两部分组成,如图 1 所示。蒜秧割台由变速箱、往复式切割器、曲柄连杆机构、蒜秧横向传送带和扶禾器等部分组成。蒜头挖掘装置由振动式挖掘铲、偏心振动机构、蒜土分离筛、减速箱和限深轮等部分组成。

蒜秧割台配置在拖拉机前面,蒜头挖掘装置采用后悬挂式,两部分机构分别对大蒜进行蒜秧剪切和蒜头的挖掘清土工作。拖拉机前面的蒜秧割台,除了完成割秧以外,还起到了配重的作用,以提高机组的附着性能。

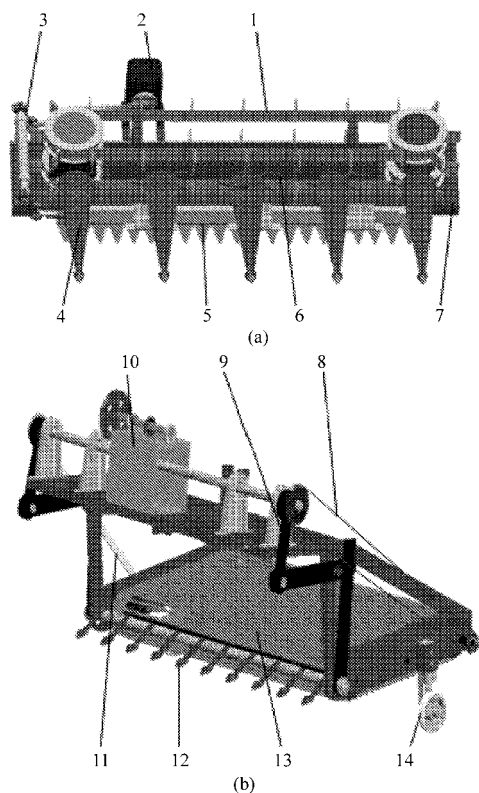


图 1 大蒜收获机

Fig. 1 Garlic harvester

(a) 蒜秧割台 (b) 蒜头挖掘装置

1. 蒜秧横向传送带 2. 变速箱 3. 曲柄连杆机构 4. 扶禾器
5. 往复式切割器 6. 压力弹簧 7. 往复式割台 8. 动力传输链条 9. 偏心振动机构 10. 一级减速箱 11. 振动筛连杆 12. 挖掘铲 13. 振动筛 14. 限深轮

1.2 工作原理

大蒜收获机的配套动力为小四轮拖拉机,机组进入田间作业时,降下液压升降机构,进入作业状态,根据大蒜的深度,把割台和挖掘装置调整到合适的位置定位。发动机通过动力输出轴将动力传给割台变速箱,变速箱输出轴通过曲柄连杆机构与割刀

相连,割刀往复式切割蒜秧。另外,变速箱输出轴通过链条传动将动力传递给传送带,传送带将切下的蒜秧横向传送至一侧。对于蒜头挖掘装置,动力通过拖拉机离合器胶带轮传递到挖掘机胶带轮上,主动轴随之转动,经链传动带动从动轴转动,从动轴两端装设的曲柄摇杆机构随之转动,推动振动臂从而带动挖掘铲组件往复振动。分离筛由连杆带动,连杆上装有凸轮,蒜头经挖掘铲掘起后依次推送到分离筛上,土块在分离筛的往复抖动作用下落到地表,蒜头经清土后收集装入网兜,在阴凉处晾晒。

2 关键部件设计

2.1 蒜秧割台工作过程

蒜秧割台的结构如图 2 所示。工作时定刀片对茎秆起支撑作用,随着机组的前进,扶禾器将大蒜茎秆推送至刀间,动刀由曲柄连杆机构驱动,作往复运动,使动刀片和定刀片构成稳定的剪切副。动刀由铆在刀杆上的许多齿刃刀片组成,刀头板与驱动连杆柔性联接,刀杆背和动刀片背贴抵在摩擦片上,用来保持稳定的往复运动和防止过度磨损^[5]。

