

凸轮-从动杆机构动态优化设计分析

张会明

(机械工程系)

摘要 从从动杆动态响应失真最小的要求出发,将基于最优理论的 ITSE 准则用于高速凸轮-从动杆机构的动态设计,探讨了该机构主要设计参数最优设计的变化规律,为凸轮-从动杆机构的设计提供了有益的依据^[1]。

关键词 凸轮机构;优化设计;主要参数

分类号 TH112.2

0 引言

凸轮-从动杆机构传统的设计方法是静态设计,它认为从动杆的运动完全由凸轮型线控制^[1]。然而,由于凸轮-从动杆机构实际上是一个弹性系统,随着凸轮转速的升高,运动件惯性力的不断增大,必将激起机构的振动并产生一定大小的动负载和动变形,使从动杆的运动规律发生畸变,严重时,甚至会使凸轮和从动杆之间的传动链脱开,产生冲击和噪音,影响机构工作的可靠性和使用寿命^[1]。为此,人们从两个方面进行了大量的研究:一方面,对园弧凸轮型线进行了改进设计,研制了多种函数凸轮型线并成功地应用于各类凸轮机构的设计中;另一方面,将凸轮机构看作为弹性系统,建立动力学计算模型和计算方法,并在综合考虑多种因素(诸如机构工作的平稳性、动态品质、润滑特性、接触应力等)影响的基础上,开展了动态优化设计和计算机辅助设计(CAD)的研究^[1]。本文在建立凸轮-从动杆机构动力学数学模型的基础上,探讨了从动杆动态响应失真最小时,凸轮机构主要设计参数变化的规律,为凸轮机构的设计提供了理论依据^[1]。

1 凸轮机构单自由度动力学模型

凸轮-从动杆机构的单自由度动力学模型如图 1 所示^[1]。它是由一个集中质量、二个弹簧和一个阻尼器组成^[1]。该模型考虑了从动杆的柔性,因而更接近于高速凸轮-从动杆机构的实际情况^[1]。

当量质量的运动微分方程为

收稿日期:1997-04-17^[1] 张会明,男,1944 年生,副教授^[1]

$$M \omega^2 \frac{d^2 x}{d\alpha^2} = k_f I_x - b \omega \frac{dx}{d\alpha} - K_s (x(\alpha) + f_0) - F_g(\alpha) \quad (1)$$

式中: M 为凸轮-从动杆机构的当量质量(kg),

$M = m_p + \frac{m_s}{3} + m_x$ (13) 其中 m_p 为凸轮机构在从动杆侧的当量输出质量(kg);

m_s 为从动杆回位弹簧质量(kg);

m_x 为除从动杆回位弹簧外,从动杆组所有零件的质量和(kg);

ω 为凸轮轴转动角速度(rad/s);

K_f 为从动杆刚度;

K_s 为从动杆回位弹簧刚度;

$x(\alpha)$ 为从动杆升程(m);

$h(\alpha)$ 为凸轮升程(m);

f_0 为从动杆回位弹簧予压缩量(m);

b 为机构的当量阻尼系数;

$F_g(\alpha)$ 为负载阻力(N),其值由凸轮机构的具体应用来决定;例如,该机构用于内燃机配气机构时, $F_g(\alpha)$ 为气缸内燃气对气门的作用力(13)

$$I_x = \begin{cases} h(\alpha) - x(\alpha), & \text{当 } h(\alpha) - x(\alpha) > 0 \\ 0, & \text{当 } h(\alpha) - x(\alpha) \leq 0 \end{cases} \quad (13)$$

初始条件为
$$h|_{\alpha=\alpha_0} = x|_{\alpha=\alpha_0} = \frac{dh}{d\alpha}|_{\alpha=\alpha_0} = \frac{dx}{d\alpha}|_{\alpha=\alpha_0} = 0 \quad (13)$$

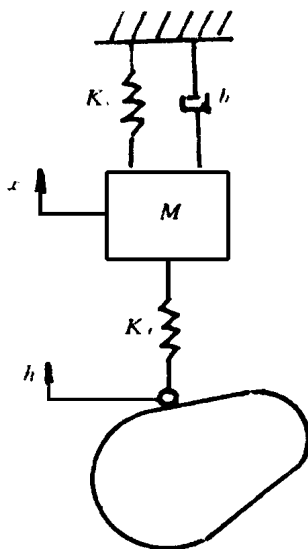


图1 凸轮-从动杆机构单自由度模型

2 从动杆动态响应及误差

对式(1) 取拉氏变换,并考虑初始条件,得到

$$X(s) = [K_f H(s) - F_g(s)] / (M \omega^2 s^2 + b \omega s + K_f + K_s) \quad (2)$$

由于凸轮机构在不同应用时, $F_g(s)$ 有不同的表达式,为不失一般性,可不考虑 $F_g(s)$ 的作用,这时,式(2) 变为

$$\frac{X(s)}{H(s)} = \frac{k_m \omega^2}{s^2 + 2 \xi \omega s + \omega_n^2} \quad (3)$$

式中 系统增益 $k_m = K_f / (K_f + K_s)$;

