

《常压储罐基于风险的检验及评价》编制说明

(征求意见稿)

一、工作简况

1、任务来源

本项目来源于国家标准化管理委员会下达 2023 年第三批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知(国标委发(2023)58 号), 计划项目编号: 20231253T-469, 项目名称: “常压储罐基于风险的检验及评价”, 归口单位为全国锅炉压力容器标准化技术委员会。

2、工作过程

起草阶段: 2023 年 12 月标准计划下达后, 随即组建了标准修订工作组, 确立了工作策略, 制定了进度计划, 明确了标准修订原则与职责分配。标准修订工作组对国内外现状及发展趋势进行了深入调研, 并广泛搜集、检索了相关技术文献资料。结合中国特种设备检测研究院等机构承担的国家重点研发计划“面向国家石油战略储备库安全的储罐检测机器人研究及应用”(项目编号: 2019YFB1310700)、质检公益性行业科研专项“大型常压储罐在线超声检测及相关设备研制关键技术研究”(项目编号: 201310156)、国家质检总局科技计划项目“大型储罐基础沉降及其引发的损伤模式量化分析”(项目编号: 2014QK247) 以及横向课题“储备基地储罐大修周期研究”(项目编号: K-18-I01) 等项目的研究成果, 标准修订工作组形成了常压储罐基于风险的检验及评价修订草案, 并于 2024 年 3 月提出了标准征求意见初稿。标准修订工作组经过多次讨论和沟通协商, 于 2024 年 5 月形成了标准征求意见稿。

3、起草单位、主要起草人员及分工

本文件起草单位: 略。

本文件主要起草人: 略。

主要起草人员及分工: 略。

二、国家标准编制原则、主要内容及其确定依据

本标准系依据用户需求而制定, 旨在更准确地提供评估结果, 构建有效的检验方案, 以高效且优质的服务满足企业需求。

本标准按GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分: 标准化文件的结构和起草规则》给出的规则进行编写修订。在确定本标准要求时, 综合考虑用户的能力和利

益，寻求最大的经济效益、社会效益，充分体现了标准在技术上的先进性和合理性。

本标准的主要内容包括：(1) 范围，(2) 规范性引用文件，(3) 术语、定义和符号，4 一般要求，5 风险分析，6 基于风险的检验，7 基于风险的检验实施，附录 A (规范性) 减薄损伤因子，附录 B (规范性) 确定常压储罐底板腐蚀速率的经验方法，附录 C (规范性) 失效后果的定量计算过程，附录 D (资料性) 常压储罐的检验内容及结果评价。

本标准是方法标准，适用于立式钢制圆筒形焊接常压储罐基于风险的检验和评价。同时，其他常压或低压（工作压力小于 0.1MPa）与 GB/T 30578-2014 相比，除结构调整和编辑性改动外，本次修订的主要技术变化如下：

- a) 更改了规范性引用文件的内容；
- b) 增加了损伤系数计算结果确定的失效可能性等级划分；
- c) 更改了基于风险的检验中的一般规定；
- d) 更改了基于风险的检验中的检验类型及选择原则；
- e) 增加了检测方法及检验有效性；
- f) 更改了腐蚀减薄的检验有效性分级及其检验方法（见6.5.2.4，2014版的6.5.2.4）；
- g) 增加了不锈钢材料土壤侧温度调整系数（见B.9）；——更改了碳钢和低合金钢介质侧温度调整系数表中介质侧温度划分范围，增加了不锈钢介质侧温度调整系数（见B.12，2014版的B.12）；
- h) 增加了采用在油检测机器人进行在油检验时对危险区域划分的要求（见D3.2）；
- i) 增加了罐体变形检测和焊缝渗漏检测的相关内容（见D3.4和D3.5）；
- j) 更改了确定壁板最小计算壁厚的原则（见D4.4，2014版的D4.4）；
- k) 增加了储罐边缘板、关键区域的最小可接受厚度要求（见D.4.7~D4.9）；
- l) 增加了储罐焊缝真空试漏或煤油试漏的检测（见D.4.12）；
- m) 增加了储罐保温层的检查；紧急排水装置的检查；量油管、导向管的检查；浮顶支柱的检查；转动浮梯及其导轨等检查（见D.4.15、D.4.17~D.4.23）。

