

大型常压储罐在线全面检验评价的应用

盖业强 (中石油燃料油有限责任公司湛江仓储分公司, 广东 湛江 524002)

摘要: 大型常压储罐在石油、化工、航空、交通运输等行业中得到了广泛应用。尤其在炼油化工领域, 常压储罐作为最常用的油品储备设备, 其地位越来越高^[1]。不同于一般的承压特种设备, 常压储罐在运行过程中几乎不会处于高压、快速冲刷等恶劣工况。针对于承压特种设备, 国内特种设备安全法规规定了一般采用定期停产进行全面检验的方式来保证设备的本质安全。由于常压储罐不属于特种设备, 因此在很长一段时间处于管理空白的状态, 但是, 常压储罐其承载的介质一般具有易燃易爆, 甚至强烈腐蚀性等一系列特点, 一旦发生泄漏将有可能造成巨大社会经济损失, 故对储罐开展定期的全面检测对于保障其本质安全具有重要的意义。

关键词: 常压储罐; 全面检验

储罐在经历长周期运行过程中必然会因为安装、天气、介质、地理条件等因素产生不同模式的失效^[2]。目前, 针对罐体开展全面的安全性能综合检测评估有两种手段: 一种是定期对常压储罐进行开罐检验, 进行宏观、常规壁厚检测; 另一种采用磁粉^[3]、渗透^[4]、漏磁^[5]等无损检测手段对焊缝部位进行探伤。此种方法需要对储罐先进行倒料、清洗, 然后进行通风确认罐内无毒无害后, 才能开始进行检测作业。对于业主单位而言, 要耗费大量时间和财力。鉴于此, 对大型常压储罐开展在线不停机的全面检验评估工作, 对于保障生产企业效益最大化具有重大意义。本研究以某石化企业所属 100000m³ 大型原油常压储罐为研究对象, 对其进行了在线不开罐的全面检测及风险评估, 为国内同类工程项目提供了案例指导。

1 待检储罐简介

本次待检储罐为大型石化集团油罐区内的单台 100000m³ 原油储罐, 于 2013 年投用, 至今运行 8 年。详细信息参见表 1。

2 储罐在线全面检验

当前, 针对大型常压储罐较为常用的在线综合检测技术手段有: 宏观检查、壁厚在线测量、罐体垂直度及沉降测量、声发射检测^[6]等。根据在线检验结果, 可为下一步综合评估储罐本体的风险情况提供了基础依据。

2.1 宏观检查^[9]

对储罐进行宏观检查过程中发现如下问题: ①储罐周围有塌陷, 且罐体基础周围存在积水; ②阴极保护电缆线外露, 建议对电缆线进行保护; ③消防泡沫管线支撑与壁板连接处油漆失效和腐蚀; ④浮顶上表面局部油漆失效和腐蚀; ⑤罐壁外部局部油漆失效和腐蚀; ⑥浮顶接地线断裂; ⑦浮顶上发现穿孔。

2.2 壁厚测量

对储罐罐底及沿着螺旋扶梯上升的壁板进行壁厚检测。对罐底每块壁板均进行壁厚测量, 各板均抽取 5 点进行数据采样。沿扶梯上升则抽取各层其中一块壁板进行壁厚测量, 各板检测 5 点, 见图 1。同时, 对罐顶壁厚采取随机抽查的方式进行检测。随机选择浮顶的 12

处半径方向上进行超声测厚, 每个半径方向上共选取 5 处检测点, 详细的测点布置示意图 2 所示。经检测储罐壁板每层最小实际厚度分别为: 34.01mm、31.13mm、23.98mm、21.10mm、17.13mm、12.84mm、12.10mm、11.95mm、12.05mm (与 9 层壁厚值对应)。罐顶壁厚最小实际测量值为: 4.85mm。即说明罐体壁板及浮顶部位均未发生异常减薄。

