

数控车床位置精度检测与评定方法对比分析

王 胜^{1,2} 刘宏昭¹

1. 西安理工大学, 西安, 710048 2. 陕西工商职业学院, 西安, 710119

摘要:为了得到最佳的数控车床位置精度检测和评定方法,介绍了数控车床常用的位置精度测量工具和方法,对几种检测方法进行了对比分析,介绍了目前国内外常用的 4 种评定标准;利用激光干涉仪测量某重型数控车床位置精度值,利用上述 4 种评定标准对位置精度具体指标——定位精度、重复定位精度、反向差值和系统偏差进行计算,对计算结果进行了分析对比;明确了各种评定方法的具体运用情况,从而为数控车床的生产、验收和使用中的位置精度检测提供指导。

关键词:数控车床;精度检测;评定方法;对比分析

中图分类号:TH115

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2013.14.004

Comparison and Analysis for Measurement and Determination Methods of NC Lathe Position Accuracy

Wang Sheng^{1,2} Liu Hongzhao¹

1. Xi'an University of Technology, Xi'an, 710048

2. Shaanxi Business College, Xi'an, 710119

Abstract:In order to get the best measurement and evaluation methods of NC lathe, firstly, this paper introduced tools and methods in the measurement of position accuracy for NC lathe and analyzed several measuring methods. The commonly used at home and abroad four evaluation standards were detailed. Secondly, the position error values for NC lathe were measured by using laser interferometer. Finally, specific indicators of position accuracy——position accuracy, repeatable positioning accuracy, reverse difference, systematic deviation were calculated by using the four evaluation standard. The calculation results were analyzed and compared. This study clarifies various concrete situations when the four methods were applied to guide position accuracy measurement of production, checking for NC lathes.

Key words:NC lathe; accuracy measurement; determination method; comparison and analysis

0 引言

加工零部件的质量取决于机床本身的性能,因此,在机床出厂和使用之前,明确其性能十分关键^[1]。

数控机床的精度主要包括几何精度、位置精度和加工精度^[2]。数控机床几何精度综合反映了该机床关键机械零部件及其组装后的几何形状误差。几何精度合格与否是定位精度和工作精度测定是否准确的基本条件,只有在稳定的、小于允差的几何精度条件下,测量、检验位置精度和工作精度才有实质意义^[3]。在数控机床的精度检测中,位置精度是数控机床最重要的也是最能代表机床特征的一项指标^[4]。数控机床位置精度主要包括定位精度、重复定位精度和反向差值三个指标^[5],其测量工具主要有线纹尺或步距规、电子测微计、准直仪和激光干涉仪等。

数控机床在制造过程中不可避免地存在加工误差。目前国内外评定数控机床精度的标准很多,如我国的 GB/T17421.2—2000《机床检验通则第 2 部分:数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定》和 GB/T23569—2009《重型卧式车床检验条件精度检验》,德国的 VDI/DGQ3441《工作精度和位置精度的统计检验原理》,日本的 JIS-B6336《数控机床试验方法通则》,美国机床制造者协会(NMTBA)《数字控制机床的精度与重复性的定义和评估》标准等。许多学者对机床评定方法进行了研究,如蔡有杰^[6]应用 VDI/DGQ3441 和 GB10931—89《数字控制机床位置精度评定方法》来评定数控机床的位置精度,林璨^[7]应用 GB10931—89、VDI/DGQ3441 和 NMTBA 标准评定数控机床的位置精度,王昀希^[8]应用 VDI/DGQ3441 和 JIS-B6336 来评定数控机床的位置精度。以上研究对象均为普通数控机床,且都存在着评定方法不全面和评定标准陈旧等问题。目前,关于数控车床位置精度评价方法的研究还不多。

本文以某重型数控车床为研究对象,首先介

收稿日期:2012—05—02

基金项目:国家科技重大专项(2010ZX04014—012);国家自然科学基金资助项目(51205307);陕西省重点学科建设专项资金资助项目;陕西高校省级重点实验室科研项目(2010JS080);陕西省教育厅专项科研项目(11JK0858)

介绍了数控机床位置精度常用的检测工具及测量方法并分析其各自优缺点;然后介绍了目前国内外4种典型的数控机床位置精度评定标准,并采用激光干涉仪实测了纵向进给系统中某段位移的位置精度,采用4种评定标准对定位精度、重复定位精度、反向差值和系统偏差进行了计算,对计算结果进行了对比分析。

