



某输油管道疲劳寿命预测

罗金恒* 赵新伟 路民旭

(中国石油天然气集团公司石油管材研究所)

罗金恒 赵新伟等:某输油管道疲劳寿命预测,油气储运,2001,20(6) 48~50。

摘 要 油气输送管道的寿命预测是管道安全评价的重要组成部分,它直接关系到管道检测、维修、更换周期的确定。在管道承压能力评价工作的基础上,利用失效评估图技术和双参数法,根据已建立的缺陷扩展规律,对某输油管道的疲劳寿命进行了预测。结果表明,该管道可安全运行 1.3×10^4 周次,为管道检测和维修周期的确定提供了科学依据。

主题词 输油管道 疲劳 寿命 预测

某输油管道设计总长超过 140 km,年设计输油能力为 100×10^4 t,管道设计压力为 6.4 MPa,强度试验压力为 8.0 MPa,严密性试验压力为 6.4 MPa。管道为 $\phi 273 \times 6$ mm 的直缝电阻焊管,钢级为 X52。该管道在试压过程中,由于钢管焊接质量问题发生了 12 次爆管事故,经换管处理后,管道最后试验压力达到 8.0 MPa。为了保证管道的安全运行,经过管道承压能力评价,决定降低压力,在 4.0 MPa 下运行。为了制订投运后管道维修和更换方案,对管道进行了寿命预测。

考虑腐蚀和疲劳两个方面的因素。由于该管道属于新建管道,对未来的腐蚀情况不可预知,发现的缺陷均为未熔合缺陷,所以主要对疲劳寿命进行预测。在油气管道运行过程中,由于压力波动和油气间歇输送,因此存在着发生疲劳损伤、疲劳破坏的可能性。在对该管道进行寿命预测时,利用了失效评估图技术(FAD)和缺陷扩展的双参数法(考虑了缺陷在长度和深度两个方向的扩展),并根据已建立的缺陷(裂纹)扩展规律进行预测,基本思路见图 1。

一、管道寿命预测方法

油气输送管道的寿命预测是管道安全评价的重要组成部分,它直接关系到管道检测、维修、更换周期的确定。然而,由于寿命预测工作中存在着许多不确定因素,例如环境、力学和材质状况等,尤其是很难确定在实际工况条件下缺陷发展的规律,使得寿命预测工作难度加大。在现行适用性评价标准中,如 CEGB R6、PD6493 以及最新发布的 API 579 草案,对寿命预测方法仅提供了简单的指导性作法,可操作性差,因此,寿命预测一直是困扰管道评价人员的一大难题。

1、基本思路

一般情况下,对于油气管道寿命的预测,主要考

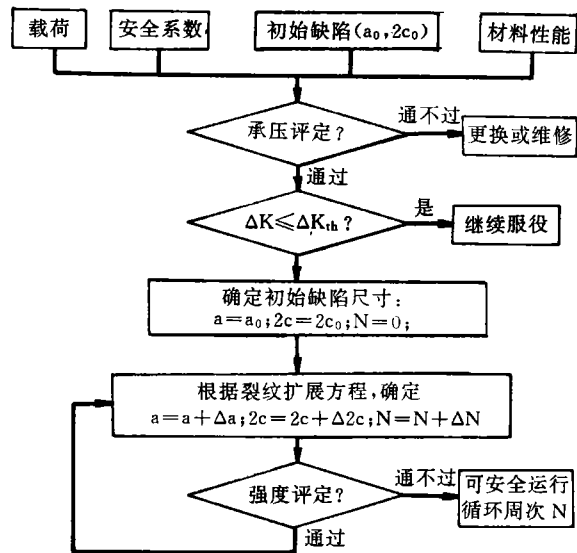


图 1 疲劳寿命预测思路框图

* 710065,陕西省西安市电子二路 32 号;电话:(029)8214211-3405。

图 1 中的 ΔK 表示应力强度因子幅, ΔK_{th} 表示疲劳门槛值, a 表示缺陷深度, a_0 表示缺陷初始深度, Δa 表示缺陷深度增加量, c 表示缺陷长度, c_0 表示缺陷初始长度, ΔN 表示循环周次增加量。

2、失效评估图技术^[1~3]

将未熔合缺陷看成平面型缺陷, 对这类缺陷的评价, 国际上普遍采用英国中央电力局 CEGB R6 (1988 年) 和英国标准协会 BSI PD6493 (1991 年) 中提出的双判据法^[1,2]。通过弹塑性断裂力学分析, 采用失效评估图 (FAD) 进行评定 (如图 2 所示)。FAD 考虑了从脆性断裂到塑性失稳所有可能的破坏行为, 被认为是最有效、最可靠的含平面型缺陷结构完整性评价方法。

