

# 闲置 9 年燃气系统再用的质量安全评价

珠海中油管道燃气有限公司(519015) 黎耀初

**摘要** 在珠海市有 64km 埋地燃气管道已闲置达 9 年,为了确定是否可以再用,本文主要从焊接缺陷评估、管道防腐检验和压力试验 3 个方面,对系统的安全状况进行了全面检测和分析,并提出了安全启用方案,使该系统得以重新安全运行。避免了重复投资,减轻了对环境的污染,是环保和资源有效利用的一次成功实践。

**关键词** 焊接缺陷 管道防腐 压力试验

在祖国南方的珠海市,为改善城市空气质量、方便居民生活,自 1990 年开始兴建管道燃气系统以取代燃煤和燃油的能源结构,至 1995 年全部建成,建有 4 个液化石油气气化站,并铺设了 64km 地下燃气管道,设计年供应液化石油气可达 5 万 t,耗资近 2 亿元人民币。这项工程却由于多种原因闲置了 9 年,敷设于地下的燃气管道还可能受到腐蚀和损坏。

为了确定闲置燃气系统能否重新投产使用,在 2003 年我们组织相关专业公司一起对系统中各重要环节进行了全面检测,对管道设施的安全状况进行了科学分析。在对关键部位进行调整与修复的基础上,对该系统做出了切合实际的质量安全评价和安全启用方案,使系统得以重新安全运行。目前,该系统已安全运行达 5 年,经济和社会效益均十分显著。现将该系统的质量安全评价及检测情况介绍如下:

该燃气系统主要由气化站与埋地管道组成。气化站主要检验与安全有关的防火间距、安全设施、液化石油气储罐及配气管道等问题。气化站经检验符合我国规范要求,选用的设备标准高,虽经闲置多年,但由于进行了必要的维护与管理,状况良好,可在设计条件下安全使用。埋地燃气管道是本次评价的重点,我们对其焊接、防腐等重要问题作了大量的检测检验和分析评估工作。

## 1 焊接缺陷安全评估

埋地敷设的燃气管道最不安全的因素就是漏气,因为燃气泄漏后会到处流窜,无孔不入,不断聚集形成爆炸性气体,遇明火后容易引发火灾与爆炸事故。而焊接缺陷是造成漏气事故的一个重要原因,安全检查首先由此入手。

### 1.1 埋地燃气管道焊缝缺陷检验

根据珠海市道路改造开挖出的埋地燃气管道焊接质量外观检查,发现部分焊缝存在错口、未熔合、气泡、夹渣、未焊透等缺陷,甚至有个别弯管和三通焊接时没有坡口,造成管道焊接严重缺陷。鉴于这一情况,在全面检验时,为了探明全市燃气管道焊接质量的真实情况,我们决定采用各片区均匀选点取样的方法进行检验,各种直径三通、弯管、直管段和法兰连接处均按比例确定选取数量。

实际开挖 21 处,对取出的 35 个管件(直管段 11 个、弯管 6 个、三通 10 个和法兰连接处 8 个)进行了探伤检验。其中法兰连接处采用渗透探伤检验,结果均为 I 级焊缝;其余 27 个管件采用 X 射线探伤检验,根据射线探伤结果统计,焊缝缺陷中有气孔 24 处、夹渣 39 处、未焊透 62 处、未熔合 2 处、咬边 5 处、错口 7 处、凹陷 11 处,IV 级焊缝比例为 37.5%,基本为弯管和三通焊缝,直管段焊缝质量普遍较好。

## 1.2 焊接缺陷初步评估

为了进一步分析以上开挖管件的焊接缺陷,我们在上述检验基础上分别在不同位置挑选了各种典型直管段 5 个、弯管 3 个和三通 2 个进行初步评估。

### 1.2.1 管件失效模式分析及评价方法

由于该燃气钢管理地后未全面正式供气,仅作充氮保护,因此根据压力低、波动小、管材韧性好等特点,确定其缺陷管件失效模式为塑性失效,可通过塑性极限分析对含缺陷管件进行安全评价。

