

基于多软件联合的凸轮机构设计

范志锋^{1,2}

(1.湖北省绿色风机协同创新中心, 武汉 430065; 2.武昌工学院 机械工程学院, 武汉 430065)

摘要: **目的** 为了降低设计难度和缩短研制周期, 提出基于 Matlab, ADAMS 和 SolidWorks 等 3 种软件联合进行滚子推杆复杂运动规律的凸轮机构仿真设计。**方法** 利用 Matlab 软件编程输出推杆的运动数据; 基于 ADAMS 软件中的凸轮仿真工具箱得到理论轮廓的凸轮模型; 在 SolidWorks 软件中利用理论轮廓的凸轮模型生成实际轮廓的凸轮三维模型。**结果** 基于 3 种软件最终获得了滚子推杆凸轮机构的实际轮廓曲线。**结论** 研究表明, 基于 ADAMS, Matlab 和 SolidWorks 等 3 种软件进行滚子推杆复杂运动规律的凸轮机构三维建模, 为设计凸轮机构提供了一种高效的通用方法, 具有一定的推广应用价值。

关键词: ADAMS; Matlab; SolidWorks; 凸轮机构; 滚子推杆; 设计

中图分类号: TB486; TH112.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)03-0174-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.03.026

Cam Mechanism Design Based on Multi-software Combination

FAN Zhi-feng^{1,2}

(1.Green Fan Manufacturing Collaborative Innovation Center in Hubei Province, Wuhan 430065, China;

2.School of Mechanical Engineering, Wuchang Institute of Technology, Wuhan 430065, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a cam mechanism simulation design based on three kinds of software (Matlab, ADAMS and SolidWorks) combined with the complicated motion law of roller putter, in order to reduce the design difficulty and shorten the development period. The motion data of the putter were outputted by Matlab programming. Based on the cam simulation toolbox in ADAMS software, the cam model of theoretical profile was obtained. In Solidworks software, the cam 3D model of actual profile was generated based on the cam model of theoretical profile. Based on three kinds of software, the actual profile curves of roller putter cam mechanism were finally obtained. The research shows that the 3D modeling of cam mechanism of complicated motion law of the roller putter based on three kinds of software (ADAMS, MATLAB and Solidworks) provides an efficient general method for designing cam mechanism, and has certain promotion and application value.

KEY WORDS: ADAMS; Matlab; Solidworks; cam mechanism; roller putter; design

凸轮机构是机械中的一种常用机构, 由凸轮、从动件和机架构成, 广泛应用于各种半自动与全自动金属切削机床、矿石破碎机、破壳机、模锻机、

包装机、电焊机、灌装机、采摘机中^[1-8]。特别是在包装工程领域, 凸轮机构是自动包装机械的心脏, 作为传递和贮存部件, 肩负着传动和控制双重任务。

收稿日期: 2018-09-14

基金项目: 湖北省高等学校创新能力提升计划(湖北省 2011 计划)(2013XTKY02); 湖北省高等学校优秀中青年科技创新团队计划(T201833)

作者简介: 范志锋(1978—), 男, 博士, 武昌工学院副教授, 主要研究方向为机械系统分析与设计。

如何获取凸轮轮廓曲线,是凸轮机构设计的关键所在。传统的获得凸轮轮廓曲线主要采用图解法和解析法,但图解法存在设计精度低,解析法存在设计过程复杂的缺点^[9]。

近年来,多位学者利用 ADAMS 软件建立凸轮机构的虚拟样机,并进行凸轮轮廓曲线仿真设计的探索与实践^[9-16],但均存在设计过程通用性差的缺点。最新版本的 ADAMS 软件中有专门的凸轮工具箱,为设计者提供了凸轮轮廓曲线设计的有效手段。但 ADAMS 的凸轮工具箱中只能输入 step, poly, shf 和 const 等 4 种函数作为推杆的运动规律。包装机械领域采用的凸轮从动件,其运动规律较为复杂,运动函数通常无法在 ADAMS 的凸轮工具箱中直接输入。另外,单纯利用 ADAMS 软件只能获得凸轮的理论轮廓曲线,无法获得滚子推杆凸轮机构的实际轮廓凸轮。文中提出利用 ADAMS, Matlab 和 Solidworks 3 种软件,进行滚子推杆复杂运动规律的凸轮机构建模,为设计凸轮机构提供一种高效的通用方法。

