

文章编号: 1673- 9469(2010) 04- 0059- 03

基于 N 次谐波法的供油凸轮型线的拟合

柴保明, 张 浩, 高维金, 高学攀, 谷兴海
(河北工程大学 机电学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 采用 N 次谐波法反求电控单体集成泵的凹弧凸轮型线, 利用 MATLAB 软件对凸轮型线进行曲线拟合, 并根据拟合结果对供油凸轮性能进行分析。结果表明, 在拟合过程中 N 的取值受限是造成截断误差的主要原因, 因此可以通过增大 N 值来获得较高的拟合精度, 在等速区段较大时, 循环喷油量稳定, 速度上升平稳。
关键词: 凸轮; 谐波函数; 曲线拟合
中图分类号: TK423 **文献标识码:** A

Curve fitting of profile of cam based on harmonic analysis

CHAI Bao-ming, ZHANG Hao, GAO Wei-jin, GAO Xue-pan, GU Xing-hai
(College of Mechanical and Electrical, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: The harmonic function was used to reverse the arc cam concave of EUP, MATLAB software was applied to carry out the cam profile curve- fitting, and the author analyzed the performance of fuel- supplied cam according to the fitting results. The results shows that N' s value is limited, which the main reason for the truncation error in fitting process. We can increase the N' s value to obtain a higher accuracy; when the equal velocity section is large, cycle fuel injection quantity is stable and rate of increase is also relatively stable.
Key words: cam; harmonic function; curve- fitting

柴油机供油泵主要依靠凸轮轴将高压燃油输送到各缸燃烧室, 因此作为喷油系统中的重要零件之一, 供油凸轮的轮廓形状决定着喷油规律的变化。针对凸轮型线的优化设计, 通常采用多项式法、样条函数法等拟合的方法构造升程函数, 来代替供油凸轮升程曲线进行理论分析^[1]。

N 次谐波法以 2π 为周期、用有限项的傅里叶级数拟合凸轮升程函数, 不仅能保持高阶导数的连续性, 拟合精度高, 而且能避开共振频率^[2- 3]。李友锋^[4] 等人利用 N 次谐波法对凸轮型线进行了拟合, 严建国^[4- 5] 等人进行了谐波函数供油凸轮速度特性的研究, 提出了供油凸轮的计算准则。采用 N 次谐波法对电控单体集成泵系统的油泵凸轮型线进行拟合, 利用 MATLAB 软件生成拟合曲线, 并对拟合的精度进行了分析, 为进一步研究谐波函数供油凸轮的计算方法, 提供了一种更直观的

方法。

1 谐波法拟合凸轮型线的原理

凸轮升程函数 $s(\varphi)$ 只要有适当的光滑性, 就能得到对应凸轮转角 φ 的一系列节点($\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_n$) 的凸轮升程数据 $s_0, s_1, \dots, s_n$ 。根据傅里叶级数展开和收敛定理, $s(\varphi)$ 可在 $[-\pi, \pi]$ 区间上展开为傅里叶级数^[6]

$$s(\varphi) = \frac{a_0}{2} + \sum_{j=1}^{\infty} (a_j \cos(j\varphi) + b_j \sin(j\varphi)) \quad (1)$$

系数 a_j, b_j 由下式确定

$$a_j = \frac{2}{T} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} h(\varphi) \cos(j\varphi) d\varphi \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$b_j = \frac{2}{T} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} h(\varphi) \sin(j\varphi) d\varphi \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(3)

当 $j \in [1, n]$ 时,由式(1)得

$$S_n = \frac{a_0}{2} + \sum_{j=1}^n (a_j \cos(j\varphi) + b_j \sin(j\varphi))$$

(4)

若满足 $|S_n(\varphi) - s(\varphi)| < \varepsilon$,则可以近似认为 $S_n(\varphi)$ 即为所求的升程函数 $s(\varphi)$ 。当 n 增大时,拟合精度提高,当 $n \rightarrow \infty$ 时, $S_n(\varphi) = S(\varphi)$ 。

对于系数 a_0, a_j, b_j 的求解,尽管被积函数 $s(\varphi)$ 是未知函数,但从凸轮升程表^[7] 中可获得 $s(\varphi)$ 在某些节点的函数值,可用数值积分的方法进行求解。

对 $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ 为等间隔的已知点,采用定步长复化 Simpson 求积分的方法求解出 a_0, a_j, b_j 的值。当 $N = 30$ 时,绝对误差通常就可控制在千分之一以内,达到工程精度的要求。求解积分的复化 Simpson 公式为