### 1.2.2 管件所受外载载荷确定

根据管网设计的内压力为 0.2MPa,同时考虑管道走向的变化及管道自重的因素,管网中不同部位管段还有可能受到不同的轴向及弯矩作用。采用 CAESAR 管道应力分析软件,按照 ASME B31.8 对典型工况进行应力分析计算,可分别得到被选管件所在管线的最大轴向应力  $N_{max}$  和最大弯矩  $M_{max}$ 。为了安全起见,假设各管件均承受所在管线上的最大轴向力和最大弯矩。

由于轴向力与弯矩在管道上均产生轴向应力,故可通过等效转换方法将轴向力转化为弯矩以简化评定过程,按此过程可确定各管线的弯矩载荷。

根据图 1 所示原理,与轴向力  $N$  等效的弯矩  $M_N$  可由下式计算:

$$M_N = \frac{1}{6} \times \frac{N}{\pi \cdot D_o \cdot T} [D_o^3 - (D_o - 2T)^3] \quad (1)$$

则叠加后的弯矩荷载为:

$$M = M_{max} + M_N \quad (2)$$

式中: $N$ —轴向力, $N$ ;

$M_N$ —与轴向力  $N$  等效的弯矩, $N \cdot m$ ;

$D_o$ —管道外径, $m$ ;

$T$ —管道壁厚, $m$ ;

$M$ —叠加后的弯矩, $N \cdot m$ ;

$M_{max}$ —被选管件所在管线的最大弯矩。

### 1.2.3 直管段评定

根据各直管段载荷计算结果,按国家标准《在用含缺陷压力容器安全评定》规定的方法,对 5 个直管段焊缝进行塑性失效评定,评定结果均通过塑性失效计算。

### 1.2.4 弯管的评定

利用有限元模型分析的方法,确定含未焊透缺陷弯管的塑性极限载荷,再参考上述标准对弯管焊缝进行评价。经计算其中两个弯管通过评定,而另一个弯管由于焊缝的缺陷严重,已不满足最小剩余壁厚 2mm,故无法评价。

### 1.2.5 三通的评定

三通评定方法与弯管一样,利用有限元建模进行计算,计算结果一个三通通过评定,而另一个三通由于焊接结构不合理,无法完成评定。

## 1.3 管道的爆破试验

为了解供气系统现有埋地管线的极限状态,对 1 个弯头、2 个三通、1 个直管段进行了内压爆破试验。其结果是弯头与直管段的实际爆破压力均大于计算爆破压力,而 2 个三通由于焊缝泄漏,其实际爆破压力小于计算爆破压力,说明其焊缝质量存在问题。当然,管件是否符合爆破要求,不是衡量燃气系统是否能够正常工作的标准,而应由燃气管道压力试验来确定燃气管道是否能正常工作。

从以上焊缝探伤检验、焊接缺陷初步评估和爆破试验的结果表明,该埋地燃气管道系统的直管段和法兰连接处焊接质量较好,全部通过国家标准的评定要求。有部分弯管和三通焊缝质量存在问题,无法通过评定,尤其是管路中均未采用标准三通管件,造成焊接困难,焊接缺陷较为突出。所以,三通和弯头将是下一步的重要整改对象。

