

团 体 标 准

T/CNS 13—2019

核电厂金属材料高温高压水中模拟 辐照促进应力腐蚀开裂敏感性试验方法

**Test method for simulated irradiated assisted stress corrosion cracking
susceptibility in high temperature pressurized water of metallic materials used
in nuclear power plants**

2019 – 05 – 27 发布

2019 – 09 – 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	1
5 模拟辐照	2
6 试样制备和要求	3
7 试验条件和步骤	4
8 试验结果评定	4
9 质量保证	5
10 试验报告	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、上海大学、国家电投集团科学技术研究院有限公司。

本标准主要起草人：韩恩厚、彭群家、邓平、吕战鹏、夏海鸿、孙晨。

本标准于2019年首次发布。

核电厂金属材料高温高压水中 模拟辐照促进应力腐蚀敏感性试验方法

1 范围

本标准规定了核电厂用与高温高压水接触并经受辐照的金属材料在高温高压水中模拟辐照促进应力腐蚀开裂敏感性的试验方法。

本标准适用于评价核电厂用与高温高压水接触并受辐照的金属材料在高温高压水中的辐照促进应力腐蚀开裂敏感性。

本标准适用于具有一定标距长度的矩形横截面试样在360℃与20 MPa及以下水介质中轴向位移控制的模拟辐照促进应力腐蚀开裂试验。产品构件和其他特殊形状试样可参照本标准执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的引用是必不可少的。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/T 150.4—2011 压力容器 第4部分:制造、检验和验收

GB/T 10123—2001 金属和合金的腐蚀 基本术语和定义

GB/T 15970.4—2000 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第4部分:单轴加载拉伸试样的制备和应用

GB/T 15970.7 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第7部分:慢应变速率试验

3 术语和定义

GB/T 10123—2001和GB/T 15970.7—2000界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

辐照促进应力腐蚀开裂 irradiation assisted stress corrosion cracking (IASCC)

IASCC 是金属材料在辐照、腐蚀与应力的共同作用下的裂纹萌生和扩展过程。

3.2

模拟辐照 simulated irradiation

采用粒子加速器对材料进行辐照以模拟中子辐照效应。

4 试验仪器和设备

4.1 高压釜

4.1.1 高压釜釜体、釜盖应采用奥氏体不锈钢或镍基合金等耐蚀合金制造。釜体一般为整体,特殊情况下也可为焊接结构。

4.1.2 釜体与釜盖之间及釜上引出的各测试孔均应具有良好的密封性能,在试验过程中不允许有泄漏。

- 4.1.3 高压釜必须设有安全保护装置，并定期检查安全保护装置，以保证其可靠性。
- 4.1.4 釜体、釜盖等高温承压构件应依据 GB/T 150.4—2011 定期进行无损检测，非依据此标准制造的高压釜及釜盖，应按此标准要求进行评估。
- 4.1.5 釜内导管、试样支架和加载杆等构件推荐采用耐高温耐腐蚀材料加工，如采用奥氏体不锈钢、镍基合金等材料。
- 4.1.6 高压釜应配备相应的冷却水循环系统，以保护密封圈及其他不耐高温试验部件。
- 4.1.7 图 1 给出了推荐的高温高压循环水系统、高压釜和加载单元等结构的示意图。

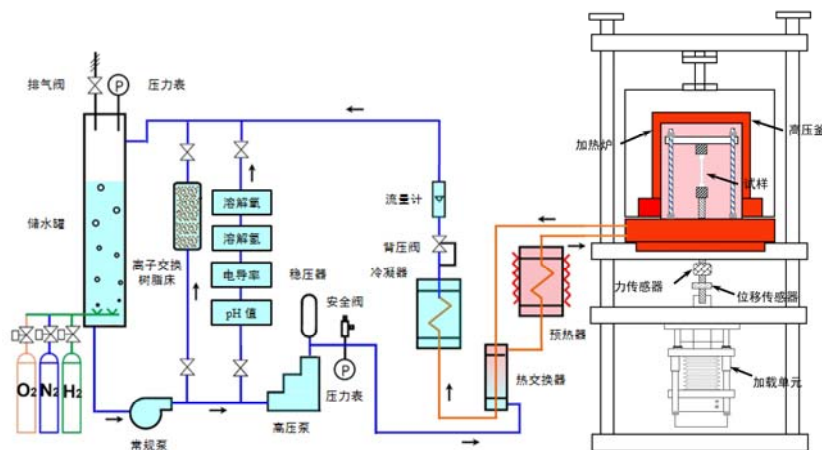


图1 高温高压水循环回路系统、高压釜和加载单元示意图

4.2 加载系统

- 4.2.1 高压釜需配备加载单元，能够实现慢应变速率拉伸试验的应变速率要求。
- 4.2.2 加载轴上需配备位移传感器和力传感器，位移传感器测量精度宜优于 $\pm 5 \mu\text{m}$ 或 $\pm 5\%$ 。力传感器测量精度宜优于 $\pm 5 \text{ N}$ 或 $\pm 5\%$ 。