1 检测工具及其测量方法

1.1 线纹尺及其测量原理

用线纹尺测量或定位时,与读数显微镜、光学读数头或光电显微镜等配套使用。线纹尺的刻线精度可达 $\pm 1\mu\text{m}/1000\mu\text{m}$ 或更高。图1为线纹尺测量示意图,其测量原理为:采用精密线纹尺(将每毫米细分为1000等分)与读数显微镜,以线纹尺刻线为标准,与运动部件移动的距离进行比较从而测出偏差^[9]。

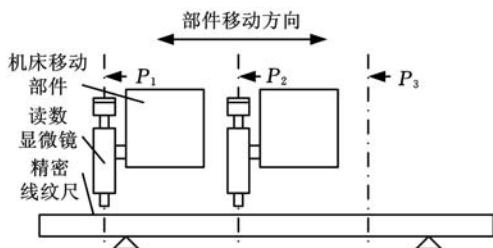


图1 线纹尺测量示意图

将线纹尺安装在被测直线上,读数显微镜固定在移动部件上,部件在位置 P_1 时读数显微镜读数,部件移动至目标位置 P_2 时读数显微镜再次读数,用两次读数之差与移动距离进行比较得到测量值。该方法可以实现任意点直线位置精度的测量,但测量装置受线纹尺规格($\leq 1\text{m}$)和机床结构的限制,测量范围小,测量精度和效率会随着线纹尺的长度增加而下降。因此该方法较适合于小范围的直线位置精度测量。

1.2 步距规及其测量原理

步距规测量原理如图2所示。 l_1, l_2, \dots, l_m 按100mm间隔递增,即 $l_1 = 100\text{mm}, l_2 = 200\text{mm}, \dots$ 。 l_1, l_2, \dots, l_m 的实际数值作为定位精度检测时的目标位移。以某重型数控车床Z轴位置精度为例,测量时将步距规置于刀架上,使步距规轴线与Z轴轴线平行,Z轴归零;将杠杆千分表固定在固定部件上,表头接触到起始位置时表针置零;用数控程序控制刀架按照图3所示的循环图移动,移动距离依次为 l_1, l_2, \dots, l_m ,表盘上的读数为该位置的单向位置偏差,按照标准循环图测量5次,记录各点读数,按照GB/T17421.2-2000规定

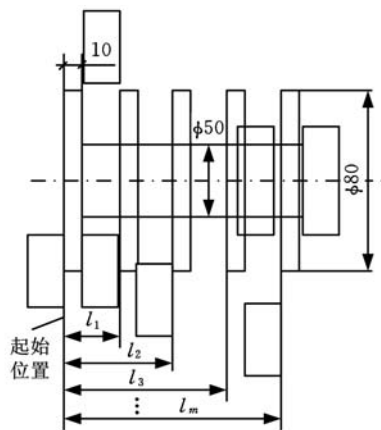


图2 步距规测量原理图

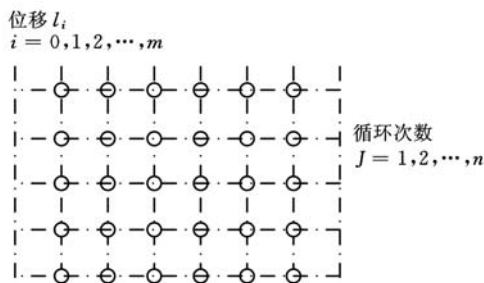


图3 标准检验循环图

对数据进行处理,可确定位置精度值。

步距规测量方法简便,设备安装方便,但测量精度和效率低,仅适用于中低档机床的标定和出厂检验^[10]。

1.3 电子测微计及其测量原理

电子测微计适用于机械加工中的精密测量,配以相应的测量装置可进行工件外形尺寸及部分形位公差的测量,其优点是测量角度时能够消除定位误差,从而提高测量精度。

电子测微计的分辨率一般为 $0.1 \sim 0.001\mu\text{m}$,与其他传感器组成测量系统后,测量精度较低,检验重复性差,不能真实反映机床的位置精度,另外,对于控制轴的角位移测量,误差尤为明显^[11]。