1 问题描述与设计思路

已知凸轮以等角速度逆时针转动,其角速度 $\omega=12 \text{ rad/s}$,推程运动角 $\varphi_0=45^\circ$,远休止角 $\varphi_s=45^\circ$,回程运动角 $\varphi'_0=90^\circ$,近休止角 $\varphi'_s=180^\circ$,推杆行程 $h=40 \text{ mm}$,基圆半径 $r_0=70 \text{ mm}$,滚子半径 $r_r=12 \text{ mm}$,偏距 $e=15 \text{ mm}$,推杆在升程阶段和回程阶段均以简谐运动规律运动,设计该偏心直动滚子推杆盘形凸轮机构的实际轮廓曲线凸轮。

对于上述问题,提出设计思路:利用 Matlab 编程输出推杆的运动规律数据;将推杆运动规律数据导入 ADAMS 软件的凸轮工具箱中,设计出理论轮廓曲线的凸轮三维模型;将理论轮廓曲线的凸轮三维模型导入 SolidWorks 软件中,生成实际轮廓曲线凸轮的三维模型。

2 推杆的运动方程

将已知条件代入简谐运动规律的运动方程式中^[17],得到推杆的运动方程为:

$$\begin{cases} s = 20 - 20 \cos(4\varphi) & \varphi \in \left[0, \frac{\pi}{4}\right] \\ s = 40 & \varphi \in \left[\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}\right] \\ s = 20 + 20 \cos 2\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) & \varphi \in \left[\frac{\pi}{2}, \pi\right] \\ s = 0 & \varphi \in [\pi, 2\pi] \end{cases} \quad (1)$$

根据公式 $\varphi = \omega t = 12t$,将方程(1)中的自变量 φ 变成 t ,则推杆的运动方程为:

$$\begin{cases} s = 20 - 20 \cos(48t) & t \in \left[0, \frac{\pi}{48}\right] \\ s = 40 & t \in \left[\frac{\pi}{48}, \frac{\pi}{24}\right] \\ s = 20 + 20 \cos 2\left(12t - \frac{\pi}{2}\right) & t \in \left[\frac{\pi}{24}, \frac{\pi}{12}\right] \\ s = 0 & t \in \left[\frac{\pi}{12}, \frac{\pi}{6}\right] \end{cases} \quad (2)$$

3 Matlab 编程导出推杆运动数据

利用 Matlab 软件对运动方程(2)编写函数程序如下。

```
function s = y(t)
if t>=0&t<pi/48
    s=20-20.*cos(48.*t);
elseif t>=pi/48&t<pi/24
    s=40;
elseif t>=pi/24&t<pi/12
    s=20+20.*cos(2*(12.*t-pi/2));
else
    s=0;
```

end
保存函数后,执行代码如下。

```
i=1;
for t=0:0.0001:pi/6;
s(i)=y(t)
i=i+1
end;
t=0:0.0001:pi/6;
t=t';
s=s';
```

上述代码中 t 的步长决定了凸轮理论轮廓线的设计精度。步长越小,凸轮理论轮廓线的精度越高,但对计算机的内存要求高。这里步长取 0.0001 s 。

执行上述代码后,获得推杆的位移 s 与对应运动时间 t 的相关数据。将 s 和 t 2 列数据拷贝到 Excel 数据表。其中第 1 列为 t ,第 2 列为 s ,然后将数据表保存为 csv 格式的文件,方便 ADAMS 凸轮工具箱建模时导入推杆运动规律时使用。需要注意的是, csv 格式的文件需要使用英文名命名,且保存在英文名文件夹下或者放在桌面上,否则后面 ADAMS 软件无法识别导入。

