

薄壁钢部件的相控阵检测国际标准解读

金磊

(烟台中集来福士海洋工程有限公司, 烟台 264000)

摘要: 针对锅炉管和其他小径管焊缝的相控阵检测, 国际标准化组织制定了相应的检测标准。对 ISO 20601—2018 标准的技术条款进行了解释, 为标准的使用者提供了参考。

关键词: 相控阵检测; 薄壁钢部件; 国际标准

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2019)09-0075-06

Interpretation of the ISO Standard for the Testing of Thin-Walled Steel Components Using PAUT

JIN Lei

(Yantai CIMC Raffles Offshore Engineering Co., Ltd., Yantai 264000, China)

Abstract: For the phased array ultrasonic testing of the welds of the boiler pipes and other small-diameter pipes, ISO has developed the corresponding testing standard, providing the basis for PAUT of such welds. This paper explains the technical clauses of ISO 20601—2018 standard, which provides a reference for users of this standard.

Key words: PAUT; thin-walled steel component; ISO standard

1 ISO 焊缝超声相控阵检测标准

目前 ISO 相控阵焊缝检测共有 3 个相关标准。

ISO 13588:2019《焊缝无损检测-超声检测-使用自动相控阵技术》是一个焊缝相控阵检测的方法标准, 适用于半自动或全自动相控阵超声检测最小壁厚为 6 mm 的金属焊接接头, 该标准为第二版, 是在 2012 年第一版基础上进行的技术修订。

ISO 19285:2017《焊缝无损检测-超声相控阵检测-验收等级》是一个焊缝相控阵检测的验收标准, 规定了最小壁厚为 6 mm 的铁素体钢全熔透焊缝的相控阵超声检测验收等级, 这些验收等级可应用于根据 ISO 13588:2019 进行分类指示的验收。

对于锅炉管道及常见的小径管, 典型的壁厚取值范围为 3.2~8 mm, 壁厚为 6 mm 以下的管道焊缝无法按照 ISO 13588:2019 进行检测。因此 ISO 于 2018 年制定并颁布了 ISO 20601:2018《焊缝无损检测-超声检测-使用自动相控阵技术检测薄壁钢

部件》, 规定了壁厚范围为 3.2~8 mm 的钢部件金属熔化焊接头的半自动或全自动相控阵超声检测的应用。当对壁厚范围为 6~8 mm 之间的焊缝进行相控阵检测前, 应在产品技术规范中规定所使用的检测方法标准和等级。

2 ISO 20601:2018 解读

2.1 适用范围

此标准规定了使用半自动或全自动相控阵超声技术检测壁厚为 3.2~8 mm 的钢部件熔焊焊接头的应用方法。如果壁厚范围超出最小值或最大值的要求, 应当采用此标准中的检测等级 D 级。

虽然此标准的板厚范围主要是基于锅炉管道典型壁厚的取值范围, 但其适用范围不局限于此。ISO 20601:2018 标准适用于母材和焊缝材料都是低合金或细晶粒钢的板、管和容器的简单几何形状全熔透焊接接头。超声参数与工件材料相关, 此标准中的超声参数是基于纵波声速范围为 $(5\,920 \pm 50) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 横波声速范围为 $(3\,255 \pm 30) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的钢材。声速不同会导致折射角和回波反射率不同, 当检测声速不同的材料时, 应考虑该因素。

收稿日期: 2019-04-24

作者简介: 金磊(1973—), 男, 工程师, 主要从事无损检测应用工作

通信作者: 金磊, leiellenking@126.com

此标准提供了对熔焊接头进行相控阵检测时,在检测、定位、定量和不连续表征方面的特定能力及局限性的指导;描述了用于验收目的的缺欠评估,包括位置、长度、高度和缺欠类型。但标准中未包含缺欠的验收等级,因此在检测前,各相关方需要明确缺欠的评估方法并制定验收标准。

2.2 检测等级

焊接接头的质量要求主要与材料、焊接工艺和服务条件相关。为了适应这些要求,标准规定了两个检测等级(C级和D级)。对于这两个检测等级,都强制性要求编制书面检测规程。

检测等级C级适用于薄壁部件的标准化检测方法,如从焊缝两侧进行检测或将焊缝磨平后从一侧进行检测。当采用检测等级C级时,可在演示试块上进行验证。

检测等级D级适用于经协商同意的特殊应用,如检测壁厚小于3.2 mm时,壁厚改变、检测温度超出 $0^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 范围时。当采用检测等级D级时,应在演示试块上进行验证。


