

# 光纤传感器与医学检测

吴运平 易红英 宋敬

(青岛大学医学院 青岛 266021)

自从1976年光纤进入传感器这个领域以来,光纤传感器得到了飞速发展.光纤传感器具有体积小、重量轻、灵敏度高、抗电磁干扰、电绝缘、耐腐蚀、多功能等优点,因此它在许多领域得到应用.

光纤传感器是将被测对象的状态转换成光信号进行检测的光学传感器.光纤传感器按光纤作用可分为两种基本类型:①光纤只作为光的传输媒介,在光纤的另一端需接上敏感元件才能构成传感器,称为非功能性传感器或传输型传感器,这类传感器主要使用传递光通量大的多模光纤;②光纤不仅作为光传输媒介而且利用光纤在外界因素作用下的某些特性变化(如相位、偏振等)来实现传感测量,称为功能性传感器或传感型传感器,这类传感器多使用单模光纤.目前在医学上应用的光纤传感器大多是传输型的.

## 一、压力测量

目前临床上应用的压力传感器主要用来测量血管内的血压、颅内压、心内压、膀胱和尿道压力等.

用来测量血压的压力传感器示意图1.图1(a)是利用在某种液晶上加压后光照射时散射光强度要发生变化的原理做成的传感器.其结构特点是在多模光纤的端头装置有液晶的容器.当血压作用于液晶后,光照射时散射光强度就要发生变化,这种变化通过多模光纤输送到光检测器,从而得到随血压变化的信号.

图1(b)是利用受压板的光反射特性做成的传感器,其发射光与接收光采用有许多光纤构成的光纤束,结构特点是在离光纤束端头距离为 $g$ 的地方设置受压板( $g$ 约为 $20\sim 30\mu\text{m}$ ).当血压的作用使受压板受压扰曲并使距离 $g$ 变化时,从发射光纤发出的光经受压板反射进入接收光纤,此时,光的传输量发生了变化,因此

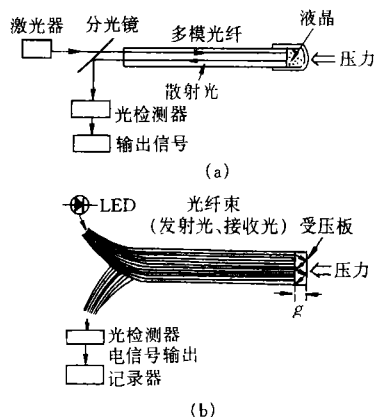


图1 测量血压的压力传感器示意图

可以从位于接收光纤输出端的光接收器的输出变化得到随血压变化的电信号.

颅内压的测量在临床上是很重要的.监测颅内压可以利用一种具有固定在光纤终端膜片上的能偏转的反射镜的传感器.这种传感器膜片的位移随着压力而变化,位移变化引起反射镜的偏转,从而导致光在不同角度上的反射.

目前已开发了一种用于测量膀胱和内尿道压力的光纤微型尖头导管.这种导管由两根光纤组成,一根为输入光纤,另一根为输出光纤.传感器探头处有一反射膜把两根光纤联系起来,输出信号由包含着一个数字压力监视系统的光电探测器接收.这个监视系统可提供连续的压力读数和示波器信号,通过心电图记录仪可得到记录的压力曲线.

## 二、血流速度的测量

多普勒型光纤速度传感器测量皮下组织血流速度的示意图2.此装置利用了光纤的端面反射现象测量系统结构简单.发光频率为 $f$ 的激光经透镜、光纤被送到表皮组织.对于不动的组织,例如血管壁,所反射的光不产生频移;而对于皮层毛细血管里流速为 $v$ 的红细胞,反射光要产生频移,其频率变化为 $\Delta f$ ;发生频移

