

声纳式外测液位计在油品储罐的应用

魏宗宪 魏俊邦 王有彪 张智平

甘肃安通辉达铁路运输责任有限公司

摘要：石油化工油品储罐是石油、化工行业储存和转运各种油品的关键设备，这些储罐不仅确保了生产的安全和连续性，还提高了油品管理的效率和企业经济效益。其中储罐液位测量是储罐众多监测数据的一个重要参数，储罐液位测量的主要方式包括雷达液位计测量、伺服液位计测量、音叉振动开关测量以及外贴式液位计测量等。本文主要介绍了 ELL 声纳式外测液位计和其改进的聚能型外测液位计的测量工作原理、安装要求、性能优点及其在本公司油品储罐液位测量中的应用。

关键词：油品储罐；液位联锁；外测液位计；测量探头；聚能转向器

石油化工油品储罐的液位测量在 GB50074—2014《石油库设计规范》15.1.4 条中规定“用于储罐高高、低低液位报警信号的液位测量仪表应采用单独的液位连续测量仪表或液位开关，并应在自动控制系统中设置报警及联锁”^[1]。SH/T 3007—2014《石油化工储运系统罐区设计规范》5.4.5 条也规定“储罐高高、低低液位报警信号的液位测量仪表应采用单独的液位连续测量仪表或液位开关”^[2]。由应急管理部 2023 年 12 月 20 日发布的 AQ3059—2023《化工企业液化烃储罐区安全管理规范》的 6.6.2 要求“新建液化压力式储罐液位仪表应按 2 套连续测量液位仪表和 1 个

高高液位开关，或 3 套连续测量液位仪表进行设置。液化烃压力式储罐应设置高液位报警、低液位报警、高高液位报警和低低液位报警，高高液位报警应联锁关闭储罐进料紧急切断阀”^[3]。液位是储罐需要监控的最重要参数，体现了液位测量的必要性，液位联锁是对储罐采取的更严格安全保护措施。在众多油品储罐的液位测量中，外测液位计具有测量准确、安全可靠、维护方便等优点因而得到广泛应用。

1 概述

笔者所在的企业是石油化工产品铁路运输及储存的商贸公司，现有 3 个罐组 7 座 2 000 m³ 的汽油、柴油、甲醇

等油品储罐及铁路、汽车装卸站台，工艺流程图如图 1 所示。罐组 1 设置有 5 座 2 000 m³ 内浮顶储罐，分别为柴油罐 (V101)、混合二甲苯 / 汽油 / 稳定轻烃 / 石脑油罐 (V102-104)、甲醇罐 (V105)；罐组 2 设置有 1 座 2 000 m³ 的原油 / 燃料油内浮顶储罐 (V106)；罐组 3 设置有 1 座 2 000 m³ 的苯内浮顶储罐 (V109)。

根据生产经营情况每日进行铁路、汽车槽（罐）车装卸和油品储存。每座储罐原设计有雷达液位计和伺服液位计两种不同原理的液位测量仪表。在安装调试过程中，由于伺服液位计生产制造方面的因素始终无法满足要求，将伺服液位计变更为声纳式外测液位计后很快调试正常并投入运行。

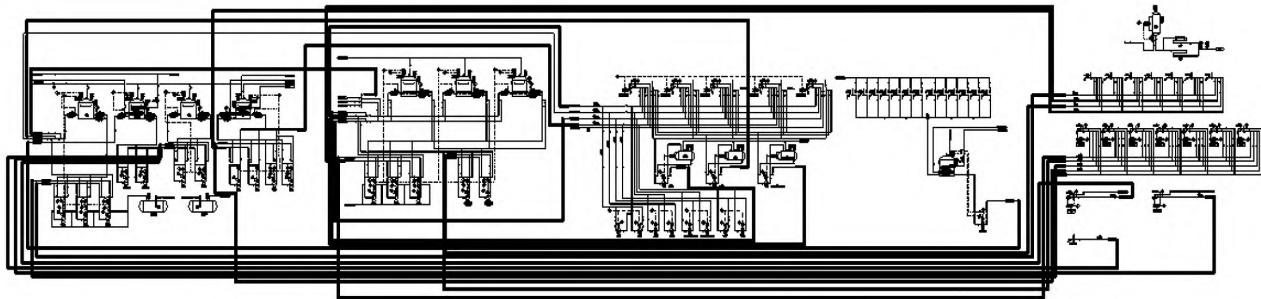


图 1 罐组工艺自控流程图

2 伺服液位计存在的问题

伺服液位计是基于浮力平衡的原理，由微伺服电动机驱动体积较小的浮子，浮子用测量钢丝悬挂在仪表外壳内，而测量钢丝缠绕在精密加工过的外轮毂上，外磁铁被固定在外轮毂内，并与固定在内轮毂的内磁铁耦合在一起。

