

# 液化气输送管道设计需要注意的问题及应对措施

李先建（新疆威奥科技股份有限公司，新疆 克拉玛依 834000）

**摘要：**为了提升液化气输送管道设计的安全性和可靠性，保障国家石油化工、制药工业以及用户的使用安全。文章针对埋地液化气管道可视化低的特性，提出一种非开挖防腐层检测技术和评价方法，尤其是针对居民区的埋地液化气管道投入使用年限长，管道内部压强不稳定、存在的安全风险较高等问题。设计液化气输送管道时需要全面了解管道防腐层的质量，做好管道防腐工作。同时，在管道投入使用之后采用非开挖的检测技术对液化管道进行检测，及时找到埋地液化气输送管道的破损点，构建周期性的管道质量评估计划。

**关键词：**液化气管道；管道腐蚀穿孔；土壤腐蚀性；质量检测

## 0 引言

随着城市化进程不断加快，对天然气工程提出了更高的要求，液化气作为一种传统燃气方式。液化石油气属于液化烃，具有火灾爆炸危险的可能性，若是在管道运输途中发生泄漏，聚集之后极易造成爆炸的事故，严重影响着液化气站还及其周边居民的财产安全。因此，管道材质的质量是保障液化气输送管道设计最需要关注的问题，液化气输送的大型压力专用管道设备是一种特殊的压力设备。液化气管道的设计、施工质量、施工环境以及焊工水平等都影响着管道后期的使用，同时，管道使用后期的腐蚀检测工作是避免液化气泄漏的重要内容。因此，针对液化气易燃、易爆炸，以及经过人口密集区极容易发生中毒事故，管道设计需要尤其关注管道的材质、焊接工艺等，以此确保液化气输送管道的安全、平稳运行。

## 1 液化气管道失效因素分析

目前，液化气系统随着城镇化的发展也逐渐开展完善，使用年限最长的可达30多年，常会出现系统老化、管道腐蚀等问题，并且工程开展初期管理不善，以及施工监管不规范等潜在因素导致液化气管道频繁出现泄漏等事故，急需采取控制措施，消除隐患。因此，吸取液化气管道建设经验，提出前期控制工程质量、使用全周期的质量检测计划，避免液化管道出现管道腐蚀泄漏等情况。

以中国石油化工股份有限公司YS分公司的液化气系统的历史运行情况作为分析依据。YS企业液化气分布区域自建立液化气管道以来，发生的事故有泄漏、穿孔以及破裂等严重的事故，具体的埋地液化气管道泄漏事故发生情况如表1所示。

基于此，针对液化气管道投运过程中因管道腐蚀而造成的液化气泄漏事故的比例最大。因此，为避免

表1 YS石化企业民用液化气管道失效事故统计 (n=50)

失效因素	次数 / 次	占比
管道腐蚀	32	64%
焊接质量	6	12%
第三方破坏	6	12%
管道材质缺陷	2	4%
其他	4	8%

或减少液化气管道设计和投用过程中因为管道腐蚀造成泄漏事故，分析埋地液化气管道受到腐蚀的各种因素，同时，提出优化液化气管道减少腐蚀的措施。

## 2 管道腐蚀因素分析

埋地液化气管道遭受土壤腐蚀是多种因素影响下长期发展而来的复杂过程，通常情况下，满足液化气输送的大型压力专用管道设备的最大点蚀速率在 $0.4\sim 0.8\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ，管道厚度在4.3mm左右。根据YS石化企业建设液化气管道的管道检测数据，管道外防腐层采用的是机械除锈现场制作的方式，尽管环氧煤沥青采用的是冷涂敷的工艺，但是环氧煤沥青的施工条件有不同程度的要求，对于周围环境的温度、湿度以及土壤的侵蚀率等因素具有不同程度的影响性。因此，管道在实际施工时部分管道接头处的环氧煤沥青没有附着在管道，致使管道防腐层几乎无沥青，管道与土壤直接接触，不可避免遭受土壤的电化学腐蚀。

### 2.1 环境因素

土壤电阻率是影响土壤导电性能的重要指标，是判断土壤是否具有腐蚀性的基本参数，因此铺设液化气管道时需要充分考虑土壤电阻率大小。影响土壤电阻率的因素有：盐的含量、水份、土壤质地、有机质含量、黏土矿物质以及土壤温度等多种因素的影响。

一般来说,土壤中盐的含量、水份、有机质含量以及黏土矿物质的含量越多,土壤温度越高,则土壤电阻率越小,土壤的腐蚀性则越强。例如,对YS石化企业液化气管道失效路段进行测试,其结果如表2所示

