

大型原油储罐的在线全面检测技术应用

高文欣 王震 张秀吉 (斯坦德检测集团股份有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要: 在长期的生产应用中, 大型原油储罐难免发生不同形式的故障风险与失效问题, 故而存在多元化的状态检测与安全评估需求。基于此, 文章先遵循风险导向原则, 围绕腐蚀失效风险、破裂失效风险、失稳失效风险三个方面, 分析了大型原油储罐在线全面检测技术的应用方向。其后, 结合超声波检测技术、声发射技术、储罐沉降观测技术等部分, 研究了大型原油储罐在线全面检测技术的具体应用内容。

关键词: 原油; 储罐; 在线全面检测技术

0 引言

原油储罐是现代石油化工产业中不可或缺的重要生产设施, 其应用质量与工业生产的安全效益、经济效益、社会效益密切相关。结合实际情况来看, 原油储罐在实际生产应用中面临着诸多风险, 如腐蚀风险、破裂风险、沉降风险等。对此, 要想达到及时化、系统化的风险控制效果, 充分保障原油储罐的安全稳定应用, 就必须要多角度、多形式地做好相关检测工作。所以, 有必要以大型原油储罐为对象, 对其在线全面检测技术的应用展开探究分析。

1 大型原油储罐在线全面检测技术的应用方向

实施大型原油储罐在线全面检测工作的根本目的, 是实现原油储罐的整体状态评估与失效风险排查, 从而为储罐维修保养提供依据, 为储罐安全稳定运行提供保障。所以, 在规划相关检测技术的应用方向时, 需要以应对大型原油储罐不同类型的失效风险为导向。结合行业经验来看, 原油储罐失效风险主要有三类:

1.1 腐蚀失效风险

原油介质中含有多种腐蚀性物质, 如烃类物质、水、无机盐、有机酸、氯化物、硫化物等。所以, 在原油储罐的工业应用过程中, 罐底、罐内壁等部位必然会受到一定的腐蚀影响, 进而表现出罐底破损、罐壁变薄等负面现象。

1.2 破裂失效风险

在内部应力与外部作用力的影响下, 原油储罐易发生罐体破裂、焊缝开裂等故障, 进而增大原油泄漏的风险。在此基础上, 若破裂问题得不到及时有效的处理, 裂缝很可能会进一步延展, 继而引发严重的工业安全事故与生产效益损耗。

1.3 失稳失效风险

在罐体自重、生产扰动、环境变动等多种因素影

响下, 原油储罐还可能发生结构稳定性方面的缺陷问题, 如过度沉降、不均匀沉降、罐体倾斜等, 继而形成一定的安全隐患。基于此, 大型原油储罐的在线全面检测就应包含有腐蚀检测、破裂检测、沉降检测等技术环节。

2 大型原油储罐在线全面检测技术的应用内容

2.1 超声波检测技术

从原理上讲, 超声波检测技术主要是基于超声波信号的折射、反射、衰减等物理性质完成检测活动的。作为一种高频率、短波长、可定向的机械波, 超声波能够精准对应测点, 并在液态、固态介质中保持良好的穿透性与稳定性。因此, 超声波检测技术在工业储罐检测中的应用相当可靠且广泛。在大型原油储罐在线全面检测体系中, 超声波检测技术主要用于获取储罐内原油的液位信息。

具体来讲:

开展检测实践时, 需要将超声波检测设备置于原油储罐前方, 并做好设备与储罐间杂物、遮挡物的清理工作, 以避免超声波信号的穿透与反馈效果受到干扰。其后, 按需确定信号定向测量的角度和点位, 并操作设备启动运行。此时, 设备内部的声波换能器会在脉冲信号激励作用下向测点发射超声波, 使超声波透过储罐壁顺利达到原油液面处。随后, 超声波在液面反射作用下形成反射波, 并传回换能器。最后, 声波换能器将捕捉到的反射波信号转换处理为电信号, 促使检测设备系统执行信息记录、数据处理、图像显示等动作, 进而完成原油储罐液位的在线检测任务。处理相关数据时, 主要依据公式为:

$$H = L_0 - L = v \frac{t}{2}$$

其中, H 为检测时原油储罐内的液位高度, L_0 为超声波检测探头与储罐底面的间距, L 为超声波检测

探头与储罐液面的间距, v 为超声波传输的速度, t 为声波换能器发出超声波、接收反射波的间隔时间。

此外, 为了提高超声波检测技术的应用精度, 增强所获原油储罐液位信息的可靠性, 还应在检测实践中做好两方面工作。一方面, 要尽量避免出现检测误差。结合业内经验来看, 使用超声波进行原油储罐液位检测时, 引发误差的原因包括: ①设备与储罐间距过短; ②探头安装不到位, 存在探头松动、探头倾斜等问题; ③信号的接收、传递存在延迟; ④信号处理及计量显示存在偏误。

