

液体推进剂火灾爆炸事故类型分析及其预防

王爱玲, 梁兴国

(西安航天动力试验技术研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 由于液体推进剂具有易燃、易爆危险性, 针对液体推进剂火灾爆炸的各种原因进行分析, 归纳出其火灾爆炸事故类型, 从液体推进剂管道、容器安全布置、选材、设计、加工及安装等方面提出了预防措施, 保证液体推进剂的安全性。

关键词: 液体推进剂; 火灾; 爆炸

中图分类号: V555.1

文献标识码: A

文章编号: (2009) 02-0058-05

Analysis of fire and explosion accidents of liquid propellants and the prevention

Wang Ailing, Liang Xingguo

(Xi'an Aerospace Propulsion Test Technique Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: Liquid propellant fuels have flammable and explosive risk. This paper analyzes the factors of the fire and explosion accidents for liquid propellant fuels, the types of accidents, It puts forward the preventive ways such as the safety collocation, material, design, machining and installation of the pipeline and vessel in order to ensure the safety of the liquid propellant fuel.

Key words: liquid propellants; fire; explosion

0 引言

液体火箭发动机是运载火箭和导弹武器装备的一个重要组成部分。其工作介质液体推进剂具

有易燃、易爆危险性, 它们在设备出现故障、操作不当及发生自然灾害情况下, 易发生火灾和爆炸事故, 往往会造成严重的人员伤亡和巨大的经济损失。1960 年 10 月原苏联发射 SS-7 洲际弹道导弹时, 一级运载火箭燃料贮箱泄漏, 火箭提前

收稿日期: 2008-02-18; 修回日期: 2008-03-19。

作者简介: 王爱玲 (1969—), 女, 硕士, 研究领域为安全技术。

点火,火箭发生爆炸,导弹全部炸毁,145人当场丧生,其中包括战略导弹司令M·涅杰元帅;1965年在美国阿肯色州导弹基地,由于推进剂作业人员操作不慎,用焊枪和扳手戳破推进剂管道,导致爆炸着火,致使53人死亡;1986年1月28日,美国“挑战者”航天飞机起飞73s即发生爆炸,原因是由于液氢贮箱密封失效,大量液氢泄漏引起爆炸,航天飞机炸毁,7名宇航员死亡。

研究液体推进剂火灾爆炸事故的类型及其预防技术,是控制此类事故发生的重要的基础性工作,对实现航天企业安全生产具有重要意义。

1 液体推进剂火灾与爆炸事故类型分析

燃烧是一种氧化反应,燃烧仅发出光和热,一般不伴有显著的声效应。推进剂非正常燃烧易引发火灾事故。爆炸是迅速的氧化反应,在爆炸点,压力会突然上升,并伴有显著的声效应,其重要特征是大量能量在有限的时间里突然释放或急剧转化,这种能量在有限时间和有限体积内大量积聚造成高温高压等非正常状态,对邻近介质形成急剧压力突跃和随后复杂运动,显示出不寻常的移动或破坏效应。因此,爆炸具有强烈的破坏作用。

下面就液体推进剂火灾爆炸类型进行分析,以便于科学有效地控制此类事故的发生。

1.1 液体推进剂泄漏引起火灾爆炸

液体推进剂在运输、储存及使用中大量使用输送管道和储存容器,在管道破裂、容器受损的情况下,发生“跑、冒、滴、漏”现象,不易挥发的推进剂如偏二甲胍泄漏后形成液池,遇火源易发生火灾事故,如不及时扑救,则可能引起输送管道和储存容器发生超压爆炸。挥发性强的推进剂如氢气、甲烷等,泄漏后在空气中形成爆炸性混合物,遇火源易发生爆炸事故。前面提到的三起航天事故,均是由于推进剂泄漏引发的,这是推进剂事故中一种比较典型的经常发生的事故。推进剂容易发生泄漏的部位主要有:管道与

容器等设备连接的焊缝处;阀门密封垫片处;管道的变径和弯头处;管道阀门、法兰及长期接触腐蚀性介质的管段处;容器的液位计等。下面就引发液体推进剂泄漏的各种因素进行分析。