表2 YS石化企业土壤腐蚀性检测结果

位置	未失效路段	腐蚀失效路段
土壤电阻率 / ( $\Omega \cdot m$ )	6.8~9.6	5.32~7.91
氧化还原电位 $E_{h7}/V$	576	568
PH 值	8.61	8.73
含水量 / %	28.73	29.63
Cl / ( $mmol \cdot kg_1$ )	0.613	1.264
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / ( $mmol \cdot kg_1$ )	1.254	2.938
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / ( $mmol \cdot kg_1$ )	0.470	0.541
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> / ( $mmol \cdot kg_1$ )	未检出	未检出
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / ( $mmol \cdot kg_1$ )	4.534	5.337
全盐 (mg · kg <sub>1</sub> )	567.26	857.39
有机质 / %	0.56	2.67

从表2中可以看出,液化气输送管道受到腐蚀失效路段中影响土壤电阻率的各种因素含量越高,土壤电阻率就越低。因此,在铺设管道过程中对于土壤电阻率低的区域,应该加强沥青防腐涂层施工过程的监控力度。避免后期管道因为土壤腐蚀率高导致管道腐蚀,从而造成的液化气泄漏事故。

## 2.2 材料因素

一般情况下,管道材料的对地电位和土壤的腐蚀性具有一定的对应关系,也就是说钢铁的对地电位越负,则土壤的腐蚀性就越强。根据测试,管道材料对地电位与土壤腐蚀性呈相对应的关系(如表3所示)。

表3 管道材料对地电位与土壤腐蚀性对应关系

腐蚀程度	对地电位值 /V(CSE)
I 级	>-0.17
II 级	-0.17~-0.32
III 级	-0.32~-0.47
IV 级	-0.47~-0.57
V 级	<-0.57

从表3中可以看出,钢铁的对地电位值越低则该区域的土壤腐蚀性程度就越高。因此,在设计液化气

管道线路时,需要测试土壤电阻率以及管道材料的对地电位值,若是管道材料的对地电位值小于-0.57,则说明该区域的土壤腐蚀性高,需要特别注意管道的防腐涂层施工。

## 3 液化气管道设计优化措施

### 3.1 土壤质量评估

通过YS企业的液化气管道腐蚀情况分析,发现影响管道腐蚀程度的因素有自然环境因素以及管道材料因素,需要综合考虑管道铺设区域的土壤腐蚀等级。采用四极法测量土壤电阻率,其接线方式如图1所示。

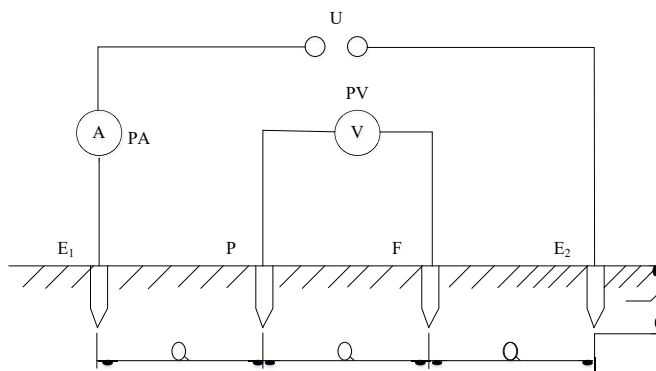


图1 四极法测试土壤电阻率接线示意图

由外侧电极  $E_1$ 、 $E_2$  通过电流  $I$ , 将电极的埋深设置为  $l$ , 电极之间的距离为  $a$ , 则  $E_1$ 、 $E_2$  电极使得点  $P$  和点  $F$  处的电压分别可以通过公式(1)计算:

$$U_P = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) \quad (1)$$

$$U_F = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right) \quad (2)$$

式中,  $U_P$ 、 $U_F$  分别表示点  $P$  和点  $F$  处的电压值;  $\rho$  表示土壤密度;  $a$  为电极之间的距离;  $I$  为外侧电极通过的电流。

则两级之间的电位差可以通过式(3)计算:

$$U_P - U_F = \frac{\rho l}{2\pi a} \quad (3)$$

通过测量出点  $P$  和点  $F$  两级之间的电压和过电流值, 则可以根据公式(34)得出土壤的电阻率。

$$R_s = \frac{2\pi a(U_P - U_F)}{I} = 2\pi a \frac{U}{I} = 2\pi a R_r \quad (4)$$

式中,  $R_s$  为土壤电阻率;  $R_r$  为实测土壤电阻;

