

团 体 标 准

T/CNS 49—2021

核电厂金属材料高温高压水中应力 腐蚀试验方法 慢应变速率试验

Test method for stress corrosion cracking in high temperature pressurized
water of metallic materials used in nuclear power plants—Slow strain rate test

2021-07-26 发布

2021-11-01 实施

中 国 核 学 会 发 布

目 次

前言 I

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 试样制备和要求 2

6 试验条件和步骤 3

7 试验结果观察及评定 4

8 质量保证 4

9 试验报告 5

附录 A（资料性） 高温高压循环水应力腐蚀试验系统 6

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。

本文件由中国核学会提出。

本文件由核工业标准化研究所归口。

本文件起草单位：中国科学院金属研究所、国核电站运行服务技术有限公司、生态环境部核与辐射安全中心、中核核电运行管理有限公司。

本文件主要起草人：韩恩厚、王俭秋、张志明、明洪亮、钟志民、孙海涛、张维。

核电厂金属材料高温高压水中应力 腐蚀试验方法 慢应变速率试验

1 范围

本文件规定了采用慢应变速率测试进行核电厂用金属材料在高温高压水中应力腐蚀开裂试验的方法和相关技术要求。

本文件适用于评价核电厂用金属材料在高温高压水中的抗应力腐蚀性能,所规定的方法能够快速评价具有一定标距长度的试样在 360 °C 与 20 MPa 及以下水介质中的应力腐蚀开裂敏感性。产品构件和其他特殊形状试样可参照本文件执行。

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 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 15970.1—2018 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第 1 部分:试验方法总则
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—2017 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
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
TSG 21—2016 固定式压力容器安全技术监察规程
YB/T 5344—2006 铁-铬-镍合金在高温水中应力腐蚀试验方法

3 术语和定义

GB/T 10123—2001、GB/T 15970.1—2018、GB/T 15970.7—2017 和 YB/T 5344—2006 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

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,特殊情况下也可焊接结构,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 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。

4.1.4 高压釜中釜体、釜盖等高温承压构件应按 GB/T 150.4 进行制造、检验和验收,非依据 GB/T 150.4 制造的高压釜应满足 TSG 21—2016 的要求。

4.1.5 釜内试样支架和加载轴等构件推荐采用耐高温耐腐蚀材料加工制作,如采用奥氏体不锈钢、镍基合金等材料制成。

4.1.6 高压釜应配备外部冷却水循环系统,以保护密封圈、外部参比电极及其他不耐高温试验部件。

4.1.7 附录 A 给出了推荐的高温高压循环水系统和高压釜结构示意图。

4.2 加载装置

4.2.1 高压釜需配备慢应变速率拉伸加载装置,而且慢应变速率拉伸加载装置推荐配备压力平衡装置,抵消釜内水压对拉伸杆施加的压力。慢应变速率拉伸加载装置在高温高压水环境下能够精确实现应力控制或者应变控制。

4.2.2 加载轴上需配备位移传感器和载荷传感器,位移传感器测量精度宜优于 $\pm 5\ \mu\text{m}$ 或者 $\pm 5\%$ 。载荷传感器测量精度宜优于 $\pm 5\ \text{N}$ 或者 $\pm 5\%$ 。

4.2.3 附录 A 给出了推荐的加载装置示意图。

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、降温速率,在试验温度下能长期保温。尽量保持高压釜内温度均匀,并确保高压釜内热电偶在试样附近,以便实时检测试样处试验温度。

4.3.3 控温精度: $\pm 1\ ^\circ\text{C}$ 。

4.4 数据采集系统

数据采集系统应能实时检测、采集和存储拉伸轴上的载荷、位移等数据。

5 试样制备和要求

5.1 试验材料

试验材料为核电厂用与高温高压水接触的金属材料,包括奥氏体不锈钢、镍基合金以及低合金钢等。

5.2 试样形状和尺寸要求

5.2.1 最常用的几种试样,如圆棒状和板状,其形状和尺寸见 GB/T 15970.4—2000、GB/T 15970.7—2000 的附录 A 以及 T/CNS 13—2019。

5.2.2 也可采用其他形状的试样,包括带、管等。可用初始的光滑试样,也可以采用缺口试样。

5.3 试样加工

5.3.1 根据材料的形状和尺寸以及试验的目的,从特定的位置按照一定的方向切取试样。在进行机加工时,应减少试样过热及产生塑性变形。推荐采用对材质影响小的线切割加工等方法。

5.3.2 推荐用水砂纸对试样表面依次打磨至至少 1 500 #,最后一道砂纸打磨方向应平行于试样的加载方向,确保去除试样表面的加工影响层。最后用分析纯级丙酮或酒精在超声清洗机内洗净。

