doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.005

两行玉米收获机割台设计与试验*

杜岳峰[1]　毛恩荣[1]　朱忠祥[1]　王兴军[2]　岳小微[1]　李小雨[1]
(1.中国农业大学工学院,北京 100083;2.山东常林集团农业装备股份有限公司,临沂 276715)

摘要:设计了两行玉米收获机割台的总体结构,理论分析了割台关键部件结构参数和运动参数,根据设计参数利用 Pro/E 建立了割台的三维模型。通过室内试验台测试了割台在不同转速下消耗的功率和噪声水平。试验结果表明,该割台在空转时消耗的功率偏大,噪声水平偏高。更换不同设计参数的拨禾链轮进行对比,试验表明在低转速下消耗的功率减小但在高速下消耗的功率增大。

关键词:玉米收获机　割台　设计　试验
中图分类号:S225.5+1　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2013)S2-0022-05

Design and Experiment of Two-row Corn Harvester Header

Du Yuefeng[1]　Mao Enrong[1]　Zhu Zhongxiang[1]　Wang Xingjun[2]　Yue Xiaowei[1]　Li Xiaoyu[1]
(1. *College of Engineering*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100083, *China*
2. *Shandong Changlin Group Agricultural Equipment Co.*, *Ltd.*, *Linyi* 276715, *China*)

Abstract: In order to reduce the consumption power and improve the working performance when corn snapping unit is working, the overall structure of corn snapping unit was designed, then the key structure and kinematic parameters were analyzed in theory. After that, the 3-D model of corn snapping unit was established by using Pro/E according to the design parameters. Finally, the power and noise level were tested at the different rotate speeds in testing bed. The results showed that the consumption power and noise level were too high when this corn snapping roll was working without load. After changing the finger rotor, the consumption power rose at low speed and dropped at high speed in contrast to before changing.

Key words: Corn harvester　Header　Design　Experiment

引言

我国玉米种植带纵跨寒温带、暖温带、亚热带和热带生态区,分布在高原、丘陵山地以及平原等地理环境,辽阔的地域、多样的地貌与气候,导致各地的玉米种植模式不同,极大地增加了玉米机械化收获的难度。与小麦机收水平 87.8%、水稻机收水平 60% 相比,玉米机收水平仅为 33%,迫切需要进行技术革新,以突破玉米收获机械化的瓶颈,推进玉米产业的发展[1]。

割台是玉米收获机的核心部件,割台关键部件的设计参数与割台的工作性能密切相关[2]。本文首先进行割台的总体设计,并从理论上分析割台关键部件的结构参数和运动参数。从割台消耗功率的角度出发,综合考虑割台工作性能,采用数字化设计与试验方法,测试割台工作时消耗的功率,指导割台关键工作部件的设计。

1　割台的结构设计

1.1　割台整体结构与技术参数

两行玉米收获机割台主要由机架、分禾机构、拨禾机构、摘穗机构、茎秆粉碎机构以及齿轮箱等组成。割台的二维平面图和三维图如图 1、2 所示。

割台的设计参数如表 1 所示。

收稿日期:2013-06-25　修回日期:2013-07-10
*"十二五"国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B01)
作者简介:杜岳峰,博士生,主要从事农业机械设计和动力学仿真研究,E-mail:dyf@cau.edu.cn
通讯作者:朱忠祥,副教授,主要从事农业机械数字化设计、虚拟仿真和农业机械导航控制研究,E-mail:zhuzhonxiang@cau.edu.cn