1.4 自准直仪及其测量原理

自准直仪是利用光学自准直原理将角度测量转换为线性测量的一种计量仪器,它广泛用于小角度测量、平板的平面度测量、导轨的平直度与平行度测量等^[12]。

自准直仪主要由具有一定焦距的物镜(望远镜)、带有分划板、照明装置的自准直测微目镜以及置于被测对象上的反射镜组成。目前使用的自准直仪主要有3种:光学自准直仪、平直度检查仪和光电自准直仪^[13]。图4所示为光学自准直仪基本测量原理。

分划板置于物镜的焦平面上,其上的O点位

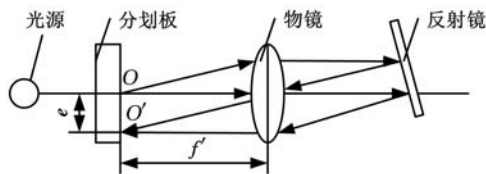


图 4 自准直仪测量原理图

于物镜的光轴上,光源发出的光线通过 O 点经过物镜后成一束与光轴平行的光线射向反射镜。当反射镜面垂直于光轴时,光线仍按原路返回,经物镜后仍成像在分划板上 O 处,与原目标重合。如果反射镜与光轴有一倾角 α ,则反射光线的偏转角为 2α ,通过物镜后成像在分划板上的 O' 处,此时线位移 $OO' = e$,表示偏转角度的大小,即

$$e = f' \tan 2\alpha \quad (1)$$

式中, f' 为物镜的焦距。

当 α 很小时, $\tan 2\alpha \approx 2\alpha$, 则

$$\alpha = e / (2f') \quad (2)$$

将角度误差转化为精度值即可。

自准直仪测量范围小(最高达 $1000''$),全程精度为 $\pm 0.25''$,分辨力为 $0.005'' \sim 10''$,无论从分辨力和测量范围还是精度来看,都存在一定的差距,因此,它属于中低端检测工具。

1.5 激光干涉仪及其测量原理

激光干涉仪是目前应用最广泛的数控机床精度检测设备,可以测量 Z 向尺寸达 80m 的机床精度并诊断各种几何误差^[14],其测量精度比传统方法至少高 10 倍以上,可达 $\pm 1.1\mu\text{m}$ ($0 \sim 40^\circ\text{C}$),测量范围广(线性测长 40m ,位选 80m),测量速度快($60\text{m}/\text{min}$),分辨率高($0.001\mu\text{m}$)。

图 5 为激光干涉仪测量原理图。来自激光头的光束进入线性干涉镜,在此光束被分成两束;一束光(称为参考光束)被引向装在分光镜上的反射镜,另一束光(称为测量光束)则穿过分光镜到达线性反射镜 2;然后,两束光都被反射回分光镜,重新汇合后回到激光器,激光器内的探测器辨识两束光之间的干涉。在测量过程中,一个光学组件保持静止,另一个光学组件沿被测量轴移动。通过监测测量光束和参考光束之间的光路差异的变化,得到定位精度值。

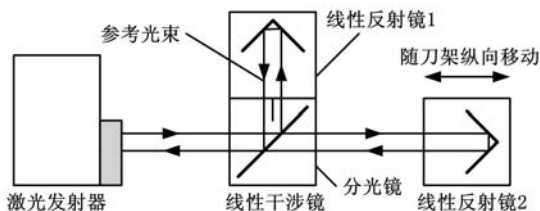


图 5 激光干涉仪线性测量原理图

本文研究对象为某重型数控车床,其特点是机床规格大,纵向进给位移长达 $18\,000\text{mm}$ 。传统位置精度检测方法多采用线纹尺或步距规、电子测微计、准直仪等,对应的测量设备的标准器件较重。传统位置精度检测方法的测量精度较低,受环境温度影响大,其检验方法极冗长乏味,且检验重复性也很差,难以反映受检机床的真正精度。另外,数据处理必须手工进行,繁琐、易出错。因此,本研究采用 ML10 激光干涉仪进行测量。激光干涉仪可实现自动数据采集和数据分析,节省时间又避免操作误差,它可与 PC 机进行联网通信,避免了人工计算。