4.3 加热及控温装置

- 4.3.1 推荐采用电加热方式。
- 4.3.2 加热及控温装置必须满足试验要求的升、降温速率，在试验温度下能长期保温，并且稳定、可靠、操作方便。保持高压釜内试样区温度均匀，并确保高压釜内热电偶位于试样附近，以便实时监测试样试验温度。
- 4.3.3 控温精度： $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

4.4 数据采集系统

数据采集系统应实时检测、采集和存储拉伸轴上的载荷和位移。

5 模拟辐照

5.1 辐照粒子

- 5.1.1 模拟辐照粒子应尽可能与中子辐照在材料辐照损伤缺陷、微区化学成分变化和力学性能劣化等方面一致。

5.1.2 模拟辐照粒子的选择应按有关标准或双方协议。由于辐照粒子通常会停在试样内部，可能影响试样的成分。如果使用金属离子，该离子应为试样的主要组成元素。

5.1.3 模拟辐照粒子对试样损伤深度宜大于 $2\mu\text{m}$ ，并在损伤峰位置之前的深度方向尽可能均匀分布。

5.1.4 推荐采用质子辐照模拟中子辐照。图2给出了经 2 MeV 质子辐照后 304 不锈钢的辐照损伤分布。

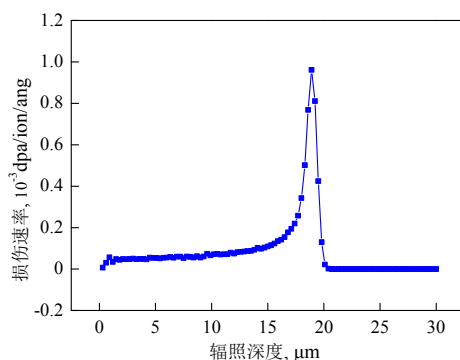


图2 经 2 MeV 质子辐照后 304 不锈钢中损伤分布

5.2 辐照参数控制

5.2.1 辐照温度应尽可能模拟实际工况，控温精度： $\pm 10^\circ\text{C}$ 。

5.2.2 避免试样表面在高温下发生氧化，辐照过程中试样所处环境真空度应优于 $2 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ 。

5.2.3 在试样表面各处的辐照粒子通量应保持相同。在辐照过程中宜通过在试样表面移动粒子束来减轻粒子束空间非均匀分布的影响。

5.2.4 辐照剂量和剂量率应通过计算获得并在试验过程中进行控制。

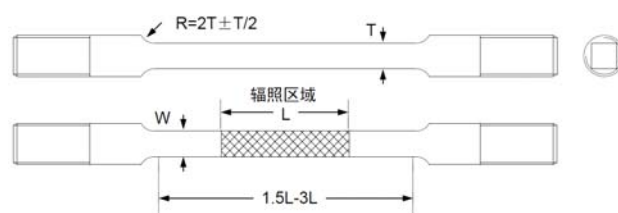
6 试样制备和要求

6.1 试样材料

试样材料为核电厂用会与高温高压水接触并经受辐照的金属材料，包括奥氏体不锈钢、镍基合金、低合金钢等，且应符合相应的核电厂用金属材料标准。

6.2 试样形状尺寸要求

6.2.1 通常可采用如图3所示的在平行部分与夹持端具有切向过渡圆弧的矩形横截面试样。试样同轴度等要求按 GB/T 15970.4—2000 执行。



L——辐照区域长度，mm；W——试样标距段横截面宽度，mm；T——试样标距段横截面长度，mm；

R——试样标距段与夹持段圆弧过渡的半径，mm

图3 应力腐蚀试样

6.2.2 推荐试样标距段的横截面尺寸： $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 。

6.2.3 试样辐照区域长度宜大于 5 mm ，试样标距段长度为辐照区域长度的 1.5 倍～3 倍。

6.3 夹持要求

应保证试样对中可靠并能稳定夹持。推荐使用螺纹连接夹持方式。

6.4 试样加工

6.4.1 试样的加工应采用对材质影响小的机加工方法。

6.4.2 根据试验要求处理试样表面，应去除试样表面的加工影响层。

6.4.3 若对表面状态无特殊要求，推荐用水砂纸将试样表面依次磨到 3000 号并机械抛光处理，而后用 SiO_2 悬浮液抛光并用分析纯级丙酮或酒精超声洗净，推荐超声清洗时间不低于 30 min 。

