维普资讯 http://www.cqvip.com

文章编号:1006-4095(2004)03-0061-02

腐蚀管道剩余强度可靠性评估

熊昕东,陈利琼,刘坤
(西南石油学院,四川成都 610500)

摘要:应用结构可靠性分析的基本原理,分析了油气腐蚀管道应力和强度的随机性,重点介绍了腐蚀管道剩余强度可靠性评估模型和可靠度的计算方法,并利用某管线的检测数据给出了计算实例。指出我国管道工业也应该采用这种方法,降低管道工程造价并确保其可靠性。

关键词:油气管道;腐蚀;剩余强度;可靠性
中图分类号:TE89 **文献标识码**:A

油气管道的安全可靠性始终是管道管理者关注的问题。目前人们已经认识到无论是材料性能参数、载荷参数、计算方法还是测试数据都具有不确定因素,如果要计算这些不确定性因素就需要引进可靠性概率方法。这样,从经济上考虑,可以改进技术,最大限度地降低整个管道工程的造价;从可靠性工程的角度来讲,设计中纳入了可靠性指标,可以确保管道安全性水平。

1 腐蚀管道的可靠性模型

1.1 腐蚀管道应力和强度的随机性

(1)应力的随机性:由于长输管道横贯各种不同地理环境、气候条件以及土壤情况,所受载荷变化不定,因此影响管道应力的因素错综复杂,呈综合随机特征,其中主要表现为:环境土壤弹性模量(E)的随机性,内压的随机波动,腐蚀缺陷形貌及尺寸的随机性。

(2)强度的随机性:对强度随机性的影响因素主要有:实验手段的不稳定性,实验数据检测误差,实验数据收集统计误差,管道结构的多样性和复杂性。

1.2 模型分析

一般地,腐蚀管道的可靠性分析模型可用下面形式来表达[1]。

假设腐蚀管道的剩余承压能力即管道的破坏压力为P_c,管道的工作内压为P,并且P_c、P相互独立,则管道的功能函数为:

$$Z = g(P_c, P) = P_c - P \qquad (1)$$

这其实就是典型的应力-强度干涉模型。则腐蚀管道剩余强度的可靠度为:

$$P_r = P(Z \geqslant 0) = P(P_c \geqslant P) \qquad (2)$$

若P_c、P相应的概率分布函数和密度函数分别为$F_{Pc}(p_c)$,$f_{Pc}(p_c)$和$F_P(p)$,$f_P(p)$,且$(P_c - P)$的联合密度函数是$f(P_c, P)$,则腐蚀管道的失效概率为:

$$P_f = \int_0^{+\infty} [\int_0^P f_{Pc}(p_c)\mathrm{d}p_c] f_P(p)\mathrm{d}p \qquad (3)$$

则可靠度P_r为:

$$P_r = \int_0^{\infty} f_P(p)[\int_p^{\infty} f_{Pc}(p_c)d_{Pc}]\mathrm{d}p \qquad (4)$$

2 腐蚀管道可靠度计算

在建立了可靠性评价模型后,可以看出:要求得腐蚀管道的可靠度,关键是要确定工作内压和剩余承压能力(破坏压力)的分布,由管材机械性能测试和管道爆破实验数据和分析表明它们都具有近似正态分布[2]。

对于工作内压p:

$$f_P(p) = \frac{1}{\sigma_P \sqrt{2\pi}} \exp[-\frac{1}{2}(\frac{p-\mu_P}{\sigma_P})^2]$$
$$0 < p < \infty \qquad (5)$$

对于剩余承压能力(破坏压力)P_c:

$$f_{Pc}(p_c) = \frac{1}{\sigma_{pc} \sqrt{2\pi}} \exp[-\frac{1}{2}(\frac{p_c-\mu_{pc}}{\sigma_{pc}})^2]$$

收稿日期:2003-11-29

作者简介:熊昕东,1973年生,1995年毕业于西南石油学院石油工程系,2001年获得西南石油学院油气田开发专业的硕士学位,现攻读西南石油学院油气储运专业博士学位。电话:13880737958

