

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.05.007

# 基于 ADAMS 软件的无碳小车转向机构设计

王 政, 何国旗, 胡 增

(湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘 要:** 为使无碳小车运行出更好的“S”型轨迹, 利用 ADAMS 软件参数化建模功能和仿真功能, 分别对以曲柄摇杆机构、正弦机构、RSSR 空间四杆机构作为无碳小车转向机构的情况进行了仿真试验分析。对比各转向机构的仿真试验结果, 得出正弦机构通过设计相关参数可成为无碳小车的最佳转向机构的结论, 为目前无碳小车转向机构的设计提供了理论参考。

**关键词:** 无碳小车; 曲柄摇杆机构; 正弦机构; RSSR 空间四杆机构; ADAMS

**中图分类号:** TM301.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2013)05-0028-05

## Design of Carbon-Free Car Steering Mechanism Based on ADAMS Software

Wang Zheng, He Guoqi, Hu Zeng

(School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** For a better “S” type trajectory of the carbon-free car, applies the parametric modeling capabilities and simulation capabilities of the ADAMS software to simulate the crank-rocker mechanism, sine mechanism and RSSR space four-bar linkage mechanism for carbon-free car steering mechanism. Compares the simulation results and draws the conclusion that sine mechanism is the best direction-control mechanism for the carbon-free car through the relative parameter design. It provides theoretical reference for steering mechanism design of carbon-free car.

**Keywords:** carbon-free car; crank-rocker mechanism; sine mechanism; RSSR space four-bar linkage mechanism; ADAMS

## 0 引言

“S”型轨迹无碳小车是全国大学生工程训练综合能力竞赛项目之一, 其转向机构的设计对于小车运行出均匀的“S”型轨迹具有极为重要的作用。当前很多参赛队伍设计的转向机构不能使无碳小车运行出均匀的“S”型轨迹, 出现轨迹跑偏问题, 使小车撞桩或撞到赛道边界, 无法顺利完成比赛。

要解决无碳小车轨迹跑偏这一问题, 即使小车

运行出均匀的“S”型轨迹, 则需要使小车轨迹的中心线保持为一条直线。据此, 应对无碳小车的转向机构提出如下要求: 转向机构左右摆动角度大小相等, 若设前轮摆角 $\theta$ 关于曲柄转角 $\alpha$ 的关系为 $\theta=f(\alpha)$ , 即要求 $f(\alpha)=-f(T-\alpha)$  ( $T$ 为周期)。

目前, 能够实现无碳小车车轮转向控制的机构主要有曲柄摇杆机构、正弦机构(曲柄移动导杆机构)和 RSSR 空间四杆机构。这 3 种机构在结构和功能上有各自的特点, 本研究拟以机械系统动力学自动

收稿日期: 2013-07-01

作者简介: 王 政 (1991-), 男, 河北唐山人, 湖南工业大学学生, 主要研究方向为机械设计制造及其自动化,

E-mail: hut\_machinery@163.com

通信作者: 胡 增 (1992-), 男, 湖南湘潭人, 湖南工业大学学生, 主要研究方向为机电一体化,

E-mail: 1312100328@qq.com

分析 (automatic dynamic analysis of mechanical systems, ADAMS) 软件为平台, 创建完全参数化的无碳小车转向机构系统模型, 对前述3种转向机构进行运动学分析, 同时对系统模型进行优化, 以得出理想的车轮转向控制机构, 为无碳小车设计提供有益参考。

## 1 以曲柄摇杆为转向机构

### 1.1 曲柄摇杆机构特性分析

通过设计曲柄摇杆机构各杆长参数可以使其形成摆转副, 进而实现对无碳小车前轮转向的控制。但一般曲柄摇杆机构存在急回特性<sup>[1]</sup>, 易导致前轮左右摆角不相同, 所以将其作为无碳小车转向机构时, 最好设计为无急回特性的曲柄摇杆机构<sup>[2-3]</sup>, 其模型如图1所示。