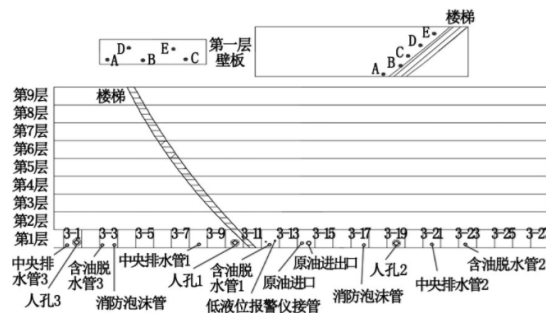


图1 储罐壁板测厚部位示意图

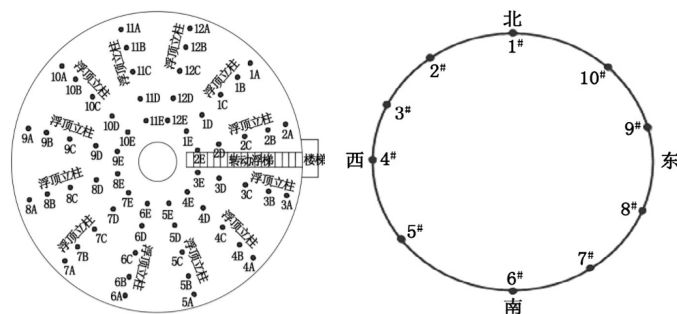


图2 浮顶板测厚部位示意图

图3 罐体垂直度检测部位示意图

2.3 罐体垂直度检测

对罐体实施垂直度检测, 在罐体互为对称的东西南北方位随机抽取 10 处罐体部位进行测量, 每处位置使用数字式全站仪从罐体顶部开始检测, 直至罐体底部边缘计数结束, 每处各采集 9 个数据点。检测分布点见图 3, 检测数据见图 4。根据 SY/T5921-2017^[7]《立式圆筒形钢制焊接油罐操作维护修理规范》要求, 常压储罐垂直度的允许偏差, 不宜大于罐壁高度的 0.4%, 且不应大于 50mm。观察数据可知, 本次抽查的罐体 1#、2#、3#、

4#、6#、7#、8# 测量部位的垂直度偏差值超过 50mm，说明罐体部分位置垂直度超标。

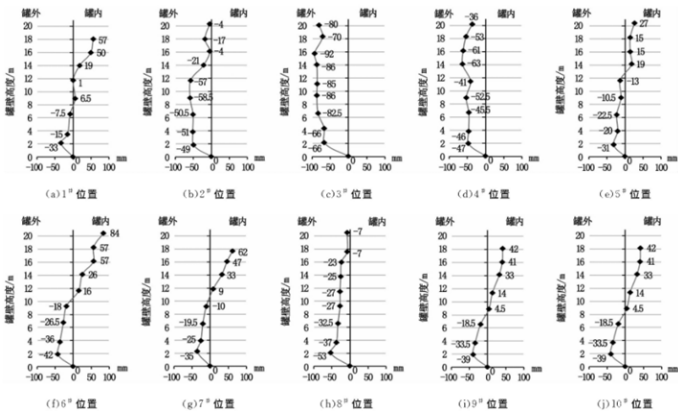


图 4 罐体垂直度检测数据图

2.4 罐体沉降检测

为了防止常压储罐在使用过程中出现不均匀沉降而

产生的整体性失稳。故对罐体进行定期基础沉降监测是十分重要的^[8]。检测时，遵循如下几点规定：①储罐基础应按设计文件要求进行高度测量，须考虑直径方向上的高程差与相邻点之间的高程差影响；②置于罐底板外侧，环向设置 26 个高度监测点，见图 5，采用数字式全站仪进行监测；③储罐的沉降检测结果参照 SY/T5921-2017《立式圆筒形钢制焊接油罐操作维护修理规范》的规定要求。

观测罐体的基础沉降主要从东西南北 4 个方向分别对储罐 26 个观测点进行观察，设立 4 处观察基站，将获取的 26 处观测数据统一修正，以 1# 观察基站的标高设置为基准标高 0，对其他观测点进行修正。观察直径方向高程差，根据 SY/T5921-2017 中 5.8.2.1.1c 的要求，对于直径 80m 的浮顶储罐，在同一直径上的两点之间的高程差不大于 240mm。数据见表 2。同时观察相邻点之间的高程差，依据 5.8.2.1.1b，两测量点之间的高程差，

