

高温压力管道壁厚在线监测技术研究

李继承 杨宁祥 (广东省特种设备检测研究院珠海检测院, 广东 珠海 519000)

摘要: 借助超声波探伤仪、横波直探头、导波杆、紧固夹头等部件设计了一套高温管道壁厚监测装置, 借助超声导波脉冲反射的原理实现壁厚测量。采用单探头自发自收的检测方式, 使用长度为 195mm 的不锈钢导波杆作为高温散热和声传播介质, 对厚度为 10-40mm 的钢板试块进行了厚度检测。结果表明, 对于厚度为 10mm、18mm 和 40mm 试块, 本研究所设计的检测系统能够准确检测出钢板试块的厚度。本研究为高温管道壁厚腐蚀减薄的现场监测提供了有效的解决手段。

关键词: 高温管道; 壁厚减薄; 超声导波; 导波杆; 在线监测

1 研究背景

高温压力管道广泛应用于石油化工、煤化工、核电反应堆等能源工业领域。在长期服役过程中, 由于高温、高压、腐蚀、磨损等恶劣环境的影响, 管道壁厚减薄最终导致穿孔, 甚至引发爆炸事故的现象时有发生。如何对高温管道的壁厚减薄进行准确检测和在线监测是众多生产企业急需解决的难题。

超声波测厚技术是承压管道壁厚检测的常用手段, 目前可用的压电型超声波探头很难在高温条件下长期工作。当工作温度高于居里温度时, 压电材料会发生去极化, 同时由于检测对象、耦合剂和压电晶片的热膨胀系数不同而导致耦合效果变差。许多学者致力于研发出适应更高工作温度的压电材料, 如钛酸铋和铈酸锂材料的工作温度已经分别达到 550℃ 和 1000℃^[1], 但在高温条件下上述材料的检测灵敏度会随着工作时间的延长而逐渐降低。

电磁超声检测技术是另一种有望应用于高温管道壁厚监测的方法, 该方法的检测探头可以实现非接触式检测。目前已经有应用于高温管道壁厚检测的商用设备, 如乌克兰 UT-04 EMA 型高温腐蚀检测仪^[2]。如何进一步提高检测信号的信噪比和研发出能够长时间工作于高温环境的电磁超声探头, 是该技术进一步应用于管道壁厚在线监测时需要解决的问题。

采用超声导波杆作为缓冲介质进行高温管道壁厚监测是一种新近发展起来的技术, 其设计思路来源于管道液体流量测量领域。该方法的主要局限性在于如何提高声波在导波杆和被监测管道表面所形成的异质界面之间的穿透性, 同时通过优化导波杆结构降低声波在导波杆内部传播时的散射。为了提高导波信号的透射, 前期研究中普遍采用焊接的方法实现导波杆和被监测管道的连接。如河北工业大学的李金红等使用圆柱形金属棒作为导波杆, 采用全焊透形式将金属棒焊接到待监测部位。这种连接方式改变了被监测管道的结构, 焊接部位存在应力集中, 容易成为腐蚀和微裂纹的萌生区域。作为对这种连接方式的改进, 近来出现了一种导波杆和被监测管道之间干耦合的连接技术^[4], 借助装夹装置实现, 大大提高了该方法的现场适应性。

2 超声导波测厚原理

超声导波是一种沿着结构件有限的边界形状快速传播并被构件边界形状所约束、所导向的机械弹性波, 它具有检测距离长、覆盖范围广、检测效率高的优点。作为导波的一种, SH 波是在薄板结构中传播的一种超声导波, 其质点振动方向平行于板面而垂直于波的传播方向。SH 波在传播过程中由于频散现象的影响, 会产生多种不同的模态。不同模态 SH 波在传播时的相速度和群速度随着检测频率的变化而变化, 当检测频率和薄板厚度的乘积增大时, SH 波的相速度和群速度都逐渐趋近于板中横波的传播速度, 在钢铁材料中为 3200m/s。

超声导波测厚的原理与常规超声纵波测厚相同, 通过声波脉冲回波方式实现。图 1 所示为本研究所用导波测厚原理图。使用横波直探头激发 SH 导波, 在薄板状的导波杆中传播。探头与导波杆上表面之间通过横波耦合剂耦合, 导波杆下表面和待检测试块之间采用紧固装置连接, 两者之间以干耦合的方式实现声波透射。采用单探头自发自收的检测方式, 使用超声波探伤仪分别检测出试块上表面和下底面一次反射波信号对应的声波传播距离, 两者之差即为试块厚度。

