

ICS 27.040

CCS K 54

T/CSEE 0101.5—2023

团 体 标 准

T/CSEE 0101.5—2023

发电设备相控阵超声检测技术导则 第 5 部分：小径管异种钢焊接接头

Technical guidelines for phased array ultrasonic testing of power generation equipments — Part 5: Welding joint of dissimilar steel tube

团 体 标 准
发电设备相控阵超声检测技术导则
第 5 部分：小径管异种钢焊接接头

T/CSEE 0101.5—2023

*

中国电力出版社出版、印刷、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

*

2024 年 8 月第一版 2024 年 8 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 0.75 印张 22 千字

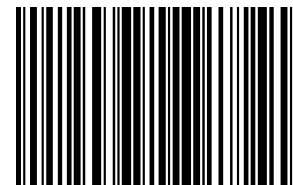
*

统一书号 155198 • 5411 定价 20.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电机工程学会官方微信



155198.5411

2023-12-29 发布

2024-03-29 实施

中国电机工程学会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般要求 1

5 检测 3

6 缺陷定量 4

7 缺陷评定和质量分级 5

8 检测记录和报告 6

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准化管理办法》《中国电机工程学会标准化管理办法实施细则》的要求，依据 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 T/CSEE 0101《发电设备相控阵超声检测技术导则》的第5部分。T/CSEE 0101已经发布了以下部分：

- 第1部分：通用要求；
- 第2部分：汽轮机转子；
- 第3部分：发电机护环；
- 第4部分：汽轮机焊接隔板；
- 第5部分：小径管异种钢焊接接头。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会金属材料专业委员会技术归口并解释。

本文件起草单位：西安热工研究院有限公司、中国大唐集团科学技术研究总院有限公司华北电力试验研究院、华北电力科学研究院有限责任公司、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、中国特种设备检测研究院、广州多浦乐电子科技股份有限公司、西安热工院锅炉压力容器检验检测研究所有限公司。

本文件主要起草人：王志强、秦承鹏、杜双明、季昌国、范雪松、郭德瑞、李素军、王鹏、尹璐、吴崑、李东江、王福贵、刘长福、侯召堂、王强、陈征。

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

发电设备相控阵超声检测技术导则

第 5 部分：小径管异种钢焊接接头

1 范围

本文件规定了小径管异种钢焊接接头相控阵超声横波检测和缺陷评定方法。

本文件适用于外径为 25 mm~89 mm，公称壁厚为 3.5 mm~15 mm 的小径管奥氏体钢与铁素体钢焊接接头在制造、安装及在役阶段的相控阵超声检测方法和质量分级。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测

GB/T 20737 无损检测 通用术语和定义

NB/T 47013.15 承压设备无损检测 第 15 部分：相控阵超声检测

T/CSEE 0101.1 发电设备相控阵超声检测技术导则 第 1 部分：通用要求

3 术语和定义

GB/T 12604.1、GB/T 20737、T/CSEE 0101.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

氧化沟槽 oxide channel

铁素体钢与奥氏体钢焊接接头经过一段时间的服役，在铁素体钢侧焊缝坡口处产生的氧化腐蚀沟槽。

4 一般要求

4.1 检测人员

4.1.1 应符合 T/CSEE 0101.1 的相关规定。

4.1.2 应熟悉被检异种钢焊接接头的显微组织特点及声学特性，了解典型的失效模式。对检测过程中可能出现的影响检测结果的问题能做出正确的分析、判断和处理。

4.2 检测设备和器材

4.2.1 相控阵超声检测仪

4.2.1.1 应符合 T/CSEE 0101.1 的相关规定。

4.2.1.2 单次可激发通道不应少于 16 个。

4.2.2 探头和楔块

4.2.2.1 应符合 T/CSEE 0101.1 的相关规定。

4.2.2.2 应采用物理自聚焦线阵或双阵探头，标称频率宜为 4 MHz~10 MHz，阵元数量不应少于 16 个，

晶片长度大于或等于 6 mm。

4.2.2.3 楔块曲率半径应与被检管子相同或相近，楔块曲率半径不应小于管子曲率半径，且楔块边缘与被检测管子的间隙不应大于 0.5 mm。

4.2.3 扫查装置

4.2.3.1 应符合 T/CSEE 0101.1 的相关规定。

4.2.3.2 检测前应对位置传感器进行校准和记录，校准时应使带位置传感器的扫查装置至少移动 100 mm 或焊接接头 1 个整圈，将检测设备所显示的位移和实际位移进行比较，其偏差不大于 1%。