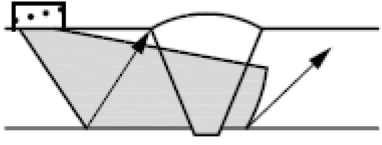

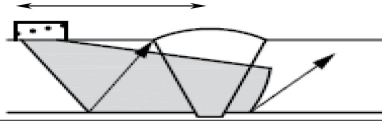
通常情况下,检测等级与质量等级相关。适宜的检测等级可在焊缝检测标准(如ISO 17635:2016《焊缝无损检测——金属材料通用规则》)、产品标准或其他规范中指定。当指定采用ISO 17635:2016时,推荐的检测等级在表1中给出。

表1 推荐的检测等级

ISO 20601:2018 中的检测等级	ISO 5817:2014《焊接-钢、镍、钛及其合金的熔化焊接头(束焊除外)-缺欠质量等级中的质量等级》
C级	B级,C级,D级
D级	特殊应用

表2给出了检测等级C级和D级采用单个检测模式时的最低要求(如果规范要求检测横向缺欠,应适当增加附加检测设置,可采用探头扭转或电子扭转波束扫描)。检测设置需要使用参考试块或演示试块进行验证。如果仅可从单面(如容器的外表面,小径管外表面)扫查,至少应采用半跨距和全跨距进行检测。如果可从双面(如顶部表面和底部表面)进行扫查,可以只使用半跨距。

表2 检测等级C级和D级采用单个检测模式时的要求

检测模式	检测等级		示例
	C级检测设置	D级检测设置	
相对于焊缝轴线固定距离的线扫描(沿线扫查)	双侧	指定	
相对于焊缝轴线固定距离的扇扫描(沿线扫查)	双侧或同侧的两个探头位置	指定	
扇扫描栅格扫查	单侧,移除焊缝盖面	指定	
扭转扫描	不适用	指定	

如果评估缺欠时仅基于波幅,在设置时,波束轴偏离焊缝坡口垂线的角度应不超过 6° 。如果因被测工件的几何尺寸(如焊缝盖面,窄间隙焊缝)导致偏离角度超出 6° ,应在扫查计划中描述测量修正过程,并阐述怎样保证 6° 以外的区域有足够的灵敏度覆盖。

2.3 书面检测规程

所有的检测等级都要求有书面检测规程。书面

检测规程应至少包含以下信息:检测目的和范围、检测技术、检测等级、人员资格鉴定,培训要求、所用的检测设备(包括频率、采样率、阵元间距、阵元尺寸)、参考或演示试块、校准和参考扫查示例、检测设备的灵敏度和范围设置、可接近性和检测表面条件、母材检测、指示的评估、验收等级或记录等级、报告要求、环境安全事宜以及扫查计划等。扫查计划应显示探头的位置、探头的移动方式和工件的覆盖,以提供一

个标准化的、可重复的焊缝检测方法。扫查计划还应包括焊缝的厚度和几何形状,使用的波束角度相对于焊缝中心线的波束方向,以及每条焊缝的检测区域。

2.4 检测设备及配件

此标准中没有给出检测设备及配件的具体参数要求,只是提出用于相控阵检测的超声波设备应符合 ISO 18563:2017《无损检测-超声相控阵设备的特性和验证》的要求。

探头可以使用纵波、横波和爬波,探头的频率最少应为 5 MHz,频率应与工件厚度相匹配。工件较厚时选用低频探头。

当检测弯曲表面时,探头与曲面的匹配应符合 ISO 17640:2017《焊缝无损检测-超声检测-技术检测等级与评定》的要求。探头应配备有探头靴,探头靴应能有效匹配检测面的曲率,探头靴底部与检测弯曲表面的间隙应不大于 0.5 mm。

因工件曲率对声束有影响,沿着焊缝方向的波束宽度应合适(例如:使用几何或电子波束聚焦),以便根据指定的验收标准来测定不连续的长度。

为了实现相控阵成像(数据采集)的一致性,应使用导向装置和扫查编码器。探头和焊缝中心线的距离应保持恒定,最大允许误差为 ± 1 mm。否则,应在参考试块上验证其适用性。