表 4 环氧煤沥青防腐漆涂层结构要求

土壤电阻率 / ( $\Omega \cdot m$ )	土壤腐蚀程度	防腐等级	防腐涂层结构	每层沥青结构厚度 / mm	涂层总厚度 / mm
5.5~7.9	高	特加强级	沥青底漆-沥青-玻璃布-沥青-玻璃布-沥青-玻璃布-沥青-玻璃布-沥青-聚氯乙烯工业膜	$\approx 1.5$	$\geq 7.5$
6.5~8.6	中	加强级	沥青底漆-沥青-玻璃布-沥青-玻璃布-沥青-玻璃布-沥青-聚氯乙烯工业膜	$\approx 1.5$	$\geq 5.5$
6.8~9.6	一般	普通级	沥青底漆-沥青-玻璃布-沥青-玻璃布-沥青-聚氯乙烯工业膜	$\approx 1.5$	$\geq 4.5$

其余解释同上。

也就是说,根据公式(4),在设计液化气管道时,想要有效降低管道的腐蚀失效率,需要测试处测试点两极之间的电流和电压,以此确定土壤的电阻率,从而选择适合铺设管道的区域。

### 3.2 管道防腐涂层

根据土壤电阻率选择合适的铺设区域之后,若是无法避免经过腐蚀等级高的区域时,需要对埋地管道进行表面处理。首先,需要液化气埋地管道设备的表面除锈。除锈要求应达到 St2 级标准。采用环氧煤沥青防腐漆涂层结构提升管道的防腐性能。具体的防腐涂层结构要求如表 4 所示。

### 3.3 周期性检验

为了保障管道投入使用之后的安全运行,埋地管道的安全性、稳定性等因素都应符合管道线路安全使用的安全值内,需要对埋地管道周期性检验,检查内容包括管道结构的检验、几何尺寸的检验以及表面的检验等维度进行宏观检验。在周期性检验的过程中,发现管道出现潜在的安全隐患时,对其进行耐压试验,保障管道后期使用过程中避免出现管道腐蚀等问题造成管道线路失效的问题。

## 4 结语

综上所述,液化气输送管道由于其输送介质易燃易爆的特性,需要特别注意土壤腐蚀性对管道造成的腐蚀损伤。在管道设计铺设线路时,需要综合测试铺设区域的土壤电阻率,针对土壤腐蚀性高的区域辅以沥青涂层施工工艺,提升管道的防腐性能。在完成管道的铺设之后,需要持续周期性的管道检验工作,监测管道是否存在安全隐患,及时维护,避免出现重大的液化气管道泄漏事故。

### 参考文献:

- [1] 侍毅. 液化气站压力管道定期检验过程中发现的问题及建议 [J]. 焊管, 2022, 45(1): 60-64.
- [2] 葛永睿. 液化气脱硫醇单元碱液再生氧化尾气治理技术进展 [J]. 中外能源, 2020, 25(5): 96-99.
- [3] 葛俊峰. 障碍物对丙烷-空气预混火焰传播规律的数值模拟研究 [J]. 集宁师范学院学报, 2021, 43(2): 67-70.
- [4] 冯奕帆. 液化气站压力管道全面检验方法的分析 [J]. 中国化工贸易, 2023, 15(7): 127-129.
- [5] 王战辉, 艾熙昭, 李瑞瑞, 等. 含内外壁腐蚀管道等效应力的有限元分析 [J]. 当代化工, 2022, 51(1): 227-230.
- [6] 张帆. 液化石油气站压力管道安装常见问题及预防措施 [J]. 中国化工贸易, 2020, 12(11): 166+168.
- [7] 杜凌云. 空气分离装置 PBU 系统的工程设计 [J]. 化工管理, 2021(12): 84-86.
- [8] 朱其康. 埋地液化气管道外防腐层检测及评价 [J]. 化工设备与管道, 2020, 45(4): 61-63.
- [9] 李志, 张艳, 王亚平, 等. 现役液化气管道腐蚀损伤状况评价和预测 [J]. 材料保护, 2021, 34(11): 96-98.
- [10] 王勇. 液化石油气管道的设计, 施工和投运 [J]. 油气储运, 2021, 16(2): 53-55.
- [11] 管文健. 阴极保护技术在埋地液化气管道上的应用 [J]. 特种设备安全技术, 2020(2): 46-48.
- [12] 陆伟. 浅论长输液化气管道的置换及液化气的回收 [J]. 上海煤气, 2021(5): 122-124.

### 作者简介:

李先建(1983-), 男, 汉族, 江苏新沂人, 大学本科, 工程师, 研究方向: 炼油化工。