

光学频谱分析系统在注射针尖检测中的应用

应萱同 陈迈* 徐伟*
陈惠芬 夏绍丰 赵焕卿

(复旦大学激光物理研究室)

提要: 报道了利用光学频谱分析系统对注射针尖进行质量检验的实验, 给出了测量数据统计处理方法。实验结果表明, 对针尖尖锐度的检测已达到针尖曲率半径之极限范围, 对于针尖平度数 $\alpha > 0.02$ 毫米的次品针尖检出率 $\eta > 94.5\%$ 。

Application of optical spectrum analysis system for inspection of hypodermic syringe needle tips

Ying Xuantong, Chen Mai, Xu Wei

Chen Hui fen, Xia Shao fong, Zhao Huangqing

(Department of Physics, Fudan University)

Abstract: Inspection of hypodermic syringe needle tips has been performed in our lab using an optical spectrum analysis system. The statistic processing method realized by a digital computer is presented. The experimental results indicate that the minimal measurable defect size of damaged needle tips approaches the curvature radius of normal needle tips. When the defect size a is over 0.02 mm, inspection ratio η is greater than 94.5% .

一、概 述

64元光学频谱分析系统是国际上近年来迅速发展起来的光学测量系统^[1], 系统中的关键部件——64元楔——环阵列探测器^[2]可以同时检测物体的空间方向功率谱和空间频率功率谱, 采用微计算机控制检测系统, 同时对测量数据进行快速处理。本文介绍64

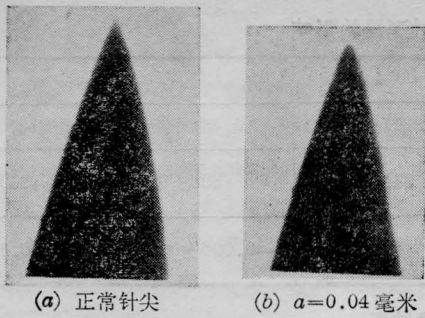
元光学频谱分析系统在注射针尖质量检验中的应用。

二、注射针尖尖锐度的检测

采用以上介绍的64元光学频谱分析系统, 我们对注射针尖的尖锐度进行质量检验。

收稿日期: 1983年11月9日。

* 为本校物理系79届毕业生。

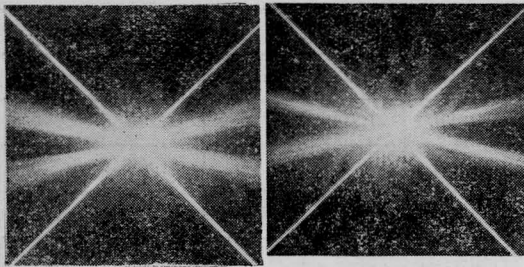


(a) 正常针尖 (b) $a=0.04$ 毫米

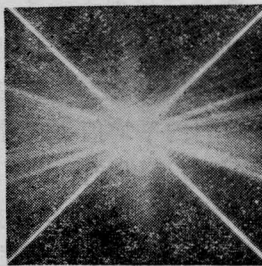


(c) 次品针尖平度数 a 示意图

图 1 各种针尖



(a) $a < 0.01$ 毫米 (b) $a = 0.05$ 毫米



(c) $a = 0.09$ 毫米

图 2 针尖频谱照片

1. 针尖平度数 a 及针尖平度特征测量值

图 1 为正常针尖与次品平针尖的正面照片及示意图。我们定义平度数 a (图 1(c)) 来表征针尖平头的宽度。在 100 倍显微镜下观察得正常针尖处的曲率半径约为 5 微米或略小, 因此我们取极限平度数 $a_0 = 10$ 微米, 凡 $a \leq a_0$ 的针尖都认为是正常的。

图 2 给出各种针尖频谱的照片。从针尖的频谱我们可以看到: 正常针尖的频谱为一横向的 X 型(相互垂直的两细亮线为附加的方孔光阑的频谱), 此 X 型恰与原来的针劈相正交。由于照明光束的面积较小, 使针杆的频谱未能显出。对次品平针尖, 则在正常针尖频谱的背景上, 于 X 型中间多出一条竖直直线(图 2(c)), 该频谱对应于一平顶针尖。当然这种平顶针尖在生产线上出现的几率很小, 但由此照片, 我们可以更清楚地观察到次品平针尖的方向谱特性。必须指出, 由于实际次品针尖的端部多少呈弧状, 使其频谱有一弥散区, 见图 2(b)。在检测时, 可对频谱的有效弥散区进行功率谱积分, 定义:

$$T = \sum_{i=13}^{20} W_i \quad (1)$$

式中 W_i 为第 i 个楔探测元接收到的方向功率谱, $W_{13} \sim W_{20}$ 为平针特征谱有效弥散区。根据 T 的大小来识别正常针尖与次品平针尖, 从而进行次品平针尖的自动检测。

