

激光散斑干涉法测人牙的弹性模量

吴瑞琪 叶德临

(成都科技大学)

赵云凤 杜传诗 魏治统 郑世明

(四川医学院口腔系) (四川大学)

提要: 本文探索了用激光散斑干涉法来测定人牙弹性模量的原理、实验装置、试件制备、实验方法、测试结果,并讨论了实验中所遇到的问题以及提高测量精度所采取的措施。

Laser speckle interferometry for measurement of human tooth elastic modulus

Wu Yuiqi, Yie Delin

(Chengdu University of Science and Technology)

Zhao Yunfeng, Du Chuanshi, Wei Zitong

(Dental Department of Sichuan Medical College)

Zheng Shimin

(Sichuan University)

Abstract: The principle, testing apparatus, test piece preparation, experimental method and tooth results are reported, by using laser speckle interferometry for measurement of human and elastic modulus, the issues encountered and the measures taken to improve the measurement accuracy are discussed.

一、引言

激光散斑干涉法是从1968年以后发展起来的光测力学新方法。它除具备全息干涉法的非接触式、直观、能给出全场情况等一系

列优点外,还具备光路简单、计算方便、精度可靠、对试件要求较低等优点。因此,十几年来发展很快。用它来测定人牙的弹性模量,可以得到预期的结果。我们选用刚拔下的牙齿的牙本质制作试件,随即进行实验,得出

收稿日期:1984年8月6日。

的数据可以认为是人体活牙本质的弹性模量。

二、实验装置

为了防止离面位移, 保证在加载时只有拉应力作用在试件上, 本装置采用“平衡加载法”。全部实验在防震全息台上完成, 其光路如图 1 所示。为了得到较理想的散斑干涉图, 透镜 L 的选取非常重要。应选用相对孔径大、象差小、成象质量好的傅氏透镜。激光器要求是单模输出。

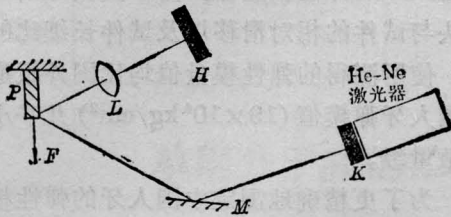


图 1 拍摄散斑的干涉花样的光路图

H—全息干板; L—透镜; F—力;
M—反射镜; K—光电快门

三、双曝光散斑图的分析

通过对夹持试件端激光散斑加载前后两次拍摄、显影、定影、冲洗后, 便得到一张双曝光散斑图。当用一细束激光照射时, 便可得到牙齿受力后的形变, 从而得到牙齿的弹性模量。双曝光散斑图如图 2 所示。

散斑干涉图样的分析我们采用特殊的逐点分析法。由于我们加载的范围不大, 且牙齿受力后的形变很小(十几微米以内), 物体上小区域里各点位移可以近似看作相等, 即相当于在这个小区域里只发生了一个刚性位移。于是在双曝光散斑图上对应的小区域里, 各对“双孔”的间距大小相等, 方向相同。当激光束照射双曝光散斑图时, 就相当于激光束照亮了许多对间距相等、指向相同的双孔。结果在垂直于激光束的屏上就出现了典型的“杨氏条纹”, 即在衍射晕内出现一簇平行条

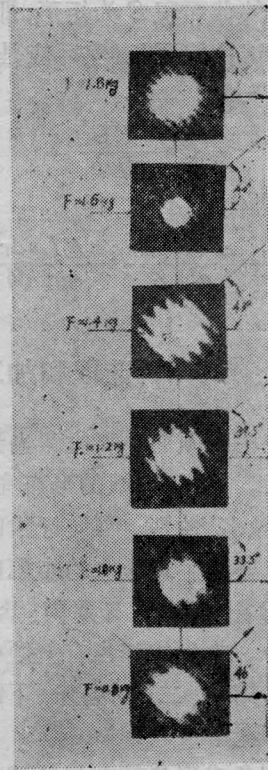


图 2 荷载分别为(由下至上)0.8 kg、1.0 kg、1.2 kg、1.4 kg、1.6 kg 和 1.8 kg 时的双曝光散斑图

纹。设屏上相邻条纹间距为 Δr , 则相邻条纹间的光程差

$$\Delta \delta = \frac{\Delta r d}{Z} = \Delta n \lambda = \lambda$$

(因相邻条纹级数差 $\Delta n = 1$)