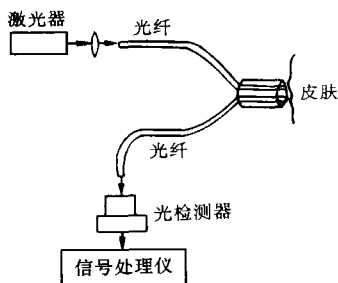


图2 测量皮下组织血流速度的多普勒速度传感器示意图

的反射光强度与红细胞的浓度成比例；频率的变化值 $\Delta f$ 与红细胞的运动速度成正比。发射光经光纤收集后，先在光检测器上进行混频，然后进入信号处理仪，从而得到红细胞的运动速度 $v$ 和浓度。

另一种用来测量大血管血流速度的多普勒光纤速度传感器示意图见图3。其原理与图2所示传感器相同，不同点是这种测量方法具有损伤性，且会扰乱血液的正常运动。尽管如此，由于这种方法能同时得到血流速度、血液浓度、血管径向的血流速度分布等参数，为生物力学、外科手术提供了很有效的数据，所以这种方法一直被采用。

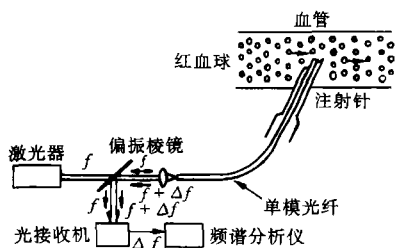


图3 测量大血管血流速度的多普勒速度传感器示意图

### 三、pH值的测定

用来测定活体组织和血液pH值光纤光谱传感器示意图见图4。其工作原理是利用发射光、透射光的强度随波长的分布光谱来进行测量。这种传感器将两根光纤插入可透过离子的纤维素膜盒中，膜盒内装有试剂。当把针头插入组织或血管后，体液渗入试剂，导致试剂吸收某种波长的光。用光谱分析仪测出此种变化，即可

求得组织或血液的pH值。

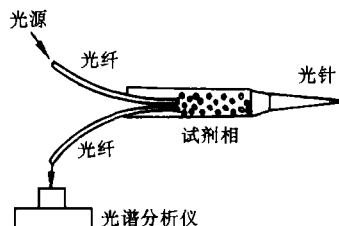


图4 测定pH值的光纤光谱传感器示意图

### 四、血液中氧饱和度的测定

测量血液中氧饱和度的光纤测氧仪示意图见图5。红血球中的氧化血红蛋白与还原血红蛋白在红外区的反射光谱各不相同，同时，不论是氧化状态还是还原状态，吸收量都在波长为660nm附近发生急剧变化，而在805nm附近几乎不变。采用上述这两种波长的光，能测量氧的饱和度（氧化血红蛋白在总血红蛋白中所占的比例）。由于散射光的强度是随血液中血球的浓度与血流速度而变化的，所以用波长为805nm的光来予以修正。光纤测氧仪由输送光纤和接收光纤组成，可以通过改变光纤的纤径、根数与安放位置来提高其灵敏度。目前，新生儿用的直径特别小（直径0.8mm，内装14根光纤）的测氧仪已被制成。

### 五、葡萄糖的测定

测定人体葡萄糖含量的荧光式竞争结合型传感器示意图见图6，其敏感元件为3mm长的中空透析短管，此透析管经一单光纤连接到远距离的荧光计上。传感器有一碳水化合物接收器刀豆球蛋白A(conA)固着在内表面上，传感器

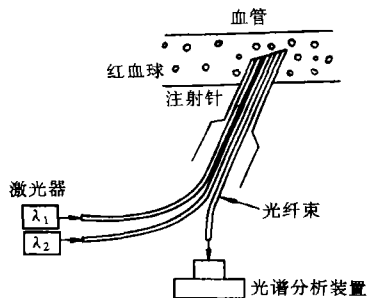


图5 光纤测氧仪示意图  
( $\lambda_1 = 660\text{nm}$   $\lambda_2 = 805\text{nm}$ )

