

# 浅谈液化石油气站管道损伤模式及检验要点

许晓奕（广东省特种设备检测研究院汕头检测院，广东 汕头 515041）

**摘要：**液化石油气管道输送的是易燃、易爆的液化石油气，一旦发生泄漏极易发生燃烧爆炸事故，造成重大破坏和人员伤亡。为了保障液化石油气管道安全运行，对其的检验工作非常重要。本文通过对液化石油气管道损伤模式的识别，提出了重点检验部位和更有针对性检验方法，同时对进行耐压试验的必要性进行探讨。

**关键词：**液化石油气管道；损伤模式识别；检验探讨

## 1 液化石油气管道泄漏的危害性

液化石油气作为一种化工原料和高燃烧值燃料，随着现代工业的发展，已愈来愈受到人们的重视，现在被广泛应用于工业生产和生活，给人们生活带来更多便捷，同时也威胁我们的安全。液化石油气主要成分是丁烯、丙烯、丁烷和丙烷，属于甲类火灾危险性物质，一旦泄漏极易引起火灾爆炸，造成巨大财产损失和人员伤亡。近年来，液化石油气泄漏事故不时发生，液化石油气使用安全问题，一直倍受关注。

液化石油气具有易燃性，在空气中极易形成爆炸性混合物，遇明火和热源即发生爆炸的危险性。液化石油气气态比空气重，同时具有气化性、受热膨胀性，由液态变为气态时体积扩大两百倍以上。液化石油气具有很强的挥发性，闪点低，一旦遇到电器火花、火源和摩擦产生的静电，极易造成爆炸事故。液化石油气的热值比较高，普通的煤气的热值要高出好几倍，燃烧与爆炸的威力极大，液化石油气爆炸起火后，会迅速引燃爆炸区域的可燃物，形成大面积燃烧，破坏性极强，造成无法估量的危害。

## 2 液化石油气管道损伤模式

通过对管道损伤模式的识别及失效分析，可以寻找失效原因，避免事故重演，消除安全隐患，保障管道安全运行，提高设备性能，延长管道寿命，制定合理工艺，规范设备操作，提高检验质量。

### 2.1 硫化氢应力腐蚀开裂

对于液化石油气管道，裂纹是危害性最大的缺陷，硫化氢应力腐蚀又是产生裂纹的主要原因。在新的 GB/T30579-2014《承压设备损伤模式识别》中，将损伤模式区分为 5 种，硫化氢应力腐蚀开裂属于环境开裂中的一种，是指金属表面上硫化物在腐蚀过程，产生原子氢吸附，在焊缝金属和热影响区的高应力局部区域聚集造成的一种开裂。

硫化氢应力腐蚀开裂是金属材料在拉应力和硫化氢腐蚀介质的共同作用下引起的开裂，此应力可以是外加应力也可以是金属内部残余应力。

湿硫化氢环境，首先，液化石油气主要组分为丙烷、丙烯、丁烷、丁烯，并含有少量的乙烯、丙烯、乙烷丁烯和微量硫化物杂质。液化石油气本身对材料无腐蚀损害，但其中不可避免的有少量残存的水，没水时硫化氢对管道的腐蚀比较轻微，但有水时会与铁反应生成  $H_2$ ，从而导致硫化氢应力腐蚀开裂。第二，硫化氢应力腐蚀开裂敏感性与硫化氢浓度有关，硫化氢浓度越大敏感性越强。第三，硫化物应力腐蚀开裂在  $20^\circ\text{C}$  -  $60^\circ\text{C}$  工作温度下最为敏感，液化石油气管道一般也在此温度区间运行，在此温度区间温度高硫化氢腐蚀的速率快。

管道金属敏感性，硫化氢应力腐蚀裂纹对于低合金钢和碳钢比较敏感，一般液化石油气管道的材料多为此类材料。

拉应力的存在，在焊接管道时产生的残余应力，在截面突变处或者错边量较大应力集中部位，也包括在运行过程中的外加应力等。

液化石油气管道同时满足这三个条件，在湿硫化氢环境而且在敏感工作温度，同时存在焊接残余应力，所以在定期检验时，应对重点部位焊缝的表面缺陷和埋藏缺陷进行检测。

### 2.2 腐蚀减薄

腐蚀减薄是指金属材料表面由于受到周围介质的作用而发生状态变化，从而使金属材料遭受破坏的现象。对金属而言，是指其受到环境介质的化学作用或电化学作用而引起的变质和破坏，金属材料的腐蚀是冶金过程的逆过程。由于腐蚀的存在，管道整体或局部壁厚减薄，材料强度下降，同时腐蚀也会引起裂纹的产生，严重时造成管道的裂穿泄漏，引发更严重的燃烧爆炸事故。腐蚀的发生通常是隐蔽和渐进的，如不及时处理，当腐蚀减薄到一定程度，

