

# 声发射检测在常压储罐基于风险的检验中的应用

胡振龙,肖尧钱,胡笠

(中国特种设备检测研究院,北京 100029)

**摘要:**常压储罐传统的“周期性检验”模式容易发生“检验过剩”或“检验不足”,所以对常压储罐进行基于风险的检验可以保证储罐运行中的风险处在可接受的范围内。利用储罐底板声发射检测数据修正风险评估中预设的底板腐蚀速率,再结合设备早期的检验结果、服役时间、设备损伤水平等进行综合风险评价,可使得风险评估的结果更加准确可靠,为检验策略的制定提供参考依据。

**关键词:**储罐;腐蚀;声发射检测;基于风险的检验

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号:1000-6656(2020)10-0010-04

## Application of acoustic emission inspection in risk based inspection of atmospheric storage tank

HU Zhenlong, XIAO Yaoqian, HU Li

(China Special Equipment Inspection and Research Institute, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The traditional “periodic inspection” mode of atmospheric storage tank is prone to “inspection surplus” or “inspection deficiency”, hence the risk based inspection of atmospheric storage tank is carried out to ensure that the risk in the operation of the tank is within the acceptable range. Using the acoustic emission testing data of tank bottom plate to modify the preset corrosion rate of the bottom plate in risk assessment, and combining with the early inspection results, service time, equipment damage level and other comprehensive risk assessment, the results of risk assessment are more accurate and reliable, which provides a reference for the formulation of inspection strategy.

**Key words:** storage tank; corrosion; acoustic emission inspection; risk based inspection

常压储罐是石油化工生产中广泛使用的重要储存设备,其安全运行对国家公共安全是至关重要的。一旦储罐内高温、高压、易燃、易爆或剧毒介质发生泄漏,就将造成灾难性事故。目前,国内常压储罐主要采用“周期性检验”模式,即按照一定的周期对常压储罐停产开罐进行内部和外部的全面检验<sup>[1]</sup>。多年实践经验发现,“周期性检验”存在以下两个问题。

(1)开罐检验发现许多储罐均无严重缺陷,若对无严重缺陷的储罐进行开罐检验,会造成检验过剩,并导致不必要的停产(开罐)损失。

收稿日期:2020-06-05

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801903)

作者简介:胡振龙(1986—),男,硕士,主要从事承压设备检验检测及先进无损检测工作

通信作者:胡振龙,gigihu1986@126.com

(2)由于检验的周期性,一些具有较大安全隐患的老旧储罐得不到及时检验。

因此,为了保证常压储罐的安全运行,避免不必要的开罐检测,并降低事故的发生率,根据设备潜在的失效可能性与失效后果等级,对常压储罐进行基于风险的检验(Risk Based Inspection, RBI)就显得尤为必要了。RBI是一种系统和动态的检验方法,储罐底板的腐蚀状态是影响储罐安全运行的决定性因素,对 RBI 评估以及检验策略的制定(是否开罐)有重要的影响。风险评估时,储罐壁板的腐蚀速率、壁板的外部损伤情况可以通过在线检验的方式获得,但储罐底板的腐蚀速率只能根据经验预估。因此,笔者对某厂 4 台常压储罐进行了 RBI 风险预评估,并采用储罐底板声发射在线检测数据对 RBI 评估中预估的底板腐蚀速率进行修正,最终确定了风

险等级,使该厂再评估的结果更加准确可靠,为检验策略的制定提供参考依据。

## 1 常压储罐 RBI 技术简介

RBI 技术指基于风险的检验技术,即以设备完整性破坏而导致的介质泄漏为分析对象,以设备检验为主要手段的风险评估和管理过程。RBI 技术不同于传统的“周期性检验”模式,其根据不同设备面临的风险及损伤模式和失效机理,评估最佳的检验时间,并采用适当的检验手段以保证储罐运行中的风险处在可接受的范围内<sup>[2]</sup>。与传统的“周期性检验”模式相比,RBI 是一种系统和动态的检验方法,其具有以下特点。