2 4 种评定方法对比分析

2.1 4 种标准评定规定

GB/T17421.2-2000、VDI/DGQ3441、JIS-B6336、NMTBA 标准这 4 种标准评定方法的区别在于数据处理方法的不同。上述 4 种标准的数据处理方法可分为两类:第一类是以数据统计和概率论为基础,认为对一条数控轴上选定的若干个目标位置进行多次定位所测得的误差呈正态曲线分布,用 $3S$ (或 $2S$)表示对目标位置进行无数次定位可能产生的误差,置信度为 99.73% (或 95.45%)。属于此类数据处理方法的评定标准有 GB/T17421.2-2000、VDI/DGQ3441 和 NMTBA 标准。第二类以代数极差方法为基础进行计算,JIS-B6336 属于此类方法。该方法比较简单,对测试数据只作简单的代数运算,也就是说,以代数差或极大极小值之差作为结果。4 种标准评定步骤如表 1 所示。

本文利用上述 4 种评定标准对数控机床位置精度进行评定,为了便于对比计算和符号统一,设 P_i 为目标位置, P_{ij} 为实际位置, $X_{ij} \uparrow$ 和 $X_{ij} \downarrow$ 分别表示第 i 点第 j 次从正方向、负方向趋近 i 点的位置偏差,其关系如下:

位置偏差 X_{ij} 为

$$X_{ij} = P_{ij} - P_i \quad (3)$$

某一位置的单向平均位置偏差 $\bar{X}_i \uparrow$ 、 $\bar{X}_i \downarrow$ 分别为

$$\left. \begin{aligned} \bar{X}_i \uparrow &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \uparrow \\ \bar{X}_i \downarrow &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \downarrow \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

某一位置双向平均位置偏差 \bar{X}_i 为

$$\bar{X}_i = \frac{\bar{X}_i \uparrow + \bar{X}_i \downarrow}{2} \quad (5)$$

表 1 位置精度 4 种评定方法

	GB/T17421.2-2000	VDI/DGQ3441	备注
定位精度	单向: $A \uparrow = \max[\bar{X}_i \uparrow + 2S_i \uparrow] - \min[\bar{X}_i \uparrow - 2S_i \uparrow]$ $A \downarrow = \max[\bar{X}_i \downarrow + 2S_i \downarrow] - \min[\bar{X}_i \downarrow - 2S_i \downarrow]$ 双向: $A = \max[\bar{X}_i \uparrow + 2S_i \uparrow, \bar{X}_i \downarrow + 2S_i \downarrow] - \min[\bar{X}_i \uparrow - 2S_i \uparrow, \bar{X}_i \downarrow - 2S_i \downarrow]$	$P = \max[(\bar{X}_j \uparrow + \bar{X}_j \downarrow)/2 + 3(S_j \uparrow + S_j \downarrow)/2 + u_j/2] - \min[(\bar{X}_j \uparrow + \bar{X}_j \downarrow)/2 - 3(S_j \uparrow + S_j \downarrow)/2 - u_j/2]$	S_j : 正反向位置偏差值; u_j : 不确定度分量; $A \uparrow, A \downarrow$: 单向定位精度; A : 双向定位精度
重复定位精度	单向: $R \uparrow = \max[R_i \uparrow]$ $R \downarrow = \max[R_i \downarrow]$ 双向: $R = \max[R_i]$	$\max(P_s) = \max[(6S_j \uparrow + S_j \downarrow)/2]$	P_s : 重复定位精度; $R \uparrow, R \downarrow$: 单向重复定位精度; R : 双向重复定位精度
反向差值	$B = \max[B_i]$	$\max(u) = \max[(\bar{X}_j \uparrow - \bar{X}_j \downarrow)]$	B, u : 反向差值
系统偏差	单向: $E \uparrow = \max[\bar{X}_i \uparrow] - \min[\bar{X}_i \uparrow]$ $E \downarrow = \max[\bar{X}_i \downarrow] - \min[\bar{X}_i \downarrow]$ 双向: $E = \max[\bar{X}_i \uparrow, \bar{X}_i \downarrow] - \min[\bar{X}_i \uparrow, \bar{X}_i \downarrow]$	$P_a = \max[\bar{X}_j] - \min[\bar{X}_j]$	$E \uparrow, E \downarrow$: 单向系统偏差; P_a : 双向系统偏差
	JIS-B6336	NMTBA 标准	备注
定位精度	$A = P_{1j} - P_j$	单向: $A_u \uparrow = \max[\bar{X}_i \uparrow + 3S_i \uparrow] - \min[\bar{X}_i \uparrow - 3S_i \uparrow]$ $A_u \downarrow = \max[\bar{X}_i \downarrow + 3S_i \downarrow] - \min[\bar{X}_i \downarrow - 3S_i \downarrow]$ 双向: $A_b = \max[(\bar{X}_j \uparrow + \bar{X}_j \downarrow)/2 + 3S_j] - \min[(\bar{X}_j \uparrow + \bar{X}_j \downarrow)/2 - 3S_j]$	$A_u \uparrow, A_u \downarrow$: 单向定位精度; A : 定位精度; A_b : 双向定位精度
重复定位精度	$R = \pm \frac{[\max(X_i \uparrow) - \min(X_i \uparrow)]}{2}$	单向: $\max(P_s \uparrow) = \max[6S_j \uparrow]$ $\max(P_s \downarrow) = \max[6S_j \downarrow]$ 双向: $\max(P_s) = \max[6S_j]$	R : 重复定位精度; $P_s \uparrow, P_s \downarrow$: 单向重复定位精度; P_s : 双向定位精度
反向差值	$B = \bar{X}_j \uparrow - \bar{X}_j \downarrow = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 X_j \uparrow - \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 X_j \downarrow$	未检测	B : 反向差值
系统偏差	未检测	未检测	

