|  |
| --- |
| T/CECS-xxx:202x |
| **中国工程建设标准化协会标准** |
| 钢构件应力超声检测技术规程  Technical Specification for Ultrasonic Detection  of Stress in Steel Members  （征求意见稿）  （提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上）  **××××出版社** |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 中国工程建设标准化协会标准 | |
| **钢构件应力超声检测技术规程**  **Technical Specification for Ultrasonic Detection**  **of Stress in Steel Members** | |
| **T/CECS XXX : 202X** | |

|  |  |
| --- | --- |
| **主编单位：** | **哈尔滨工业大学（深圳）** |
|  | **深圳中建院建筑科技有限公司** |
| **批准部门：** | **中国工程建设标准化协会** |
| **施行日期：** | **202X年XX月XX日** |

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会（2021）建标协字第11号文《关于印发2021年第一批协会标准制订、修订计划的通知》，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本规程共分 6 章和 2 个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、检测系统、应力声时差系数标定、检测流程等。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑振动专业分会归口管理，由哈尔滨工业大学（深圳）与深圳中建院建筑科技有限公司负责解释，在使用中如发现需要修改和补充之处，请将意见和资料径寄解释单位（地址：深圳市南山区桃源街道深圳大学城哈尔滨工业大学校区；邮政编码：518055；电子邮箱：20b954006@stu.hit.edu.cn）。

|  |  |
| --- | --- |
| 主编单位： | 哈尔滨工业大学（深圳）  深圳中建院建筑科技有限公司 |
| 参编单位： | 福建省建研工程检测有限公司  安徽省（水利部淮河水利委员会）水利科学研究院（安徽省水利工程质量检测中心站）  中路高科交通检测检验认证有限公司  天津市建筑工程质量检测中心有限公司  国机集团科学技术研究院有限公司  重庆市建筑科学研究院有限公司  云南特斯泰工程检测鉴定有限公司  中国建筑第四工程局有限公司  天津大学  中建科工集团绿色科技有限公司 |
| 主要起草人： | 略 |
| 主要审查人： | 略 |

中国工程建设标准化协会

202x年xx月xx日

目 次

[1 总 则 1](#_Toc124080727)

[2 术语和符号 2](#_Toc124080728)

[2.1 术 语 2](#_Toc124080729)

[2.2 符 号 2](#_Toc124080730)

[3 基本规定 4](#_Toc124080731)

[4 检测系统 5](#_Toc124080735)

[4.1 钢构件超声应力检测仪 5](#_Toc124080736)

[4.2 超声探头组 5](#_Toc124080737)

[4.3 耦合剂 6](#_Toc124080738)

[4.4 温度传感器 6](#_Toc124080739)

[5 应力声时差系数标定 7](#_Toc124080740)

[5.1 标定试件制备 7](#_Toc124080741)

[5.2 标定试验规定 8](#_Toc124080742)

[6 检测流程 10](#_Toc124080744)

[6.1 检测前准备 10](#_Toc124080745)

[6.2 检测实施与要求 10](#_Toc124080746)

[6.3 补偿与修正 11](#_Toc124080747)

[6.4 检测报告 1](#_Toc124080748)2

[附录A 检测仪器的校准方法 13](#_Toc124080749)

[附录B 钢构件应力超声检测报告 15](#_Toc124080753)

[本规程用词说明 16](#_Toc124080754)

[引用标准名录 17](#_Toc124080755)

附：[条文说明 18](#_Toc124080755)

Contents

[1 General Principles 1](#_Toc124080999)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc124081000)

[2.1 Terms 2](#_Toc124081001)

[2.2 Symbols 2](#_Toc124081002)

[3 Basic regulations 4](#_Toc124081003)

[4 Detection system 5](#_Toc124081007)

[4.1 Steel ultrasonic stress detector 5](#_Toc124081008)

[4.2 Ultrasonic probe group 5](#_Toc124081009)

[4.3 Couplant 6](#_Toc124081010)

[4.4 Temperature sensor 6](#_Toc124081011)

[5 Calibration of stress acoustic time difference factor 7](#_Toc124081012)

[5.1 Preparation of calibration specimen 7](#_Toc124081013)

[5.2 Calibration test regulations 8](#_Toc124081014)

[6 Detection process 10](#_Toc124081016)

[6.1 Preparation before testing 10](#_Toc124081017)

[6.2 Detection implementation and requirements 10](#_Toc124081018)

[6.3 Compensation and correction 11](#_Toc124081019)

[6.4 Detection report 1](#_Toc124081020)2

[Appendix A Calibration method of detection instrument 13](#_Toc124081021)

[Appendix B Ultrasonic detection report of steel member stress 15](#_Toc124081025)

[Explanation of wording in this specification 16](#_Toc124081026)

[List of quoted standards 17](#_Toc124081027)

[Addition: Explanation of provisions 18](#_Toc124081027)

