

中国计量科学研究院
研究报告

2

1986

中国计量科学研究院
北京

**THE NATIONAL INSTITUTE OF
METROLOGY OF CHINA**

RESEARCH REPORTS

1986

Beijing China

Published by:

Office of Technical Information NIM

Address:

Office of Technical Information

National Institute Metrology

7, District II ,He Ping Street

Beijing, 100013

People's Republic of China

CONTENTS

1. A New System for the Measurement of Surface Roughness.....	(1)
2. A Taper Comparator	(11)
3. The Development and Performance Measurement of the Standard Pyrometer Lamp	(17)
4. Quartz Frequency Thermometer for Low Temperature Standard	(23)
5. The Development of Standard Turbine Flow Meters	(33)
6. TPS-500/3000 Series Precision AC Test Power Supply	(41)
7. The Study of Calibration System for Resistance Strain Gauge.....	(47)
8. The Establishment of a Magnetic Flux Standard of Campbell Type and the Measurement Apparatus.....	(55)
9. The Development of the Standard of Middle Magnetic Field	(63)
10. The Cold and Hot Standard Noise Sources of K Band and Ka Band and the Microwave Radiometer Calibration Method.....	(71)
11. Research Activities on Standard Time and Frequency Signal Dissemination Using Communication Satellite Links.....	(83)
12. Frequency Stabilization of A Long Cavity Single-mode He-Ne Laser	(91)
13. Investigation on a New Method of Measurement of Vertical Cylindrical Tank	(97)
14. The Development of the 300 kN Deadweight Standard Machine	(107)
15. Research and Manufacture for 30t Electromagnetic Force Compensation Type Weightbridge	(113)
16. A Development of the Primary Standard of Exposure for the Medium Energy X-Ray	(121)
17. The Accurate OTF Measurement of a Plano-Convex 50mm Standard Lens Group	(133)
18. Measurement of OTF of Standard Lens by Interferometric Method.....	(139)
19. The Determination of Impurities in High Purity Water	(145)
20. Permeation Humidity Generator	(155)
21. Studies on Standard Material of Pesticide	(163)

目 录

长 度

1. 建立新的表面粗糙度测量系统毛起广等 (1)
2. 锥度比较仪陈永江等 (11)

温 度

1. 标准光学(光电)高温计灯泡的研制与性能测试李而明等 (17)
2. 低温标准石英频率温度计锁凯声等 (23)

流 量

1. 标准涡轮流量计(ϕ 100)研制王建中等 (33)

电 学

1. TPS-500/3000 系列精密交流测试电源李之彬等 (41)
2. 电阻应变计检定系统的研究张功铭 (47)

磁 学

1. 建立磁通工作基准及传递比较装置杨家桂等 (55)
2. 中磁场标准研究刘恒基 (63)

无 线 电

1. K 波段和 Ka 波段冷、热标准噪声源及微波辐射计定标方法徐文恬等 (71)

时间频率

1. 利用通信卫星发播标准时间频率肖翠英 (83)

激 光 器

1. 长腔单频氦氖激光器的频率稳定沈乃激等 (91)

容 量

1. 立式金属罐大容量新测量方法的研究廉育英等 (97)

力 值

1. 300 kN 静重式力标准机的研制解金泰 (107)

质 量

1. 30 吨电磁地中衡的研制王孝林等 (113)

电离辐射

1. 中能 X-射线照射量基准的提高研究徐 沔等 (121)

光 学

1. 平凸 50 mm 标准镜头 OTF 的精密测量杨永刚等 (133)
2. 用干涉法测量标准镜头的传递函数李 平等 (139)

化学计量与标准物质

1. 高纯水中有害杂质的检测方法张焱焯等 (145)
2. 外渗式水渗透管微量水发生装置杨国栋等 (155)
3. 农药标准物质的研究孙守威等 (163)

建立新的表面粗糙度测量系统

毛起广 高思田 王景新

摘要 本文研究了利用模拟式单参数表面粗糙度轮廓仪和计算机建立多参数表面粗糙度数字化测量系统。所建立的系统具有较强和较灵活的测量功能,能够测量目前常见的各种表面粗糙度和波度参数。分析了Ra的测量精度及影响Sm和S测量结果的主要测量条件

一、概 述

由于对表面特征与零件使用功能之间的关系的认识的深化,需要对加工表面的特征作进一步的解析,因而从零件使用功能的不同角度出发提出了丰富多样的参数。随着微型计算机的飞速发展和在测量仪器上的使用,使得粗糙度多参数测量成为可能。这使得触针法表面轮廓仪由模拟化处理进入数字化处理阶段,大大增强了轮廓仪的技术性能和使用功能。

我们所研究的多参数表面粗糙度数字化测量系统除了作为表面粗糙度国家基准装置的组成部分之外,还可对表面粗糙度数字化测量方法进行分析、研究。鉴此,所建立的表面粗糙度测量系统具有一系列特点,主要功能叙述如下。

