

基于 WM/C 的牛头刨床六杆机构运动特性研究

王智森, 韦洪新

(景德镇学院 机械电子工程学院, 江西 景德镇 333000)

摘要:牛头刨床中实现刨刀切削运动的六杆机构由摆动导杆机构和导杆滑块机构组合而成, 实现往复移动。针对传统的图解法分析该机构运动特性效率低、误差大等问题, 在建立牛头刨床六杆机构的简化模型基础上联合 Working Model 与 C 语言编程, 运用矢量解析法, 推导牛头刨床刨刀的位移、速度、加速度方程, 求解得到运动特性曲线, 直观显示了牛头刨床六杆机构的运动规律, 优化效率提高了 20%。该方法实现了对牛头刨床六杆机构运动学的精确分析, 能够节约尺寸参数的调试成本, 保证工作精度。

关键词: Working Model; C 语言; 牛头刨床; 六杆机构; 运动分析

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-4824(2020)06-0109-06

牛头刨床因滑枕和刀架形似牛头而得名, 刨刀装在滑枕的刀架上作往复运动, 多用于切削各种平面和沟槽^[1-4]。刨刀切削运动的模型可以简化为由摆动导杆机构和导杆滑块机构组合而成的六杆机构, 因此, 从保证工作精度, 缩短空行程时间的角度, 研究牛头刨床六杆机构的急回运动特性尤为重要^[5-8]。为了使刨刀工作行程中速度尽可能平稳、均匀, 传统设计采用的经验法或试凑法耗时长、成本高且精度低, 难以保证工作行程中速度的稳定性和系统的可靠性^[9-10]。

在已知机构尺寸及原动件运动规律的情况下, 可以推导出其余构件上各点的轨迹及位移、速度、加速度方程。不论是设计新的机器, 还是为了了解现有机械的运动性能, 这些要素, 都是十分必要的, 而且这也是研究机械动力性能的必要基础和前提^[11-12]。对于牛头刨床来说, 其刨刀在有效工作行程中应该接近等速运动, 且回程速度应高于前者速度, 从而提高效率^[13]。为了确定牛头刨床的设计是否满足要求, 就必须对其进行运动分析。

本文结合 Working Model 与 C 语言编程对

牛头刨床六杆机构模型进行简化, 添加尺寸约束、几何约束分别确定各连杆外形轮廓尺寸、运动副以及驱动, 对简化模型进行运动特性分析, 得到刨刀位移、速度和加速度变化规律曲线, 并通过 C 语言编程程序执行结果加以验证。该仿真分析方法为降低机床的设计成本和提高机床的工作精度提供了有效手段。

1 牛头刨床六杆机构模型建立

将牛头刨床六杆机构模型进行简化, 画出其运动简图如图 1 所示, 结构组成为: 原动部分是电机, 传动部分是齿轮、曲轴连杆机构, 执行部分是滑枕, 控制部分是离合手柄、变速控制手柄等。其中自由构件数 $n = 5$, 低副数 $P_l = 7$, 高副数 $P_h = 0$, 故自由度 $F = 3n - (2P_l + P_h) = 1$ 。

在牛头刨床六杆机构运动简图上建立直角坐标系, 并标出各杆件矢量及其方位角, 共有六个已知量 l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 、 l_5 、 l_6 , 四个未知量 l_7 、 l_8 、 l_9 及 s_E 。其中 l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 、 l_5 分别为曲柄 1、摆杆 3、导杆 4、机架 6 的尺寸, l_6 为刨刀到摆杆 3 底端的垂直距离, l_7 、 l_8 、 l_9 分别为曲柄 1、摆杆 3、导

收稿日期: 2020-09-07

基金项目: 景德镇学院社会产业研究项目(2019-xjkt-24)

