

传感器应用文选

中国电子学会 非电量电测分会 编
敏感技术应用分会

编者的话

为了迎接中国电子学会非电量电测分会第五届年会与敏感技术应用分会首届年会的联合召开,经过会员们的共同努力,“传感器应用文选”终于问世了。这是多年来的愿望。

随着工农各业自动化程度的提高,随着电子技术的普及,非电量电测技术及传感器应用技术突飞猛进,逐渐形成了专门的学科,它们是多种学科的综合,与人民的衣食住行直接攸关,成为服务面广、实用性强的学科,尽管还很年轻,但是却受到社会各界的重视,因为工交、农林、文教、卫生诸部门中都需要用这些新技术以摆脱落后的面貌,都依靠它们来提高产品质量和产量。

根据学会决定,我们按“实用第一、近期为主”的原则从历届论文中挑选了一部分有代表性、应用面广和指导性强的文章,经过压缩以突出其实用性,作到文章精炼、内容丰富、涉及面广,目的是使读者能从不大的篇幅中获取较多的技术知识和信息,以收事半功倍、举一反三之效,如果通过本文选能使读者有所裨益,从而能引出更多更新的技术成果,这正是我们所衷心希望的。

本文选共收入论文70篇,约50万字,由于还有一部分合适的文章暂时不能收入本文选中,在此向有关作者致以歉意,编委会决定集资编续集(目录见后),以使这些宝贵的技术财富能为社会所知,为国民经济的现代化服务。

本文选是供专家们技术交流的内部资料,发行量不大,由于时间和人力不足,在编辑和发行中难免有疏忽遗漏之处,敬请读者指正和谅解,如果读者希望进一步了解有关技术的近况和更详细内容可以向北京2452信箱9分箱刘重光同志或北京无线电技术研究所信息部刘春华同志提出咨询。

本文选在编辑、印刷和发行中得到北京农业大学、北京无线电技术研究所、中科东方工程师事务所和国营大华无线电仪器厂以及有关厂、所的大力支持,在此谨向上述单位表示感谢!

本文选编委会组成名单如下:

主编: 王绍林 (副教授)

编审: 刘重光(高级工程师) 刘春华(高级工程师) 罗秉铎(高级工程师) 罗慎独(高级工程师) 谢沅清(教授) 魏俊奇(高级工程师) (按姓氏笔画为序)

“传感器应用文选”编辑委员会

1989年8月31日

目 录

编者的话

1. 反射式光导纤维传感器应用综述	1
2. 一种新型的医用微型光电传感器	11
3. 光电指容脉搏波传感器的研制及应用	18
4. 用 o c v 细分干涉条纹技术的研究	20
5. 用以测定细胞浓度的光纤传感器的研制	27
6. 光电耦合器在生物力学研究中的应用	31
7. 应用于RX-202型绕线机的光敏传感器	36
8. 一维光电式倾斜角度传感器的设计与研究	41
9. 光敏传感器在汽车工程中的应用及其设计	46
10. 智能同端面反射式光电传感器	54
11. 微型机在微波纸张湿度在线测定中的应用	57
12. 微波雷达测拖拉机行驶速度与滑转率	63
13. 光生伏特探测器的测试	70
14. YH-5型定长清纱器	76
15. 用伪噪声编码信号的双色激光速测仪	94
16. 高精度激光测量系统在电子束曝光机中的应用	99
17. 新型高压过压过流检测器	104
18. 车重的动态测试	112
19. 压敏式储罐液体微机计量系统	117
20. 压敏式储油罐微机计量系统	125
21. 硅杯式压力传感器动态测量消化道压力研究	132
22. 智能化船用液位计	138
23. 水工减压空化模型压阻式传感测试技术	145
24. 压电薄膜传感器及其应用	152
25. 用直流电机作传感器计量称重	158
26. 一种特殊的压差传感器	166
27. 硅压阻式压力传感器温度系数的在线实时补偿法	170

2 8. 陀螺测力器及其应用	179
2 9. 荷重传感器在张力控制中的应用	183
3 0. 力敏传感器和力矩传感器在小型扭簧扭矩测试仪中的应用	189
3 1. 能适应化工生产过程恶劣条件的电子称重系统	192
3 2. CYG压阻传感器的标准和应用方法	201
3 3. 压敏电阻器在电视机中的应用	206
3 4. 水深测量中河底信号传感器的新方法	210
3 5. 浅谈压阻传感器及其在水文中的应用	217
3 6. 霍尔传感器在运动生理学研究中的应用	219
3 7. 霍尔器件在兵器测试技术中的应用	224
3 8. 磁敏传感器在纺织机械上的应用	227
3 9. TK-F型附装式磁应变扭矩传感器	231
4 0. 一种新颖实用的非接触式微位移传感器	240
4 1. 用Hall传感器及逻辑线路解决恶劣环境下设备的可靠性问题	242
4 2. 电磁感应式数字化仪坐标数据拾取原理与方法	247
4 3. 改善电传感器线性的方法及其在涂层测厚仪中的应用	255
4 4. 磁环传感器在大功率整流管自动检测中的应用	259
4 5. BL-I型电流继电器作压力监测的应用	265
4 6. 霍尔元件不等位电势的有源补偿	270
4 7. 用微波干涉仪测心尖搏动图	275
4 8. 十厘米微波辐射计测海冰厚度	279
4 9. TZY型锅炉飞灰含碳率微波测定仪	284
5 0. 导弹发射初速度测量方法设计	289
5 1. 上浆率快速测定仪	294
5 2. 用平衡电桥—干涉原理测量高损耗材料的介电性能	296
5 3. 塑料薄膜红外测厚仪	299
5 4. 营业号牌直接输入系统及其应用	304
5 5. 传感器在大气要素探测中的应用	307
5 6. 用微机测试动力装置的转矩和转速	315
5 7. 陶瓷温度传感器	318

