

# Research on Anti-interference Technology of Radar Level Gauge in Chemical Tank Area

Weigang Song

Sinochem Quanzhou Petrochemical Co., Ltd., Quanzhou, Fujian, 362103, China

## Abstract

Chemical storage tank areas, which store flammable, explosive, highly corrosive, and volatile materials, serve as critical infrastructure in chemical production processes and represent the top priority for safety in chemical enterprises. However, electromagnetic interference, medium evaporation losses, and structural complexities often lead to signal attenuation, weak reflections, and significant measurement errors in radar level gauges, adversely affecting production safety and process parameter control. This paper analyzes common interference factors and their root causes in chemical tank areas, evaluates current anti-interference technologies, and explores their development trends. Focusing on three key technical areas—hardware redundancy design, intelligent algorithm innovation, and optimized field construction standards—the study provides technical recommendations and operational approaches through case studies, aiming to enhance the stability and reliability of tank area level detection systems and ensure safe, efficient operation of chemical facilities.

## Keywords

chemical tank farm; radar level gauge; anti-interference technology

## 化工罐区雷达液位计抗干扰技术研究

宋韦钢

中化泉州石化有限公司, 中国·福建 泉州 362103

## 摘要

化工储罐区域由于储存易燃易爆、强腐蚀性和高度挥发性的物料,是化工生产过程中的重要基础设施,也是化工企业安全生产的重中之重。由于本区域电磁干扰、介质蒸发损耗和结构复杂造成遮挡、扬尘等状况,在雷达液位计的实际运用当中经常出现信号衰弱、反射不明显、测量误差大等现象,进而对安全生产及工艺参数调控造成不利的影。本文主要分析化工罐区雷达液位计常见干扰因素以及它们的根本原因,同时评价目前抗干扰技术的使用情况及发展走向。针对硬件冗余设计、智能算法革新、现场施工规范优化这三个技术关键领域展开研究,选取具体的典型案例给出技术选型意见和操作途径,从而提高罐区液位检测系统稳定性及可靠性,保证化工装置安全、高效运转。

## 关键词

化工罐区; 雷达液位计; 抗干扰技术

## 1 引言

化工罐区是储存原料、搬运中间产物、输送成品的枢纽所在,在生产过程中起着重要的作用。高效的安全控制不单依靠液位准确的监控系统,还要依靠先进的工艺技术来防止出现风险。传统浮球或静压液位计容易受到介质的侵蚀,维护频繁,测量精度差,不能满足化工罐区苛刻的工作环境,即高温高压、腐蚀性物料和各种外界的干扰。但是,在实际应用中,电磁干扰、蒸汽辐射、固体颗粒混杂和内部结构变化等种种因素不断的冲击雷达液位计的数据采集过程,导致信号衰减明显、读数不稳甚至出现错误报警的情况屡次

发生,严重危及装置的安全可靠。为了解决以上一系列问题并且提高系统的整体稳定性以及精密度,有必要对新型抗干扰方案进行研发和应用研究,在保证化工罐区稳定运行的基础上推进工业智能化的发展方向。

## 2 化工罐区雷达液位计抗干扰技术研究意义

### 2.1 完善雷达液位计抗干扰技术体系

目前雷达液位计抗干扰的研究多集中于单个干扰源的处理方式上,没有对化工储罐区常见的干扰因素及其相互作用的综合效果进行深入研究。现有的研究结果在技术理论方面还比较欠缺,需要做系统的分析并加以改进。根据化工罐区各种干扰类型(电磁波反射、机械振动等)的发生机理和传播规律,对它的内在联系进行系统的分析,根据具体的使用场合选择合适的抗干扰方法。对各个方案的应用范围、优

【作者简介】宋韦钢(1995—),男,中国贵州贵阳人,西南石油大学自动化工科学士,初级职称,自动化。

点和缺点做出客观评价,从而构建出一套系统的抗干扰技术选择和评价指标体系,给技术创新提供良好的理论支撑,推动雷达液位计抗干扰技术由局部优化向全局协调转变<sup>[1]</sup>。