作者简介: 王智森(1992-), 男, 江西婺源人, 景德镇学院机械电子工程学院助教, 硕士。

韦洪新(1989-), 男, 山东济宁人, 景德镇学院机械电子工程学院助教, 硕士。

杆 4 转过的角度, s_s 、 s_E 分别为滑块 2、刨刀 5 的位移, 利用图中两个封闭图形建立两个封闭矢量方程^[14-16], 求解可得:

$$\begin{cases} \overline{l_6} + \overline{l_1} = \overline{s_s} \\ \overline{l_3} + \overline{l_4} = \overline{l_6} + \overline{s_E} \end{cases} \quad (1)$$

将矢量方程变换成投影方程为:

$$\begin{cases} s_s \cos \theta_3 = l_1 \cos \theta_1 \\ s_s \sin \theta_3 = l_6 + l_1 \sin \theta_1 \\ l_3 \cos \theta_3 + l_4 \cos \theta_4 - s_E = 0 \\ l_3 \sin \theta_3 + l_4 \sin \theta_4 = l_6 \end{cases} \quad (2)$$

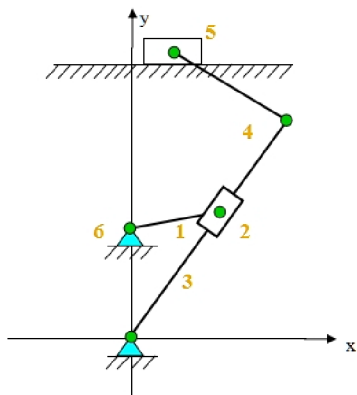


图 1 牛头刨床六杆机构运动简图

根据投影方程设定牛头刨床六杆机构的参数为: 曲柄 1 尺寸 $l_1 = 100 \text{ mm}$, 导杆 3 尺寸 $l_3 = 300 \text{ mm}$, 连杆 4 尺寸 $l_4 = 150 \text{ mm}$, 机架 6 尺寸 $l_6 = 150 \text{ mm}$ 。利用 Working Model 软件导入机构参数, 为便于分析和计算, 整体放大 20 倍, 建立的简化模型如图 2 所示, 其中滑块与导杆、刨刀与床身之间为滑动杆连接, 其余为销钉连接。

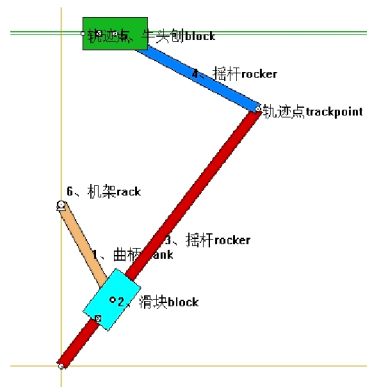


图 2 牛头刨床六杆机构简化模型

Working Model 软件在 2D 环境下为利用复杂的编辑功能来提供一个完整的专业的动态模拟, 可以模拟牛顿运动力学上的机构, 并且提供一些简易的图解让设计者更容易从事实验及分析不同的运动情况。本文利用 Working Model 的建

模、仿真功能, 对牛头刨床六杆机构进行虚拟设计和运动分析, 直观、便捷、高效地得到相关参数, 利于机构优化设计。

2 牛头刨床六杆机构运动分析

在建立的牛头刨床六杆机构简化模型的基础上, 设定曲柄 1 的转速参数为 $n_1 = 50 \text{ r/min}$, 逆时针转动, 利用 Working Model 软件模拟仿真牛头刨床切削加工过程, 得到刨刀的工作行程轨迹及导杆、连杆连接处的运动轨迹, 如图 3 所示, 图中白色细线为运动轨迹线。

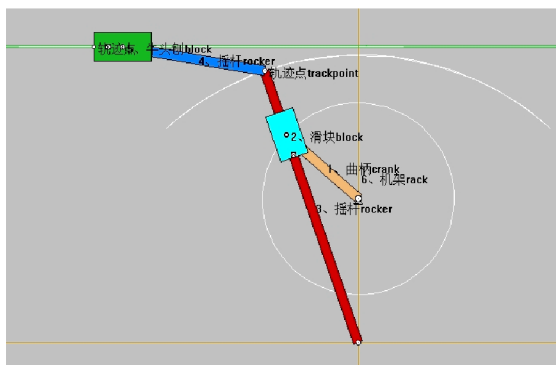


图 3 刨刀工作行程轨迹

用 Working Model 软件实时求解, 得到刨刀位移、速度及加速度等相关运动参数随时间变化的曲线, 便于让设计者直观地了解和捕捉到牛头刨床六杆机构的运动规律。仿真得到的各项数据为机构尺寸的优化设计提供了参考。