1.1.1 管道、容器质量因素

引发液体推进剂泄漏的管道、容器质量因素主要有:管道、容器设计不合理,管道、容器的结构、管件与阀门的连接形式不合理或螺纹制式不一致,未考虑管道受热膨胀问题;材料本身缺陷,管壁或容器壁太薄、有砂眼,代材不符合要求;加工不良,冷加工时,内外壁有划伤;焊接质量低劣,焊接裂纹、错位、烧穿、未焊透、焊瘤及咬边等;与管道、容器相联的阀门、法兰等联接处密封失效。

1.1.2 管道、容器工艺因素

引发液体推进剂泄漏的管道、容器的工艺因素主要有管道、容器中高速流动的液体推进剂冲击与磨损;反复增压泄压产生应力的作用;腐蚀性介质的腐蚀;长期在高温下工作发生蠕变;低温下操作材料冷脆断裂;非金属件老化变质;高压物料窜入低压管道或容器发生破裂等。

1.1.3 外来因素

外来因素破坏主要有外来飞行物、狂风等外力冲击,曾经发生过山上滚石砸坏推进剂输送管道的事故;设备与机器的振动、气流脉动引起振动、摇摆;施工造成破坏;地震、地基下沉、雷电及静电等。

1.1.4 人员因素

违章指挥、违章操作或操作失误引起泄漏,如错误操作阀门使可燃物料漏出;超温、超压、超速、超负荷运转;不及时维修,使设备超期和带病运转等。

1.2 介质容器或管道内形成爆炸性混合物

在系统检修和设备运行时,未对管道或容器进行置换,或采用非惰性气体置换,或置换不彻底,空气混入管道内,形成爆炸性混合物;检修时在管道(特别是高压管道)上未堵盲板,致使空气与可燃气体混合;负压管道或容器吸入空气;操作阀门失误使管道中漏入空气,或使可燃气体与助燃气体混合,遇引火源即发生爆炸。或

采用氧含量超标气体对推进剂管道或容器增压,使得管道或容器中形成爆炸性混合物,引发火灾爆炸导致事故。后一种因素的典型事故是:1971年4月15日,某所在作某型号发动机试验前准备工作时,发现气瓶场气瓶内压力不足,要求空分车间补充氮气,当日,空分车间没有氮气,一名操作员提出改为补充空气,经领导同意后,将15个高压氮气瓶全部用空气补充到规定值。16日,在进行偏二甲肼燃料系统气密性检查和排除泄漏故障过程中,当打开泄压开关,压力降至4.5MPa时,全系统发生爆炸,导致在容器间附近休息的20人当中,5人重伤,10人轻伤。容器间全部被炸塌,10个储箱全部被炸毁,试验工作被迫中止。这是一起典型违章指挥,导致容器管道内形成爆炸性混合物而造成的爆炸事故。其具体原因是,根据偏二甲肼安全使用规定,在储存、运输和挤压式转注过程中应使用纯度高于97%的氮气作为保护或增压气体。而本次气密性检查所使用的气源是纯度为86%的氮气和空气的混合物,由于参试容器内还存有30L偏二甲肼,因此,整个燃料系统中存在着偏二甲肼蒸气和空气的爆炸性混合物,在高压高温下导致气相爆炸。

1.3 低温推进剂气化引发超压爆炸

液氢、液氧等低温推进剂输送管道、储存容器,在绝热层失效气化的情况下产生高压,若不及时泄压,或安全阀出现故障会造成管道、容器超压爆炸,有时也会引发火灾事故。

1.4 管道内堵塞爆炸

管道发生堵塞,会使系统压力急剧增大,导致爆炸破裂事故。

输送低温液体或含水介质的管道,在低温环境条件下极易发生结冰“冻堵”,尤其是间歇使用的管道,流速减慢的变径处、可产生滞留的部位和低位处是易发生“冻堵”之处。

采用大管径、长距离输送或管道管径突然增大,管道连接不同心,有障碍物处易堵塞;物料夹杂过大碎块时易造成堵塞;液体推进剂由于腐蚀生成多余物或混入异物,若不及时清理,发生滞留沉积等情况,可造成管道堵塞。

因操作不当使管道前方的阀门未开启或阀门损坏卡死,或接受推进剂的容器已经满负荷都会使物料沉积,发生堵塞。

1.5 由通道传播的爆炸

由于管道连接着各种设备,管道发生火灾,不但影响管道系统的正常运行,而且还会使整个推进剂系统发生连锁反应,使事故迅速蔓延和扩大,特别是管道内介质有毒时,对人有致命危害。在管道中传播的爆炸,在一定条件下会由爆燃转变成爆轰,对试验设备、库房等建筑物造成严重的破坏。