58. 温度—数字转换微机接口板的研究	321
59. 半导体热敏传感器在多点温场测试中的应用	327
60. 数字式钨铼热电偶高温温度计	333
61. 利用热敏器件延长电动机的使用寿命	335
62. 热敏元件自动监测大功率放大管的温度	337
63. 用结露与气敏传感器自控换气扇运转	339
64. 多功能可燃性气体浓度检测	343
65. 分隔式电子水准仪	352
66. 高温可燃性气体浓度在线检测	354
67. 发光细菌在环境监测中的应用	357
68. 红外光帘探测器	361
69. 智能化离子感烟传感器	362
70. 电脑车后障碍物预告器	370

广告

1. DH907型拉线拉力测试仪	93
2. FKL P-1防溅型漏电保护器	
KL P-20型过压保护漏电开关	131
3. 常州第二电子仪器厂简介	216
4. 扭矩传感器用非晶材料	269
5. 中科东方工程师事务所部分产品	375
6. HXB-1型负荷传感器	377
7. L XK-系列载体催化元件	378
8. 三项测量新产品	封三

续集目录预告:

1. SYGY-1型数字式气、液体监控仪
2. 双声道磁头阻抗自动分档装置设计
3. 超短波[CDB]型原油含水传感器及环空井下找水仪
4. S J Z-4型水份测定仪
5. TP801型单板机巡回检测风速系统
6. 一种传感器线性化的新方法及实现电路
7. 流量相关测量仪原理及传感器设计

8. 一种改进型 δ 调制器
9. 用单片机实现压力传感器静态标定及非线性补偿
10. 压控振荡器频率特性补偿方法的研究
11. 传感器精度评估及其微机处理
12. 折线拟合模型及其实施
13. 在线检测困难流体方法的探讨
14. 关于感应式传感器参数优化的理性探讨
15. 用负阻法设计电容传感器中的振荡器
16. 传感器误差的软件校正
17. 智能化烟雾报警系统
18. 自动门的微波传感器研制
19. 线性NTC热敏陶瓷材料及其在恒温控制中的应用
20. 计算器作液位、行程、定长显示器
21. 微机与电磁场实验
22. 紫外光敏管及其在火焰检测方面的应用
23. 光敏传感器在自控系统中的应用
24. 电阻应变式称重测力传感器在衡器仪表中的应用(摘要)
25. 电阻应变片及其应用[摘要]
26. 光纤传感器在心脏射血分数测定中的应用
27. 柱面莫尔条纹与软片长光栅角位移传感器装置
28. 高精度光电路灯控制器
29. 丝[纱]线筒子硬度值的测量
30. 汽车载重数字测量装置
31. 金属针齿高一致性单片微机检测系统
32. SB-1型通用数字压力测量仪的研制与应用
33. 测压、试井微机实时处理系统
34. 电磁力法测量继电器触头的机械压力
35. 实用非晶态合金扭矩传感器的研制
36. 霍耳元件在微量厚度感知中的应用
37. JSZ-III陶瓷粉料电脑水分仪
38. 混合颗粒煤质理论及其在微波工业测量中的运用
39. 智能离子分析仪的设计
40. 测定流量的微波方法探讨

- 4 1. 微波技术在精密光波测距中的应用
- 4 2. 微波测量厚度技术
- 4 3. 园形直径的电测方法
- 4 4. 用微波驻波法测石油的含水率
- 4 5. 微波探测高炉料位的试用和分析结果
- 4 6. 集成化电容测厚仪
- 4 7. 石油岩芯油、气、水三相饱和度的微波测量
- 4 8. 腔体微扰方法测量非电量技术
- 4 9. 微波桥路法测平面模型含水饱和度
- 5 0. 微波测碳仪
- 5 1. 铂电阻的非线性 T/V 变换
- 5 2. 大气数据处理温度测量接口
- 5 3. 传感器电路的温度补偿
- 5 4. 导弹发射筒内表面瞬态高温的测定
- 5 5. 压容技术与智能化初探
- 5 6. 自动心搏导引器
- 5 7. FMJ-SX γ 免疫计数器的研制
- 5 8. 用单片机实现角位移测量
- 5 9. 低功耗单片微机在吸流量测量中的应用