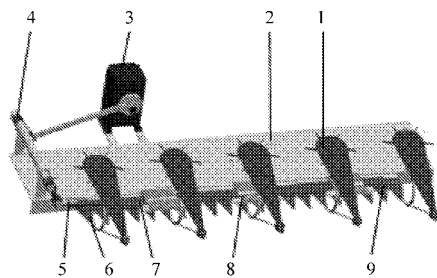


图 2 蒜秧割台结构

Fig. 2 Reciprocating cutting platform

1. 扶禾器 2. 压力弹簧 3. 变速箱 4. 曲柄连杆结构 5. 柔性连接杆 6. 定刀片 7. 刀杆 8. 摩擦片 9. 动刀片

2.2 割刀运动学分析

根据割台传动布置要求,选用曲柄连杆机构驱动往复式切割器动刀片运动,其运动为一近似的简谐运动。动刀片刃口上任意点的位移 x 、速度 v_x 和加速度 a_x 都是变值,分别为

$$x = -r \cos \omega t \quad (1)$$

$$v_x = r \omega \sin \omega t = \omega \sqrt{r^2 - x^2} \quad (2)$$

$$a_x = -r \omega^2 \cos \omega t = -\omega^2 x \quad (3)$$

其中

$$\cos \omega t = -\omega^2 x$$

式中 r ——曲柄半径, m

ω ——曲柄转动的角速度, rad/s

t ——曲柄从极左点 a 转过的时间, s

动刀片的运动速度 v_x 和它的位移 x 是一椭圆方

程式

$$\frac{v_x^2}{r^2\omega^2} + \frac{x^2}{r^2} = 1 \tag{4}$$

式(4)表明动刀片刃口上的点的速度是按照椭圆曲线规律变化的。

切割器工作时,动刀一面作往复直线运动,一面随机器前进,其绝对运动轨迹是两者的合成^[6]。割刀的平均速度 v_f 与机器前进速度 v_m 之比称之为切割速比 K ,即

$$K = \frac{v_f}{v_m} \tag{5}$$

其中 $v_f = \frac{2sn}{60}$

式中 s ——动刀片行程 n ——凸轮曲柄转速
大蒜茎秆的切割速比可在 0.8 ~ 1.2 之间选取。速比大,漏割区减少,重割区增加,无用功增加。在割刀往复频率一定时,影响切割速比 K 值的因素主要是机器前进速度 v_m ,根据试验计算的结果,认为 v_m 小于等于 0.5 m/s 较好,往复式切割器的工作质量跟切割速比有密切关系^[7]。经过理论计算,速比在 1.0 ~ 1.2 范围内时,工作质量比较理想,确定切割速度为 0.6 m/s。

2.3 挖掘铲振动结构设计

偏心振动机构如图 3 所示,图中 O 为曲柄, AB 为摇杆, BD 为振动臂, DE 为连接杆, EF 为挖掘铲。曲柄随着从动轴转动,带动摇杆 AB 从而推动振动臂 BD 绕着与机架的铰接点 C 来回摆动,实现了挖掘铲的往复振动^[8]。

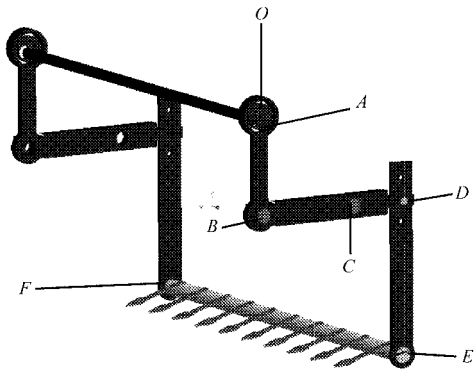


图3 偏心振动机构
Fig.3 Institution of eccentric vibration

采用振动机构,可使挖掘铲在不同的土壤条件下作业时明显减少壅土现象,增强碎土能力,降低牵引阻力。挖掘装置从动轴两端通过键连接曲柄摇杆机构,与从动轴轴心形成偏心距,以起到振动效果。曲柄摇杆机构连接有振动臂,从而实现振动臂推动挖掘铲往复振动^[8]。

