

中国工程建设标准化协会标准

民用建筑装配式钢结构检测技术规程

Technical specification for inspection of fabricated steel structures of civil buildings

（征求意见稿）

XXXX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

民用建筑装配式钢结构检测技术规程

Technical regulations for inspection of fabricated steel structures for civil buildings

T/CECS XXX:2020

主编单位：广州市建筑科学研究院集团有限公司

广州建设工程质量安全检测中心有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2022 年 XX 月 XX 日

XXXX 出版社

2022 北京

前言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2019 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2019]22 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 8 章和 5 个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、材料检测、表面质量检测、内部质量检测、涂层质量检测、其他质量检测。

本标准由中国工程建设标准化协会检测与试验专业委员会归口管理，由广州市建筑科学研究院有限公司、广州建设工程质量安全检测中心有限公司负责具体技术内容的解释。在使用过程中如有意见或建议，请寄送解释单位（广东省广州市白云区白云大道北 833 号；邮政编码：510440，E-mail: hesonghu79@126.com）。

主编单位：

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	4
3 基本规定.....	5
4 材料检测.....	10
4.1 一般规定.....	10
4.2 钢材原材.....	10
4.3 焊接材料.....	10
4.4 紧固件.....	10
4.5 涂装材料.....	10
4.6 其他材料.....	11
5 表面质量检测.....	12
5.1 一般规定.....	12
5.2 磁粉检测.....	12
5.3 渗透检测.....	15
6 内部缺陷检测.....	19
6.1 一般规定.....	19
6.2 超声波检测.....	19
6.3 相控阵超声波检测.....	30
6.4 衍射时差法超声波检测.....	41
7 涂层质量检测.....	55
7.1 一般规定.....	55

7.2 防腐涂层厚度检测.....	55
7.3 防火涂层厚度检测.....	58
7.4 涂层附着力检测.....	61
8 其他质量检测.....	63
8.1 一般规定.....	63
8.2 高强度螺栓终拧扭矩检测.....	63
8.3 钢材厚度检测.....	63
8.4 结构整体性能检测.....	65
附录 A T 型角焊缝直探头检测.....	66
附录 B TOFD 检测仪器和探头性能指标要求.....	67
附录 C TOFD 仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角测量方法.....	69
附录 D TOFD 对比试块.....	70
附录 E TOFD 检测的波束覆盖的仿真和计算.....	74
本规程用词说明.....	76
引用标准名录.....	77
条文说明.....	78

Contents

1 General provisions.....	1
2 Terms and symbols.....	2
2.1 Terms.....	2
2.2 Symbols.....	4
3 Basic regulations.....	5
4 Material testing.....	10
4.1 General provisions.....	10
4.2 Steel raw materials.....	10
4.3 Welding material.....	10
4.4 A fastening.....	10
4.5 Coating materials.....	10
4.6 Other materials.....	11
5 Surface quality inspection.....	12
5.1 General provisions.....	12
5.2 Magnetic particle testing.....	12
5.3 Penetrant testing.....	15
6 Internal defect detection.....	19
6.1 General provisions.....	19
6.2 Ultrasonic testing.....	19
6.3 Phased array ultrasonic testing.....	30
6.4 Diffraction time difference ultrasonic testing.....	41
7 Coating quality inspection.....	55
7.1 General provisions.....	55
7.2 Thickness test of anti corrosion coating.....	55
7.3 Thickness test of fireproof coating.....	58
7.4 Coating adhesion test.....	61

8 Other quality inspection.....	63
8.1 General provisions.....	63
8.2 Final tightening torque detection of high strength bolts.....	63
8.3 Steel thickness detection.....	63
8.4 Overall structural performance test.....	65
Appendix A T-type fillet weld straight probe inspection	66
Appendix B Performance requirements of TOFD testing instruments and probes.....	67
Appendix C Measurement method of - 12dB sound beam diffusion angle based on TOFD instrument and probe combination	69
Appendix D TOFD reference block	70
Appendix E Simulation and calculation of beam coverage of TOFD.....	74
Explanation of wording in this specification.....	76
List of quoted standards.....	77
Addition: Explanation of provisions.....	78

1 总则

1.0.1 为了在民用建筑装配式钢结构检测中，做到安全适用、技术先进、数据准确、评价正确，制订本规程。

1.0.2 本规程适用于民用建筑装配式钢结构的工程质量检测。

1.0.3 民用建筑装配式钢结构质量检测与评价除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 装配式建筑 assembled building

结构系统、外围护系统、设备与管线系统、内装系统的主要部分采用预制部品部件集成的建筑。

2.1.2 装配式钢结构建筑 assembled building with steel-structure

建筑的结构系统主要由钢部（构）件构成的装配式建筑。

2.1.3 无损检测 nondestructive testing

在不损坏检测对象的前提下，以物理或化学方法为手段，借助相应的设备器材，按照规定的技术要求，对检测对象的内部及表面的结构、性质或状态进行检查和测试并对结果进行分析和评价。

2.1.4 磁粉检测 magnetic particle testing

利用缺陷处漏磁场与磁粉的相互作用，显示铁磁性材料表面和近表面缺陷的无损检测方法。

2.1.5 渗透检测 penetrant testing

利用毛细管作用原理，检测非多孔性材料表面开口性缺陷的无损检测方法。

2.1.6 超声波检测 ultrasonic testing

采用超声波在介质中传播遇到异质界面产生反射的性质及其在传播时产生衰减的规律，来检测缺陷的无损检测方法。

2.1.7 相控阵超声检测 phased-array ultrasonic testing

依据设定的聚焦法则对阵列探头各个单元在发射或接收声波时施加不同的时间延迟（或电压），通过波束形成实现检测声束的移动、偏转和聚焦等功能的超声检测成像技术。

2.1.8 衍射时差法 time of flight diffraction

通常使用一对或多对具有宽带窄脉冲、大波束扩散角的纵波斜探头，采用一发一收的工作方式，根据待检试件内部缺陷端角衍射信号的到达时间进行缺陷检测和定量的一种超声检测方法。

2.1.9 线型缺陷 linear defects

缺陷的长度与宽度之比大于 3。

2.1.10 圆型缺陷 circular defects

缺陷的长度与宽度之比小于或等于 3。

2.1.11 焊缝夹渣 weld slag inclusion

焊接后残留在焊缝中的熔渣、金属氧化物夹杂等。

2.1.12 焊接缺欠 welding imperfection

在焊接接头中因焊接产生的金属不连续、不致密或连续不良的现象，简称“缺欠”。

2.1.13 焊接缺陷 welding defect

超过规定限制的缺欠。

2.1.14 平面型缺陷 planar defects

具有二维尺寸的缺陷，例如，裂纹、未熔合以及钢板的分层、层状撕裂等。

2.1.15 空间型缺陷 spatial defect

具有三维尺寸的缺陷，例如，气孔、夹渣、夹杂等。

2.1.16 探头间距 probe penter separation

在探头一发一收工作模式下，发射探头和接收探头两入射点之间的直线距离。

2.1.17 平行扫查 parallel scan

探头运动方向与声束方向平行的扫查方式，一般用于已知缺陷的精确定位及定量。

2.1.18 非平行扫查 non-parallel scan

探头运动方向与声束方向垂直的扫查方式，通常特指探头对称于焊缝放置的扫查方式。

2.1.19 偏置非平行扫查 offset non-parallel scan

衍射时差法超声检测技术探头对的连线中心与焊缝中心保持一定偏移量的非平行扫查方式。

2.1.20 线形扫描 electronic linear scan

以相同的聚焦法则施加在相控阵探头中的不同晶片组，每组激活晶片产生某一特定角度的声束，通过改变起始激活晶片的位置，使该声束沿晶片阵列方向前后移动，以实现类似常规手动超声波检测探头前后移动的检测效果。

2.1.21 扇形扫描 electronic sectorial scan

用特定的聚焦法则激发相控阵探头中的部分相邻或全部晶片，使激发晶片组形成的声束在设定的角度范围内以一定的步进值进行连续偏转，其数据显示为每一个角度的波束 A 扫描图像通过延迟和角度校正形成的 2D 图像。

2.1.22 聚焦法则 focal law

通过控制激发晶片数量，以及施加到每个晶片上的发射和接收延时，实现波束的偏转和聚焦的算法或相应程序。

2.1.23 标记 marker

被检部位检测后找出缺陷位置而设置的一系列标识、标记。

2.1.24 工艺验证试验 process validation test

制作与被检工件相同或相似的带有缺陷的模拟试件，将拟采用的检测工艺应用到模拟试件上，以验证拟采用工艺的有效性。工艺验证试验结果应确保能够清楚地显示和测量模拟试

块中的缺陷或反射体。

2.2 符号

β ——折射角

R ——半径

b ——试块或焊缝宽度

λ ——波长

S ——声程

ΔL ——缺陷指示长度

t ——母材公称厚度

De ——管的公称外径

A ——显示投影面积总和

h ——显示的宽度

l ——显示的长度

W_p ——焊缝宽度

x ——偏离焊缝中心线的距离

s ——探头中心间距的数值

V_{max} ——最大扫查速度

PRF ——激发探头的脉冲重复频率

Δx ——设置的扫查步进值

N ——设置的信号平均化处理次数

T_{ch} ——高强度螺栓检查扭矩

3 基本规定

3.0.1 装配式钢结构的检测可分为工程质量检测包括材料检测、表面质量检测、内部质量检测、涂层质量检测、其他质量检测等。

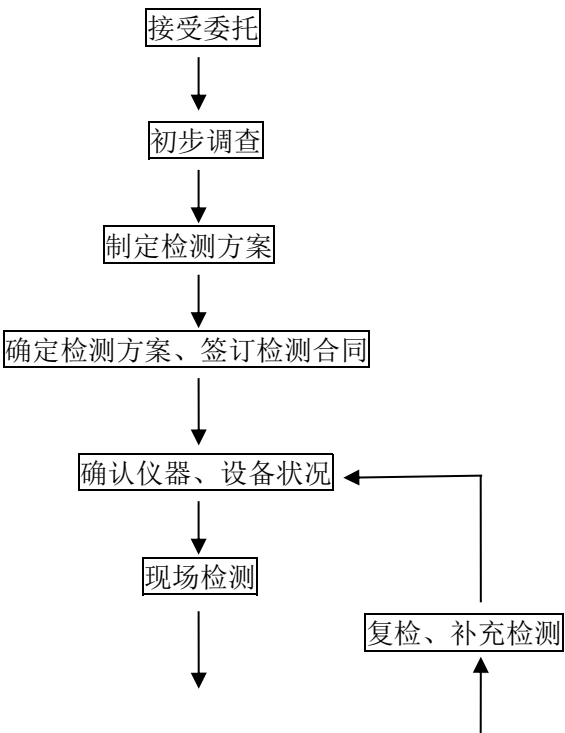
3.0.2 当遇到下列情况之一时，应委托第三方检测机构对装配式钢结构进行工程质量检测：

- 1 国家现行有关标准规定的检测；
- 2 工程送样检验的样品数量不足或有关检验资料缺失；
- 3 施工质量送样检验或有关方自检的结果未达到设计要求；
- 4 对施工质量有怀疑或争议；
- 5 发生质量或安全事故；
- 6 工程质量保险要求实施的检测；
- 7 对既有建筑钢结构的工程质量有疑义；
- 8 未按规定进行施工质量验收的钢结构；
- 9 其他必要的情况。

条文说明：本条给出了应作为装配式钢结构工程质量检测的情况，包括在建工程质量检测和既有工程结构性能检测。第 7 款规定对既有结构的工程施工质量有争议时也要按照结构工程质量检测的规则进行检测。第 8 款是指没有按照有关法律和法规进行施工质量验收的建筑结构。

3.0.3 装配式钢结构的检测应提供真实、可靠、有效的检验数据

3.0.4 装配式钢结构检测工作的程序，宜按图 3.0.4 的规定进行。



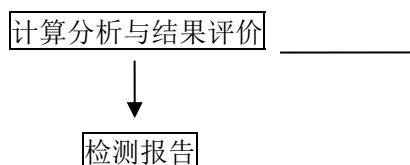


图 3.0.4 检测工作程序框图

3.0.5 初步调查宜包括下列工作内容：

- 1 收集被检测结构的设计文件、设计变更、施工记录、施工验收和工程地质勘察报告等资料；
- 2 调查被检测钢结构现状、环境条件及预制钢构件的生产制作状况及安装连接情况；
- 3 现场施工状况。

3.0.6 检测方案应在现场调查的基础上制定，方案宜包括以下内容：

- 1 工程概况；
- 2 检测目的或委托方的检测要求；
- 3 检测依据；
- 4 检测项目和选用的检测方法及检测数量；
- 5 检测人员和仪器设备情况；
- 6 检测工作进度计划；
- 7 所需要的配合工作；
- 8 检测中的安全措施；
- 9 检测中的环保措施。

3.0.7 当发现检测数据数量不足或检测数据出现异常情况时，应进行补充检测或重新检测。

3.0.8 装配式钢结构的检测分为钢构件工厂预制阶段及现场安装连接阶段，在这两个阶段都宜选用对构件及结构无损伤的检测方法，其应根据检测项目、检测目的、结构状况和现场条件参照表 3.0.8 选择合适的检测方法。

表 3.3.2 无损检测方法的选用

序号	缺陷类型、特性	选用方法
1	铁磁性材料表面和近表面缺陷	磁粉检测
2	表面开口性缺陷	渗透检测
3	内部缺陷，面积型或空间型缺陷	超声波检测
4	内部缺陷，面积型或空间型缺陷	相控阵超声波检测
5	内部缺陷，面积型或空间型缺陷	衍射时差法超声波检测

3.0.9 装配式钢结构中的磁粉检测、渗透检测、超声波检测和射线检测，应经目视检测，外观检查合格后进行。对于Ⅲ、Ⅳ类钢材及焊接难度等级为 C、D 级的焊缝应在焊接完成 24h 后进行检测；对于钢材标称屈服强度不小于 690MPa 或供货状态为调质状态时应在焊接完成

48h 后进行检测。

条文说明：现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定，Ⅲ类钢材标称屈服强度大于 370MPa~420MPa，Ⅳ类钢材标称屈服强度大于 420MPa；焊接难度等级 C、D 级为直接动载、抗震设防烈度大于等于 8 度的结构焊接，其中 C 级材料板厚为 60mm~100mm、钢材碳当量 C_{eq} ，IIW 为 0.45%~0.50%，D 级材料板厚为大于 100mm、钢材碳当量 C_{eq} ，IIW 为大于 0.50%。

裂纹可在焊接、焊缝冷却及以后的相当长的一段时间内产生。Ⅰ、Ⅱ类钢材产生焊接延迟裂纹的可能性很小，因此规定在焊缝冷却到室温进行外观检测后即可进行无损检测。Ⅲ、Ⅳ类钢材若焊接工艺不当则具有产生焊缝延迟裂纹的可能性，且裂纹延迟时间较长，有些国外规范规定此类钢焊接裂纹的检查应在焊后 48 小时进行。考虑到工厂存放条件、现场安装进度、工序衔接的限制以及随着时间延长，产生延迟裂纹的几率逐渐减小等因素，本规范对Ⅲ、Ⅳ类钢材及焊接难度等级为 C、D 级的结构规定以 24h 后无损检测的结果作为验收的依据，对钢材标称屈服强度大于 690MPa（调质状态）的钢材，考虑产生延迟裂纹的可能性更大，故规定以焊后 48h 的无损检测结果作为验收依据。

3.0.10 装配式钢结构检验批的质量检测应按照现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205 规定的抽样比例进行。钢结构焊缝超声波法、磁粉法检测等级、验收等级及检测比例应符合表 3.4.1 的规定，其余无损检测方法可以根据需要补充采用。

表 3.0.10 钢结构焊缝超声波法、磁粉法检测等级、验收等级及检测比例表

部位、焊缝性质	应用场景	检测方法	检测比例	检测等级	验收等级	说明
全熔透一级焊缝内部质量	现场安装焊缝	超声波法	100%	B	Ⅱ	1、灵敏度的设定原则采用直径为 3mm 的横孔技术； 2、只检测纵向缺陷、只要求进行 L 扫查；其他要求可合同另行规定； 3、二级焊缝检测比例的计算方法应按以下原则确定：工厂制作焊缝按照焊缝长度计算百分比，且探伤长度不小于 200mm；当焊缝长度小于 200mm 时，应对整条焊缝探伤；现场安装焊缝应按照同一类型、同一施焊条件的焊缝条数计算百分比，且不应少于 3 条焊缝。
	工厂制作焊缝	超声波法	100%	B	Ⅱ	
全熔透二级焊缝内部质量	现场安装焊缝	超声波法	20%	B	Ⅲ	
	工厂制作焊缝	超声波法	20%	B	Ⅲ	
节点域焊缝	独立节点、在柱子（梁）上的支撑连接板、柱子上与钢梁翼板相对应的加劲板、柱上牛腿腹板	磁粉法	20%	/	Ⅱ	按节点数（构件）的 20%。

管桁架相贯焊缝		超声波法	100%（一级），20%（二级）	B	Ⅱ（一级），Ⅲ（二级）	1. 检测比例按相贯口接头数计算比例； 2. 当相贯圆管夹角（锐角） $\leq 75^\circ$ 时，相贯焊缝划分为 A、B、C 区（如图 3.0.10），A 区、B 区为全熔透焊缝区，当相贯圆管夹角（锐角） $> 75^\circ$ 时，整个相贯焊缝采用全熔透焊缝；对全熔透部分进行超声波探伤。
		磁粉法	10%	/	Ⅱ	检测比例按相贯口接头数计算。
桁架（节点板搭接方式）		磁粉法	10%	/	Ⅱ	检测比例按节点板数量计算。
网架杆件焊缝	杆件与封板（锥头）焊缝	超声波法	100%（一级），20%（二级）	B	Ⅱ（一级），Ⅲ（二级）	检测比例按接头数计算。
	球杆焊缝	超声波法	100%（一级），20%（二级）	B	Ⅱ（一级），Ⅲ（二级）	检测比例按接头数计算。
		磁粉法	10%	/	Ⅱ	检测比例按接头数计算。

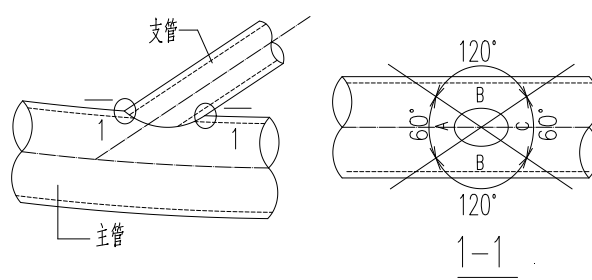


图 3.0.10 相贯焊缝分区示意图

3.0.11 装配式钢结构检测所用的仪器、设备和量具应有产品合格证、计量检定机构的有效检定（校准）证书或自校证书并处于正常状态。仪器设备的精度应满足检测项目的要求。

3.0.12 装配式钢结构无损检测人员按技术等级可分为高级（3 级）、中级（2 级）、初级（1 级），检测人员必须经过培训并取得培训合格证书，取得不同无损检测方法的各技术等级人员，只能从事与该等级相对应的无损检测工作，并负相应的技术责任。

3.0.13 工程质量检测报告应有检测项目是否符合设计文件要求或相应验收规范的结论。检测报告应包括以下内容：

- 1 委托单位名称；
- 2 工程概况，包括工程名称、结构类型、规模、施工日期及现状等；
- 3 建设单位、设计单位、施工单位及监理单位名称；
- 4 检测目的，以往检测情况概述（若有）；

- 5 检测项目、检测方法及依据的标准；
- 6 抽样方案及数量；
- 7 检测日期，报告完成日期；
- 8 检测项目的主要分类检测数据和汇总结果，检测结论。
- 9 检测报告应包括主检、审核和批准人员的签名。

4 材料检测

4.1 一般规定

4.1.1 本章适用于民用建筑装配式钢结构本现场施工过程中进场使用材料的检测。

4.1.2 材料检测主要包括钢材原材、焊接材料、紧固件、涂装材料、其他材料等。

4.2 钢材原材

4.2.1 钢板、型材、管材、铸钢件等钢材的品种、规格、性能应符合国家现行标准的规定并满足设计要求，屈服强度、抗拉强度、伸长率的检测方法应符合现行国家标准《钢及钢产品力学性能试验取样位置及试样制备》GB/T 2975、《金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法》GB/T 228.1的规定，冷弯性能的检测方法应符合现行国家标准《金属材料 弯曲试验方法》GB/T 232的规定，冲击韧性的检测方法应符合现行国家标准《钢及钢产品力学性能试验取样位置及试样制备》GB/T 2975、《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》GB/T 229的规定，厚度方向断面收缩率的检测方法应符合现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313的规定，化学成分分析的检测方法应符合现行国家标准的规定。

4.3 焊接材料

4.3.1 焊接材料的品种、规格、性能应符合国家现行标准的规定并满足设计要求，焊接材料的化学成分和力学性能检验检测方法应符合现行国家标准的规定。

4.3.2 焊钉的机械性能和焊接性能检测方法应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433的规定。

4.4 紧固件

4.4.1 高强度大六角头螺栓连接副和扭剪型高强度螺栓连接副的扭矩系数和紧固轴力(预拉力)检验方法应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231、《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632的规定。

4.4.2 普通螺栓、自攻螺钉、柳钉、拉铆钉、射钉、锚栓(机械型和化学试剂型)、地脚锚栓等紧固标准件及螺母、垫圈等，其品种、规格、性能等应符合国家现行产品标准的规定并满足设计要求。

4.4.3 拉索、拉杆、锚具的屈服强度、抗拉强度、伸长率和尺寸偏差检验方法应符合现行国家标准的规定。

4.5 涂装材料

4.5.1 防腐涂料、稀释剂和固化剂等材料的品种、规格、性能等应符合国家现行标准的规定

并满足设计要求。防腐涂料的外观、透明度、色彩、附着力、粘度、细度、灰分、PH 值、闪点、密度、体积固体含量、粘结强度检验方法应符合现行国家标准的规定，干燥时间（表干、实干）检验方法应符合现行国家标准的规定，耐水性、耐久性、耐碱性、耐侵蚀性、耐候性、耐热性、低温实验、耐化学品性检验方法应符合现行国家标准的规定，有害物质的检验方法应符合现行国家标准的规定。

4.5.2 防火涂料的品种和技术性能应满足设计要求，防火涂料的粘结强度、抗压强度检验方法应符合现行国家标准《钢结构防火涂料》GB 14907 的规定。

4.6 其他材料

4.6.1 压型金属板的品种、规格、性能等应符合国家现行标准的规定并满足设计要求。

4.6.2 膜结构用膜材的品种、规格、性能等应符合国家现行标准的规定并满足设计要求，膜材的断裂强度、撕裂强度检测方法应符合现行国家标准的规定。

4.6.3 钢结构工程所涉及的其他材料和成品，其品种、规格、性能等应符合国家现行标准的规定并满足设计要求。

5 表面质量检测

5.1 一般规定

5.1.1 本章适用于民用建筑装配式钢结构板材及焊缝的磁粉检测和渗透检测。

5.1.2 磁粉检测适用于铁磁性材料，渗透检测适用于非多孔性金属材料。

条文说明：磁粉检测适用于铁磁性材料制成的板材、复合板材、管材、管件和锻件等表面或近表面缺陷的检测，以及铁磁性材料对接接头、T型焊接接头和角接头等表面或近表面缺陷的检测，不适用于非铁磁性材料的检测。渗透检测适用于非多孔性金属材料制备装配式钢结构，在制造、安装及使用中产生的表面开口性缺陷的检测

5.2 磁粉检测

5.2.1 磁粉检测的分类条件及检测方法应符合表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 磁粉检测的分类条件及检测方法