(1) 充分利用设备早期的检验结果、服役时间、设备损伤水平和风险等级来评估检验时间。

(2) 提供了合理分配检验和维修资源的基础,从整体上减少检验和维护成本,能够保证对风险相

对较高的设备受到较多的重视,同时对低风险的设备进行适当的评估。

(3) 针对不同的损伤机理和可能性等级均给出应用有效的检验技术和检验深度,可做到事半功倍,在调整检验策略的同时提高设备的安全性和可靠性。

## 2 声发射检测在储罐基于风险的检验中的应用

### 2.1 储罐设备参数

对 4 台常压储罐进行风险评估,储罐设计满足当年的设计规范和标准,运行期间详细地记录了储罐依照标准规定进行的常规检测以及维修记录。储罐基本参数为储罐直径、高度、容量、壁厚、材料、服役压力、温度、介质类型等,常压储罐参数如表 1 所示。4 台常压储罐内部盛装的介质包含正丁醛储槽、辛醇储槽、1<sup>#</sup> 不合格丁醇储槽,罐体主体材料为 304 不锈钢和 16MnR 钢。

表 1 常压储罐参数

设备位号	设备名称	直径/mm	高度/mm	容量/m <sup>3</sup>	壁厚/mm	材料	压力/MPa	温度/℃	介质
1281B	正丁醛储槽	8 000	11 000	550	6	304	0.001 5	常温	丁醛
1286A	辛醇储槽	4 500	9 766	130	6	16MnR	0.001 5	常温	辛醇
1286B	辛醇储槽	4 500	9 766	130	6	16MnR	0.001 5	常温	辛醇
1288	1 <sup>#</sup> 不合格丁醇储槽	4 500	9 766	130	6	16MnR	0.001 5	常温	不合格丁醇

### 2.2 RBI 风险预评估

利用 AST RBI (Atmospheric Storage Tank, RBI) 软件对常压储罐进行风险分析时,需要分别确定储罐底板和壁板的失效可能性和失效后果。在失效可能性方面,按照标准 GB/T 30579—2014《承压设备损伤模式识别》确定损伤因子,确定 AST RBI 软件中的潜在失效模式的可能性;在失效后果方面,主要考虑设备中介质的特性以及泄放速率等参数,以设备周围的破坏影响程度、营业中断和设备损害等因素为指标,对风险结果进行评估,确定风险的等级<sup>[3]</sup>。储罐壁板的腐蚀速率和壁板的外部损伤情况可以通过在线检验的方式获得,但在线检验不能对底板进行直接检测,储罐底板的腐蚀速率只能根据经验预估。经 RBI 风险预评估计算,图 1 为将来时间储罐的安全风险矩阵图,通过分别对 4 台储罐进行风险计算,风险(RISK)=失效可能性等级(LOF)×失效后果等级(COF),可以得到储罐的风险分布,即高风险储罐 1 台(红色部位)、中高风险储罐 1 台(橘红色部位)、中风险储罐 2 台(黄色部位)。不同的失效可能性和失效后果的组合对应不同的风险等级,4 台储罐失效可能性等级(即减薄等级)、失效

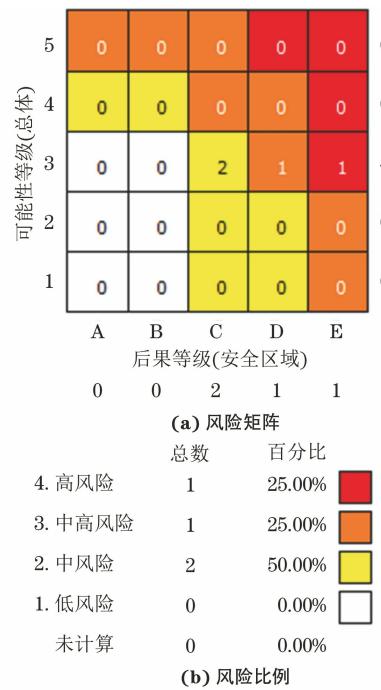


图 1 将来时间的安全风险矩阵图(预评估)

