

大型衍射光栅刻划机微定位系统控制器设计*

糜小涛, 于宏柱, 高键翔, 于海利, 张善文, 齐向东
(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 长春 130033)

摘要: 针对衍射光栅刻划机开环控制的定位精度不能满足指标要求的问题, 在刻划机已有的状态和结构下, 设计了微定位系统的控制器。首先, 介绍了衍射光栅刻划机, 分析了微定位系统及其定位精度指标。然后, 运用系统辨识的方法, 设计了微定位系统的扫频实验, 建立其数学模型。接着, 提出了在已有数学模型的基础上, 运用实际测量数据和 MATLAB/Simulink 软件仿真试凑来设计控制器的方法, 并设计了满足精度指标要求的控制器。最后, 将设计的控制器应用于微定位系统并进行模拟刻划实验, 实验结果可知: 所设计的微定位系统控制器定位精度基本满足指标要求, 其中峰-峰值小于 40 nm, RSM 值总体略大于 2.8 nm。

关键词: 微定位系统; 控制器设计; 数学模型; 定位精度

中图分类号: TP273 TH113.2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.80

Design of the controller of the micro-positioning system for large diffraction grating ruling engine

Mi Xiaotao, Yu Hongzhu, Gao Jianxiang, Yu Haili, Zhang Shanwen, Qi Xiangdong
(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Aiming at the problem that the open-loop control positioning accuracy of diffraction grating ruling engine does not meet the requirement of the specification, the controller of the micro-positioning system was designed under the existing state and structure conditions of the diffraction grating ruling engine. Firstly, the diffraction grating ruling engine is introduced, the micro-positioning system of the diffraction grating ruling engine and its positioning accuracy specification are analyzed. Then, using the system identification method, the frequency sweep experiment of the micro-positioning system is designed, and its mathematical model is established. And then, on the basis of the existing mathematical model, a design method is proposed, which uses the actual measurement data and MATLAB/Simulink software to design the controller with simulation and trial. Using this method, the controller that meets the requirements of the specification was designed. Finally, the designed controller was applied in the micro-positioning system and the simulation ruling experiments were conducted. The experiment results show that the designed controller basically meets the positioning accuracy specification requirement of the micro-positioning system; the peak-peak error is less than 40nm, and the RSM error is slightly larger than 2.8 nm in total.

Keywords: micro-positioning system; controller design; mathematical model; positioning accuracy

收稿日期: 2014-11 Received Date: 2014-11

* 基金项目: 国家重大科研装备研制项目(ZBY2008-1)、国家重点基础研究发展计划项目(2014CB049500)、吉林省科技发展计划项目(20140203011GX)、长春市科技计划项目(Y3B43HU140)资助

1 引言

衍射光栅是一种具有纳米级精度的、形貌规则的、周期性浮雕结构的光学元件,其刻线密度可高达 $10\ 000\ \text{gr}/\text{mm}^{[1]}$,其加工制作技术无疑是超精密加工的一种。衍射光栅母板的制作方法有机械刻划和离子束刻蚀两种^[2]。其中,所有的中阶梯光栅和刻线密度低的红外激光光栅等,由于其对刻槽深度、衍射效率和槽型要求苛刻等,一般均采用机械刻划的方法制作^[3-7]。

衍射光栅刻划机是制作刻划光栅的母机。早期的衍射光栅刻划机均是开环控制的纯机械式刻划机,其精度是通过误差预防法保证的,由于机械加工误差、装调误差、运行的摩擦振动和结构的蠕变等使得早期的刻划机无法刻出高精度和高分辨率的衍射光栅。随着干涉测量技术、自动控制技术等的发展,运用误差补偿的方法,使得纳米级测量和高精度定位成为可能^[8-14]。在刻划机中起着分度和精密定位作用的分度系统,由纯机械开环系统发展到具有宏微两重定位的闭环系统,从而大大提高了分度系统的分度和定位精度。美国麻省理工学院研制的能够刻出大面积中阶梯光栅的 MIT-C 机,首次在刻划机上采用了宏-微两层工作台结构,加入激光干涉伺服装置,控制伺服电机驱动微动台对误差进行补偿,从而实现了分度系统的纳米级分度和定位^[15-16]。日本 Hitachi 公司研制的通过控制压电陶瓷驱动微动台进行精定位的衍射光栅刻划机,刻划出光栅的刻线密度最高可达 $10\ 000\ \text{gr}/\text{mm}^{[17]}$ 。高精度的衍射光栅,需要具有高精度定位系统的刻划机,高精度的定位系统需要能使其满足指标要求的控制器。本文运用系统辨识的方法在已有的环境条件(隔振、温度、湿度和气压等)和微定位系统结构下确定其数学模型;根据建立的数学模型和实际测量数据,运用 MATLAB/Simulink 软件和仿真试凑的方法确定控制器参数,设计满足定位精度指标要求的控制器。

