



中华人民共和国国家标准

GB/T 44512—2024

大型游乐设施检验检测 超声应力测试

Inspection and test specifications of large-scale amusement
device—Ultrasonic stress testing

2024-09-29 发布

2025-01-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测试原理 1

 4.1 原理概要 1

 4.2 螺栓和轴类轴向应力的横纵波测试方法 1

 4.3 钢管和钢板的弯曲应力临界折射纵波测试方法 2

5 安全与环境要求 4

6 人员要求 4

7 仪器与设备 4

 7.1 探头 4

 7.2 超声应力测试仪 5

 7.3 标定试样 5

 7.4 耦合剂 6

 7.5 校准、核查、期间核查或检查 7

8 测试 7

 8.1 通用测试工艺规程 7

 8.2 测试工艺卡 7

 8.3 测试前准备 7

 8.4 测试仪器的标定 8

 8.5 测试实施 8

 8.6 数据分析与评价 8

9 测试文件 8

 9.1 测试记录 8

 9.2 测试报告 8

参考文献 10



前 言

本文件按照 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。

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。

本文件由全国索道与游乐设施标准化技术委员会(SAC/TC 250)提出并归口。

本文件起草单位：中国特种设备检测研究院、硕德(北京)科技有限公司、广西壮族自治区特种设备检验研究院、河南省特种设备检验技术研究院、武汉中科创新技术股份有限公司、广州特种设备检测研究院、江苏省特种设备安全监督检验研究院、清能博创(珠海)科技有限公司、中建八局检测科技有限公司。

本文件主要起草人：沈功田、香勇、鞠成伟、张强、周立军、刘彦南、罗贞、张鹏飞、刘然、胡斌、张琨、王子成、张君娇、叶伟文、张洋、周洲、陈海平、叶海波、王晓亮、黄琪、王知远、王宇云、刘广华。

引 言

钢结构、螺栓、轴类等部件在游乐设施中起到连接和承受载荷的作用,是游乐设施中的重要部件。钢结构、螺栓、轴类等部件会因承受过大载荷导致断裂或承受过小载荷导致松动,因此需对其进行原位动载荷监测或静载荷测试。

超声应力测试通过给出游乐设施钢结构重点区域的应力,测试螺栓、轴类等部件的轴向应力,判断设计安全性能是否达标,对制造安装过程进行质量监测与控制,实现在用设备应力异常区域的快速筛查,为在用设备运维策略提供指导。

大型游乐设施检验检测 超声应力测试

1 范围

本文件规定了大型游乐设施钢结构、螺栓、轴类等受力部件的超声应力测试方法。

本文件适用于游乐设施用外径不小于 10 mm 的实心轴和六角形钢制螺栓、外径不小于 30 mm 的双螺纹螺栓等受力部件原位轴向应力的测试,也适用于外径不小于 $\phi 50$ 且壁厚不小于 6 mm 的钢管和壁厚不小于 6 mm 的钢板等受力部件原位弯曲应力的测试。

索道和其他机械设备用钢结构、螺栓、轴类等受力部件的超声应力测试参照执行。

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 20050 大型游乐设施检验检测 通用要求

GB/T 27664.2 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 2 部分:探头

GB/T 34370.1 游乐设施无损检测 第 1 部分:总则

GB/T 34370.5 游乐设施无损检测 第 5 部分:超声检测

3 术语和定义

GB/T 12604.1、GB/T 34370.1 界定的术语和定义适用于本文件。

4 测试原理



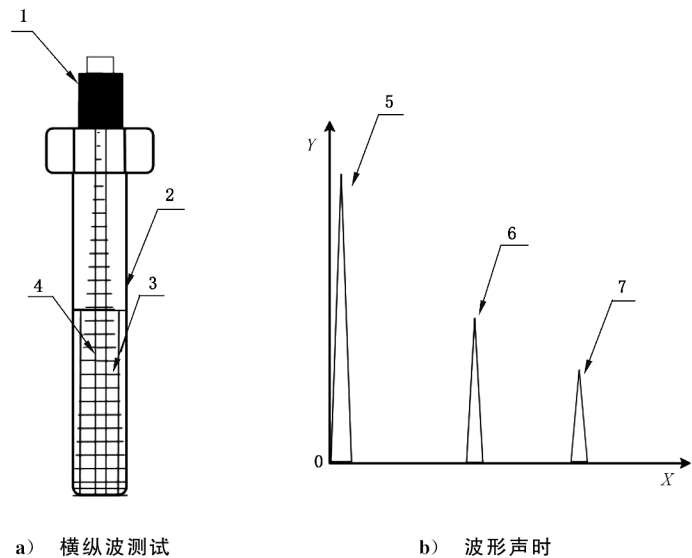
4.1 原理概要

依据声弹性原理,超声波在承受应力的材料中传播时,被测工件中声波传输方向上所受的应力会影响超声波的传播速度,通过测量超声信号在工件中传输时间的变化(即声时的变化)可计算出材料中超声传播方向的应力变化,通过标定可得到该方向的应力值。