无阻尼自然频率 $\omega_n = \sqrt{(K_f + K_s) / M} \omega$, (Hz);

阻尼比 $\xi = b / [2 \sqrt{M(K_f + K_s)}] \quad (13)$

由式(3),可以得到凸轮机构从动杆对凸轮升程单位阶跃输入的响应为

$$X(t) = k_m \left[1 - (1 - \xi)^{-\frac{1}{2}} e^{-\xi \omega_n t} \sin(\omega_n t + \tan^{-1}(\xi^{-1} \sqrt{1 - \xi})) \right] \quad (t \geq 0) \quad (4)$$

式中 ω_n — 阻尼自然频率, $\omega_n = \omega \sqrt{1 - \xi}$

定义相对误差为

$$e(t) = [x(\infty) - x(t)]/x(\infty) \quad (5)$$

式(4)代入式(5), 得到

$$e(t) = (1 - \xi)^{-\frac{1}{2}} e^{-\xi \omega_n t} \sin[\omega_n t + \operatorname{tg}^{-1}(\xi^{-1} \sqrt{1 - \xi})] \quad (t \geq 0) \quad (6)$$

3 动态性能最优指标

为了探讨凸轮机构从动杆动态响应失真最小时, 主要参数的变化规律, 可采用 ITSE 性能指标, 即时间乘误差平方积分准则, 它既能表示机构偏离稳态值的误差为最小(性能最优)又便于用解析式表示^[13]

由 ITSE 性能指标, 当凸轮机构的从动杆动态响应失真最小时, 积分 J 值最小

$$J = \int_0^{\infty} t e^2(t) dt \quad (7)$$

将式(6)代入式(7)得:

$$J = \frac{1}{\omega_n^2} \left(\xi + \frac{1}{8\xi} \right) \quad (8)$$

为求出使 J 值极小的最佳 ξ 值, 将式(8)对 ξ 求导数

得到 $\frac{dJ}{d\xi} = \frac{1}{\omega_n^2} \left(2\xi - \frac{1}{4\xi} \right) = 0$, 从而得 $\xi = 0.595$ ^[13]

4 凸轮机构主要设计参数最佳设计的变化规律

将 ω_n 、 ξ 值代入式(8), 得到

$$J = \frac{M \omega_n^2}{K_f + K_s} \left[\frac{b^2}{4M(K_f + K_s)} + \frac{M(K_f + K_s)}{2b^2} \right] = \frac{b^2 \omega_n^2}{4(K_f + K_s)^2} + \frac{M^2 \omega_n^2}{2b^2} \quad (9)$$

由式(9), 可见

(1) 增大从动杆刚度 K_f 和从动杆回位弹簧刚度 K_s 能使 J 值减小, 对减小从动杆动态响应失真和凸轮机构的振动有利^[13]

(2) 减小凸轮机构的当量质量 M 能使 J 值减小, 对改善机构的动态性能有利^[13]

(3) 凸轮机构的当量阻尼系数 b 对动态性能的影响不是单调的, 但 b 值与阻尼比 ξ 的关系是单调的, 调节 b 值, 可使 $\xi = 0.595$, 即当凸轮机构的其它参数确定之后, b 值存在一最佳值, 可使 J 值取得最小值^[13]

参 考 文 献

- 1 绪方胜彦 19 现代控制工程 19 北京: 科学出版社, 1984
- 2 黄锡凯 19 机械原理 19 北京: 人民教育出版社, 1980

Analysis of Dynamic Optimal Design for Cam-Follower Mechanism

Zhang Huiming

(Mechanical Engineering Department)

Abstract In order to meet the requirement of minimum distort of follower dynamic response, the ITSE rule based on optimum theory is used to dynamic design of high speed cam-follower mechanism in this paper. The Change law of main parameters of optimally designing the mechanism is discussed. It provides a valuable basis for designing the high speed cam-follower mechanism.

Key words cam mechanism; optimal design; main parameters

(上接第22页)

参 考 文 献

- 1 J D Proakis. Digital Communications. New York: McGraw-Hill, 1989
- 2 J S Birt. Error performance of binary NCFSK in the presence of multiple tone interference and system noise. IEEE Trans. on Communications. 1985, 33(3) : 203~209
- 3 K K Chawla, D V Sarwate. Upper bounds on the probability of error for M-ary orthogonal signaling in white Gaussian noise. IEEE Trans. on Information Theory. 1990. 36(5) : 627~633
- 4 I S Gradshteyn, I M Ryzhik. Table of Integrals, Series, and products. New York: Academic. 1980

Error Probability Analysis of MOK Signals in the Presence of Arbitrary Gaussian Interference

Wang Bingrong

Deng Wenhua

(Electrical Engineering Department) (Economy Management Department)

Abstract: A general error probability analysis for the noncoherent M-ary orthogonal keyed(MOK) signals with square envelope detector is presented in this paper. The derived results can be used for the performance evaluation of the systems with MOK modulation and square envelope detection.

Key words: M-ary orthogonal keying; modulation/demodulation; noncoherent receiver; error probability