反射式光导纤维传感器应用综述

解放军空军工程学院六系

吴松林

西安交通大学机械系

屈梁生

本文以光纤位移传感器及光纤光泽计为主体, 描述了其理论基础及特性, 并研制了应用于电动机滚动轴承运行状态监测的光纤系统及外园磨在线监测用的精密量仪。

众所周知, 磨削加工是重要的精加工表面的方法之一, 在生产中, 磨加工占整个生产过程的比例逐年增加。但其自动化程度仍然不高, 特别是与其他加工方法相比较。因此有必要开展这一方面的研究。

磨加工过程之后就应当是对工件表面的检测, 如: 工件的几何尺寸、园度、表面粗糙度及砂轮的磨损状态。但磨加工的环境限制许多种类的传感器的使用。而加工空间的有限使传感器不能过多的使用。因此有必要研制多功能的监测系统。

另一个方面, 由于加工环境的恶劣, 使传感器的可靠性要求增高, 特别是在系统振动、冷却液的影响及磨屑残粒等挠动影响下。本文中作者讨论了光纤传感器在磨加工环境中的响应特性及传感器在加工过程中的有关现象。并描述了外园磨加工中使用的光纤监测系统。实验结果验证了这一系统的实用价值。

最后, 作者介绍了光纤传感器用于监测电动机滚动, 轴承运行状态的光纤系统。

一、反射式光纤传感器及其特性

反射式光纤传感器是利用被测量物表面相对光导束位移来调制反射光的。基本原理如图 1 所示。

光源经过光导束将光传到

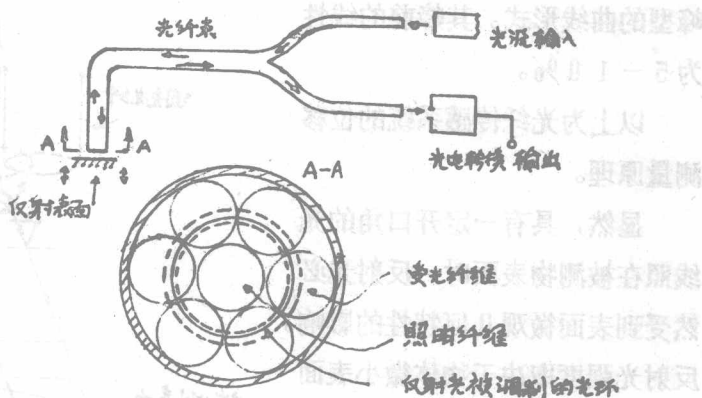


图 1 光纤位移传感器原理

被测表面，反射后由接收光纤接收，在端部由光电转换器测定反射光强及其光通量的变化。

这一传感系统的基本测试性能如：位移灵敏度，峰前线性等重要参数由J.A. Simpson在1979年推出^[1]，其基本假设如图1所示。A-A剖面所示中央为光源光纤，周围有六个接收光纤。随着被测表面相对光导束端面A位移的变化，光纤入射光与反射光形成的光锥的变化如图2所示。当位移 $d \leq x_0 \cdot \tan \phi$ 时（ x_0 ：光纤半径， ϕ 入射光纤开口角）反射光照在接收光纤端面上的面积是逐渐增加的。

假设光照度一定，则可以由接收光纤接收到的光面积A对位移Y的微分来定性地讨论传感器的位移灵敏度。

图3为假设的两支相邻的光纤，经计算可得反射光面积为：

$$k < \sqrt{5} \text{ 时, } A = [Bk^2 + \arcsin(k \sin B) - 2k \sin B] \cdot (x_0 / 2) \quad (1)$$

$$K = q/x_0 \quad (1)$$

$$\text{其中 } B = \arccos [(k^2 + 1^2 - 1)/2kl]$$

$$l = 2 \quad (2)$$

在 $K \geq \sqrt{5}$ 时(1)式变为

$$A = [Bk^2 + \pi - \arcsin(k \sin B) - 2k \sin B] \cdot (x_0 / 2) \quad (3)$$

而 k 与 Y 的关系为：

$$Y = (q - x_0) / 2 \tan \phi$$

由此可见，A与 k 有非线性关系。经过计算机计算出这种关系的单峰型的曲线形式。其峰前的线性为5—10%。

以上为光纤传感系统的位移测量原理。

显然，具有一定开口角的光线照在被测物表面时，反射光必然受到表面微观几何特性的影响。反射光强度取决于物体微小表面的倾斜角，由于倾斜角分布的正态性^[3]。反射光照在光纤周围的光强其相对中部都要弱。换句话说讲，接收光纤实际可接

