

一种双波导智能超声液位测量装置的研制

袁 炜

(东南大学无线电系, 南京·210018)

本文作者研制了一种双波导智能超声液位测量装置, 解决了深井环境下液位测量的困难。该装置具有较高的测量精度, 数据测取方便, 并能自动记录和报警。文中介绍了其工作原理、电路组成、实验测试及运行情况, 并对测量结果和误差进行了分析。

关键词: 液位测量, 超声测距, 波导, 深井

The developing of an intelligent liquid-level-measure device by bi-waveconductor transmitting ultrasonic waves

YUAN Wei

(South-East University, Nanjing · 210018)

This paper has developed an intelligent liquid-level-measure device by bi-waveconductor transmitting ultrasonic waves, and solved the difficulty of liquid-level-measure in deep-well surroundings. The device has good measurement precision and convenience for data-getting, and it can record data and give alarms automatically. This paper has introduced its working theory, electronic circuit composition, testing and running conditions, and has analysed measured data and errors.

Key words liquid-level-measure, ultrasonic-detection, waveconductor, deep-well

1 前 言

超声测距及其应用在最近 30 年取得了飞速发展, 并逐步走向成熟^[1-3]。国内外超声波空气测距式液位仪, 因其简单, 应用尤其广泛。但美中不足的是空气测距在某些特定条件下, 例如深井或空间狭小的场合, 几乎无法使用。设法利用波导传递进行测量是解决上述局限的一种好办法。波导式液位仪虽有过若干报导^[3], 但这一方面应用仍不多见。

作者近期针对某深井环境下液位测量的实际需要, 研制出一种双波导智能超声液位测量装置。实测和运行情况都比较理想。

2 测量原理

2.1 工作环境

实测对象为南京某水厂。该水厂进水槽日供水量为 20 万 m^3 , 进水泵建筑面积为 $26 \times 13m^2$, 水池 $12 \times 3m^2$, 池高 12m, 中间高度建有两层钢筋走道, 可供监视液位高度的空间十分狭小, 是开口仅为 $1m^2$ 的深井。抽水泵为 4 台, 同时开动时总功率达 1060kW, 电流 54A, 环境噪声高达 90 多 dB。室内温度最高可达 40~50℃, 进水量为 1 万 m^3/h 。由于电机连续工作, 室内电磁干扰非常严重。

2.2 测量方法

液位测量方法很多。常规的测量方法不宜采用。超声波空气测距要求空间开阔, 无障碍物。由于测距换能器有一定的指向性开角

* 作者: 袁炜, 女, 1968 年 4 月生, 助教

收稿日期: 97-7-11; 修回日期: 97-8-27

和旁瓣,深井环境会导致测距失败。电容式沉底液位仪易被泥浆介质覆盖,加大误差,甚至失效。水厂供水池中,往往时间一久淤泥便沉积很厚,难免出现上述情况。故考虑采用波导来传递超声波,并研制出一种新型深井液位探测装置。通过两根平行插入水中的不锈钢圆管作波导,分别与超声波发射端和接收端相连接,由发射端产生脉冲超声波,在接收端获取反射回波,从而达到测定液位的目的。

2.3 测量原理

双波导智能超声液位测量装置工作原理如图 1 所示。超声发射换能器发射超声波,经一根不锈钢管状波导杆(即发射波导杆)传输,该波经实验证明为平面波,每当遇到液面或多层界面时,该脉冲超声波便在与之平行的另一根波导杆(即接收波导杆)上耦合出反射回波,回波沿接收波导杆传回接收换能器。这样,波束由发射点到液面反射后返回到接收点,走过的距离为 L ,时间为 t ,两波导杆中心距为定值 l_0 且等长等高, $c_{杆}$ 、 $c_{水}$ 分别为波导杆及水中的声速, $t_{杆}$ 、 $t_{水}$ 分别为超声波在波导杆及水中运动传播的时间,则有:

$$t = t_{杆} + t_{水} \quad (1)$$

$$\text{即: } t = (L - l_0) / c_{杆} + (l_0 / c_{水}) \quad (2)$$

$$\text{得出: } L - l_0 = c_{杆} \cdot t - (c_{杆} / c_{水}) \cdot l_0 \quad (3)$$

调定发射点海拔标高为 H_0 ,则液面的海拔高度:

$$H = H_0 - (L - l_0) / 2 \quad (4)$$

由(3)、(4)得:

$$H = H_0 - \frac{1}{2} c_{杆} \cdot t + \frac{1}{2} \frac{c_{杆}}{c_{水}} \cdot l_0 \quad (5)$$

可见测量液位,只需准确测出时间 t ,并保证声速 $c_{杆}$ 、 $c_{水}$ 稳定即可。本装置采用单片机脉冲计数,计时准确。由于波导浸在水中,声学系统温差较小,冬夏水温温差仅 10 (空气测距可达 40),对声速的影响可忽略。

