

一种非接触式液位检测控制系统的设计与分析

田安华, 朱彦

(四川理工学院自动化与电子信息学院, 四川 自贡 643000)

摘要:文章主要介绍非接触式液位检测控制系统在工业液位检测中的应用及实现,由于非接触式液位传感器使用光电式传感器,因此,介绍了光电式传感器在工业液位检测中的设计和应用及制作,并对它的响应度、噪声误差分析。

关键词:非接触式液位检测;光电式传感器;误差;响应度;噪声

中图分类号:TB96

文献标识码:A

引言

随着人类进入信息时代,以信息的获取、转换、显示和处理为主要内容的检测技术已发展成一门完整的科学技术,在促进生产发展和科技进步的广阔领域内发挥着重要作用。一个完整的检测系统有传感器、测量电路和显示记录装置等部分完成信息获取、转换、显示和处理等功能,当然其中还包括电源和传输通道等不可缺少的部分。液位的检测方法可以分为两类:直接测量法(接触式检测)、间接测量法(非接触式检测)。

1 非接触式液位检测控制系统检测处理

1.1 液位检测控制系统的检测方式

直接测量法(接触式检测)如:差压变送器测量液位是属于直接测量法,在检测量为挥发液体时有其局限性。由于 $P = \rho g h$ 即压强 P 与液位 h 一一对应,所测得压差也就可以测得液位的高度。

间接测量法(非接触式检测)有:光电式传感器测量、电容式传感器测量、超声波传感器测量等多种类型,对于像水这样既无腐蚀又能导电的液体可用三电极法实现液位控制,对油、酸、碱等液体,有的不能导电,有的具有强烈的腐蚀作用,就不能用三电极法,可使用超声波传感器。

1.2 光电式液位传感器的设计与应用

光电液位传感器主要是由玻璃管液位计、光源和光

电二极管组成,一般大容器侧壁上都设有一只玻璃管液位计,以观测容器内的液位,利用原有的液位计进行液位取样。玻璃管中没有液体时,其他面相当于一个凹透镜,对于平行入射光线有散射作用,使管子背后受光很弱,产生一个暗影,如图1所示:

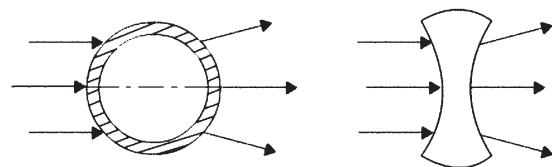


图1 玻璃管无水时光线通过情况示意图

而当玻璃管子中充满透明液体时,则形成一个圆柱透镜,对平行入射光线具有聚焦作用,使管子背后受光很强,产生一个亮影,见图2所示:

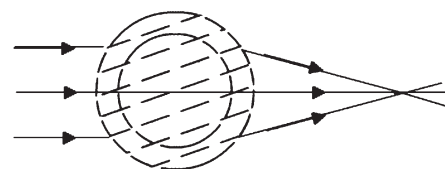


图2 玻璃管充满水后光线通过示意图

这样,光线的“明”与“暗”,就反映了管中液体的“有”与“无”,利用这一光学现象,在液位计上加装两个光电传感器探测两个高度上的液体有无,实现液位的自动检测。

2 液位检测控制系统电路

2.1 系统电路图

系统检测控制电路如图 3 所示:

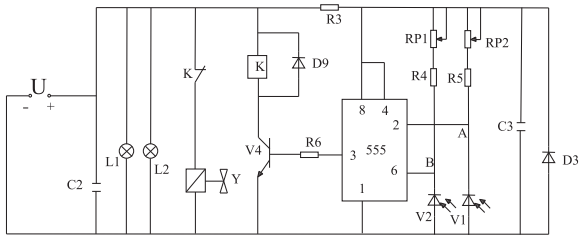


图 3 检测控制系统电路图

● 控制电路是采用 555 时基电路为核心,实现施密特触发器功能,完成液位的范围控制。

● 电源 U 使用设计的 24V 电源。

● 中间继电器采用的是 24V 小继电器。

● 如图所示, L1, L2 是 24V 指示灯泡, Y 代表的是电磁阀(常开型), K 为中间继电器, V1, V2 是光电二极管。

● 在电路的 A, B 处接声光报警器(光电液位传感器上、下液位)。

3 非接触式液位检测控制系统检测控制原理

水位信号的获得是采用连通器原理,将水罐中的液位传递到玻璃管连通器中,采用特殊的方法将水位信号转换成检测电路的输入信号,检测电路得到与水位相对应的电平信号后,该信号再次经过编码传送后,得到与水位相对应的数字信号,信号通过相关电路运算处理,得到检测结果,经过显示装置显示出来。

