

# 输气管道缺陷尺寸定量化及其 概率分布特性研究

赵新伟\* 路民旭 白真权 张平生

(中国石油天然气集团公司石油管材研究所)

周方勤 罗文华 刘海峰 王靖

(四川石油管理局管道检测中心)

赵新伟 路民旭等:输气管道缺陷尺寸定量化及其概率分布特性研究,油气储运,1998,17(10) 49~52。

**摘 要** 通过对四川某输气管道现场采样管段的室内缺陷探测,建立了以现场采样、无损检测、切割拉断和缺陷尺寸测试为主要过程的缺陷探测和尺寸定量化方法。对采样管段探测结果表明,管子内焊趾存在严重的表面裂纹,裂纹平均深度为 1.91 mm,最大深度为 3.85 mm。采用了正态分布、对数正态和威布尔分布拟合缺陷尺寸的概率分布规律,结果表明裂纹深度 $a$ 最接近正态分布。

**主题词** 输气管道 探伤 定量分析

## 一、概 况

四川某输气管道于 1979 年投产,全线总长 174.6 km。管道为 $\phi 720 \times 8(9)$  的 SSAW 焊管,材质为 16 Mn,设计压力为 4 MPa,现最大运行压力为 2.5 MPa。该管道自投产至今已有 19 年的服役历史,业已进入事故多发期,为保证管道运行的经济性和安全性,迫切需要安全评价。中国石油天然气四川石油管理局为充分挖掘管道运行的经济潜力,以适应沿线用户对天然气需求量的增加和适应川东产气量的日益增长,试图探索提高管道运行压力,升压后是否安全也需要进行评价。

管道缺陷检测是进行管道安全评价的基础和前提,也是管道安全评价的一大难点。管道安全评价和缺陷检测是保证油气管道安全运行的一对孪生技术,世界各国在开展管道安全评价技术研究同时,都在积极发展管道缺陷无损检测技术,其中发展最快的是智能检测器(Smart Pig)。目前应用最广泛的智能检测器主要是基于超声波和漏磁法。就探测能力和探测精度而言,智能检测器目前还存在以下技术

难题有待克服。

(1) 超声法检测器用于气管道,其耦合技术尚未突破。

(2) 对腐蚀缺陷形状尺寸的定量化技术有待提高。就我国具体情况,还有一个难题就是早期建设的管道没有考虑到用智能检测器进行检测,管道爬行有困难。鉴于上述状况,为了对该气管道进行安全评估,根据管道具体情况,建立了一套基于现场采样、室内无损检测、试验室切割拉断和缺陷尺寸测量的缺陷尺寸定量化方法。

研究缺陷尺寸的概率分布规律是进行概率安全评价的基础。所谓概率安全评价,就是把先进的概率断裂力学原理应用于安全评价,研究当应力、强度、断裂韧性和缺陷尺寸为随机变量时,结构和设备的破坏概率和可靠度。运用概率理论,对管道缺陷尺寸进行了统计,研究了缺陷尺寸的概率分布规律。

## 二、技术思路

由于该输气管道缺陷主要是裂纹型缺陷,用现有的智能检测器进行缺陷尺寸探测和定量化有困

\* 710065,陕西省西安市电子二路东段 21 号,电话:(029)8214211-3511。

难,加之早期佛两线设计时未考虑智能检测器的爬行,检测难度很大。鉴于以上状况,为了准确地对管道缺陷尺寸定量化,建立一套以现场取管采样、无损检测、切割拉断、裂纹尺寸测量等为主要过程的裂纹尺寸定量化方法。技术思路如图 1 所示。