某一点的单向定位标准不确定度估算值 $S_i \uparrow$ 和 $S_i \downarrow$ 分别为

$$\left. \begin{aligned} S_i \uparrow &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{ij} \uparrow - \bar{X}_i \uparrow)^2} \\ S_i \downarrow &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{ij} \downarrow - \bar{X}_i \downarrow)^2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

2.2 4 种评定方法对比

4 种评价方法对比如表 1 所示。由表 1 可以看出, JIS-B6336 只测量一次定位精度且不包括重复精度, GB/T17421.2-2000、VDI/DGQ3441 测量 5 次, NMTBA 标准测量 7 次, 它们均包括重复精度。

2.2.1 定位精度

GB/T17421.2-2000 为双向测试; VDI/DGQ3441 以各目标位置的平均偏差与各目标位

置偏差的三倍来评定, 两种方法的数据结果基本相当; NMTBA 标准采用 7 次数值统计, 单向和双向不确定, NMTBA 标准略低于 GB/T17421.2-2000; JIS-B6336 采用极差法, 方法简单, 但统计特性差, 可靠性一般。

2.2.2 重复定位精度

GB/T17421.2-2000 采用单向最大值来评定; VDI/DGQ3441 以各目标位置正反方向平均偏差的三倍来评定, 数据结果略低于 GB/T17421.2-2000; NMTBA 标准采用 7 次数值统计, 数据结果略低于 GB/T17421.2-2000; JIS-B6336 采用 7 个数据极差法进行评定, 复现性略差。

2.2.3 反向差值

GB/T17421.2-2000 和 VDI/DGQ3441 基

本相同,用绝对值表示,JIS-B6336 用带符号的数值表示偏差方向。NMTBA 标准未检测该项目。

2.2.4 系统偏差

只有 GB/T17421.2-2000 和 VDI/DGQ3441 进行系统偏差计算。GB/T17421.2-2000 进行单向和双向系统偏差计算,而 VDI/DGQ3441 只计算双向偏差,两种标准的双向偏差计算方法相同。