**1 总 则**

**1.0.1** 为规范钢构件应力超声检测技术的应用，做到技术先进、安全可靠、经济合理、方便使用，制定本规程。

**1.0.2** 本标准规定了使用临界折射纵波测量钢构件近表面应力的无损检测方法。

**1.0.3** 本标准适用于检测钢柱、钢梁、钢楼板、钢支撑、钢桁架等钢构件弹性状态下的单向应力和平面应力。

**1.0.4** 采用超声法检测钢构件应力除应符合本标准外，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** 纵波 longitudinal wave

在介质中传播时，介质质点的振动方向与波传播方向一致的声波波型。

**2.1.2** 第一临界角 first critical angle

纵波斜入射到异质界面时，使纵波折射角为90°时的入射角。

**2.1.3** 临界折射纵波 critically refracted longitudinal wave

超声纵波以第一临界角入射时，产生沿待测构件表面传播的纵波。

**2.1.4** 应力声时差系数 stress - acoustic time difference factor

临界折射纵波传播距离固定时，应力改变量与声时改变量的比值。

**2.1.5** 中心频率 centre frequency

上、下截止频率的算术平均值。

**2.2 符 号**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | —— | 检测区域深度； |
|  | —— | 探头中心频率； |
|  | —— | 应力声时差系数，与待测钢构件的材料和探头间距有关，可通过拉伸试验标定获得； |
|  | —— | 临界折射纵波传播方向与应力平行时的应力声时差系数； |
|  | —— | 临界折射纵波传播方向与应力垂直时的应力声时差系数； |
|  | —— | 待测钢构件中LCR波的传播时间； |
|  | —— | 单向应力检测中，标定试件在零应力状态下LCR波的传播时间； |
|  | —— | 平面应力检测中，标定试件在零应力状态下LCR波的传播时间； |
|  | —— | 待测钢构件中，LCR波沿0°轴方向的传播时间； |
|  | —— | 待测钢构件中，LCR波沿45°轴方向的传播时间； |
|  | —— | 待测钢构件中，LCR波沿90°轴方向的传播时间； |
|  | —— | 纵波在有机玻璃中的声速； |
|  | —— | 纵波在待测钢构件中的声速； |
|  | —— | 修正系数； |
|  | —— | 第一主应力与0°轴夹角； |
|  | —— | 第一临界角； |
|  | —— | 待测钢构件的单向应力； |
|  | —— | 待测钢构件的第一主应力； |
|  | —— | 待测钢构件的第二主应力。 |

**3** **基本规定**

**3.0.1** 检测现场应具备安全作业条件，环境温度宜在（0～50）℃范围内，不宜在机械振动和电磁干扰环境下进行检测。

**3.0.2** 钢构件检测区域应无缺陷且表面粗糙度和形状不影响超声探头与钢构件的有效耦合。

**3.0.3** 本标准检测的钢构件应力应为钢构件近表面区域内沿临界折射纵波传播方向上的应力平均值，其检测深度应按下式计算：

 （3.0.3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | —— | 检测区域深度（mm）； |
|  | —— | 修正系数，建议取5.98（mm/ns）； |
|  | —— | 探头中心频率（MHz）。 |

