

# 光子秤技术在衡器行业的创新应用与展望

陈日兴

张继昌

中国衡器协会 顾问

上海同济大学 教授

**【摘要】** 本文从光纤技术的原理出发，重点对于光纤技术在称重行业的应用特点及现状进行了较为详尽的阐述，并对光子秤技术在衡器行业的预期最新应用领域和具有突破性的特性进行了展望，期待我国衡器行业在光子秤技术上有创新与划时代的变革。

**【关键词】** 光纤；光纤通信；光纤传感；光子秤

## 一、前言

光纤技术作为上世纪七十年代末发展起来的一门新兴技术，它与激光器、半导体探测器一起构成了新的光学技术，创造了光电子学新领域。随着各种光纤技术的成熟，最先发展起来的光纤通信技术正向着超高速、大容量通信系统的方向发展，并且逐步丰富多采，在高效的物联网阶段的建设中发挥更大的作用。

从应用层面看，光纤技术可分为光纤通信与光纤传感两类。光纤传感技术的发展虽然起步较光纤通信来得晚，在全球光纤通信迅猛发展的带动下，光纤传感技术也在迅速成长为拥有几十亿美元年销售额的产业链，将与光纤通信并驾齐驱。从技术层面看，无论是光纤通信或光纤传感技术，最大的特点是抗干扰、长距离传输。然而光纤传感技术有别于光纤通信技术，它与常规传感器相比具有很多优点，主要有很高的灵敏度；频带宽动态范围大；抗电磁干扰能力强，可用于高温、高压、强电磁干扰、腐蚀等环境；结构简单、体积小、质量轻、能耗少；保密性强、传感器能与电源分开等。一种最新的基于光纤技术的光纤传感器的灵敏度可比传统的电阻应变式称重传感器高出几个数量级。从应用领域看，光纤传感技术可测量的物理量包括了温度、压力、应力、应变、振动、位移、流量、液位、气体等 70 多种参数的应用领域。如果光纤传感技术能成功应用于称重领域，它将使衡器在电子秤的基础上产生一个质的飞跃，开启一个高精度、宽称量范围、自动化、智能化的光子秤的新时代。

目前世界上光纤传感技术的发展又可分为两大类：一是原理与工艺性研究，二是应用开发。随着光纤技术在原理与工艺性研究上的突破，对光纤传感器技术的实用化开发将成为不同应用领域发展的热点。光纤传感器技术在称重领域的应用，目前无论在国际上还是国内都属于初级萌芽阶段。大力推广与发展光纤传感技术，创新驱动求发展是我国衡器行业肩负的重任。

## 二、光纤传感技术的原理与分类应用

### 1. 类别

从光纤传感技术的类别看，可以分为光强调制型、相位调制型、偏振态调制型三种形式。

#### (1) 光强调制型技术

可以通过某物理量的作用改变光纤的微弯状态、改变光纤对光波的吸收特性、改变光纤包层的折射率，测出光强的变化率，从而完成该被测物理量的检测。

##### ① 光纤的微弯

这类传感器的敏感元件是由一个能引起光纤产生微弯的变形器。其结构如一对错开的带锯槽的平行板。如图 1 所示。

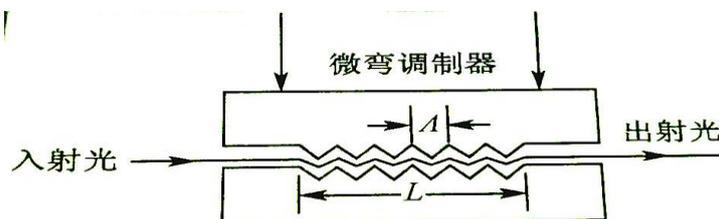


图 1 光纤微弯传感技术

最佳微弯周期（光衰减最大） $\Lambda$ 公式如下：

$$\Lambda = \frac{\pi \times a \times n}{(NA)}$$

式中： $\Lambda$ ——光纤微弯周期；

$a$ ——光纤芯直径；

$n$ ——光纤芯折射率；

$(NA)$ ——数值孔径。

$$(NA) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

上式中： $n_1$ 、 $n_2$ 分别为光纤芯和包层的折射率。

如图 1 所示:在顶端压力作用下,光纤受到一系列微弯的作用,光纤原来的全反射条件改变,部分入射光进入包层而损失,出射光被衰减,光强受压力所调制,从两者的对应关系,可从出射光强测量压力,这种结构灵敏度很高而稳定性较差,实用中需加一定的补偿措施。