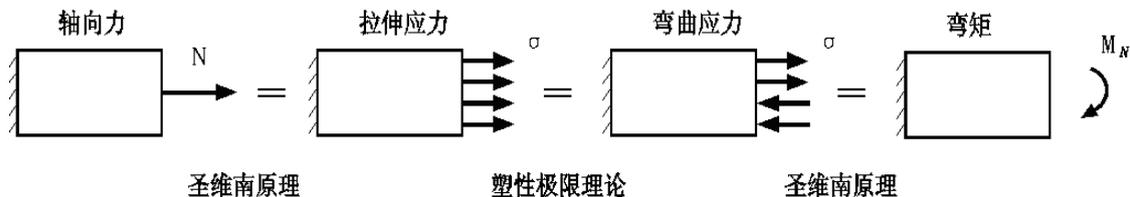


图 1 轴向力转化为等效弯矩示意图

## 2 埋地管道防腐检验

埋地钢管的防腐是保证燃气管道长期安全运行的重要手段,本系统的埋地燃气钢管已敷设达9年之久,如何检测管道的防腐状况,是全面检验的重点工作。

### 2.1 燃气管道防腐绝缘层的检验

对埋地燃气钢管防腐层的检验,我们采用了多频管中电流法及英国 RD-PCM 管线探测仪,检测埋地燃气管道防腐层破损点并对防腐层状况做出了综合评价,同时利用人体电容法核对检验防腐层破损点的位置。

防腐层的防腐性能用防腐层绝缘特性参数  $R_g$  来评价。 $R_g$  是反映防腐层电阻特性参数,是防腐层体积电阻率  $\rho$  与防腐层为 1 的乘积,也是面积为  $S$  的防腐层与绝缘电阻  $R$  的乘积。经检测管道防腐层的漏损点、牺牲阳极组及  $R_g$  值如表 1。

由表 1 可以看出,埋地燃气管道的防腐层基本

表 1 埋地燃气管道防腐层检验结果汇总表

项 目		检 测 结 果
埋地管道 防腐层 状态	防腐层绝缘特性 参数 $R_g$ ( $\Omega m^2$ )	5 500 ~ 7 500 少数路段为 4 500
	防腐层等级	二级 (良) 少数路段为三级 (一般)
	老化状况	老化轻微 老化较轻
防腐层 破损	大漏点	208
	中漏点	49
漏铁点	小漏点	16
牺牲阳极组		105

处于良好状态,年平均腐蚀率为  $0.02mm/a \sim 0.04mm/a$ ,但漏铁点较多,总计漏点 273 个。

### 2.2 牺牲阳极工作情况检验

牺牲阳极实际是一个漏铁点,因此,在测定防腐层的状态时,可将牺牲阳极测出。埋地钢管腐蚀主要是由于电化学腐蚀。在一定条件下,极化作用可降低金属腐蚀速率,采用牺牲阳极或外加电源途径使阴

极极化可以防止或减少金属腐蚀。根据实际测定,埋地燃气管道约近 40% 的管地保护电位不符合国家有关规定的要求。分析其原因,主要是漏铁点较多、阳极质量存在差异与数量不足所致,必须加以改善。

### 2.3 开挖检测

根据检测结果,对漏铁点与阳极进行了选择性的开挖检测,共开挖 21 处,其中漏铁点 13 处、牺牲阳极 8 处。结果证实漏铁点检测定位准确性很高,部分漏铁管道防腐层破损严重,被检查的大部分牺牲阳极管地电位不满足规范要求。

### 2.4 管道内腐蚀情况检查

钢管理地后长期不使用,一般容易产生管道内腐蚀。对开挖取样的管道内壁情况观察,却没有发现异常情况,另外在管道吹扫过程中,仅吹扫出少量干燥的灰尘与铁锈。由此可以看出,该管道系统内腐蚀情况轻微。主要原因经分析是埋地后采用了充氮保护措施。

## 3 埋地燃气管道压力试验

燃气管道的压力试验是检验管道在设计压力状态下是否有足够的强度和是否漏气的最重要的手段,是在燃气管道施工安装、外观检查、无损检测及调整修复等全部工作完成之后的最终检验,是确定燃气管道是否能安全启用的重要依据。

压力试验包括强度试验与气密性试验。气密性试验应在强度试验合格后进行。我们在取样焊缝缺陷检验修复后对系统进行了压力试验,试验介质为压缩空气,所选压力表精度为 1.5 级。