后果等级、风险等级评估明细如表 2 所示。

### 2.3 储罐底板的在线声发射检测

对 4 台常压储罐底板腐蚀情况采用在线声发射

表 2 储罐风险评估明细(预评估)

设备位号	设备名称	将来风险		
		减薄等级	后果等级	风险等级
1281B	正丁醛储槽	3	E	高风险
1286A	辛醇储槽	3	C	中风险
1286B	辛醇储槽	3	C	中风险
1288	1# 不合格丁醇储槽	3	D	中高风险

检测,根据标准 JB/T 10764—2007《无损检测常压金属储罐底板声发射检测及评价方法》的规定,综合所采集信号的事件活度、能量大小、幅值高低及通道撞击数,通过时差定位分析,判定罐底板腐蚀状态的活度等级及腐蚀情况<sup>[4-5]</sup>。常压储罐底板腐蚀在线声发射检测原理示意如图 2 所示,通过安装在罐壁下部的声发射传感器阵列来探测罐底板由于腐蚀和泄漏产生的声发射信号,当底板存在泄漏时,介质流过泄漏孔时会产生湍流流动噪声,当介质夹带颗粒状杂质时,会使信号更丰富。若泄漏通道暂时受到碎渣阻塞,“水击”效应也会产生噪声。通过安装在罐底板外圆周附近的传感器接收这些信号,并进行分析处理,对漏点进行定位。若储罐底板腐蚀较为严重或存在腐蚀薄弱区域,腐蚀过程会断续地产

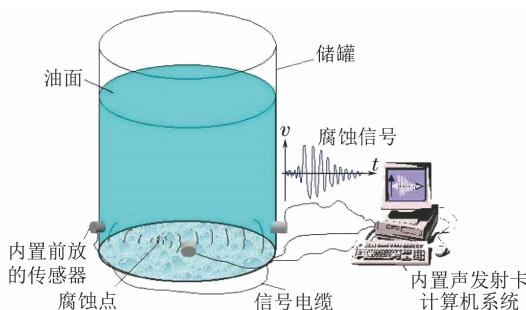


图 2 常压储罐底板腐蚀在线声发射检测原理示意

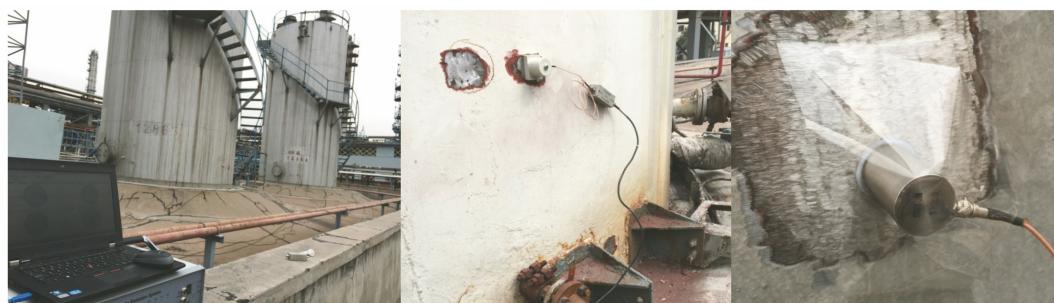


图 3 声发射传感器布置现场

#### 2.3.4 时差定位及分级

根据标准 JB/T 10764—2007,对储罐底板以不大于直径 10% 的长度划定圆形评定区,对评定区域内相对比较集中的所有定位进行局部放大,分析并计算出每小时出现的定位事件数  $E$ 。对评定区域的

生声发射信号,通过接收和分析这些信号,可以确定和评价罐底板的腐蚀状况。

#### 2.3.1 检测设备

声发射检测设备采用由北京声华兴业科技有限公司生产的 SAEU2S 集中式声发射检测仪,附件主要包括传感器、笔记本电脑、前置放大器、信号电缆等。传感器也选用该公司生产的 SR40M 传感器,SR40M 传感器为低频窄带传感器,尺寸为  $\phi 22 \text{ mm} \times 36.8 \text{ mm}$ ,适用于压力管道和油罐底泄漏的声发射检测。检测频率为 15 kHz~70 kHz,现场试验分析测定的背景噪声为 30 dB。