故双孔间距

$$d = \frac{\lambda Z}{\Delta r} \quad (1)$$

式中 Z 为双孔与屏幕之间的距离, λ 为激光波长。

条纹的方向与双孔连线(即位移 \vec{d} 方向)垂直, 若记录散斑的放大率为 M , 则

$$D = \frac{d}{M} \quad (2)$$

在物距等于象距时, 即 $M = \frac{v}{u} = 1$, 则 $D = d$ 。

当牙齿的位移是由力 F 作用而发生, 牙齿的杨氏模量为

$$E = \frac{F/S}{D/L} \quad (3)$$

因牙齿试件的截面积 S 为矩形, 即 $S = a \times b$, L 表示牙齿试件的原长(实际应是二夹持点之间的距离), 则

$$E = \frac{FL}{Dab} \quad (4)$$

把(1)、(2)式代入(4)式, 得

$$E = \frac{FLM\Delta r}{ab\lambda Z} = \frac{FLv\Delta r}{abu\lambda Z} \quad (5)$$

四、试件的选取和加工

从口腔医院颌面外科收集当天拨除的成年人的牙齿。牙冠、牙根的形态完整, 无龋坏和缺损, 按姓名、性别、年龄、牙齿的名称编号后分别放入盛有生理盐水的小瓶内保存。然后刮除牙齿表面牙垢、牙周膜、肉牙组织等, 并清洗干净。收集的牙齿有上颌中切牙, 侧切牙, 尖牙, 第一、二、三磨牙, 下颌尖牙及第一、二磨牙等。

为了制备成形状较理想的试件, 使试件具有一定的长度、厚度和宽度。从牙冠唇面和舌面, 顺牙轴方向作唇舌向切口, 将牙冠和牙根分为近远中两块。然后取牙本质较厚, 髓腔较小的一块, 除去全部牙釉质和牙骨质修整成一定形状, 最后精加工至平整、规则, 达到所需要的尺寸, 放在生理盐水瓶内待作实验。取试件的部位如图3所示。共制作试件12个, 方块形3个, 细条状3个。试件的形状如图4所示。

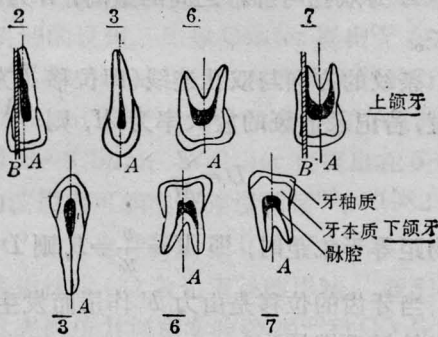


图3 选取试件部位示意图

A—剖面线; B—取试件部位; 数字——牙齿的位置

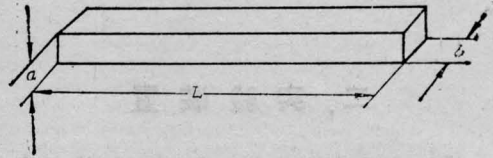


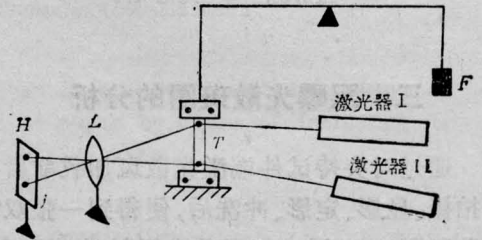
图4 试件的形状

(L 、 b 、 a 分别表示试件的长、宽、高)

