

双凸轮驱动的取送瓶机械手运动规律设计

郑中顺,冯志华,陶仁杰

(苏州大学 机电工程学院,江苏 苏州 215021)

摘要:取送瓶双凸轮式机械手是旋转式吹瓶机生产瓶子过程中的重要组成机构,其运动的平稳性将影响成型瓶的效率。通过对机械手在取送瓶过程的运动分析,提出一种新的设计思路:采用矢量分析法建立取送瓶同步段的运动轨迹方程,通过三次样条法拟合机械手的运动轨迹;对摆动凸轮过渡段进行分段设计,反推出直动凸轮的轨迹方程;借助 Matlab 软件进行求解曲线坐标,得到取送瓶凸轮理论轮廓曲线,提高了机械手的传动效率。

关键词:吹瓶机;凸轮机构;矢量法;样条曲线

中图分类号:TH112.2 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)04-0214-03

Design of Motion Law of Double CAM Driven Bottle Manipulator

ZHENG Zhongshun, FENG Zhihua, TAO Renjie

(School of Mechanical and Electric Engineering, Soochow University, Suzhou 215021, China)

Abstract: As bottle picking and feeding double CAM manipulator is an important component of the rotating bottle blowing machine in the process of bottle production, the smoothness of its movement will affect the efficiency of bottle forming. Based on the motion analysis of the manipulator in the process of fetching and feeding bottles, a new design idea is proposed. The vector analysis method is used to establish the motion trajectory equation of the synchronous section of fetching and feeding bottles, and the motion trajectory of the manipulator is fitted by cubic spline method. The transition section of swing CAM is designed in sections, and the trajectory equation of direct CAM is inversely deduced. Matlab software is used to solve the curve coordinates, and the theoretical contour curve of the CAM is obtained. Experiments show that the proposed method effectively overcomes discontinuity of speed and accelerated speed at joints, and ensures the action requirements of manipulator and the smoothness of overall operation as well.

Keywords: bottle blowing machine; CAM mechanism; vector method; spline

0 引言

近些年,全自动旋转式 PET 液体包装机械迅速发展,代表了未来液体罐装机械的发展趋势^[1]。取送瓶凸轮机械手是液体包装生产线中重要的传动部件,其作用是控制机械手摆动和径向的移动,从而完成取送瓶的动作^[2]。现有对取送瓶凸轮机械手曲线的设计方法没有统一的理论指导,因此存在着机械手取送瓶不到位、损坏瓶口^[3]以及衔接点处出现加速度突变^[4]等诸多问题,从而影响到生产效率。

本文以双凸轮取送瓶机械手为研究对象,通过对其机构的分析,采用复数矢量法^[5]建立了机械手的运动参数方程,提出了以三次样条插值拟合机械手的轨迹,对过渡段摆动凸轮从动件运动规律采用分段设计,根据机构几何关系逆推出直动凸轮从动件的轨迹;最后利用 Matlab 软件进行求解,从而获得了高精度且连续的凸轮曲线,提高了机械手的传送效率。

1 双凸轮驱动取送瓶机械手工作原理

双凸轮驱动取送瓶机械手是旋转式吹瓶机当中的传动部件之一,其功能是为了保证机械手将吹塑模具中拉伸吹塑

好的瓶子取出,并安全平稳地运送到下一道工序中。

图 1 为取送瓶凸轮结构简图。 O 为取送瓶凸轮机构的回转中心, OO_1 为主驱动盘,绕 O 点匀速转动; O_2 和 O_3 分别为摆动凸轮和直动凸轮从动件滚子中心, O_4 为机械手中心; O_1O_2 为摆动凸轮从动件,绕 O_2 点做摆动运动; O_1O_4 为直动凸轮从动件;其中摆动凸轮和直动凸轮协同控制机械手完成取瓶和送瓶过程。