2.5 检测前准备

首先应确定检测区域,检测区域范围应规范确定。在制造阶段的检测,检测的区域应包括焊缝及焊缝每侧至少 $1.25 T$ (板厚)的母材区域(激光焊或电子束焊为 T),或经证实的热影响区宽度。应使用扫查计划来记录区域覆盖,并证实声束能够完全覆盖被检测区域。在适用时或 D 级检测时,应使用参考试块和演示试块来验证检测设置的能力。当检测复杂几何结构的焊缝时(如不等厚材料的焊接对接、材料以一定角度连接或管嘴焊缝),应仔细编制检测计划,并按照检测等级 D 级执行。

其次是扫查表面的准备。应清理足够宽度的扫查表面,以确保完全覆盖被检测区域。扫查面应平整,应无影响探头耦合的外来物(如锈蚀、松散氧化皮、飞溅、缺口、沟槽等)。检测表面的条件应保证探头和测试工件的表面间隙不得超过 0.5 mm。必要时,应通过修磨扫查表面来保证要求的满足。机加工工件的表面粗糙度 R_a 不应超过 $6.3 \mu\text{m}$,喷丸表面粗糙度 R_a 不应超过 $12.5 \mu\text{m}$ 。当有涂层(如油漆

等)且不能移除时,演示试块需带有相应的涂层,同时应指定和使用相应的修正措施。测试工件的表面温度应在 $0^\circ\sim 50^\circ$ 之间。如果测试工件的表面温度在该范围之外,应当使用特殊的高温相控阵探头和耦合剂,并验证仪器的适用性。

耦合剂在探头和测试工件之间提供稳定的超声传输。校准时使用的耦合剂应与后续检测过程中及检测后校准的耦合剂相同。

2.6 母材检测

扫查区域的母材应经过检测,确保母材中存在的不连续不会影响焊缝的斜声束检测。当母材中发现不连续时,应评估不连续对预定的斜声束检测的影响。必要时,需对检测技术做出相应的调整。当标准要求的超声检测覆盖率受到严重影响时,应考虑其他的检测技术(如射线检测)。

2.7 范围和灵敏度设置

每次检测前均应按照标准进行范围和灵敏度的设置。相控阵设置参数的任何变化,例如探头位置和偏转角度的变化,都需要重新设置。当使用 A 扫时,对于参考信号应进行优化,使其至少具有 12 dB 的信噪比,或者当使用相控阵图像时,信噪比至少为 6 dB。

(1) 范围或脉冲回波时间窗口的设置。用于脉冲回波信号的时间窗口应覆盖整个关注区域,并应在书面检测规程中做出规定,应确保声束的组合能够完全覆盖关注区域。

(2) 灵敏度设置。脉冲回波灵敏度设定时,需要先选择扫描模式(线扫描,扇扫描),然后对相控阵探头产生的每个声束(声束角,焦点等)进行灵敏度设置。当探头带楔块使用时,灵敏度设置时应使用同一楔块。相控阵探头可以使用不同的聚焦模式,如静态聚焦和动态深度聚焦(DDF)。当聚焦时,应对每个聚焦声束进行灵敏度设置。角度增益修正(ACG)和时间增益修正(TCG)能使所有声束角度的信号显示具有相同的波幅,从而实现增益修正。每个生成声束的参考灵敏度设置可以使用横孔来建立 DAC 或 TCG,包括传输修正。

(3) 设置的复核。每检测 4 h 和检测完成后,应进行设置复核。如果单个检测任务时间超过 4 h,则应在检测完成后进行复核设置。初始设定时如采用参考试块,复核时应采用相同的参考试块。或者,也可以使用体积较小、传输特性已知的试块。设备复核时应验证超声相控阵系统的所有相关通道、探头和电缆线,以确认其处于良好的工作状态,这些复

核应在每日检测前和检测后进行。如果系统的任何部分失效,应采取修正措施,并重新测试系统。如在

复核中发现与设置的初始值有偏离,应按照表 3 进行修正。

表 3 灵敏度和范围的修正

灵敏度		范围	
偏离 ≤ 4 dB	无需修正,可通过软件进行数据修正	偏离 ≤ 0.5 mm 或 2% 深度 范围,取较大者	无需修正
偏离 > 4 dB	复核整个测量链。如果不能发现偏离的原因,应修正设置,且从上次有效复核以来的所有检测必须重新进行	偏离 > 0.5 mm 或 2% 深度 范围,取较大者	修正设置,且从上次有效复核以来的所有检测必须重新进行

