

# 基于 MATLAB 的 S 环形无碳小车的凸轮设计研究

彭潇潇<sup>1</sup> 欧友良<sup>2</sup> 邹 权<sup>1</sup> 仇朝阳<sup>1</sup>

(1. 湖南工程学院, 湘潭 411101; 2. 国网湘潭供电公司, 湘潭 411104)

**摘 要:** 随着工程训练大赛无碳小车的发展, 比赛要求难度不断升高。如何让小车行径路径正确且能走出更远的距离, 成为参赛选手不断奋斗的目标。针对第七届全国大学生工程训练综合能力竞赛命题无碳小车的路线要求, 提出了通过凸轮控制小车转向的创新性设计。先利用三维软件建立无碳小车的三维模型, 再利用 MATLAB 软件进行仿真分析以实现各参数的最优化, 并设计凸轮, 最后制造小车实物。

**关键词:** 无碳小车; MATLAB; 凸轮控制

DOI:10.16107/j.cnki.mmte.2022.0350

## Research on Cam Design of S-Ring Carbon Free Car Based on MATLAB

PENG Xiaoxiao<sup>1</sup>, OU Youliang<sup>2</sup>, ZOU Quan<sup>1</sup>, QIU Chaoyang<sup>1</sup>

(1. Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411101; 2. State Grid Xiangtan power supply company, Xiangtan 411104)

**Abstract:** With the development of “carbon free car” in engineering training competition, the competition requirements are becoming more and more difficult. How to make the car move in the right path and go out of a longer distance has become the goal of the contestants. According to the path requirements of the proposition “carbon free car” in the 7th National College Students’ engineering training comprehensive ability competition, this paper puts forward an innovative design of car steering controlled by cam. Firstly, the three-dimensional model of the carbon free car is established by using the three-dimensional software, and then the simulation analysis is carried out by using the MATLAB software to optimize the parameters, design the cam, and finally manufacture the car.

**Keywords:** carbon free car; MATLAB; cam control

小车设计源于第七届全国大学生工程训练竞赛命题。比赛规定, 由学生设计并且制备一台可以自主控制方向的势能驱动车, 小车在行驶的过程中与地面接触, 且所需要的驱动能量全部由重力势能转换而来<sup>[1-2]</sup>。小车要求在赛道内连续稳定穿过障碍桩, 走出 S 环形轨迹<sup>[3]</sup>, 如图 1 所示。

