

文章编号 :1000-8241(2012)11-0814-05

模糊综合风险评价方法在 LNG 加注站的应用

贺焕婷¹ 黄坤¹ 惠贤斌² 冶维青¹

1. 西南石油大学, 四川成都 610500 2. 青海油田边远油田开发公司, 青海海西州 816400

贺焕婷等. 模糊综合风险评价方法在 LNG 加注站的应用. 油气储运, 2012, 31(11): 814-818.

摘要: 根据 LNG 加注站风险事故多层次、多因素及不确定的特点, 结合行业安全标准规范, 采用模糊综合风险评价方法确定了 LNG 加注站的风险因素和评价指标, 建立了 LNG 加注站的安全评价体系。通过模糊运算求出评价总分, 以达到风险辨识的目的。基于对运算结果的分析, 针对该 LNG 加注站各项安全指标, 提出了针对性的解决措施。模糊综合风险评价方法对 LNG 加注站安全状况的评价是有效的, 减少了评价工作中的随意性, 能较好地解决模糊、难以量化的难题, 便于及时解决生产实际问题。

关键词: LNG 加注站; 安全; 模糊综合评价; 权重
中图分类号: TE88 **文献标识码:** A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2012.11.004

液化天然气(LNG)燃料是一种密度小、易燃烧、易爆炸且扩散性极强的液体, 若处理不当, 极易发生事故。我国 LNG 加注站建设尚处于起步阶段, 安全管理轻预防、重补救。介质的易燃易爆和低温深冷特性, 以及作业环境、周边环境的复杂性, 使 LNG 加注站的安全问题尤为突出^[1]。

运用模糊数学的原理和方法, 通过模糊综合评价存在于 LNG 加注站设备、安全管理、作业环境等环节的潜在危险因素, 可预见潜在的事故状况及造成的危害, 为有针对性地制定安全防范措施和风险决策提供科学依据^[2]。

1 风险分析

在设计、建造和操作过程中, 根据相关标准和运行管理经验对 LNG 加注站的安全性全面把关, 明确其可能存在的风险因素。

(1) LNG 加注站使用的低温储罐、低温泵、安全阀等设备质量不符合现行国家标准要求或因操作不当, 一旦 LNG 燃料泄漏, 将造成低温材料性能下降, 可能引起火灾爆炸事故。在充装 LNG 的过程中, 新进入储罐的 LNG 与罐内原有 LNG 的密度和成分差异会

引起分层翻滚以及储罐液位超限, 导致 LNG 突然大量蒸发, 压力骤升, 若压力超过储罐的极限承压能力, 将造成储罐损坏和介质泄漏, 甚至爆炸。液位过低会使泵抽空, 导致罐内出现负压^[3]。

(2) LNG 槽车卸液采用密闭卸液工艺, 防止漏热产生 BOG 气体而引起爆炸等事故。但是, 卸气接口管为软管, 容易老化, 卸气时由于剧烈震动容易爆裂, 接口处因经常磨损可能密封不严。由于放空吹扫接头长时间使用, 不能发挥集中放散及吹扫气体的作用, 卸液时槽车发动机未关闭以及槽车周围环境的危险性都可能导致一定的风险。

(3) 在 LNG 输送管道中, 由于加注车辆的随机性, 装置反复开停, 液相管路内的液体流速突然改变使液体的动量发生改变等因素, 会造成管路内的压强突变, 同时伴有液体锤击。如果升压过快, 将会使管道爆裂; 迅速降压形成的管内负压可能使管路失稳, 导致管道震动。管内液体因吸热、摩擦及压力降等原因, 会使部分液体气化, 生成的气体会改变管道内的流型, 可能激发管道震动, 尤其是在流经弯头时震动更为剧烈。

