



应用注释

2023年6月1日

采用厚度测量和缺陷检测解决方案测量弹性模量

这则应用注释说明如何采用厚度测量和缺陷检测解决方案测量弹性模量。敬请阅读这篇文章，了解如何确定非分散各向同性工程材料的杨氏弹性模量、剪切弹性模量和泊松比。



了解弹性模量

杨氏弹性模量被定义为材料在拉伸或压缩状态下的应力（单位面积的受力）与其相应的应变力（变形）之间的比率。

剪切弹性模量类似于材料在剪切应力作用下的应力与应变力之间的比率。

泊松比是指材料在某个轴向上受拉或受压时，其横向应变力与其在相应轴向上的应变力之间的比率。

这些基本的材料特性在许多制造和研究应用中颇受关注，而且可以基于测量到的材料声速和材料密度通过计算而确定。使用适当的设备，采用超声脉冲回波技术，可以很容易地测量材料的声速。

以下概括说明的一般程序适用于任何质地均匀、各向同性、非分散的材料（声速不会随着频率而更改）。这些材料包含大多数常见金属、工业陶瓷和玻璃，只要它们的横截面尺寸不接近检测频率波长即可。也可以测量硬质塑料的声速，如：聚苯乙烯和丙烯酸，虽然这类材料的声衰减性较高，测量起来比较困难。

橡胶材料由于具有较高的分散性和非线性弹性特征，其声速不能通过超声方式测量。软性塑料在剪切模式中同样会表现出很高的衰减性，因此通常不能被检测。对于各向异性材料，弹性特性会随方向变化，纵波/横波声速也是如此。要为各向异性材料样件生成一个完整的弹性模量矩阵，一般需要6组不同的超声测量值。材料的孔隙率或粗粒度会影响超声弹性模量测量的准确性，因为晶粒的大小与方向，或孔隙的大小与分布这些情况会在不考虑材料弹性的情况下，引起声速的变化。

模量计算所需的检测设备

测量用于模量计算的材料声速，通常使用精确测厚仪，例如：[38DL PLUS](#)仪器或[装配有单晶软件的45MG](#)仪器，也可以使用具有声速测量功能的探伤仪，如：[EPOCH 650](#)或[EPOCH 6LT](#)仪器。[72DL PLUS](#)超声测厚仪提供分辨率更高的渡越时间（TOF）测量，从而实现更准确的速度测量。

这种检测还需要两个适用于被测材料的探头，在纵波和横波模式下进行脉冲回波声速测量。常用的探头包括M112或V112宽带纵波探头（10 MHz）和V156垂直入射横波探头（5 MHz）。在检测多种常用金属和烧制陶瓷样件时，这些探头的检测效果非常好。在检测很厚、很薄或衰减性很强的样件时，需要使用不同的探头。某些应用还可能需要使用穿透技术，这种技术要求将成对的探头放置在被测材料相对的两侧进行检测。如要获得具体的探头建议和仪器设置方面的帮助，请联系我们。

被测样件可以具有任何几何形状，可以对穿过其某一部分（厚度）的声束的传播时间进行准确的脉冲回波测量。理想情况下，样件厚度应该至少有12.5 mm，具有光滑的平行表面，宽度或直径大于所使用探头的直径。在检测较窄样件时一定要小心，因为潜在的边缘效应可能会影响所测量的脉冲传播时间。在使用很薄的样件时，由于脉冲传播时间在短声程中的微小变化，分辨率会受到限制。因此，我们建议样件厚度至少有5 mm，最好更厚。在所有情况下，都必须了解被测样件的准确厚度。

采用厚度测量和缺陷探测解决方案计算模量的程序

使用适当的探头和仪器设置，测量被测样件的纵波和横波声速。横波测量将需要使用专门的高粘度耦合剂，例如SWC-2。38DL PLUS超声测厚仪或装配有单晶软件的45MG超声测厚仪可以根据输入的样件厚度，直接读出材料的声速。EPOCH系列探伤仪可以通过声速校准程序测量声速。无论哪种情况，都要按照仪器操作手册中推荐的程序进行声速测量。只需记录下纵波和横波探头发出的声波通过一个已知厚度区域所用的往返传播时间，并进行计算：

$$\text{Velocity} = \frac{\text{Thickness}}{\text{Round trip transit time} / 2}$$