基于此, 在正式检测前, 需要做好设备定位、系统调试等工作, 确保超声波检测设备的性能、工况均处于理想水平。只有这样, 才能根本上降低检测误差率, 保证原油储罐液位信息的获取质量。另一方面, 当误差情况已经发生后, 需要建立特定的数学模型, 对原油储罐液位检测结果进行修正。通常情况下, 基于检测设备显示图像的差异, 可运用以下两种偏误纠正方法: 第一, 运用多项式回归模型进行纠正, 模型公式为: $y=a+bx+cx^2$, 其中, y 为原油储罐液位的实际值, x 为误差背景下原油储罐液位的显示值, a 、 b 、 c 均为多项式的回归系数; 第二, 运用多项式分段回归模型进行纠正, 模型公式为: $y_i=a_i+b_ix+c_ix^2$ ($i=1, 2, \dots, n$), 其中, y_i 为原油储罐液位的实际值, x_i 为原油储罐液位的显示值, a_i 、 b_i 、 c_i 均为第 i 段的多项式回归系数。一般来讲, 超声波检测原油储罐液位的允许误差以 $\pm 0.5\%$ 为宜。

2.2 声发射技术

声发射又称“应力波发射”, 是物体在形变应力或外力作用下瞬间产生弹性能量并形成应力波的现象。当原油储罐出现开裂或遭受腐蚀时, 罐壁、罐底会因裂缝延展、面层受损而发生应力的变化或再分配, 从而释放出一定的应变能。所以, 将这种声发射现象应用到原油储罐的在线检测中, 能够实现储罐完整性与受腐蚀情况的测定。检测时, 由于原油储罐内部的声发射现象源于储罐本体, 所以相应检测信息的获取主要是通过传感器装置实现的。具体实践中, 首先要把传感器安装在原油储罐的管壁上或罐底下方。安装时, 为了实现声发射信号的完整采集, 需要根据传感器工作范围与原油储罐底面、侧壁的面积确定传感器数量, 并保证传感器呈均匀、错开的闭环状分布。在此基础上, 为了避免声信号在高密度原油中传输时发生过度衰减, 还应在传感器中加设信号二次放大器。

其后, 便可在特定检测周期内对传感器信息实施动态采集与分析处理, 从而掌握原油储罐中声发射的来源点、撞击数、事件数及能量值, 并进一步了解原油储罐的结构失稳与功能失效情况。最后, 若传感器反馈声发射信息中的撞击能量值过高, 或罐底、管壁事件的来源点比较集中, 则表明原油储罐已发生较严重的裂缝、腐蚀等故障, 即存在较大的罐体损坏与原油泄漏风险。反之, 若能量值较均匀, 事件定位较疏松, 则表明原油储罐裂缝、腐蚀的几率较小或程度较轻。由此, 相关人员便可对原油储罐实际的结构失稳情况、功能失效情况形成有效评估, 并据此开展后续的储罐检修工作。

需要注意的是, 根据《无损检测—常压金属储罐声发射检测及其评价方法》(JBT10764-2007) 的相关规定, 应用声发射技术对原油储罐实施在线检测时, 应保证实际工况满足如下要求: ①检测期间, 原油储罐的液位不应低于操作液位最高值的 80%; ②安装并启用声发射传感器后, 原油储罐的进端阀门、出端阀门均应处于关闭状态。同时, 检测工作区域内的雷达液位计、油罐呼吸阀检测仪等干扰源也应保持关闭。只有这样, 才能尽可能保证声发射信号的来源可靠性与传输稳定性, 从而达到减小检测误差、降低检测难度的目的; ③应保证传感器、信号二次放大器具备较高的运行敏感度。其中, 放大器敏感度不应小于 40dB, 传感器灵敏不应小于 90dB。

2.3 储罐沉降观测技术

作为大型的工业储油设施, 原油储罐具有容量高、自重大的特点, 因此在长期使用中存在一定的沉降风险。同时, 原油储罐沉降故障主要表现有两种类型, 一为罐底板沉降, 二为管壁底端沉降。任何沉降事故的发生, 都会对原油储罐的安全稳定使用产生消极影响。所以, 在开展大型原油储罐的在线全面检测工作时, 必须要将储罐沉降观测作为重点环节。具体实践时, 首先要做好储罐沉降观测点的布置工作。一般来讲, 为了保证沉降观测的全面性, 需要沿原油储罐基础部位均匀布设观测点, 观测点数量应根据原油储罐的容积确定。若原油储罐的公称容积未超过 1000m^3 , 则应布置 4 个沉降观测点。

在此基础上, 储罐容积越大, 观测点数量越多。原油储罐公称容积达到 2000m^3 、 3000m^3 、 5000m^3 、 10000m^3 、 20000m^3 、 30000m^3 、 50000m^3 、 100000m^3 、 150000m^3 时, 沉降观测点的最少布置数量分别为 4 个、