当液位计工作时，浮子作用于细钢丝上的重力在外轮毂的磁铁上产生力矩，从而引起磁通量的变化。轮毂组件间的磁通量变化导致内磁铁上的电磁传感器（霍尔元件）的输出电压信号发生变化。其电压值与储存于 CPU 中的参考电压相比较。当浮子的位置平衡时，其差值为零。当被测介质液位变化时，使得浮子浮力发生改变。其结果是磁耦合力矩被改变，使得带有温度补偿的霍尔元件的输出电压发生变化。该电压值与 CPU 中的参考电压的差值驱动伺服电动机转动，调整浮子上下移动重新达到平衡点。

本公司前期采购的伺服液位计由于制造方面的原因，在调试阶段发生过浮子浸没液体中不上浮、外轮毂的磁力矩偏小以及液位计底盖泄漏气体等问题。调试过程中发生了多次现场维修、更换零部件和返厂维修等情况。在运行过程中不能自动检测液位实际变化，如图 2 所示为伺服液位计测量过程中的跳跃曲线截图，随后公司决定选用声纳式外测液位计替代伺服液位计。

3 声纳式外测液位计

声纳式外测液位计是基于声纳测距原理工作的，是一种利用声波从容器外部测量液体液位的智能化仪表。我们选用了某品牌的 ELL 声纳式外测液位计^[4]，并配套了聚能转向器，能将发射能量的绝大部分都聚焦回探头，增强声纳信号聚集效果确保了可靠测量。

3.1 ELL 声纳式外测液位计工作原理

测量探头安装在被测容器的外壁上，能够产生高频声纳信号穿透容器壁，

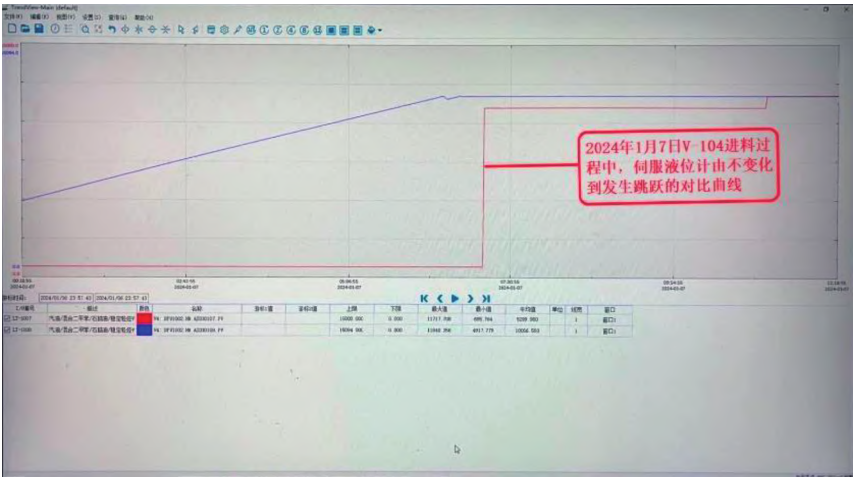


图 2 伺服液位计测量过程中的跳跃曲线图

在液体中形成回波，经过液面反射回来后由探头检测到回波信号，回波信号通过变送器智能化处理后实现液位测量。

3.2 ELL 声纳式外测液位计安装方式

ELL 声纳式外测液位计有两种安装方式，一种是储罐投运后无法清罐进入罐内安装转向器时，在储罐外部罐底安装一个液位测量探头，用以连续测量储罐液位变化。在储罐外侧罐壁 2m 左右安装一个自动校准测量探头，用以实现测量精度自动校准；另一种是可以进入储罐内部时，在储罐外部侧壁安装一个液位测量探头，在罐内对应测量探头水平方向安装转向器，安装示意图如图 3、图 4 所示。

3.3 ELL 声纳式外测液位计优点

1) 采用了“微振动分析”技术，能够克服声纳信号穿透容器壁的大幅衰减及液体声速改变等干扰因素，准确捕获真实回波，消除容器壁余振、多重回波、虚假回波等干扰，确保液面始终得到有效的跟踪和监测，保证了 ELL 声纳式外测液位计液位测量的高稳定性。

