

文章编号:1004-4736(2008)02-0102-03

含腐蚀缺陷燃气管道极限载荷的有限元分析

舒安庆^{1,2},王 犇²,魏化中^{1,2}

(1. 武汉市压力容器压力管道安全工程研究中心,湖北 武汉 430074;

2. 武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430074)

摘 要:利用有限元弹塑性分析方法,对含腐蚀缺陷的燃气管道进行了非线性分析,研究了腐蚀缺陷的长度、宽度和深度对燃气管道极限载荷的影响.并和含腐蚀缺陷管道的全尺寸爆破试验结果以及 ASME B31G 计算的结果进行对比,证明有限元方法在分析腐蚀缺陷管道的可行性.

关键词:燃气管道;腐蚀缺陷;极限载荷;有限元

中图分类号:TE 88

文献标识码:A

0 引 言

许多大中城市都具有庞大的燃气管网,随着燃气管道使用年限的增加,管道腐蚀现象日益严重,造成壁厚减薄,管道承压能力下降,甚至会导致管体局部腐蚀穿孔泄漏或破裂事故的发生.为了预测整个管道的腐蚀情况,确定腐蚀对管道结构完整性的危害程度,有必要评估管道的剩余强度,确保管道在服役期限内的安全使用^[1].采用有限元方法对含体积型缺陷燃气管道的剩余强度做了分析研究,并通过和现有 ASME B31G 标准规范,以及水压爆破实验所得到的结论进行比较,证明了有限元方法计算燃气管道剩余强度的可行性.可为管道评估人员的评价提供参考,同时提供决策来确定含缺陷管道是否继续服役、维修或更换.

1 极限载荷的有限元分析

1.1 有限元模型

分析采用三维弹塑性模型,用规则的矩形槽来模拟腐蚀缺陷,如图 1 所示.根据结构和载荷的对称性,取腐蚀管段区域的 1/4 建立有限元网格模型,单元采用 20 节点的六面体等参元 solid95,由于最终的失效发生在腐蚀区域,所以在腐蚀区域以及周围细化了单元,以保证计算的准确性.在筒体内壁施加内压,对称端面施加对称约束,另一端面施加轴向平衡力.有限元模型如图 2 所示.

由于腐蚀缺陷的尺寸对含有腐蚀缺陷燃气管道的极限载荷有很大的影响.研究中主要讨论了

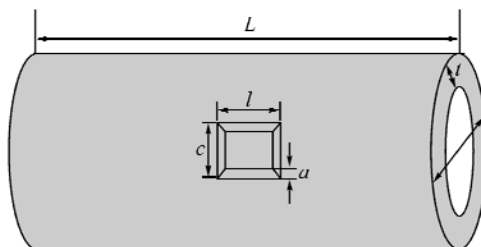


图 1 含腐蚀缺陷的燃气管道

Fig. 1 Corroded defects fuel gas pipelines

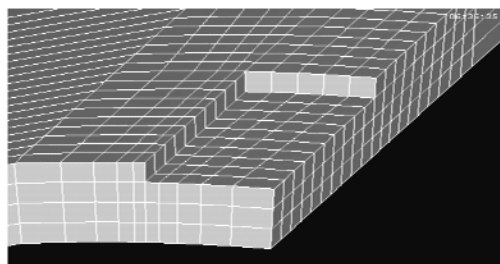


图 2 有限元网格模型

Fig. 2 Finite element mesh model

缺陷的长度、深度、宽度对极限载荷的影响.这三个参数的具体取值如表 1 所示.

表 1 有限元计算结果与 B31G 准则和试验结果的比较

Table 1 Comparisons among experimental result, B31G result and Element analysis results

编号	缺陷 长度 L/mm	缺陷 宽度 c/mm	缺陷 深度 a/mm	有限元 结果 p_r/MPa	B31G 结果 p_b/MPa	水压实 验结果 p_n/MPa
1	200	50	4.4	23.75	21.3	24.11
2	200	50	8.8	20.65	18.17	21.76
3	200	50	13.1	15.45	13.72	17.15
4	100	50	8.8	23.10	21.04	24.30
5	300	50	8.8	17.85	16.71	19.08
6	200	100	8.8	21.55	18.17	23.42
7	200	200	8.8	20.60	18.17	22.08

收稿日期:2007-10-18

项目基金:武汉市科技局重点科研项目资助(2005457)

作者简介:舒安庆(1964-),男,浙江宁波市人,副教授,硕士,研究方向:压力容器压力管道、新型高效过程装备及仿真技术研究.