分类条件	磁粉检测方法
施加磁粉的载体	干法（荧光、非荧光）、湿法（荧光、非荧光）
施加磁粉的时机	连续法、剩磁法
磁化方法	轴向通电法、触头法、线圈法、磁轭法、中心导体法、偏心导体法、复合磁化法（交叉磁轭法或交叉线圈法）

5.2.2 磁粉探伤装置应根据被测工件的形状、尺寸和表面状态选择，并应满足检测灵敏度的要求。磁粉探伤装置应符合现行国家标准《无损检测 磁粉检测 第3部分：设备》GB/T15822.3的有关规定，通常使用下列类型的磁化设备：

- 1 电磁轭；
- 2 带触头的通电设备；
- 3 电磁感应设备（近体导体或穿过导体或线圈）；
- 4 其他直流磁化设备或永久磁体。

5.2.3 对当使用磁轭最大间距时，交流电磁轭至少应有 45N 的提升力；直流电（包括整流电）磁轭或永久性磁轭至少应有 177N 的提升力；交叉磁轭至少应有 118N 的提升力（磁极与试件表面间隙为小于等于 0.5mm）。

5.2.4 磁粉检测中的磁悬液可选用油剂或水剂作为载液。常用的油剂可选用无味煤油、变压器油、煤油与变压器油的混合液；常用的水剂可选用含有润滑剂、防锈剂、消泡剂等的水溶液。磁悬液施加装置应能均匀地喷洒磁悬液到试件上。

5.2.5 对用非荧光磁粉配置的磁悬液，磁粉配制浓度宜为 10g/L~25g/L；对用荧光磁粉配置的磁悬液，磁粉配制浓度宜为 1g/L~2g/L。

条文说明：在配制磁悬液时，应先将磁粉或磁膏用少量载液调成均匀状，再在连续搅拌中缓慢加入所需载液，应使磁粉均匀弥散在载液中，直至磁粉和载液达到规定比例。磁悬液的检验应按现行国家标准《无损检测 磁粉检测 第 2 部分：检测介质》GB/T 15822.2 的有关规定进行。

5.2.6 用荧光磁悬液检测时，应采用黑光灯照射装置。当照射距离试件表面为 380mm 时，测定紫外线辐射强度不应小于 10W/m²。

5.2.7 在现场检测时，应在现场对每个工艺规程的系统灵敏度进行综合性能测试。性能测试用于确保包括设备、磁场强度和方向、表面特性、检测介质和照明等系列参数的特定功能。最可靠的测试是使用带有已知类型、部位、尺寸和尺寸分布的真实缺陷的具有代表性的试件，若无此试件，则可采用带有人工缺陷的试件，也可用试片进行测试。

条文说明：所述的试片，即 GB / T 23907 所规定的磁粉检测用试片，主要用于验证磁粉检测综合性能(系统灵敏度)。A 型试片适用于在较宽大或平整的被检表面上使用；C 型和 D 型试片适用于在较窄小或弯曲的被检表面上使用。高灵敏度的试片用于验证要求有较高系统灵敏度的磁粉检测综合性能；低灵敏度的试片用于验证要求有较低系统灵敏度的磁粉检测综合性能。只有符合要求的磁粉检测综合性能，相应的磁粉检测结果才是有效和可靠的。

5.2.8 磁粉检测时一般应选用 A1：30/100 型标准试片。当磁粉检测中使用 A 型灵敏度试片有困难时，可用与 A 型材质和灵敏度相同的 C 型灵敏度试片代替。

5.2.9 应根据检测对象及现场条件选择合适的检测介质及磁化方法。

5.2.10 磁粉检测应按照预处理、磁化、施加磁悬液、磁痕观察与记录、缺陷评级、退磁、后处理等步骤进行。

5.2.11 被检区域及其相邻至少 25mm 范围内应干燥，并不得有氧化皮、机油、油脂、焊接飞溅、机加工刀痕、污物、厚实或松散的油漆和任何能影响检测灵敏度的外来杂物，必要时可用砂纸或局部打磨来改善表面状况，以便准确解释显示，任何清理或表面准备都不应影响磁粉显示的形成。

5.2.12 探伤装置在被检部位放稳后方可接通电源，移去时应先断开电源。用磁轭检测时，应有覆盖区，磁轭每次移动的覆盖部分应在 10mm~20mm 之间；用触头法检测时，每次磁化的长度宜为 75mm~200mm；检测过程中，应保持触头端干净，触头与被检表面接触应良好，电极下宜采用衬垫。

5.2.13 磁化时，应先放置灵敏度试片在试件表面，检验磁场强度和方向以及操作方法是否正确，磁场方向宜与探测的缺陷方向垂直、与探伤面平行，当无法确定缺陷方向或多个方向的缺陷时，应采用旋转磁场或采用两次不同方向的磁化方法。采用两次不同方向的磁化时，

两次磁化方向间应垂直。

5.2.14 工件做好检测准备后，在磁化前和磁化的同时立即通过喷、浇或洒施加检测介质。随之，磁化时间应使得显示在磁场移离前形成。用磁悬液时，应在工件上保持磁场直至大多数磁悬液从工件表面流走，以防止显示被冲走。

5.2.15 磁痕观察应在磁化状态下进行，以避免已形成的缺陷磁痕遭到破坏。

5.2.16 非荧光磁粉检测时，缺陷磁痕的评定应在可见光下进行，且工件被检表面可见光照度应大于等于 1000lx，现场检测时，由于条件所限可见光照度应不低于 500lx；荧光磁粉检测时，缺陷磁痕的评定应在暗室黑光灯激发的黑光下进行，工件被检表面的黑光辐照度应大于或等于 1000uW/cm²，暗室或暗处可见光照度应不大于 20lx。

5.2.17 应对磁痕进行分析判断，区分缺陷磁痕和非缺陷磁痕，可采用照相、绘图等方法记录缺陷的磁痕。

5.2.18 检测完成后，应清除被测部位的磁粉，并清洗干净，必要时应进行防锈处理；被测试件因剩磁而影响使用时，应及时进行退磁。

5.2.19 磁粉检测可允许有线状缺陷和非线状缺陷存在。当缺陷磁痕为裂缝缺陷时，应直接评定为不合格。

5.2.20 当缺陷磁粉判断为非裂纹缺陷时，应根据缺陷磁痕类型和长度对检测到的缺陷进行分级，缺陷磁痕分级应符合表 5.2.19 的规定。

表 5.2.19 缺陷磁痕分级

磁痕显示类型	验收等级		
	I	II	III
线状显示长度 L (mm)	$L \leq 1.5$	$L \leq 3.0$	$L \leq 6.0$
非线状显示主轴长度 d (mm)	$d \leq 2.0$	$d \leq 3.0$	$d \leq 5.0$

5.2.21 相邻且间距小于其中较小显示主轴尺寸的显示，应作为单个的连续显示评定，群显示应按表 5.2.19 进行评定。

5.2.22 评定为不合格时，应对其进行返修，返修后应进行复检。返修复检部位应在检测报告的检测结果中标明。

5.2.23 检测记录或检测报告中应包括下列内容：

- 1 磁粉探伤装置型号、生产厂家；
- 2 磁粉的类型、粒度及颜色；
- 3 磁悬液种类及浓度；
- 4 探伤灵敏度（试片型号）；
- 5 检测件的材质、规格、尺寸；
- 6 超出检测条件环境温度时的被检工件温度；

7 检测工艺规程标识号和采用参数的描述，包括磁化类型、电流类型、检测介质、观察条件；

8 验收等级；

9 所有记录显示的描述和部位；

10 根据验收等级的检测结果。

5.3 渗透检测

5.3.1 根据渗透剂种类、渗透剂的去除方法和显像剂种类的不同，渗透检测方法可按表 5.5.1 进行分类。

5.3.1 渗透检测方法的分类

渗透剂		渗透剂的去除		显像剂	
分类	名称	方法	名称	分类	名称
I	荧光渗透检测	A	水洗型渗透检测	a	干粉显像剂
II	着色渗透检测	B	亲油型后乳化渗透检测	b	水溶解显像剂
		C	溶剂去除型渗透检测	c	水悬浮显像剂
III	荧光、着色渗透检测	D	亲水型后乳化渗透检测	d	溶剂悬浮显像剂
				e	自显像

5.3.2 渗透检测的环境及被检测部位的温度宜在 10℃～50℃范围内。当温度低于 10℃或高于 50℃时，应按现行行业标准《承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测》NB/T 47013.5 的规定进行灵敏度的对比试验。

5.3.3 渗透检测剂的选用应符合以下要求：

- 1 现场检测宜采用非荧光着色渗透检测；
- 2 渗透剂可采用喷罐式的水洗型或溶剂去除型；
- 3 显示剂可采用快干式的湿显像剂。

条文说明：渗透检测剂包括渗透剂、清洗剂、显像剂。渗透检测剂的质量应符合现行行业标准《渗透检测用材料技术要求》JB/T 7523 的有关规定，并宜采用成品套装喷罐的渗透检测剂。渗透检测剂必须标明生产日期和有效期，并附带产品合格证和使用说明书。对于喷罐式渗透检测剂，其喷罐表面不得有锈蚀，喷罐不得出现泄漏。应使用同一厂家生产的同一系列配套检测剂，不应将不同种类的检测剂混合使用。

5.3.4 渗透检测应配备铝合金试块（A 型对比试块）和不锈钢镀铬试块（B 型灵敏度试块），其技术要求应符合现行国家标准《无损检测 渗透检测用试块》GB/T 23911。

5.3.5 检测灵敏度等级的选择应符合下列规定：

1 焊缝及热影响区应采用“中灵敏度”检测，使其在不锈钢镀铬 B 型试块（B 型灵敏度试块）中可清晰显示“3~4”号裂纹；

2 焊缝母材机加工坡口、不锈钢工件采用“高灵敏度”检测，使其在不锈钢镀铬试块（B 型灵敏度试块）中可清晰显示“4~5”号裂纹。

5.3.6 渗透检测应按照清理、清洗、施加渗透剂、清除多余渗透剂、干燥、施加显像剂、观察评定、复验、后处理等步骤进行。

5.3.7 渗透检测操作应符合下列规定：

1 清理。对检测面上有碍渗透检测的铁锈、氧化皮、焊接飞溅物、铁刺以及各种涂覆保护层进行清除，可采用机械砂轮打磨和钢丝刷。不允许用喷砂、喷丸等可能封闭表面开口缺陷的清理方法，清理范围应从检测部位边缘向外扩展 30mm。机加工检测面的表面粗糙度（Ra）不宜大于 12.5um，非机械加工面的粗糙度可适当放宽，但不得影响检测结果。

2 预清洗。对清理完毕的检测面进行清洗，可采用溶剂、洗涤剂或喷罐套装的清洗剂。清洗后，检测面必须要经过充分干燥后，才能进行检测。

3 施加渗透剂。可以采用喷涂、刷涂等方法，使被检测部位完全被渗透剂覆盖。在整个检测过程中，环境温度和工件表面温度应在 5℃~50℃ 的温度范围。在 10℃~50℃ 的温度条件下，渗透剂持续时间一般不应少于 10min；在 5℃~10℃ 的温度条件下，渗透剂持续时间一般不应少于 20min 或者按照说明书进行操作。当环境温度条件不能满足时，应按本规程第 5.3.8 条的规定进行灵敏度的对比试验。

4 清除多余渗透剂。可先用无绒洁净布进行擦拭，将检测面上大部分多余的渗透剂擦除，再用蘸有清洗剂的纸巾或布在检测面上朝一个方向擦洗，也可用喷罐在距检测面约 300mm 处喷撒少量清洗剂用纸巾或布擦洗，直至将检测面上残留渗透剂全部擦净。用荧光渗透剂时，可在紫外灯照射下边观察边去除。

条文说明：在清洗工件被检表面以去除多余的渗透剂时，应注意防止过度去除而使检测质量下降，同时也应注意防止去除不足而造成对缺陷显示识别困难。

5 干燥。清洗处理后的检测面，应在室温下自然干燥或用布、纸擦干或用压缩空气吹干。干燥时间宜控制在 5min~10min。

条文说明：施加干式显像剂、溶剂悬浮显像剂时，检测面应在施加前进行干燥，施加水湿式显像剂（水溶解、水悬浮显像剂）时，检测面应在施加后进行干燥处理。采用自显像时应在水清洗后进行干燥。一般可用热风进行干燥或进行自然干燥。热风干燥时，温度应不高于 500℃。

6 施加显像剂。宜使用喷罐型的快干湿式显像剂进行显像。使用前应充分摇动，喷嘴宜控制在距检测面 300mm~400mm 处进行喷涂，喷涂方向宜与被检测面成 30°~40° 的夹角，喷涂应薄而均匀，不应在同一处多次喷涂，不得将湿式显像剂倾倒至被检测面上。

7 观察评定。在施加显像剂的同时应仔细观察检测面上的痕迹显示情况，但对缺陷显示的最终确认应在显像剂施加完毕后 10min~30min 内完成。若显示不明显，可适当延长观察时间。当检测面较大时，可分区域检测。着色渗透检测时，缺陷显示的评定应在可见光下进行，通常工件被检测面处可见光照度应大于等于 1000lx；当现场采用便携式设备检测，由于条件所限无法满足时，可见光照度可适当降低，但不得低于 500lx。荧光渗透检测时，缺陷显示的评定应在暗室或暗处进行，暗室或暗处可见光照度应不大于 20lx，被检工件表面的辐照度应大于等于 1000uW/cm²，自显像时被检工件表面的辐照度应大于等于 3000uW/cm²。检测人员进入暗区，应至少经过 5min 的黑暗适应后，才能进行荧光渗透检测。检测人员不得佩戴对检测结果有影响的眼镜或滤光镜。对细小显示的观察可使用 5 倍~10 倍放大镜对缺陷进行观察。观察应在光线充足的条件下进行，当发现不允许存在的缺陷，应及时作出标记。

8 复验。若出现下列情况之一，必须将检测面彻底清洗干净重新进行检测。

- 1) 检测结束时，用试块验证检测灵敏度不符合要求；
- 2) 难以确定痕迹是缺陷产生还是非缺陷的因素产生；
- 3) 发现检测过程中操作方法有误或技术条件改变时；
- 4) 缺陷部位返修后；
- 5) 合同各方有争议或认为有必要时；
- 6) 对检测结果怀疑时。

9 后处理。检测结束后，应将检测面清理干净。

5.3.8 不同环境温度时应进行灵敏度的对比试验。用标准温度和方法对试块 A 区进行检测，再将试块和渗透检测剂放在所需检测的环境温度下，待 30min 后各种检测器材均达到环境温度时，即可开始对试块 B 区的检测试验，并注意在试验中始终保持这一温度。试验结束，比较试块 A、B 区的裂纹显示痕迹，如果显示痕迹基本相同，则可认定准备采用的方法经过鉴定是可行的。否则，需要调整检测工艺，若仍不能满足灵敏度要求，则不应采用渗透方法进行检测。

5.3.9 渗透检测可允许有线型缺陷和圆型缺陷存在。当缺陷显示为裂纹缺陷时，应直接评定为不合格。

5.3.10 当缺陷显示为非裂纹缺陷时，应根据缺陷显示类型和长度可对检测到的缺陷进行分级，缺陷显示分级应符合表 5.3.10 的规定。

表 5.3.10 缺陷显示分级

显示类型	验收等级		
	I	II	III
线状显示长度 L (mm)	$L \leq 2.0$	$L \leq 5.0$	$L \leq 8.0$

非线状显示主轴长度 d (mm)	d≤5.0	d≤6.0	d≤8.0
------------------	-------	-------	-------

5.3.11 相邻且间距小于其中较小显示主轴尺寸的显示，应作为单个的连续显示评定，群显示应按表 5.3.10 进行评定。

5.3.12 评定为不合格或超过质量等级要求的缺陷，在工艺条件允许情况下可进行返修。返修后应进行复检，并重新进行质量评定。返修复检部位应在检测报告的检测结果中标明。

5.3.13 缺陷迹痕的记录可根据需要和现场条件采用照相、绘图、粘贴等方法。

5.3.14 检测记录或检测报告中应包括下列内容：

- 1 检测剂名称、型号及生产厂家；
- 2 检测面清理方法及清洗方法；
- 3 渗透剂施加方法和渗透时间；
- 4 渗透剂去除方式、干燥方法及温度和时间；
- 5 探伤灵敏度（试片型号）；
- 6 检测面表面状态；
- 7 检测件的材质、规格、尺寸；
- 8 记录缺陷迹痕、所在位置、形状尺寸及缺陷类型等。
- 9 验收等级；
- 10 根据验收等级的检测结果。

6 内部缺陷检测

6.1 一般规定

6.1.1 本章适用于民用建筑装配式钢结构板材及焊缝的超声波检测、相控阵超声波检测和衍射时差法超声波检测。

6.1.2 超声波检测适用于母材厚度不小于 4mm 的低超声衰减（特别是散射衰减小）金属材料熔化焊焊接接头手工超声波检测技术。相控阵超声波检测适用于厚度为 6mm~200mm 的细晶钢焊接接头手工扫查或自动（半自动）扫查的一维线阵相控阵超声技术。衍射时差法超声波检测适用于工件公称厚度 $t \geq 12 \text{ mm}$ （不包括焊缝余高，焊缝两侧母材公称厚度不同时，取薄侧公称厚度值）的低碳钢或低合金钢全焊透结构型式的对接接头的焊缝检测。

条文说明：：超声检测时焊缝及其母材温度在 $0 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 之间。本规程主要应用于母材和焊缝均为铁素体类钢的全熔透焊缝。包括装配式建筑钢结构的钢屋架、格构柱（梁）钢构件、钢刚架、吊车梁、焊接 H 型钢、箱形钢框架柱、梁、桁架或框架梁中焊接组合构件和钢建筑构筑物等即板节点的超声波检测。主要适用范围包括：母材壁厚不小于 4mm、球径不小于 120mm、管径不小于 60mm 的焊接空心球及球管焊接接头；母材壁厚不小于 3.5mm、管径不小于 48mm 螺栓球节点杆件与锥头或封板焊接接头；支管管径不小于 89mm、壁厚不小于 6mm、局部二面角不小于 30° ，支管壁厚外径比在 13% 以下的圆管相贯节点碳素结构钢和低合金高强度结构钢焊接接头；铸钢件、奥氏体球管和相贯节点焊接接头以及圆管对接或焊管焊缝的超声波检测。母材厚度不小于 4mm 的碳素结构钢和低合金高强度结构钢的钢板对接全熔透接头、箱形构件的电渣焊接头、T 型接头、搭接角接接头等焊接接头以及钢结构用板材、锻件、铸钢件；方形矩形管节点、地下建筑结构钢管桩、先张法预应力管桩端板的焊接接头以及板壳结构曲率半径不小于 1000mm 的环缝和曲率半径不小于 1500mm 的纵缝的检测。

相控阵超声波检测适用于厚度为 6mm~200mm 的细晶钢焊接接头。对于其他金属细晶材料焊接接头，在考虑声速的变化后，也可参照本标准。对于厚度超出以上范围的焊接接头，在通过演示证明仪器系统具有足够的检测能力后，也可参照本标准。对于奥氏体不锈钢等粗晶焊接接头，在考虑信噪比和声速各向异性的影响后，也可参照本标准。对于其他结构件、压延件、锻件，在选择合适的试块、校准方法和扫查方法后，也可参照本标准。使用二维相控阵超声探头进行检测，在考虑声场特性变化及其给系统校准和检测带来的影响后，也可参照本标准。

6.2 超声波检测

6.2.1 根据质量要求，超声波检测等级可分为 A、B、C 三级。应根据工件的材质、结构、焊接方法、受力状态选用检验级别，如设计和结构上无特别指定，钢结构焊缝质量的超声波探伤一般宜选用 B 级检验。

1 A 级检测，以一种角度的探头，采用直射法和一次反射法在焊缝的单面单侧进行检验，只对能扫查到的焊缝截面进行探测，一般不要求作横向缺欠的检验。当母材厚度大于 50 mm 时，不应采用 A 级检测。

2 B 级检测，宜以一种角度探头，采用直射法和一次反射法在焊缝的单面双侧进行检验，受几何条件限制时，可在焊缝单面、单侧采用两种角度探头（两角度之差大于 15° ）进行检验。当母材厚度大于 100 mm 时，采用双面双侧检验，受几何条件限制时，可在焊缝单面双侧，采用两种角度探头进行检验，检验应覆盖整个焊缝截面。条件允许时应作横向缺陷的检验。

3 C 级检测，至少应以两种角度探头，采用直射法和一次反射法在焊缝的单面双侧进行检验。同时要作两个扫查方向的横向缺陷检验。当母材厚度大于 100 mm 时，采用双面双侧检验。对接焊缝余高应磨平，以便探头在焊缝上作平行扫查；焊缝两侧斜探头扫查经过的母材区域应采用直探头检验；焊缝母材厚度不小于 100mm、窄间隙焊缝母材厚度不小于 40 mm 时，一般要增加串列式扫查。

条文说明：横向缺陷扫查应将探头放在焊缝及热影响区上作两个方向的平行扫查，母材厚度超过 100 mm 时，应在焊缝的两面采用一种角度探头作平行扫查或者采用两种角度探头(45° 和 60° 或 45° 和 70° 并用)作单面两个方向的平行扫查；亦可用两个 45° 探头作串列式平行扫查。

6.2.2 超声检测仪应符合现行行业标准《A 型脉冲反射式超声波探伤仪 通用技术条件》JB/T 10061 或等效标准的要求。探头应符合相应标准的要求。试块应符合现行国家标准《无损检测 超声检测用试块》GB/T 23905 的要求。

6.2.3 超声检测仪应定期进行性能测试。仪器性能测试应按现行行业标准《A 型脉冲反射式超声波探伤系统工作性能 测试方法》JB/T 9214 的相关规定进行。超声检测仪宜符合下列要求：

1 温度的稳定性：环境温度变化 5°C ，信号的幅度变化不大于全屏高度的 $\pm 2\%$ ，位置变化不大于全屏宽度的 $\pm 1\%$ ；

2 显示的稳定性：频率增加约 1 Hz，信号幅度变化不大于全屏高度的 $\pm 2\%$ ，信号位置变化不大全屏宽度的 $\pm 1\%$ ；

3 水平线性的偏差不大于全屏宽度的 $\pm 2\%$ ；

4 垂直线性的测试值与理论值的偏差不大于 $\pm 3\%$ 。

6.2.4 至少在每次检测前应按现行行业标准《A 型脉冲反射式超声波探伤系统工作性能 测试方法》JB/T 9214 推荐的方法，对超声检测系统工作性能进行测试。系统性能宜符合下列

要求:

- 1 用于缺陷定位的斜探头入射点的测试值与标称值的偏差不大于 $\pm 1\text{mm}$;
- 2 用于缺陷定位的斜探头折射角的测试值与标称值的偏差不大于 $\pm 2^\circ$;
- 3 灵敏度余量、分辨力和盲区, 视实际应用需要而定。

6.2.5 探头的选择应符合下列要求:

1 探头的有效晶片面积不应大于 500 mm^2 , 圆形晶片直径一般不应大于 25mm , 方形晶片任一边长一般不应大于 25mm 。

2 探头频率一般在 $2\text{MHz} \sim 5\text{MHz}$ 之间选择, 探头实测频率与标称值误差不大于 $\pm 10\%$ 。

3 斜探头声束水平轴线偏离角应不大于 2° , 主声束垂直方向不应有明显的双峰。

4 斜探头折射角 β 一般为 70° 、 60° 、 45° , 或者折射角正切值 K 值为 2.5 、 2.0 、 1.5 、 1.0 。当使用两种或两种以上角度的探头时, 其中的两种探头角度差应不小于 10° 。

5 斜探头的折射角 β (或 K 值) 应依据材料厚度、焊缝坡口型式等因素选择, 应使主声束覆盖整个焊缝检测区, 检测不同板厚所用探头角度宜按表 6.2.5-1 采用。