2 衍射光栅刻划机及其定位精度指标

刻划式衍射光栅母板是通过衍射光栅刻划机制作出来的,典型的衍射光栅刻划机主要包括:带动光栅刻刀在刻划方向往复运行的刻划系统和带动光栅基底在垂直于刻划方向单向运行的分度系统。所设计的刻划机采用间隙刻划的工作方式即刻划系统刻划时分度系统静止,刻划系统回程时分度系统进行分度。

衍射光栅刻划机分度系统是刻划机分度和定位的关

键部件,其三维图如图 1 所示。分度系统主要包括宏定位系统和微定位系统。宏定位系统作用是将分度电机的旋转运动通过高精度的齿轮副、蜗轮蜗杆副、丝杠螺母副和导轨副转化为工作台的直线运动对衍射光栅的刻线位置进行初定位;由于传动链长,传动结构有间隙,宏定位系统是开环控制系统不能实时调节,宏定位产生的误差主要由微定位系统进行补偿。微定位系统是在衍射光栅刻划时对刻槽位置误差进行实时补偿的闭环控制系统,微定位系统对刻划机的刻槽位置精度和衍射光栅的质量起着关键的作用,本文主要是对微定位系统控制器进行分析和设计。

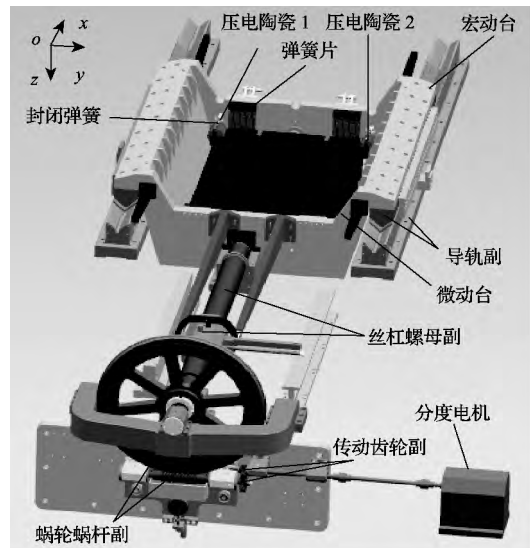


图 1 分度系统三维模型图

Fig. 1 Three-dimensional model of the dividing system

由图 1 可知,微定位控制系统主要包括宏动台、微动台、压电陶瓷、弹簧片、拉簧和位移传感器等部分。微动台是通过 4 个弹簧片悬挂在宏动台中,位于工作台两侧的 2 个压电陶瓷以及安装于陶瓷上下的 4 根拉簧是微动台的驱动系统。为了满足刻划机的精度指标,选用双频激光干涉仪作为位移传感器,设计的测量系统光路如图 2 所示。两测量镜分别固定于两压电陶瓷正上方的内台上,驱动轴于光轴在 zox 平面内平行。双频激光干涉仪发出的激光由 50% 分光镜和折光镜分为两束,分别经过两路干涉仪入射到两测量镜上,光路中的参考镜(集成在干涉仪中)位置不变。当刻划机进行光栅刻划时,两干涉仪的测量的位移与理想的位置数值进行比较,然后通过压电陶瓷驱动微动台进行实时调节补偿。微动台带动两测量镜移动时,将产生多普勒效应,测量光束叠加一个多普勒频移 Δf ,然后测量光束和参考光束进行处理,可得测量镜 1 处和测量镜 2 处的 x 方向位移。

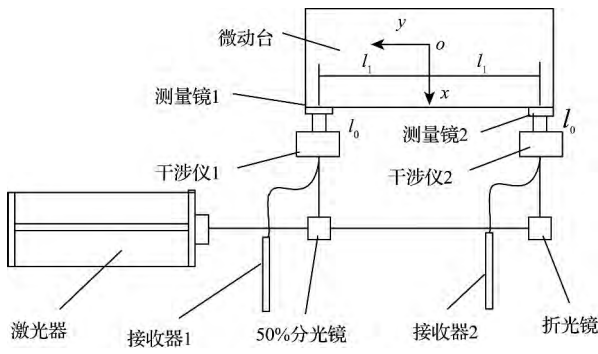


图 2 测量光路示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the optical path of the measurement

