

基于伺服驱动技术的数控车床技术改造

霍洪旭

(通用技术集团机床工程研究院有限公司沈阳分公司, 辽宁 沈阳 110142)

摘要: 介绍一种利用伺服驱动技术,从编程和机械结构设计等方面对计算机数控(computer numerical control, CNC)车床进行改造,以实现自动加工的工作实践。传统的加工版辊依托人工控制或半自动化控制加工,生产效率低,且容易发生撞刀事故。利用X轴伺服驱动技术,激光传感器和碰杆机构精确判断工件径向尺寸。利用W轴伺服驱动顶紧工件,初步判断工件长度。再利用Z轴伺服驱动技术和碰杆机构精确判断工件轴向尺寸。通过对数控车床SUC8202S的改造,实现对版辊的自动加工,对同领域相关的技术改造具有一定的参考价值。

关键词: 数控车床; 伺服驱动技术; 技术改造

中图分类号: TP273; TG519.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)05-0057-05

Technical Transformation of CNC Lathe Based on Servo Drive Technology

HUO Hong-xu

(General Technology Group Machine Tool Engineering Research Institute Co., Ltd., Shenyang 110142 China)

Abstract: This paper introduces a working practice of transforming the computer numerical control (CNC) lathe from the aspects of programming and mechanical structure design and others utilizing servo drive technology, realizing the work practice of automatic processing. With artificial control or semi-automated control processing, traditional processing rollers achieve low production efficiency and easily cause breakage accidents. X-axis servo driver technology, laser sensors and lever mechanisms are used to accurately determine the radial size of work pieces, W-axis servo driver jacking work pieces are used to initially determine the length of the work pieces, and Z-axis servo driver technology and lever mechanisms are used to accurately determine the axial size of the work pieces. Through the transformation of the computer numerical control lathe SUC8202S, the automatic processing of the plate roller is achieved, which denotes a certain reference value for the related technical transformation in the same field.

Keywords: cnc lathe; servo driver technology; technical transformation

0 引言

在机加行业中,数控车床被广泛应用在轴类,盘类制造。一般轴类工件的车削装夹方法有两端顶尖和一端顶尖一端卡盘两种方法。两顶尖定位精度高,同时由于定位基准,设计基准和测量基准重合,定位基准不受多次加工影响^[1]。原有加工版辊数控车床采用普通液压套筒尾台来夹持工件,受液压结构影响,极易发生密封圈老化和漏油现象。同时,考虑到中低端数控车床无法安装无线测头的实际情况,此类零件加工依旧无法实现自动加工。尤其像制版行业,加工版辊要求外圆对两端内孔同轴度0.05,表面粗糙度Ra0.8,且版辊尺寸复杂,而目前实际生产还是根据版辊尺寸来调用目标程序,效率低,人工成本高。为此设计一款经济实用的整套解决方案,为中低端数控车床改造提供参考。

许多学者已经在伺服电机驱动方面做出了一些研究。

王刘成在不增加机床硬件的情况下,通过伺服进给系统的参数优化,可以明显提高机床的跟踪精度^[2]。朱强等人通过FANUC伺服电机,从交流伺服电机特性的角度阐述如何对伺服电机过载进行检测和过载报警^[3]。张军将驱动电信号转化成电动机轴上的角位移或角速度输出,使机床准确定位^[4]。骆明霞基于比例积分微分(proportion integration differentiation, PID)算法优化卧式数控车床,电气自动控制车床^[5]。经过分析发现每一种理论都有一定的局限性和缺乏应用性,有待改进。

本文基于数控车床三个进给轴的伺服驱动技术,通过刀架上的碰杆接触工件并监控扭矩变化,来实现对工件尺寸的精确判断。为了防止碰杆撞机损坏,设计一套防撞机构和程序,并通过试验进行进一步验证。首先利用W轴伺服驱动顶紧技术判断工件有无,并利用传感器和碰杆,采用先粗后精方式测量工件外径。当输入尺寸在误差范围内时,再进行工件的轴向测量。