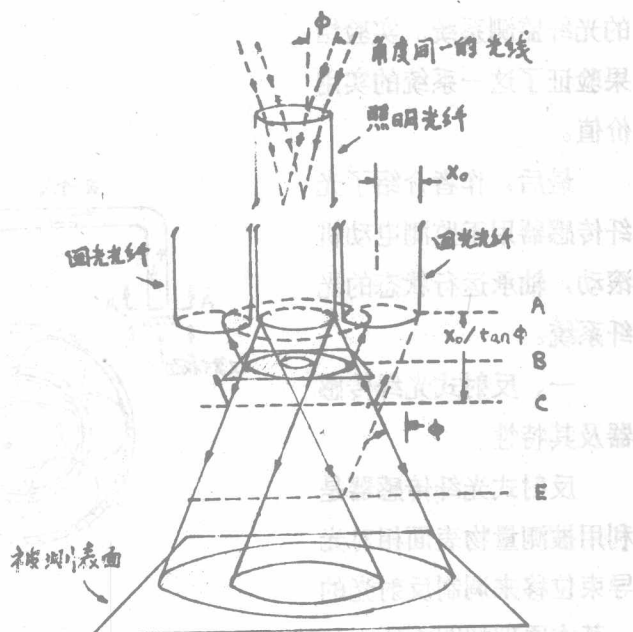


图2 反射光变化示意图

收到的反射光通量 ϕ_R 可以简单表示为

$$\phi_R = (\rho \pi E_0 / k') f(\alpha, \theta, m, R; d, R_c) \quad (3)$$

k' --- 与光纤无关的粘接剂的面积/光纤束面积;

R --- 入射光束有效半径, d , 测定距离;

θ --- 由于表面粗糙度引起反射光扩散角, α --- 光纤开口角

R_c --- 被测面曲率半径。

图4所示为光纤位移传感器和光纤光泽计的原理图, 以及光纤位移传感器端面光纤排布方式。图4(a)中1)同心圆方式; 2)随机方式; 3)单列方式。每一种光纤束内均匀布有400-500根多模光纤。图4(b)反射光面积中: 1为稳压电源; 2为光源; 3为导光束; 4为传感器; 5为被测表面; 6为受光束; 7为光电转换器; 8为放大器; 9为X-Y记录仪。

光源通过导光束照在被测表面上, 受光束接收其反射光, 并由反射表面的振动(位移)及表面粗糙度调制。传感器(4)端部光纤的排布方式决定了传感器的特性。图5(a)表示了传感器对位移的静态响应特性。线性范围及其

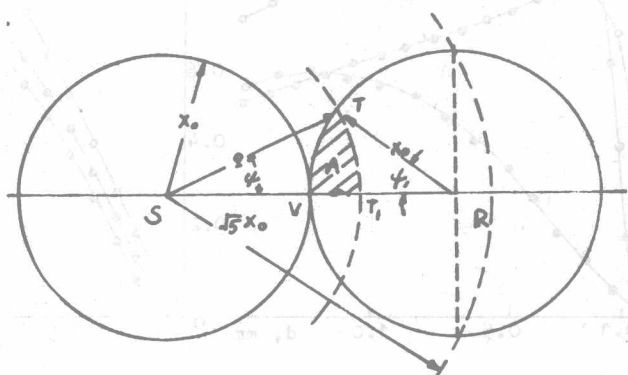
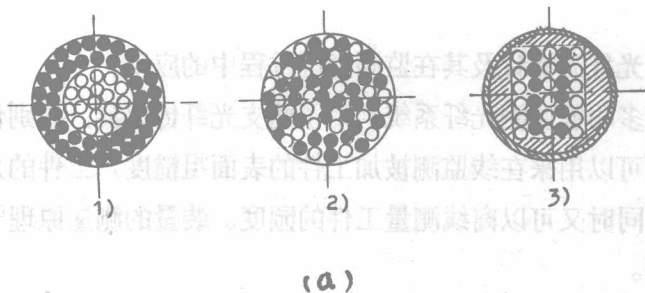
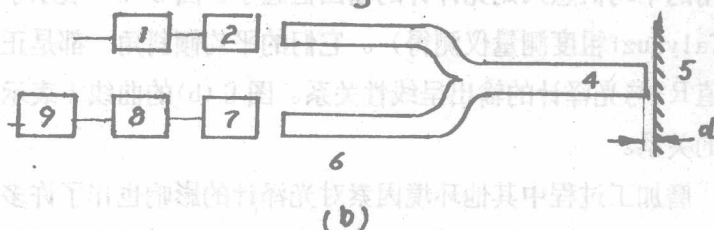


图 3 反射光面积



(a)



(b)