(4) 由于 LNG 加注站高度集成化的特点, 使其安全管理显得尤为重要。若未对工作人员进行定期培训, 不遵守安全规章制度, 安全检查不及时, 安全警告

标志(禁止吸烟、关闭马达、禁止明火、注意低温可燃性液体)不明显等,均会给 LNG 加注站的安全带来较大威胁。

(5)如果 LNG 加注站站址的选择和分布、站内设备安全距离不符合国家标准规范,当站内发生爆炸、泄漏等突发性事件时,站内的消防安全系统(灭火设施、消防水系统以及报警系统和警告标志等)则不能在消防过程中发挥积极的作用。站内环境卫生不好,也有可能站内形成爆炸性混合物^[4]。

2 评价指标体系的建立

针对 LNG 加注站站内设备、管路、安全管理以及人员等所涉及的范围,选取相应的安全指标,从不同侧面反映其安全等级。安全指标选取的准确与否,对评价结果起着十分重要的作用。在大量现场调研、文献检索并结合 LNG 工业的安全标准规范的基础上,按照 LNG 储罐、槽车卸液、管路系统、管理及其它方面,建立 LNG 加注站安全状况的评价指标体系(图 1)。

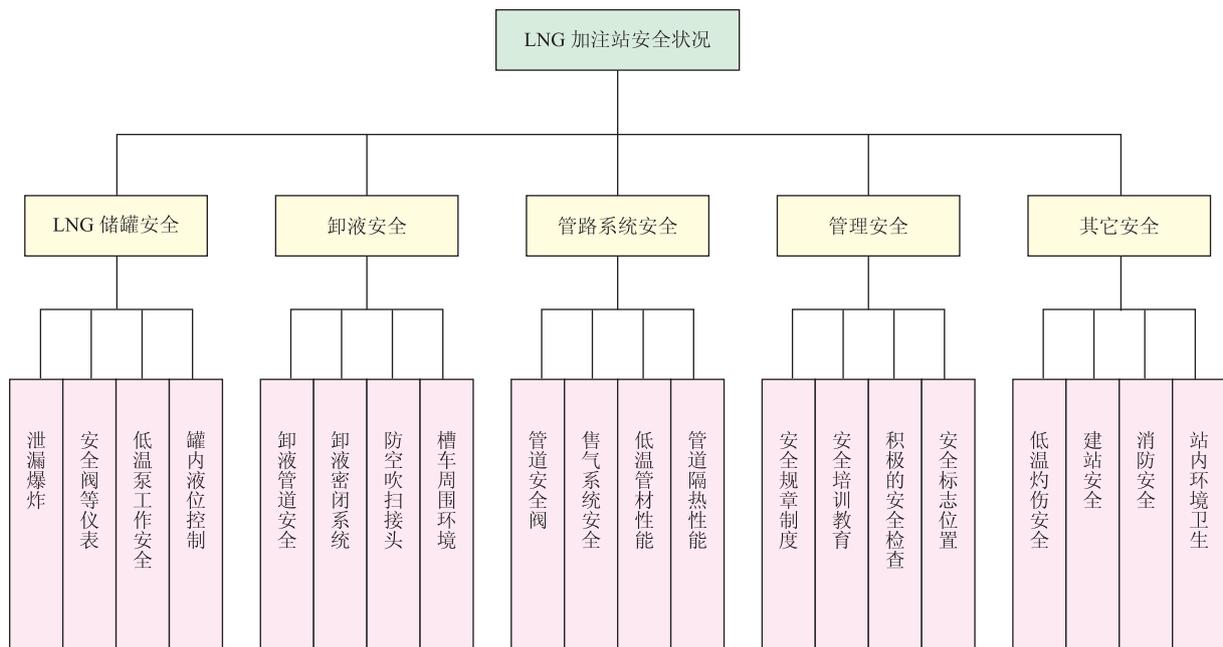


图 1 LNG 加注站安全评价指标体系

3 模糊综合评价方法

模糊综合评价就是应用模糊变换原理,考虑与被评价事物相关的各个因素,对其所作的综合评价。其步骤如下:

(1)建立评价对象的因素

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\} \quad (1)$$

式中 u_1, u_2, \dots, u_n 为评价对象的各种因素,即评价指标。

(2)建立评语集

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\} \quad (2)$$

式中 v_1, v_2, \dots, v_n 为评价中的评价等级。

评语集的确定使模糊综合评价得到一个模糊评价向量,被评价对象对各评语等级隶属程度的信息通过此模糊向量表示出来,体现评价的模糊特性。

(3)建立单因素评判

根据评语集 V 中的评价等级,对因素集 U 中的每一个因素(评价指标)作出一个模糊判断。建立的模糊关系矩阵为 R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中 r_{ij} 为第 i 个因素对该评价对象的因素评价,构成了模糊综合评价的基础,即式(1)中因素 U 对应式(2)中等级 V_j 的隶属关系。

(4)确定评价因素权重向量 W

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \quad (4)$$

式中 w_i 为权重向量的分配,规定 $\sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0 (i=1, 2, \dots, n)$

由于因素集 U 中各因素对被评价对象的重要性不同,因此,使用模糊方法对每一个因素赋予不同的权

重,可表示为 U 上的一个模糊子集。

(5)选择模糊合成算子 利用模糊综合评价方法^[6] 流程原理(图2)进行模糊综合评价。

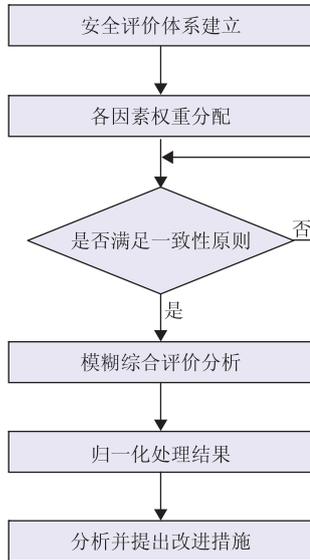


图2 模糊综合评价方法流程原理图

4 实例应用

以某 LNG 加注站为例,用定性和定量相结合的改进层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)确定各安全状况的指标权重,通过比较指标间两两重要程度,采用 9/9~18/2 比率标度法^[6-8] 得到判断矩阵 A ,将 LNG 储罐安全 u_1 、LNG 卸液安全 u_2 、管路系统安全 u_3 、管理安全 u_4 和其它安全 u_5 5 个主因素建立指标体系,得到判断矩阵(表 1)。

表 1 主因素两两判断矩阵比较表^[8]

A	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
u_1	1.00	3.78	2.59	1.58	4.37
u_2	0.26	1.00	0.52	0.36	1.97
u_3	0.39	1.92	1.00	0.49	3.11
u_4	0.63	2.45	2.14	1.00	2.27
u_5	0.23	0.51	0.33	0.44	1.00

转换成判断矩阵 A 为:

$$A = \begin{bmatrix} 1.00 & 3.78 & 2.59 & 1.58 & 4.37 \\ 0.26 & 1.00 & 0.52 & 0.36 & 1.97 \\ 0.39 & 1.92 & 1.00 & 0.49 & 3.11 \\ 0.63 & 2.45 & 2.14 & 1.00 & 2.27 \\ 0.23 & 0.51 & 0.33 & 0.44 & 1.00 \end{bmatrix}$$

用“和积法”计算权重向量,按列规范化可得到权重向量 \bar{w}_1 :

$$\bar{w}_1 = \begin{bmatrix} 0.398 & 0.391 & 0.393 & 0.408 & 0.344 \\ 0.105 & 0.104 & 0.079 & 0.093 & 0.155 \\ 0.154 & 0.199 & 0.152 & 0.127 & 0.244 \\ 0.333 & 0.254 & 0.325 & 0.258 & 0.178 \\ 0.091 & 0.053 & 0.051 & 0.114 & 0.079 \end{bmatrix}$$

用“和积法”计算权重向量,按行平均可得 \bar{w}_2 :

$$\bar{w}_2 = \begin{bmatrix} 0.387 \\ 0.107 \\ 0.175 \\ 0.270 \\ 0.077 \end{bmatrix}$$