由于激光光源的输出功率稳定性欠佳, 输出功率波动在 10% 以上, 从而引起了 T 值波动。为此我们采用方孔光阑的信号频谱 S 来对 T 值进行归一化:

$$S = \sum_{i=N-1}^{N+1} W_i + \sum_{j=M-1}^{M+1} W_j \quad (2)$$

式中 M, N 分别为方孔光阑频谱所在楔型单元的序号。再令

$$z = \frac{T}{S} \quad (3)$$

z 即为针尖平度特征测量值。对同一根针每隔十五分钟进行一次定位测量, 处理结果列于表 1, 可见采用归一化处理, 检测稳定度比原来提高了。

2. 阈值的确定

对于 N 枚正常针尖, 它们的测量误差是随机分布的, 根据概率论中的中心极限定理可知它们 z 值的分布由正态分布(高斯分布)函数来表述:

表1 激光输出功率稳定性对测量的影响

n	1	2	3	4		
S	3096	3104	3252	3317		
T	296	302	313	314	$\bar{T}=306\pm 9$	$\frac{\sigma_T}{T}=2.9\%$
z	0.096	0.097	0.096	0.095	$\bar{z}=0.096\pm 0.008$	$\frac{\sigma_z}{z}=0.8\%$

表2 正常针尖的测量结果

针尖编号	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{z}	σ
z	0.091	0.093	0.091	0.091	0.092	0.090	0.094	0.093	0.092	1.4×10^{-3}

表3 次品平针尖的测量结果

a (毫米)	针 尖 编 号									\bar{z}	σ
	1	2	3	4	5	6	7	8			
	z										
0.02	0.098	0.101	0.098	0.102	0.102	0.107	0.099		0.101	3×10^{-3}	
0.03	0.104	0.103	0.106	0.105	0.105	0.101	0.102	0.097	0.103	3×10^{-3}	
0.04	0.101	0.108	0.107	0.103	0.107	0.110	0.109		0.106	3×10^{-3}	
0.05	0.111	0.109	0.108	0.104					0.108	3×10^{-3}	
0.06	0.111	0.107	0.114	0.113	0.109				0.111	3×10^{-3}	
0.07	0.114	0.110	0.111						0.112	2×10^{-3}	

$$p(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (4)$$

式中 μ 为真值; σ 为标准偏差; $p(z)$ 为测到 $z=z$ 值的几率。

首先,我们对八枚正常针尖进行了检测,结果列于表2。

由误差分析理论^[3]知道:在高斯分布中测量数据 $z > \bar{z} + 3\sigma$ 的可能出现几率为:

$$p\{(z-\bar{z}) > 3\sigma\} \approx 0.14\% \quad (5)$$

因此我们选取检测阈值为 z_0 :

$$z_0 = \bar{z} + 3\sigma = 0.096 \quad (6)$$

由此得到正常针尖的理论误检率为0.14%。

3. 次品平针尖的检测

显然同一平度数 a 的针尖平度特征测量值也满足高斯分布。我们对 $a=0.02$ 毫米到 $a=0.07$ 毫米的各种次品针尖各数枚进行

了检测分析,测量结果列于表3。

各种针尖的 z 值分布如图3所示,可见尽管同一 a 值的各针尖之 z 值参差不齐,起伏较大,但就它们的平均值 \bar{z} 来看,却随 a 值的增大呈较好的线性增加,由此可见我们所定义的针尖平度特征测量值 z 从数据统计处理的角度来看,较好地反映了针的平度特征。

