

常压立式储罐罐底腐蚀检测技术的研究与应用

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

摘 要: 针对常压立式储罐罐底腐蚀状况实施检测是消除质量缺陷的重要组成部分, 在本次研究中, 本文详细总结常压立式储罐罐底腐蚀情况后, 分别从声发射在线检测技术、储罐底板漏磁扫描检测技术两方面展开研究, 在了解技术特性后, 围绕某实际案例详细阐述了不同腐蚀检测技术的应用情况。最后文章对腐蚀检测技术的未来发展进行展望, 详细分析了无基准非线性超声 Lamb 波检测技术的可行性。

关键词: 原油; 储罐; 腐蚀检测; 超声波检测

0 前言

常压立式储罐是石化行业的常见存储装置, 其运行安全不仅关系到企业正常生产, 也可能造成巨大的经济损失或者环境污染问题。根据现有常压立式储罐的管理经验可知, 储罐罐底腐蚀具有危害大、缺陷不易发现等特征, 因此寻找一种科学、有效的腐蚀检测技术具有必要性, 这也是本文研究的主要目的。

1 常压立式储罐罐底腐蚀问题分析

1.1 外部腐蚀现象

①常压立式储罐经常出现罐底外露边缘板为主腐蚀情况, 表现为从边缘开始逐渐向内部发生的局部坑蚀与均匀腐蚀。随着腐蚀范围扩大, 可能导致边缘板局部脱落。除此之外, 腐蚀问题可能会造成外露边缘板与底圈壁板等部分位置发生局部破坏, 尤其是带保温层的常压立式储罐罐底的腐蚀问题更加严重。常压立式储罐在使用一段时间后经常发生沉降问题, 且不均匀沉降造成的应力结构改变也会加剧底板变形, 一旦发生变形现象后, 雨水、污水或者其他腐蚀性气体都会入侵储罐缝隙, 并造成严重的化学腐蚀破坏。或者底板位置暴露在水中, 长期浸泡在水中会造成严重的金属腐蚀; ②保温层覆盖壁板破坏。目前在常压立式储罐加工制造中所使用的罐体外保温材料为矿渣棉、珍珠岩, 外部用铁皮固定。在上述结构中, 保温材料普遍为多孔结构, 其吸水能力强, 一旦出现外表皮破坏则会造成雨水积存; 或者保温材料中本身存在大量无机盐, 此类物质受水元素影响而形成电解质, 导致常压立式储罐壁板结构的腐蚀破坏。

1.2 内部腐蚀作用

常压立式储罐底部的内部腐蚀作用是指构件内部因为各种原因造成的穿孔腐蚀, 腐蚀破坏主要表现为大量斑点状分布的腐蚀坑。有研究指出, 常压立式储罐底部污水含盐量大且电导率高, 导致水分中存在大

量腐蚀性粒子, 进而造成严重的电化学腐蚀。从腐蚀变化过程来看, 早期常压立式储罐内部腐蚀破坏过程主要为分布在焊缝区或者材质不均匀区的腐蚀; 随着时间的推移, 污水中不溶性沉积物逐渐在内壁表面附着并形成垢层, 垢层作用也会造成更严重的结构破坏。

2 不同腐蚀检测技术研究与应用

2.1 不同腐蚀检测技术

2.1.1 声发射在线检测技术

声发射技术在实际上属于材料内部因为突然释放应变能而形成的弹性应力波, 在上述条件下装置产生的流动声源可直接作用在腐蚀点位上, 此时通过储罐外壁上沿圆周方向布设一定数量的低频声传感装置, 该装置的运行频率维持在 50~60kHz 范围内, 即可采集所有罐底板反射的声波信号, 传感器采集声波信号后, 即可利用内部转换装置将声波信号转变为电信号, 系统识别后即可利用三角形定位方法完成声源的定位。最后根据系统的数据分析处理结果, 即可判断底板腐蚀状态的空间分布情况。该技术应用的基本流程为: 确定罐底声源位置→经前置放大器扩大信号后由传感器采集声波信息→利用声信号识别装置记录声波资料→声波数据的处理与显示→声波信息分级综合评价。在技术应用, 为更直观的判断声发射在线检测技术在常压立式储罐罐底腐蚀评估中的可行性, 可参照《无损检测常压金属储罐声发射检测与评价方法》中的判断标准, 参照声发射技术中的声源强度、声源活动性、定位等诸多因素的影响后, 将罐底板腐蚀状况做出分级评估, 其具体腐蚀状态评估标准如表 1 所示。