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{6} \sum_{i=0}^{m-1} [f(a + ih) + 4f(a + \frac{i+1}{2}h) + f(a + (i+1)h)]$$

(5)

式中 h — 步长, $h = \frac{b-a}{m}$ 。

2 凸轮型线拟合

采用 N 次谐波函数对电控单体集成泵的凸轮型线进行了曲线拟合,凸轮升程按凸轮升程表^[7] 中所列的间隔提供,控制范围 $0^\circ \sim 180^\circ$,凸轮型线的基本参数如下:凸轮基圆直径为 $D_t = 34\text{mm}$,凸轮宽度 $L_t = 18\text{mm}$,滚轮直径 $D_g = 22\text{mm}$,滚轮宽度 $L_g = 17.5\text{mm}$,最大升程 $h = 12\text{mm}$,对应的凸轮转角为 63° ,并通过 MATLAB 软件编程实现拟合如图 1 所示。

图 2 为拟合误差结果,除少数几个点之外,其他点都在误差允许范围内。原因可能是 N 的取值有限,出现了截断误差。虽然理论上项数 N 越大,精度越高,但由于在求解的过程中,需要采用数值积分方法近似求解,因此随着 N 的增大,积分的误差会增大,导致拟合结果与实际曲线的误差增大;另外升程表的取值也是误差出现的一个重要原因。

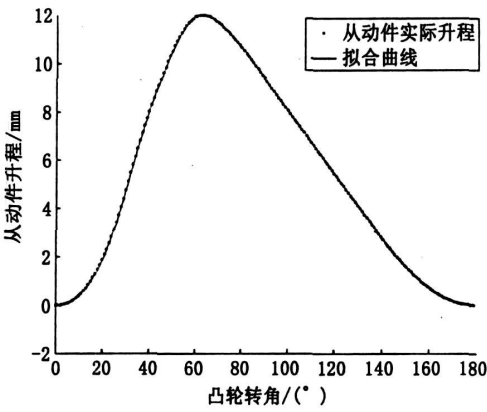


图1 凸轮型线拟合图
Fig.1 Cam profile fitting

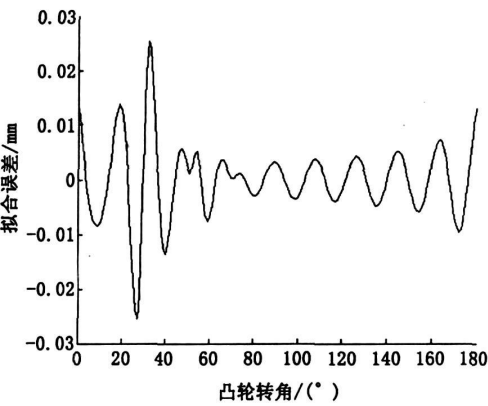


图2 凸轮型线拟合误差分析
Fig.2 Error analysis of cam profile fitting

3 供油凸轮性能分析

为了便于研究该类凸轮机构运动规律的共同特性,我们把输入量角度 φ , 位移 h 、速度 v 、加速度 a 等运动参量进行无因次处理,同时用大写字母表示这些无因次量^[7]。

$$\begin{cases} \phi = \frac{\varphi}{\varphi_h} \\ S = \frac{s}{h} \end{cases}$$

(6)

从数学理论的角度出发,只要满足狄氏条件,任何曲线均能展开成傅里叶级数的形式,故供油凸轮的滚轮体的速度、加速度、跃度分别可表示为

$$\begin{cases} V = \frac{dS}{d\phi} = \frac{v}{h/\varphi_h} = -\frac{\varphi_h}{h} \sum_{j=1}^n j [a_j \sin(j\varphi) - b_j \cos(j\varphi)] \\ A = \frac{d^2 S}{d\phi^2} = \frac{a}{h/\varphi_h^2} = -\frac{\varphi_h^2}{h} \sum_{j=1}^n j^2 [a_j \cos(j\varphi) + b_j \sin(j\varphi)] \\ J = \frac{d^3 S}{d\phi^3} = \frac{j}{h/\varphi_h^3} = \frac{\varphi_h^3}{h} \sum_{j=1}^n j^3 [a_j \sin(j\varphi) - b_j \cos(j\varphi)] \end{cases} \quad (7)$$