1.2 材料的性能实验

为了得到材料真实的应力-应变曲线,对 X65 钢管($D=762$, $t=17.5$)进行了拉伸实验. 试件按照《金属拉伸试验试样》(GB 6397-86)所规定的尺寸加工制造. 用氧割从管材下料,为防止受热影响金属的机械性能,边缘留有足够的机加工余量(20 mm),在机床上经过铣、磨、除毛刺、校平等工序,做成矩形试件. 由于实际管材的厚度及其表面腐蚀的情况,其大小与标准试件有一定的差别(其标距为 90 mm),尺寸大小如图 3 所示. 实验得到管道材料的最小屈服强度为 448 MPa,拉伸强度为 672 MPa,材料的真实应力($\sigma_{\text{真}}$)-应变($\epsilon_{\text{真}}$)曲线如图 4 所示.

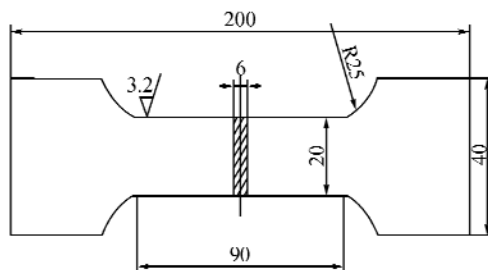


图3 拉伸试件的尺寸大小

Fig. 3 Experimental test sample size

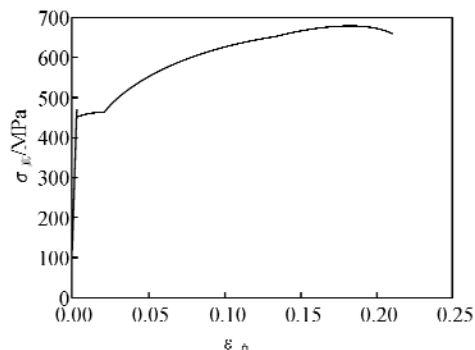


图4 X65 钢管的真实应力应变曲线

Fig. 4 True stress-strain curve of X65 steel

1.3 计算结果及分析

采用 Newton-Raphson 叠代算法计算,在管道内逐步施加增加的压力载荷,每个载荷子步为 0.05 MPa,采用 Von-Mise 屈服准则,对管道进行非线性分析,得到管道的应力云图如图 5 所示. 并根据计算结果做出含腐蚀缺陷燃气管道的应力-载荷曲线,如图 6 所示取强度极限的 80% 为参考应力^[2],当腐蚀缺陷区域的应力强度达到参考应力时管道失效,其对应的载荷为极限载荷. 经过计算,得到含不同缺陷尺寸燃气管道的极限载荷,结果列于表 1.