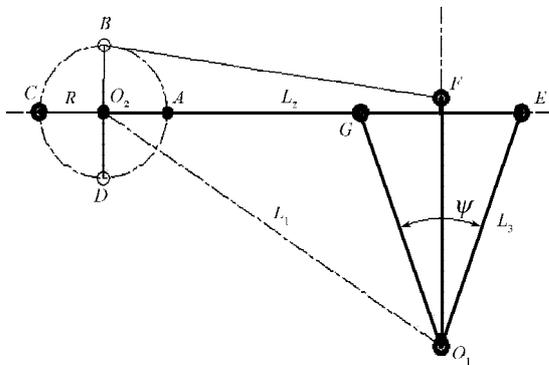


图1 无急回特性曲柄摇杆机构模型

Fig. 1 Model of no quick return crank-rocker mechanism

设图1所示无急回特性的曲柄摇杆模型中曲柄  $AO_2=R$ , 从图1右侧可以看出,  $EG=2R$ , 式(1)便是曲柄摇杆机构无急回的充要条件,

$$\begin{cases} \frac{R}{L_3} = \sin(\psi/2), \\ (L_3 \cos(\psi/2))^2 + L_2^2 = L_1^2. \end{cases} \quad (1)$$

将式(1)化简, 可得:

$$L_1^2 + R^2 = L_2^2 + L_3^2. \quad (2)$$

如要将此机构应用于无碳小车, 则还需要满足如下条件: 当曲柄处于  $B, D$  位置时, 摇杆要处于  $F$  位置。显然, 当  $BF$  位置满足要求时,  $DF$  位置便无法满足要求。因此, 无急回特性曲柄摇杆机构理论上不满足无碳小车的应用条件。虽然如此, 仍可尝试合理设计各杆长, 以使摇杆的摆角规律接近对称, 进而满足无碳小车转向机构的要求。

### 1.2 曲柄摇杆机构ADAMS参数化模型建立

无急回特性曲柄摇杆机构的设计要求如下: 摆角范围为  $40^\circ$ , 曲柄长为  $20 \text{ mm}$ , 曲柄旋转中心距离摇杆旋转中心  $100 \text{ mm}$ 。利用ADAMS软件建立曲柄

摇杆机构的全参数化模型<sup>[4]</sup>, 如图2所示。

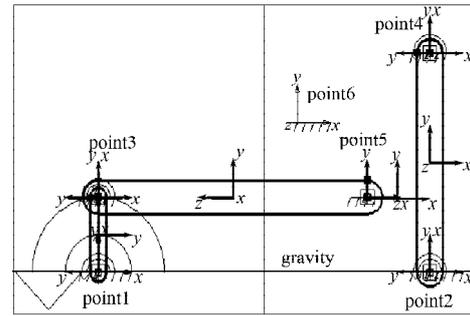


图2 无急回曲柄摇杆机构ADAMS模型

Fig. 2 ADAMS model of no quick return crank-rocker mechanism

图2中, 各连杆或摇杆保持水平或垂直, 以简化各设计点的坐标表达式。其中  $point4$  与  $point5$  利用ADAMS中两主体两位置的铰接方法创建。模型中各个点的坐标值是以设计变量确定的, 以便于快速修改模型和优化设计。模型中各点的坐标值如表1所示, 表中  $DV\_L1$  代表  $L_1$ ,  $DV\_L2$  代表  $L_2$ ,  $DV\_L3$  代表  $L_3$ ,  $DV\_r$  代表  $R$ 。

表1 ADAMS模型中各设计点的坐标

Table 1 The design points coordinate of ADAMS model

设计点	Loc_X	Loc_Y	Loc_Z
POINT_1	$(-DV\_L1/2)$	0.0	0.0
POINT_2	$(DV\_L1/2)$	0.0	0.0
POINT_3	$(-DV\_L1/2)$	$(DV\_r)$	0.0
POINT_4	$(DV\_L1/2)$	$(DV\_L3)$	0.0
POINT_5	$(-DV\_L2-DV\_L1/2)$	$(DV\_r)$	0.0

模型中各个设计点坐标所涉及的设计变量之间的关系由式(1)确定, 如给定机架长度  $L_1$ 、曲柄长度  $R$  和摇杆摆角  $\psi$  的值, 便可以求出连杆  $L_2$  和摇杆  $L_3$  的长度。各设计变量的具体表达式如表2所示, 表中  $DV\_baijiao$  代表  $\psi$ 。

表2 ADAMS模型中的设计变量

Table 2 Design variables of ADAMS model

变量	Real_Value	Range	Use_Range
$DV\_L1$	100.0	$(-10.0, 20.0)$	yes
$DV\_r$	20.0	$(-10.0, 10.0)$	yes
$DV\_L2$	$(SQRT(DV\_L1^2 - (DV\_L3^3 \cos(DV\_baijiao^* DTOR/2))^2))$	$(-10.0, 10.0)$	yes
$DV\_baijiao$	40.0	$(-10.0, 10.0)$	yes
$DV\_L3$	$(DV\_r / \sin(DV\_baijiao/2d))$	$(-10.0, 10.0)$	yes