本液位测量装置的系统组成见图 1。图中,1: 超声发射换能器,2: 超声接收换能器,3: 发射波导杆(不锈钢),4: 接收波导杆(不锈

钢),5: 深水井,6: 水,7: 接收电路,8: 发射电路,9: 单片机及数字电路,10: 按键及显示,11: 打印机,12: 电源。

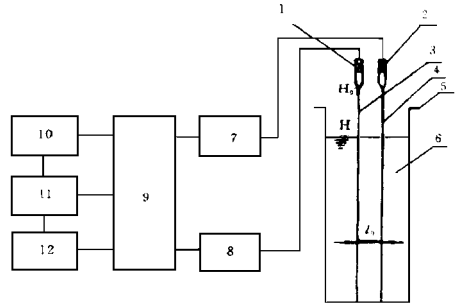


图 1 双波导智能超声液位测量装置系统组成及测量原理图

3 测量装置

3.1 超声换能器及波导系统

考虑到不锈钢波导为 $\phi 60$ (壁厚 4) 的金属管,低频振动模式单一,损耗小,故本系统采用 28kHz 的纵向振子压电可逆式换能器^[5]。换能器如图 2 所示。超声换能器在波导系统中有较宽的通频带。经测定 $Q = 7$, -3dB 带宽为 4kHz,波导总长 13m。实验证明,声波在波导中传递呈平面波,且声压衰减与距离 L 成正比。

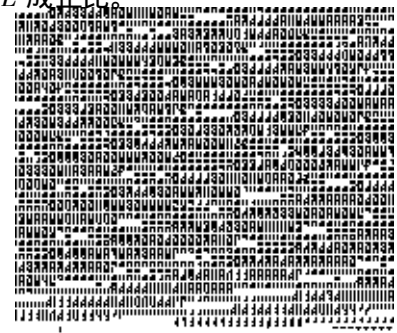


图 2 超声换能器与波导图

3.2 发射电路

发射电路见图 3。首先由数字处理器发一脉冲信号,启动 74LS123,单稳态触发器在第 4 脚输出负脉冲,脉宽由 R_{01} 、 C_{01} 确定。负

脉冲由反相器 7406 反相,再由 NPN 管 9013 将正脉冲信号提高到 12V (驱动电压),以匹配后级可控硅控制级的开关特性。 C_{02} 与 R_{08} 构成微分电路,将正脉冲微分成一个尖脉冲,以便打开可控硅。可控硅采用日本 NEC 2P 4M 管,耐压 400V,最大电流 2A。随着可控硅导通与截止,脉冲变压器 T_{01} 初级就可以得到幅度 200V 的负脉冲。脉冲变压器的初、次级分别为 25 匝和 75 匝。于是将得到 750V 幅度的负脉冲输出,推动超声换能器。

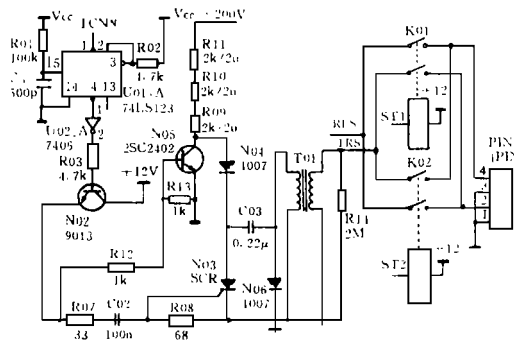


图 3 发射电路

3.3 接收电路

接收电路由 AGC 放大电路、有源带通滤波器、比较器等系列电路组成。

(1) AGC 放大电路

鉴于系统的回波强度与距离 L 成反比,为保证测定 1m 的液位与 10m 的液位回波相近且波形相似性好,系统采用了 AGC 放大电路,如图 4 所示。图中 P_3 为 47k Ω 可调电位器,调节自动增益控制的反馈深度。实验证明,图中的最大可控度为 10 倍,即输入信号波形改变 10 倍,输出波形可基本维持不变。

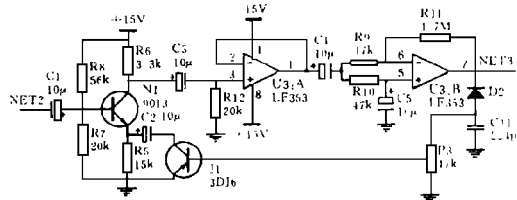


图 4 AGC 放大电路

(2) 有源带通滤波器

图 5 为系统采用的有源带通滤波器^[6]。图中 K 为可选择的增益, K 从 2~3.9 范围选择,相应的 Q (通带) 可获范围为 0.7~14.1。本系统取值为 $K=3.85$, $Q=9.4$,它略大于超声换能器通带 Q 值。