图4 光纤传感器原理

灵敏度分别为：

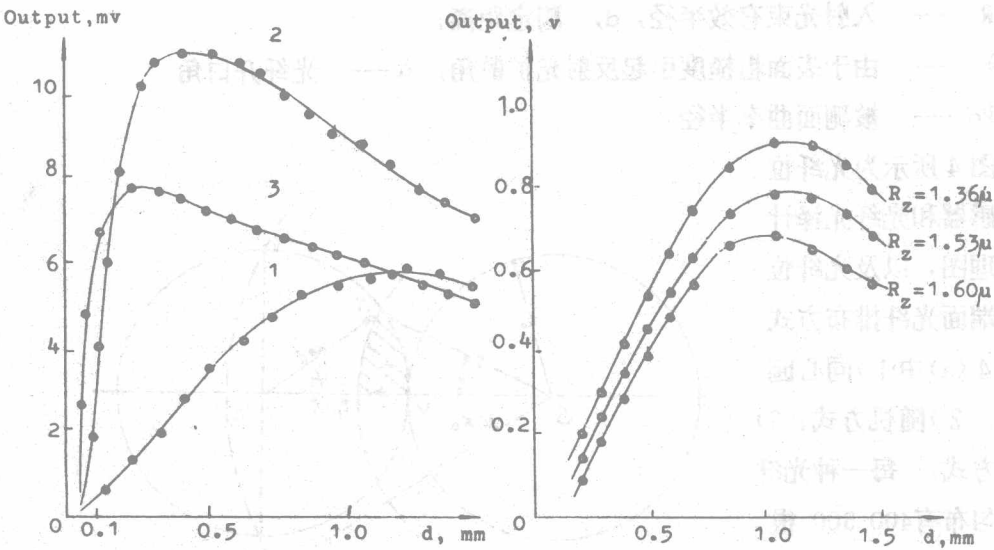


图 5

(3)--- 单列方式: 0.01 - 0.10mm 作为位移传感器;

(1)--- 同心圆: $R_z = 0.1 - 100 \mu m$ 作为光纤光泽计, 工作距离1.0mm

二、光纤光泽计及其在监测磨削过程中的应用

本多功能监测光纤系统利用了两支光纤传感器, 分别作为位移及光泽计使用。这一装置可以用来在线监测被加工件的表面粗糙度, 工件的几何尺寸变化及砂轮的钝化程度。同时又可以离线测量工件的园度。装量的测量原理^[2]可靠, 并具有实用价值。

反射光强、即光泽计的输出, 与被测表面的微观几何形状有直接有关系。表面倾斜角的平均值愈大则光泽计的输出值愈小。图 6 (a) 表示了五个加工表面的测量值 (由Talysurf粗糙度测量仪测得)。它们的平均倾斜角 都是正态分布^[2], 粗糙度值 R_z 与光泽计的输出呈线性关系。图 6 (b) 的曲线 1 表示了粗糙度值 R_z 与光泽计输出的关系。

磨加工过程中其他环境因素对光泽计的影响也作了许多实验研究^[2]。总而言之, 表面粗糙度的测量可以用光泽计进行, 但其在一些特定的条件下, 即: 同种加

工材料，加工方法及一定的工件表面曲率。

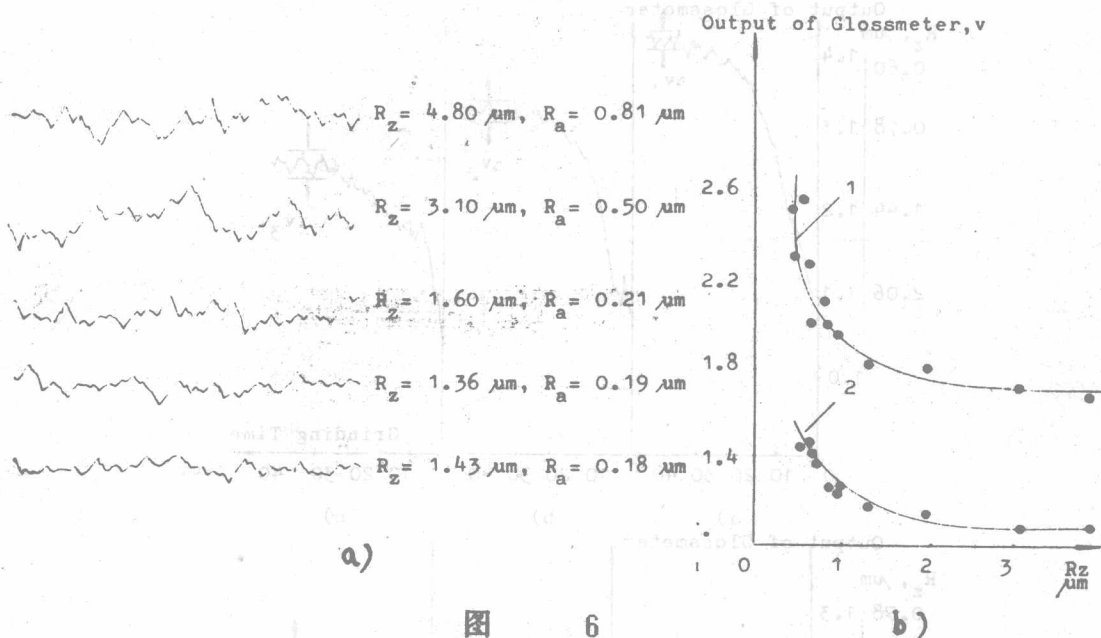


图 6

通过在线监测磨加工表面粗糙度的实验，揭示了许多有价值的现象。

图 7 表示了砂轮在不同磨削加工时间后磨削能力的变化情况，在 650 秒钟以后磨削能力明显的减弱。而此时光泽计输出值的变化 Δv 比最初有明显的增加。因此， Δv 值可以作为砂轮特性的描述反映。也就是说，光纤光泽计不仅可以在线监测加工过程中工件表面粗糙度值，而且可以在这个过程中监测砂轮磨削能力的变化。其结果使基于噪声、振动分析和其他分析方法（这些方法往往比较复杂）不再使用，而在过去，这些方法被认为是有效的监测砂轮的方法。

