

包装机械中曲柄摇杆机构设计分析及仿真

许茏

(江苏联合职业技术学院, 盐城 224005)

摘要: **目的** 将 CAD 技术融入包装机械中曲柄摇杆的机构设计。**方法** 在论述曲柄摇杆机构设计公式的基础上, 基于 SolidWorks 软件通过实例对此类设计的机构进行求解、分析及仿真。**结果** 此种方法设计的精度达小数点后 8 位, 分析以及仿真结果可指导设计。**结论** 此方法操作简单、实用性强、精度高, 较好地解决了此类机构的设计及仿真问题。

关键词: 曲柄摇杆机构; 包装机械; 设计分析; 仿真

中图分类号: TB486⁺.02; TB486⁺.03 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)09-0076-04

Design Analysis and Simulation of Crank-rocker Mechanism in Packaging Machinery

XU Long

(Jiangsu Union Technical Institute, Yancheng 224005, China)

ABSTRACT: **Objective** To integrate the CAD technology into the design of crank-rocker mechanism in packaging machinery. **Methods** Based on the illustration of design formula for crank rocker mechanism, SolidWorks software was used to solve, analyze and simulate this type of mechanism through case study. **Results** The accuracy of this design method reached 8 decimals, and the analysis and simulation results could be used to guide the design. **Conclusion** This method was simple, practical and highly accurate, which solved the problems in the design and simulation of such mechanisms.

KEY WORDS: crank-rocker mechanism; packaging machinery; design analysis; simulation

在包装机械的裹包执行机构中, 曲柄摇杆机构被大量使用^[1], 其设计和仿真依旧是该领域的难题之一。国内外多位学者^[2-12]大多采用解析法或图解法进行设计, 其步骤多、计算复杂、编程要求高, 不便于理解和掌握, 同时只能解决某一类问题。文中基于 SolidWorks 软件、Motion 插件、Excel 软件对曲柄摇杆机构进行设计分析及仿真, 较好地解决了此类机构的设计及仿真的问题。

1 曲柄摇杆机构的组成条件及特点

根据三角形构成的条件, 分析可知组成曲柄摇杆的条件为: 最短杆与最长杆的长度之和小于或等于其

他两杆的长度之和; 最短杆的相邻构件为机架, 则最短杆为曲柄。

图 1 虚线位置也称机构的极限位置 (“死点位置”), 为了表达摇杆来回摆动的快慢, 设急回系数 $K =$

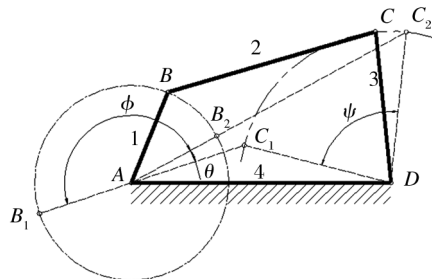


图 1 曲柄摇杆机构极限位置

Fig. 1 Limit position of the crank-rocker mechanism

收稿日期: 2014-01-10

基金项目: 国家“十一五”重大科技支撑项目(2006BAD11A11)

作者简介: 许茏(1977—), 男, 江苏盐城人, 硕士, 江苏联合职业技术学院副教授, 主要从事 CAD/CAM/CAE 的教学和研究工作。

$(180^\circ + \theta) / (180^\circ - \theta)$ 。只要 $\theta \neq 0$, 则 $K > 1$, 机构就具有急回特性^[13]。

2 曲柄摇杆机构的数学分析

曲柄摇杆机构见图2, 已知曲柄、连杆、摇杆、机架长度分别为 L_1, L_2, L_3, L_4 , 曲柄 L_1 的转角为 ϕ_1 , 等角速度为 ω_1 , 要求确定连杆和摇杆的角位置、角速度和角加速度^[14]。