1. 采样方式

1) 固定采样间隔方式(FSI),即无论取样的长度是多少,采样间隔是固定的。在采样结束之后再把所得数据通过插值或平滑使每一种取样长度上的数据点个数相同。在本测量系统中可任意改变采样间隔和变换后的数据点数。

2) 固定采样数目方式(FSN),在每种取样长度都以同样的数据点数采样,并直接进行滤波和参数计算。我们可任意改变采样点数。

2. 滤波方式

1) 按触针式轮廓仪国标规定特性的标准滤波器,其幅频和相频特性与标准要求完全一致。

2) 无相移滤波器,幅频特性与标准要求完全一致,但没有标准滤波器所产生的非线性相移。

3) 波纹度测量用的波度滤波器(无相移)。

4) 不滤波方式,采用最小二乘法求中线。

3. 滤波器的切除长度(λ_B)值除了0.08,0.25和0.8mm三个系列值外,可以自由选择任意值。

4. 评定长度可以从1到5个取样长度中任意选择。

5. 能够测量以下各种粗糙度参数。

- 1) 微不平度高度方面的极值参数: $R_z, R_y, R_{max}, R_p, R_v, R_{pmax}, R_3 X, R_{Jz}, R_{Jl}$ 。
- 2) 高度方向的统计参数: R, R_q, R_{sk}, R_{Kc} 。
- 3) 水平方向的间距参数: $S_m, S, \lambda_a, \lambda_q, H_{sc}, P_c$ 。
- 4) 综合参数: $\Delta a, \Delta q, \Delta sk, t_p(c), Adf(c)$ 。
- 5) 功率谱函数 PSD 和自相关函数 ACF。
- 6) 可测量 6 个表面波度参数: $W_a, W_q, W_p, W_v, W_y, W_{max}$ 。

二、测量系统的组成和软件编制

利用 Talysurf-4 型轮廓仪, 对其输出信号及测量控制部分作适当改进, 与微型计算机相联构成整个测量系统, 如图 1 所示。

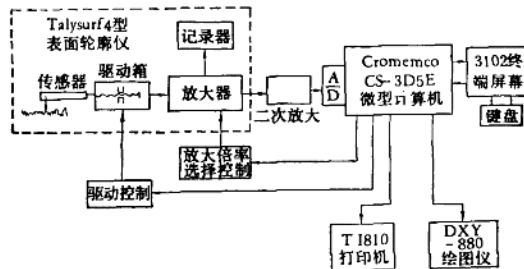


图 1 测量系统的组成及联接

测量时, 由微机发出测量运行指示, 通过控制电路接通驱动电机, 使传感器在被测表面上滑行。由定时器控制延迟 0.5 s 后开始采集信号。通过对轮廓仪输出的原始轮廓信号作二次放大, 获得满量程输出为 $\pm 2.5 V$ 。与 A/D 板设定的模拟信号输入量程相匹配。测量行程长度由计算机定时控制, 行程终了时发出停止运行指令。垂直放大倍数 V_v 由计算机做三位二进制编码选择。控制轮廓仪分别选通 8 档放大倍率中的一个。

经 A/D 转换之后的数字信号, 根据预先选定的测量条件, 进行滤波、参数、谱分析等运算。计算结果由屏幕显示, 也可由打印机或绘图仪进行打印绘图。

由于测量系统的采样点数、测量长度均可任意设定, 采样间隔变化很大, 转换为相应的采样时间间隔要求在 0.1 ms~10 ms 范围内变化, 而且要求时间间隔的分割也要非常细, 因此需要一个良好的中断定时器使 CPU 能对测量信号进行正确采样。我们选用 Z80-CTC 做为基本的定时中断器件, 并设计了一个专门的定时中断电路, 可使最小时间分割达到 0.5 μs , 最大定时时间为 16.512 ms。

在粗糙度多参数测量中, 计算程序的编制是一个十分重要的问题。本测量系统的软件具有如下特点。

1. 采用 Fortran-77 与 MC 68000 汇编语言混合编制。其中汇编完成数据采集和绝大部分的计算。程序的基本结构用 Fortran-77 编写, 完成菜单的显示和控制参数的确定, 输出测量结果, 显示出错信息, 调用汇编程序以完成相应的功能。这样既能提高程序的运算速度, 又能降低编程难度。

2. 测量、计算、输出的控制参数选择采用“菜单”方式,简化了测量操作,同时使测量者对所选参数一目了然。

3. 尽可能选用较好的计算方法以加快运算速度,如排序采用希尔排序法,功率谱与自相关函数采用FFT进行计算。

程序的基本结构如图2所示。

下面我们分别讨论主要的几个子程序的建立。

1. A/D 转换与采样

采用12位的A/D转换器把轮廓仪测得的模拟信号变换为数字信号。采样的时间间隔由中断定时器确定。将由采样间隔确定下来的计数值装入定时器中。当定时器计数到零时,发出中断信号,使程序进入采样过程:启动A/D转换,再将所得采样值装入内存。