1 X轴伺服驱动测量工件外径

本文进给轴电机型号βiSc22/2000。首先验证机床的惯量和扭矩是否满足电机需求。安装在刀架上的非标碰杆,通过试验来检验X轴电机伺服驱动检查工件的合理性。

1.1 X轴丝杆传动惯量和扭矩计算

根据X轴丝杆传动,如图1所示。由于伺服电机与丝杠通过联轴器直连,传动比*i*=1,丝杠导程等于电机转移动量*P_b*。

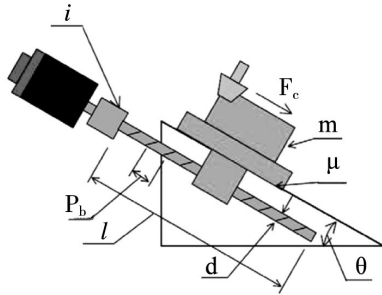


图1 X轴传动参数图

图1中,质量为*m*,丝杠直径*d*,电机转移动量*P_b*,丝杠长度*l*,切削力*F_c*,质量折算惯量*J₁₁*,丝杠折算惯量*J₁₂*,其它惯量*J₁₃*(主要包括电机到丝杠间减速机构在电机轴端的折算惯量,所以*J₁₃*=0),X轴负载惯量*J_{lx}*,摩擦扭矩*T_f*,重力扭矩*T_g*,空载扭矩*T_m*,切削扭矩*T_c*,负载扭矩*T_{mc}*,最大加速扭矩*T_{max}*^[6-7]。

$$\text{质量折算惯量: } J_{11} = m \times \left(\frac{P_b}{2\pi}\right)^2 \quad (1)$$

$$\text{丝杠折算惯量: } J_{12} = \frac{\rho\pi}{32} \times d^4 l \quad (2)$$

式中, ρ 为丝杠密度 $7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

$$\text{X轴负载惯量 } J_{lx} = J_{11} + J_{12} + J_{13} = 0.0025 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

$$\text{摩擦扭矩: } T_f = \frac{\mu \times mg \times \cos\theta \times P_b}{2\pi \eta} \quad (3)$$

式中, η 进给轴的传动效率,取 $\eta=0.95$ 。

$$\text{重力扭矩: } T_g = \frac{(mg \times \sin\theta - F_b) P_b}{2\pi \eta} \quad (4)$$

式中, F_b 为平衡力,本机构无平衡油缸,即 $F_b=0$ 。

$$\text{空载扭矩: } T_m = T_f + T_g \quad (5)$$

$$\text{切削扭矩: } T_c = \frac{F_c \times P_b}{2\pi \eta} \quad (6)$$

$$\text{负载扭矩: } T_{mc} = T_m + T_c \quad (7)$$

X轴最大加速扭矩为:

$$T_{max} = J_{lx} \times \frac{2\pi \times \alpha_{max}}{P_b} + \frac{mgs \sin\theta P_b}{2\pi \eta} \quad (8)$$

式中, α_{max} 为最大加速度(5 m/sec^2)。由于机床的伺服电机扭矩*T*=20 Nm($T > T_{max}$),转动惯量*J*=0.0053 kg·m²

($J > J_{lx}$),所以满足设计要求,可进行扭矩试验。

1.2 碰杆设计及扭矩试验

在满足设计要求后,设计一款碰杆用于接触工件,并且方便后期拆卸,安装于刀盘上,如图2所示。



图2 碰杆安装视图

数控车床在车削版辊前会检测工件的外圆,来设置滑板在X轴进给数值。对精度要求极高可选用无线测头。对精度要求一般且有着成本要求情况下,可利用伺服电机输出扭矩和刀架碰杆机构自动检测方法,来提高生产效率。

通过对伺服电机输出最大扭矩的计算,考虑实际输出的加速扭矩8.27 Nm和碰杆检测时的负载扭矩0.42 Nm。选择极限跳转的扭矩负载比59%。并完成调试。

主程序如下:

```
O3003
M5//主轴停
M3S0
G98
G30U0//回安全位置
G55G98G0Z[#544]//预定位 Z
T0505//测量杆刀号
G98
G01X#543F2000.//预定位 X
G31P99Q35X#530F500.//定位 X
G31P99Q35W-45.F200//测量,根据实际情况调整
Q值大小
#563=#5062//赋值跳转位置(工件坐标系)
#571=#5022//赋值当前位置(机械坐标系)
G0W10.//回安全位置
G30U0.//回安全位置
G0W60.//回安全位置
M99//子程序结束返回
```