衍射光栅刻划机的指标要求是由刻划光栅决定的,理想的刻划光栅刻线是具有一定槽深的、同一槽型的、平行的、周期的直线,但由于刻划机的精度以及光栅刻划的工艺等的影响,衍射光栅的深度、刻槽质量、刻槽的位置以及刻线的弯曲程度均存在误差,从而影响衍射光栅的精度指标,该刻划机所要刻划的光栅指标如表 1 所示。微定位系统的定位精度指标,采用两干涉仪数据的峰-峰值和 RMS 值(均方根值)表示,将衍射光栅的技术指标进行分解,这里不赘述,推得微定位系统的定位精度指标为:

$$\text{峰 - 峰值} \leq 40\text{nm} \quad (1)$$

$$\text{RMS} \leq 2.8\text{nm} \quad (2)$$

表 1 衍射光栅的指标要求

Table 1 The specification of the diffraction grating

项目	指标
刻划面积	400 mm × 500 mm
刻槽密度	79 g/mm 中阶梯光栅
光栅衍射效率	> 60%
光栅鬼线强度	< 10 ⁻³
光栅波前像差	< λ/3 (632.8 nm)

3 微定位系统数学模型的建立

微定位系统控制原理方框图如图 3 所示,主要包括控制器、微定位系统和位置传感器。为了设计满足指标要求的控制器,首先确定微定位系统的数学模型。

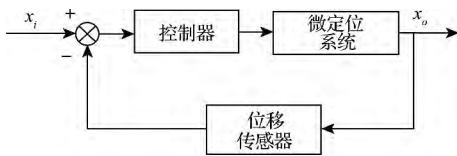


图 3 微定位系统控制原理方框图

Fig. 3 The control principle block diagram of the micro-positioning system

由于衍射光栅刻划机对环境(隔振、温度、湿度和气压等)条件要求高,此外压电陶瓷本身的迟滞、蠕变、非线性等特性,运用理论的方法建立带有压电陶瓷的微定位系统的数学模型较为复杂,因此本文在该刻划机环境基本满足设计指标要求基础上,采用系统辨识的方法建立该微定位系统的数学模型。

取内台自由悬挂的位置为零点位置,输入如图 4 所示的激励信号,信号峰值为 200 nm,初始频率为 0.1 Hz,每隔 5 个周期频率增加 0.1 Hz,1 Hz 后每隔 5 个周期频率增加 1 Hz,100 Hz 后每隔 5 个周期增加 5 Hz,增加到 400 Hz 为止。得到的实际响应曲线如图 5 所示。

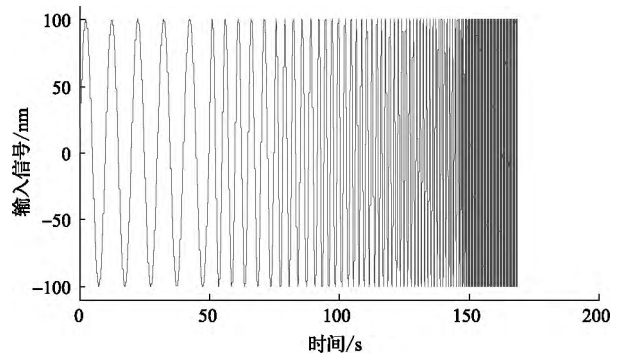


图 4 激励信号

Fig. 4 The excitation signal

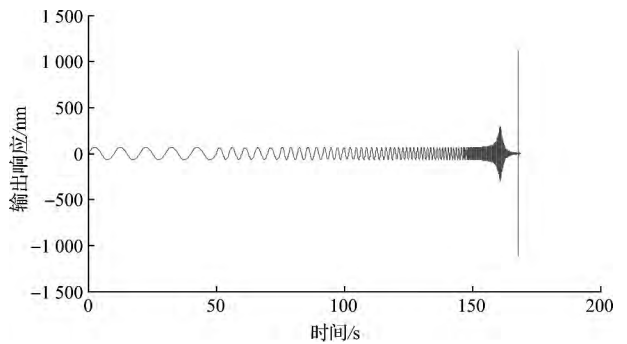
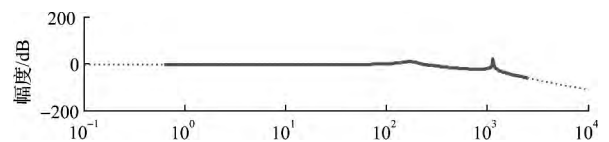


图 5 响应曲线

Fig. 5 The response curve

将扫频后的输出信号和输入信号的幅值和相位进行比较,运用 Matlab 软件画出微定位系统的开环 Bode 图,然后运用最小二乘法对该系统的开环 Bode 图进行拟合,并确定该系统的数学模型,拟合前后的系统开环 Bode 图如图 6 所示。