2.1 刨刀位移曲线分析

刨刀的工作行程可以通过由刨刀和床身组成的滑动副位移来测量。在 Working Model 建立的机构简化模型中选择该滑动副, 通过滑动副添加刨刀的轨迹点, 该轨迹点记录了刨刀位移随时间变化的曲线, 如图 4 所示。从刨刀位移曲线图中可以直观读取一次切削周期内, 刨刀工作行程的范围。由此分析得出牛头刨床单刃刨刀加工, 且在滑枕回程时不切削, 刨刀工作行程平稳。

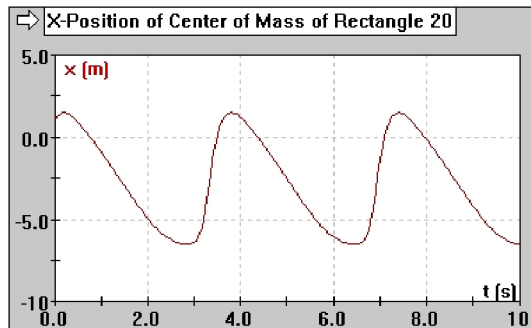


图 4 刨刀位移曲线

将公式(2)进行整理化简得如下方程:

$$\begin{cases} \tan \theta_3 = \frac{l_6 + l_4 \sin \theta_1}{l_4 \cos \theta_1} \\ \sin \theta_4 = \frac{l_6 - l_3 \sin \theta_3}{l_4} \\ s_E = l_3 \cos \theta_3 + l_4 \cos \theta_4 \end{cases} \quad (3)$$

将整体放大 20 倍的机构各项参数代入公式(3),以曲柄 1 的 θ_1 从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 为一个周期,通过 C 语言编程得到刨刀位置程序,如表 1 所示。

将程序输出的位置结果绘制成刨刀位移曲线,如图 5 所示,该曲线与 Working Model 仿真结

表 1 刨刀位置程序

主干代码	注释
#include<stdio.h> #include<math.h>	头文件
double fun(int a[]) { int i; double b=3.0,c=2.0,d=6.167,e=6.0,f=3.0; float k,g,h,j,l,m,p[100]; for(i=0;i<13;i+) { if((a[i]>=0 && a[i]<=90) (a[i]>=270 && a[i]<=360)) printf("%.3f\t",p[i]); } }	定义刨刀位置函数 fun() 定义 b,c,d,e,f 赋值尺寸参数 定义 k,g,h,j,l,m 中间变量 定义 a[i]存放角度值 定义 p[i]存放刨刀位置值 for 语句中嵌入 if 语句实现输出 p[i]
main() { int i; int aa[13]={0,30,60,90,120,150,180,210,240,270,300,330,360}; printf("位置结果为:\n"); fun(aa); printf("\n"); return 0; }	aa[13]存放一个周期内 13 个均布角度值 main()主函数调用 fun()函数输出一个周期内的刨刀位置值

