

# 外测液位开关在原油罐区 SIS 系统的应用及优化策略

李桂香

中国石化青岛石油化工有限公司

**摘要:** 为保障原油储罐的安全和连续运行, 依照安全评估要求, 设置符合 SIL 等级的 SIS 系统。外测液位开关作为重要的液位检测仪表, 介绍不同形式的液位开关及原理特点, 大型浮顶罐选用变频超声波液位开关应用在 SIS 系统, 与雷达液位计冗余组合成逻辑判断条件, 安全地执行既定联锁功能。结合当前在用的浮顶罐结构特点, 分析了液位开关探测过程中超声波被干扰的因素, 提出液位开关从技术角度进一步优化提升的要求。新技术的研制及投用, 收到了较好的效果。

**关键词:** 外测液位开关; 储罐; SIS 系统; 技术提升

原油储罐作为化工重要储存设备, 其安全性关系到国家经济和企业利益发展。随着近几年设备完整性管理要求的提高, 对原油储罐仪控设施提出了较高要求。其中, 外测液位开关作为原油储罐联锁保护系统中的重要仪表, 因外测式液位开关无过程连接接口的安装方式, 无泄漏风险, 同一罐体可安装多套, 不受法兰接口约束, 已被广泛应用在各大储存企业不同 SIL 等级的安全仪表系统。

为满足连续生产的需求, 选择 ELL 型外测超声波液位开关应用在 SIS 系统, 既可以安全、快捷地完成安装及调试工作, 又可以达到准确探测液位的目的。现结合 ELL 型液位开关在大型原油罐区 SIS 系统中的实际应用及优化策略展开论述。

## 1 罐区介绍

原油储罐通常为大容积的外浮顶罐, 罐区规模大、储存与输转量大,

设备设施不间断运行方式。储罐在进出原油时存在着安全风险, 需要设置有效的保护措施, 可避免储罐冒顶、抽空、火灾爆炸事故的发生。

依据《国家安全生产监督管理总局关于加强化工过程安全管理的指导意见》(安监总管三〔2013〕88号)需定期开展安全仪表系统安全完整性等级(SIL)评估;依据 GB50074—2014《石油库设计规范》规定, 储罐液位测量仪表采用单独的液位测量仪表或液位开关, 并在控制系统设置报警或联锁<sup>[1]</sup>。罐区主要的控制系统有 SCADA、SIS 系统, 其中 SIS 作为储罐的重要联锁保护系统之一。

## 2 外测式液位开关的工作原理

某品牌 ELL 型外测式超声波液位开关是一种利用超声波壁内传播衰减原理, 利用“变频超声波技术”和“微振动分析技术”实现的非接触式液位开关<sup>[2]</sup>。通过超声波传感器(探头)

检测罐内液位是否到达所设定的报警位置, 利用接收和分析返回的超声波信号, 可判断储罐内是否有介质(液体、气体), 超声波变送器将判断结果输出至控制系统, 实现对液位的联锁控制<sup>[3]</sup>。超声波传感器的功能是把接收到的电信号转换成声频信号, 同时又能把声频信号转换为电信号传送回来;液位控制器产生高频信号并激励传感器产生一定强度的超声波, 传输到罐壁内, 如果罐壁内有液, 超声波将透射入液体, 反之, 超声波就会沿罐壁内传输<sup>[4]</sup>。

目前, 在用的余振式超声波液位开关, 是一种从罐外检测储罐液位的完全非接触隔离式仪表。余振式外测液位开关在罐壁外测安装有 2 只探头, 2 只探头位于同一水平高度, 其中一个为发射探头, 一个是接收探头, 发射探头发射的超声波能量沿着罐壁传播至另一侧的探头接收。

液位变送器通过分析接收信号的能量来区分罐壁内是否有液。如果罐

壁内有液体存在,则大部分超声能量会透射至罐内介质中并被耗散掉,反之则大部分能量传播至接收探头一侧,被接收探头检测到。液体到达外测液位开关的探头高度时,余振信号幅值会变小,余振信号变化,输出开关信号<sup>[5]</sup>。某品牌外测液位开关的工作原理分为以下几类。外测液位开关的3种测量原理对比见表1。