### 1.3 曲柄摇杆机构ADAMS参数化模型分析

为了便于测量摇杆的摆角, 并且使摆角的极大值与极小值的绝对值相等, 应在图1中  $O_1F$  线上建立一点, 即  $point6$ , 其坐标可设为:

$$\begin{cases} X = \frac{DV\_L1}{2} - 40, \\ Y = 40 \times \tan \theta, \\ \theta = \arctan\left(\frac{DV\_L2}{DV\_L1}\right). \end{cases} \quad (3)$$

只要点的位置符合以上关系式(3),即可保证新建点在直线  $O_1F$  上。测量 point6, point5 和摇杆质心点的夹角,记为 mea1,即可保证 mea1 的极大值和极小值的绝对值相等。仿真所得一个周期内的 mea1 变化曲线如图3所示,mea1 的起始角度并不为 0,但并不影响之后的优化。

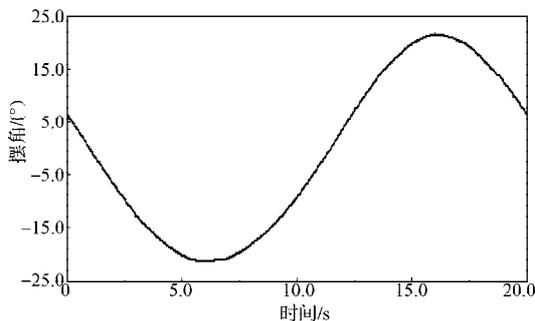


图3 一个周期内摇杆摆角的变化曲线

Fig. 3 The plot of the rocker swing angle in one cycle

由图3可以看出,该周期内摇杆摆角的极大值为  $21.3201^\circ$ ,极小值为  $-21.3285^\circ$ ,摆角范围基本与设计值( $40^\circ$ )接近。同时可以看出,极大值和极小值的绝对值仅相差0.0057,两者非常接近,说明point6 的确在直线  $O_1F$  上,模型建立无误。

新建 range measure,测量 mea1 的平均值,记为 range1;新建 computed measure,计算 range1 的绝对值,记为 com1,com1 是之后进行设计研究和优化设计的目标。

下面研究 com1 的终值关于  $DV\_r$  和  $DV\_L1$  的变化规律,即分别以  $DV\_r$  和  $DV\_L1$  为设计变量,对 com1 进行设计研究。

