

团 体 标 准

T/CNS 19—2020

核电厂金属材料高温高压 水中腐蚀疲劳裂纹扩展试验方法

**Test method for corrosion fatigue crack propagation in high temperature
high pressure water for metallic materials used in nuclear power plants**

2020 - 04 - 28 发布

2020 - 08 - 01 实施

中国核学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试验仪器和设备	3
5 试样制备和要求	3
6 试验条件和步骤	4
7 数据处理	5
8 质量保证	5
9 试验报告	5
附录 A（资料性附录）高温高压循环水腐蚀疲劳试验系统	6
附录 B（资料性附录）试样尺寸及推荐夹具	5
附录 C（资料性附录）高温高压循环水腐蚀疲劳裂纹扩展曲线	5

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中国核学会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国科学院金属研究所、国家电投集团科学技术研究院。

本标准主要起草人：韩恩厚、张兹瑜、吴欣强、白亚奎。

核电厂金属材料高温高压水中腐蚀疲劳裂纹扩展试验方法

1 范围

本标准规定了金属材料高温高压循环水中腐蚀疲劳裂纹扩展速率试验的方法和相关技术要求。本标准适用于评价金属材料在高温高压循环水中的腐蚀疲劳裂纹扩展性能。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 150.4 压力容器 第4部分:制造、检验和验收

GB/T 6398—2017 金属材料 疲劳试验 疲劳裂纹扩展方法 (ISO 12108:2012, MOD)

GB/T 20120.2 金属和合金的腐蚀 腐蚀疲劳试验 第2部分:预裂纹试验裂纹扩展试验 (GB/T 20120.2—2006, ISO 11782-2: 1998, MOD)

GB/T 15248 金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法

TSG 21—2016 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

GB/T 15248、GB/T 20120.1、GB/T 3075界定的术语和定义适用于本文件。

4 试验仪器和设备

4.1 高压釜及水循环系统

4.1.1 高压釜釜体、釜盖应采用不锈钢或镍基合金等耐蚀合金制造。釜体一般为整体,特殊情况下也允许施焊,但应进行无损检测。

4.1.2 釜体与釜盖之间及釜上引出的各测试孔均需具有良好的密封性能,在试验过程中不准许有泄漏现象。

4.1.3 可以模拟典型轻水堆核电站服役循环水环境,可在 360℃、20 MPa 以下环境中长期稳定运行。

4.1.4 高压釜应设有安全保护装置,并定期检查安全保护装置的可靠性。

4.1.5 高压釜中高温承压部件应按 GB 150.4 进行制造、检验和验收。

4.1.6 试样架推荐采用耐高温耐腐蚀材料制造,如采用奥氏体不锈钢、镍基合金等材料制成。

4.1.7 高温高压循环水系统和高压釜结构示意图参见附录 A。

4.1.8 推荐高压釜配备有相应的外部冷却水循环系统,以保护位移传感器、力传感器、密封圈及其他不耐高温试验部件。

4.2 加载系统

4.2.1 高压釜需配备疲劳机加载系统,推荐试验装置配备压力平衡系统以平衡釜内水压对拉伸杆施加的压力。

4.2.2 在高温高压水环境下能够实现力控制、应变控制或者位移控制加载模式。

4.2.3 可加载三角波、正弦波和梯形波等波形。

4.2.4 加载系统示意图参见附录 A。

4.3 加热及控温装置

4.3.1 推荐采用电加热方式。

4.3.2 加热装置及控温仪器应具有满足试验要求的升温速度，在试验温度下能长期保温，并且稳定、可靠、操作方便。尽量保持高压釜内温度均匀确保高压釜内热电偶在试样附近，实时监测试样处试验温度。

4.3.3 控温精度： $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

4.4 裂纹扩展长度在线监测系统

在疲劳裂纹扩展试验过程中，可采用直流电位降（DCPD）、交流电位降（ACPD）、柔度法等方法原位实时测量疲劳裂纹长度。推荐采用DCPD方法。其中DCPD测试信号线应与高压釜绝缘。

5 试样制备和要求

5.1 试样的材料要求

试样材料为核电厂用金属材料，包括碳钢、低合金钢、奥氏体不锈钢、镍基合金、锆合金等，取样应具有代表性。

5.2 试样的形状尺寸

推荐采用紧凑拉伸试样（CT）。试样形状尺寸、平行度等要求按GB/T 6398—2017执行。预制初始裂纹要求按照GB/T 6398—2017执行。试样尺寸示意图参见附录B。

