

炼化一体化炼厂装置内储罐的安全防护

冯应臣 张 磊 杜佩桐 (恒力石化(大连)炼化有限公司, 辽宁 大连 116317)

摘要: 炼化一体化项目装置多工艺流程复杂, 生产过程中的工艺介质种类非常多, 大部分工艺单元属于重点监管的危险化工工艺, 一旦发生险情储罐容器内的危险介质将造成更大规模的破坏, 因此容器类储罐的安全性十分重要。本文从工艺过程、设备维护、人员管理等方面介绍了生产装置内储罐常见、容易发生的危害, 导致人员伤亡的案例影响。详细阐述了炼化一体化炼厂人员安全管理的理念, 火灾报警监控系统网络化与消防设施联控联动, 注重储罐安全设施防护, 操作人员巡检信息化提高巡检质量, 强化消防应急演练提高快速反应处置能力。

关键词: 炼化一体化; 安全隐患; 储罐; 事故分析

1 我国炼化一体化项目蓬勃发展

2021年我国一次原油加工量已达9.1亿t, 目前投运以及在建的炼化一体化项目产能已达2亿多t。上游炼化一体化下游乙烯、化工、新材料是未来发展的新趋势, 全加氢炼厂的智能化、自动化控制技术应用降低了综合能耗, 竞争优势非常明显, 全国整合、淘汰落后产能将是未来炼油行业的一大趋势。炼化企业必须建立健全安全管理体系并在发展的过程中不断完善, 才能促进企业的可持续发展及更强的竞争力。

2 炼化一体化炼厂装置内储罐安全运行影响因素

以2000万t炼化一体化炼厂为例, 它有数个联合装置由四十多套生产装置及上百个工艺生产单元组成, 生产装置内有容器类储罐1000余座。按照《国家安监总局关于公布首批重点监管的危险化学品名录的通知》, 拥有涉及重点监管危险化学品23种、易制毒物品14种、易制爆物品16种。炼化一体化炼厂采用国际上最先进的全加氢工艺, 部分的工艺单元属于重点监管的危险化工工艺, 依据《危险化学品重大危险源辨识GB18218-2021》厂区内大部分装置均为重大危险源: 其中一级重大危险源32个, 二级重大危险源8个, 三级重大危险源48个, 四级重大危险源30个。

2.1 工艺过程中储罐的安全风险高

炼化一体化炼厂中大部分的生产装置具有易燃、易爆、有毒、有害、易腐蚀、高温、高压、真空、深冷、临氢、烃氧化等特性; 在生产装置内的储罐全部为压力容器工艺过程、工艺操作条件都较为苛刻, 存储的介质种类多、性质复杂, 容易引起跑、冒、滴、漏等情况的发生。在2018年两会期间, 中石化九江分公司60万t/a柴油加氢装置波动高压窜低压, 原料

缓冲罐撕裂泄露起火, 导致2人死亡, 1人受伤。

导致事故发生原因有很多: 生产过程的异常波动; 人员操作的失误; 设备设施在设计时有偏差不符合《中华人民共和国国家标准压力容器GB150.1~150.4-2011》; 施工过程中各种因素影响导致焊接质量不过关出现脱焊、虚焊等情况; 连接法兰、螺栓选型不当或紧固不到位导致法兰、垫片、阀门泄露等。

2.2 生产运行中设备设施维护保养不到位导致安全隐患

目前的炼化一体化炼厂采用美国UOP的技术较多, 有全厂的物料平衡性好、装置连续运行时间长、工艺成熟可靠等特点。装置长周期运行维护保养十分重要, 储罐重要的安全部件主要有: 安全阀、现场与远传液位计、现场与远传的压力温度仪表、监测流量的仪表、放空或者泄压的阀门、逻辑连锁的切断阀等, 维护保养效果差将导致液位、压力、温度、流量等参数失准影响工艺过程控制最终将导致安全事故的发生。另外部分介质在运行中摩擦系数偏高, 例如高温油气和固体催化剂, 这将导致容器和管线因为磨损出现减薄、破裂、内构件损坏等情况, 发现不及时有油气发生泄漏、着火、爆炸的危险。

工艺单元的工艺过程控制主要有: 单回路控制、分程控制、串级控制和复杂的特殊回路控制; 生产运行的工艺单元必须全部设计逻辑连锁设施, 目的是避免介质的大量泄漏, 保护设备, 防止重大火灾的发生。但是逻辑连锁设施中的自动阀门、切断阀等, 有使用概率较低、重点阀门无法切除、一旦动作将停工的特点, 这就导致了维护保养困难, 存在动作不到位、误动作等情况, 可能导致容器储罐发生介质泄露、着火、爆炸。

