

# 石油气储运事故分析及预防

孔昭瑞

**摘要** 石油气的重大火灾爆炸事故主要发生于储运过程之中,其特点是突发性强、波及面广、后果严重,多数会造成物毁人伤(或亡)的重大损失。为此,归纳了石油气八个方面的危险特性,在此基础上以案例形式对一些较为典型的事故进行了分析,并阐述了预防事故、控制事故后果及减少事故损失的基本方法。

**关键词** 天然气 液化石油气 储运 事故 分析 预防

石油气一般是指来源于石油的气体能源,常用的有天然气及液化石油气两类。前者成分以甲烷为主,并含有少量乙烷;后者是丙烷、丁烷或两者的混合物。石油气是一种高热值的洁净燃料,具有使用方便、热效率高及污染小等优点。目前,石油气在城市生活用能方面已占有一定比例;今后,随着经济的发展及人民生活水平的不断提高,城市公用事业及居民生活用能将会占有更大的比例。因此,石油气的储运事业会以较快的速度发展。

石油气的储运过程大致为:陆上天然气通过长输管道由产地送往中心城市,经配气站降压后,再用低压管道向用户供应;越洋而来的进口天然气则是预先使之液化为液化天然气(LNG),然后装船运至接收基地,再经气化之后以管输方式输送给用户;液化石油气(LPG),除了少数用管道输送之外,大多数是通过车、船等移动装载容器,在几经接转之后以罐装气的形式提供给用户。

由于石油气的储运工艺较之液体石油要复杂一些,其中涉及到一些危险性较大的高压或低温工艺过程,加之石油气与液体石油相比又具有更大的爆炸与泄漏危险,同时,当前人们对其危险特性的认识还没有达到象对液体石油那样的熟悉程度。为此,对石油气的事故特点及危险特性作概括性的介绍,并以案例的形式对一些发生于石油气储运过程中的较为典型的事故进行分析,在此基础上提出预防与控制事故后果的一些基本方法。其目的是,避免或尽量减少类似事故的发生,或在事故发生后能够控制其后果,以减少事故造成的损失。

## 一、事故特点及危险特性

### 1、 事故特点

石油气的事故主要是由泄漏引起的,其过程一般是泄漏、引燃、爆炸,最后形成火灾爆炸事故。如果紧急处置不当,抢救不及时,那么可能会造成重大的经济损失及人员伤亡。其事故后果会使人们在较长时间内心有余悸,从而对石油气的使用产生惧怕心理。此外,在接触石油气的过程中,由于人们对它的认识不足,措施不当,也有可能引发石油气中毒事故,轻者使脑中枢受到损伤,重者可导致死亡。由上述可见,石油气事故看起来似乎比较单纯,但是,由于石油气具有比液体石油更具有危险性的特点,而且事故具有很强的突发性,因此事故的发生频率较高,后果也往往比较严重。尤其是在大量储存、运送或装卸过程中,稍有不慎在一瞬之间即可造成巨大的损失。因此,为了有效地预防石油气事故的发生,首先要了解它的危险特性。

### 2、 危险特性

(1) 易挥发性 石油气的主要成分是甲烷、乙烷、丙烷和丁烷，其沸点分别为 161.5、-88.6、-42.1 及 -0.5。因此只能在很低的温度、一定的压力下呈液态存在，一旦这种条件被破坏就立即挥发并转为气态。因此容器或管道的任何一点细小的不密闭缺陷都会造成石油气的泄漏，形成事故的诱发原因。

(2) 易爆性 气态的烃类化合物只能在与有氧气体(如空气)按一定比例混合形成爆炸性气体之后，才有可能爆炸。这个混合比例的范围称为爆炸范围，甲烷、乙烷、丙烷和丁烷的爆炸范围分别为 4.9%~15.4%、2.5%~15%、2.1%~9.5% 及 1.9%~8.5%。这就是说，它们在混合气体中所占的体积百分比只有在此范围之内，同时氧气的含量超过 10%时，才有可能爆炸。由此可见，石油气的爆炸范围比液体石油中的车用汽油(爆炸范围为 1.58%~6.48%)还要宽得多，而且，随着压力的升高石油气爆炸范围的上限还会有明显的提高。仅就爆炸范围而言，石油气的爆炸危险性就比液体石油大。尤其危险的是，大量石油气泄漏时有可能发生危害性极大的“震爆”现象(亦称“轰爆”)。据有关资料介绍，一座 1000m<sup>3</sup>的液化丙烷球罐因破裂而导致大量丙烷外泄并发生震爆时，其破坏力约与 23.5TNT 炸药相当。