表 2 纵向进给方向某段位移测量统计表

目标点数 i		1		2		3		4		5		6		7	
位置(mm)		0		80.000		160.000		240.000		320.000		400.000		480.000	
机床行驶方向		↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑
目标 点偏 差值 (μm)	$J=1$	-1.600	0.300	-4.800	3.900	-2.600	2.900	2.700	-1.500	1.300	0.600	5.800	1.300	7.200	1.400
	$J=2$	-0.900	0	-3.600	4.900	-2.500	4.100	3.800	-0.700	1.500	1.600	6.800	2.700	8.700	2.700
	$J=3$	-0.300	1.100	-2.600	7.000	-1.300	6.100	4.900	1.100	3.500	3.200	8.500	3.500	10.300	3.300
	$J=4$	0.300	2.400	-1.300	7.100	-0.700	6.900	6.300	2.100	4.400	4.500	9.500	4.400	11.200	4.600
	$J=5$	2.100	2.900	0.100	7.500	2.200	6.600	7.500	2.200	5.100	4.800	10.800	4.700	12.600	4.600
单向均位偏差(μm)		-0.800	1.340	-2.440	6.080	-0.980	5.320	5.040	0.640	3.160	2.940	8.280	3.320	10.000	3.320
标准不确定度 S_i (μm)		1.408	1.274	1.917	1.585	1.951	1.738	1.915	1.670	1.705	1.819	2.014	1.375	2.111	1.355
$2S_i$ (μm)		2.816	2.548	3.833	3.170	3.902	3.477	3.830	3.339	3.411	3.638	4.028	2.751	4.221	2.711
平均 $2S_i$ ↓(μm)		-2.896	-1.208	-6.273	2.910	-4.882	1.843	1.210	-2.699	-0.251	-0.698	4.252	0.569	5.779	0.609
平均 $2S_i$ ↑(μm)		2.736	3.888	1.393	9.250	2.922	8.797	8.870	3.979	6.571	6.578	12.308	6.071	14.221	6.031
$4S_i$ (μm)		5.631	5.098	7.666	6.340	7.805	6.954	7.661	6.679	6.821	7.275	8.057	5.502	8.443	5.421
反向差值 B_i (μm)		1.420		8.520		6.300		-4.400		-0.220		-4.960		-6.680	
双向重复精度 R_i (μm)		6.784		15.523		13.679		11.570		7.275		11.739		13.612	
双向均位误差(μm)		0.630		1.820		2.170		2.840		3.050		5.800		6.660	

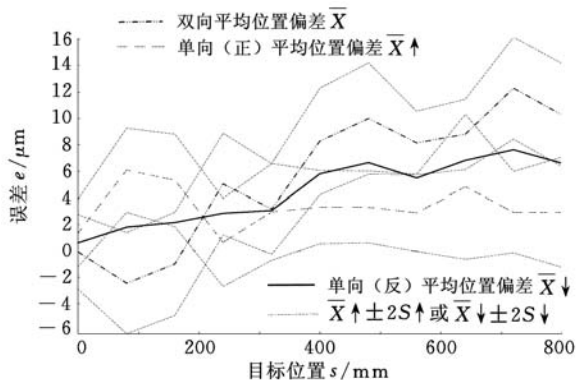


图 6 纵向进给方向某段位移位置精度实测曲线

3.2 评定数据计算结果

根据表 1 所示 4 种标准规定的评定方法,得到本研究对象的位置精度结果,如表 3 所示。

分析表 3 可以看出:

(1)定位精度。应用 GB/T17421.2-2000 和 VDI/DGQ3441 的评定结果分别为 22.438 μm 和 23.204 μm ,基本一致,存在微小差别;JIS-B6336 评定方法简单,NMTBA 标准评定定位精

3 位置精度评定实例分析

3.1 测量实验过程及结果

测量原理及过程见文献[15]。由于进行精度测量时对周围环境要求高,而本研究对象体积大、纵向进给距离长,要保证恒温有一定难度,因此依据 GB/T23569-2009 的要求,纵向进给方向分别选取离主轴箱 1000mm、8000mm 处进行测量,结果如表 2 和图 6 所示。

表 3 测量段位置精度 4 种评定结果 μm

评定指标	GB/T17421.2-2000	VDI/DGQ3441	JIS-B6336	NMTBA 标准
定位精度 A	A_{\downarrow} :22.438 A_{\uparrow} :13.021 A :22.438	23.204	14.900	$A_{\text{u}\downarrow}$:26.287 $A_{\text{u}\uparrow}$:19.032 A_{u} :17.892
重复定位精度 R	R_{\downarrow} :8.443 R_{\uparrow} :10.964 R :16.329	15.237	7.050	$P_{\text{s}\downarrow}$:17.245 $P_{\text{s}\uparrow}$:19.456 P :31.267
反向差值 B	9.380	9.380	8.310	
系统偏差	14.740	10.385		

度时与 GB/T17421.2-2000 方法基本相同,但计算公式存在 $2S_i$ 和 $3S_i$ 的不同,因此结果有一定差距。

(2)重复定位精度。应用 GB/T17421.2-2000 和 VDI/DGQ3441 的评定结果分别为 16.329 μm 和 15.237 μm ,差别微小;JIS-B6336 评定方法简单,NMTBA 标准评定所使用的公式也不同。因此,GB/T17421.2-2000、VDI/DGQ3441 与 JIS-B6336、NMTBA 标准之间不

具备可比性。

(3)反向差值。应用 GB/T17421.2-2000 和 VDI/DGQ3441 的评定结果均为 $9.380\mu\text{m}$, 完全一致, JIS-B6336 由于采用了 7 次测量, 得到的值更为精确。