由于计数值n总为整数,相对于实际的采样时间间隔总存在着截断误差。如果只把一次计算出数值装入定时器中,对于整个取样长度有时会造成相当大的累积误差。因此,在本系统中,计算出每一点的采样间隔,使逐点采样间隔的累积和计算值的累积和之差为最小,计算公式为:

$$n(K) = \text{INT} \left[k \frac{1}{N \cdot V_h \cdot t_c} - \sum_{i=1}^{K-1} n(i) + 0.5 \right] \quad k = 1, 2, \dots, N,$$

其中: n(K)为第K点的计数器计数值;

l 为取样长度;

N 为整个取样长度上的采样点数;

V_h 为传感器移动速度;

t_c 为定时器的单位计数时间($t_c = 0.5 \mu s$)。

此时,采样间隔不为等间隔,实际采样间隔与所要求的采样间隔之间的误差为:

$$\Delta x(K) = \left\{ \text{INT} \left[K \cdot \frac{1}{N \cdot V_h \cdot t_c} - \sum_{i=1}^{K-1} n(i) + 0.5 \right] - \frac{1}{N \cdot V_h \cdot t_c} \right\} \cdot V_h \cdot t_c$$

最大误差为: $\Delta x_{\max} = \frac{1}{2} V_h \cdot t_c$

对于 $V_h = 1.27 \text{ mm/s}$, $t_c = 0.5 \mu s$, 可得: $\Delta x_{\max} = 3.18 \times 10^{-4} \mu m$, 可以忽略不计,对取样长度引起的误差计算式和上述相同,亦可忽略不计。

2. 数字滤波器设计

在ISO标准(也在国标)中,用于获得粗糙度轮廓的模拟滤波器为一个二阶RC滤波器,传输特性为:

$$K(\lambda) = \left(\frac{1}{1 - j\lambda/\sqrt{3}\lambda_B} \right)^2$$

(其中, λ 为波长; λ_B 为Cutoff长度。)获得同样特性的数字滤波器的方法是对其作双线性变换,经过推导,可得数字滤波器的Z变换:

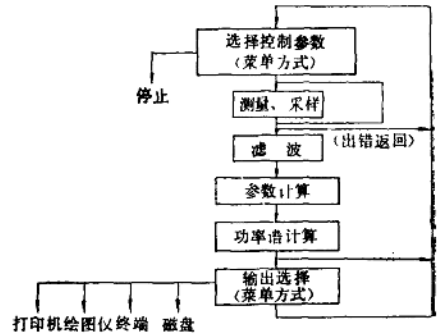


图2 信号处理程序的基本结构

$$K(Z^{-1}) = \left[\frac{1 - Z^{-1}}{\left[1 + \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{N}\right) \right] - \left[1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{N}\right) \right] Z^{-1}} \right]^2$$

一般在粗糙度测量中,要求 $N \geq 200$, 为了便于计算, 将 $\frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{N}\right)$ 有理化为 $\frac{29}{16N}$, 因此

$$K(Z^{-1}) = \left[\frac{16N(1 - Z^{-1})}{(16N + 29) - (16N - 29)Z^{-1}} \right]^2$$

计算中, 利用两个相同的串联滤波器实现。其递推公式为:

$$Y_1(K) = \{16N[x(K) - x(K-1)] + (16N - 29)Y_1(K-1)\} / (16N + 29)$$

$$Y(K) = \{16N[Y_1(K) - Y_1(K-1)] + (16N - 29)Y(K-1)\} / (16N + 29)$$

其中: $x(K)$ 为输入; $Y_1(K)$ 为串联滤波器的中间输入输出值, $Y(K)$ 为输出。

由于标准的滤波器有非线性相移, 会使轮廓信号产生歪曲, 因此又设计了无相移滤波器, 其幅频特性与标准滤波器相同。因为标准的 ISO 滤波器为两个形式相同的滤波器的串联, 如果我们使其中的一个滤波器做向前滤波, 另一个做向后滤波, 那么滤波器的 Z 变换为:

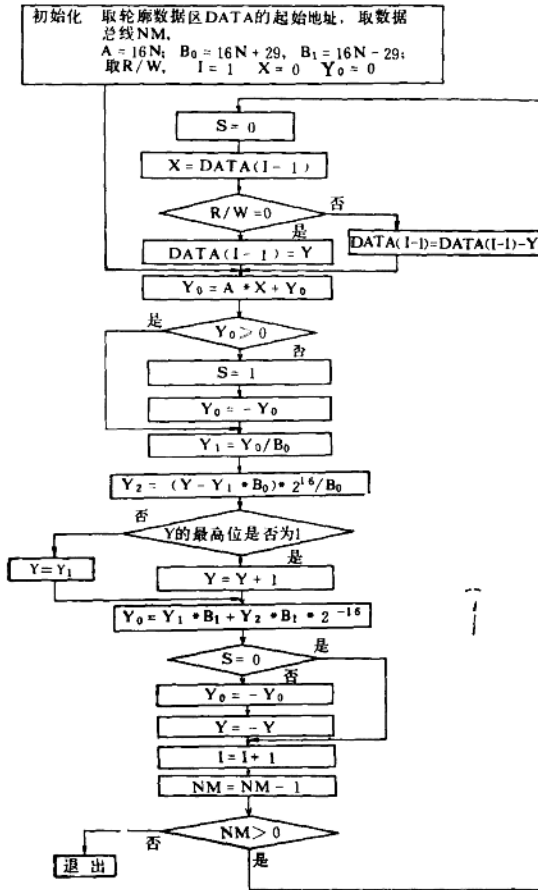


图 3 滤波器子程序流程图

$$K(Z^{-1}) = \left[\frac{16N(1-Z^{-1})}{(16N+29) - (16N-29)Z^{-1}} \right] \cdot \left[\frac{16N(1-Z)}{(16N+29) - (16N-29)Z} \right]$$

向后滤波
向前滤波

两个方括号内的表达式互为共轭，因此相移一定为零，其递推公式为：

$$\begin{cases} Y_1(K) = \{16N[x(K) - x(K-1)] + (16N-29)Y_1(K-1)\} / (16N+29) \\ K = 1, 2, \dots, NM \\ Y_1(NM-K) = \{16N[Y_1(NM-K) - Y_1(NM-K+1)] + (16N-29)Y_1(K-1)\} / (16N+29) \\ K = 0, 1, \dots, NM-1 \end{cases}$$

比较模拟滤波器与数字滤波器的频率特性，可知二者完全一致（无相移滤波器相频响应为零）。滤波程序流程图见图3。

3. 粗糙度参数计算

参数计算的基本流程图见图4。波度参数使用与其相对应的粗糙度的计算程序进行计算。粗糙度参数的计算方法如下。

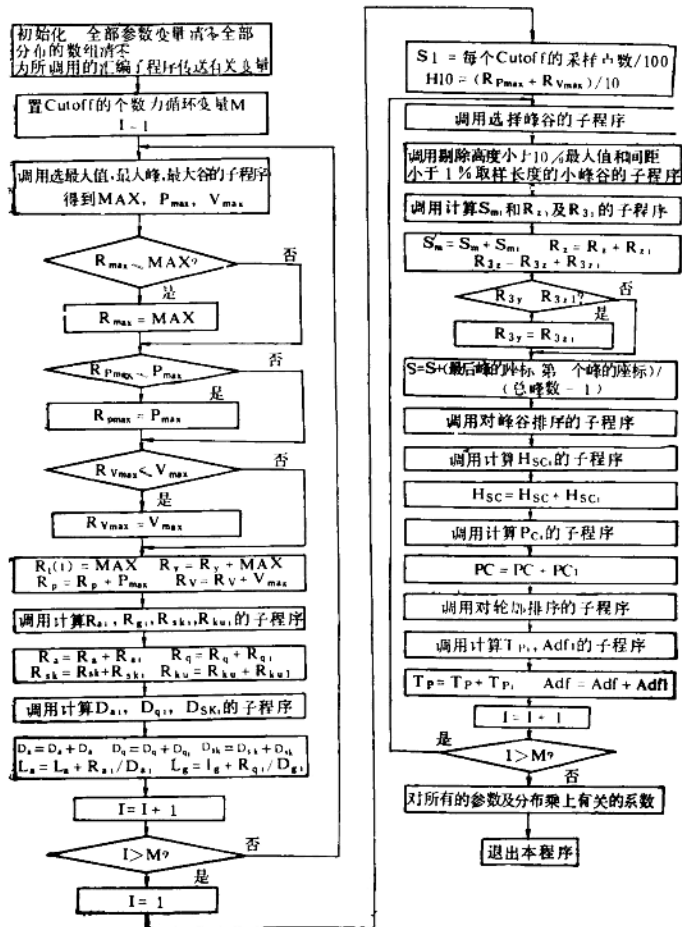


图4 参数计算子程序流程图

1) 高度极值参数: $R_V, R_P, R_V, R_{\max}, R_{P_{\max}}, R_{V_{\max}}, R_{t_{10}}$ 。按照标准定义, 通过选择最大值、最小值的方法进行计算, 这些参数还是别的一些参数的计算条件。

