

反射式光纤位移传感器 在测量牙齿咀嚼过程中的应用

王海涛^{1,2}, 罗秋凤¹, 周必方¹, Richter E J²

(1. 中国科学院国家天文台 南京天文光学技术研究所, 江苏 南京 210042;

2. Prothetik, Zahnklinik, Uni- Wuerzburg 97070, Wuerzburg, Germany)

摘要: 反射式光纤位移传感器具有对测量环境的要求低、适用于各种常规方法无法满足的特殊场合、测量范围大和测量精度高等优点。本文简述了该传感器的工作原理, 针对牙齿咀嚼过程测量和在口腔中工作的特殊要求设计了专门的光纤头和反射面, 建立了一套测量该过程的装置, 对该测量系统进行了校准, 对牙齿咀嚼过程进行了实时测量, 得到了一组人体牙齿咀嚼状况下的实时位移的测量结果, 在牙医界第一次实现了牙齿咀嚼过程的动态实时测量。文中讨论了口腔这一特殊的测量环境和一些影响测量精度的因素, 在实测中摸索了一些减小误差的方法, 最后对测量误差作了分析。

关键词: 光纤传感器; 位移传感器; 实时测量; 牙齿咀嚼

中图分类号: TN253 文献标识码: A

1 引言

在传统的强度型光纤位移传感器中, 反射式光纤位移传感器是最早被提出并加以研究的。这种传感器的优点是对测量环境的要求低, 适用于各种常规方法无法满足的特殊场合; 测量范围大(可达 10mm 左右), 根据测量范围的要求, 增加或减少入射和反射光纤束中的光纤数目就可以得到不同的测量范围; 测量精度高, 如法国 CSP 公司为我国 LAM OST 工程试制的光纤位移传感器的分辨率能达到 8nm, 精度可达到 40nm^[1]。本文根据牙医的临床检测和研究的需要, 研制了专门用于测量牙齿咀嚼过程的传感器, 给出了这种反射式光纤位移传感器的又一特殊应用实例。

2 反射式光纤微位移传感器原理

反射式光纤微位移传感器的测量原理见图 1 所示, 光缆和连接的光纤头是由两束多股光纤组

成, 其中一束是将激光经光缆引导至光纤头的出射端面, 以一定的散射角出射, 照射到被测物的表面上, 部分反射光经邻近光纤头中另一股光纤束接收, 经光电转换并放大, 使得测量输出范围在 0~ 5V 之间。而输出电压的大小与光纤头端面到被测物面之间的距离有关。经校准, 可得该种光纤传感器的输出相应于被测距离的特性曲线, 并且可以拟合出两者的曲线表达式。在实际测量

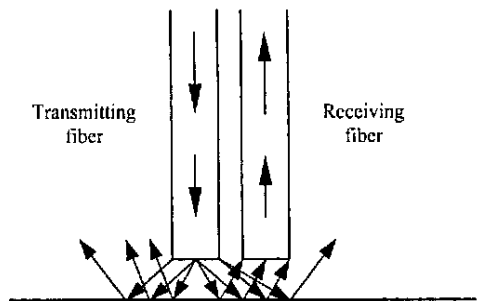


图 1 反射式光纤位移传感器工作原理

Fig. 1 Working principle of the reflective optical fiber displacement sensor.

时,通过此表达式,将实测的输出电压值代入,即可知被测量的距离。因而只要测得位移前光纤头端面到被测物表面之间的距离 D_1 和位移后的 D_2 ,两者之间的差就是要测量的值。测量的精度与传感器的量程有关。一般说来,量程越大,精度也就相对较低;反之,精度就高。

3 牙齿咀嚼过程实时测量的提出

在医生给牙病患者做义齿固定时,常常发现:对于不同年纪,不同性别的人,他们牙齿在咀嚼时所产生的咬力大小不一样,因而牙齿在咀嚼时位移量的离散性也很大,义齿的紧固扣最容易损坏。若能了解牙齿咀嚼的运动规律,那么就可以作出相应经久耐用的义齿扣环使义齿的使用寿命大大增加。这就要求知道人体牙齿在咀嚼状态下的咬力和运动情况。人们早已对牙咬力的测量作了一些研究^[2-4],但对牙位移的测量,相对来说要少得多,并且只停留在对牙齿施加外力的情况下来测量牙最大位移^[5-7],这样并不能准确反映牙齿在咀嚼时运动状况。而在咀嚼状态下对它的实时动态测量研究则是牙医学工作者所梦寐以求的。因此,研制出适合的传感器,建立一套测量装置来把牙齿在咀嚼状态下的运动状况进行测量并记录下来。这样,结合原先测牙咬力的工作^[8],就有可能掌握牙齿在咀嚼时的运动规律,为牙医的临床研究提供有力的技术支持。