### 2.1 余振式 G 型

原理:通过超声波脉冲信号在罐壁中的衰减多、少来判断容器内监测高度是否有液。超声波在液位开关探头和罐壁壁内传播衰减原理图1所示。

### 2.2 反射式 P 型

原理:高频超声波脉冲穿过容器壁

在液体中传播,遇对面罐壁被反射回来。用是否有反射回波来判断容器内监测高度是否有液。

特点是:探头自发自收安装在罐壁侧面监测高度,当液面超过探头高度时,有回波信号;当液面低于探头时,无回波信号。反射式液位开关测量原理如图2所示。

### 2.3 透射式

原理:通过超声波脉冲信号在探头安装处罐壁原地振荡,根据能量衰减速度判断容器内监测高度是否有液。透射式测量原理与余振式原理类似,都是通过感知罐壁上超声能量衰减的多少,有液衰减多;无液衰减少,以此来判断罐内有液或无液。透射式液位开关测量原

理如图3所示。

## 3 外测液位开关在 SIS 系统的应用

### 3.1 SIS 系统功能

安全仪表系统, Safety Instrumentation System, 简称 SIS。安全仪表系统(SIS)可以由传感器(Sensor)、逻辑控制器(Logic Solver)和最终元件(Final Element)的任何组合组成<sup>[6]</sup>。

安全仪表系统(SIS)在正常工况下,监视设备设施的运行状态及检测参数,系统输出不变,对生产过程不产生影响,当过程变量或设备状态参数超过预设定的限值时, SIS 联锁程序执行预先设定的相应控制动作,使生产过程和设备停车,或自动转移到安全运行状态,防止或减少危险事件发生,实现防灾减灾的目的。依据储罐仪控系统的安全完整性评估,设计符合 SIL 等级、独立的 SIS 系统,并采用三重化或四重化的容错技术,配置完善的软件、硬件故障诊断及自诊断功能。当 SIS 系统的测量仪表、逻辑控制器、最终执行元件等内部产生故障,通过自诊断技术,也可发出报警或使生产过程转入安全状态<sup>[7]</sup>。

### 3.2 液位开关的安装测试

现场安装外测式超声波液位开关探头与变送器,敷设电源电缆和信号电缆,接至 SIS 柜浪涌保护器和继电器接线端子,接至端子板及 IO 卡件,完成 SIS 机柜线路配置。

对液位开关上电,确认液位开关在 SIS 系统人机界面(HMI)中的状态,测试常开/常闭触点的有效性,测试联锁执行端仪表。检查由两台外测液位开关与一台雷达液位计组成的三取二联锁逻辑状态,故障安全型设置,模拟将联锁回路中两台液位开关的常闭触点断开,联锁信号输出,被联锁阀门的执行器执行关闭动作;再模拟将一台液位开关的常闭触点断开,将雷达液位计输出模拟