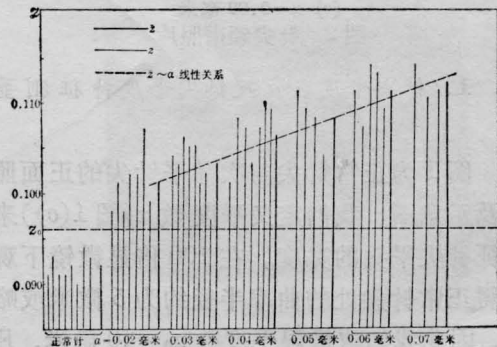


图3 $z \sim a$ 分布图

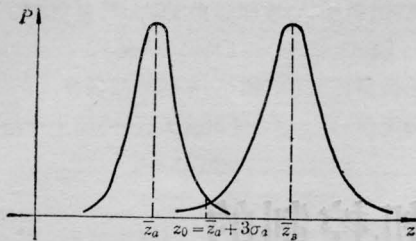


图4 z 值分布曲线

下面,我们对次品平针尖的检测率进行估计。正品针尖的 z 值几率分布曲线和次品平针尖的 z 值几率分布曲线如图4所示。

令

$$K\sigma_B = \bar{z}_B - z_0 \quad (7)$$

其中, \bar{z}_B 为次品平针尖的 z_B 值测量平均值; σ_B 为 z_B 的标准偏差; K 为几率积分函数的参数。

则次品平针尖的平度特征测量值 z_B 大于阈值 z_0 的几率,即次品平针尖的检测率 η 为

$$\eta = \{z_B > z_0\} = \frac{1}{\sigma_B \sqrt{2\pi}} \times \int_{z_0}^{+\infty} \exp\left[-\frac{(z_B - \bar{z}_B)^2}{2\sigma_B^2}\right] dz_B \quad (8)$$

令 $\xi = z_B - \bar{z}_B$, 则:

(上接第726页)

$$\eta = \frac{1}{\sigma_B \sqrt{2\pi}} \int_{-K\sigma_B}^{+\infty} \exp\left[-\frac{\xi^2}{2\sigma_B^2}\right] d\xi = \frac{1 + \text{erf}(K)}{2} \quad (9)$$

式中 $\text{erf}(K)$ 为几率积分函数^[3]。

由上述公式,据表3的实测数据,计算各次品针尖的理论检测率,列于表4。

由以上结果,我们可以编制计算机程序,通过计算机控制本系统进行自动采样检测,然后对实测数据进行统计分析,从而鉴别注射针尖的尖锐度质量。

表4 次品平针尖的检测率

a (毫米)	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
\bar{z}	0.101	0.103	0.106	0.108	0.111	0.112
\bar{K}	1.6	2.3	3.3	4.0	5.0	8.0
η (%)	94.5	98.9	>99.9	>99.9	>99.9	>99.9

参 考 文 献

- [1] H. L. Kasdam; *Pros. SPIE*, 1977, **117**, August 23~24, 67.
- [2] 赵焕卿等;《光学学报》, 1982, **2**, No. 5, 458.
- [3] 张世箕;“测量误差及数据处理”, 科学出版社, 1979年。

表1 棱镜和波导样品的实验参数及测量结果

棱镜材料	棱镜折射率(n_p)	棱镜底角(ϵ)	样 品		模传输条纹数	m -线数目	
			波 导 膜	样品号		屏 I	屏 II
玻 璃	1.75132	45°35'48"	BaK ₇ 溅射膜	No. 4	3	3	3
玻 璃	1.75132	60°1'	BaK ₇ 溅射膜	No. 4	3	3	3
金红石	2.872	45°8'38"	y -切 Ti:LiNbO ₃ 波导膜	No. 15	2	2	无
金红石	2.872	53°5'20"	y -切 Ti:LiNbO ₃ 质子交换波导膜	No. 10	3	2	无
金红石	2.872	59°46'33"	x -切 Ti:LiNbO ₃ 波导膜	No. 7	1	1	无

m -线照片。

对于金红石棱镜,由于其材料的折射率较高 $n_0 = 2.872$ (6328 Å), 因此,一般在 AB 面上发生全反射,只在屏 I 上观察到 m -线。图4为 LiNbO₃ 扩散波导 m -线照片。

我们用上述方法测得几种波导样品的结

果及波导耦合系统的实验参数见表1。

参 考 文 献

- [1] P. K. Tien *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1969, **14**, 291.
- [2] P. K. Tien; *Appl. Opt.*, 1971, **10**, 2395.
- [3] R. Ulrich; *JOSA*, 1970, **60**, 1337.
- [4] 李玉善, 金锋;《激光》, 1980, **7**, No. 4, 22.