

大型原油储备库完整性管理方法及应用

张传滨（东营港有限责任公司，山东 东营 257091）

摘要：完整性管理是新型管理工作模式，以及关键性管理实践手段，其能够控制维系原油储备库完整运行过程的安全性和稳定性。在遵从完整性管理思想理念条件下，借由运用蝴蝶结（Bowtie）分析工作方法全面系统识别和确认大型原油储备库运行过程中可能发生的风险因素与控制风险屏障，识别出对应的关键工作岗位、关键技术设备和关键活动环节，并针对这些关键点应用多种方法展开分析环节，遵照分析成果采取妥善措施开展风险管理工作过程，能支持实现对风险的有效化管理控制，提升工作效率，降低经济成本支出水平，确保顺利达成理想化的管理工作目标。

关键词：大规模；原油储备库；常压储罐设备；完整性管理；方法与应用；探讨分析

0 引言

最近若干年间，伴随着围绕石油能源资源要素提出的需求数量呈现出持续增加变化趋势，以及石油能源资源要素实际占据的战略性历史地位持续提升，围绕石油能源资源要素使用的储罐设备，正在呈现出大型化发展趋势和集中化发展趋势。当前历史发展阶段，国内围绕大型原油储罐设备推进开展的建设活动已然进入高速度增长变化历史阶段，然而，源于储罐设备内部承载的介质物质在物理化学性质层面具备易燃属性和易爆炸属性，储罐设备在空间分布方面具备集中性特点，以及单独储罐设备的内部容积持续变大，与储罐设备使用过程相关的安全性问题，正在引起广泛密切关注，客观上也给石油化工相关企业组织传统化的安全生产管理控制工作模式施加严峻挑战。完整性管理工作模式属于新型管理工作模式，其产生过程，与数量众多过往发生的油气管道技术设备安全生产事故具备密切相关性，且伴随着相关检测技术的持续发展，基于部分大规模油气企业组织和技术研究机构中得到实践验证，并且在较短时间内获取到快速推广运用。然而，受复杂多样的主客观因素影响制约，完整性管理工作模式围绕大型原油储罐设备的应用，依然处在初始发展阶段。本文遵照完整性管理思想理念，遵从国家标准文件 GB/T37327-2019《常压储罐完整性管理》相关要求，介绍阐释完整性管理工作模式在现阶段原油储备库管理过程中的具体应用，致力于构建形成同时具备系统化特征和程序化特征的完整性管理工作实践体系。

1 完整性管理的概念

从形成发展历史过程角度展开阐释分析，“完整性管理”概念范畴，最早可以追溯到美国职业安全与

健康管理局（OHSA）在 1992 年制定颁布的指导性文件《高度危险性化工过程安全管理办法》，在此基础上，围绕原油储罐设备的，指向多个具体方面的风险评估工作指导标准，以及完整性管理工作指导标准接连制定形成，且此处提及的技术性指导标准，在油气产品生产开发行业领域、储存运输行业领域，以及炼化生产行业领域均得到广泛接纳和运用。

从基本的概念学理内涵角度展开阐释分析，所谓“完整性管理”，指的是为控制维持技术设备的完整性，而具体推进开展的具备系统性特点的管理活动过程，其实质就是要利用科学恰当的风险评估工作方法，以及完整性检测技术手段，通过多元措施控制降低风险问题发生可能性，持续性地识别确认和解决处置类型多样的风险因素，将风险因素控制干预在恰当适宜，且能够被相关技术人员接纳允许的范围之内，最终发挥彰显持续性技术改进作用，缩减并且预防各类安全事故，维系技术设备运行使用过程中的安全性、稳定性，以及最佳经济属性。