表 6.2.5-1 不同板厚推荐的探头角度

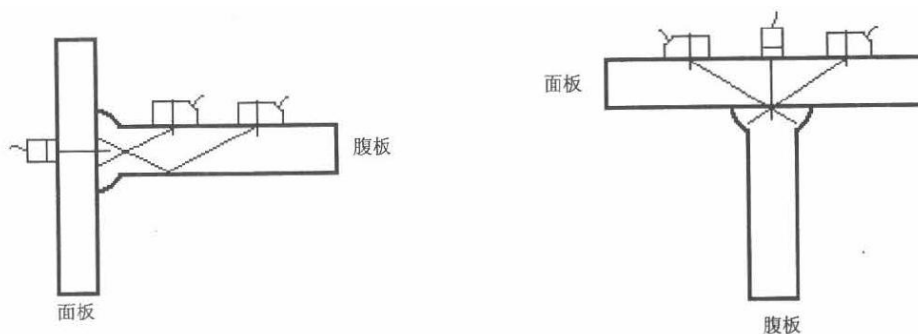
板厚 t (mm)	检验等级			探伤法	推荐的折射角 β (K 值)
	A 级	B 级	C 级		
4~25	单面单侧	单面双侧或 双面单侧		直射法及多次反射法	70° ($K2.5$)
25~50					70° 或 60° ($K2.5$ 或 $K2.0$)
50~100	/	双面双侧		直射法及一次反射法	45° 和 60° 并用或 45° 和 70° 并用 ($K1.0$ 和 $K2.0$ 并用或 $K1.0$ 和 $K2.5$ 并用)
>100	/				45° 和 60° 并用 ($K1.0$ 和 $K2.0$ 并用)

6 技术条件要求时, T 型接头焊缝检测分别使用直探头和斜探头扫查。检测不同板厚 T 型所用探头角度宜按表 6.2.5-2 采用, 探头布置图如图 6.2.5。

表 6.2.5-2 不同板厚 T 型接头推荐的探头角度

腹板板厚 t (mm)	探测面	探伤法	推荐的折射角 β (K 值)
≤ 20	腹板单面单侧	直射法及多次反射法	70° ($K2.0$ 或 $K2.5$)
>20~50	腹板单面单侧	直射法及多次反射法	70° 或 60° ($K2.5$ 或 $K2.0$ 或 $K1.5$)
	面板外单面单侧	直射法	60° 或 45° ($K2.0$ 或 $K1.5$ 或 $K1.0$)

>50~100	腹板单面单侧	直射法及多次反射法	60° 或 45° (K2.0 或 K1.5 或 K1.0)
	面板外单面单侧	直射法	70° 或 60° (K2.5 或 K2.0 或 K1.5)
>100	腹板单面单侧	直射法及多次反射法	60° 或 45° (K2.0 或 K1.5 或 K1.0)
	面板外单面单侧	直射法	70° 或 60° (K2.5 或 K2.0 或 K1.5)



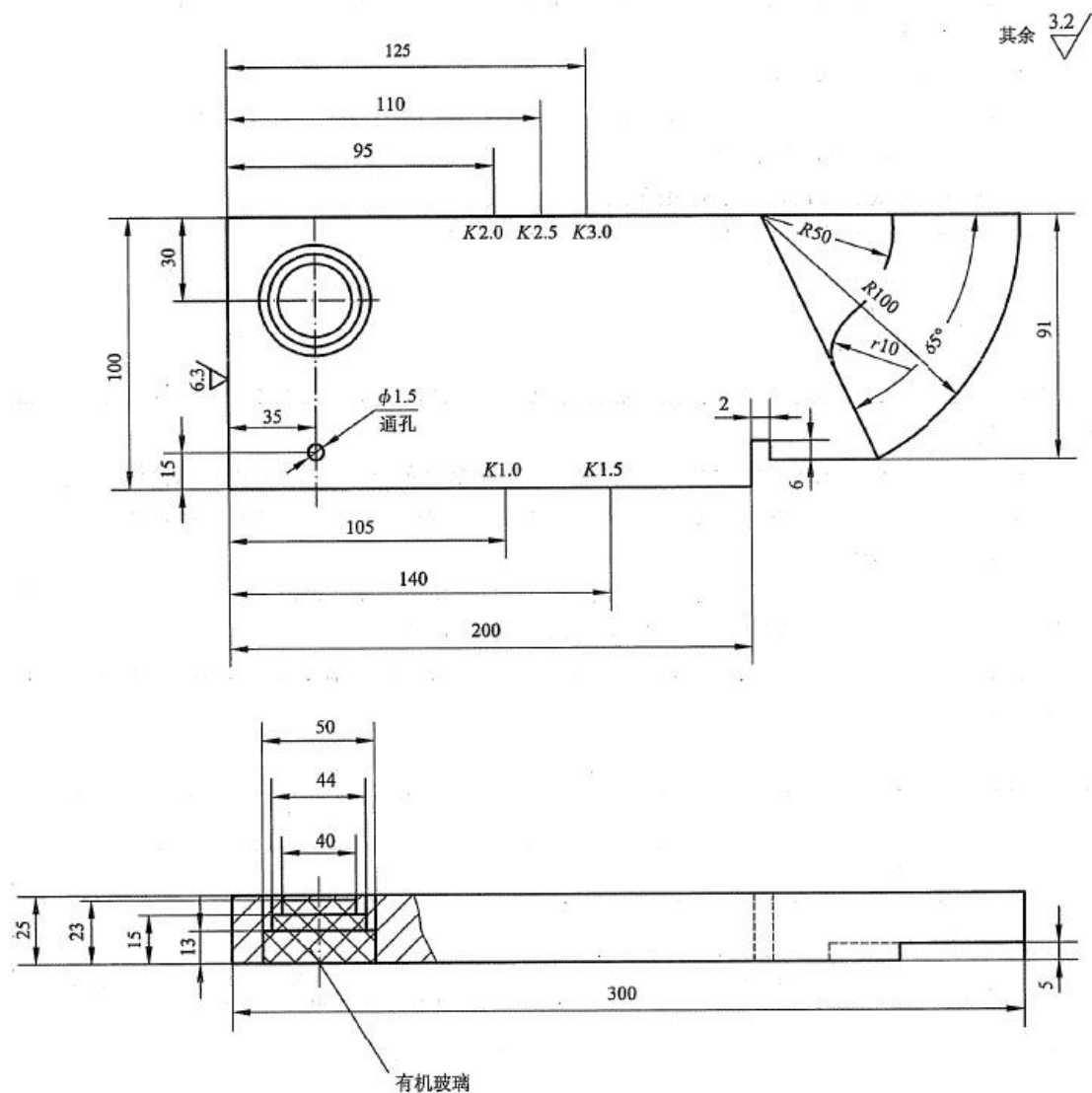
a) 探头在面板和腹板分别扫查

b) 探头在面板扫查

图 6.2.5 T 型接头焊缝探头布置

7 选择检测面和探头时应考虑到焊缝中产生各类缺陷的可能性,并尽可能使主声束垂直于该焊缝中的危害性缺陷。

6.2.6 标准试块主要用于测定探伤仪、接触面未经研磨的新探头和系统性能,宜采用 CSK-IA 型标准试块,其形状和尺寸应符合图 6.2.6 的规定。标准试块的制作技术要求应符合现行行业标准《超声探伤用 1 号标准试块技术条件》JB/T 10063 的规定。



注：尺寸误差不大于 ± 0.05 mm。

图 6.2.6 CSK-IA 型标准试块的形状和尺寸

6.2.7 对比试块与被检测材料相同或声学特性相近的钢材制成。

1 宜采用 CSK-ICj 型试块用于管节点现场标定和校核探测灵敏度与时基线，绘制距离-波幅曲线，测定系统性能等，CSK-ICj 型试块也可用于圆管相贯节点焊缝探伤时进行耦合补偿灵敏度修正，其形状和尺寸应符合图 6.2.7-1 的规定。

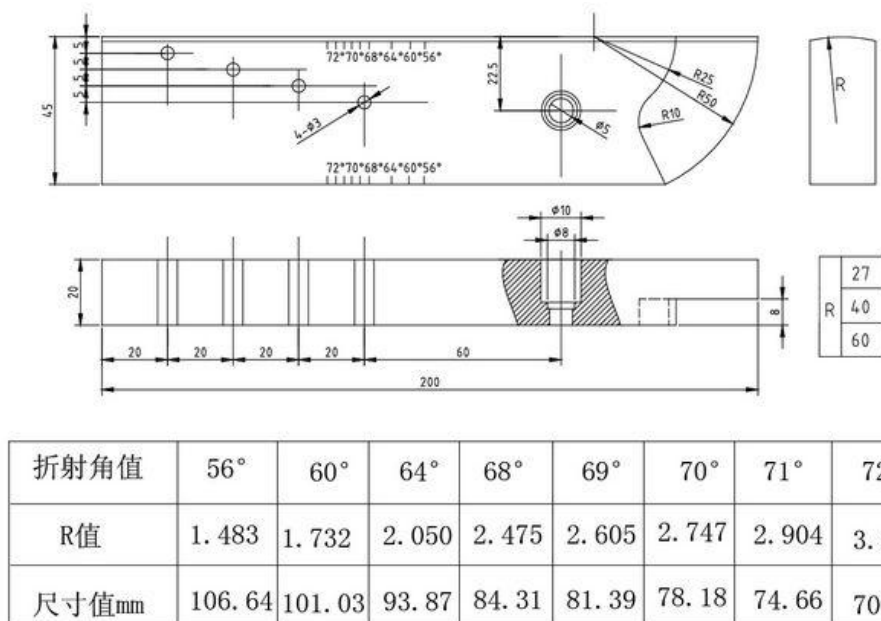


图 6.2.7-1 CSK-ICj 型对比试块的形状和尺寸

2 对于壁厚小于 5mm 的杆件焊缝探伤，宜采用 RBJ-1 型试块的柱孔部分用于时基线调节、标定和校核灵敏度等，RBJ-1 型试块也用于评定焊缝根部未焊透程度，其形状和尺寸应符合图 6.2.7-2 的规定。

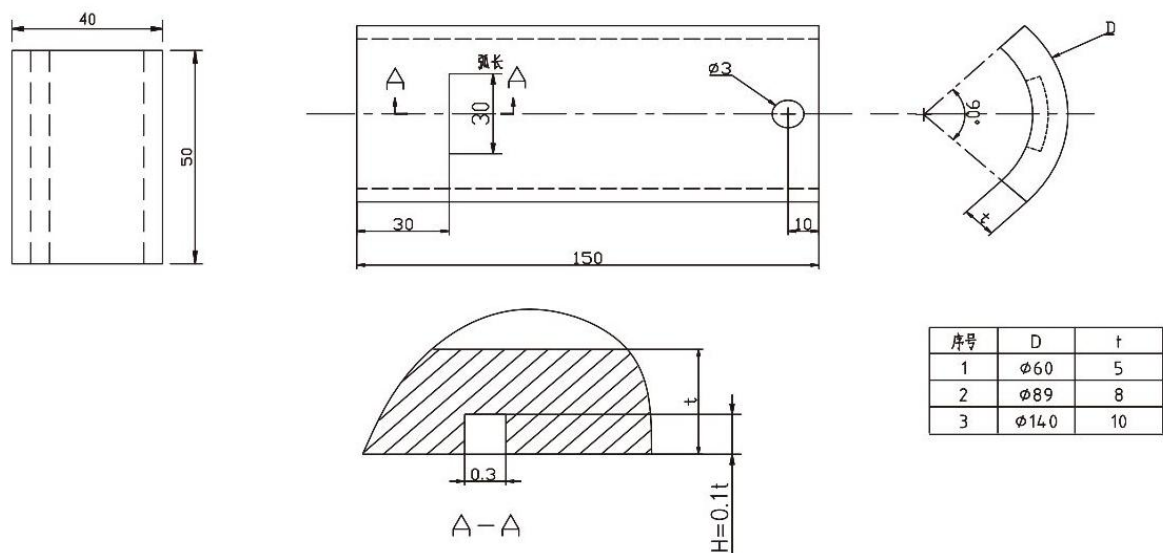


图 6.2.7-2 RBJ-1 型对比试块的形状和尺寸

3 宜采用 CSK-IDj 型试块用于板节点现场标定和校核探伤灵敏度与时基线，绘制距离-波幅曲线，测定系统性能等，其形状和尺寸应符合图 6.2.7-3 的规定。

代号	适用板厚 δ	对比试块
RB-1	8~25	
RB-2	8~100	
RB-3	8~150	

注：1) 尺寸公差±0.1mm; 2) 各边垂直度不大于0.1; 3) 表面粗糙度不大于6.3 μ m; 4) 标准孔与加工面的平行度不大于0.05。

图 6.2.7-4 RB 型对比试块的形状和尺寸

5 现场检验，为校验灵敏度和时基线，也可以采用其他型式的等效试块。

6.2.8 检测前，应对超声仪的主要技术指标（如斜探头入射点、斜率 K 值或角度）进行检查确认，根据所测工件的尺寸，用标准试块上圆弧面的反射波或其它等效试块的反射波调整仪器时基线，最大检测声程处回波至少调节到示波屏满刻度的 $3/4$ 以上，以直径为 3mm 横孔作为基准反射体，制作距离-波幅曲线（DAC），设定参考灵敏度。

6.2.9 距离-波幅（DAC）曲线应由选用的仪器、探头系统在对对比试块上的实测数据绘制而成。当探伤面曲率半径 R 小于等于 $W^2/4$ 时，距离-波幅（DAC）曲线的绘制应在曲面对比试块上进行。

1 绘制成的距离-波幅曲线应由评定线 EL、定量线 SL 和判废线 RL 组成。评定线与定量线之间（包括评定线）的区域规定为 I 区，定量线与判废线之间（包括定量线）的区域规定为 II 区，判废线及其以上区域规定为 III 区，如图 6.2.9 所示。

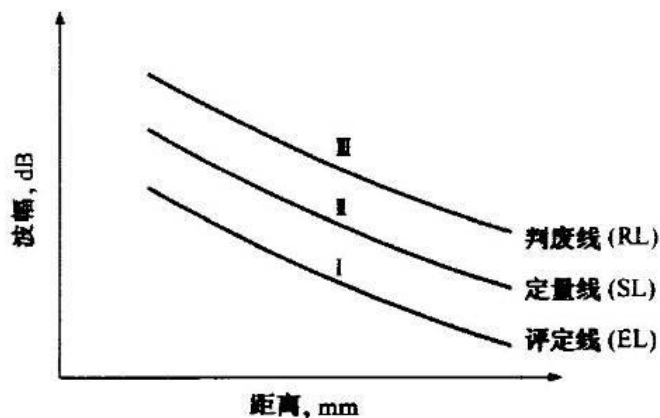


图 6.2.9 距离一波幅曲线示意图

2 不同检验等级所对应的各条线的灵敏度要求应符合表 6.2.9 的规定。表中的 DAC 是以 $\Phi 3$ 横通孔作为标准反射体绘制的距离-波幅曲线——即 DAC 基准线。在满足被检工件最大测试厚度的整个范围内绘制的距离一波幅曲线在探伤仪荧光屏上的高度不得低于满刻度的 20%。

表 6.2.9 距离一波幅曲线的灵敏度

厚度 (mm)	判废线 RL (dB)	定量线 SL (dB)	评定线 EL (dB)
3.5~150	$\Phi 3 \times 40$	$\Phi 3 \times 40-6$	$\Phi 3 \times 40-14$

3 检测横向缺陷时， 应将各线灵敏度分别提高 6dB。

4 T 型接头焊缝直探头检测按附录 A 的规定。

6.2.10 超声波检测应包括探测面的修整、涂抹耦合剂、探伤作业、缺陷的评定等步骤。

6.2.11 检测前应对探测面（探头移动区域）进行修整或打磨，清除焊接飞溅、油垢及其它杂质，表面粗糙度不应超过 $6.3\mu\text{m}$ 。采用直射法检测时，探头移动区域宽度 $A \geq 0.75P$ ，见图 6.2.11-1。采用一次反射法检测时，探头移动区域宽度 $A \geq 1.25P$ ，见图 6.2.11-2。跨距 P 按公式 6.2.11-1 或 6.2.11-2 计算。

$$P=2t \cdot \tan\beta \text{-----} (6.2.11-1)$$

$$P=2tK \text{-----} (6.2.11-2)$$

式中 A——探头移动区域宽度，mm；

P——跨距，mm；

t——母材厚度，mm；

β ——斜探头折射角， $^{\circ}$ ；

K——斜探头折射角正切值，mm。

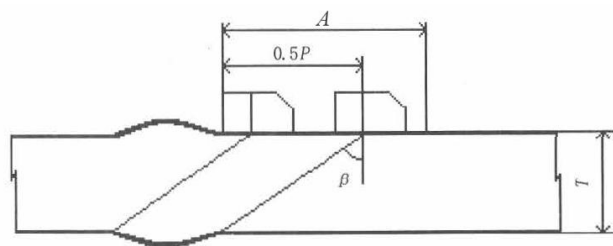


图 6.2.11-1 直射法确定的检测面宽度

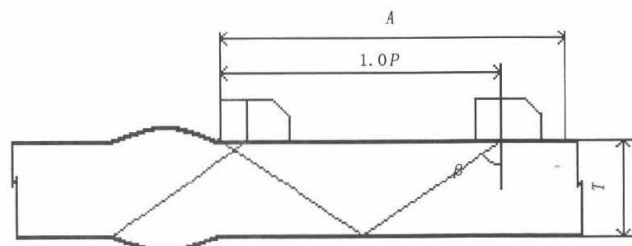


图 6.2.11-2 一次反射法确定的检测面宽度

6.2.12 根据工件的不同厚度选择仪器时间基线水平、深度或声程的调节。当探伤面为平面或曲率半径 R 大于 $W^2/4$ 时（环缝检测时 W 为探头宽度，纵缝检测时 W 为探头长度），可在对比试块上进行时间基线的调节；当探伤面曲率半径 R 小于等于 $W^2/4$ 时，探头楔块应磨成与工件曲面相吻合的形状，参考反射体的布置可参对比试块来确定，试块宽度应满足式（6.2.12）：

$$b \geq 2\lambda S / De \text{-----} \quad (6.2.12)$$

式中 b ——试块宽度，mm；

λ ——波长，mm；

S ——声程，mm；

De ——声源有效直径，mm。

6.2.13 当受检工件的表面耦合损失及材质衰减与试块不同时，宜考虑表面补偿或材质补偿。

6.2.14 耦合剂应具有良好透声性和适宜流动性，不应对人体和材料有损伤作用，同时应便于检测后清理。当工件处于水平面上检测时，宜选用液体类耦合剂；当工件处于竖立面检测时，宜选用糊状类耦合剂。

6.2.15 探伤灵敏度不应低于评定线灵敏度。扫查速度不应大于 150mm/s，相邻两次探头移动间隔应有探头宽度 10% 的重叠。为查找缺陷，扫查方式有锯齿形扫查、斜平行扫查和平行扫查等。为确定缺陷的位置、方向、形状、观察缺陷动态波形，可采用前后、左右、转角、环绕等四种探头扫查方式。

条文说明：检测纵向缺陷，斜探头应垂直于焊缝中心线放置，作锯齿型扫查，在扫查的同时还应作 $10^\circ \sim 15^\circ$ 的摆动。检测横向缺陷，应采用平行扫查和斜平行扫查，斜平行扫查时，

探头在焊缝两侧边缘与焊缝中心线成 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 夹角；或将焊缝余高磨平后，探头置于焊缝上，沿焊缝作两个方向的平行扫查。T 型接头焊缝横向缺陷的检测，可在面板外侧焊缝区域增加斜探头沿焊缝作两个方向的扫查。

6.2.16 对所有反射波幅超过定量线的缺陷，均应确定其位置，最大反射波幅所在区域和缺陷指示长度。缺陷指示长度的测定可用降低 6dB 相对灵敏度测长法和端点峰值测长法。

- 1 当缺陷反射波只有一个高点时，用降低 6dB 相对灵敏度法测其长度。
- 2 当缺陷反射波有多个高点时，则以缺陷两端反射波极大值之处的波高降低 6dB 之间探头的移动距离，作为缺陷的指示长度（见图 6.2.16）。
- 3 当缺陷反射波在 I 区未达到定量线时，如探伤者认为有必要记录时，将探头左右移动，使缺陷反射波幅降低到评定线，以此测定缺陷的指示长度。



图 6.2.16 端点峰值测长法

6.2.17 在确定缺陷类型时，可将探头对准缺陷作平动和转动扫查，观察波形的相应变化，并结合操作者的工程经验，作出大致判断。

6.2.18 最大反射波幅位于 DAC 曲线 II 区的非危险性缺陷，其指示长度小于 10mm 时，可按 5mm 计。

6.2.19 在检测范围内，相邻两个缺陷间距不大于 8mm 时，两个缺陷指示长度之和应作为单个缺陷的指示长度；相邻两个缺陷间距大于 8mm 时，两个缺陷应分别计算各自指示长度。

6.2.20 最大反射波幅位于 II 区的非危险性缺陷，根据缺陷指示长度 ΔL 可按表 6.2.20 的规定予以评级。

表 6.2.20 缺陷的等级分类

评定等级	板厚		
	3.5mm~50mm	3.5mm~150mm	3.5mm~150mm
	A 级	B 级	C 级
I	$2/3t$ ，最小 8mm	$t/3$ ，最小 6mm，最大 40mm	$t/3$ ，最小 6mm，最大 40mm
II	$3/4t$ ，最小 8mm	$2/3t$ ，最小 8mm，最大 70mm	$t/2$ ，最小 8mm，最大 50mm
III	$<t$ ，最小 16mm	$3/4t$ ，最小 12mm，最大 90mm	$2/3t$ ，最小 12mm，最大 75mm

IV	超过Ⅲ级者
注： t 为坡口加工侧母材板厚，母材板厚不同时，以较薄侧板厚为准。	

- 6.2.21 最大反射波幅不超过评定线（未达到Ⅰ区）的缺陷均可评为Ⅰ级。
- 6.2.22 最大反射波幅超过评定线但不到定量线的非裂纹类缺陷均可评为Ⅰ级。
- 6.2.23 最大反射波幅超过评定线的缺陷，检测人员判定为裂纹等危害性缺陷时，无论其波幅和尺寸如何均应评定为Ⅳ级。
- 6.2.24 最大反射波幅位于Ⅲ区的缺陷，无论其指示长度如何，均评定为Ⅳ级。
- 6.2.25 不合格的缺陷应予以返修，返修部位及热影响区应重新进行评定。
- 6.2.26 检测记录或检测报告中应包括下列内容：
- 1 超声检测仪制造商、机型和编号，如要求；
 - 2 探头制造商、类型、标称频率、晶片尺寸、实际折射角度和编号，如要求；
 - 3 被检对象特征：材质和产品门类、尺寸、被检焊缝/焊接接头所处位置、几何结构草图（如需）、焊接工艺，技术协议和热处理状态、制造状态、表面状态、被检对象温度；
 - 4 合同要求，例如工艺、导则、和特殊协议等；
 - 5 参考试块编号，附带草图，如需；
 - 6 耦合剂；
 - 7 检测等级和引用的书面检测工艺规程；
 - 8 检测范围；
 - 9 探头移动区位置；
 - 10 参考点和所用坐标系详情；
 - 11 时基线范围；
 - 12 灵敏度设定方法和所用值（参考等级的增益设定和传输修正值）；
 - 13 母材检测结果；
 - 14 验收等级标准；
 - 15 记录缺陷所在位置、尺寸及缺陷类型等。
 - 16 按规定的验收等级给出评价结果。

6.3 相控阵超声波检测

- 6.3.1 检测技术等级的划分应符合下列规定：
- 1 焊接接头的相控阵检测技术分为 A、B、C 三个检测技术等级，不同技术等级对应于不同的缺陷检出率。
 - 2 焊接接头不同技术等级要求的不同角度的声束覆盖次数：
 - 1) A 级应保证相控阵声束对检测区域实现一次以上全覆盖。