偏心振动装置的原理如图 4 所示。

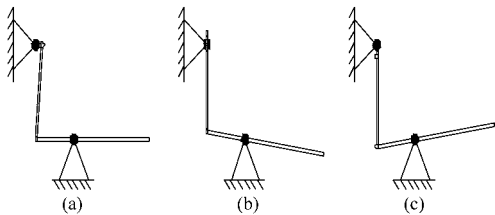


图4 偏心振动机构原理
Fig.4 Schematic of eccentric institution

(a) 中间位置 (b) 最下端位置 (c) 最上端位置

3 振动装置运动分析

将挖掘铲与偏心振动装置放在一起模拟挖掘铲铲尖的运动。挖掘铲铲尖的运动为随机组的直线运动和绕铰点 O 圆弧摆动的合成运动——周期性振动。建立如图 5 所示的坐标系,横坐标 x 轴以机组前进方向为正,纵坐标 y 轴以挖掘深度方向为正。

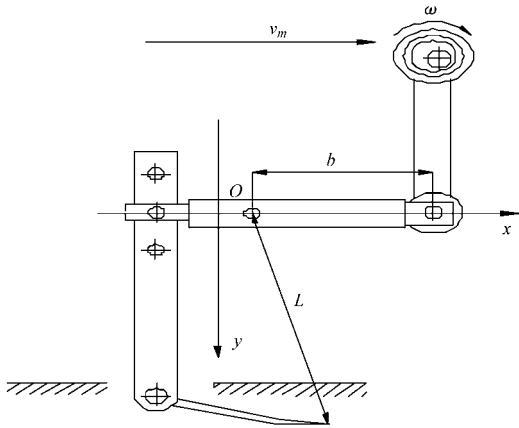


图5 运动分析
Fig.5 Motion analysis

挖掘铲铲尖以时间 t 为参数,其运动轨迹方程为

$$\begin{cases} x = v_m + \frac{e\sin\omega t}{b}L \\ y = H + h + \sin\omega t \end{cases} \tag{4}$$

式中 e ——偏心距 H ——挖掘深度
 b ——震动臂支点到右端距离
 L ——铲尖到铰点 O 距离
 h ——摆臂到地面高度

在 Pro/E 中建立挖掘铲与偏心振动装置三维模型进行运动仿真及分析。对 3 组偏心轮和振动臂作运动学分析。沿 x 轴正向的恒定速度 $v_m = 0.5$ m/s,主动轴转速为 540 r/min,振动频率为 9 Hz,挖掘铲入土角为 25°,给定总的仿真时间为 4 s^[9]。运动仿真进行数据处理后得到挖掘铲铲尖的不同结构参数的运动幅值曲线如图 6 所示。

经过分析,在振动臂的有效工作长度一定的条件下, b 和 e 决定着挖掘铲铲尖的振幅。由图 6 可

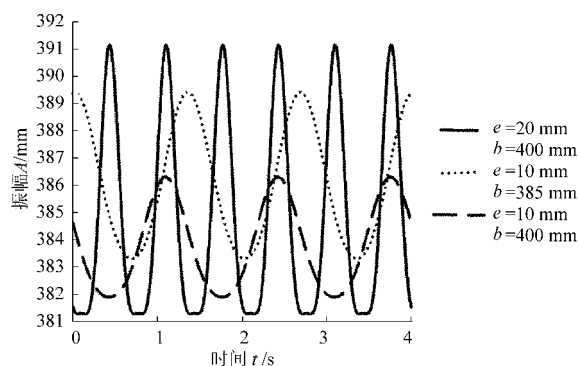


图6 振幅曲线

Fig. 6 Amplitude curves

知,其他变量相同的情况下,同一挖掘深度铲尖的振幅随 b 的增大而减小。振幅随 e 的增大而增大。因此取 b 为385 mm,偏心轮的偏心距 e 为10 mm。

4 挖掘铲静态分析

通过 Pro/Mechanica 静力分析,得到结构构件在载荷等外因作用下产生的应力、应变和位移等分布,为结构的强度、刚度和稳定性设计服务。模拟挖掘深度为120 mm情况下的应力-应变。计算得到当挖掘深度为120 mm、工作速度为1.8 km/h时,铲柄所受到的工作阻力为76 N,铲刀所受到的阻力总共为781 N。乘以修正系数1.1,分别得到施加于铲柄与铲刀的载荷为83.6 N和859 N^[10]。

