

天然气管道泄漏分析及动态处理技术研究

田 靓 (中海石油气电集团有限责任公司, 北京 100027)

摘 要: 在国家不断深入开展环境保护与碳中和工作, 强调和号召民众使用清洁能源的形势下, 天然气迅速发展成为能够影响民生的重要能源, 目前通常是利用管道进行天然气输送, 由于天然气属于可燃气体, 具有易燃易爆的特点, 一旦出现天然气管道泄漏事故, 天然气浓度达到一定程度, 就会发生火灾或爆炸, 从而造成严重的经济损失和人员伤亡, 所以社会各界对天然气管道泄漏尤为关注, 基于此, 本文就围绕天然气管道泄漏分析及动态处理技术展开分析, 以期促进天然气输送和使用安全。

关键词: 天然气管道; 泄漏分析; 动态处理技术

天然气管道是为民众提供燃气能源的主要途径, 受腐蚀、触碰等多种原因的影响, 天然气管道在服役期间可能会出现开裂或是移位等情况, 因此破坏天然气管道的密封性, 以至于出现天然气管道泄漏现象, 从而造成燃气浪费或是爆炸等严重问题的出现, 所以, 相关人员应充分意识到天然气管道泄漏危害的严重性, 合理分析造成天然气管道泄漏的主要原因以及检测分析与动态处理技术, 同时加强天然气管道安全管理措施研究, 以便为民众的人身和财产安全提供安全保障, 借此保证社会的安定发展。

1 天然气管道泄漏的危害

随着社会发展和时代进步, 天然气已经在当代人的日常生活越来越占据不可或缺的重要能源地位, 天然气是如此重要, 却是一种易燃易爆的危险化学品, 对它的运输和使用都要严加防范, 输送管道容不得一丝疏漏。天然气泄漏不仅影响正常供应, 更危险的是一旦它在有限空间范围内积聚到一定程度就会发生爆炸, 造成严重的人员伤亡和财产损失。

天然气发生泄漏的危害包括三种: 第一, 天然气一旦出现泄漏极易引发火灾和爆炸, 酿成灾难性的重大事故; 第二, 天然气泄漏也会导致环境污染, 废气排放到大气环境会增加碳排放, 也会对影响区域的生态环境带来负面影响; 第三, 天然气泄漏带来的经济损失是难以估量的, 天然气泄漏如果不能及时发现堵住漏洞, 会给相关企业带来经济方面的巨大损失, 同时也是宝贵能源的无谓浪费。

当然, 天然气泄漏带来的最大危险还是爆炸, 对它造成伤害的判断主要依据三个原则: ①超压准则, 当天然气泄漏的压力值超越安全临界点就会诱发破坏性威力; ②冲量准则, 这个准则对超压准则进行了考虑, 同时还兼顾了超压导致的波形以及时间因素; ③压力——冲量准则, 超限压力值和冲量决定了冲击波带来的破坏程度。

2 天然气管道泄漏率计算与死亡半径计算

2.1 天然气泄漏率计算

天然气输送管道一般情况下以音速流动形式存在, 泄漏率公式如下:

$$Q = C_p A_h \sqrt{\frac{Mk}{ZRT_2} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (1)$$

C 是泄漏系数, 天然气属于气体, 本公式中取值为 0.85~1 之间的数值, 通常取 1。

2.2 死亡区半径

死亡区半径是一个区域值, 如果人没有任何防护措施处于这个区域, 大概率会受到致命伤害导致死亡, 对它取内径值 0, 取外径值 R_{0.5}, 意思是人处于死亡半径的外径时, 爆炸冲击波会让受害者出现严重的肺出血导致死亡, 其概率值是 0.5。计算公式如下:

$$R_{0.5} = 13.6 \left(\frac{W_{TNT}}{1000} \right)^{0.36} \quad (2)$$

其中的 W_{TNT} 为泄漏的蒸汽云的 TNT 当量, 其计算公式如下。

$$W_{TNT} = \frac{AW_1}{Q_{TNT}} Q_1 \quad (3)$$

其中 A 是 TNT 当量系数, 取值范围 0.02~14.9%, 取 4%。

3 天然气管道的泄漏原因

3.1 腐蚀

天然气的长距离输送方式有两种, 一是埋设地下管线输送, 二是架空输送, 大区域跨度的天然气输送必定会受到环境与气候的影响, 因此天然气长距离输送管道出现腐蚀性损坏的可能性非常大, 腐蚀加剧到一定程度就会导致大量天然气泄漏, 稍有不慎就会诱发严重的火灾, 造成巨大的人力物力财力以及能源损失, 一旦因天然气泄漏导致爆炸事故的发生, 其后果的严重程度不堪设想, 对环境造成严重污染的同时, 还会导致重大人员伤亡和财产损失, 而架设在大气环境当中的长距离天然气输送管道, 管道表面非常容易产生一种薄薄且不易被人察觉的水膜, 这些水膜会慢慢变厚, 厚度积累到某种程度会演变成电解液膜, 化学腐蚀当中起关键作用的就是这种电解液膜, 如果天然气输送管道外表置于纯净水膜中, 化学腐蚀的程度会缩减至可以忽略不计, 产生这种差异的原因在于大气环境条件下产生的水膜有可溶于水的盐类物质和腐蚀性气体, 显然, 大气环境不适于架

设长距离天然气输送管道。

3.2 管道材料、安装与运行问题

导致天然气输送管道出现泄漏的一个重要原因就是输送管道的管材质量不合格,一旦管道敷设作业使用了质量不符合要求的管材,投入使用后出现天然气泄漏的概率是非常大的,在进行天然气输送时,管材原料出现包括裂纹或气孔的可能性很大,这样的管材一旦投入使用,出现天然气的大规模泄漏是必然的,再者,钢板收缩也是天然气输送管道使用过程中出现泄漏的重要安全隐患,天然气输送管道安装作业技术不规范和安装作业质量不过关也是泄漏事故的罪魁祸首,天然气输送管道的安装施工一定要确保科学合理,规范化执行技术操作,确保严格的工程质量。而现实情况却是,天然气输送管道安装作业因各种各样的内部外部因素给施工质量造成不良影响,安装作业难以达到预期的理想效果,交付使用后就可能会出现天然气泄漏事故。

4 城市天然气管网泄漏检测分析技术

4.1 直接检测法

这种方法主要是针对外部监测而言的,它包括三种检测方法:第一,可燃性气体检测法,如果系统监测天然气管道网络出现泄漏事故,负责外部巡查工作的作业人员要对全部路线管网进行细致排查,最终确定泄漏位置和严重程度;第二,加臭法,人类对包括乙硫醚等在内的有刺激性气味的气体有天然的敏感性,检测人员可把微量刺激性气味的气体加入天然气,如果周围环境出现恶臭味道,说明确实发生了天然气泄漏事故;第三,红外激光检漏仪检测法,利用激光照射天然气管道周边,也可以直接对准管道接口,对此时的激光光谱进行检测分析,如果甲烷含量超出正常范围,即确定有天然气管道破损出现了泄漏。

4.2 间接检测法

这种检测方法是利用监测天然气泄漏带来的管道压力和流量等技术参数的异常变化,对天然气管道的泄漏事故发生做出判断,出现泄漏的位置可以由专业测算方法计算出来,这种检测方法分为许多子办法,具体检测作业方法如下:

4.2.1 压力法

检测人员关掉进行检测的天然气管道的入口和出口阀门,然后给输送管道增压,观察管道压力值的变化情况,如果压力值出现了降低,即表明这条管道已经有天然气泄漏发生,这个方法要借助精密检测仪表才能实现,还必须把正在运行的管道关闭才能进行。

4.2.2 听音法

这是针对埋深很浅的天然气管道的一种检测方法,增压作业结束,检测人员借助听音仪靠近地表对天然气进行听音,从而找出出现泄漏的具体位置,这种方法对检测人员的工作经验有很大的依赖性。

4.2.3 相关法

这种检测方法需借助相关仪进行,检测的天然气管

道两头各放置一个检测设备的传感器,由设备自带的微机进行监测分析,对出现泄漏的故障点进行确定,这种方法的缺陷是检测设备造价高昂,而且对检测人员的专业综合素质要求很高。

4.2.4 流量法

天然气管网正常运行时流量值是有一定参数的,检测人员可据此对管道入口和出口进行流量检测,如果流量相较于参数值出现差异性,就可确认该管道已经出现泄漏,缺点是天然气泄漏的故障点不能在检测过程中判定。