本次修订的总体目标是为了使标准更加适应储罐大型化、储罐结构复杂化、安全保障措施精细化和多样化。在5.3.1失效概率计算中修改了以损伤因子确定的失效可能

性等级划分，从而达到高效、便捷、直观反馈出设备项在相应评估时间点的状态。在附录D.4.7中增加了储罐底圈壁板厚度大于32mm时，储罐底板的边缘板局部腐蚀部位最小厚度的规定，满足了超10万方储罐大型化的适用性等。

三、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益和社会效益

1、主要试验（或验证）的分析、综述报告

本标准所使用的方法，经国家重点研发计划“面向国家石油战略储备库安全的储罐检测机器人研究及应用”重点专项、质检公益性行业科研专项、国家质检总局科技计划项目及与企业间的横向课题相关任务的众多试验和十多年上万台储罐的评估应用，其有效性得到了验证。

标准修订工作组对本标准所修订的内容进行了大量的现场检测试验验证。

（1）在油检测机器人的应用情况

2023年3月7日至3月9日，在国家重点研发计划项目《面向国家石油战略储备库安全的储罐检测机器人研究及应用》支持下，园区智能检测监测科创团队研发的新一代大型储罐底板在油检测机器人在镇海和舟山国家石油储备基地顺利完成现场在油检测试应用。本次测试应用中在舟山、镇海国家石油储备基地开展了5台10万立储罐的在线检测。

具体实施过程：

10万立储罐罐壁高度超过20米，首先使用大型起重机将检测机器人和辅佐作业系统调运至储罐浮顶。为防止检测机器人强磁部件与储罐铁磁性部件发生碰撞，在浮顶人孔安装铜护套，并安装防止气体溢出的罐口挡板。在预定位置固定机器人收放装置，连接机器人承重与供电线缆。通过罐口承重架，由机器人收放装置将机器人由浮顶人孔放入储罐油液内部。

机器人进入油液，到达储罐底部后，机器人系统启动，确认机器人姿态后，开启检测作业。由机器人控制系统控制机器人按预定路线对储罐底板进行扫查。检测结果实时可视化显示，检测结果可有效反映储罐底板腐蚀情况。

检测结束后，通过收放装置将机器人由浮顶人孔回收，在罐口对机器人进行初步清理后，由起重机吊离储罐浮顶，完成检测试应用。

其他应用情况：

除了在 10 万立方浮顶罐应用外，项目组还在南京某公司开展 2 台固定顶储罐的

在油检测机器人检验工程应用。

(2) 风险评估的应用情况

采用基于风险的检验技术，已经在镇海炼化、华北石化、镇利化学、哈尔滨石化、镇海国储、中石油商储、孚宝（中国）、燕山石化、大庆石化、澳门九澳油库、青岛炼化、华北油田、中化南通、中石化上海销售公司、大连石化、独山子石化、抚顺石化、中石油燃料油等数十家企业和数千台常压储罐开展应用。以全国13个库区88台10万立方米储罐实施RBI为例，通过风险评估、在线检验与开罐检验修正与结果确认，按照储罐的检验时间统计情况说明标准的应用成果如下图1～图3所示。