基于以上的分析及实验基础，作者开发了图 8 所示的用于外圆磨加工过程的监测装置。在弹簧 7 的作用下，光纤传感器 1（作为位移传感器）与 V 型铁 3 一起随工件表面移动。而弹簧 6 推动光纤光泽计 2 与支架 8 及镜面 9 始终跟随工件表面。这样使光泽计的测量头与工件间距 d 保持恒定。传感器 1 与镜面 9 之间的距离变化表示了工件在加工过程中几何尺寸的变化。 d_1 与 d 。根据传感的线性范围来调节。

这一装置的设计，使光纤光泽计及光纤位移传感器可用来监测磨削加工过程的表面粗糙度及工件几何尺寸的变化。另外，根据表面粗糙度值的变化使该装置可用来在线监测砂轮钝化程度。另外，这一装置可以用来测量工件的圆度误差，由于这一项测量中包括了工件回转误差及加工系统的振动，使这一项测量与实际应用尚有距离。

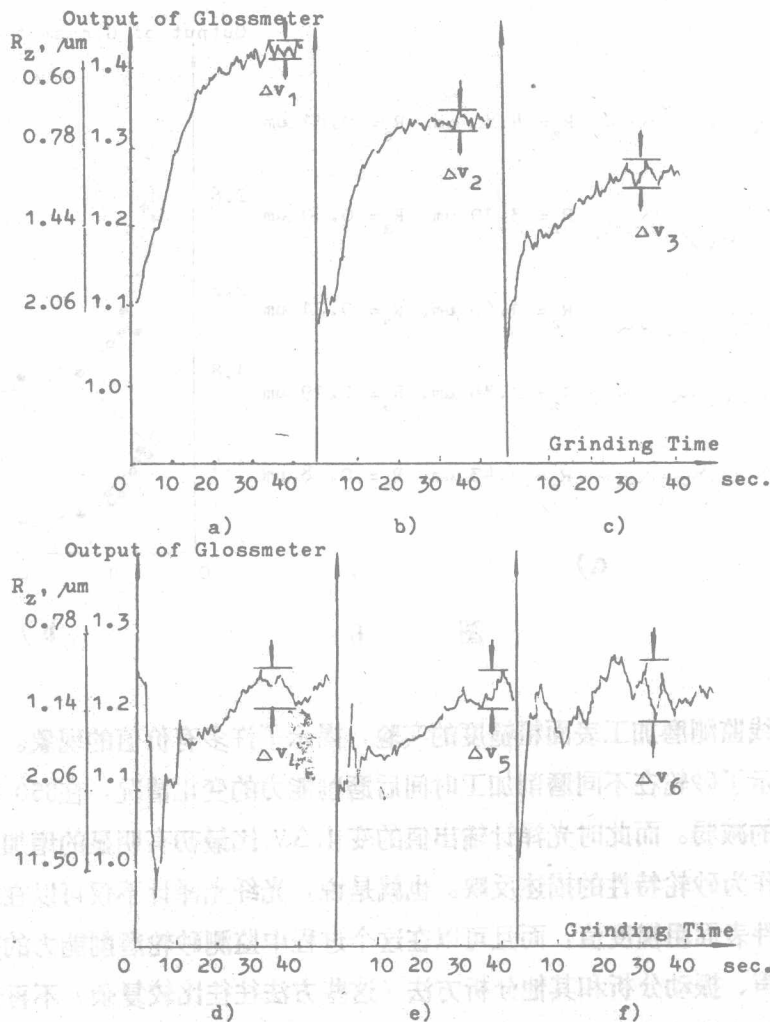


Fig.7 The variation of finishing ability of the grinding wheel in different stages of wheel wear: a) after 40 sec. grinding, $\Delta v_1 = 0.025v$; b) after 400 sec. grinding, $\Delta v_2 = 0.026v$; c) after 500 sec. grinding, $\Delta v_3 = 0.04v$; d) after 650 sec. grinding, $\Delta v_4 = 0.05v$; e) after 950 sec. grinding, $\Delta v_5 = 0.045v$; f) after 1300 sec. grinding, $\Delta v_6 = 0.075v$.

但可以明显看出,该装置相对比较简单、可靠,并具有多功能的特点。图8中螺帽4与5的磨损可以由抗磨损材料的使用来降低。

三、光纤位移传感器在监测滚动轴承运行状态中的应用。

滚动轴承运行状态的监测方法主要分两类:即所谓振动分析与铁谱分析(Wear Clebris Analysis)。振动分析中传感器与轴承之间的机构将使原轴承信号变化。作者将传感器直接插入机壳中,直接测量轴承外环相对机壳的位移,由于无信号传递通道的干扰,大大提高了信噪比,并且方法也十分的简便。

滚动轴承滚动体与外滚道接触时由于应力作用将产生弹性变形的形状也不相同。将光纤位移传感器插入机壳内直接测量外滚道的这一变形可实现对滚动轴承的状态监测。如果滚动体或内、

