

摆动从动件圆柱凸轮凹槽轮廓线的3D展开法*

陈俊华 辛 勇

【摘要】 通过分析摆动从动件圆柱凸轮加工过程和工作状况,指出了常用的圆柱凸轮凹槽轮廓线平面展开法在设计和加工中存在的误差,提出了按圆柱曲面展开进行圆柱凸轮凹槽轮廓线设计的3D曲线展开法,并在此基础上运用坐标变换,对摆动从动件的不同运动关系表达式制定了一套有效的设计和加工方案。

关键词: 摆动从动件 圆柱凸轮 数控加工 曲线展开法

中图分类号: TP391.73 **文献标识码:** A

Research of Cylindrical Cam with Oscillating Follower 3D Spread

Chen Junhua Xin Yong

(Nanchang University)

Abstract

Based on the research and analysis of running condition and manufacture process of cylindrical cam with oscillating follower, as the widely used plane expansion method for cylindrical cams trough-outline in the design and manufacture processes, the inaccuracy was pointed out. To improve the current plane expansion method, a new system named "3D curve expansion" was proposed for cylindrical cam trough-outline design. This system takes advantage of the expansion on cylindrical curvilinear surface and coordinates transformation of motion curves based on the movement of oscillating follower. By applying this "3D curve expansion" system to the cylindrical cam design and manufacturing, a set of effective methodology was established.

Key words Oscillating follower, Cylindrical cam, NC programming, Curve expansion

引言

根据凸轮形状的不同一般分为盘形凸轮和圆柱凸轮两大类,由于盘形凸轮为平面曲线轮廓,设计、制造相对简单,而圆柱凸轮为空间轮廓相对复杂,特别是摆动从动件圆柱凸轮的设计、制造尤为困难。为此对摆动从动件圆柱凸轮进行分析和研究。

圆柱凸轮一般又可分为移动从动件圆柱凸轮和摆动从动件圆柱凸轮2种类型,很多资料中都对圆柱凸轮的数控加工进行了分析和研究,大多是将圆柱表面展开成平面图形(亦称位移图),按展开的平面图形进行设计和加工,但这种方法仅适用于移动

从动件圆柱凸轮凹槽的设计和加工,而不能用于摆动从动件圆柱凸轮凹槽的设计和加工。

1 摆动从动件圆柱凸轮的加工方案分析

图1为摆动从动件圆柱凸轮机构图。 ψ 为摆杆的摆角, l 为摆杆长度, r 为滚子半径, φ 为圆柱凸轮转角, B 为滚子宽度, a 为摆杆旋转轴到圆柱凸轮旋转轴的距离, R 为圆柱凸轮外圆半径。

对圆柱凸轮凹槽的加工一般采用范成法,即用相同形状和尺寸的刀具替代圆柱凸轮机构的从动件(滚子),以数控的形式模仿圆柱凸轮与从动件(滚子)之间实际工作时的相对运动关系,从而加工出符

收稿日期:2006-01-18

* 国家自然科学基金资助项目(项目编号:50645032)、浙江省自然科学基金资助项目(项目编号:Y105686)和教育部科技研究重点资助项目(项目编号:03066)

陈俊华 南昌大学机电工程学院 博士生 副教授(浙江大学宁波理工学院),330029 南昌市

辛 勇 南昌大学教务处处长 教授 博士生导师

合设计要求的圆柱凸轮。

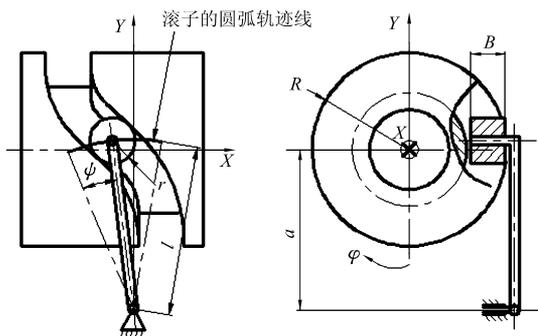


图1 摆动从动件圆柱凸轮机构结构简图

Fig. 1 Structure of cylindrical cam with oscillating follower

若按展开的平面曲线进行设计和加工,并不能满足摆动从动件圆柱凸轮凹槽理论轮廓线的设计及凹槽范成法加工要求,因为展开的平面曲线是二维曲线,采用数控编程加工为二联动,加工过程中,仅存在2个联动运动:圆柱凸轮工件的转动;刀具沿圆柱凸轮转动轴方向的移动。而摆动从动件圆柱凸轮凹槽的范成法加工,必须至少存在3个运动(见图1):圆柱凸轮工件的 φ 向转动;刀具沿圆柱凸轮轴方向的X向运动和沿其径向的Y向运动,这2个运动合成范成从动件(滚子)的圆弧摆动。因此按平面展开必定存在如下问题:

(1)从动件(滚子)的干涉问题:二联动加工中,刀具替代圆柱凸轮机构的从动件(滚子),以数控的形式进行加工时,刀具中心线始终通过圆柱凸轮旋转轴;而摆动从动件圆柱凸轮机构的工作过程中,从动件(滚子)的中心线在大多数情况下会偏离圆柱凸轮旋转轴,如图2所示,在黑色区形成干涉。

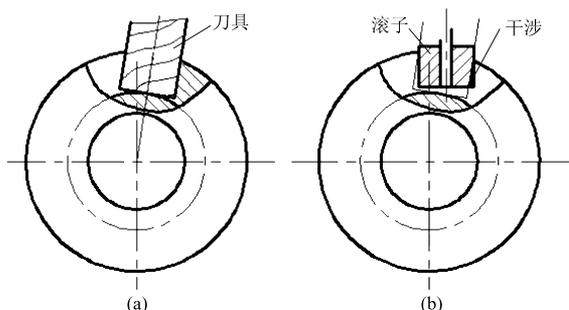


图2 从动件的干涉示意图

Fig. 2 Interference of the follower

(a) 刀具加工状态 (b) 滚子工作状态

(2)运动轨迹误差的干涉问题:在加工中圆柱凸轮工件旋转,刀具与起始位置的夹角等于圆柱凸轮的转角,而实际机构工作过程中,由于摆动从动件(滚子)偏离圆柱凸轮旋转轴,因此它与起始位置的夹角不等于圆柱凸轮的转角,如图3所示,当圆柱凸轮工件的转角为 50° 时,刀具与起始位置的夹角为

50° ,而机构运转到该位置时,由于滚子的摆动偏离中心线,滚子上部中心与起始位置的夹角不等于 50° ,这将造成设计的从动件运动轨迹与实际运动轨迹之间产生较大的设计误差。

平面展开法用于摆动从动件圆柱凸轮凹槽的设计和加工,在工作过程中必然存在从动件运动轨迹误差,甚至发生“卡死”现象。

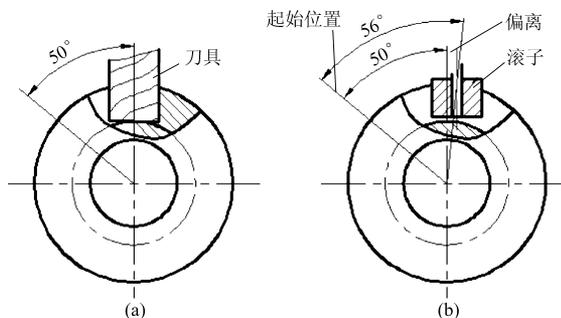


图3 从动件的偏离示意图

Fig. 3 Deviation of the follower

(a) 刀具位置 (b) 滚子位置

由于摆动从动件(滚子)本体的运动轨迹为一段平面圆弧,而同时又相对圆柱凸轮产生旋转运动,摆动从动件圆柱凸轮凹槽的理论轮廓线即为这两圆轨迹的合成,为方便设计与编程,将相对圆柱凸轮的旋转运动展开,而滚子本体的圆弧运动不变,提出了摆动从动件圆柱凸轮凹槽的设计与加工方案,即3D曲线展开法。

2 3D曲线展开法的设计方案

2.1 已知摆角曲线的设计方法

圆柱凸轮旋转带动摆杆的摆动,根据机构的运动轨迹要求,可建立以凸轮转角为参变量的摆杆摆角一般关系表达式

$$\psi = f(\varphi) \quad (1)$$

根据式(1)可画出摆角曲线(分段曲线)图,图4(设摆角为 $\pm 20^\circ$)为圆柱凸轮转角与摆杆摆角的运动关系曲线。

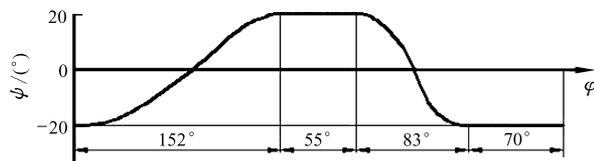


图4 摆角曲线

Fig. 4 Curve of oscillating angle

摆动从动件(滚子)在摆杆的摆动平面上作圆弧的往复运动,根据以上分析,该运动是沿圆柱凸轮轴方向的X向运动和沿其径向的Y向运动的合成,这2个运动的合成使从动件(滚子)沿以摆杆长 l 为