挖掘铲模型进行检测和分析后得到的结果如图7所示。

通过分析可知,挖掘铲的最大应力为20 MPa,最大应力发生在铲柄上,最大应力位置在铲柄螺栓孔处。挖掘铲的最大位移发生在铲刀的铲尖处,最大位移量为0.50 mm。挖掘铲的最大应力与最大位移量均在允许范围内。

5 结论

(1) 根据山东省金乡县大蒜的种植模式,设计

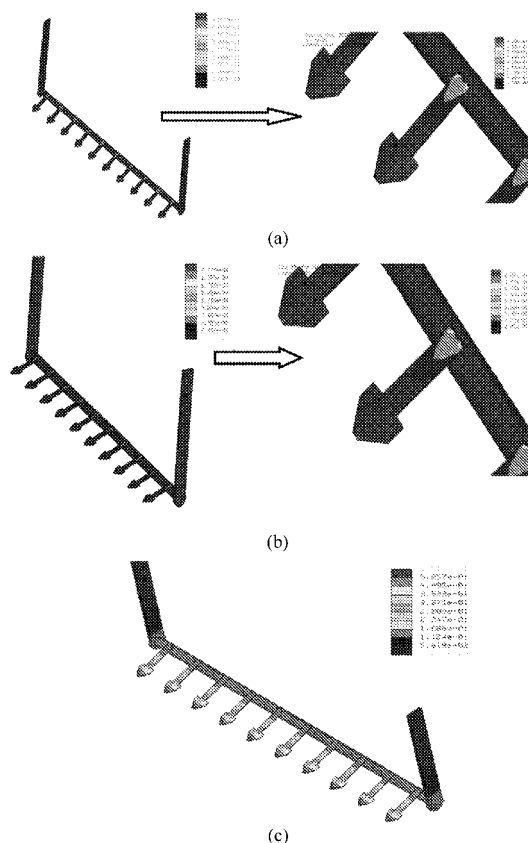


图7 静态分析

Fig. 7 Static analysis

(a) 应力云图 (b) 应变云图 (c) 位移云图

了分置式大蒜收获机,可一次完成蒜秧剪切堆放、蒜头挖掘及蒜土分离等作业。

(2) 采用偏心连杆机构实现挖掘铲的振动,减少了堆积、拥塞,减小了机具的牵引阻力,降低了能耗。挖掘铲的振幅取决于偏心距 e 和震动臂铰接支点到两端的距离。

(3) 通过 Pro/E 对偏心振动装置进行运动学分析,得到了挖掘铲工作时的振动幅值曲线;通过 Mechanica 静态分析得到了挖掘铲及连杆的应力、应变和位移云图。

参考文献

- [1] [苏]季坚柯 H Q. 蔬菜收获机械[M]. 北京市农业机械研究所情报室,译. 北京:中国农业机械出版社,1982.
- [2] 王德娟,禹香兰,公静. 我国大蒜出口贸易现状及发展趋势[J]. 安徽农业科学,2006,34(22):6 030~6 031.
Wang Dejuan, Yu Xianglan, Gong Jing. Present situation and development trends about garlic export trade in China[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2006, 34(22): 6 030~6 031. (in Chinese)
- [3] 刘德然,王延耀,王循进. 4S-6型大蒜收获机的研制开发[J]. 农机化研究,2010(4):96~98.
Liu Deran, Wang Yanyao, Wang Xunjin. Research and development of 4S-6 garlic harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(4):96~98. (in Chinese)
- [4] 胡志超,彭宝良,尹文庆,等. 多功能根茎类作物联合收获机设计与试验[J]. 农业机械学报,2008,39(8):58~61.
Hu Zhichao, Peng Baoliang, Yin Wenqing, et al. Design and experiment on multifunctional root-tuber crops combine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8):58~61. (in Chinese)
- [5] 中国农业大学. 农业机械学[M]. 北京:中国农业出版社,1998.