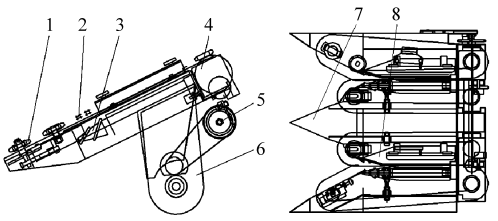

图 1　摘穗机构结构图

Fig. 1　Ichnography of corn snapping unit

1. 拨禾链轮　2. 拨禾链　3. 拉茎辊　4. 齿轮箱　5. 输入轴　6. 滚刀　7. 分禾器　8. 摘穗板

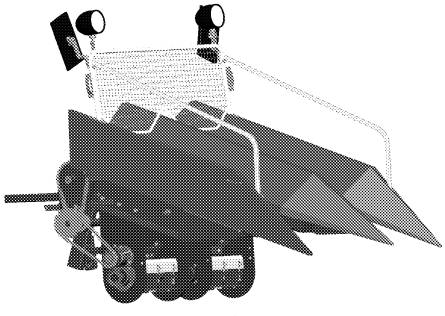

图 2　割台三维图

Fig. 2　3-D model of corn header

表 1　割台的设计参数

Tab. 1　Design parameters of corn snapping unit

参数	数值
收获行数	2
生产效率/$hm^2 \cdot h^{-1}$	0.15 ~ 0.30
拉茎辊型式	卧辊六棱式
适用行距/mm	400 ~ 700
茎秆切断长度/mm	≤50
割茬高度/mm	≤150
割刀型式	滚刀式

1.2　分禾机构

1.2.1　分禾器

分禾器是玉米收获机的一个重要工作部件，它的主要作用是把其两端的玉米植株分离并将两分禾器之间的玉米植株收拢，并导入拨禾喂入机构[3~4]。分禾器结构虽然简单，但对玉米收获机的性能影响较大。该割台所设计的分禾器如图 3 所示。

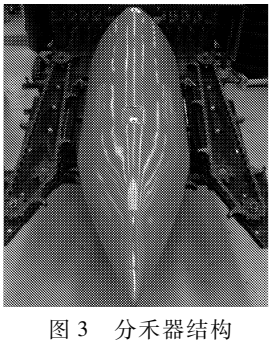

图 3　分禾器结构

Fig. 3　Structure of corn divider

1.2.2　分禾器关键参数

我国玉米收获时茎秆的含水率普遍在 70% ~ 80%[5]，这就决定了玉米茎秆比较脆、容易折断，特别是当玉米茎秆偏离摘穗装置较远时，在分禾器外力的作用下极易发生弯曲变形而导致折断。因此，分禾器尖端距离地面的高度 h、分禾器的宽度 b 以及分禾器的锥角 β 都直接影响分禾器的工作性能。图 4 为分禾器宽度和离地高度示意图。

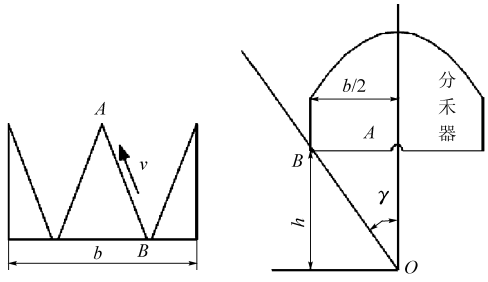

图 4　分禾器宽度和离地高度

Fig. 4　Corn divider's width and terrain clearance

要使玉米植株不被推倒，玉米植株的倾斜角度 γ 必须小于玉米植株的折断临界角。玉米倾斜角计算式为

$$\tan\gamma = \frac{b}{2h} \tag{1}$$

为了降低玉米果穗损失和籽粒损失率，B 点一般低于玉米的最低接穗点，由于最低接穗点一般高于 600 mm，即 $h \leqslant 600$ mm 玉米植株的折断临界角一般取 20° ~ 30°，由此可得 $b \leqslant 440$ mm。

以玉米植株为研究对象，当分禾器沿速度 v 方向运动时，假设沿速度 v 的反方向存在对玉米植株的作用力 F，要使玉米植株不被推倒，则玉米植株的受力关系应满足

$$\begin{cases} F\sin\dfrac{\beta}{2} = N \\ F\cos\dfrac{\beta}{2} \geqslant f \\ f = f_s N \end{cases} \tag{2}$$

式中　N——分禾器对玉米植株的弹力

f——分禾器对玉米植株的最大静摩擦力

f_s——分禾器与玉米植株的摩擦因数

根据分析，分禾器的锥角应小于玉米植株与分禾器的摩擦角。玉米植株与钢材料的摩擦因数范围为 0.2 ~ 0.6[6]，得出 $30° \leqslant \beta \leqslant 60°$，因此分禾器的锥角应小于 30°。