**3.0.5** 检测的钢构件应力值*σ*为正值时应表示拉应力，为负值时应表示压应力。

**4 检测系统**

**4.1 钢构件超声应力检测仪**

**4.1.1** 钢构件超声应力检测仪可由脉冲收发仪、示波器等通用仪器构成，也可由具有脉冲收发功能、波形数字化功能和计算机等软硬件部分构成。

**4.1.2** 钢构件超声应力检测仪应至少具备以下功能：

**1** 脉冲频率范围：1MHz～10MHz；

**2** 超声脉冲电压范围：50V～400V；

**3** 超声接收增益范围：0dB～60dB；

**4** 输出阻抗匹配范围：0～200Ω；

**5** 具有滤波功能且满足上述脉冲频带范围；

**6** 具备波形显示清晰、稳定的示波装置；

**7** 能对接收的超声波波形进行数字化采集和存储；

**8** 能计算临界折射纵波传播时间和钢构件应力值。

**4.1.3** 钢构件超声应力检测仪应具备产品合格证和使用说明书，并应在仪器的明显位置标注名称、型号、制造厂名、商标、出厂日期等内容。

**4.1.4** 钢构件超声应力检测仪应由具备资质的校准机构进行校准，校准有效期不宜超过1年。

**4.1.5** 有下列情况之一时，应按本标准附录A规定的仪器校准方法进行钢构件超声应力检测仪校准：

**1** 新仪器启用前；

**2** 超过校准有效期；

**3** 更换主要零件或对仪器进行过调整；

**4** 检测数据异常；

**5** 仪器遭受严重撞击或其他损害。

**4.2 超声探头组**

**4.2.1** 超声探头组应由一个发射探头和两个接收探头构成（图4.2.1）。

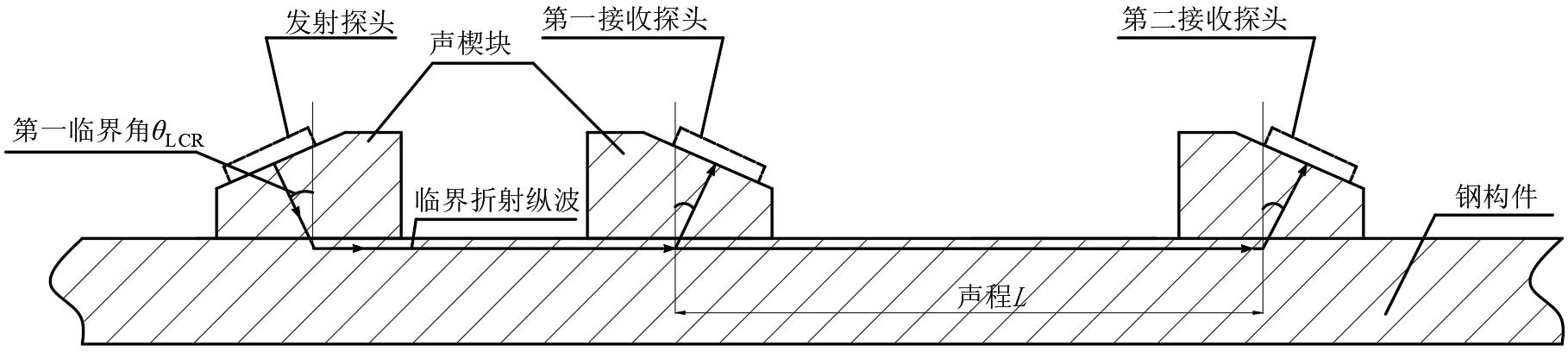


图4.2.1 超声探头组

**4.2.2** 超声探头组的入射角和接收角应调节为第一临界角，第一临界角应按下式计算：

 （4.2.2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中：*θ*LCR | —— | 第一临界角（deg）； |
|  | —— | 纵波在有机玻璃中的声速（m/s）； |
|  | —— | 纵波在待测钢构件中的声速（m/s）。 |

**4.2.3** 探头组中各探头的性能参数应相同，且各项性能应符合现行国家标准《无损检测 超声检测 测量接触探头声束特性的参考试块和方法》GB/T 18852的有关规定。

**4.2.4** 应力声时差系数标定、零应力声时校准和实际检测所用探头宜为同一组探头。

**4.2.5** 超声探头组应使用固定辅助工装，将探头与钢构件连接牢固，保持探头与钢构件在应力声时差系数标定、零应力声时校准和实际检测过程中的耦合状态一致。

**4.2.6** 被检测钢构件表面为曲面时应使用曲率楔块，并保持临界折射纵波传播声程与标定时一致，探头与检测面之间的间隙应符合《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345的相关规定。

**4.3 耦合剂**

**4.3.1** 耦合剂应具有良好的润湿性能和透声性能，对构件应无腐蚀、易清理，对环境应无污染，耦合剂可选择机油、化学浆糊以及纵波专用耦合剂。

**4.3.2** 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。

**4.3.3** 应力声时差系数标定、零应力声时校准和实际检测过程中，应使用相同的耦合剂。

**4.4 温度传感器**

**4.4.1** 检测过程中应使用温度传感器测量钢构件表面温度，测量精度宜满足0.1℃。

**4.4.2** 温度传感器可选择热电偶、点温计和热成像仪等。

**5 应力声时差系数标定**

**5.1 标定试件制备**

**5.1.1** 标定试件应采用与待测钢构件相同牌号的钢材，材料的金相组织状态和表面粗糙度宜相同。

**5.1.2** 单向应力检测应制备拉伸标定试件，拉伸标定试件的制备应符合现行国家标准《金属材料拉伸试验 第一部分温室试验方法》GB/T 228.1的有关规定，拉伸标定试件的形状应符合图5.1.2的规定，尺寸范围可按表5.1.2的规定确定，允许加工误差应在±0.1mm内，标定区域的表面粗糙度*Ra*应小于10μm。



图5.1.2 拉伸标定试件

表5.1.2 拉伸标定试件尺寸范围 单位：mm

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 总长度*L*t | 平行长度*L*C | 夹持宽度*B* | 平行宽度*b* | 厚度*a* | 导角半径*r* |
| 170～1000 | 60～800 | 30～60 | 15～40 | 3～15 | 10～30 |

**5.1.3** 平面应力检测应制备压缩标定试件，压缩标定试件的制备应符合现行国家标准《金属材料 室温压缩试验方法》GB/T 7314的有关规定，压缩标定试件的形状应符合图5.1.3的规定，尺寸范围可按表5.1.3的规定确定，允许误差应在±0.1mm内，标定区域的表面粗糙度*Ra*应小于10μm。

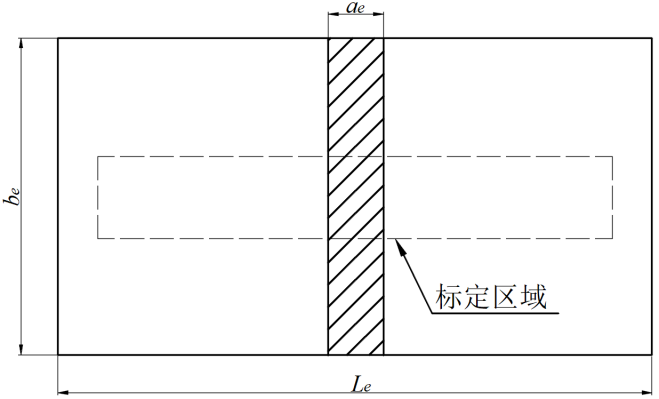


图5.1.3 压缩标定试件

表5.1.3 压缩标定试件尺寸范围 单位：mm

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 长度*Le* | 宽度*be* | 厚度*ae* |
| 150～300 | 100～200 | 10～30 |

