

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.07.018

联动凸轮双向快速装夹装置设计^{*}

周渝明¹, 林光明²

(1. 广东工贸职业技术学院 机电工程学院, 广东 广州 510510;

2. 华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510640)

摘要:传统虎钳使用的是硬性燕尾槽滑轨,其利用丝杠和丝杠螺母来传递夹紧力,存在配合间隙高、运动阻力大、工件夹紧力不统一等问题,为了解决这些问题,设计了一种联动凸轮双向快速装夹装置。该装置使用了凸轮与连杆组合联动,实现了对两个凸轮推杆的同时控制,可快速进行工件的快速装夹和定位;通过研究改变凸轮摇臂与连杆铰接的位置,实现了同时同方向控制和同时相对方向控制,即只通过控制液压缸单方向制动就能对凸轮进行相对方向的运动控制。研究表明:该装置应用于诸如加工中心等数控机床,只要定位一次,便可使用同样XY坐标系补偿值,加工不同棒料工件;相对于传统的虎钳夹紧力较大的特点,该装置具有良好的鲁棒性、导向性和稳固性。

关键词:虎钳;自定心;快速装夹

中图分类号:TH122;TH112.2

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2020)07-0831-05

Design of two-way quick clamping device for linkage cam

ZHOU Yu-ming¹, LIN Guang-ming²

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Guangdong College of Industry and Commerce,

Guangzhou 510510, China; 2. School of Mechanical and Automotive Engineering,

South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Aiming at solving the problem of rigid dovetail groove slide rail used in traditional vise using the screw and screw nut to transfer clamping force, which includes high clearance, large movement resistance and uneven clamping force of workpiece, a double-directional clamping device of linkage CAM was presented. The simultaneous control of two CAM push rods was realized through the linkage of CAM and connecting rod in this device, which can quickly clamp and locate the workpiece. By changing the hinge position of CAM rocker arm and connecting rod, simultaneous direction control and simultaneous relative direction control were realized. The results show that the device can be positioned once on NC machine tools such as machining center, and the same XY coordinate system can be used to process different bar workpiece. Compared with the traditional vise, the device has good robustness guidance and stability.

Key words: vise; self-centering; quick clamping

0 引言

凸轮与连杆组合联动可以实现对两个凸轮推杆的同时控制,通过改变凸轮摇臂与连杆铰接的位置,可实现同时同方向控制和同时相对方向控制^[1-2]。

巧妙地搭建其尺寸可以实现:连杆运动,凸轮推杆静止或做等加速、等减速运动;连杆运动,凸轮推杆做余弦加速度运动、正弦加速度运动^[3-4];连杆运动,凸轮推杆做抛物线—直线—抛物线、简谐—直线—简谐等运动;连杆运动,凸轮推杆做改进正弦加速度、3、4、5

收稿日期:2019-08-22

基金项目:广东省高职教育机械类专业教学指导委员会教育教学改革项目(JZ201823)

作者简介:周渝明(1971-),男,广东河源人,讲师,主要从事机械设计与制造方面的研究。E-mail:Zhouyuming557@163.com

次多项式、4、5、6、7 次多项式等运动^[5-6]；此外，凸轮周期运转并满足推程、远休止、回程、近休止的运动规律^[7]。推杆从形式上分有尖顶推杆、滚动推杆、平底推杆等；连杆常规为四连杆机构、可组合有曲柄摇杆、曲柄滑块等^[8]。凸轮机构与四连杆机构的组合灵活多变、稳定性强、精度高。

传统虎钳使用的是硬性燕尾槽滑轨，其利用丝杠和丝杠螺母来传递夹紧力，存在配合间隙高、运动阻力大、工件夹紧力不统一等问题。虎钳通常安装在设有 T 型槽滑道的工作台上，常常需要高强度螺栓配合 T 型轨道螺帽来进行安装定位，T 型槽的标准有 50、150、200、250 间距等规格的。

本文设计一种联动凸轮双向快速装夹装置，安装虎钳定位满足 50 阶差，同时设有定位键，键的尺寸符合 T 型槽尺寸。

1 凸轮设计

1.1 凸轮结构设计

根据设计需求，凸轮的最大行程为 60 mm，所以凸轮转动最高点与最低点间距为 60 mm，为保证其转动具有应有的精度，应设有远休止区域与近休止区域，保证在推程起始和终止前后阶段有等半径的休止区。为保证推程起始前有近休止区，在远休止区结束时应设有回程。由于虎钳使用双凸轮连杆机构联动，凸轮形状设置成对称结构。