1.3　拨禾机构

1.3.1　拨禾机构设计

拨禾机构要求在正常工作时既能快速喂入玉米植株又能保证不推倒玉米植株[7~8]，因此在设计时对拨禾齿的形状及线速度要求较高。割台拨禾机构采用拨禾链式强制喂入技术，提高了割台的行距适

应性。所设计的拨禾链及拨禾齿结构如图 5 所示。

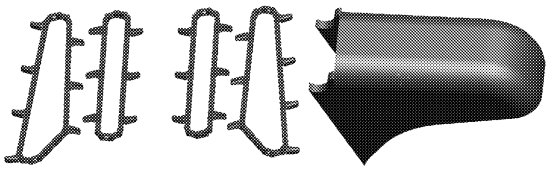

图 5 拨禾链与拨禾齿

Fig. 5 Conveying chain and tooth

1.3.2 拨禾链线速度分析

拨禾链的线速度直接关系到正常工作时拨禾链与玉米植株的相互作用。当机器以 v_j 速度向前行驶时,玉米植株相对于机器以 v_z 向相反的方向移动。当拨禾链与玉米植株接触时,保证玉米植株不受拨禾链的冲击作用而被推倒的条件是拨禾链的链速 v_b 在水平方向上的线速度大于等于机器的前进速度,即

$$v_b\cos\alpha \geqslant v_j \tag{3}$$

式中 α——拨禾链与水平方向的夹角,一般为 20°~25°

1.4 摘穗机构

1.4.1 摘穗原理

割台采用拉茎辊-摘穗板式摘穗机构。摘穗机构中旋转的拉茎辊钳住带穗茎秆的底端并向下拉,在茎秆被下拉的过程中,由于摘穗板的阻挡将果穗和茎秆分离,果穗被摘下。玉米摘穗时果穗及茎秆的运动状态如图 6 所示。

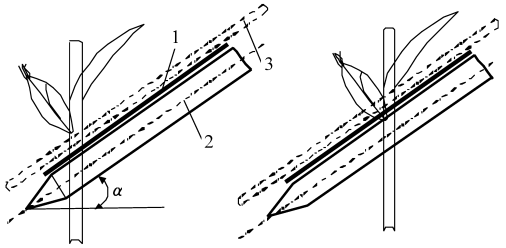

图 6 板式摘穗机构摘穗图

Fig. 6 Picking principle of corn snapping unit

1. 摘穗板 2. 拉茎辊 3. 拨禾链

1.4.2 摘穗机构的结构参数

拉茎辊与地面的配置角度 θ,是收获机的主要设计参数之一。θ 值过小,则需增大拉茎辊长度,增加了割台的总体长度[9~10]。为了不致使得割台长度过大,同时也给下层的割台预留出更多的空间,考虑到整机的总体配置,该割台设计的拉茎辊的倾角在 25°~35°范围内可调。兼顾到拉茎的平稳性及抓取能力,拉茎辊截面型式选六棱型,外径 D 为 75 mm,内径 d 为 60 mm。

现有机型的拉茎辊工作长度变化范围较大,为 480~1 100 mm,多数为 600~800 mm,直径为 80~102 mm,圆周速度为 4.5~5.1 m/s,转速一般为 600~800 r/min。本文所设计的割台拉茎辊长度为 560 mm,摘穗板位于拉茎辊上方,与拉茎辊工作长度相同,为减少摘穗板对果穗的挤压,摘穗板边缘设计成弧形。拉茎辊的间隙为 28~40 mm,出口间隙为 22~35 mm 可调。

1.4.3 拉茎辊线速度分析

拉茎辊的线速度与玉米果穗损伤率和断茎率有关。当拉茎辊转速过快时,对植株的拉力较大,果穗与摘穗版的撞击力较大,易造成果穗损伤和断茎,容易堵塞摘穗装置;当拉茎辊转速过小时,对玉米植株的拉力较小,容易造成秸秆堵塞。所以,拉茎辊转速直接影响玉米收获机的收获效率和质量。