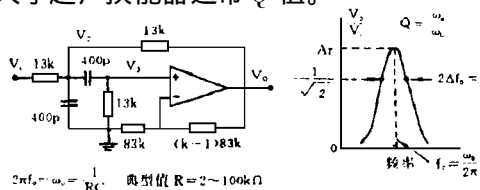


图 5 有源带通滤波器

(3) 比较器

电路如图 6。通过比较器将 AGC 输出波形 (见图 7) 转化为前沿陡峭的方波信号 (见图 8)。比较器的比较电平调节在 2.9V。

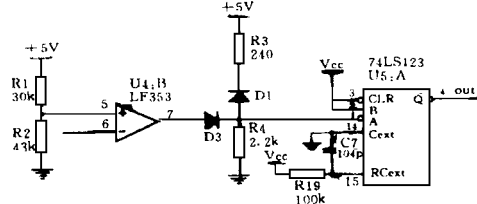


图 6 比较器电路

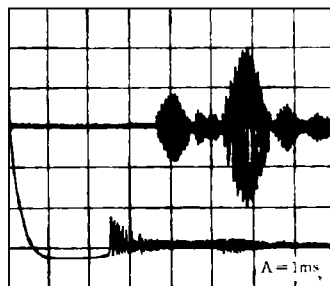


图 7 AGC 放大器输出波形图

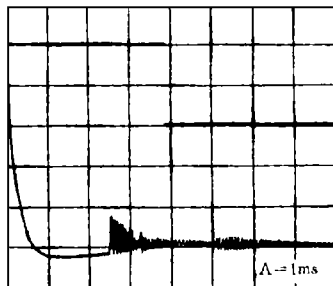


图 8 经比较器后的输出方波图

3.4 单片机采集控制单元

本装置采用 8031 单片机及相应的数字电路。单片机是装置采集控制的核心部件。当控制电路发出一个信号,使超声发射电路开始工作,同时也使单片机时间计数器开始计数。超声发射换能器被激励发出脉冲超声波,经发射波导杆向下传送,遇液面后耦合反射到接收波导杆上,返回并激励超声接收换能器,将超声信号转换成电信号,由接收电路放大、滤波、比较后,产生一个陡削的方波脉冲,使计数器停止计数。单片机读取计数值,算出超声波从发射到接收的传播时间,并算出液位高度,再经多次信号数据处理,获得最佳测量取值,并显示数据。脉冲超声波传送瞬态过程的真实波形见图 9。图中, A 点为液位脉冲回波起始点,时间 3.3ms,海拔 6.4m; B 点为附加套管上端处的回波起始点,时间 4.4ms,海拔 4.2m; C 点为附加套管下端处的回波起始点,时间 5.4ms,海拔 2.2m; D 点为水厂进水槽的泥底位置,泥底回波时间 6.3ms,海拔 0.4m。

单片机采集控制单元除进行液位测量,还参与数据处理、定时打印、报警设置、越限报警及控制动作等功能。

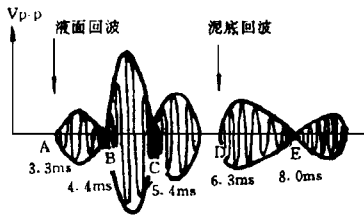


图 9 脉冲超声波的瞬态全波采集图

4 实测及运行

本装置使用环境比较恶劣,噪声大,电磁干扰强,尤其进出水流运动剧烈,并时有急流,引起液位起伏不定,变化较大。尽管如此,经多次实测,仍取得了较理想的测量结果。实测情况详见表 1。由表可见,本装置监视动态液位最大误差小于 $\pm 5\text{cm}$ 。在液位较高时(海

拔 8m 以上)测量误差小于 $\pm 2\text{cm}$ 。

表 1 装置实测液位记录情况

| 编号 | 测试日期 | 双波导智能超声液位测量装置打印液位数据* (m) | 钢板尺校正液位数据* (m) |
|----|----------|--------------------------|----------------|
| 1 | 96.7.16 | 9.75 | 9.76 |
| 2 | 96.7.23 | 9.25 | 9.27 |
| 3 | 96.8.6 | 8.84 | 8.85 |
| 4 | 96.9.17 | 8.04 | 8.05 |
| 5 | 96.9.27 | 7.10 | 7.08 |
| 6 | 96.10.17 | 6.04 | 6.09 |
| 7 | 96.10.22 | 6.00 | 6.04 |
| 8 | 96.10.24 | 5.90 | 5.85 |
| 9 | 96.10.29 | 5.19 | 5.20 |

* 此表液位高度是比拟上海吴淞口的海拔高度。

本液位测量装置经过了较长时间的实测对比,测量精度较高。经南京某水厂长时间运行考验,装置工作稳定,无故障发生,完全满足实际运行中对水位监测的自动、准确和可靠的要求。其技术指标见表 2。