联动凸轮双向快速装夹装置如图 1 所示。

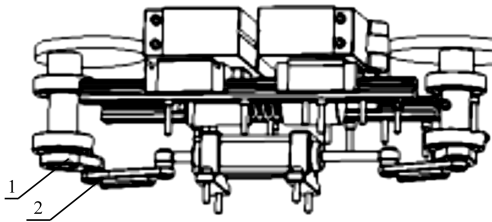


图 1 联动凸轮双向快速装夹装置

连杆 2 传动中，凸轮的摇臂 1 充当的是摇杆作用，由于连杆传动在死点附近容易发生自锁的因素，其摇臂作为摇杆无法进行 180°半圆周运动，而进行驱动的部件为直线往复运动，而非 360°整圆周运动，所以凸轮实际有效工作角度小于 180°，凸轮正转即推程时推动凸轮推杆，当凸轮反转时执行回程。

若推程角度过大，连杆传动的压力角将过大，传动阻力大，当主动杆与连杆共线时，即传动角为 0，易发生自锁。若推程角度过小，想满足一定的行程，凸轮基圆势必过大，不利于紧凑化设计，结合实际经验取值，

推程角度选取 120°，秉持对称设计原则，回程角也为 120°，剩余 120°均分为远休止角和近休止角。

凸轮角度如图 2 所示。

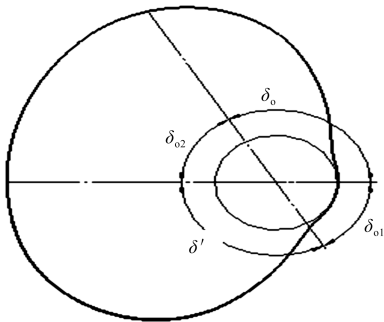


图 2 凸轮角度表

凸轮角度和联动凸轮双向快速装夹装置凸轮工作角度如表 1 所示。

表 1 凸轮工作角度

凸轮工作阶段	凸轮角度
推程运动角 δ_0	0 ~ 120°
远休止角 δ_{02}	120 ~ 180°
回程运动角 δ'	180 ~ 300°
近休止角 δ_{01}	300 ~ 360°

根据设计需求，设计最大行程为 60 mm 的等加速等减速凸轮，故推程阶段为抛物线，分为 60°加速抛物曲线及 60°减速抛物曲线，其中加速度在全程相同，速度均由 0 起始，由 0 结束，加速度在两侧起始和终止时有突变，其突变的原因是由动力元件动力消失与释放导致，由于根据需求动力元件为液压缸，具有缓冲，不会产生大负荷的刚性冲击，故方案可行。根据对称原则，回程结构也设为等加速等减速曲线。

设计虎钳的钳口尺寸为 200 mm 宽，故凸轮的直径不宜超过 200 mm，其中行程为 60 mm，即基圆直径不宜超过 80 mm，凸轮推杆分为尖顶推杆、平底推杆、滚子推杆。

其中，尖顶推杆作用力持续为同一根线，属于高副配合，极易磨损，从而影响传动精度，而平底推杆要求凸轮外轮廓全凸，有任何凹陷即会发生运动失真，部分运动规律丢失，且平底推杆作用力不在虎钳中心，阻力大，效率低。故采用滚子推杆，适用于中高速大载荷，由于凸轮左右对称，紧凑排布，选择对心式滚子推杆能够提升紧凑度。

但滚子推杆要求外轮廓线最小曲率半径不得小于滚子半径，所以应适当加大基圆半径，减小滚子半径，滚子半径过小影响刚度，基圆半径过小，影响凸轮轴刚度。综合分析下，即取凸轮基圆直径为 50 mm。

1.2 凸轮轨迹建模

根据上述已知条件采用滚子对心推杆、基圆半径为 25 mm,推程和回程角均为 120° ,远近休止角均为 60° ,推程和回程行程为 60 mm,可按照尖顶中心推杆设计理论轮廓线,即理论轮廓线为滚子中心轮廓线。