表 1 腐蚀状态评估分级标准

评级	底板腐蚀破坏状态	应对处理措施
1 级	存在少量腐蚀	不需要维修
2 级	有轻微腐蚀破坏	不需要立即维修
3 级	表面可见一定范围腐蚀	应制定维修计划

4 级	严重大面积腐蚀破坏	应优先考虑结构维修
5 级	存在严重的腐蚀破坏与泄漏	需停工检修

2.1.2 储罐底板漏磁扫描检测技术

储罐底板漏磁扫描检测技术的原理为：由于磁场在单一介质中连续分布，但是磁场在从两种介质中转换后，导致磁场的连续性发生改变，这种变化类似于光的折射效应。在常压立式储罐罐底腐蚀检测中，若发现两种介质的磁导率相差悬殊，可发现磁力线发生明显的折射反应，甚至出现几乎垂直于交界面的改变，并伴有磁场方向改变，甚至造成磁通量直接作用于金属材料表面最终生成漏磁场。在漏磁扫描检测技术检测中，该技术可直观判断被磁化金属表面有无漏磁场。在现场检测中，若铁磁性材料的表面光滑、无缺陷，将此材料磁化后其磁力线在理论上全部通过由铁磁性材料构成的磁路；若表面存在缺陷，经过磁化后，材料表面存在缺陷或组织状态的变化，即磁阻增大，使得磁路中的磁通相应发生畸变。基于上述技术原理，在检测桩可通过磁敏元件记录漏磁场状态，进而了解储罐底板的有无缺陷状态。

储罐底板漏磁扫描检测技术对储罐底板状态要求不高，具有检测速度快、不易漏检的优点，并且技术的检测效率更高，可同时针对储罐的上表面与下表面实施检测。

2.1.3 射线检测技术

射线检测技术主要利用 γ 或者 X 等可以穿透物体的射线观察结构内部轮廓状态，若发现材料内部存在缺陷，则会导致穿透物体的射线强度发生变化，再利用胶片成像原理显示判断罐底的腐蚀破坏情况，了解腐蚀点位的形状与位置。根据现有的应用经验可知，射线检测技术在管底腐蚀检测中的应用较为常见，该技术对缺陷的观察较为敏感，可直观显示腐蚀破坏的检测情况。但在应用中需要注意的是，该技术需要与底板直接接触，并且检测人员需要经过长时间的专业技能培训，避免射线对工作人员身体健康造成危害，在一定程度上限制了该技术的推广，目前较为成熟的技术方案包括以色列公司开发的 BoltXPro 装置，或者法国汤姆逊公司开发的 X 射线探伤设备，上述设备的探伤精度超过 $40\mu\text{m}$ ，具有成像范围广、精度高等优点。

2.2 不同腐蚀检测技术的应用对比

2.2.1 应用背景

为判断不同常压立式储罐罐底腐蚀检测技术的应

用效果，本文选择 30 种不同规格、不同介质的常压立式储罐实施检测。上述常压立式储罐不需开罐检测，根据检测结果也可用于判断底板的腐蚀破坏状态，并根据检测结果形成维修处置计划。

2.2.2 声发射在线检测技术的应用

2.2.2.1 现场检测过程

在常压立式储罐现场检测环节，按照装置传感器布点设置方案，在储罐外壁位置打磨出约 30mm 可见金属光泽区域，将上述区域作为安装传感器的位置。所有传感器沿着常压立式储罐边长均匀布置，在连接各个通道后即可设定采集程序并标定每个通道的灵敏度数值，直至通道灵敏度与平均灵敏度之间的误差值小于等于 3dB。现场检测中应先将储罐内液体控制在储液位下方，连续稳定 3h 之后再监测。

2.2.2.2 检测结果处置

通过声发射在线检测技术现场检测结果可知，该常压立式储罐的信号强度约为 45~55 之间，其中罐底检测结果显示，其声发射信号强度约为中等强度。同时根据罐底声发射信号活动性分析结果证实，该技术检测结果发现通道声发射撞击次数多，其中最大撞击次数超过 3000 次，总撞击数量超过 7300 次，因此可认为该储油罐的声发射信号活动度评估结果为活性。最后根据罐底腐蚀破坏状态评估结果可知，该装置的罐底结构破坏问题严重，按照表 1 中提出的腐蚀评级标准划分为 3 级，因此需要在 1 年内做持续腐蚀状态检测。

2.2.3 储罐底板漏磁扫描检测技术的应用

2.2.3.1 检测过程

根据某常压立式储罐的罐底腐蚀状态检测要求形成现场测试方案，测试前先形成储罐底板编号系统，标定罐底定位基准参考点与每块底板的坐标原地安置。该储罐的状态检测状态良好，但是受到支柱、补板与进出料管等装置的影响，可能存在部分无法检测到的情况，因此在现场测量中可通过缺陷深度测量与侧厚检测方法做辅助检测。

2.2.3.2 检测结果判断

在对储罐罐底状态实施腐蚀状态漏磁检测后，对装置表面腐蚀状态进行评价。本次现场测试结果显示，在所选的 37 块底板中有 29 块底板的腐蚀厚度超过 50%，针对此类底板建议更换底板。