表 2 双波导智能超声液位测量装置技术指标

| 测流介质 | 测量范围 | 测量精度 | 环境噪声 | 环境温度 | 安装高度 | 显示方式 | 打印方式 | 报警范围 | 报警方式 |
|------|----------------|-------------|--------------|----------|--------|------|-------|----------------------|------|
| 泥浆水 | 1.80m ~ 11.00m | $\pm 1.5\%$ | 90dB ~ 100dB | -5 ~ +60 | 12.60m | 数码管 | 半小时一次 | 上限 9.00m 下限 1.80m | 声光报警 |

5 误差分析

本装置在实测中存在的误差,主要与下述几方面因素有关。首先,发射电路因采用可控硅器件,激励电脉冲波形有一定的随机性。其次,接收电路虽使用自动增益控制环节,脉冲遇水面回波,因距离远近不同,接收幅度仍有差异,门限电平取波形前沿时存在随机误差。系统信号载频调幅波的中心频率为 28kHz,差一个周期就相当于 4cm 误差。这些因素造成的误差,必须采用灵活的单片机处理技术以提高测试精度。包括数据加权平均及合理取舍等。若不考虑模拟信号不确定性所带来的精度影响,则因单片机晶振为 6MHz,计时脉冲宽度 $2\mu\text{s}$,按每一个时钟脉

冲来 计算水位距离的分辨率是 7.6mm, 已足够满足测量精度的要求。本装置实际的总测量精度为小于 $\pm 5\text{cm}$ 。故数据处理的目的首先是要克服模拟信号所带来的随机性和起伏性。本装置的实验室测试精度可达 $\pm 3\text{cm}$ 。经分析, 现场数据偏差, 完全是因为水位本身高低起伏所致。我们仔细观察了南京某水厂水位变化情况, 有时几秒钟内水位可起伏 $\pm 5\text{cm}$, 更有时出现瞬时冲浪, 水花四溅。凡此种种误差形成了打印值与计量标准值的差别。而实际处理中最突出的就是水位起伏误差(它是动态偏差最大的物理原因)。为此, 本装置经处理平滑打印读数, 使读数更具有代表性和客观性。该装置每 2min 测量水位 1 次, 可直接从显示按键上取得水位瞬时值。若操作者不希望频繁打印, 可设置为 30min 自动打印 1 次。打印时有年、月、日、时、分的时间读数和相应时刻的液位海拔高度。

最后, 本文作者衷心感谢东南大学周刚临副教授和南京某水厂对本装置的研制和试验所给予的帮助和支持!

参考文献

- 1 J. F. Figueroa, A method for accurate detection of time of arrival, Analysis and design of an ultrasonic ranging system, J. Acoust. Soc. Am. 1992; 91: 486
- 2 A. K. T. Lee et al. Microcomputer-controlled acoustic range finding technique, J. Phys. E: Sci. Instru. 1989; 22: 52
- 3 同济大学声学教研室. 超声工业测量技术. 上海人民出版社, 1977: 179
- 4 袁易全. 近代超声原理与应用. 南京大学出版社, 1996: 302
- 5 袁易全. 超声换能器. 南京大学出版社, 1992: 257
- 6 (美) D. 沃布沙尔著, 言华等译. 电子仪器的电路设计. 科学出版社, 1996: 222

新产品和新技术报道

新型透明隔声板材——聚碳酸酯挤出板(PC板) 通过产品技术鉴定

1997年12月11日由上海华谊(集团)公司主持对上海胜德塑料厂研制成功的用挤出法生产的聚碳酸酯板(俗称玻璃卡布隆或PC板)进行了产品技术鉴定。

PC板是引进德国设备而生产的高强度透明板材, 现有规格: 厚度为 0.3 ~ 0.6(mm), 宽度 1000(mm), 长度按需要切割。比重 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$, 拉伸屈服强度 59MPa, 拉伸断裂强度 56MPa, 伸缩率 0.075% (130 2h), 透光率 88%, 氧指数 26%, 隔声指数 24dB(3mm 厚板)。PC板强度高, 耐冲击性好, 透光

率高, 阻燃性能优, 可切割冷弯, 二次加工性能佳。广泛应用于噪声控制——如高速高架道路的声屏障、防眩屏、公用电话隔声亭等; 建筑装饰——如采光天窗、广告招牌、灯箱等; 安全防爆——如出租车防暴挡板、武警防暴头盔、面罩等; 绝缘材料——如电器仪表板面等。

鉴定认为, 上海胜德塑料厂生产的PC板具有国内先进水平, 同意通过鉴定, 投入批量生产。

中国船舶工业总公司第九设计研究院

吕玉恒