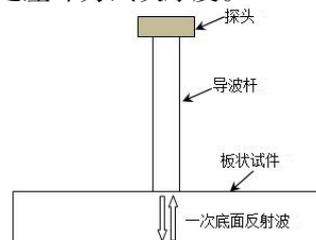


图 1 超声导波测厚原理图

3 试验研究

本研究所用试验系统包含超声波探伤仪、横波直探头、耦合剂、导波杆、紧固夹头、紧固螺栓、检测试块等。其中所用超声波探伤仪为汕头超声仪器研究所股份有限公司生产的 CTS-9008。横波直探头由日本奥林巴斯公司生产, 频率为 1MHz 和 5MHz, 其晶片直径分别为 25.4mm 和 12.7mm。耦合剂为日本奥林巴斯公司生产的横波检测专用耦合剂。导波杆的材质为不锈钢, 尺寸为 195mm × 20mm × 1mm。所用检测试块材质为不锈钢, 厚度为 10mm、18mm 和 40mm。图 2 所示为所用导波杆

与被检测试块连接结果和超声波探头的实物图。



图2 导波杆与被检测试块连接装置

完成整套试验装置的连接后，超声波探伤仪以自发自收的模式工作，图3所示为导波杆与被检测试块上表面反射信号的探伤仪屏幕截图。所选用的检测声程为300mm，所使用的导波杆长度为195mm，通过调整检测声速，将检测试块上表面的反射信号调整到195mm位置，完成声速的精确校准，此时声波的声速为3130m/s。



图3 检测试块上表面反射信号

图4所示为检测10mm厚试块时探伤仪的屏幕截图。使用5MHz横波直探头，对应的声程范围为100mm-400mm，检测时所用增益为67dB，其中紧邻试块上表面第一次反射信号的反射信号即为被检测试块下表面第一次反射信号，其对应位置为205mm，与试块上表面反射信号195mm的差值为10mm，即为被检测试块的厚度。在390mm位置处存在一个比较明显的反射信号，此信号对应于被检测试块上表面的第二次反射信号。其波形清晰，幅度达到满屏的60%，表明导波信号经导波杆传递到被检测试块上表面时具有很高的能量。



图4 厚度10mm试块检测波形图

图5所示为厚度18mm试块检测时探伤仪的屏幕截图。使用5MHz横波直探头，所用增益为77.5dB，声程范围为50mm-450mm，被检测试块下表面第一次反射信号对应位置为213mm，与试块上表面反射信号195mm的差值为18mm，检测结果准确。图6所示为厚度40mm试块检测时探伤仪的屏幕截图。所使用的检测探头为1MHz横波直探头，所用增益为64.5dB，声程范

围为100mm-400mm。被检测试块下表面第一次反射信号对应位置为235mm，与试块上表面反射信号195mm的差值为40mm，检测结果准确。

使用导波杆进行壁厚监测时，导波杆与被检测试块之间采用干耦合的方式，在一定程度上限制了透射到被检测试块内部的超声波能量。使用5MHz横波直探头检测时，声波信号频率较高，声束的指向性更好，但高频声波在材料内部的衰减情况更严重。同时5MHz探头的晶片直径为12.7mm，小于导波杆的宽度20mm，而1MHz探头的晶片直径为25.4mm，大于导波杆的宽度。因此，使用1MHz探头检测时比5MHz探头入射到导波杆内部的声波能量更强。当被检测试块的厚度增大到40mm时，5MHz探头底面反射信号幅度很低，容易混叠在噪声信号中。此时，换用1MHz横波直探头取得了较好的检测效果。1MHz探头与5MHz探头相比晶片尺寸和探头重量均明显增大，在现场应用时需要使用尺寸更大的上夹头，因此仅在大厚度管道的壁厚监测现场使用。



图5 厚度18mm试块检测波形图

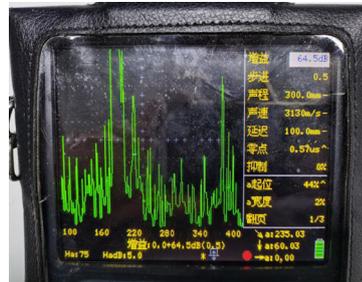


图6 厚度40mm试块检测波形图

4 结论

本研究开发了一套高温管道壁厚监测系统，采用尺寸为195mm×20mm×1mm的不锈钢导波杆作为传声介质，使用SH导波对厚度分别为10mm、18mm和40mm的不锈钢试块进行了厚度检测。利用SH导波无波形转换的特性，实现了试块厚度的准确测量。当被检测试块厚度较大时，为了提高试块底面反射信号的能量，需要使用低频大直径横波直探头。对于工作于不同温度的高温管道，可以通过改变导波杆的长度将检测探头位置处的温度降低到允许使用的范围。

参考文献:

- [1] 木合塔尔·买买提,阿毕提江·阿布力克木,杨钧等.高温测厚在线监测系统在克拉玛依石化公司的应用[J].石油化工设备技术,2018,39(5):53-56.
- [2] 李金红,张雅超,等.采用导波杆方式超声检测高温高压管道壁厚的方法[J].无损检测,2009,31(8):593-595.