### ② 光波的吸收

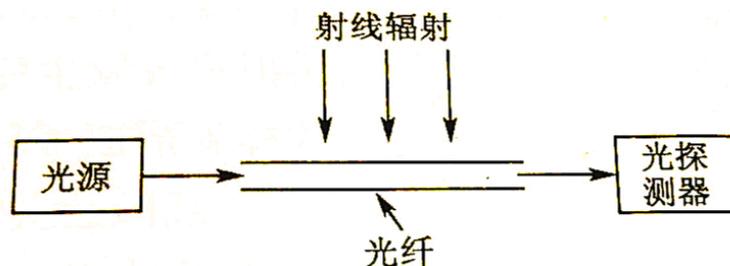


图 2 光波吸收(射线辐射)传感技术

如图 2 所示,在 X 射线、中子射线等辐射作用下,使光纤的吸收损耗显著增加,输出光强被光波吸收所调制,射线强度与输出光强可建立一定的关联。

### ③ 包层的折射

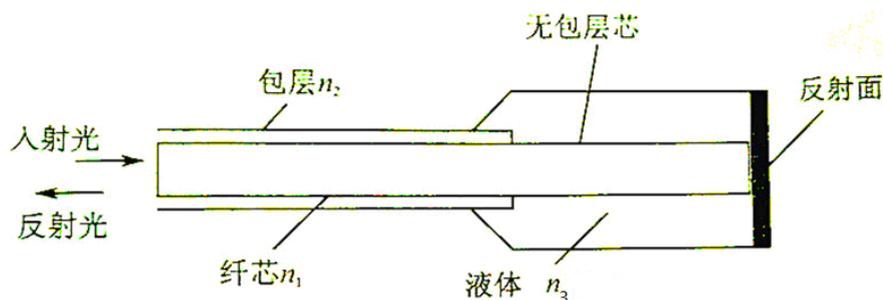


图 3 包层折射技术

如图 3 所示,右面部分光纤从原来包层折射率变成液体的折射率,利用液体折射率随温度上升而减小的规律,即新的液体包层的折射率随温度上升而减小,偏离原来全反射的条件而使反射面产生的反射光受到包层折射率调制而减小。

## (2) 相位调制型技术

光纤相位调制技术是光纤最基本的传感技术,是比较容易实现的调制形式。所有能够影响光纤长度、折射率和内部应力的被测量都会引起相位变化,例如压力、应变、温度和磁场等。因为光的频率太高,至今光探测器还没有这样高的响应速度。人们在 19 世纪杨氏干涉等的基础上研究各种干涉测量技术,通过干涉测量技术把太高的光频转变成成为可测量的低频光信号。双光束的干涉产生一系列低频正弦波的光强信号,人们便利用激光这一强度高、聚焦好的相干光源加上两根首尾相连的等长光纤。激光从一端射入,

在另一端相干涉而得到一串低频正弦波。由于激光束封闭在光纤内，其产生的强度高、稳定性好的正弦波列、高灵敏度的光波信号不受外界噪声波的干扰。而且这个光波列的光波数可按需改变。如果把上述两根光纤两端粘结在一钢板上，其中一根与钢板固定在一起，另一根与钢板架空，这样我们便能控制干涉后正弦光波之数，只要把钢板四角固定，上面加重物使钢板弯曲伸长，重物加重，钢板伸长，正弦波一个周期2位相，这实际上成了重量对两光纤相位差的调制型的光纤传感技术，其特点可归纳如下：

光纤相位调制可直接测定一个光源波长的变化，即可用一个光源波长作单位，约一个微米量级，这样的光相位调制技术一下子把精度提高到微米水平；而且这是只依据激光光源的波长，即是一种绝对长度的测量，它也可以给其它长度测量定标。

上述基准光纤还有重要的作用，即温度补偿，因为上述技术实在太灵敏了，所以环境温度的微小影响就是大问题。它与测量光纤等长，受温度影响的伸长与测量光纤在靠得很近时这种干扰可以两者相减而抵消，这就是温度自补偿。

最后这种相位调制技术结构很简单，后面的数据处理实际上是计算机的问题。但最主要的问题是：从理论到技术特别是核心技术，从技术到产品都有许多意想不到的难题在等着我们。

这种相位调制技术的精度已成为光纤传感器中最高的技术，而且在测量的动态范围方面还有它的特色与优势。其应用的效果与前景将在本文后面的光纤传感技术在衡器行业的应用展望中介绍。

### (3) 偏振态调制型技术

光是横波，它的振动矢量处在与传播方向垂直的平面(偏振面)内的某一方向。在石英光纤中的光传输时，偏振态会发生变化，在光纤干涉仪中会引起信号的衰落，但如利用得好可以形成新一类的光纤传感技术。

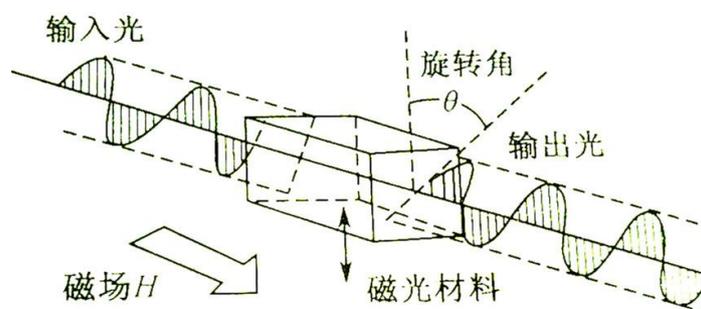


图 4 光纤偏振调制原理图

图 4 就是光纤偏振调制的一个应用实例：当光纤中输入光经过途径中有一平行于光

纤的外磁场,左端输入光偏振面在该外磁场作用下,输出光偏振面就有一角度的旋转,这就是磁场的偏振态调制。

如在图中磁光材料的位置安置一平行于光纤的通电线圈,则光纤中偏振面旋转的大小可反映出线圈中电流的大小,特别是电流很大的情况也很适合。

## 2. 应用分类

光纤传感技术从应用层面看,又可以分为传光型和传感型两类。

### (1) 传光型光纤传感技术

传光型光纤传感技术从应用层面看主要为强度调制型光纤传感器。强度调制型光纤传感器又可分为反射式强度调制型光纤传感器和透射式强度调制型光纤传感器。

#### ① 反射式强度调制型光纤传感器

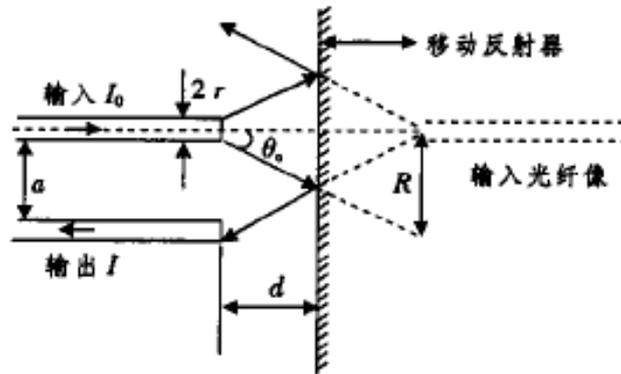


图5 反射式强度调制型原理图

图5用改变图中输出光纤与镜面的距离  $d$  来改变输出光纤中光的强度,达到测量距离或位移的目的,是用物理量  $d$  来调制输出光强度,因为  $d$  增大则入射光的发散角增大,进入出射光纤的光强减小。其数量关系可从几何关系推出。