5 天然气管道泄漏的动态处理技术

天然气管道泄漏的原因有很多,为了避免天然气管道泄漏对人类生活质量和安全造成的危害,必须对泄漏管道及时采用动态处理技术。目前用于控制天然气管道泄漏的三种动态处理技术,应根据实际情况,从环境、施工机械、条件等方面选择最佳的动态处理技术。

5.1 注射式带压堵漏技术

这种技术是现有条件下最安全稳妥的堵漏技术,部分泄漏区域形成一个小的密闭空腔,向内注射密封剂,能针对形式各异的泄漏点实现快速堵漏,泄漏压力小于密封剂的注射压力,会在压力作用下止漏,密封剂注射到密闭空腔后性状发生迅速变化,从原来的塑性体转化为弹性体,带动该密封结构也具备了弹性,在一定程度上把密封比压维持下去,管道获得再次密封的性能。

国际通行的注射密封剂有两种,第一,热固化密封剂,它需要一定的温度条件才能实现从塑性体转化为弹性体的过程,平时为固体形状;第二,非热固化密封剂,这种注射剂能满足高低温和常温的各种动态温度条件的作业需要,以固体棒状和双组分腻子为常见形式,通过高压枪实施注射,其注射工艺和填充性能在一定压力条件下表现良好。

5.2 焊接堵漏技术

这种技术某种程度上说非常可靠,但是局限性太大,它只适用于金属材料的作业,遇到非金属材料就无能为力。它的焊接作业需要电源供应,如果作业点不能满足供电需要则无法实施正常作业。另外,该技术焊接作业时作业点位的温度会达到一个很高值,极易诱发泄漏物质的燃烧和爆炸,导致该技术的使用相当谨慎,实施这种技术作业时,须把管道内气体彻底排放干净,冲洗蒸汽蒸干后,检测作业条件,作业现场须保持通风,技术条件成熟后即可使用该技术进行堵漏,这种技术作业流程和工艺要求非常繁琐复杂,而且作业过程要很长时间,不仅成本昂贵,还极易导致安全事故,修复期间还要停止天然气供应,无论是社会还是企业自身都要受到连带影响。

5.3 黏接堵漏技术

这种技术非常适用于管道出现泄漏时间很短的修复作业,它是利用把黏合剂涂抹到管道出现泄漏的位置,黏合剂和密封材料以及管道之间重新构成密封结构实现

堵漏目的,这种技术经济实用,操作方便快捷,被广泛应用于天然气泄漏的修复作业中,这种技术包括引流黏接和定压黏接,可视作业具体需要再行决定使用。

6 长输天然气管道泄漏处理措施

6.1 换管法

长距离天然气输送管道出现了程度非常严重的破坏或某些普通损坏时经常采用换管法进行处理,具体操作过程是,第一,要对原来的旧有管道进行损坏程度的确定,从而对已经损坏到不能使用的天然气管道进行切除,要确保切除长度的准确性;第二,确定了天然气管道的切除位置,须在位置两头 1.2m 外侧区域范围内寻找焊接作业口,于焊口位置实施切割作业;第三,备好新接管道,待接新管道须比原有管道略长,为后续焊接作业留有余地;第四,新管道和旧管道进行对接,新管须保持 60°~70° 的倾斜角度,以钙基脂材料对两个管口进行严格密封,钙基脂材料推送位置必须是离管口 400mm 处,保证其密封良好,不因受热发生熔化。

6.2 管卡修复法

除了换管法以外,管卡修复法是另一种天然气管道泄漏事故的处理技术,它通常用于受到长时间腐蚀而损坏的长距离天然气管道的修复工作。具体操作过程是,使用修复作业材料是金属板条材质的卡箍,在因腐蚀导致泄漏的天然气管道位置用卡箍牢固固定,从而实现封堵天然气泄漏的目的。如果天然气管道的泄漏程度达到卡箍无法修复的程度,须以换管技术方法实施修复。