4.2.3.3 宜具备半自动或自动扫查功能。

4.2.4 仪器和探头的组合性能

4.2.4.1 应符合 T/CSEE 0101.1 的相关规定。

4.2.4.2 采用频率为 5 MHz 的相控阵超声探头时，横向分辨力和纵向分辨力均不应大于 2 mm。

4.2.4.3 采用频率为 5 MHz 的相控阵超声探头时，扇扫角度范围测量偏差值不宜超过 $\pm 1^\circ$ ，扇扫角度分辨力不应大于 0.5° 。

4.2.5 耦合剂

4.2.5.1 应具有良好的透声性能和润湿能力，且对人员、管子和环境无害，易清除，宜采用甘油、齿轮油、化学浆糊等较高黏度的耦合剂。

4.2.5.2 实际检测采用的耦合剂应与检测系统设置时的耦合剂相同。

4.2.6 试块

4.2.6.1 标准试块

采用的标准试块为 A 型相控阵试块、B 型相控阵试块，应符合 NB/T 47013.15 的规定。

4.2.6.2 对比试块

采用 PGS 系列试块或其他等效试块，应符合 NB/T 47013.15 的规定。

4.2.6.3 模拟试块

模拟试块的材质、厚度、坡口、焊接工艺等应与被检测对接焊缝相同或相近，其中至少包括焊缝两侧坡口处模拟缺陷，两侧熔合线处外壁、内壁缺陷及焊缝中间位置、表面位置缺陷，用于工艺验证。

4.3 检测环境

4.3.1 应符合 T/CSEE 0101.1 的相关规定。

4.3.2 被检管子表面温度范围宜为 $0^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ ，否则应验证检测工艺的适用性。

4.3.3 检测时，被检管子与试块的温度差不应大于 15°C 。

4.3.4 应遵守安全工作有关规定，当检测条件符合安全作业条件和本文件的工艺要求时，方可进行检测。

4.4 检测系统的校核与复核

4.4.1 每次检测前均应对检测系统的灵敏度和定位精度进行校核。

4.4.2 遇到下列情况之一时，应及时对检测系统进行灵敏度复核和定位精度复核：

- a) 更换检测仪器、探头、楔块、连接线缆或耦合剂时；

- b) 连续工作超过 4 h 时；
- c) 检测人员怀疑时；
- d) 检测结束时。

4.4.3 应采用与初始检测设置时的同一试块进行复核。若复核发现与初始设置值有偏离，则应按照表 1 执行。

表 1 偏离和纠正

参数	偏离值	纠正措施
灵敏度	≤3 dB	通过软件进行纠正
	>3 dB	重新设置，并重新检测上次复核以来所检测的区域
深度	≤1 mm	不需要采取措施
	>1 mm	找出原因重新设置。若在检测中或检测后发现，则纠正后重新检测上次复核以来所检测的区域
角度（声束覆盖）	≤1°	不需要采取措施
	>1°	找出原因重新设置。若在检测中或检测后发现，则纠正后重新检测上次复核以来所检测的区域

5 检测

5.1 检测准备

- 5.1.1 检测前应了解被检异种钢焊接接头的材质、规格、坡口形式及焊接工艺，对在役异种钢焊接接头还应了解服役时间、运行状况、历次检测记录等相关资料。
- 5.1.2 探头移动区域根据工艺设置及焊接接头所处的空间条件确定，且探头移动区域不应有影响检测的氧化皮、油漆等异物，表面粗糙度 $Ra \leq 12.5 \mu\text{m}$ 。
- 5.1.3 异种钢焊接接头应经外观检查合格，不应存在咬边、不连续等结构。
- 5.1.4 检测前应在扫查面上做出标记，主要包括扫查起始点、扫查方向、探头前沿距焊缝中心线的位置参考线。
- 5.1.5 检测前应在仪器内设置焊缝坡口图。

5.2 检测方法的选择

- 5.2.1 制造、安装阶段，检测区域厚度包括管子厚度加上焊缝余高，宽度包括焊缝本身加上焊缝熔合线两侧各 5 mm；在役阶段应主要检测坡口区域。
- 5.2.2 根据现场检测空间条件，相控阵超声探头参数选择可参考表 2。

表 2 探头参数选择推荐表

阶段	检测面条件	标称频率 MHz	激发孔径长度 mm
制造、安装	单面双侧	4~5	7~10
在役	单面双侧	5~10	7~10
	单面单侧	7.5~10	7~10
		4~5	7~10

5.3 扫查方式

- 5.3.1 一般采用扇形扫描。

5.3.2 可用一次波和二次波同时设置的扇形扫描进行扫查。对于管子厚度为 3.5 mm~6 mm 的焊接接头，也可采用多次波分开设置的扇形扫描或线扫描进行检测，但应经工艺验证后实施。

5.3.3 扫查时应在单面双侧进行。由于结构原因，无法在双侧进行扫查时，选用频率为 7.5 MHz~10 MHz 的探头检测焊缝本侧坡口区域，再选用频率为 4 MHz~5 MHz 的探头重点检测焊缝对侧坡口区域。

