

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.05.019

基于三坐标测量的凸轮设计与精度检测

李琦, 胡义刚, 周杨

(上海工程技术大学 工程实训中心, 上海 201600)

摘要:通过基于盘形凸轮的CAD/CAM综合性实验,根据推杆位移线采用反转法设计凸轮的轮廓,并进行仿真和加工;使用反向应用逆向工程中数据采集的方法,对得到的凸轮进行数据采集,通过三坐标采集的数据对凸轮加工精度的测量进行了研究。完成了凸轮从设计加工到精度检测的工艺流程,优化了凸轮的设计加工过程,提出了新的精度检测方法,对误差进行了分析,给出了误差产生的原因及减少误差的措施。

关键词:凸轮;反转法;CAD/CAM实验;三坐标测量

中图分类号: TG751

文献标志码: A

文章编号: 1005-2895(2014)05-0080-04

Design and Precision Testing of CAM Based on the Three Coordinate Measuring

LI Qi, HU Yigang, ZHOU Yang

(Department of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai, 201600)

Abstract: Through the comprehensive experiments on disc cam based on CAD/CAM, according to the displacement of the push rod line to design the CAM contour by inversion method, and carried on the processing and simulation; Used the application of reverse engineering in the data collection method to the CAM data collection. Data from three coordinate to the measurement of CAM machining accuracy were studied. Complete the process from design to machining precision detection, optimize the design of CAM machining process and put forward a new technique for detecting accuracy. Then analyze the errors, the causes of error and the measures to reduce the error are given.

Key words: cam; inversion method; experiment of CAD/CAM; three coordinate measure

凸轮机构按凸轮形状分类: 盘形凸轮、圆柱凸轮、移动凸轮。按从动杆的型式分类: 顶尖式从动杆、滚子式从动杆、平底式从动杆。凸轮机构最大的优点是: 结构简单、紧凑, 占据空间较小; 具有多用性和灵活性, 从动件的运动规律取决于凸轮轮廓曲线的形状, 可实现从动件任意预期的运动。

凸轮机构广泛应用于各个行业中, 如城市轨道交通上的道岔驱动装置中, 采用凸轮或偏心等机构来驱动^[1]; 用在微动弹片自动组装机上, 将伺服电机的旋转运动通过凸轮转换成具体的直线运动^[2]等。

进行CAD/CAM综合性实验, 要求设计1对心尖顶直动推杆盘形凸轮, 采用CAD/CAM技术对凸轮进

行设计和数控编程, 在数控机床上加工, 然后利用三坐标机进行测量检验, 并且对误差进行分析。

1 设计要求

1.1 运动性能要求

设计1对心尖顶直动推杆盘形凸轮。已知凸轮以等角速度 ω 逆时针方向转动。在凸轮的一个运动周期 2π 时间里, 要求推杆在1s内等速上升10mm, 0.5s内静止不动, 0.5s内等速上升6mm, 2s内静止不动, 2s内等速下降16mm, 其基圆半径为20mm。如图1所示, 图中 s 为位移/mm, θ 为弧度/rad。

1.2 公差等级选择

由于凸轮和尖顶之间为一个高副, 相当于一般配

收稿日期: 2014-03-05; 修回日期: 2014-04-07

基金项目: 上海市教委内涵建设项目(B-8932-13-0101)

作者简介: 李琦(1988), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事逆向工程设计及三维测量、CAM研究。E-mail: liqi3626@163.com

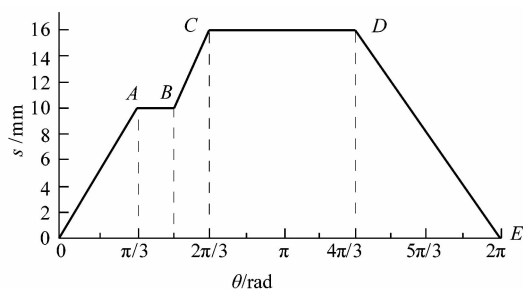


图1 凸轮运动规律

Figure 1 CAM motion rule

合,凸轮加工精度为 IT8,凸轮工作表面粗糙度值 $12.5 \mu\text{m}$ 。线性尺寸的一般公差分为 4 个等级:精密级、中等级、粗糙级、最粗级^[2]。考虑凸轮的精度要求选用“中等级”,设计尺寸范围在 $30 \sim 120 \text{ mm}$ 之间,凸轮的极限偏差值为 $-0.3 \sim +0.3 \text{ mm}$ 。为了方便比较,将它的值均分到 XYZ 轴向上,各轴向上的极限偏差值:X 轴为 $-0.2 \sim +0.2 \text{ mm}$,Y 轴为 $-0.2 \sim +0.2 \text{ mm}$,Z 轴为 $-0.05 \sim +0.05 \text{ mm}$ 。因为

$$\begin{aligned} \sqrt{0.2^2 + 0.2^2 + 0.05^2} &= 0.287 \text{ mm} < 0.3 \text{ mm} \\ -\sqrt{0.2^2 + 0.2^2 + 0.05^2} &= -0.287 \text{ mm} > -0.3 \text{ mm} \end{aligned} \quad (1)$$