维普资讯 http://www.cqvip.com

$$0 < p_c < \infty \tag{6}$$

式中：μ_p——工作内压的平均值；σ_p——工作内压的标准差；μ_{pc}——破坏压力的平均值；σ_{pc}——破坏压力的标准差。

则根据应力强度干涉模型可得管道的可靠性为：

$$P_r = P(P_c > P) = \int_0^{\infty} f_{Pc}(p_c)\left[\int_0^{pc} f_P(p)\mathrm{d}p\right]\mathrm{d}p_c \tag{7}$$

引进安全裕度 y：

$$y = p_c - p \tag{8}$$

因为 p_c 与 p 均为正态分布随机变量，其差 y 也是正态分布随机变量。故有：

$$f_{(y)} = \frac{1}{\sigma_y\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right]$$
$$-\infty < y < \infty \tag{9}$$

那么可靠度：

$$P_r = \int_0^{\infty} \frac{1}{\sigma_y\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right]\mathrm{d}y \tag{10}$$

联合概率分布如图 1。

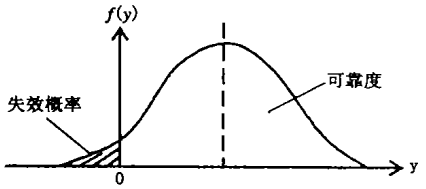


图 1 正态应力，强度的联合分布曲线

将随机变量 y 正规化(标准化)为：$z = (y-\mu_y)/\sigma_y$，并令 $y=0$ 时，则：

$$Z_0 = -\frac{\mu_{pc}-\mu_p}{\sqrt{\sigma_{Pc}^2+\sigma_p^2}} \tag{11}$$

因此，腐蚀管道的可靠度为(图 2)：

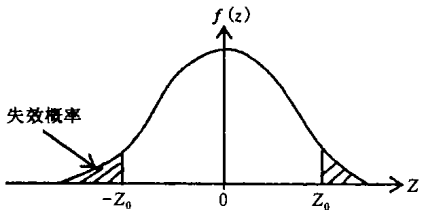


图 2 随机变量标准化分布曲线

$$P_r = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\frac{\mu_{pc}-\mu_p}{\sqrt{\sigma_{pc}^2+\sigma_p^2}}}^{\infty}\exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)\mathrm{d}z =$$
$$1-\Phi(Z_0) \tag{12}$$

在已知 μ_{pc}、μ_p、σ_{pc}、σ_p 的情况下，可靠度可由“标准正态积分表”查得。

另外，本文是采用矩法计算腐蚀缺陷处的破坏压力和实际工作内压平均值和方差。

3 算例

某管道运行已达 20 年，对某些管段进行了超声波腐蚀检测，取得了大量的检测数据。其中某一段管子上的内外腐蚀部位的深度、长度、方位以及沿管道长度的分布情况进行数据统计如表 1。

通过对缺陷剩余强度的评价，得出各缺陷处的最大允许运行压力和当前的工作内压如表 2。

表 1 某管段腐蚀缺陷尺寸统计

序号	距离/m	壁厚/mm	缺陷深度/mm	缺陷长度/mm	角度	象限	类型
1	90600.9	8.2	5.0	94	283	4	外
2	81824.6	8.2	5.2	184	263	4	外
3	63612.7	9.2	5.6	271	153	3	外
4	64357.8	9.4	4.2	366	101	2	外
5	7909.8	8.2	3.2	700	180	3	外
6	51846.7	8.2	2.2	3000	110	2	内
7	61560.6	8.4	2.4	3000	286	4	内
8	79521.5	8.2	1.6	4000	9	22	内
9	84606.2	8.2	1.0	5000	99	2	内
10	23635.0	8.4	1.0	6000	0	1	内

表 2 某管线腐蚀缺陷管段压力 P 与破坏压力 P_c

序号	腐蚀管道破坏压力/MPa	当前工作内压/MPa
1	3.39	2.0
2	2.98	2.0
3	3.52	2.5
4	5.07	2.0
5	4.95	4.0
6	5.97	2.5
7	5.96	2.0
8	6.58	2.0
9	7.31	1.5
10	7.51	3.5