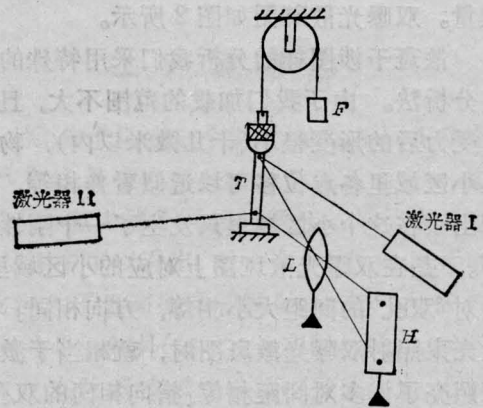
五、双光束双曝光法

我们曾经使用单光束双曝光激光散斑法测定人牙的弹性模量值。由于夹头的影响, 夹头与试件的相对滑移以及试件长细比的影响, 使所测得的弹性模量值均比国外报道的外国人牙弹模值 ($19 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$) 几乎小一个数量级。

为了更精确地测定中国人牙的弹性模量值, 消除夹头的影响, 我们进一步采用了双光束双曝光方法, 其原理图如图5。



(a)



(b)

图5 双光束双曝光光路图

1. 实验原理

用双激光器照在被测试的试件的上、下两个端头上,通过双曝光法得到上、下两点的位移差 ΔD 。于是根据前述的原理和(1)、(2)式得:

$$\Delta D = \lambda Z \left(\frac{1}{\Delta r_{\perp} M_{\perp}} - \frac{1}{\Delta r_{\parallel} M_{\parallel}} \right) \quad (6)$$

即弹性模量 E 为:

$$E = \frac{F \cdot L}{S} \cdot \frac{1}{\lambda Z} \left(\frac{\Delta r_{\perp} M_{\perp} \cdot \Delta r_{\parallel} M_{\parallel}}{\Delta r_{\parallel} M_{\parallel} - \Delta r_{\perp} M_{\perp}} \right) \quad (7)$$

当 $M_{\perp} = M_{\parallel} = M$ 时,其弹性模量

$$E = \frac{FL \Delta r_{\perp} \Delta r_{\parallel} M}{ab \lambda Z (\Delta r_{\parallel} - \Delta r_{\perp})} \quad (8)$$

注意上式均假定 Δr 矢径方向与干涉条纹垂直。当干涉条纹不是水平时,即条纹(位移)的方向 $\Delta \vec{r}$ 与受力的方向 F 不垂直时,应按矢量投影关系计算,如图 6 所示。

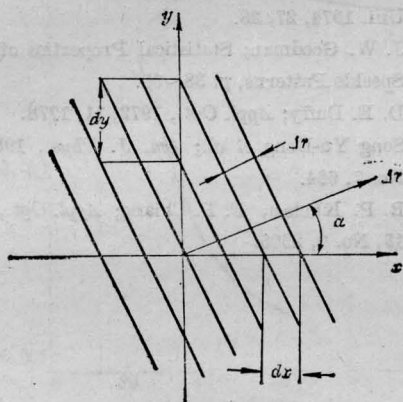


图 6 Δr 矢量投影关系

按照投影关系,我们可得:

$$E = \frac{FL}{S} \cdot \frac{M}{\lambda Z} \times \left(\frac{\Delta r_{\perp} / \sin \alpha \cdot \Delta r_{\parallel} / \sin \theta}{\left(1 - \frac{\Delta r_{\perp} / \sin \alpha}{\Delta r_{\parallel} / \sin \theta} \right) \cdot \Delta r_{\parallel} / \sin \theta} \right) = \frac{LM}{ab \lambda Z} \cdot \frac{(\Delta r_{\perp} / \sin \alpha) \cdot F}{\left(1 - \frac{\Delta r_{\perp} / \sin \alpha}{\Delta r_{\parallel} / \sin \theta} \right)} \quad (9)$$

式中 α 为 $\Delta \vec{r}_{\perp}$ 与 x 轴的夹角, θ 为 $\Delta \vec{r}_{\parallel}$ 与 x 轴的夹角, F 为所加外力。并把实验装置调整到使放大率 $M_{\perp} = M_{\parallel} = M$ 。

2. 实验数据

根据实验中所记录的不同拉力情况下的散斑条纹(如图 7 所示)进行测量。把所得数据代入(9)式得如下表:

项目 \ 次数	一	二	三	四	五	六
F (kg)	0.800	1.000	1.200	1.400	1.600	1.800
Δr_{\perp} (cm)	2.70	2.40	1.80	1.50	1.35	1.15
Δr_{\parallel} (cm)	4.25	3.70	3.25	2.50	2.10	1.70
α (度)	46.0	33.5	39.5	43.0	40.0	49.0
θ (度)	90.0	45.0	90.0	90.0	80.5	89.0
E (kg/cm ²)	20.3 $\times 10^4$	20.3 $\times 10^4$	20.7 $\times 10^4$	19.5 $\times 10^4$	20.2 $\times 10^4$	20.9 $\times 10^4$

$$\bar{E} = 20.3 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2.$$

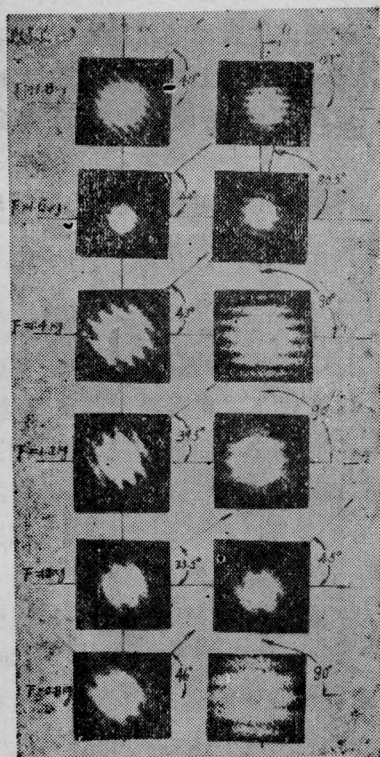


图 7 不同拉力下的散斑条纹

测试条件:

(1) 试件为长方形, $L=0.63$ cm, 宽 $a=0.118$ cm, 高 $b=0.146$ cm。

(2) 物距 $u_{\pm}=13.3\text{ cm}$, 象距 $v_{\pm}=18.2\text{ cm}$, 则 $M_{\pm}=1.37$; 同样, $M_{\mp}=M_{\pm}=1.37$ 。

(3) 干板至衍射屏的距离 $Z=100\text{ cm}$ 。

(4) $\lambda=6328\text{ \AA}=0.6328\times 10^{-4}\text{ cm}$ 。

六、提高测量精度的措施

测量干涉条纹的间距, 较大地影响所测弹性模量 E 值。例如在 $Z=100\text{ cm}$ 时, 测量条纹的误差 $\Delta(\Delta r)=\pm 0.5\text{ mm}$ 时, 影响弹性模量值 $\Delta E=1\times 10^4\text{ kg/cm}^2$ 。因此, 如何提高散斑干涉条纹的锐度是我们努力的方向。

我们为此采用了:

1. D_{76} 代替 D_{19} 显影液, 并冲稀 D_{76} 原液; 配比为 1:3 至 1:6, 从而减少乳剂的颗粒噪声。

2. 改变试件表面的粗糙程度, 即在试件表面的有关点上, 涂上散射较强的自制涂料。

3. 更换透镜光阑, 使散斑图象更清晰。

4. 尽量选用相对孔径较大, 质量较好的“Fourier”透镜作成像用。

七、结果讨论

我们采用双光束双曝光法测定了中国人牙的弹性模量值, 与国外文献报道的外国人牙的弹模值 ($19\times 10^4\text{ kg/cm}^2$) 很接近。

由于样品来至不同的人, 其生理条件也不同, 采样时虽均采集发育正常的人牙, 得到的人牙的弹模值也有一个离散度。不过一个种族, 由于生活习惯相同, 发育相近, 统计平均起来有一个确定值。因此, 为了获取中国人牙的弹性模量准确值(即统计平均值), 还需要继续深入工作, 需对更多的试件作测试。

参 考 文 献

- [1] F. P. Chiang, R. P. Khetan; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 13, 2175.
Phenomena and Their Applications, Loughborough Uni. 1974, 27, 28.
- [2] J. W. Goodman; *Statistical Properties of Laser Speckle Patterns*, p. 38~39.
- [3] D. E. Duffy; *Appl. Opt.*, 1972, **11**, 1778.
- [4] Song Yu-Dong *et al.*; *Am. J. Phys.*, 1982, **50**, No. 7, 664.
- [5] R. P. Khetan, F. P. Chiang; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 9, 2205.