

LNG 工厂生产和储存危险性分析及安全对策措施

贺意雯（四川九合安全科技有限责任公司，四川 成都 610000）

罗增科（四川盛泰众安环保工程有限责任公司，四川 成都 610000）

摘 要：本文研究目标生产的原料天然气、产品液化天然气及制冷剂（丁烷、乙烯）属于易燃气体，在作业过程中存在的危险因素较多，根据危险有害因素辨识的情况，对 LNG 工厂生产和储存危险性分析，并制定相应的安全对策措施，为 LNG 工厂生产和储存提供有力的保障。

关键词：LNG 工厂；生产；储存；危险性分析；安全措施

0 引言

液化气生产分为原料气预处理及天然气液化两个方面。预处理系统主要是除去天然气中的水分、CO₂、H₂S 等杂质。预处理系统主要包括原料气进料装置单元（包括原料气过滤分离及原料气组分分析）、脱汞单元、CO₂ 脱除单元、脱水单元及热油系统单元。

主要涉及的物料为进厂原料气、导热油、分子筛、甲基二乙醇胺等，主要涉及的设备为分离器、胺洗塔、导热油锅炉、吸附器、换热器、冷却器、过滤器等。

天然气液化系统主要包括天然气液化单元及制冷剂压缩单元。该系统涉及到的物料为预处理后的天然气、丁烷、乙烯、氮气、液化天然气等。涉及

的设备主要包括液氮储罐、丁烷储罐、乙烯储罐、换热器、闪蒸罐、压缩机、预冷器、液化器等。液化气生产过程中存在的危险有害种类：火灾爆炸、机械伤害、触电、中毒和窒息、锅炉爆炸、容器爆炸、灼烫、其它伤害等。

1 LNG 工厂物料危险理化数据情况

根据《危险化学品目录（2015 年版）》的相关内容，LNG 工厂项目涉及的危险化学品有：天然气、丁烷、乙烯、氮气、硫酸、盐酸、次氯酸钠、亚硫酸氢钠、氢氧化钠、柴油、氢气。现将其物料危险理化数据汇总如表 1。

2 LNG 工厂物料危险有害因素分析汇总

2.1 工艺过程危险性分析

由于天然气、丁烷、乙烯为易燃易爆物资，在

表 1 物料危险理化数据汇总表

序号	物料名称	危险化学品目录序号	闪点/℃	爆炸极限 V%	火灾危险分类	危险性类别
1	天然气	2123	-188	5-14.0	甲类	易燃气体，类别 1，加压气体
2	氮气	172	/	/	戊类	加压气体
3	丁烷	2778	-60	1.5-8.5	甲类	易燃气体，类别 1，加压气体
4	乙烯	2662	无意义	2.7-36	甲类	易燃气体，类别 1，加压气体， 特异性靶器官毒性 - 一次接触，类别 3（麻醉效应）
5	硫酸	1302	/	/	戊类	皮肤腐蚀 / 刺激，类别 1A， 严重眼损伤 / 眼刺激，类别 1
6	盐酸	2507	/	/	戊类	皮肤腐蚀 / 刺激，类别 1B，严重眼损伤 / 眼刺激， 类别 1，特异性靶器官毒性 - 一次接触，类别 3（呼吸道刺激）， 危害水生环境 - 急性危害，类别 2
7	次氯酸钠	166	/	/	戊类	皮肤腐蚀 / 刺激，类别 1B，严重眼损伤 / 眼刺激， 类别 1，危害水生环境 - 急性危害，类别 1，危害 水生环境 - 长期危害，类别 1
8	亚硫酸氢钠	2455	/	/	戊类	皮肤腐蚀 / 刺激，类别 2， 严重眼损伤 / 眼刺激，类别 2
9	氢氧化钠	1669	/	/	戊类	皮肤腐蚀 / 刺激，类别 1A， 严重眼损伤 / 眼刺激，类别 1
10	柴油	1674	< 60	/	乙类	易燃液体，类别 3
11	氢气	1648	无意义	4.1-74.1	甲类	易燃气体，类别 1 加压气体

工艺过程中,存在的危险性因素很多:

①若输送管道、设备设施或法兰等连接处不严密,易燃易爆物质泄漏与空气混合形成爆炸性混合气体,遇上激发能源会发生爆炸事故;②未严格按照要求进行防雷检测或防雷装置故障,则可能因雷击导致发生火灾爆炸等事故;③检修前设备及管道未进行充分置换,未与其它管道采用盲板进行封堵,作业现场未对可燃气体(天然气、丁烷或乙烯)浓度进行检测,未执行审批手续即进行动火作业,易造成火灾爆炸事故;④液化天然气泄漏时若遇水会发生冷爆炸;⑤LNG管道未做好预冷处理,LNG流入使管道迅速收缩而受到损坏,LNG发生泄漏,遇激发能源,发生燃烧、爆炸事故;⑥若未按照正确的规程操作压缩机及输送管道上的阀门,物料在管道内不能通畅输送,从而导致压力升高而造成物料从法兰连接处、阀杆处外泄,若遇点火源易发生火灾、爆炸事故。操作过程中如使用铁制工具,致使铁器之间撞击、操作人员着装不当,穿化纤服装,衣服摩擦产生的静电,均有可能导致火灾爆炸事故;⑦易燃易爆物料(天然气、丁烷或乙烯)输送时速度过快,产生的静电不能及时导出,导致静电积聚,也可能发生火灾、爆炸事故;⑧易燃易爆物料(天然气、丁烷或乙烯)输送管道或设备接地或防静电设施失效时,产生的静电不能及时有效的导出,也可能导致火灾爆炸事故;⑨现场设置可燃气体报警检测装置失效或未定期委托有资质单位进行检定等,易燃易爆物料泄漏未及时进行处理,遇激发源极易发生火灾爆炸事故;⑩未定期对设备、管线等进行维护,设备、管线故障或堵塞等极易发泄漏事故,遇激发源极易发生火灾爆炸事故。若自动控制系统发生故障,可能造成工艺指标失调(如发生进料物料流量失控、设备超温、设备超压),导致设备管道内易燃易爆物料泄漏,若遇点火源发生火灾爆炸事故;⑪液态LNG输送管道两个固点之间,由于冷收缩产生的应力,可能远远超过材料的屈服点,若管道未采用有效措施进行补偿或采用膨胀率小的管材,可能导致管道破裂,液态LNG发生泄漏,若遇点火源发生火灾爆炸事故;⑫未严格按操作规程要求进行运行中停车后开车作业,则可能因作业人员违反操作规程导致物料发生泄漏,遇点火源发生火灾爆炸事故;⑬若未定期对防爆电气的防爆性能进行检查维护,则可能因防爆电气防爆性能不满足要求,增大发生火灾爆炸的可能性。

2.2 储存容器危险性分析

本研究项目涉及1个LNG单容罐、1个全压力式丁烷储罐、1个半冷冻式乙烯储罐及1个液氮储罐。相关的危险性主要有:

①丁烷储罐、乙烯储罐、液氮储罐属于压力容器,若未严格按照压力容器使用要求进行使用则可能发生容器爆炸事故;②在丁烷储罐、乙烯储罐、LNG储罐隔热保温措施故障,则可能因太阳暴晒等,导致储罐内压力增大,设备损坏,易燃易爆物料泄漏,遇激发源发生火灾爆炸事故;③若储罐本身及其安全附件(例如安全阀、压力表、液位计等),没有按要求定期进行内外部检验,则可能发生物料泄漏,从而导致安全事故;④储存过程中,若操作人员违规操作(如充装量过多等),物料泄漏,将反正发生安全事故;⑤若丁烷储罐、乙烯储罐、LNG储罐及易燃易爆物料输送管道防静电措施故障,有可能导致静电积聚而发生火灾爆炸事故;⑥若基础强度不能满足装卸物料即罐体本身的重量,或地质条件不良出现基础不均匀沉降,可能使储罐倾斜导致罐体开裂、连接管道断裂,介质泄漏,从而导致安全事故发生;⑦若丁烷储罐注水系统故障,当丁烷发生泄漏时无法第一时间进行注水,导致丁烷大量泄漏,遇激发源易导致火灾爆炸事故;⑧该项目液化LNG储罐氮气正压保护失效、真空结果夹层内真空降低、绝热材料吸水失去绝热作用,引起管内温度、压力急剧升高,易引起超压爆炸事故;⑨操作失误或检修时罐内介质未完全置换或清理不净,都有可能引发爆炸、中毒窒息等事故;⑩若项目不同批次的LNG产品密度差异较大,于LNG罐内可能分层,吸热后导致热传递形成“翻滚”现象,出现大量的BOG气体,若BOG压缩系统负荷不能满足需求时,可能导致储罐超压风险;⑪液化LNG储罐防护围栏破损等,作业人员日常巡检、检维修过程中可能发生高处坠落事故;⑫LNG储罐用珠光砂进行保冷,若保冷失效,储罐压力急剧升高,出现罐体超压破裂,引发事故;⑬设备、管道长期使用,因腐蚀而使设备、管道出现穿孔而发生物料泄漏,或者运行中严重腐蚀,使储罐壁过薄,储罐在工作压力下破坏而发生泄漏,导致安全事故;⑭LNG储罐体积较大,其储存低温LNG介质,若其基础未采取防冻措施或防冻措施采取不合理,使用过程中基础容易损坏,引起储罐倒塌,引发事故。储罐的保冷及压力控制设施故障,使储罐压力升高,当安全设施失灵,可能引起储罐

超压、破裂而发生泄漏；⑮若储罐设置的自控系统故障，无法进行正常检测、报警及连锁等，则会增大发生安全事故的可能性和后果性。若设置的可燃气体报警检测装置未按要求定期进行检测，未定期进行维护，故障未及时修复，极易发生安全事故。