2) B 级应保证相控阵声束对检测区域实现不同角度扫射两次以上全覆盖。

3) C 级应保证相控阵声束对检测区域实现不同角度扫射三次以上全覆盖。

4) 可通过选择不同扫查面、扫查方式、扫查路径和扫描方式来实现上述覆盖。

5) 当要求对检测区域进行两次以上覆盖时, 应尽可能使至少其中两次覆盖的声束来自大致相互垂直的两个方向。若因条件限制不能实现, 则允许来自一个方向, 但任两次覆盖的声束夹角不得小于 10° 。

6) C 级扫查的其中一次扫射可将探头置于焊缝表面上实施扫查, 采用此种扫查需要将焊缝余高磨平。

3 焊接接头不同技术等级要求的信噪比:

1) A 级不要求制作模拟试块。在对比试块上测量信噪比, 应保证所有声束拟采用的声程范围内 $\phi 2$ 横孔的信噪比大于 9dB。

2) B 级是否制作模拟试块由合同双方商定。在试块上测量信噪比, 应保证所有声束拟采用的声程范围内 $\phi 2$ 横孔的信噪比大于 12dB。

3) C 级要求制作模拟试块。在模拟试块上测量信噪比, 应保证所有声束拟采用的声程范围内 $\phi 2$ 横孔的信噪比大于 12dB。

4 其他结构形式的工件扫查可以参照焊接接头的规定区分检测技术等级, 也可以不区分检测技术等级, 但至少要求对检测区域全覆盖, 且信噪比大于 9dB。

6.3.2 超声相控阵仪器应满足下列要求:

1 相控阵仪器应为计算机控制的含有多个独立的脉冲发射/接收通道的脉冲反射型仪器, 其放大器的增益调节步进不应大于 1dB。

2 相控阵仪器应配备与其硬件相匹配的延时控制和成像软件。

3 -3 dB 带宽下限不高于 1MHz, 上限不低于 15MHz。

4 采样频率不应小于探头中心频率的 6 倍。

5 幅度模数转换位数应不小于 8 位。

6 仪器的水平线性误差不大于 1%, 垂直线性误差不大于 5%。

7 所有激励通道的发射脉冲电压具有一致性, 最大偏移量应不大于设置值的 5%。

8 各通道的发射脉冲延迟精度不大于 5ns。

6.3.3 配套软件应满足下列要求:

1 软件至少应有 A、S、B、C 型显示的功能, 且具有在扫描图像上对缺陷定位、定量及分析功能。

2 能够存储、调出 A、S、B、C 图像, 并能将存储的检测数据复制到外部存储空间中。

3 仪器软件应具有聚焦法则计算功能、ACG 校准功能, 以及 TCG (或 DAC) 校准功能。

4 仪器的数据采集和扫查装置的移动同步, 扫查步进值应可调, 其最小值应不大于

0.5mm。

- 5 仪器应能存储和分辨各 A 扫描信号之间相对位置的信息，如编码器位置。
- 6 离线分析软件中应能对检测时关键参数设置进行查看，且不可修改相关的参数。

6.3.4 探头的选用及要求应符合下列规定：

1 相控阵探头应符合现行行业标准《无损检测 超声相控阵探头通用技术条件》JB/T 11731。相控阵探头应由多个晶片（一般不少于 8 个）组成阵列，探头可加装用以辅助声束偏转的楔块或延迟块。

- 2 探头实测中心频率与标称频率间的误差应不大于 10%。
- 3 探头-6 dB 相对频带宽度不小于 55%。

4 验收相控阵探头时，同一探头晶片间灵敏度最大差值不大于 4dB，且不应存在坏晶片（相控阵探头晶片的灵敏度差异、有效性测试方法和坏晶片定义应按照 GB/T 32563 附录 A 要求进行）。

5 使用中的相控阵探头如出现坏晶片，可在选择激发孔径范围时设法避开坏晶片；如无法避开，则要求在扫查使用的每个声束组中，损坏晶片不应超过总使用晶片数的 12.5%，且没有连续损坏晶片；如果晶片的损坏超过上述规定，可通过仿真软件计算且通过试块测试，确认坏晶片对声场和检测灵敏度、信噪比无明显不利影响，才允许使用。

6.3.5 仪器的校准及试块的选择应符合下列规定：

1 试块包括校准试块和模拟试块，试块的一般要求应符合现行国家标准《无损检测 超声检测用试块》GB/T 23905 的有关规定。

2 校准试块可用于声速、楔块延时、ACG 及 TCG 的校准，也可用于检测灵敏度的校准，可采用现行行业标准《承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3 所述的 CSK-IA 试块、CSK-II A 试块、CSK-III A 试块、圆弧孔试块，或与之功能类似的其他试块。

3 宜采用 CSK-II A 试块作为灵敏度校准试块。

4 模拟试块用于检测灵敏度的校准，信噪比的评价，同时可验证检测工艺的有效性。模拟试块的材质、形状、结构、厚度，以及焊接坡口型式和焊接工艺应与实际检测的工件相同或相近，应在检测区域内设置适当的位置设置反射体，反射体应包括用于信噪比测量和灵敏度校准的 $\phi 2 \times 40$ 的横孔，以及其他机械加工的模拟缺陷和焊接产生的自然缺陷。

5 用自动（半自动）扫查的检测，应采用模拟试块验证检测工艺的有效性。

条文说明：灵敏度校准试块宜采用 CSK-II A 试块，若要求使用其他试块作为灵敏度试块，应在合同中拟定，且检测准备及实施时应考虑到模拟试块横孔直径、扫查灵敏度设置等的差异。

6.3.6 检测前，应根据本标准编制相控阵检测工艺规程，并应包括以下内容：

- 1 适用范围和对被检工件的要求；
- 2 被检工件情况（名称、材质、成型方法、坡口 形状尺寸、焊接情况、热处理情况、

母材检测情况等)；

3 检测的目的、检测覆盖区域、检测时机、采用的规范标准和检测技术等级；

4 对检测人员资格和能力的要求，检测人员培训和工艺验证试验要求；

5 对检测设备（仪器、探头、试块）的要求；

6 检测参数及要求：包括检测覆盖区域、检测时机、仪器、探头及楔块的参数设置或选择、扫查方法（机械扫查及电子扫描）的选择、扫查面的确定、探头位置的确定、扫查面的准备等，以及检测系统的设置（激发孔径、扇扫角度和步进、线扫步进、聚焦、时间窗口、灵敏度等）和校准（灵敏度、位置传感器等）方法，横向缺陷的补充检测方法（必要时）；

7 扫查示意图（SP）：图中应标明工件厚度、焊缝坡口形状、扫查面、探头位置、扫查移动方向和移动范围、扫描波束角度和覆盖范围等；

8 检测温度、扫查速度、数据质量要求；

9 扫查和数据采集过程的一般要求；

10 对数据分析、缺陷评定与记录报告的一般要求。

6.3.7 符合以下情况之一时应进行工艺验证试验，试验应在模拟试块上进行：

1 按 C 级实施检测的焊接接头；

2 按 B 级采用自动或半自动扫查的批量检测；

3 结构和形状复杂的工件；

4 信噪比和声速与细晶粒钢差异明细的非细晶粒钢工件检测；

5 检测条件(例如检测面)不能满足检测等级要求时；

6 合同有要求时。

6.3.8 横向缺陷检测的条件及必要性应符合下列规定：

1 当符合以下条件之一时应进行横向缺陷检测：

1) C 级检测；

2) 有横向裂纹发生倾向时；

3) 所选用的检测等级有要求时；

4) 合同或设计文件规定要求进行时。

2 经合同双方同意，可使用经过认证的相控阵仿真软件计算部分或全部代替工艺验证试验内容。

3 对横向缺陷进行检测，当焊缝没有磨平时，可将探头放在靠近焊缝的母材，与焊缝轴线成 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 夹角（如图 6.3.8 左）采用扇扫描+沿线扫查方式进行检测。当焊缝磨平时，可采用探头放在焊缝上（如图 6.3.8 右）采用扇扫描+沿线扫查方式进行检测。

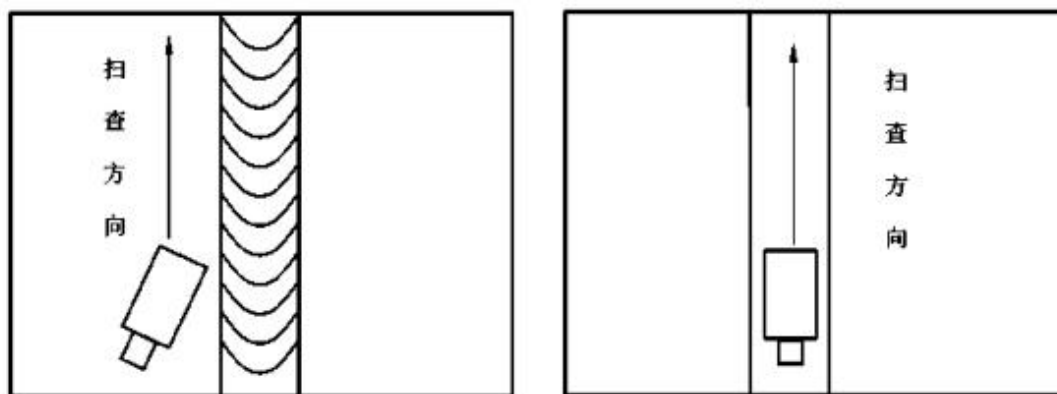


图 6.3.8 横向缺陷扫查示意图

6.3.9 焊接接头检测区域应包含焊缝本身宽度加上两侧各 10 mm 或实际热影响区宽度（取较大值）。

6.3.10 扫查方式的选择应符合下列规定：

1 焊接接头首次检测宜采用机械扫查与电子扫描的结合方式：

- 1) 沿线扫查+扇扫描；
- 2) 沿线扫查+线扫描+扇扫描；
- 3) 沿线栅格扫查+扇扫描。

2 对可疑部位，可采用扇扫描，结合锯齿、前后、左右、旋转、环绕等各种扫查方式进行检测。

6.3.11 探头及楔块的选择应符合下列规定：

1 根据工件厚度、材质、检测位置、检测面形状以及检测使用的声束类型选择相控阵探头的频率、晶片数量、晶片间距、晶片尺寸、形状以及楔块规格等。

2 相控阵探头参数的选择可参照表 6.3.11 进行，通常单次激发的晶片数不少于 8 个。

表 6.3.11 推荐采用的探头参数

最大探测厚度/mm	频率/MHz	晶片间距/mm	偏转方向孔径尺寸/mm
$6 < t \leq 15$	15~5	0.8~0.3	5~10
$15 < t \leq 50$	10~4	10~0.5	8~25
$50 < t \leq 100$	7.5~2	15~0.5	20~35
$100 < t \leq 200$	5~1	2.0~0.8	30~65

3 根据设计的检验工艺要求，结合生产厂家推荐的角度偏转范围，选择与探头相匹配的楔块。常用楔块角度包括 0° 、 45° 、 55° 、 60° （自然角度）等。

4 对于曲面工件应确保耦合良好，工件与楔块最大间隙超过 0.5mm 时，应定制与工件曲率相符的楔块，同时应改变仪器中楔块的参数，以确保聚焦法则的精确性。

6.3.12 对接焊缝，优先推荐采用扇扫描+沿线扫查。S 值的选择应确保声束对检测区域充分覆盖，同时兼顾检测灵敏度。不同检测等级的扫查方法应符合下列规定：

1 A 级检测：适用于缺陷检出率要求较低的焊缝，或在用设备的焊缝的抽查检测。可选择横波倾斜入射的沿线扫查+扇扫描或横波倾斜入射的沿线扫查+线扫描，扫查面可以为焊缝单面单侧。

2 B 级检测：适用于缺陷检出率要求较高的焊缝。当母材厚度 6 mm~50mm 时，可选择横波倾斜入射的沿线扫查+扇扫描或横波倾斜入射的沿线扫查+线扫描进行检测,扫查面为焊缝一面两侧;当厚度 50mm~200mm 时，可选择横波倾斜入射的沿线扫查+扇扫描进行检测,扫查面为焊缝两面四侧。

3 C 级检测：适用于缺陷检出率要求很高的焊缝，被检测的焊缝的余高应磨平。当母材厚度 6mm~50mm 时,可选择横波倾斜入射的沿线扫查+扇扫描或横波倾斜入射的沿线扫查+线扫描进行检测,扫查面至少为焊缝一面两侧；当厚度 50mm~200mm 时，可选择横波倾斜入射的沿线扫查+扇扫描进行检测，扫查面应为焊缝两面四侧。此外还应增加横向缺陷检测，以及在焊缝及附近母材上的纵波直射声束线扫描。

4 当受现场条件限制，B 级和 C 级检测无法做到从焊缝一面两侧或两面四侧扫查时，经合同双方商定，可增加 3 次波扫查（较薄工件），或通过增加沿线栅格扫查（较厚工件），来增大覆盖范围和实现多角度声束多次覆盖，以弥补扫查面不足带来的影响。

6.3.13 检测参数设置应符合下列规定：

1 激发孔径设置。无论选择何种扫描方式，可偏转方向上的激发孔径尺寸 D 与晶片宽度 b 之比应满足： $0.2 \leq D/b \leq 5$ 。根据不同的工件厚度推荐使用的可偏转方向上孔径尺寸范围见表 6.3.11 。如果校准时发现表 6.3.11 所推荐的孔径无法满足 6.3.1 第 3 条要求时，可选择更大的激发孔径。

2 扇扫描设置。

1) 横波斜声束扇扫描角度范围不应超出 35° ~75° 并在楔块制造商推荐的角度范围内使用。特殊情况下，确需要应用超出该角度范围的声束检测时，应通过试验验证其灵敏度。

2) 当工件壁厚较小时，不宜采用过小角度声束，以免底面一次反射波进入楔块产生干扰。

3) 角度步进设置应符合表 6.3.13 要求。

表 6.3.13 推荐的扇扫描角度步进设置

最大检测深度 t' / mm	角度步进范围/(°)
----------------	-------------

$t' \leq 50$	≤ 2
$50 < t' \leq 100$	≤ 1
$100 < t' \leq 200$	≤ 0.5

3 线扫描设置。使用线扫描覆盖时，应保证对检测区域全覆盖，激发孔径移动的步进设置一般为 1。

4 聚焦设置。焊缝初始扫查的聚焦深度设置一般应避免在近场区内。当检测声程范围在 50mm 以下时，聚焦深度可以设置在最大探测声程处；当检测声程范围在 50mm 以上时，聚焦深度可以选择检测声程范围的中间值或其他适当深度。在对缺陷进行精确定量时，或对特定区域检测需要获得更高的灵敏度和分辨力时，可将焦点设置在该区域。

6.3.14 扫查面准备应符合下列规定：

1 探头移动区域应清除焊接飞溅、锻造氧化皮、铁屑、污垢及其他影响透声性能和耦合效果的覆盖物。检测表面应平整，便于探头的移动和耦合，其表面粗糙度 R_a 值应小于或等于 $9 \mu m$ 。

2 保留余高的焊缝，如果焊缝表面有咬边、较大的隆起和凹陷等应进行适当的修磨，并做圆滑过渡以免影响检测结果的评定；要求去除余高的焊缝，应将余高打磨到与临近母材平齐。

3 检测前应在工件扫查面上予以标记，标记内容至少包括扫查起始点和扫查方向。可采用各种方法保证扫查轨迹的正确性，例如将探头移动轨迹画到母材上。

6.3.15 扇扫描的校准应符合下列规定：

1 采用扇扫描检测前，应对扇扫描角度范围内的每一条声束校准，校准的声程范围应包含检测拟使用的声程范围。

2 可采取 TCG 修正方法进行校准，也可采取 DAC 曲线方法进行校准。

3 为避免角度灵敏度差异，在校准前可先进行 ACG 修正。

4 ACG 修正可采用 CSK- I A 试块或其他带有 R100mm 圆弧的等效试块。焊缝检测时，DAC 曲线和 TCG 修正可采用 CSK- II A 试块，也可采用其他横孔试块。

5 扇扫描 TCG 修正后不同深度处相同反射体回波波幅应基本一致，且经最大补偿的声束对最大声程处横孔回波的信噪比应满足 6.3.1 第 3 条的要求。

6.3.16 线扫描的校准应符合下列规定：

1 采用线扫描检测前，应对线扫描角度范围内的每一个声束校准，校准的声程范围应包含检测拟使用的声程范围。

2 可采取 TCG 修正方法进行校准，也可采取 DAC 曲线方法进行校准。

3 在校准前也可先对激发孔径位置不同导致的灵敏度差异进行修正。

4 对于孔径位置灵敏度差异修正, 0° 声束可使用 CSK-II A-1 试块 40mm 的大平底回波进行修正, 其余角度声束可使用 CSK-II A 试块上 50mm 深 2mm 直径平底孔进行修正。焊缝检测, DAC 曲线和 TCG 修正可采用 CSK-II A 试块, 也可采用其他横孔试块。

5 线扫描 TCG 修正后不同深度处相同反射体回波波幅应一致, 且经最大补偿的声束对最大声程处横孔回波的信噪比应满足 6.3.1 第 3 条的要求。

6.3.17 应根据工件厚度、所选择扫查面, 以及灵敏度、分辨力、信噪比要求等, 决定是否采用分区扫查, 以及各区的覆盖范围。

条文说明: 分区扫查法的原则是将发射探头发出的超声波对准焊缝断面, 并根据可能出现的缺陷进行校准。将焊缝沿壁厚方向分成高度相等或不等的若干区域。焊缝的分区根据焊缝壁厚、坡口型式及焊接填充次数来进行。分区高度越小则对缺陷的检测越敏感(但调试困难), 最小为 1mm, 最大为 3mm, 分区高度太大, 则有漏检的危险。预先调好角度和位置的发射器将高度聚焦的声束投射到焊缝适当的区域内。入射角度的选取, 以可得到来自缺陷的最大反射波为准。如全自动焊接过程中最容易产生并且危害性较大的缺陷—坡口未熔合, 那么选取的入射声束应尽量与坡口熔合线垂直。由于分区扫查法的原则及特点, 其校准必须使用专用的校准试块来检测定位、确定基准灵敏度、鉴定野外检测系统并监视系统的运行状况。出于声速方面的考虑, 试块的材料应取自实际检测的对象。对于不同的材质、曲率、壁厚等都需要单独制作试块。

6.3.18 灵敏度设置应符合下列规定:

1 可选用 TCG 和 DAC 两种方式设置灵敏度。

2 初始扫查时推荐采用 TCG 设置灵敏度。

3 设置 TCG 灵敏度, 探测深度为 6mm~50mm 时, 将 $\phi 2 \times 40$ 横孔回波幅度调至满屏的适当高度(例如 90%), 作为扫查灵敏度; 探测深度大于 50mm 时, 将 $\phi 2 \times 40$ 横孔回波幅度调至满屏的适当高度(例如 80%), 作为扫查灵敏度。

4 设置 DAC 灵敏度, 探测深度为 6mm~50mm 时, 将 DAC 曲线的最大声程处的 $\phi 2 \times 40$ 横孔回波调至满屏的适当高度(例如 40%), 作为扫查灵敏度; 探测深度大于 50mm 时, 将 DAC 曲线的最大声程处的 $\phi 2 \times 40$ 横孔回波调至满屏的适当高度(例如 20%), 作为扫查灵敏度。

5 曲面工件检测时, 检测面曲率半径 $R \leq W/4$ 时, TCG 或 DAC 校准应在与检测面曲率相同或相近(工件曲率在试块曲率的 0.9~1.5 倍范围内)的对比试块上进行。

6 纵焊缝的增益及声程修正可通过相应的模拟试块测定, 也可通过仿真软件计算实现。

7 工件的表面耦合损失和材质衰减应与试块相同, 否则应进行传输损失补偿。在所采用的最大声程内最大传输损失差小于或等于 2dB 时可不进行补偿。

6.3.19 扫查步进设置应符合下列规定:

1 扫查步进指扫查过程中相邻两个 A 扫描信号间的空间采样间隔,检测前应将检测系统设置为根据扫查步进采集信号。

2 推荐的扫查步进设置应符合表 6.3.19 的规定。

表 6.3.19 推荐的扫查步进值

工件厚度 t/mm	扫查步进最大值 $\Delta x_{\text{max}}/\text{mm}$
$6 \leq t \leq 10$	1.0
$10 < t \leq 150$	2.0
$150 < t \leq 200$	3.0

6.3.20 位置传感器的校准应符合下列规定：

1 检测前应对位置传感器进行校准。

2 校准方式是使扫查装置移动一定的距离（不小于 500mm）时对检测设备所显示的位移与实际位移进行比较，其误差应小于 1%，最大不超过 10mm。

6.3.21 检测系统的复核应符合下列规定：

1 检测系统的复核包括对灵敏度复核及定位精度复核，在如下情况时应按照现行国家标准《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》GB/T32563 附录 B 的相关要求进行复核：

- 1) 检测前；
- 2) 检测过程中检测设备停机后开机或更换部件时；
- 3) 检测人员有怀疑时；
- 4) 检测结束时。

2 复核应采用与初始检测设置时的同一试块。若复核时发现与初始检测设置的测量偏离，应按照表 6.3.21 执行。

表 6.3.21 偏离和纠正

灵敏度	1	$\leq 3\text{dB}$	通过软件进行纠正
	2	$> 3\text{dB}$	重新设置，并重新检测上次校准以来所检测的焊缝
声程	1	偏离 $\leq$ 小于或等于 1mm	不需要采取措施
	2	偏离 $>$ 大于 1mm	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校准以来所检测的焊缝

角 度	1	偏离≤1°	不需要采取措施
	2	偏离>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校准以来所检测的焊缝

6.3.22 检测作业应符合下列规定：

1 依照工艺设计将检测系统的硬件及软件置于检测状态，将探头摆放到要求的位置，沿设计的路径进行扫查。扫查过程中应采取一定的措施（如提前画出探头轨迹或参考线、使用导向轨道或使用磁条导向）使探头沿预定轨迹移动，过程中探头位置与预定轨迹的偏离量不能超过 S 值的 15%。

2 扫查时应保证扫查速度小于或等于最大扫查速度 $V_{\max}$ ，同时保证耦合效果和满足数据采集的要求。最大扫查速度按式 6.3.22 计算：

$$V_{\max} = \frac{PRF}{N \bullet A} \Delta x \text{ -----6.3.22}$$

式中： $V_{\max}$ ——最大扫查速度，单位为毫米每秒（mm/s）；

PRF——激发探头的脉冲重复频率，单位为赫兹（Hz）；

Δx ——设置的扫查步进值，单位为毫米（mm）；

N——设置的信号平均次数；

A——A 扫描的数量（如扇扫描时，激发如 35° ~75° 的扇扫描，角度步进为 1°，则 A=41；又如线扫描时，探头总体晶片数量为 64，同时激发 16 晶片，扫查步进为 1，则 A=49）。

3 若需对工件在长度方向进行分段扫查，则各段扫查区的重叠范围至少为 20mm。对于环状工件（如环焊缝），扫查停止位置应越过起始位置至少 20mm。

4 扫查过程中应保持稳定的耦合，有耦合监控功能的仪器可开启此功能，若怀疑耦合不好，应重新扫查该段区域。

6.3.23 检测数据的分析应符合下列规定：

1 分析数据之前应对所采集的数据进行评估以确定其有效性，数据至少应满足以下要求：

- 1) 数据是基于扫查步进的设置而采集的；
 - 2) 采集的数据量满足所检测焊缝长度的要求；
 - 3) 数据丢失量不得超过整个扫查的 5%，且不准许相邻数据连续丢失；
 - 4) 扫查图像中耦合不良不得超过整个扫查的 5%，单个耦合不良长度不得超过 2mm。
- 2 若数据无效，应纠正后重新进行扫查。