4 牙齿咀嚼过程的测量系统

由牙齿和颌骨的解剖结构可知,齿根和颌骨之间的间隙是 $100 \sim 200 \mu\text{m}$ ^[9],因此牙齿咀嚼时的动态位移不应超出这个范围。由于牙位移测量是通过两次距离测量值的差值得到,属间接测量。因此,该传感器的工作范围应大于 $200 \mu\text{m}$,分辨率不应大于 $1 \mu\text{m}$ 。根据这个要求,结合实际测量的特殊性,委托美国 PHILTEC 公司研制了光纤头。光纤头的照片如图 2 所示(作为大小比较的是一德国芬尼)。该传感器的实际测量范围是 1.27mm ,分辨率在近端 ($0 \sim 0.2392 \text{mm}$): $0.035 \mu\text{m} / \text{mv}$,远端 ($0.2392 \sim 1.27 \text{mm}$): $0.085 \mu\text{m} / \text{mv}$ 。

测量系统由激光光电二极管,光缆,光纤头,

光电转换器和放大器,A/D 转换器以及计算机组成,整个测量系统如图 3 所示。

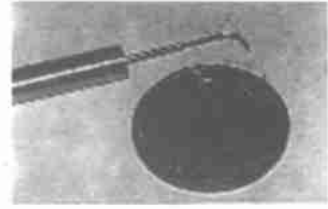


图 2 光纤头的照片

Fig. 2 Photo of the optical fiber sensor tip.

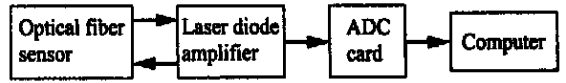


图 3 牙齿咀嚼过程实测系统框图

Fig. 3 Block diagram of a real-time measurement system for teeth chewing.

图 4 是测量系统输出的特性曲线。

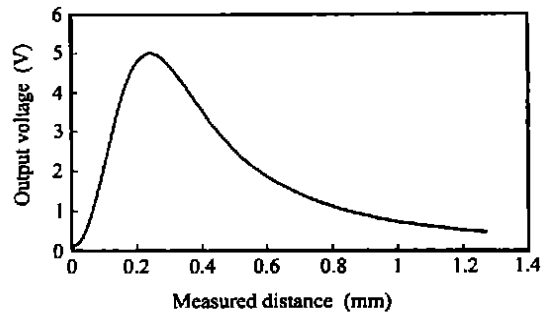


图 4 测量系统的输出特性曲线

Fig. 4 Output characteristic curve of the measuring system.

从此特性曲线可以看出,传感器可有两个工作区间,即近端 $0 \sim 0.2392 \text{mm}$,远端是 $0.2392 \sim 1.27 \text{mm}$ 。用最小二乘法拟合输出特性曲线图:

$$I = a_0 + a_1 v + a_2 v^2 + \dots$$

当拟合到 7 次方时,标准差达到 0.006494,相关性达到 0.9999937,其中,近端和远端的最小二乘法拟合方程分别是:

$$\text{近端: } I = -0.015325 + 0.219485v - 0.312977v^2 + 0.270252v^3 - 0.129145v^4 + 0.034284v^5 - 0.004733v^6 + 0.000265v^7$$

$$\text{远端: } I = 2.409623 - 3.941911v + 4.294591v^2 - 2.763154v^3 + 1.051064v^4 - 0.231992v^5 + 0.027417v^6 - 0.001341v^7$$

5 实验与应用

5.1 测量方法

人们主要用于咀嚼食物的牙齿是分布在最里面对称的上下两排各三对臼齿。牙医最感兴趣的也是对这些臼齿的测量。用铝材料做了一个反射面(如图 5 所示) 绑粘在被测牙齿的表面, 将光纤头绑在相邻的牙齿上, 如图 6 所示。这里, 将邻近的牙齿作为参照物, 即: 被测牙在咬合力的作用下运动时相对于所附颌骨是静止不动的。当然, 作为参照物的牙齿在整个过程中仍然有微量的移动, 但这非常微弱, 可把它作为系统误差加以处理。

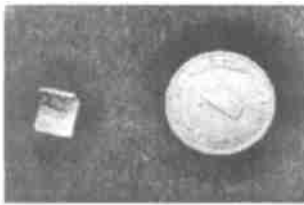


图 5 绑粘在牙齿表面上的小反射面

Fig. 5 Little reflector bound to the teeth surface.