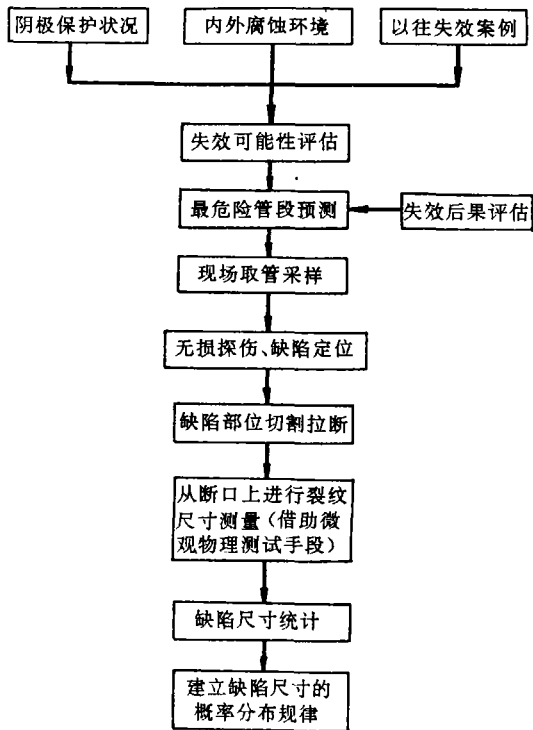


图 1 缺陷尺寸测试技术思路框图

### 三、现场采样

所谓现场采样就是利用管道停气检修时间,在欲评价的管道上截取一定数量的管段,用来获取管道损伤状况、测试材料力学性能和探测缺陷尺寸等。但现场采样应该基于最危险管段预测,而不是随意截取管段。只有建立在最危险管段预测基础上的现场采样才能真实地反映出管道损伤状况,保证管道安全评价的科学性和可靠性。

进行最危险管段预测的思想是将失效可能性和失效后果综合考虑,评价出不同管段的危险性,然后确定最佳的检测和采样方案<sup>[1]</sup>。

失效的可能性从以下几方面考虑:

- (1)管道以往失效案例;
- (2)沿线阴极保护状况;
- (3)内外腐蚀环境,包括杂散电流影响、地域土

壤特性、内部输送介质化学成分、冲刷腐蚀因素等。

失效后果可以从以下几方面考虑:

- (1)管道位于城市还是农村;
- (2)人口密度状况;
- (3)有无重要设施;
- (4)距水资源远近等。

利用管道停气检修时间进行现场采样,从四个最危险地段截取 1 m 长的管段 5 段,截取 7 m 长的管段两段,共 7 段管子用于室内缺陷探测。

### 四、无损检测

对所有现场采样管段的螺旋焊缝、环焊缝及管体母材进行无损检测。其目的是通过无损探伤,对管子中存在的缺陷进行定位和初步定量化。

无损检测采用超声探伤,检测条件的选择包括仪器、探头、耦合和扫描方式等方面。

无损探伤选用了体积小、重量轻、调校方便、并可以进行数据储存的 USN50 型脉冲式超声探伤仪。

根据管道长期输送含 H<sub>2</sub>S 的酸性天然气可能存在应力腐蚀裂纹等特点,结合管道的具体规格(φ720×8 mm),选用了三种规格的超声波探伤探头,其中有对裂纹类缺陷检测灵敏度较高的探头,规格为:45°、4 MHz,前沿为 14 mm,另外还有两个探头,其规格为:70°、4 MHz、8×9、K2.5 和 5 MHz、8×9。

进行超声波探伤时,试块是必不可少的。它可以用来测试和校验探伤仪及探头的性能、调节探测范围、确定缺陷位置、评价缺陷大小和对被探工件评级及判废等。试块的种类有标准试块(STB 块)和作为参考用的对比试块(RB 块),RB 块主要用于调节探测范围、确定灵敏度和评价缺陷大小,它是对工件进行评级和判废的依据。这次室内检测采用的校对试块为:CSK-1A,对比试块如表 1 所示。

表 1 超声波探伤对比试块规格

编号	规格 (mm)	缺陷类型及尺寸 (mm)
1	φ720×8(9)	φ1.6 通孔、φ1.6×2 半通孔
2	φ720×8(9)	φ3.2 通孔、φ3.2×2 半通孔、φ1.6×2 半通孔
3	φ720×8(9)	刻槽:深度 1.0 mm,内外表面
4	φ720×8(9)	刻槽:深度 0.5,内外表面

室内超声探伤采用的耦合剂为专用耦合剂和油。根据佛两线管子的管径较大、壁厚较小的特点,采用接触法进行探伤,因为大口径管的曲率较小,探头与管壁表面容易耦合。

通过对现场采样管段螺旋焊缝、环焊缝及母材的超声探伤,发现缺陷主要集中在螺旋焊缝的焊趾及其附近。

### 五、缺陷尺寸量化

将经超声波探伤发现的 21 处缺陷部位管材切割拉断,试样均断于焊接接头熔合区,观察宏观断口发现,有 19 个试样在内焊趾处都有原始缺陷,探伤误判率为 9.5%。经过分析,这些原始缺陷主要是应力腐蚀裂纹,另外有一些焊接缺陷,如咬边等。

