

文章编号:1002-2082(2006)01-0069-04

用于石油罐的光纤传感液位测量系统

王忠东^{1,2}, 王玉田²

(1. 大庆石油学院分院, 河北 秦皇岛 066004; 2. 燕山大学 电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 许多石油化工企业的油品储存罐仍使用着靠人工读数的浮子式液位测量装置,其工作效率低、误差大,而且无法实现自动化控制和管理。针对这种情况,采用先进的光纤传感技术在人工浮子液位计的基础上研制了一种新型的液位测量系统。该系统利用力平衡原理测量液位,利用光纤传感器探测和传输信号,采用自制的光码盘实现光信号的调节。该系统的现场测试结果表明,系统在测量范围为0~1 000 mm时,测量误差 $\leq \pm 6$ mm、相对误差 $< 2\%$ 。现场应用表明,该系统的各项性能指标符合生产要求,并且运行稳定,性能可靠。

关键词: 光纤传感技术;液位测量;石油储存罐

中图分类号:TQ056.1⁺4; TN253

文献标识码:A

A fiber-optic sensing liquid level measuring system for oil storage tanks

WANG Zhong-dong^{1,2}, WANG Yu-tian²

(1. Daqing Petroleum Institute, Qinhuangdao 066004, China; 2. College of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: The floater-type measurement devices with their readings recorded manually are still used in many petro-chemical enterprises. With regard to their low efficiency, great error and their improbability in implementing automation management and remote control, a new liquid level measuring system with the advanced fiber-optic sensing technology based on the traditional floater level meter is developed. It measures the liquid level of an oil tank by using the principle of force balance, captures and transmits optical signals by means of the fiber-optic sensors, implements optical signal modulation with the self-made light code disc. Moreover, It was tested in a chemical plant. The testing results indicate that the measurement error is $\leq \pm 6$ mm, relative error is $< 2\%$ when its measuring range is 0~1 000 mm. It is proved that every specification of the system meets the demands of its users and its performance is reliable.

Key words: fiber-optic sensing technology; liquid level measurement; oil storage tank

引言

在油田和石油化工等企业中使用着大量存放油品的储罐。储罐的液位检测非常重要,因为存放油品都是根据液位来控制的。目前,多数油罐仍采

用机械浮子式液位测量装置,而且是靠人工的方法来记录和判断液位,其工作效率低,误差大,且无法实现自动化控制和管理。针对这些情况,我们利用光纤技术对浮子式液位计进行了重新设计,研制了

收稿日期:2004-05-18; 修回日期:2004-09-12

基金项目:黑龙江省自然科学基金资助(F0312)

作者简介:王忠东(1968—),男,山东青州人,副研究员,大庆石油学院教师,燕山大学博士研究生,主要从事光纤传感和光电检测技术的研究。

一种浮球式光纤传感液位系统。光纤是一种新型材料,具有许多独特的性能,主要包括:传输性能好,损耗低、精度高、可靠性高,不受电磁干扰等。

1 光纤液位测量系统

该系统采用了双光源、双信号通道结构。每路主要由光源、液位检测装置、光纤传感器(探头)、信号处理部分(二次仪表)组成。液位检测装置利用油罐的液位变化来调制光纤传感器中的光信号,使它发生脉冲变化,再由光电转换元件转换为电信号,由二次仪表处理并显示相应的液位数值。系统结构框图如图1所示。

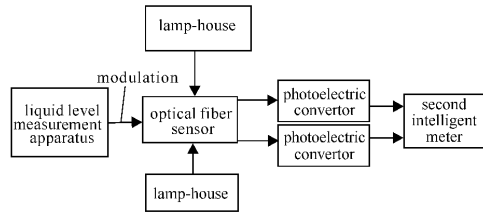
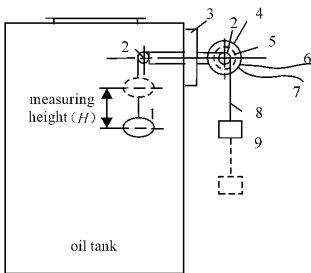