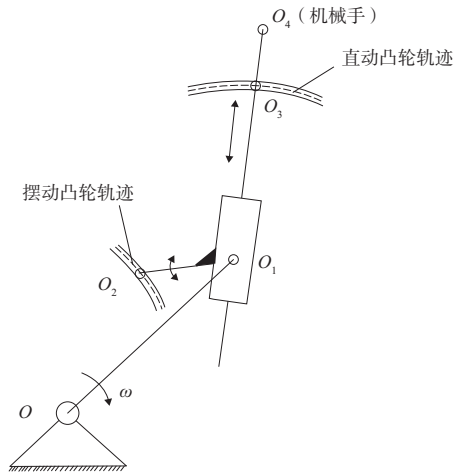
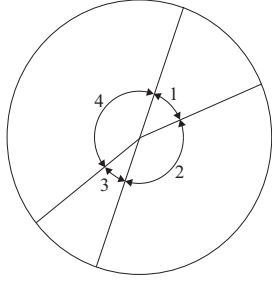


图 1 双凸轮取送瓶机械手结构简图

第一作者简介:郑中顺(1995—),男,河南信阳人,硕士研究生,研究方向为机械设计 & 结构优化,2550395272@qq.com。

2 机械手运动轨迹规划

根据吹瓶机取送瓶凸轮机械手的运动要求,将其运动周期划分成4个阶段,如图2所示。



1—取瓶段;2—过渡段;3—送瓶段;4—空载过渡段二。
图2 双凸轮取送瓶机械手周期划分图

以取送瓶凸轮回转中心 O 为原点,正右方向建立机械手在整个周期的矢量分析图(图3)。在取瓶段,机械手先向模具靠近,直至抓取瓶子,然后与模具同步转动一定角度;完成取瓶退出时,机械手要与模具保持一定距离才能安全退出。其中 $M_1 \sim M_2$ 为取瓶同步段, O' 点为回转中心, α_0 为两中心连线与极坐标方向夹角, α_1 为开模角度, α_2 为取瓶离开角度。

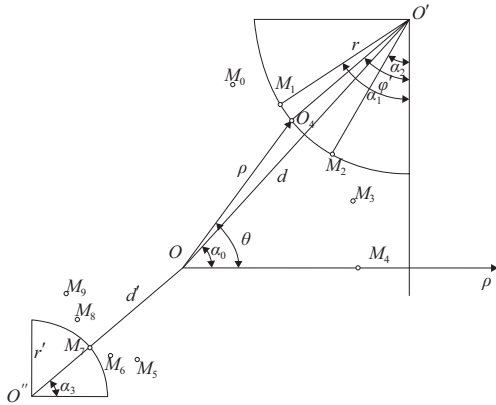


图3 机械手整个周期的矢量分析图

假设机械手中心 O_4 到凸轮回转中心 O 的距离为 ρ , 与极坐标正方向夹角为 θ , 列矢量方程如下:

$$OO_4 = OO' + O'O_4 \quad (1)$$

求解得到机械手在取瓶段 (ρ, θ) 的参数方程

$$\begin{cases} \rho = d \cos(\alpha_0 - \theta) - r \sin(\varphi' + \theta) \\ \theta = \arctan \frac{d \sin \alpha_0 - r \cos \varphi'}{d \cos \alpha_0 - r \sin \varphi'} \end{cases} \quad (2)$$

为确保机械手能够安全靠近并完成取瓶动作,且安全退出时不会造成瓶口损坏,在此引入图3中的修正点 M_0 、 M_3 ,使机械手在同步靠近和同步退出时,与模具保持相对安全距离。当运动到取送瓶凸轮回转中心与取送瓶回转中心的连线位置时,两机械手需保持一定的安全距离,因此引入机械手过渡段修正点 M_4 ,以确保机械手过渡段过程中的安全性。

图3中 O'' 为接收盘回转中心, r' 为接收盘回转半径,

α_3 为两中心连线与极坐标正方向夹角, M_7 为机械手送瓶同步点。为满足工程角度要求,机械手在送瓶段还需经过 M_5 、 M_6 、 M_8 、 M_9 4 个修正点。

本文采取三次样条插值的第3种循环边界条件对机械手运动的整个周期进行优化^[6],确保机械手运动轨迹曲线在衔接点处二阶可导且连续。通过对机械手运动的分析,机械手在整个周期必须通过 $M_0 \sim M_{10}$ 。假设机械手运行轨迹点为 (ρ_i, θ_i) ($i=0,1,\dots,n, \theta_i$ 为取送瓶凸轮机械手矢角, ρ_i 为机械手矢径),建立三次插值多项式:

$$\rho(\theta) = a_i + b_i(\theta - \theta_i) + c_i(\theta - \theta_i)^2 + d_i(\theta - \theta_i)^3 \quad (3)$$