**5.1.4** 标定试件应进行去应力处理，消除标定试件中的残余应力，可采用如下方法之一：

**1** 对标定试件进行去应力退火处理应符合现行国家标准《钢件的正火与退火》GB/T 16923的有关规定；

**2** 对标定试件进行振动时效去应力处理应符合现行国家标准《振动时效工艺参数选择及效果评定方法》GB/T 25712的有关规定。

**5.2 标定试验规定**

**5.2.1** 超声探头组底部应定量均匀地涂抹耦合剂，并应将探头组稳定耦合于标定试件的标定区域。

**5.2.2** 钢构件超声应力检测仪应按使用说明书调整至正常工作状态。主要的参数设置应符合下列要求：

**1** 脉冲频率应设置为与探头中心频率一致；

**2** 激励电压幅值和超声接收增益应调节到可实现稳定的临界折射纵波发射与接收；

**3** 应设置示波窗口的时基偏移与幅值标度，以捕捉清晰的临界折射纵波波形；

**4** 采样模式宜选择平均采样，采样速率宜设置为最大值。

**5.2.3** 加载前，应采集临界折射纵波信号，记录标定试件零应力状态对应的临界折射纵波传播时间。

**5.2.4** 单向应力检测应按现行国家标准《金属材料拉伸试验 第一部分温室试验方法》GB/T 228.1的要求，在常温环境（22±2）℃下，对拉伸标定试件进行拉伸试验，探头布置应平行于应力加载方向，以标定应力声时差系数*K*。

**5.2.5** 平面应力检测应按现行国家标准《金属材料 室温压缩试验方法》GB/T 7314的要求，在常温环境（22±2）℃下，对压缩标定试件进行压缩试验。标定应力声时差系数时，探头布置应平行于应力加载方向；标定应力声时差系数时，探头布置应垂直于应力加载方向。

**5.2.6** 标定试件应在材料弹性范围内进行分级加载，加载应力值应不少于10个，重复加载次数应不少于5次，采集不同应力下的临界折射纵波信号，并记录临界折射纵波传播时间和万能试验机加载应力值，临界折射纵波传播时间应取重复加载测量数值的平均值。

**5.2.7** 应计算加载条件下和零应力条件下临界折射纵波传播时间的声时差，并绘制声时差和加载应力值的线性拟合图（图5.2.7），应力声时差系数应按拟合的直线斜率取值。



图5.2.7 应力声时差系数拟合图

注：图中数据的试验条件中，拉伸标定试件的材料为Q355B钢材，探头频率为3MHz，声程为40mm，环境温度23℃。

**6 检测流程**

**6.1 检测前准备**

**6.1.1** 应获知被检测构件的应力声时差系数。

**6.1.2** 应根据钢构件受力形式与检测需求，制定检测方案，选择探头声程、中心频率与楔块形状，明确探头检测位置。

**6.1.3** 待测钢构件检测区应进行打磨，去除涂层、氧化层、油污，使其表面出现金属光泽。

**6.1.4** 检测仪器应按本标准第5.2.2条的规定调整至正常工作状态。

**6.1.5** 应进行零应力声时校准，超声探头组应稳定耦合于标定试件上，测量零应力状态对应的临界折射纵波传播时间*t*0或*T*0。

**6.2 检测实施与要求**

**6.2.1** 超声探头组底部应定量均匀地涂抹耦合剂，并应将探头组稳定耦合于待测试件的检测区。

**6.2.2** 超声波探头组与被检测构件表面的耦合状态宜与应力声时差系数标定、零应力声时校准的耦合状态一致。

**6.2.3** 单向应力检测实施与操作应符合下列要求：

**1** 超声探头组的布置方向应与待检测的应力方向一致；

**2** 应重复采集检测区域临界折射纵波信号，采集次数宜不少于10次，临界折射纵波传播时间应取多次采集的平均值；

**3** 待测钢构件中的单向应力*σ*应按下式计算：

 （6.2.3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | —— | 待测钢构件中的单向应力（MPa）； |
|  | —— | 待测钢构件中LCR波的传播时间（ns）； |
|  | —— | 标定试件在零应力状态下LCR波的传播时间（ns）； |
|  | —— | 应力声时差系数（MPa/ns）。 |

**6.2.4** 平面应力检测实施与操作应符合下列要求：

**1** 超声探头组应以临界折射纵波声程的中点为圆点*O*，分别放置于检测区0°、45°和90°方向（图6.2.4），初始方向0°无特殊要求，可由检测人员按构件形状进行设定；

**2** 采集超声探头组在0°、45°和90°方向对应的临界折射纵波信号，采集次数宜不少于10次，临界折射纵波传播时间应取多次采集的平均值；

**3** 待测钢构件中的主应力值*σ*1、*σ*2以及第一主应力与0°轴的夹角*θ*应按下式计算：

 （6.2.4）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 式中： | —— | 待测钢构件的第一主应力（MPa）； | | |
|  | —— | 待测钢构件的第二主应力（MPa）； | | |
|  | —— | 第一主应力与0°轴夹角（deg）； | | |
|  | —— | 标定试件在零应力状态下LCR波的传播时间（ns）； | | |
|  | —— | 待测钢构件中，LCR波沿0°轴方向的传播时间（ns）； | | |
|  | —— | 待测钢构件中，LCR波沿45°轴方向的传播时间（ns）； | | |
|  | —— | 待测钢构件中，LCR波沿90°轴方向的传播时间（ns）； | | |
|  | —— | 临界折射纵波传播方向与应力平行时的应力声时差系数（ns/MPa）； | | |
|  | —— | 临界折射纵波传播方向与应力垂直时的应力声时差系数（ns/MPa）。 | | |
|  | | | |  |  | |
| (a) 0° | | | | (b) 45° | (c) 90° | |
| 图6.2.4 平面应力检测探头组布置  ①—发射探头；②—第一接收探头；③—第二接收探头 | | | | | | |