2 完整性管理方法

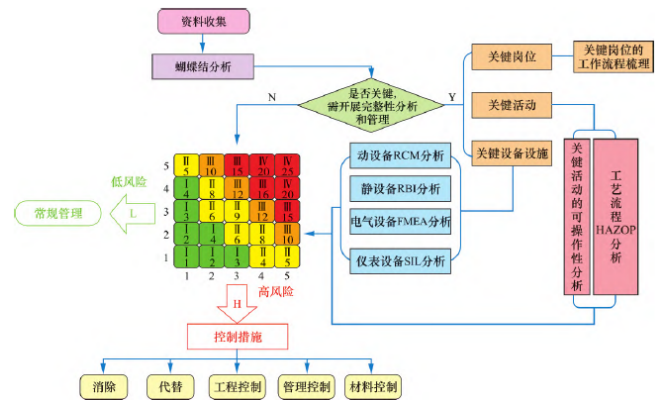


图 1 基于风险的完整性管理方法框架示意图

2.1 蝴蝶结 (Bowtie) 分析

借由获取整理相关资料、识别确认各类危险源、恰当择选顶上事件、分析确认具体面对的威胁与作用后果,建构形成围绕大型原油储备库的蝴蝶结 (Bowtie) 分析工作模型,接续以 Bowtie 分析模型作为基础,识别确认安全生产事故的主要发展路径,也就是已经知晓的各种类型顶上事件之间具备的基本演化途径,继而在此基础上识别确认与之紧密相连的生产实践活动与技术设备设施,也就是关键性活动环节与技术设备设施;为支持确保 Bowtie 分析工作模型中包含的各屏障均能保持稳定有效的运行技术状态,发挥彰显保护技术作用,必须针对与各屏障相对应的责任工作岗位推进开展识别分析过程,继而判断确定关键性工作岗位。

位。

2.2 关键设备设施的完整性分析

针对具体识别出的关键性动力技术设备 (泵技术设备) 推进开展 RCM 分析工作过程,识别确认动力技术设备的失效技术模式及其运行使用过程中存在的风险因素,并且针对性地制定和提出维修工作策略,确保动力技术设备在运行使用过程中的最佳安全状态,控制缩减因开展维修工作环节而支付的经济成本数量,最后提交针对关键技术设备的风险控制工作策略与对应的维护工作策略。

针对具体识别出的关键性静态技术设备 (储罐技术设备) 推进开展 RBI 分析工作过程,识别确认常压储罐技术设备在发生损伤问题条件的技术模式,并对

表 1 收付油过程的可操作性分析

具体作业步骤	操作偏差类型	后果	控制干预措施	风险评价				是否可接受
				发生概率	后果	风险	等级	
确认待接收油品的具体数量	接收油品的实际数量超越允许范围	油罐设备发生冒顶问题,油品向外溢出	查看并且核对相关数据信息	1.00	2.00	2.00	I 级	是
确认油罐设备编号	看错油罐设备编号	油品遭遇污染问题	相互配合与确认	1.00	2.00	2.00	I 级	是
确认安全阀门技术组件是否投入使用	安全阀门技术组件未投入使用	在压力强度高情况下安全阀门技术组件未起跳,引致油罐设备遭受损坏	确认关键技术操作步骤	1.00	2.00	2.00	I 级	是
检查确认流量计是否清零	流量计未能清零	油品数量统计结果发生错误	确认关键技术操作步骤	1.00	2.00	2.00	I 级	是
确认付油前的油品温度状态、密度状态和含水量	油品质量相关指标不合格	油品内含水量过高,杂质过多,堵塞过滤器,引发污染	强化油品质量状态检查	1.00	2.00	2.00	I 级	是
检查全部技术设备、仪表和控制技术系统	技术设备、仪表与控制技术系统发生故障	影响破坏收付油过程	确认关键技术操作步骤	1.00	2.00	2.00	I 级	是

表 2 某原油储备库的顶上事件基本信息

序号	危险源类型	顶上事件
01	物料危害类型	储罐设备起火事件
02	物料危害类型	原油大量泄漏事件
03	物料危害类型	小规模火灾事件
04	物料危害类型	原油储存库区火灾事件
05	物料危害类型	中毒或者是窒息事件
06	作业危害类型	物体打击事件
07	作业危害类型	高处坠落事件
08	作业危害类型	电气伤害事件
09	作业危害类型	起重伤害事件
10	作业危害类型	动火引发火灾事件
11	作业危害类型	受限空间中毒事件或者是火灾事件
12	设备危害类型	储罐设备结构破损事件
13	设备危害类型	管道线路技术组件憋压事件
14	设备危害类型	管道线路技术组件破损事件
15	设备危害类型	浮盘技术组件卡盘 / 沉盘 / 倾覆事件
16	设备危害类型	浮顶密封技术系统失效事件
17	设备危害类型	漏电短路事件
18	设备危害类型	机械设备伤害事件
19	设备危害类型	车辆伤害事件
20	设备危害类型	加热炉设备爆炸事件
21	设备危害类型	压力容器爆炸事件

其针对性推进开展定性评估工作过程或者是定量评估工作过程，遵照风险评估工作结果制定形成基于风险的检验工作策略，优化调整实际运用的检验检测工作方案。

针对具体识别出的关键电气技术设备推进开展 FMEA 分析工作，识别确认技术系统内部发生技术故障问题的具体位置和引致原因，确定不同类型技术故障模式发挥的影响作用程度，最终确定技术系统内部最需要开展技术改进过程的环节，且运用对应的改进技术措施。