经过分析,管道的失效模式为塑性垮塌失效,当 Von-Mise 应力到达贯穿整个腐蚀区域的参照

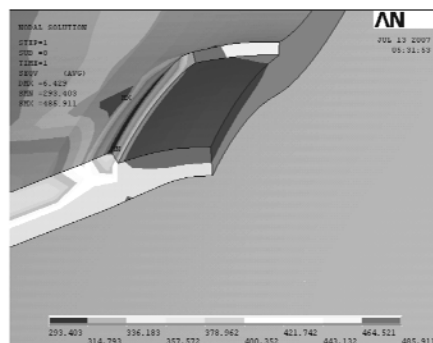


图5 管道的应力云图

Fig. 5 Plot of pipelines stress

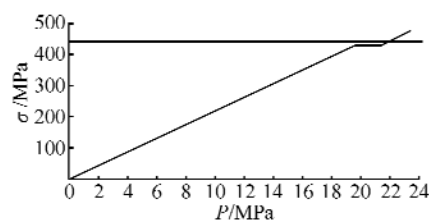


图6 参考应力准则

Fig. 6 Reference stress criteria

应力时管道发生失效. 从表 1 计算结果可以看出,当腐蚀缺陷的其余条件相同,单独考虑一个因素的影响时,宽度的变化对管道极限载荷的影响较小,长度和深度对管道极限载荷的影响较大. 这主要是由于在内压作用下,燃气管道的环向应力远大于轴向应力,而缺陷深度和长度的变化对环向应力影响较大,所以缺陷长度和深度的变化对极限载荷的影响明显,宽度的变化对极限载荷的影响不明显.

同时发现,缺陷长度和深度对管道极限载荷的影响并不完全相同,随着缺陷长度的增加,管道的极限载荷呈下降趋势,但当腐蚀缺陷的长度达到一定时,缺陷长度的增加对管道极限载荷的影响不明显. 但缺陷深度则不同,随着缺陷深度的增加,管道极限载荷不断减少.

腐蚀宽度对腐蚀管道的极限载荷还是有一定的影响的,特别是腐蚀缺陷深度较大时,宽度变化对腐蚀管道的极限载荷有明显的影响,随着宽度的增加,管道的极限载荷减小,但当宽度达到一定时,缺陷宽度的增加对管道极限载荷的影响不明显. 当腐蚀缺陷深度较小时,宽度变化对腐蚀管道的极限载荷几乎不影响.

2 ASME B31G 标准

ASME B31G 标准^[3]是评估腐蚀管道最基本的方法,它基于大量实验数据的经验公式,是目前应用广泛的腐蚀缺陷评定规范. 管道失效爆破压力为:

$$p = \frac{\sigma_{\text{flow}} 2t}{D} \left[\frac{1 - \frac{A}{A_0}}{1 - \frac{A}{A_0} \frac{1}{M}} \right] \quad (1)$$

其中流变应力

$$\sigma_{\text{flow}} = \sigma_s + 10\,000 \text{ psi}$$

$$\sigma_s + 68.95 \text{ MPa}$$

$$\begin{cases} M = 0.032 \frac{L^2}{Dt} & | 3.3 (L^2/Dt > 50) \\ M = \sqrt{1 + \frac{2.51(L/2)^2}{Dt} - \frac{0.054(L/2)^4}{(Dt)^2}} & (L^2/Dt \leq 50) \end{cases}$$

式中: p ——失效爆破压力, MPa

A ——缺陷轴向投影面积, mm^2

A_0 ——原始面积, $A_0 = L \cdot t$

L ——缺陷轴向长度, mm

t ——管道壁厚, mm

D ——管道直径, mm

M ——Folias 膨胀系数

σ_s ——材料的最小屈服强度

σ_{flow} ——材料流变应力, MPa.

标准规定: 缺陷最大深度超过名义壁厚的 80%, 则需及时更换; 最大深度小于名义壁厚的 10% 的缺陷可以忽略不计; 在两个限度之间的用式(1)进行评价。

3 水压试验验证

全尺寸实物爆破试验是最直观的, 也是最具有说服力的一种方法, 但往往由于试验费用偏高等原因而不能进行大量实验, 而三维有限元具有方便, 快捷等优点, 能够较真实的模拟管道的失效, 所以在当今评价腐蚀管道剩余强度方面有着很广泛的应用。

收集了国外的水压爆破试验压力数据^[4]后, 后分别采用有限元和 ASME B31G 准则两种评价方法进行了腐蚀管道失效压力的计算, 以水压爆破试验压力数据为基础, 比较这两种方法的准确性和可靠度, 计算结果见表 1。通过图 7 可以看出, 利用有限元计算得到的结果低于实际值, 这主要是由于用有限元方法进行建模和计算时, 不可避免地要引入一定的假设, 而材料的屈服强度和抗拉强度又取的是平均值, 因而计算结果一般要低于水压试验值。

通过比较还发现, 利用有限元方法计算得到的极限载荷与 B31G 准则的极限载荷相比, 更接近试验载荷, 用 B31G 标准计算的结果相对显得保守。通过计算得到, 当采用有限元方法对含体积型

