

玻璃烫钻多头研磨机微进给结构的设计与仿真

秦宝荣, 金少波, 王腾龙

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要: 针对研磨机对进给量控制精度不足和欠稳定的问题, 根据玻璃烫钻加工工艺的要求, 研究比较了进给机构, 并确定了玻璃烫钻的进给方案, 同时研究了机床传动链, 得出了机械传递函数及固有频率, 为避免共振提供了理论支持。电气控制系统采用电流环、速度环和位置环 3 环控制方案, 通过工程整定的方法首先对电流环控制器和速度环控制参数进行了确定。在此基础上对位置环进行了 PID 参数整定, 并在 Matlab 中对系统进行了建模仿真研究。研究结果表明整个控制系统阶跃响应无超调量、进给稳定, 满足工艺要求。

关键词: 进给; 伺服系统; 参数整定; 仿真

中图分类号: TH122; TP273

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)04-0414-04

Design and simulation for feeding system of hot-fix multi-head milling machine

QIN Bao-rong, JIN Shao-bo, WANG Teng-long

(The MOE Key Laboratory of Special Purpose Equipment and Advanced Processing Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the lack of feeding precision and stability, according to the drilling process of the hot fix rhinestone and the study of feeding mechanism, the drilling way of the hot fix rhinestone was determined and the research on the machine to avoid the resonance was done. The current loop, velocity loop and position loop ring control scheme were used in control system. Based on current loop controller and speed loop control parameters, the PID parameters of the position loop were determined. The performance of the systems was studied by the Matlab. The results of simulation show that the feeding system stable and meets the process requirements.

Key words: feeding; servo system; parameters tuning; simulation

0 引言

由于玻璃烫钻体积微小、形状似钻石、受压易破碎等特点, 因而研磨时需将玻璃烫钻按统一位排列, 而国内市场的研磨机床主要是针对石材的加工, 导致现有的研磨机床难以满足实际加工的需求。国内生产研磨机的企业也很多, 但大都是常规的平面研磨机, 它们研磨的对象通常是正方体或长方体等常规几何体形的工件, 而生产针对玻璃烫钻这种几何外型较为特殊的研磨机却很少, 因而不能满足对玻璃烫钻的研磨要求。国外已有针对烫钻的专用机床, 但价格昂贵, 一般的中小企业难以承受, 因此设计和研发玻璃烫钻研磨机对于提高国内企业烫钻制

造水平具有直接的现实意义^[1]。

本研究主要探讨玻璃烫钻多头研磨机微进给结构的设计与仿真。

1 进给系统总体设计

在工件的实际加工中, 研磨头首先是从远离工件的位置运动到接近工件的位置, 相当于进入工作状态前的准备工作。在准备阶段采用速度控制模式, 使研磨头最快地进入工作状态; 在工作阶段采用电压-位置随动系统, 为了降低电动机时间常数, 加入测速负反馈模型。加入的深度可以从编码器的运算结果来得到, 以阶跃响应的超调量不大于 19% 为宜, 反馈的系数 β 太低不利于降低电动机的时间常数。

已知研磨头的起始位置、工件的厚度及最终的加工去除量,可得到研磨的最终位置。研磨头从起始位置到工作位置的运行时间要尽量的短,但从工作位置到研磨最终位置既要注意研磨效率也要注意研磨质量。所以研磨头进给系统的控制是研磨头优化进给的过程,关键点是工作阶段的研磨头进给过程。

系统结构图如图1所示,伺服控制系统由伺服电机、功率驱动器、控制器和传感器四大部分组成,主要是位置传感器。

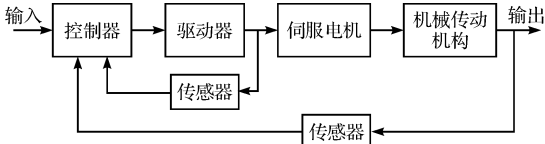


图1 系统结构图

2 机械进给特性

根据选出的进给方案,可以得出研磨头微进给系统的机械传动链。

多头研磨机研磨头进给传动链的系统方块图如图2所示。这里步进电机通过蜗轮蜗杆及丝杆螺母副驱动研磨头移动。其中, $\theta(t)$ 为输入转角, $X_0(t)$ 为输出位移, Z_1 为蜗轮齿数, γ_1 为蜗杆头数, J_1, J_2 分别为 I 轴和 II 轴的转动惯量, M 为研磨头的运动质量, D 为直线运动的阻尼系数, l 为丝杆螺母的螺距, k 为电动机轴上的扭转刚度。