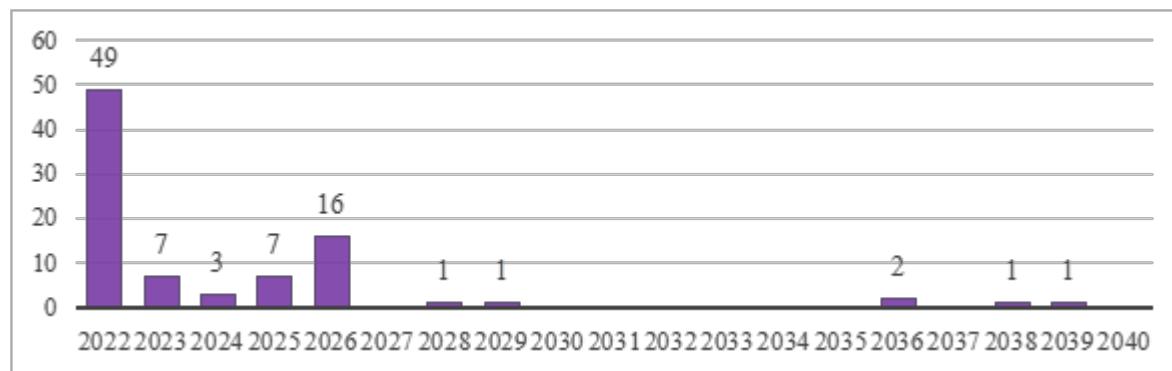


图1 风险修正前建议的检验时间分布

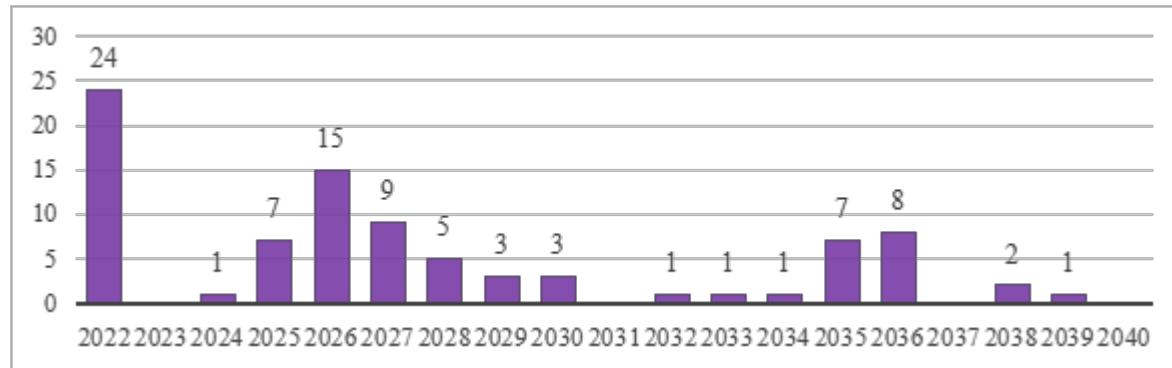


图2 采用在线检验结果进行风险修正后建议的检验时间分布

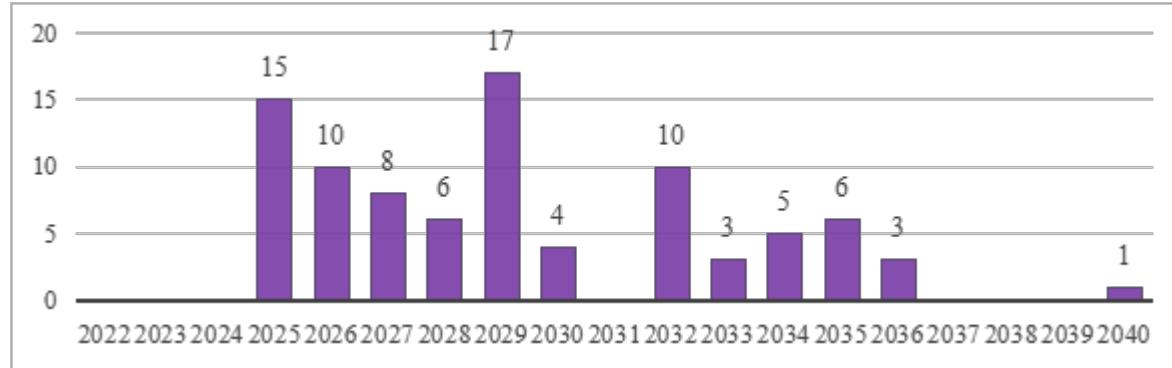


图3 采用开罐检验结果进行风险修正后建议的检验时间分布

(3) 采用损伤系数计算结果确定失效可能性等级划分的应用

在采用失效概率计算结果确定的可能性等级划分中，平均失效概率 F_G 为不同尺寸泄漏孔和破裂的平均失效概率，是经验确定值；管理系统评价系数 F_M 是通过GB/T 26610.4的附录B管理系统评价工作手册进行评价打分后，确定的相对值。这两个参数值在被评估对象确定后，一般都是确定值。因此可以直接通过损伤系数 $D_{f-total}$ 进行失效可能性等级的判定，为此标准修订工作组在镇海国储、中石油商储（大连、宁夏等13个库区）等储备基地开展了广泛的RBI技术应用。

