浙江科技学院学报,第25卷第3期,2013年6月
Journal of Zhejiang University of Science and Technology
Vol.25 No.3, Jun. 2013

doi: 10.3969/j.issn.1671-8798.2013.03.007

等共轭曲率摆动凸轮传动机构设计原理

刘鹄然
(浙江科技学院 机械与汽车工程学院,杭州 310023)

摘 要: 以二阶密切作为起点来论述高阶密切思路,将微分几何的"切触"(即高阶密切)的概念从曲面加工、齿轮啮合、轴承滚道设计和轧辊辊形设计,推广到凸轮机构;并且研究了一种具有高阶凸-凹接触的凸轮传动,使凸轮的平稳性、接触强度和润滑性能都有较大幅度的提高,具有结构紧凑、体积小、噪音低、寿命长等显著优点。

关键词: 凸轮;切触;曲率

中图分类号: TG61;TG659.022 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-8798(2013)03-0190-04

Design principle for cam mechanism with equal conjugate curvature

LIU Huran
(School of Mechanical and Automotive Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The concept of the differential geometry oscillatory(i.e., high-end close) has been applied from surface machining, gear meshing, bearing raceway design and roll roller-shaped design, into the cam mechanism. A higher order convex-concave contact cam devise is presented, which has a more substantial increase in strength and lubrication properties, with a compact structure, small size, low noise, long life and other significant advantages.

Key words: cam; contact; curvature

将微分几何的"切触"(即高阶密切)概念应用到曲面、齿轮、凸轮、轴承滚道和轧辊辊形设计,研究一种具有高阶凸-凹接触的啮合传动,从而使凸轮的平稳性、接触强度和润滑性能都有较大幅度的提高。

密切理论有4个显著特点:一是不同的接触原理,体现机械与力学较有逻辑结合;二是能较大幅度减少齿轮、凸轮、轴承滚道和轧辊的接触应力,实现高承载力与低自重比;三是可延伸至其他学科如啮合理论、数控加工、刀具、接触力学、流体动压润滑力学等;四是今后可能发展到高阶密切弹塑性接触力学、高阶密切热弹性接触力学、高阶密切接触动力学、高阶密切弹性流体动压、高阶密切热弹性流体动压润滑、

收稿日期: 2012-12-18

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y106047,Y1080093)

作者简介: 刘鹄然(1953—),男,江西省南城人,教授,博士,主要从事机械传动研究。

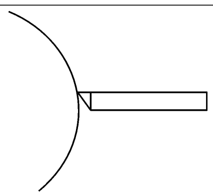
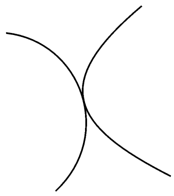
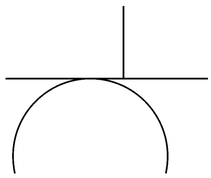
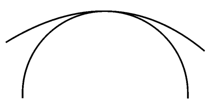
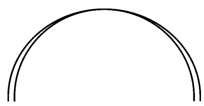
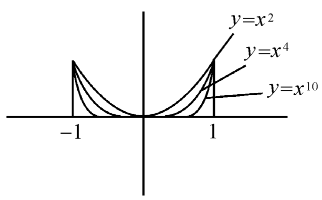
考虑表面摩擦的弹塑性接触力学、热弹性接触力学、接触动力学、弹性流体动压及热弹性流体动压润滑等。密切理论研究的初衷是研究高承载力与低自重比凸轮。探讨不同的接触原理，从本质上改进凸轮啮合，减少接触零件磨损，提高寿命。如果普遍采用，可减少机器重量。因此，具有理论与实践意义。

1　凸轮接触的类型

凸轮接触类型有尖-尖接触、凸-凸接触、凸-平接触、凸-凹接触、等曲率接触及三阶接触，具体见表 1。

表 1　凸轮接触类型

Table 1　Kinds of contact between cam and follower

名称	图示	举例应用
尖-尖接触		尖顶从动件凸轮
凸-凸接触		外啮合齿轮 外啮合凸轮
凸-平接触		平底凸轮 齿轮齿条啮合
凸-凹接触		内啮合齿轮 内凹圆弧凸轮 尼曼蜗杆 圆弧齿轮
等曲率接触(二阶)		等共轭曲率凸轮 等共轭曲率齿轮[1-2] 等曲率滚动轴承的滚珠与滚道 等共轭曲率钢管矫直机的矫直轧辊 四坐标数控加工[3]
三阶接触(高阶接触)		三阶啮合齿轮[4] 三阶接触的滚动轴承[5] 五坐标数控加工的三阶接触