#### ② 透射式强度调制型光纤传感器

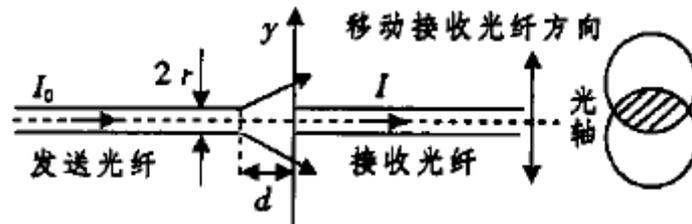


图6 透射式强度调制型原理图

图6 是两根光纤直接输入与输出光强,其原理如图中所述。

### (2) 传感型光纤传感技术

传感型光纤传感技术从应用层面看,均为干涉型光纤传感器的不同类型。

### ① Michelson 干涉式光纤传感器

可以用于衡器行业的第一种是 Michelson 干涉式光纤传感器。下图为 Michelson 干涉式光纤传感器示意图。其原理与另一种双光束光纤传感器（即马赫-曾德干涉传感器）相类似，区别在于后者是前向，前者在反射方向测量干涉结果，其具体原理与应用在本文最后部分光纤传感器的预期应用中说明。

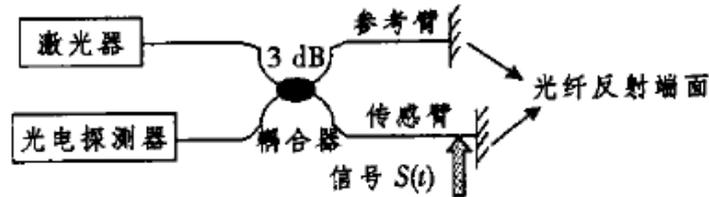


图 7 Michelson 干涉式原理图

光纤 Michelson 干涉仪相干光强公式如下述。相干光强度为两束光的复数振幅的共轭积：

$$P = P_1 + P_2 + 2\sqrt{P_1 \times P_2} \cos \Delta\phi$$

若两束光强相等，则  $P_1=P_2=P_0$ ，则干涉光强公式可改写如下：

$$P = 2P_0(1 + \cos \Delta\phi) = 4P_0 \cos^2 \Delta\phi$$

上式中： $\Delta\phi$  为两束光的相位差。

### ② F-P 干涉式光纤传感器

第二种干涉型光纤传感器是 F-P 干涉式光纤传感器 (如图 8)。

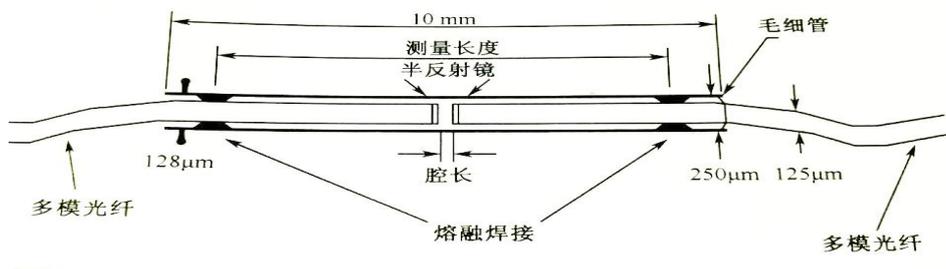


图 8 F-P 干涉式光纤传感器原理图

图 8 中有一左右两根光纤与旁边的毛细管固定，两个端面涂上多层介质膜，形成一个 F-P 腔，由于多光束干涉，所以是一个高灵敏度的光纤传感器，因为腔内是空气隙，用多模光纤可增加光强，这是一种多模光纤的应变计，其应变值为腔长与测量长度的比

值。

③ Sagnac 干涉式光纤传感器，其原理图如图 9 所述。

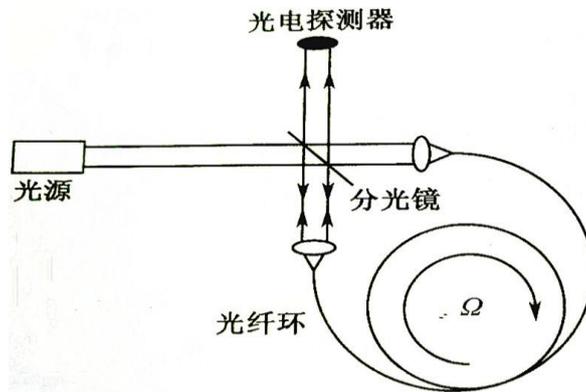


图 9 Sagnac 干涉式光纤传感原理

此传感器的特点是用单根光纤绕成光纤圈的传感器（图中右下方），左端的激光在分光镜处分成顺时针方向的透射光与逆时针方向的反射光，这两束光最后在上端的光电探测器处相干涉，其原理与前面相位调制部分的双光束干涉仪相同。当光纤圈以一定的角速度旋转时就出现一串光强的正弦波数，它与角速度成正比，从角速度积分可得光纤圈旋转的角位移。它就是结构简单、角位移精度极高的定向装置——光纤陀螺，在自动化定向设备中有广泛而重要的应用，相对于机械式的 3 维陀螺仪是一个革命性的创新，其种类与性能还在不断发展中。