依据上述要求, 设计提出了一种凸轮控制转向的

三轮结构小车。三轮分别为主动轮、前轮和从动轮, 如图 2 所示。凸轮可以控制前轮的转向角度, 所以凸轮设计是小车的核心技术问题。

### 1 S 环形小车及凸轮设计

采用 MATLAB 参数优化分析设计的方法仿真得到凸轮形状。需要事先确定小车前轴到后轮轴的距离  $A$  和主动轮偏距  $e_L$ , 如图 3 所示。

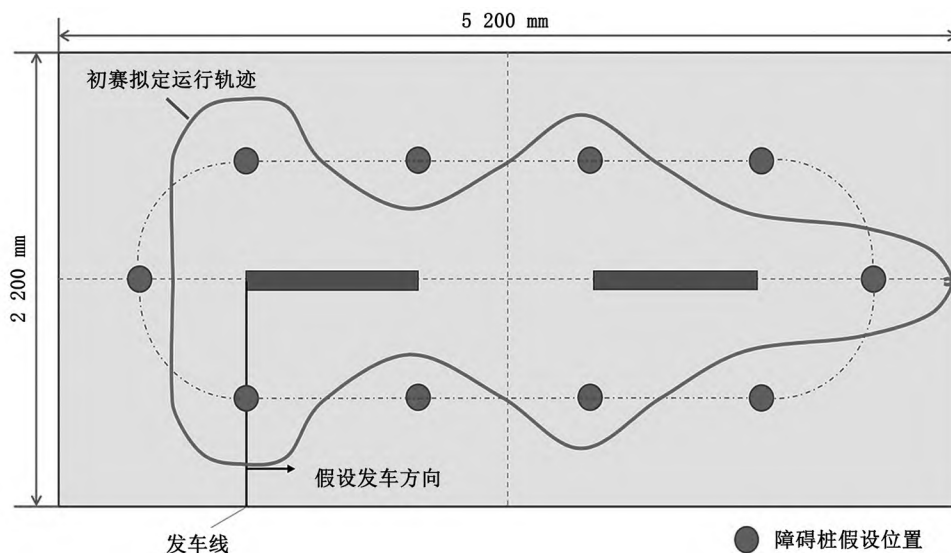


图 1 驱动车的环形运行方式示意

基金项目: 湖南工程学院青年科研项目 (XJ2112); 湖南省教育厅科学研究青年项目 (21C0569)。

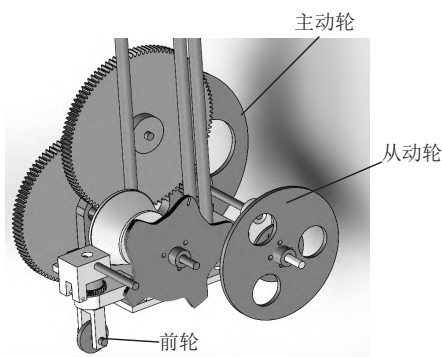


图2 小车三维模型

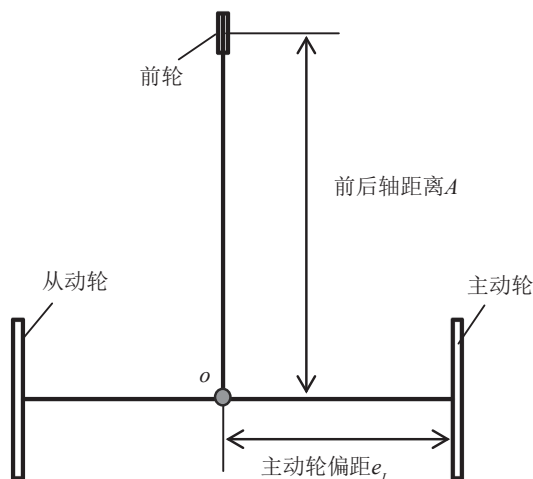


图3 小车结构简图

本文创新性地提出了设计前轮转角来推出凸轮推程的方法。由于 S 环形轨迹是中心对称, 所以只需要设计半个 S 环形的轨迹就可以设计出凸轮。首先, 按角度等分, 将凸轮分成  $N$  份, 设置凸轮每转过  $360^\circ/N$  时主动轮走过的距离为  $L_T$  (仿真中取 0.000 06)。小车起始点为  $O$ , 坐标为  $(-1.8, 0)$ , 主动轮垂直于水平线。设置主动轮偏距  $e_L$ 、节点距离  $L_T$ 、前轮转角  $\theta$ 、主动轮与各桩连线(对称轴)的夹角  $\phi$ 、前后轴距离  $A$  等参数, 则可以推算出小车各个点的行走轨迹。设  $\phi$  为主动轮转过的角度,  $x$  为  $O$  点横坐标,  $y$  为  $O$  点纵坐标,  $l$  为凸轮每转过  $360^\circ/N$  时  $O$  点经过的距离,  $l_z$  为下一步左轮前进距离,  $l_y$  为下一步右轮前进距离,  $l_q$  为下一步前轮前进距离,  $x_z$  为从动轮横坐标,  $y_z$  为从动轮纵坐标,  $x_y$  为主动轮横坐标,  $y_y$  为主动轮纵坐标,  $x_q$  前轮横坐标,  $y_q$  为前轮纵坐标。

计算的相关代码如下:

for i=1:N

```
phi(i+1)=phi(i)+l(i)*p(i);
x(i+1)=x(i)-l(i)*cos(phi(i+1));
y(i+1)=y(i)-l(i)*sin(phi(i+1));
```

```
xz(i+1)=xz(i)-lz(i)*cos(phi(i+1));
yz(i+1)=yz(i)-lz(i)*sin(phi(i+1));
xy(i+1)=xy(i)-ly(i)*cos(phi(i+1));
yy(i+1)=yy(i)-ly(i)*sin(phi(i+1));
xq(i+1)=xq(i)-lq(i)*cos(phi(i+1)+sita(i));
yq(i+1)=yq(i)-lq(i)*sin(phi(i+1)+sita(i));
```

end

拟定轨迹如图 4 所示, 凸轮每转过一圈, 小车需走出一个 S 环形, 前轮转向需经历“左转—右转—左转—右转—左转—右转—左转—右转—左转”的过程。在设计小车的前轮转角曲线时, 为了保证前轮转角曲线的曲率连续, 小车主转到右转的过渡用正弦曲线实现, 且设置小车主转和左转时的前轮转角为一常数(即小车走圆弧轨迹)。

