

承压类特种设备常用厚度测量技术*

王 灿

金华市特种设备检验检测院 浙江金华 321015

摘 要: 测厚是指测量物体的厚度。承压类特种设备基本都需要运用到测量物体的厚度以达到实际检验的要求。测厚看似简单,但要找到满足检验要求的测量方法,也是要费一番功夫的。而测厚的方法也是多种多样,包括机械方法测厚、超声测厚,电磁超声测厚,涡流测厚,霍尔效应测厚,相控阵测厚,X射线荧光法测厚,激光测厚等多种方法,且各有应用场合,因而选择一种适合的测厚方法尤为重要。

关键词: 超声测厚; 高温测厚; 脉冲电磁

Common thickness measurement techniques for pressure-bearing special equipment

Wang can

Jinhua Special equipment Inspection and testing Institute Zhejiang Jinhua 321015

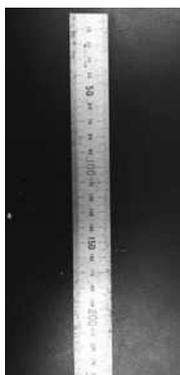
Abstract: Thickness measurement refers to measuring the thickness of an object. Pressure-bearing special equipment basically needs to be used to measure the thickness of objects in order to meet the requirements of the actual inspection. Thickness measurement seems simple, but it takes a lot of work to find a measurement method that meets the inspection requirements. There are also a variety of thickness measurement methods, including mechanical thickness measurement, ultrasonic thickness measurement, electromagnetic ultrasonic thickness measurement, eddy current thickness measurement, hall effect thickness measurement, phased array thickness measurement, X-ray fluorescence thickness measurement, layer thickness measurement, and so on. Therefore, it is particularly important to choose a suitable thickness measurement method.

Keywords: ultrasonic thickness measurement, high temperature thickness measurement, pulse electromagnetic

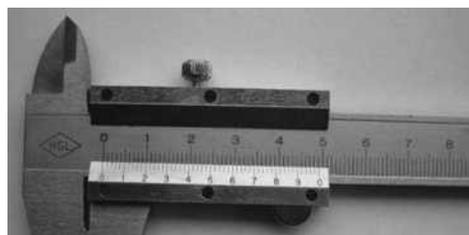
本文主要介绍承压类特种设备检验中常用的一些测厚方法。主要有常规的卡尺、千分尺等机械方法、接触式超声脉冲回波法(超声测厚)、磁性测厚等。

1 常规的卡尺、千分尺等机械方法

直尺、游标卡尺、焊接检验尺、千分尺等机械方法都可以测厚;



直尺



游标卡尺



焊接检验尺

作者简介: 王灿, 1984, 汉, 男, 浙江省金华市, 金华市特种设备检验检测院, 高级工程师, 辽宁石油化工大学化工过程机械专业硕士研究生, 研究方向: 化工过程机械。



千分尺

2 接触式超声脉冲回波法（超声测厚）

主要测量仪器就是市场上常见的数字直读式超声测厚仪，将起始脉冲与第一个背面反射回波间的时间或多次背面回波间的经过时间，直接转换成数字读出。因此仪器与探头的选择，仪器和各项指标要符合被检测对象特性的要求。主要考虑：材料、声速、结构、便携、稳定等方面。常见材料包括碳钢、合金钢、不锈钢、铸钢、铸铁、搪玻璃等。不同材料的具有声速。对大型工件或粗晶材料工件探伤，可选择功率大，灵敏度余量高，信噪比高，低频性能好的仪器。室外现场检测，重量轻、荧光屏亮度高、携带方便抗干扰能力好的仪器。

