

在役管道壁厚超声检测爬机技术

周明

(上海大学, 上海 201800)

摘要 阐述超声检测技术在在役输油管道检测中的应用, 提出一种新型结构的在役管道检测爬机, 对该结构爬机的一些关键技术进行了论述。

主题词 管道 超声检验 自动测试

INTELLIGENT PIG TECHNIQUES FOR ULTRASONIC INSPECTION OF IN-SERVICE PIPELINES

Zhou Ming

(Shanghai University)

Abstract The application of ultrasonic technique to the inspection of inservice oil pipelines is discussed and a new type of pig is put forward. The key points of the intelligent pig are described.

Keywords Pipeline Ultrasonic inspection Automatic testing

1 管道的超声检测

在役输油管道受蚀主要表现为管壁的大面积受蚀减薄, 管道受蚀至一定程度, 就会发生泄漏。因而, 经常对在役管道实施检测极为必要。管壁受蚀情况的检测, 主要是测量管壁受蚀后的余留厚度, 为此, 应用超声检测技术最为直接和简便, 因为它具有精确度高、穿透力强、探伤灵活、成本低, 且对人体无害等优点。超声波用于测定管壁厚度的原理和操作较为简单, 即只要测知内、外管壁反射波的时间差, 就可确定被测管壁的厚度。国外一些发达国家已将管道超声检测爬机用于实际检测, 而我国也在从事爬机原型机的研制工作。

2 管道超声检测爬机

管道超声检测爬机是利用超声检测技术对输油管道进行在役检测的一种专用检测设备, 国外称其为 Intelligent Pig^[1]。国外研制的一些管道超声检测爬机, 一般用于大、中型管道, 因而大都采用多探头固定式结构, 其设计复杂、造价昂贵^[2], 难以适应我国目前的国情。我们研制的爬机原型机采用的是检测头旋转结构, 用多处理器并行采集和处理检测数据, 检测对象为中、小型管道, 它主要由检测头、机体、数据采集和处理系统以及数据后置处理系统等

部分组成。

2.1 旋转式检测头

检测头采用的多探头旋转结构是将数个宽频超声探头均布于检测头的侧面, 探头的发射方向垂直于管壁, 检测头带动超声探头旋转。该结构的检测爬机兼具单探头检测爬机的特点及多探头检测爬机的功能, 而成本较后者大为降低。

为防止漏检, 采取扫描区域部分重合的方法, 图1所示为一段展开的管壁, 其中圆形区域表示单个超声脉冲在管壁上的覆盖范围, 即检测面积。检测头的转动加上爬机的移动, 就会在被测管壁上产生无数的扫描带。控制爬机的行进速度, 相邻两条扫描带

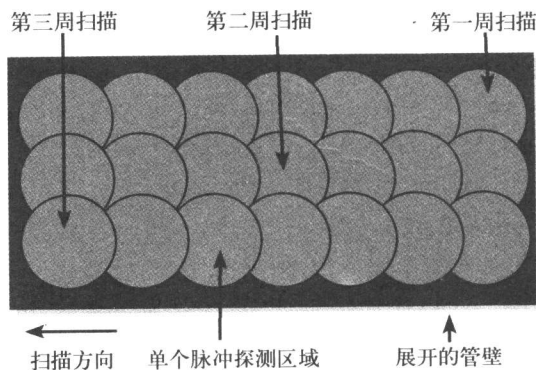


图1 超声探测时的扫描区域重叠

的重复区域为 1/4, 便会形成一个连贯的扫描段。随着检测爬机在被测管道内的行进, 便可完成对整个管线的检测且不致漏检。

2.2 检测定位系统

被测管壁受蚀位置的定位系统由内定位及外定位组成。

2.2.1 内定位

爬机的内定位是靠爬机的里程轮实现的, 即里程轮每旋转一周, 爬机的内定位装置便测得一个定位信号, 将这个信号转变成数字信号并存储于存储器中, 这个数字信号就可用作定位标记, 两个定位标记之间代表里程轮的周长, 亦即爬机在被测管道内走过的距离。

测定里程轮的转动周数有许多方法, 关键是要做到测量精确及装置简便。

2.2.2 外定位

经长期使用, 管壁上积挂了不少油垢及石蜡, 当里程轮在管壁上转动时, 难免打滑。里程轮一旦打滑, 由内定位系统测定的里程轮转数而计算出的爬机行程, 就与爬机实际检测距离不符, 进而影响定位精度。