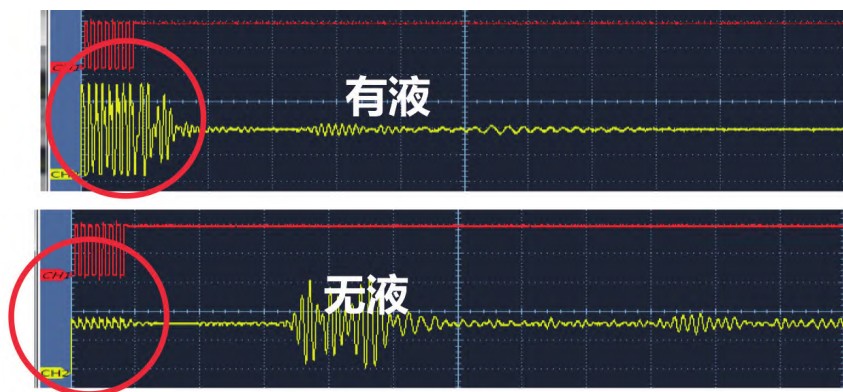


图1 超声波壁内传播衰减原理图

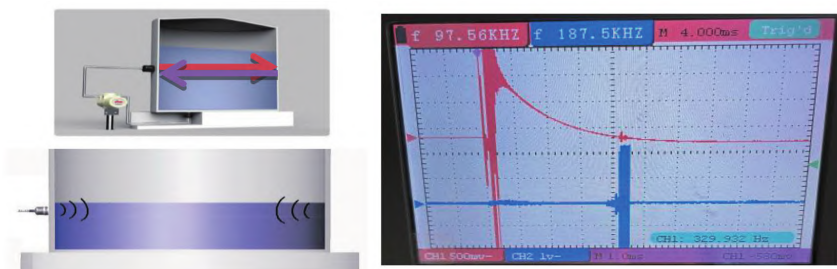


图2 反射式液位开关测量原理图

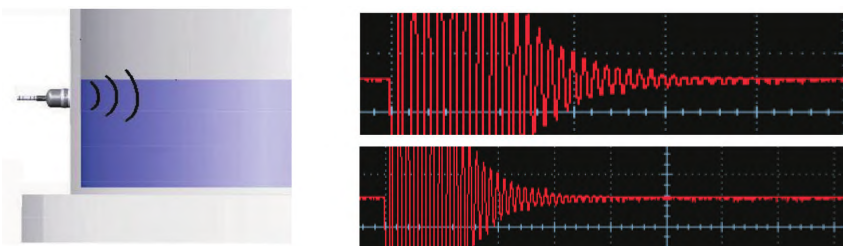


图3 透射式液位开关测量原理图

表 1 外测液位开关的 3 种测量原理对比

| 对比项          | 余振式                       | 反射式                               | 透射式                        |
|--------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 购置成本         | 高，双探头                     | 低，单探头                             | 低，单探头                      |
| 1. 罐壁适应性     | 低，不能横向传播超声的罐壁材料不适用，例如：玻璃钢 | 高，只要能纵向传播超声即可，玻璃钢适用               | 低，要能纵向传播超声，并且衰减不能太大，玻璃钢不适用 |
| 2. 罐壁缺陷适应性   | 高、小缺陷、沙眼、气孔焊缝无影响          | 较高，探头精度较低，传感区域较大                  | 低，探头安装处罐壁内不得有沙眼等缺陷         |
| 3. 罐体适应性     | 较高，需要探头间距 1m 距离           | 低，卧罐及球罐只能在赤道上方使用。同时罐体直径不能大于 30 m  | 高                          |
| 4. 介质适应性     | 高                         | 低，高粘，高杂质介质不适用。例如：原油、污水等           | 高                          |
| 5. 罐内容物适应性   | 高                         | 低，罐内不能有隔板，搅拌器等阻挡超声传播路线的物体         | 高                          |
| 6. 信噪比       | 高、有液时信号小、无液信号大            | 高，有液有信号，无液无信号                     | 低，有液时衰减快（不明显）              |
| 7. 精度        | 高，±1mm                    | 低，±10cm（罐体直径大精度会降低）               | 较高，±1cm                    |
| 8. 挂壁影响      | 较低、传感敏感区大、抗污能力强           | 较高，探头精度较低，传感区域较大                  | 高，探头安装处罐壁内侧不能被污染           |
| 9. 进出液对报警的影响 | 低                         | 高，液体夹杂气泡、沸腾，以及紊流等会造成有液状态识别延迟及精度下降 | 低                          |
| 10. 故障诊断能力   | 高，有液无液均有一定信号，可用于探头诊断      | 较低，无液状态无回波与故障状态差异小                | 低，有液无液状态与探头故障状态差异小         |

量仿真值,使其满足三取二联锁条件,同样执行联锁动作。SOE 记录 SIS 系统测试全过程详细信息。

### 3.3 液位开关的投用

液位开关测试完成,投入 SIS 系统的联锁回路工作。正常工况时,储罐液位在工艺指标范围,高液位开关超声波探头检测到当前位置无液,SIS 工作站画面显示正常状态。当液位到达液位开关探头位置,检测到超声波信号变化,立即将开关量输出信号输送给 SIS 系统的 I/O 处理单元,由 I/O 处理单元输入到 SIS 系统控制器。若液位开关的开关量信号与雷达液位计模拟量信号同时达到高限,SIS 控制器将按照设定的程序进行运算,满足联锁条件即输出指令到现场执行器,完成执行端仪表动作,将

