

电解铝行业基于大型密闭储罐应用雷达料位扫描系统的可靠性分析

杨文苍

黄河鑫业有限公司 青海 西宁 810000

摘要: 本文聚焦电解铝行业大型密闭储罐应用雷达料位扫描系统的可靠性问题。阐述电解铝行业储罐特点与料位测量重要性,介绍雷达料位扫描系统原理。深入分析影响系统可靠性的干扰因素、设备性能问题与安装调试问题,提出优化设计、加强维护、规范安装调试及建立预警应急机制等措施,为行业应用提供可靠参考。

关键词: 电解铝行业;大型密闭储罐;雷达料位扫描系统;可靠性分析

1 引言

电解铝行业为高能耗、高污染传统工业,依赖氧化铝等大量原料,常存储于大型密闭储罐中。准确掌握料位对保障生产连续、稳定及安全至关重要。传统测量方法存在精度低、易受环境影响、维护成本高等问题。雷达料位扫描系统因其非接触、高精度、高可靠性等优点,在该领域逐步推广应用。但电解铝生产环境复杂,如高温、高粉尘、强电磁干扰,影响系统可靠性。因此,研究其在该行业应用中的可靠性问题并提出优化措施,具有重要意义。

2 电解铝行业大型密闭储罐及料位测量概述

2.1 电解铝行业大型密闭储罐特点

电解铝行业的大型密闭储罐主要用于存储氧化铝、氟化盐等关键原材料。这些储罐体积庞大,直径可达10-30米,高度可达20-40米,存储容量从数千立方米到数万立方米不等。结构上,一般采用钢制材料建造,为保证强度和密封性,罐体壁厚通常在10-30毫米之间。由于电解铝生产过程需要连续稳定供应原材料,储罐需长期存储大量物料,避免因物料短缺导致生产中断。同时,为防止物料受潮、氧化以及避免粉尘外泄污染环境,储罐采用密闭设计,内部环境复杂,给料位测量带来困难。

2.2 料位测量的重要性

在电解铝生产中,准确的料位测量对生产顺利进行至关重要。首先,它有助于科学管理原材料供应,避免短缺或积压,保障生产连续性和降低成本。其次,料位数据是实现自动化控制的重要依据,如调控加料速度和添加剂量,确保工艺稳定,提升产品质量与效率。此外,精确测量还能防止物料溢出,避免火灾、爆炸等安全事故,保障人员和财产安全。

3 雷达料位扫描系统工作原理

雷达料位扫描系统基于电磁波的传播和反射原理工作。系统主要由雷达天线、发射机、接收机、信号处理单元和显示单元等部分组成。发射机产生高频电磁波脉冲,频率通常在6-80GHz之间,脉冲宽度可根据测量需求在纳秒到微秒级调整。电磁波脉冲通过雷达天线向储罐内物料表面发射,当遇到物料表面时,一部分能量被反射回来^[1]。雷达天线接收到反射波后,将其传输给接收机。接收机对反射波进行放大和滤波处理,信号处理单元根据发射波和反射波之间的时间差,结合电磁波在空气中的传播速度(约 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$),计算出物料表面到雷达天线的距离,即料位高度。计算公式为:料位高度=(电磁波传播速度 $\times$ 时间差)/2。最后,显示单元将计算得到的料位信息以直观方式呈现给操作人员,如数字显示、曲线图等。

4 影响雷达料位扫描系统可靠性的因素分析

4.1 干扰因素

4.1.1 粉尘干扰

当雷达电磁波在储罐内传播时,粉尘颗粒会对电磁波产生散射和吸收作用。粉尘颗粒的散射会使部分电磁波偏离原来传播方向,导致接收机接收到的反射波信号强度减弱。例如,当粉尘浓度从 50 g/m^3 增加到 200 g/m^3 时,反射波信号强度可能降低30%-50%。粉尘对电磁波的吸收会进一步降低信号能量,当粉尘颗粒直径与电磁波波长相近时,吸收作用最为明显。当粉尘浓度较高时,可能会使反射波信号过于微弱,无法被接收机准确识别,从而影响料位测量的准确性,甚至导致测量失败。

4.1.2 电磁干扰

雷达料位扫描系统中的电子元件对电磁干扰较为敏感,强电磁场可能会干扰系统的正常工作。例如,电解

槽产生的电磁干扰频率范围较宽,从几十赫兹到几百兆赫兹不等,强度可达数伏每米。电磁干扰可能导致发射机产生的电磁波脉冲频率不稳定,使测量结果出现偏差。当干扰信号强度达到一定程度时,可能会使接收机接收到的信号出现失真、噪声增加等问题。