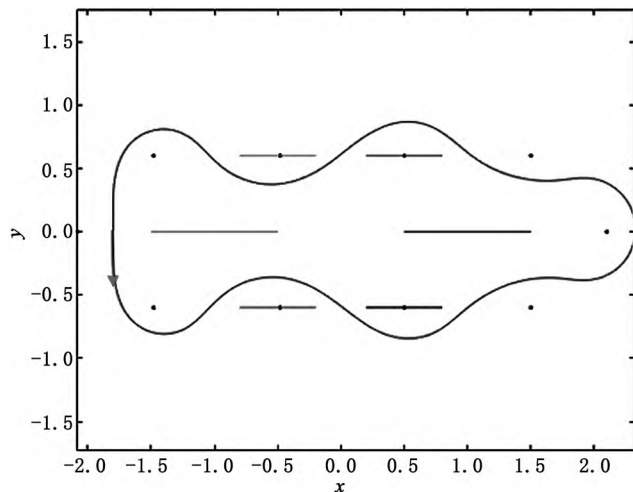


图4 小车运行拟定轨迹

要实现的目标:(1) 设置起点坐标为  $(-1.8, 0)$ , 起始方向如图 4 所示;(2) 调试出如图 4 所示轨迹, 使轨迹完全闭合;(3) 行走过程后轴中点  $O$  与各障碍物(包括极限位置)的距离尽可能保持一致, 减小发生撞桩的可能性。

为调出满足上述要求的曲线, 需要设置前轮转角曲线的几个参数: 主正弦曲线的幅值  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ , 决定了小车主转右转的幅度大小; 各段曲线节点数  $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $N_4$ 、 $N_5$ 、 $N_6$ 、 $N_7$ 、 $N_8$ 、 $N_9$ 、 $N_{10}$ , 决定小车主转和右转时走过的距离; 节点数之和与  $L_T$  的乘积, 即小车走过一个周期的距离。

通过调节以上几个参数, 可以得到当设置参数如下时, 小车的轨迹最为理想:  $N=187\ 206$ 、 $N_1=15\ 000$ 、 $N_2=3\ 000$ 、 $N_3=16\ 500$ 、 $N_4=3\ 000$ 、 $N_5=16\ 500$ 、 $N_6=0$ 、 $N_7=18\ 000$ 、 $N_8=3\ 000$ 、 $N_9=17\ 000$ 、 $N_{10}=[N-2(N_1+N_2+...$

$(N_3+N_4+N_5+N_6+N_7+N_8+N_9)]/2$ 。

前轮转角各段曲线幅值  $a=0.165$ 、 $b=-0.275$ 、 $c=0.24$ 、 $d=-0.190$  495 815、 $e=0.278$  299 408。

前轮转角确定后,通过设置凸轮偏距、基圆半径  $R_0$  以及与凸轮接触的轴的直径  $d_a$ ,即可推算出凸轮的推程,进而得到理论凸轮的形状,如图 5 所示。

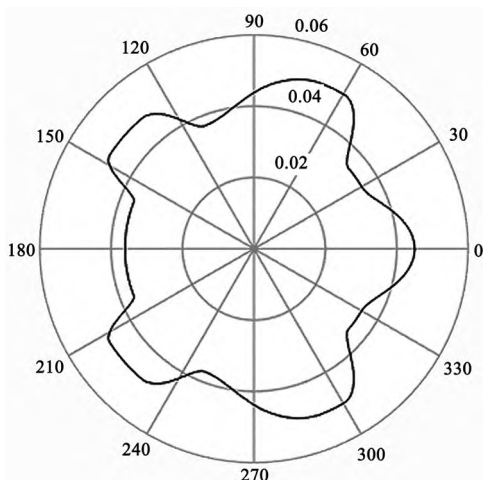


图 5 MATLAB 计算出的理论凸轮形状

自行设置好传动  $i$  后,可推得后轮直径,此时得到的直径为非整数。为了得到较为简洁直观的数据,可以微调节点数,微调后可获得前轮传动比  $i$  为 27.5 时,后轮直径为 130.00 mm,传动比较大,故选择二级传动。取  $i_1=5$ 、 $i_2=5.5$ ,齿轮模数取 1,齿数取  $z_1=z_2=20$ 、 $z_3=100$ 、 $z_4=110$ 。

理论凸轮无法直接应用到无碳小车上,除了凸轮推程最大的点,接触轴与凸轮的理论接触点和实际接触点均不在同一位置。为解决这个问题,用椭圆对理论凸轮进行包络,求得其内包络线即为所需的实际凸轮<sup>[4-5]</sup>,如图 6 所示。