(4)系统偏差。只有 GB/T17421.2-2000 和 VDI/DGQ3441 对系统偏差进行了评定, 结果分别为 $14.740\mu\text{m}$ 和 $10.385\mu\text{m}$, 评定方法基本相同, 只是计算公式有稍微差别。

4 结论

(1)本文通过对数控机床位置检测工具及检测方法的分析对比, 分析了 4 种常用检测方法的优缺点。对某型数控车床纵向进给系统位置精度进行了局部测量, 结果符合国标规定。但在全程位移具体测量时, 测量环境对测量结果有较大影响。运用局部测量数据, 结合正确的数学模型得到全域数值有待于进一步研究探讨。

(2)GB/T17421.2-2000 和 VDI/DGQ3441 检测指标全面, JIS-B6336 次之, NMTBA 最少, 总体而言, VDI/DGQ3441 和 GB/T17421.2-2000 更为严谨。

(3)GB/T17421.2-2000 的定位精度 A 及重复定位精度 R 主要通过增大测量值来体现严要求, 但未能反映反向差值与方向性的影响; VDI/DGQ3441 与 NMTBA 标准的定位精度 A_0 、重复定位精度 P 更能全面评价机床的内部质量。

因此, 我们在制造特别是进口机床时, 不能只关注指标大小, 而要根据不同的标准, 科学地分析精度指标, 避免误判和造成不必要的损失。

参考文献:

[1] 张小平. 数控车床直线位置精度的检测评定和调试[J]. 机电技术, 2006, 29(2): 39-42.
Zhang Xiaoping. Determination and Adjustment of NC Turning Machines Line Position Precision[J]. Electrical Technology, 2006, 29(2): 39-42.

[2] Koichiro Iwasawa, Akito Iwama, Kimiyuki Mitsui. Development of a Measuring Method for Several Types of Programmed Tool Paths for NC Machine Tools Using a Laser Displacement Interferometer and a Rotary Encoder[J]. Precision Engineering, 2004, 28: 399-408.

[3] 陈勇, 陈慧宝, 孙桂清. CINCINNATI 立式加工中心改造精度的测试与分析[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2003, 9(4): 342-345.
Chen Yong, Chen Huibao, Sun Guiqing. Accuracy

Analysis of CINCINNATI Vertical Machining Center[J]. Journal of Shanghai University (Natural Science), 2003, 9(4): 342-345.

[4] Qiu Hua, Li Yanbin, Li Yan. A New Method and Device for Motion Accuracy Measurement of NC Machine Tools. Part 2: Device Error Identification and Trajectory Measurements of General Planar Motions[J]. Machine Tools & Manufacture, 2001, 41: 535-554.

[5] 周汉辉. 数控机床精度检测项目及常用工具[J]. 制造技术与机床, 1999(8): 69.
Zhou Hanhui. CNC Machine Tool Accuracy Testing Programs and Tools[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 1999(8): 69.

[6] 蔡有杰. 数控机床位置精度评定方法对比与分析[J]. 机械科学与技术, 2012, 31(1): 122-124.
Cai Youjie. The Comparison and Analysis for the Accuracy Evaluation of CNC Machine Tool[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2012, 31(1): 122-124.

[7] 林璨. 数控机床位置精度检测与三种评定方法的对比认识[J]. 现代计量测试, 1996(1): 32-34.
Lin Can. Measurement of Positioning Accuracy for NC & CNC Machine Tools and Comparison and Discussion of the Three Determination Methods[J]. Modern Measurement and Testing, 1996(1): 32-34.

[8] 王昀希. 数控机床验收中位置精度评定方法探讨[J]. 计量技术, 2006(9): 23-25.
Wang Junxi. Positional Accuracy Assessment Method Investigation of NC Machine Tool [J]. Measurement Technology, 2006(9): 23-25.

[9] 余耀强. 两种模式的光栅尺、线纹尺检具[J]. 金属加工, 2002(9): 54-55.
Yu Yaoqiang. Two Modes of Grating and Line Scale Submit[J]. Metal Processing, 2002(9): 54-55.

[10] 李斌, 田莺, 刘红奇. 数控车床误差快速检测与精度标定[J]. 机床与液压, 2011, 39(17): 18-21.
Li Bin, Tian Ying, Liu Hongqi. Fast Error Measurement and Precision Calibration for CNC Lathe [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2011, 39(17): 18-21.