2.2.3.3 现场复验处理

现场测试中发现，采用测厚和缺陷深度测量方法

对部分含有大于预先设定阈值的缺陷的底板进行复验。而根据现场复验的结果也发现,复验数据与储罐底板漏磁扫描检测技术的测试结果是相同的。

3 常压立式储罐罐底腐蚀检测技术的未来发展

3.1 技术要点

无基准非线性超声 Lamb 波检测技术是在声发射在线检测技术基础上发展而来的新技术,该技术在腐蚀点现场检测中可布设分布式分布传感器,利用耦合剂与金属材料的耦合后,判断传感器接收的脉冲信号特征,在提取其中的导波模态信息与透射波信号后,判断声波中包含的故障资料与数据缺陷,并经过归一化修理方法获得腐蚀缺陷损伤破坏信号。此时系统以结构完好时的数据为参考信号,信号对比中利用归一化比例相减的计算方法,评估腐蚀损伤缺陷分级情况。此时考虑到大部分储罐罐底腐蚀状态具有非线性变化特征,并且不同激励幅值的响应信号不成比例,因此在腐蚀状态评估中可将激励幅值较小的响应信号作为评估损伤的基础信号,而激励幅值较大的信号为监测装置,该技术在现场数据处理中可利用比例相减法获得差值信号,并按照差值信号的特征了解罐底的缺陷腐蚀破坏状态情况。

3.2 提取时域特征参数值

从技术特性来看,当超声导波与不同深度腐蚀缺陷存在相互作用关系时,可发现提取的时域特征参数出现变化尤其是在完整储罐罐底结构发生腐蚀破坏状态后,通过无基准非线性超声 Lamb 波检测技术可直观观察信号数据差异,并根据系统检测结果判断有无数据误差。而在误差特征数据处理中,针对相同幅值激励信号,结构腐蚀破坏问题越严重,则证明回波信号幅值越高。所以在无基准非线性超声 Lamb 波检测技术中可按照不同时域损伤因子来表示缺陷故障资料,并将其体现在腐蚀破坏的分级结果中。

在本次研究中为提升数据处理结果精度,在无基准非线性超声 Lamb 波检测技术中还需要提取差值信号的时域损伤因子,该因子的计算方法如公式(1)所示。

$$D = \sum_{i=n_1}^{i=n_2} d^2(i) \quad \text{公式(1)}$$

在公式(1)中,D表示时域损伤因子; n_1 与 n_2 则分别表示选取时间区间内的起始点与终止点;d表示腐蚀损伤信息的归一化差值信号; $i=1、2、3\cdots n$ 。

按照公式(1)的计算方法,时域损伤因子D与

腐蚀破坏严重程度存在密切关系,随着D的增加,即可认为常压立式储罐罐底的腐蚀破坏问题越严重。

3.3 腐蚀深度的预测结果

在现场测试中,为更直观地了解储罐罐底的腐蚀破坏状态情况,可通过曲线表示时域损伤因子与缺陷深度之间的相关性,在尽量使数据接近曲线后获得拟合曲线的函数形式,最后利用最小二乘法计算拟合曲线函数的回归系数即可。在腐蚀深度数据处理中,通过对实际观测数据做现场拟合后,即可按照评估参数判断模型的现场拟合效果,例如用R表示时域损伤因子与腐蚀深度之间的拟合程度,当R无限接近于1时,即可认为腐蚀深度与腐蚀特征向量曲线之间的结合度越高,其可靠性更满意。

3.4 现场检测应用

某常压立式储罐于2002年投入使用,中间出现多次停罐修补情况,其容量超过3万 m^3 。为判断罐底的腐蚀破坏状态情况,该项目采用无基准非线性超声 Lamb 波检测技术对罐底腐蚀破坏状态进行现场检测。该项目利用无基准非线性超声 Lamb 波检测技术对罐底腐蚀状态做现场测试后,根据现场测试结果证实,罐底位置存在4处明显缺损腐蚀状态,此时为更精准地评估腐蚀破坏位置的损伤情况,需计算腐蚀破坏状态的差值信号,并按照拟合曲线数据计算腐蚀破坏深度。根据现场测试结果可以发现,罐底缺陷1与缺陷2的距离较近,且腐蚀破坏范围大于等于40%,因此在处理中不仅要修补腐蚀破坏点位,还需要复检;腐蚀缺陷3的破坏深度约为板厚的20%,不需要做任何处理;腐蚀缺陷4的破坏深度为35%,需做钢板修补。

4 结束语

造成常压立式储罐罐底发生腐蚀破坏的原因是多方面的,在腐蚀状态现场检测中,工作人员应合理运用声发射在线检测技术、储罐底板漏磁扫描检测技术与射线检测技术,这对于提升腐蚀检测状态数据精度的意义重大。除此之外,为更好地顺应未来现场检测要求,还需要工作人员积极探索新技术的应用,例如无基准非线性超声 Lamb 波检测技术在腐蚀损伤检测中具有精度高、检测速率快等优势,符合未来发展趋势,展现出强大的技术优势,值得做进一步推广。

参考文献:

- [1] 胡华胜,孙杰.危化品常压储罐底板典型腐蚀检测应用[J].设备监理,2022(03):35-38.