对于高准确度速度测量，建议使用72DL PLUS超声测厚仪（+或-10皮秒）。根据需要转换单位，得到以英寸/秒或厘米/秒表示的速度（时间通常以微秒为单位，所以用in/uS或cm/uS乘以106，得到in/S或cm/S）。所获得的声速可能会被插入以下公式：

$$\text{Poisson's Ratio } (\nu) = \frac{1 - 2(V_T / V_L)^2}{2 - 2(V_T / V_L)^2}$$

Where:

V_T = Shear (transverse) velocity

V_L = Longitudinal velocity

$$\text{Young's Modulus } (E) = \frac{V_L^2 \rho (1 + \nu) (1 - 2\nu)}{1 - \nu}$$

Where:

V_L = Longitudinal velocity

ρ = Density

ν = Poisson's Ratio

关于单位的说明：如果声速以厘米/秒为单位表示，且密度以克/立方厘米为单位表示，则杨氏模量会以达因/平方厘米为单位表示。如果使用英制单位：英寸/秒和磅/立方英寸，计算以磅/平方英寸（PSI）为单位的模量，则需清楚作为力的单位的“磅”和作为质量单位的“磅”之间的区别。由于模量表示为每个单位面积的力，因此当使用英制单位进行计算时，必须要将以上公式的结果乘以一个质量/力的转换常量（1/重力加速），以获得以PSI为单位的模量。在另一种情况下，如果最初的计算使用了公制单位，则要使用以下转换因数：1 PSI = 6.89 × 10⁴ dynes/cm²（dyne为达因）。还有一种情况是输入以英寸/秒为单位的声速，以克/立方厘米为单位的密度，然后除以转换常量：1.07 × 10⁴，以获得单位为PSI的模量。

$$\text{Shear Modulus} = \frac{\text{Thickness}}{\text{Round trip transit time} / 2}$$

要获得剪切模量，只需将横波声速的平方乘以密度即可。再一次使用厘米/秒和克/立方厘米单位，获得以达因/平方厘米为单位的模量，或以英寸/秒和磅/立方英寸英制单位表达的模量，然后再将结果乘以质量/力的转换常量。

参考文献

要了解更多有关弹性模量的超声测量方面的信息，请参阅以下书目：

1. Moore, P.(ed.), Nondestructive Testing Handbook, Volume 7, American Society for Nondestructive Testing, 2007, pp. 319-321.
2. Krautkramer, J., H.Krautkramer, Ultrasonic Testing of Materials, Berlin, Heidelberg, New York 1990 (Fourth Edition), pp. 13-14, 533-534.

相关产品



38DL PLUS

用途广泛的38DL PLUS测厚仪既可与双晶探头一起使用，测量被腐蚀管道的厚度，也可与单晶探头一起使用，对薄材料或多层材料进行非常精确的厚度测量。

学习更多内容 ▶ [https://www.olympus-ims.com/\\$lang/38dl-plus/](https://www.olympus-ims.com/$lang/38dl-plus/)



45MG

45MG是一款配备有标准测量功能和多个软件选项的高级超声测厚仪。这款独特的厚度测量工具可与我们的全系列双晶和单晶测厚仪探头兼容。

学习更多内容 ▶ <https://www.olympus-ims.com/zh/45mg/>



72DL PLUS

72DL PLUS高级超声测厚仪小巧便携、易于使用，可以提供准确的厚度测量值。这款创新型厚度测量工具可与频率高达125 MHz的单晶探头相兼容，非常适合测定多层漆料、涂料和塑料等超薄材料的厚度。它可同时显示最多6层的厚度。

学习更多内容 ▶ <https://www.olympus-ims.com/72dl-plus/>