**6.3 补偿与修正**

**6.3.1** 当待测钢构件的表面温度与零应力声时校准时的标定试件表面温度差异在±25℃范围内时，应根据温度差对零应力声时进行温度补偿和修正。

**6.3.2** 零应力声时补偿量应通过测量不同温度下临界折射纵波传播时间的变化量进行取值（图6.3.2）。

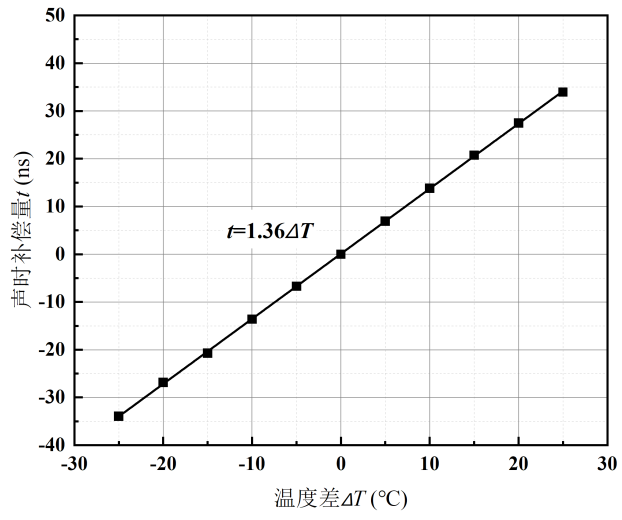


图6.3.2 零应力声时补偿量与温度差的关系

注：图中数据的试验条件中，拉伸标定试件的材料为Q355B钢材，探头频率为3MHz，声程为40mm，基准温度25℃。

**6.4 检测报告**

**6.4.1** 检测报告的内容应包括下列信息：

**1** 工程名称、工程地址以及委托方信息；

**2** 检测单位、人员、日期、检测环境温度等；

**3** 被测钢构件名称、钢材型号、厚度、表面粗糙度、表面温度和曲率等；

**4** 检测仪的滤波带宽、采样率、采样点数等；

**5** 探头的型号、厂家、中心频率和间距等；

**6** 检测方法、检测区域、探头布置等；

**7** 钢构件内部应力检测的具体数值。

**6.4.2** 检测单位可按本标准附录B《钢构件应力超声检测报告》的规定编写检测报告。

**附录A 检测仪器的校准方法**

**A.1 基本规定**

**A.1.1** 检测仪的校准应采用力值溯源方法，利用万能试验机对拉伸试件进行加载，对比加载应力与超声检测应力，判断仪器测量结果是否准确。

**A.1.2** 校准试验的最大加载应力值不应低于材料屈服强度的2/3，并应在材料弹性范围内。

**A1.3** 校准温度应在18℃-28℃范围内。

**A.2 校准流程**

**A.2.1** 应在拉伸试件检测区表面定量均匀地涂抹耦合剂，将探头组稳定耦合于检测区。

**A.2.2** 应按本标准5.2.2条的规定将钢构件超声应力检测仪调整至正常工作状态。

**A.2.3** 应利用万能试验机对拉伸试件进行拉伸应力加载，并使用检测仪测量拉伸试件内部应力，单次校准加载的载荷值应不少于10个，试验过程应至少重复5次以上。

**A.2.4** 应对比万能试验机加载应力值与钢构件超声应力检测仪检测的应力值。若偏差在20MPa以下，则应认为检测系统稳定可靠。否则，应检查仪器各部分连接，并重新标定应力声时差系数与零应力声时，重复加载试验并检测拉伸试件应力，直至测量偏差在20MPa以下，校准结束。校准应采用图A.2.4的流程。

校准流程图

图A2.4 仪器校准流程图

**A.3 校准报告**

**A.3.1** 钢构件应力超声检测仪器校准报告应包括下列信息：

**1** 注明采用本标准附录；

**2** 使用万能试验机的型号及参数；

**3** 使用拉伸试件的钢材型号、尺寸及屈服强度；

**4** 被校准仪器的型号和性能指标；

**5** 校准试验过程加载的载荷和对应的检测结果；

**6** 校准日期和环境温度。

**附录B 钢构件应力超声检测报告**

表B 钢构件应力超声检测报告

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **钢构件应力超声检测报告** | | | | 报告编号 | |  | | |
| 检测日期 | |  | | |
| 环境温度 | |  | | |
| 工程名称 | |  | | | | | | |
| 工程地址 | |  | | | | | | |
| 委托单位 | |  | | 试验委托人 | |  | | |
| 构件名称 | |  | | 钢材型号 | |  | | |
| 厚度 | |  | | 曲率 | |  | | |
| 表面粗糙度 | |  | | 表面温度 | |  | | |
| 仪器型号 | |  | | 滤波带宽 | |  | | |
| 采样率 | |  | | 采样点数 | |  | | |
| 探头型号 | |  | | 厂家名称 | |  | | |
| 中心频率 | |  | | 探头间距 | |  | | |
| **检测方法、检测区域与探头布置说明：** | | | | | | | | |
| 测点序号 | 应力值（MPa） | | 测点序号 | | 应力值（MPa） | | 测点序号 | 应力值（MPa） |
| 1 |  | | 2 | |  | | 3 |  |
| 4 |  | | 5 | |  | | 6 |  |
| ... |  | | ... | |  | | ... |  |
| **检 测** |  | | **审 核** | |  | | **批 准** |  |
| **检测单位** |  | | | | | | | |
| **报告日期** |  | | | | | | | |