5.3.4 由于现场条件限制，不能采用扫查装置的异种钢焊接接头，可采用手动锯齿形或沿线扫查，发现缺陷后应在缺陷位置采用时间模式编码器并结合扇形扫描+纵向垂直扫查进行图谱采集。

5.3.5 沿焊缝周向进行纵向垂直扫查，重叠区域不小于 20 mm。

5.3.6 机械扫查时步进量不大于 0.5 mm。

5.4 聚焦参数的设置

5.4.1 根据坡口形式及检测部位，选择聚焦方式。采用深度聚焦时，一般将焦点设定在壁厚的 2 倍~3 倍；采用声程聚焦时，将焦点设置在坡口区域；采用投影聚焦时，将焦点设置在坡口区域或焊缝中心。

5.4.2 对缺陷进一步检测时，宜将聚焦焦点设置在缺陷处。

5.5 灵敏度的选择

5.5.1 采用对比试块 GS 试块或其他等效试块，使 $\phi 2$ 横通孔反射波幅达到满屏高度的 80%，制作 TCG（距离增益补偿）曲线，不同管壁厚度的 TCG 灵敏度选择应符合表 3 的规定。

5.5.2 TCG 曲线应按所用探头和仪器在试块上实测的数据绘制而成。评定线与定量线之间（包括评定线）为 I 区，定量线与判废线之间（包括定量线）为 II 区，判废线及其以上区域为 III 区。在显示屏上，评定线高度不低于显示屏满刻度的 20%。

表 3 灵敏度选择

公称壁厚 d mm	评定线	定量线	判废线
$3.5 \leq d < 6$	$\phi 2 -14$ dB	$\phi 2 -14$ dB	$\phi 2 -8$ dB
$6 \leq d \leq 15$	$\phi 2 -16$ dB	$\phi 2 -10$ dB	$\phi 2 -4$ dB

5.6 检测实施

5.6.1 检测时应根据管子表面状况进行耦合补偿，一般为 2 dB~4 dB。

5.6.2 探头与管子表面应耦合良好，扫查速度不宜超过 50 mm/s。

5.6.3 采用沿线扫查时，探头位置与设定参考线位置的偏差不应大于 2 mm。

5.6.4 沿焊缝长度方向上不能存在连续 1 mm 以上的数据丢失。

5.6.5 数据记录长度与实际扫查长度偏差不应大于 5%，且最大为 5 mm。

6 缺陷定量

6.1 缺陷定量基准

缺陷定量以评定线为基准，对于最大回波波幅达到或超过评定线的缺陷，应确定其深度、波幅和指示长度、高度（若需要）等，如有需要，可采用各种聚焦方法提高定量精度。

6.2 缺陷深度

获得最大反射波幅的位置为缺陷深度。

6.3 缺陷波幅

对于需定量的缺陷，为确定缺陷的波幅，应增加锯齿形扫查，以此时获得的最大波幅 [不同检测面

(侧)] 作为缺陷的波幅。

6.4 缺陷指示长度

6.4.1 结合 A 扫描波幅在 D 扫描或 C 扫描视图上进行缺陷指示长度测定。

6.4.2 当缺陷反射波只有一个高点，且位于定量线以上时，用 -6 dB 法测量其指示长度。

6.4.3 当缺陷反射波峰值起伏变化，有多个高点，且均位于定量线以上时，应以端点 -6 dB 法测量其指示长度。

6.4.4 当缺陷最大反射波幅位于评定线以上时，将探头左右移动，使波幅降到评定线，以用评定线绝对灵敏度法测量缺陷指示长度。

6.5 缺陷自身高度

6.5.1 结合 A 扫描波幅在 S 扫描或 D 扫描视图上进行缺陷自身高度测定。

6.5.2 选择图像上任一点采用 -6 dB 半波高度法进行测定，也可采用当量法及其他有效方法进行测定。

6.5.3 以任一点测定的最大值作为该缺陷的自身高度。

6.5.4 多个相邻缺陷的定量相邻两个或多个缺陷显示（非圆形），当其在长度方向间距小于其中较小的缺陷长度、在宽度方向间距小于 5 mm，且在厚度方向间距小于其中较小的缺陷自身高度时，应作为一个缺陷处理，该缺陷深度、缺陷长度及缺陷自身高度按如下原则确定：

- a) 缺陷深度：以两缺陷深度较小值作为单个缺陷深度。
- b) 缺陷波幅：以两缺陷波幅大者作为单个缺陷波幅。
- c) 缺陷指示长度：两缺陷在长度投影上的前、后端点间距离。
- d) 缺陷自身高度：若两缺陷在长度投影无重叠，则以其中较大的缺陷自身高度作为单个缺陷自身高度；若两缺陷在长度投影有重叠，则以两缺陷自身高度之和作为单个缺陷自身高度（间距计入）。