④ FBG 布喇格光纤光栅传感器

第四种是 FBG 布喇格光纤光栅传感器。光纤光栅传感原理如图 10 所述：

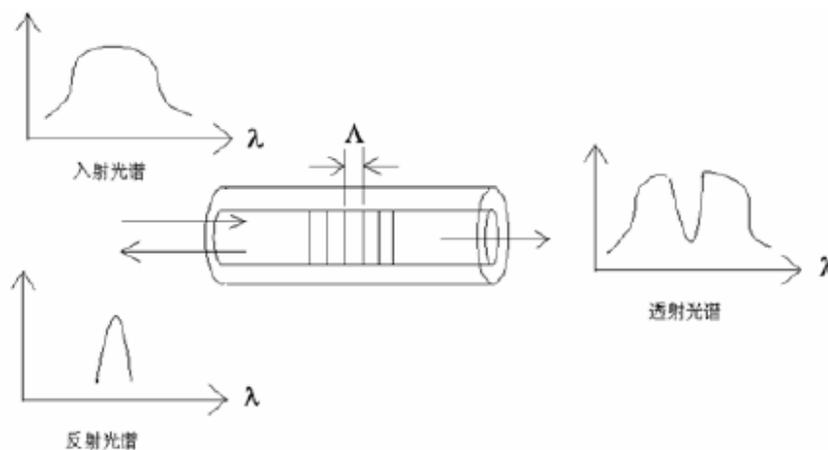


图 10 FBG 布喇格光纤光栅原理图

上图中间部分是一段光纤，其中间部分表示光纤芯部分，可用紫外线光刻的办法做成因折射率差异而制成折射率光栅，它是从光学中的明暗号相间的光栅得到启发，其光栅周期为 $\Lambda$ 。

常见的 FBG 光纤光栅传感器通过测量布拉格波长的漂移实现对被测量的检测，光栅布拉格波长( $\lambda_B$ )条件可以由下式表示：

$$\lambda_B = 2 \times n \times \Lambda$$

式中： $\lambda_B$ —光栅波长； $\Lambda$ —光栅周期； $n$ —折射率。

### 3. 系统应用分类

光纤传感技术从系统应用分类看，又可以分为 FBG 布喇格光纤光栅传感器和分布式光纤传感系统两类。

#### (1) FBG 布喇格光纤光栅传感器

FBG 布喇格光纤光栅除了具备其它光纤传感器的一些优点之外，还有自定标和易于在同一根光纤内集成多个传感器复用的特点。

FBG 布喇格光栅传感器应用领域较多，如将分布式光纤光栅传感器嵌入材料中形成智能材料，可对大型构件的载荷、应力、温度和振动等参数进行实时安全监测。光栅也可以代替其它类型结构的光纤传感器，用于化学、压力和加速度传感中。该光纤光栅传感器从国外传入较早，至今已有较多应用，其应用方法简单

与电阻式应变片有类似，一根光纤中可制作多个光栅。但本身无温度补偿、一个光纤光栅长度 60 至 80nm，故测量其中心波长的漂移范围在 2nm 以内，要求高分辨率的设施，其分辨率要达到 1pm。所以光纤光栅传感器的数据处理的解调器部分比较昂贵，应采用一根光纤上用 20 个光栅，才能平均其成本。

光纤光栅在皮带秤上有应用的实例。在测高铁超偏载方面的应用实质上也是称重，后面有一定的介绍。

#### (2) 分布式光纤传感系统

由于分布式光纤传感系统具有连续、无间断、长距离测量的特点，分布式光纤传感系统主要应用在桥梁、大坝、石油平台、油罐、大型建筑、钢结构，飞机，轮船，输油管道，混凝土，锅炉等等的应力应变及温度双参数测量及安全监测系统。分布式光纤传感系统通常有三种类型：拉曼型、布里渊型和 FBG 布喇格光纤光栅型。 [1]

分布式光纤传感系统实际上是光纤传感器最有特色的应用之一。在一根 30 公里甚

至更长的光纤上的每一个点都有可能成为一个传感点，测出该点的温度或应变，如西气东输的管道上有泄漏的点的位置可以自动报告，30公里上每一检测点的温度变化都可报告，在建设物联网工程中将发挥其特有的作用，且我们的光纤干涉型传感器可以代替进口光谱仪，测量分辨率特性还会有进一步的提高。

### 三、光纤传感技术在衡器行业的应用现状

#### 1. 光纤传感皮带秤的应用 [2]

对称重的关键器件光纤布喇格光栅（FBG）传感器进行设计、制作和标定，并将 FBG 应变片与双孔平行梁弹性元件结合，制作成双孔平行梁双光纤光栅称重传感器，对 FBG 称重传感器进行静态和动态称重测试实验，最后将 FBG 称重传感器安装在用户现场皮带机上进行了实际的工程应用。

由于光纤光栅的波长漂移量与应力和温度的变化成正比，所以可以成功地将双光栅差分技术应用于双孔平行梁传感器上。具有长期监测、耐高温腐蚀、现场无电源等特点，具有发展前景。