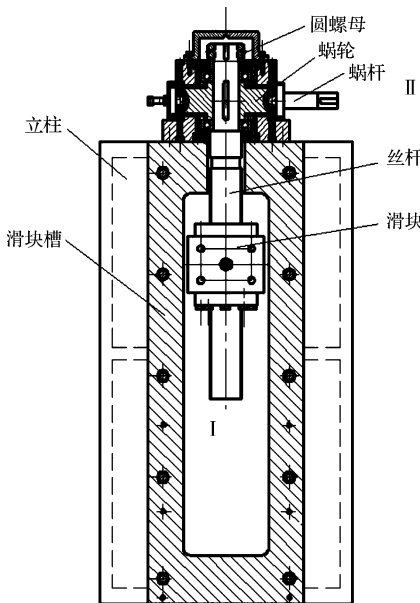


图2 研磨头进给传动结构

假设作用在蜗轮 Z_1 上的转矩为 T_2 。根据做功相等的原理,经过简化运算后得到方程^[2]:

$$\begin{cases} k\left(\theta(t) - \frac{z_1}{\gamma_1} \frac{2\pi}{l} x_0(t)\right) = J_1 \frac{d^2\left(\frac{z_1}{\gamma_1} \frac{2\pi}{l} x_0(t)\right)}{dt^2} + \frac{\gamma_1}{z_1} T_2(t) \\ T_2(t) = \left(J_2 + M\left(\frac{l}{2\pi}\right)^2\right) \frac{d^2\left(\frac{2\pi}{l} x_0(t)\right)}{dt^2} + D\left(\frac{l}{2\pi}\right)^2 \frac{d\left(\frac{2\pi}{l} x_0(t)\right)}{dt} \end{cases}$$

式中: $(z_1/\gamma_1)(2\pi/l)x_0(t) - x_0(t)$ 等效到 I 轴上的转角, $(2\pi/l)x_0(t) - x_0(t)$ 等效到 II 轴上的转角, $M(l/2\pi)^2 - M$ 等效到 II 轴上的转动惯量, $D(l/2\pi)^2$ 等效到 II 轴上的阻尼系数。

对上述微分方程组进行拉氏变化,得到的整个进给传动链系统方块图如图3所示。

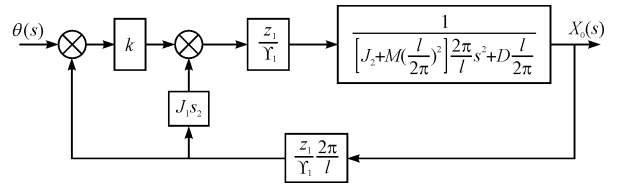


图3 微进给传动系统方块图

本研磨机床的蜗杆传动相关参数如下所示: $\gamma_1 = 1, z_1 = 62, l = 8 \times 10^{-3} \text{ m}, D = 30 \text{ N s/m}, J_1 = 6.2 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2, J_2 = 8.83 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2, M = 20 \text{ kg}, K = 1/[1/K_I + 1/(62KI)^2] = 1.13 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$ 。

所以得:

$$G_p(s) = \frac{X_0(s)}{\Theta(s)} = \frac{2\pi k l \gamma_1 z_1}{[4\pi^2 z_1^2 J_1 + 4\pi^2 \gamma_1^2 J_2 + l^2 \gamma_1^2 M]s^2 + l^2 \gamma_1^2 D s + 4\pi^2 z_1^2 k} = \frac{1}{8.2 \times 10^{-4} s^2 + 5.45 \times 10^{-8} s + 4.8 \times 10^4}$$

