Ultrasonic Thickness Measurement of Small Nozzle and Analysis of Influencing Factors

Feng Guo

Guangdong Special Equipment Testing Institute Shunde Testing Institute, Foshan, Guangdong, 528000, China

Abstract

At present, small nozzles account for a huge proportion in chemical plants, but there is a lack of standardized management requirements. During use, adverse consequences such as corrosion thinning and leakage are often overlooked. Measuring the thickness of small nozzles is an effective means of regularly monitoring the remaining wall thickness of nozzles and preventing leaks. The paper first elaborates on the necessity of measuring the wall thickness of small nozzles, analyzes the existing ultrasonic based methods for measuring the wall thickness of small nozzles, and provides the advantages and disadvantages of various ultrasonic measurement methods. It focuses on summarizing the pulse reflection ultrasonic detection method and analyzing the factors that affect the detection accuracy. Combined with engineering practice, it summarizes the optimal scheme for measuring the thickness of small nozzles, providing technical reference for effective monitoring of small nozzles.

Keywords

small takeover; measure the thickness; factor analysis

细小接管超声波测厚及影响因素分析

国锋

广东省特种设备检测研究院顺德检测院，中国·广东 佛山 528000

摘　要

目前细小接管在化工装置内占比巨大，但缺少标准规范的管理要求，使用过程中往往忽略其腐蚀减薄引起泄漏等不良后果。细小接管测厚是定期监测接管剩余壁厚、预防泄露的有效手段，论文首先阐述细小接管壁厚测定的必要性，针对现有细小接管壁厚测量的基于超声波法适用方法进行分析，给出各种超声波测量方法的优缺点，重点总结了脉冲反射法超声波检测方法，并重点分析影响检测精度的因素，结合工程实践总结了细小接管测厚优选方案，为细小接管有效监控提供技术参考。

关键词

细小接管；测厚；因素分析

1 引言

化工装置输送介质，尤其压力管道主管连接大量的细小接管（通常认为直径小于 50mm），但现实管理中没有安全监管，也往往是被忽视的部位，因腐蚀穿孔泄露案例屡见不鲜。有效解决细小接管存在的安全隐患，通常采用宏观检查，剩余厚度测定，以及表面的无损检测等手段解决。壁厚测定又不同于常规大直径、厚壁管道测量，往往需要更加科学的检测方法和手段，论文在分析现有常规测厚方法，分析比较各测厚方法对细小接管测量的适用性，重点介绍了脉冲反射法，分析影响测量精度的因素，提出细小接管壁厚测定的推荐做法，为细小接管运行管理提供一种监测手段。

【作者简介】国锋（1984–），男，中国黑龙江齐齐哈尔人，硕士，工程师，从事锅炉、压力容器、压力管道等承压类特种设备检验检测研究。

2 细小接管测厚必要性分析

细小接管多设置于主体管道的压力表、液位计、热电偶、排液导淋、排气放空以及仪表连接件等位置，其直径较小、管壁薄、数量多、检测手段有限、在役管理中易泄露难于监控等特点。施工过程中往往管理得不到规范重视，造成安装错用情况时有发生；运行管理时容易形成流动死区、沉积介质等，流场分析中发现易形成湍流、产生旋涡 [1]，且在有震动情况下腐蚀加剧。在压力管道定期检验中，只针对管道公称直径大于 50mm 的管道进行壁厚抽查，无法对细小接管进行有效检测，针对性进行检测能有效避免因腐蚀穿孔危险发生。使用单位在日常管理中，应用超声波测厚仪进行测厚，选择测量设备适应性不强，探头表面与接管表面接触不良等情况，声强透射率低，经常出现数据显示异常，如测厚仪无数据显示、显示值与接管壁厚相比明显偏大或偏小、数据时

刻变换，不能确定最终有效数据。

3 超声波测厚方法

目前国内外采用涡流、激光、射线等方法来进行厚度的测量，但这些方法在实际使用时限制条件很多，应用时需要解决很多技术问题，而且对管道内部生成垢层等形成多层介质厚度的测量都难以实现。超声波测厚技术是工程中厚度测量最常见方法，有效且方便快捷。超声波法按照原理分为共振法、穿透法和脉冲反射法等，其中脉冲发射法是最常用的方法。

3.1 共振法

共振法测厚是依据声波在受检工件内部传播时，当工件的厚度与超声波半径两者之间存在整数倍关系时，反射波与入射波两者之间的相位相同时，会出现共振现象，并由受检工件所发生的超声波驻波来判断出壁厚的方法。如果试件出现缺陷问题时，需要实时改变试件的共振频率，并计算出最终的试件厚度，通过采用该检测方法，可以确保最终检测结果的准确性。由于该方法所获得的检测结果具有较高的准确度，同时，所使用的设备操作简单，可以满足厚壁测量需求。目前，共振测厚使用方便，最小可测得 0.13mm，测厚能力还有待提高，存在共振式测厚、对工件表面平整度要求较高等缺点。

3.2 穿透法

穿透法指的是在被测件的两个相对面上安置好发射探头和接收探头，并根据穿透试件后的超声波能量变化来检测被测件内部质量，若被测件内部不存在缺陷，声波穿透后衰减就会小，则接收信号就会比较强，若被测件内部存有小的缺陷时，声波在传播过程中一部分会被缺陷阻碍，接收探头只能够接收到较弱的声信号，若被测件内部存有的缺陷面积大于声束截面时，声束会被缺陷完全阻碍，接收探头则几乎收不到发射的声信号，因此，穿透法是依据内部存有的缺陷对声束的阻碍作用而导致声能发生的变化来判断缺陷的有无与大小的检测方法。应用穿透法时，需使用专门的探头支架来实现发射与接收探头彼此间位置相对固定的限制，且该方法存在如定位精确度低、灵敏度差等问题，难以发现内部存有的小缺陷，且只能判断出缺陷的有无和大小，不能对缺陷的准确位置做出准确判断。