图4所示为 com1 终值与设计变量  $DV\_L1$  的关系曲线。图5所示为 com1 终值关于设计变量  $DV\_r$  的关系曲线。

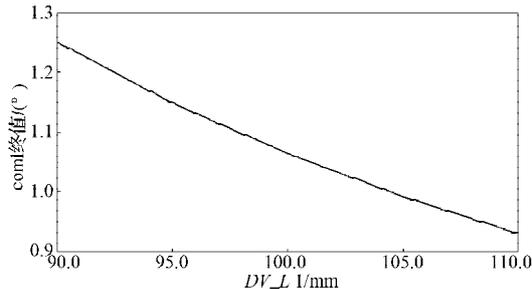


图4 com1 终值与  $DV\_L1$  的关系曲线

Fig. 4 The relationship between com1 final value and  $DV\_L1$

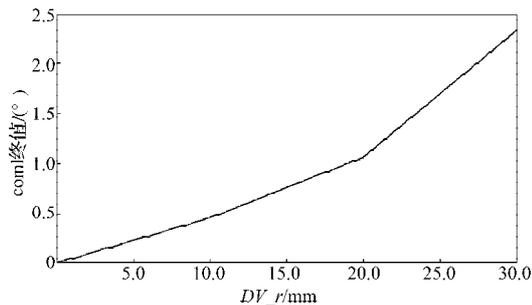


图5 com1 终值与  $DV\_r$  的关系曲线

Fig. 5 The relationship between com1 final value and  $DV\_r$

由图4和图5可看出,com1 的终值随着  $DV\_L1$  的增大而减小,随着  $DV\_r$  的增大而增大。

以 com1 终点值最小为优化目标,以  $DV\_r, DV\_L1$  为设计变量,进行优化设计,所得结果见图6。

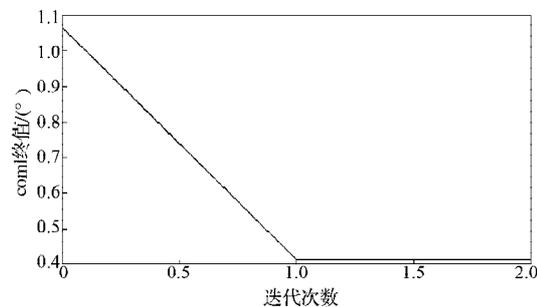


图6 优化结果

Fig. 6 The optimization results

由图6可看出,系统设计经优化后,com1 的终值降低到0.4131。由于  $DV\_r$  的取值范围为[10, 30],  $DV\_L1$  的取值范围为[90, 110],最后得到最优解为  $DV\_r=10, DV\_L1=110$ 。

由此可见:通过合理地设计各杆长,可以有效提高摇杆摆角规律的对称性,并且曲柄长度越小,机架越长,无碳小车前轮摆角规律的对称性越好。

## 2 以正弦机构为转向机构

### 2.1 正弦机构摆角规律

正弦机构是目前无碳小车设计过程中常选用的转向机构之一,图7为其机构简图,其曲柄可在小范围内调节,同样可控制无碳小车的前轮摆角。

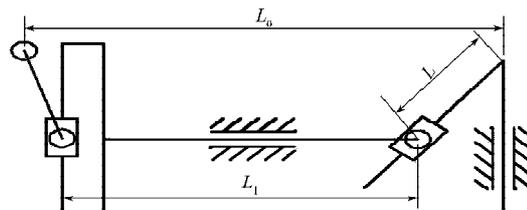


图7 正弦机构示意图

Fig. 7 Schematic diagram of sine mechanism

正弦机构前轮摆角与后轮转角的关系如下:推杆移动距离为  $D=R \times \sin \alpha$ ,其中  $\alpha$  为曲柄转角,  $R$  为

曲柄长度; 前轮摆角为  $\tan \theta = D/L$ , 其中  $L$  为推杆距前轮轴心的距离; 前轮摆角与后轮转角间的关系为:

$$\tan \theta = (R \times \sin \alpha) / L \quad (4)$$

### 2.2 对称性分析

将式 (4) 改写, 得到正弦机构曲柄转角和前轮摆角间有如下关系式:

$$\begin{aligned} \theta &= f(\alpha) = \arctan(R \sin \alpha / L), \\ f(\alpha - \pi) &= \arctan(R \sin(\alpha - \pi) / L) = \\ &= \arctan(-R \sin \alpha / L) = -\arctan(R \sin \alpha / L), \\ \Rightarrow f(\alpha - \pi) &= -f(\alpha) \end{aligned} \quad (5)$$

据此可得出: 正弦机构正反方向的转角变化完全对称, 可使无碳小车前轮左右摆角相同。

### 2.3 可调节性分析

式 (4) 中的  $R$  具有一般性, 改变  $R$  的大小不会改变前轮摆角的表达式, 因此调节曲柄长度即可调整前轮摆角的幅度, 而且调整后的摆角规律依然对称。可用来调整小车一个周期内的纵向位移与最大横向位移。但是在实际应用中, 由于制造误差和安装误差的存在, 即使前轮摆角规律对称, 小车也可能走不出直线度较好的轨迹, 典型问题是小车轨迹向一侧弯曲。此时, 可以调整推杆的长度来调节前轮左右摆动的幅度。以正弦机构为转向机构时, 摇杆向前和向后的两极限位置如图 8 所示。

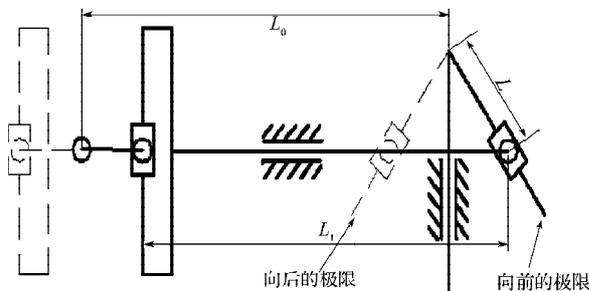


图8 正弦机构两极限位置

Fig. 8 The two limit positions of sine mechanism

当使推杆增长  $\Delta L$  时, 推杆末端相对前轮轴轴线向前的最大位移为  $R + \Delta L$ , 此时的前轮摆角为

$$\theta = \arctan((R + \Delta L) \sin \alpha / L); \quad (6)$$

推杆末端相对前轮轴轴线向后的最大位移为  $R - \Delta L$ , 此时前轮摆角为  $\theta = \arctan((R - \Delta L) \sin \alpha / L)$ 。 (7)