推程—加速阶段:起始角度 0 rad,起始位移 25 mm,速度 0 mm/s,终止角度 $\frac{\pi}{3}$ rad,终止位移 $25 + 60 \div 2 = 55$ mm。

根据二项式运动规律,其表达式为:

$$S = C_0 + C_1\delta^1 + C_2\delta^2 \quad (1)$$

$$V = \frac{ds}{dv} = C_1\omega + 2C_2\omega \quad (2)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = 2C_2\omega^2 \quad (3)$$

式中:变量 S —位移; C_0 —常数项; C_1 —一次项系数; C_2 —二次项系数; δ —旋转角度; V —类速度; ω —角速度; a —类加速度。

代入起始点和终止点,根据方程组解得:

$$C_0 = 25;$$

$$C_1 = 0;$$

$$C_2 = \frac{270}{\pi^2}。$$

得推程加速阶段的公式为:

$$S = 25 + \frac{270}{\pi^2} \delta^2 \quad (4)$$

转化为直角坐标为:

$$X = \left(25 + \frac{270}{\pi^2}\delta^2\right) \times \cos(\delta) \quad (5)$$

$$Y = \left(25 + \frac{270}{\pi^2}\delta^2\right) \times \sin(\delta) \quad (6)$$

推程—减速阶段:起始角度 $\frac{\pi}{3}$ rad,起始位移 55 mm,终止角度 $\frac{2\pi}{3}$ rad,终止位移 $55 + 60 \div 2 = 85$ mm,终止速度 0 mm/s。

根据二项式运动规律,由公式(1~3)可解出:

$$C_0 = 35;$$

$$C_1 = \frac{360}{\pi};$$

$$C_2 = -\frac{270}{\pi^2}。$$

可得推程减速阶段的公式为:

$$S = -35 + \frac{360}{\pi}\delta - \frac{270}{\pi^2}\delta^2 \quad (7)$$

转化为直角坐标为:

$$X = \left(-35 + \frac{360}{\pi}\delta - \frac{270}{\pi^2}\delta^2\right) \times \cos(\delta) \quad (8)$$

$$Y = \left(-35 + \frac{360}{\pi}\delta - \frac{270}{\pi^2}\delta^2\right) \times \sin(\delta) \quad (9)$$

由于是对称结构,推程和回程对称,直接镜像即可,在推程加速阶段($0 \sim \frac{\pi}{3}$)时,有以下关系:

$$X = \left(25 + \frac{270}{\pi^2}\delta^2\right) \times \cos(\delta) \quad (10)$$

$$Y = \left(25 + \frac{270}{\pi^2}\delta^2\right) \times \sin(\delta) \quad (11)$$

推程减速阶段($\frac{\pi}{3} \sim \frac{2\pi}{3}$)时,有:

$$X = \left(-35 + \frac{360}{\pi}\delta - \frac{270}{\pi^2}\delta^2\right) \times \cos(\delta) \quad (12)$$

$$Y = \left(-35 + \frac{360}{\pi}\delta - \frac{270}{\pi^2}\delta^2\right) \times \sin(\delta) \quad (13)$$

远休止阶段($\frac{2\pi}{3} \sim \pi$)时,有:

$$X = 85 \times \cos(\delta) \quad (14)$$

$$Y = 85 \times \sin(\delta) \quad (15)$$

近休止阶段($\frac{5\pi}{3} \sim 2\pi$)时,有:

$$X = 25 \times \cos(\delta) \quad (16)$$

$$Y = 25 \times \sin(\delta) \quad (17)$$

实际工作模式为推程往复工作,而外轮廓的曲率半径大小影响着滚子半径大小,而基圆半径为 25 mm,若将理论轮廓线整体向内偏移滚子半径的距离作为实际轮廓线会导致基圆半径变小,所相连接的凸轮轴尺寸也会相应变小。综合考虑,采取理论轮廓线为滚子推杆与凸轮接触的实际轮廓线。

若要选取滚子半径,须知晓实际轮廓线的最小曲率半径,应使最小曲率半径大于滚子半径。利用 Solidworks 显示最小曲率半径,得知凸轮外轮廓的最小曲率半径为 19.54 mm,即滚子半径不得大于 19.54 mm,为满足强度要求,令滚子半径为 18 mm。