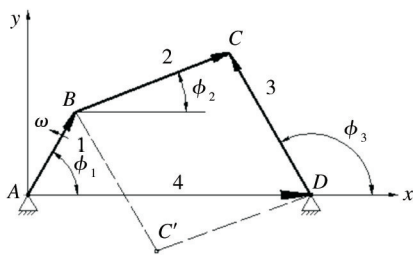


图2 曲柄摇杆机构的数学分析

Fig. 2 Mathematical analysis of the crank rocker mechanism

解题的基本思路为: 位置方程通过求导得出速度方程, 再次求导得出角速度方程, 通过方程可求解出所求值。

利用数学的知识可将铰链四杆机构 $ABCD$ 看作一封闭的向量多边形, 按欧拉公式展开, 具体见式(1)。

$$L_1(\cos \phi_1 + i \sin \phi_1) + L_2(\cos \phi_2 + i \sin \phi_2) = L_4 + L_3(\cos \phi_3 + i \sin \phi_3) \quad (1)$$

该方程的实部和虚部分别相等, 通过求导最终可求解各参数, 文中不详细阐述, 具体可参见文献[15]。

若已知 L_4, ϕ_1, ϕ_3 , 求解 L_1, L_2, L_3 各杆的长度, 可用 Freudenstein 方程^[12]进行求解, 见式(2)。

$$K_1 \cos \phi_1 + K_2 \cos \phi_3 + K_3 = -\cos(\phi_1 - \phi_3) \quad (2)$$

$$\text{其中, } K_1 = \frac{L_4}{L_3}, K_2 = -\frac{L_4}{L_1}, K_3 = \frac{L_2^2 - L_4^2 - L_3^2 - L_1^2}{2L_1L_3}$$

传统手工求解法的优点是能从理论上把握机构的特点, 对理解机构的运动有一定帮助; 缺点是求解繁琐, 不直观, 无图表输出, 不能实现仿真, 并且求解的过程容易出错, 对于某些机构只能近似求解, 对于稍复杂以及多位置的机构进行运动分析时, 重复工作量较大, 宜用计算机软件完成。

使用计算机软件完成分为 2 种方法。

1) 根据数学知识, 然后通过 (VB, VC 等) 编程, 后结合 CAD/CAM 软件进行设计。此种设计方法需要较高的数学知识以及编程基础, 如王良文^[12]等人

研究采用了此类机构设计方法。

2) 直接在 CAD/CAM 软件 (SolidWorks, Pro/E 等) 中进行设计及仿真。此种设计方法操作简单、实用性强、精度高, 但需掌握软件的高级功能。

文中采用第 2 种方法基于 SolidWorks 软件对典型裹包中的曲柄摇杆机构进行设计、分析和仿真。

3 曲柄摇杆机构的设计实例

以张静^[9]、高德^[10]、程友联^[11]、王良文^[12]研究的此类机构设计问题如下所述。

例 1 设计饼干裹包执行机构, 运动要求在初始位置时, 曲柄与机架之间的角度为 -15° , 摇杆与机架之间的角度为 145° , 在摇杆达到极限位置时, 相应的角度 ϕ_1 为 70° , 以及 ϕ_3 为 125° , 机架杆的长度 $L_4 = 100 \text{ mm}$, 求解 L_1, L_2, L_3 。

例 2 已知曲柄两极限位置夹角为 17° (或已知急回系数 K), 摇杆摆角为 36° , 机架杆的长度 $L_4 = 102 \text{ mm}$, $L_3 = 100 \text{ mm}$, 求解 L_1, L_2 。

例 3 已知最小传动角为 53° , 急回系数 $K = 1.1$, 摇杆摆角为 40° , 机架杆的长度 $L_4 = 100 \text{ mm}$, 求解 L_1, L_2, L_3 。

例 4 当曲柄顺时针转动到外极限位置时, 曲柄转角为 90° , 摇杆同向转动 24.4° , 曲柄继续转动 85° 时, 摇杆又摆动到起始位置, $L_4 = 250 \text{ mm}$, 外极限位置与水平方向夹角为 25° , 求解 L_1, L_2, L_3 。