6.3.24 缺陷的测量应符合下列规定：

1 结合 B 型显示、C 型显示、扇扫描及 A 扫描显示，对缺陷的位置、幅度、长度进行测量。

2 可采用各种聚焦方法提高定量精度。

3 可采用锯齿、转角、环绕等各种扫查方法提高定量精度和辅助定性。

4 扇扫描时，找到不同位置扇扫描的不同角度 A 扫描中缺陷的最高回波幅度作为该缺陷的幅度。线扫描时，找到不同孔径组合时，缺陷最高回波幅度作为该缺陷的幅度。

5 若缺陷最高幅度未超过满屏 100%，则以此幅度为基准，找到此缺陷不同角度 A 扫描回波幅度降低 6dB 的最大长度作为该缺陷的长度。若缺陷最高幅度超过满屏 100%，则找到此缺陷不同角度 A 扫描回波幅度降低到定量线时的最大长度作为此缺陷的长度。

6.3.25 缺陷的评定和质量分级

1 凡判定为裂纹、坡口未熔合及未焊透等危害性的缺陷显示，评为Ⅲ级。

2 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为Ⅲ级。

3 凡在评定线（不含评定线）以下的缺陷显示，评为Ⅰ级。

4 缺陷长度按实测值计，质量分级按表 6.3.25 的规定。

表 6.3.25 相控阵超声检测质量分级

等级	工件厚度 t (mm)	反射波幅 所在区域	允许的单个缺陷指示长度 (mm)	多个缺陷累计长度 最大允许值/ L' (mm)
Ⅰ 级	$\geq 6 \sim 100$	Ⅰ	≤ 50	—
	> 100		≤ 75	—
	$\geq 6 \sim 100$	Ⅱ	$\leq t/3$ ，最小可为 10，最大不超过 30	在任意 $9t$ 焊缝长度范围内，且深度在工件厚度 40%范围内（最小可为 6mm，但最大不超过 30mm）， L' 不超过 t 且最大不超过 150
	> 100		$\leq t/3$ ，最大不超过 50	
Ⅱ 级	$\geq 6 \sim 100$	Ⅰ	≤ 60	—
	> 100		≤ 90	—
	$\geq 6 \sim 100$	Ⅱ	$\leq 2t/3$ ，最小可为 12，最大不超过 40	在任意 $4.5t$ 焊缝长度范围内，且深度在工件厚度 40%范围内（最小可为 6mm，但最大不超过 30mm）， L' 不超过 t 且最大不超过 200
	> 100		$\leq 2t/3$ ，最大不超过 75	
Ⅲ级	≥ 6	Ⅱ	超过Ⅱ级者	
		Ⅲ	所有缺陷（任何缺陷指示长度）	
		Ⅰ	超过Ⅱ级者	—

注 1：当焊缝长度不足 $9t$ （Ⅰ级）或 $4.5t$ （Ⅱ级）时，可按比例折算。当折算后的多个缺陷累计长度允许值小于该级别允许的单个缺陷指示长度时，以允许的单个缺陷指示长度作为缺陷累计长度

允许值。

注 2: 用 6.3.24 规定的测量方法, 使声束垂直于缺陷的主要方向左右移动探头测得的缺陷长度。

6.3.26 检测报告至少应包括如下内容:

- 1 检测标准;
- 2 被检工件: 名称、编号、规格、材质、坡口形式、焊接方法和热处理状况;
- 3 检测设备仪器型号及编号、扫查装置包括编码器、试块、耦合剂;
- 4 检测条件: 检测工艺卡编号、探头参数及楔块选择、扫查方式 (S 或 E)、聚焦法则的设定、检测使用的波型、检测系统的设置、系统性能试验报告、角度增益修正文件、温度;
- 5 检测示意图: 探头扫查表面、检测区域以及所发现的缺陷位置和分布;
- 6 检测数据: 数据文件名称、缺陷位置与尺寸、质量级别及缺陷部位的图像 (S 扫描或 B 扫描等, 以能够真实反映缺陷情况为原则);
- 7 检测结论。

6.4 衍射时差法超声波检测

6.4.1 衍射时差法超声波检测的检测等级有 A/B/C 三个检测等级, 其对应相关检测标准和质量验收标准的关系如表 6.4.1 所示:

表 6.4.1 与各标准的对应关系

本标准检测技术等级	NB/T 47013.10	ISO 10863	ISO 5817
A	A	A	D 级
B	B	B	C 级
C	C	C	B 级

6.4.2 所有检测都应保证目标检测区域全覆盖, 检测区域应包含焊缝及其热影响区, 且至少包括焊缝两侧各 10mm 或者实测得到的热影响区宽度的区域。扫查面应至少保证 PCS 设置的要求, 足够扫查器的放置与移动。探头移动区域应清除飞溅、铁屑、油垢及其他杂质。扫查面的起伏不应致使探头与扫查面之间的间隙超过 0.5mm, 必要时, 应进行合适的修整。对于保留余高的焊缝, 焊缝应修磨至与母材平滑过渡。

6.4.3 耦合剂应保证良好的透声性能, 检测时采用的耦合剂应与调校设备采用的耦合剂一致; 检测时, 若需采用与调校设备时不同的耦合剂, 应考虑其性能差异; 耦合剂应在操作温度范围内保证稳定可靠的超声特性; 耦合剂应对操作人员、被检工件及环境无害。

6.4.4 当采用常规探头和耦合剂时，检测面温度应在 0℃至 50℃之间。系统校准与实际检测间的温度差应控制在±20℃之内，若温度过低或过高，应采取有效措施避免，若无法避免，应评价其对检测结果的影响。

6.4.5 衍射时差法检测仪器按超声波发射和接收的通道数，检测仪器可分为单通道和多通道仪器，检测仪器至少应具有超声波发射、接收、放大、数据自动采集、记录、显示和分析功能，其电气性能和功能应满足附录 B 的要求并提供证明文件，电气性能测试方法应符合现行国家规范《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 1 部分：仪器》GB/T 27664.1 的规定。

6.4.6 衍射时差法检测选用的配套分析软件不应掩盖任何检测中的问题，例如耦合不良、扫查线丢失、同步误差、电子噪声等；应可以对数据进行处理（例如直通波同步、直通波去除，底面反射波同步，底面反射波去除，SAFT 等），但不应更改原始检测数据；应具有选择适当的时间窗口和 D 扫长度进行 A 扫描数字化的功能。

6.4.7 衍射时差法通常采用两个分离的宽带窄脉冲纵波斜入射探头，一发一收相对放置组成探头对，固定于扫查装置上，探头的性能指标应满足附录 B 的要求并提供证明文件，测试方法应按照现行国家标准《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 2 部分：探头》GB/T 27664.2 的相关规定，在验证可获得相当的检测能力的前提下，也可使用其他形式的探头，例如相控阵探头、横波探头等。

探头的选取包括探头的型式和参数的选择。通常每一组探头对的两个探头，其标称频率、声束角度和晶片直径应相同；在验证满意时，也可使用不同参数的探头对，普通对接缝推荐采用的 TOFD 检测探头型式和参数见表 6.4.7。

表 6.4.7 普通对接缝推荐采用的 TOFD 检测探头型式和参数表

板厚 t mm	TOFD 设置 ^a 的数量	深度范围	中心频率 MHz	声束角度 °	晶片尺寸
≥12-15	1	0- t	15-10	70	2-3
>15-35	1	0- t	10-5	70-60	2-6
>35-50	1	0- t	5-3	70-60	3-6
>50-100	2	0- $2t/5$	5-3	70-60	3-6
		$2t/5-t$	5-3	60-45	6-12
>100-200	3	0- $t/5$	5-3	70-60	3-6
		$t/5-3t/5$	5-3	60-45	6-12
		$3t/5-t$	5-2	60-45	6-20
>200-300	4	0-40	5-3	70-60	3-6
		40- $2t/5$	5-3	60-45	6-12
		$2t/5-3t/4$	5-2	60-45	6-20

板厚 t mm	TOFD 设置 ^a 的数量	深度范围	中心频率 MHz	声束角度 °	晶片尺寸
		$3t/4-t$	3-1	50-40	10-20

6.4.8 新购置的 TOFD 仪器或探头、TOFD 仪器或探头在维修或更换主要部件后、检测人员有怀疑时应测定仪器和探头的组合性能，检测仪器和探头及其组合性能的要求应符合下列规定：

1 检测仪器和探头的组合频率与探头标称频率之间偏差不应大于 $\pm 10\%$ ，组合频率的测试方法按 JB/T 10062 的规定。

2 水平线性、垂直线性和灵敏度余量的测试方法应符合《无损检测 A 型脉冲反射式超声检测系统工作性能测试方法》JB/T 9214 的规定，水平线性不大于 1%，垂直线性不大于 5%，灵敏度余量应不小于 42dB。

3 采用本章节规定的对比试块时，在合适的检测设置下能使检测区域范围内的反射体衍射信号幅度达到满屏的 50%，并有 8dB 以上的信噪比。

4 仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角测定方法见附录 C。

6.4.9 检测用的标准试块和对比试块应采用与被检工件相同或相似的材料（如声速、晶粒结构和表面状况等），试块的一般制作要求应符合现行国家标准《无损检测 超声检测用试块》GB/T 23905 的相关规定。

- 1 可采用 CSK-IA 试块或 IIW 试块等合适的标准试块用于校准仪器探头的性能。
- 2 厚度在 $12\text{mm} \leq t \leq 100\text{mm}$ 的焊缝检测，可采用如图 6.4.9-1 所示的标准对比试块于检测灵敏度校准和分区检测时时间窗口的设置，也可以根据附录 D 的要求在充分考虑声速和表面状况的影响后尽可能使用工件焊缝进行对比试块的制作。

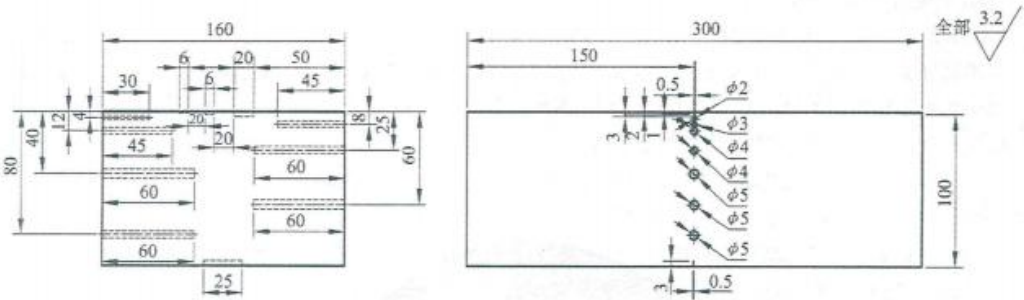
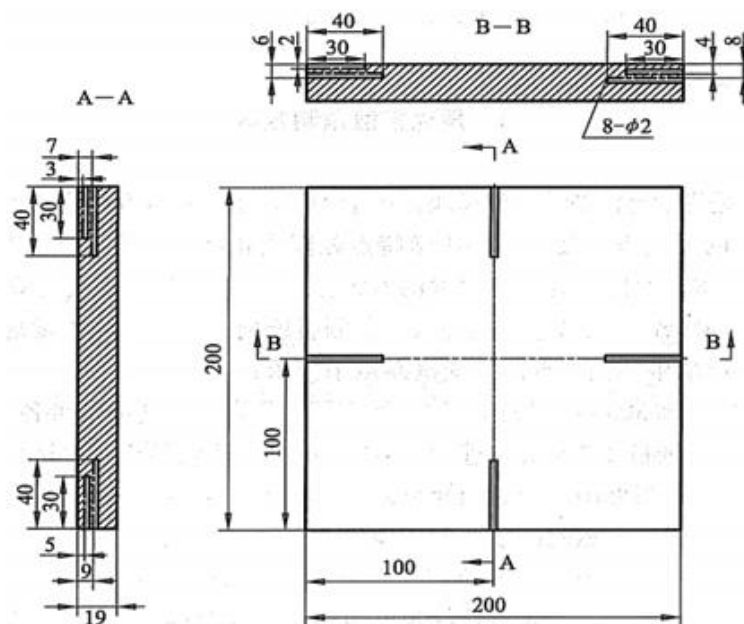


图6.4.9-1 对比试块

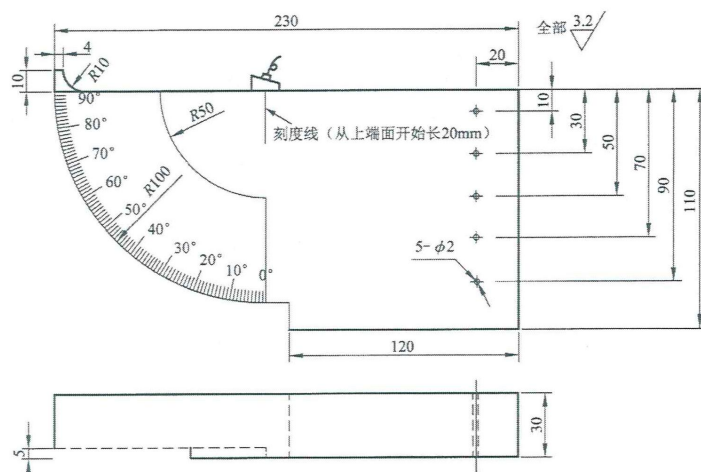
- 3 可采用如图 6.4.9-2 所示的扫查面盲区测定试块测定检测的表面盲区的高度。



孔径误差不大于 $\pm 0.02\text{mm}$ ，开孔垂直度偏差不大于 $\pm 0.1^\circ$ ，其他尺寸误差不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

图6.4.9-2 扫查面盲区测定试块

4 可采用如图 6.4.9-3 所示和附录 C 的声束扩散角试块测定检测仪器 and 探头组合的实际 -12dB 声束扩散角。



注：尺寸偏差不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ ，角度偏差不大于 $\pm 0.5^\circ$ 。

图6.4.9-3扩散角测试试块

5 用于验证检测工艺工艺验证试块厚度应为工件厚度的 0.9-1.3 倍，应设计有模拟缺陷。试块至少设计上下表面及内部埋藏各 1 处缺陷，若工艺验证试块能翻转，可用 1 个表面缺陷代替上、下表面缺陷，分区检测时，至少保证每个分区有一个缺陷。工艺验证试块中的模拟缺陷至少包含纵向缺陷、横向缺陷、面积状缺陷、体积型缺陷，并有 1 个验收合格的缺陷，单块工艺验证试块中未完全包含上述缺陷，可由多块同范围的工艺验证试块组合使用。

6.4.10 检测工艺的设置和校准应符合下列规定：

1 在不同的检测等级下，检测工艺的设置要求应至少如表 6.4.10 所示：

表 6.4.10 TOFD 检测技术等级的要求

技术等级	检测面	扫查面盲区 ^a	底面盲区 ^b	横向缺陷检测	采用模拟试块验证工艺	扫查面表面检测	底面表面检测
A	单面	≤1mm	≤1mm	/	/	需要	必要时 ^c
B	单面	≤1mm	≤1mm	需要	/	需要	必要时 ^c
C	双面 ^d	/	≤1mm	需要	需要	需要	需要

注 1：对于各检测技术等级，为使底面盲区或扫查面盲区高度 ≤1mm，可选的检测工艺或方法建议如下：
a) 当初始扫查面盲区高度 >1mm 时，宜采用脉冲反射法超声检测；
b) 当初始底面盲区高度 >1mm 时，宜采用偏置非平行扫查；
注 2：为检测横向缺陷，可采用 TOFD 斜向扫查，也可按照常规超声检测的横向扫查进行。
注 3：表面检测方法包括磁粉检测/渗透检测或涡流检测，优先采用磁粉检测。
注 4：脉冲反射法超声检测/磁粉检测/渗透检测和涡流检测应按照相关规定的要求进行。

a 检测区域内的扫查面盲区，一般应在盲区高度测定试块上验证。
b 检测区域内的底面盲区。
c 底面有可疑相关显示时。
d 若由于结构原因，可以在无法进行双面检测的局部采用 B 级检测，但应采用模拟试块验证工艺且一般应进行底面表面检测。

2 当工件厚度 $t \leq 50\text{mm}$ 时，可采用一组探头对检测，推荐将探头中心距（PCS）设置为使该探头对的声束交点位于 $2/3t$ 深度处。当工件厚度 $t > 50\text{mm}$ 时，应在厚度方向分成若干不同的深度范围，采用不同参数的探头对分别进行检测；推荐将探头中心距设置为使每一探头对的声束交点位于 $2/3t$ 深度处；该探头声束在所检测深度范围内相对声束轴线处的声压幅值下降不应超过 12dB；检测工件底面的探头声束与底面检测区域边界处法线间的夹角一般应不小于 40 度。当对重点关注区域检测时，应尽可能保证关注区域声束夹角在 120 度附近，以获得较好的检测效果。

3 扫查面盲区高度采用实测法确定。将设置好的扫查工艺参数分别对不同深度的侧孔进行扫查，以发现的横孔的最小深度作为初始扫查面盲区高度。扫查面盲区若选用脉冲反射爬波法检测，应在工艺文件中明确爬波探头的规格型号和布置方式。底面盲区高度可计算所得，推荐按公式 6.4.10 计算：

$$\Delta h = t \left(1 - \sqrt{1 - \frac{x^2}{s^2 + t^2}} \right) \dots\dots\dots 6.4.10$$

式中：

t——工件厚度的数值，单位为 mm；

x——偏离焊缝中心线的距离（此处为底面检测区域宽度的一半）的数值，单位为 mm；

s——探头中心间距的数值，单位为 mm。

4 波束的覆盖可采用相关仿真软件或者 CAD 作图的方式进行确定，应保证波束对检测体积的全覆盖（附录 E）。

5 在检测前应在工件上进行灵敏度校准，应符合本规程第 6.4.12 条的规定。使用对比试块进行灵敏度设置时应进行必要的传输修正，具体方法可参经常规超声检测的相关要求。

6 编码器应在每次使用前进行校准。扫查装置移动一定距离（不小于 500 mm），检测设备所显示的位移与实际位移误差应小于 1%，最大不超过 10 mm。

7 不分区检测时，可选用直通波和底面波的时间间隔所反映的厚度校准为已知的工件厚度。分区检测时，可选用对比试块内已知深度的反射体信号校准检测设备的深度显示，也可选用直通波、底面波结合对比试块内已知深度的反射体信号校准检测设备的深度显示。若检测时采用对比试块校准检测深度，则在实际检测时显示的工件厚度与已知工件厚度偏差不大于工件厚度的 3%或者 2 mm（取较大值），否则应重新进行深度校准。

6.4.11 扫查装置的探头夹持部分在扫查时应能保证声束朝向与焊缝长度方向夹角不变，且夹持部分应确保探头与编码器同步运动。扫查装置应具有确定探头位置的功能，可通过步进电机或编码器实现对位置的探测与控制，编码器的分辨率和精度应符合工艺要求。在扫查时应尽可能使用导向装置使探头运动轨迹与拟扫查轨迹保持一致。

条文说明：使用导向装置的目的是提高探头运动轨迹与拟扫查轨迹和数据采集的一致性。

6.4.12 设备器材性能控制核查项目见表 6.4.12。

表 6.4.12 设备器材性能控制核查

项目名称	核查（或检定、校验）周期
声速	每次检测前；对检测结果有异议时
灵敏度	每次检测前；对检测结果有异议时
显示波幅	投入使用前和使用中每年校准一次；期间核查每三个月一次；维修后
显示水平	投入使用前和使用中每年校准一次；期间核查每三个月一次；维修后

6.4.13 检测前应对检测设备进行设置，检测设备的设置应符合下列规定：

1 当工件厚度不大于 50mm，可进行一次非平行扫查，采用单检测通道时，其时间窗口的起始位置应设置为直通波到达前 0.5μs 以上，时间窗口的终止位置应设置为工件底面的一次波型转换波后 0.5μs 以上。当工件厚度大于 50mm 时，应分区进行非平行检测，每个分区

的检测时间窗口至少应包含所需检测的深度范围，同时应符合以下要求：

- 1) 首先根据已知的对比试块内的各侧孔实际深度校准检测设备的深度显示；
- 2) 最上分区的时间窗口起始位置应设置为直通波到达前 0.5μs 以上，时间窗口的终止位置应设置为所检测深度范围的最大值；
- 3) 其他分区的时间窗口起始位置应在厚度方向依次向上覆盖相邻分区深度范围的 25%；
- 4) 最下分区的时间窗口的终止位置应设置为底面反射波到达探头前 0.5μs 以上。

2 若被检工件厚度不大于 50mm 且采用单通道检测时，可在被检工件上面进行直接设置灵敏度，直通波应达到 40%~80%的满屏刻度；若直通波不可用，采用底面回波比 100%满屏刻度高 18dB~30dB 的灵敏度设置；若直通波和底波均不可用，将材料晶粒噪声调至介于满屏刻度的 5%~10%作为灵敏度。当工件厚度大于 50mm 且厚度方向分区检测时，应采用对比试块设置，将各通道 A 扫描时间窗口内各反射体产生的最弱衍射信号波幅设置为满屏高的 40%~80%作为灵敏度（最上层分区也可将直通波的 40%~80%作为检测灵敏度）。在检测灵敏度下，材料晶粒噪声应低于满屏刻度的 20%，若晶粒噪声高于满屏刻度 20%时，应适当降低检测灵敏度进行扫查。

3 扫查步进的设置应根据板厚来决定，按表 6.4.13 进行设置：

表 6.4.13 普通对接缝推荐采用的 TOFD 检测设置

工件厚度 mm	扫查步进最大值 $\Delta X_{\max}$ mm
$6 \leq t \leq 150$	1.0
$t > 150$	2.0

条文说明：扫查步进是指扫查过程中相邻两个 A 扫描信号间沿工件扫查路径的空间间隔。

4 应选择合适的扫查速度以保证获得满足要求的图像。扫查速度取决于扫查步进，信号平均处理次数，脉冲重复频率，数据采集频率，以及检测体积。扫查速度应不大于最大扫查速度 $V_{\max}$ ，同时应保证耦合效果和满足数据采集的要求。最大扫查速度按公式 6.4.13 计算：

$$v_{\max} = \frac{PRF}{N} \Delta x \dots\dots\dots 6.4.13$$

式中：

$V_{\max}$ ——最大扫查速度的数值，单位为毫米每秒（mm/s）；

PRF——激发探头的脉冲重复频率的数值，单位为赫兹（Hz）；

Δx ——设置的扫查步进值的数值，单位为毫米（mm）；

N——设置的信号平均化处理次数的数值，单位为个。

5 数字化频率的设置至少为所选探头最高标称频率的 6 倍，接收电路的频率响应范围为

所选探头标称频率的 0.5~1.5 倍，脉冲重复频率应满足公式 6.4.13 的要求。信号平均化处理有利于降低随机噪声的影响提高信噪比，检测前应合理设置信号平均化处理次数 N，一般设定为 1，噪声较大时的设定值不大于 16。

6.4.14 检测步骤应符合下列规定：

- 1 扫查前应确认检测工件的相关信息，确定并标记好扫查的零点，确定好扫查路径。
- 2 两个探头沿平行于焊缝方向扫查，探头朝向焊缝中心线并保持固定的距离。扫查时应保证实际扫查路径与拟扫查路径的偏差不超过探头中心间距的 10%。
- 3 扫查中的数据收集可用于检测和定量。进一步评估初次扫查中的 TOFD 显示，需要进行额外的扫查，例如偏移扫查、垂直于缺陷的扫查或增加新的 TOFD 设置（进行扫查）。
- 4 每次扫查长度不应超过 2000mm；若需对焊缝在长度方向进行分段扫查，则各段扫查区的重叠范围至少为 20 mm；对于环焊缝，扫查停止位置应越过起始位置至少 20 mm。
- 5 直通波、底波、增益噪声、波形转换波等信号幅度下降 12dB，说明存在耦合不良。如果怀疑存在耦合不良，该区域应该重新扫查；如果效果仍旧不好，应采取适当的措施解决。
- 6 扫查中直通波饱和或增益噪声太高（超过 20%FSH），应纠正并重新扫描。
- 7 检测数据应按照相关的工艺文件要求进行编号存储。
- 8 当检测过程中，若发现底面有可疑相关显示时，应选用合适的无损检测方法进一步确认。