2 碰杆防撞设计与应用

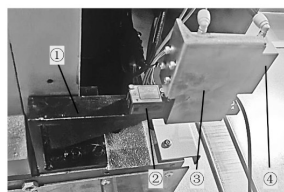
由于设定的X轴加速度 α_{max} 过大,导致实际使用时容易发生撞击,但加速度过小,检测效率降低。为此需要设计一套防撞机构和程序,并加载设计程序模拟检测情况。

程序通过预先输入工件外圆大小,通过程序自动判

断是否符合误差范围内,当满足误差内可以转动碰杆工位到加工位,缓慢移动接触工件,并记录。当误差不在范围内,程序界面报警,并给出实际直径与输入直径的比较,如“CU”表示实际直径比输入直径大,“XI”表示实际直径比输入直径小。

2.1 碰杆防撞机构的设计与安装

本文选用松下HG-C11000-P激光传感器,一种靠光电方式检测来判断工件版面所在位置的传感器。由于激光传感器表面水雾会影响光线折射率,从而影响探测的精度,为此选用FESTO导向杆气缸DFM-12-50-P-A-GF对检测窗口进行开关保护,如图3^[8-10]。



①支架 ②激光传感器 ③挡水板 ④导向杆气缸

图3 防撞机构安装视图

其中,支架用于固定气缸和传感器;挡水板可防止切削液喷溅到传感器。

2.2 碰杆防撞程序的设计

主程序如下:

%

O0099(CU.XI)

G30U0//回归次原点坐标

G53G0X10//移动参考点,机床快速移动,X10

#2=#803+#604+60//运行安全距离(超出填写直径数值30 mm后停止测量,防止撞机)

G98G31G1X#2F500//返回起始点;跳转指令,通常只用于测量功能;直线插补;

IF[#1008EQ1]GOTO1//判断传感器信号触发,程序跳转到N1;

N1#100=#5021//赋值,传感器触发后的机械坐标(#5021);

#100=ABS[#100-200]//计算测量直径;

#10=ABS[#803+#604+#102]//理论直径加上上偏差的数值;

#11=ABS[#803+#604-#102]//理论直径减去下偏差的数值;

IF[#100LT#10]GOTO3//判断大于上偏差,程序跳转N3;

IF[#100GT#11]GOTO4//判断小于下偏差,程序跳转N4;

GOTO100//程序跳转到N100;

N3#3000=3(CU)//报警工件(粗)

N4#3000=4(XI)//报警工件(细)

N100

G30U0

M1

M99

%

2.3 碰杆防撞机构的调试与结论

(1) 装夹版辊工件,并实测其直径数值。单段启动测量程序,至X轴停止,并记录当前X轴的机械坐标,如图4所示。



(a) 工件的测量



(b) 坐标的记录

图4 记录X轴的机械坐标

(2) 将记录的X轴机械坐标减去实测版辊的直径数值再减去传感器距离外径表面的数值200(实际是100,直径编程数值是200)。即#803=当前状态下X轴机械坐标-实测版辊直径-200。将计算后的数值填入#803内,固化后不用改动,如图5所示。

用户宏程序			
号.	值	号.	值
00788	0.0000	00800	0.0000
00789	0.0000	00801	0.0000
00790	0.0000	00802	0.0000
00791	0.0000	00803	-889.8700
00792	0.0000	00804	0.0000
00793	0.0000	00805	0.0000
00794	0.0000	00806	0.0000

图5 #803赋值



(a) 报警XI



(b) 报警CU

图6 判断报警显示

(3) 执行主程序直接进行判断,输入无误将直接进行正常工序加工,如果有问题,该程序直接判断报警(CU或XI),校对相应参数后重新进行判断,直至没问题后进行正常工序加工,避免参数输入错误产生撞机情况,如图6所示。

图7为传感器PLC的跳转部分,包含G6.6跳转信号, R1004.6为检测信号。

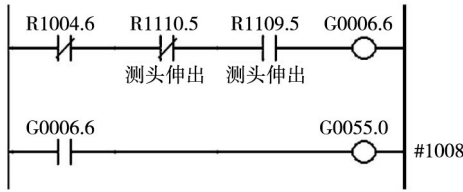


图7 跳转部分梯形图

3 ZW轴伺服驱动判断工件长度

通过测量工件的外圆可方便判断的碰杆前进的位置来接触工件,但由于工件的长短不一,如若从Z轴超程位置起缓慢移动来接触工件,那么耗费时间较长,为此需要通过伺服尾台(W轴)顶紧技术^[11],来粗略判断工件的轴向位置,在利用Z轴伺服电机带动碰杆与工件端面接触,从而高效地测量版辊的长度,为后续的自动加工节约时间。