5.3.3 若需要精细观察测试后样品表面裂纹形貌,宜对试样表面进行抛光处理,最后用分析纯级丙酮或酒精超声洗净,超声清洗时间宜不低于 30 min。

5.4 试样夹持

应保证试样对中可靠并能稳定夹持。圆棒类试样宜使用螺纹连接夹持方式。

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级试剂配制试验溶液。

6.2 试验条件

6.2.1 按照试验要求确定试验温度、试验压力、测试水化学条件、应变速率和应变量等。

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

6.2.3 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。

6.2.4 推荐升温速率控制在 $70\ ^\circ\text{C}/\text{h}\sim 100\ ^\circ\text{C}/\text{h}$ 。

6.2.5 推荐高压釜内溶液体积与试样表面积的比值宜大于 $100\ \text{mL}/\text{cm}^2$ 。

6.2.6 相同试验条件下平行试验不少于 3 组。

6.3 试验步骤

6.3.1 采用慢应变速率拉伸法进行应力腐蚀试验,并按 GB/T 15970.7 和 T/CNS 13—2019 的原则和建议选取应变速率等试验参数。

6.3.2 将试样安装在夹具上,确认同轴度良好和夹持牢固,试样标距段中间与高压釜内热电偶处于同一水平线上。如需要,试样与夹具之间可采用绝缘垫片和套管隔离。

6.3.3 确认测温、测压及安全保护装置均处于正常状态。

6.3.4 高压釜拧紧后,将配制好的试验溶液注入高压釜中,并按要求调节压力、流量、溶解氧和溶解氢浓度等。

6.3.5 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,加载装置宜设置成力控制模式以防止试样遭受热应力。

6.3.6 到达试验稳定温度后,调节加载装置至位移控制模式。设置目标应变量和拉伸速率等参数后开始拉伸,当拉伸至目标应变试验停止,也可根据要求将试样完全拉断。

6.3.7 在试样完全拉断的场合,建议分别在惰性环境和同一温度的高温高压水环境中,用相同的应变速率进行试验,这样可以通过与惰性环境提供的基准数据比较,来评价腐蚀环境的作用。

6.3.8 若存在明显的点腐蚀或晶间腐蚀等问题,建议将没有施加应变的试样暴露到与施加应变试样相同的环境中,通过与未受应变试样的行为比较来评价应变的作用。

6.3.9 通过降温程序使高压釜温度缓慢下降,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。

6.3.10 打开高压釜取出试样并妥善保存。

7 试验结果观察及评定

7.1 评定依据

7.1.1 与惰性环境中的断裂模式和性能数据进行对比,以判断试样是否发生应力腐蚀开裂。

7.1.2 通常可利用显微镜观察断口表面断裂模式的变化,以及侧面是否出现横向裂纹来判断是否发生应力腐蚀开裂。

7.1.3 可以将暴露到试验环境中暴露到惰性环境中的相同试样进行比较的方法来评定应力腐蚀开裂的敏感性。比值偏离越远,或相对比值越大,则开裂敏感性越高。

比值=试样在试验环境中得到的结果/试样在惰性介质环境中得到的结果
或

相对比值=(1-比值)×100%

结果可用同一个初始应变速率下的一个或多个参数来表示。

- a) 断裂时间。
- b) 延性,用断面收缩率或断后伸长率评定。
- c) 达到的最大载荷。
- d) 标准应力-延伸曲线所包围的面积。

7.2 数据处理

7.2.1 按 7.1 所述方法,判断和计算试样在测试条件下发生应力腐蚀开裂敏感性程度并记录。

7.2.2 通过金相显微镜或扫描电子显微镜对试样标距段范围内的表面裂纹形貌及断口形貌特征进行观察,分析裂纹萌生和扩展情况,记录裂纹的形貌特征。

7.2.3 统计试样标距段范围内的裂纹数量、长度、深度以及断面发生应力腐蚀开裂的面积百分比进行应力腐蚀开裂敏感性的定量评价。

7.2.4 数据的处理和结果的评定也可按照 GB/T 15970.7 中的相关规定执行。

8 质量保证

8.1 试验人员要求

本文件所规定的试验涉及高温高压特殊工况,试验人员应具备相关高温高压水循环系统、慢应变速率拉伸机的基本操作技能及应力腐蚀开裂的专业背景知识,以提高试验可操作性及结果可信度。

8.2 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载荷、位移、温度、压力和水化学参数等测试用传感器或探头进行检测或计量标定,定期更换探头电解液等耗材,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。