表 1 储罐基本参数

参数项目	名称
设备名称	原油储罐
公称容积 /m ³	100000
内径 /mm	80000
设计寿命 /a	15
材质	罐壁 1~6 层：12MnNiVR
	第 7 层：16MnR
	第 8~9 层：Q235B
	底板 / 环形板：12MnNiVR
	中腹板 / 顶板：Q235B
顶板壁厚 /mm	5
底板壁厚 /mm	环形板：20
	中幅板：10
壁板壁厚 /mm	共 9 层：34/31/24/21/17/13/12/12/12
罐顶形状	双盘式外浮顶
设计温度 /℃	55
工作介质	原油
介质密度 /kg/m ³	856~960

表 2 直径方向上的高程差

位置	0° ~ 180°	13.85° ~ 193.90°	27.7° ~ 207.75°	41.55° ~ 221.60°	55.4° ~ 235.45°	69.25° ~ 249.30°	83.1° ~ 263.15°
直径方向高程 /mm	80	62	43	17	7	10	11
结果	符合	符合	符合	符合	符合	符合	符合
位置	96.95°~277°	110.8°~290.85°	124.65°~304.70°	138.5°~318.55°	152.35°~332.40°	166.2°~345.55°	/
直径方向高程差 /mm	48	77	102	114	102	96	/
结果	符合	符合	符合	符合	符合	符合	/

表 3 相邻点之间的高程差

位置	0°	13.85°	27.7°	41.55°	55.4°	69.25°	83.1°	96.95°	110.8°	124.65°	166.2°
各点相对高程差 /mm	72	62	39	29	34	32	38	20	-7	-28	-22
相邻两点高程差 /mm	10	23	10	5	2	6	18	27	21	3	14
结果	符合	不符合	符合	符合	符合	符合	不符合	不符合	不符合	符合	不符合
位置	180°	193.9°	207.75°	221.6°	235.45°	249.3°	263.15°	277°	290.85°	304.7°	345.55°
各点相对高程差 /mm	-8	0	-4	12	27	42	49	68	70	74	74
相邻两点高程差 /mm	8	4	16	15	15	7	19	2	4	9	2
结果	符合	符合	不符合	不符合	符合	符合	不符合	符合	符合	符合	符合

表 4 储罐风险等级明细

设备位号	设备名称	未来风险		
		失效可能性等级	后果等级	风险等级
T-103	原油储罐	3	E	3E（中高）

有环墙时每 10mm 的弧长内任意两点的高程差不应大于 12mm; 无环墙时, 每 3m 弧长内任意两点的高差不应大于 12mm。数据见表 3。得出, 罐体直径方向上的高程差无异常, 但部分相邻两点之间的沉降差超出了标准要求。

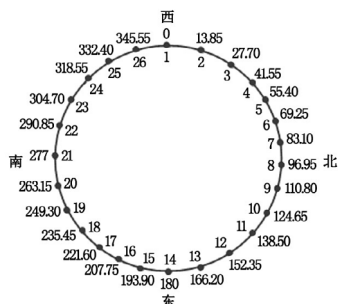


图 5 罐体沉降检测布置示意图

2.5 罐底板声发射检测

现场检测采用 SHIII-32 型声发射检测仪, 通道数设定为 24 通道, 检测探头采用 PK3I, 耦合剂采用真空脂, 利用 $\phi 0.5\text{mm}$ 的 HB 铅芯进行断铅试验以确定检测灵敏度。探头位于罐底板的布置如图 6 所示。采用原油进行加载, 持续时间为 2h, 全过程共检测到的定位事件数为 42, 根据 JB/T 10764-2007^[9]《无损检测 常压金属储罐声发射检测及评价方法》, 储罐底板完整性综合评价结果为 II 级, 即存在局部轻微腐蚀迹象。

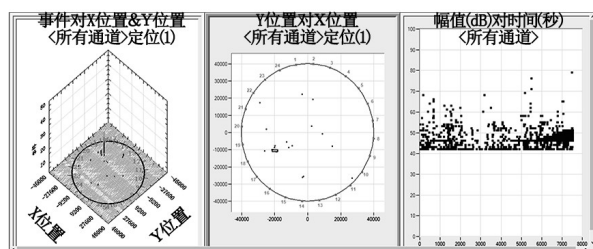


图 6 储罐声发射检测探头分布及结果示意图

3 储罐风险检验评价

3.1 风险评价检验技术简介

常压储罐风险评价检验技术即指以设备完整性破坏而导致泄漏为分析对象, 以设备检验为主要手段的风险评价和管理过程^[10]。不同于传统的定期全面开罐内检, 风险评价检验技术是一种灵活性较强的动态检验手段, 该方法可根据设备的早期在线检验结果、服役周期、设备损伤模式以及风险评价等级来进行综合评估下一次开罐检验时间, 可给业主单位提供一种科学合理的检验维护手段。