据此可知无碳小车前轮向左的最大摆角大于向右的最大摆角 (以图 8 右侧为前进方向), 因此, 若小车轨迹向右弯曲, 则可以适当调长推杆, 从而增大小车向左转向的幅度, 以保持小车轨迹的直线度; 同理, 若小车轨迹向左弯曲, 则可以适当缩短推杆长度, 使前轮向右的最大摆角大于向左的最大摆角, 以保持小车轨迹的直线度。

## 3 以 RSSR 空间四杆机构为转向机构

### 3.1 RSSR 空间四杆机构特性分析

RSSR 空间四杆机构<sup>[5]</sup>也是目前应用较多的无碳小车转向机构之一。它利用空间连杆的传动来实现无碳小车前轮的左右摆动, 进而达到控制其运动轨迹的目的。具有结构紧凑, 运动灵活、传动准确的特点<sup>[6-7]</sup>。

### 3.2 RSSR 空间四杆机构 ADAMS 参数化模型建立

利用 ADAMS 软件建立的 RSSR 空间四杆机构模型如图 9 所示, 其自由度为 1。

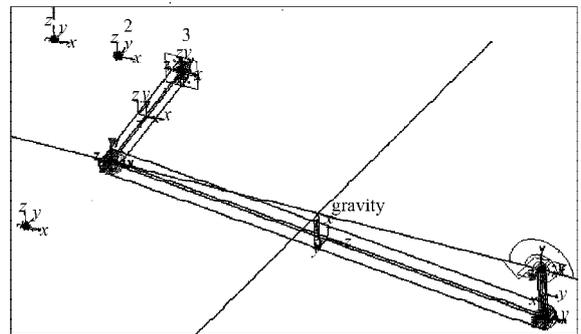


图9 RSSR 空间四杆机构 ADAMS 模型

Fig. 9 ADAMS model of RSSR mechanism

### 3.3 RSSR 空间四杆机构 ADAMS 参数化模型分析

测得一个周期内摇杆摆角 (即  $\angle 132$ ) 的变化关系如图 10 所示。

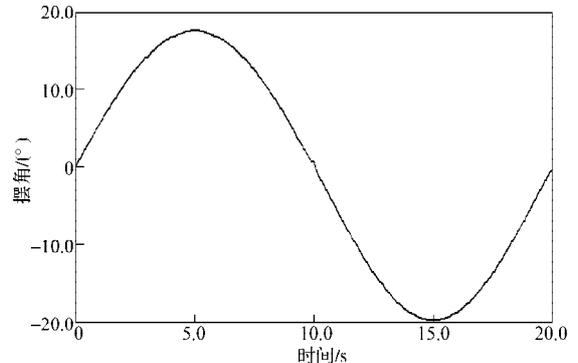


图10 RSSR空间四杆机构摇杆摆角规律曲线

Fig. 10 The rocker swing angle law curve for RSSR mechanism

通过测量图 10 的曲线可得, 一个周期内  $\angle 132$  的极大值为  $17.5875^\circ$ , 极小值为  $-19.7316^\circ$ 。据此可得出空间四杆机构使得前轮左摆与右摆的转角不对称, 易导致小车轨迹整体走向不是一条直线。故新建 range measure, 测量摆角曲线的平均值; 再新建 computed measure, 计算 range measure 的绝对值, 以 computed measure 的终点值最小作为优化目标, 以摇杆与连杆的交点处的  $x$  值作为设计变量, 进行优化设计, 所得结果如图 11 ~ 13 所示。