8.3 其他要求

当采用静态釜进行试验时,需注明装置参数及具体试验条件。

9 试验报告

试验报告应包括但不限于以下内容：

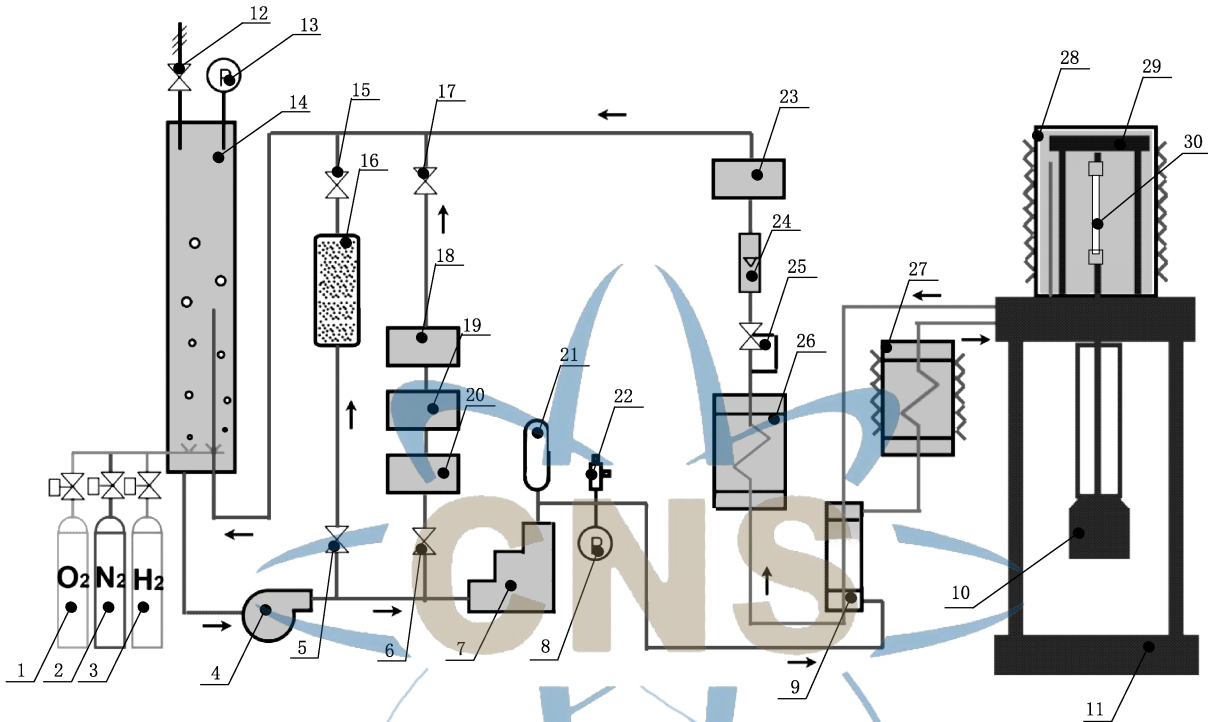
- a) 本文件编号；
- b) 材料牌号、标准编号、炉批号、化学成分、加工工艺、热处理状态和力学性能等；
- c) 试样形状、尺寸、加工方式、取样方向、取样位置、变形量；
- d) 试验参数，如：溶液成分、溶解氧/溶解氢浓度、pH 值、电导率、试验温度及保温时间、釜内压力、高压釜参数、应变速率以及应变变量等；
- e) 试验结果，包括但不限于试样的应力腐蚀开裂敏感性程度、试样表面的裂纹形貌、数量、长度、断裂时间、延伸率、面缩率、屈服强度以及抗拉强度等；
- f) 试验异常记录(如有)；
- g) 试验人员、审核人员和日期。

附录 A

(资料性)

高温高压循环水应力腐蚀试验系统

推荐的高温高压循环水系统和高压釜结构示意图见图 A.1。



标引序号说明：

- | | |
|---------------|----------------|
| 1 —— 高纯氧气储存罐； | 16 —— 离子交换树脂床； |
| 2 —— 高纯氮气储存罐； | 17 —— 单向阀 4； |
| 3 —— 高纯氢气储存罐； | 18 —— 溶解氧探头； |
| 4 —— 常规泵； | 19 —— 溶解氢探头； |
| 5 —— 单向阀 1； | 20 —— 电导率探头 1； |
| 6 —— 单向阀 2； | 21 —— 稳压器； |
| 7 —— 高压泵； | 22 —— 安全阀； |
| 8 —— 压力表 1； | 23 —— 电导率探头 2； |
| 9 —— 换热器； | 24 —— 流量计； |
| 10 —— 加载马达； | 25 —— 背压阀； |
| 11 —— 拉伸机框架； | 26 —— 冷凝器； |
| 12 —— 排气阀； | 27 —— 预热器； |
| 13 —— 压力表 2； | 28 —— 高压釜； |
| 14 —— 储水罐； | 29 —— 试样支架； |
| 15 —— 单向阀 3； | 30 —— 测试试样。 |

图 A.1 高温高压循环水应力腐蚀试验系统示意图

中国核学会
团体标准
核电厂金属材料高温高压水中应力
腐蚀试验方法 慢应变速率试验
T/CNS 49—2021

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

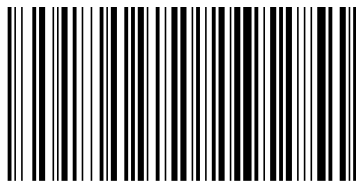
*

开本 880×1230 1/16 印张 0.75 字数 20 千字
2022年1月第一版 2022年1月第一次印刷

*

书号: 155066·5-3746 定价 16.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



T/CNS 49-2021



码上扫一扫 正版服务到