针对与原油储备库相对应的安全仪表技术系统（SIS 技术系统）运用 SIL 分析工作方法，评估确认其安全仪表技术组件在使用功能层面具体达到的安全性等级与可靠性水平，将实际发生的风险程度控制干预在可接受范围之内。

2.3 关键活动的分析

指向原油储备库的技术工艺流程推进开展 HAZOP 分析工作过程，识别确认具体发生的各类操作偏差及其不利后果，评估确认技术工艺系统在设计方面的安全性与可操作性，预防干预或者是控制缩小危害作用后果（见表 1）。

2.4 关键岗位的工作梳理

针对已经识别确认的关键性工作岗位，结合已识别确认的风险因素及针对性控制干预措施，梳理每个关键工作岗位的标准化工作流程，参见图 2。

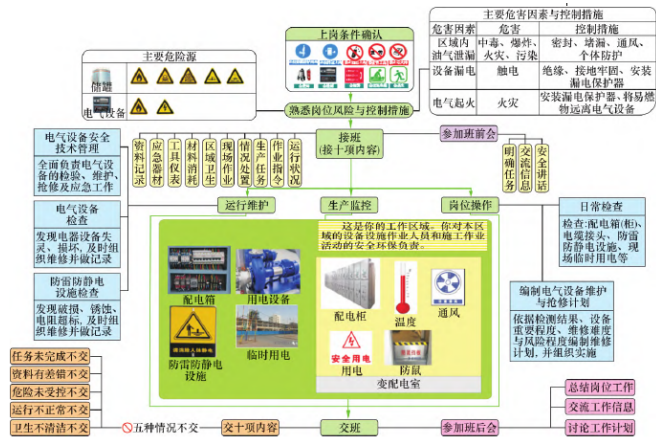


图 2 岗位标准工作流程示意图

3 完整性管理方法应用

某原油储备库的施工建设规模为 $100.00 \times 10^4 \text{m}^3$ ，其中包含 10 座体积为 $10.00 \times 10^4 \text{m}^3$ 的双盘式外浮顶储罐。借由查阅梳理原油储备库的历史性事故记录资料，并且参考结合其客观实际技术情况，推进开展危

险源识别过程，最终择选确认 21 个顶上事件，参见表 2。

借由运用荷兰某公司开发提供的 Bowtie XP 软件程序，针对 21 个顶上事件推进开展基于威胁层面、后果层面、屏障层面，以及屏障失效因素层面的分析工作过程，共累计识别确认威胁 127 个、主动性屏障 337 个、被动性屏障 126 个。

为保障 Bowtie 分析工作模型中包含的各屏障均能够有效稳定运行使用，发挥彰显保护性技术作用，需要针对各屏障对应的责任工作岗位推进开展识别工作过程，从而确定关键性工作岗位，做好原油储备库的安全事故防范控制工作。

分析关键工作岗位在关键活动过程中的责任屏障，并结合原油储备库管理手册文本、技术操作规程、岗位工作手册文本和风险告知清单文本等，梳理确认每个关键工作岗位的标准化工作实践流程。

借由实施技术设备的完整性分析，共识别出关键动力技术设备 65 台，包括循环泵技术设备、喂油泵技术设备、外输泵技术设备、消防泵技术设备、柴油机技术设备、搅拌器技术设备等。

4 结束语

在遵从完整性管理思想理念条件下，借由运用 Bowtie 分析方法全面系统深入识别确认大型原油储备库在具体运行过程中可能发生的风险因素，以及用于开展风险控制的屏障，同时识别确认对应的关键工作岗位、关键技术设备和关键活动环节，针对已经确定的关键点依次开展 RCM 分析过程、RBI 分析过程、FMEA 分析过程、SIL 分析过程和 HAZOP 分析过程等，借由调整优化管理方法和提升技术发展水平，能支持实现对风险的有效化管理控制，提升工作效率，降低经济成本支出水平，确保顺利达成理想化的管理工作目标。

参考文献：

[1] 王十, 白健, 邢述. 大型原油储备库完整性管理方法及应用 [J]. 石油化工腐蚀与防护, 2022,39(05):46-50.
 [2] 李宁, 白健. 基于 RCM 的大型原油储备库动设备故障模式分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022,42(12):15-17.
 [3] 白健, 李宁, 王十. 基于 Bow-tie 模型的大型原油储备库安全对策研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022,42(12):67-69.