求解过程在 SolidWorks 软件作草图见图 3, 构建草图并添加关系, 最后查询长度即可求出实例 1 中 $L_1 =$

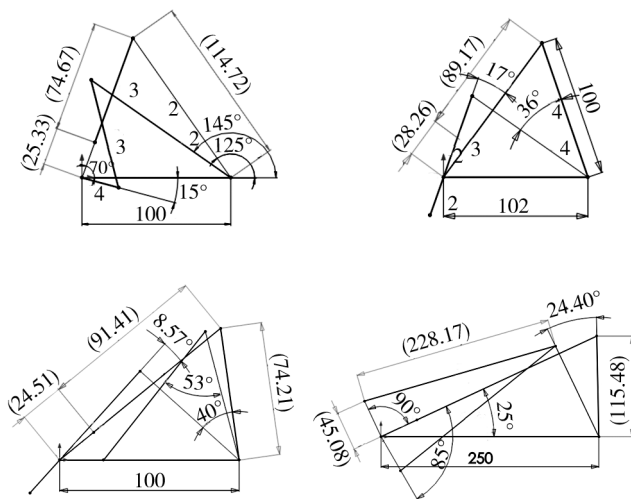


图3 饼干裹包执行机构实例的求解

Fig. 3 Solving of the case of biscuits wrapping actuators

25.332 850 51 mm, $L_2 = 74.667\ 149\ 49$ mm, $L_3 = 114.715\ 287\ 27$ mm; 实例2 求解 $L_1 = 28.260\ 072\ 97$ mm, $L_2 = 89.173\ 786\ 5$ mm; 实例3 求解 $L_1 = 24.512\ 379\ 2$ mm, $L_2 = 91.414\ 584\ 19$ mm, $L_3 = 74.207\ 601\ 57$ mm; 实例4 求解 $L_1 = 45.077\ 661\ 91$ mm, $L_2 = 228.168\ 419\ 66$ mm, $L_3 = 115.478\ 784\ 02$ mm。任取一如例4 求解的结果和高德^[10]论文求解的结果一致(也验证了设计的正确性),而且较为精确;同时由于参数化的软件对某一类问题可直接修改数值即可求解。

4 曲柄摇杆机构的分析及仿真

曲柄摇杆机构的分析和仿真是其另外的一个问题,通过 SolidWorks 软件、Motion 插件以及 Excel 软件可计算它的轨迹、转动角度、加速度等参数,下面举例对它进行分析和仿真^[13]。

1) 以4个中心距分别为45 mm(曲柄长度)、100 mm(连杆长度)、70 mm(摇杆长度)、120 mm(机架长度)的杆件为例,设定曲柄初始角速度为120 r/min,可获得摇杆上旋转中心点(也可为任意一点)的运动轨迹,也可生成摇杆与机架之间的角位移,见图4。使用 Excel 软件打开生成角位移的数据文件(*.csv 格式),通过 MAX 函数分析可知角度的最大值为95.88°,最小值为14.37°。

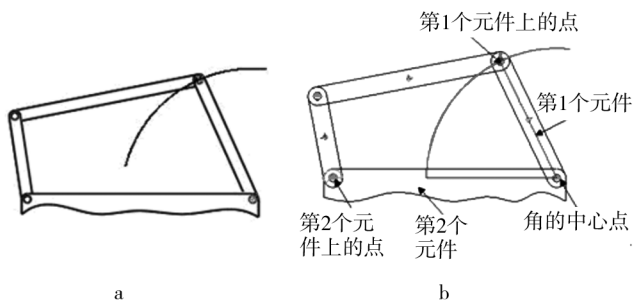


图4 曲柄摇杆机构的轨迹跟踪以及角位移的生成

Fig.4 Trajectory tracking of the crank rocker mechanism and generation of angular displacement