3.1 W轴伺服尾台顶紧技术与初定位

双顶尖装夹方式具有高同轴和安装方便等特性,在版辊中经常应用。但版辊的两端孔大小,和版辊的长度影响碰杆的触碰坐标,因此需尾台顶紧后的坐标来初步判断版辊的位置。

经过计算W轴负载惯量 $J_w=0.0018 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$,加速扭矩 $T_{\max w}=4.79 \text{ Nm}$,二者皆小于电机转动惯量和额定扭矩。所以满足设计要求,可进行尾台顶紧试验。

3.2 Z轴伺服驱动技术与精确测量

利用Z轴伺服电机,带动滑鞍和刀架整体移动,通过上述初定位结果对版辊两端进行精确测量。此方法目的在于既能让碰杆在非加工范围快速移动,加工范围缓慢移动,从而提高效率,也能判断工件的轴向尺寸。

经过计算Z轴负载惯量 $J_z=0.0039 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$,加速扭矩 $T_{\max z}=10.21 \text{ Nm}$,二者皆小于电机转动惯量和额定扭矩。所以满足设计要求。

3.3 伺服顶紧试验与结论

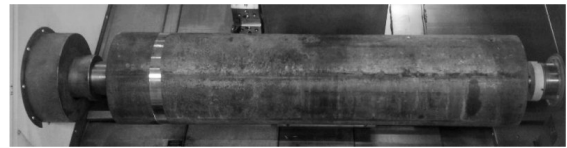
试验设备为SUC8202S数控车床。试验工件为长度1350mm,直径300mm,两端孔100mm,孔口角度30°的版辊。尾台顶尖靠近工件到顶紧,利用伺服电机恒扭矩使工件保持不动,根据切削参数不同,适当调节电机扭矩大小,对版辊的粗精车削加工试验,如图8所示。并对加工后的版辊进行精度检验,如表1所示。

改造后版辊的结果分析和性能评价:

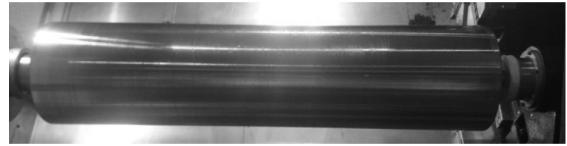
(1) 采用双顶结构,利用伺服驱动尾台加工能够有效保证加工精度,改造后数控车床满足实际版辊加工的精度需求;

(2) 碰杆X,Z轴测量重复误差稳定在0.03mm以内,

可通过测量结果直接调用加工程序,以此实现自动加工;



(a) 毛坯夹持



(b) 粗车版辊



(c) 精车版辊

图8 改造后加工试验

表1 版辊加工精度

项目	主轴端/mm	版辊中间/min	尾台端/min
检测0°轴颈尺寸	296.270	296.275	296.260
检测90°轴颈尺寸	296.270	296.270	296.265
圆度	0.000	0.005	0.005
锥度		0.015 mm	
跳动(两端V铁)	0.005	0.005	0.005
表面粗糙度(RA)	3.4	3.6	2.9

(3) 在切削深度为1mm情况下,版辊的被加工情况同版辊的直径,进给,转速等因素有关,为此经过多番对比试验,调试合适的尾台顶紧力参数值,如表2所示。

表2 尾台顶紧力参考值

工件直径/mm	进给/mm/r	转速/r/min	A值
100~150	0.3	650	-196
150~200	0.25	480	-229
200~250	0.3	400	-228
250~300	0.2	350	-201
300~350	0.2	300	-235

4 结束语

本文通过对SUC8202S数控车床的改造,利用三轴的电机反馈,精确地测量工件的轴向和径向尺寸,为自动切削加工节约时间。同时搭配激光传感器既能实现碰杆的防撞功能,保护机械结构,又能在测量上提高效率,为自动加工提供参考技术。

参考文献:

[1] 袁承家,董艳红.回转体轴类零件加工自动线的研究[J].内燃机与配件,2022(1):85-87.

(下转第168页)