图1 系统结构框图

Fig. 1 The schematic diagram of the measuring system

该液位检测器采用浮力和力平衡原理。它主要由浮球、法兰、链轮、牵引链条、平衡锤构成。工作原理如图2所示。浮球由牵引链与重锤相连,通过2个相同链轮传动,外链轮与光纤传感器的主轴连接,将浮球的上下运动经过链轮传动到传感器中的光学编码器,转换为光学编码器的转动。光学编码器由光码盘和轴组成,其结构如图3所示。



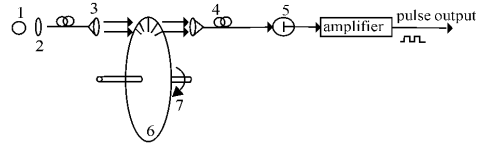
1. floating ball; 2. chain-wheel; 3. flange; 4. opical fiber sensor; 5. light code disc; 6. input fiber; 7. output fiber; 8. drag chain; 9. balance weight

图2 光纤传感液位测量系统工作原理图

Fig. 2 Working principle diagram of fiber-optic liquid level measuring system

光纤传感器主要由LED光源、光纤、2组固化的聚集式光纤探头、光码盘等组成。其工作原理如图3所示。光纤探头是光纤传感器的关键部分,探

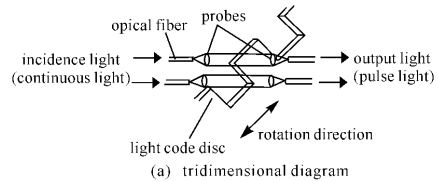
头中输入光纤和输出光纤的端面分别固定在2个聚集透镜的焦点上,聚集透镜之间就形成了平行光。采用可靠的固化措施,将其与光码盘室外壳镶嵌连接,严格使探头两边的透镜光轴中心线对正,确保这一精密光学器件的正常工作。其安装位置示意图如图4所示。



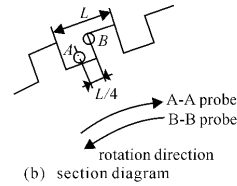
1. lamp-house; 2. convex lens; 3,4. fiber probes; 5. photosensor; 6. light-code disc; 7. axis

图3 光纤传感器原理示意图

Fig. 3 Principle diagram of fiber-optic sensor



(a) tridimensional diagram



(b) section diagram

图4 光码盘及光纤传感器的安装结构图

Fig. 4 The mounting position diagram of the fiber-optic sensor and light-code disc

光码盘是一个沿圆周刻出与液位变化相对应的100个齿孔的薄盘。当光码盘因被测液位变化而转动时,它对两个光纤探头内的红外光分别进行调制即遮挡或通过,使之成为交变光。调制后的2组光信号返回各自的光纤中,沿光缆传输至光电转换器件,从而产生一连串的电脉冲。采用2路光纤探头是因为不仅要记录液位变化的大小,而且要判断液位变化的方向。设2路光纤的中心距离为脉冲周期长度的1/4,以便于计数处理。

光码盘工作时,有顺时针和逆时针2种转动方向,即液位发生上升或下降。也就是说,它对光纤传感器中的光有2种调制方向,结果会产生2种光脉冲。如果光码盘顺时针转动,A探头和B探头的信号变化按:A有光,B无光;A有光,B有光;A无光,B有光;A无光,B无光的规则循环进行。若光码盘逆时针旋转,A探头和B探头的信号变化则

按:A有光,B无光;A无光,B无光;A无光,B有光;A有光,B有光循环进行。光脉冲如图5所示。

从图5可以看出,2路光脉冲叠加的一个周期 T 内,有4种不同的状态。光电转换装置与计数处理系统正是根据光路的这一特点进行工作的。这取

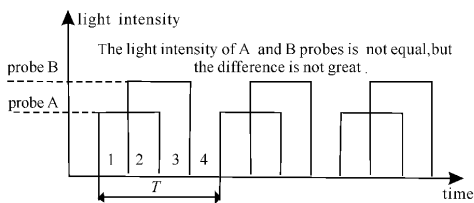


图5 光脉冲图(光盘顺时针转动)