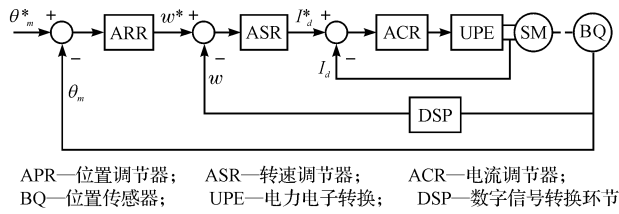
主谐振频率为:

$$W_n = 4416 \text{ rad/s} = 703 \text{ Hz}$$

3 电机进给传动建模与参数整定

进给系统采用三菱伺服电机,参照电机说明书,其参数为:额定转速 $n_r = 2000 \text{ rpm}$,额定电流为 $I_r = 6 \text{ A}$,额定转矩 $M_r = 4.78 \text{ N} \cdot \text{m}$,电机转动惯量 $J = 0.00137 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。其他的参数根据实际经验取一般的使用值:电机电枢电阻 $R_a = 0.5 \Omega$,整流装置滞后时间常数 $T_s = 0.0016 \text{ s}$,电流滤波时间常数为 $T_{oi} = 0.002 \text{ s}$,得 $T_{\Sigma i} = T_s + T_{oi} = 0.0036 \text{ s}$,转速滤波时间常数为 $T_{on} = 0.008 \text{ s}$,得 $T_{\Sigma n} = 1/K_1 + T_{on} = 0.0152 \text{ s}$;电枢电磁时间常数 $T_1 = 0.02 \text{ s}$,机电时间常数 $T_m = 0.15 \text{ s}$,电动机系数 $C_e = 0.132 \text{ V} \cdot \text{min/r}$,电流反馈系数 $\beta = 0.04 \text{ V/A}$,转速反馈系数 $\alpha = 0.007 \text{ V} \cdot \text{min/r}, \gamma = 0.5 \text{ V} \cdot \text{min/a}$,可控硅系统的放大系数为 $K_s = 30$ 。采用三环伺服系统来控制

制,如图 4 所示。



APR—位置调节器; ASR—转速调节器; ACR—电流调节器;
BQ—位置传感器; UPE—电力电子转换; DSP—数字信号转换环节

图 4 三环伺服控制图

3.1 电流环整定

在给定信号作用下,希望有很好的跟随性,超调量小,应保证电枢电流不超过允许值;电流环的抗干扰作用主要体现在对电网电压的波动上。一般来说电流环以跟随性为主,即应选 I 型系统。电流闭环控制具有抑制启/制动电流,加速电流响应过程等作用^[3-5]。在电流环参数整定之前,须对电流环动态结构进行简化。在一般的情况下,系统的电磁常数 T_1 远小于机电时间常数 T_m ;反电动势也是个缓慢变化的过程,在瞬时状态下,其变化可以看作无。

在 Matlab 中的电流环开环传递函数如图 5 所示,电流环闭环框图如图 6 所示。

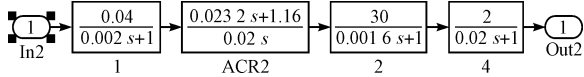


图 5 电流环开环传递函数

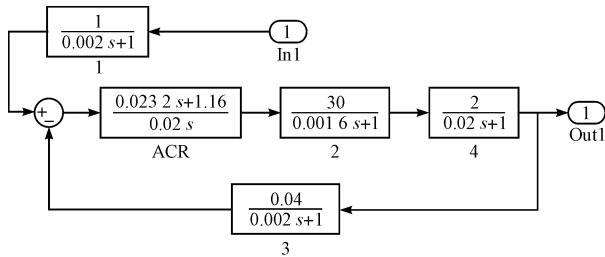


图 6 电流环闭环传递函数

经过 Matlab 仿真后得到的阶跃响应图和开环的 Bode 图如图 7 所示。

速度环整定电流环的闭环控制改变了控制对象,把双惯性环节的电流环控制对象近似地等效成只有较小时间常数的一阶惯性环节,加快了电流的跟随作用。根据 Matlab 的仿真结果,阶跃响应超调量小于 8%,基本上没有什么超调量。Bode 图显示,电流环有较宽的稳定裕,至此电流环的参数整定完毕。

3.2 转速环整定

转速环时间常数近似处理^[6-9]:

$$\tau_n = h \cdot T_{\Sigma n} = h \cdot (1/K_1 + T_{0n}) = 0.076 \text{ s}$$

转速环开环增益:

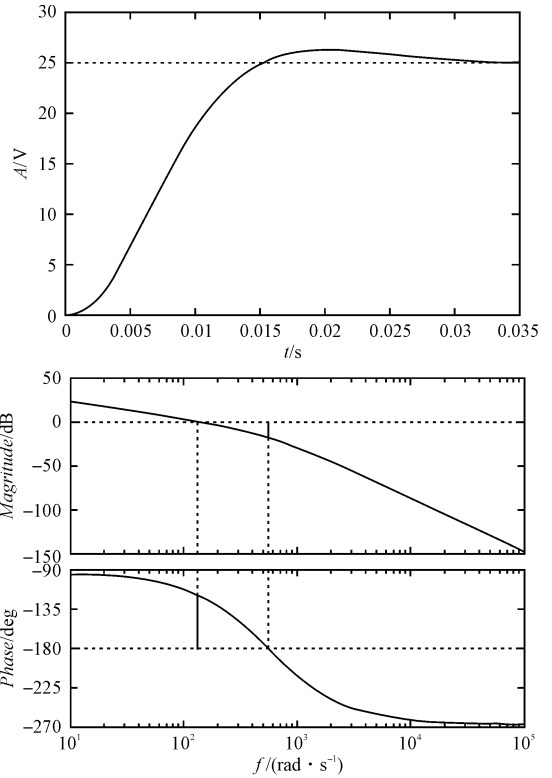


图 7 电流环阶跃响应图和开环的 Bode 图

$$K_N = \frac{h + 1}{2h^2 T_{\Sigma n}^2} = 519.39 \text{ s}^{-2}$$

ASR 比例系数:

$$K_n = \frac{(h + 1)\beta C_e T_m}{2h\alpha R T_{\Sigma n}} = 8.9$$

ASR 的传递函数为:

$$W_{ASR}(s) = \frac{K_n(\tau_n s + 1)}{\tau_n s}$$

根据工程计算整定后,在 Matlab 中的速度环闭环框图和速度环开环模型如图 8 所示。

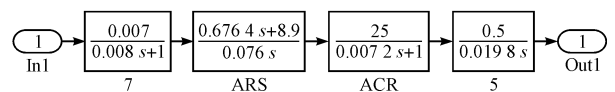
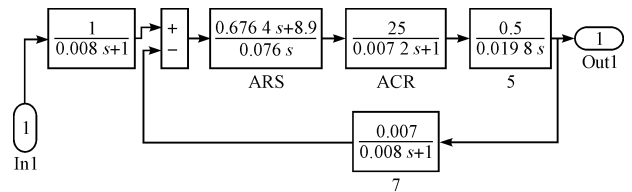


图 8 速度环闭环框图和速度环开环框图

经过 Matlab 仿真后得到的阶跃响应图和开环的 Bode 图如图 9 所示。

根据 Matlab 的仿真结果,Bode 图显示速度环的稳定裕为 33.6 deg。但速度环的阶跃响应有较大的超调量,超调量约为 50%。因为最后需要考虑的是三环伺服系统的整体性能,所以整体的控制效果在位置环中调节。