从系统可知,玻璃管与蓄水罐是一个连通的,整个部分是一个连通器。因此,玻璃管中的水位显示,就是蓄水池中的水位(或由于光线折射的原因与实际值相差一个固定的数值)。当玻璃管中没有液体时,其他面相当于一个凹透镜,对于平行入射光线有散射作用,使管子背后受光很弱,产生一个暗影,而当玻璃管子中充满透明液体时,则形成一个圆柱透镜,对平行入射光线具有聚焦作用,使管子背后受光很强,产生一个亮影,这样,光线的“明”与“暗”,就反映了管中液体的“有”与“无”。

在玻璃管没有水的时候(液位 A 和液位 B 都没有水),在玻璃管的另一侧就形成了一个阴影部分。整个阴影投影在光电二极管 V1、V2 上,这个时候 V1、V2 没有光照(或光照十分的微弱),由于光电二极管对光照的敏感程度非常大,因此,如果光电二极管被遮挡,光电二

极管就会处于高阻状态,由原来的导通状态转变为截至状态,于是 A、B 两点的光电二极管输出为高电平,这是信号进入 555 电路,从而 555 的③脚输出为低电平,这样,三极管 V4 截至,中间继电器 K 线圈就得不到电,电磁阀 Y 工作,往蓄水罐内蓄水。

随着蓄水罐内的水位增加,液位 B 处的玻璃管有水,这时在玻璃管的另一侧,光线聚集变强,光电二极管 V2 受到光照,这样光电二极管 V2 就由原来的高阻状态转变成低阻状态。这时液位 B 的电位处于 6V 的状态下,而液位 A 仍处于高阻、高电平状态,信号进入 555 电路,从而 555 电路的③脚继续输出低电平,这样,三极管 V4 还是处于截至状态,中间继电器 K 线圈仍然得不到电,电磁阀 Y 工作,往蓄水罐内继续蓄水。

随着蓄水罐内的水位持续增高,液位上升到了液位 A 处,这时液位 A 处的玻璃管内有水,液位 A 处的玻璃管的另一侧光线增强,这时,光电二极管 V1 就由原来得高阻状态转变成低阻状态。这样,光电二极管 V1、V2 都处于低阻状态,液位 A、液位 B 电位都处于低电平($U_B = 6V, U_A = 9V$),信号进入 555 电路,从而 555 电路的③脚输出由原来的低电平转换为高电平,这时,三极管 V4 由截至状态转变为导通状态,中间继电器 K 线圈得到电, K 吸合,电磁阀 Y 就关闭,这样就不再给蓄水罐注水了。

随着容器中的液位被使用,液位不断下降,当液面低于液位 A 点后, A 点就由原来的有水状态变为无水状态,这样 A 点就处在高阻、高电平状态,而液位 B 点有水, B 点仍然处在有水的状态下没有改变,信号进入 555 电路, 555 并不动作, 555 电路的③脚继续输出高电平。这样,三极管 V4 还处在导通状态下,中间继电器仍然得电, K 还是处于闭合状态,电磁阀依旧关闭没有给蓄水罐注水,液位依旧处在使用下降的状态下。只有当液面下降到液位 B 点以下时, B 点就由原来的有水状态变为无水状态,这样 B 点就处在高阻、高电平状态。A、B 两点都处于高电平,信号进入 555 电路, 555 的输出再次由高电平变为低电平,三极管 V4 由导通状态下再一次变为截至状态,中间继电器 K 线圈,又一次得不到电, K 就释放,电磁阀 Y 打开,重新给蓄水罐注水,重复上述过程,这样使液体总保持在液位 A 和液位 B 范围内,这样就进行了液位控制。