根据测试对象的特点,螺栓和轴类采用横纵波法测量轴向应力,钢管和钢板类采用临界折射纵波法测量弯曲应力。

4.2 螺栓和轴类轴向应力的横纵波测试方法

螺栓和轴类轴向应力的横纵波测试方法原理如图 1 所示。图 1a) 中探头耦合在螺栓或轴的端面,探头可同时发射超声纵波和横波,超声波到达被测工件的另一端面反射后由探头接收,从而可分别测量超声纵波和横波的传播时间(声时)。图 1b) 为波形声时示意图,由于超声纵波和横波的波速不同,从而得到的声时也不同。



- 标引序号说明：
- 1——横纵波探头；
 - 2——被测工件；
 - 3——横波；
 - 4——纵波；
 - 5——始波信号显示；
 - 6——纵波反射信号显示；
 - 7——横波反射信号显示。

图 1 横纵波法测试原理示意图

被测工件的轴向应力与超声横、纵波声时的关系见公式(1)：

$$\sigma = \frac{F}{S} = K_{LS} \left(\frac{T_S}{T_L} - \frac{T_{0S}}{T_{0L}} \right) / \frac{T_{0S}}{T_{0L}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- σ ——被测工件的轴向应力,单位为兆帕(MPa)；
- F ——被测工件的轴向力,单位为牛(N)；
- S ——被测工件的截面积,单位为平方毫米(mm²)；
- K_{LS} ——纵横波声时比应力系数,单位为兆帕(MPa)；
- T_S ——有轴向应力时的超声横波传播声时,单位为纳秒(ns)；
- T_L ——有轴向应力时的超声纵波传播声时,单位为纳秒(ns)；
- T_{0S} ——无轴向应力时的超声横波传播声时,单位为纳秒(ns)；
- T_{0L} ——无轴向应力时的超声纵波传播声时,单位为纳秒(ns)。

式中 T_{0S} 和 T_{0L} 通过标定试样在无应力状态下测试得到, K_{LS} 需对标定试样加载得到,通过现场对被测工件的测试,可得到 T_S 、 T_L 。

4.3 钢管和钢板的弯曲应力临界折射纵波测试方法

钢管和钢板的弯曲应力临界折射纵波测试方法原理如图 2 所示。图 2a)为波形转换示意图,当一束超声纵波从介质Ⅰ倾斜入射至介质Ⅱ的界面时,一部分能量反射回介质Ⅰ,另一部分能量折射进入介质Ⅱ。由于界面声阻抗差异,介质Ⅱ中将同时出现折射纵波和横波,相应的折射角与入射角的关系符合

Snell 定律,见公式(2):

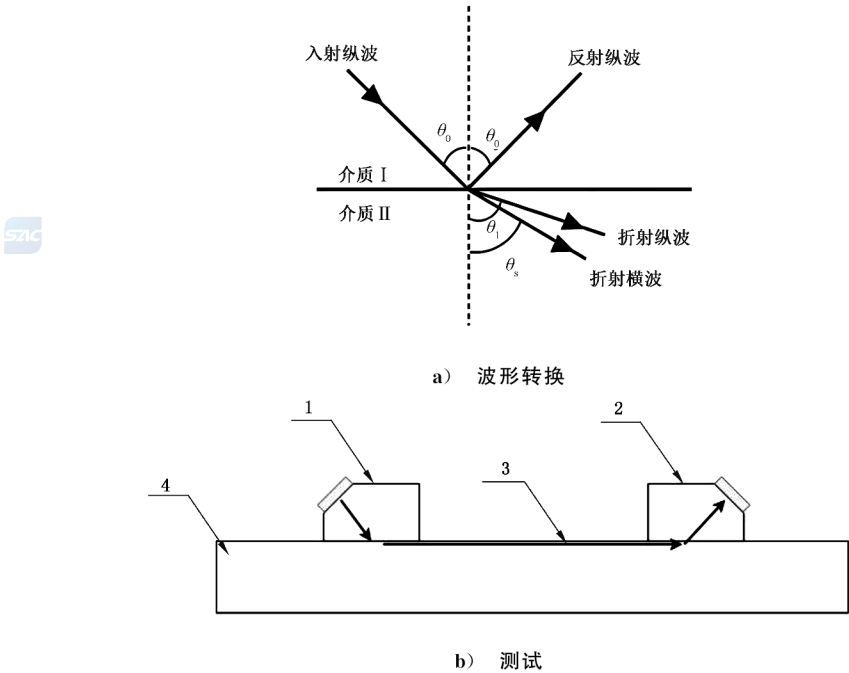
$$\frac{\sin\theta_0}{v_0}=\frac{\sin\theta_1}{v_1}=\frac{\sin\theta_s}{v_s}$$