#### 2.3.2 加载液位

根据标准 JB/T 10764—2007,储罐底板的声发射在线检测液位宜位于最高操作液位的 85%~105%。特殊情况下,检测液位应至少高于传感器安装位置的 1 m 以上。检测前,稳定保持该液位静置 2 h 以上,然后进行至少 2 h 的声发射检测。检测时关闭进出口阀门及其他干扰源,如搅拌器、加热设施等。

#### 2.3.3 传感器的安装

根据标准 JB/T 10764—2007 对罐底板进行检测,传感器布置在距底板 0.1~0.5 m 的壁板上,并要确保高于储罐内固体沉积物的高度,间距尽量保持均等,并成闭合环状分布。按照检测方案设定的位置布置传感器,在传感器表面和储罐罐体金属表面之间使用耦合剂进行耦合。为了防止探头脱离以及由风引起电缆移动而产生额外的噪声,应对所有信号线进行约束。对于铁磁性材料的储罐,可以采用磁性夹具夹持的方式进行固定;对于非铁磁性材料的储罐,可以采用胶带黏贴的方式进行固定,但此种方法可靠性较低。声发射传感器的布置现场如图 3 所示。

腐蚀状态评价等级主要取决于  $E$  值的大小。4 台常压储罐的底板时差定位图如图 4 所示。

根据罐底板的时差定位情况,对 4 台储罐的声发射源进行评级(见表 3),4 台储罐底板的活度等级分别为Ⅲ级、Ⅱ级、Ⅱ级及Ⅲ级,腐蚀状态评价分别

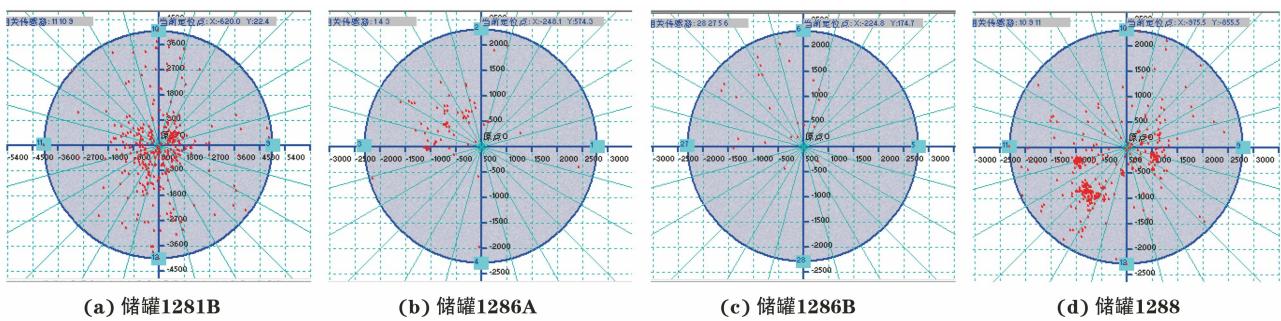


图 4 4 台常压储罐的底板时差定位图

表 3 声发射源评级

设备位号	储罐名称	源级别	评定区域的 腐蚀状态评价
1281B	正丁醛储槽	III	存在明显局部 腐蚀迹象
1286A	辛醇储槽	II	存在轻微腐蚀迹象
1286B	辛醇储槽	II	存在轻微腐蚀迹象
1288	1# 不合格丁醇储槽	III	存在明显局部 腐蚀迹象

为存在明显局部腐蚀迹象、轻微腐蚀迹象及明显局部腐蚀迹象。

#### 2.4 RBI 风险再评估

结合 4 台储罐底板声发射检测结果, 对 3.2 节中 RBI 风险预评估时设定的底板腐蚀速率进行适当修正, 再次进行 RBI 风险评估计算, 得到将来时间的安全风险矩阵如图 5 所示, 分别通过对 4 台储罐进行风险计算, 得到储罐的风险分布为高风险储