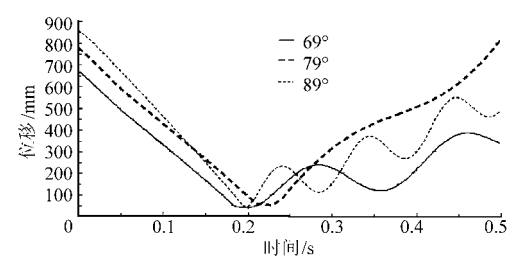


图 19 在不同角度收获时果穗联结点相对于 Marker37 X 向位移随时间的变化曲线

Fig. 19 Curves of position-time of joint of grain relative to Marker37 at different angles

通过对收获时间和果穗的啃伤力分析可知,收获作业时玉米秸秆的理想倾角为 89°。

5 结束语

通过分析实际收获过程,依照玉米果穗与摘穗辊的作用机理,灵活运用传感器,以脚本控制方法实现了玉米收获过程的仿真,并分析了玉米秸秆倾角为 79°时收获情况,最后分析了玉米秸秆倾角对玉米收获时间和玉米果穗啃伤的影响,得出了收获作业时玉米秸秆的理想倾角为 89°。

参 考 文 献

1 刘枫. 穗、茎兼收型立式摘穗辊玉米收获机的关键部件研究[D]. 长春:吉林大学,2007.
Liu Feng. Primary structure on the vertical snapping roller of corn combine harvester for both ears and stalks[D]. Changchun: Jilin University, 2007. (in Chinese)

2 宋林平. 玉米收获机的分类与摘穗机构[J]. 农机推广与安全, 2006(5): 26 ~ 28.

3 高梦祥, 郭康权, 杨中平, 等. 玉米秸秆的力学特性测试研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(4): 114 ~ 118.
Gao Mengxiang, Guo Kangquan, Yang Zhongping, et al. Study on mechanical properties of cornstalk [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(4): 114 ~ 118. (in Chinese)

4 张彦河. 玉米秸秆破碎力学特性的研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2003, 15(4): 43 ~ 45.
Zhang Yanhe. A study of mechanics characteristics on breaking up corn straw[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2003, 15(4): 43 ~ 45. (in Chinese)

5 李军, 邢俊文, 覃文浩. ADAMS 实例教程[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2002.

6 闫洪余. 立辊式玉米收获机关键部件工作机理及试验研究[D]. 长春:吉林大学, 2009.
Yan Hongyu. Working mechanism and experimental research on key components of vertical roll-type corn harvester[D]. Changchun: Jinlin University, 2009. (in Chinese)

7 张明涛. 玉米摘穗装置的理论分析与仿真研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2008.
Zhang Mingtao. Theoretic analysis and imitation resrarch of corn snapping bars[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2008. (in Chinese)

8 杜平安, 于德江, 岳萍. 虚拟样机技术的技术与方法体系研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(15): 3 447 ~ 3 451.
Du Ping'an, Yu Dejiang, Yue Ping. Research on technology and methodology architecture of virtual prototyping technology[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(15): 3 447 ~ 3 451. (in Chinese)

(上接第 140 页)

6 张晓辉, 李其才, 李法德, 等. 往复式切割器割刀惯性力平衡实用计算公式[J]. 农机化研究, 1997(2): 30 ~ 36.
Zhang Xiaohui, Li Qicai, Li Fade, et al. Reciprocating cutter cutter inertial force balance practical formula[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 1997(2): 30 ~ 36. (in Chinese)

7 彭霞. 番茄收获机割台部分的设计及仿真研究[D]. 石河子:石河子大学, 2009.
Peng Xia. Study and simulation of the tomato harvester' cutting units[D]. Shihezi: Shihezi University, 2009. (in Chinese)

8 牛海华. 强适应性小型振动式马铃薯挖掘机的设计[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2011.
Niu Haihua. The design of strong adaptability small vibration type potato digger[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2011. (in Chinese)

9 尚书旗, 王方艳, 刘曙光, 等. 花生收获机械的研究现状与发展趋势[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 20 ~ 25.
Shang Shuqi, Wang Fangyan, Liu Shuguang, et al. Research situation and development trend on peanut harvesting machinery [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 20 ~ 25. (in Chinese)

10 余泳昌, 刘文艺, 赵迎芳, 等. 立柱式深松铲受力数学模型及试验分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 109 ~ 113.
Yu Yongchang, Liu Wenyi, Zhao Yingfang, et al. Force mathematical model and examination analysis of the column subsoiler[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(6): 109 ~ 113. (in Chinese)