

共轭凸轮的反求设计及仿真

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共轭凸轮机构的设计。**方法** 论述凸轮机构设计理论基础, 根据给定的从动件运动规律, 基于 SolidWorks 软件、Motion 插件以及 Excel 软件通过实例对此类机构进行分析、求解及仿真。**结果** 设计的精度达小数点后 3 位, 仿真的结果和理论求解一致。**结论** 设计的方法简洁准确, 省去了繁琐的计算, 较好地解决了此类机构的设计及仿真的难题。

关键词: 共轭凸轮; 反求设计; 运动仿真; 给定运动规律

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)17-0162-05

Reverse Design and Simulation of Conjugate Cam

XU Long

(Jiangsu Union Technical Institute, Yancheng 224005, China)

ABSTRACT: The work aims to integrate CAD technology into the design of packaging machinery conjugate cam mechanism. It discussed the theoretical basis for the design of the cam mechanism, and analyzed, solved and simulated such a mechanism by examples according to a given follower motion rule and based on SolidWorks software, Motion plug-ins and Excel software. The accuracy of the design was rounded off to 3 decimal points. The simulation results accorded with the solving theory. In conclusion, the designed method is simple and accurate. It can avoid tedious calculation and solve problems with the design and simulation of such mechanism.

KEY WORDS: conjugate cam; reverse design; motion simulation; given motion rule

在共轭凸轮机构中, 由于在运动时主、副凸轮与从动件有 2 个或多个点接触, 因此, 运动的精度较高, 广泛地应用于自动包装机械、农业机械等高速的场合中^[1-6]。对共轭凸轮的外轮廓设计是其难点之一。通过对已有的共轭凸轮进行打点测绘反求凸轮的外轮廓是仿制产品的策略之一^[7], 但不能永远去仿制, 总要自己进行创新研发。传统的设计方法是通过 VB, VC, Matlab, JAVA 等软件进行编程计算, 然后将数据导入 CAD 软件 (PRO/E, ADAMS, UG 等) 中进行仿真^[8-10]。这种方法有编程繁琐、

计算复杂 (矩阵、微积分、高次方程的求解)、容易出错、精度不高等缺点, 同时要求数学以及软件编程的基础较高, 不适合工程人士使用。也有使用专业凸轮设计软件如 Gero Parametric^[11]来完成, 但专业软件具有成本过高、不够灵活、仿真不够直观等特点。SolidWorks 是优秀的 CAD 软件之一, Motion (ADAMS 公司出品) 是其运动仿真的 CAE 插件, 利用它可以建立共轭凸轮的机构模型并装配, 同时可反求凸轮的啮合轨迹, 最终将啮合的数据导入到 Excel 软件中进行处理, 获得理想的凸轮

收稿日期: 2016-02-23

基金项目: 国家自然科学基金 (50875244)

作者简介: 许茏 (1977—) 男, 江苏盐城人, 硕士, 副教授, 主要研究方向为 CAD/CAM/CAE。

外轮廓曲线^[12—13]。

1 理论研究

1.1 从动件运动规律

由于多项式运动规律通用性强,从动件可按照任给定的运动规律的要求来设计凸轮^[14]。多项式的通式见式(1),式中整数幂指数 $t > \dots > p > q > \dots > 1$ 。

$$S = C_0 + C_1 T^1 + \dots + C_q T^q + C_p T^p + C_t T^t + \dots \quad (1)$$

对式(1)逐次求导,可得到速度 v 、加速度 a 的表达式见式(2)—(3):

$$v = S' = q C_q T^{(q-1)} + p C_p T^{(p-1)} + t C_t T^{(t-1)} + \dots \quad (2)$$

$$a = S'' = q(q-1)C_q T^{(q-2)} + p(p-1)C_p T^{(p-2)} + t(t-1)C_t T^{(t-2)} + \dots \quad (3)$$