3.1 检测控制系统主要参数的分析

在工业生产中,必准确而及时的检测生产过程中的各有关参数,但非接触式检测系统用于检测各种物理量时,被测量有时在一段时间内是相当的稳定的,有时则

可能存在缓慢起伏、周期性或非周期性的波动或脉动,甚至出现突变的跳动,这些来自测量系统,标准量本身精度、响应度以及外界噪声干扰及测量者自身因素等。显然,要了解这些,就必对检测系统的主要性能参数和误差进行分析。

3.2 检测控制系统的响应度分析

响应度 R 可直接定义为均方根光电流 I_L 或均方根光电压 V_L 与入射的均方根功率 P 之比,即

$$R = I_L/P \text{ (单位: } A/\omega \text{ 或 } \mu A/\mu w) \quad (1)$$

或

$$R = V_L/P \text{ (单位: } V/\omega \text{ 或 } \mu V/\mu w) \quad (2)$$

因而响应度是投射于光敏器件上的单位辐射功率所产生的光电流或光电压。

反向偏压工作状态下,在外加电压 E 整负载电阻 R 的很大变化范围内,光电流与光入射光的光功率均具有较好的线性关系;无偏压工作状态下,只有 R 较小时光电流才与入射光的光功率成正比, R 增大时,光电流与光功率呈非线性关系。无偏压状态下,短路电流与入射光功率的关系成为光电二极管的光电特性,这一特性在 $I-P$ 坐标系中的斜率:

$$R = \frac{\Delta I_L}{\Delta P} (\mu A/\mu w) \quad (3)$$

定义为光电二极管的响应度,这是一个宏观上表征光电二极管光电转换效率的一个重要参数。由上面知道响应度的定义为一次光生电流 I_p 和入射光功率 P_0 的比值:

$$R = \frac{I_p}{P_0} = \frac{\eta e}{hf} (A/W) \quad (4)$$

光电二极管吸收光子产生光电子,光电子形成光电流。因此,光电流 I 与每秒入射的光子数,即光功率 P 成正比。根据统计光学理论,光电流与入射光功率的关系为

$$I = aP = \frac{\eta e}{hf} P \quad (5)$$

式中 I 为光电流, P 为光功率, $a = \frac{\eta e}{hf}$ 是光电转换因子(即为响应度), e 为电子电荷, h 为普朗克常量, f 为入射光频率, η 为量子效率。

量子效率 η 的定义为一次光生电子-空穴对和入射光子数的比值:

$$\eta = \frac{I_p/e}{P_0/hf} = \frac{I_p}{P_0} \frac{hf}{e} \quad (6)$$

本文采用的是硅光电二极管,其光谱响应波长在 $0.4 \mu m - 1.1 \mu m$ 之间,峰值响应波长在 $0.8 \mu m - 0.9 \mu m$ 范围内,光电二极管的量子效率 $\eta = 0.76$,在峰

值的响应波长下,根据上面的公式计算得响应度为 $R = 0.4 (0.85 \mu m)$ 。

3.3 检测控制系统的噪声分析

噪声是来自元器件内部的一种污染信号,任何处于绝对零度以上的导体都会产生热噪声;电子的随机作用会产生粒散噪声。这些噪声的形态大多是由一些尖脉冲组成的,其幅度和相位都是随机的,因此又称为随机噪声。随机噪声的产生降低了测试系统的分辨能力,它混杂于信号之中,严重时甚至可把有用信号淹没,给测试工作造成巨大困难。

在测量过程中,噪声总是与有用的信号联系在一起,为了衡量噪声对有用信号的影响,引入信噪比 (S/N) 的概念。所谓信噪比,是通道中有用信号成分与噪声信号成分之比。设有用信号功率为 P_s ,有用信号电压为 U_s ,噪声功率为 P_N ,噪声电压为 U_N ,则有

$$\frac{S}{N} = 10 \lg \frac{P_s}{P_N} = 20 \lg \frac{U_s}{U_N} \quad (7)$$

式中表明,信噪比越大,有用信号的成分越大,噪声的影响越小。因此,在测试系统中应尽量提高信噪比。

常见的噪声源有:各种放电现象的放电噪声源、电气设备噪声源和固有噪声源。固定噪声源是指由于物理性的无规则波动所造成的噪声,如热噪声、散粒噪声、解除噪声等。自然界雷电、有触点电器、放电管、工业用高频设备、电力输电线、机动车、大功率发射装置、超声波设备等都是常见的噪声源,本系统的噪声主要是散粒噪声和热噪声。

