

光纤点式液位传感技术的研究现状

马丹¹ 葛俊锋¹ 叶林² 张红杰² 黄华辉² 薛双喜²

(1. 华中科技大学自动化学院 武汉 430074; 2. 四川泛华航空仪表电器有限公司 成都 610500)

摘要: 光纤液位传感器由于其具有电气隔离、抗电磁干扰、耐腐蚀等特性, 适合在易燃易爆的环境下安全工作。光纤传感器一般都是根据光导纤维中的光信号在不同介质中传输特性不同, 来对液位进行测量。光纤液位传感器包含连续液位传感器与点式液位传感器, 点式液位传感器用于对特定液位点进行指示和报警。本文介绍了基于光的受抑全内反射、菲涅尔反射、光的散射、光纤的弯曲损耗 4 种原理的光纤点式液位传感器, 并分析了每种传感器的结构与工作原理、精度等重要性能及优缺点, 最后描述了其发展现状与趋势。

关键词: 液位传感器; 光纤传感器; 点式液位传感器

中图分类号: TH71 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.40

Review on fiber optic point liquid-level sensors

Ma Dan¹ Ge Junfeng¹ Ye Lin² Zhang Hongjie² Huang Huahui² Xue Shuangxi²

(1. Department of Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. AVIC Sichuan Fanhua Aviation Instrument & Electric Co., Ltd, Chengdu 610500, China)

Abstract: Fiber optic liquid-level sensor has many excellent properties, such as electric isolation, resistance to electromagnetic interference, anti-corrosion etc. And it provides safe operation in inflammable and explosive environment. Fiber optic sensors measure the liquid level generally based on different transmission characteristics of optical signals in different media. It comprises continuous liquid level sensors and point liquid level sensors. Fiber optic point-level sensors can indicate the liquid level and give an alarm at certain levels. This paper introduces four kinds of fiber optic point-level sensors based on different principles, including total internal reflection, Fresnel reflection, scattered light, and bending loss of the optic fiber. The structure, principles, advantages and disadvantages, and important performances, such as precision of each sensor are described in detail and their development status and trends are given finally.

Keywords: level sensor; fiber optic sensor; point liquid-level sensor

1 引言

在石油、化工、储罐和航空等领域, 液位实时准确的测量对生产安全起着至关重要的作用。电容式液位传感器是一种常用的液位测量方法, 其原理是利用空气与被测液体的介电常数不同, 当液位高度变化时导致输出电容值不同来测量液位高度。电容式传感器^[1-2]成本低、结构简单, 可以用于高温高压的环境中, 但其需要事先知道被测液体的介电常数, 从而精度不太高, 还需要定期维修与重新标定, 且燃油中的水污染^[2]会造成传感器虚警, 当水沉入油箱底部甚至会造成电极之间短路, 高电磁辐射也会产生火灾隐患。

为了克服传统电容式传感器的精度不高, 需要定期维修与重新标定等缺点, 研究者一直致力于寻找更加安全可靠、更高精度的替代品。超声波传感器^[4-5]是近年来非接触式测量中发展最快的一种, 其原理是利用超声波在不同介质分界面上产生反射来测量液位高度。该传感器不接触被测液体, 可以用于高粘度、强腐蚀性、有毒性液体的测量, 且发射和接收电路简单, 测量精度比电容式有所提高, 但是其测试容易有盲区, 当液面晃动时测量误差较大。

随着光纤技术的迅猛发展及其良好的电气隔离特性, 较强的抗电磁干扰能力, 耐腐蚀、耐水等一系列优点, 光纤式传感器在液位测量领域受到广泛关注^[6-7]。光纤液位传感器一般由发射光纤、接收光纤、发光管、接收管、光电转

换电路、信号处理电路等组成。其主要根据光导纤维中的光信号在不同介质中传输特性不同,以对液位进行测量。其设计总体原理如图1所示。

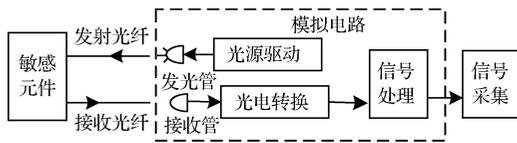


图1 光纤液位传感器总体设计原理

光纤液位传感器分为连续液位传感器与点式液位传感器,点式液位传感器用于对几个固定位置的液位点进行检测,以对该点进行指示或报警。本文分别介绍了基于光的受抑全内反射^[8,8-12]、“菲涅尔”反射^[13],光的散射^[14],光纤的弯曲损耗^[15] 4种不同原理的光纤点式液位检测方法。