探头的选择包括：常规探头、小直径探头、大直径探头、高温探头、铸铁探头。测曲面工件时，采用曲面探头护套或选用小管径专用探头（ $\phi 6\text{mm}$ ），可较精确的测量管道等曲面材料。对于晶粒粗大的铸件和奥氏体不锈钢等，应选用频率较低的粗晶专用探头（2MHz）。测高温工件时，应选用高温专用探头（300—600℃），切勿使用普通探头。频率选择一般0.5~10MHz，常用2.5~5MHz。超声波检测灵敏度 $\lambda/2$ ，对钢用2.5~5MHz， λ 为：纵波2.36~1.18，则纵波检测厚度最小值为：0.6~1.2mm。频率高，分辨率高。频率高，衰减大，厚工件、粗晶材料选用低频。

耦合剂的选用，耦合—实现声能从探头向工件的传递，它可用探测面上声强透过率来表示耦合的好坏，声强透过率高，表示声耦合好。耦合剂—在工件与探头之间表面，涂敷液体、排除空气，实现声能传递，该液体即耦合剂。常用：水、机油、甘油、水玻璃、化学浆糊、纤维素、洗洁精等对耦合剂的要求，对工件表面和探头表面有足够浸润性，并有流动性，附着力强，易清洗，声阻抗大，应尽量和被检工件接近，对人体无害，对工件无腐蚀作用。来源广，价格低廉性能稳定。

特殊工况场合下的超声测厚，主要包括铸铁测厚、高温测厚、小径管测厚等。当前我单位常用的测厚设备均以超声波检测原理为主，尤其是碳钢、低合金钢等材料，超声测量技术较为成熟，例如型号AD3253B的普通超声测厚仪，测量Q345R、S30408牌号的材料，精度可以达到0.1mm，检测结果可靠。但是在铸铁烘缸等测厚

的时候就测不出来了。

由于铸铁烘缸的特殊性，铸铁超声测厚存在以下难点：

3 材料的特殊性

3.1 组织不均匀。由于铸铁表面与中心冷却速度不同而具有不同的组织，表面冷却快，晶粒细，声速大；中心冷却慢，晶粒粗大，声速小。

3.2 组织不致密。铸铁中的石墨含量和尺寸对声速有影响，石墨含量和尺寸增加，声速减小。

3.3 晶粒粗大。衰减与材质的晶粒密切相关，材质的晶粒粗大，散射衰减严重，被散射的超声波沿复杂的路径回到探头，显示假厚度。

3.4 声耦合性差。表面较为粗糙，灵敏度降低。

4 结构的特殊性

4.1 铸铁测厚时由于被测部位与地面不平行，导致无法接受到反射回波，无法得出测厚数值。

4.2 材料较厚、超声衰减严重。普通测厚仪由于发射强度低，铸铁衰减较大，造成工件底部的反射回波太小，无法触发测厚仪厚度显示。

高温测厚，承压类特种设备运行时，有些锅炉、容器、压力管道内的介质（无论液态还是汽态）处于高温状态，传导到金属外壁，温度仍有一两百度甚至更高。高温时，普通超声用耦合剂中的水分瞬间蒸发，于是失去“挤掉”空气间隙的效果。因此，仪器只能“看到”一闪即逝的反射信号、往往来不及辨识计算。为了保护探头底面不被“烫伤”和有效测量数值，应选择专用的高温耦合剂。高温耦合剂往往掺杂一些矿物颗粒，以确保探头底面不会直接接触到高温的被测面，但这也导致矿物颗粒在高温下（耦合剂水分被瞬间蒸发后）容易碳化并粘连到探头底面，反而影响测量（相当于探头底面有了“麻点”）。当测量温度较高时，耦合剂可以涂在探头上。

对于高温工件，应根据实际温度，进行声速修正。按修正后的声速预置或按常温测量后，将厚度值予以修正。现场实际检测中经常因忽视这方面的影响而出现测量结果偏差。

小径管测厚，关于被测面的状况。当探头置放在被测面表面，超声波以垂直于该接触点切线的方向传播，到底面（内壁），同样以垂直切线的方向原路反射——这个效果是最理想的。这个效果，在平面测量、以及大直径的筒、管、罐测量中，比较容易实现。但是对于直径比较小的管道，往往难以摆正探头位置。这样我们现场测试时需要做到：在一点处用探头进行两次测厚，在两