(3) 易燃性 石油气属于易燃性气体，与液体石油相比其燃烧特点是：闪点极低，液化丙烷的闪点为 -104，而汽油的最低闪点为 -58；可燃范围较宽，其下限与爆炸下限相当，上限略高于爆炸上限，火焰温度在 2000 以上，比液体石油火焰温度高出约 1 倍。引燃时所需的点燃能量极小，约 10<sup>-1</sup>mJ，打个比喻，一根大头针从 1m 高处落到水泥地上所产生的能量即可把处于可燃范围内的石油气引燃。基于上述特点，泄漏到大气中的石油气极易被点燃，而且在燃烧的同时很可能相伴发生爆炸，从而产生强大的破坏力。密闭在管道或储存容器中的石油气虽因浓度超过燃烧上限而具有不可燃性，可是，一旦火源伴随着新鲜空气进入上述密闭环境，产生“回火”，则燃爆将同时发生，使管道或容器遭到破坏，从而造成一场巨大的灾害。再者，石油气着火后的热辐射强度是与火焰温度的四次方成正比的，一座石油气储罐着火之后，如果不及时对相邻储罐采取冷却措施，那么在十几分钟之内相邻储罐就可能爆炸起火，造成火烧连营式的重大事故。

(4) 油气聚积性 石油气的主要成分中除了甲烷之外，其余均重于空气。因此，泄漏出来的石油气，尤其是丙烷或丁烷气，经常是聚而不散，形成气云，并随着气流四处飘散，最后下沉聚积于洼地或管沟之中，在达到一定浓度之后遇到明火即会引发火灾或爆炸事故。对此，在阴沉而无风的天气时尤应注意。

(5) 静电荷积蓄性 LNG 及 LPG 都是经过加工处理的洁净石油产品，具有较低的电导率，一般在 10<sup>-10</sup>~10<sup>-12</sup>S/m 之间。在输送与装卸过程中，流动、喷射、过滤、冲击等可能积蓄大量的静电荷，当两个带电体之间的电位差达到一定数值，同时又产生了适当的放电条件，周围也存在着处于爆炸范围内的混合气体时，就会引发静电爆炸事故。这类事故主要发生于装卸过程或清洗储罐时。

(6) 节流效应 高压石油气通过细小的孔隙向外排放时，压力突然降低，体积迅速膨胀，产生了制冷作用，使周围空气中的水蒸气或石油气中含的水与排出的石油气形成水合物，并以冰霜的形态凝结在孔隙处。这种现象称为“节流效应”，其结果是已开启的阀门将无法关闭或部分管道因冻结而堵塞。这个极易被人忽视的危险特性却时常会引发重大事故。

(7) 热膨胀性与热外溢 液态的石油气具有较大的热膨胀系数，以液态丙烷

为例,假设在 $-40^{\circ}\text{C}$ 时的体积为1,但在温度上升至 $0^{\circ}\text{C}$ 时其体积则膨胀至1.094,体积增大了9.4%;温升至 $40^{\circ}\text{C}$ 时其体积将膨胀至1.236,体积增大了23.6%。对于一个装满液化石油气的密闭容器来讲,它是难以承受这种由液体热膨胀而产生的压力的。因此,为了避免发生容器胀裂事故,一般规范均规定:固定储存容器的允许装载量应不大于其容积的90%,移动容器则不大于其容积的85%,但遗憾的是,尽管对容器的装满度规定的如此明确,由此而引发的重大事故仍时有发生。在液化石油气装入储存容器之后还可能产生一种称作“热外溢”的现象,并由此而引发事故。对此,在下面的事故案例中将给予介绍与解释。

(8)石油气中毒 在烃类化合物中烷烃对人体健康的不良影响是最小的。尽管如此,即使在有足够氧气存在的情况下吸入石油气也会对人的中枢神经产生缓慢的麻醉作用,轻者使人有疲乏的感觉,中度时会产生“醉酒”现象,严重者则会导致停止呼吸和心脏跳动,抢救不及时将会造成死亡。而更多的“油气中毒事故”是在吸入石油气的同时伴随着缺氧,一般来说,在新鲜空气中烃类气体是可以从人体中被置换出来的,只要抢救及时、方法正确就不会造成严重后果,也不会留下后遗症。但石油气中含有硫化物时后果就严重得多了,对此要给予特别注意。石油气中毒事故常发生于维修或清扫储存容器时。