6.5 试样保存

辐照完成后，在干燥皿中隔离放置1个月左右后方可用于应力腐蚀腐蚀试验。

7 试验条件和步骤

7.1 溶液配制

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

7.1.2 建议采用分析纯级试剂配制试验溶液。

7.2 试验条件

7.2.1 按照试验要求确定试验温度、应变速率和应变量等。

7.2.2 对于动态循环高压釜，溶液应充满高压釜腔，外加压力高于该溶液饱和蒸气压，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。

7.2.3 推荐升温速度不高于 100°C/h 。

7.2.4 相同试验条件下平行试验不少于 3 组。

7.3 试验步骤

7.3.1 采用慢应变速率拉伸法进行应力腐蚀试验，并按 GB/T 15970.7 的原则和建议选取试验参数。

7.3.2 试验前确认测温、测压及安全保护装置均处于正常状态。

7.3.3 将试样安装在夹具上，确认同轴度良好，试样标距段中间与高压釜内热电偶处于同一水平线上。

7.3.4 高压釜密封后，将试验溶液注入高压釜中，按试验要求调节压力、流量、溶解氧和溶解氢等。

7.3.5 开始加压并达到压力设定值，确认无泄漏后开始加热升温。升温过程中，加载单元设置成力控制模式以防止试样遭受热应力。

7.3.6 当温度稳定到目标值后，调节加载单元至位移控制模式。设置加载单元作用位移（应变量）、拉伸速率（应变速率）等参数后开始试验，当拉伸至目标应变量试验停止。

7.3.7 通过降温程序使高压釜温度缓慢下降，降温速率不宜超过 30°C/h ，以避免在降温过程中发生泄漏，待温度降至室温后，再进行卸压，防止循环回路中的溶液因压力降低发生汽化。

7.3.8 打开高压釜取出试样并妥善保存。

8 试验结果评定

8.1 评定依据

与未辐照试样相比, 裂纹优先萌生于试样标距段辐照区域内, 且试样无弯扭变形, 则具有IASCC萌生敏感性

8.2 数据处理方法和要求

8.2.1 记录试样的辐照条件和应力腐蚀试验信息。

8.2.2 选择典型的试样对 IASCC 行为进行表面和断面观察, 分析裂纹萌生情况, 记录裂纹的形貌特征。典型的高温高压水中模拟辐照促进应力腐蚀裂纹形貌如图 4 所示。

8.2.3 通过统计试样标距范围内辐照区域的裂纹数量、长度、深度以及断面发生应力腐蚀的面积百分比进行 IASCC 敏感性定量评价。

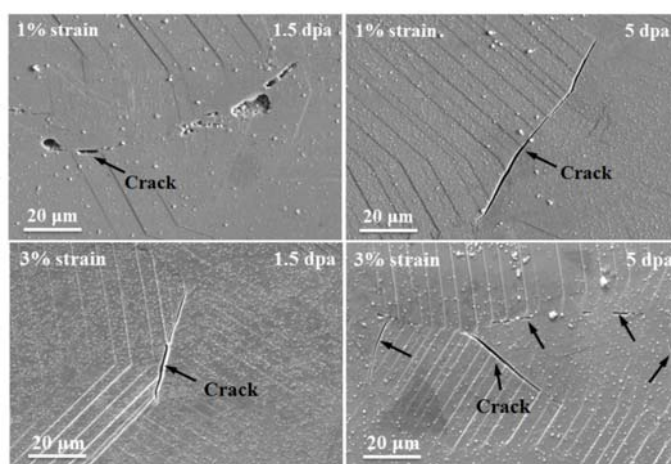


图4 典型的辐照促进应力腐蚀表面裂纹形貌

9 质量保证

9.1 试验人员要求

本标准所规定的试验涉及高温高压特殊工况, 试验人员应经过专业培训且满足以下要求:

- 熟悉模拟辐照相关实验参数设定;
- 能熟练操作伺服机, 设置预定的位移、应变速率等;
- 能熟练掌握高压釜的操作程序;
- 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、温度的调节;
- 能熟练安装、卸装应力腐蚀试样。

9.2 试验系统校准要求

定期对高温高压水循环系统中的压力容器及温度、压力、水化学参数、位移等测试用传感器或探头进行检测或计量标定, 且均应在标定有效期内使用, 保证相关试验参数和结果的可信度。

10 试验报告

试验报告应包括但不限于以下内容：

- a) 本标准号；
 - b) 材料名称、种类、成分及加工工艺、热处理状态；
 - c) 试样形状、尺寸、数量、表面状态、取样位置、取样方向；
 - d) 试样辐照参数，如模拟辐照离子种类、辐照温度、辐照剂量及剂量率、辐照区域、辐照损伤分布等；
 - e) 试验参数，如：应变量、应变速率、溶液成分、溶解氧/溶解氢浓度、试验温度等；
 - f) 试验结果，包括试样表面裂纹形貌、数量、长度；断面裂纹形貌及深度等；
 - g) 试验异常记录（如有）；
 - h) 试验人员和日期。
-