2) 自动校准功能，通过在储罐外壁安装的校准测量探头的高度作为已知长度标尺，得出当前状态下的传播速度，根据液位测量结果进行实时补偿修正，从而消除液体温度和成分变化对测量精度的影响，保证仪表液位测量的高精度。

3) 智能化集成，无机械运动元件，

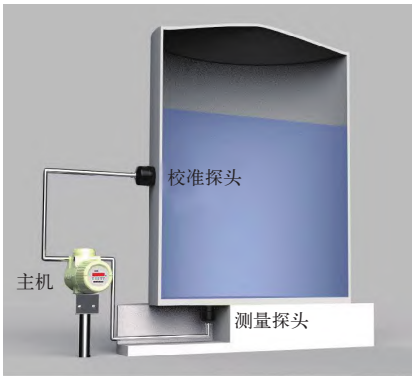


图 3 罐底安装测量探头示意图

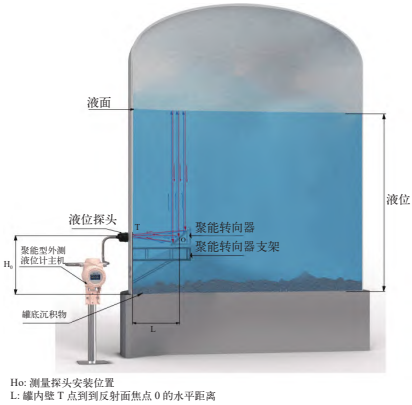


图 4 罐内安装转向器示意图

永无磨损。

4) 不受介质的密度、压力、温度等条件变化的影响，适用于各种复杂的现场工况。

5) ELL 声纳式外测液位计安装不需要生产停用，不需要在罐壁上开孔安装测量传感器，不接触罐内的液态或气态介质，安装简捷方便。

4 聚能型外测液位计

聚能型外测液位计主要由外测液位计主机、测量探头和聚能转向器组成。测量探头安装在容器外壁上，不接触罐内介质，发射声纳信号，聚能转向器对声纳信号进行反射，声纳信号沿着垂直液面的方向传播并经液面反射后沿原路返回，测量探头接收回波声纳信号实现测距。

4.1 聚能转向器工作原理

聚能型外测液位计是 ELL 声纳式外测液位计改进型的测量更精准的外测液位计，聚能转向器原理图如图 5 所示。聚能转向器是在平板转向器的应用基础上，将平面反射改为曲面反射，有效解决反射能量损耗问题，大幅提升信号强度及信噪比，降低安装要求，扩大外测液位计适用范围，提升测量的可靠性和稳定性。聚能转向器工作原理是聚能转向器反射曲面焦点 O 处曲面切面的法线与重力垂线的夹角为 45° 。液位测量探头从立罐侧壁外发射声纳信号穿透罐壁，进入罐壁内侧的 T 点，再从罐壁的 T 点经过液体射向转向器，声纳信号经转向器的聚焦反射面反射，平行射向液面，经液面反射再次射向转向器的聚焦反射面，经转向器反射聚焦后回到罐壁

的 T 点，然后穿透罐壁进入测量探头，实现了声纳信号强度及信噪比的提升。

4.2 聚能转向器的安装调整

4.2.1 聚能转向器的安装

聚能转向器提供磁吸式和焊接式两种固定方式，聚能转向器安装方式如图 6、图 7 所示。磁吸式安装采用强力磁体固定支架，无需动火安装，适用于铁磁性罐体，特别是已经运行的储罐，不能彻底清罐动火，磁吸式安装完全能满足安装。焊接式安装采用焊接方式固定支架，需动火（焊）安装，适用于金属罐体。

4.2.2 聚能转向器调整

1) 对正性校准。通过调整转向器支架上可滑动的校准杆的长度确保转向器正对探头安装位置。

2) 水平度校准。调整前，把 4 个调平丝杆旋起 2 ~ 3 周。数字式水平仪放置反射面顶端的侧棱上，调整两边丝杆，使水平仪水平偏差角度小于 0.06° ，锁紧上面 M10 螺母。

3) 转向角校准。测量探头安装处罐壁的不垂直度 α 、记录读数及倾斜方向（内倾为正数，外倾为负数）。转向角检具放置在反射面上，数显倾角仪放置检具上，分别调整两侧前端丝杆使倾角满足要求。