就会发生突发性破坏损伤，产生十分严重后果。

液化石油气管道的内腐蚀通常有磨损腐蚀、硫化氢腐蚀。

液化石油气管道的外腐蚀，其主要是由大气或土壤的腐蚀环境造成的腐蚀破坏。液化石油气管道外表面一般都采取了一定的防腐蚀措施，覆盖有防腐蚀层，当防腐蚀层存在缺陷或人为破坏，而引起腐蚀。管道在大气条件下，通常遭受潮湿的大气腐蚀、干燥的大气腐蚀、和可见液膜下的大气腐蚀，这三种大气腐蚀。

### 2.3 机械损伤

液化石油气管道的机械损伤包括冲刷和振动疲劳。

液化石油气管道的冲刷损伤，是管道内的液化石油气对管壁的长期冲刷，造成了壁厚的整体减薄，使得管道强度下降，当强度不能满足要求时，造成管道冲刷磨损破坏。在管道变径处，通常造成介质流速变大，冲蚀加重，引起的局部磨损更加严重。所以，严重磨损一般发生在流动方向不断改变、流速大的区域，比如弯头、弯管、三通和异径管部位，这些部位也将是定期检验的重点部位。

液化石油气管道的烃泵、压缩机，在振动载荷、不稳定介质流动等动态载荷作用下，易产生疲劳开裂。该损伤易发生在烃泵，压缩机进出口管道处，或与压缩机、烃泵相连但不牢固的承插焊缝。

## 3 液化石油气管道检验要点

### 3.1 检验方案制定

根据液化石油气管道使用条件、以及上文分析的损伤及其失效模式制定更有针对性的检验方案。GB/T30579-2014《承压设备损伤模式识别》，该标准适合我国承压特种设备现状的损伤失效模式，提出了比较完整的识别方法，内容包括承压特种设备失效机理及损伤模式的理论描述、影响因素、可能发生失效的部位和位置、并制定对应的检测方法。

在TSG D7005-2018《压力管道定期检验规则—工业管道》中，明确规定，定期检验时检验机构应当制定检验方案，强调了检验方案的必要性和重要性，对于有些管道情况特殊，检验人员应当就其检验方案与使用单位积极沟通，征求使用单位意见，达到更好的检验目的。

### 3.2 资料审查

定期检验时，审查资料是非常重要的，对于掌握液化石油气管道运行情况，编制检验方案，是开展有效检验的工作基础，对于确定检验部位、检验

项目至关重要。

资料审查：其一，设计、安装、改造或者重大修理阶段的资料，这一类资料是运行过程中不会发生变化的资料，首次检验时必须重点审查，这一类资料包括设计单位资质证明、安装单位资质证明、设计及安装说明书、强度计算书、竣工验收资料、改造或重大修理施工方案；其二，是运行过程的资料，包括使用管理资料、运行记录、运行条件变化情况、开停车记录、运行中出现异常处理情况的记录、安全附件校验报告、压力表等仪表的检定证书、上一周期的定期检验报告及年度检查报告，这一类资料能让我们更好掌握管道运行工况。

### 3.3 宏观检验

宏观检验是液化石油气管道检验的重要方法之一，它简单实用，不仅可以使检验人员观检验对液化石油气管道的实际状况有概括的了解，而且还可以对进一步采用何种检验方法进行详细检验提供重要的线索和依据，如腐蚀、变形等。

液化石油气管道结构检验，包括管道布置，支吊架、开孔补强、排放装置设置等，结构检验重点在不合理结构及新生缺陷，该项检查是首次定期检验重点项目。

液化石油气管道几何尺寸检验，主要是管道焊缝咬边、错边量等检验测量，强调对经过改造和重大修理的管道，以及承受疲劳载荷的管道，以后的定期检验中重点检验有问题部位的新生缺陷。

液化石油气管道外观检验，外观检验是宏观检验的重点。包括管道元件及其焊缝的腐蚀、泄漏、裂纹、变形、机械接触损伤，管道支承件开裂、变形，排放（疏水、排污）装置的堵塞、腐蚀、防腐层的破损等。

因管道直径一般较小，宏观检验通常在外部进行，但如果存在内表面的损伤机理，还应采用内窥镜或其他方法进行内表面的宏观目视检测。

### 3.4 壁厚测定

超声测厚是壁厚测定常规方法。通过上文损伤模式识别，液化石油气管道的厚度减薄通常是由腐蚀和冲刷引起的。测厚点位置，重点选择使用中易产生变形、磨损部位，易受腐蚀、冲蚀部位，元件制造成型时壁厚减薄部位等，所以，一般选择三通、异径管（大小头）弯头（弯管）以及上述被抽查管件与直管段相连的焊接接头的直管段一侧进行厚度测量。

测厚抽查比例在《压力管道定期检验规则—工业管道》有明确规定，其实测厚比例应该主要取决



于损伤模式,对于像液化石油气这种有腐蚀减薄机理存在,应适当提高测厚比例。当检查发现管道测厚有异常时,应增加测点确定壁厚异常区域,必要时可适当提高整条管线的壁厚抽查比例。