6.3 其他修复法

随着科学技术的飞速发展和时代进步,很多领域的新型材料和技术都在发生日新月异的变化,天然气管道泄漏的处理技术和材料也有了新成员,常常能在修复作业中发挥意想不到的神奇效果。截至目前,应用比较成熟的新技术材料是无溶剂双组分环氧涂料技术工艺,这种技术材料修复作业非常方便快捷,而且成本低廉,需要注意的是对作业环境有所要求:①现场作业环境温度须比露点温度低 3℃;②涂料涂抹和敷设加热作业的温度最高控制在摄氏 60 度;③现场作业环境也须进行规范,现场大气不得存在氯化物以及污染物质。

举例来说,对某天然气管道泄漏的修复作业,补口区域表面完成预处理,方可实施下一步的修复作业,涂料涂抹敷设时作业部位应彻底清理干净,保证无任何杂质存在,先以气体进行密封处理,于 10min 内完成涂料涂抹敷设作业,须确保涂漆和表面涂漆厚度不低于 700 μm,以此为标准对前述修复作业进行严格的效果测试,保证修复后功能达到正常天然气长距离输送需要,不得因质量不合格导致二次修复。

7 天然气管道安全运行管理措施

7.1 严格控制管道设计与建设质量

天然气管道设计开始之前,须对涉及区域进行充分的环境勘察和研究分析,设计单位要和施工单位保持密切沟通协调,实施实时数据传输共享,确保施工过程科

学合理,建设单位须指定第三方监理单位对工程进行严格的全流程质量管控,对包括管道防腐焊接以及耐压试验等在内的重点环节进行实时跟进监控,对过程数据进行详尽记录,力求对施工问题做到早发现早处理。

7.2 加强管道运行设备标准化管理

天然气企业应在日常管理工作加强对工艺设备的监督管理力度,定期开展员工专业技能的业务培训,对维修检测的管道维护流程进行严格控制,实现管理工作的全方位标准化。企业应指定专职人员对天然气管网日常运行进行实时全程监测记录,自控设备要加强维修检测,自控系统的平稳运行确保整个天然气管网的安全平稳。提高系统整体运行的安全可靠,要加强对员工的日常管理,以科学有效的奖惩机制规范员工日常行为,利用演习与考核等方式激发他们的工作积极性,提高实战技能,要落实严格的岗位责任制,确保所有员工严格遵守规章制度,严格防控安全事故中的人为因素。在天然气输送工作中必须做好管道结构的巡检与日常检查,对各部位的管道结构的泄漏问题进行全面检查,以此来提升天然气管道泄漏的控制效果,以防因为管道泄漏带来的安全事故,为天然气输送系统可靠运行提供保障。

8 结束语

无论如何,为了保证广大民众的人身安全与幸福生活,同时也为了给社会大众构建安定安全的生活环境,必须对天然气管道泄漏问题给予高度重视。鉴于加强天然气管道检测管理能够及时发现天然气管道泄漏问题,所以相关人员应针对天然气管道检测分析技术和动态处理技术以及安全管理进行深入广泛研究,以便为天然气管道安全高效运行奠定基础。

参考文献:

- [1] 肖启阳,李健,等.基于 EWT 及互时频的天然气管道泄漏定位[J].仪器仪表学报,2016,37(12):2735-2742.
- [2] 姜璐.基于数值模拟的天然气管道泄漏事故风险分析[D].北京:中国石油大学,2016.
- [3] 杜美萍.埋地天然气管道泄漏扩散的模拟研究[D].北京:北京化工大学,2015.
- [4] 蒋蓉.基于模型法的天然气管道泄漏检测及定位研究[D].北京:北京理工大学,2015.
- [5] 林晓斌.埋地天然气管道泄漏过程天然气在土壤中扩散的数值模拟研究[D].北京:北京化工大学,2014.
- [6] 程猛猛.城市天然气管道泄漏流场数值分析[D].抚顺:辽宁石油化工大学,2014.
- [7] 金浩,张来斌,梁伟,叶迎春,丁其坤.天然气管道泄漏声源特性及传播机理数值模拟[J].石油学报,2014,35(01):172-177.
- [8] 戚元华,林伟国,吴海燕.基于时域统计特征的天然气管道泄漏检测方法[J].石油学报,2013,34(06):1195-1199.
- [9] 张琼雅.城镇天然气管道泄漏扩散的 CFD 模拟及后果分析[D].重庆:重庆大学,2013.