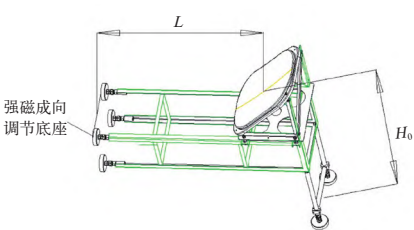


图 6 磁吸式安装

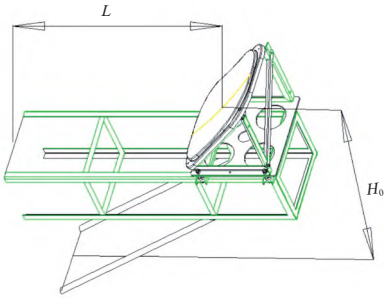


图 7 安装焊接式

4) 罐内探头位置标识。反射面中心标识点水平正对应的位置是探头安装的中心（可用卷尺测量，也可激光笔垂直对反射面照射反射面标识点，查看罐壁上光斑），应从罐内壁位置标定至罐外约 $\varnothing 200$ 的参考圆。

4.2.3 探头安装

1) 找最佳位置。由标识处中心初步寻找每偏离 10 mm 旋转一周，细调每偏离 5 mm，最终精准在 2 mm 范围内。

2) 探头锚固。聚能转向器探头的稳固性比常规探头稳固性更重要。探头线缆防护挠性管需要就近附着锚固，探头遮蔽罩与罐壁涂胶密封。

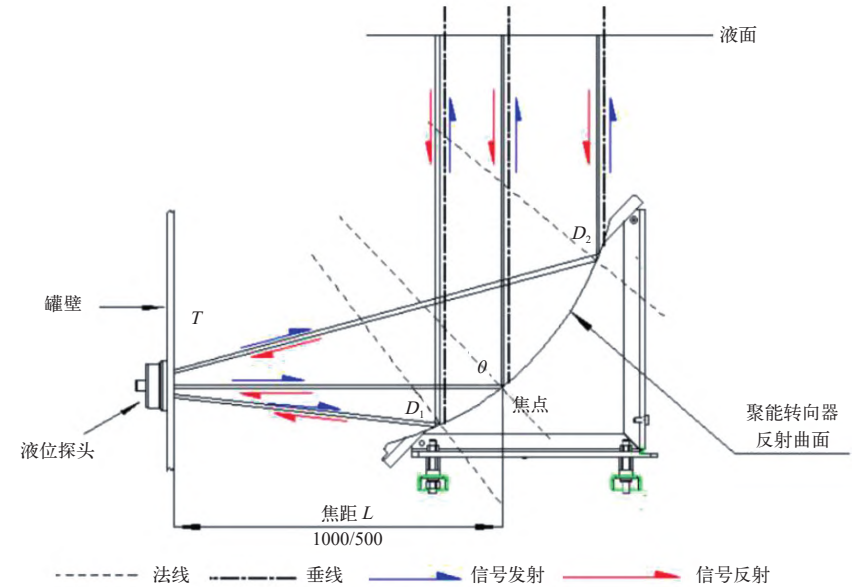


图 5 聚能转向器原理图

5 外测液位计的应用

我公司 7 座 $2\,000\text{ m}^3$ 的油品储罐都安装了 7 台 ELL 声纳式外测液位计，其中 4 台配备了聚能转向器。经过厂家技术人员现场指导安装、调试，投入运行效果比较理想，外测液位计的记录曲线与同储罐安装的雷达液位计记录曲线重合，而且故障率极低，基本属于免维护。现场安装如图 8 所示，记录曲线如图 9 所示。