## 2.2 保障化工罐区安全生产

化工储罐区经常储存易燃、易爆和强腐蚀性的危险液体,液位测量准确与否会直接关系到发生事故时能否得到有效的安全防护。由于外界电磁干扰等缘由,在正常的运行状况下,雷达液位计会遭遇测量误差变大或者信号出现波动的情况,这样的状况会造成操作人员对实际情况产生错误的理解,进而增大物料外溢或者设备停止运转的危险,严重的话还会威胁到人身安全以及造成财产损失。经过对抗干扰技术的研究开发,可以明显改善雷达液位计在复杂环境下运行稳定性以及准确性的表现,保证液位数据的高可靠输出,尽早发现异常情况并制订有效的应急处理措施,从根源上减少化工厂生产过程中安全风险的发生,保证化工厂整体正常运转<sup>[2]</sup>。

## 3 化工罐区雷达液位计抗干扰技术研究现状

### 3.1 多技术融合, 适配场景不断拓展

目前在抗干扰技术上已经形成一个以硬件改进、软件算法改进和安装调试为基础的技术系统,并有明显融合创新的特点。从硬件上采用改变天线的形状、使用高效的屏蔽材料、调整发射频率等手段来提高系统的抗干扰性能。该款采用 80GHz、120GHz 超高频雷达液位计具有极窄的波束角(1°),可以避开储罐内部复杂结构的阻挡,并且能很好的防止粉尘、蒸汽的影响<sup>[3]</sup>。该设备用双层屏蔽的探头组件来达到或者超过 80dB 的屏蔽效果,大大减小了外界电磁干扰对设备的威胁。软件算法环节大多用到虚拟回波剔除、信号降噪改善以及自适应校正来加强数据准确度及稳定度。使用“回波模型训练”模块获取异常反射体的信息来建立抑制规则库,用频域跟踪技术自动去除非目标成分的干扰。施工部署上重视合理选点布置、准确调整方位参数和精细配置导向管道系统,又削减了外界干扰给测量精确性带来的隐秘危险。以上述方法在石油化工等行业的应用情况来看,可以有效地提高雷达液位计的抗干扰性。

### 3.2 复杂场景适配不足, 智能化水平有待提升

尽管目前雷达液位计的抗干扰技术已经取得了较好的成果,但是受到化工罐区复杂环境多种干扰叠加的影响,仍然存在一定的应用困难。多源干扰协同抑制能力较弱,目前的方案大多只对一种因素进行设计,在罐区同时存在电磁、热力和机械等多方面干扰的时候,整体的抗噪性能会大大降低,不能满足苛刻工况的要求。尤其是对于那些在超高温(高于 350℃),超高压(大于 10MPa),高强度腐蚀环境下使用的设备来说,由于它们所处的环境十分恶劣,所以其可靠性大大降低,并且会受到高频振动以及粉尘污染等不利因素的影响,这就使得传统的抗干扰手段无法保证它的长时间、稳定的运行。智能化程度不足的问题依然存在,在大部分机

种上还要依靠人工的干预来完成参数的调整,缺少有自我学习能力的智能算法的支持,既不能够扩大系统的应用范围,也无法支持化工储罐的数字化转型。更重要的是很多关键技术仍然依靠进口,造成本土产业链发展滞后、初期投入大,严重阻碍了国产替代进程。

## 4 化工罐区雷达液位计抗干扰核心技术

### 4.1 从源头提升设备抗干扰基础能力

硬件系统属于雷达液位计抗干扰机制的主要支持,对它的结构改良以及参数调节可明显缩减外界环境噪声所造成的干扰影响。从技术方面主要从天线设计改进、工作频段调整、电磁屏蔽效能提高这三个方面展开系统的改善。雷达液位计的天线是其中的重要组成之一,它的好坏直接影响到系统抗干扰的能力。由于罐区环境复杂,有高粉尘浓度、高湿度等,一般用具有很好的抗污性能的抛物面天线来降低信号衰减和杂散干扰的问题;对于强腐蚀性储罐的使用来说,一般采用不锈钢或者 PTFE 全包覆材料制成的天线结构来保证设备的运行稳定以及使用寿命的提高<sup>[4]</sup>。