1.2 摆动滚子共轭凸轮的轮廓线设计

依据中心距,从动件摆杆的角位移及其运动规律,可以求解出主凸轮轮廓线上的任意点的坐标 x_1, y_1 ,但由于滚子存在,实际凸轮曲线与求解的曲线应等距滚子半径的距离。凸轮实际轮廓线坐标 x_2, y_2 ,其中滚子半径 R_r ,见式(3),具体可参见文献[15]。

$$x_2 = x_1 \pm R_r \frac{dy_1/d\theta}{\sqrt{(dx_1/d\theta)^2 + (dy_1/d\theta)^2}}$$

$$y_2 = y_1 \mp R_r \frac{dx_1/d\theta}{\sqrt{(dx_1/d\theta)^2 + (dy_1/d\theta)^2}} \quad (4)$$

2 凸轮的运动分析

从凸轮运动的规律进行分析,如图1所示, O_1 为凸轮旋转中心, O_2 为从动件旋转中心,当凸轮逆时针旋转 θ_1 度,则从动件摆杆逆时针旋转 θ_2 度。凸轮由电机带动匀速转动,凸轮外轮廓带动从动件按照给定的运动规律转动,将凸轮轮廓向外等距滚子半径 R_r 的距离,如图2所示,啮合点从 A 点到 B 点运动整个过程中,点 AB 与 O_1 之间的夹角为 θ_3 度,凸轮第1次啮合的 A 点相对于第2次啮

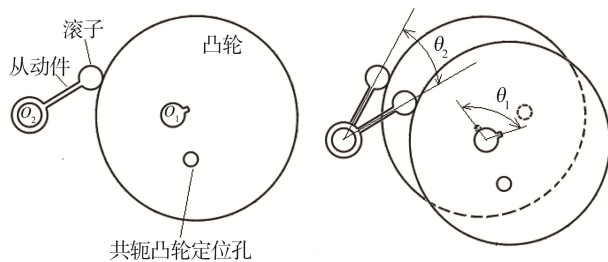


图1 凸轮的位置分析

Fig.1 Cam position analysis

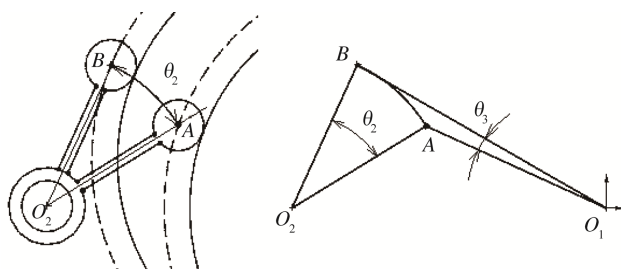


图2 凸轮的运动规律

Fig.2 Movement of the cam

合的 B 点旋转了 $(\theta_1 + \theta_3)$ 度。

3 共轭凸轮设计和仿真的范例

以下三共轭凸轮范例由胶印机定心式下摆式递纸机构演化而来,主滚子初始位置与水平的夹角为 30° ,滚子中心到从动件旋转中心 O_2 的距离为 30 mm ;1个副滚子同样与水平的夹角为 30° ,滚子中心与从动件旋转中心 O_2 的距离为 30 mm ;另1个副滚子与水平的夹角为 60° ,滚子中心与从动件旋转中心 O_2 的距离为 50 mm ;3个滚子的半径分别为 $5, 3, 8\text{ mm}$;并且同时已知 O_1O_2 的距离为 60 mm ,要求凸轮转动1圈,主滚子摆角在 $30^\circ \sim 70^\circ$ 之间,运动过程中没有窜动,求解共轭三凸轮的外轮廓,见图3。求解具体步骤如下所述。

1) 打开 SolidWorks 软件,新建草图,绘制零件,后导入到装配体进行装配,见图4(建模与装配坐标系的一致)。

2) 给零件添加旋转马达,设定振荡方式,最大转动角度为 40° ,周期设定为 5 s , (这里可以输入多项式等各种运动类型,对于本范例,输入光滑的曲线类型最适合),其角位移曲线见图5。