通过归一化处理 $\bar{w} = \{0.381, 0.105, 0.172, 0.266, 0.076\}$

根据权重向量 \bar{w} ,计算判断矩阵 A 的最大特征根:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^5 \frac{(A\bar{w})_i}{n(\bar{w})_i} = 5.027 \quad (5)$$

式中 λ_{\max} 为判断矩阵 A 的最大特征根, n 为评价因素个数。

一致性检验^[9]:

$$\frac{C \cdot I}{R \cdot I} = \frac{n - \lambda_{\max}}{1 - n} = 0.006 < 0.1 (n=5, R \cdot I = 1.12) \quad (6)$$

式中 $C \cdot I$ 和 $R \cdot I$ 均为一致性检验指标。

由此可见,该判断矩阵 A 的结果可以接受,求得的权重是可以使用的,即可得出该 LNG 加注站的储罐、槽车卸液、管路系统、管理及其它方面安全的权重数值分别为 0.381, 0.105, 0.172, 0.266, 0.076。据此,可分别计算出影响上述 5 个方面安全状况的各评价子因素的权重值(表 2)。

将 LNG 加气站的安全状况综合评价指标分为 5 个等级: $V = \{优, 良, 中, 及格, 差\}$,对每个子因素评价打分。采用 $M(\wedge, \vee)$ 算子,得出一级模糊评价 $B_j = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$, $b_j = \bigwedge_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij})$ ($j=1, 2, \dots, m$) \wedge 和 \vee 分别为取小和取大运算,即 $b_j = \max[\min(a_1, r_{1j}), \min(a_2, r_{2j}), \dots, \min(a_n, r_{nj})]$ ^[9]。可得 $b_1 = (0.324, 0.357, 0, 0, 0)$; $b_2 = (0.3, 0.333, 0.151, 0.1, 0)$; $b_3 = (0.269, 0.326, 0.2, 0, 0)$; $b_4 = (0.36, 0.3, 0.2, 0, 0)$; $b_5 = (0.349, 0.2, 0.1, 0, 0)$ 。因为 $\sum_{j=1}^5 b_j \neq 1$,将计算结果归一化处理,建立总评价矩阵 B 。

$$B = \begin{bmatrix} 0.476 & 0.524 & 0 & 0 & 0 \\ 0.339 & 0.377 & 0.171 & 0.113 & 0 \\ 0.338 & 0.410 & 0.252 & 0 & 0 \\ 0.419 & 0.349 & 0.232 & 0 & 0 \\ 0.538 & 0.308 & 0.154 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

系统评价矩阵 $C = \overline{W} \cdot B$,计算得 : $C = (0.381, 0.381, 0.232, 0.105, 0)$,将其归一化处理得 : $C = (0.347, 0.347, 0.211, 0.095, 0)$ 。对 LNG 加注站的安全状况综合评价指标 优、良、中、及格、差 按照百分制打分(表 3)^[2] ,可得该 LNG 加气站的总分 $f = 89.46 \sim 79.54$ 。