4 基于 ADAMS 的理论轮廓凸轮设计

4.1 创建推杆的位移曲线

文中使用软件为 ADAMS2017。打开软件,新建模型,点击 Machinery 功能区 Cam 中的第 1 个按钮 ,开始创建推杆的位移曲线。主要步骤如下所述。

1) 设置推杆的运动形式及自变量,设定利用外

部数据设置推杆的运动规律，其他选项采用默认值，见图 1。

- 2) 导入推杆运动规律的数据文件。
- 3) 查看导入数据的结果，导入推杆运动规律数据生成的位移时间曲线，见图 2。
- 4) 查看推杆的加速度。
- 5) 优化位移曲线。
- 6) 点击 Finish 按钮，完成推杆运动数据的导入。

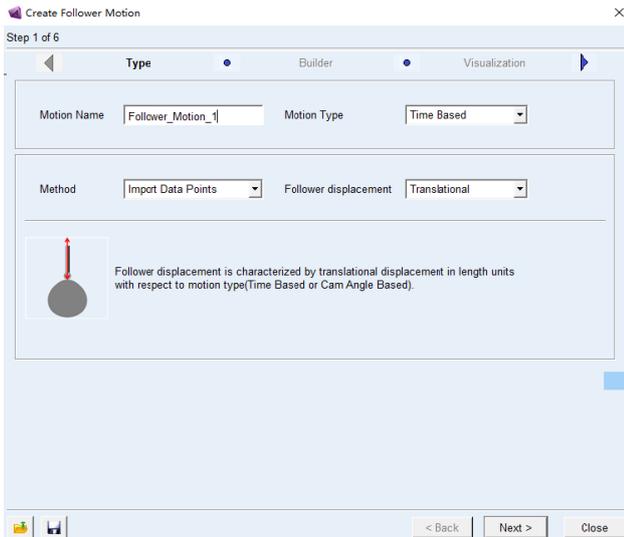


图 1 设置推杆的运动形式及自变量

Fig.1 Setting of the motion form and independent variable of the putter

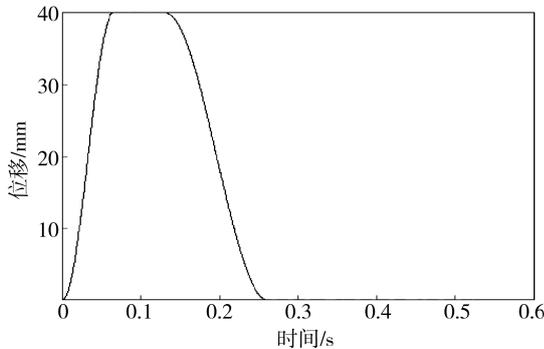


图 2 导入推杆运动规律数据生成的曲线

Fig.2 Importing of curves generated by motion law data of the putter

4.2 创建凸轮的理论轮廓线

点击 Machinery 功能区 Cam 中的第 2 个按钮 ，创建凸轮的理论轮廓曲线。一共有以下 3 个步骤。

- 1) 设置凸轮的基本参数。此处设置凸轮的形状为盘形凸轮 Disk，基圆半径 Minimum radius 设置为 70 mm，其他采用默认值。
- 2) 确定创建凸轮轮廓的依据。Follower Motion Name 选择 4.1 创建的推杆运动规律，Follower Ar-