下面为光纤传感皮带秤的系统组成。

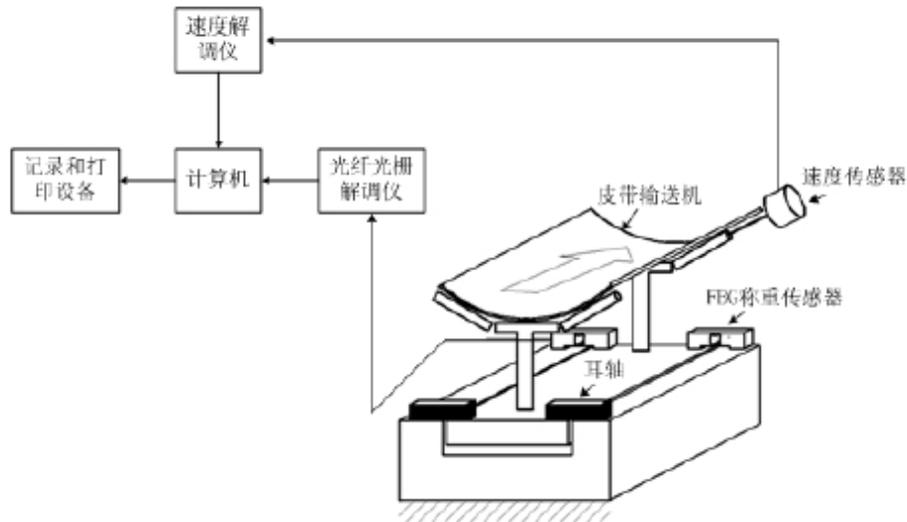


图 11 光纤传感皮带秤系统图

该方案虽然已有用户现场的应用，但到目前为止系统准确度仅停留在 1 级秤的水平，还不能满足中高准确度的需求。需要改变关键器件的光纤结构形式，才能使准确度有所突破。

#### 2、汽车摩擦材料光纤光栅自动称料装置 [3]

该装置成功地将光纤光栅压力传感器应用于汽车摩擦材料真空条件下全封闭自动

配料称重中。在以往的配料秤中由于采用的是电阻应变式称重传感器形式，受称量范围的限制，料斗的较大的皮重而被称物料的小称量的实际状况，无法满足自动称量准确度的要求，加之装置运行中的振动干扰，配料量不一致诸多问题。采用光纤光栅压力传感器后，据资料介绍“计量误差由 $\pm 10\text{g}$ 改善到 $\pm 1\text{g}$ ”（设定物料量为 $200\text{g}$ ），有利于刹车片生产质量的提高。

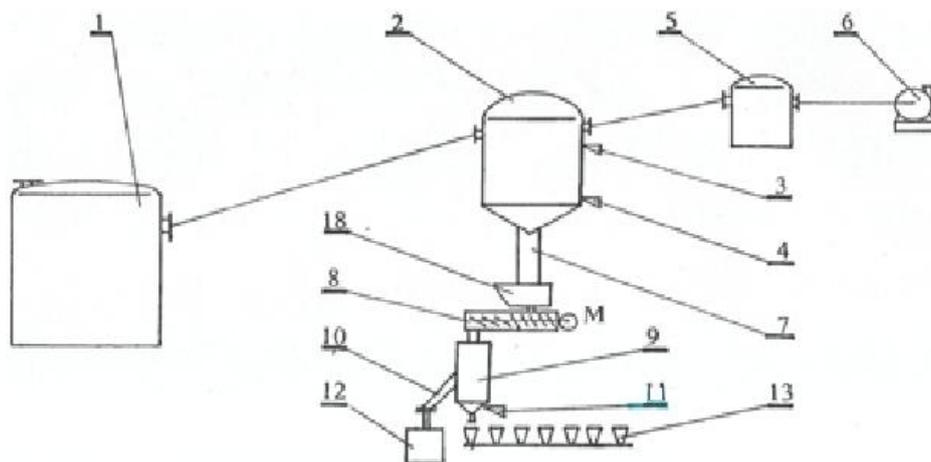


图 12 汽车摩擦材料光纤光栅自动称料系统图

系统构成：1 原料箱、2 真空吸料罐、3 高位开关、4 低位开关、5 真空罐、6 真空泵、7 布袋通道、8 螺旋输送、9 称重料斗、10 分料斗、11 光纤光栅压力传感器、12 回料箱、13 称料杯。

该系统由于资料不全，无法得知其最大皮重与称量的比例关系，以及计量误差在多种物料中对配料系统的贡献。

### 3、绞合式光纤称重传感器的研究 [5]

绞合式光纤称重传感器是一种微弯曲的光纤传感器。它将传感光纤与一根横截面为圆形的均匀细线绞合，使光纤产生一个预弯曲，受力时光纤曲率发生变化，从而使光纤的损耗值也发生变化。接受光强变化与生成光纤变形有关。下图为绞合式光纤称重传感器的测量方式。

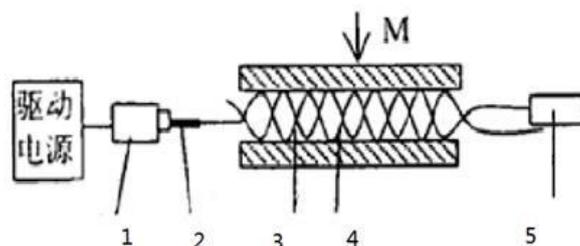


图 13 绞合式光纤称重传感器原理图

上图中：1 半导体激光器、2 耦合光纤、3 被测光纤、4 绞合材料、5 光纤功率计。

从上述结构分析及实验数据可看出光纤输出功率随重量的增加而减少。此传感器属于一种新型结构的称重传感器，可用于各类需要抗干扰与防爆要求较高场合的非自动衡器的称重平台结构上。