根据安选择模糊合成算子“ ”根据模糊综合评价方法 ,全级别的分数值 ,可判定该加注站的安全状况为良。

表 2 安全状况模糊评价表

评价因素		评价子因素			评价情况				
项目	权重分配	V_{ij}	分项评价内容	权重分配	优	良	中	及格	差
储罐安全	0.381	V_{11}	泄漏爆炸	0.357	0.2	0.8	0	0	0
		V_{12}	安全阀等仪表	0.324	0.4	0.6	0	0	0
		V_{13}	低温泵工作安全	0.189	0.5	0.4	0.1	0	0
		V_{14}	罐内液位控制	0.130	0.8	0.2	0	0	0
卸液安全	0.105	V_{21}	卸液管道安全	0.333	0.3	0.6	0.1	0	0
		V_{22}	卸液密闭系统	0.306	0.3	0.6	0.1	0	0
		V_{23}	防空吹扫接头	0.210	0.2	0.7	0.1	0	0
		V_{24}	槽车周围环境	0.151	0	0.6	0.3	0.1	0
管路安全	0.172	V_{31}	管道安全阀	0.326	0.1	0.7	0.2	0	0
		V_{32}	售气系统安全	0.269	0.6	0.3	0.1	0	0
		V_{33}	低温管材性能	0.225	0.4	0.5	0.1	0	0
		V_{34}	管道隔热性能	0.180	0.7	0.3	0	0	0
管理安全	0.265	V_{41}	安全规章制度	0.360	0.7	0.3	0	0	0
		V_{42}	安全培训教育	0.270	0.9	0.1	0	0	0
		V_{43}	积极的安全检查	0.210	0.5	0.3	0.2	0	0
		V_{44}	安全标志位置	0.160	0.8	0.2	0	0	0
其它安全	0.076	V_{51}	低温灼伤安全	0.349	0.8	0.1	0.1	0	0
		V_{52}	建站安全	0.266	0.9	0.1	0	0	0
		V_{53}	消防安全	0.235	0.8	0.2	0	0	0
		V_{54}	站内环境卫生	0.150	0.9	0.1	0	0	0

表 3 安全状况综合评价指标百分制等级分数

安全级别	优	良	中	及格	差
分数	100 ~ 90	90 ~ 80	80 ~ 70	70 ~ 60	60 以下

5 结论

利用改进的层次分析法确定权重的模糊综合评价法 ,对 LNG 加注站安全状况进行评价 ,减少了评价工作中的随意性 ,能较好地解决模糊、难以量化的问题。同时 ,依据模糊综合评价结果 ,可针对 LNG 加注站各

项安全指标提供安全对策措施 ,从而提高站内安全水平。具体措施如下 :

(1) 确保 LNG 储罐的安全 ,预防低温 LNG 泄漏爆炸引起的事故 ,对储罐的阀门等仪表勤维护、勤检修 ,保证其在正常情况下操作方便 ,在紧急情况下能够快速切断 ,杜绝储罐内的低温泵“带病”工作和超负荷运行。

(2) 站内低温管道设计时要考虑冷收缩问题 ,尽量采用自然补偿方式 ,以确保管道载荷安全。

(3) 站内各工艺设施(储罐、低温泵、工艺管道和售气系统等)除设有紧急情况下的自动放散的安全阀外 ,

还应设有统一、集中的放散管,使BOG在无人空旷的地方集中放散。

(4) LNG加注站内应强化经营管理,健全安全管理制度,强化工作人员的安全培训教育,以提高安全意识,并与消防、技检部门高效配合,定期进行安全检查。

参考文献:

- [1] 武斌,张秀. LNG汽车和LNG汽车加气站[J]. 油气田地面工程, 2003, 22(4):81.
- [2] 苏欣,袁宗明,胡安鑫,等. 城市CNG汽车加气站安全评价模型[J]. 天然气工业, 2006, 26(2):126-128.
- [3] 吴佩英. LNG汽车加气站设计的探讨[J]. 煤气与热力, 2006, 26(9):4-5.
- [4] 殷劲松,邬品芳,赖勇才,等. 撬装式LNG汽车加气站安全设计[J]. 天然气技术, 2010, 4(2):62-64.

- [5] 张琳,苏欣,丁俊刚. 加气站安全模糊综合评价模型[J]. 天然气技术, 2007, 1(6):84-86.
- [6] 王立民,杨振宇,白汉斌. 层次分析法中的指数型标度问题研究[J]. 无线电工程, 2010, 40(8):62-64.
- [7] 曲生. 层次分析法的改进及在安全决策中应用的研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2009, 5(5):111-114.
- [8] 李玉琳,高志亮,韩延玲. 模糊综合评价中权值确定和合成算子选择[J]. 计算机工程与应用, 2006(5):38-42.
- [9] 蔡海鸥,张若欣. AHP一致性的概率检验法[J]. 数学的实践与认识, 2010, 40(7):154-158.