4.1.3 温度干扰

温度的变化会影响电磁波在空气中的传播速度,根据雷达料位测量的原理,料位高度的计算是基于电磁波传播速度和传播时间的。一般情况下,电磁波在空气中的传播速度随温度升高而增大,温度每升高1℃,传播速度约增加0.6m/s。如果传播速度因温度变化而发生改变,而系统没有进行相应的温度补偿,就会导致计算得到的料位高度出现误差。例如,当储罐内温度从20℃升高到80℃时,若未进行温度补偿,料位测量误差可能达到±10mm。此外,高温环境还可能对雷达料位扫描系统的电子元件性能产生影响,加速元件的老化,降低系统的稳定性。

4.2 设备自身性能问题

4.2.1 天线性能

如果天线的设计不合理,如天线的增益、波束宽度等参数不合适,可能会导致发射的电磁波能量分布不均匀,或者接收反射波的能力不足。例如,天线增益过低,会使发射的电磁波能量分散,导致反射波信号强度减弱;波束宽度过宽,可能会使电磁波照射到储罐内的障碍物上,产生虚假回波,影响测量精度^[2]。此外,天线表面的污垢、腐蚀等问题也会影响电磁波的发射和接收效率。当天线表面附着1mm厚的污垢时,电磁波的发射和接收效率可能降低10%-20%,降低系统的测量精度和可靠性。

4.2.2 信号处理能力

信号处理单元负责对接收到的反射波信号进行分析和处理,以计算出料位高度。如果信号处理算法不够先进,或者处理速度较慢,可能无法及时准确地提取出有效的料位信息。在复杂的测量环境下,如存在大量干扰信号时,信号处理单元如果不能有效滤除干扰,也会导致测量结果出现偏差。例如,当干扰信号与有效回波信号在时间和频率上相近时,传统的信号处理算法可能难以区分,导致测量误差增大。先进的信号处理算法,如自适应滤波算法、小波变换算法等,能够更好地应对复杂环境下的信号处理问题,提高测量精度和可靠性。

4.3 安装调试问题

4.3.1 安装位置不当

如果天线安装位置过高或过低,可能会导致测量盲

区增大,无法准确测量到储罐底部的物料或者储罐顶部的空间。一般来说,测量盲区与天线安装高度和电磁波波长有关,安装高度越高,测量盲区越大。例如,当天线安装高度为5米时,测量盲区可能达到1-2米。此外,安装位置的选择还应考虑储罐内的物料流动情况,避免因物料在储罐内的堆积或流动而影响电磁波的反射和接收。如果天线安装位置不合理,可能会使测量结果与实际料位存在较大差异,降低系统的可靠性。

4.3.2 调试参数设置不准确

雷达料位扫描系统在安装完成后需要进行调试,设置一系列参数,如量程、灵敏度、回波损耗等。如果这些参数设置不准确,可能会导致系统无法正常工作。例如,量程设置过小,当实际料位超过量程范围时,系统将无法准确测量;灵敏度设置过高,可能会使系统对一些微弱的干扰信号产生误响应,导致测量结果不稳定。

5 提高雷达料位扫描系统可靠性的措施

5.1 优化系统设计

5.1.1 抗干扰设计

针对粉尘干扰,可以在雷达天线周围安装防护装置,如防尘罩等,减少粉尘对天线的直接附着。同时,采用具有抗粉尘干扰能力的雷达传感器,其天线设计和信号处理算法能够更好地应对粉尘环境。例如,采用喇叭天线设计,可减少粉尘在天线表面的堆积;采用先进的信号处理算法,能够有效滤除粉尘散射产生的干扰信号。对于电磁干扰,可以采用屏蔽技术,对雷达料位扫描系统的关键部件进行电磁屏蔽,减少外部电磁场对系统的影响。一般采用金属屏蔽罩将发射机、接收机等部件包裹起来,屏蔽效能可达60-80dB。此外,在系统设计时,合理布局电路,避免信号线之间的相互干扰,提高系统的抗干扰能力。针对温度干扰,系统应具备温度补偿功能,通过在储罐内安装温度传感器,实时监测温度变化,并根据温度数据对电磁波传播速度进行修正。例如,采用线性温度补偿算法,根据温度变化实时调整传播速度参数,将料位测量误差控制在±2mm以内。

5.1.2 设备选型优化

在选择雷达料位扫描系统时,应充分考虑电解铝行业大型密闭储罐的实际应用环境。选择具有高性能天线和先进信号处理能力的设备,确保系统能够在复杂环境下稳定工作。例如,选用具有高增益(增益可达20-30dBi)、窄波束(波束宽度小于10°)天线的雷达传感器,能够提高电磁波的发射和接收效率,减少粉尘等干扰因素的影响^[3]。同时,先进的信号处理算法能够更好地滤除干扰信号,提取出准确的料位信息。在设备选型