外定位是指定位信号源在被测管线的外部产生一个定位信号, 此信号由爬机接收并作为标记信号存放于数据存储器中, 分析检测数据时, 将此信号作为长距离的定位标记并对内定位进行校准。外定位信号间隔越小, 爬机检测定位精度越高, 但检测成本也会随之升高。

2.3 检测数据采集和存储

检测数据是检测爬机工作的核心内容, 它包括管壁的测厚值、管内油温值、定位信号及管壁的变形量等, 这些数据被采集与存储的质量直接影响检测结果的准确性, 检测数据的多少及检测数据流速度与探头数和检测爬机的行进速度有着紧密的联系。以国外 64 个探头的检测爬机为例, 若其超声检测探头的脉冲重复频率为 400Hz, 则爬机每秒需采集的数据量达 400kB^[3]。

我们研制的爬机行进速度为 0.3m/s, 检测头的旋转速度为 7r/s, 超声探头的脉冲重复频率 $f_p = 420\text{Hz}$, 以每个检测脉冲采集一个测厚值计算, 则数据流 μ 可表示为

$$\mu = f_p m \quad (1)$$

式中 m ——探头数

若取 $m=4$, 可得 $\mu=1\ 680\text{Byte/s}$, 由公式

$$t = \frac{1}{mf_p} \quad (2)$$

可推得正常情况下, 每个检测信号之间的间隔时间 $t=500\mu\text{s}$, 表明在 $500\mu\text{s}$ 的时间范围内, 检测爬机的数据采集模块须将脉冲检测信号采集到, 并将其转化为数字信号。而对于测厚脉冲的读取, 亦有时间限制, 测厚脉冲的读取时间由下式计算

$$t_{\text{厚}} = \frac{2\delta}{v_{\text{钢}}} \quad (3)$$

式中 $t_{\text{厚}}$ ——管壁测厚所用时间

δ ——被测管壁厚度

$v_{\text{钢}}$ ——超声波在钢中的传播速率

中、小管道的管壁标准厚度值 $\delta=8\sim 10\text{mm}$, 此时, $t_{\text{厚}} \approx 2.7\mu\text{s}$; 当被测管壁的厚度处于极限状态时, 即 $\delta=1\text{mm}$ 时, $t_{\text{厚}} \approx 0.9\mu\text{s}$ 。

鉴于上述原因及爬机体内空间小的局限性, 设计中采用多片高频微处理器构成了多机处理系统, 数据采集系统的原理如图 2 所示。

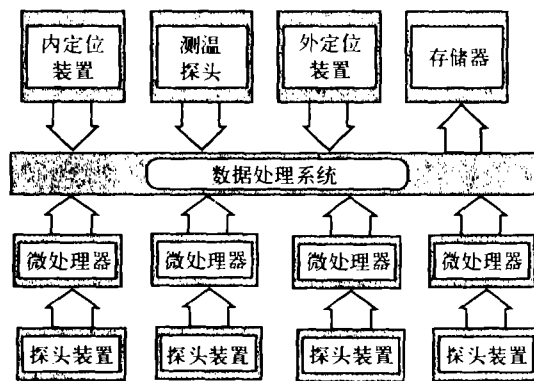


图2 数据采集与存储系统

假定爬机每秒采集 1 680 个点, 若检测距离是 1km, 则需存储的测厚数据量是 5.4MB, 加上其它需存储的数据, 总数据量将更加庞大。为此, 我们在数据处理系统中采用了“先甄别、后处理”的存储方案, 即先对采集到的检测数据进行甄别, 区分出哪些是正常管壁的检测数据, 哪些是受损管壁的检测数据, 滤去那些管壁没有受蚀处的检测数据, 而只存储受蚀管壁处的检测数据, 从而大大减少存储数据。另外, 为能高速、实时地存储检测数据, 我们选用的存储器件是 512kB 的静态 RAM, 并设置了掉电保护电路, 整个存储器的存储容量为 8MB, 并可扩充至 16MB, 该存储器还可接磁带机, 以进一步扩大存储容量。

2.4 机体

为便于爬机在管道内爬坡及转弯, 爬机由三节仓体构成, 第一节置放电机及减速装置, 第二节用于

(下转第 257 页)