### 3.5 表面缺陷检测

上文我们已经分析了液化石油气管道存在硫化氢应力腐蚀开裂及机械损伤模式,所以对液化石油气管道压缩机、烃泵进出口第一道或者相邻的焊接接头,支吊架损坏部位附近的焊接接头进行表面探伤。

环境开裂一般由与介质直接接触的内表面引起,而管道直径较小,通常采用在外表面其他检测方法对内表面进行检查,比如可以采用超声检测等。

### 3.6 埋藏缺陷检测

埋藏缺陷检测一般采用超声检测或者射线检测等方法(NB/T 47013 规定),抽查重点部位,包括检验时发现焊缝表面裂纹的焊缝,补焊或者返修过的焊缝,泄漏部位的焊缝,错边量超标的焊缝,液化石油气烃泵、压缩机相邻的焊接接头或者进出口第一道焊缝,支吊架损坏部位的焊缝,管道较大变形的焊接接头及固定口应力集中部位。

液化石油气管道一般直径较小,壁厚不大,更多的是用射线探伤进行检验。

### 3.7 耐压试验

在新版的《压力管道定期检验规则—工业管道》(TSGD7005-2018)中,对耐压试验是这样规定的:定期检验过程中,对管道安全状况有怀疑时,应当进行耐压试验。本条规定是给出了耐压试验是检验人员对安全状况有怀疑时,必要时应进行的一个检验项目。笔者认为综合上面损伤模式的分析及液化石油气管道的运行状况,液化石油气管道在定期检验中,耐压试验是非常必要的检验手段,在下面在案例分析中进行展开讨论。

### 3.8 泄漏试验

对于液化石油气管道输送的是易燃、易爆介质,一旦泄露危害性极大,所以泄漏试验是非常必要的,可检验整个管道系统的密封性。常见发生泄漏部位多为烃泵、压缩机和安全阀、压力表与管道连接处,阀门上的密封部位。

### 4 检验案例分析及耐压试验必要性探讨

某液化石油气储贮站,对该站液化石油气管道定期检验,该液化石油气管道投用日期为2001年11月。管道编号PL1、PL2、PG1、PG2,管道级别GC2,设计压力1.6MPa,设计温度50℃,输送

介质为液相、气相LPG,管道材质20#,管道规格 $\phi 89 \times 4.0\text{mm}$ 、 $\phi 57 \times 3.5\text{mm}$ ,管道长度约200m。

通过资料审查和损伤模式分析,编制检验方案,检验项目包括宏观检查、壁厚测定、表面缺陷及埋藏缺陷检测、安全附件检查、耐压试验、泄漏性试验,并确定重点检验部位。该气站运行将近20年,之前经过几个定期检验周期,并无异常缺陷,本次检验确定了耐压试验项目。通过宏观检查、壁厚测定、无损检测,并无超标缺陷。当进行耐压试验时,升压至1.4MPa时,发现液相管PL1( $\phi 89 \times 4.0\text{mm}$ )有破管泄漏现象,升压至低于设计压力时既破管泄漏,在使用过程中将存在较大安全隐患。通过查看液相管破管泄漏处,发现该泄漏处位于过道下方,长期受潮,经过长期腐蚀,腐蚀孔较深,造成腐蚀减薄,强度下降。

《压力管道定期检验规则—工业管道》对耐压试验的要求,在上文管道检验中介绍过了,既耐压试验是定期检验必要时,检验人员对安全状况有怀疑时,才进行的一个检验项目。耐压试验主要目的有:一是用超压(超过设计压力或者允许(监控)使用压力)的试验方法全面考核管道的强度,二是检验焊接接头的致密性和密封结构的严密性,三是在较高压力下使得管系应力再分布和变形的再协调。由于液化石油气管道运行环境较为恶劣,还有穿墙及在过道,地沟下等布管情况,宏观检验及难发现这些隐蔽处缺陷,而一旦管道发生泄漏,将极易造成燃烧爆炸事故,所以笔者认为对于液化石油气管道的检验,耐压试验是非常必要的。

### 5 结语

液化石油气具有易燃、易爆性,一旦泄露极易发生燃烧爆炸事故,造成重大财产损失和人员伤亡。液化石油气站管理水平参差不齐,管道情况复杂,对于管道的检验,需要加强与使用单位沟通,更多的细心和耐心,才能达到更好检验效果。同时通过对液化石油气管道损伤模式的识别,编制更有针对性检验方案,是开展有效检验的工作基础,对于确定检验部位、检验项目至关重要,而耐压试验更是能全面考核管道的强度,消除管道安全隐患,保障液化石油气管道安全运行。

### 参考文献:

- [1] GB/T 30579-2014. 承压设备损伤模式识别[S]. 北京:国家质量监督检验检疫总局,2014.
- [2] TSG D7005-2018. 压力管道定期检验规则——工业管道[S]. 北京:国家质量监督检验检疫总局,2018.