所以只要加工出的凸轮轮廓上的点在 XYZ 轴向上误差分别满足以上要求,就是合格品。

2 CAD 设计方案

根据从动件的运动规律,采用 AutoCAD 软件用图解法(即反转法)设计了盘形凸轮的轮廓。以 20 mm 为半径做基圆, O' 为圆心,并且做与基圆圆心相同、半径分别为 30 mm 和 36 mm 的 2 个同心圆。在凸轮运动规律图的 OA 段,从动件在 $\pi/3$ 时间内等速上升了 10 mm ,用阵列工具将 $\angle OO'A$ 等分成 40 份,再用偏移工具,偏移量为 0.25 mm ,将基圆作为第一个偏移对象,逐个向外偏移。由偏移得到的圆与 $\angle OO'A$ 的等分线相交的点就是凸轮轮廓曲线上的点,然后用修剪工具将多余的线条去掉,用样条曲线工具,把交点连成曲线,就得到了 OA 段的凸轮轮廓线^[5-6],如图 2(b) 所示。

利用相同的画法,依次完成推程等加速段 BC 和回程等减速段 DE。最后取半径为 30 mm 圆上的弧段 AB 和半径为 36 mm 圆上的弧段 CD。为了在测量中方便建立坐标系,在加工完凸轮之后,在凸轮上表面中间做了 3 个直径为 10 mm ,圆心距离为 15 mm 的小圆,这样就完成了整个凸轮轮廓曲线的绘制,如图 2 所示。

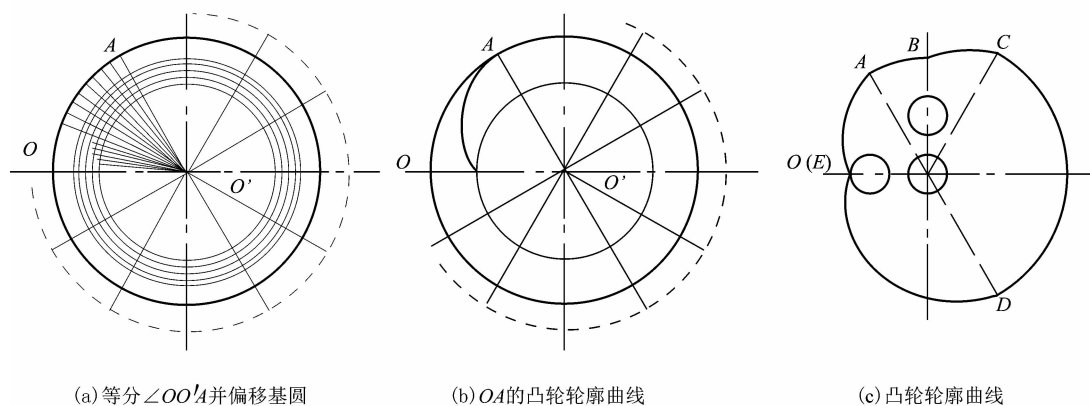


图2 绘制凸轮轮廓曲线

Figure 2 Plot the CAM contour curve

3 生成数控指令与加工

3.1 设置加工参数

首先在 Master CAM v8.0 中导入设计好的凸轮 DWG 文件,选取加工路径^[7],设置刀具的参数以及外形铣削参数,设定粗铣次数为 3 次,粗铣间距为 5 mm ,且每层精修。Z 轴分层铣深参数,设定最大加工深度为 4.5 mm 。采用平刀铣削,刀具直径 10 mm ,主轴转速设置为 $1\,000 \text{ r/min}$ 。

模拟铣削结果如图 3 所示。经后处理形成的后缀为 .nc 的数控程序文件保存到硬盘上,准备在数控机床上加工。

3.2 数控加工

通过对刀建立加工坐标系,模拟加工验证刀具路径有无过切和干涉现象。在完成模拟加工后,将机床调整到原点,切换至 MEM 状态,按循环启动键执行,进行正式的零件加工^[8-9]。最终加工的零件如图 3(b) 所示。