2) 高度统计参数: R_a, R_q, R_{sk}, R_{ku} , 斜率统计参数: $\Delta a, \Delta q, \Delta sk$ 及平均波长 λ_a , 均方波长 λ_q , 均按照粗糙度参数标准上的公式进行计算。

3) 间距参数 S_m, S ; 峰参数 HSCP_c 以及高度参数 R_z, R_{3z}, R_{3V} 的计算比较复杂, 需分几步进行:

(1) 首先按两低夹一高选峰和两高夹一低选谷。

(2) 根据国标规定, 小于 10% R_V 的峰谷高和小于 1% 取样长度的峰峰距和谷谷距的峰谷均以为是无效峰谷, 应当加以剔除。本系统采取的方法是若一个峰(谷)与前面的峰(谷)的距离小于 1% 的取样长度或是与其前的谷(峰)之间的高差小于 10% R_V , 则认为该峰(谷)应当与前面的峰(谷)合并为一个(峰谷)。合并的原则是选两个峰(谷)中较大(小)的峰(谷)作为合并后的新峰(谷)。这样逐个峰谷比较下去。

(3) $S, S_m, R_z, R_{3z}, R_{3V}$ 的计算在完全剔除之后, 有

$$S_j = (\text{最后一个峰的座标} - \text{第一个峰的座标}) / (\text{总峰数} - 1)$$

$$S = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M S_j$$

S_m 和 R_z 的计算, 首先要确定轮廓第一个过零点和最后一次过零点的位置, 然后从第一个过零开始, 确定轮廓峰(谷)的数目和高度, 直到最后一个过零点为止。再从中选出 5 个最高的轮廓峰 $P_i (i=1, 2, \dots, 5)$ 和 5 个最低的轮廓谷 $V_i (i=1, 2, \dots, 5)$, 可得

$$R_{z1} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (P_i - V_i) \quad R_z = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M R_{z1}$$

$$R_{3z} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (P_3 - V_3) \quad R_{3V} = \text{MAX}(P_3 - V_3)$$

$$S_{m1} = 2 \cdot$$

(最后一次过零座标 — 第一次过零点座标) / (总的轮廓峰数 + 总的轮廓谷数)。

$$S_m = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M S_{m1}$$

(4) HSC, P_c 的计算

首先采用希尔排序法对峰谷分别进行排序。然后用高于某一截线的峰的个数减去高于此截线谷数得到此截线上 HSC。计算出在某一以中线为中心线的带之外的峰的个数即为此带宽的 P_c 。

4) T_p 和 Adf 的计算

将全部轮廓数据进行排序(希尔排序法), 然后数出某一截线之上的轮廓点数, 再用这一轮廓点数除以总的轮廓点数即可得到此截线上的 T_p 。计算出某二截线之间的轮廓点数, 再除以总的轮廓点数, 即为此二截线之间的 Adf。

三、表面粗糙度参数测量及其精度分析

使用一组以单刻线样板为主的校对样板对仪器的各档垂直放大倍数 (V_v) 分别进行校验。校对样板用干涉显微镜和 Talystep 进行校定, 取其平均值作刻线深度的实际数值。校验时,

计算机自动将校验系数计算出来,并记入磁盘。在使用中,亦可随时进行校验。

通过测量光滑表面(平晶)的方法获得仪器的噪音(虚假信号)。在最高放大倍数 $V_v=1 \times 10^5$ 的条件下实测表明,由于噪音产生的 R_a 读数值为 $0.006 \mu\text{m}$ 。获得准确的 V_v 之后,通过测量光滑斜面的方法,获得了准确的传感器移动速度。

对高度统计参数 R_a 测量精度的影响因素主要有: 1)垂直放大倍率(V_v)的校验不确定度为 $\pm 1.6\%$ 。2)触针针尖半径为 $4 \mu\text{m}$,由此引起实际的和测得的微不平高度差为 $0.015 \mu\text{m}$,对于 $R_a=0.25 \mu\text{m}$ 时,由此引起的误差为 $\pm 1.2\%$,对于 $R_a=0.1 \mu\text{m}$,则为 3% 。3)由于测量系统的噪音为 $R_a=0.005 \mu\text{m}$,对于 $R_a>0.25 \mu\text{m}$ 时,最大相对误差为 $\pm 2\%$ 。对于 $R_a=0.1 \sim 0.25 \mu\text{m}$ 范围为 $\pm 4\%$ 。4)由于所设计的数字滤波器十分逼近于 GB 标准滤波器的标准特性,故其误差不用考虑。5)有效量程只占满刻度 10% 时,仍可保证量化误差最大不超过 $\pm 0.5\%$ 。