### 3.1 燃气管道强度试验

该系统的设计压力为  $0.2MPa$ ,按国家规定,燃气管道强度试验的压力不低于 1.5 倍设计压力。修复后的燃气供应系统经管道分段与总体试验后均合格。

### 3.2 燃气管道气密性试验

按国家相关规范规定,燃气管道气密性试验压力不应低于 1.15 倍设计压力。在采用 1.5 级压力测量基础上,为避免气密性试验出现判断失误,我们还采用了精度为 0.4 级的压力表进行了校核试验,结果均证明该系统气密性试验合格,可以通气使用。

## 4 结论与建议

(1) 闲置燃气系统再用,可充分利用已投入的资金与资源,并可改善大气环境,是很好的资产增值和环境保护项目。

(2) 经全面检验气化站设计与施工均符合国家标准要求,在设计条件下能安全使用,经评定其安全状况等级为 1 级,检验周期为 6 年。

(3) 埋地燃气管道在设计时选用无缝钢管,采用聚乙烯粘胶带与牺牲阳极防腐,是目前城镇燃气管道设计中常采用的方案,适合该系统实际情况。

在全面检查及取样焊缝缺陷修复后的强度与气密性试验均合格,证明该管道系统可在设计压力为 0.2 MPa 范围内正常工作,可以投产运行。但在焊接缺陷检验中,发现部分弯管和三通焊缝质量存在问题,特别是管路中均未采用标准三通管件,造成焊接困难,使焊接缺陷增多。这些管道缺陷潜在的失效模式主要为腐蚀泄漏,不宜长期使用。在管道防腐检验中,发现漏铁点较多,很多管道防腐层破损严重,绝大多数是由于施工质量欠佳和第三方施工造成。牺牲阳极也有部分需调整更换。因此,参照现行《公用管道安全技术基础》和《在用工业管道定期检验规程》的要求,评定其安全状况等级为 3 级,检验周期为 3 年。

根据上述结论,为了今后供气的连续稳定和安全可靠,也为了调整修复方便,提高施工效率,减少管理难度,提出如下建议:

① 对系统中所有埋地三通、弯头及其他缺陷管件进行更换,更换时全部利用三通标准件;

② 对所有防腐层破损漏铁点进行修复;

③ 对管道沿线深根植物进行清理,以保护管道外防腐层不被植物根系损坏;

④ 更换修复已失效的牺牲阳极,并采用增加阳极组数量,减小阳极组间距的方法,使管道达到完全保护;

⑤ 对修复后的燃气系统再经分段与总体压力试验,经强度试验与气密性试验均合格后,再将燃气系统重新启用;

⑥ 在管道燃气系统投产前还应按压力管道管理要求,制定各种管理规章制度,加强人员培训,提高管理质量;

⑦ 购置必要的检测仪器,定期对埋地燃气管道的防腐层和牺牲阳极进行检验和维护,这对燃气管道的长期安全运行有着十分重要的意义。

## 5 系统安全启用与运行

在此次评价后,我们加紧对安全启用方案进行了落实,使该系统在 2004 年 4 月终于成功置换投产。整个管道供气系统一直运行良好,气化站和埋地管道从未出现任何泄露事故,至今已安全运行达 5 年。“实践是检验理论的最好办法”,我们用实践证明了这次评价是正确的,整改建议也有效合理,使该系统经过 9 年闲置后,又重新安全使用,经济效益和社会效益均十分显著。

这次理论与实践相结合的闲置系统再用,在国内燃气行业内尚属首例,由于这类规范在国内尚不完善,现将报告整理出来,希望能为其他在用燃气管道系统的运行、维修和质量安全评估提供参考。

### 参考文献

- 1 中国市政工程华北设计研究院.珠海市现有燃气管道设施质量安全评估咨询报告.2003
- 2 国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会.在用含缺陷压力容器安全评定.中国标准出版社.GB/T19624-2004
- 3 沈松泉,黄振仁,顾竟成.压力管道安全技术.东南大学出版社,2000
- 4 江孝褪.城镇燃气与热能供应.中国石化出版社,2005