8个、8个、12个、16个、24个、24个、26个、32个。若检测场景无特殊情况，或无特殊检测要求，原油储罐的沉降观测点可采取直埋式或预埋式的埋设方式。其后，在确认沉降点布置合理、检测区域无干扰因素后，即可在特定周期内对原油储罐的沉降情况实施观测，并动态采集相关观测信息。最后，完成周期性的观测工作后，即可对原油储罐沉降信息进行整合分析，并由此判断原油储罐是否存在异常的沉降、倾斜等情况。

在此过程中，主要应根据原油储罐内径尺寸确定沉降允许值。若原油储罐内径不超过22m，则外浮、内浮顶罐的径向沉降允许值、倾斜沉降允许值、最终沉降允许值均为0.007D，固定顶罐的三项沉降允许值均为0.015D；若原油储罐内径在22m至30m之间，则外浮、内浮顶罐的径向沉降允许值、倾斜沉降允许值、最终沉降允许值均为0.006D，固定顶罐的三项沉降允许值均为0.010D；若原油储罐内径在30m至40m之间，则外浮、内浮顶罐的径向沉降允许值、倾斜沉降允许值、最终沉降允许值均为0.005D，固定顶罐的三项沉降允许值均为0.009D；若原油储罐内径在40m至60m之间，则外浮、内浮顶罐的径向沉降允许值、倾斜沉降允许值、最终沉降允许值均为0.004D，固定顶罐的三项沉降允许值均为0.008D；若原油储罐内径在60m至80m之间，则外浮、内浮顶罐的径向沉降允许值、最终沉降允许值为0.0035D，倾斜沉降允许值为0.003D，固定顶罐的三项沉降允许值均为0.007D；若原油储罐内径超过80m，则外浮、内浮顶罐的径向沉降允许值、最终沉降允许值为0.003D，倾斜沉降允许值为0.0025D以下，固定顶罐的三项沉降允许值均为0.007D以下。其中，D为原油储罐的内径尺寸。若沉降观测结果超过上述允许值，则表明原油储罐存在异常沉降或倾斜故障。反之，若沉降量始终处在允许范围内，则表明原油储罐的基础结构相对稳定，沉降风险较小。此外，原油储罐还存在不均匀沉降的情况。分析沉降观测结果时，若10m弧长内相邻测点的沉降差超过25mm，或均匀沉降差超过0.003D，则表明原油储罐已有不均匀沉降风险。

2.4 其他检测技术

从目前来看，除上述检测技术外，相关人员在大型原油储罐在线全面检测中还可运用多种技术手段。例如，在检测原油储罐的失稳失效情况时，可使用经纬仪、线锤等工具在外部对储罐实施垂直度测定。对

于常规的圆筒形大型原油储罐，其壁板整体垂直度应在罐壁高度的0.4%以内，并且实际偏差值不应超过50mm。罐底基础部位壁板垂直度的偏差值不应超过3mm，此外各节段壁板垂直度的偏差值不应超过该段壁板宽度的0.3%。若实测结果超出上述允许范围，则表明大型原油储罐已发生主体倾斜故障。再如，在检测原油储罐底板的腐蚀或损伤情况时，可应用磁漏检测技术。从原理上讲，当原油储罐的金属底板经过磁化处理后，其内部会形成一定的磁场。在此基础上，若底板已遭受严重腐蚀，或存在破裂损伤，磁场中相应部位的磁导率便会明显降低，继而导致部分磁力线向外漏出，即发生漏磁现象。通常情况下，原油储罐底板受损越严重、缺陷范围越大，漏磁强度也就越高。所以，使用漏磁检测设备对漏磁信号进行采集分析，即可实现对原油储罐底板腐蚀失效及破裂失效情况的评估。需要注意的是，除了原油储罐自身的缺陷特性外，信号传感灵敏度、设备磁铁表面铁屑附着量等外部因素也会对漏磁检测结果产生影响。所以，在正式开展检测工作前，必须要做好漏磁检测设备的调试与清理。同时，还应落实多次复检，以便最大程度地减少检测误差，提高原油储罐底板漏磁检测结果的可靠性。

3 结论

综上所述，做好大型原油储罐的故障检测与风险防控极具重要性。具体实践时，首先要明确原油储罐在工业应用过程中可能遭遇的失效风险类型，即腐蚀失效风险、破裂失效风险与失稳失效风险。其后，再针对不同的风险部位、风险表现、风险指标，采取超声波检测、声发射检测、沉降观测、垂直度检测等在线检测技术措施。最后，再依据相关检测结果与评估指标，对大型原油储罐的实际状态、风险程度进行判断分析。只有这样，才能达到全面化、精细化的检测目的，为原油储罐的维护保养、检修优化夯实依据基础。

参考文献：

- [1] 张亚黎. 大型原油储罐建设过程中的质量控制[J]. 化学工程与装备, 2023(03):121-122+106.
- [2] 黄绍硕, 程伟, 程四祥. 大型原油储罐在线检测及RBI评估[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2022, 39(03):35-39.
- [3] 翁祥, 程猛猛, 罗小武. 原油储罐底板缺陷声发射在线检测适应性研究[J]. 石油工业技术监督, 2021, 37(12):21-24.