2 火灾爆炸事故的预防措施

2.1 推进剂管道及容器土建应符合安全分布原则

液体推进剂大都属于甲、乙类火灾危险介质或有毒、腐蚀性介质,其输送管道,不应穿过无关的建筑物、构筑物,若输送管道需要集中敷设,则同一管架上的各种介质管道必须留有规定的安全间距,多层管架中的热管道应布置在最上层,腐蚀性介质管道应布置在最下层;燃料及低温推进剂管道严禁与蒸汽、热料管道相邻布置;助燃与可燃介质管道之间,宜用不燃物料管道隔开或保持不低于250mm的安全间距。

2.2 推进剂管道、容器选材、设计、加工及安装应合理

根据推进剂的性质、温度、压力和流量等因素正确选择材料,不可随意选用替代材料或误用材料,不得使用存有缺陷的材料,例如,要求高温强度时,350℃以下使用沸腾钢和半镇静钢,在350℃时,应根据不同温度分别使用镇静钢、钼钢、Cr-Mo钢和不锈钢,不得使用碳钢;为了防止低温脆性,要使用奥氏体不锈钢以及铝、镍铜合金的材料。可燃液体架空管道的支架应用不燃材料建造。为避免可燃液体管道、容器在发生事故时液体漫流,管道敷设在不可燃材料建造的地沟内,容器底下必须做铺筑处理,筑堤或围堰,并保证良好的自然通风,防止可燃气体聚积。高温物料管道应用不燃材料作保温层,以防止可燃物接触高温管道起火。低温管道、容器应该作真

空层,保持足够的真空度,以防止低温介质气化产生超压爆炸。

严格按照工艺设计要求设计,管道直径的设计值应尽量大些,弯曲和变径处应缓慢,而且弯管和变径管要尽可能少,尤其是由水平向垂直过度的弯管要少。管内壁应平滑,不准有折皱或凸起。

管道的焊接质量符合要求,焊缝须作无损探伤检查。管道的连接方式合理,可用加偏垫或多层垫等方法消除断面偏差、空隙、错口或不同心等安装误差。管道穿过墙、楼板和屋面时,应加套管、防火肩、防水帽等装置。焊缝、法兰等接头均应避开墙和楼板。管道和管件不得与管架直接接触,应按设计温度、压力等要求,采取加木垫、软金属片或橡胶石棉垫等措施隔离。

2.3 采取防腐措施

根据输送液体推进剂的腐蚀性选择一级相容材料,如对硫化氢的腐蚀,不同温度下使用可采用铬钢、不锈钢或渗铝钢;对高温条件下的氢脆要用Cr-Mo合金钢;对不同程度的硫腐蚀,分别采用5Cr、7Cr、9Cr钢管;为了防止高温氧化腐蚀,要用奥氏体不锈钢管、5Cr或9Cr钢管。

采取合理的防腐措施,如涂层防腐、衬里防腐、电化学防腐及使用缓蚀剂防腐等。其中涂层防腐用得最广泛,而在涂层防腐中以涂料防腐用的最多。

定期检测管道、容器的腐蚀情况,尤其是敷设于地下的管网系统,应及时修复或更换腐蚀严重的部位。

2.4 消除管道残余应力

为了避免管道振动,可采取设置减振装置,增加柔性设计等措施。

为了减弱热应力的破坏作用,采用增加管系可挠性,缓解热应力的热补偿方法,如采用专用的热补偿器;利用弹簧吊架结构或止动器约束管道在约束方向上的位移,在容器管口附近设置固定支架,削弱管口的应力和力矩,加设弯管,改变管道走向,增加管系总的可挠性或利用绝热保温等方法。

针对不同外部载荷采取措施,如防止基础下

沉,可采用改变管道设置位置或支撑方式或强化基础设计的方法;预防外力冲击,可通过加强防护设施,可挠性设计,合理设置,加护栏或套管以及加强施工监督等方法。

2.5 安全操作

生产操作过程中严格按照工艺要求控制物料的输送温度、压力、流速等工艺参数,尤其是用于输送可燃液体推进剂的管道,输送速度不应高于工艺值。工作条件苛刻、需要承受交变载荷的管道、容器,要特别注意。