3.2 储罐失效种类分析

利用通用中特 RBI 软件对常压储罐的风险分析仅包括对储罐壁板和底板的分析, 如果常压储罐的介质、操作工艺发生改变, 导致损伤机理和损伤速率发生变化时, 应当重新进行风险分析。本次储罐的腐蚀分析仅考虑原料与辅助原料的腐蚀介质, 不考虑超过设计范围的参数, 也不考虑设计与建造过程存在的问题, 结合储罐使用单位提供的历年运行资料及其他工厂使用经验, 初步判断储罐可能存在如下几种失效可能: ①外壁大气腐蚀; ②

罐顶外部腐蚀; ③罐底板外腐蚀; ④边缘板腐蚀; ⑤罐壁及罐底板内腐蚀 (见表 2, 表 3)。

3.3 储罐风险评价及开罐建议

对该储罐需结合储罐潜在的失效可能性及已经介绍的超声测厚、垂直度测量、沉降检测及声发射检测等一系列在线检验结果进行风险等级评价。经 RBI 风险评估计算, 图 7 为未来期间储罐的风险等级矩阵图, 通过风险计算, 即风险概率 = 失效概率 $\times$ 失效后果, 可以初步得出该储罐的风险分布。通过软件计算罐体的失效概率及失效后果评估明细参见表 4。

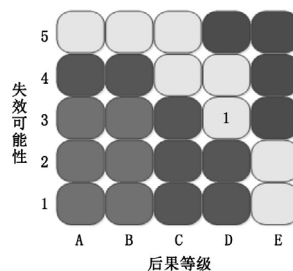


图 7 储罐风险矩阵示意图

4 结语

本研究主要通过在线检验手段, 同时采用专业 RBI 软件对原油储罐进行风险评价。经过风险评价得出的风险结果等级, 给出了下一周期的开罐全面检验建议。通过超声测厚、垂直沉降、声发射等在线检验与 RBI 评估的动态结合, 可以实现对储罐进行更加科学合理的检验, 避免检验不足或检验过度, 为保障使用单位设备本质安全、提高经济效益提供了一套切实有效的管理手段。

参考文献:

- [1] 郭冰, 沈功田, 张万岭, 等. 基于风险的检验在大型常压储罐群的应用 [J]. 压力容器, 2010, 27(4): 55-60.
- [2] 文守杰. 原油储罐底板腐蚀的原因分析及对策 [J]. 军民两用技术与产品, 2014(7): 151-152.
- [3] 姚力, 范吕慧, 胡学知. 承压设备磁粉检测技术发展现状 [J]. 无损检测, 2014, 36(11): 28-34.
- [4] 姚力. 承压设备渗透检测技术发展现状 [J]. 无损检测, 2014, 36(10): 10-14.
- [5] 陈虎, 林远龙, 祝金丹. 常压储罐底板腐蚀漏磁检测 [J]. 无损检测, 2010, 32(6): 450-453.
- [6] 杜家超, 刘彪, 等. 立式圆筒形常压储罐泄漏检测与维修策略研究 [J]. 石油化工设备, 2020, 49(2): 23-26.
- [7] SY/T 5921-2017. 立式圆筒形钢制焊接油罐操作维护修理规范 [S]. 国家能源局, 2018.
- [8] 王晓东. 某油罐地基不均匀沉降的分析与对策 [J]. 山东工业技术, 2015, 1(5): 256.
- [9] JB/T 10764-2007 无损检测常压金属储罐声发射检测及评价方法 [S]. 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2008.
- [10] 胡振龙, 肖尧钱, 等. 声发射检测在常压储罐基于风险的检验中的应用 [J]. 无损检测, 2020, 42(10): 10-13, 17.