3.3 脉冲反射法

脉冲反射法是基于纵波对工件厚度进行测量，当超声波穿过耦合层抵达工件上下表面，通过准确测量声波在工件内传播的时间和速度，确定工件厚度值。脉冲反射法测量基本原理图如图 1 所示。超声测厚技术因适用性强、测量精度高、安全性好等优势 [2]，广泛应用在工业生产活动快速高精度测量场合中。

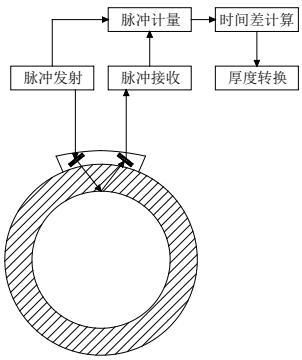

图 1 脉冲反射法测量基本原理

4 影响脉冲反射法超声测厚几个因素分析

①工件本身材质：由于工件的材质不同，导致其微观组织、晶粒度等不同，导致超声波传播速度受到一定的影响。

②工件表面状况：对在役细小接管表面常因外腐蚀原因伴有铁锈、粗糙度增大，管壁内表面腐蚀凹坑、较厚的沉积物等原因，导致超声回波幅值显著降低，背景噪声增大，信号信噪比大大降低，影响超声测厚准确性。

③小曲率管测厚影响：声波在界面经发射、折射，被探头接收。测量细小接管不同于平板测厚，探头发射晶片（发出声波）与被检工件轴线重合度（即上下两表面平行）是测量准确性的关键。小曲率管道测量时，易造成超声入射偏角增大，声波传播轨迹和接收端信号幅值将发生变化。

④测量设备：测量设备作为一个检测系统，需要主机和探头有效组合，探头晶片尺寸和频率大小直接影响声场分布。超声测厚通常采用直接接触式单晶直探头，也可以采用带延迟块的单晶直探头和双晶直探头 [3]。细小接管测厚用采用双晶直探头，根据工件曲率和厚度选择不同晶片尺寸和频率。耦合剂的使用填充了探头和被检工件之间的空隙，使超声波能够更有效进入工件内部，耦合剂的使用关系到测量结果误差值。

5 细小接管测厚技术措施

明确细小接管材质，直径和厚度范围，进行检测技术路线如图 2 所示。

①探头选择：单 / 双晶直探头，碳钢、合金管材料选用频率范围：5~7.5MHz；对于粗晶材料或高衰减材料宜选用低频探头（如 2.0~2.5MHz）；晶片尺寸推荐为 6mm 以下；必要时，采用点蚀试块以增加数据参考性。

②校准模拟试块准备：按照石化装置中常见规格如表 1 所示，利用游标卡尺测量各模拟试块的厚度，推荐选择带一定曲率的标准试块，覆盖受检工件厚度。

③工件表面温度：一般检测工件表面温度 0℃ ~50℃。

④接管测量表面粗糙度至少达到 25 μ m 级以上。

⑤测量中应遵循原则，一是保持与工件的充分接触，若出现测定值偏离较大或失真情况，变换探头分割面与接管

角度或通过 2 次在临近位置增加测量次数解决问题；二是耦合充分，排除探头与工件之间耦合剂空气间隙；三是探头与工件垂直，减少超声波能量损失；四是测量工件厚度较小时，如≤ 3.0mm 厚度，且内侧表面光滑，二次反射波较强，会出现两倍于工件厚度情况，此时选用带 A 超功能的测厚仪，可进行波形分析，提高信噪比，降低误判的概率。

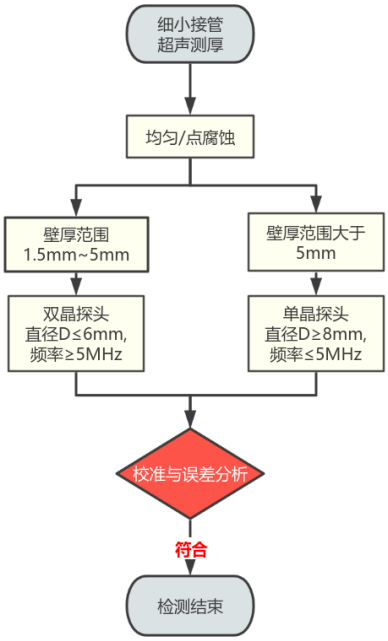

图 2 检测流程图

表 1 石化装置管道规格表

公称直径 DN（mm）	不锈钢壁厚系列				无缝钢管壁厚系列					
	5s	10s	40s	80s	10	30	STD	40	xs	80
15	1.65	2.11	2.77	3.73	2.11	2.41	2.77	2.77	3.73	3.73
20	1.65	2.11	2.87	3.73	2.11	2.41	2.87	2.87	3.91	3.91
25	1.65	2.77	3.38	4.55	2.77	2.90	3.38	3.38	4.55	4.85
40	1.65	2.77	3.68	5.08	2.77	3.18	3.68	3.68	5.08	5.08

6 结语

细小接管大量应用在各类化工装置中，在役阶段存在腐蚀穿孔等运行风险，通过优选测厚手段，科学合理规范接管测厚流程，为管道运行安全提供有效手段。

参考文献

[1] 钟建华,冉文燊,王春生.炼化装置压力管道小接管隐患分析及检测技术[J].化学工程与装备,2020(10):3.

[2] 王志超.管件壁厚超声测量影响因素研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2023.

[3] NB/T 47013.3—2023 承压设备无损检测 第3部分:超声检测[S].