1.3 凸轮轴结构

凸轮及凸轮轴如图 3 所示。

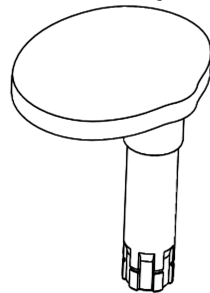


图3 凸轮及凸轮轴结构

由于凸轮基圆的直径为 50 mm,凸轮轴的直径应小于 50 mm,凸轮轴转动时,仅仅承受径向力,有微弱安装的轴向力,故应选用能够承受更强径向力的圆柱滚子轴承。为了缩小轴承的外圈尺寸,笔者选择 NU206E-GB283-94 圆柱滚子轴承,其外径尺寸为 62 mm,内径尺寸为 30 mm。而凸轮轴另一端需连接摇臂,选择矩形花键传动,开口挡圈轴向定位,花键尺寸选择轻型 6-30×26×6。

2 连杆设计

2.1 总体方案

通过液压缸与连杆铰接从而控制凸轮轴上的摇臂进行 120°的左右摆动,要求左右摆动对称,主要设计为选择合适的液压缸,行程、缸径、活塞杆两段铰接距离。活塞杆和凸轮摇臂之间的连杆距离,凸轮摇臂,整个机构组成滑块摇杆机构,其中液压缸作为动力源,作为四杆机构中的滑块。凸轮轴上的摇臂作为摇杆,摇臂与活塞杆之间的传动件为连杆。

两面滑动钳口皆通过凸轮与弹簧实现力学封闭,实现双活塞杆液压缸同时控制两个凸轮,其中两个凸轮所控制的钳口可以同时开启和关闭,且具有较高的位置精度。

2.2 液压缸选择

选择缸径 30,固定螺丝 M6。活塞杆两端焊接铰接套管,内径 10 mm,活塞杆直径 10 mm,中心距 235 mm。即使配备 0.3 MPa 小型液压泵输出压力约为: $F=0.3\times(0.15^2-0.05^2)\times3.14\times10^6=18.8\text{ kN}$ 。

可见其满足夹紧需要。

2.3 机构原理性设计

若想同时控制两个凸轮使两个活动钳口同时相向或相离运动,由于凸轮的结构对称性,机构实际连接图如图 4 所示。

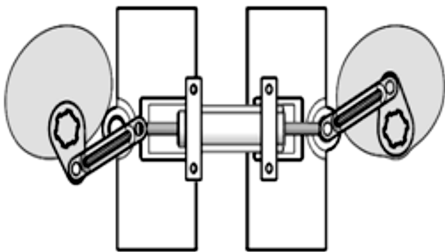


图 4 机构实际连接图

两个凸轮工作时旋转方向相反,则需要两个凸轮摇臂间与凸轮的连接互成 180°。

单个凸轮行程 60 mm,双凸轮实现虎钳 0~120 mm 之间张合,满足日常需要。其中连杆长度为 85 mm,孔径 10 mm。凸轮摇臂孔距 22.5 mm,与凸轮矩形花键连接,花键尺寸轻型 6-30×26×6,与凸轮轴之间过盈配合,过盈量 0.02 mm。

2.4 铰接设计

整套机构主要在低速传动使用,采用滚动轴承尺寸过于拥堵,故采用铜套注油,滑动轴承,可满足日常需求。

笔者采用 8 mm 的 40Cr 车削如上销轴,调质处理,中间套 1 mm 壁厚的阶梯铜套,将凸轮轴与连杆间铰接,通过底部的 8 mm 开口挡圈 GB/T896-1986 实现轴向定位。

3 虎钳整体结构设计

3.1 台钳轨道设计

轨道安装三维图如图 5 所示,滑轨设有注油口自动润滑。

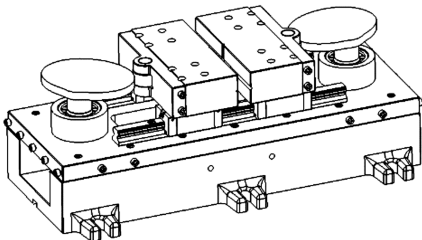


图 5 轨道安装三维图

台钳钳口坐落于轨道滑块上,线性滑轨滑轨型号为 HGH 25CA,滑轨总长为 350 mm,具体参数如表 2 所示。

表 2 HGH 25CA 线性滑轨参数表

项目名称	规格
滑轨的固定螺栓尺寸/mm	M6
基本动额定载荷 C/kN	32.75
基本额定负荷 C0/kN	49.44
容许静力矩 MP/(kN·m)	0.56
容许静力矩 MY/(kN·m)	0.57
滑块重量/kg	0.69
滑轨重量/(kg·m ⁻¹)	3.21
总安装高度/mm	40