储罐转入安全状态。以外测式液位开关在大型原油罐区 SIL1 等级的 SIS 系统应用为例。由两台安全完整性等级为 SIL3 的外贴式液位开关与一台 SIL2 的雷达液位计组成三取二联锁逻辑,并在现场及辅操台分别设置一个手动急停开关,实现功能为任两台液位仪表达达到高限,或现场及辅操台任一个手动急停开关触发时,关闭储罐入口阀门。液位高高联锁关阀联锁逻辑图如图 4 所示。

若外测式液位开关出现误报警故障，SIS 系统将报警记录存储在历史报警记录和日志记录中。当 SIS 联锁回路中的报警状态无法“复位”时，液位开关在对应储罐中的探测作用失效。若一台储罐同时出现两台液位开关误报警，即可触发该储罐液位联锁动作。

由于外测液位开关在 SIS 系统的重要性, 选择液位开关时应重点了解相关技术指标。ELL 型液位开关的技术优势: 一是具有独特的故障自诊断功能, 可输出故障信号至控制系统, 接收到故障信号后可及时处理, 避免引发联锁误动作; 二是自带一体化防浪涌功能; 三是具有“自适应变频超声波技术”特点, 可以有效消除干扰信号, 探测准确度高; 四是动态调节发射能量和频率, 稳定性高, 具有智能自检功能。不受温度变化、雨雪天气和介质挂壁的影响<sup>[8]</sup>, 更适合应用于重要的连锁系统中。

### 3.4 液位开关的运行维护

#### 3.4.1 按时巡检

检查电缆接线盒的密封、外壳后盖的密封情况。通过巡检，可以及时掌

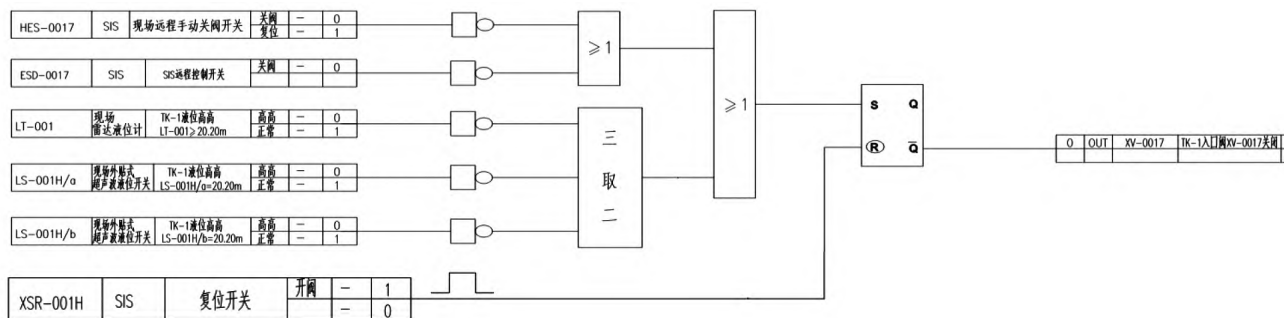


图 4 液位高高联锁关阀联锁逻辑图

握仪表工作状态及报警信息,提前发现隐患,及时处理。

#### 3.4.2 加强日常维护管理

注意日常使用过程保持液位控制器的清洁,做到防水、防潮、防腐蚀及避免受到其他物体的剧烈碰撞,按时检查探头耦合剂;液位开关变送器的最大允许使用环境温度范围为 $-50\sim+60^{\circ}\text{C}$ ,当工作环境温度超出规定范围时,应采取相应的保护措施,保证其正常工作;液位变送器主机应避免外界热源的影响,远离热源并注意通风散热;环境温度过低时,可采用仪表保温箱或其他防冻措施,并注意保持液位控制器的干燥;按时对液位开关的变送器检查,发现探头及液位变送器接线盒密封不严等问题时需要及时维护,确保外测液位开关的长周期安全稳定运行。

### 4 外测液位开关技术优化

近几年,液位开关的技术水平不断提升,采用变频超声波技术,动态调节发射能量和频率,自动检测最佳频点,算法自适应变频变幅,消除干扰,保证了稳定性,有效减小了误报率。但外测超声波液位开关在外浮顶立罐的日常应用过程中因液位变化带来的浮盘移动,对超声波液位开关信号具有干扰。