果完全拟合。

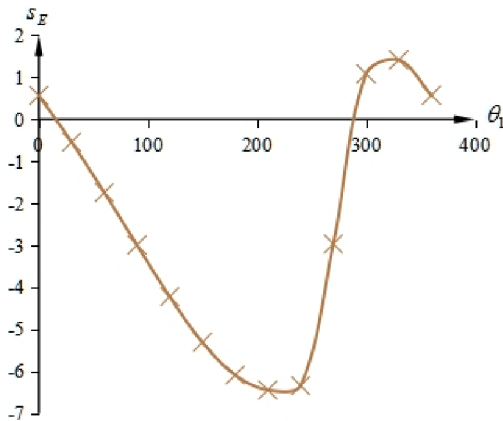


图 5 C 语言实现的刨刀位移拟合曲线

2.2 刨刀速度曲线分析

用上述方法,选择刨刀和床身组成的滑动副创建速度函数,用 Working Model 仿真得到刨刀速度曲线,如图 6 所示。

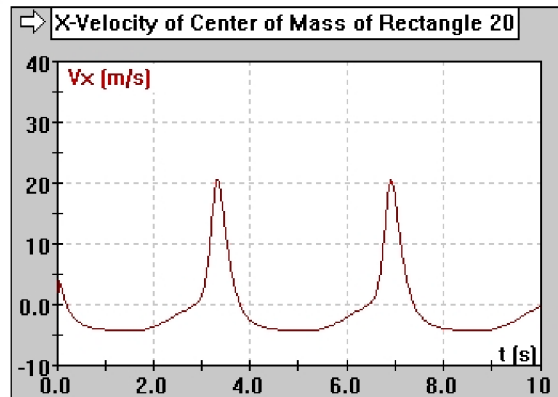


图 6 刨刀速度曲线

从刨刀速度曲线图中可以看出:在 0.25 s 和 3 s 两个时刻,刨刀的速度为 0,分别处在位移的两个极值上。0.25~3 s,刨刀向左移动,切削工件;3~3.75 s,刨刀向右回程。分析可得:牛头刨床刨刀工作行程的平均速度、速度波动明显小于回程的平均速度、速度波动,切削运动平稳,验证

了 Working Model 运动仿真结果的正确性。在牛头刨床刨刀工作行程中, 速度较为平稳, 近似于等速, 这样能够保证刨刀的工作精度和使用寿命。

将位置方程对时间取一次导数, 得到速度方程式(4)。

$$\begin{cases} \cos \theta_3 v_3 - l_3 \sin \theta_3 \omega_3 = -l_1 \omega_1 \sin \theta_1 \\ \sin \theta_3 v_3 + l_3 \cos \theta_3 \omega_3 = l_1 \omega_1 \cos \theta_1 \\ -l_3 \sin \theta_3 \omega_3 + l_4 \sin \theta_4 \omega_4 - v_E = 0 \\ l_3 \cos \theta_3 \omega_3 + l_4 \cos \theta_4 \omega_4 = 0 \end{cases} \quad (4)$$

经过化简整理得:

$$\begin{cases} \omega_3 = \frac{l_1 \omega_1 \cos \theta_1}{l_1 (\sin \theta_1 + \cos \theta_1) + l_6} \\ v_E = (l_3 \cos \theta_3 \tan \theta_4 - l_3 \sin \theta_3) \omega_3 \end{cases} \quad (5)$$

利用 C 语言编程, 可以得到刨刀速度程序(见表 2)。将程序输出的速度结果绘制成刨刀速度曲线, 如图 7 所示, 该曲线与 Working Model 仿真结果接近拟合。

2.3 刨刀加速度曲线分析

同理上述分析过程, 选择刨刀和床身组成的滑动副创建加速度函数, 用 Working Model 仿真

表 2 刨刀速度程序

主干代码	注释
#include<stdio.h>	头文件
#include<math.h>	定义 π 近似值常数 PI
#define PI 3.14	
double fun(int a[])	定义刨刀速度函数 fun()
{	同理表 1 编程框架实现输出速度值 q[i]
.....	
}	
main()	同理表 1 编程框架 main()主函数调用 fun()
{	函数输出一个周期内的刨刀速度值
.....	
}	