半径的圆弧作往复摆动。如图 5 所示,用凸轮轮廓设计中常用的反转法进行分析,设圆柱凸轮不动,从动件(滚子)、摆杆机架绕圆柱凸轮轴反方向转动一周。

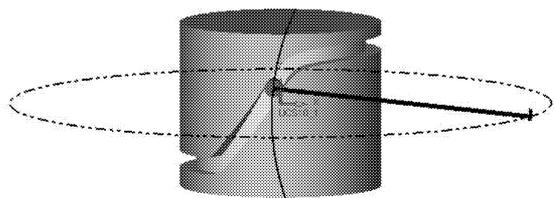


图 5 摆杆相对运动轨迹示意图

Fig. 5 Relative tracking of oscillating rod

将机架的转动沿该两点划线展开成直线,令其与摆杆摆动的平面垂直,如图 6 所示,该直线方向(即 φ 方向)平行于设计坐标的 Z 轴方向。摆动从动件(滚子)作的圆弧运动则展开成圆柱面上的运动,图 6 中的 X 方向和 Y 方向分别为图 1 所示的圆柱凸轮轴 X 方向和其径向 Y 方向;设摆杆摆角 ψ 的起始角为两极限位置的中间值,且与 Y 向平行。

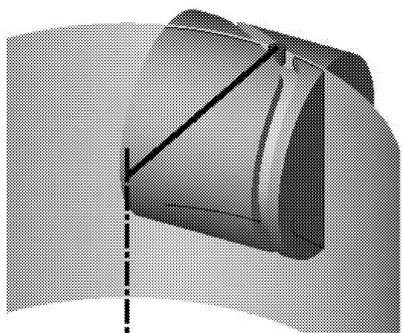


图 6 圆柱曲面展开示意图

Fig. 6 Cylinder expansion

因此上述摆角曲线上任意一点的 (φ, ψ) 值,均能在该圆柱表面上找到其对应点,并根据坐标变换求得 (X, Y, Z) 值为

$$\begin{cases} X = l \sin \psi \\ Y = l \cos \psi - a \\ Z = \varphi \end{cases} \quad (2)$$

亦可应用 CAD 技术作出上述曲线上所有 (φ, ψ) 值对应点在圆柱表面上的点,即对应地作出一条曲线(3D 曲线),得到“3D 曲线展开图”。

可采用 CAD 的曲线粘贴法,将图 4 中的摆角曲线粘贴在圆柱表面上。先将摆角曲线图中 ψ 轴按比例 $2\pi l/360$ 放大,放大后曲线上各点至 φ 轴的距离即为该点 ψ 值对应的摆杆上(滚子)摆过的弧长;将图 4 变换为 ψ 值按弧长展开的平面曲线,并将变换后的曲线粘贴到半径为 l 的圆柱表面上,其 φ 轴沿圆柱母线方向,其值不变。如图 7 所示,此时原平面曲线变换为 3D 曲线,该 3D 曲线即为按“3D 曲线展开法”所求的曲线(为沿圆柱凸轮表面展开的 3D

曲线)。

故 3D 曲线上任意一点的 Z 坐标值为圆柱凸轮工件转角 φ 的值;而其 X 、 Y 坐标值为摆动从动件(滚子)作圆弧运动沿圆柱凸轮轴方向(X 向)及其径向(Y 向)的分量。

2.2 已知位移曲线的设计方法

若给定的是摆动从动件(滚子)的位移,其与圆柱凸轮转角的一般关系表达式为

$$S = f(\varphi) \quad (3)$$

式中 S ——摆杆滚子的位移

根据式(3)可画出位移曲线(分段曲线)图,如图 8 所示(设位移为 ± 20 mm)。

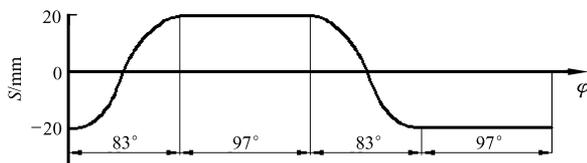


图 8 位移曲线

Fig. 8 Curve of oscillating motion

位移与摆角的数学关系可表达为

$$S = l \sin \psi \quad (4)$$

式(4)可用图形表示,如图 9 所示,从图中可知,只需将位移 S 投影至以摆杆长 l 为半径的圆弧上,投影所得弧长对应的角度即为摆角 ψ 。

因此位移与摆角曲线上任意一点的 (φ, S) 值,均能在展开的圆柱表面上找到其对应点,并根据坐标变换求得 (X, Y, Z) 值为

$$\begin{cases} X = S \\ Y = \sqrt{l^2 - S^2} - a \\ Z = \varphi \end{cases} \quad (5)$$