6.4.15 对于两侧母材不等厚工件对接接头的检测，应优先在平齐面进行扫查。当平齐面扫查有困难，在非平齐面扫查时，应考虑缺陷的显示深度和实际深度差值的修正。对于不削边处理的焊接接头应进行深度修正；对于削边处理的焊接接头应制作相同厚度和结构形式的对比试块，根据与对比试块的对比确定修正。

6.4.16 在检测过程中检测设备停机后开机或更换部件时；检测人员改变扫查参数或有怀疑时；检测每工作 4h 或检测结束时应对检测系统进行复核，如果复查发现检测系统与初始设置有偏差，应参照表 6.4.16 采取纠正措施。

表 6.4.16 灵敏度 and 检测范围纠正措施

灵敏度		
偏差	≤6dB	不需要采取措施，数据可通过软件调整
	>6dB	应纠正设置，上一次检查后的所有检测应重新检测
深度		
偏差	≤2mm 或板厚的 3%，取较大值	不需要纠正
	>2mm 或板厚的 3%，取较大值	应纠正设置，上一次检查后的所有检测应重新检测
位移		
偏差	≤5%	不需要采取措施

	>5%	应对上次设置以后所检测的位置进行修正
--	-----	--------------------

6.4.17 TOFD 扫查应获得满足要求的图像，若发现直通波/底面反射波/波形转换波波幅降低 12dB 以上或怀疑耦合不好时，应重新扫查；数据的丢失不得超过数据总量的 5%，且不得有相邻的线丢失且丢失的数据不得影响缺陷的评定。

6.4.18 应对合格的 TOFD 图像上的 TOFD 显示进行评估，TOFD 显示可通过图像的形态或扰动来识别。TOFD 可以用图形显示焊缝不连续的几何特征，为了确定 TOFD 显示的几何特征，应清楚检测对象的详细信息，由已知的或实际工件几何形状引起的显示认为是非相关显示。应结合波形或扰动形状和相对于基本噪声水平的波幅显示进行评估判断 TOFD 显示是不是相关（由缺陷引起的）显示，根据灰度值或邻近截面的波形判断 TOFD 显示的范围（不连续长度）。不能识别的 TOFD 显示，应进一步检测和分析。

条文说明：评估 TOFD 图像的质量需要有经验丰富的操作者，检测人员应判断是否为不合格的图像，是否需要要求重新采集（扫查）。TOFD 检测图像数据的解释和分析步骤通常为：

- 1 评估 TOFD 图像的质量；
- 2 识别相关 TOFD 显示和非相关 TOFD 显示；
- 3 按照内部缺陷（线性、点状）及表面开口缺陷两类对相关 TOFD 显示进行分类；
- 4 测量位置（通常在 X 方向和 Z 方向进行定位）和大小（长度和贯穿范围）；
- 5 根据验收标准评估验收。

6.4.19 TOFD 相关显示的波幅、相位、位置以及形状可能包含有不连续的类型相关的信息，TOFD 相关显示根据直通波扰动、底面反射波扰动、介于直通波和底面反射波的 TOFD 显示、直通波和底面反射波的 TOFD 显示的相位、第一个底面反射波后的波形转换信号等特征分为表面开口不连续或埋藏不连续：

- 1 表面开口不连续可以分为以下三种类型：

1) 扫查面开口不连续，该类型通常显示为直通波的减弱、消失或变形，仅可观察到一个端点（不连续下端点）产生的衍射信号，且与直通波同相位，对于较小的缺陷，有时仅能看到直通波的少量延迟。

2) 底面开口型，该类型通常显示为底面反射波的减弱、消失、延迟或变形，仅可观察到一个端点（不连续上端点）产生的衍射信号，且与直通波反相位。

3) 贯穿型，该类型显示为直通波和底面反射波同时减弱或消失，可沿壁厚方向产生多处衍射信号。

- 2 埋藏不连续通常不会影响直通波和底面回波，埋藏不连续可以分为以下三种类型：

1) 点状显示，该类型显示为双曲线弧状，且与拟合弧形光标重合，无可测量长度和高度。

- 2) 线状显示（无可测量高度），该类型显示为细长状，无可测量高度。

3) 条状显示(有可测量高度), 该类型显示为长条状, 可见上、下两端产生的衍射信号。下端信号通常与直通波相位相同, 上端信号通常与底波相位相同。

6.4.20 点状不连续的定位, 可以直接用 X 坐标和 Z 坐标来表示, 条状或线状的不连续可以采用不连续端点的坐标来表示。检测报告或操作规程中应明确规定缺陷的定位规则。通常不要求进行 Y 轴定位, 如果需要明确缺陷的 Y 轴坐标, 还需要做额外的检测。如果需要进行更精确的定位, 需要重新设计扫查方案, 例如采用合成孔径聚焦技术(SAFT)等。

6.4.21 对不连续的定量主要采用高度和长度来确定, 长度由 TOFD 显示的两个末端的 X 坐标间距确定, 高度由 Z 坐标的最大差距来确定, 对于高度随着 X 轴变化的不连续, 应取其高度最大值。埋藏型不连续的高度由不连续信号的在同一 X 轴位置(同一扫描线)的顶点与低点的最大差值决定。

1 根据 TOFD 显示的类型, 采用以下所述的方法进行长度测量。

1) 细长且直的显示, 在深度上没有明显变化, 平行于焊缝。采用双曲线光标进行测量, 假设不连续细长且长度有限, 只有在不连续的两端才有可能使双曲线光标与显示重合, 测量光标移动的距离, 即为不连续的长度 l, 见图 6.4.21-1。

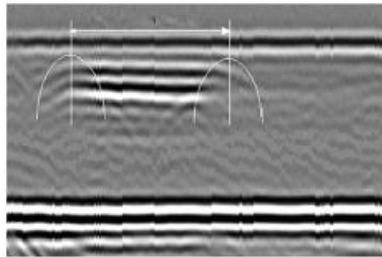


图 6.4.21-1 细长且直的显示的长度测量

2) 细长弯曲显示, 在深度上有明显的变化, 显示呈曲线状。将曲线光标放在显示两端, 位于不连续显示嵌入深度的三分之一处, 光标在两端之间移动的距离, 即为不连续的长度, 见图 6.4.21-2。

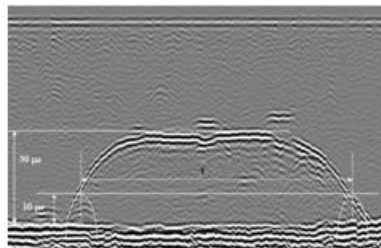


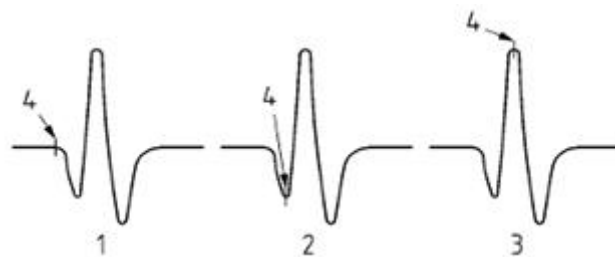
图 6.4.21-2 细长弯曲显示的长度测量

2 高度的测量应选择信号稳定的, 在高度上变化不明显区域的 A 扫描来进行测量, 同时应考虑到相位反转。推荐采用下列方法进行。如图 6.4.21-3 所示。

方法 1: 通过测量信号前沿之间的间距;

方法 2: 通过测量信号第一个波峰之间的间距;

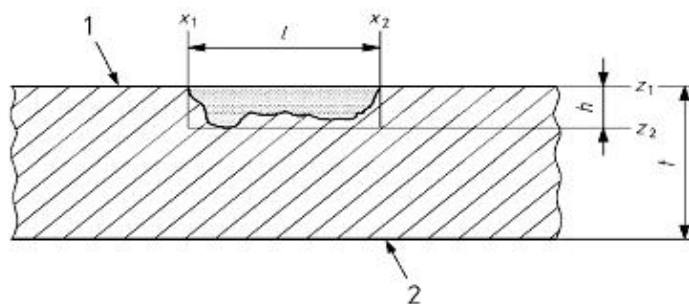
方法 3: 通过测量信号的最大波幅之间的间距。



- 1——方法1;
2——方法2;
3——方法3;
4——测量传输时间点位置。

图 6.4.21-3 高度测量的光标位置选择

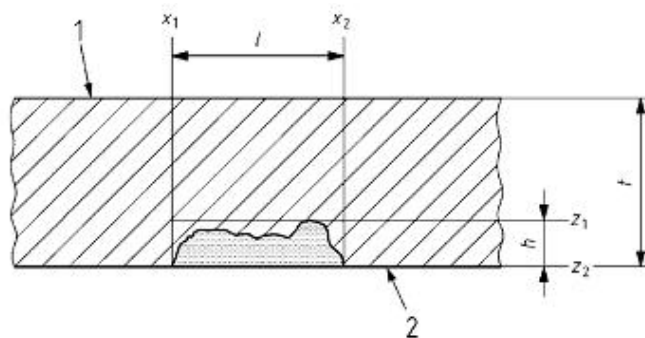
1) 扫描表面开口不连续的高度由直通波和不连续下端点的衍射信号之间的差距决定，见图 6.4.21-4。



- 1——扫描面;
2 ——底面;
x1 ——不连续的X轴起始端;
x2 ——不连续的X轴结束端;
z1 ——不连续的Z轴起始端;
z2 ——不连续的Z轴结束端;
h——高度;
 $l = x_2 - x_1$ 长度。

图 6.4.21-4 扫描面开口不连续的高度测量

2) 对于底面开口不连续，高度由不连续上端点的衍射信号与底面回波之间的差距来决定，见图 6.4.21-5。

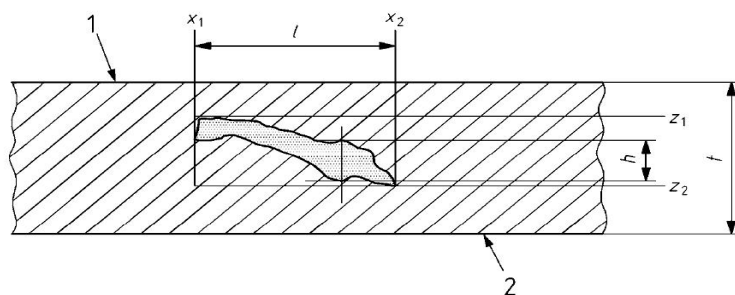


- 1 ——扫描面;
2 ——底面;
x1 ——不连续的X轴起始端;

x2 ——不连续的X轴结束端；
 z1 ——不连续的Z轴起始端；
 z2 ——不连续的Z轴结束端；
 h ——高度；
 $l = x_2 - x_1$ 长度。

图 6. 4. 21-5 底面开口不连续的高度测量

3) 埋藏型不连续的高度由缺陷的上端点衍射信号与下端点衍射信号的差距的最大值决定，见图 6.4.21-6。



1 ——扫查面；
 2 ——底面；
 x1 ——不连续的X轴起始端；
 x2 ——不连续的X轴结束端；
 z1 ——不连续的Z轴起始端；
 z2 ——不连续的Z轴结束端；
 h ——高度；
 $l = x_2 - x_1$ 长度。

图 6. 4. 21-6 埋藏不连续的高度测量

6.4.22 对 TOFD 检测结果进行分类和定位、定量后，应参照验收标准进行质量分级，评定为合格或不合格。TOFD 检测结果验收，可以由相关方协商决定。在没有另外规定验收标准的情况下，可以参照以下原则进行验收。

- 1 不允许危害性表面开口缺陷的存在。
- 2 如检测人员可判断缺陷类型为裂纹、坡口未熔合等危害性缺陷时，评为III级。
- 3 相邻两个或多个缺陷显示（非点状），其在 X 轴方向间距小于其中较小的缺陷长度且在 Z 轴方向间距小于其中较小的缺陷自身高度时，应作为一条缺陷处理，该缺陷深度、缺陷长度及缺陷自身高度按如下原则确定：

- 1) 缺陷深度：以两缺陷深度较小值作为单个缺陷深度；
- 2) 缺陷长度：两缺陷在 X 轴投影上的前、后端点间距离；
- 3) 缺陷自身高度：若两缺陷在 X 轴投影无重叠，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 X 轴投影有重叠，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）。

4 点状显示用评定区进行质量分级评定，评定区为一个与焊缝平行的矩形截面，其沿 X 轴方向的长度为 100mm，沿 Z 轴方向的高度为工件厚度。在评定区内或与评定区边界线相

切的缺陷均应划入评定区内，按表 6.4.22-1 的规定评定焊接接头的质量级别。对于密集型点状显示，按条状显示处理。

表 6.4.22-1 各级别允许的条状显示的个数

等级	工件厚度 t/mm	个数
I	12~400	$t \times 0.5$ ，最大为 130
II		$t \times 0.8$ ，最大为 200
III		超过 II 级者

5 非点状缺陷显示的质量分级按表 6.4.22-2 的规定进行。

表 6.4.22-2 焊接接头质量分级

单位为 mm

等级	工件厚度 t ^a	单个缺陷						单个或多个缺陷累计长度
		表面开口缺陷			埋藏型缺陷			
		长度 l _{max}	高度 h ₃	若 l>l _{max} ， 缺陷高度 h ₁	长度 l _{max}	高度 h ₂	若 l>l _{max} ， 缺陷高度 h ₁	
I	12≤t≤15	≤t/2	≤2	≤1	≤t/2	≤3	≤1	a) 对于单个或多个 h≤h ₁ 的线状缺陷，在任意 12t 范围内累计长度不应超过 3t 且最大值为 150mm； b) 若多个缺陷其各自长度 l≤t/2、高度 h 均为：h ₁ <h≤h ₂ 或 h ₃ ，则在任意 12t 范围内累计长度不应超过 3t 且最大值为 150mm； c) 所有表面开口缺陷累计长度不应大于整条焊缝长度的 5%且最长不应超过 300mm
	15<t≤40	≤t/2	≤2	≤1	≤t/2	≤4	≤1	
	40<t≤60	≤20	≤3	≤2	≤20	≤5	≤2	
	60<t≤100	≤25	≤3	≤2	≤25	≤5	≤2	
	t>100	≤30	≤4	≤3	≤30	≤6	≤3	
II	12≤t≤15	≤t	≤2	≤1	≤t	≤3	≤1	a) 对于单个或多个 h≤h ₁ 的线状缺陷，在任意 12t 范围内累计长度不应超过 3t 且最大值为 300mm； b) 若多个缺陷其各自长度 l≤t、高度 h 均为：h ₁ <h≤h ₂ 或 h ₃ ，则在任意 12t 范围内累计长度不应超过 4t 且最大值为 200mm； c) 所有表面开口缺陷累计长度不应大于整条焊缝长度的
	15<t≤40	≤t	≤2	≤1	≤t	≤4	≤1	
	40<t≤60	≤40	≤3	≤2	≤40	≤5	≤2	
	60<t≤100	≤50	≤3	≤2	≤50	≤5	≤2	
	t>100	≤60	≤4	≤3	≤60	≤6	≤3	

等级	工件厚度 t ^a	单个缺陷						单个或多个缺陷累计长度
		表面开口缺陷			埋藏型缺陷			
		长度 l _{max}	高度 h ₃	若 l>l _{max} ， 缺陷高度 h ₁	长度 l _{max}	高度 h ₂	若 l>l _{max} ， 缺陷高度 h ₁	
								10%且最长不得超过 500mm
III	12～400	超过 II 级者						
^a 公称厚度：当焊缝两侧母材公称厚度不同时，取薄侧。								

6 当各类缺陷评定的质量级别不同时，以质量级别最低的作为焊接接头的质量级别。

条文说明：由于 TOFD 技术是基于超声衍射时差的检测技术，其在某一固定时差时是一椭圆轨迹，故而在深度和水平位置上无法准确判断，故而需要通过辅助的检测来确定其准确位置，如平行扫查或常规超声。TOFD 检测时得到信号主要是缺陷在深度方向端点的衍射或者反射信号，并且衍射的指向性较弱，故而对于缺陷的准确定性有较大困难。本章节中未能详述的超声检测相关的规定和方法，按照本规程第 7 章执行。

6.4.23 应按照现场操作的实际情况详细记录检测过程的有关信息和数据。检测记录至少应包括下列内容：

- 1 与被检工件有关的内容：名称、编号、规格、材质、坡口型式、焊接方法、热处理状况、检测部位及检测前的表面状态等；
- 2 检测设备器材：仪器型号及编号、探头型号和编号、扫查装置、试块、耦合剂等；
- 3 检测工艺参数：检测标准、技术等级、检测操作指导书编号、检测面、检测区域、探头布置图、检测系统设置和核查的数值、扫查方式；
- 4 检测示意图；
- 5 检测数据和分析：每一数据文件的名称及分析结果（包括其中需记录和测定的缺陷位置与尺寸、质量级别）；
- 6 检测系统总体设置确认的数据：技术等级为 C 级时，还应包括模拟试块验证的数据与结果。

6.4.24 应依据检测记录出具检测报告，至少应包括下列内容：

- 1 与被检工件有关的内容：检测对象的名称、编号、规格尺寸、材质、坡口型式、焊接方法、热处理状况、检测部位和检测比例、检测时的表面状态、检测时机、温度等；
- 2 检测设备器材：仪器和探头规格型号、扫查装置、耦合剂、试块（必要时）等；
- 3 检测工艺参数：检测操作指导书编号、检测面、探头设置、扫查方式；
- 4 检测结果和结论：数据文件名称，可记录缺陷的位置与尺寸、质量级别、数据文件名、检测结论。

7 涂层质量检测

7.1 一般规定

4.1.1 本章适用于民用建筑装配式钢结构的防腐涂层厚度检测、防火涂料厚度检测和涂层附着力检测。

4.1.2 防腐涂层厚度检测适用于装配式钢结构的防腐涂层厚度的检测。防火涂层厚度检测适用于装配式钢结构的防火涂料厚度的检测,包括非膨胀型钢结构防火涂料、膨胀型钢结构防火涂料的厚度检测。涂层附着力检测适用于油漆类涂层、薄型防火涂层和金属喷涂类涂层的附着力检测。

条文说明:防腐涂层厚度检测根据涂装层材料不同可有不同的检测方法。防火涂料按防火机理分为非膨胀型钢结构防火涂料,即涂层在高温时不膨胀发泡,其自身成为耐火隔热保护层;膨胀型钢结构防火涂料,即涂层在高温时膨胀发泡,形成耐火隔热保护层。

7.2 防腐涂层厚度检测

7.2.1 钢结构及轻钢结构的防腐涂层厚度检测,应经外观检查合格后进行,检测构件表面涂料涂层应无漏涂、裂纹和脱皮现象,表面应均匀、无明显皱皮、流坠、针眼、气泡反锈等明显缺陷。

条文说明:涂装质量的检测必须在外观合格的构件表面进行,检测前应确认所检构件外观检查合格,否则会影响检测结果的准确性。

7.2.2 防腐涂层厚度检测应在涂层干燥后进行,构件表面检测区域不应有结露或污损。防腐涂层质量检测宜在工厂室内进行,减少不利天气对检测的影响。

条文说明:现场抽检受天气、场地等影响,给检测工作带来不便,也可能影响施工工期。有条件的情况下,宜在工厂进行第三方驻厂抽检,可充分发挥装配式的优势。

7.2.3 防腐涂层厚度检测除满足本规程要求外,尚应满足设计的有关要求。

7.2.4 检测数量及分布:

1 防腐涂料的厚度检测按照构件总数的 10%抽样,且同类构件不少于 3 件,每个构件应布置 5 个测区,每个测区检测 3 个测点,测点间距宜为 50mm,取 3 个测点涂层厚度检测值的平均值为该测区涂层厚度的代表值,漆膜层厚度的允许偏差不超过 $-25\mu\text{m}$;

2 金属热喷涂涂层厚度检测按平整表面每 10m^2 表面检测基准面数量不得少于 3 个,不规则表面可适当增加基准面,每个基准面布置 5 个测区,每个测区检测 3 个测点,测点间距宜为 50mm,取 3 个测点涂层厚度检测值的平均值为该测区涂层厚度的代表值,涂层厚度的允许偏差不超过 $-25\mu\text{m}$ 。

3 当检测在现场进行时，每批抽检构件宜选择不少于 20% 的测区布置于焊缝等连接部位附近的防腐涂层现场补涂区域内。

条文说明：钢柱涂层构件的划分：按每个楼层每个柱位划分为 1 个构件；钢梁涂层构件的划分：按每个楼层每条钢梁划分为 1 个构件；桁架涂层构件的划分：每根弦杆划分为 1 个构件，每根腹杆划分为 1 个构件；网架涂层构件的划分：每根杆件划分为 1 个构件，每个螺栓球（焊接球）划分为 1 个构件。

装配式钢结构的防腐涂装一般在工厂进行，预留连接部位未涂装（或涂装不影响焊接等连接的涂层），现场连接拼装后进行补涂防腐涂层，为了全面评价构件的涂装厚度，宜在选取一定数量的测点，这里每个构件 5 个测区，如果选 1 个在连接部位附近的测区，技术占 1/5 的比例，即 20%。

4 当某个测区的涂层厚度检测代表值大于 5 个测区检测值的平均值的 30% 以上时，宜另选测区补测，以补测测区代表值参与构件的涂层厚度评定。

条文说明：因为涂层施工时，要求同一层内各涂层带之间有 1/3 的重叠宽度（每层厚度为 25~80 μm ），如涂装多次在该部位重叠，可能造成涂装重叠区域的涂层厚度明显大于其他区域，但是重叠区域的涂层厚度不能代表构件涂层总体厚度水平，因此，宜另选有代表性的检测区域。

7.2.5 干漆膜涂层测厚仪的性能应稳定，可较长时间保持零位稳定不漂移，应具有温度补偿技术，保证仪器在-10~+40℃环境温度下的测量精度均不应低于 10%。最小分辨率不应大于 2 μm ，最大量程不应小于 1200 μm ，示值误差不应大于 3%。

条文说明：本条规定了测厚仪的基本技术要求，市场上的检测仪器种类较多，只要仪器质量稳定、分辨率、量程及误差等符合本条规定的既可以用于检测。

7.2.6 测厚仪使用前应经标准样块调零修正。

7.2.7 在构件弯曲表面检测时，应考虑曲率半径对检测的影响，同时需满足检测仪器对曲率半径适用范围的要求。

7.2.8 涂层测厚仪应可自动识别磁性或非磁性基材。

条文说明：特殊需要时，钢结构基材可能会有带有磁性，因此仪器必须具有自动识别磁性的功能，才能确保该情形下检测的准确性。

7.2.9 测厚仪使用前应先进行预热、调零和校准，仪器经校准后方可用于检测。

7.2.10 测厚仪校准应使用与被测构件基体金属具有相同性质的校准块和标准片对仪器和探头组合性能进行校准，也可用待涂覆构件进行校准，校准宜采用两点校准法校准。检测期间如关机后再开机后，应对仪器重新校准。

条文说明：仪器使用前必须进行预热并校准方可用于检测，本标准推荐采用两点校准法校准，两点校准法是选择与待测构件上的涂层厚度大致相当的“标准片”在仪器上进行测量，调节仪器示值与标准厚度片的标称值一致。关机后再开机检测时，为了避免关机带来的仪器示值

漂移带来的误差，应对仪器重新校准。

7.2.11 选择检测构件、测区宜分布均匀，构件及测区应具有代表性，不应布置于有明显缺陷区域。检测前应清除测区表面的防火涂层、灰尘、油污等。

7.2.12 检测时，测点距构件边缘或内转角处的距离不宜小于 20mm。探头与测点表面应垂直接触，接触时间宜保持 1s~2s，读取仪器显示的测量值，对测量值应进行存储和记录。涂层应均匀，无明显皱皮、流坠、针眼和气泡等。按照构件数抽查 10%，且同类构件不应少于 3 件。