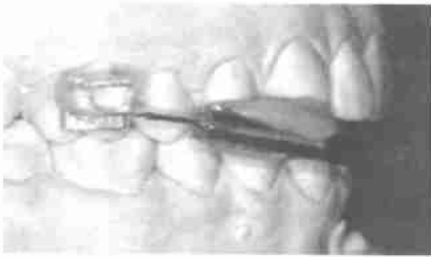


图 6 粘在牙齿模型上的传感器头和小反射面的照片

Fig. 6 Photo of the little reflector and the sensor stuck to the teeth model.

在测量过程中, 为了避免被测牙齿对在咬合过程中, 因邻近牙齿对的接触(咬合)而使参照物相对于所附颌骨产生位移。特意用补牙用的特殊材料为被测牙齿对做了与牙齿面形相吻合的有一定厚度的咬合垫片, 这样在测量时, 可以保证邻近牙齿作为参照物相对于所附颌骨静止不动。

5.2 实测装置与实测结果

对一健康成年男子左上第一对臼齿进行了测

量, 实验测量如图 7, 让他用力每隔 5 秒钟咬一次, 连续咬三次, 得到相对于颌骨的实时位移变化如图 8 所示。

牙齿位移的最大幅值为 $73.1\mu\text{m}$, 得到一个完整的咀嚼过程中牙齿相对于颌骨的实时位移变化过程, 与以前仅对牙齿施加外力测量其最大位移的工作^[5-7]相比有了根本的区别。若结合咀嚼时牙咬力^[7]的测量, 就可以得到一幅完整的人体牙齿咀嚼过程的受力分析和运动状况。用测得的两组参数进行分析, 可以得到诸如牙齿咀嚼状况的运动方程, 算出牙齿相对于颌骨运动的阻尼系数, 最终可为牙医研究提供丰富的知识和资料, 为牙医的临床诊断, 牙科病人的种牙, 义齿等的制作安装以及维护提供有力的理论依据。



图 7 实测装置照片

Fig. 7 Actual measurement apparatus.

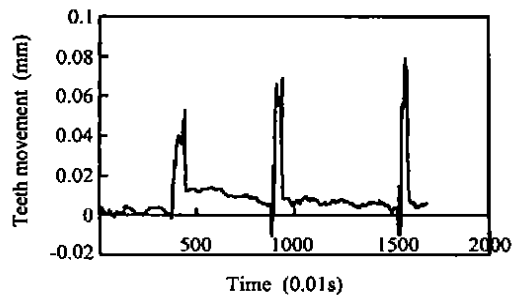


图 8 实时位移的测量

Fig. 8 Real time displacement measurement.

5.3 误差分析

被测牙齿受咬合力的作用而相对于颌骨运动时, 假设作为参照物用来固定光纤头的邻近牙齿相对于颌骨静止不动, 但实际上多少存在一些微弱的相对移动。作为牙医权威, 本文作者之一的

Richter 教授认为这种影响特别微小,相对于被测牙的大幅度位移来说可以忽略不计。

其次,用牙医的方法,把一种特殊的材料将传感器对固定到相应的牙齿上时,该传感器对能完全粘合在牙面上而无任何相对移动甚至极其微弱的抖动(当然测量结束后用牙医方法可非常方便地取下)。但是在狭小的口腔中,由于无特定的调节装置来对传感器的位置调整,只得直接先将传感器与反射面相对位置调整好后再进行固定。但这种固定过程中,固定材料变硬需要一段时间,这个传感器与反射面相对位置会有微小的改变。可以用一小平行薄片置于光纤头端面和反射面之间使在固定过程中两者在固定过程中位置得以保持(待实际测量时再将此小平行薄片取出)使这种影响降至最低。

最后一点:口腔中的环境比较特殊,在测量过程中要求测试者在测试时尽量用鼻孔呼吸。但是,传感器对固定时需要一些时间,在测量时,试

用各种高度的咬合垫片等,测量时间一般不短,难免会用口腔呼吸。尽管在校准系统输出时对相应的环境进行过模拟(相应的温度,湿度以及反射面潮湿情况),已证实这对光线传递影响不大,但考虑实际情况与传感器的校准时的模拟情况还是有点出入,这也影响测量精度。

6 结束语

介绍了一种反射式光纤位移传感器的原理,设计了专门用于测量牙齿咀嚼过程的传感器,建立了一套用于测量牙齿咀嚼运动的实时测量系统。本文的工作是到目前为止牙医界第一次对人体牙齿咀嚼过程的动态实时测量,得出的实际测量结果,是一种很有应用前景的研究工作。同时也讨论了口腔这一特殊的测量环境和一些影响测量精度的因素,在实测中摸索了一些减小误差的方法。

参考文献:

- [1] CSP Document 6645 [R]. 2001.
- [2] Anderson D J. A method of recording masticatory loads[J]. *J. Dent. Res*, 1953, 32: 785- 789.
- [3] Mansour R, Reynik J. In vivo forces and moments[J]. *J. Dent. Res*, 1975, 54: 114- 124.
- [4] Helkimo E. Bite force and state of dentition[J]. *Acta Odontol Scand*, 1976, 35: 297- 303.
- [5] Muehleman H R. Die physiologische und pathologische zahnbew eglichkeit[J]. *Schweiz mschr, Zahnheik*, 1951, A 61: 1- 5.
- [6] Lukas D Muehlbradt L, Scholz F. Zahnbewelichkeitsmessungen mit beruehrungslosen weg fuehlern[J]. *Dtsch Zahnaerztl Z*, 1977, 32: 169- 172.
- [7] Niedermeier W, Diepgen TL, Paiva V. Vergleichende biometrische Untersuchungen zur mechano- elektronischen Bestimmung der Zahnbeweglichkeit[J]. *Dtsch Zahnaerztl Z* 1989, 44: 774- 776.
- [8] Richter E J. Forschungsbericht DFG- Projekt Ri- 450/ 2- 1[R]. 1998.
- [9] Lindhe J. *Textbook of Clinical Periodontology* [M]. Copenhagen: Munksgaard Press, 1990.

Reflective optical fiber micro_displacement sensor and its application to the measurement of teeth chewing in real_time

WANG Hai_tao^{1,2}, LUO Qiu_feng¹, ZHOU Bi_fang¹, Richter E J²

(1. National Astronomical Observatories of CAS, Nanjing Institute of Astronomical Optics and Technology, Nanjing 210042, China

2. Prothetik, Zahnklinik, Uni- Wuerzburg, 97074, Wuerzburg, Germany)

Abstract: Reflective optical fiber displacement sensor has the advantage of low requirement to the measurement environment. It can meet various special situations which cannot be finished with normal methods,

and is also characterized by large measurement range and high measurement resolution. The working principle of the sensor is discussed briefly, and a kind of sensor and a small reflective face have been designed for the special requirement of the teeth chewing movement measurement. A system for teeth chewing status measurement was set up and specific calibration was made for this system. The real-time measurement result during teeth chewing is obtained, which is the first time that the teeth chewing dynamic measurement in the dental measurement area has been realized. The paper discusses the factors which effect the measurement precision and the special measurement environment in oral cavity, and some methods for reducing errors and error analyses are also given.

Key words: optical fiber sensors; displacement sensors; real-time measurement; teeth chewing

作者简介:王海涛(1968-),男,江苏省溧阳市人,中科院南京天文光学技术研究所博士研究生,从事光电检测和光干涉技术研究。

征订启事

愿《液晶与显示》成为您的良师益友 欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登产品信息

《液晶与显示》是中国科学院长春光学精密机械与物理研究所和中国光学光电子行业协会液晶专业分会及石家庄实力克液晶材料有限公司联合主办的专业性学术期刊。

《液晶与显示》以研究报告、研究快报、综合评述和产品信息等栏目集中报道国内外液晶学科和显示领域中最新理论研究、科研成果和新技术,及时反映国内外本学科领域及产业信息动态。《液晶与显示》被英国《科学文摘》(SA)、美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)和《中国物理文摘》等国内外著名检索刊物和文献数据库摘引和收录。《液晶与显示》已入编“中国科学核心期刊全文数据库”、“中国学术期刊(光盘版)”和“中国期刊网”(《液晶与显示》网址:<http://yjys.Chinajournal.net.cn>),及“万方数据资源系统(ChinaInfo)”(《液晶与显示》网址:<http://www.Chinainfo.gov.cn/periodical/yjyxs/index.htm>),向国内外读者提供网络信息。

《液晶与显示》以创新性、综合性、实用性为办刊特色,内容丰富,信息量大,涵盖面广,可读性强。既是启迪科技人员开拓创新思路的参考期刊,又是从事液晶和显示技术研究的广大科技人员、大专院校师生及相关领域的科技工作者进行学术交流的良好园地,也是图书、情报等部门必不可少的信息来源。《液晶与显示》热忱欢迎广大作者、读者广为利用,踊跃投稿,将您的科技创新、产品信息、企业风貌通过这一窗口展示出来。

《液晶与显示》为双月刊,16开本,80页,国内定价51.00元,国内外公开发行。邮发代号,国内:12-203;国外:4868Q。同时,《液晶与显示》编辑部将竭诚为广大读者服务,随时办理破年订阅。

单 位: 中科院长春光学精密机械与物理研究所

《液晶与显示》编辑部

邮 编: 130021

地 址: 吉林省长春市工农大路61号

电 话: (0431)5684692转2534

E-mail: yjxs@ciomp.ac.cn