散粒噪声:由 PN 结中随机电流产生的,即 PN 结载流子运动的随机变化所引起的噪声,它与频率无关,属于白噪声。设 Δf 为光电二极管工作的频带宽度, $I_s \approx I_p$ 为通过 PN 结的电流, q 为电子电荷,则散粒噪声 I_{np} 的数值可表示为

$$I_{np} = (2qI_p \Delta f)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

热噪声是由自由电子在电阻材料中随机运行所产生的,其值为

$$V_d = (4kTR_d \Delta f)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

式中 k 玻尔兹曼常数, T 绝对温度, R_d 硅光电二极管内阻,所产生的热噪声电流值为

$$I_{nd} = (4kTR_d \Delta f / R_d)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

由(1)、(2)式可得硅光电二极管本身产生的总噪声电流为

$$I_n^2 = (2qI_p \Delta f + 4kTR_d \Delta f / R_d)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

其信噪比为

$$S/N = I_p / I_n = I_p / (2qI_p \Delta f + 4kTR_d \Delta f / R_d)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

由(5)式可见,对于内阻大的硅光电二极管,其噪声电流要小一些。

表 1 两种噪声电流测试的对比表

$IP(A)$	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}
$Inp(A)$	5.6×10^{-15}	1.7×10^{-14}	5.6×10^{-13}	1.7×10^{-13}	5.6×10^{-12}	1.7×10^{-12}	5.6×10^{-11}
$Ind(A)$	2.35×10^{-15}	2.35×10^{-15}	2.35×10^{-15}	2.35×10^{-15}	2.35×10^{-15}	2.35×10^{-15}	2.35×10^{-15}
S/N	1.8×10^4	5.9×10^4	1.8×10^4	5.9×10^4	1.8×10^4	5.9×10^4	1.8×10^4

由表 1 看出,当光电流大于 $10^{-10}A$ 时散粒噪声随着电流的增加而显著地变大,光电检测电路中,减小光电二极管的散粒噪声就成了主要问题,尽量把光电流控制在 $10^{-10}A$ 以下。

4 结束语

近年来由于微电子技术的发展使得液位检测技术发生了根本性变化,新的检测原理与电子部件的应用使得液位测量仪更趋向小型化和微型化,同时,液位检测也向着智能化发展,在液位测量领域内广泛应用微处理技术,以实现故障诊断和报警,目的是提高测量的精确度、可靠性、安全性和多功能化。在传感器方面,应用和设计中尽量实现非接触式或非渗透式测量,其中以超声波式液位计、光学式液位计、电磁式液位计与辐射式液位计最为典型,从而提高探头对恶劣条件的抵抗能力。随着计算机应用的普及,直接输出数字信号的数字化液位传感器已成为这一领域仪表的发展趋势;纳米技术和生物技术在液位测量中的应用也将会日益增多,对于一些尚处于发展阶段的液位计在目前的应用中并不是十

分普遍,但其低成本、高性能的吸引力给其发展带来光明的前景。

参考文献:

- [1] 陈杰,黄鸿.传感器与检测技术[M].北京:高等教育出版社,2010.
- [2] 张广发.电路噪声计算与测量[M].长沙:国防科技大学出版社,2009.
- [3] 梁万国.光电探测器的设计[J].半导体光电,2004(19):51-55.
- [4] 戴淑凤.光电液位自动控制系统[J].中小企业科技,2002,2(1):27.
- [5] 浦昭邦.光电测试技术[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [6] 常健生.检测与转换技术[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [7] Pekka Raaikainen,Lvan Kassmakov,Roumen Kakanakov, et al.Fiber-optic liquid-level sensor[J].Sensor and Actuators,A.2005,58:93-97.

Non-contact Liquid Level Measurement and Control System Analysis Application

TIAN An-hua, ZHU Yan

(School of Automation and Electronic Information, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: The application and realization of the contactless liquid-level measure and control system in industrial is investigated. Contactless level sensors use photoelectric sensors, whose design, application, production, response degrees and noise error analysis in industrial liquid level detection are investigated.

Key words: contactless liquid-level measure detection; photoelectric sensor; error; responsibility; noise