

超声测断面形状误差分析及测试方法探讨

曹茂永 张逸芳

(山东矿业学院 济南 250031)

1996 年 4 月 25 日收到

摘要 本文对超声波斜入射情况下存在的测距误差进行了分析,给出了数学修正的公式,并通过实验进行了验证.对测量不同形状空间的测试方法进行了探讨.本文的讨论对提高测试精度和选择工程测试方案有参考意义.

关键词 超声波 误差 断面形状测试

Error analysis and correction for measuring the shape of cross-section using ultrasonic wave

Cao Maoyong, Zhang Yifang

(Shan dong Institute of Mining and Technology, Jinan 250031)

Abstract An error in range finding is analyzed and the corresponding compensation formula proposed when the ultrasonic wave is incident obliquely. A rectangular cross-section was measured as an illustration and the merit of the compensation formula tested. Method for measuring space of some other shapes is discussed. This paper has significance for raising precision of measurement and choosing engineering measuring procedure.

Key words Ultrasonic wave, Error, Shapes of cross-section measuring

1 引言

应用超声波可以测量大容积地下工程的形状,例如有井径井斜的测量和巷道断面形状的测量.它的基本原理是用超声波测距,测得断面上多点的距离.然后,用计算机进行数据处理,估计出断面的几何形状.由于换能器发出的超声波不是一条直线,而是有一定的指向性开角^[1],所以在用超声波评估断面形状时,会存在误差.这种由于换能器具有一定的开角而造成的测量误差,称之为开角误差.本文对超声波斜入射情况下测量引起的开角误差进行了

分析,给出了数学修正的公式,并用所得结论确定了有关测量空间的测试方法.本文的讨论对测试精度的提高和工程测试方案的选择希望是有益的.

2 斜入射时超声测距误差分析与修正

设换能器的开角为 2α .取换能器到平面的垂直线作为参考 y 轴,令 B 点为断面上的任一测点, y 轴到 OB 的夹角为 β .下面分 $\beta \leq \alpha$ 和 $\beta > \alpha$ 两种情况给予讨论.

(a) 当 $\beta \leq \alpha$ 时 (如图 1 所示):

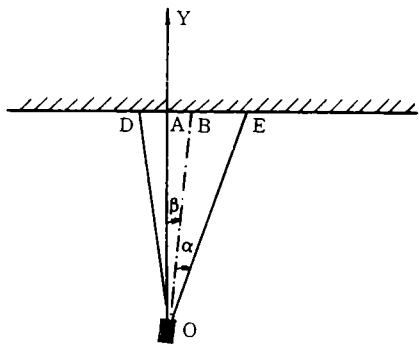


图1 换能器对平面扫描 ($\beta \leq \alpha$)

换能器中心线对准 B 点对 B 点进行测试, 这时换能器收到的回波应该是由 B 点附近小区域内各点反射回来的超声波. 由于 A 点与换能器的距离最近, 回波显示为由 A 点反射回来的, 因此实际测量值应为 OA (严格地讲, 超声测距自身也存在误差, 垂直平面反射时的测距误差一般有 1% 左右). 此时开角误差为:

$$\delta = X \cdot \left[\frac{1}{\cos \beta} - 1 \right] \quad (1)$$

式中: X 为测量值, 即为 OA 的长度, m .

由 (1) 式可看出, 当 $\beta \leq \alpha$ 时, 开角误差只与测量值 X 和 β 值有关; 测量值 X 越大 (即测量距离远), δ 越大; β 越大, δ 越大. 当 $\beta \neq 0$ 时, $\delta > 0$, 即斜入射时开角误差为正值, 这说明由于开角误差的影响使得测量值比实际值要小.

为了消除开角误差的影响, 可通过 (2) 式对测量数据进行修正: 取

$$Z = X + \delta \quad (2)$$

式中 Z 为真值. 修正后, 可提高测量的相对精度, 表达式为:

$$f(\beta) = \left[\frac{1}{\cos \beta} - 1 \right] \quad (3)$$

β 大时, 则提高测量的相对精度较显著, 当 $\beta = 30^\circ$ 时, $f(\beta) \doteq 15\%$, 即此时可使测量的相对精度提高 15% 左右.

(b) 当 $\beta > \alpha$ 时:

此时要收到回波已十分困难. 除非壁面十分粗糙, 凹凸不平, 或也有声束旁瓣起作用的情况. 鉴于此, 选择工程测试方案时应尽量避免这种情况的出现.

3 测试实例分析

本文对图 2 所示长方形断面进行了实际测试, 所用实验装置如图 3 所示. 超声换能器的频率为 41.5 kHz, 开角为 30° . 用 Mcs-51 单片机对数据进行采集, 并通过串行接口将数据传送到 PC 机进行数据处理. 当换能器指向水平左方时, 采第一个数据. 然后, 换能器按顺时针方向旋转, 每旋转 6° 采一个点, 对整个断面共测试 30 个点. 对其进行修正时, 可分成三直线段进行, 每条直线段都根据 (1) 式进行计算. 对 AB、BC、CD 段分别选取 OA、OE、OD 段作为参考 y 轴. 图 4 为对应于原始数据而画出的断面图. 图 5 为对应于补偿后的数据而画出的断面图 (仅画出 $\beta < 30^\circ$ 范围内的修正值).