对 4 根钢丝绳进行疲劳测试直到其失效为止,图 4 给出其中一根钢丝绳的测试结果,图 5 为其 AE 事件幅值平均值随时间的变化曲线,图 6 为 4 根钢丝绳 AE 事件平均值与疲劳百分寿命的关系。从中可以看出,在达到失效寿命的 60% 时,AE 事件开始快速增加,表明这一点可作为疲劳失效的预警点。另外,AE 事件的幅值平均值在疲劳失效后期逐渐增加,这与波形观察相一致,表明提取钢丝开裂的 AE 事件确实可以表征钢丝绳的总体损伤情况,只不过仅从幅值的角度提取信号过于简单,如果能从整个波形的角度提取信号,其 AE 表征更为准确。

3 结论

(1) AE 波形分析技术有利于钢丝绳疲劳损伤过程中各种波形模式的识别,它为 AE 撞击参数的合理选择提供了依据。

(2) 疲劳条件下,钢丝绳初期断丝可以用幅值、持续时间、能量和计数综合表征。

(3) AE 监测能在钢丝绳疲劳失效寿命的 60%

(上接第 250 页)

存放电池组,另一节放置各种仪器。由于爬机工作环境恶劣,仓体的设计要达到耐高温、耐高压及密封良好的要求。

3 检测数据的分析系统

目前的检测爬机无法做到对管道的在线检测^[4,5],爬机在工作时,只能将检测数据存储于爬机体内的专用存储器中,这些检测数据脱机后,需经地面工作站(或微机)进行分析和处理,经分析和处理的数据方能说明管道的受蚀情况。数据分析系统主要包括以下一些功能模块:

(1) 数据读取模块 该模块的功能是利用通信接口电路,将检测数据从爬机的存储器中读入数据后置处理机并同时进行数制的转换。

(2) 数据处理模块 它的功能是根据爬机所得的测厚数据及定位记录,计算出管壁的受蚀位置及面积,并绘出表征腐蚀深度的曲线。

(3) 模糊判决模块 该模块是一个具有模糊推理功能的数据库。目前的检测爬机仅限于对管道实际受蚀状况的检测,对于受损管道能否使用及使用期限等,主要由管道使用单位根据经验来确定。我们将构成管道腐蚀的各种因素值存储起来,使用时将它们与爬机测得的结果相结合,依据模糊理论的判决方法来解答上述问题,则进一步扩大了爬机的检

测功能。

(4) 提取钢丝裂纹开裂的 AE 事件来表征钢丝绳的总体损伤情况是可行的。

参 考 文 献

- 1 Schrems KK. Wear-related fatigue in a wire rope failure. *Jour of Testing and Eval*, 1994,22(5):490-499
- 2 Taylor JL, Casey NF. The acoustic emission of steel wire ropes. *Wire Industry*, 1984,51(601):79-82
- 3 Casey NF, Taylor JL. The evaluation of wire ropes by acoustic emission techniques. *British Journal of NDT*, 1985,27(6):351-356
- 4 Casey NF et al. Fatigue testing of large wire ropes. *Wire Industry*, 1987,54(641):300-303
- 5 Casey NF et al. Fatigue testing of wire ropes. *Wire Industry*, 1988,55(659):758-761
- 6 Sao NL. Non-destructive evaluation of steel wire rope (Part I). *Wire Industry*, 1995,62(741):485-488

收稿日期:1998-09-11

测功能。

4 结束语

针对在役管道超声检测爬机原型机,提出了检测头旋转的爬机结构,围绕该结构,对遇到的诸多问题进行了深入的研究并逐一予以解决。目前,我们在国家“863”的支持及相关单位的配合下,正进行爬机实用化的研究。

参 考 文 献

- 1 Marcel Roche, Pierre Samaran. Aims, line conditions affect choice of in-line inspection tool. *Oil & Gas Journal*, 1992,9(11):78-80
- 2 龙 伟,周 明,黄 杰. 在役管道超声检测系统的现状及发展趋势. *中国机械工程*, 1996;7(2):52-54
- 3 Krieg G, Goedecke H. Corrosion inspection of pipelines with the ultrascan intelligent pig. *Proceedings of 12th Nondestructive Testing World Conference*, Netherlands, 1992.
- 4 Short Gordon C. The pigging technology project: the first three years. *Pipes & Pipelines International*, 1994, 8(7):23-27
- 5 Cordell Jim L. The latest developments in pipeline pigging world-wide. *Pipes & Pipelines International*, 1994, 8(7):9-16

收稿日期:1998-11-16