2.3 与储罐相关的中毒、窒息等安全事故层出不穷

工艺单元的储罐与罐区储罐不同，大部分为固定顶储罐，容量相对较小，但是介质种类非常多，操作条件较为苛刻，设计温度范围从-150℃~+500℃，操作压力从负压至几十兆帕不等。储罐内介质多为氢气、压缩气体、原油、压缩液态烃、催化剂固体、酸性碱性化工助剂、高压蒸汽及除氧水等。

从储罐相关事故类型分析：中毒、窒息、火灾、爆炸占大多数。根据统计 2021 年化工过程中的安全事故，中毒、窒息事故 25 起，造成死亡 45 人，人员数量最多，令人痛惜。究其原因：一是因为在生产中容易导致中毒的化工产品较多、数量较大，一旦发生大规模泄漏接触中毒的事故几乎不可避免；二是停工检修时准备工作不充分、马虎大意、未严格遵守相关制度进入储罐容器内发生窒息，在生产过程中的氮气、二氧化碳均为窒息性气体，高浓度时吸入使氧分压下降引起缺氧窒息。

生产工艺单元的贯通一般依靠泵及压缩机输送，一旦人员操作失误就会出现压力、液位超出规定范围容易发生泄露着火事故，切水作业过程中人员操作失误或仪表不能正常工作导致油气泄露，气体储罐更容易受到天气环境影响，要加强极端天气防范应对工作防止灾害发生。

部分储罐处于高温高压、临氢的条件下运行，罐体材料在高温高压同时有氢气的条件下，会发生氢腐蚀和脱碳，金属强度、延展性、蠕变速度变化造成腐蚀破坏。原油中含有 0.5%~3% 的硫化物，部分工艺单元要添加含碱含氯的化工助剂伴随着整个加工工艺的下游，含硫、含氯及其他具有腐蚀性化合物会在部分罐体内集聚造成腐蚀，导致储罐本体或者连接管路出现腐蚀减薄引发泄露着火。

2.4 违章操作、管理体系不完善

表 1 事故原因分析

事故原因	违章操作	管理漏洞	违法生产经营	工艺或设计缺陷	意外因素	设备故障
事故数量	63	22	10	9	6	5
占比 /%	54.4	19.3	8.8	7.9	5.3	4.3

通过对收集到的 114 起造成重大伤亡和影响的化工企业典型事故案例进行分析，由于违章操作引起的事故次数最多，占比达到 50% 以上，管理上的缺陷、漏洞造成的事故次数次之，设备故障和意外情况导致

的事故最少。

这说明违章操作和管理漏洞是造成化工企业事故频发的主要原因。因此，要加强对生产经营单位的监管力度，增强企业管理人员的安全管理水平，提升员工专业技能和操作水平，从根源上防止事故的发生。

2.5 工艺条件下特殊操作的储罐需要额外注意安全问题的

生产装置内有一些储罐正常操作条件下属于满罐运行，例如常减压装置的电脱盐罐，在轻烃硫磺回收装置常见的碱洗、水洗罐等。一体化炼厂的装置集合程度高，装置加工量都在每小时数百吨以上一旦后路不畅储罐内压力会瞬间升高导致安全阀起跳，处置时间短一旦泄放罐满罐危害极大。

3 储罐安全防护措施

3.1 增强企业人员的安全意识完善风险管控

2021 年全国共发生化工事故 122 起、死亡 150 人，其中石油化工业事故 12 起、死亡 9 人。根据《GB/T45001-2020 职业健康安全管理体系要求及使用指南》，企业要建立健全安全管理体系，带头参与全员行动，对危险源导致的风险进行评估、对现有控制措施的充分性加以考虑以及对风险是否可接受予以确定。做好危险源辨识工作，充分运用工作危害分析法（JHA）、安全检查表分析法（SCL）及 HAZOP（Hazard and Operability Study），对风险进行分级管控十分重要。

3.2 做好人员专业技能培训、取证工作

按规定配备安全管理机构或安全管理人员，一岗双责，管生产必须管安全，安全管理人员的专业水平是安全措施落实的重要保障。

操作人员必须要经过严格、系统培训，并考试合格后取得设备操作证方可进行设备操作，未经培训的任何人员严禁操作设备，不熟悉设备性能严禁操作设备，安全保护用品未佩戴齐全严禁操作设备，未全部熟悉并掌握设备操作规程严禁操作设备。

企业可以开展一周一次的安全专项培训工作，加大安全管理制度的宣传，传授安全生产知识和经验，铭记事故带来的惨痛经历，吸取同类企业的教训，从生产中存在的问题、隐患着手，切实落实企业主体责任，提高安全管理和安全生产水平。