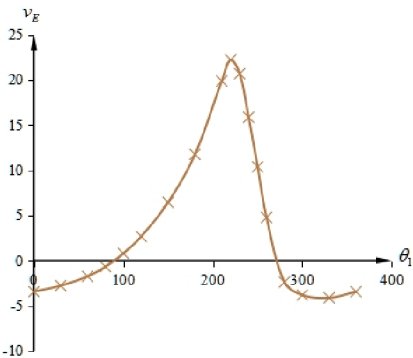


图 7 C 语言实现的刨刀速度拟合曲线得到刨刀加速度曲线, 如图 8 所示。

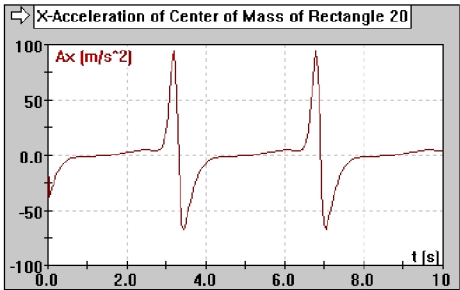


图 8 刨刀加速度曲线

由刨刀加速度曲线图分析可得: 牛头刨床在回程时速度变化很快, 验证了牛头刨床的急回特性, 这个特性提高了切削工件时的生产效率。通过设定曲柄不同的转速值, 比较刨刀位移、速度、

加速度分析结果发现: 在电机转速改变的情况下, 牛头刨床刨刀的速度和位移曲线变化不大, 刨刀加速度曲线变化较大。基于此规律, 设计者可以根据调试牛头刨床六杆机构尺寸参数和电机转速参数设计满足切削加工要求的最优值。

将位置方程对时间取二次导数, 得到加速度方程式。方程式如下:

$$a_E = - \left(l_3 \sin \theta_3 \alpha_3 + (l_6 - l_3 \sin \theta_3) \right) \alpha_1 \quad (6)$$

通过 C 语言编程得到刨刀加速度程序, 如表 3 所示。将程序输出的加速度结果绘制成刨刀加速度曲线, 如图 9 所示, 该曲线与 Working Model 仿真结果接近拟合。

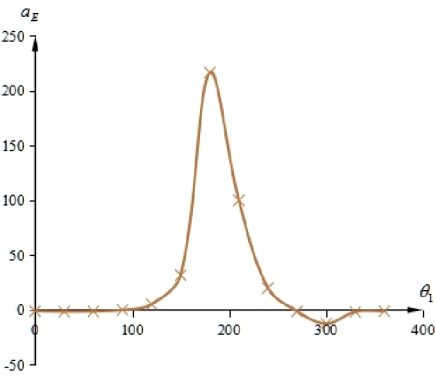


图 9 C 语言实现的刨刀加速度拟合曲线

表 3 刨刀加速度程序

主干代码	注释
<pre>#include<stdio.h> #include<math.h> #define PI 3.14159 double fun(int a[]) { int i; double r[100], b, c, d, e, f, g, h, l, m, n; for(i=0; i<13; i++) { if((a[i]>=0 && a[i]<=90) (a[i]>=270 && a[i]<=360)) { r[i]= -6.0 * sqrt(f) * m - (6.167 - 6.0 * sqrt(f)) * n - 6.0 * pow(c, 2) * sqrt(e) + 3.0 * h * sqrt(1 - pow(g, 2)); } else { } printf("%.3lf\t", r[i]); } main() { int i; int aa[13] = {0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360}; printf("加速度结果为:\n"); fun(aa); printf("\n"); return 0; } }</pre>	头文件 定义 π 近似值常数 PI 定义刨刀加速度函数 fun() 同理表 1 编程框架实现输出加速度值 r[i] 同理表 1 编程框架 main()主函数调用 fun() 函数输出一个周期内的刨刀加速度值

3 结论

研究牛头刨床六杆机构运动特性的软件工具很多,本文联合 Working Model 与 C 语言软件对牛头刨床六杆机构的运动特性进行了仿真与验证,该方法操作简便、直观,省去了三维建模的繁琐过程,运动分析结果输出实时、高效,优化效率相比传统设计采用的试凑法和解析法提高了 20%。利用该方法,设计者根据所需切削加工要求可以实时修改机构形状、尺寸参数,得到最优值方案。

[参 考 文 献]

[1] 宋克伟,姚文莉,郝鑫,等.牛头刨床六杆机构的虚拟样机建模与仿真分析[J].现代制造技术与装备,2018(4):16-19.