angement 选择 Offset(偏置)，偏心距 Offset Distance 设置为 15 mm，其他采用默认值。

3) 浏览凸轮轮廓线上的点数据集，点击 Finish 按钮，在主窗口中生成理论轮廓凸轮，见图 3。

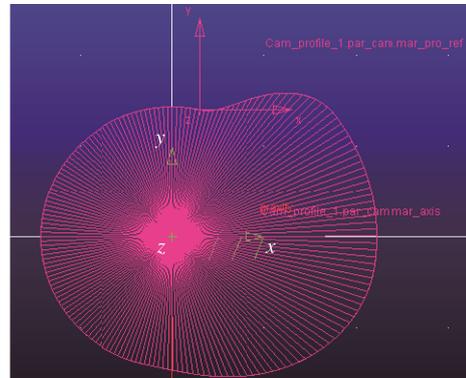


图 3 理论轮廓凸轮

Fig.3 Theoretical profile cam

将图 3 中的理论轮廓凸轮另存为 Parasolid 格式的文件，如 tulun.xmt_txt，以备导入 SolidWorks 中。

4.3 创建基于理论轮廓的凸轮机构

点击 Machinery 功能区 Cam 中的第 3 个按钮 ，开始创建凸轮机构，共 10 步。其中：第 3 步，确定凸轮的轮廓线，Cam Profile Name 选择 4.2 中创建的凸轮轮廓线 Cam_profile_1；第 4 步，确定凸轮和地面的连接方式，Rigid Body Name 选择 ground；第 7 步，指定推杆与机架之间的连接方式，Rigid Body Name 选择 ground。其他各步均采用默认值。执行上述步骤后，则主窗口中创建基于理论轮廓的凸轮机构模型。

4.4 仿真与后处理

设置凸轮-地面之间转动副的角速度 $\omega=12 \text{ rad/s}$ ；设置仿真时间为 $\pi/6 \text{ s}$ ，仿真步数为 1000，进行运动学仿真。

仿真结束后，进入到后处理器。可以查看推杆的位移、速度、加速度、压力角等随时间的变化曲线。其中推杆的位移-时间变化曲线见图 4。

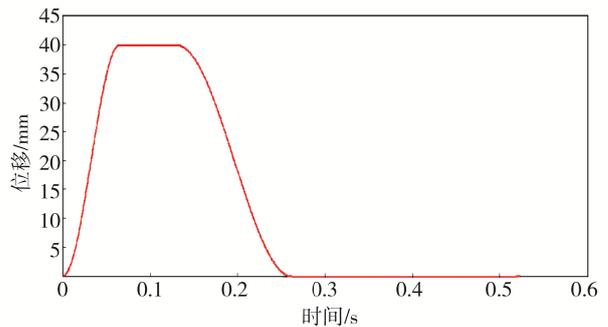


图 4 推杆的位移-时间变化曲线

Fig.4 Displacement-time variation curve of the putter

从图 4 中可以看出,仿真得到的推杆运动规律与输入的运动规律(图 2)完全一致。这说明理论轮廓的凸轮模型设计是正确的。

5 基于 SolidWorks 的实际轮廓凸轮设计

在 ADAMS 软件中,只得到了理论轮廓的凸轮模型。将 4.2 中生成的 tulun.xmt_txt 文件导入 SolidWorks2016 软件中。在导入过程中,需要对理论轮廓曲线的凸轮三维特征进行自动识别。导入 SolidWorks 中的理论轮廓凸轮模型见图 5。

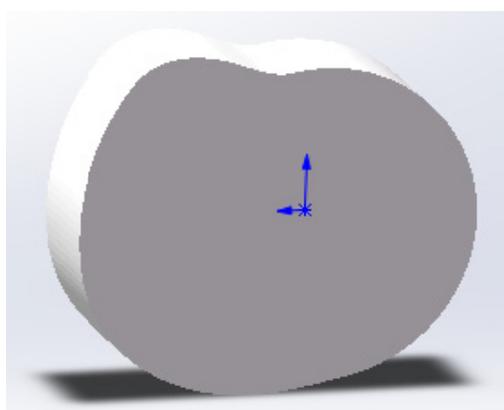


图 5 SolidWorks 中的理论轮廓凸轮模型
Fig.5 Theoretical profile cam model in SolidWorks

进入草图绘制状态,然后点击操作界面上的等距实体按钮,在对话框中输入图 6 所示的参数,点击确定按钮后,退出草图绘制状态,则生成实际轮廓的凸轮三维模型,见图 7。得到实际轮廓的凸轮三维模型后,即可进行后续的凸轮加工,如在 SolidWorks 环境下直接进行 3D 打印,也可输出凸轮实际轮廓的数据,在数控机床进行凸轮外形加工。