缺陷燃气管道计算剩余强度时, 和真实的水压试验结果相比, 误差不到 10%。而采用 B31G 准则进行计算, 误差较大。所以采用有限元方法对含体积型缺陷燃气管道计算剩余强度是可行的。

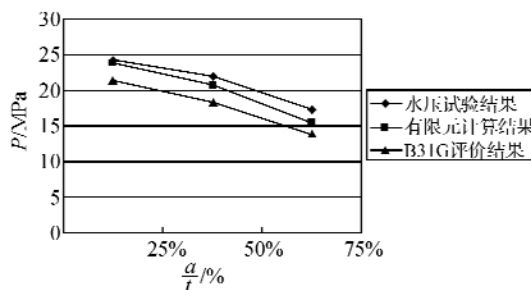


图 7 结果比较

Fig. 7 Result comparison

4 结 语

a. 通过上述分析计算表明, 利用有限元方法计算含有腐蚀缺陷燃气管道的极限载荷是可行的。

b. 当 von Mises 应力到达贯穿整个腐蚀区域的参照应力时管道将发生失效。分析表明, 当参照应力取强度极限的 80% 时, 利用有限元方法计算得到的结果跟试验结果较接近。

c. 基于全尺寸爆破实验结果的验证, 可以看出, 对于中、高强度等级钢管的缺陷评定, ASME B31G 标准规范方法有一定的保守性, 有改进的余地。而利用有限元方法计算得到的结果跟水压试验得到的结果比较接近, 误差都在 10% 以内。

参考文献:

- [1] 帅 健. 腐蚀管道剩余强度评价方法的对比研究 [J]. 天然气工业, 2006, 26(11): 122-125.
- [2] Choi J B, Goo B K, Kim J C. Development of Limit load Solutions for Corroded Gas Pipelines [J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2003, 80: 121-128.
- [3] American Society of Mechanical Engineers. ASME B31G-1991. Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines [S]. New York: ASME B31 Committee, 1991.
- [4] Kim Woo-sik, Kim Young-pyo, Kho Young-tai. Full Scale Burst Test and Finite Element Analysis on Corroded Gas Pipeline [A]. Proceeding of IPC'02, 4th International pipeline conference [C]. Canada: Calgary, 2002, 763-769.

(下转第 107 页)

Study on tribological and physicochemical properties of Nano-Cu lubricating oil

XU Jian-sheng¹, XIA Hui-fang¹, ZHOU Hong-xing¹, XIA Wen-wu²

(1. School of Mechanical Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. Wuhan Branch company SINOPEC, Wuhan 430082, China)

Abstract: The tribological and main physicochemical properties of the Nano-Cu as lubricating additive were analyzed. The tribological characteristics of the Nano-Cu were explored by the XP-6 NC friction and wear test machine and four-ball friction tester. Results indicate that nano-copper exhibits good tribological properties, P_B increases 34.95%, wear diameter decreases 25% averagely, and friction coefficient reduces 33.1%. Physicochemical properties were tested, and the results show that Nano-Cu lubricating oil has good viscosity-temperature property, anti-emulsification property, good corrosion, low pour point, high flash.

Key words: Nano Cu additive; tribological properties; physicochemical properties

本文编辑:陈晓革



(上接第 104 页)

Element analysis on limit load of corroded fuel gas pipelines

SHU An-qing, WANG Wei, WEI Hua-zhong

(1. Wuhan Research Center of Pressure Vessel and Piping Safety Engineering Wuhan 430074, China;

2. School of Mechanical Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In the paper, the systematic nonlinear analysis has been carried out to the Fuel gas pipelines with corrosive defects by the analysis method of the finite element elastic-plastic, and it has been researched that the impact on the limit load of fuel gas pipeline from the corrosion defect of length, width and depth of the pipeline. The result from the burst test of full dimension with corrosion defect pipeline has been compared with the result from ASME B31G calculation, after that, it has been proved that the finite element method can be used for analyzing the feasibility of the pipeline with corrosive defects.

Key words: fuel gas pipelines; corrosion defects; limit load; finite element

本文编辑:陈晓革