a. 某地的两个储罐为例，损伤系数随时间变化结果如图4、图5所示。

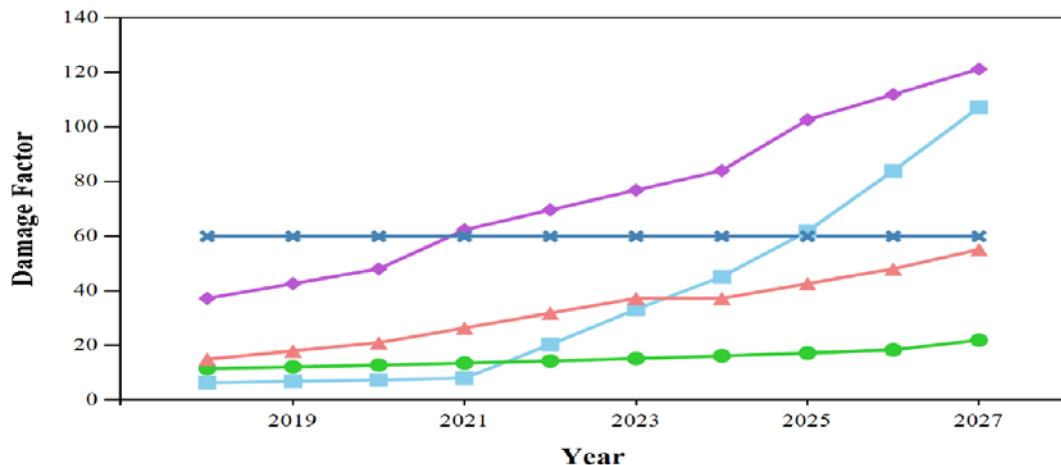


图4 某储油基地T-13号储罐损伤系数发展趋势图

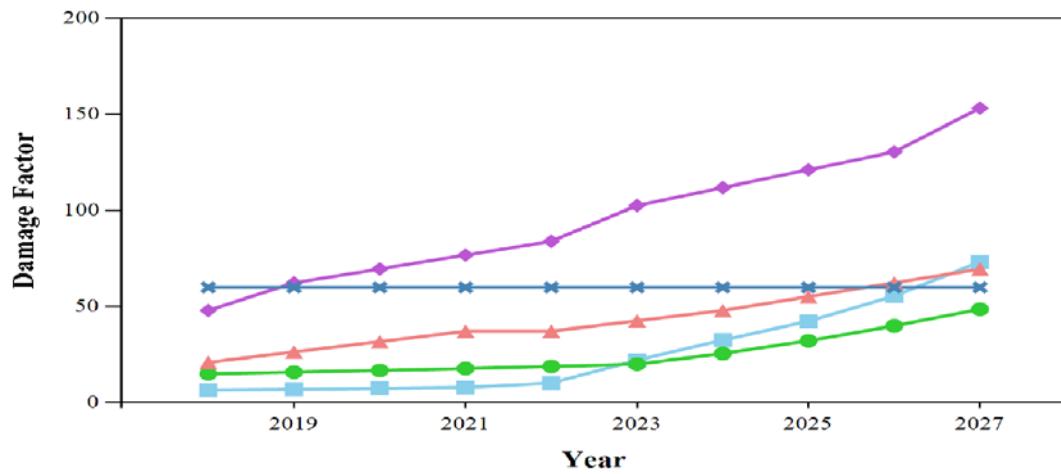


图5 某储油基地T-21号储罐损伤系数发展趋势图

b. 某罐罐壁理论腐蚀速率计算的风险分析结果

储罐壁板总损伤系数 $D_{f\text{-total}} = D_{f\text{-gov}}^{\text{thin}} + D_{f\text{-gov}}^{\text{extd}} + D_{f\text{-gov}}^{\text{scc}} + D_{f\text{-gov}}^{\text{brit}}$ ，根据储油基地储罐服役条件，应力腐蚀开裂和脆断可能性较低，不再考虑 $D_{f\text{-gov}}^{\text{scc}}$ 和 $D_{f\text{-gov}}^{\text{brit}}$ 。因此罐壁板根据理论腐蚀速率进行风险分析得到的当前风险结果以第2层板最为严重，未来风险结果以第6层板最为严重，详见下表1和表2所示。

表1 某罐罐壁按理论腐蚀速率计算的风险分析结果

层板 编号	内部减薄				外部减薄					
	内部腐蚀速率 理论值 (mm/AvgYear)	当前状态 (2018年)		将来检验前状态 (2028年)		外部腐蚀速率 理论值 (mm/AvgYear)	当前状态 (2018年)		将来检验前状态 (2028年)	
		Df 值	等级	Df 值	等级		Df 值	等级	Df 值	等级
1	0.20955	9.05747	2	19.3511	3	0.0762	15.6266	3	25.3216	3
2	0.221712	8.86787	2	23.4967	3	0.0762	22.0217	3	39.6801	3