#### 4、光纤技术在公路车辆动态称重技术的应用

一种《基于光纤光栅的动态称重系统研究》<sup>[5]</sup>将传感器的敏感元确定为啁啾光栅，而不是光纤布喇格光栅，用于车辆动态称重系统。传统意义上的光纤布喇格光栅的反射谱呈正态分布，在利用边缘滤波法解调时只有一段线性范围，并且带宽仅 0.2mm 左右，因此测量范围有限。而啁啾光栅的带宽较布喇格光栅宽，可达十几个纳米。其啁啾为阶梯函数，反射谱呈准方形分布。本方案采用两片啁啾光栅，均为传感光栅，一片受拉，一片受压。当光栅不受力时两片光栅反射谱重合，强度解调得到的光强最小。当光栅受力，传感光栅的反射谱发生线位移，当位移至两片光栅的反射谱完全分离时，光强最大，达到检测系统的最大测量范围。下图是光纤光栅粘贴示意图。

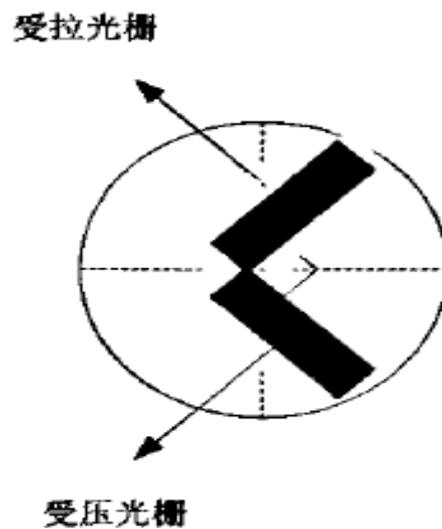


图 14 光纤光栅粘贴示意图

系统通过对光纤光栅传感特性与解调技术研究及对动态模型分析与动态称重信号处理技术的经验模态分解算法处理动态称重信号。该系统已成功应用于高速公路超限超载的收费站中，但由于性价比的原因还无法大力推广。

#### 5、光纤技术在铁路超偏载的应用

列车超偏载和车轮踏面损伤是关系到铁路运输安全性的重中之重。鉴于我国铁路货

运安全的考虑，我国铁道部门出台了铁路运行超偏载的规定。武汉理工大学光纤传感技术国家工程实验室最新推出了一种基于光纤布喇格光栅的铁路线路分布式称重监测系统。传统的基于电阻应变式称重传感器的使用虽然应用较广泛，但由于现场的电信号难以满足铁路的严格要求，而 FBG 光纤布喇格光栅传感具有长期监测，精度高，耐腐蚀，特别是现场无电信号等特点，克服了传统传感器的不足。本方案现场安装无需焊接和钻孔施工，结构简单，便于维修和更换，不影响列车出的正常运行。结合光纤光栅成熟的封装技术，使得该系统能长期在恶劣环境下稳定工作。下图为阵列式现场监测分布图。

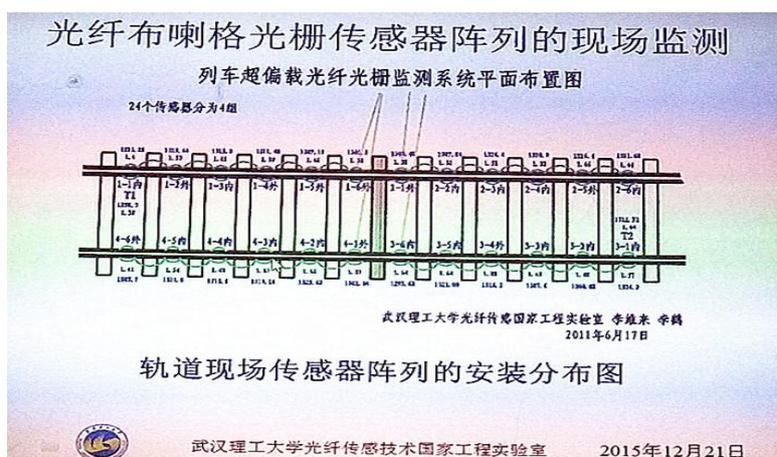


图 15 铁路分布式称重监测系统分布图

## 6、光纤技术在电力输送线覆冰称重装置上的应用

一种《输电线路覆冰荷载监测用光纤光栅称重传感器的设计》<sup>[6]</sup>，由华北电力大学研制成功。该传感器的最大优点是替代了传统电阻应变式称量传感器，通过测量光纤光栅中心波长的变化反应导线悬挂张力，根据覆冰载荷计算模型，得到线路覆冰载荷。安装程序简单，在恶劣环境下使用寿命长，非线性误差小，不受电磁干扰影响。通过实验室加卸载试验表明，在 0-40kN 载荷范围内线性度为 0.9998，灵敏度为 43.4N/pm，达到设计要求。

## 7、光纤技术在海洋钻井大型浮吊称重装置上的应用

《光纤光栅称重传感器在大型海上浮吊中的应用》<sup>[7]</sup>介绍了一种基于光纤光栅称重传感器的大型海上浮吊臂结构状态监测称重系统。与传统的基于电阻应变称重传感器的大型海上浮吊臂结构称重系统相比，本系统具有体积小、重量轻、耐腐蚀、抗电磁干扰能力强、灵敏度高等特点。并提出了基于光纤光栅波分复用称重传感系统。并设计了一种等强度悬臂梁式和受压薄膜复合结构的称重传感器。结构示意图如下：