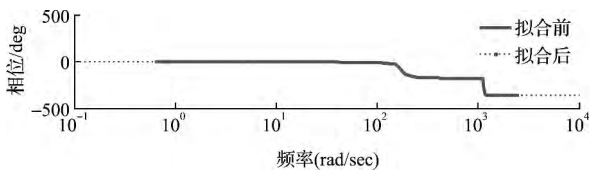


图6 拟合前后系统开环 Bode 图

Fig. 6 The Bode plots of the system before and after fitting

则微定位系统的数学模型(即为拟合曲线的表达式)为:

$$G(s) = \frac{2.58 \times 10^{10}}{s^4 + 41.67s^3 + 1.31 \times 10^6s^2 + 5.12 \times 10^7s + 3.82 \times 10^{10}} \quad (3)$$

4 微定位系统控制器设计

系统控制器设计是为了控制该系统满足带宽的指标要求,由于刻划机不同的环境(隔振、温度、气压和湿度等)所要求的带宽指标不同,但式(1)和式(2)要求衍射光栅刻划机定位精度的指标不变,因此,本文提出了根据实测数据和定位精度指标设计控制器的方法。

4.1 PID 控制器

在经典控制理论和工程实际中,PID 控制器是最为

常用的控制器,其控制规律为:

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + \frac{T_D de(t)}{dt}] \quad (4)$$

则 PID 控制器的传递函数为:

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (5)$$

式中: K_p 为比例系数; K_I 为积分系数, $K_I = K_p/T_I$, T_I 为积分时间常数; K_D 为微分系数, $K_D = K_p T_D$, T_D 为微分时间常数。

则微定位系统控制方框图如图 7 所示。

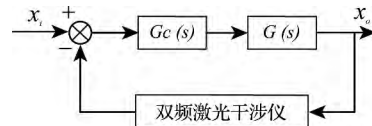


图7 控制系统方框图

Fig. 7 The block diagram of the control system

4.2 控制器参数整定与仿真研究

在微定位系统数学模型和控制器确定的基础上,运用 MATLAB/Simulink 软件对参数进行整定以及仿真研究,微定位控制系统 Simulink 仿真模型如图 8 所示。

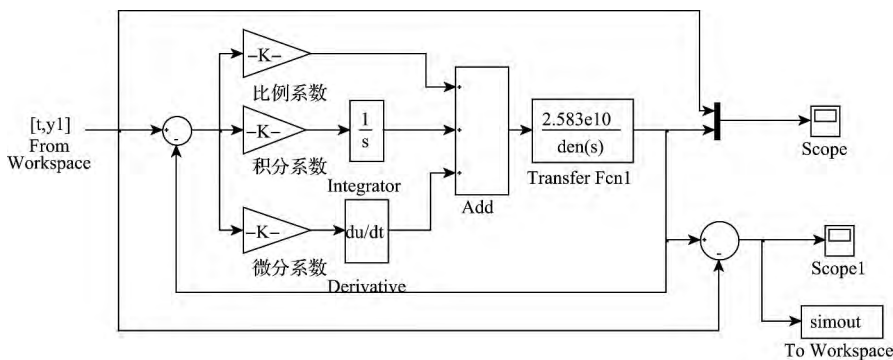


图8 微定位控制系统 Simulink 仿真模型

Fig. 8 Simulink simulation model of the micro-positioning control system

1) 实际数据的测量

微定位系统是在刻划系统刻划时对刻槽位置误差进行实时调节的,刻划系统刻划时,分度系统处于静止状态,因此,实际测量数据是在刻划机已有的环境(隔振、温度、气压和湿度等)下,刻划系统运行分度系统静止的状态下测得的,实验随机测得的一组数据如图 9 所示。

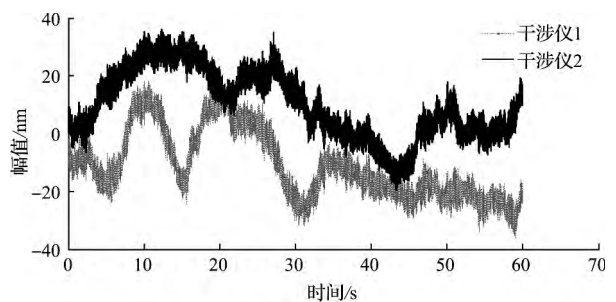


图9 实际测量数据

Fig. 9 The actual measurement data

由上述数据可得微定位系统开环定位精度, 即:

$$\text{峰 - 峰值 } 1 = 55.3099 \text{ nm} > 40 \text{ nm} \quad (6)$$

$$\text{RMS1} = 16.0909 \text{ nm} > 2.8 \text{ nm} \quad (7)$$

$$\text{峰 - 峰值 } 2 = 55.7734 \text{ nm} > 40 \text{ nm} \quad (8)$$

$$\text{RMS2} = 15.5584 \text{ nm} > 2.8 \text{ nm} \quad (9)$$

由式(6) ~ 式(9)可知, 微定位系统的定位精度远大于指标要求。

2) 控制器参数整定

如图 8 所示, 其中 k_p 、 k_i 和 k_d 即为 PID 控制器所需整定的比例系数、积分系数和微分系数。将实测数据导入 MATLAB 的 Workspace 中, 然后通过 From Workspace 模块导入微定位控制系统 Simulink 仿真模型中, 仿真后的数据通过 To Workspace 模块导入 MATLAB 的 Workspace 中, 然后计算峰-峰值和 RMS 值, 控制器参数不同所得峰-峰值和 RMS 值不同, 采用仿真试凑法确定了满足刻划机定位精度指标要求的最优控制器参数, 则设计的控制器的传递函数为:

$$G_c(s) = 1.15 + \frac{24.5}{s} + 0.000058s \quad (10)$$

图 8 中 Scope 模块和 Scope1 模块分别为微定位系统对实际数据的跟踪和微定位系统调节后的数据。干涉仪 1 和干涉仪 2 测得的数据经过微定位系统后 Scope 和 Scope1 中数据分别如图 10 和图 11 所示。

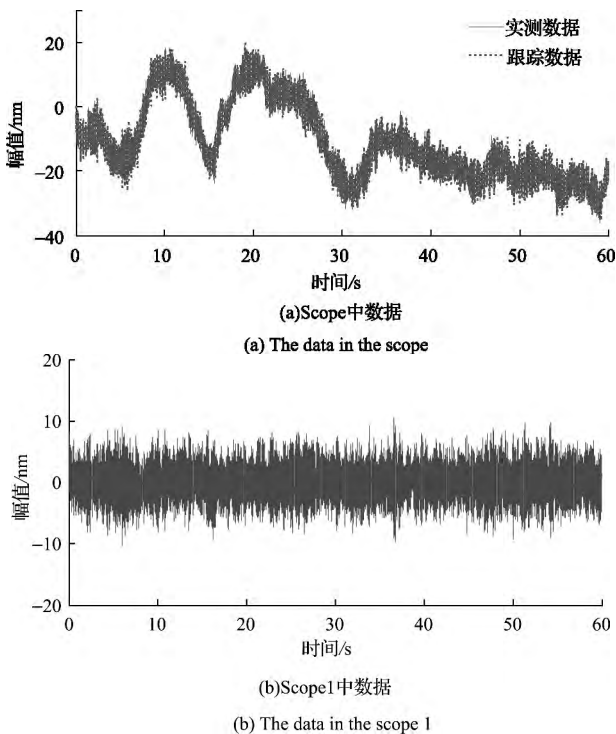


图 10 干涉仪 1 实测数据仿真结果

Fig. 10 The simulation results of the measured data from interferometer 1

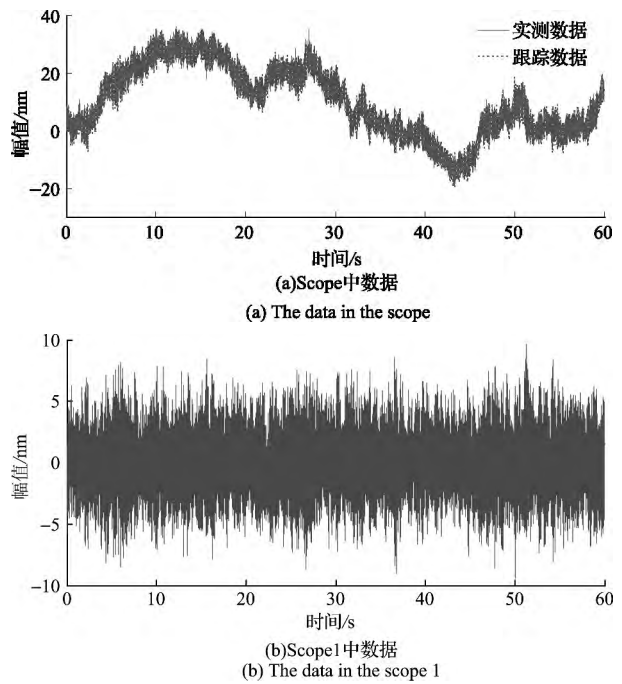


图 11 干涉仪 2 实测数据仿真结果

Fig. 11 The simulation results of the measured data from interferometer 2

由图 10(b) 和图 11(b) 数据可得微定位系统闭环控制后的定位精度为:

$$\text{峰 - 峰值 } 1 = 20.8905 \text{ nm} < 40 \text{ nm} \quad (11)$$

$$\text{RMS1} = 2.4586 \text{ nm} < 2.8 \text{ nm} \quad (12)$$

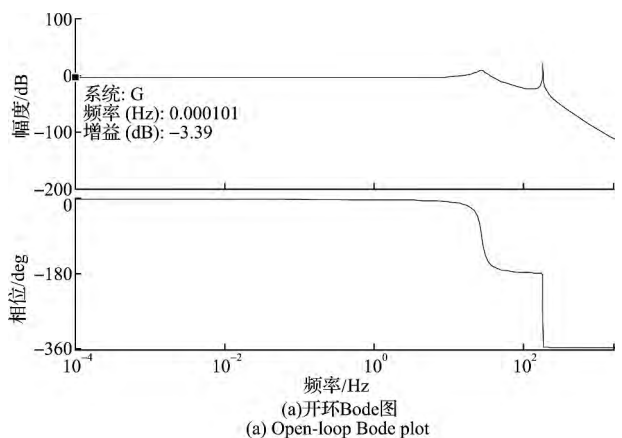
$$\text{峰 - 峰值 } 2 = 19.0318 \text{ nm} < 40 \text{ nm} \quad (13)$$

$$\text{RMS2} = 2.1541 \text{ nm} < 2.8 \text{ nm} \quad (14)$$

由微定位控制系统仿真结果图 10 ~ 图 11 和式(11) ~ (14)可知, 设计的控制器满足微定位系统的闭环定位精度的指标要求。

3) 微定位系统的带宽

PID 控制器参数整定后, 即可确定刻划机现有环境下的控制系统带宽, 微定位系统的开环 Bode 图和闭环 Bode 图如图 12 所示。



(a) 开环 Bode 图
(a) Open-loop Bode plot

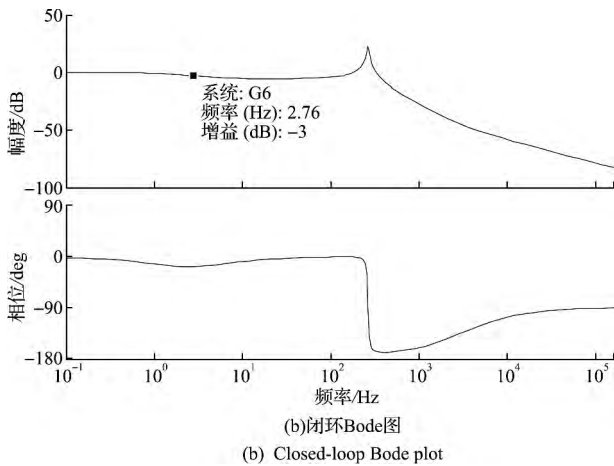


图 12 微定位系统开环 Bode 图和闭环 Bode 图
Fig. 12 The open-loop and closed-loop Bode plots of the micro-positioning system

采用 Bode 中幅频特性曲线下降 -3 dB 所对应频率为系统带宽的定义方法, 由图 12 可知, 微定位系统开环控制时带宽为 0, 闭环控制时带宽为 2.76 Hz。则刻划机现有的环境(隔振、温度、气压和湿度等)下, 微定位系统带宽指标为 2.76 Hz。

5 实验研究

将设计的控制器应用于微定位系统中, 然后运行整台光栅刻划机, 模拟刻划 79 g/mm 中阶梯光栅, 实验数据如图 13 所示。

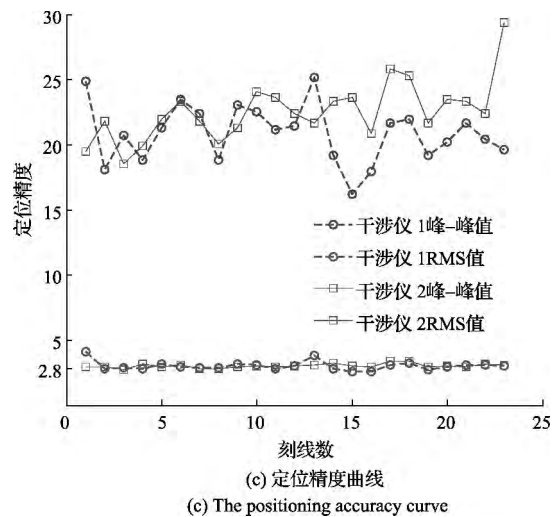
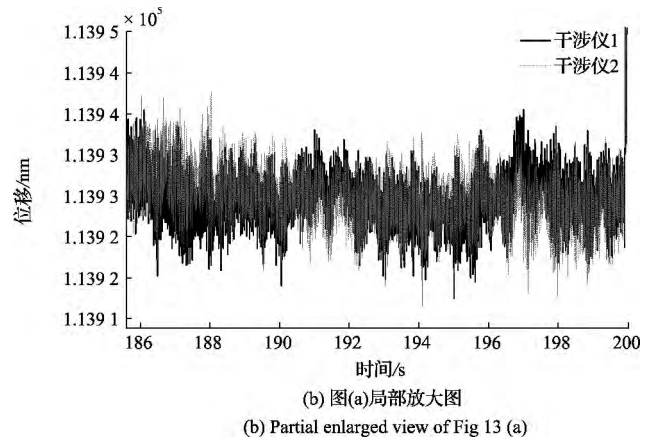
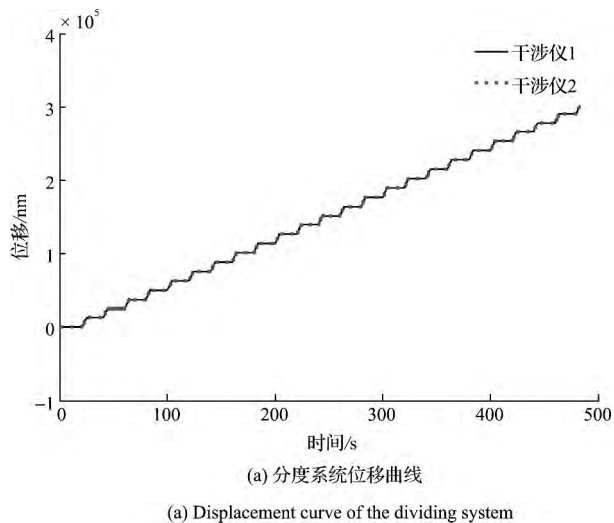