3	0.304644	3.40377	2	30.3086	3	0.0762	11.4699	3	28.4579	3
4	0.399507	2.26792	2	52.9567	3	0.0762	10.598	3	33.777	3
5	0.457003	1.70101	2	88.479	3	0.0762	12.7319	3	56.9593	3
6	0.457238	1.18843	2	127.996	4	0.0762	12.7775	3	84.8273	3
7	0.409725	0.1	1	53.1348	3	0.0762	0.96431	1	22.9364	3
8	0.353381	0.1	1	27.6011	3	0.0762	0.1	1	2.59991	2
9	0.356528	0.1	1	26.9711	3	0.0762	0.1	1	0.59522	1

表2 当前与未来不同壁板的损伤因子值

损伤机理	当前状态(2018年)，第2层板		将来检验前状态(2028年)，第6层板	
	损伤因子Df值	损伤因子等级	损伤因子Df值	损伤因子等级
内部减薄	8.86787	2	127.996	4
外部减薄	22.0217	3	84.8273	3
总损伤系数	30.88957	3	212.8233	4

c. 某罐罐底理论腐蚀速率计算的风险分析结果

储罐底板总损伤系数 $D_{f\text{-total}} = \max\{D_{f\text{-gov}}^{\text{thin}}, D_{f\text{-gov}}^{\text{extd}}\} + D_{f\text{-gov}}^{\text{scc}} + D_{f\text{-gov}}^{\text{brit}}$ ，根据储罐服役条件，应力腐蚀开裂和脆断可能性较低，不再考虑 $D_{f\text{-gov}}^{\text{scc}}$ 和 $D_{f\text{-gov}}^{\text{brit}}$ ，则储罐底板理论风险