外滚道有缺陷时,这一弹性变化形将受到缺陷的影响。如图-9所示,图中右边的曲线表示传感器测到的应变曲线。

另一方面,由于传感器测到的滚动体通过外环时的应变。因此可以测得滚动体通过外环频率,从而实现转速比B.S.R的测定。经分析计算得知B.S.R可用下式表示(2):

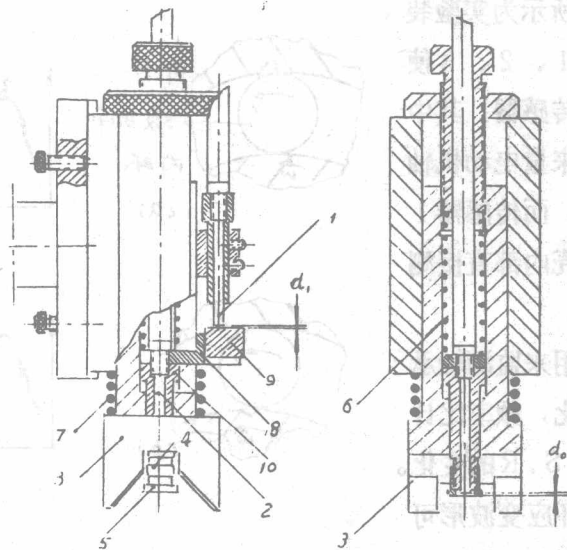


Fig. 8 A supervisory attachment for cylindrical grinding process: 1 - fiber optical displacement sensor; 2 - fiber optical glossmeter; 3 - V-block; 4, 5 - nuts adjusting the distance d_1 between glossmeter and workpiece; 6, 7 - springs; 8 - sliding sleeve; 9 - mirror; 10 - arm.

图 8

$$B.S.R = nwb/w_1 \cdot \{n/2(1-d\cos\beta)/E\} \quad (4)$$

其中 $\beta = \arccos(2 \cdot (B_d - P_d)/2B_d)$

B_d 、 P_d 表示轴承横向与纵向间隙。

d : 钢球直径, E —— 轴承节径, n : 滚动体数目, β : 动接触角。

从(4)式可以看出, $B.S.R$ 与轴承几何参数, 承载系数, 及轴承运行时间隙有关。如果给定轴承, 载荷, $B.S.R$ 即可用来监测轴承运行过程中内部间隙的变化, 这种变化受到轴承固有缺陷的影响。如轴承安装不佳使间隙过小或过大, 以及润滑不良引起过大的热变形等。

图10所示为实验装置; 传感器1、2、3使用光纤位移传感器, 其中传感器3用来量电动机轴的转动频率, 而传感器1、2插入机壳内部直接测量前后轴承。

示波器用来监测轴承外环应变变化, 频率比计用来测量 $B.S.R$ 的变化。

轴承外环应变波形可以敏感的表现内、外滚道的缺陷。图11(a)、(b)所示的曲线。这时人为的在内、外滚道上造成斑式的缺陷。图11(a)中波形顶部上的尖脉冲频率恰好等于滚动体通过外环频率! (b)中向下的尖脉冲频率大约等于电机转动频率。滚动体缺陷同样可以观察到, 但尖脉冲的频率更低。总之, 利用光纤位移传感器测量外环应变波形