循环边界条件确保了机械手在衔接点处一阶、二阶导数的连续性,由此构造了机械手在整个周期每个子区间内的三次样条插值函数。

3 摆动与直动凸轮曲线设计

3.1 摆动凸轮曲线设计

1) 取瓶段

取瓶段为机械手严格跟踪段,图4建立了取瓶段摆动凸轮矢量分析图,其中 OO_1 为主驱动杆, A 为取瓶同步靠近起始点, A' 为取瓶同步离开终止点, O_4' 为机械手取瓶时模具盘瓶口中心跟踪点; φ 为主驱动杆与极轴方向夹角, O_2 为摆动凸轮滚子中心;摆动从动件 O_1O_2 的长度为 L_0 , α_4 为取瓶跟踪段角度, ε 为摆动从动件与直动从动件固定夹角;直动从动件 O_1O_4 与主驱动杆 OO_1 所夹偏转角为 δ 。

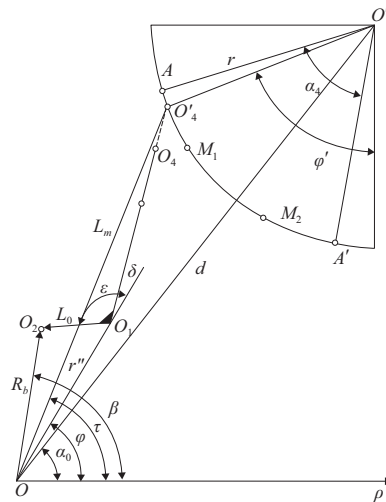


图4 取瓶段摆动凸轮矢量分析图

如图4所示,在 $A \sim M_1$ 和 $M_1 \sim A'$ 段时,为确保机械手顺利到达瓶口中心以及取瓶退出时不受到模具的阻挡,控制机械手伸缩运动的直动从动件需指向瓶口中心; $M_1 \sim M_2$ 为机械手严格跟踪段,此时 O_4' 与 O_4 完全重合。设 O_4' 到取送瓶回转中心 O 的长度为 L_m , 与极坐标正方向夹角为 τ , 建立如下矢量关系表达式:

$$\begin{cases} OO_4' = OO' + O'O_4 \\ OO_4' = OO_1 + O_1O_4' \end{cases} \quad (4)$$

由于机械手主驱动杆与模具回转的角速度之比为

表 1 滞后时间测试表

测试序号	滞后计时/s	观察膨胀、锁紧(状态)	测试序号	滞后计时/s	观察膨胀、锁紧(状态)
1	5	否	5	10	否
2	6	否	6	12	是
3	8	否	7	14	是
4	9	否	8	16	是

因此,在比较分析后,在电气控制中采用时间补偿方法即前馈控制来解决液压滞后问题,对联锁信号做 12~16 s 的延时,多次试验发现 16 s 这个延时能更加可靠地实现点动、正反转、运行等要求。这种前馈控制方式有效地克服了处理液压滞后的耗时费力问题,解决了时滞问题。

问题 2),延时 16 s 后的信号,不仅要作为必要条件用来驱动圆盘剪,即作为圆盘剪变频器的速度和转矩给定控制命令信号^[15],此外,还要作为必要条件用来驱动其他设备电机,包括开卷机、矫直机、张力辊、卷取机等,即步调一致,形式上包括点动和运行,实现整个机组的顺序逻辑控制、工艺控制的协调统一。

5 结语

圆盘剪作为剪切线的核心,它的换刀时间直接决定生产效率,机架打不开故障现象反映的是机械错位,通过对机、电、液的解耦分析,找到了既有液压动作非线性、滞后等自身存在的固有问题,又有两个控制系统部分各自独立缺少联系这样的系统集成商统筹协调的问题。经实际方案择优设计,并不是通过搭建通信模块,而是通过中间继电器来搭建双 PLC 联系实现两个控制系统的通信。改造后的生产运行结果表明:采用前馈控制来补偿液压响应滞后时间,该机械故障得到了较好的解决,使机电加以耦合,消除了故障导致的换刀延误时间,设备产能和生产的连续性得到了提升。

参考文献:

- [1] 景群平,贾海亮,张勇安,等.特殊超高强钢切边圆盘剪关键技术研究[J].重型机械,2014(2):47-51.
- [2] 牛卫兵.圆盘剪主轴轴向窜动的研究[J].机械管理开发,2003,18(3):12-14.
- [3] 李伟,齐建家,刘喜平.机电一体化产品中的解耦和耦合分析方法[J].黑龙江工程学院学报,2003,17(4):50-52.
- [4] 许红兵,胡铜生,叶叶,等.圆盘剪及控制系统:中国,CN110202205B[P].2020-09-01.
- [5] 黄伟,巫茜.液压 AGC 系统的智能融合控制策略[J].机床与液压,2012,40(12):91-96.
- [6] 刘云贵.曲轴车铣中心液压系统油温高压不穩故障[J].设备管理与维修,2014(9):26-27.
- [7] 马春祥,李占宝,李嘉树.立式车床主轴旋转液压缸的技术改造[J].液气传动与密封,2009,29(1):61-62.
- [8] 侯建华.西门子 S7 协议研究及基于嵌入式平台的驱动开发[J].自动化仪表,2019,40(9):93-96.
- [9] 原通文,姜川,孟晖,等.基于 S7-1200 和双 PLC 通讯的悬挂输送系统的设计与实现[J].制造业自动化,2019,41(6):123-125.
- [10] 贾建,余琼,吴昊,等.连退机组圆盘剪控制系统改造[J].金属世界,2021(2):81-84.
- [11] 刘勋元.在线分析仪试样传输滞后时间的计算及分析[J].石油化工自动化,2018,54(3):65-67.
- [12] 张海亮.电动静液压主动悬架时滞稳定性分析及控制研究[D].西安:西安科技大学,2021:21-34.
- [13] 何仁,吴海嘯,张涌,等.比例减压阀的特性及在无极变速器速比控制中的应用[J].汽车工程,2008,30(7):618-621,630.
- [14] 李竹芳,赵方,蔡普.电液比例技术在电液制动试验台上的应用[J].机械工程师,2015(6):98-101.
- [15] 郭健名,刘璇,漆雕.圆盘剪自动控制系统的應用[J].工业仪表与自动化装置,2013(4):98-100.

收稿日期:2022-04-29

(上接第 216 页)

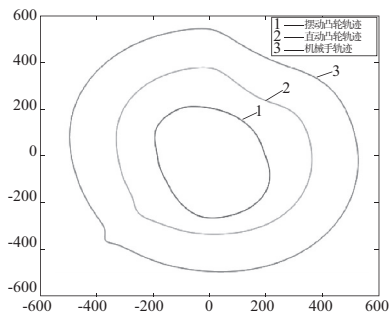


图 8 双凸轮理论轮廓曲线

5 结语

本文通过对吹瓶机双凸轮驱动取送瓶机械手进行分析,得到主要结论如下。

1)采用三次样条插值法对机械手曲线进行拟合,有效解决了在衔接点处速度和加速度不连续的问题,同时也确保了机械手的动作要求和整体运行的平稳性。

2)对过渡段摆动凸轮曲线采取分段式设计,在保证

机械手运行稳定的同时又降低了摆动凸轮从动件在运行过程中的最大加速度,为后续双凸轮驱动取送瓶机械手的设计提供新的思路。

参考文献:

- [1] 孙朕. PET 吹瓶技术的创新[J].塑料包装,2009,19(1):18-29.
- [2] 胡伟,胡国清,魏昕,等.吹瓶机中机械手凸轮曲线解析计算的研究[J].机械设计与制造,2009(4):183-185.
- [3] 郭松旺.全自动旋转式 PET 吹瓶机凸轮机构优化设计研究[D].广州:华南理工大学,2006.
- [4] 胡安朋.基于旋转式吹瓶机取、送瓶系统的组合凸轮参数化设计[D].广州:华南理工大学,2013.
- [5] 琚贻宏.平面机构运动的复向量分析法[J].青岛建筑工程学院学报,1997,18(1):92-96.
- [6] 陈文略,王子羊.三次样条插值在工程拟合中的应用[J].华中师范大学学报(自然科学版),2004,38(4):418-422.
- [7] 刘晓麟,林仕高,欧元贤.双五次多项式过渡机械手轨迹规划[J].机械设计与制造,2014(4):40-43.
- [8] 武文佳. MATLAB 在数学建模中的应用[J].现代制造技术与装备,2019(11):78-79.

收稿日期:2022-02-11