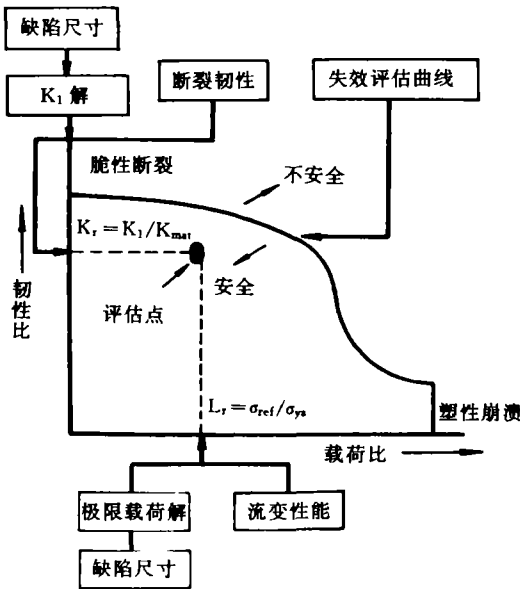


图 2 失效评估图

目前普遍采用的评估曲线方程式为^[1,2]:

$$K_r = (1 - 0.14 L_r^2) [0.3 + 0.7 \exp(-0.65 L_r^6)]$$

$$L_r \leq L_{r,max}$$

$$K_r = 0 \quad L_r > L_{r,max}$$

式中 K_r —— 材料载荷比;

L_r —— 材料韧性比。

$L_{r,max}$ 的取值与钢管材料有关。 L_r 和 K_r 按下式计算:

$$L_r = \frac{\sigma_{ref}}{\sigma_{ys}}$$

$$K_r = \frac{K_1}{K_{mat}} = \frac{K_1^P + K_1^S}{K_{mat}} + \rho$$

式中 σ_{ref} —— 参考应力;

σ_{ys} —— 材料屈服强度;

K_1 —— 应力强度因子;

K_1^P, K_1^S —— 根据一次应力和二次应力计算得到的应力强度因子;

K_{mat} —— 焊缝断裂韧性;

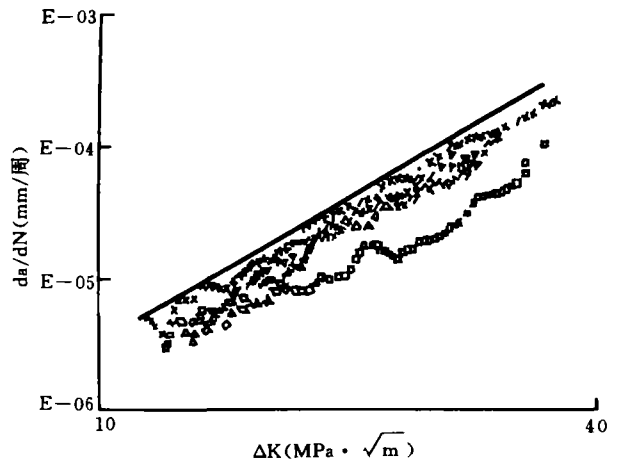
ρ —— 塑性修正因子。

二、管道疲劳寿命预测

1、确定预测参数

(1) 载荷 一次应力主要为管道内压。根据承压能力评价结果, 管道内压为 4.0 MPa, 载荷比为 0.6, 即管道压力在 2.4~4.0 MPa 之间波动。利用切环法测得二次应力为 131 MPa。

(2) 疲劳参数 利用 MTS 880 材料试验机测试疲劳性能, 分别测试了 5 个试样的疲劳门槛值 ΔK_{th} 和疲劳裂纹扩展曲线, 结果见表 1 和图 3。寿命预测时 ΔK_{th} 取最小值 3.64 MPa \sqrt{m} , 疲劳扩展方程取 5 个测试试样的上包络线方程。



上包络线方程: $\frac{da}{dN} = 1.377 \times 10^{-8} \Delta K^{2.882}$

图 3 疲劳裂纹扩展测试曲线

表 1 焊缝疲劳门槛值 ΔK_{th} 测试结果

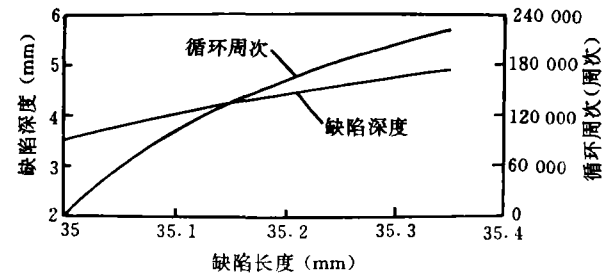
试样编号	$\Delta K_{th} (\text{MPa} \sqrt{m})$
1	5.83
2	3.64
3	4.04
4	5.08
5	6.00