.....(2)

- 式中:
- θ_0 ——纵波在介质 I 中的入射角,单位为度(°);
 - θ_1 ——纵波在介质 II 中的折射角,单位为度(°);
 - θ_s ——横波在介质 II 中的折射角,单位为度(°);
 - v_0 ——纵波在介质 I 中的声速,单位为米每秒(m/s);
 - v_1 ——纵波在介质 II 中的声速,单位为米每秒(m/s);
 - v_s ——横波在介质 II 中的声速,单位为米每秒(m/s)。

当 $v_s > v_0$ 时, $\theta_1 > \theta_0$, θ_1 增加到 90° 时,纵波沿被测工件表面传播,此时称为临界折射纵波。由于临界折射纵波传播的声速随工件中弯曲应力的变化而变化,通过测量临界折射纵波沿工件表面传播的声时变化,可计算得到被测工件的近表面弯曲应力值。

如图 2b) 所示,利用一发一收探头产生和接收临界折射纵波,测量声时。



- 标引序号说明:
- 1——发射探头;
 - 2——接收探头;
 - 3——临界折射纵波;
 - 4——被测工件。

图 2 临界纵波产生临界纵波法测试示意图

弯曲应力与超声临界折射纵波声时的关系见公式(3):

$$\sigma = K_{\text{CR}} t$$

.....(3)

- 式中:
- σ ——测量得到的应力值,单位为兆帕(MPa);
 - K_{CR} ——纵波声时应力系数,与被测工件的材料和探头间距有关,可通过标定试样加载测试获

得,单位为兆帕每纳秒(MPa/ns);