2 基于受抑内全反射原理

当光由折射率较大的光密介质进入折射率较小的光疏介质时,如果入射角大于临界角,光线会停止进入另一界面,而全部向内面反射,这种光学现象就叫全内反射。基于该原理,提出了一种光纤点式液位传感器。该传感器由一个小型的光学折射检测元件、光纤、发光管和接收管组成,此传感器可以分为由一根光纤组成的单光纤点式液位传感器和两根光纤组成的双光纤点式液位传感器,如图2和图3所示。以双光纤传感器为例,介绍基于全内反射光纤点式液位传感器的工作原理,其原理是发光管发射的光经过传光光纤到达光学折射检测元件。当检测元件在空气中时,光在该元件表面发生内反射,并通过接收光纤被接收管探测到。当检测元件在液体中时,全内反射消失,接收管接收到的光量较少。通过检测接收管中的光量,就能判断传感器在液体还是空气中。

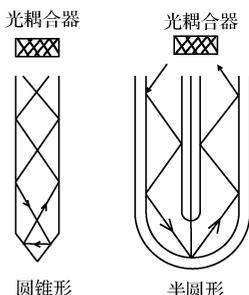


图2 单根光纤全内反射液位传感器原理

受抑全内反射的光纤点式液位传感器关键在于光学折射检测元件结构的设计,光学折射检测元件形状有圆锥形^[8-9]、半圆形^[10-11]、三棱镜形^[3,12]。其中圆锥形的光学折射元件可以是一根或两根光纤通过电弧加热拉制或机械研磨而成。由于产生全内反射对圆锥形状精确度要求很高,但通过电弧加热拉制而成的圆锥形的精度难以掌握,

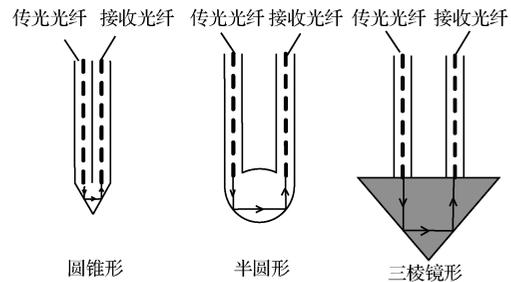


图3 两根光纤全内反射的液位传感器原理

制作的达到要求的圆锥尖端的成功率不高。机械研磨出的圆锥的精度较高,圆锥尖端成功率较高。半球形光学折射元件可以是将一根光纤做成端部是半球形或将两根光纤末端熔接成半球形,或玻璃半球代替,价格便宜,但是在振动情况下容易断裂和损坏。三棱镜形是将两根光纤与三棱镜粘在一起,此光学折射元件不但体积较大,而且裸露部分也较大,长期使用易受被测液体的污染与腐蚀。

基于该原理的传感器的精度都比较高,重复精度高达 $\pm 0.1\text{ mm}$;粘附在光学折射元件侧面上的液滴较少,主要集中在光学折射元件的底部,可能造成“虚警”现象。如图3所示的半球形传感器已经被用于测量存储罐中的液态氮,还可以用来测量其他低温液体。

3 基于“菲涅尔”反射原理

基于“菲涅尔”反射的光纤点式液位传感器根据光在不同介质中的折射率不同,使得折射与反射的光量不同。如图4所示的光纤液位检测器系统由一个LED光源,2×2光纤耦合器,PIN二极管探测器和4根光纤组成。

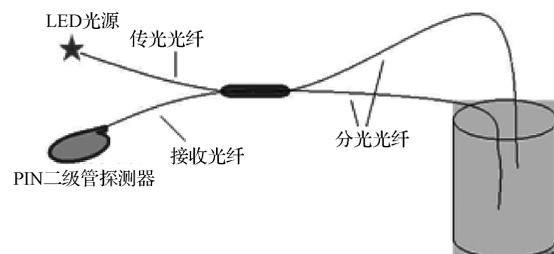


图4 基于“菲涅尔”反射的液位传感器原理

其工作原理是LED光源发射的光通过传光光纤到达2×2光纤耦合器时,将会被分成两路,两路光信号经分光光纤当到达光纤底端(探测端)时,根据菲涅尔反射原理,大部分的光会折射进入被测液体中,一小部分光会通过光纤被反射回去,反射回来的光经分光光纤到达耦合器后,通过接收光纤被一PIN二极管探测器捕捉到。由于空气与被测液体的折射率不同,折射进入介质中的光量是不同的,因此被反射回来的光量也不同。通过检测PIN二极管探测器检测接收到的反射光量就可以判断光纤是否接触到了液体。