2) 在 Motion 插件生成摇杆的角速度以及角加速度曲线,见图5。分析可知,极限位置的角速度为0。角速度为0时,角加速度最大,当角速度最大时,角加速度为0。

3) 摇杆旋转中心的线速度分析见图6,由平动速度中的xyz各分量以及速度的幅值可以看出,z方向的速度为0,平动速度就是x方向以及y方向的矢量合成。

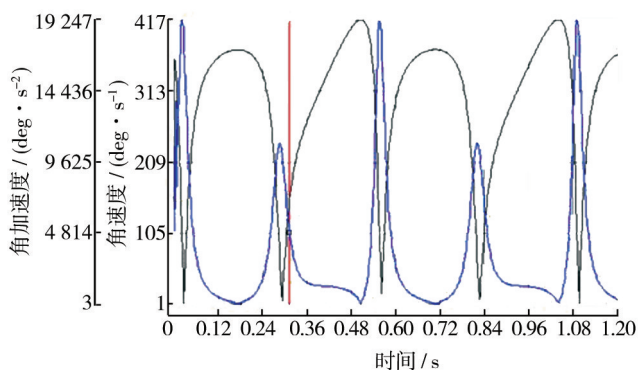


图5 角速度以及角加速度曲线的生成

Fig.5 Generation of angular velocity and angular acceleration curves

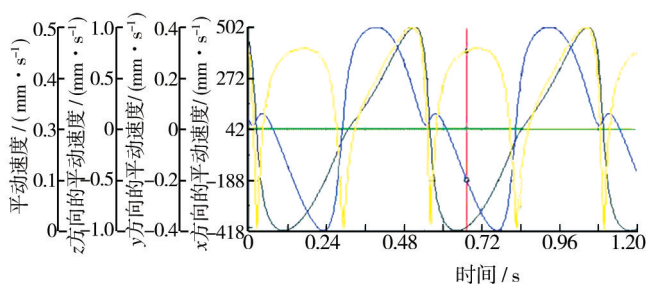


图6 线速度曲线生成

Fig.6 Generation of linear speed curve

4) 对连杆和摇杆之间的角度稍作处理,即为压力角。由 Excel 分析可知,角位移在131.49°~28.31°之间,压力角的分析 α 在41.49°—0°—61.69°之间变化,压力角的分析见图7。

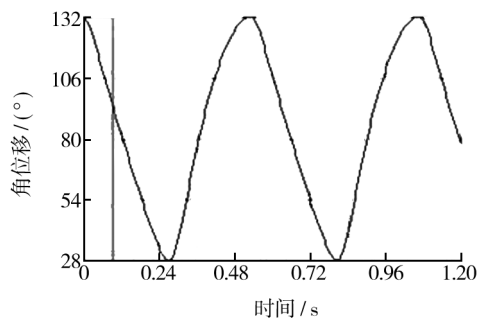


图7 在 Excel 中压力角的分析

Fig.7 Analysis of pressure angle in Excel

5) 极位夹角 θ 见图8,查找对应的角度分别为28.70°和18.4°,则其夹角 θ 为10.3°,则 $K = \frac{T_1}{T_2} = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta} = 1.12$ 。

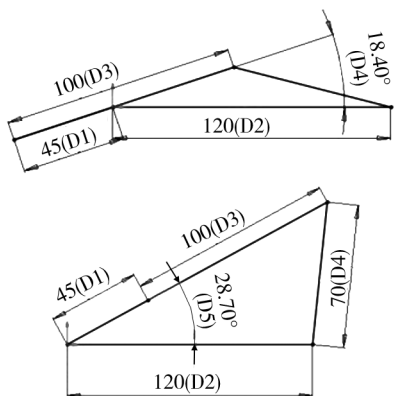


图8 极限位置的分析

Fig. 8 Limit position analysis

5 结语

1) 选取了典型裹包机械中的曲柄摇杆机构设计问题,基于 SolidWorks 软件通过草图绘制查询长度的方法即可求解出另外杆件的长度,并进行分析和仿真,同时也验证了设计的正确性。

2) 研究进一步扩展可对任意的曲柄摇杆机构进行求解与仿真,较好地解决了曲柄摇杆的设计与仿真的问题。

3) 基于 CAD/CAM 软件直接求解与仿真的方法操作简单、实用性强、精度高。

参考文献:

- [1] 黄颖为. 包装机械结构与设计[M]. 北京:化工工业出版社,2007.
HUANG Yin-wei. Packaging Machinery Structure and Design[M]. Beijing: Chemical Industry Press,2007.
- [2] 储宁启. 三解圆定理及其应用——也谈曲柄摇杆机构的辅助圆图解设计法[J]. 机械设计,2003,20(3):56—59.
CHU Ning-qi. Third Round Solution Theorem and Its Applications—Talk about Graphic Design Auxiliary Circle Crank Rocker Mechanism[J]. Mechanical Design,2003,20(3):56—59.
- [3] 熊滨生. 现代连杆结构设计[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
XIONG Bin-sheng. Link Structure of Modern Design[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2006.
- [4] LUN Ming, LE Yong-hou. Design of Crank-rocker Mechanisms with Optimum Transmission Angle Ver Working Stroke[J]. MechMath theory,1996,31(4):501—511.
- [5] 胡建平. 有急回运动特性的曲柄摇杆机构的图解法设计方法研究[J]. 机械设计,1998,16(6):13—16.
HU Jian-ping. Research Graphic Design Methods have

- Quick Return Motion Characteristics Crank Rocker Mechanism[J]. Mechanical Design,1998,16(6):13—16.
- [6] HAROLD A R. Mechanical Design Handbook[M]. New York: McGraw-Hill Companies,1985.
- [7] WILSON C E, SADLER J P. Kinematics and Dynamics of Machinery[M]. New York:Happer & Row,Publishers,1983.
- [8] 程友联,汤柳明. 曲柄摇杆机构的参数方程及应用[J]. 武汉交通科技大学学报,2000(3):317—319.
CHEN You-lian,TANG Liu-ming. Parametric Equations and Application of Crank Rocker Mechanism[J]. Wuhan University of Science and Technology,2000(3):317—319.
- [9] 张静,王占英,刘春东,等. 按最小传动角设计曲柄摇杆机构的解析方法[J]. 机械设计,2008,25(10):63—65.
ZHANG Jing,WANG Zhan-ying,LIU Chun-dong. Minimum Transmission Angle Crank Rocker Mechanism Design Analysis Method[J]. Mechanical Design,2008,25(10):63—65.
- [10] 高德,卢富德. 包装机械中曲柄摇杆机构给定两相对位移的解析法设计[J]. 包装工程,2008,29(10):136—138.
GAO De, LU Fu-de. Packaging Machinery Design Crank Rocker Mechanism Given the Relative Displacement of the Two Analytical Method[J]. Packaging Engineering,2008,29(10):136—138.
- [11] 程友联,吴晓红. 曲柄摇杆机构的参数设计法[J]. 机械设计,2010(9):60—62.
CHENG You-lian,WU Xiao-hong. Crank Rocker Mechanism Parameter Design Method[J]. Mechanical Design,2010(9):60—62.
- [12] 王良文,王传鹏,穆小奇,等. 基于 Freudenstein 方程的裹包执行机构—曲柄摇杆机构设计[J]. 机械传动,2013(11):67—66.
WANG Liang-wen,WANG Chuan-peng,MU Xiao-qi. Crank-rocker Mechanism Design of the Wrapping Actuator Based on Freudenstein Equation[J]. Mechanical Transmission,2013(11):67—66.
- [13] 许茏. 曲柄摇杆机构在 COSMOSMotion 及 Excel 中的运动分析[J]. CAD/CAM 与制造业信息化,2006(12):42—43.
XU Long. Analysis of the Crank Rocker Mechanism Motion in COSMOSMotion and Excel[J]. CAD/CAM and Manufacturing Information,2006(12):42—43.
- [14] 许茏. 基于 SOLIDWORKS 典型机构仿真与机械产品 CAD/CAM/CAE 技术研究[D]. 镇江:江苏大学,2012.
XU Long. Typical Simulation and Mechanical CAD/CAM/CAE Technology Research Based on the SOLIDWORKS [D]. Zhenjiang:Jiangsu University,2012.
- [15] 黄锡恺,郑文纬. 机械原理[M]. 北京:高等教育出版社,1956.
HUANG Xi-kai,ZHENG Wen-wei. The Principle of Machinery[M]. Beijing: Higher Education Press,1956.