**本规程用词说明**

**1** 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对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** 标准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**

《钢结构现场检测技术标准》GB/T 50621

《无损检测 人员资格鉴定与认证》GB/T 9445

《无损检测 术语 超声检测》GB/T 12604.1

《无损检测 残余应力超声临界折射纵波检测方法》GB/T 32073

《无损检测 超声检测 超声衍射声时技术检测和评价方法》GB/T 23902

《无损检测残余应力超声体波检测方法》GB/T 38952

《无损检测 超声检测 测量接触探头声束特性的参考试块和方法》GB/T 18852

《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345

《金属材料拉伸试验 第一部分温室试验方法》GB/T 228.1

《金属材料 室温压缩试验方法》GB/T 7314

《钢件的正火与退火 》GB/T 16923

《振动时效工艺参数选择及效果评定方法》GB/T 25712

《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》CECS 02:2005

|  |
| --- |
| 中国工程建设标准化协会标准 |
| **钢构件应力超声检测技术规程**  **Technical Specification for Ultrasonic Detection**  **of Stress in Steel Members** |
| **T/CECS XXX : 202X** |

**条文说明**

**制 定 说 明**

本标准制定过程中，编制组进行了钢构件应力超声检测技术发展现状的调查研究，总结了我国建设工程中应用超声法检测钢构件应力的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过对钢构件应力超声检测技术的检测仪器性能参数、应力声时差系数标定和检测实施流程的研究，取得了阶段性成果。

本标准编制原则为：（1）科学合理、具有可操作性；（2）实事求是，规程使用人应严格遵守规程有关规定；（3）提高效率的同时又能保证质量等。

关于钢构件应力超声检测的应力声时差系数标定、检测结果补偿与修正以及检测仪器校准等重要问题，编制组给出了具有可操作性的解决措施，编制组将对其他尚需深入研究的有关问题多方取证、试验探究和工程应用后对规程进行更新补充。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《钢构件应力超声检测技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条款的规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

[1 总 则 21](#_Toc124080727)

2 术语和符号 22

[3 基本规定 23](#_Toc124080731)

[4 检测系统 24](#_Toc124080735)

[4.1 钢构件超声应力检测仪 24](#_Toc124080736)

[4.2 超声探头组 24](#_Toc124080737)

[4.3 耦合剂 25](#_Toc124080738)

[4.4 温度传感器 25](#_Toc124080739)

[5 应力声时差系数标定 26](#_Toc124080740)

[5.1 标定试件制备 26](#_Toc124080741)

[5.2 标定试验规定 26](#_Toc124080742)

[6 检测流程 28](#_Toc124080744)

[6.1 检测前准备 28](#_Toc124080745)

[6.3 补偿与修正 28](#_Toc124080747)

[附录A 检测仪器的校准方法 29](#_Toc124080749)

**1 总 则**

**1.0.1** 近年来，我国兴建了大量钢结构建筑，结构当前状态下重要钢构件的应力信息是评价结构整体安全状态的直接指标，对结构的安全鉴定和评价有重要意义。超声波法因其具有穿透力强、检测速度快且精度较高、检测装置经济便携、对构件无损等特点，非常适用于钢构件的应力检测。随着钢构件应力超声检测技术的不断发展，编制组对此开展了大量试验研究和实际工程验证工作，形成了可行的检测方法。在本规程的编制过程中遵循先进性、科学性、协调性和可操作性原则，深入总结国内外先进成熟的技术理论、科学研究和工程案例，同时针对一些关键条款内容开展专题研究，将研究成果纳入本规程。本规程将有效规范钢构件应力超声检测技术的应用，做到技术先进、安全可靠、经济合理、方便使用。

**1.0.2** 本标准采用临界折射纵波作为检测波型，临界折射纵波沿钢构件近表面传播，其检测深度与超声探头中心频率有关，检测深度计算公式见第3章。

**1.0.3** 纵波在材料中传播的声弹性方程仅在材料处于弹性阶段成立，因此本标准适用于检测钢构件弹性状态下的单向应力和平面应力。

**1.0.4** 本条规定在钢构件的超声应力检测工作中，除执行本准的规定外，尚应执行国家现行的有关标准、规范的规定。这些现行的国家有关标准、规范主要是《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构现场检测技术标准》GB/T 50621、 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《无损检测 残余应力超声临界折射纵波检测方法》GB/T 32073以及相应的钢结构超声检测标准等。

**2 术语和符号**

本章给出的术语和符号是参考现行国家标准《无损检测 术语 超声检测》GB/T 12604.1、《无损检测 残余应力超声临界折射纵波检测方法》GB/T 32073的规定，并结合本标准的具体情况给出。