根据矩法可以计算 P_c 和 P 的均值及方差，即 $\mu_{pc}=5.324$，$\sigma_{pc}=2.382$，$\mu_p=2.4$，$\sigma_p=054$，所以 $Z_0=-2.578$，通过查表可得，可靠度为：$P_r=0.9951$

如果 P_r 在其可靠区间内，则此管段上的腐蚀缺陷是可接受的，管段可安全工作。

4 总结

对管道进行腐蚀检测，并对检测数据进行正确的统计分析，将腐蚀状况图像化、数字化，不仅

(下转第 65 页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

其相关技术的研究才刚刚起步，天然气水合物在许多领域的应用未被发现。目前，国外已就天然气水合物在石油、交通和环保等工业领域开展了实验室研究，同时也开始进行开发可工业化的水合物分离技术工艺[10]。为此，在我国进行天然气水合物研究时，应开展以下工作：建立水合物分离技术新工艺；促进产生环境友好型工艺过程；研究提高天然气水合物储气密度的新技术。

参考文献

1 Gudmundsson J S, Parlaktuna M, Khokhar A A. Storing Natural Gas as Frozen Hydrate[J]. SPE Production & Facilities, 1994, 9(1): 69～73

2 Yakushev V S. Some Environmental Problem of Gas Recovery Related to Permafrost and Natural Gas hydrates[C]. The 19th World Gas Conference, Milan, 1994, 20～23

3 Gudmundsson. Method and Equipment for Production of Gas Hydrates[J]. Norwegian Patent, 1990, 17: 2080

4 US. 5660603,1997

5 马昌峰，陈光进. 一种从含氢气体分离浓缩氢的新技术－水合物分离技术[J]. 化工学报，2001，52(12)：1113～1116

6 Ngan Y T, Englezos P. Concentration of Mechanical Pulp Mill Effluents and NaCl Solution Through Propane Hydrate Formation[J]. Ind Eng Chem Res, 1996, 35: 1894～1990

7 Englezos P. Clathrate Hydrates[J]. I&EC Research, 1993, 82: 126～190

8 Yoon Ji－Ho, Lee H. Clathrate Phase Equilibria for the Water－Phenol－Carbon Dioxide System[J]. AICHEJ, 1997, 43(7): 1884～1893

9 章春笋，樊栓狮. 一种新型天然气储存技术及其应用前景[J]. 能源工程，2002，(5)：9～11

10 陈光进，程宏远，樊栓狮. 新型水合物分离技术研究进展[J]. 现代化工，1999，19(7)：12～14

编辑：李金华

（上接第 62 页）

能正确评估管道的安全程度，预测管道的剩余寿命，正确地进行防腐决策，而且对长输管道进行科学管理和科学规划也是十分必要的。本文以油气长输腐蚀管道为研究对象，分析了腐蚀管道应力和强度的随机性，分别给出了以腐蚀缺陷深度表示的可靠性模型和以腐蚀剩余强度表示的可靠性模型，对某腐蚀管道进行了可靠性计算，确定了其在目前条件下安全运行的可靠度，为该管道的维护管理提供了科学的依据。在我国，因为各种各样的客观困难，油气管道的现行设计标准是采用安全系数的方法[3]（即传统的设计方法），可靠性极限状态设计方法还仅仅停留在理论研究的范围。因此，需要我国管道工业的所有科研、设计和管理人员共同努力，推广采用和发展这一先进的设计理论，最大限度地降低油气管道的工程建设成本，并从根本上保障管道的安全可靠性。

参考文献

1 方华灿，赵学年，陈国明. 海底管线腐蚀缺陷的安全可靠性评估[J]. 石油矿场机械，2000，30(6)：1～4；

2 刘惟信. 机械可靠性[M]. 北京：清华大学出版社，1996

3 GB50253－94. 输油管道工程设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，1994

编辑：李金华