[11] 阎树田, 张思成, 胡立志. 金属切削机床主轴运动误差影响的数学分析[J]. 中国机械工程, 2002, 13(9): 737-739.
Yan Shutian, Zhang Sicheng, Hu Lizhi. Mathematical Analysis of Influences Caused by Metal Cutting Machine Tool Spindle Error Motion[J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13(9): 737-739.

[12] 陈颖, 张学典, 逯兴莲, 等. 自准直仪的现状与发展趋势[J]. 光机电信息, 2011, 28(1): 6-9.
Chen Ying, Zhang Xuedian, Lu Xinglian. Current

数控机床进给系统机械刚度的闭环参数辨识

陈光胜 李郝林 林献坤

上海理工大学,上海,200093

摘要:对于高速高精度机床,进给系统机械刚度是影响机床动态特性的重要参数。以采用商用数控系统的机床为研究对象,提出了机械刚度闭环辨识的新方法。针对移动工作台机械系统的二阶系统模型,推导出全闭环条件下的刚度辨识递推公式,通过输入二次位移曲线实现系统的持续有效激励。为验证提出的机械刚度辨识方法的有效性,进行了仿真和实验,结果表明,提出的刚度闭环辨识方法不受数控系统的开放性限制,方法简便、有效,适合生产现场。

关键词:高速、高精度;进给系统;机械刚度;辨识

中图分类号:TP273.1

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2013.14.005

Mechanical Stiffness Identification for Feed System of CNC

Machine Tools under Closed-loop Conditions

Chen Guangsheng Li Haolin Lin Xiankun

University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093

Abstract: As mechanical stiffness is an important parameter and has a great influence on dynamic performance of high-speed & high-precision machine tools. This paper proposed a novel method that servo mechanical stiffness can be identified under closed-loop conditions for machine tools in which popular commercial computer numerical control (CNC) system was employed. Based on 2 order control system for feeding mechanical system of worktable, an identification model for mechanical stiffness was obtained, and continuous and effective stimulation was achieved by inputting programmed displacement commands which were described as a multi-segment quadratic curve to CNC system. To verify validity of the proposed method, the simulations and experiments were performed, results show that the method is convenient, effective and suitable for commercial CNC system even closed-architecture system under industrial conditions.

Key words: high-speed and high precision; feeding system; mechanical stiffness; identification

0 引言

对于高速高精度机床,进给系统的动态特性

扮演了非常重要的角色。进给系统动态参数如机床工作台的质量、阻尼、机械刚度和摩擦力等均对系统动态特性有重要影响。关于质量、阻尼、摩擦力的辨识理论和方法在文献[1-3]中均有描述。文献[4]将工作台等效为一阶系统,摩擦模型采用

收稿日期:2012-04-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51005158);国家科技支撑计划资助项目(2012BAF01B00)

Situation and Development Trend of Autocollimator[J]. OME Information, 2011, 28(1):6-9.

[13] 黄天喜,严祯,曾韬. 几种测量机床导轨直线度误差的方法[J]. 机械工程与自动化, 2008(4):186-189.

Huang Tianxi, Yan Zhen, Zeng Tao. Several Methods of Measuring the Linear Error of Machine Tool Guideway[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2008(4):186-189.

[14] 孟凯,乔伟,骆朝晖. 先进检测仪器在数控机床精度验收中的应用[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2003(11):76-77.

Meng Kai, Qiao Wei, Luo Zhaohui. The Application of Advanced Testing Equipment in the CNC Machine Tool Accuracy [J]. Modular Machine

Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2003 (11):76-77.

[15] 王胜,刘宏昭,原大宁. 重型数控卧式车床位置精度的激光测量与误差补偿[J]. 西安理工大学学报, 2011, 27(1):271-274.

Wang Sheng, Liu Hongzhao, Yuan Daning. Laser Measurement and Errors Compensation of Position Accuracy for CNC Heavy-duty Horizontal Lathe [J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2011, 27(1):271-274. (编辑 苏卫国)

作者简介:王 胜,男,1974年生。西安理工大学机械与精密仪器工程学院博士研究生,陕西工商职业学院工程管理系副教授。主要研究方向为数控机床可靠性及精度分析。刘宏昭,男,1954年生。西安理工大学机械与精密仪器工程学院教授、博士研究生导师。