(收稿日期 2011-12-02 编辑 李在蓉)

作者简介 贺焕婷,在读硕士生,1985年生,2010年毕业于沈阳理工大学金属材料工程专业,现主要从事LNG安全评价工作。
电话:13880240624 Email:tuanting2178@126.com

(上接第807页)

3 结束语

从管道燃气发生燃烧、爆炸、中毒等恶性事故的条件来看,控制事故的关键是控制燃气的泄漏。对燃气输配管道泄漏事故树的分析表明,燃气输配管道泄漏包括管材本身缺陷、腐蚀破坏、建设施工缺陷、第三方破坏、操作不当、管理不善、环境因素7种事故类型,事故树的最小割集有43项之多。事故发生的途径多,其中建设施工缺陷、腐蚀破坏、第三方破坏、管材本身缺陷事故尤为突出。组成事故树的最小割集为1~2个基本事件,导致事故发生所需的事件少,事故发生风险大,其中环境因素导致泄漏的基本事件属于人力不可抗拒因素,结构重要度最大;施工检查、监管巡检、防腐验收检测、材料安全检查、安全教育培训等基本事件结构重要度次之;管材本身缺陷、腐蚀破坏、建设施工缺陷、第三方破坏、操作不当、管理不善导致泄漏的基本事件均有一定的结构重要度。为此,必须认真研究燃气输配管道泄漏事故风险,采取相应的安全技术措施,大力做好燃气输配管道的工作,预防和减少事故发生,使燃气更好的造福于人类。

参考文献:

- [1] 郑津洋,马夏康,尹谢平. 长输管道安全风险辨识评价控制[M]. 北京:化学工业出版社, 2004:1-56.
- [2] 杨维. 事故树在管道燃气泄漏事故分析的应用[J]. 煤气与热力, 2007, 27(5):51-54.
- [3] 张甫仁. 燃气火灾爆炸事故危险源辨识及危险性模拟分析[J]. 天然气工业, 2005, 25(1):151-154.
- [4] 刘铁民,张兴凯,刘功智. 安全评价方法应用指南[M]. 北京:化学工业出版社, 2005:65-141.
- [5] 李西嘉. 燃气输配系统的设计与实现[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2007:25-105.
- [6] 李帆. 燃气工程施工技术[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2007:89-150.

(收稿日期 2012-02-11 编辑 李在蓉)

作者简介 黄郑华,教授,1958年生,1982年毕业于华东理工大学有机化工专业,现主要从事消防工程研究。
电话:0316-2068512 Email:teejh09@sina.com

Key words: pipe, calibre detector, geometric pig, calibre instrument, deformation detection

Dai Lisha: reading master, born in 1987, graduated from China University of Petroleum (Beijing), mechanical design manufacturing and automation, in 2009, engaged in the research of pipeline pigging and internal detection equipments.

Add: No.18, Fuxue Road, Changping District, Beijing, 102249, P.R.China.

Tel: 010-89733835; Email: zsm7481976@163.com

Application of fuzzy comprehensive risk evaluation method in LNG filling station

He Huanting¹, Huang Kun¹, Hui Xianbin², Ye Weiqing¹

1. Southwest Petroleum University

2. Marginal Oilfield Developing Company of PetroChina Qinhai Oilfield Company

OGST, Vol. 31 No. 11, pp. 814–818, 11/25/2012. ISSN 1000-8241; In Chinese

In accordance with characteristics of LNG filling station risk accidents such as multi-level, multi-factor and uncertainty and based on industry safety standards, fuzzy comprehensive risk evaluation method is used to establish risk factors and evaluation indicators of the LNG filling station so as to build a safety evaluation system of LNG filling station. Total evaluation scores are obtained through fuzzy calculations in order to achieve the purpose of risk identification. Based on analysis of calculation results, targeted solutions are proposed for safety indicators of LNG filling station. The fuzzy comprehensive risk evaluation method can realize effective evaluation for the safety conditions of LNG filling station, which can reduce the arbitrariness in the evaluation and effectively solve fuzzy and difficultly quantized problems to facilitate timely solution to production problems.