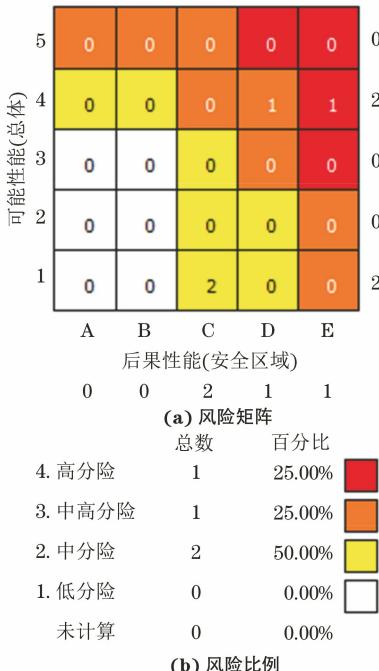


图 5 将来时间的安全风险矩阵图(再评估)

罐 1 台(红色部位)、中高风险储罐 1 台(橘红色部位)、中风险储罐 2 台(黄色部位)。4 台储罐失效可能性等级(即减薄等级)、失效后果等级、风险等级明细如表 4 所示。

表 4 储罐风险评估明细(再评估)

设备位号	设备名称	将来风险		
		减薄等级	后果等级	风险等级
1281B	正丁醛储槽	4	E	高风险
1286A	辛醇储槽	1	C	中风险
1286B	辛醇储槽	1	C	中风险
1288	1# 不合格丁醇储槽	4	D	中高风险

#### 2.5 检验策略

综合考虑 4 台储罐底板的声发射评级与 RBI 风险再评估结果, 结合标准 API 653—2014《储罐检验、修理、改建和翻建标准》的要求, 对 4 台常压储罐制定检验策略(见表 5), 对于 2 台辛醇储槽推荐检验策略为外检, 即安全使用到下一个检验检修周期之前不需要进行开罐检测; 对于正丁醛储槽、1# 不合格丁醇储槽推荐检验策略为开罐内检, 应在开罐及清罐后进行罐底漏磁检测及其他常规无损检测方法的检验, 以保证储罐安全运行。

表 5 4 台常压储罐检验策略

设备位号	设备名称	源级别	风险等级	推荐的 检验策略
1281B	正丁醛储槽	III	高风险	开罐内检
1286A	辛醇储槽	II	中风险	外检
1286B	辛醇储槽	II	中风险	外检
1288	1# 不合格丁醇储槽	III	中高风险	开罐内检

#### 3 结语

基于风险的检验目标就是要确定最佳的检验时间, 并采用适当的检验手段以保证储罐运行中的风险处在可接受的范围内。储罐底板声发射检测技术的

(下转第 17 页)