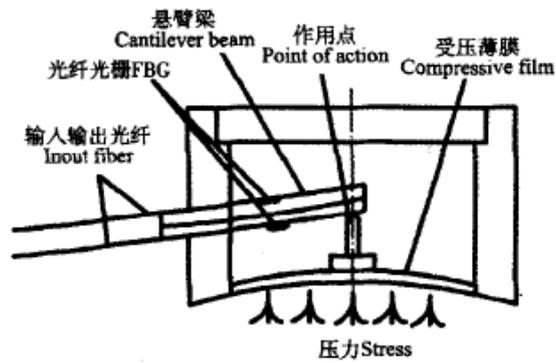


图 16 浮吊臂状态监测称重结构图

本方案利用光纤光栅轴向应力特性提出了悬臂梁与受压弹性体的结构形式；通过温度补偿和迟滞效应，克服温度特性的交叉影响；通过波分复用实现多点同时实时在线的健康监控。

#### 四、光纤传感技术在衡器行业的应用展望

应用光纤传感技术的电子秤，我们可称其为“光子秤”。光子秤由于其具有普通电阻应变式传感器无法比拟的计量特性。因此如何发挥其超高精度、超大测量范围、长距离多点分布式计量以及高速、抗震动、抗电磁干扰、耐高温等特点应用于衡器行业是今后的发展课题。

##### 1. 光子秤对提高衡器准确度的优势

相位调制型传感技术是光纤传感技术中最基本的传感技术。因为这种检测技术以波长（指所用的光源的波长）为单位，所以它最灵敏，在精度上可测量到的最小相位变化为  $10^{-7}$  rad, 光源波长为  $1.55\mu$ ，所对应的光程差为  $25 \times 10^{-14}$  米，因此高精度的长度检测要用相位调制传感技术”<sup>[8]</sup>

下图是应用相位调制传感技术的马赫—曾德光纤传感器原理图。

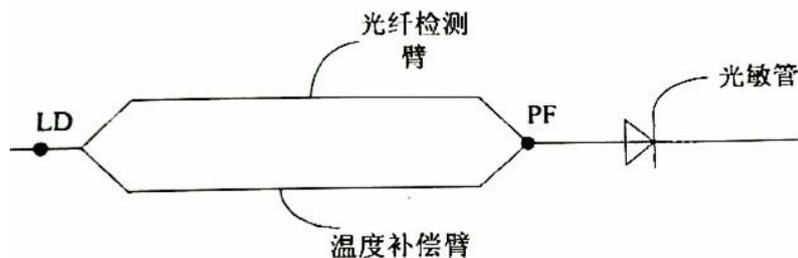


图 17 马赫—曾德光纤传感器原理图

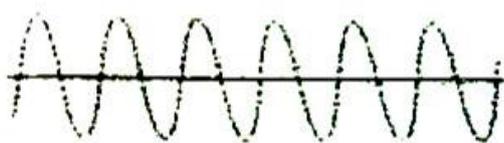


图 18 正弦波光强变化示意图

与电子秤相比，双光束的光纤干涉型传感器增加了根据用户要求提高测量精度的功能。

首先将光波的特高频在干涉后得到了一串正弦波的光强的周期性变化，从特高频降低为低频的正弦波列，对光子秤而言是重量调制了光的相位（即 rad 或弧度）。我们可调制光波长的数量，解决的具体方案是：从秤台的厚度、面积等几何参数的变化，还可从光子秤所用光纤的长度成正比的增加等措施。该方案可以将测量变成单纯的数波数。至于波列出现的速度可用加载速度调制的方法，例如动态汽车衡的不停车称重，加载速度增加则要求计算速度随之加快。

在一个波长中还包括着大量信息，这一个波长是所用光源的波长，即当光纤在计算机的自编程中可应用细分技术增加 10 倍甚至百倍，这样在一个波长作单位(1 微米量级)基础上加上光纤长度及细分两项的乘积，其分辨率及灵敏度有了大幅提高，使这类光子秤的灵敏度达到了光纤传感器的高峰。大大提高了光子秤可重复的灵敏度，从而可大幅度提高衡器的称重准确度。

## 2、光子秤在扩展称量范围上的优势

在称重领域如何在一台衡器中扩展称量范围有时显得很重要，主要有如下的应用领域：

(1) 邮件自动分选秤、电子邮政秤的应用；如称量范围既能称一封信、又能称一个包裹，要用一台组合式的衡器比较麻烦，虽然在国际上已经诞生了串联式复合称重传感器结构形式的电子秤，但存在相邻称量范围间数据的光滑过渡与长期稳定性等问题。另外还能使自动化生产线适应新产品更改，避免衡器的变动。

(2) 大皮重小称量的工业原料配料秤的应用。在国民经济领域中大量工业原料的配料系统，由于现场生产工艺的需要在一台料斗秤上实现各种不同配比、不同重量的原料进行混合配料。而采用普通电子应变式称重传感器结构形式，无法满足上述大称量范围的计量要求。有时往往一个配方既要加小到只有几克的原料，而又要达到数千克的原料，其称量范围达到百倍、千倍。还有一个特点是料斗秤的斗体大皮重，而需要的是小

称量。这些问题在以往的衡器制造商的结构方案设计中采用了机电结合的结构，即采用小量程的称重传感器与机械杠杆结合的形式。其缺点是结构复杂繁琐，维护困难。

针对上述两个问题，光子秤具有这方面的优势：因为现在用的石英光纤其技术指标表明，其弹性应变范围伸长量为 1.5%，而且可以长期正常工作。即 1 米长的光纤可伸长 15mm，如果最大秤量设计为 500 公斤，分度值可达 15 克，在同一台光子秤上如果秤量减小到 50 公斤，其分度值可达 1.5 克。当然随着光纤技术的不断发展，在光纤传感技术上还可能采用其它方法来解决扩展称量范围的难题。