次测量中探头的分割面要互为 90° ，取较小值为被测工件厚度值。在同一位置左右摇摆探头，取所测最小值作为该工件厚度值。

5 磁性测厚

原理：磁性法是一种无损检测涂层厚度的测量方法，即利用磁感应的原理，从磁头经过非铁涂层而流入铁磁基体的磁通的大小，确定涂层厚度。如钢、铁、合金和硬磁性钢等基体为磁性金属基体；如铝、铬、铜、珐琅、橡胶、油漆、搪玻璃等为非磁性覆盖层。不需要耦合剂。

5.1 涂层测厚

涂层测厚仪可用来测量钢铁表面的搪玻璃层、油漆层、塑料、橡胶覆层，以及镍铬金属的有色金属电镀层厚度的测量。

5.2 脉冲电磁检测

基于电磁感应原理，用发射线圈向金属管道发送一次脉冲磁场，用接收线圈测量二次涡流磁场，根据不同规格、材质的管道在瞬变衰减特征上的区别来评估管体金属损失的一种检测手段。

通有恒定激励电流的线圈形成一次磁场，瞬间断开激励电流导致一次磁场瞬间变化，在管体中激励起随时间变化的衰变涡流，从而在周围空间产生与一次场方向相同的二次衰变磁场，二次磁场穿过接收线圈中的磁通量随时间变化，在接收线圈中激励起感生电动势，最终观测到用激励电流归一化的二次磁场衰变曲线——瞬变响应。

特征时间与被测金属壁厚有一定的函数关系：

$$\tau = c \cdot \mu \cdot \sigma \cdot d^2$$

其中， τ 是衰减时间； μ 为磁导率； σ 为电导率； d 为管道壁厚。

瞬变响应特征与金属的电导率、磁导率、厚度等因素相关，选定某一已知厚度区域的检测信号为参考信号，划分响应时窗，比较被检区域的检测信号与参考区域信号的衰变特性差别，就可获得待测区域与参考区域的厚度值变化。

脉冲电磁检测技术具有结构简单、成本低等优点，可在不停产、不拆保温层、不开挖地面的情况下对压力管道、压力容器进行腐蚀测厚，可以应用到其它检测方法难以进行检测的特殊场合（如高温、夹套等），节约了生产时间和大量的人力物力。

6 总体来说具有以下技术优势

6.1 隶属于电磁检测范围，具有无需直接接触、无需清理打磨检测表面、无需添加任何介质、无需放射源等优点。

6.2 脉冲激励瞬态感应信号信息量丰富，对其进行时域的瞬态分析，了解缺陷信号的时变特征进而得到检测结果。

6.3 富含丰富的频谱信息，一次扫描过程中即可实现对被测金属表面、近表面、亚表面等多个深度的测量。

6.4 对多层的大面积金属检测时，无需更换探头及改变设置参数，就可以分辨出结构的改变对于信号产生的影响。

6.5 检测速率和效率较高。

6.6 检测结果不会因为内部输送介质的改变而发生明显改变。

7 测厚异常的处理

检测时发现数值明显偏离预期值，当发现背面有腐蚀凹坑时，无法对内壁情况进行确认时，这个区域测量就得十分小心，可选择变换分割面角度作多次测量。或者应用超声波探伤仪进行辅助判断，必要时可以进行射线、内窥镜等方法进行确认。

分层等应该确定分层区域和边界，测量分层角度。

参考文献：

[1]陆奇，王凯，汪伟.特种设备中起重机械检测技术分析探讨[J].机械工程，2022，4

[2]丁丹.特种设备中起重机械检测技术分析探讨[J].工程技术与发展，2021，3

[3]晏春雨.浅谈施工升降机及起重机械安全控制技术[J].工程技术与发展，2020，2