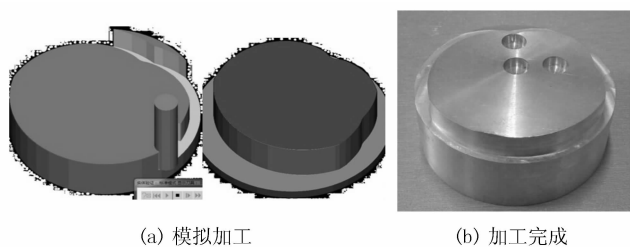


图3 模拟铣削及加工完成的凸轮零件

Figure 3 Simulation and milling machining CAM parts

4 误差测量

4.1 建立测量坐标系

在进行测量之前,首先要建立测量坐标系,为了实现 CAD 模式下对曲面的自动测量,要求在凸轮上建立的测量坐标系与凸轮三维模型的设计坐标系一致,当设定的测量坐标系与设计坐标系重合的时候,通过测量凸轮上的选取点的实际坐标,将其与设计坐标比较,就可以知道加工出来的凸轮的误差值^[10]。

首先测量凸轮上表面 $PL1$,然后测量中间圆孔,结果记为 $CR2$,中间圆上方小圆为 $CR3$,以 $CR2, CR3$ 两圆的圆心拟合一条直线 $LN4$ 。坐标系的 Z 轴为凸轮加工表面的法线, Y 轴为其中 2 个圆圆心的连线 $LN4$,然后以中间圆 $CR2$ 的圆心作为坐标系的原点, X 轴由右手定则自动生成,最终建立的坐标系如图 4 所示。当测量坐标系建立好之后,将它与设计坐标系锁定在一起,使凸轮三维模型与实际加工的凸轮完全重合。

4.2 测量曲面

在 AAT 测量软件右侧的工具栏中的下拉菜单中选择“CAD 测量”,在此工作状态下点击工具栏中的“曲面”,然后选中凸轮的圆周面,旋转确认全部选中后,在凸轮的轮廓面上自动生成间距相等的 49 个测点,要求测点的向量指向轮廓的外侧。最终测点如图 5 所示。

测出它们的实际坐标,将生成的测量报告导出,保存为 html 或者 txt 格式,用于以后的误差检验。

5 误差分析

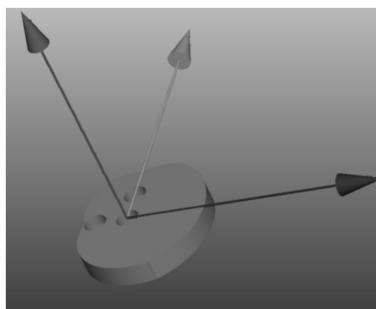
5.1 精度检验

在测量后会自动生成误差测量图表,在图表上找到各个轴向上的最大误差和各个轴向上的极限偏差值相比较,检查所加工出的零件是否合格。

各轴向上的极限偏差值: X 轴为 $-0.2 \sim +0.2$ mm, Y 轴为 $-0.2 \sim +0.2$ mm, Z 轴为 $-0.5 \sim +0.5$ mm。从误差测量图表中查得 XYZ 轴方向的最大误差的绝对值分别为:



(a) 建立坐标系



(b) 建好的坐标系

图4 坐标系建立

Figure 4 Establish coordinate system

$$\begin{aligned} |X_{\max}| &= 0.0829 \text{ mm} < 0.2 \text{ mm}, \\ |Y_{\max}| &= 0.0944 \text{ mm} < 0.2 \text{ mm}, \\ |Z_{\max}| &= 0.0224 \text{ mm} < 0.05 \text{ mm}. \end{aligned}$$

通过比较可知凸轮表面上的点,其 XYZ 轴向上的实际偏差都小于各轴向上的极限偏差。所以设计出的凸轮满足设计的精度要求。

5.2 最大压力角

由于凸轮是等角速度转动,所以 $\omega = 2\pi/T$, T 为周期,即 $\omega = \pi/3$ 。 v 为从动件的速度, r_b 为基圆半径。由

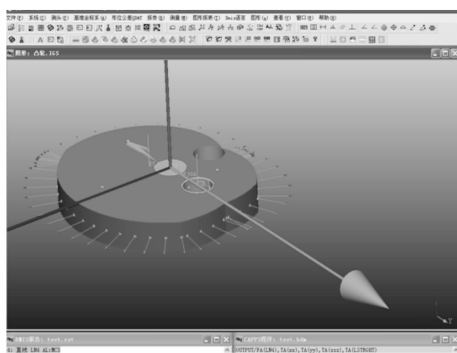
$$\tan \alpha = \frac{v}{w} / (r_b + s) \quad (2)$$

在 OA 段

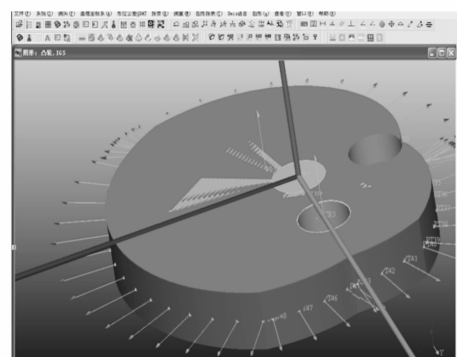
$$\tan \alpha = 30 / \pi (20 + s) \quad (3)$$