### **3 . 光子秤在减小衡器机械振动及抗电磁干扰方面的优势**

随着一些工业计量的使用场合要求高精度称重及电气安全，现场需要减少振动和抗各种电源及电磁干扰。光子秤的优势就显现出来，以下可分为五种情况：

(1) 周围环境引起的光纤秤的承载器的上下振动，由于光纤是在平面内产生伸长与缩短，故这种振动干扰的影响不起作用，这一点已在实践中得到证实。

(2) 垂直于承载器平面的附加的振动式作用力，考虑到上下振动在光纤伸长与缩短上的相互抵消的结果，在光纤秤的情况下会相对减小。

(3) 如在紧挨光纤承载器的上方插入减振层以达到减振的情况下，会增加光子秤负荷，或在小称量下会降低检测灵敏度。这时光子秤动态范围大的优势就可弥补这种降低，使这种减振的方法较好达到目的。

(4) 光纤干涉型传感器是以加载重量产生的明暗相间的干涉波转换成电信号波形后，以波形的频率来计量加载的重量的，是频率式的计量，因此可不受光源强度与电压大小波动引起的对信号幅度的影响，对计量的重复性、稳定性和提高精度起到基础性的作用。

(5) 在工业衡器的秤体现场光纤传感器采用了无源方案，即现场无需电源，可大大提高现场称重装置的抗电源及各种电磁干扰的能力。

### **4 . 光子秤对提高输送皮带式衡器测量速率的优势**

由于光纤传感器是采用传感光纤通过胶粘剂与承载器的弹性体固定在一起，

由负载重量引起的光纤长度的变化是由金属板的变形来控制的，金属的弹性模量比光纤要大得多，所以这时光纤的变化频率要大为增加，即光子秤的测量速率（每分钟测量的件数）可有较大的增加空间。

### **5 . 光子秤在高温应用场合的优势**

石英光纤的纤芯和包层材料具有很好的耐热性，耐热温度达到 400℃~500℃，所以光纤的使用温度取决于光纤的涂覆材料。碳涂覆光纤的表面致密性好，而且梯型硅氧烷聚合物（LSP）涂层的热固化温度达 400℃以上，600℃时的光传输性能和机械性能仍然很好，可以应用在需要高温称重的场合。

## 6. 光子秤在长距离多点分布式称重系统应用的优势

根据目前光纤传感技术应用最多的建筑、大桥、水利大坝等应力与温度测试的特点，一旦应用在称重领域，可以扩展成具有多点分布式同步检测重量的功能。例如铁路线货车超偏载可实现长期监测，具有耐腐蚀、耐高低温、长期稳定的特点。又如，在工业原料配料称重系统中的群仓、排仓结构的称重系统中采用分布式、阵列式称重系统实现多点称重与检测功能，多点称重只要一个控制检测系统，可以大大降低配料称重系统的成本，并且提高系统的稳定性。光纤传感技术应用也可进一步延伸到多头称重的组合秤和多头重力式自动装料称重系统中。

## 五、结束语

本文从光纤技术的原理出发，重点对于光纤技术的应用特点及现状进行了较为详尽的阐述，并对光纤传感技术在衡器行业的最新应用领域进行了介绍。超高精度、超大测量范围、长距离多点分布式计量以及高速、抗震动、抗电磁干扰、耐高温是光纤技术潜在的优势特点。客观地说，光纤传感技术在衡器上的应用（我们称作为“光子秤”）其现状无论从技术还是应用领域还远远不能满足衡器行业科技创新的实际需求，还有许多有待研发的课题与开拓的领域如下：

- （1）光纤传感称重机理的研究，开拓新型超高精度光纤称重传感器；
- （2）光纤传感技术用于称重领域的特殊光纤材料和器件的研究。例如：光纤与保护层的粘结力工艺，新型称重光纤的研究；
- （3）提高光子秤与光纤称重系统的性价比；
- （4）优势特征诸如超高精度、超大范围、多点分布式计量等应用领域的进一步拓展。

在现代高科技发展的时代，我国衡器业紧跟时代潮流，有创新的光荣历史与理论与实践结合的经验。在国家大力提倡创新发展的形势下，光纤传感技术在称重领域的应用研究和应用成果势必会得到大力发展和推广，相信我国衡器行业在不远的将来，一定会不断拿出中国原创的高端光子秤产品走向世界。

## 参考文献

- [1] 廖延彪《光纤传感器的今日与发展》清华大学电子工程系[J]2005
- [2] 庞锦《光纤传感皮带机动态称重方法研究》武汉理工大学硕士论文[D] 2015. 7. 30
- [3] 张林葵《汽车摩擦材料光纤光栅自动称料装置》实用新型专利 201060037, 2008. 5
- [4] 陈晓竹《绞合式光纤称重传感器的研究》中国计量学院[D]1999. 6
- [5] 刘柱《基于光纤光栅的动态称重系统研究》武汉理工大学硕士论文[D] 2007. 4
- [6] 马国民等《输电线路覆冰荷载监测用光纤光栅称重传感器的设计》[J], 高电压技术 2010. 9
- [7] 祁耀斌等《光纤光栅称重传感器在大型海上浮吊中的应用》中国海洋大学[D], 2012. 9
- [8] 江毅编著《高级光纤传感技术》 科学出版社 [M]2009. 2