可将该位移与摆角曲线投影至以摆杆长 l 为半径的圆柱表面上,所得 3D 曲线即为“3D 曲线展开法”所需的“3D 曲线”,如图 10 所示。

3 3D 曲线展开法的加工方案

摆动从动件圆柱凸轮凹槽的加工亦采用范成

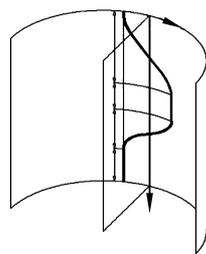


图 7 摆角曲线的坐标变换示意图

Fig. 7 Coordinating transformation of the oscillating angle curve

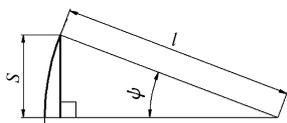


图 9 位移与摆角的几何关系示意图

Fig. 9 Geometrical relationship between oscillating motion and angle

法。

可采用标准3轴铣刀路进行编程,首先对所得3D曲线进行旋转,如图11所示,将展开方向(设计坐标的Z轴方向)旋转至加工坐标的Y轴方向。

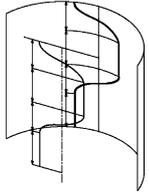


图10 位移曲线的坐标变换示意图

Fig.10 Coordinate transformation of motion curve

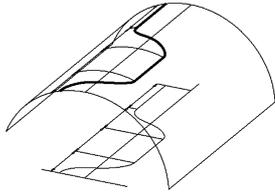


图11 应用CAM软件编程示意图

Fig.11 Practical CAM programming

应用CAM软件沿3D曲线进行数控编程,即可按范成法加工出符合上述要求的圆柱凸轮槽。但编程时不能选用与实际加工相符的立铣刀,必须使用直径很小的球刀,甚至可用直径为零的铣刀进行编程,不然会发生刀路的偏移。如图12所示,如选用

与实际加工相符的 $\phi 20$ 立铣刀编程,刀路产生图中的偏移,但实际生成的刀路必须与3D曲线重合。

应用CAM软件生成刀路,并后置处理,用第4轴(转动轴)A替换程序中的Y,用Y替换程序中的Z,并人工进行编辑加入进、退刀,即可得到用于圆柱凸轮凹槽加工的4轴数控程序。

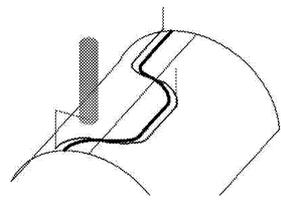


图12 刀路偏移示意图

Fig.12 Deviation in toolpath

4 结束语

按圆柱曲面展开进行摆动从动件圆柱凸轮凹槽轮廓线的3D展开,并运用坐标变换及数控编程对圆柱凸轮凹槽轮廓线进行设计和加工,是解决摆动从动件圆柱凸轮在工作过程中运动轨迹存在误差、摆动从动件发生“卡死”的有效方法。

参 考 文 献

- 1 Psang D L, Ming F L. NC data generation for 4-axis machine tools equipped with rotary angle head attachments to produce variable pitch screws[J]. Machine Tools and Manufacture, 1997, 37(3): 341~353.
- 2 Zietarski S L. System integrated product design, CNC programming and postprocessing for three-axis[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 109(3): 294~299.
- 3 Arunava B S. A comparison of approximate methods for the analytical determination of profiles for disk cams with roller followers[J]. Mechanism and Machine Theory, 2004, 39(6): 645~656.
- 4 Omirou S L. A locus tracing algorithm for cutter offsetting in CNC machining[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2004, 20(1): 49~55.
- 5 陈俊华,张美琴,盛刚. 基于通用CAM软件的圆柱凸轮数控编程[J]. 机械制造, 2005, 43(3): 17~19.
- 6 陆金贵. 凸轮制造技术[M]. 北京:机械工业出版社, 1986.

(上接第136页)

4 结束语

基于有限元软件ANSYS提供的APDL语言,提出了一种快速又方便的柔性铰链机构参数化有限元建模方法,并采用该方法分析了加工误差对柔性铰链机构输出位移的影响。分析结果表明,柔性铰链

最小厚度 t 的加工误差对 x 方向的位移性能影响很大,切割圆弧轴心线绕 x 轴、 y 轴的转角误差 θ_x 、 θ_y 对 z 方向的位移误差影响也较大,另外,切割圆弧轴心线绕 x 轴、 y 轴的转角误差 θ_x 、 θ_y 对柔性铰链机构的转角 ϕ_x 、 ϕ_y 、 ϕ_z 影响也较大;在所有因素中,柔性铰链最小厚度 t 的加工误差影响最大。

参 考 文 献

- 1 Jae W Ryu, Dae-Gab Gweon. Error analysis of a flexure hinge mechanism induced by machining imperfection[J]. Precision Engineering, 1997, 21(2/3): 83~89.
- 2 吴鹰飞,周兆英. 柔性铰链的应用[J]. 中国机械工程, 2002, 13(18): 1615~1618.
- 3 Paros J M, Weisboro L. How to design flexure hinge[J]. Machine Design, 1965, 37(27): 151~157.
- 4 纪华伟,杨世锡,吴昭同. 一体化微操作器误差分析与建模[J]. 农业机械学报, 2007, 38(3): 136~140.