计算结果如下表3所示。

表3 某罐底板按理论腐蚀速率计算的风险分析结果

损伤机理	当前状态（2018年）		将来检验前状态（2028年）	
	损伤因子 D_f 值	等级	损伤因子 D_f 值	等级
内部减薄	48	3	164.7	4
外部减薄	21	3	69.6	3
总损伤系数	48	3	164.7	4

d. 某罐壁板、底板在2018年和2028年的风险矩阵分布图如下图6所示。

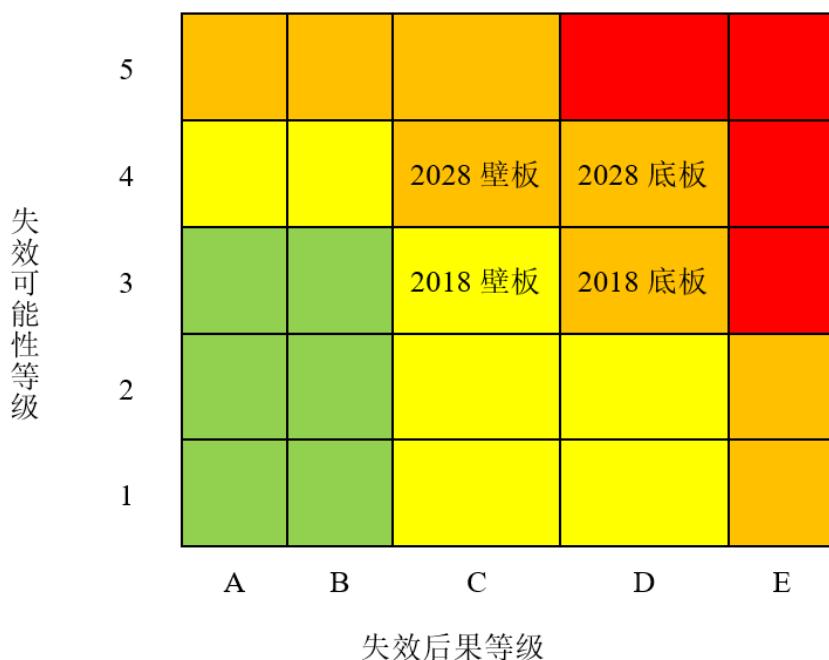


图6 储罐底板与壁板风险矩阵图

(4) 验证分析

a. 在油检测机器人的应用验证分析

在油检测机器人的成功应用为国家原油储备基地、行业检验检测机构和政府行业主管部门提供了更加科学、有效和系统的检验评价技术体系和装备支撑。在油检测机器人的应用可降低由储罐检修带来的油气挥发污染、油泥污染等破坏生态环境事件的发生，且极大缩短了检验时间（传统开罐检修周期4个月，在油检测机器人在线检验时间3~5天），从而可有效延长检验周期或避免非必要开罐检验。

b. 风险评估应用验证分析

通过基于风险的检验与评价对储罐进行风险排序，从而合理建立检修梯度，使企

业在储罐运行管理中优化检验资源配置；通过基于风险的检验与评价技术应用，优化了各种检验方法的有效性和针对性，有效缓解过度集中的检修周期造成的生产矛盾，对延长了储罐的平均检验周期提供技术保障。

c. 损伤系数计算结果确定失效可能性等级划分的应用验证分析

通过损伤系数 $D_{f\text{-total}}$ 与时间关系的曲线可以更直观体现储罐的失效可能性随时间变缓的趋势。损伤系数 $D_{f\text{-total}}$ 的确定过程中，同时考虑了储罐底板和壁板的腐蚀速率、腐蚀类型、使用年限、检验有效性、设备使用安全系数和在线监测系数等影响因素。在同一属地管理范围内、相同的设备类型或同规格的受评估储罐的条件下，平均失效概率 F_G 和管理评价系数 F_M 为确定值，可以通过损伤系数 $D_{f\text{-total}}$ 确定失效可能性等级，得到相对准确的结果。采用损伤因子确定失效可能性与可接受目标值，使风险评估过程更加便捷高效。

2、技术经济论证

(1) 常压储罐基于风险检验与评价标准自颁布以来被广泛应用。据不完全统计，现在全国各检验机构采用本技术对常压储罐进行基于风险的检验与评价的数量每年近千台。随着国家储备库和商业储备库在2006年～2010年前建设投用的储罐已进入首检期，短时间内无法完成开罐或在线检验，极大地增加本方法的市场空间。