**3 基本规定**

**3.0.1** 本条对检测现场进行规定。钢结构检测时周边环境状况比较复杂，特别是在施工现场存在交叉作业、高坠、磕碰等高危因素，检测人员开展检测前，应做好自身安全防护，随时关注检测时现场周边情况，确保安全前提下再开展检测工作；检测现场的环境温度宜在仪器的工作温度范围内，确保检测数据的真实可靠；检测现场的机械振动和电磁干扰会对超声波产生影响，宜避免在此类环境下检测。

**3.0.2** 本条对检测区域进行规定。钢构件检测区域缺陷将影响临界折射纵波声时的测量，检测过程中应避开缺陷部位。同时，应避开超声探头难以与构件表面耦合的部位检测，如表面形状不规则的区域。

**3.0.3** 本条对检测应力值的范围进行规定。临界折射纵波是在钢构件表面以下一定深度区域传播的，其传播路径上的应力均会影响临界折射纵波传播速度，因此本标准检测的应力是该区域的应力平均值。同时，临界折射纵波检测深度的计算公式参考国标GB/T 32073-2015中7.1.1条的规定。

**3.0.5** 本条对检测应力值的正负号进行规定。钢构件内部应力会影响临界折射纵波传播速度，拉伸应力使临界折射纵波声速变慢，传播声时延长；压缩应力使临界折射纵波声速变快，传播声时缩短；因此，应力检测公式计算得到的应力值*σ*，正值表示拉应力，负值表示压应力，并与材料力学中关于拉压应力的正负号规定统一。

**4 检测系统**

**4.1 钢构件超声应力检测仪**

**4.1.1** 本条阐述钢构件超声应力检测仪的组成，参考国标GB/T 38952-2020中6.3节的规定。

**4.1.2** 本条阐述钢构件超声应力检测仪的基础功能要求。

1 钢构件超声应力检测仪产生的激励电信号脉冲频率应与超声探头中心频率基本一致，这样才可最大程度激发探头的压电晶片振动。

2 当临界折射纵波在钢构件中传播衰减较大时，应调节脉冲电压，增大临界折射纵波信号幅值。

3 当超声波接收信号出现抖动或幅值较小时，应调节接收增益，使检测仪可捕捉稳定、清晰的临界折射纵波信号。

4 当系统阻抗差异较大时，信号会产生畸变，应调节脉冲发射器阻抗。

5 接受的超声波信号中具有噪声信号，波形中呈现较多毛刺，影响声时的测量。钢构件超声应力检测仪应具有滤波功能，消除超声信号中的噪声，使波形光滑。

6 为使检测人员可以捕捉到临界折射纵波，检测仪应具有稳定、清晰的波形显示系统。

7 钢构件超声应力检测仪应将所接收的超声信号经高速A/D转换为离散的数字信号并直接输入计算机，通过相关软件进行分析处理。

8 钢构件超声应力检测仪应具有对超声信号进行数据处理，自动计算临界折射纵波传播时间和钢构件应力值的功能，降低人为干扰，提高检测效率，可在仪器内部或专用的分析处理软件上自动实现。

**4.1.3** 本条规定主要为了保证检测仪器的性能指标满足本规程的要求，禁止粗制滥造和假冒伪劣仪器的使用。

**4.1.4** 仪器的校准是为了保证仪器在标准状态下进行检测，仪器的标准状态是统一仪器性能的基础，只有采用质量统一、性能一致的仪器，才能保证检测结果的准确性和可靠性。

**4.1.5** 本条规定了钢构件超声应力检测仪应进行校准的各类情况，特别是针对第4款的规定，在使用过程中要注意观察判断检测数据是否有异常，如仪器无法捕捉清晰、稳定的临界折射纵波信号，测量应力值超过材料的强度极限和测量数据不稳定等情况。

**4.2 超声探头组**

**4.2.1** 本条规定了超声探头组的构成。本标准采用一发双收探头组进行钢构件应力检测，相较于一发一收探头组，一发双收探头组具有如下优势：

1 声程便于测量。一发双收探头组的声程为两个接收探头的间距；

2 声时捕捉更为精确。由于两接收探头性能参数相同，接收信号的波形相似，使得声时捕捉更精确；

3 受温度影响小。由于两接收探头尺寸和耦合状态一致，捕捉的声时仅为在钢构件中传播的声时，避免了耦合剂和声楔块热膨胀导致的声时变化。

**4.2.2** 纵波在有机玻璃和钢材中的声速分别为2730 m/s和5900 m/s，根据式(4.2.2) 中即可得到纵波从有机玻璃入射到钢构件中的第一临界角为27.6°。由于不同批次、型号的钢材内部的金相组织不同，超声波的声速不为定值，因此在实际检测过程中，入射角可在27.6°附近调整，使临界折射纵波信号幅值达到最大。

**4.2.3** 《无损检测 超声检测 测量接触探头声束特性的参考试块和方法》GB/T 18852-2020中第6.2节规定了斜探头的测试方法，应测试探头的声束声时特性曲线。

**4.2.4** 不同探头组由于探头特性与发射角度的影响，测量的声时并不一致。若采用不同探头组分别进行应力声时差系数标定、零应力声时校准或在役钢构件应力检测，易导致检测结果出现偏差，因此检测过程宜使用同一组探头。

**4.2.5** 不同耦合状态影响临界折射纵波声时测量，应使用固定辅助工装，将探头稳定耦合在构件上，并保持整个检测过程耦合状态一致。同时，固定辅助工装也起到固定声程的作用。

**4.2.6** 探头应与待测钢构件良好耦合，《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》GB/T 11345-2013中第6.3.4条规定，检测面与探头底面之间的间隙不应大于0.5 mm，并给出了检测曲面时的间隙计算公式。