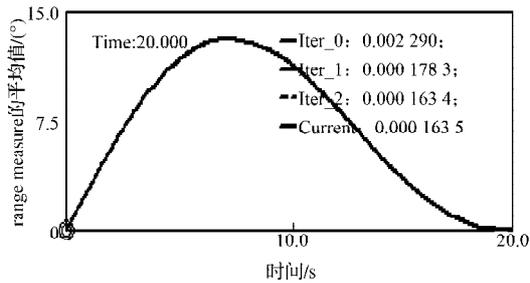


图11 一个周期内任意时刻摆角的平均值

Fig. 11 Average value of swing angle during one circle

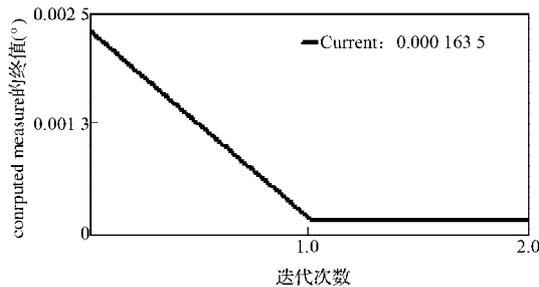


图12 优化过程中 computed measure 的终值变化曲线

Fig. 12 The final value plot of computed measure in optimization procedure

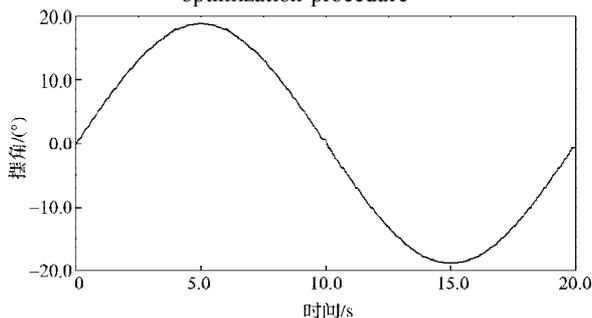


图13 优化后的摇杆摆角变化规律

Fig. 13 The variation of rocker swing angle after optimization

从图 11 所示一个周期内任意时刻摆角的平均值和图 12 所示优化后的摆角关系图可以看出, 优化后 computed measure 终点值达 0.000 163 5。通过测量图 13 可以得出, 优化后的摆角极大值为  $18.836 3^\circ$ , 极小值为  $-18.782 8^\circ$ , 对称性明显提高。

## 4 结论

1) 无急回曲柄摇杆机构是平面机构, 要求曲柄处于前轮支架轴线的垂直面, 要多一级转换机构。该机构对于摇杆与前轮角度的精度要求较高, 装配难度较大, 而且曲柄长度不具备调节功能, 会导致摇杆摆角不对称。

2) 正弦机构有 2 个销槽副、一个移动副, 曲柄具备调节功能, 可以在小范围内调节小车的轨迹, 调节性能较好。

3) RSSR 空间四杆机构有 2 个球副, 机构简单, 传动效率较高, 但摇杆与前轮的角度难以控制, 同样具有安装精度高的特点。

据以上分析可知: 正弦机构可以实现正反转角的完全对称, 从功能上分析是作为无碳小车转向机构的最佳方案; 曲柄摇杆机构和 RSSR 空间四杆机构通过优化设计, 可以使机构的对称性得到提高, 也可作为无碳小车的转向机构。

## 参考文献:

- [1] 朱理. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011: 11-24, 99-112.  
Zhu Li. Mechanical Principle[M]. Beijing: Higher Education Press, 2011: 11-24, 99-112.
- [2] 华大年, 华志宏, 吕静平. 连杆机构设计[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1995: 147-148, 245-264.  
Hua Danian, Hua Zhihong, Lü Jingping. Linkage Mechanism Design[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1995: 147-148, 245-264.
- [3] 苏有良. 无急回特性曲柄摇杆机构新的解析设计法[J]. 轻工机械, 2008, 25(1): 60-62.  
Su Youliang. New Analytical Design for Crank-Rocker Mechanism with Non Quick-Return Characteristics[J]. Light Industry Machinery, 2008, 25(1): 60-62.
- [4] 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 155-172.  
Li Zenggang. ADAMS Detailed Introduction and Example [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006: 155-172.
- [5] 曹惟庆, 徐曾荫. 机构设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999: 50-58.  
Cao Weiqing, Xu Cengyin. Mechanism Design[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 1999: 50-58.
- [6] 阎敏, 王文博. 一种空间 RSSR 传动机构的运动综合法[J]. 北京服装学院学报, 1997, 17(1): 75-79.  
Yan Min, Wang Wenbo. A Kinematic Synthesis Method of Spatial RSSR Transmission Mechanism[J]. Journal of Beijing Institute of Clothing Technology, 1997, 17(1): 75-79.
- [7] 秦忠宝, 房亚东, 何卫平, 等. 基于空间 RSSR 机构的多功能搅拌机及其参数化设计[J]. 制造业自动化, 2005, 27(1): 5-8.  
Qin Zhongbao, Fang Yadong, He Weiping, et al. The Multi-Function Mixer and Parametric Design Based on Spatial RSSR Mechanism[J]. Manufacturing Automation, 2005, 27(1): 5-8.

(责任编辑: 廖友媛)