综合以上各项,在测量 $R_a>0.25 \mu\text{m}$ 的标准样板时,最大不确定度为:

$$3 \sigma_{\max} \leq \pm 2.8\%$$

在测量 $R_a=0.1 \sim 0.25 \mu\text{m}$ 时,

$$3 \sigma_{\max} \leq \pm 5.2\%$$

测量系统经过校验后,以各档放大倍率 V_v 分别测定相应的多刻线样板、PTB 样板,以及车、磨样板,将其结果与 Talysurf-6 测得的值和西德 PTB 样板给出值相比较,结果如表 1。由表中可知,本测量系统测量 R_a 的结果与 PTB 或 Talysurf-6 的数值相比,差值一般在 \pm

表 1 R_a 测量结果的比对

垂直放大率 V_v	样 块	R_a 值 (μm)			差 值	
		测量系统	Talysurf 6			PTB
			data 1000	data 2000		
1×10^5	$\Delta 11$ 多刻线	0.064	0.065	0.065	-1.5%	
5×10^4	$\Delta 11$ 多刻线	0.065	0.065	0.066	-0.8%	
2×10^4	$\Delta 9$ 多刻线	0.243	0.246	0.240	0	
	PTB524*	0.165	0.165*	0.167	0.167	-0.6~-1.2%
1×10^4	PTB562*	0.545	0.537*	0.555	0.55	0.1~-0.9%
	$\Delta 9$ 多刻线	0.246	0.246	0.240		+1.2%
5×10^3	PTB562*	0.544	0.537*	0.555	0.55	-0.3~-1.1%
	车 削	1.087	1.10	1.09		-0.7%
2×10^3	PTB556*	1.682	1.68*	1.69	1.69	-0.2~-0.5%
	$\Delta 6$ 多刻线	2.092	2.10	2.09		-0.2%
1×10^3	$\Delta 6$ 多刻线	2.09	2.10	2.09		-0.2%
	F-B	3.01	3.05	3.04		-1.1%
500	F-C	6.50	6.45			+0.7%

注: (1) 有(*)者为 12 个位置上测量的平均值。

(2) 本测量系统结果值均为测量 3~7 个位置,取平均值。

1.2%以内,最大为1.5%,从而证明上述分析是可靠的。

由于 S_m, S 用文字定义,无直接的函数表达式,其结果受种种测量条件的制约,而且目前没

表 2 采样间隔和测量条件对 S_m, S 值的影响

试 件	采样点数 (n/l)	采样间隔 $\Delta S(\mu m)$	测量条件和测得参数值(μm)					
			以 $<1\%R_y$ 为界限			以 $<10\%R_y$ 和 l 的1%为界限		
			S_m	S	λ_q	S_m	S	λ_q
车 削 ($l=0.8mm$)	2048	0.39	72.9	14.9	41.3	83.2	81.0	42.6
	1024	0.78	74.3	15.4	42.1	82.3	81.0	43.1
	512	1.56	74.3	16.0	43.8	85.8	81.0	44.5
	256	3.12	77.7	20.4	48.9	83.7	84.6	49.1
	230	3.48	80.7	21.8	50.3	84.3	84.1	49.8
磨 削 ($l=0.8mm$)	2048	0.39	11.7	6.36	11.6	14.7	13.3	10.8
	1024	0.78	11.9	6.50	11.9	14.7	13.2	11.2
	512	1.56	12.6	7.11	13.0	15.6	14.0	12.4
	256	3.12	16.2	10.4	17.8	20.3	18.1	17.0
	230	3.48	17.8	11.5	19.0	20.3	18.5	18.0
多刻线样板 -9 ($l=0.8mm$)	2048	0.39	34.2	29.5	28.9	34.8	32.9	29.1
	1024	0.78	34.2	29.5	29.5	34.8	33.2	29.5
	512	1.56	34.1	30.3	30.3	34.8	34.0	30.2
	256	3.12	34.8	34.5	32.1	35.1	34.9	32.0
	230	3.48	35.0	34.6	32.3	34.6	34.8	30.3
PTB562* ($l=0.8mm$)	2048	0.39	50.0	10.4	42.1	79.8	46.9	44.4
	1024	0.78	50.0	10.7	43.9	82.1	47.2	46.5
	512	1.56	53.8	11.5	47.3	87.9	53.2	50.7
	256	3.12	60.3	16.0	58.7	104.8	64.4	61.7
	230	3.48	70.5	18.1	63.2	114.7	53.2	67.2
研 磨 ($l=0.25mm$)	2048	0.12	7.63	5.74	7.49	—	—	—
	1024	0.24	7.68	5.74	7.59	8.57	7.71	7.48
	512	0.49	7.74	5.78	7.71	8.63	7.77	7.64
	256	0.98	7.93	5.88	8.05	8.89	8.16	8.03
	230	1.09	7.36	5.84	7.98	8.86	8.25	8.21