2.8 参考试块

检测等级 C 级和 D 级应使用参考试块,用来设置灵敏度及确认检测的完整性(如:覆盖)。推荐采用如图 1 和图 2 所示的参考试块。图 1 中 R 是与被测工件曲率接近的参考试块曲率(对于工件直径 $D > 600$ mm,试块的顶部可以采用平面),如考虑到超声声程和灵敏度的修正,给定的参考试块可覆盖到其自身曲率 70%~100% 的工件曲率范围。

图 1 中的试块优先用于时间延迟和 TCG 的设置及修正,也可用于制作 DAC 或 TCG,以及复核时间延迟(相对于探头靴磨损)和入射点。

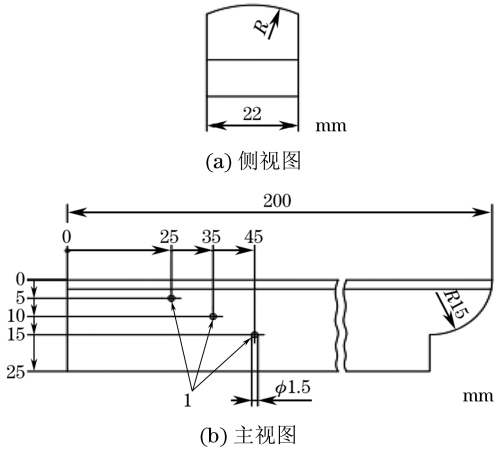


图 1 典型的横孔参考试块结构示意图

对于灵敏度设置,推荐使用如图 2 所示的环焊缝参考试块(图中, D_r 为参考试块的直径; t_r 为参考

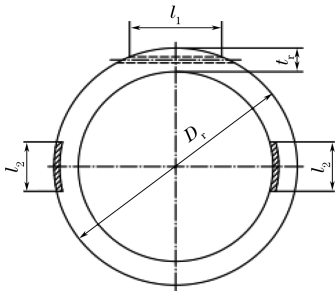


图 2 典型环焊缝参考试块结构示意图

试块的厚度; l_1 为横孔的长度; l_2 为刻槽的长度)。这种试块用于复核探头的偏置、复核检测区域、调整范围和检测灵敏度、复核设置以及进行传输修正等。试块的长度 ≥ 150 mm,厚度范围为 $0.8t_r \sim 1.2t_r$,直径 D 的范围为 $0.8D_r \sim 1.2D_r$ 。如果没有其他反射体或管末端的回波干扰,反射体可加工在一根完整的管子上或管子的一部分上。作为一种选择,可使用沿焊缝坡口朝向的平底孔(直径为 0.6 mm)。

参考试块的材料应选用与被检工件(考虑声速、晶粒结构和表面状态)相同材料组的材料。

参考试块的尺寸和形状要求。至少应有一个参考试块的厚度与被测工件相同,并符合规定的材料公差。参考试块的曲率应类似于被检工件的曲率,且在一定曲率范围内。对于圆柱形工件的纵向焊缝检测,应使用曲面参考试块,其直径应在被检工件直径的 0.8~1.2 倍范围内。对于直径不小于 300 mm 的被检工件,可采用平的参考试块。应注意,所有直径或曲率都应保证探头靴和参考试块的最大间隙不超过 0.5 mm。所选参考试块的长度和宽度应能确保所有人工反射体均可被正确扫查。

参考试块的参考反射体要求。图 1 所示的参考试块应至少包含 2 个横孔(SDH),图 2 所示的参考试块应至少包含 1 个横孔(SDH)和两个刻槽。两个刻槽也可用两个平底孔(FBH)或两个圆底孔(RBH)替代。横孔和刻槽的长度应不小于波束的宽度。表 4 给出了典型环焊缝参考反射体的推荐尺寸。

表 4 典型环焊缝参考反射体的推荐尺寸

反射体类型	尺寸/mm	长度/mm	尺寸和长度误差/%	工件厚度/mm
外表面积槽	高度为 0.75	10	± 10	$3.2 \leq t < 8$
内表面积槽	高度为 0.75	10	± 10	$3.2 \leq t < 8$
横孔	直径为 1.0	> 15	± 10	$3.2 \leq t < 8$