根据板式摘穗机构的工作原理,玉米植株在拨禾链作用下向拉茎辊运动,当玉米植株接触到拉茎辊的导入锥段时,在导入锥段螺旋凸棱的作用下玉米植株快速向拉茎段运动。设拉茎段的长度为 l,玉米植株高度为 H,拉茎段前端距离地面高度为 h',则拉茎辊线速度 v_l 与机器前进速度 v_j 的关系为

$$\frac{H-h'}{v_l}=\frac{l\cos\theta}{v_j}$$

即

$$\frac{v_l}{v_j}=\frac{H-h'}{l\cos\theta} \tag{4}$$

玉米植株高度一般为 2 500~3 500 mm,结穗高度约为 1 000 mm。由于本文所设计割台的倾角可调,因此拉茎段前端距离地面高度 h' 可变,$v_l/v_j\approx3.5$。

1.5 茎秆粉碎机构

茎秆粉碎还田机构主要有甩刀式、滚刀式、甩刀滚刀组合式以及灭茬还田机[11~12]。甩刀式还田机构高速旋转甩刀设置在拉茎辊下方,通过无支撑切割将玉米茎秆切成段状还田。滚刀式还田机构在摘穗板下方设有一个拉茎切碎辊和与之配套的圆弧凹板,在圆弧凹板支撑下拉茎切碎辊将茎秆拉下并切成段状还田。滚刀甩刀组合式还田机构六棱拉茎辊与四棱拉茎辊配合使用,两拉茎辊的下方设有一圆盘滚刀将茎秆压扁、破裂,设置在圆盘滚刀下方的高速旋转甩刀将裂开的茎秆进一步切断,提高切碎质量。灭茬还田机通过一组高速旋转的甩刀将田间玉米秸秆粉碎并灭茬。本文所设计的茎秆粉碎机构为滚刀式,如图 7 所示。滚刀机构由 4 片切碎刀片组成,回转半径约为 300 mm,当机器正常工作时,滚刀的转速在 2 200~2 400 r/min。

2 室内试验

2.1 试验台架

2013 年 5 月,利用所搭建的室内试验台对割台

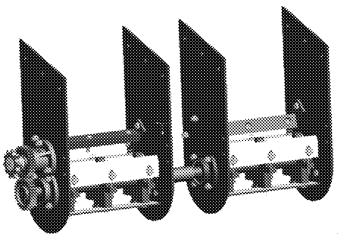

图 7　滚刀三维图

Fig. 7　3-D model of cutter

进行了空载试验，主要测试了割台拉茎辊转速为 350 ~ 900 r/min 时，滚刀及整个割台功率的消耗和噪声水平。试验台架如图 8 所示。

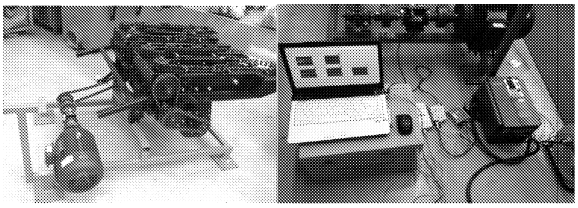

图 8　割台室内试验台架

Fig. 8　Testing bed of corn snapping unit

根据数据采集的要求，试验台架硬件主要包括三相异步变频电动机、变频器、JSC 系列扭矩传感器、NI - USB - 6216 型数据采集卡以及多功能声级计等。

数据采集程序基于 LabView 软件开发，通过相应的硬件支持，能实现对采集数据的存储，并能够通过虚拟界面动态显示出来，然后再对采集到的数据进行分析，得到机器的性能参数[13~14]。图 9 为滤波后的转矩、转速波形图。