有统一的测量规范，这就造成了各种型号的仪器之间的测值不一致。我们曾将本测量系统与 Talysurf-6 型仪器的测量值进行了比较，也发现了这个问题。

为此，我们使用了两种小峰谷剔除界限和不同的采样点数对一些样块进行了测试，结果见表 2。

从表中可以看出，1) 改变采样间隔 ΔS ，对 S_m 、 S 和 λ_q 的影响较为显著， ΔS 愈小， S_m 和 S 也愈小， λ_q 的变化趋势也相类似。对于规则表面，当 ΔS 大于 $1.56 \mu\text{m}$ 时， S_m 和 S 值显著增加，而对于随机表面，明显增大的拐点则为 $\Delta S = 0.78 \mu\text{m}$ 处。这表明，欲获得较为稳定可靠的 S_m 、 S 和 λ_q 值，采样间隔 ΔS 应不大于 $1 \mu\text{m}$ 。对于较大间距的粗糙表面或规则表面， ΔS 则可适当放宽为 $1.5 \mu\text{m}$ 或更大一些。2) 按现行国标规定，小峰谷剔除的界限为 $10\% R_V$ 和 $1\% I$ 。而一些商品仪器(如 Talysurf-6)则采用 $1\% R_V$ 为界。另一些仪器则无小峰谷剔除步骤。从表 2 中的比较可以看出，改变剔除界限对 S_m 和 S 测量结果影响甚大，除了多刻线样板这种十分规则的没有叠加小峰的表面的 S_m 、 S 的结果没有什么影响，对于其它表面，其差值较大，尤其是车磨(包括 PTB 的规则磨削)的 S 值增加了几倍。

这一状况应引起我们注意在测量与间距有关的参数时所采取的测量条件，同时对现行国标和 ISO 规定是否十分合理的问题颇值讨论。

结 论

已经建立的数字化粗糙度测量系统，具有较强的数字化处理能力，能够适应标准多刻线样板的检定和研究数字化表面测量方法的需要。

本测量系统包括目前所常见的粗糙度和波度参数 并且在今后随着对表面研究的深入所提出的一些新的参数包容进去。

本文着重研究了 R_a 的测量精度，通过理论分析和实测对比，证明本系统的测量不确定度 (3σ) 对于 $R_a > 0.25 \mu\text{m}$ 时不超过 $\pm 2 \sim 3\%$ ， R_a 为 $0.1 \mu\text{m} \sim 0.25 \mu\text{m}$ 时，由于针尖半径及噪音等因素可达到 $\pm 5\%$ 。

关于 S_m 和 S 参数的测量条件，通过利用这个测量系统所做的一些试验分析，明确了采样间隔和小峰谷剔除界限这些因素对测量结果的影响状况。若要取得可靠的结果，应注意采样间隔的选取，若要与其它数字化表面测量仪器对比，则应明确测量条件。

本测量系统在软件编制上充分利用了所使用的计算机的优越性，因而具有非常灵活的测量功能。运算时间短，当采样点数取 2048 点时，计算全部参数(不包括 psd 和 Acf)，需 10 秒左右，而 Talysurf-6 取 230 点计算全部参数(不包括 psd 和 Acf)需 15 秒左右。

通过本系统的建立，使我们感到，建立统一的数字化表面粗糙度多参数测量系统的测量规范已是非常紧迫的任务。

参 考 文 献

- [1] GB1031-83《表面粗糙度—参数及其数值》
- [2] GB3505-83《表面粗糙度—术语表面及其参数》
- [3] GB6062-85《轮廓法触针式表面粗糙度测量仪轮廓记录仪及中线制轮廓计》
- [4] Steven A. Tretter, 离散时间信号处理导论, 高等教育出版社。
- [5] К. А. Обрадович, Н. Н. Валуева, Измер. Тех., 4(1976)18-20,

A NEW SYSTEM FOR THE MEASUREMENT OF SURFACE ROUGHNESS

Mao Qiguang Gao Sitian Wang Jingxin

ABSTRACT

By means of linking a microcomputer with an analogue stylus profilometer with which only one roughness parameter can be measured, a digital system for the multi-parameter measurement of surface roughness has been developed. The method of sampling, the design of digital filter and the programme to calculate roughness parameters is discussed. The functions of the system are powerful and flexible. Some measuring conditions can be changed, e.g. variety of filtering form, free selection of cutoff value and sampling interval, different limit of minimum space and height of peak (valley) under consideration, etc. The system can be used to measure various roughness parameters, wave parameters and statistical functions. The curves of the functions can be drawn by a plotter.

By means of theoretical analysis and compare measurement, it shows that the uncertainty (3σ) of B_a value of precision reference specimens measured using this system is less than $\pm 2\sim 3\%$ when $R_a < 0.25\mu\text{m}$, and less than $\pm 5\%$ when R_a is $0.1\sim 0.25\mu\text{m}$ due to the radius of stylus tip and noise.