2　欧拉-沙瓦里方程与等共轭曲率条件

设 $k^{(1)}$，$k^{(2)}$ 为凸轮与从动件曲率，$k^{(1)}=-\frac{1}{\rho^{(1)}}$，$k^{(2)}=-\frac{1}{\rho^{(2)}}$，$\rho^{(1)}$ 和 $\rho^{(2)}$ 为两轮廓廓曲率半径。由从动件与凸轮啮合的欧拉-沙瓦里方程：

$$\frac{1}{\rho^{(0)}-r}-\frac{1}{\rho^{(i)}-r}=\frac{1}{r_i}\frac{1}{\sin\alpha}\quad i=1,2$$

式中：$\rho^{(0)}$ 为从动件齿廓曲率半径；$\rho^{(i)}$ 为对应大小凸轮齿廓曲率半径；r_i 为对应大小凸轮节圆半径；r 为啮

合点到节点的距离。解得：

$$(\rho^{(i)}-r)=\frac{(\rho^{(0)}-r)\sin\alpha}{\left[1-\frac{1}{r_i}(\rho^{(0)}-r)\right]}$$

当 $\rho^{(0)}-r=0$，$\rho^{(i)}-r=0$，$i=1,2$，即两齿廓有相同曲率。由此可见，要使两齿廓诱导曲率为 0，从动件齿廓曲率中心必过节线。对于齿轮与齿轮：

$$\sin\left(\frac{1}{p_1-r}-\frac{1}{p_2-r}\right)=\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right)$$

当 $p_1=r$，p_2 必须等于 r，$p_1=p_2$。

3 凸轮与从动件的瞬心线

齿轮与齿条的瞬心线相当于凸轮与直动从动件的瞬心线。齿轮与齿轮的瞬心线相当于凸轮与摆动从动件的瞬心线。

齿轮的瞬心线：在啮合原理中，把瞬时回转中心 p 叫啮合节点，当传动比不变时，啮合节点不动。

每个齿轮的瞬心线，就是瞬时回转中心在与该齿轮固连的坐标系中的轨迹，即节圆。

$$i_{12}=\frac{\omega_1}{\omega_2}=\frac{r_1}{r_2}$$

中心距： $$A=r_1+r_2$$

对于内啮合， $$A=r_2-r_1$$

齿轮 1 的瞬心线，即节圆齿轮 $$r_1=\frac{A}{i_{12}-1}=C$$

第 2 个齿轮的瞬心线方程 $$r_2=A+r_1=A\,\frac{i_{12}}{i_{12}+1}$$

凸轮与直动从动件的相对运动可视为变速齿轮齿条运动。凸轮与摆动从动件的相对运动可视为变速齿轮-齿轮运动。对于传动比是变数时，啮合节点沿中心线移动，瞬心线是外圆曲线。欲使凸轮与从动件等共轭曲率啮合，只要取从动件瞬心线的渐伸线为从动件轮廓。

$$i_{12}=\frac{\omega_1}{\omega_2}=\frac{r_1}{r_2}=f(\phi_1)$$

$$A=r_2-r_1$$

$$r_1=\frac{A}{f(\phi_1)-1}$$

第 2 个齿轮的瞬心线方程 $$r_2=A+r_1=A\,\frac{f(\phi_1)}{f(\phi_1)+1}$$

$$i_{12}=\frac{\omega_1}{\omega_2}=\frac{\mathrm{d}\phi_1}{\mathrm{d}t}\div\frac{\mathrm{d}\phi_2}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}\phi_1}{\mathrm{d}\phi_2}$$

$$\phi_2=\int_0^{\phi}\frac{\mathrm{d}\phi_1}{i_{12}}=\int_0^{\phi}\frac{\mathrm{d}\phi_1}{f(\phi_1)}$$

第 2 个齿轮的瞬心线方程可写成 $$r_2=A\,\frac{f(\phi_1)}{f(\phi_1)+1}$$

$$\phi_2=\int_0^{\phi}\frac{\mathrm{d}\phi_1}{f(\phi_1)}$$

摆动从动件凸轮机构相当于变转速比内啮合齿轮。

$$f(\phi_1)=i_{12}=\frac{\omega_1}{\omega_2}=\frac{\mathrm{d}\phi_1}{\mathrm{d}\phi_2}=\frac{1}{\mathrm{d}\phi_2/\mathrm{d}\phi_1}$$