[2] 赵玉成,顿文涛,李勉,等.基于 Pro/E 的牛头刨床

六杆机构的动态仿真分析[J].河南农业大学学报,2014,48(1):66-70.

[3] 张宏阁.混合运动副间隙对六杆机构动力学特性的影响[J].机械科学与技术,2020,39(6):852-857.

[4] 张东杰,王晓伟,任孟斌,等.基于再生运动链法的牛头刨床刨削机构创新设计[J].起重运输机械,2020(4):48-53.

[5] 季佳俊.基于 MATLAB 的牛头刨床机构运动分析[J].时代农机,2020,47(1):112-114.

[6] 唐宇恒,石清荣,杨永梅,等.基于 UG NX 的牛头刨床六杆机构三维建模及仿真[J].设备管理与维修,2019(23):27-30.

[7] 王莹,许洋洋,薛东彬.基于改进 BP 神经网络优化的牛头刨床动力学仿真[J].中国工程机械学报,2018,16(1):30-34.

[8] 林小娟,徐亮.基于 Simulink 的牛头刨床运动分析仿真及优化[J].装备制造技术,2016(10):101-104.

- [9] 刘文龙, 苏丹, 刘明涛. 基于 Matlab 与 C 语言联合对牛头刨床机构的优化研究[J]. 河南工程学院学报(自然科学版), 2015, 27(3): 45-51.
- [10] 张卫亮, 魏琳. 基于 ADAMS 牛头刨床六杆机构的运动学计算和仿真[J]. 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 2014, 34(4): 56-59.
- [11] 管西巧, 赵庆志, 高跃武, 等. 基于 Solidworks 和 ADAMS 的牛头刨床导杆机构仿真分析[J]. 煤矿机械, 2014, 35(10): 273-275.
- [12] 管锋, 周传喜, 喻久港. 基于 VB 的牛头刨床六杆机构设计软件研制[J]. 机床与液压, 2013, 41(20): 23-25.
- [13] 管锋, 周传喜, 喻久港. 基于 VB 的牛头刨床六杆机构参数化设计及运动分析[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2012, 9(12): 149-151.
- [14] 吕鲲, 袁扬, 郭冬. 牛头刨床六杆机构的优化设计及仿真[J]. 机械传动, 2013, 37(3): 52-55.
- [15] 王延龙, 文学洙. 牛头刨床六杆机构的运动分析和优化方法[J]. 机械工程师, 2016(2): 98-99.
- [16] 王娟平. 基于 Matlab 的牛头刨床运动分析及仿真[J]. 煤矿机械, 2012, 33(1): 246-248.

Study on Kinematic Characteristics of Six-bar Linkage of Shaper Based on WM/C

Wang Zhisen, Wei Hongxin

(School of Mechanical and Electronic Engineering, Jingdezhen University, Jingdezhen, Jiangxi 333000, China)

Abstract: The six bar mechanism which realizes the cutting motion of planer is composed of swinging guide rod mechanism and guide rod slider mechanism, which realizes reciprocating movement. For the analysis of the motion characteristics of mechanism, the traditional graphic method has low efficiency and large error, which can not meet the requirements of practical application. This paper combines working model and C language programming to establish a simplified model of six bar mechanism of shaper. By using vector analysis method, the displacement, velocity and acceleration equations of shaper cutter are derived, and the motion characteristic curve is obtained. The motion law of six bar mechanism of shaper is visually displayed, and the optimization efficiency is increased by 20%. This method can realize the accurate analysis of the kinematics of the six bar mechanism of the shaper, and save the debugging cost of the size parameters and ensure the working accuracy.

Key Words: working model; C language; shaper; six-bar linkage; kinematic analysis

(责任编辑:熊文涛)