Measuring conditions of S_m and S have been tested in practical experiment. The influence of sampling interval and the limit of minimum peak and valley has been proved. In order to get reliable results of S_m and S , attention has to be paid to the sampling interval. When results are compared with other instruments, the measuring condition should be identical. So it is suggested that the rule for digital surface measurement should be instituted as soon as possible.

锥 度 比 较 仪

陈永江 方毓文 陈坤德

摘要 本仪器由高精度电感式测微仪与专用机械装置配套组成,能测量锥度 $C=1:3\sim 1:50$ 的圆锥量规和圆锥体芯轴以及圆柱体芯轴。其总不确定度为 $3\sigma=\pm 0.2\mu\text{m}$ 。本仪器还可与千分表配合使用。

概 述

随着机械工业的发展,机械加工越来越多地采用数控机床和数控加工中心,广泛使用机械手装卸工具。对工具锥柄的需要量也在不断增加,而且要求有相当好的互换性。因此,对测量圆锥量规的锥角精度和形状误差的要求也越来越高。然而,目前大多数机床、工具等制造厂都是采用染色法进行锥角量值的检验传递。由于没有专用测量圆锥度的仪器,造成锥角量值传递偏差增大,致使全国的锥柄刀具不能统一互换。为解决上述问题,我们研制了锥角量值传递用的锥度比较仪。该仪器具有测量精度高、使用方便、操作方便等优点。它可满足圆锥量规锥度检定系统中规定的要求,用数值测量代替过去传统的染色检验方法,并取消了用环规作为传递的环节,从而达到锥角量值统一和锥柄刀具统一互换的目的。同时可以减轻劳动强度,提高工效,具有较大的经济效益和社会效益。

一、仪 器 结 构

锥度比较仪主要由数显电感式测微仪或千分表和专用机械装置两部分组成,如图1所示。

由图1可知,将同一规格的圆锥量规或圆锥工件与标准规进行比较测量,即用标准规与被测工作规进行比较测量,从而达到以数值表示测量的目的。从图2可以知道比较测量大致可分为三种情况:

图2A“O”偏差表示被测量规与标准规的锥角一致,没有偏差。图2B“+”偏差表示被测量规比标准规的锥角大。图2C“-”表示被测规比标准规的锥角小。

在该仪器的A,C两测头间增加了B测头,其目的是定性测出被测规与标准规母线直线度的比较结果,如图3所示。

由图3知道,“A”表示两者形位偏差基本一致,“C”属于凹,而最坏的是“B”所示情况,属于凸形。

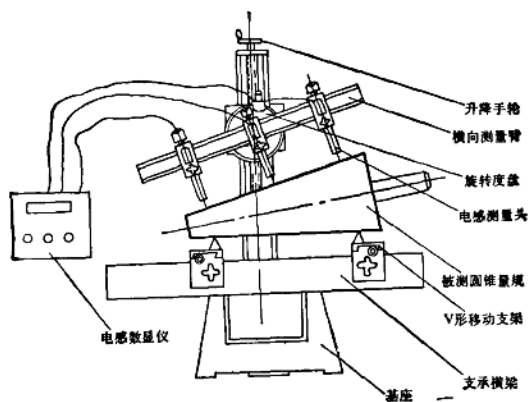


图 1

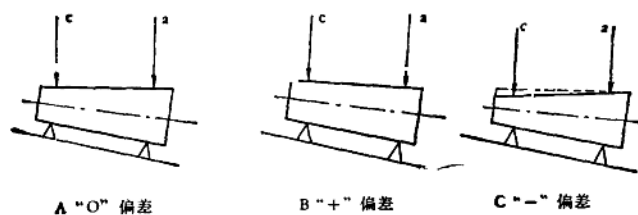


图 2

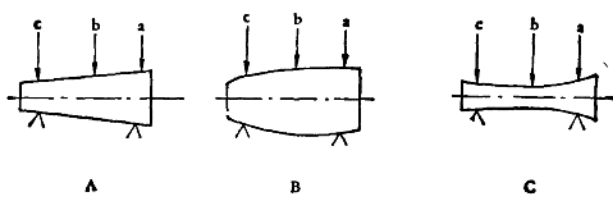


图 3

二、仪器的误差分析

锥度比较仪的误差有以下几项:

1. 数显电感测微仪示值误差

根据使用说明数显电感式测微仪的示值误差为 $3\sigma \leq \pm 0.1 \mu\text{m}$ 。该仪器使用有两个测头,

取 $3\sigma_{示} = \pm (2 \times 0.1) \mu\text{m}$ 。

2. 电感式测微仪示值稳定性

电感式测微仪在 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 条件下, 连续工作 4 小时, 零漂 $\leq 0.5 \mu\text{m}$, 仪器在恒温条件下连续工作 13 小时, 示值相对变化为 $0.3 \mu\text{m}$ 。用锥度比较仪测量锥度规时, 一般测量时间为