取任意运动规律如等加速等减速运动规律的函数表达式代入就可求出凸轮和从动件的轮廓。与以往不同的是，凸轮与从动件的轮廓是同时决定的，互为共轭。

4　按等速运动时凸轮与从动件的等曲率条件

特殊的,当从动件按等角速度运动时

$$\phi_2 = h\frac{\phi_1}{\Phi}$$

$$\frac{\mathrm{d}\phi_2}{\mathrm{d}\phi_1} = \frac{h}{\Phi} = C$$

这时凸轮与从动件的瞬心线都是圆周。欲使凸轮与从动件啮合,从动件轮廓必须是瞬心线的渐伸线,而圆的渐伸线是渐开线。所以,将渐开线基圆做凸轮的基圆,该基圆上的渐开线做凸轮轮廓。将摆动传动件的节圆做基园,该基圆上的渐开线做摆动从动件的轮廓。等共轭曲率凸轮的推程和回程运动见图 1 和图 2。

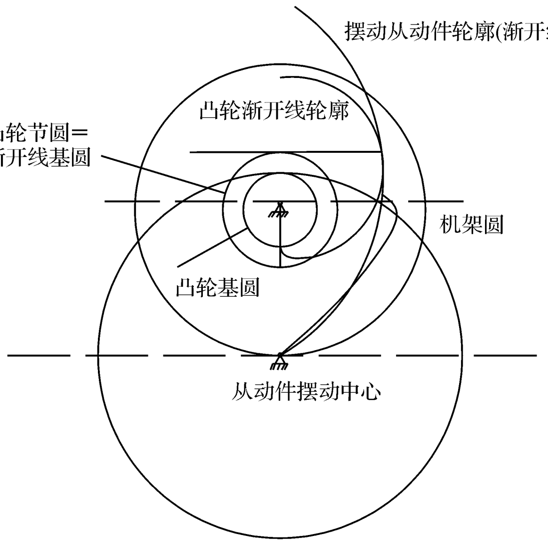


图 1　等共轭曲率凸轮的推程运动

Fig. 1　Push stroke of cam mechanism with equal curvature

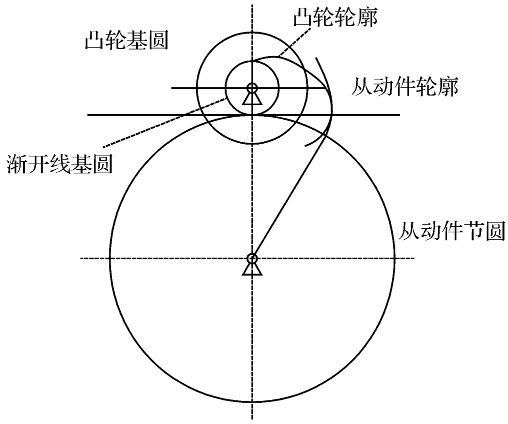


图 2　等共轭曲率凸轮的回程运动

Fig. 2　Returned stroke of cam mechanism with equal curvature

5　结　语

本研究提出了新的凸轮设计理念。一般凸轮设计从动件的形状是事先固定的,而本研究的从动件的形状是按等共轭曲率的原理随运动规律的不同而不同,且处处曲率变化,以适应最佳接触条件。取任意运动规律如等加速等减速运动规律的函数表达式代入就可求出凸轮和从动件的轮廓。与以往不同的是,凸轮与从动件的轮廓是同时决定的,互为共轭。作为抛砖引玉,本研究已经证明了对等速运动、等共轭凸轮是可以实现的。

参考文献:

[1]　Komori T, Arga Y, Nagata S. A new gear profile having zero relative curvature at many contact points[J]. Journal of Mechanical Design,1990,112(3):430-436.

[2]　张光辉,许洪斌,龙慧.分阶式双渐开线齿轮[J].机械工程学报,1995,31(6):47-52.

[3]　Feng X Y, Wang A Q, Lee L. Study on the design principle of the Logix gear tooth profile and the selection of its inherent basic parameters[J]. The International Journal of Advanced Manufacture Technology,2004,24(11/12):789-794.

[4]　Feng X Y, Wang A Q, Lee L, et al. Study for the forming principle of Logix gear tooth profile and its mesh performance[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2002,41(S1):91-92.

[5]　Dooner D B. On the three laws of gearing[J]. Journal of Mechanical Design,2002,124(4):733-744.