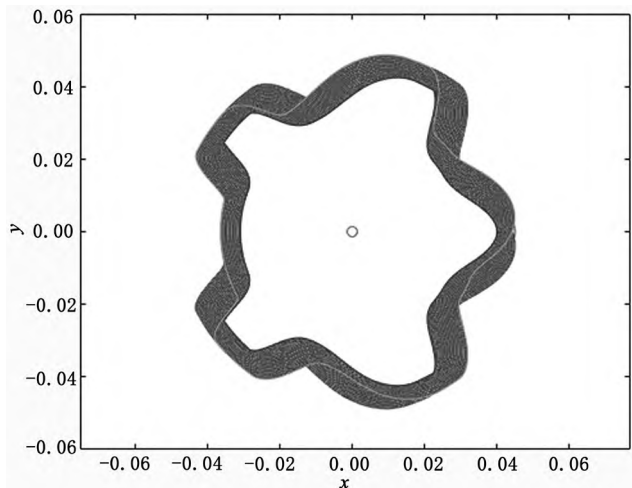


图 6 包络后的实际凸轮形状

## 2 小车各参数

经 MATLAB 仿真或自行设计得到的小车参数,如表 1 所示。

表 1 小车参数

参数名称	具体数据
传动比 $i$	27.5 (5×5.5)
齿轮模数	1
后轴小齿轮 $z_1$	20
中间轴小齿轮 $z_2$	20
中间轴大齿轮 $z_3$	100
凸轮轴大齿轮 $z_4$	110
后轮半径 $r_H/\text{mm}$	65.0
凸轮厚度 $L_0/\text{mm}$	3
前轮到凸轮左沿距离 $L_1/\text{mm}$	30
凸轮基圆半径 $R_0$ (前轮到凸轮轴距离) /mm	45
凸轮轴到后轮轴距离 /mm	72
前轮到后轮轴距离 /mm	117
主动轮偏距 $e_L/\text{mm}$	77.5
从动轮偏距 $e_L'$ (对轨迹无影响) /mm	50

## 3 轨迹仿真

将路程分成  $N$  份,从初始点开始,一步一步迭代求出下一节点的坐标,进而仿真轨迹。仿真目标为后轴中心、主动轮、从动轮和前轮的轨迹。

首先,确定小车参数。参数主要有主动轮与前轮的偏距  $e_L$ 、前后轴距离  $A$ 、小车行走过程的曲率  $p$ 、凸轮旋转一圈时的主动轮路程  $L$ 。设置小车的车身倾角为  $\phi$ ,前轮转角为  $\theta$ ,则前轮转角  $\theta=\arctan pA$ 。

将路程分为  $N$  份后,每两节点间主动轮前进的距离  $l_y$ 、每两节点间后轴中心前进的距离  $l$ 、从动轮前进的距离  $l_z$  以及前轮前进的距离  $l_q$  分别为:

$$l_y = \frac{L}{N} \quad (1)$$

$$l = \frac{l_y}{1 + pe_L} \quad (2)$$

$$l_z = \frac{l_y(1 - pe_L)}{1 + pe_L} \quad (3)$$

$$l_q = \frac{l}{\cos \theta} \quad (4)$$

其次,在确定节点间距离后,可开始轨迹仿真,以后起始点以  $O$  为例。设小车后轴中心的初始点  $O$  为  $(-1.8, 0)$ ,主动轮、从动轮和前轮的初始坐标可以根据小车结构参数求得。此时,小车车身水平向下 ( $\phi=90^\circ$ ),采用迭代进行轨迹求解的方法,有车身倾角  $\phi(i+1)$ 、后轴中心横坐标  $x(i+1)$  和后 (下转第 38 页)

#### 4 结语

文章提出了一种基于压电谐振泵的流量控制方法,通过理论仿真和实验验证了孔板阀直径和驱动激励频率对输出流量和压力的影响。结果表明,通过减小回流现象和增大流体流量,最大振幅激励频率曲线出现明显的共振峰,提高了共振泵的输出流量和压力。

(1) 通过对压电谐振泵泵腔内液体速度和流线在一个周期内的仿真研究,证明了泵腔在一个激励周期内的变化引起液体的定向流动,励磁电压频率和节流阀直径的变化会影响泵的输出流量。可见,为了获得高性能的输出性能,可以适当调整励磁电压频率和孔板阀直径。

(2) 通过模拟仿真研究,增大或减小进口孔阀直径都会产生旋涡。调整励磁电压和频率将改变入口和出口压力,可阻碍流体流动。当孔阀直径为 0.2 mm、0.6 mm、0.8 mm、1.0 mm 时,相应的驱动频率和出口最大流量分别为 38 Hz、39 Hz、43 Hz、49 Hz 和  $0.774\ 35\ \text{mL} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.954\ 97\ \text{mL} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $1.211\ 47\ \text{mL} \cdot \text{s}^{-1}$ 、