由于实际的缺陷形状和尺寸往往是不规则的,需要先进行规则化处理,使之化作便于进行力学分析的形状和尺寸,简称为缺陷表征。根据佛两线管子缺陷特征,将缺陷看作裂纹型(或平面型)的表面缺陷。裂纹型表面缺陷的表征方法见图 2(a)所示,先作包络缺陷的矩形,矩形一边应与临近的板平面平行,其边长不小于矩形沿板厚方向的另一边长。用外接矩形的长和高分别表征表面裂纹的深度  $a$  和长度  $2c$ <sup>[2]</sup>。对于那些裂纹长度  $2c$  未能完全暴露在拉伸断口上的表面裂纹,作半椭圆裂纹假设,按几何完整性延伸,测试裂纹长度  $2c$ (见图 2(b))。

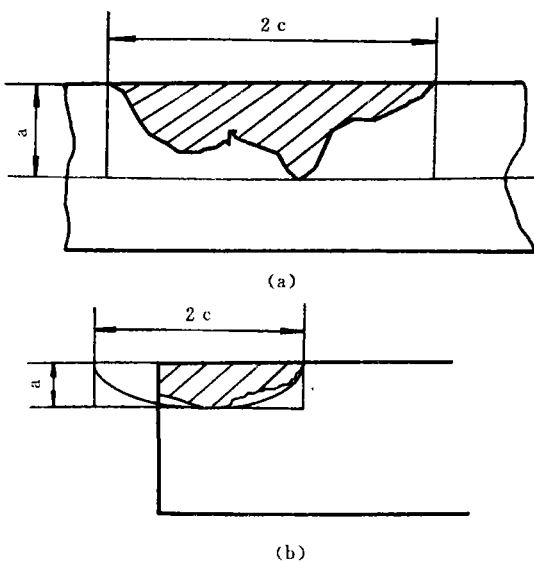


图 2 表面裂纹表征方法示意图

按上述规则,测量缺陷部位拉伸断口上的裂纹尺寸,并进行了统计分析,统计结果见表 2。裂纹平均深度为 1.91 mm,最大深度达 3.85 mm。

要指出的是,缺陷尺寸测量和统计时未考虑相临近缺陷的交互作用,在随后的剩余强度计算时要作考虑。

### 六、缺陷尺寸概率分布规律研究

图 3 是裂纹深度  $a$  统计分布直方图。用正态分布、对数正态分布和威布尔分布三种分布函数拟合这一直方图,采用的拟合方法为最大似然法。

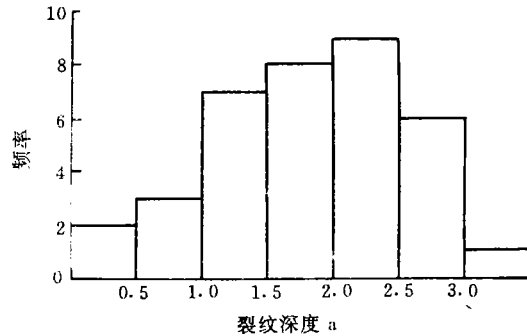


图 3 裂纹深度  $a$  分布直方图

三种分布的概率密度函数和累计分布函数拟合结果为:

正态分布:

$$f(x) = \frac{1}{0.78 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-1.91)^2}{1.22}\right]$$

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{0.78 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-1.91)^2}{1.22}\right] dx$$

对数正态分布:

$$f(x) = \frac{1}{0.48 \sqrt{2\pi x}} \exp\left[-\frac{(\ln x - 0.55)^2}{0.46}\right]$$

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{0.48 \sqrt{2\pi x}} \exp\left[-\frac{(\ln x - 0.55)^2}{0.46}\right] dx$$

威布尔分布:

$$f(x) = \frac{2.70}{2.15} \left(\frac{x}{2.15}\right)^{2.70-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{2.15}\right)^{2.70}\right]$$

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{2.15}\right)^{2.70}\right]$$

表 2 裂纹深度 a 统计结果

平均裂 纹深度	标准 误差	样本中 位数	样本 众数	样本 标准差	样本 方差	样本 偏移度	区域	最小裂 纹深度	最大裂 纹深度	裂纹深 度总和	统计裂 纹总数
1.91	0.13	1.76	0.95	0.78	0.61	0.25	3.37	0.48	3.85	68.71	36.00