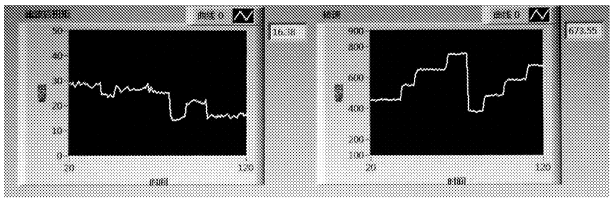

图 9　滤波后的转速、转矩波形图

Fig. 9　Rotate speed and torque curve after smoothing

2.2　数据处理

图 10 为拉茎辊转速在 350 ~ 900 r/min 时，割台消耗的功率变化曲线。

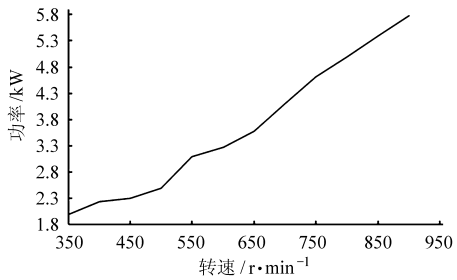

图 10　转速与功率的关系曲线

Fig. 10　Relationship between rotate speed and power

表 2 为转速以 50 r/min 为单位增加时，转速、功率对应关系。表 3 为不同转速时，割台在 1.5 m 处的噪声水平。

表 2　转速、功率对应关系

Tab. 2　Relationship between rotate speed and power

转速/r·min⁻¹	功率/kW	转速/r·min⁻¹	功率/kW
350	2.00	650	3.58
400	2.24	700	4.11
450	2.30	750	4.62
500	2.50	800	5.00
550	3.10	850	5.40
600	3.27	900	5.78

表 3　1.5 m 处割台噪声水平

Tab. 3　Noise level of 1.5 m distance

转速/r·min⁻¹	噪声/dB	转速/r·min⁻¹	噪声/dB
400	90.6	700	97.4
500	93.3	800	98.4
600	96.7	900	100.4

由图 10 及表 2、3 可得，在空转时，割台整体消耗的功率偏大，随着电动机转速的升高，割台消耗的功率逐渐增大，功率与转速大约按照线性关系递增；割台在正常工作时噪声水平偏高。分析原因为：①割台传动部分基本采用链传动和齿轮传动，且链传动部分润滑条件较差，链节与链轮的冲击和摩擦较大，消耗了大量功率，同时也是噪声的主要来源。②装配误差较大。特别是链传动部分，对装配精度要求较高，在装配过程中，很容易产生误差。③零部件的加工精度低，特别是有回转运动的零件，在运动时产生较大机械磨损。

通过计算可知，该割台滚刀转速达到 2 200 ~ 2 400 r/min 时，滚刀传动链的线速度为 18.93 ~ 20.65 m/s。当链传动的线速度 $v_a \geqslant 15$ m/s 时，滚子链传动的效率和噪声较大。

试验还测试了 2 种不同的拨禾链轮工作时对应的功率消耗。通过对 2 种不同齿形链轮工作时的功率消耗的比较，可以得出更合适的链轮齿形。图 11 为原拨禾链轮与新拨禾链轮的齿面形状。两链轮的齿数相同，但原拨禾链轮为标准齿形，新拨禾链轮为非标准齿形，且原拨禾链轮滚子外径 d_1 为 22.23 mm，节距 P 为 38.1 mm；新拨禾链轮滚子外径 d_1 为 16 mm，节距 P 为 38 mm。图 12 为更换拨禾链轮前、后功率与转速的关系。

由图 12 可知，在低转速时换轮前的功率消耗低于换轮后的功率消耗；在中等转速时换轮前和换轮后的功率消耗基本相同；在较高转速时换轮前的功率消耗高于换轮后的功率消耗。

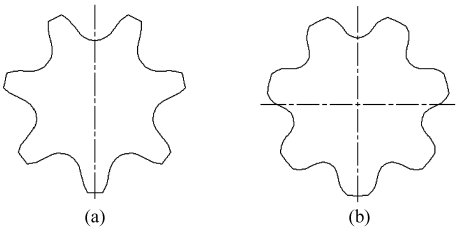

图 11 原拨禾链轮和新拨禾链轮齿面形状

Fig. 11 Tooth surface shape of before and after changing finger rotor

(a) 原拨禾链轮 (b) 新拨禾链轮

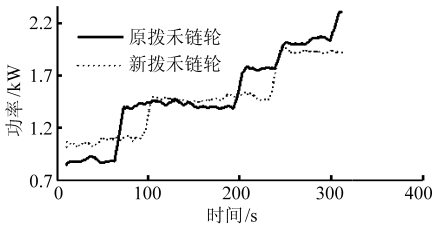

图 12 拨禾链轮更换前后功率与转速的关系

Fig. 12 Relationship between power and rotate speed before and after changing finger rotor