及时清除管道、容器内的污垢、沉淀等沉积物,并严禁采用铁质工具或能产生火星的器具清理易燃易爆、易自燃的不安定沉积物。定期清除管道、容器周围设备、设施上的积尘,以减少粉尘沉积。

在冰冻季节前后,要注意管道的防冻和化冻,如积水弯、压力表的弯管及排泄阀等处,发现问题要及时采取保温防冻措施。暂时不用的易冻管道要将管内液体推进剂排净。

定期维修保养管道、容器,严禁超负荷,超期和带病运转。

2.6 加强防火安全管理

在用管道、容器要遵照《压力管道安全管理与监察规定》和《压力容器安全技术监察规程》定期进行检验,检测其泄漏和受损情况,防止系统出现“跑、冒、滴、漏”现象。

停车检修和开车前应按规定进行管道、容器的排气置换作业,检测合格后方可动火检修或开车。进行动火检修作业时,要严格执行动火作业的各项规章制度。

严禁在燃料管道、容器和高温管道周围堆放易燃易爆物质。需要散热的输送管道上严禁堆放各种杂物,以防止热量积累引起火灾。

燃料和低温介质的管道、容器周围杜绝各种火源。

2.7 采取防静电措施

液体推进剂的输送管道和容器,应有防静电措施。地上或管沟敷设管道的始端、末端、分支处以及直线段,每隔100m应设置防静电接地装置,接地电阻不宜大于30Ω,接地点宜设在固定

管墩(架)处。

2.8 设置防火防爆安全装置

在容易发生超压爆炸的管道、容器上设置安全阀等防爆卸压装置;在容易造成火焰传播的管道上设置水封、砂封、阻火器或防火阀。在高压和低压系统之间的接点处和容易发生倒流的管道、容器上设置止回阀和切断阀。在泵和阀门的进口装管道过滤器,防止杂质或夹杂物造成事故。具有着火爆炸危险的输送管道或储存容器,可采用惰性气体(如氮气)进行正压保护。在易燃、易爆气体容易聚集的地方,设立排气通风装置。可燃气体的尾气排放管线应采用氮气封或设备阻火器等防止火势蔓延的装置。火灾危险性较大的密集管网系统用可燃气体浓度检测报警装置,及时发现火险隐患,用水喷淋等灭火设施,及时扑救初起火灾。

2.9 采用临界直径

单组元的推进剂爆炸时,所产生的爆轰波可以沿管子轴向传播。但当管子直径小于其临界直径时,爆轰波就不能稳定地传播,传播一小段距离后便自动熄灭。因此,单组元的推进剂的临界直径,对选择安全的输送管道或消爆管具有实用意义。例如,在发动机和贮箱之间,选用一段小于临界直径的管子作为消爆管,当推进剂在发动机中发生爆炸时,就能避免贮箱中推进剂发生爆

炸。

3 结束语

从液体推进剂火灾爆炸事故主要原因出发,对其事故类型进行了归纳分析,把事故分为五种类型。可以看出,液体推进剂其事故成因复杂,涉及到液体推进剂贮存、使用及运输的各个环节,液体推进剂火灾爆炸事故比较常发,且后果严重。尽管如此,可以从推进剂管道和容器的安全分布、合理选材及科学设计等方面采取安全预控制措施,防止此类事故发生,保证液体推进剂的安全性。

参考文献:

- [1] 陈新华. 液体推进剂操作危害性评估方法及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [2] 郑治仁. 液体推进剂防火防爆问题综述 [J]. 中国航天, 2000, (2):22-24.
- [3] 王建国. 液体推进剂急性中毒诊治研究[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 2000.
- [4] 马红宇, 刘站国, 徐浩海, 等. 液氧煤油发动机地面试车故障监控系统研制[J]. 火箭推进, 2008, 34(1): 45-49.

(编辑:马 杰)

(上接第 40 页)

参考文献:

- [1] 赵如福. 金属机械加工工艺人员手册 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.
- [2] 梁国明. 机械工业质量检验员手册 [M]. 机械工业出版社. 1993.

- [3] 詹昭平. 渐开线花键标准应用手册 [M]. 中国标准出版社, 2005, (6).
- [4] 周琴. 高精度喷嘴环斜锥孔加工专用铰刀的研究与应用[J]. 火箭推进, 2006, 32(5): 43-46.

(编辑:马 杰)