3.2 整体结构总成

台钳总体结构剖视图如图 6 所示。

图中分为动力部分(液压缸)、传动部分(连杆、销轴、凸轮、凸轮摇臂)、主要工作部分(活动台钳)、一系列辅助部件(滑轨辅助支撑、弹簧力学封闭提供回程

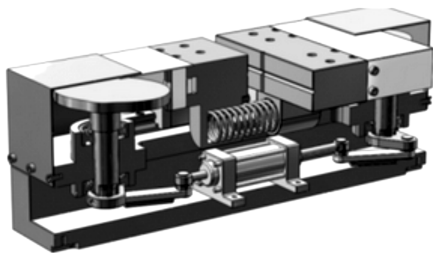


图6 整体结构剖视图

动力、防尘盖防止杂志碎屑等污染凸轮箱体、螺丝负责连接,上下底座承上启下起到连接作用)。

经过 Solidworks 运动算例,该机构机械原理符合设计需求,无失真、无干涉,配套零部件齐全。

4 薄弱结构件强度校核

整套系统薄弱件为连杆及摇臂和活塞杆之间的销轴,主要受剪切力,根据安装空间选取直径 $\phi 8$,限于市面已有产品现状,若提高强度,可选用优质材料。现笔者以 40 Cr 材质调质处理的强度进行校核,根据手册,调质后的 40 Cr 的许用剪切应力为 211.1 MPa,假设材质均匀,切应力均布,则最大切应力为:

$$F = \frac{\tau \times A}{4} = 10.605 \text{ kN}。$$

而配备 0.1 MPa 小型液压泵输出压力为:

$$F = 0.1 \times (0.15^2 - 0.05^2) \times 3.14 \times 10^6 = 6.28$$

其中,安全系数为 1.69,其动力系统在常规工厂达不到,从而使铰接销轴破坏,更大压力的液压泵也可使用。

5 结束语

针对传统虎钳存在配合间隙高、运动阻力大、工件夹紧力不统一等问题,本文设计了一种联动凸轮双向快速装夹装置;凸轮机构利用滚动推杆,能够有效降低推杆磨损,联动精确可靠。

此类虎钳在诸如加工中心等数控机床,钳口定位一次,便可使用同样 XY 坐标系补偿值,加工不同棒料工件。此联动凸轮双向快速装夹虎钳能够快速定位夹紧或放松零件,定位精准,结构紧凑。

参考文献 (References):

- [1] 张瑞煜,祝长生,杨乐鑫,等. 飞轮储能系统中径向永磁轴承的设计研究[J]. 机械与电子,2013(11):23-26.
- [2] 刘昌祺. 自动机械凸轮机构实用设计手册[M]. 北京:科学出版社,2013.
- [3] 石永刚. 凸轮机构设计与应用创新[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [4] 林荣富,常 勇. 作平面运动滚子从动件盘形凸轮机构的第Ⅱ类凸轮轮廓设计[J]. 机械设计,2013(11):26-30.
- [5] 柳冬玉. 平面连杆机构仿真程序研究与开发[D]. 成都:西南交通大学机械工程学院,2018.
- [6] 姜娉娉. 基于知识的机械产品快速创新设计研究[D]. 济南:山东大学机械工程学院,2005.
- [7] 蒋 科. 机械产品几何精度设计中的三维偏差分析技术[D]. 北京:北京理工大学机械工程学院,2014.
- [8] 赵方舟. 基于 Solidworks 的计算机辅助公差优化设计研究[D]. 成都:西南交通大学机械工程学院,2017.

[编辑:方越婷]

本文引用格式:

周渝明,林光明. 联动凸轮双向快速装夹装置设计[J]. 机电工程,2020,37(7):831-835.

ZHOU Yu-ming, LIN Guang-ming. Design of two-way quick clamping device for linkage cam[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2020, 37(7):831-835.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>