当刻槽用于灵敏度设置时,波束角度不同,波幅会受到严重影响,应避免使用可能发生波形转换的

波束角度。对于钢中的横波,入射角小于 33° 时会产生波形转换。对于角反射,如槽,或入射角大于 57° 的波束角也会受到影响。刻槽也可用于被测区域的覆盖演示。

2.9 检测等级 D 级用演示试块

当应用检测等级 D 级时,除了使用参考试块外,还需使用演示试块以确认检测的适当性(如覆盖和灵敏度设置)。如演示试块满足参考试块中指定的全部参考反射体,可取代参考试块。演示试块应选用与被检工件(考虑声速,晶粒结构和表面状态)相同材料组的材料制作。演示试块应含有与被测工件相同焊接工艺、相同焊材、相似几何形状的焊缝,演示试块的厚度应与被测工件相同。演示试块的曲率应该等于被测工件的曲率。演示试块的长度和宽度应能确保所有需要的参考反射体能被有效扫查。

演示试块应包含在真实焊缝内或焊缝处的反射体,这些反射体应能代表可能产生的缺陷。可用的两种反射体类型为:真实不连续(人为设计、焊接形成的缺陷)和人工不连续(机加工反射体,如槽、横孔和平底孔)。通常优先选用真实的不连续,或者也可使用人工不连续。不连续的类型和所需数量应得到合同双方的认可。

2.10 检测规程验证

当检测等级为 D 级时,要求进行规程验证。检测规程需要在演示试块上进行演示,来验证规程的可接受性。在首次检测前,应完成令人满意的工艺规程验证。满意的工艺规程验证包括:所有的反射体都能被检出、规定的波幅区分能力以及深度和宽度的覆盖验证。

2.11 焊缝检测

初始检测前,应使用扫查计划核实波束的覆盖,并在合适的参考试块上演示。对于探头位置相对于焊缝中心线可接受的偏差范围,应在检测规程中指定,并包含在扫查计划中,且在参考试块上标明。

沿着焊缝方向的扫查步进不应超过 0.5 mm。检测等级 D 级可以指定其他扫查步进,但需要证明所设的扫查步进是合理的。横向缺欠检测时,为确保被检测区域的覆盖,应选择垂直于焊缝方向的扫查步进。

在初始扫查时,检测到的一些指示可能需要附加评估,如偏置扫查和垂直于不连续扫查,应补充相控阵扫查设置。

选择的扫查速度应能产生令人满意的图像。扫查速度选择取决于许多因素,如延迟法则数量、扫查分辨率、脉冲重复频率、数据采样率和被检测区域等。扫查线的缺失意味着所用的扫查速度过高。在单次扫查过程中,最多允许总扫查线的 5% 缺失,但不允许相邻扫查线缺失。

当焊缝总长度范围内分为多个部分扫查时,在相邻扫查之间至少需要 20 mm 的重叠。当扫查环焊缝时,第一次扫查的始端和最后一次扫查的末端需要同样的重叠。

必要时,进行耦合效果监控。

2.12 数据存储

应使用基于自动计算机数据采集的装置来进行超声波检测。所有覆盖检查区域的 A 扫数据应存储,所有数据设置及设置参数应包含在数据记录中。所有数据都必须在指定的时间内存储。

2.13 相控阵数据的解释和分析

典型的相控阵数据解释和分析可按如下要求进行:评估相控阵数据的质量、识别相关指示、按照规定对相关不连续分类、根据规定确定不连续位置和大小以及按照验收标准评估不连续。

2.13.1 评估相控阵数据的质量

相控阵检测应产生令人满意的图像,以便进行更加可靠的评估。可通过耦合、范围(时基)设置、灵敏度设置、信噪比、饱和指示和采集的数据来评估。相控阵成像质量的评估需要有技能和经验的操作人员,操作人员应能确定不满意的成像是否需要重新进行数据采集(重新扫查)。

2.13.2 相关指示的识别

相控阵成像包括了焊缝中的不连续和被测工件的几何特征,为了区别指示和几何特征,需要了解被测工件的具体信息。为了确定一个指示是否是相关指示(由焊缝中不连续导致),应考虑反射体的形状、相对于噪声水平的信号波幅,并评估相控阵成像的模式或扰动情况。