3) 打开 Motion 插件进行运动计算,然后点击图解和计算按钮,选择跟踪路径选项,选择的 C, D, E 点生成运动轨迹(每秒钟设定为 100 帧)见图6。

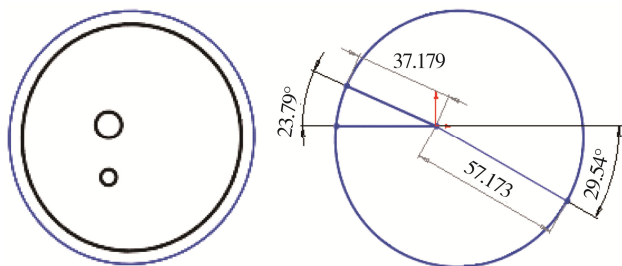


图 8 主凸轮的生成
Fig.8 Main cam generation

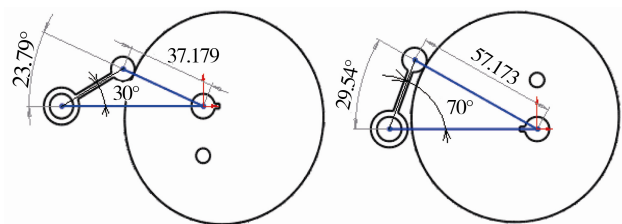


图 9 任一位置的分析
Fig.9 Analysis of any position

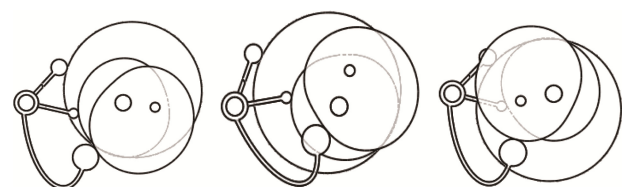


图 10 任取 3 个位置的装配仿真
Fig.10 Assembly simulation of three positions taken randomly

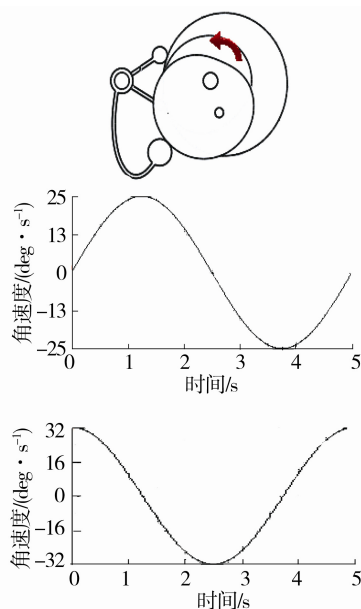


图 11 正向仿真速度、加速度曲线
Fig.11 Forward simulation speed and acceleration curve

4 结语

在共轭凸轮设计的理论研究基础上,选取了典型的下摆式递纸机构范例,在已知从动件的运动规

律反求凸轮外轮廓,并进行运动仿真,同时验证了设计的正确性。研究进一步扩展可对任意的共轭凸轮机构进行求解与仿真,较好地解决了共轭凸轮的设计与仿真的问题。由于参数化的软件修改非常方便,可输入任意运动的类型。所有的数据由 SolidWorks 软件、Motion 插件、Excel 软件自动完成,基于 CAD/CAE 软件直接求解与仿真的方法操作简单、实用性强、精度高,适合工程人士使用。