3.3 完善火灾自动报警系统、紧急停车系统和做好安全设施的管理

火灾自动报警系统是为了及早的发现和通报初起火灾，储罐区域警报器应安装在无振动、无强电磁场

干扰、易于检修的场所将灾害消灭在萌芽状态。炼化一体化炼厂占地广、监控的点位多、数量分散,需要十分先进的网络结构将视频监控、自动检测装置(如火焰感烟探测、声光探测、感温探测等)联合并能联动控制消防设施显示其工作状态。通过整体的设计规划可以达到企业火灾事故的预防和有效控制。

紧急停车系统(Emergency Shut Down system, ESD),是对控制系统中检测的结果实施报警动作或调节或停机控制,也称安全连锁系统(Safety Interlocking System, SIS)。它是炼化一体化炼厂自动控制中的重要组成部分,对生产装置可能发生的危险或不采取措施将继续恶化的状态进行自动响应和干预,从而保障生产安全,避免造成重大人身伤害事故及重大财产损失事故发生的控制系统。安全连锁系统(SIS)包括安全连锁系统、紧急停车系统、有毒有害、可燃气体及火灾检测报警系统等,独立于过程控制系统。

安全设施是指公司在生产经营活动中将危险因素、有害因素控制在安全范围内以及预防、减少、消除危害所配备的装置(设备)和采取的措施,它分为预防事故的安全设施、控制事故的安全设施、减少事故与消除影响的安全设施。国家法律规定建设项目安全设施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入生产和使用。

3.4 重视装置内储罐选型及材质

不同的介质适用的储罐类型不同,炼厂内常见的气体储罐有氢气、油气、酸性气体、蒸汽、净化空气、氮气等,液体储罐有各类油品、酸性液体、碱性液体、水等,还有固体储罐、低温储罐、高温储罐。

参考国标、美标和欧标,储罐选型主要取决于油品的物性。管道选材:国内材料管道按现行标准《压力管道规范工业管道》、《工业金属管道设计规范》、《石油化工管道设计器材选用规范》,国外材料管道器材按标准“ASME B31.3”的要求进行设计和选用。设备选材:临氢设备参考“API RP941”,《炼油厂和石化厂中高温和高压下临氢用钢材》选用材料。

腐蚀严重的部位选用不锈钢、不锈钢复合钢板或不锈钢堆焊层,用于容器壳体的高合金钢或有色金属复合板采用爆炸成型的复合板。对临氢介质的管道器材按最新版“纳尔逊曲线”进行选用。对含氢加硫化氢介质的管道器材按最新版“柯柏曲线”进行选用。对加工含硫介质的要遵循现行标准《高硫原油加工装置设备和管道设计选材导则》的要求选用。

3.5 落实静电防范措施

流体介质在输送、放空、泄漏抽液、采样等过程中都可能产生静电。静电火花作为点火源可能引发火灾爆炸事故,静电放电时瞬间产生的冲击性电流也会对作业人员造成伤害。接地是消除静电、预防灾害最简单、最常用的方法,应根据国家标准和行业规范,采取正确的接地措施,如静电跨接、直接接地、间接接地等。消除静电的另外一种方法是工艺控制法,如限制流速、灌装时由底部注入、限制反应釜的搅拌速度等,减少静电的产生。

3.6 提高巡检质量定期排查分析

巡检工作标准化:建立、完善巡检制度,明确巡检时间、路线,职责,严禁走马观花;巡检工作信息化:充分利用视频监控、巡检终端等电子信息化设备,巡检数据及时上传、上报、储存,实现历史数据对比分析,掌握装置和设备的技术状况和变化规律。

3.7 提高企业应急处置能力

企业的安全生产本着“安全第一,预防为主”的原则,构建专业化的安全管理团队,建立健全安全管理体系,制定各级安全应急预案并定期进行演练,对预案的执行情况进行评述总结,不断提高企业应急快速反应处置能力,确保一旦发生事故能够迅速响应和处置,把事故消灭在初起阶段,把危害降到最低。

4 总结

炼化一体化项目装置多,危化品体量大,储罐等压力容器数量多储存介质性质复杂且易燃易爆。生产装置和工艺单元储罐一旦发生泄露、着火等险情,处置不当、不及时极易造成事故规模扩大,带来人员伤亡和很大的经济损失。所以在生产运行的过程中,必须严格遵守国家法律法规和行业规范,不断提高从业人员的安全意识、职业技能,重视生产过程的风险辨识和分级管控,落实巡回检查制度信息化、标准化,保证企业安全平稳的运行。

参考文献:

- [1] 叶永峰,夏昕,李竹霞.化工行业典型安全事故统计分析[J].工业安全与环保,2012,38(9):4.
- [2] 杨梅,王雨,杨智超,张晓莉,付田田.石油产品储罐选型的国内外要求[J].化工机械,2022,49(4):556-559.

作者简介:

冯应臣,本科,助理工程师,主要从事石油化工生产优化、技术改造和节能管理。