**4.3 耦合剂**

**4.3.3** 耦合剂的选用应遵循绿色环保易清除的原则，在既能保证检测灵敏度的前提下，尽量不给后续工作带来影响。不同耦合剂影响临界折射纵波声时测量，应全程使用相同的耦合剂。

**4.4 温度传感器**

**4.4.1** 温度是影响超声波传播速度的因素之一，当标定试件零应力声时与待测试件测量声时的温度不一致时，应力检测结果将出现偏差。因此，在实际检测过程中，应使用温度传感器测量钢构件表面温度，并对检测应力值进行温度补偿。

**5 应力声时差系数标定**

**5.1 标定试件制备**

**5.1.1** 在役钢构件通常是不可拆卸的，而钢构件超声应力检测中需要标定检测系数，因此选择与待测钢构件相同牌号钢材制作标定试件，进行检测系数的标定。

**5.1.2** 对于单向应力检测的系数标定，应采用拉伸试验方法，按《金属材料拉伸试验 第一部分温室试验方法》GB/T228.1-2021中的要求制备拉伸标定试件，标定区域宜在试件的中心区域。

**5.1.3** 对于平面应力检测的系数标定，由于需要标定垂直于应力方向的应力声时差系数*K*⊥，拉伸标定法难以满足探头布置需求，因此采用压缩试验方法进行系数标定，应按国标GB/T 7314-2017中的要求制备压缩试件。

**5.1.4** 标定试件在加工制备过程中会存在残余应力，影响零应力声时的校准，因此需对标定试件进行去应力处理。

**5.2 标定试验规定**

**5.2.1** 探头与标定试件接触面应良好耦合，保证探头与标定试件达到完全面接触，排除其间的空气和杂物。同时，应定量均匀地涂抹耦合剂，以保持耦合状态一致，并保证声时测量条件的一致性。

**5.2.2** 本条阐述钢构件超声应力检测仪的调整与设置。针对本条第3款，示波器自动触发后，其时基偏移与幅值标度受全部超声信号影响自动设置，导致临界折射纵波信号失真，应通过设置示波器时基偏移和幅值标度，使临界折射纵波清晰完整地处于示波窗口内；针对本条第4款，由于商用示波器的垂直分辨率大多为8 bit，采集的临界折射纵波信号呈现阶梯状，平均采样模式通过重复采集信号并做算数平均，可提高信号的垂直分辨率，并降低临界折射纵波信号的抖动。

**5.2.3** 临界折射纵波传播时间为第一接收探头和第二接收探头临界折射纵波信号的时间差，可采用互相关算法计算第一接收探头和第二接收探头的临界折射纵波信号互相关系数，传播时间即为互相关系数的最大值。

**5.2.6** 本标准基于声弹性原理规定了超声应力检测方法，声时与应力仅在材料弹性阶段呈现线性关系，因此加载过程应在材料弹性范围内。通过对标定试件进行分级加载，采集不同应力下的临界折射纵波声时，进行应力声时差系数的标定。为提高线性拟合度，降低测量误差对应力声时差系数标定的影响，单次标定加载应力值应不少于10个，重复加载次数应不少于5次。

**5.2.7** 本条阐述应力声时差系数的拟合方法。可采用最小二乘法对应力和声时差进行线性拟合，得到的直线斜率即为应力声时差系数。

**6 检测流程**

**6.1 检测前准备**

**6.1.2** 对于钢支撑、钢管柱、钢桁架等主要受轴向力的钢构件，可采用单向应力检测法；对于钢梁、钢楼板等受复杂力构件，可采用平面应力检测法。应着重关注主要承力构件及其节点连接处的内部应力状态，根据待测区域尺寸、形状与检测深度选择探头的声程、中心频率及楔块形状。

**6.1.3** 待测钢构件检测区的涂层、氧化层、油污会改变超声波传播路径，并影响探头与钢构件的耦合状态，造成测量误差，应对待测钢构件表面进行打磨，使其表面出现金属光泽，保证待测钢构件检测面能提供良好的声耦合。

**6.1.5** 零应力声时是超声应力检测中的重要参数，在实际检测前，应对零应力声时进行校准，并做好记录，宜在检测现场对零应力声时进行校准。

**6.3 补偿与修正**

**6.3.2** 温度会影响超声纵波在钢构件中的传播速度，大量实验表明，温度升高，超声纵波传播速度降低。现场检测过程中，可使用温度传感器测量探头附近钢构件表面温度，若现场检测钢构件表面温度与零应力校准时的温度不一致，则应对检测的应力值进行温度补偿。

**附录A 检测仪器的校准方法**

**A.1 基本规定**

**A.1.1** 采用力值溯源方法，在实验室条件下对拉伸试件进行加载，通过对比加载与检测应力值，即可检验仪器的可靠性。若加载应力与检测应力偏差大于20 MPa，应首先检查仪器连接并复核测试操作是否正确，然后重新标定应力声时差系数与零应力声时，并重新测量直至满足要求。