上述所示传感器具有使用安全、结构简单、小巧轻便、价格便宜等优点,可以用来测量液、油、水等不同液体。

4 基于光的散射原理

基于光散射的光纤点式液位传感器是由一根输入光纤,两根输出光纤,光电转换器,传感器探头组成,如图5所示。其中传感器的测量端为楔形,其中一根发射光纤和两根接收光纤平行分布,每束光纤等面积分布在楔形端面上。两根接收光纤为接收光信号并作参考差分,以消除温度等外界环境的干扰。

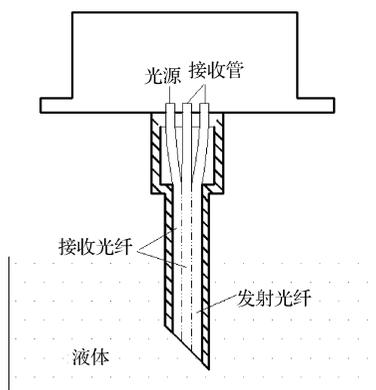


图5 基于光的散射的液位传感器原理

它的工作原理是发光管发射一束光从发射光纤一端入射后,光在光纤束内传播至楔形端面。当楔形端面传感探头未接触到液体时,由发射光纤发出的大部分光出射到空气中,接收光纤内基本没有光返回到接收管,因此接收光纤的差分信号为零。当传感探头接触到液体时,发射光纤发出的光经液体散射在接收光纤上,大部分光被接收光纤接收到,并返回到接收管。因此,楔形端面处有无液体,端面接收到不同光强的信号的传递特性不同,接收光纤的差分信号经放大后将远大于零,利用探测器及后续模拟电路检测接收光强的大小,就可以判断液面是否接触光纤传感器的楔形端面,从而判断油位的状态。

此处所用光纤为石英光纤,其本身传输特性受温度影响较小,采用对红外光敏感的光电器件能够降低环境中可见光的干扰,外加差分式的结构设计及光纤本身的抗电磁干扰特性,因此,这种液位传感器具有很强的抗外界干扰能力。探头底端楔形的结构设计大大降低了液滴黏附的干扰。在静态测量时,此传感器的测量精度为 ± 1 mm。

5 基于光纤弯曲损耗原理

光在普通光纤中沿直线传输时几乎不损耗,但当光纤弯曲时,光就会有一部分损耗。由侧发光光纤的特性可知,当传光光纤是侧发光光纤时,光的弯曲损耗就会增大。华中科技大学的赵呈锐等人^[3]提出了一种基于侧发光光纤的弯曲损耗的连续液位测量方法,本文对此做了一些改进用于对点式液位进行测量。光纤点式液位传感器是由

发光管、“U”型侧发光光纤、接收管3部分组成,如图6所示。其工作原理是发光管发出的光经过“U”型侧发光光纤传输后被接收管接收,由于空气与油的折射率不同,当“U”型光纤油位信号器在空气或水中时,光的损耗会不一样,从而接收管接收到的光量也不一样(油位的折射率比空气大,侧发光光纤在油位中的损耗较大,接收管接收到的光量较小)。通过测量接收管接收到的光量是就可以判断传感器在空气中还是油位中。将光纤点式液位传感器做成“U”型是因为光在直侧发光光纤在空气与油位中的损耗的差值较小,当侧发光光纤做成“U”型时,光的损耗在空气与液体中都有增大,且它们的差值也相应增大。这样当侧发光光纤在空气或油位中时接收管接收到的光量会有较大的不同。通过检测接收管的光量就可以判断侧发光光纤在空气还是水中。

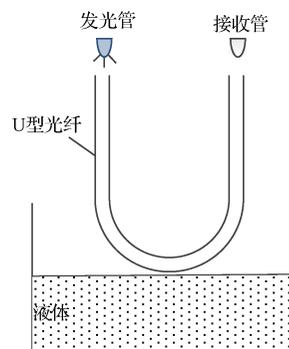


图6 基于侧发光光纤弯曲损耗的液位传感器原理

该光纤液位传感器的分辨率为1 mm,静态测量精度也很高。但目前市场上绝大多数的侧发光光纤是塑料光纤,其本身传输特性受外界温度影响较大,而这种光纤固定不方便,目前该技术尚处于原理性研究阶段。