5.3 夹持要求

CT试样的推荐夹持方式参见附录B。试样由销钉固定到夹具上，试样与销钉、夹具之间进行绝缘处理。推荐采用耐高温高压水环境的绝缘片、绝缘管进行绝缘。

5.4 试样加工

试样的取样部位和取向应按有关标准或双方协议。所采用的机加工在试样表面产生的残余应力和加工硬化应尽可能小，推荐按GB/T 6398执行。

5.5 表面粗糙度

推荐采用水磨砂纸或纱布对试样进行机械抛光，侧面与内孔表面粗糙度宜小于 $0.4\mu\text{m}$ 。为方便采用光学法测量裂纹长度，CT试样侧面可抛光至镜面。

5.6 试样保存

疲劳试样需妥善保存，尤其是易氧化的低合金钢、碳钢等材料，需在干燥皿中密封保存，防止试样氧化、受杂质污染。

6 试验条件和步骤

6.1 溶液配制

6.1.1 采用电导率小于 $1\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 的去离子水或蒸馏水配制试验溶液。

6.1.2 根据试验要求，采用分析纯试剂配制试验溶液。

6.2 试验条件

6.2.1 对于动态循环高压釜，溶液应充满高压釜腔，压力高于试验温度对应的溶液饱和蒸汽压。

6.2.2 调节高压泵选择合适的溶液流量，确保高压釜内溶液在 1 h 内至少更换 1 次。

6.2.3 试验温度可根据需求确定，一般不高于 $360\text{ }^\circ\text{C}$ ，推荐升温速度控制在 $70\text{ }^\circ\text{C}/\text{h}\sim 100\text{ }^\circ\text{C}/\text{h}$ 。

6.3 试验步骤

6.3.1 将试样安装在夹具上，试样与夹具之间采用绝缘片与绝缘管绝缘。

6.3.2 将 DCPD 测试信号线连接到试样上。

6.3.3 高压釜拧紧后，将试验溶液配制好后注入储水罐及高压釜中，并按具体试验要求调节流量、溶解氧和溶解氢浓度，在试验过程中，持续监测压力、流量、溶解氧和溶解氢浓度等关键参数。

6.3.4 确认测温、测压及安全保护装置均处于正常状态后，开始调节循环回路压力值至设定值，确认无泄漏后开始加热升温。

6.3.5 当温度、压力稳定到试验目标值后，设置疲劳机试验载荷、应变速率、加载波形等参数，开始疲劳试验。

6.3.6 疲劳裂纹扩展到一定长度后停止疲劳试验，裂纹长度满足 7.1 中结果的有效性判定。

6.3.7 试验结束后，将试样取出，妥善保存。

7 数据处理

7.1 试验结果有效性判定

疲劳裂纹两个侧面的测量长度不超过 0.25 B ，疲劳裂纹偏离理论上的裂纹面不超过 0.05 W ，最小韧带尺寸 $(W-a) \geq (4/\pi) \cdot (K_{\max}/R_{p0.2})^2$ 则实验数据有效。

7.2 数据处理方法和要求

7.2.1 记录试样表面疲劳裂纹宏观形貌。

7.2.2 选择典型的疲劳试样，试验结束后在空气中进行疲劳加载至样品完全断裂，分析疲劳断口形貌。利用扫描电镜记录疲劳裂纹扩展区的形貌特征。

7.2.3 绘制裂纹长度-时间曲线、裂纹长度-循环周次曲线、裂纹扩展速率-应力强度因子范围曲线，裂纹扩展速率的计算依据 GB/T 6398—2017 推荐的数据处理方法。典型的高温高压循环水腐蚀疲劳裂纹扩展曲线参见附录 C。

8 质量保证

8.1 试验人员要求

高温高压水腐蚀疲劳裂纹扩展试验人员应经过培训且满足以下要求：

- a) 能熟练操作疲劳机，设置预定的应变幅、应变速率、应变比和加载波形；
- b) 能熟练操作高压釜的升降，高压釜硬密封拧紧程序，高压釜的使用管理应按TSG 21—2016中第7章的规定执行。
- c) 能熟练操作高温高压循环水系统，如溶解氧、电导率等水化学参数设置、高压釜内压力调节、高压釜内温度调节等的控制；
- d) 能熟练安装、卸装CT试样，能熟练连接DCPD测试信号线。

8.2 试验系统校准要求

按照相关规定定期对疲劳机力传感器、位移传感器、高压釜热电偶、预热器热电偶、溶解氧探头、压力传感器、pH探头等进行计量标定，并在有效期内使用。定期对DCPD系统测量的准确性进行标定。