t ——测量得到的声时,单位为纳秒(ns)。

注:采用钢管和钢板的弯曲应力临界折射纵波测试方法只能测量被测工件的近表面应力,其测量深度与测量频率紧密相关,频率越高测量深度越小。

5 安全与环境要求

测试过程中的安全与环境要求应满足 GB/T 20050 的规定。

6 人员要求

采用本文件实施测试的人员,应符合 GB/T 34370.1 的要求。

7 仪器与设备

7.1 探头

7.1.1 通用要求

探头应符合 GB/T 27664.2 的要求。

7.1.2 螺栓和轴类轴向应力的横纵波测试用探头

7.1.2.1 根据被测工件的长度按表 1 选择探头的工作频率。

表 1 不同工件长度对应的探头工作频率

工件长度/mm	探头工作频率/MHz
<100	1、2.25、5
100~<300	1、2.25
≥300	1

7.1.2.2 根据被测工件的直径按表 2 选择探头的直径。

表 2 不同工件直径对应的探头直径

工件直径/mm	探头直径/mm
10~<30	10
≥30	30

7.1.3 钢管和钢板的弯曲应力临界折射纵波测试用探头

7.1.3.1 根据被测工件的厚度及所需测量深度,按表 3 选择探头的工作频率和探头间距。

表 3 不同测量深度对应的探头工作频率和探头间距

探头工作频率/MHz	探头间距/mm	测量深度/mm
0.5	60	11.47
1	50	5.98
2.25	30	2.74
5	20	1.27

7.1.3.2 可采用圆形直探头或方形斜探头，圆形直探头应根据被测工件材料声阻抗匹配相应的楔块，对钢管的测试宜选用与该工件曲率半径接近的探头形状。

7.2 超声应力测试仪

超声应力测试仪的功能和参数应至少满足如下要求：

- a) 能测量和显示声时，分辨率不低于 1 ns；
- b) 能测量和显示被测对象的声速；
- c) 能测量和显示被测对象的应力，单位为兆帕(MPa)。

7.3 标定试样

7.3.1 标定试样可直接采用被测工件，也可采用与被测工件相同材质、型号、表面状态的材料加工。

7.3.2 对于螺栓和轴类轴向应力的横纵波测试，按图 3 要求制作棒状拉伸标定试样。

7.3.3 对于钢管和钢板的弯曲应力临界折射纵波测试，按图 4 和图 5 要求制作板状拉伸标定试样和管状拉伸标定试样。

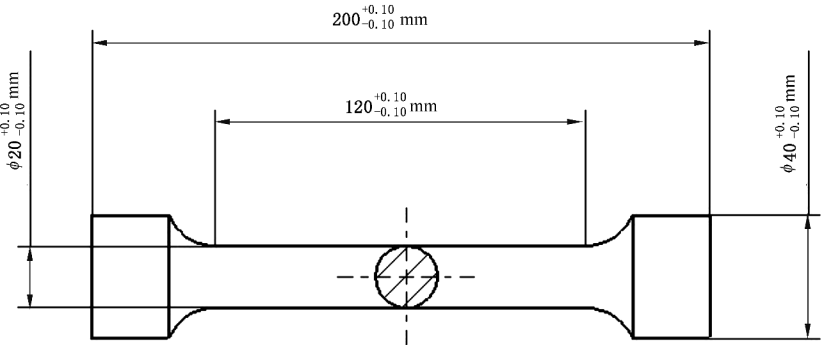


图 3 棒状拉伸标定试样

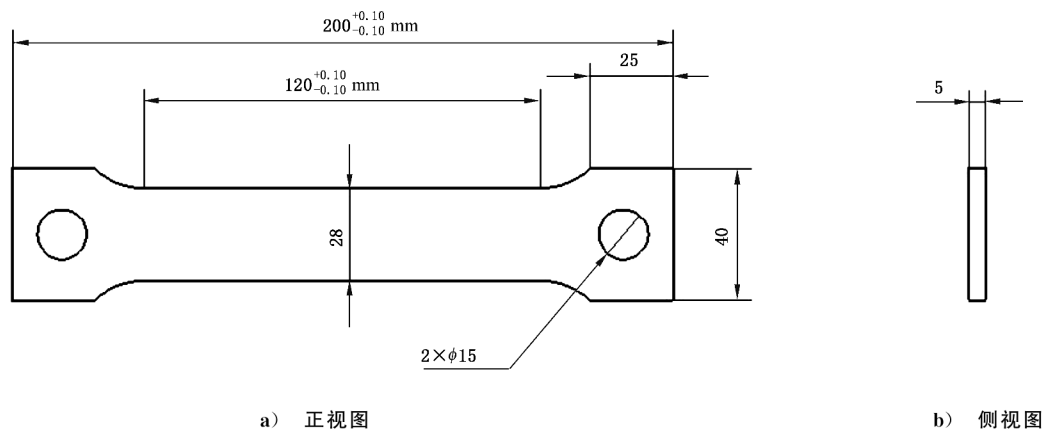


图 4 板状拉伸标定试样

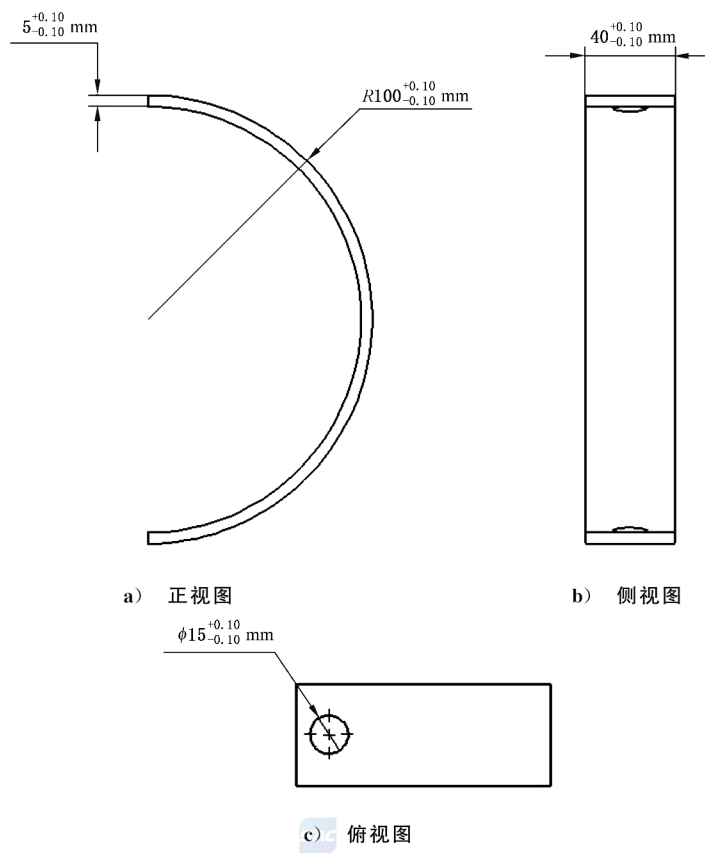


图 5 管状拉伸标定试样

7.4 耦合剂

除满足 GB/T 34370.5 的要求外,还应满足如下要求;