6 结论

本文中提到的基于受抑全内反射的光纤点式液位传感器,主要在于传感器探头形状的精确设计,如上所示的3种不同结构的传感器都有液滴粘附现象待改进。基于光纤弯曲损耗的光纤点式液位传感器的“U”型结构不容易固定,光纤裸露部分较大,受燃油温度的影响较严重,尚处于原理性研究阶段。基于光散射的光纤点式液位传感器不但抗干扰能力强,无可动部件,安装方便,而且稳定性好,精度高,有很大的发展前景。

光纤液位传感器有着本质安全、电气隔离、抗电磁干扰能力强、精度高、响应快、价格便宜等诸多优点,但目前,大多数的光纤液位传感器受液滴粘附影响严重,且对被测液体自身的物理特性有较高的依赖。但随着光纤传感技术的发展以及液位测量难点的突破,光纤液位传感器将朝着结构更加多样化、产品更加成熟、应用领域更加广泛的方向发展。

参考文献

- [1] 张波. 分段电容式液位测量的研究[D]. 大连:大连海事大学,2010.
- [2] 怯肇乾. 精密电容液位传感器研究开发 Research and Development about Precise Capacitor-Sensor for Liquid-Position [J]. Instrumentation & equipments, 2015, 3(2):35-46.
- [3] 赵呈锐. 基于光泄漏原理的光纤式飞机燃油液位测量方法研究[D]. 武汉:华中科技大学,2013.
- [4] 金梅,王昌波,白任彦. 外贴式超声波液位开关在储罐上的应用[J]. 科技创新导报,2013(2):86.
- [5] 冯宪俊,王鑫,叶敏,等. 基于EFM32单片机的超声波物位计的研制[J]. 电子测量技术,2015,38(3):57-60.
- [6] 温瑞珩,郑守铎,叶玮. 基于光纤传感器的火箭发动机工作状态监控方法研究[J]. 国外电子测量技术,2013,32(7):38-40.
- [7] 刘铁根,王双,江俊峰,等. 航空航天光纤传感技术研究进展[J]. 仪器仪表学报,2014,35(8):1681-1692.
- [8] 李国哲,于清旭. 基于光纤受抑全内反射原理的高精度液位传感器研究[J]. 仪表技术与传感器,2004(2):50-51,54.
- [9] 管爱红,余小戈,王晓旭,林钧岫. 触点式光纤液位传感器传感头的制作及其应用[J]. 光学技术,2002(2):113-114,117.
- [10] PABITRA N, PRANAYEE D, KANAK C S. All fiber-optic sensor for liquid level measurement[J]. Microwave & Optical Technology Letters, 2008, 50(7):1982-1984.
- [11] KHOTIAINTSEV S N, ROMO-MEDRANO K, SVIRID V A. Optical-fiber discrete liquid-level sensor for liquid nitrogen[J]. Proc Spie, 2005:739-742.
- [12] 黄燕平,裴丽,简水生. 光纤液位传感器综述[J]. 光通信技术,1995(2):130-136.
- [13] MURSHID S H. Universal liquid level sensor employing Fresnel coefficient based discrete fiber optic measurement technique[C]. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 2014:9202.
- [14] ZHANG W, GONG Y, GE J, et al. An optical fiber point liquid level sensor[C]. Applied Optics and Photonics China (AOPC2015), International Society for Optics and Photonics, 2015:9679.
- [15] 葛俊锋,华滨,叶林,等. 一种基于弯曲损耗的点式光纤液位传感器 [P]. 中国专利:201521013773,2015-12-08.

作者简介

马丹,2014年于陕西科技大学获得学士学位,现为华中科技大学硕士研究生,主要研究方向为检测技术与自动化装置。

E-mail:1332519435@qq.com

葛俊锋,2003年于华中科技大学获得学士学位,2009年于清华大学获得博士学位,现为华中科技大学副教授,主要研究方向为光纤式燃油液位传感器、结冰传感器及探测技术、图像视频处理及模式识别等。

E-mail:gejff@mail.hust.edu.cn