#### 4.1 液位开关应用于浮顶立罐

具有浮盘结构的外浮顶立罐,因罐壁内侧接触浮盘的一次密封、二次密封件等结构,这些结构可以抑制罐内液体挥发泄漏。由余振式液位开关的工作原理可知,余振式液位开关是感知罐壁上超声能量被吸收程度,来判断液位状态的仪表。浮盘的密封结构接触罐壁,也会吸收罐壁上传播的超声波能量,这就造成了仪表判断的紊乱,导致储罐密封件靠近传感器高度时,液位开关有时会出现误报警现象。

#### 4.2 提升液位开关探测技术,消除误报警

为消除外浮顶罐结构对液位开关

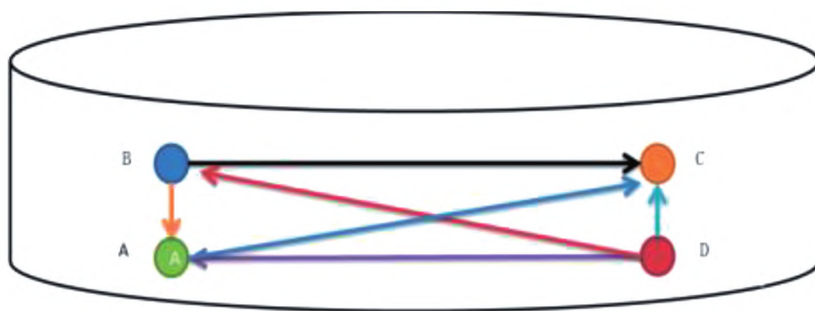


图5 带多通道校准单元的液位开关

稳定性的影响,厂商根据现场使用单位反馈的问题和提出的优化建议,积极进行分析研究,研制出一项多通道液位校准技术。主要实施途径是:在纵向高度上配置传感器,可以感知连续高度上的液位参数变化,克服了原液位开关只能测量单一高度点上的超声波信号问题,有效排除了密封件干扰的因素;增加对液位状态、浮盘位置识别与测量的校准通道,对介质参数进行多次校准,根据校准结果进行分析判断,提高了外测液位开关的测量稳定性、可靠性及精度。图5带有多通道校准单元的液位开关原理示意图。

多通道校准技术的液位开关设有4个探头,形成多通道的数据采集,采用多源信息融合算法,对同一液位进行确认。通过多通道传感器输出的信息综合运算,得到准确的液位探测数据。新技术产品已在多家单位应用验证,探测准确性明显提高,降低了外界因素造成的探测误差和误报率,进一步提高了液位开关在浮顶储罐场景使用的准确性和可靠性。

### 5 结语

综上所述,通过叙述液位开关的工作原理及在储罐SIS系统的应用,提出了需要优化的技术问题。本文结合液位开关在罐区SIS系统的重要性及现场工作情况探讨,厂商根据实际需要研制出多通道校准功能的液位开关,经过现场应用验证,有效提高了浮顶罐区

液位开关探测的准确性和可靠性。随着工业自动化水平的逐步提高,设备管理人员需要及时了解掌握不断更新的设备新技术,以更好地服务于企业工作中。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家市场监督管理总局.石油库设计规范:GB 50074—2014[S].北京:中国计划出版社,2014:15.1.
- [2] 王帆.外测液位开关在丙烯储罐上的应用[J].石油化工自动化,2016,12(6):68.
- [3] 刘德华.外测式超声波液位开关在常压罐区SIS系统中的应用[J].化工自动化及仪表,2022,49(3):385.
- [4] 戴厚良.检测仪表维护检修规程[M]//石油化工设备检修规程(第七册)[M].北京:中国石化出版社,2019:169.
- [5] ELL.外测液位开关选型手册X-A4[Z].2020:19.
- [6] 范咏峰,王云,曾德智.石油化工装置何时设置安全仪表系统[J].流程工业,2021(11):24.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家质量监督检验检疫总局.石油化工安全仪表系统设计规范:GB/T 50770—2013[S].北京:中国标准出版社,2013:47.
- [8] 高丽君.外测式超声波液位开关在球罐区SIS系统中的应用[J].化工自动化及仪表,2019(3):199.