为了适应大型油品储罐超过 70 米的超长量程要求,专门研制了锥体型天线产品,既保证了良好的方向指向性,又大大减小了由于反射效应而造成的测量误差,使得远距离测距精度大大提高。发射频率属于决定雷达信号抗干扰性能的重要因素之一,不同的微波信号所处的频段,其在传输时抗干扰的能力存在明显的差别。根据化工储罐区实际工况要求,在满足目标物性质、环境复杂程度的基础上合理布置雷达系统,并采取相应的措施提高雷达系统综合抗干扰能力有重要的意义。低频(6.3GHz)雷达系统由于波束角大(约 24°),在低干扰环境中可以很好地工作,并且满足了 0~20 米距离的测量要求;中频(26GHz)则通过波束宽度减小到 14°,提高了对尘埃和高温蒸汽等常见干扰源的耐受性,因此可以使用更广泛(可以达到 0~70m)。

在遇到强干扰或者小型反应容器作业的时候,高频段(80 GHz 或 120 GHz)由于具有较高的聚焦效率和较低的能量损耗,在避开周围障碍物的同时,可以满足很短距离检测的要求(只用 80ms 就可以完成 100m 距离扫描,具有 10GHz 宽的带宽),而且可以穿透厚度超过 800mm 的泡沫结构得到准确的信息。为保证设备在多种化工条件下具有最好的抗干扰效果,研发团队已经成功地把自主调谐机制引入到实际应用中来,根据现场情况不断改变发射参数。屏蔽防护技术主要解决电磁兼容和环境影响问题,关键就是选择高效的屏蔽材料,并对封闭系统进行设计。在电气方案中用内置铜箔、外覆铝合金复合结构的方式进行屏蔽,屏蔽效率不小于 80 分贝,抗干扰能力强。为了减少信号传输过程中电磁干扰的影响,所选同轴电缆阻抗低,并且经过了 IP68 级别防水试验,在短时间浸入水中也能正常工作。物理上天线罩采用的是 316L 不锈钢,经过严格的密封处理并进行了

IP68 等级的测试,可以保证长期稳定的使用,在恶劣环境下也能正常工作。

## 4.2 软件算法改进提升信号识别与干扰抑制能力

软件算法在雷达液位计的抗干扰性能中起到很重要的作用。为了达到有效区分真实反射回波和干扰信号的目的,就需要对信号处理和分析技术做系统性的改善。该类改进主要是虚假回波抑制机制的设计、高频噪声过滤方法的应用和环境参数自适应调节这三大技术模块。化工罐区雷达液位计中普遍存在的虚假回波干扰,大多由储罐内部的障碍物、罐壁反射、泡沫层等引起。为了克服上面的问题,本文提出用机器学习的方法来抑制虚假回波。在设备停机状态下对系统进行测试时,系统得到了储罐里各种障碍物反射回来的信号数据,并将其保存起来形成了一个假回波特征库,这个库里包含着各种障碍物所发出的回波幅度特征、频谱分布以及传播时长这些重要属性。

