

# 弹体构件超声检测探头运动路径分析\*

李天宁,王召巴,陈友兴,任彦

(中北大学电子测试技术国家重点实验室,太原 030051)

**摘要:**针对曲面弹体构件在超声自动检测时存在探头运动较为复杂的问题,提出了一种利用已知的曲面参数通过计算生成并预先设置好运动路径的检测方法。通过对弹体构件结构的分析,利用喷水耦合的方法以保证在构件表面变化较大的位置不会对运动造成影响。由于构件存在空心 and 实心两部分,就需要在计算运动路径时以检测方法为基础分析各种结构情况下的运动方法。该方法减少了超声测距和探头位置调整的时间,有效节约了自动检测的效率。

**关键词:**超声检测;运动路径;曲面;超声探头

**中图分类号:**TJ410.6 **文献标志码:**A

## The Analysis on Motion Path of Probe with Ultrasonic Testing of Missile Components

LI Tianning, WANG Zhaoba, CHEN Youxing, REN Yan

(National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** Focusing on problem of complex ultrasonic probe movement on curved missile surface during automatic detection, a detection method using the known parameters by calculation and presetting motion path was proposed. After analysis of the structure of missile components, the spray coupled method was used not to impact on the movement when the component surface had a greater change. Since the components consist of hollow and solid parts, so the movement under a variety of structural components based on detection should be analyzed when path calculation. With this method, the time spent on ultrasonic ranging and ultrasonic probe position adjustment was reduced, and the efficiency of the automatic detection was improved.

**Keywords:** ultrasonic testing; motion path; surface; ultrasonic probe

### 0 引言

超声波检测,由于显示直观、检测速度快,已成为弹体等构件普遍采用的缺陷检测技术。在弹体制造等工业领域中,许多工件都具有复杂的曲面外形,而超声波传播又具有很强的指向性,为保证检测结果的准确性,对这些类型的曲面构件进行超声检测时,需要对探头的安装与运动轨迹进行规划<sup>[1]</sup>。文中主要针对某弹体构件研究其超声检测中,关于探头安装与超声耦合方式以及对弹体进行超声检测时的运动轨迹计算等问题。通过对构件外观的变化分析探头安装与超声耦合的方法,应用构件结构参数计算超声检测时探头的运动轨迹。

### 1 曲面构件介绍和探头安装

#### 1.1 曲面构件

弹体构件中存在一种外形变化较大且在应用超

声检测时较难实现自动化的构件,弧锥面构件。

图1即为此构件结构示意图。此构件由细端实心部分、曲面部分(包含实心 and 空心部分)和大端开口部分组成。其中,文中主要针对弧锥面部分的超声采集过程进行分析,此部分属于规则曲面。

#### 1.2 探头安装与耦合方法

上述构件属于外形存在较大变化的类型,在超声检测过程中需要调整探头的位置和方向以保证超声波入射方向与零件表面外法线方向保持一致。图2为探头安装的一个结构示意图,由于构件表面的变化情况,探头在安装时与被检工件间需要拉开一定的距离,所以就需加装一个探头盒,并采用喷水的方法

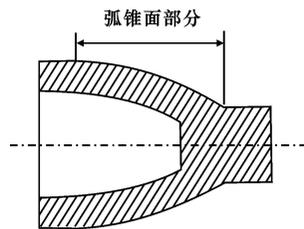


图1 弧锥面构件结构

\* 收稿日期:2011-04-23

基金项目:山西省自然科学基金(2007011053)资助

作者简介:李天宁(1986-),男,河北石家庄人,硕士研究生,研究方向:无损检测及信号与信息处理。

进行水耦合来完成检测。

### 1.3 检测方法

构件的曲面大部分内部为空心,构件壁厚较小,采用偏心值为 0 的方法检测的情况下,由于超声波扩散,造成两个界面回波

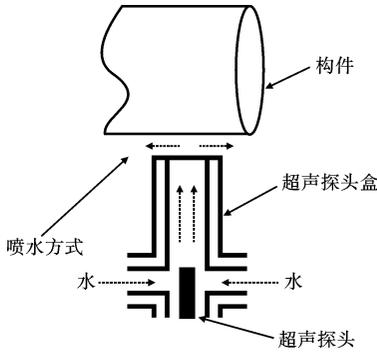


图 2 探头安装示意图

脉宽较宽,特征回波被界面回波覆盖,根据文献[2]中所述的检测方法,文中对于实心部分的近中心缺陷采用偏心值为 0 的方法检测,而对空心部分和实心部分的近表面缺陷则偏心一定的距离进行检测,可以避免界面回波的影响。

## 2 检测过程探头运动分析

文中根据检测方法和构件表面的实际情况考虑,采用三维自由移动的方式和精确的控制器对探头的运动和角度变换进行控制。根据一种对规则曲面结构工件进行超声检测时的超声路径规划和曲面重构技术,需要应用超声测距对探头的位置进行调整<sup>[3]</sup>,其在超声测距和探头调整位置时需要花费大量时间。此方法适用于大型构件的自动化检测,而文中的检测对象尺寸较小,所以采用的方法是根据构件已知参数对其检测路径进行计算。