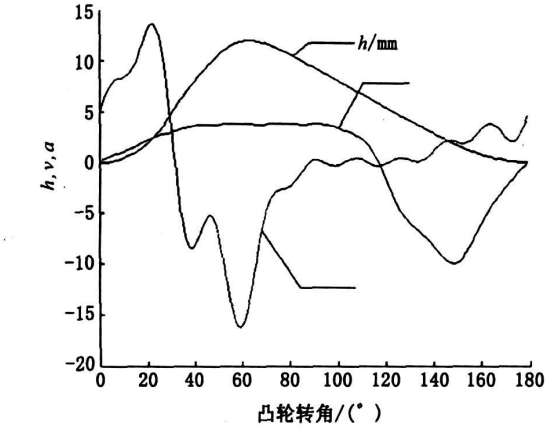


图3 凸轮型线性能分析图

Fig.3 Performance of analysis cam profile fitting

利用MATLAB软件对位移 h 、速度 v 、加速度 a 的变化规律进行拟合, 由图 3 可以看出, 当凸轮参照转速为 1 500rpm、凸轮转角为 33° 时, 速度达到最大值; 在上升期, 等速度区段较大, 即凸轮工作段比较大, 此时, 速度上升比较平稳, 循环喷油量比较稳定, 同时加速度最大值也在一定的范围之

内; 在下降期加速度变化较小, 从动件运行平稳、冲击小。

4 结论

1) N 次谐波法对凸轮型线所规定的速度和加速度实现了定量控制, 可以计算出准确的谐波函数供油凸轮型线。

2) 凸轮升程表的间隔角度影响着 N 的取值, 拟合过程中 N 的取值受限是造成截断误差的主要原因, 因此可以适当地增大 N 值来获得较高的拟合精度。

3) MATLAB 软件编程实现了凸轮型线拟合, 可以直观的看出凸轮机构运动规律和特性, 从而为凸轮优化提供了理论依据。

参考文献:

[1] 李友锋. N 次谐波法拟合供油凸轮型线的讨论[J]. 内燃机车, 2006(4): 15- 17.
[2] 缪雪龙, 张毅华. 数值计算在凸轮型线分析中的应用[J]. 内燃机燃油喷射和控制, 2000(1): 17- 18.
[3] 吴 勤. 喷油泵凸轮型线的拟合[J]. 拖拉机与农用运输车, 2001(3): 26- 27.
[4] 严国建, 刘永长, 胡继泽. 谐波函数供油凸轮速度特性的研究[J]. 内燃机学报, 1992(1): 36- 40.
[5] 石永刚, 吴洋芳. 凸轮机构设计与应用创新[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
[6] 杨东明. 凸轮机构反求设计、误差分析与检测方法的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2002.
[7] 葛正浩, 丁英杰, 徐 峰. 平面凸轮精密测量及运动规律反求设计新方法[J]. 机械设计与研究, 2008(1): 32- 35.

(责任编辑 马立)

(上接第 54 页)

5 结论

乡宁矿区煤储层基础地质条件较好, 具体表现为主要煤层空间展布均匀、累计厚度大、煤质好、煤级高, 有利于煤层气生成。

参考文献:

[1] IU D M, YAO Y B, TANG D Z, et al. Coal reservoir characteristics and coalbed methane resource assessment in Huainan and Huabei coalfields, Southern North China [J]. International Journal of Coal Geology, 2009, 79: 97- 112.
[2] ANG S H, WANG Y B, ZHANG D H. A comprehensive appraisal on the characteristics of coal- bed methane reservoir in Turpan- Hami basin[J]. Journal of China University of

Mining & Technology, 2007, 17(4): 0521 - 0525.
[3] COTT A R. Hydrogeologic factors affecting gas content distribution in coal beds[J]. International Journal of Coal Geology, 2002, 50: 363- 387.
[4] ARETH R L CHALMERS, BUSTIN R M. On the effects of petrographic composition on coalbed methane sorption[J]. International Journal of Coal Geology, 2007, 69: 288- 304.
[5] USTIN R M, CLARKSON C R. Geological controls on coalbed methane reservoir capacity and gas content[J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 38: 3- 26.
[6] AMBERSON M N, BUSTIN R M. Coalbed methane characteristics of the Gates Formation coals, northeastern British Columbia: effect of maceral composition[J]. American association of petroleum geologists bulletin, 1993, 77: 2062- 2076.

(责任编辑 马立)