在实际运行工况下,算法会实时监测目标回波序列,用深度学习模型对这些数据流加以解析,从而达到精准辨别真伪回波的目的,针对固态障碍物造成的静态异常信号会采用硬阈值滤除的方式将其剔除掉,对于机械运动导致的动态误报现象,采用高频检测技术对信号周期性的波动模式进行分析,最后调用自适应修正规则屏蔽可能出现的危险信息。经过改进之后,雷达液位计测距误差可以由原来的  $\pm 20$  毫米减小到现在的  $\pm 5$  毫米左右,从而极大地提高了整个系统的测量性能。为了克服电磁干扰、粉尘污染引起信号波动和噪声的问题,提出一种新的自适应卡尔曼滤波器和小波变换相结合的信号处理方法。该方法将两者的优势结合起来,即自适应卡尔曼滤波器可以实时修正系统的参数,使系统参数更接近实际值,减少由于随机干扰造成的采集数据误差,并保持跟踪误差零级<sup>[5]</sup>。

## 4.3 安装调试优化技术,减少干扰因素的影响

系统化的安装和调试方案不仅可以有效地减少环境因素给雷达液位计带来的不利影响,而且可以对设备的抗干扰实际表现及综合可靠程度做出全面的评价。一般包含位置安排改善,角度改进,参数微调等主要部分。雷达信号传输路径以及干扰源的分布情况,都是决定检测成果好坏的因素之一,只有对其加以合理的设计,并且按照储罐结构特点和潜在的干扰情况实施系统性的改进,才能使检测结果更加准确可靠。

选点时,把安装位置设在距罐壁不小于 300mm 的地方,并且与搅拌器或者加热设备等障碍物之间距离大于容器

半径的 1.5 倍,这样才能防止界面反射造成误判;并且布置在储罐顶部中心位置,可以保证高质量的目标成像,提高回波信号质量。对于容易出现气态物质挥发的场合,可以使用导波管技术减少液体非均质性对数据采集造成的影响。研究表明,用导波管方案代替传统的测量方法之后,测量误差由原来的  $\pm 20\text{mm}$  减少到现在的  $\pm 10\text{mm}$  左右,比以前高了 40%。另外还要合理避让进料口、出料口区域,防止物料运动引起的瞬态效应影响回波图像的整体一致性。根据测量性能影响因素的分析可知,精确调节探头安装角度可以大大削弱流体沉积物、泡沫等外部因素的干扰,同时针对不同的工况要求设计出相应的系统结构。对于黏稠度高、易产生沉淀的介质,应该把探头倾斜角度设为  $10^\circ \sim 15^\circ$ ,避免表面积垢的问题出现,从而提高清洁次数,并且使设备寿命得到延长。

## 5 结语

化工罐区雷达液位计的抗干扰性能对化工罐区的运行安全、化工生产的稳定起到重要作用。本文以化工罐区雷达液位计抗干扰技术为出发点,对它的研究价值进行了系统的分析,并从硬件设计优化、算法改进、现场部署调整等几个方面展开研究。经过研究可知,电磁波反射异常、外界环境波动、机械结构不同等多种干扰因素都会导致雷达液位计产生信号衰减或者测量误差。利用硬件增强法、智能算法革新法、技术参数优化法三个途径来提高系统抗干扰性,保证高可靠性运行。目前业界对于该装置在多种干扰交错的环境里应用和适应情况还存在不足,更需要在极端环境中加强抗干扰能力。未来研发工作要朝着化工行业智能化转型的方向前进,对多源干扰综合抑制技术进行突破,从而促进工业控制系统架构体系更加可靠。

## 参考文献

- [1] 全斌. 石油化工罐区火灾快速灭火技术应用研究[J].石化技术, 2025,32(11):372-374.
- [2] 潘伟良,张善立,张杰,等. 化工品中间罐区项目建设投运实践及问题研究[J].化工管理,2025,(30):159-163.
- [3] 沈晓丽,官博. 雷电诱发化工园区多米诺效应链路概率预测[J].化工机械,2025,52(05):803-809+853.
- [4] 邢剑伟,许浩瀚,徐栋,等. 玻璃仪器检测法在某化工企业地下水渗漏排查中的应用[J].环境科技,2025,38(05):34-39.
- [5] 马雪涛. 液氨罐区消防系统智能化设计与应用[J].现代盐化工, 2025,52(05):97-99.