图 13 模拟刻划实验数据

Fig. 13 The experiment data of simulation ruling

图 13(a) 为模拟刻划时分度系统的位移曲线, 每一个刻划周期包括宏定位和微定位(光栅刻划)两个阶段, 其中曲线上升时为宏定位阶段, 曲线平直时为微定位阶段。图 13(b) 为其中一次微定位阶段的放大图。计算每次微定位阶段数据可得图 13(c) 定位精度曲线, 由图 13(c) 可知, 峰-峰值均小于 40 nm, 满足指标要求, RMS 值总体略大于 2.8 nm 的指标要求。

6 结 论

本文在衍射光栅刻划机现有的条件(隔振、温度、气压和湿度等)下, 设计了微定位系统的控制器。运用系统辨识的方法, 确定微定位系统的数学模型。在数学模型的基础上, 根据实测数据和微定位系统定位精度指标

要求,整定了控制器参数,并对控制器进行了仿真和实验研究。结果表明:设计的控制器基本满足微定位系统的中指标要求,仿真数据略大于实验数据,主要原因在于建立的数学模型与实际模型存在一定偏差,进而微定位闭环控制系统带宽仍不能满足定位精度要求。下一步工作主要集中在以下两方面:①进一步减小建立的数学模型与实际模型间的偏差;②改进或设计新的控制器,进一步提高微定位系统的带宽。