(3) 材料性能 材料屈服强度为 360 MPa, 抗拉强度为 540 MPa, 焊缝断裂韧性为 79.8 MPa \sqrt{m}

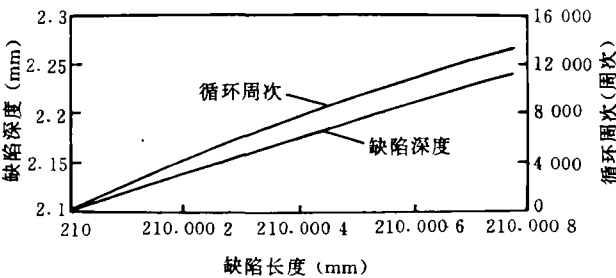
(4)初始缺陷尺寸 根据室内和现场探测结果,初始缺陷尺寸取管道中可能存在的最大值对应的不同缺陷深度和长度比。分为两种情况, $2c_0$ 为 35 mm, a_0 为 3.5 mm(缺陷 I)和 $2c_0$ 为 210 mm, a_0 为 2.1 mm(缺陷 II),分别对应的深长比为 0.1 和 0.01(根据缺陷探测结果确定)。

2、 预测结果

采用西安石油管材研究所开发的 TGRC-AFSP 软件对疲劳寿命进行计算。裂纹的扩展过程见图 4。对应于缺陷 I 和缺陷 II,管道可安全运行的循环周次分别为 22.2×10^4 周次和 1.3×10^5 周次。管道投入运行后,可以通过统计管道压力的波动频度,利用计算出的安全运行循环周次,考虑适当的安全系数,推算出管道检测和维修周期。



(a)缺陷 I



(b)缺陷 II

图 4 缺陷的扩展过程

三、结 论

假设输油管道运行压力在 2.4~4.0 MPa 之间波动,利用失效评估图技术(FAD)和缺陷扩展的双参数法,预测管道的疲劳寿命,结果表明,管道可安全运行的循环周次为 1.3×10^5 周次,这可为管道检测和维修周期的确定提供科学依据。

寿命预测时只考虑了压力波动的影响,没有考虑管道的腐蚀寿命。管道的腐蚀寿命需要通过管道实际运行时的腐蚀速率进行预测。

参 考 文 献

1. CEGB R—1998 Assessment of the Integrity of Structures Containing Defects.
2. BSI PD6493—1991 Guidelines on Method for Assessment of the Acceptability of Flaws in Fusion Welding Structures.
3. Draft API RP 579—1997 Recommended Practice for Fitness-For-Service.

(修改稿收稿日期:2001-03-19)

编辑:陈桂明

会 讯

由石油基本建设自动化控制技术中心站主办、北京安控科技发展有限公司协办的“油气田及管道自动化专项设备及技术”专题研讨会于 2001 年 5 月 15 至 18 日在北京举行。

参加本次会议的代表分别来自中油集团、中石化集团各油田有关部门、设计院、采油气厂等单位。会议期间与会代表对石油自控中心站的工作任务和发展方向提出了以下建议:参加中心站的生产单位增多,应适当增加站委单位;通过与生产厂商的技术交流、研讨等多种形式,使代表了解自动化新技术以及国内外自控的最新发展方向;适当增加对石油、天然气及管道工程中专用仪表、设备的专题研究、探讨;不仅要继续关注石油天然气行业的自动化,还要关注企业的信息化建设;积极争取创办石油天然气行业的仪表自动化刊物。与会代表还对北京安控科技发展有限公司的自动化系列产品提出了客观的评价和建议:北京安控公司的自动化系列产品种类齐全,可涵盖油田地面自动化工程的多个方面;产品按工业标准制造,在结构化及仪器防护方面具有独到之处;产品技术先进、质量可靠、操作方便简单;具有良好的技术支持及售后服务;北京安控公司的油田自动化产品达到了国内领先水平,值得推广应用;希望安控公司的终端设备能增加安防控制的功能。经过 3 天的紧张会议,通过产品介绍和技术研讨,达到了学习和交流的目的,会议最终取得了圆满成功。

• 陈 变 •