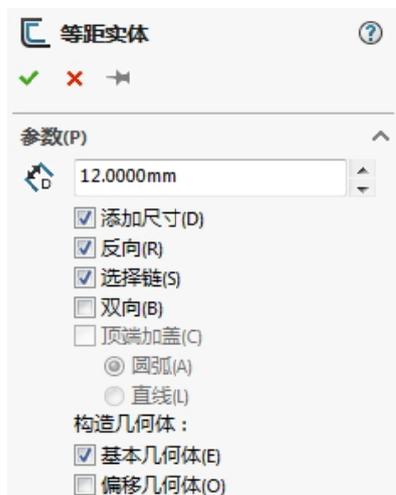


图 6 等距实体对话框参数设置
Fig.6 Settings of equidistant entity dialog parameter

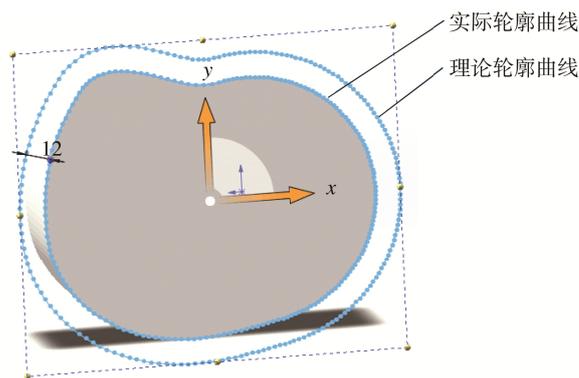


图 7 凸轮的实际轮廓曲线及实际轮廓的凸轮三维模型
Fig.7 The actual profile curve of the cam and the three-dimensional model of the actual profile cam

6 结语

文中提出了基于 ADAMS, Matlab 和 SolidWorks 等 3 种软件,进行滚子推杆复杂运动规律的凸轮机构建模,为凸轮机构的快速设计提供了一种通用的新方法。利用文中提出的凸轮设计方法,只要推杆运动规律已知,就可以利用 Matlab 编程输出推杆的运动数据,然后导入 ADAMS 凸轮仿真工具箱中生成理论轮廓的凸轮模型,最后将理论轮廓的凸轮模型导入 SolidWorks 中生成实际轮廓的凸轮三维模型,为后续凸轮加工提供了依据。

参考文献:

- [1] 罗卫平,王珺. 基于 ADAMS/VIEW 凸轮机构的设计及仿真[J]. 机械工程师, 2012(1): 28—29.
LUO Wei-ping, WANG Jun. Design and Simulation of the Cam Mechanism Based on ADAMS/VIEW[J]. Mechanical Engineer, 2012(1): 28—29.
- [2] 王国明. 基于 ADAMS 的凸轮机构轮廓曲线设计[J]. 机电信息, 2016(6): 82—83.
WANG Guo-ming. Design of Contour Curve of Cam Mechanism Based on ADAMS[J]. Mechanical and Electrical Information, 2016(6): 82—83.
- [3] 蒋兰,曹成茂,谢承健,等. 山核桃破壳机敲击臂凸轮机构的设计与试验[J]. 机械设计, 2018, 35(6): 54—59.
JIANG Lan, CAO Cheng-mao, XIE Cheng-jian, et al. Design and Test on Cam Mechanism of Striking-arm for Pecan Shell Breaker[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(6): 54—59.
- [4] 耿雷,郭艳玲,王海滨,等. 蓝莓采摘机振动采摘装置凸轮机构的设计与试验[J]. 机械设计与制造, 2016(3): 224—227.
GENG Lei, GUO Yan-ling, WANG Hai-bin, et al. Cam Mechanism Design of Vibration Picking Device for Blueberry Picking Machine[J]. Machinery Design &