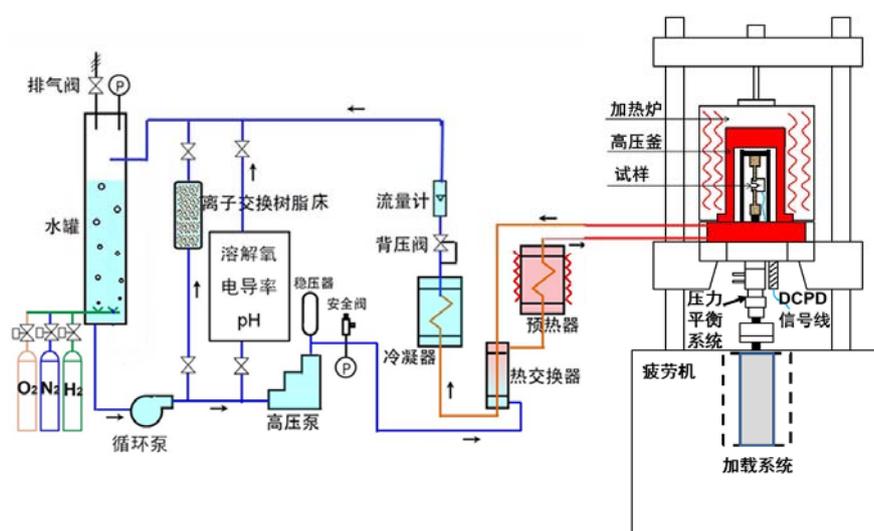
9 试验报告

本试验报告应包括但不限于以下内容：

- a) 本标准编号；
- b) 材料牌号和标准号、炉批号、化学成分、热处理状态和力学性能等；
- c) 试样形状尺寸、表面状态、取样位置、取样方向；
- d) 试验设备的型号及相关说明；
- e) 试验参数，如最大力值、最小力值、应力强度因子范围、应变比、加载时间、卸载时间、温度、压力、介质（包括溶解氧浓度）；
- f) 试验结果，包括裂纹扩展数据、断口形貌等；
- g) 试验异常记录；
- h) 试验人员和日期。

附录 A
(资料性附录)
高温高压循环水腐蚀疲劳试验系统

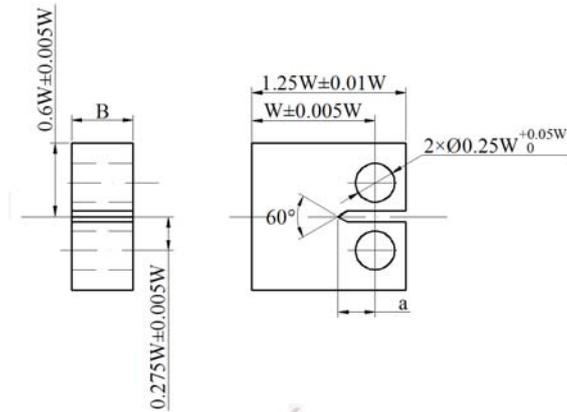
高温高压循环水腐蚀疲劳试验系统见图A.1。



图A.1 高温高压循环水腐蚀疲劳试验系统

附录 B
(资料性附录)
试样尺寸及推荐夹具

CT试样尺寸见图B.1。

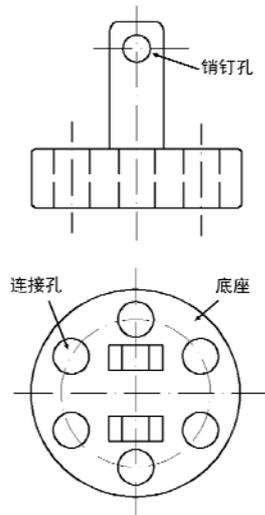


说明:

$0.1W \leq a \leq 0.15W$, $W/20 \leq B \leq W/2$

图 B.1 CT 试样尺寸

高温高压水环境中 CT 试样推荐夹具见图 B.2。



说明:

销钉与夹具之间, 样品与夹具之间需绝缘。

图 B.2 高温高压水环境中 CT 试样推荐夹具

附录 C
(资料性附录)
高温高压循环水腐蚀疲劳裂纹扩展曲线

高温高压循环水腐蚀疲劳裂纹扩展曲线见图C.1。

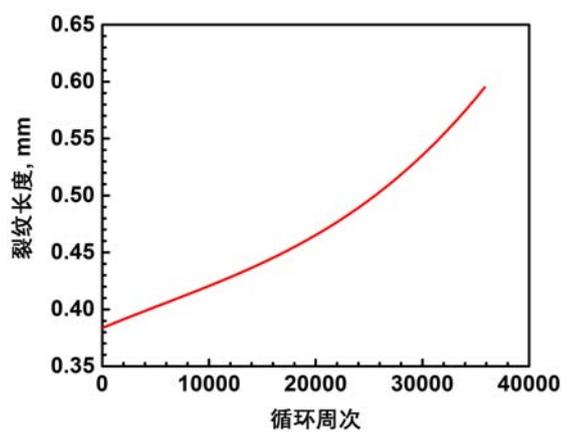


图 C.1 高温高压循环水腐蚀疲劳裂纹扩展曲线