(2) 常压储罐基于风险检验是对储罐进行损伤机理分析和风险的定量计算，并根据风险（或损伤系数）的大小以及检验的有效性确定储罐的检验策略（包括检验类型、检测方法、检验部位和下次检验时间），从而可以大大减少开罐停产损失、清罐、检修等费用，是企业增产增效的首选方法之一。

(3) 该技术对人体无任何损害，时间短，效率高。

3、预期的经济效益和社会效益

为了适应我国高速高质量发展需求，使我国检测水平迅速与国际接轨，实现检测智能化，减少人为干预因素，使检测结果更加规范化，保障工业产品质量安全，特修订本标准。

受新冠疫情及国际原油断崖式下跌两大黑天鹅的影响，导致各储备库的原油处于满负荷运行，未来五年内有大量的储罐需要开展一年一次的在线检测与安全评价工作（储备库），市场空间大。在油检测机器人的应用可降低由储罐检修带来的油气挥发

污染、油泥污染等破坏生态环境事件的发生，且极大缩短了检验时间（传统开罐检修周期4个月，在油检测机器人在线检验时间3~5天），企业相关检验成本可下降20%~30%；

另一方面，各省各地方出台各种文件，要求加大对港口区危险化学品储罐的管理，尤其应急管理部在《化工老旧装置淘汰退出和更新改造工作方案》中明确要求对于投产运行30年（含）以上的容积3000立方米以上的常压可燃、剧毒液体储罐于2029年底前有序退出。但属于产业链供应安全保障、国家战略规划要求、国家能源保供、“卡脖子”技术等情况，不能按时退出的装置和储罐应详细说明现状和原因，聘请具有工程设计综合或化工石化医药行业甲级资质的设计单位等第三方机构，开展全面深入的安全风险评估，安全风险受控的，报省级人民政府(非中央企业)有关中央企业总部批准同意，并应持续强化安全风险管控，加大资金投入，优化监测监控手段，提升数字化智能化管控水平确保安全运行。从而需将过去长期不检的储罐按相关标准进行规范化检验与管理，大大增加常压储罐基于风险检验与评价的需求。

由此可见，常压储罐基于风险的检验与评价将在保障常压储罐安全长周期运行中发挥着越来越大的作用，标准修订后，一定程度改善了标准的可操作性，扩大了检验检测方法的选择空间，应用需求会大幅增加，市场前景广阔，具有极好的产业发展前景。

四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况

本标准是参考API 580、API 581，并结合中国实际储罐设计、制造、安装、使用、维护管理等综合影响因素制定的。与国际、国外同类标准技术的对比结果如下：

(1) EEMU 159仅针对储罐的定性评估，非定量评估；本标准是以定量计算为主的评估标准；API 581在其第三版中同样取消了定性分析方法，只保留了定量分析方法。

(2) 在失效可能性（POF）和失效后果（COF）方面，本标准结合国内实际情况，提供了适用于国内储罐的失效可能性POF和失效后果COF评估方法。

(3) 风险接受准则方面，GB/T 30578明确提出了风险接受准则，包括风险矩阵和可接受风险水平，而API581则提供了更为灵活的风险评估方法，允许用户根据具体情况确定风险接受准则。

通过比对可知，API 581在风险评估方法上较为详细和全面，而GB/T 30578-2014

则更注重于国内储罐的实际情况和需求。两者在风险评估的框架和方法上有一定的差异，但都旨在提高储罐的安全性和可靠性。综上所述，本标准水平达到国内先进水平。

五、以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

无。

六、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准与GB/T37327《储罐完整性管理》、GB/T42097《地上石油储（备）库完整性管理规范》等标准互为补充，构成较为完整的标准体系，且与现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

八、涉及专利的有关说明

本标准不涉及专利问题。

九、实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

建议本标准的性质为推荐性国家标准。

建议本标准发布即实施。

十、其他应当说明的事项

无。

《常压储罐基于风险的检验及评价》标准修订工作组

2024年10月9日