- Manufacture, 2016(3): 224—227.
- [5] 刘志刚, 方立霞, 訾珩, 等. 基于虚拟样机技术的凸轮机构的设计与研究[J]. 机械工程师, 2016(12): 102—105.
LIU Zhi-gang, FANG Li-xia, ZI Heng, et al. Application of Virtual Prototyping Technology in Cam Mechanism Design[J]. Mechanical Engineer, 2016(12): 102—105.
- [6] 韩庆红, 张锁怀, 陈香利. 基于 SolidWorks Motion 的灌装机分瓶机构凸轮曲线设计[J]. 包装工程, 2016, 37(5): 110—114.
HAN Qing-hong, ZHANG Suo-huai, CHEN Xiang-li. Design of the Cam Curve for Filling Machine Sub-bottle Mechanism Based on SolidWorks Motion [J]. Packaging Engineering, 2016, 37(5): 110—114.
- [7] 王海滨, 李志鹏, 姜雪松, 等. 基于槽型凸轮传动的蓝莓采摘机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018(9): 1—13.
WANG Hai-bin, LI Zhi-peng, JIANG Xue-song, et al. Design and Test of Blueberry Picker Based on Slot Cam Drive[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018(9): 1—13.
- [8] 肖振乾. 包装机弧面分度凸轮机构设计研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2016.
XIAO Zhen-qian. Study on the Design of Arcturation Segment Cam Mechanism for Packaging Unit[D]. Changsha: Hunan University, 2016.
- [9] 田涛, 邓双城, 杨朝岚, 等. 基于 ADAMS 软件的偏置直动尖顶推杆盘形凸轮机构设计[J]. 新技术新工艺, 2015(11): 31—33.
TIAN Tao, DENG Shuang-cheng, YANG Chao-lan, et al. Design of a Disk-shaped Cam Mechanism Based on ADAMS Software with Inverted Steeple Pad[J]. New Technology & New Process, 2015(11): 31—33.
- [10] 唐琼. 基于 ADAMS 的凸轮机构分析与动态仿真[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2010, 30(4): 22—24.
TANG Qiong. Analysis and Dynamic Simulation of Cam Mechanism Based on ADAMS[J]. Journal of Anhui University of Science and Technology(Natural Science), 2010, 30(4): 22—24.
- [11] 刘建波. 一种基于 ADAMS 的凸轮设计方法[J]. 船电技术, 2014, 34(12): 78—80.
LIU Jian-bo. A Design Method of Cam Based on ADAMS[J]. Marine Electric & Electronic Engineering, 2014, 34(12): 78—80.
- [12] 范云霄, 尤振环. 基于 ADAMS 的凸轮设计[J]. 煤矿机械, 2011, 32(2): 35—37.
FAN Yun-xiao, YOU Zhen-huan. The Cam Design Based on ADAMS[J]. Coal Mine Machinery, 2011, 32(2): 35—37.
- [13] 张焱, 黄松和. 基于 ADAMS 的凸轮连杆系统中凸轮的 CAD 系统开发及机构仿真分析[J]. 包装工程, 2018, 39(9): 171—176.
ZHANG Yi, HUANG Song-he. Development of Cam CAD System for Cam Linkage System and Simulation Analysis of Mechanism Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(9): 171—176.
- [14] 谢勇. 基于 ADMAS 的凸轮机构动力学分析[J]. 内燃机与配件, 2018(2): 42—43.
XIE Yong. Dynamic Analysis of Cam Mechanism Based on ADMAS[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2018(2): 42—43.
- [15] 邹霞, 罗大兵, 周磊. 基于 ADAMS 的阀门凸轮机构的动力学仿真[J]. 机械制造与自动化, 2018, 47(2): 151—152.
WU Xia, LUO Da-bing, ZHOU Lei. Dynamic Simulation of Valve-cam Prototype Based on ADAMS[J]. Machine Building & Automation, 2018, 47(2): 151—152.
- [16] 何海琴, 李延平, 常勇. 基于 Pro/E 和 ADAMS 的新型凸轮机构建模及仿真分析[J]. 机械传动, 2016, 40(2): 88—90.
HE Hai-qin, LI Yan-ping, CHANG Yong. Simulation Analysis and Modeling of New Type Cam Mechanism Based on Pro/E and ADAMS[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2016, 40(2): 88—90.
- [17] 赵自强. 机械原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
ZHAO Zi-qiang. Mechanical Principles[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2016.