其中变量 s 为位移, $0 \leq s \leq 10$, 当 $s = 0$ 时, α 值最大为 25.5° 。在 AB 段,因为从动件速度 $v = 0$,所以此时 $\alpha = 0$ 。同理可以得,在 BC 段 $\alpha = 29.8^\circ$; CD 段, $\alpha = 0$ 。由于从动件在 DE 段是在重力作用下返回的,回程不会出现自锁,所以不需校核其压力角。

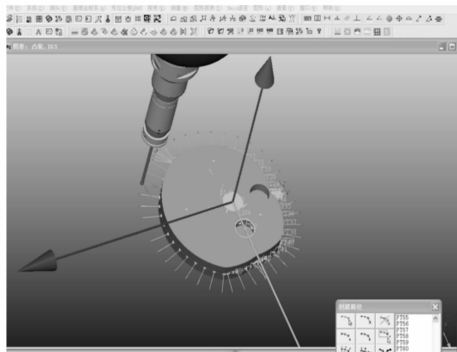
从上述计算可知,从动件在运动过程中,压力角 α 的最大值为 29.8° , $\alpha < [\alpha] = 30^\circ$, 所以,符合设计要求。



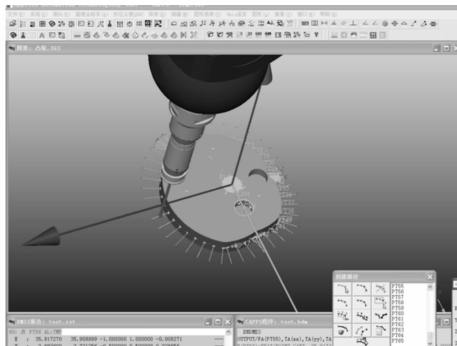
(a) 生成的测量点



(b) 底部小圆弧测量



(c) 顶部圆弧测量



(d) 侧面大圆弧测量

图5 数据点的测量

Figure 5 Measurement of the date point

5.3 误差分析

在测量完成之后,根据所得到的测量数据,分析误差的来源以及产生的原因。 X, Y 轴方向上误差来源是刀具磨损、主轴刚度、对刀误差、插补误差以及加工表面的弹性变形。影响表面粗糙度的是走刀轨迹和切削用量。 Z 轴所垂直的平面是加工基准面,也是建立 Z 轴的基准,理论上 Z 轴方向上的误差应为0,但是由于三坐标测量仪的触头为圆球形,它在平行于基准面的平面上做线性运动时,虽然其球心所运动的轨迹所在平面平行于基准面,可是它与凸轮轮廓面的触点可能不在同一水平位置上,即其触点不一定在其球心运动轨迹所在的平面上,所以会在 Z 轴上出现微小的偏差。

6 结语

1) 基于盘形凸轮,完成CAD设计、CAM编程、仿真、数控加工及测量分析一系列的过程,理论知识与实践紧密结合,提高了动手能力和综合运用知识解决实际问题的能力。

2) 对凸轮零件进行测量和数据分析,查找误差的原因,提出减少误差的加工方法,利用逆向工程获取测量点的方法,反向推理,以此创新的方法对测得的测量点进行精度检验。

参考文献:

- [1] 祁宝金. 城轨交通梁整体移动道岔驱动方式[J]. 都市轨道交通, 2006, 19(3): 46-48.
- [2] 周玉凤, 杜向阳. 互换性与技术测量[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 31-37.
- [3] 王程, 贺炜. 凸轮机构CAD/CAM研究的回顾与展望[J]. 机械传动, 2008, 32(6): 119-120.
- [4] 孙华连. 平面盘形凸轮CAD/CAM系统关键技术的研究[D]. 湖南: 中南林业科技大学, 2004.
- [5] 黄进, 陈敏卿. 凸轮廓线检测中起始位置的确定[J]. 实验室研究与探索, 2013, 22(3): 56-57.
- [6] 阮景奎, 殷安文. 改进正弦加速度盘形凸轮廓线的检测[J]. 工具技术, 2008, 42(10): 45-48.
- [7] 吴军, 郑小军. 高速铣削工艺优化研究在数控加工中的应用[J]. 机械设计与制造, 2012(7): 90-92.
- [8] 任小洪, 周天鹏, 林健, 等. 数控机床热误差的智能补偿方式及应用[J]. 机械设计与制造, 2011(12): 158-160.
- [9] 吴兴, 黄文广, 黄兴红, 等. 数控随动磨床加工凸轮方法及其精度补偿策略[J]. 机电工程, 2012, 29(6): 636-639.
- [10] 刘刚, 樊庆文. 一体化测量不规则物体质量特性参数方法[J]. 机械设计与制造, 2013(9): 8-10.