因为构件表面形状较为规则,可以将检测点分布规划为:轴线方向上间隔一定的距离、圆周方向上间隔一定的弧长进行检测,取值时要满足检测分辨率,且不能降低检测效率。研究整个运动过程时,通过对弧锥面的实心部分进行计算,取偏心值为 0,这样可以将实心部分的近中心缺陷检测过程和需要偏心的情况下的检测过程分别进行分析。

### 2.1 实心弧锥面构件运动分析

整个构件的检测主要是弧锥面部分的运动点位计算。要确定整个轴切面中的几个重要参数。

如图 3 所示,轴切面中弧线的半径  $R$ 、细端实心部分的半径  $R_0$ 、开口端的最大半径  $R_1$ 、弧线在轴线方向上的长度  $L$ 、探头与构件表面之间的距离即水声程  $L'$  以及弧线两端的两个参考角度  $\alpha$ 、 $\beta$ 。

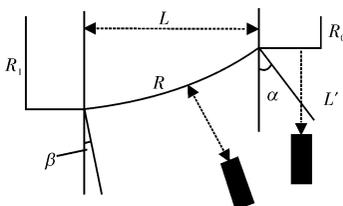


图 3 构件参数说明

其中  $\alpha$ 、 $\beta$  为 2 个未知的角度,这种情况下,就需要根据其他已知的数据计算得出,图 4 中,以  $O$  点为原点,取弧线的终点即  $D$  点的坐标为  $(x, y)$ ,利用  $x$ 、 $y$  通过计算来确定  $\alpha$ 、 $\beta$  的角度值。

通过分析可以得出:

$$x^2 + y^2 = R^2 \quad (1)$$

$$(x + L)^2 + (y - R_1 + R_0)^2 = R^2 \quad (2)$$

式(2)中  $L$ 、 $R_0$ 、 $R_1$  参考图 3,

由以上两式可以得到  $x$ 、 $y$ ,也就得到了  $\alpha$ 、 $\beta$  的值,这样就可以确定轴切面弧线上的运动点位。而且,探头运动轨迹是

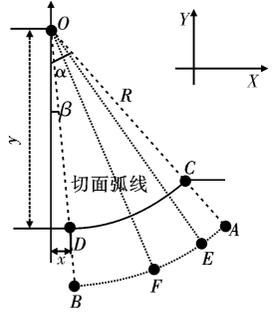


图 4 探头运动轨迹示意图

以  $(R + L')$  为半径的一段圆弧。可以计算出  $A(x_0, y_0)$  点的位置。

假设探头从一个已知位置  $E(x_1, y_1)$  移动到下一位置  $F(x_2, y_2)$ ,则可计算得  $E$  处相对于  $Y$  方向的角度  $\alpha_1$ :

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{x + L - (x_0 - x_1)}{R} \quad (3)$$

同理,可以得出  $F$  处相对于  $Y$  方向的角度  $\alpha_2$ ,则探头需要转动的角度就为  $\alpha_1 - \alpha_2$ 。通过角度  $\alpha_2$  计算得出  $F$  的位置。

### 2.2 偏心情况下的运动分析

通过对实心弧锥面结构检测的探头运动分析,已经可以确定探头在轴切面内的运动点位和轨迹。由于需要了解检测空心结构时的运动情况。要分析空心结构下的运动,就需要运用偏心检测的方法,如图 5 所示。首先要根据工件的结

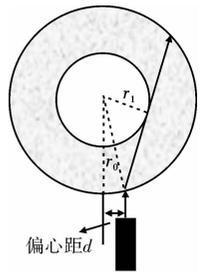


图 5 空心部分偏心检测示意图

构进行偏心量的计算。对空心构件进行偏心检测,需要使超声波进入构件后沿图 5 中所示的路径传播,达到对整个构件壁检测的目的。根据图 5 所示,水中超声波的声速为  $C_w$ ,弹体材料中的声速为  $C_l$ ,空心构件外半径为  $r_0$ ,内半径为  $r_1$ ,入射角为  $\alpha_w$ ,折射角为  $\alpha_l$ 。根据折射原理有:

$$\frac{C_w}{C_l} = \frac{\sin(\alpha_w)}{\sin(\alpha_l)} \quad (4)$$

$$\sin(\alpha_w) = \frac{d}{r_0}, \sin(\alpha_l) = \frac{r_1}{r_0} \quad (5)$$

根据式(4)和式(5)可以得出偏心距  $d$ :

$$d = \frac{C_w \cdot r_1}{C_l} \quad (6)$$

通过以上分析可知,在轴线方向上探头位置确定

的情况下,其偏心距只与空心部分的内径大小有关。

但是,由于工件本身的横切面是圆形的,在探头偏心一定距离后,水声程  $L'$  就会发生变化,引起回波信号位置的偏移。所以必须在偏心移动后,调整探头的高度  $h$  使其符合水声程固定不变的要求。根据式(5)有:

$$\alpha_w = \arcsin\left(\frac{d}{r_0}\right) \quad (7)$$

$$h = r_0[1 - \cos(\alpha_w)] \quad (8)$$

以上即为整个弧锥面结构超声检测的运动过程。

### 2.3 试验结果分析

应用此方法进行完整的超声在线检测实验,采集某构件的超声回波信号,曲面部分的典型回波信号如图 6 所示,图 6(a) 为偏心值为 0 时,曲面的超声回波信号,因为探头已经偏转一定的角度,而且表面是曲面,已经不存在上界面回波;图 6(b) 为偏心值为 0 时,存在一个近中心缺陷的回波信号;图 6(c) 为偏心距为  $d$  的,因为下界面回波能量受到偏心的影响,能量已经减小;图 6(d) 为偏心距为  $d$  的情况下,构件内部存在一个缺陷,有明显的缺陷回波信号。

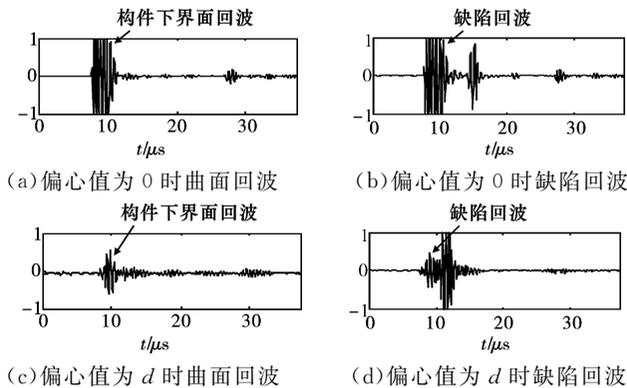


图 6 典型回波信号

根据图 6 中的回波信号分析,对曲面实心部分进行 0 偏心检测时,近中心缺陷的特征回波较为明显;对空心部分进行偏心检测时,界面回波的能量已经很小,相比较缺陷回波则较为明显,减少了界面回波对空心部分和近表面缺陷回波产生的影响。

### 3 结论

文中提出一种已知规则结构曲面的弹体构件超声检测时的探头安装与耦合方式及运动方法。文中考虑到被检构件的结构特点选用了有喷水功能的探头盒对探头进行安装;在分析超声检测路径时,将进行超声检测时探头的运动点位和路径计算得出,并预先将其设置,使探头按预定的路径在满足检测要求的所有检测点处,对弧锥面各部分进行超声信号采集。与文献中提及的检测方法相比,有效地减少了利用超声波测距和重新调整探头位置的时间,对于在线检测的效率有明显的提高。

#### 参考文献:

[1] 吴思源,周晓军,江键,等. 超声检测中曲面重构和路径规划方法研究[J]. 浙江大学学报, 2006, 40(5): 763-767.

[2] 戚励文,王召巴,金永,等. 合金弹体棒状坯料超声检测方法研究[J]. 弹箭与制导学报, 2009, 29(4): 269-272.

[3] 王艳颖,周晓军,车焕森,等. 超声检测中的路径受控仿形测量和曲面重构技术[J]. 中国机械工程, 2003, 14(6): 490-493.

[4] 李雄兵,杨岳,胡宏伟,等. 复杂型面构件超声检测中的路径校验方法[J]. 中国机械工程, 2010, 21(15): 1775-1779.

(上接第 178 页)

Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2002, 3(4): 261-270.

[2] 杨涛,李静,潘泉,等. 基于场景模型与统计学习的鲁棒行人检测算法[J]. 自动化学报, 2010, 36(4): 499-508.

[3] Zhang Jian-guo, Gong Shao-gang. People detection in low-resolution video with non-stationary background[J]. Image and Vision Computing, 2009, 27(4): 437-443.

[4] Wixson L. Detecting salient motion by accumulating directionally consistent flow[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 774-780.

[5] 李刚,邱尚斌,林凌,等. 基于背景差法和帧间差法的运动目标检测方法[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(8): 961-964.

[6] 甘明刚,陈杰,刘劲,等. 一种基于三帧差分 and 边缘信息

的运动目标检测方法[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(4): 894-897.

[7] James R Bergen, Peter J Burt, Rajesh Hingorani, et al. A three frame algorithm for estimating two-component image motion[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(9): 886-896.

[8] 刘翔. 基于光流场算法的运动估计方法研究[J]. 无线电工程, 2006, 36(4): 17-20.

[9] 夏瑜,吴小俊. 基于 MCD 和局部线性高斯模型的视频跟踪粒子滤波算法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(11): 2223-2229.

[10] Lucas Bruce D, Kanade Takeo. An iterative image registration technique with an application to stereo vision [C]// Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1981: 674-679.