3 安全对策措施

3.1 防火灾爆炸安全对策措施

①加强安全管理，加强对现场设备、管道的跑、冒、滴、漏，保持设备、管道完好，从源头上控制可燃物，定期对现场安装的可燃气体检测报警装置进行检验和标定；②严格控制易爆气体的流速，定期对设备、管道的防静电措施进行检查，确保其有效；③操作人员必须要认真了解危险化学品的特性和对工艺过程中的影响，严格按照操作规程作业，严格按照要求制定完善操作规程，加强员工的安全教育培训工作严禁违章作业；④作业场所应严禁点火源，不得用铁器敲击设备、管路，严禁使用手机。动火作业实行动火票制度，严格控制其明火使用或认真做好防护工作，加强对消防设施的检查、维护和保养，保证消防器材安全可用，加强厂区消防设施、设备的日常巡查维护工作。机动车辆一般不应进入易燃易爆生产区及易燃易爆化学品库区。当需要进入易燃易爆场所时，机动车辆应配装阻火器、灭火器及采取其它有效安全措施；⑤始终保持易燃易爆物料设备设施、管道的防雷、防静电接地良好，并定期对接地电阻进行检测，确保防雷、防静电设施在可用状态；⑥定期对爆炸危险性区域内的电气设备进行检查维护，确保爆炸范围内的电气、开关符合《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB50058-2014 的要求；⑦建筑承重构件等燃烧性能和耐火极限等应符合规范要求。应始终保持避雷装置的完好性，每年雨季前，应对避雷装置检查测试；⑧易燃易爆场所作业人员不应穿着能产生静电火花的化纤织物工作服和带铁钉的鞋；不应使用铁质工具及撞击会产生火花的其它工具；不应使用打火机、手机、相机等发火和电子设备；不应使用易燃溶剂等擦洗设备、地坪、工具和衣物等；⑨定期对生产、储存、装卸等区域设置的安全连锁装置进行检查维护，确保有效。液化天然气生产作业应严格按安全操作规程执行，严禁设备超压运行；定期对生产、储存、装卸的设备设施进行检查维护，确保运行正常。定期对 LNG 储罐喷淋冷却水系统进行检查维护，确保其正常运行。定期对设置的紧急切断装置进行维护、保养。

3.2 LNG 罐区对策措施

①定期对液化天然气生产、储存、装卸等区域的设备设施、管道、管件等密封性进行检查，若存在泄漏情况应及时进行处理。加强自控系统 DCS 系统、SIS 系统 FGS 系统及视频监控系统的日常巡查维护工作，做好定期检查和维护工作，保证自控系统正常运行。可燃气体检测报警应定期检测，并按要求设置现场声光报警装置；②定期对 LNG 储罐内设置的珠光砂负压隔热设施进行监测，确保其正常使用。定期对 LNG 储罐区设置的消防系统、消防设施和喷淋系统进行维护，确保其有效运行。定期对 LNG 储罐区设置的可燃气体监测报警装置进行检测，合格后使用。LNG 储存安全：注意防雷、防静电，应按《建筑物防雷设计规范》GB 50057 的规定设置防雷设施，工艺管网、设备、自动控制仪表系统应按标准安装防雷、防静电接地设施，并定期进行检查和检测；③天然气泄漏应急处置：消除所有点火源。根据气体的影响区域划定警戒区，无关人员从侧风、上风向撤离至安全区。应急处理人员戴正压自给式空气呼吸器，穿防静电服。作业时使用的所有设备应接地；④禁止接触或跨越泄漏物。尽可能切断泄漏源。若可能翻转容器，使之逸出气体而非液体。喷雾状水抑制蒸气或改变蒸气云流向，避免水流接触泄漏物。禁止用水直接冲击泄漏物或泄漏源。防止气体通过下水道、通风系统和密闭性空间扩散。隔离泄漏区直至气体散尽；⑤加强储罐及管道的日常巡查维护工作，严禁出现跑冒滴漏等现象。加强安全附件（安全阀、压力表等）定期检测工作。加强储罐及集液池爬梯扶手、操作平台防护栏的日常巡查维护工作。加强集液池的定期抽排工作，保证集液池内容积满足要求。加强 BOG 压缩系统的日常巡查维护工作，保证其正常运行。加强储罐基础的日常巡查工作，发现问题应及时处理。

4 结语

加强对 LNG 生产设施的日常维护，发现异常及时整改。LNG 气体灌装时，应严格控制灌装量，严禁超量充装。定期检查贮罐储槽的真空绝热夹层的真空压是否增大，一旦发现有异常情况应及时处理。定期检验设备安全情况，确保所有设备和安全附件的安全运行，严禁贮罐、管道超压运行。严格要求操作人员按照设备安全操作规程操作，严防设备超压运行。