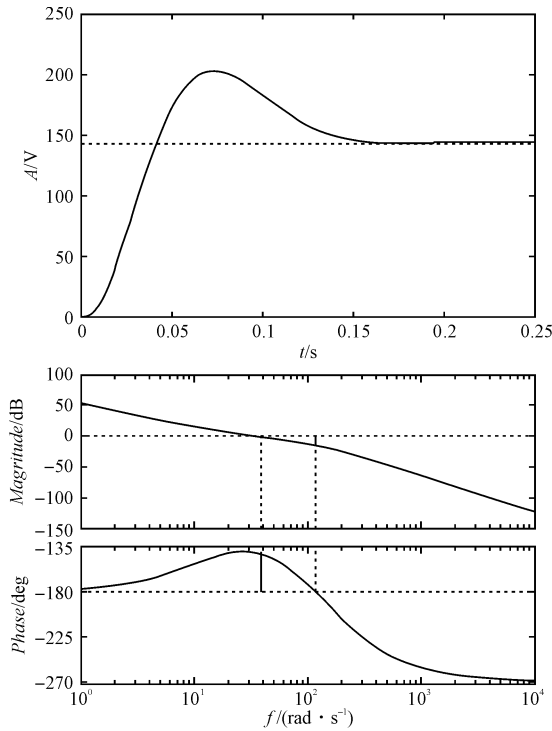


图9 电流环阶跃响应图和开环的 Bode 图

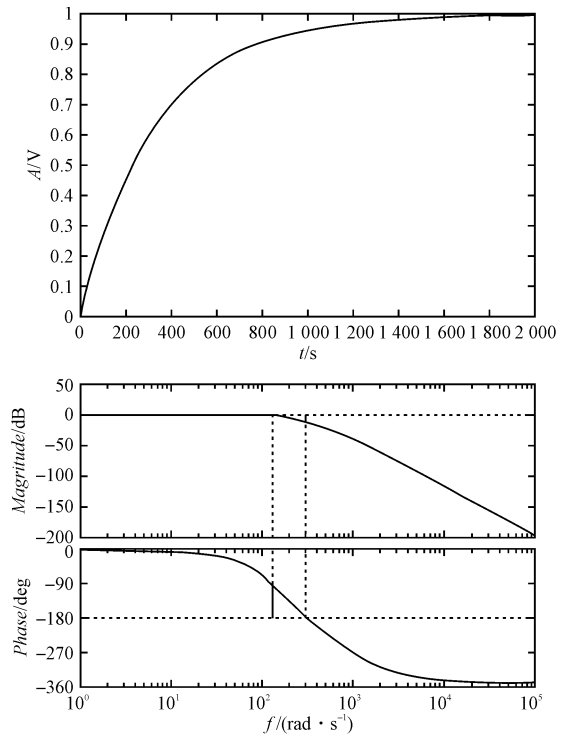


图11 伺服系统阶跃相应图和 bode 图

3.3 位置环整定

由 3.2 可以得出速度环的等效传递函数,所以位置环即整个进给伺服控制系统的控制传递函数如图 10 所示。

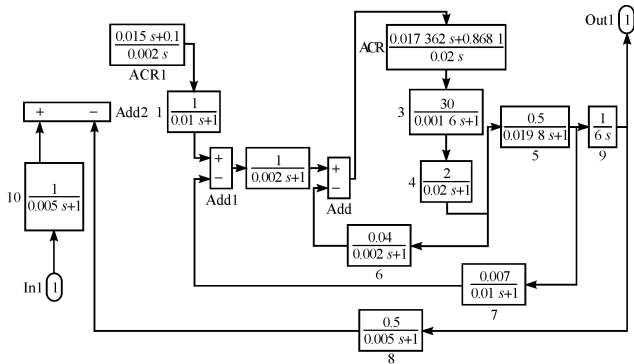


图10 三环位置伺服控制

经过 Matlab 仿真得到的阶跃相应图和 Bode 图如图 11 所示。从仿真图在中可以看出,位置环(即三环伺服系统)的阶跃响应没有超调,并且 Bode 图显示稳定裕统有 88.8 deg。系统稳定性强。

4 结束语

多头研磨机进给系统采用螺母丝杠结构,能很好地满足烫钻工艺。笔者研究了螺母丝杠的机械特性,得到了固有频率特性,为避免共振提供了理论基础。

整个控制系统采用三环结构,根据工程经验整定的参数,可以很好地满足控制要求。

参考文献 (References) :

- [1] 吴敏镜. 微机械技术的兴起及其制造[J]. 机械工艺师, 1998(7):37-39.
- [2] 盛晓敏,邓朝辉. 先进制造技术[M]. 北京:机械工业出版社,2002:231-258.
- [3] 薛实福,李庆祥. 精密仪器设计[M]. 北京:清华大学出版社,1991.
- [4] 范 岩. 多电机同步控制策略的改进[J]. 机电工程, 2007,24(6):65-66.
- [5] 李圣怡,黄长征,王贵林. 微位移机构研究[J]. 航空精密制造技术,2000,36(4):5-8.
- [6] 苏 明,陈伦军,林 浩. 模糊 PID 控制及其 MATLAB 仿真[J]. 现代机械,2004(4):51-55.
- [7] WEN Fang. The control system of sync-drive of multi-motor [J]. **Electric Drive**,2000,30(5):14-17.
- [8] SHI Huo-quan. Synchronous control for electric drives with several units[J]. **Journal of Southern Yangtze University: Natural Science Edition**,2003,2(4):371-373.
- [9] CHENG Kuang-yao, TZOU Ying-yu. Fuzzy optimization techniques applied to the design of a digital PMSM servo drive [J]. **IEEE Transaction on Power Electronics**, 2004,19(4):1085-1099.