参考文献

- [1] 时轮,郝德阜,齐向东. 高精度衍射光栅刻划机的最新技术进展[J]. 仪器仪表学报,2001,22(增刊1): 438-439.
SHI L,HAO D F,QI X D. State of the art of the high-precision diffraction grating ruling engine[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2001,22(supl.1): 438-439.
- [2] 李晓天,巴音贺希格,齐向东,等. 刻线误差与面型误差对平面光栅光谱性能影响的二维快速傅里叶变换分析方法[J]. 光学学报,2012,32(11): 35-44.
LI X T,BAYANHESHIG,QI X D,et al. Two-Dimensional fast fourier transform method of analyzing the influence of plane grating's line error and surface error on grating's spectral performance[J]. Acta Optica Sinica,2012,32(11): 35-44.
- [3] 张宝庆,史国权,石广丰,等. 衍射光栅机械刻划成槽的预控试验[J]. 光学精密工程,2013,21(7): 1666-1675.
ZHANG B Q,SHI G Q,SHI G F,et al. Pre-Control of mechanical scratching diffractive grating[J]. Optics and Precision Engineering,2013,21(7): 1666-1675.
- [4] 李晓天,巴音贺希格,齐向东,等. 机械刻划光栅的刻线弯曲与位置误差对平面光栅性能影响及其修正方[J]. 中国激光,2013,40(3): 232-239.
LI X T,BAYANHESHIG,QI X D,et al. Influence and revising method of machine-ruling grating line's curve error,location error on plane grating performance[J]. Chinese Journal of Lasers,2013,40(3): 232-239.
- [5] 陈科位,于宏柱,张善文,等. 大型衍射光栅刻划机刀架系统的设计[J]. 光学精密工程,2013,21(11): 2900-2905.
CHEN K W,YU H ZH,ZHANG SH W,et al. Design of diamond carriage system for large diffraction grating ruling engine[J]. Optics and Precision Engineering,2013,21(11): 2900-2905.
- [6] 张宝庆,史国权,石广丰,等. 衍射光栅机械刻划工艺理论分析与实验研究[J]. 中国机械工程,2014,25(1): 1-6.
ZHANG B Q,SHI G Q,SHI G F,et al. Theoretical analysis and experimental research of grating mechanical depicts process[J]. China Mechanical Engineering,2014,25(1): 1-6.
- [7] 杨超,于海利,糜小涛,等. 大光栅刻划机工作台的摆角矫正机构研制[J]. 仪器仪表学报,2014,35(5): 1065-1071.
YANG CH,YU H L,MI X T,et al. Development of the workbench yaw angle correction mechanism of large grating ruling machine[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2014,35(5): 1065-1071.
- [8] 张春雷,刘健,王绍治,等. 前馈控制算法校正相移微动台非线性运动[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(8): 879-884.
ZHANG CH L,LIU J,WANG SH ZH,et al. Feed forward control algorithm for nonlinear motion correction of phase shifting stage[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument,2014,35(5): 1065-1071.
- [9] 齐永岳,赵美蓉,林玉池. 纳米测量系统的研究现状与展望[J]. 仪器仪表学报,2003,24(z1): 91-94.
QI Y Y,ZHAO M R,LIN Y CH. Review on nano-measuring system[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2003,24(4): 91-94.
- [10] 米凤文,戴旭涵,沈亦兵,等. 0.1 μm 大行程精密定位控制系统的研究[J]. 仪器仪表学报,2000,21(1): 89-91.
MI F W,DAI X H,SHEN Y B,et al. Research on the 0.1 μm precise and long-work range positioning system[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2000,21(1): 89-91.
- [11] 刘定强,黄玉美,吴知峰,等. 宏微进给系统位置精度的误差补偿[J]. 机械科学与技术,2011,30(4): 645-647,651.
LIU D Q,HUANG Y M,WU ZH F,et al. Position error compensation for a macro-micro feed system[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering,2011,30(4): 645-647,651.
- [12] 张金龙,余玲玲,刘京南. 精密检测与定位技术的研究[J]. 仪器仪表学报,2004,25(6): 754-756,759.
ZHANG J L,YU L L,LIU J N. Research on precision measure and position technique[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2004,25(6): 754-756,759.
- [13] 池峰,朱煜,张志平,等. 双频激光干涉测量中的环境补偿技术[J]. 中国激光,2014,41(4): 0408004-1-0408004-7.
CHI F,ZHU Y,ZHANG ZH P,et al. Environment compensation technologies in dual-frequency laser interferometer measurement system[J]. Chinese Journal of

Lasers ,2014 ,41(4) : 0408004-1-0408004-7.

- [14] 章亚男,葛磐,王成刚,等. 用于光栅拼接的微位移驱动器的精度分析[J]. 电子测量技术,2014,37(8): 117-122.
ZHANG Y N, GE P, WANG CH G, et al. Analysis of the actuator with nano-step applied in grating tiling [J]. Electronic Measurement Technology, 2014, 37(8): 117-122.
- [15] 李晓天,于海利,齐向东,等. 光栅刻划机 300mm 行程工作台研制及其自适应控制方法[J]. 中国激光, 2014, 41(6): 0608001-1-0608001-8.
LI X T, YU H L, QI X D, et al. 300mm-Travel stage of grating ruling engine and its self-adaptive control method [J]. Chinese Journal of Lasers, 2014, 41(6): 0608001-1-0608001-8.
- [16] 梁浩明. 国内衍射光栅刻划机概况[J]. 光学机械, 1985, 87(6): 1-10.
LIANG H M. Introduction of the grating ruling machines in China [J]. Optics and mechanical, 1985, 87(6): 1-10.
- [17] KITA T, HARADA T. Ruling engine using a piezoelectric device for large and high-groove density gratings [J]. Applied optics, 1992, 31(10): 1399-1406.

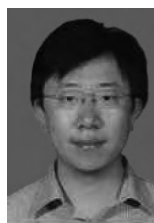
作者简介



糜小涛(通讯作者),2010年于合肥工业大学获得学士学位,2012年于哈尔滨工业大学获得硕士学位,现为中国科学院长春光学精密机械研究所助理研究员,主要研究方向为精密机械设计、制造、测量以及控制。

E-mail: mixiaotao_ciomp@126.com

Mi Xiaotao (Corresponding author) received his B. Sc. degree from Hefei University of Technology in 2010, and received his M. Sc. degree in 2012 from Harbin Institute of Technology. Now, he is a research assistant in Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics. His main research interests include precision mechanical design, manufacture, measurement and control.



于宏柱,分别于2001和2013年获得吉林大学学士学位和硕士学位,现为中国科学院长春光学精密机械与物理研究所副研究员,主要研究方向为电子学设计、光电系统设计和精密测量。

E-mail: yhz_jl@sina.com

Yu Hongzhu received his B. Sc. and M. Sc. degrees both from Jilin University in 2001 and 2013, respectively. Now, he is an associate research fellow in Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics. His main research interests include electronic design, electro-optical system design and precision measurement.