3 结论

(1)理论分析了玉米收获机割台关键部件设计参数;分禾器的离地高度 $h \leqslant 600$ mm,宽度 $b \leqslant 440$ mm,前锥角 $\beta \leqslant 30°$;拨禾链线速度与机器前进速度关系为 $v_b \cos\alpha \geqslant v_j$;拉茎辊线速度与机器前进速度的关系为 $v_l / v_j = (H - h)/(l\cos\alpha)$。

(2)试验测试了该割台在不同转速时功率与转速的变化关系。由试验数据可知,割台整体消耗的功率偏大,随着电动机转速的升高,割台消耗的功率逐渐增大,功率与转速大约按照线性关系递增;割台在正常工作时噪声水平偏高。

(3)更换不同的拨禾链轮后,在低转速时换轮前的功率消耗低于换轮后的功率消耗;在中等转速时换轮前和换轮后的功率消耗基本相同;在较高转速时换轮前的功率消耗高于换轮后的功率消耗。

参 考 文 献

1 陈志,郝付平,王锋德,等. 中国玉米收获技术与装备发展研究[J]. 农业机械学报,2012,43(12):47~49.
Chen Zhi, Hao Fuping, Wang Fengde, et al. Development of technology and equipment of corn harvester in China [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 47~49. (in Chinese)

2 李新广,李亚男. 3 行玉米联合收割机割台部分设计[J]. 农机化研究,2013(3):134~136.
Li Xinguang, Li Ya'nan. Design of the part of 3 lines corn combined harvesters [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013(3):134~136. (in Chinese)

3 刘静. 玉米收获机不对行技术的研究[D]. 淄博:山东理工大学,2007.

4 陈志,韩增德,颜华,等. 不分行玉米收获机分禾器适应性试验[J]. 农业机械学报,2008,39(1):50~52.
Chen Zhi,Han Zengde,Yan Hua,et al. Orthogonal validation experiment on crop divider of corn harvester [J]. Transactionsof the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(1): 50~52. (in Chinese)

5 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.

6 中国农业机械化科学研究院. 实用机械设计手册:下册[M]. 北京:机械工业出版社,1985.

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]. Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition, 2011, 31(4): 377~380. (in Chinese)

8 曹文,丁俊华,李在臣. 玉米摘穗装置的设计研究[J]. 农业装备与车辆工程,2009(1):20~22.
Cao Wen, Ding Junhua, Li Zaicheng. Research and design on corn snapping bars [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2009(1): 20~22. (in Chinese)

9 Bollig D E. Corn head with tension control for deck plates: US, US20080092507A1 [P]. 2006-10-18.

10 闫洪余,吴文福,韩峰,等. 立辊型玉米收获机摘穗辊辊型对工作性能的影响[J]. 农业机械学报,2009,40(5):76~80.
Yan Hongyu, Wu Wenfu, Han Feng, et al. Effects of the type of snapping rolls of vertical corn harvester on harvesting performance[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(5): 76~80. (in Chinese)

11 Shinners K J,Boettcher G C, Hoffman D S, et al. Single-pass harvest of corn grain and stover: performance of three harvester configurations[J]. Transactions of the ASABE, 2009, 52(1): 51~60.

12 Trenkamp M J, Gravel L F. Shredder attachment for combine corn head: US, 5330114[P]. 1994-07-19.

13 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)

14 Johnson P C, Clementson C L, Mathanker S K, et al. Cutting energy characteristics of Miscanthus x giganteus stems with varying oblique angle and cutting speed[J]. Biosystems Engineering, 2012(112):42~48.