Fig. 5 The light pulse diagram (clockwise)

决于液位检测装置机械系统的传动关系,也就是浮球的升降高度与光码盘的齿孔距离的关系。假设浮球升降高度差为 H ,光码盘将转过的齿孔数为 M ,即输出 M 对脉冲,并形成 $4 \times M$ 个排列均匀的脉冲前后沿,则

$$L = \frac{H}{M}$$

$$h = \frac{L}{4} = \frac{H}{4M} \quad (1)$$

式中, L 为一个齿孔的距离(如图5所示),即每对脉冲的液位变化; h 为四分之一脉冲宽度,即每一个脉冲的前沿或后沿表示的液面变化。

(1)式是本系统测量液位的基本关系式。从式中可以看出 h 值越小,测量越准确,即分辨率越高。

设液位初始高度为 H_0 ,总高度为 Y ,则

$$Y = H_0 + LM \quad (2)$$

或

$$Y = H_0 + 4hM \quad (3)$$

经调制的光脉冲信号由2路输出光纤到达各自的光电转换器。每只光电转换器接收的光信号来自光路始端的红外半导体发射器LED光源,它可以连续工作 10^5 小时。光敏器件采用了硅光电池PIN,把光缆传来的光脉冲变为电脉冲,并经放大、整形成为标准的CMOS电压信号传输给智能二次仪表(单片机控制仪表)。本系统的光纤对光的衰减很小,仅为3 dB/km。光脉冲信号经光电转换器转换后的电平再放大后比电路所需的门坎电平大几十倍,足以保证其工作的可靠性。

智能二次仪表由单片机和二次仪表组成。它有判向、计数、补偿、显示和报警功能。来自光路转换器的2路脉冲信号被送入由触发器和模拟多路开关组成的可逆辨向电路,将每对光脉冲的4个状态变为4个 h (四分之一脉冲宽度)的数字变化,辨向逻辑图见

图6。它还可以存储并向数字显示功能板输出BCD码数字信号。该电路除了具有判断、记录光码盘的转动方向和脉冲个数的作用外,还可以防止光码盘在任何位置晃动引起的误差,使误码率为零。

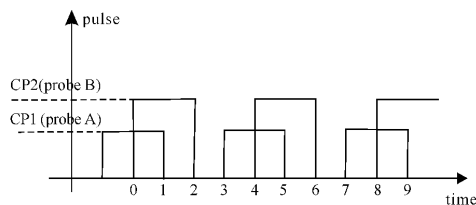


图6 电脉冲辨向逻辑图(光盘顺时针转动)

Fig. 6 The directional interpreting diagram (clockwise)

经过可逆辨向电路后的输出信号,送入数字显示功能板,它的显示驱动芯片直接将输入的BCD码十进位数送到5个数码管,以毫米为单位显示界面高度,并以41线光柱模拟显示液面在罐内的位置。仪表还有标准的4~20 mA的模拟信号输出,可以供计算机或记录仪等使用。

2 试验结果及分析

2.1 试验结果

本文设计的液位系统的浮球升降高度为1 000 mm,光码盘转过100个齿孔,由(1)式可知每个脉冲的宽度为10 mm,即计数器每计一个脉冲,液面变化10 mm。试验数据见表1。

表1 测试结果(20个数据)

Table 1 The experimental results of 20 data

No.	counter (entries)	secondary meter display/mm	theoretic value/mm	absolute error/mm	relative error/%
1	5	50	50	0	0.00
2	10	102	100	2	2.00
3	15	153	150	3	2.00
4	22	203	200	3	1.50
5	25	252	250	2	0.80
6	33	333	330	3	0.91
7	38	384	380	4	1.05
8	42	423	420	3	0.71
9	48	484	480	4	0.83
10	50	503	500	3	0.60
11	54	540	540	0	0.00
12	59	593	590	3	0.51
13	63	628	630	-2	0.32
14	66	657	660	-3	0.45
15	70	696	700	-4	0.57
16	74	735	740	-5	0.68
17	78	774	780	-6	0.77
18	80	796	800	-4	0.50
19	88	875	880	-5	0.57
20	100	994	1000	-6	0.60