- a) 不能对被测工件表面造成损伤;
- b) 测量与标定时应一致;
- c) 在使用轴向测量方法时,应使用黏度较高的耦合剂,如横波专用耦合剂。

7.5 校准、核查、期间核查或检查

按 GB/T 34370.1 和 GB/T 34370.5 的要求执行。

8 测试

8.1 通用测试工艺规程

8.1.1 测试工艺规程编制应按 GB/T 34370.1 的要求执行。

8.1.2 测试工艺规程的内容应至少包括：

- a) 文件编号；
- b) 适用范围；
- c) 引用标准、法规；
- d) 测试人员资格；
- e) 测试仪器设备：超声应力测试仪、探头、标定试样、耦合剂；
- f) 被测工件信息：型号、材质、表面状态等；
- g) 探头安装部位；
- h) 测试时机；
- i) 测试结果；
- j) 测试记录、报告和资料存档；
- k) 编制(级别)、审核(级别)和批准人员签字及日期。

8.2 测试工艺卡

对于每种被测工件应制定专用的测试工艺卡，内容应至少包括：



- a) 测试工艺卡编号；
- b) 测试执行的标准号及名称；
- c) 被测工件的信息：名称、编号、材质、规格尺寸；
- d) 测试设备和器材：测试仪器的名称、规格型号、编号、探头型号和编号标准试样等；
- e) 仪器调试、参数设置；
- f) 测试时机；
- g) 测试位置和表面要求；
- h) 测试部位示意图；
- i) 测试环境要求；
- j) 测试方法；
- k) 耦合方式；
- l) 编制(级别)和审核(级别)人员签字及日期。

8.3 测试前准备

8.3.1 资料审查

按 GB/T 34370.5 的要求执行。

8.3.2 现场勘察

按 GB/T 34370.5 的要求执行。

8.3.3 耦合剂的使用

测量时使用的耦合剂应与标定时相同。

8.3.4 测试位置的确定

测试位置应根据构件受力特征和用户提出的要求来确定,若无特别要求则按下列要求确定测试位置。

- a) 螺栓和轴类轴向应力的横纵波测试探头耦合面的位置应避开中心孔、刻字端面、阶梯位置等部位。
- b) 钢管和钢板的弯曲应力临界折射纵波测试探头位置应为受拉应力的最大处,且应确保测试时超声声束能扫查到被测工件的被测区域。

8.3.5 测试表面处理

对测试表面进行处理,使之无锈渍、污渍等,凸起刻字余高打磨至 0.2 mm。

8.4 测试仪器的标定

在加载装置上根据被测工件可能的载荷范围对标定试样进行加载,得到应力与超声声时之间的关系,计算出应力系数 K_{LS} 或 K_{CR} 。

8.5 测试实施

测试应在设备停止运行状态下进行,测试环境温度宜为 5℃~40℃,且与标定时的温差不超过 ±5℃。按 8.1 的要求对工件进行测试,耦合稳定后记录测试结果。

8.6 数据分析与评价

8.6.1 记录测试数据,并对异常位置复测或记录。

8.6.2 对实测值和设计中给出的设计计算值进行比对分析,低于或高于 20% 为异常。根据工况设计计算的应用范围,进一步用其他方法复查或检修。

9 测试文件

9.1 测试记录

测试记录应按测试工艺规程的要求记录测试数据或信息,应至少包括 9.2 中的内容,并按相关法规、标准和(或)合同要求保存所有记录。

9.2 测试报告

测试报告应至少包括如下内容:

- a) 委托单位、测试单位和报告编号;
- b) 工艺规程版次或测试工艺卡编号;
- c) 测试执行的标准编号及名称;
- d) 被测工件名称、类型、材质、表面状态;

- e) 测试设备器材:仪器型号及编号、探头、试块、耦合剂、测试环境温度;
- f) 测试参数:测试范围、测试位置(面、侧等)等;
- g) 测试示意图:测试部位、探头安装位置、测试结果;
- h) 在报告上表明超声测试区域,如有因几何形状限制而测试不到的部位,也应加以说明;
- i) 测试人员和审核人员签字、日期及其资格;
- j) 测试日期。



参 考 文 献

- [1] GB/T 18852 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
-