6 结语

油品储罐液位测量仪表可选类型

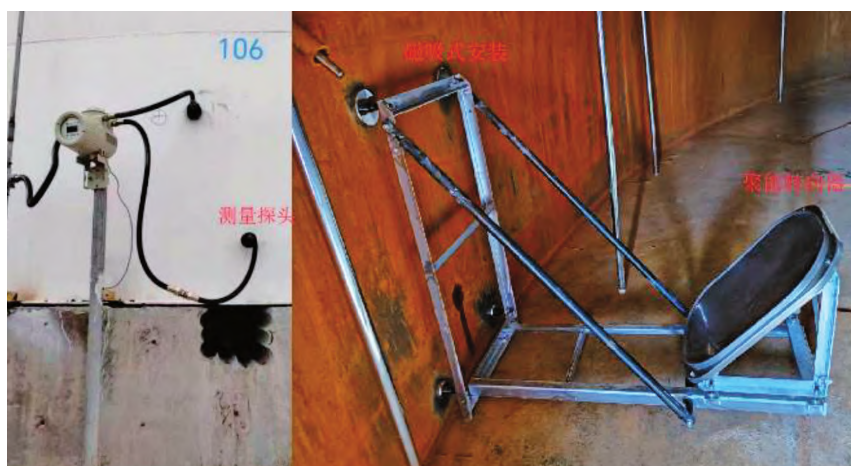


图8 现场安装图

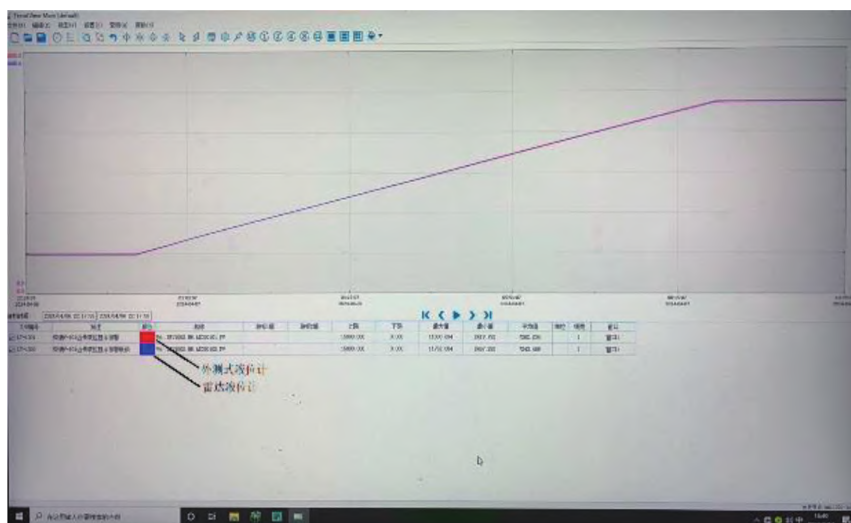


图9 记录曲线图

比较少,液位测量既要求测量范围比较大、测量稳定性比较高,而且要保证安全可靠。ELL 声纳式外测液位计完美地解决了这些问题,其最小 0.1 ~ 3 m、最大 1 ~ 30 m 的可选测量范围基本满足地上储罐液位测量。非接触液位测量技术非常安全,快速安装调试,从而降低建设费用和维护成本。测量探头和主机中无机械运动部件,更可靠耐用。

参考文献:

- [1] 中国石化工程建设有限公司. 石油库设计规范: GB 50074—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [2] 中国石油化工集团公司储运设计技术中心站. 石油化工储运系统罐区设计规范: SH/T 3007—2014[S]. 北京: 中国石化出版社, 2014.
- [3] 全国安全生产标准化技术委员会. 化学品安全分技术委员会. 化工企业液化烃储罐区安全管理规范: AQ3059—2023[S]. 北京: 应急管理出版社, 2023.
- [4] 陈璐. 外测液位仪表在化工行业中的应用[J]. 化工自动化及仪表, 2019,46(06):503-505.

(上接79页)

7.2 员工培训与技能提升

为了确保新系统的高效运行,必须加强对操作人员和技术支持团队的专业培训。这包括但不限于:1) 仪表与阀门的操作规范:详细讲解 CMFS010M 质量流量计及 501T-5221LARN 型调节阀的工作原理、日常维护要点以及常见故障处理方法;2) 应急响应训练:定期组织模拟演练,增强员工面对突发事件时的快速反应能力和协同作战水平。

7.3 维护保养机制的完善

建立一套全面且高效的设备维护保养体系至关重要。具体措施如下:1) 制定详细的维护计划。根据各部件的实

际使用情况合理安排检查周期,比如每季度对所有关键部件进行全面检查一次;2) 设立专门的维护记录档案。每次完成维护后都需详细记录所采取的行动及其结果,便于日后追溯问题根源;3) 加强备件管理。对于易损件应保持适量库存,避免因等待替换零件而导致长时间停产。

7.4 环保与安全意识的强化

鉴于化工行业固有的高风险特性,在追求经济效益的同时绝不能忽视环境保护与安全生产。

7.5 技术创新与研发投入

鼓励和支持科研人员围绕当前生

产工艺中的难点问题开展深入研究,寻找更加经济有效的解决方案。同时,积极寻求与其他高校或研究机构的合作机会,共同推动新技术的研发应用。例如,开发新型催化剂以降低能耗、提高转化率;或者研究更为先进的过滤材料,进一步净化原料气体,延长仪表使用寿命。

通过上述一系列举措,相信为能够在保障安全生产的基础上,不断提升自身竞争力,为实现可持续发展目标奠定坚实基础。希望本文提出的改造方案及相关建议能够为其他面临类似挑战的企业提供有益参考。