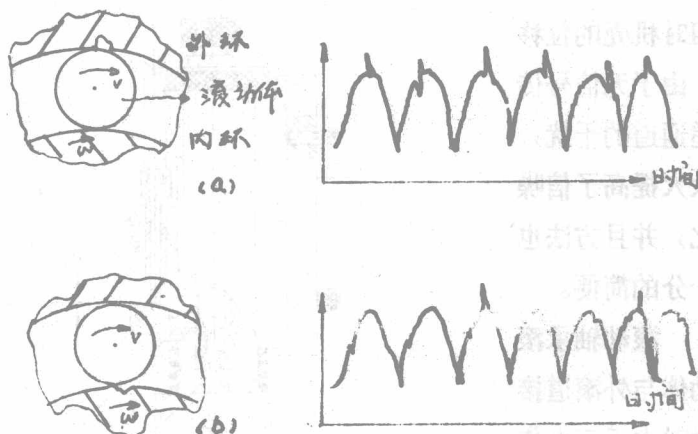


图 9

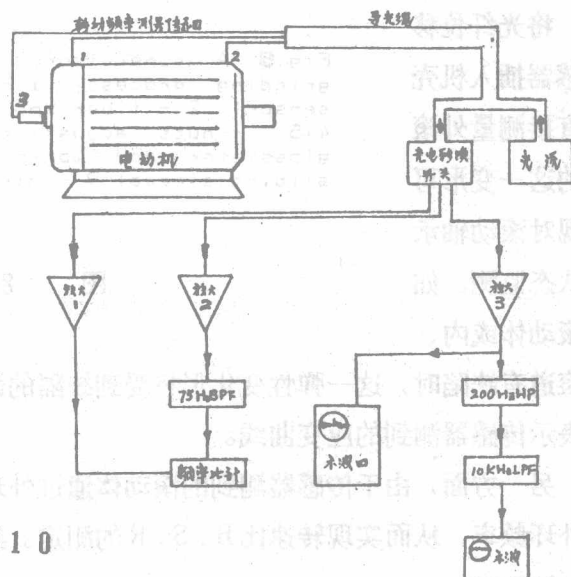


图 10

的变化可以客观监测滚动轴承的状态，如轴承的缺陷的发生、发展。

转速比B.S.R的监测可实现对轴承间隙变化的监测。轴承运行一段时间后要升温，轴及轴承沿轴向热浮动，当轴承具有某种缺陷时，将使热浮动

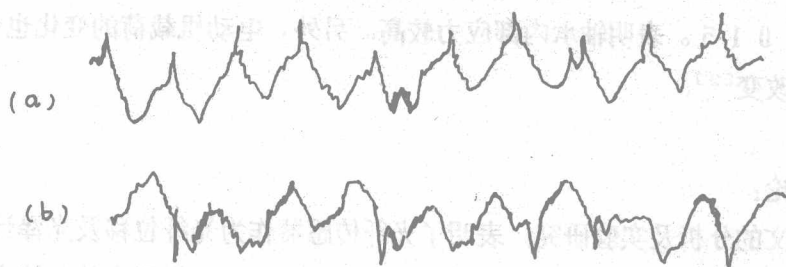


图 11

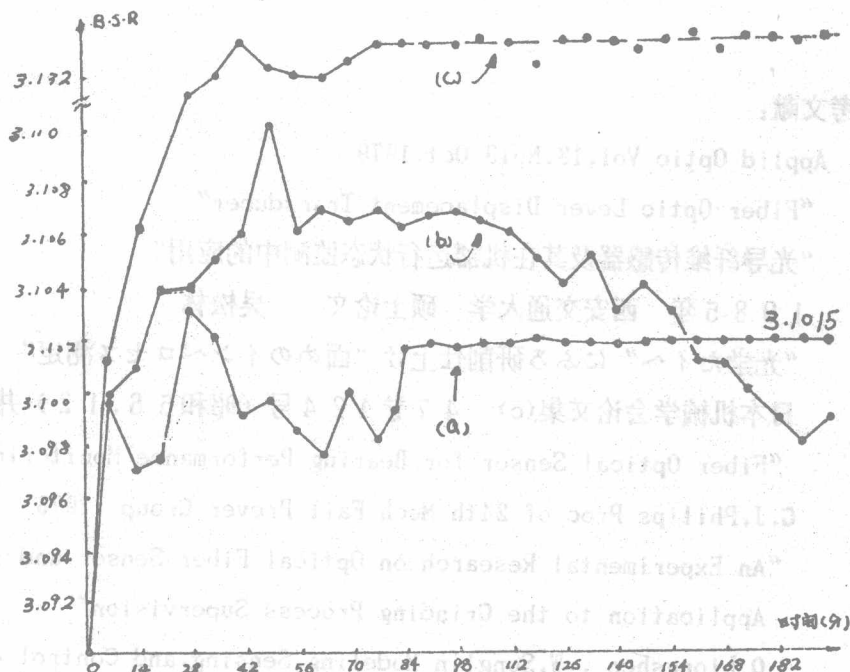


图 12 D. S. R的变化

受阻,内部应力增加,使B.S.R变化。导致早期失效。从电机启动到正常运行B.S.R值将直接反映轴承内部的热运动。图12(a),(b),(c)三曲线分别表示了轴承正常、偏心、及过紧安装时B.S.R的变化(从启动到运行182分钟以后)可以看出,正常安装时轴承在1.5小时以后B.S.R值渐渐稳定下来,这之前的变化表现了轴承热传递过程。曲线(b)与(c)表现了轴承不正常的热传递变化。曲线(c)的稳定值偏离设计值3.1015。表明轴承内部应力较高。另外,电动机载荷的变化也会使B.S.R值明显的改变^[2]。

四、结论:

通过本文的分析及实验研究,表明了光纤传感器作为光纤位移及光泽计所具有的良好特点,特别是在磨加工及电动机内部实现状态监测这样恶劣的环境中。充分体现了光导纤维传感器的优点。作者通过几年的努力完成光纤传感器在机器运行状态监测中的应用,并探讨了传感器多功能的特点。取得了较有价值的实验结果。由于篇幅有限作者省略了实验参数的描述,具体参数可参考资料^[2]。

参考文献:

1. Applid Optic Vol.18.No19 Oct.1979
"Fiber Optic Lever Displacement Transducer"
2. "光导纤维传感器及其在机器运行状态监测中的应用"
1985年 西安交通大学 硕士论文 吴松林
3. "光学たいへ"にふろ研削仕上げ"面めのインペロセス測定"
日本机械学会论文集(c) 47卷424号(昭和56.12)井上顺章等
4. "Fiber Optical Sensor for Bearing Performance Monitoring"
G.J.Philips Proc of 24th Mech Fail Prever Group 1978
5. "An Experimental Research on Optical Fiber Sensor and its
Application to the Grinding Process Supervision"
Q.Liongshen . W.Songlin Modeling.Sensing.and Control of
Manufactaring Process --- PED --- Vol.23/DSC --- Vol.4