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] NORTON R L. Cam Design and Manufacturing Handbook[M]. New York: Industrial Press, 2009.
- [3] ROTHBART H A. Cam Design Handbook[K]. New York: McGRAW-HILL, 2004.
- [4] 陈建能, 王英, 张翔, 等. 基于共轭凸轮的强制推秧机构反求设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 98—101.
CHEN Jian-neng, WANG Ying, ZHANG Xiang, et al. Reverse Design Based Forced Seedling Pushing Mechanism Conjugate Cam[J]. Agricultural Engineering, 2011, 27(3): 98—101.
- [5] 陈建能, 王英, 赵雄, 等. 步行式插秧机共轭凸轮推秧装置的反求设计及仿真[J]. 农业机械学报, 2011, 42(12): 78—82.
CHEN Jian-neng, WANG Ying, ZHAO Xiong, et al. Reverse Design and Simulation of Walking-type Rice Based on Conjugate Cam Transplanter's Seedling-pushing Device[J]. Agricultural Machinery, 2011, 42(12): 78—82.
- [6] 赵匀, 樊福雷, 宋志超, 等. 反转式共轭凸轮蔬菜钵苗移栽机构的设计与仿真[J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 8—16.
ZHAO Yun, FAN Fu-lei, SONG Zhi-chao, et al. Design and Simulation of Inverted Vegetable Pot Seedling Transplanting Mechanism with Conjugate Cam[J]. Agricultural Engineering, 2014, 30(14): 8—16.
- [7] 梁铭, 王冠珠, 杨建成, 等. 共轭凸轮轮廓线的反求设计方法[J]. 天津工业大学学报, 2012, 31(4): 76—79.
LIANG Ming, WANG Guan-zhu, YANG Jian-cheng, et al. Reverse Design Method Conjugate Cam Contour[J]. Tianjin Polytechnic University, 2012, 31(4): 76—79.
- [8] 沈毅, 刘春雷, 高大牛, 等. 共轭凸轮—滑块摇杆组合机构的设计与应用[J]. 机械设计与研究, 2012, 28(4): 22—25.
SHEN Yi, LIU Chun-lei, GAO Da-niu, et al. Conjugate Cam-slider Design and Application of a Combination of Rocker Mechanism[J]. Machine Design and Research, 2012, 28(4): 22—25.

- [9] 张义智, 郭连考. 给纸机递纸吸嘴机构共轭凸轮设计[J]. 包装工程, 2007, 28(1): 104—105.
ZHANG Yi-zhi, GUO Lian-kao. Design of the Conjugated Cams in Suction Nozzle of Paper Feeding Mechanism of Feeding Machine[J]. Package Engineering, 2007, 28(1): 104—105.
- [10] 贺兵. 基于 MATLAB 固定凸轮与连杆组合机构的优化设计[J]. 包装工程, 2009, 30(9): 96—98.
HE Bing. Optimum Design of Fixed Cam and Connecting Bar Mechanism Based on MATLAB[J]. Package Engineering, 2009, 30(9): 96—98.
- [11] 刘庆立, 蔡昌蔚, 申雷, 等. 共轭凸轮机构参数化仿真设计技术的研究[J]. 包装工程, 2012, 33(12): 80—83.
LIU Qing-li, CAI Chang-wei, SHEN Lei, et al. Study on Parametric Simulation Design Technology of Conjugate Cams[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(12): 80—83.
- [12] 许茏. 给定运动轨迹凸轮-齿轮组合机构的反求设计及仿真[J]. 机械传动, 2015(12): 28—30.
XU Long. Given the Trajectory of the Cam-Reverse Gear Design and Simulation Combination Mechanism[J]. Mechanical transmission, 2015(12): 28—30.
- [13] 许茏. 包装机械中曲柄摇杆机构设计分析及仿真[J]. 包装工程, 2014, 35(5): 76—79.
XU Long. Design Analysis and Simulation of Crank-rocker Mechanism in Packaging Machinery[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(5): 76—79.
- [14] 张双琳, 葛正浩, 张兴钰, 等. 基于多项式拟合的共轭凸轮的反求设计[J]. 机械传动, 2015(12): 92—94.
ZHANG Shuang-bin, GE Zheng-hao, ZHANG Xing-yu, et al. Reverse Design of Conjugate Cam Mechanism Based on Polynomial Fitting Method[J]. Mechanical Transmission, 2015(12): 92—94.
- [15] 隋鹏举, 姚立纲, 苏同克, 等. 给定运动轨迹的齿轮—凸轮组合机构解析法设计[J]. 机械设计与研究, 2009, 25(5): 10—12.
SUI Peng-ju, YAO Li-gang, SU Tong-ke, et al. Analytical Design of Gear-Cam Combined Mechanism With the Given Movement[J]. Machine Design and Research, 2009, 25(5): 10—12.