采用柯尔莫哥洛夫检验方法,检验实际裂纹深度分布是否服从正态分布、对数正态分布和威布尔分布。柯尔莫哥洛夫检验的出发点是比较各点经验分布函数  $F_n(x)$  和假设的理论分布函数  $F_0(x)$  之间的偏差。检验步骤如下。

(1) 设总体  $X$  有连续分布函数, 检验假设  $H_0: F(x) = F_0(x)$ 。

(2) 把样本观测值按由小到大的顺序排列。

(3) 算出经验分布函数:

$$F_n(x) = \begin{cases} 0 & x \leq x(1) \\ n_j(x)/n & x(j) < x \leq x(j+1) \\ 1 & x(n) < x \end{cases} \quad j=1, 2, 3, \dots, n-1$$

在原假设  $H_0$  下, 计算观测值处理论分布函数  $F_0(x)$ 。

(4) 对每个  $x_{(j)}$  算出经验分布和理论分布的差的绝对值:  $|F_0(x_{(j)}) - F_n(x_{(j)})|$ 。

(5) 算出统计量  $D_n = \max |F_0(x_{(j)}) - F_n(x_{(j)})|$  的值。

(6) 给定显著水平  $\alpha$ , 查柯尔莫哥洛夫检验的临界值  $D_{n,\alpha}$  表<sup>[3]</sup>, 得  $P\{D_n \geq D_{n,\alpha}\} = \alpha$  的临界值  $D_{n,\alpha}$ 。

(7) 若  $D_n \geq D_{n,\alpha}$ , 则拒绝原假设, 即认为总体分布函数与  $F_0(x)$  有显著差异; 若  $D_n < D_{n,\alpha}$ , 则接受原假设, 认为总体分布函数与  $F_0(x)$  无显著差异。

按上述步骤对正态分布、对数正态分布和威布尔分布三种假设进行检验, 统计量  $D_n = \max |F_0(x_{(j)}) - F_n(x_{(j)})|$  分别为 0.053、0.099 和 0.058, 给定显著水平  $\alpha = 0.10$ , 查柯尔莫哥洛夫检验的临界值  $D_{n,\alpha}$  表,  $D_{n,\alpha} = 0.19910$ , 显然三种假设的统计量  $D_n$  都小于 0.19910。由此可见裂纹深度  $a$  总体分布函数与假设的正态分布、对数正态分布和威布尔分布均无显著差异。但三种假设统计量  $D_n$  值最小的是正态分布, 裂纹深度  $a$  总体分布函数更接近正态分布。

综上所述得出以下结论。

(1) 建立了以现场采样、无损检测、切割拉断解剖分析和裂纹尺寸测量为主要过程的缺陷探测和定

量化方法。

(2) 管道缺陷探测结果表明, 内焊趾存在严重的以应力腐蚀开裂为主的表面裂纹, 裂纹平均深度为 1.91 mm, 最深处达 3.85 mm。

(3) 采用了正态分布、对数正态分布和威布尔分布拟合缺陷尺寸的概率分布规律, 结果表明缺陷尺寸  $a$  最接近正态分布。

参 考 文 献

- 1, 路民旭 白真权 赵新伟: 管道检测与安全评价技术研究概况及发展趋势, 石油专用管, 1997, 5(1)。
- 2, BSI PD6493; Guidelines on Methods for the Acceptability of Flaws in Fusion Welding Structures, British Standards Institute, August, 1991.
- 3, 西北工业大学概率统计教研室数理统计编写组: 数理统计, 西北工业大学出版社(西安), 1990。

(收稿日期: 1998-04-14)

编辑: 康力平

## 一种油气回收专用吸收剂 问 世

油品蒸发损耗问题是石油储运和环境保护科技工作者十分重视和竞相研究的一个重点课题。蒸发油气回收处理技术作为一种有效的降耗措施, 从 60 年代起, 国外就作为重点来研究开发和推广。江苏石油化学学院石油储运教研室在中国石油化工总公司技术开发中心的组织、领导和资助下, 多年来一直对油品蒸发损耗问题尤其在油气回收技术方面进行了较系统、深入、全面的研究开发。目前, 在利用常温吸收法进行蒸发油气回收处理方面, 研制开发出性能良好的专用吸收剂 AbsFOV-97, 解决了油气回收技术的一个关键问题。经与现有的国内外油气吸收剂对比试验, 结果表明, 该专用吸收剂的技术指标达到了国内领先水平。

黄维秋