7.2.13 测区涂层厚度代表值：每个测区的 3 个测点值取算术平均值作为该测区涂层厚度代表值。

7.2.14 构件涂层厚度的代表值：以每个构件的 5 个测区涂层厚度的代表值的算术平均值作为构件涂层厚度代表值。

7.2.15 热喷涂金属和其他无机覆盖层厚度检测方法应符合现行国家标准《热喷涂 金属和其它无机覆盖层 锌、铝及其合金》GB/T9793 的相关要求以及现行国家标准《热喷涂涂层厚度的无损测量方法》GB/T 11374 的有关规定。

条文说明：热喷涂金属和其他无机覆盖层厚度检测方法已经有成熟的国家标准可以依照，因此，本标准直接引向相关的国家标准。

7.2.16 热浸镀锌防腐涂层厚度检测方法应符合现行国家标准《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层技术要求及试验方法》GB/T 13912 的相关要求进行。

条文说明：热浸镀锌防腐涂层厚度已经有成熟的国家标准检测方法可以依照，因此，本标准直接引向相关的国家标准。

7.2.17 检测完成后宜对仪器在校准复核，方法同检测前的校准方法。

条文说明：原始记录一般为纸质记录时，相关检测人员应在原始记录上签字，目前市场上的仪器大部分具有电子数据文件保存功能，但为了保证数据的可靠和唯一性，应具有电子签字加密锁定数据的功能。

7.2.18 检测结果应记录完整，相关检测人员应在原始记录上签字。如在仪器上采用电子文件形式保存检测结果，仪器存储文件应采取电子签名方式由检测人员签名并加密锁定检测结果数据，加密锁定数据后进行存储和传输，以确保数据唯一性。

7.2.19 防腐涂料涂层厚度、金属热喷涂防腐和热浸镀锌防腐涂层厚度均应满足设计文件、涂料生产标准的要求。

7.2.20 每测区涂层厚度的代表值不应小于设计厚度的 85%，构件涂层厚度的代表值不应小于设计厚度。当测区厚度代表值或构件涂层厚度的代表值不满足以上要求时，厚度检测结论即为不满足设计要求。

7.2.21 当设计对涂层厚度无要求时，构件涂层干漆膜总厚度：室外构件应不小于 150 μm，

室内构件应不小于 125 μm ，构件涂层厚度的代表值允许最大偏差为-25 μm 。

条文说明：涂层厚度除满足国家相关规范要求外还应符合设计文件的要求，常规结构当设计文件没有专门规定是，各种涂层厚度也应满足正常使用的最低要求。

7.2.22 若检测结论为不满足设计要求时，应在该批构件中再双倍取样检测，若这一较大样本检测结果满足要求，则该批构件涂层厚度合格；若不满足要求，则这批构件涂层厚度评为不合格。

7.2.23 金属热喷涂防腐和金属和其他无机覆盖层厚度评价应按现行国家标准《热喷涂 金属和其它无机覆盖层 锌、铝及其合金》GB/T9793 的相关要求执行。

7.2.24 热浸镀锌防腐涂层厚度检测结果评价应按现行国家标准《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层技术要求及试验方法》GB/T 13912 的相关要求执行。

7.2.25 防腐涂料涂层厚度检测报告应至少包括下列内容：

- 1 工程概况、检测目的、检测日期、检测地点；
- 2 检测依据、检测仪器设备相关信息；
- 3 设计要求、检测内容、抽样数量；
- 4 检测方法；
- 5 检测结果、评定结果及建议；
- 6 附件（附图、附表）。

7.3 防火涂层厚度检测

7.3.1 防火涂层厚度检测应在涂层干燥后，经外观检查合格后进行。

7.3.2 检测部位应具有代表性，涂层不应有明显缺陷及灰尘、泥沙等污垢。

7.3.3 抽检数量为构件总数的 10%，且同类构件不应少于 3 件。

7.3.4 防火涂层厚度检测测点及数量应符合下列规定：

1 楼板、墙体的防火涂层厚度测定，可选相邻纵、横轴线相交中的本层面积为一个单元，按网格均匀布置测点，测点间距宜为 1 米，每个构件不应少于 5 个测点。

2 梁、柱、支撑等杆系构件的防火涂层厚度测定，在构件长度内每隔 3m 取一个截面，且每个构件不应少于 2 个截面，每个截面不应少于 3~4 个测点。

3 桁架结构防火涂层厚度测定，上、下弦杆每隔 3m 应取一个截面，且每根杆件不应少于 2 个截面，桁架其他腹杆每根截取一个截面，每个截面不应少于 4 个测点。

4 空间杆系结构的防火涂层厚度测定，按同类杆件数量均匀随机布置 10%杆件，且不少于 3 件，每根杆件不应少于 2 个截面，每个截面不应少于 4 个测点。

5 当检测在工厂进行时，测点宜在所选构件截面周边均匀分布，当检测在构件拼装后的现场进行时，不同类型截面按图 7.3.4 所示位置检测。

条文说明：常见的钢结构构件类型有楼板、墙体等板系单元，还有梁、柱、支撑等框架杆系

构件，另外还有规则的桁架、复杂空间杆系结构等构件形式，本条均分别根据其不同特征，规定了不同的检测布点方式及数量，桁架、空间结构而言，应以其杆件作为构件，同梁、柱的测量方法，便于评价不同类型构件的防火涂层厚度。

钢柱涂层构件的划分：按每个楼层每个柱位划分为 1 个构件；钢梁涂层构件的划分：按每个楼层每条钢梁划分为 1 个构件；桁架涂层构件的划分：每根弦杆划分为 1 个构件，每根腹杆划分为 1 个构件；网架涂层构件的划分：每根杆件划分为 1 个构件，每个螺栓球（焊接球）划分为 1 个构件。

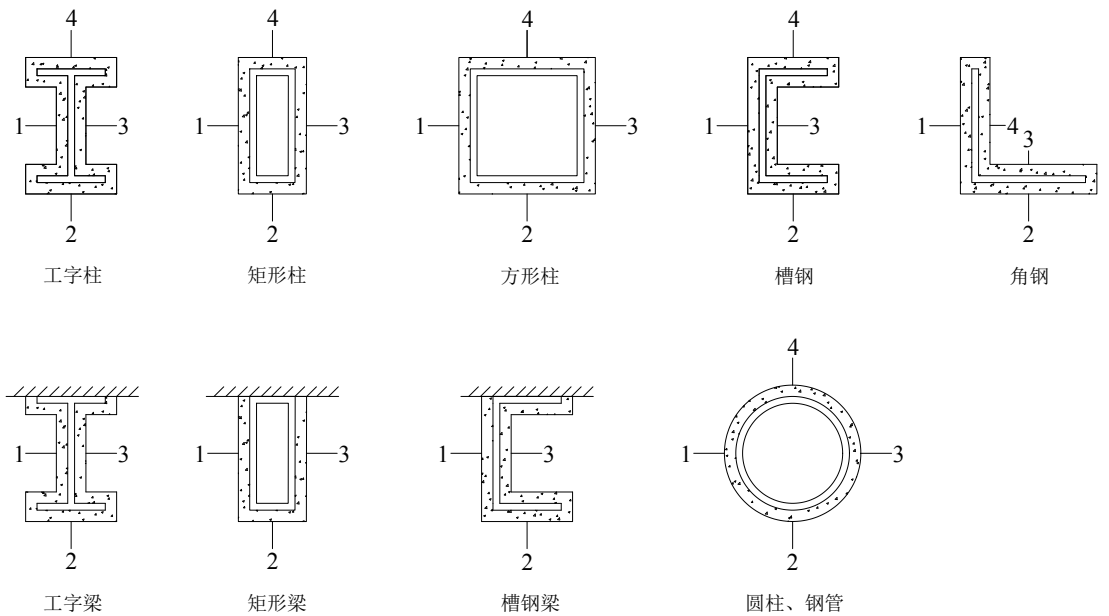


图 7.3.4 测点示意图

7.3.5 每个截面的所有测点的测量结果取算术平均值作为测区涂层厚度代表值，每个单元或构件的所有测点的测量结果取算术平均值作为检测单元或构件涂层厚度代表值，检测结果精确到 0.5mm。

条文说明：本条确定测区（截面）、检测单元或构件的涂层厚度代表值的确定方法，便于作为质量评定的依据，防火涂料由于材料表面粗糙，其厚度值比较离散，因此检测精度统一规定为 0.5mm 已满足工程需要。

7.3.6 防火涂层厚度检测一般采用涂层测厚仪、测厚探针（仪）、游标卡尺等测量器具来检测。厚度超过 4mm 防火涂层的厚度可采用测厚仪（测针）和游标卡尺尾部探针进行，用于检测的卡尺尾部应有可外伸的窄片。

条文说明：厚度超过 4mm 的防火涂料，一般检测防腐涂料的测厚仪量程都不满足厚型防火涂层的厚度要求，而且厚型防火涂层的表面粗糙、厚度离散较大，因此，采用测针式测厚仪和游标卡尺尾部探针等检测器具检测较为合适。

7.3.7 测厚仪（测针）和游标卡尺使用时应在检定或校准有效期内。

7.3.8 防火涂层的厚度检测用设备的量程应大于被测防火涂层厚度，测厚仪的分辨率不应低于 0.5mm。

7.3.9 当防火涂层在工厂涂装时，涂层厚度检测宜在工厂室内进行，当防火涂层在现场拼装后涂装时，可在现场抽检。

条文说明：装配式钢结构应尽可能将更多的工序放在工厂进行，包括检测工作也尽可能由派驻厂的检测人员在工厂抽样检测，减少天气影响，也有利于加快施工进度。

7.3.10 检测单元或构件经应经外观检查合格，无明显缺陷，不应有油污、粉尘和泥沙等污垢，根据本章第 7.3.4 节的要求选定检测点位置及数量。

7.3.11 检测时，应将仪器的探针或游标卡尺尾部探针垂直插入防火涂层直至钢材防腐涂层表面，当为防腐防火一体化涂层时插针或游标卡尺尾部探针垂直插入防火涂层直至基层钢材表面，记录标尺读数。

条文说明：防火涂料由于材料表面粗糙，其厚度值比较离散，因此检测精度统一规定为 0.5mm 已满足工程需要。

7.3.12 检测时当探针或游标卡尺尾部探针不易插入防火涂层底部时，可局部剥除防火涂层露出防腐涂层（或基材），剥除面积不宜大于 15mm×15mm。

7.3.13 各测点检测结果应做好原始数据记录，相关检测人员应在原始记录上签字。如在仪器上采用电子文件形式保存检测结果，仪器存储文件应采取电子签名方式由检测人员签名并保存和传输数据，以确保数据唯一性。

条文说明：原始记录一般为纸质记录时，相关检测人员应在原始记录上签字，目前市场上的仪器大部分具有电子数据文件保存功能，但为了保证数据的可靠和唯一性，应具有电子签字加密锁定数据的功能。

7.3.14 涂层厚度代表值计算：检测截面的四个测点涂层厚度的算术平均值即为该测区（截面）涂层厚度代表值，检测单元、构件各个测区涂层厚度代表值的算术平均值为构件涂层厚度代表值。

条文说明：本条确定测区（截面）、检测单元或构件的涂层厚度代表值的确定方法，便于作为质量评定的依据。

7.3.15 全部测点的涂层厚度检测值不应小于设计厚度的 85%，各截面涂层厚度代表值不应低于设计值的 90%，且全部测点涂层厚度检测值中小于设计厚度的测点数不应大于全部测点数的 20%，涂层厚度小于设计厚度的 85%或者涂层厚度虽然大于设计厚度的 85%，未达到设计厚度的涂层面积的长度不应超过 1m。

条文说明：评价指标依据现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205 及国家标准《钢结构施工规范》GB50755。

7.3.16 若检测结论为不满足设计要求时，应在该批构件中再双倍取样检测，若这一较大样

本检测结果满足要求，则该批构件涂层厚度合格；若不满足要求，则这批构件涂层厚度评为不合格。

7.3.17 防火涂料涂层厚度检测报告应至少包括下列内容：

- 1 工程概况、检测目的、检测日期、检测地点；
- 2 检测依据、检测仪器设备相关信息；
- 3 设计要求、检测内容、抽样数量；
- 4 检测方法；
- 5 检测结果、评定结果及建议；
- 6 附件（附图、附表）。

7.4 涂层附着力检测

7.4.1 油漆类防腐涂层附着力检测应按现行国家标准《色漆和清漆 拉开法附着力试验》GB/T5210 或《色漆和清漆 漆膜的划格试验》GB/T9286 的有关规定执行。

条文说明：涂层附着力检测有国家标准可以依照，本规范直接引向相关国家标准，包括油漆类防腐涂层附着力检测、金属热喷涂涂层的结合强度、热浸镀锌层附着力检测。

7.4.2 金属热喷涂涂层的结合强度应按现行国家标准《热喷涂 金属和其他无机覆盖层 锌、铝及其合金》GB/T 9793 的有关规定执行。

7.4.3 热浸镀锌层附着力检测应符合设计要求，检测方法应取得供需双方的同意，当设计没有规定时，可参照现行国家标准《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层技术要求及试验方法》GB/T13912 的有关规定执行或按供需双方商定的方法检测。

7.4.4 油漆类防腐涂层附着力的检测结果应符合设计要求，并应符合下列规定：

- 1 涂层与钢材的附着力不应低于 5MPa（拉开法）或不低于 1 级（划格法）；
- 2 各道涂层之间的附着力不应低于 3MPa（拉开法）或不低于 1 级（划格法）；
- 3 用于外露构件时，各道涂层之间的附着力不应低于 5MPa（拉开法）或不低于 1 级（划格法）；

7.4.5 金属热喷涂涂层结合强度应符合设计文件的要求；

7.4.6 热浸镀锌层附着力检测应符合设计文件的要求，并符合供需双方商定的附着力验收标准执行。

7.4.7 检测报告应至少包括下列内容：

- 1 工程概况、检测目的、检测日期、检测地点；
- 2 检测依据、检测仪器设备相关信息；
- 3 设计要求、检测内容、抽样数量；
- 4 检测方法；
- 5 检测结果、评定结果及建议；

6 附件（附图、附表）。

8 其他质量检测

8.1 一般规定

8.1.1 本章适用于民用建筑装配式钢结构的高强度螺栓连接副终拧扭矩(以下简称高强度螺栓终拧扭矩)的检测、钢材的厚度检测和结构整体性能检测。

8.2 高强度螺栓终拧扭矩检测

8.2.1 检测人员在检测前,应了解工程使用的高强度螺栓的型号、规格、扭矩施加方式。

8.2.2 扭矩检测宜在螺栓终拧 1h 后,48h 之前完成,检测用的扭矩扳手其相对误差应为±3%。

8.2.3 检测前应用小锤(约 0.3kg)敲击螺母对高强度螺栓进行普查是否有漏拧,小锤敲击检查发现有松动的高强度螺栓,应直接判定其终拧扭矩不合格。且应清除螺栓及周边涂层。螺栓表面有锈蚀时,应进行除锈处理。

8.2.4 终拧扭矩应按节点数抽查 10%,且不应少于 10 个节点。对于每个被抽查的节点应按螺栓数抽查 10%,且不少于 2 个螺栓。。

8.2.5 检测时先在螺杆端面和螺母上划一直线,然后将螺母拧松 60° 后,再用扭矩扳手重新拧紧,使两线重合,测得此时的扭矩应在 $0.9T_{ch} \sim 1.1T_{ch}$ 范围内,其中 T_{ch} 应按式 8.2.5 计算。

$$T_{ch}=KPd \quad \text{式 8.2.5}$$

式中: T_{ch} ——高强度螺栓检测扭矩(N·m),

P ——高强度螺栓预拉力设计值(kN)。

8.2.6 如果发现有不符合规定的(不合格者),应再扩大一倍检查。如仍有不合格者,则整个节点的高强度螺栓应重新施拧。。

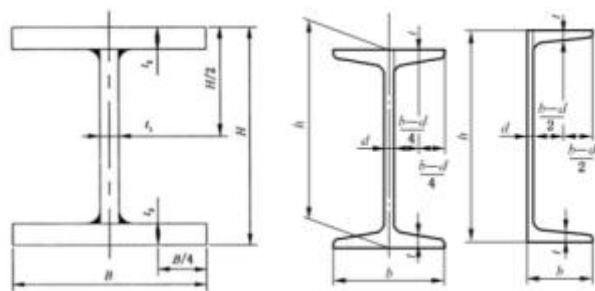
8.3 钢材厚度检测

8.3.1 钢材厚度可采用游标卡尺直接量测或超声波测厚仪检测,当采用超声波测厚仪时,每次检测前应对测厚仪进行校准。

条文说明:超声波测厚仪是根据设定的声速与实测声时推算钢材的厚度,声速对结果起着重要作用,因此测试前应采用校准块对声速进行校准。

8.3.2 钢材厚度检测位置应选择具有代表性的位置。对于焊接 H 型钢,应分别检测翼缘板、腹板的厚度;对于轧制工字钢、槽钢,应检测腰厚度;对于无缝钢管、钢板卷焊管应检测壁厚。

条文说明:常见焊接 H 型钢、工字钢及钢管的截面示意图



8.3.3 钢材厚度的直接量测精度不应低于 0.05mm。

条文说明：对于各种构件的允许偏差，工字钢和槽钢腰厚度偏差较小，在 0.4mm~0.9mm 之间，检测设备精度应达到测量值的 10%，综合考虑测精度取 0.05mm。

8.3.4 对于同种规格构件的厚度检测，抽检数量不少于 10%，且不少于 5 个构件。

8.3.5 超声测厚仪的检测量程不应小于 100mm，示值精度不应小于 0.01mm，且应具备校准功能和记录存储功能。

8.3.6 超声测厚仪每次检测前均应进行校准。当仪器不具备校准功能时，也可采用与构件相同材质制作的校准试块进行校准。校准试块厚度不应小于 50mm，当量直径不应小于 20mm。

8.3.7 在对钢结构构件厚度检测前，应进行下列准备工作：

- 1 按构件的长度方向，均匀布置 5 个测区，各测区尺寸不宜小于 50mm×50mm；
- 2 清除测区表面的油漆层、氧化皮、锈蚀等，使构件露出金属光泽；
- 3 根据表面的粗糙度，选择相应的耦合剂。

条文说明：对于钢管等表面呈弧形的构件，应选择较小尺寸的探头，以便与构件紧密接触。耦合剂是用来排除探头和被测物体之间的空气，使超声波能有效地到达构件表面。耦合剂使用过多时，会造成探头离开构件表面时仪器示值为耦合剂层的厚度值，因此耦合剂应中达到耦合效果的情况下，越薄越好。对于比较光滑和粗糙的表面，应分别选用低粘度和高粘度的耦合剂。

8.3.8 检测曲面构件时，应采用曲面探头护套或选用小管径专用探头，探头与构件的实际接触面不应小于探头面积的 2/3。对于铸件和奥氏体不锈钢等，应选用频率较低的粗晶专用探头。检测前、后，均应对超声测厚仪进行校准，并检查仪器的电量是否充足。

条文说明：对于晶粒粗大的铸件和奥氏体不锈钢等，应选用频率较低、穿透性强的专用探头。对于有些仪器，电量不足的情况下，仍能显示厚度值，但示值不稳定，此处规定了对电量的检查。

8.3.9 钢结构构件的厚度检测应按下列步骤进行：

- 1 在测区表面喷涂耦合剂；
- 2 探头方向应保持垂直于构件表面，在一点处用探头进行三次测量，在每次测量中探头要转动 90°，取最小值为被测构件厚度值；
- 3 当示值不稳定时，以一个测定点为中心，在其周围距离约 30mm 的圆内进行多次测量，

取最小值为被测构件厚度值；

8.3.10 当测厚仪示值厚度明显低于实际厚度值时，应考虑构件厚度方向分层或其它缺陷。

8.3.11 结构构件厚度代表值取 5 个测区厚度的最小值。

8.3.12 结构构件厚度的评定应符合设计要求及现行国家标准《建筑结构用钢板》GB/T19879、《焊接 H 型钢》GB/T33814、《热轧型钢》GB/T 706 的有关规定。

8.4 结构整体性能检测

8.4.1 民用建筑装配式钢结构整体性能检测可分变形检测和动力检测等项目。

8.4.2 民用建筑装配式钢结构的变形检测可分为结构整体垂直度、整体平面弯曲以及构件垂直度、弯曲变形、跨中挠度等项目；测量仪器及其精度宜应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026 及《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定；测结构或构件变形应符合设计要求和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 及《钢结构设计规范》GB 50017 等的规定。

8.4.3 动力检测应包括结构动力特性检测和结构动力反应检测。结构动力检测应根据现场调查、检测和计算分析结果，预测检验过程中结构的性能，并应考虑相邻的结构构件、组件或整个结构之间的影响。动力检测的测试系统所采用仪器的灵敏度、动态范围、幅频特性和幅值范围等技术指标应满足被测结构动力特性范围的要求。动力反应检测宜选用可稳定再现的动荷载作为检验荷载。