7 缺陷评定和质量分级

7.1 公称厚度为 $3.5 \text{ mm} \leq d < 6 \text{ mm}$ 的焊接接头的质量评定

7.1.1 根据对接接头存在的缺陷类型、缺陷波幅的大小及缺陷的指示长度，缺陷评定为合格（I 级）和不合格（III 级）两类。

7.1.2 凡判定为裂纹、未熔合、根部未焊透及密集性的缺陷显示，评为 III 级。

7.1.3 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为 III 级。

7.1.4 凡在评定线（含评定线）以上、判废线以下且指示长度大于 5 mm 的缺陷显示，评为 III 级。

7.1.5 单个条形缺陷自身高度大于 1/4 壁厚的显示，评为 III 级。

7.1.6 铁素体侧坡口处氧化沟槽反射波幅在定量线以上的判定为 III 级，并在报告中注明。

7.2 公称厚度为 $6 \text{ mm} \leq d \leq 15 \text{ mm}$ 的焊接接头的质量评定

7.2.1 凡判定为裂纹、坡口未熔合、根部未焊透的缺陷显示，评为 III 级。

7.2.2 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为 III 级。

7.2.3 凡在评定线（不含评定线）以下的缺陷显示，评为 I 级。

7.2.4 铁素体侧坡口处氧化沟槽反射波幅在定量线以上的判定为 III 级，并在报告中注明。

7.2.5 对于评定线以上、判废线（不含判废线）以下的缺陷显示评定：

- a) 对于制造和安装阶段的焊接接头，应按照表 4 的规定进行评级。
- b) 对于在役阶段的焊接接头，应按照表 5 的规定进行评级。

表 4 制造和安装阶段的异种钢焊接接头质量分级方法

质量等级	反射波幅所在区域	单个缺陷指示长度	缺陷的累计长度
Ⅰ 级	Ⅰ	≤40 mm	长度小于或等于焊缝周长的10%，且小于 20 mm
	Ⅱ	≤20 mm	
Ⅱ 级	Ⅰ	≤60	长度小于或等于焊缝周长的15%，且小于 30 mm
	Ⅱ	≤30 mm	
Ⅲ级	Ⅰ	超过Ⅱ级者	
	Ⅱ		
注：母材厚度不同时，取薄侧厚度。			

表 5 在役阶段的异种钢焊接接头质量分级方法

质量等级	管子厚度 d mm	单个缺陷 mm			多个缺陷
		长度 $l_{\max}$	高度 h_2	缺陷高度 h_1 ($l>l_{\max}$)	
Ⅰ 级	$6\leq d\leq 8$	t	1.5	1.0	若多个缺陷其各自高度 h 均为 $h_1<h\leq h_2$ ，则在任意 $12d$ 范围内累计长度不得超过 $2d$ 且最大值为 50 mm
	$8<d\leq 15$	8	2	1.0	
Ⅱ 级	$6\leq d\leq 8$	t	1.5	1.0	若多个缺陷其各自高度 h 均为 $h_1<h\leq h_2$ ，则在任意 $12d$ 范围内累计长度不得超过 $3d$ 且最大值为 80 mm
	$8<d\leq 15$	t	2	1.0	
Ⅲ级	$6\leq d\leq 15$	超过Ⅱ级者			
注：母材厚度 t 不同时，取薄侧厚度。					

8 检测记录和报告

8.1 检测记录

应按照现场操作的实际情况记录检测过程的有关信息和数据。检测记录除应符合 T/CSEE 0101.1 的规定外，还应至少包括以下内容：

- 委托单位名称、设备名称、焊接工艺（如坡口形式等）、运行累计时间、运行温度。
- 管子规格、材料牌号及检测时的表面状况。
- 检测设备及器材：检测仪型号及编号、探头型号及编号、扫查装置、楔块、试块、耦合剂等。
- 检测工艺参数：检测标准、检测方法、检测灵敏度、聚焦参数、扫查方式、扫查起始点定位等。
- 检测数据：数据文件名称、缺陷位置及尺寸、缺陷部位的图像。
- 检测人员的签名和日期。

8.2 检测报告

应根据检测记录出具检测报告。检测报告除应符合 T/CSEE 0101.1 的规定外，还应至少包括以下内容：

- 委托单位名称、设备名称。
- 检测标准。
- 焊接接头信息：规格、材料牌号。

- d) 检测设备及器材：检测仪型号及编号、探头型号及编号、扫查装置、试块、耦合剂。
 - e) 检测工艺参数：检测方法、扫查方式、聚焦参数、检测灵敏度。
 - f) 缺陷的位置及分布图。
 - g) 检测数据：数据文件名称、缺陷位置及尺寸、缺陷部位的图像。
 - h) 检测结论。
 - i) 检测人员和审核者的签名及技术级别。
 - j) 检测及审核日期。
-