Key words: LNG filling station, safety, fuzzy comprehensive evaluation, weights

He Huanting: reading master, born in 1985, graduated from Shenyang Ligong University, metal material engineering, in 2010, engaged in the business of LNG safety evaluation.

Add: Southwest Petroleum University, Xindu District, Chengdu, Sichuan, 610500, P.R.China.

Tel: 13880240624; Email: huanting2178@126.com

STANDARD & CODES

Suggestions for modification of acceptance criteria for ground pressure test of crossing pipeline section

Ge Yanchao, Xu Xiaohua, Zhang Yanfu, Wang Yonghong, Yuan Xiaojing, Liu Tao

Henan Zhongtuo Petroleum Engineering and Technology Co., Ltd

OGST, Vol. 31 No. 11, pp. 819–822, 11/25/2012. ISSN 1000-8241; In Chinese

Ground pipeline pressure test of Guangxi Nanning–Liuzhou product oil pipeline project in the Honghe crossing section is taken as a case to analyze severe pressure fluctuations in the crossing section of oil and gas pipeline and other ground pressure test pipeline sections during the pressure stabilization period. Results indicate that the test pressure is largely affected by the temperature change of pressure test medium, mainly subject to ambient temperature. A computational formula for the relationship between temperature and pressure of ground pipeline is deduced respectively in the pure water pressure test and pure gas pressure test, and finally the law of the ambient temperature affecting the test pressure is analyzed. In view of difficult implementation of regulations on pressure test requirements and acceptance criteria in existing national standards for acceptance criteria of crossing section and other ground pressure test pipeline sections, specific modification suggestions are proposed. In addition, a suggestion is also provided to the improvement of existing test methods.

Key words: oil and gas pipeline, crossing project, pressure test, acceptance criteria, construction specifications

Ge Yanchao: engineer, born in 1978, graduated from Zhengzhou University, chemical engineering and technology, in 2001, engaged in the research and management of long-distance oil and gas pipeline construction technology.

Add: No.95, East Shengli Road, Puyang, Henan, 457001, P.R.China.

Tel: 0393-4883152; Email: geychao@ztxf.com.cn

Differences of the process operation standards of inland and foreign oil/gas pipeline

Li Mo¹, Cao Pengfei², Pan Teng³, Xu Liang³, Liu Jiang¹

1. China Petroleum Pipeline Construction Corporation

2. China University of Petroleum (East China)

3. PetroChina Pipeline Company

OGST, Vol. 31 No. 11, pp. 823–826, 11/25/2012. ISSN 1000-8241; In Chinese

In accordance with American ASME B31.8-2007, Canadian CSA Z662-2007, Australian AS 2885.3-2001, international ISO 13623-2009 as well as Chinese GB 50251-2003, SY/T 5922-2003, SY/T 5536-2004, SY/T 6069-2005 and other standards, similarities and differences between inland and foreign standards are studied in terms of setting pressure of shut-off valves and safety valves, architectural design of compressor station, pressure control and protection procedures, emergency shutdown system, environmental protection and other aspects, advanced ideas of foreign standards in terms of additional pressure test of operation delay pipeline, inspection of pressure control and protection devices, design conditions change, maximum allowable operating pressure examination and other aspects are introduced and finally specific suggestions are proposed for preparation and revision of China's oil and gas pipeline process operation standards.

Key words: oil and gas pipelines, standards, pressure protection, pressure test, emergency shutdown system, environmental protection

Li Mo: engineer, born in 1965, graduated from Renmin University of China, management, in 1998, engaged in the management of inland and foreign oil and gas pipeline construction projects.

Add: No.51, Jinguang Road, Langfang, Hebei, 065000, P.R.China.

Tel: 13503260901; Email: 953310639@qq.com