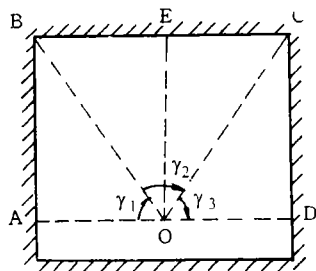


图2 长方形断面

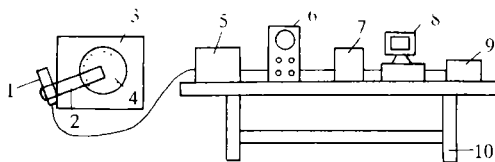


图3 实验装置

1. 超声换能器 2. 铁夹 3. 旋转机构
4. 光电码盘 5. 超声波收发电路
6. 示波器 7. 单片机系统
8. 微型机 9. 打印机 10. 工作台

程度, 根据情况确定, 是选用两个测量点, 以几何形式作直线方案, 还是选用沿垂直方向 ($\beta = 0^\circ$) 移动换能器的测量方案.

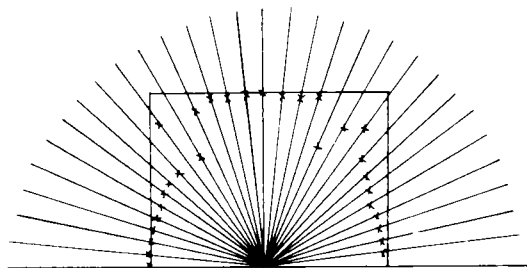


图 4 误差修正前的测量形状图

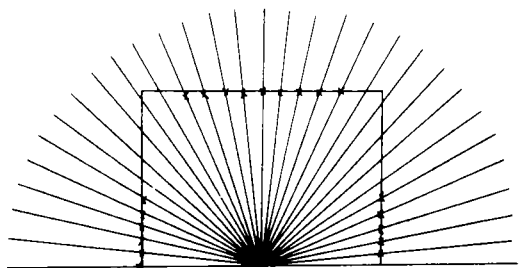


图 5 误差修正后的测量形状图

4 测试方法的选择

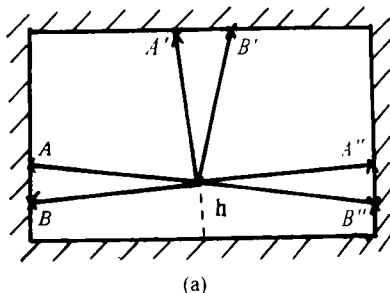
根据上述分析和实际测量结果可看出, 在 $\beta < 30^\circ$ 范围内, 修正值还是比较有效的, 可用来确定不同空间的测试方法.

如欲测图 2 所示的长方形断面, 实际上只要测量左、右、上三个方向的各二个小 β 角的距离, 就可用几何建线法得到比直接测大 β 角下的值有更高的精度, 如图 6 (a) 所示. 若需测的是半圆拱巷道, 如图 6(b) 所示, 则在 o 点测左、右两侧, 再在弧形圆心处 o' 点旋转测出弧形距离, 即需两个测试点才行. 若要测量钻井法凿井的井筒断面, 如图 6(c) 所示, 因断面并非是很好的直线, 那也只有选用在中心线上逐点移动换能器, 以近似垂直的方向来进行测量了.

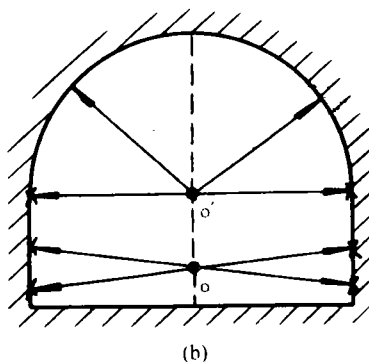
5 结论

在 $\beta \leq \alpha$ 时, 回波若是单一的、稳定的, 可以给出较好的修正结果

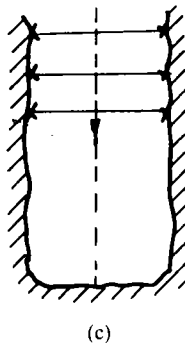
工程测试方案应考虑实际界面的平直



(a)



(b)



(c)

图 6 几种不同断面测试方法示意图

(a) 长方形断面 (b) 半圆拱巷道断面 (c) 井筒断面

参 考 文 献

- [1] 林向真, 明代都, 刘怀芳等. 应用声学, 1982, 1 (3):36 ~ 38.
- [2] 曹茂永. 巷道断面智能超声测量系统的设计与实现, 山东矿业学院硕士论文, 1993 年