按照《安全学》的理论,石油气的危险特性属于“物的不安全状态”,是生产过程中的事故隐患,也是事故的根本原因。

## 二、事故典型案例与原因分析

### 1、石油气储存过程中的事故

(1)首例低温储罐爆炸事故 1944年美国克利夫兰市的一座容积为 $2 \times 10^4 \text{m}^3$ 的钢制双壁低温液化气储罐突然破裂,大量液化气外泄并到处流散,流入城市下水管沟之后被引爆并发生大火。其后果是133人死亡,300多人受伤,直接损失达 $800 \times 10^4$ 美元以上。原因是钢材的强度和冲击韧性达不到要求,同时在结构计算方面也不够精确,属于选材不当与计算不准的设计错误。这次事故使人们对液化气低温储存产生了惧怕心理,从而使这项新技术被迫停顿下来。直到20年后,由于9%镍钢的出现及焊接与检验技术的进步,才使双壁低温储罐得以迅速发展。

(2)液化气储罐区火灾爆炸事故 1966年法国的一个炼油厂的液化气罐区,在工人从球罐上取过气样之后,通至球罐底部取样管上的单向阀因被冰堵而不能自动关闭,致使大量液化气从取样管喷出形成气云。当气云飘移至数百米以外时被火源引燃,发生四处蔓延的大火。尽管消防人员尽力用水冷却整个罐区,但仍未能防止连续发生的球罐爆炸事故,造成了16人死亡、60人严重烧伤的重大伤亡事故。这是一起典型的由高压气体的节流效应引起的事故,其严重后果是强烈的热辐射造成的。

### 2、石油气输送过程中的事故

(1)震爆事故 美国某港口的一条工作压力为6.5MPa的液化丙烷管道在生产过程中突然破裂,大量的液化丙烷先从裂口处喷向地面,然后折转向上形成蒸气云升到离地面高约20m的空中,约20min便扩散至离出事地点约300m处的建筑物群,遇火源后起火爆炸并产生强大的冲击波。紧接着,震爆前沿的火球便沿着水平方向以极快的速度向外扩散,在震声隆隆中形成一片火海和砖瓦飞扬的惊

人场景。结果是半径 8km 以内的建筑物全部被毁。这是一起典型的震爆事故，其严重后果是由外泄的 700t 以上液化丙烷燃爆造成的。

(2)液化气罐车爆炸事故 1978 年 7 月 11 日 14 时 30 分左右，一列挂有一节容积为  $43\text{m}^3$  的液化丙烯罐车的火车在西班牙巴塞罗纳市附近沿海岸行驶时爆裂，造成 150 余人死亡、120 余人受伤、约 100 辆汽车被烧毁、14 栋建筑物烧毁倒塌的重大事故。事故原因是，罐车内液化气装得过满，充满度接近 100%，而且是上午气温较低时装的。一路之上经过烈日暴晒使罐内的液化丙烯因升温而膨胀，致使罐内的液体静压力超过容器的设计压力而出现裂纹。罐车内的液化丙烯从裂纹处大量外泄，蒸发后向空中扩散，被海边野炊的明火引燃，并因“回火”而造成容器爆炸。爆炸后容器沿周向焊缝断裂为两段，分别沿纵向往前后偏左的方向抛出约 100m，其中前段与建筑物相撞，事故波及范围长 200m 以上，宽约 30~80m。

### 3、石油气装卸过程中的事故

(1)储罐装载后油气大量外泄事故 一艘液化气油轮在意大利的一个港口向一座容积约为  $2 \times 10^4\text{m}^3$  的低温储罐中装液化气时，工作一直很正常，但在储罐被装满之后过了 18h，罐内压力升至 0.7kPa(储罐设计压力为 0.6kPa)，液化气蒸气开始通过安全阀外排。因排放了一个多小时仍然不能停止，故只好打开通气口大量排放。一直排放了 3 小时 45 分钟，罐内压力才恢复正常。除了损失一些产品之外，未引发更大的事故。原因是由于船内的液化气较重、温度较高，同时储罐内又存有大约  $1 \times 10^4\text{m}^3$  的较轻并较冷的液化气，当较重的热液化气被泵送入罐底时，与罐内原有的液化气没有很好地混合，形成了冷而轻的液化气在上层，热而重的在下层。热量以热波的形式自下而上传递，导致了上层的液化气体积膨胀并大量蒸发，罐内超压大量油气外排。这种现象被称为“热外溢”，遇到类似情况时应给予足够的重视。