破口的位置并进行破损原因的查找。

实际应用中, X 射线数字成像检测装置所获得的燃料棒图像很好地反应了其各种内部结构或缺陷信

息,对于评价燃料棒的性能以及分析破损燃料元件起到了很大的作用。图 6 列出了一些 X 射线检测中常见的完整及破损燃料棒内部结构变化的检测图像。

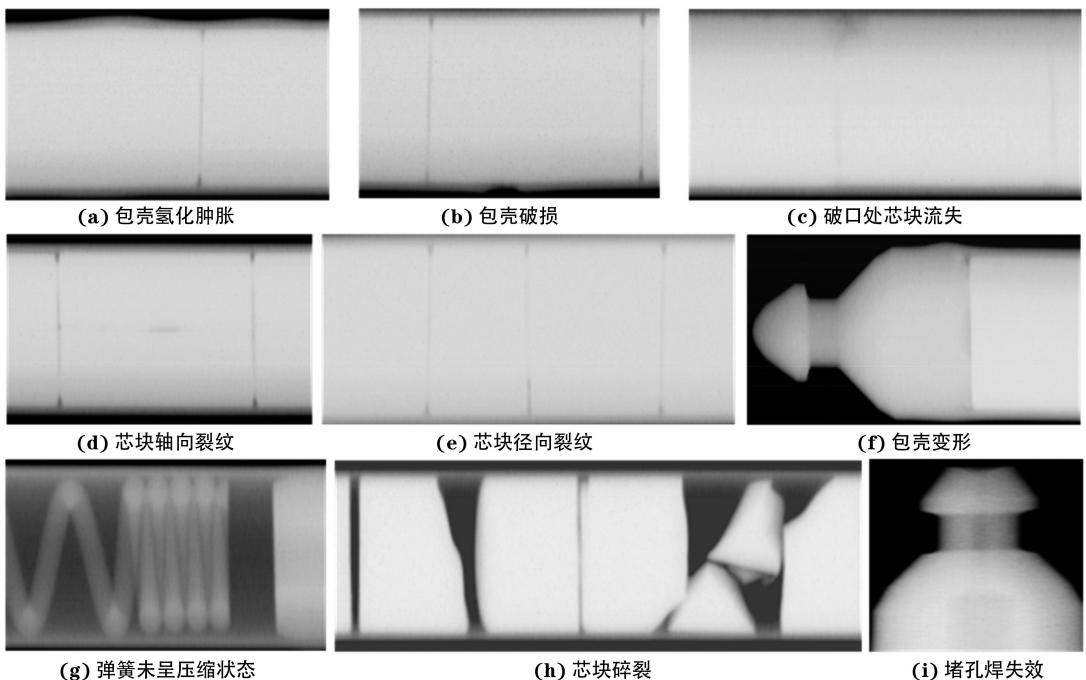


图 6 反应堆燃料棒 X 射线数字成像检测图像

#### 4 结语

研究表明,X 射线数字成像检测技术可以应用于放射性较强的乏燃料棒检测中,通过检测装置和工艺参数优化,在图像质量满足要求的同时,实现了辐照后材料的数字化检验;在实际工作中,对于评价燃料棒的性能以及破损燃料元件的分析起到了很大的作用。

(上接第 13 页)

优势是能在不开罐、不影响储罐正常使用的情况下,对底板的腐蚀状况和有无微泄漏点进行检测,以判定底板的腐蚀程度。利用储罐底板声发射检测数据去修正 RBI 评估中预设的底板腐蚀速率,结合设备早期的检验结果、服役时间、设备损伤水平等进行综合风险评价,使得 RBI 风险评估的结果更加准确可靠,为检验策略的制定提供参考依据,避免“周期性检验”中“检验过剩”、“检验不足”情况的发生,降低风险,避免不必要的开罐检测,在确保安全的前提下更好地提高经济效益。

#### 参考文献:

- [1] 丁战武, 丁春辉, 胡熙玉, 等. 氨制冷管道的数字射线检测[J]. 无损检测, 2016, 38(11): 83-85.
- [2] 何山林, 马跃洲, 陈光. 线扫描 X 射线数字成像技术在螺旋焊管检测中的应用[J]. 焊接, 2006(11): 56-59.
- [3] 马文进. 基于 CMOS 探测器的环焊缝检测系统设计[J]. 无损检测, 2013, 35(1): 69-70.

#### 参考文献:

- [1] 沈功田. 金属压力容器和常压储罐声发射检测及安全评价技术与应用[J]. 创新论坛, 2016, 32(7): 1-5.
- [2] 鲁英, 付道鹏, 黄伯维. 常压设备 RBI 评估技术在乙烯装置的应用[J]. 中国设备工程, 2018(2): 181-183.
- [3] 郭兵. 大型常压储罐群风险评估技术研究[D]. 保定: 河北大学, 2010.
- [4] 戴光, 李善春, 李伟. 储罐的声发射在线检测技术与研究进展[J]. 压力容器, 2005, 22(3): 33-35.
- [5] PARK S, KITSUKAWA S, KATOH K. AE Source and relation between AE activity and rate of corrosion of oil tank bottom plate on acidic soils[J]. Materials Transactions, 2005, 46(11): 2490-2496.