附录 A T 型角焊缝直探头检测

A.1 本附录适用于面板厚度大于 20 mm 的 T 型角接焊缝直探头检测。

A.2 检测所用探头的频率为 2 MHz~5 MHz，晶片直径为 10mm~20mm。

A.3 检测灵敏度按表 A.3 的规定。

表 A.3 检测灵敏度

判废线 RL	定量线 SL	评定线 EL
$\phi 4$ 平底孔	$\phi 3$ 平底孔	$\phi 2$ 平底孔

A.4 T 型接头焊缝直探头扫查的两种方式见图 A.4。

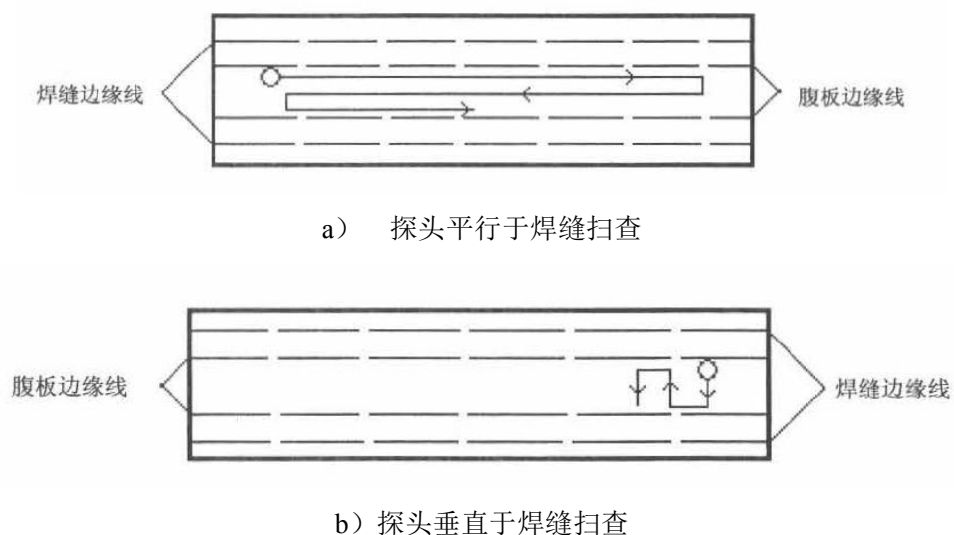


图 A.4 T 型接头焊缝直探头扫查方式

A.5 缺陷评定

A.5.1 缺陷回波不高于 $\phi 2$ 平底孔时评定合格。

A.5.2 缺陷回波高于 $\phi 2$ 平底孔但不高于 $\phi 4$ 平底孔时，按 7.3.9 测出长度横向 X 和纵向 Y。

A.5.3 将 X 和 Y 相乘后，大于 40 mm^2 时评定不合格。

A.5.4 缺陷回波高于 $\phi 4$ 平底孔时评定不合格。

A.5.5 缺陷被判为层状撕裂时评定不合格。

附录 B TOFD 检测仪器和探头性能指标要求

B.1 检测仪器性能指标要求

检测仪器性能指标要求见表 B.1。

表 B.1 检测仪器性能指标要求

序号	项目	技术要求
1	电气性能要求	激发电脉冲可以是单极性的，应为方波
		仪器每个通道的发射脉冲上升时间（即脉冲前沿波幅从脉冲峰值的10%~90%的上升时间）应小于25ns
		仪器每个通道的发射脉冲电压幅值应可调，最大值应不小于200V(特殊情况下达不到的，至少应不小于100V且提供仪器具有相当检测能力的证明文件)，发射脉冲电压的实测值与设定值（带负载50Ω）之间的偏差不大于设定值得20%
		仪器每个通道的发射脉冲宽度范围至少包括50ns~500ns且可调，步进小于或等于10ns，发射脉冲宽度的实测值与设定值之间的偏差不大于设定值得10%
		仪器每个通道的发射脉冲重复频率应可调，最大值应能达到500Hz及以上，发射脉冲重复频率的实测值与设定值得偏差不大于设定值的10%
	接受性能参数	接受放大电路频带范围按-3dB测量应至少包含0.6MHz~15MHz
		数字采样频率至少60MHz
		仪器实测净增益应不小于75dB
	其他电气性能应满足NB/T47013.3《承压无损检测 第3部分：超声检测》附录A的要求	
2	功能要求	仪器每个通道检测显示应至少包含A扫描信号和TOFD图像，且A扫描信号使用射频波形式
		仪器每个通道所显示和记录的A扫描信号不应该有明显畸变或变形
		仪器至少能以256级灰度或色度显示TOFD图像
		仪器软件至少应具有同步显示TOFD图像和对应的A扫描信号、拟合曲线光标、移除直通波、局部位置信号放大等必要的分析功能
		仪器软件应包括TOFD显示的深度或时基线性化算法，以测量目标体深度和高度
		对于未采集到的数据，仪器软件不应使用数据处理方式对缺失部分进行补充，应保持数据的真实性
	其他功能	仪器的数据采集应和扫查装置的移动同步，扫查步进值应可调，其最小值应不大于0.5mm
		仪器应能存储和分辨各A扫描信号之间相对位置的信息，如编码位置
		仪器应具有滤波、取波幅阈值等数字信号处理功能，但仪器应能记录未经处理之前的原始检测数据
		仪器应能够以下不可更改的方式将所有的A扫描信号和TOFD图像存储于磁、光等永久介质，并能输出其硬拷贝
		仪器应能够选择合适的A扫描时间窗口，以检测到的需要的信号；闸门起点相对于发射脉冲至少应在0μs~200μs间可调节，窗口宽度至少在5μs~100μs间可调节
		仪器应提供满足NB/T47013.10第5章所要求的各项设置功能

B.2 宽带窄脉冲探头性能指标要求

宽带窄脉冲探头性能指标要求见表 B.2。

B.2 宽带窄脉冲探头性能指标要求

序号	性能	指标要求
1	中心频率	实测值与标称值的偏差不大于标称值的10%
2	相对脉冲回波灵敏度	实测值与标称值的偏差不大于标称值的3dB

序号	性能	指标要求
3	电阻抗或静电容	实测值与标称值的偏差不大于标称值的20%
4	直通波持续时间	直通波按峰值下降20dB测量的持续时间应不超过两个脉冲周期
5	频带相对宽度	不小于80%

附录C TOFD 仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角测量方法

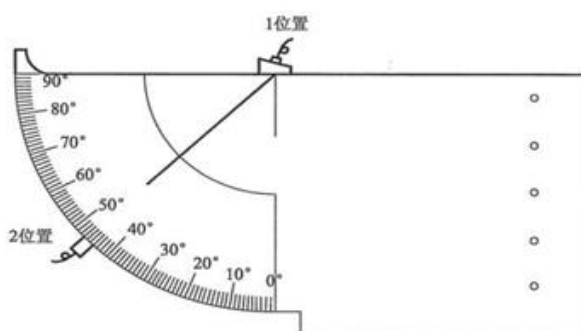
仪器和探头组合的-12dB 声束扩散角采用图 C.1 所示的声束角度测定试块进行测量，测量方式和步骤如下：

1 调节仪器到自发自收状态，将需要测量的探头放置在 1 位置，前后调节探头的位置和方向，找到最大反射波幅，此时保持探头不动；

2 调节仪器到一发一收状态，将另一接受探头放在 2 位置沿弧面移动，找到最大波幅，将最大波幅调至仪器满屏的 80%，此时探头 2 位置对应的角度刻度值 α_0 即为测试探头的发射角；

3 保持位置 1 的测试探头不动，向下移动 2 位置探头，当下波幅降低至 20% 满屏高度时，记下探头 2 的位置值 α_1 ，此角为下扩散角；

4 保持位置 1 的测试探头不动，向上移动 2 位置探头，波幅会逐渐升高至 80%，继续向上移动，波幅会降低，当波幅降低至 20% 满屏高度时，记下探头 2 的位置角度值 α_2 ，此角为上扩散角。



C.1 声束扩散角测定试块示意图

附录 D TOFD 对比试块

D.1 厚度要求

D.1.1 概述

对比试块的厚度应满足 5.4.9、D.1.2 和 D.1.3 的要求。

D.1.2 最大板厚要求

如图 D.1.2 所示, 对比试块的最大厚度应保证底部声波入射角大于 40° , 以避免底部出现没有衍射的区域。

设 Z 是声束交叉点的深度, $2S$ 是探头中心间距(PCS), α 是 TOFD 设置选择的声束角, 按照图 D.1.2 所示, 对比试块的最大厚度 $t_{\max}$ 按公式 D.1.2 计算。

$$\left. \begin{aligned} S &= Z \tan \alpha \\ S &= t_{\max} \tan 40^\circ \end{aligned} \right\} \Rightarrow Z \tan \alpha = t_{\max} \tan 40^\circ \Rightarrow t_{\max} = Z \left(\frac{\tan \alpha}{\tan 40^\circ} \right) \dots\dots D.1.2$$

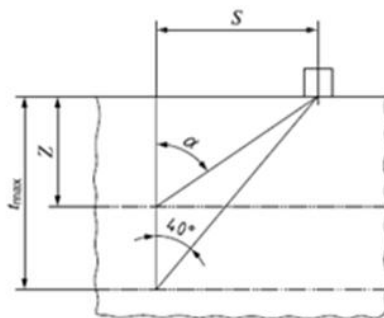
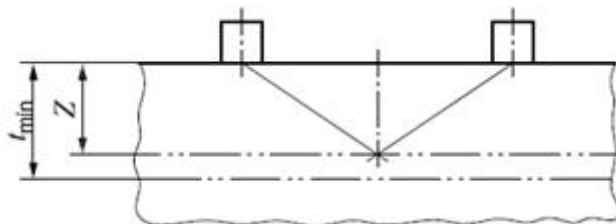


图 D.1.2 对比试块的最大厚度

D.1.3 对比试块的最小厚度

对比试块的最小厚度应保证TOFD设置的声束交点在试块厚度以内, 所以 $t_{\min} \geq Z$, 如图 D.1.3所示:



D.1.3 对比试块的厚度最小值

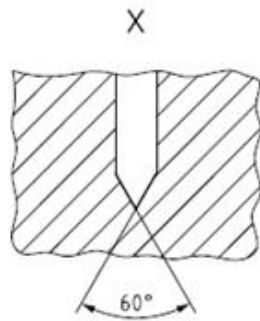
D.2 参考反射体

D.2.1 对于板厚在 10mm~25mm 的检测, 至少应有 3 个反射体 (见图 D.2.2-1 和图 D.2.2-1), 这些反射体可以加工在一个或多个对比试块上, 要求如下。

一个底部刻槽, 长度 l , 高度 h (见表 D.2.3-1);

一个侧边钻孔, 位于表面以下 4mm, 直径 2mm, 长度 30mm;

一个边钻孔在 $t/2$ 的深度，直径 D_d （见表 D.2.3-2），长度 45mm，或者，也可以采用一个从扫查面到 $t/2$ 深度的刻槽，尖端角度为 60° （如图 D.2.1-1 所示），宽度为 w （见表 D.2.3-2），长度至少 40mm。



D.2.1-1 刻槽尖端示意图

D.2.2 对于厚度大于 25mm 的检测，至少需要 5 个反射体（见图 D.2.3-1 和图 D.2.3-2），这些反射体可以加工在一个或多个对比试块上，要求如下：

- 1 一个底部刻槽，长度 l ，高度 h （见表 D.2.3-1）；
- 2 一个边钻孔，位于表面以下 4mm，直径 2mm，长度 30mm；
- 3 三个边钻孔分布在 $t/4$ 、 $t/2$ 、 $3t/4$ 的深度，直径 D_d （见表 C.2），长度 l （见表 D.2.3-3），或者，也可以采用三个刻槽，从扫查面到 $t/4$ 、 $t/2$ 、 $3t/4$ 的深度，尖端角度为 60° （如图 2.1-1 所示），宽度为 w （见表 D.2.3-2），长度至少 40mm。

D.2.3 所有反射体的精度要求如下：

- 1 直径（和刻槽宽度）误差不大于： $\pm 0.2\text{mm}$ ；
- 2 长度误差不大于： $\pm 2\text{mm}$ ；
- 3 角度偏差不大于： $\pm 2^\circ$ 。

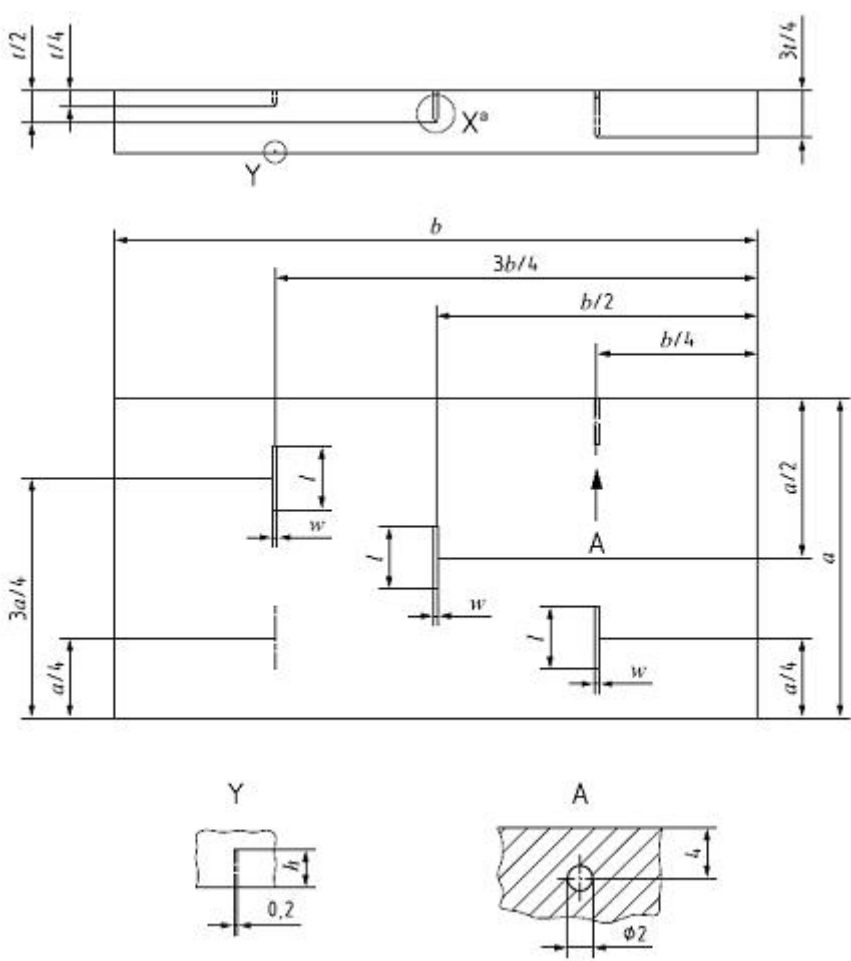
表 D.2.3-1 对比试块底部刻槽的长度和高度 单位为毫米

板厚 t	刻槽长度 l	刻槽高度 h
$10 < t \leq 40$	t	1 ± 0.2
$40 < t \leq 60$	40 ± 2	2 ± 0.2
$60 < t \leq 100$	50 ± 2	2 ± 0.2
$t > 100$	60 ± 2	3 ± 0.2

表 D.2.3-2 对比试块边钻孔直径和表面刻槽的宽度 单位为毫米

板厚 t	边钻孔直径 D_d	刻槽宽度 w
$10 < t \leq 25$	2.5 ± 0.2	2.5 ± 0.2
$25 < t \leq 50$	3.0 ± 0.2	3.0 ± 0.2
$50 < t \leq 100$	4.5 ± 0.2	4.5 ± 0.2

$t > 100$	6.0 ± 0.2	6.0 ± 0.2
-----------	---------------	---------------



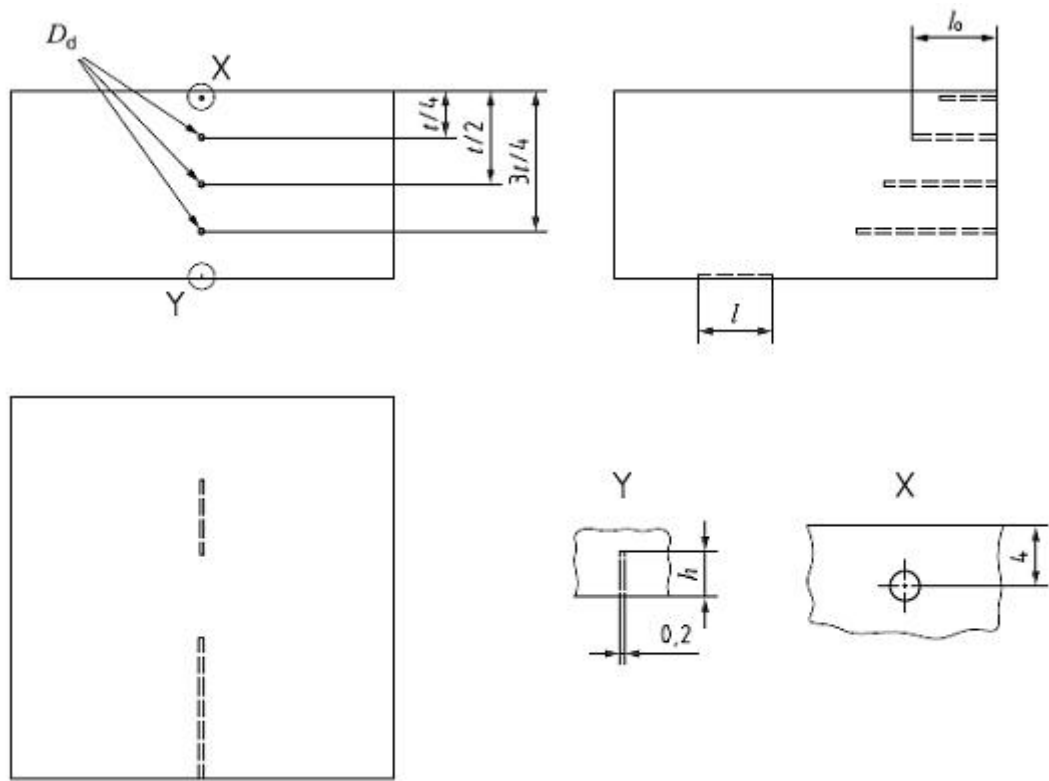
- a ——试块宽度；
b ——试块长度；
t ——试块厚度；
w ——刻槽宽度；
l ——刻槽长度；
h ——刻槽高度；所有尺寸单位为mm。

图 D.2.3-1 带有刻槽的对比试块示意图

表 D.2.3-3 对比试块边钻孔长度和表面刻槽（ $t > 25\text{mm}$ ）				单位为毫米
深度	三个孔在一起	三个孔分开	三个刻槽在一起	三个刻槽分开
	最小长度	最小长度	最小长度	最小长度
$t/4$	$L=45$	45	40	40
$t/2$	$L+15$	45	40	40
$3t/4$	$L+30$	45	40	40

D.3 典型的对比试块

根据 D.2 的规定，TOFD 应用中典型的试块见图 D.3（刻槽）和图 D.3（包含边钻孔和刻槽）。



- t —— 试块厚度；
- D_d —— 边钻孔直径；
- l_0 —— 边钻孔长度；
- l —— 底部刻槽长度；
- h —— 刻槽高度； 所有尺寸单位为mm。

图 D.3 带有边钻孔和刻槽的对比试块示意图

附录 E TOFD 检测的波束覆盖的仿真和计算

E.1 衍射时差法超声波检测的扩散波束对焊缝体积的覆盖的仿真，可通过模拟软件或者 TOFD 计算器实现。

使用模拟软件，设置工件和焊缝的配置，选取探头楔块，设置声束交叉点的位置，即可生成对应的声束覆盖图，并且可以生成相应的扫查计划文件。

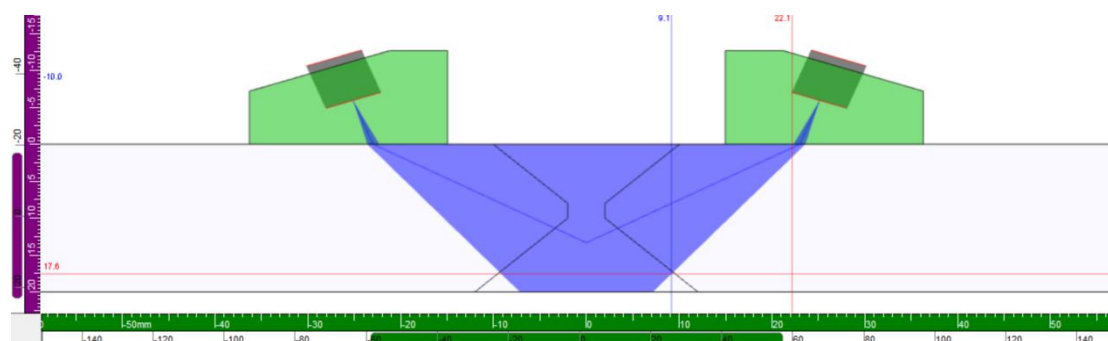


图 E.1-1 (T=20MM) 双 V 焊缝波束的覆盖范围

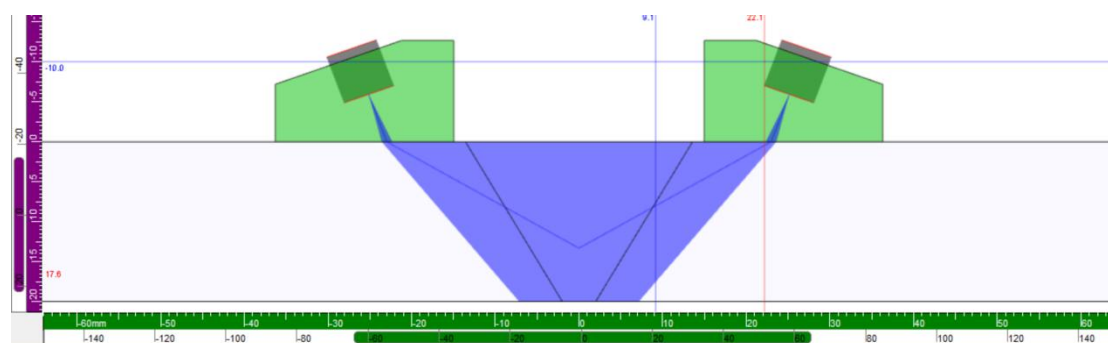


图 E.1-2 (T=20MM) 单 V 焊缝波束的覆盖范围

使用 TOFD 计算器，设置探头参数，焊缝配置，声束交叉点的位置，可生成波束的图示，同时还可计算扫查面盲区、底面盲区和空间分辨率。

Probe Details			Wedge Details			Material Details					
Frequency MHz	Diameter mm	Pulse Length # of K's	Angle	Index	Path	Velocity m/s	Thickness mm	Root Gap mm	Prep	Prep Type	
5	6	1.5	60	8	5	5900	20	3	45	☒ Single V ☐ Double V ☐ Ground	
Geometry Inputs			Function Display			Calculations					
PCS mm	Offset mm	Beam Spread	TOF Locus	Dead Zones		Transit Times (TT)			Dead Zones	Focus	Flaw Tip
46	0	☒ 6 dB Spread ☐ 20dB Spread ☐ Limit Spread ☐ Off	☒ Flaw Tip Equal ☐ Locus Path	☒ Near Surface ☒ Back Wall ☒ Spatial	Wedge Delay μS 4.17	TT Lateral μS 11.96	TT BWE μS 14.50	Near (mm) 6.38 BWE (mm) 1.32 Spatial (mm) 2.05	Depth mm 13.3 % Thickness 66%	Depth mm 10 TOF μS 12.67	
Note: Red cells indicate input error.											

图 E.1-3 TOFD 计算器图示

E.2 按照下图的步骤，计算出探头的扩散角，在 CAD 上作图可得到波束覆盖图。

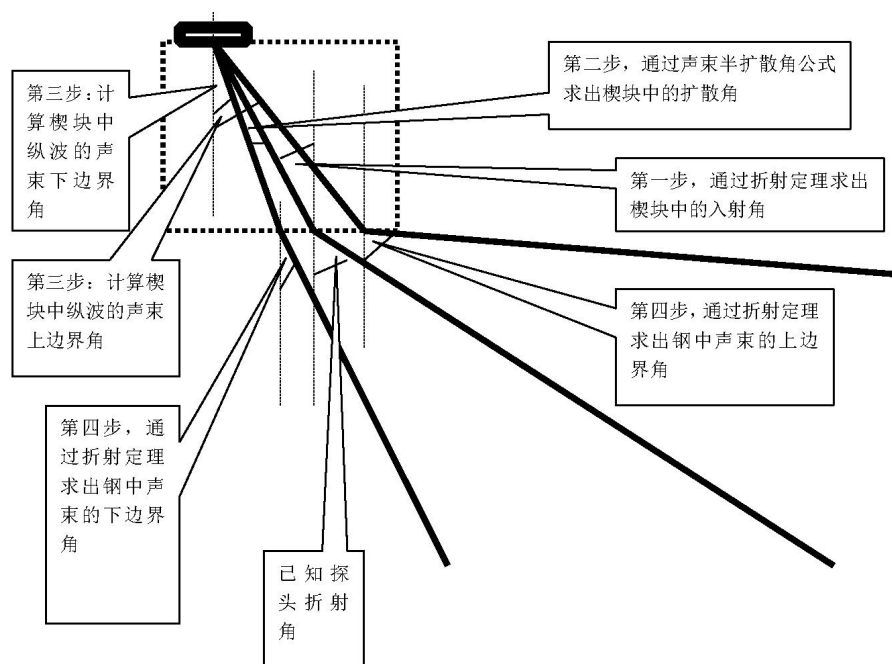


图 E.2 TOFD 探头扩散角计算图示

本规程用词说明

- 1 为便于在执行规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
- 《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344
- 《钢结构工程施工规范》GB 50755
- 《装配式钢结构建筑技术标准》GB/T 51232
- 《钢结构现场检测技术标准》GB/T 50621
- 《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3
- 《钢结构超声波探伤及质量分级法》JG/T 203
- 《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345
- 《船舶钢焊缝超声波检测工艺和质量分级》CB/T 3559
- 《焊缝无损检测 磁粉检测》GB/T26951
- 《建筑钢结构防火技术规范》CECS 200
- 《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》GB/T 32563
- 《承压设备无损检测》NB/T 47013

中国工程建设标准化协会标准

民用建筑装配式钢结构检测技术规程

T/CECS XXX:2022

条文说明