2.13.3 相关指示的分类

相关指示的波幅、位置和模式包含了相关不连续类型的信息。相关指示应按照规定进行分类。

2.13.4 指示的位置和长度确定

应通过采集的数据确定不连续是平行于焊缝轴线、垂直于焊缝轴线,还是焊缝厚度方向上的位置。不连续的长度定义为沿着焊缝的尺寸。测长法应按照应用的验收等级执行。当检测小径管的环焊缝

2019 智能检测与评估大会通知(第一轮)

2019 年中国智能检测与评估大会将于 10 月 30 日~11 月 1 日在上海光大国际大酒店隆重举行。本次大会旨在畅谈“今天—明天”的检测技术,届时将有国内外的业内专家作精彩技术和学术报告,同期举行大会委员受聘仪式和参观 QC 展现场观摩,为科技创新、企业技术问题提供解决思路和启示。

智能检测与评估是一门既要面向工程实际问题的解决,同时又要面向科学问题的研究牵引的高度交叉的专业领域,科学研究越深入、科技水平越发达,工业化程度越高,对智能检测与评估的需求越明显和急迫。智能检测与评估的前身是无损检测,经历了“探伤”、“检验”、“检测”、“评估”、“检测与评估”等阶段,并不断升华和发展,目前的“智能检测与评估”有着比以往任何时候都要丰富的内涵和现实的需求。特别是随着现代科学技术的发展、工业化水平和工业化程度的全面提升,当下“XX 工业 4.0”、“XX 制造 2025”的推出,明天的检测与评估走向何方,已受到业内外人士的高度关注和广泛联想。在

下一次的科技与工业革命正向我们走来之时,谁走在前面、谁占得先机,谁将成为科技与工业技术的引领者和财富创造者。为此,大家都想通过自己的认知和理解,推动检测技术与与时俱进,再上新台阶,迈进新时代。借此次大会的契机,热烈欢迎广大业内外人士、学者、专家、研究人员、技术人员等积极参会和投稿,并欢迎业内外检测仪器设备器材生产销售企业和研发机构展示新作和提供会议支持。

报到日期:2019 年 10 月 30 日

会议日期:2019 年 10 月 31 日~11 月 1 日

会议地点:上海光大国际大酒店

大会主题报告(20 余场):涵盖了超声、射线、电磁、涡流、目视、综合、新技术、交叉技术等各个领域有关智能检测与评估最新进展、应用实例、技术心得、超前研发、未来技术规划等精彩内容。

会议费:1000 元/人,学生 500 元/人。

食宿费用自理。

联系方式:刘松平(13501205627)

刘菲菲(13661301257)

时,沿外表面测量的长度要比实际的不连续长度长,尤其是较深的深度(如根部不连续),可使用公式(1)进行修正。

$$l_c = l_s \times \frac{O_D - 2d}{O_D} \quad (1)$$

式中: l_c 为修正后的长度; l_s 为沿表面测量的长度; O_D 为外径; d 为指示深度。

2.13.5 指示的评估

当指示高度可被直接测量时,如利用衍射信号,当为首选。如无衍射信号存在或可用时,则使用波幅进行评估。

(1) 基于波幅和长度的评估。波幅降低法可用于指示高度和长度的确定,对每个特定指示信号的最大波幅应根据规定的此类指示的验收等级进行评估。

(2) 基于高度和长度的评估。指示的高度是指示在壁厚方向的尺寸,对于长度方向上高度不同的指示,其高度应为指示长度范围内,高度分离最大时的扫查位置。如果要求更高精度,可使用重建算法。

(3) 不连续的表征。指示的回波模式、位置和方向可用于确定相关不连续的类型。

2.13.6 基于验收标准的评定

所有相关指示分类、确定其位置和长度并进行评估后,按照规定的验收标准进行评定。指示可分为“接受”或“不可接受”。

2.14 检测报告

检测报告的内容至少包含以下信息:对 ISO 20601:2018 的引用;被测工件的相关信息;检测设备相关信息;检测技术相关信息;相控阵设置的相关信息;检测结果相关信息。

3 结语

ISO 20601:2018 为薄壁钢部件相控阵检测提供了依据,为检测结果的正确性评定奠定了基础。使用时应注意,此标准为检测方法标准,没有规定检测结果的验收。检测开始前,应在产品技术规范中,协商规定验收标准。