(上接第 23 页)轴中心纵坐标  $y(i+1)$  分别为:

$$\phi(i+1)=\phi(i)+l(i) \times p(i) \quad (5)$$

$$x(i+1)=x(i)-l(i) \times \cos[\phi(i+1)] \quad (6)$$

$$y(i+1)=y(i)-l(i) \times \sin[\phi(i+1)] \quad (7)$$

对上述步骤循环  $N$  次,即可求得凸轮旋转一圈,即小车走出半个 S 环形时的后轴中心轨迹。主动轮和从动轮的轨迹求解与后轴中心类似,只需将 1 替换成  $l_y$  或  $l_z$  即可。对于前轮的行走轨迹,还应考虑前轮转角的影响,仿真时需在车身倾角  $\phi$  后加上前轮转角  $\theta$  后再进行轨迹求解。

前轮、主动轮、从动轮的轨迹仿真如图 7 所示。

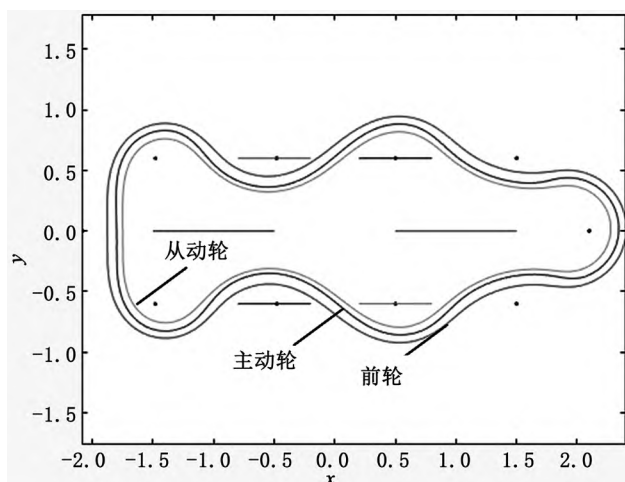


图 7 轨迹仿真

$1.344\ 85\ \text{mL} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(3) 通过相同条件下的泵流量试验,验证了仿真分析结论的正确性,同时分析了模拟流程与测试流程的偏差。

#### 参考文献

- [1] 王晓伟, 刘建亭, 路计庄, 等. Y 形流管无阀压电泵结构特性探析 [J]. 煤矿机械, 2008 (6): 84-86.
- [2] 彭太江, 杨志刚, 程光明, 等. 双腔体压电泵的设计 [J]. 光学精密工程, 2009 (5): 1078-1085.
- [3] 孙夫纯. 面向滴灌的无阀压电泵设计与试验研究 [D]. 青岛: 青岛农业大学, 2016.
- [4] 谢海峰, 吴越, 接勤, 等. 磁力弹簧式压电共振性气泵的设计 [J]. 光学精密工程, 2012 (7): 1573-1579.
- [5] 郭和平. 悬置式惯性压电共振隔膜泵的研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2015.
- [6] 李威. 圆顶复合结构无阀压电泵机理和试验研究 [D]. 长春: 长春工业大学, 2020.

#### 4 结语

本文提出利用 MATLAB 参数优化方法设计 S 环无碳小车的凸轮结构, 对小车结构创新和优化具有重要指导意义。利用本设计思路进一步进行三维运动仿真, 可为小车后期设计制作实物提供便利, 节省了大量的人力、物力和财力。试验结果表明, 设计的 S 形无碳小车能有效优化运动轨迹。

#### 参考文献

- [1] 艾孝杰, 汪朝晖, 苏磊, 等. 重力势能驱动方向控制无碳小车的设计 [J]. 机械设计与制造, 2016 (4): 157-160.
- [2] 楚博, 唐正宁, 王楨, 等. 无碳小车底板结构参数的优化分析 [J]. 机械工程师, 2015 (11): 75-77.
- [3] 全国大学生工程训练综合能力竞赛组委会. 第七届全国大学生工程训练综合能力竞赛的通知 [EB/OL]. (2020-09-16) [2022-05-08]. [http://www.gcxl.edu.cn/new/match\\_news01.html](http://www.gcxl.edu.cn/new/match_news01.html).
- [4] 韩书葵, 节茂岩, 林传熙, 等. “双 8 字”无碳小车寻迹原理研究及结构设计 [J]. 机械传动, 2019 (3): 60-64.
- [5] 龚智强, 金张良, 邢刚, 等. 8 字型无碳小车设计与分析 [J]. 巢湖学院学报, 2016 (3): 65-68.