从表 1 可以看出,在测量范围内(0~1 000 mm),测试的 20 个数据绝对误差差在 0~6 mm 之间,相对误差在 0~2.0% 之间。随着测试数据次数增多,绝对误差相对减小,测量准确度提高,可以满足实际需要。

2.2 测量结果误差原因分析

当浮球运动时,其运动通过链条传到传感器主轴,主轴的转动再带动光码盘转动,并将调制成的光脉冲传送出去。光脉冲等同于数字信号,在以后的转换中也是数字信号之间的转换,这一过程中误差相对较小,可以忽略。但是,该系统的液位检测装置中的链条传动和齿轮传动机构存在着不可避免的机械制造和装配精度误差,所以这是误差的主要来源。此外,光码盘的齿孔制作精度、分布均匀性等也对测量带来很大误差。但是本液位系统主要是用于监测大型储油罐的液位,测量范围一般在 0~10 m,而且要求的精度相对不高,所以本文所设计的光纤检测系统能够充分满足生产需要。

3 结束语

本文设计的光纤传感液位系统安装在石油储运企业、化工厂的大型储油罐区,为企业的自动化

管理提供了检测信号。该系统已在中国石油秦皇岛化工有限公司进行了实际测试,各项性能指标完全符合要求。经过 1 个月的连续运行,没有发生机械位移和检测系统的零点及量程漂移,达到了研究的目的。该系统的研制成功为油气储运企业,旧设备改造和远程自动化管理与监测提供了必要条件。

参考文献:

- [1] 姜德生,黄晓华,王立新. 一种新型的磁弹性静力测量系统[J]. 中国仪器仪表学报,2000,21(1):335-349.
- [2] 赵 愚,姜德生. 一种新型智能光纤传感器的研制与应用[J]. 石油化工自动化,2003,40(4):76-78.
- [3] 赵 愚,姜德生. 光纤传感与控制技术在油田联合站的应用研究[J]. 武汉理工大学学报:信息与管理工程版,2002,21(3):42-45.
- [4] 张国忠,赵家贵. 检测技术[M]. 北京:中国计量出版社,2001.
- [5] Liang L. Application of fiber optic sensor technology in anchor monitoring[J]. SPIE,2000,4223:73-77.
- [6] Cheng M. Loss measuring and process monitoring in splicing of two different fibers[J]. SPIE,2000,4223:53-58.

(上接第 68 页)

2 结 论

本文介绍了一种采用基于光纤光栅温度传感器外差探测温度的新技术,系统结构基于折叠式 M-Z 干涉仪,能够测量瞬时温度或温度的平均值。仿真结果给出了其动态测量范围,我们可以通过改善测量灵敏度来提高测量范围。

参考文献:

- [1] Kersey A D, Davis M A, Partrick H J, *et al.* Fiber grating sensors [J]. Journal of Lightwave Technology, 1997, 15(8): 1442-1463.
- [2] 马卫东,施伟,付浩军,等. 光纤光栅传感器的工作原理及研究进展[J]. 光通信研究, 2001(4): 58-62.
- [3] Liu Yunqi, Guo Zhuanyun, Zhang Ying, *et al.* Simul-

taneous pressure and temperature measurement with polymercoated fiber Bragg grating [J]. Electron Lett, 2000, 36(6): 564-566.

- [4] Xie Fang, Wang Hui-qin. A fiber Bragg grating sensing system with a fiber F-P wavelength filter [J]. 光电子·激光, 2003, 14(4): 359-362.
- [5] Kim Sungchul, Kim Seungwoo, Kwon Jaejoong, *et al.* Fiber Bragg grating strain sensor demodulator using a chirped fiber grating [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2001, 8(13): 839-842.
- [6] Peng peng-chun, Lin Jia-he, Chi Sien, *et al.* Intensity and wavelength-division multiplexing FBG sensor system using a tunable multiport fiber ring laser [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2004, 16(1): 230-232.