中还含有高分子量的荧光标记指示剂,后者作为竞争配位体。

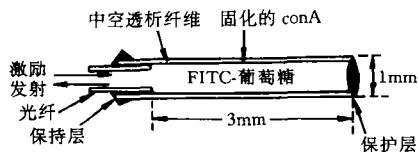


图6 小型葡萄糖传感器示意图

待测物(葡萄糖)在外媒质中通过透析膜扩散,与竞争配位体(FITC-葡萄糖)相竞争,以便将与刀豆球蛋白结合的标记葡萄糖置换出来,置换出来的葡萄糖扩散进入被入射光所照射的溶液中。由光纤扩展成的视野仅仅能观察非结合型的指示剂。

竞争配位体 FITC-葡萄糖不能通过透析膜扩散,因而能保存,故此系统是自含的,不需要排除或补充反应物。在平衡状态下测量中空纤维内的荧光强度,并校正为外部的葡萄糖浓度。

另外,利用一种紫外光光纤器件可测量糖尿病人呼出气体中的丙酮,从而辅助丙酮中毒者的诊治。

## 六、温度测量

目前国内外用微波加温热疗新技术治疗癌症已取得明显的疗效。但微波加温治疗癌症的温度难以控制,温度过高会杀死人体的正常细胞,过低则达不到治疗的目的,还会使癌细胞进一步扩散。微波加温治疗癌症的有效温度为 $42.5\sim 45^{\circ}\text{C}$ ,在这个温度内,能杀死癌细胞,因此需要对这一温度进行监测。因为光纤传感器抗电磁辐射干扰和射频干扰,所以将它用于超

热治疗具有独特优点。

热变色光纤温度传感器示意图7(a)。其传感元件是无机钴盐溶液( $\text{CoCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ),溶剂是水和乙醇,这种无机溶液的颜色随温度而变,因而它的光学吸收也随温度而变。钴盐溶液的光谱在 $660\text{nm}$ 附近有一个强吸收带,而在 $550\text{nm}$ 附近有一个弱吸收带,其热变色效应是吸收率随温度升高而增大,而强带比弱带增大的快,如图7(b)所示,故温度升高时,溶液的颜色由红色变成蓝色。这种热变色效应是可逆的。

目前正在研制另一种超热治疗的光纤导尿管。它是一种相位调制装置,一根单膜光纤可以携带5个温度传感器,温度分辨率为 $0.01^{\circ}\text{C}$ 。

现已开发的一种温度传感器是利用 $\text{LiTaO}_3$ 晶体双折射特性的热变化现象而制成温度敏感的、具有可变反射率的反射镜。

当前用于临床测量的光纤温度传感器大多处于探索阶段,但它的需要量极大,所以这一方面的研究和开发一定会活跃起来。

## 七、图象传输

医疗上的图象传输是传输型光纤传感器应用中很有特色的一部分。只需将许多光纤组成光纤束,就可以做成能有效地使图象空间量子化的传感器。自从光导纤维引入到内窥镜以后,大大扩大了内窥镜的应用范围。照明用的光通过光纤照射到被测体上,反射光通过接收光纤将信号输出。已产生了各种内窥镜使得检查人体的各个部位几乎都是可行的。这些内窥镜充分发挥了光导纤维柔软、自由度大、传输图象失真小、直径细等优点,操作中不会引起病人的痛苦与不适。

光纤内窥镜不仅用于诊断,也正进入治疗领域中。例如用于做息肉切除手术等。光纤血管镜已应用于人类的心导管检查中。在进行激光血管成形术时,血管镜可提供很多重要的信息,用以引导激光辐射的方向,选择激光的能量和持续时间,并可了解在成形术后的治疗效果。

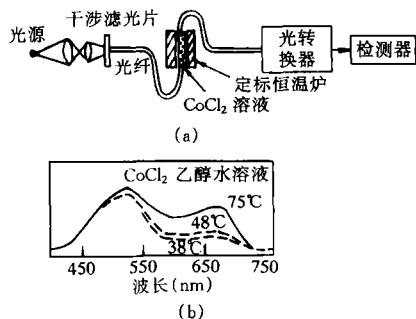


图7 热变色光纤温度传感器示意图