时,还应考虑设备的防护等级,一般应选择防护等级达到IP67以上的设备,以适应恶劣的环境条件。

5.2 加强设备维护

5.2.1 定期清洁与检查

定期对雷达天线进行清洁,去除表面的污垢和粉尘,保证天线的正常工作性能。一般建议每1-2个月对天线进行一次清洁,可采用压缩空气吹扫或用干净的软布擦拭的方法。同时,检查天线的连接部位是否松动,天线是否有损坏等情况。对于系统中的其他电子元件,也应定期进行检查,查看是否有过热、老化等异常现象,及时发现并处理潜在的问题,确保设备的可靠运行。例如,每3-6个月对发射机、接收机等部件进行一次性能检测,检查其输出功率、灵敏度等参数是否在正常范围内。

5.2.2 参数校准

随着时间的推移和环境的变化,雷达料位扫描系统的参数可能会发生漂移。因此,需要定期对系统进行参数校准,确保量程、灵敏度等参数的准确性。校准过程应严格按照设备说明书的要求进行,使用标准的校准工具和方法,以保证校准结果的可靠性。一般建议每6-12个月对系统进行一次全面校准,在校准过程中,可采用标准料位模拟装置,模拟不同的料位高度,对系统的测量结果进行校准和调整。

5.3 规范安装调试流程

5.3.1 合理选择安装位置

在安装雷达天线时,应充分考虑储罐的结构、物料特性以及生产工艺要求等因素。选择能够使电磁波均匀覆盖物料表面且测量盲区最小的安装位置。一般来说,天线应安装在储罐的顶部中央位置,并且要保证天线与物料表面之间没有障碍物遮挡。同时,在安装过程中,要注意天线的垂直度,确保电磁波能够垂直发射和接收,提高测量精度。安装时,可使用水平仪等工具对天线的垂直度进行调整,确保垂直度偏差小于 0.5° 。

5.3.2 准确设置调试参数

在系统调试阶段,应根据储罐的实际尺寸、物料特性以及生产要求等因素,准确设置各项参数。量程的设置应略大于储罐的最大料位高度,以保证系统能够测量到所有可能的料位情况。例如,若储罐最大料位高度为30米,量程可设置为32-35米。灵敏度的设置要根据实际测量环境进行调整,既要保证能够准确接收到有效的反射波信号,又要避免对干扰信号产生误响应。在设置参数过程中,应进行多次测量和验证,确保参数设置的准确性

和合理性。一般可进行5-10次不同料位高度的测量,对比测量结果与实际料位的偏差,对参数进行优化调整。

5.4 建立完善的故障预警与应急处理机制

5.4.1 故障预警系统

利用现代信息技术,建立雷达料位扫描系统的故障预警系统。通过对系统运行参数的实时监测和分析,如信号强度、噪声水平、测量误差等,当参数出现异常变化时,及时发出预警信号。故障预警系统可以采用声光报警、短信通知等多种方式,确保相关人员能够第一时间了解到系统故障情况,以便及时采取措施进行处理。例如,当信号强度低于正常值的30%时,系统自动发出声光报警,并同时向相关人员的手机发送短信通知。

5.4.2 应急处理预案

制定完善的应急处理预案,明确在系统出现故障时的应急处理流程和责任分工。预案应包括故障排查方法、备用设备的启用方案以及与生产部门的协调机制等内容。定期组织相关人员进行应急演练,提高应对突发故障的能力,确保在系统故障时能够迅速恢复生产,减少对生产的影响。例如,在应急处理预案中规定,当系统出现故障时,维修人员应在30分钟内到达现场进行故障排查,若无法在2小时内修复,则立即启用备用设备,确保生产的连续性。

结语

雷达料位扫描系统在电解铝行业大型密闭储罐中的应用,对提升生产效率、保障产品质量与安全具有重要意义。但由于生产环境复杂,系统面临可靠性挑战。通过分析干扰因素、设备性能及安装调试等问题,并采取优化设计、加强维护、规范流程及建立预警机制等措施,可有效提升系统稳定性。这些举措使系统在复杂环境下可靠运行,为企业提供准确料位信息,助力可持续发展。未来还需探索新技术,进一步提升系统性能,更好满足行业发展需求。

参考文献

- [1]马得胜,3D雷达物位扫描技术在铝电解高磁场环境物料测量中应用研究.青海省,黄河鑫业有限公司,2022-07-15.
- [2]赵鑫.一种用于铝电解区域浓度跟踪控制系统中的微电压采集单元的设计及应用[J].轻金属,2024,(09):57-61.
- [3]马得胜.基于三维扫描的铝电解大型密封式储料仓物位精准检测系统设计[J].世界有色金属,2021,(20):123-125.