(2)罐区火灾爆炸事故 1977 年 9 月，美国休斯顿炼油厂，当操作工人往一座球罐中输送液化异丁烷时发现罐上液位计的指针已指到刻度之外，便立即把进料切换到另一座球罐，可是在切换工作完成之前，第一座罐就爆炸了，致使大量异丁烷外泄，此时还想切断进入罐区的产品，但进料阀尚未关严就发生了大火，并很快地吞噬了整个罐区。该罐区共有球罐 3 座，卧罐 5 座和普通立式油罐 4 座，其中 7 座被彻底毁坏，并造成了人员伤亡，仅物质损失就达数百万美元。事后调查发现，首先爆炸的那座球罐上的液位计早已失灵但未发现，装入罐内的液化异丁烷也早已超出了允许灌装量，而且罐上的安全阀也已经失灵，球罐是因超压而爆炸的。起火原因可能是由爆炸碎片相撞产生火花所致。此外，由于液化气储罐与液体石油储罐混置，以及控制进料的电动阀因停电而无法关闭等原因，更助长了灾情的延续。

### 4、维修过程中的事故

(1)大型钢筋混凝土双壁低温储罐在维修时爆炸 1970 年美国建成了一座容积为  $9.5 \times 10^4\text{m}^3$  的钢筋混凝土外壳、铝与多种有机合成材料构成多层衬里的双壁低温液化气储罐。该罐使用后一直漏气，估计是衬里有问题，故在运行两年多之后排空维修。但在维修过程中储罐突然爆炸，造成罐毁人亡的严重后果。分析事故原因认为，由于在运行中罐内的液化气已经通过衬里上的细微裂缝渗漏到中间的绝缘隔层中，当衬里被打开后，隔层中的液化气在罐内蒸发达到爆炸浓度又遇火源。通过这次事故的教训，许多类似的储罐出了问题就报废，不敢再修理了。

(2)管道因解除冰堵而造成爆炸事故 有一条包有绝缘层的液化气管道发生

了冰堵，解冻措施是用蒸汽暖管化冰，结果发生了一起大的爆炸事故。原因是该管段早已存在细微的腐蚀穿孔，液化气中的较重成分在渗漏后积存在绝热层中未被发现，事故现场又在车间附近，因此，加热化冰时蒸发出来的大量油气被车间内的明火引爆。

### 三、事故的预防与控制

#### 1、 基本方法

通过上述事故案例可以看出，许多重大石油气事故的直接原因是由于人的疏忽，或对存在的事故隐患缺乏足够的认识所致，而且多数事故原因是属于常识性的。因此在充分了解石油气危险特性的前提下绝大多数事故都是可以预防的。预防事故的基本方法大致可归纳为三个方面。一是从技术上进行预防，主要包括防止危险环境的形成及形成后的报警与自动排除险情，可能形成危险环境的场所严禁明火存在与火花的形成，以及减轻事故危害与确保现场人员有足够的抢救或撤离时间等方面的技术措施。二是加强对工作人员安全素质方面的教育及训练，包括安全知识、安全技术、安全心理、职业卫生及排险与消防活动等，而且要时常演练与考核。三是在管理方面要有一系列详细的安全管理制度及有效的安全管理组织，确保各种有关的安全管理规定能在各个环节上得到充分落实，并能有所改进与提高。

#### 2、 事故控制

大量事实表明，同类事故的后果并不一定是相同的，有的造成了重大的经济损失或人员伤亡，有的损失较小，甚至是有惊无险。同类事故会产生不同的后果，其中除了机会因素之外，主要取决于事故控制。事故控制是指事故发生后的紧急救援工作，它包括两个方面。一个方面是消防工作；另一个方面是迅速抢救受伤或中毒人员，并尽力保护现场消防及救护人员的安全，以减少事故的危害。由此可见事故控制的目的是，通过积极的紧急救援力争把事故的损失及危害控制到一个可能的最低限度之内。

事故发生后的深入调查与认真总结将对今后的事故预防工作产生可珍视的借鉴作用。

\*434102，湖北省荆州市；电话：(0716)8431324。

作者单位：江汉石油学院

#### 参考文献

- 1 徐名甫 黄士安：现代石油防火防爆实用技术(储运与运输部分)，黑龙江科学技术出版社(哈尔滨)，1985。
- 2 中国石油天然气总公司：石油安全工程高级本，石油工业出版社(北京)，1995。
- 3，《油田油气集输设计技术手册》编写组：油田油气集输设计技术手册(上册)，石油工业出版社(北京)，1994。
- 4 崔忠诚：油田气加工操作技术，石油工业出版社(北京)，1987。
- 5 佩奇，R.C.等：油船安全，人民交通出版社(北京)，1985。

6 巴尔德, . . . 等：炼油厂和石油化工厂生产事故预防，中国石化出版社(北京)，1992。

7 肖爱民等：事故管理，冶金工业出版社(北京)，1990。

8 中国人民解放军总后勤部油料部：油料安全常识问答，解放军出版社(北京)，1988。

编辑：张淑英

(收稿日期：1998-10-07)