

团 体 标 准

T/CNS 48—2021

核电厂金属材料高温高压水中应力 腐蚀裂纹萌生试验方法

Test method for stress corrosion crack initiation in high temperature
pressurized water of metallic materials used in nuclear power plants

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 4

附录 A（资料性） 高温高压循环水应力腐蚀试验系统 5

附录 B（资料性） 直流电位降(DCPD)裂纹萌生在线监测系统 6

附录 C（资料性） 应力腐蚀裂纹萌生试样 7

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。

本文件主要起草人：韩恩厚、王俭秋、张志明、明洪亮。

核电厂金属材料高温高压水中应力 腐蚀裂纹萌生试验方法

1 范围

本文件规定了核电厂用金属材料在高温高压水条件下应力腐蚀裂纹萌生测试试验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,所规定的方法能够评价具有一定标距长度的圆形横截面试样在 360 °C 与 20 MPa 及以下水介质中轴向位移或载荷控制的应力腐蚀裂纹萌生行为。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
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—2007 和 YB/T 5344—2006 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

应力腐蚀裂纹萌生 stress corrosion crack initiation

光滑试样表面形成可以被检测到的应力腐蚀裂纹的过程。

3.2

应力腐蚀裂纹萌生时间 stress corrosion crack initiation time

从应力腐蚀试验开始到试样表面裂纹可以被检测到的时间。

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

可为焊接结构,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 高压釜应配备外壁冷却水循环系统,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

4.4.1 数据采集系统应可实时检测、采集和存储拉伸轴上的载荷、位移等数据。

4.4.2 在应力腐蚀裂纹萌生过程中,可采用直流电位降(direct current potential drop, DCPD)等方法原位实时测量裂纹萌生时间。推荐的 DCPD 裂纹萌生在线监测系统示意图参见附录 B。

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 推荐的试样形状和尺寸要求参见附录 C。该试样具有 2 段直径不同的平行部分,直径较大的一段为参比段,直径较小的一段为标距段。

5.2.2 根据试验要求,也可采用参比段和标距段的直径具有其他比例的圆形横截面试样。

5.2.3 试样同轴度等要求按 GB/T 15970.4—2000 执行。

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 为了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。推荐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 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。试样与夹具之间采用绝缘垫片和套管隔离。

6.3.2 确认测温、测压及安全保护装置均处于正常状态。

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

6.3.4 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,加载单元宜设置成力控制模式以防止试样遭受热应力。

6.3.5 到达试验稳定温度后,开始进行加载并在线监测试样电位变化。

6.3.6 当测试静载条件下的应力腐蚀裂纹萌生时,一般先使用恒应变速率(如 $1\times 10^{-5}\ \text{s}^{-1}$)拉伸的方式将试样的标距段拉伸到屈服强度($\sigma_{0.2}$),然后在 24 h 内将载荷提高到测试所需的应力水平,此后保持该载荷不变或静载直到监测到裂纹萌生信号。

6.3.7 若 6.3.6 条件下难以监测到裂纹萌生信号,加载方式也可以选择恒应变速率拉伸,应变速率建议选择 $5\times 10^{-8}\ \text{s}^{-1}$,甚至更低,当 DCPD 系统检测到的标距段的实际应变变量到 10%后,停止实验。

6.3.8 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。

6.3.9 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 依据 DCPD 在线监测结果,确定应力腐蚀裂纹萌生时间。

7.2 选择典型的试样,利用扫描电子显微镜进行表面形貌观察,记录裂纹的形貌特征,分析裂纹萌生情况。

7.3 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的面积百分比进行裂纹萌生长度的定量化评价。

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

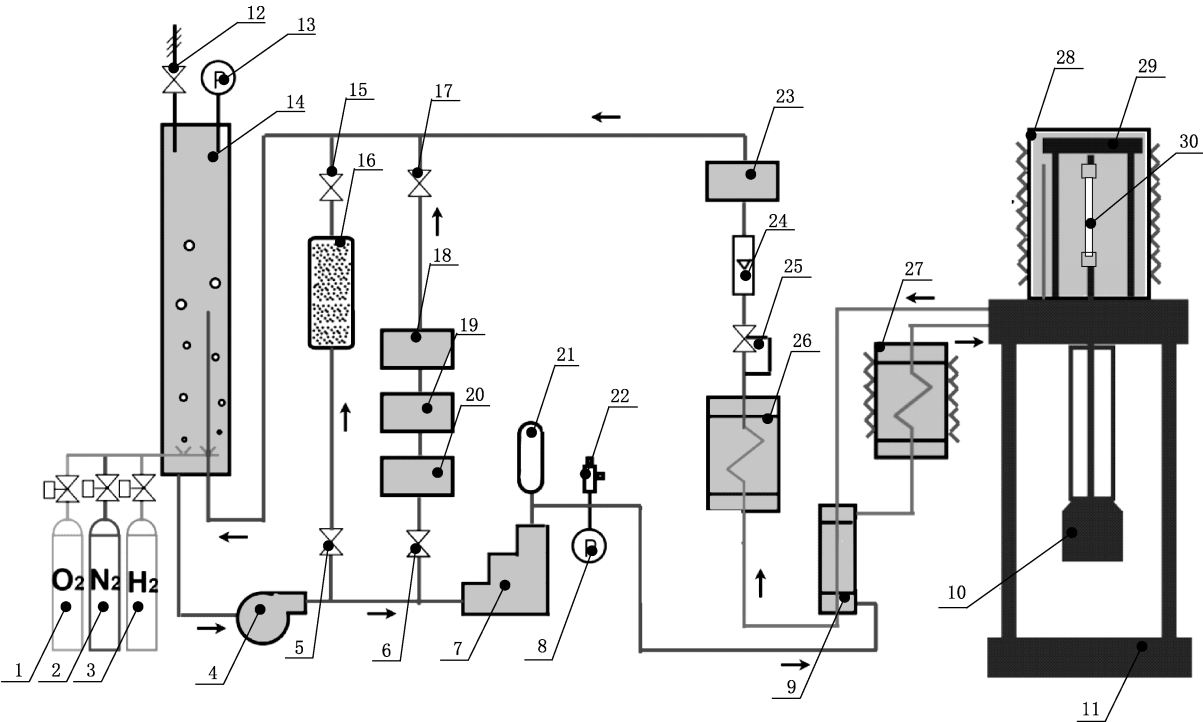
试验报告应包括但不限于以下内容:

- a) 本文件编号;
- b) 材料牌号和标准编号、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、应变量、应力水平以及是否静载等;
- e) 试验结果,包括但不限于测试时间、裂纹萌生时间、试样表面的裂纹形貌、数量、长度、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；
- 2 —— 高纯氮气储存罐；
- 3 —— 高纯氢气储存罐；
- 4 —— 常规泵；
- 5 —— 单向阀 1；
- 6 —— 单向阀 2；
- 7 —— 高压泵；
- 8 —— 压力表 1；
- 9 —— 换热器；
- 10 —— 加载马达；
- 11 —— 拉伸机框架；
- 12 —— 排气阀；
- 13 —— 压力表 2；
- 14 —— 储水罐；
- 15 —— 单向阀 3；

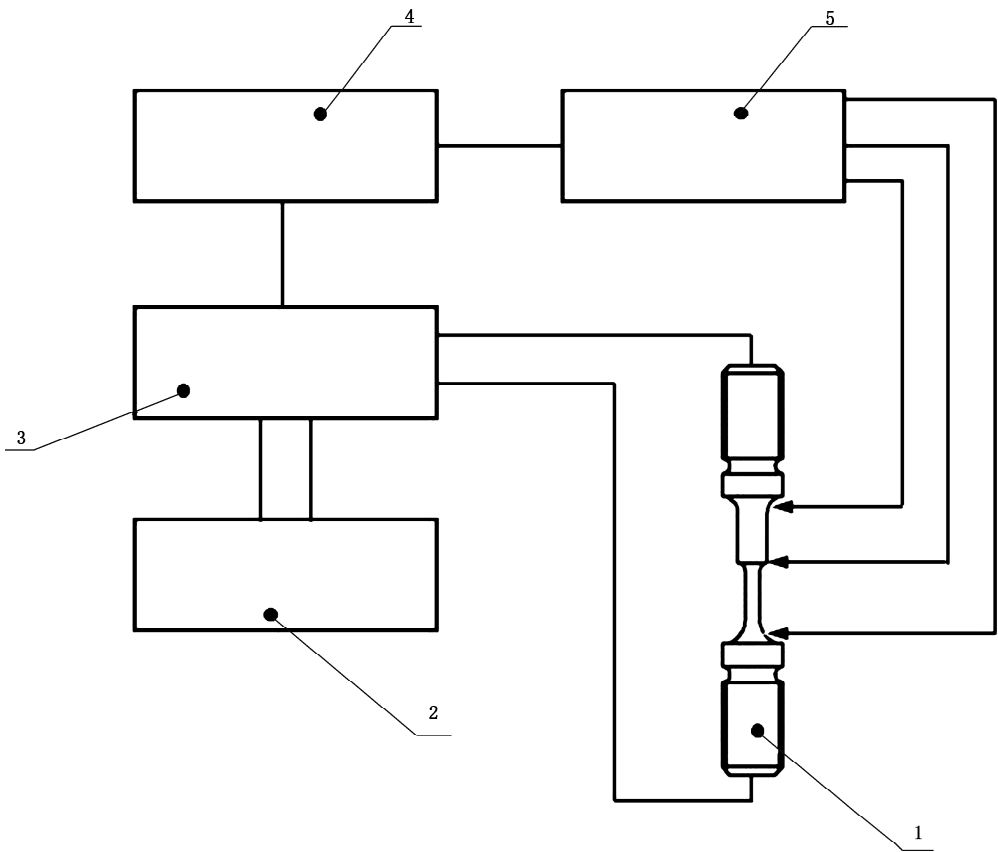
- 16 —— 离子交换树脂床；
- 17 —— 单向阀 4；
- 18 —— 溶解氧探头；
- 19 —— 溶解氢探头；
- 20 —— 电导率探头 1；
- 21 —— 稳压器；
- 22 —— 安全阀；
- 23 —— 电导率探头 2；
- 24 —— 流量计；
- 25 —— 背压阀；
- 26 —— 冷凝器；
- 27 —— 预热器；
- 28 —— 高压釜；
- 29 —— 试样支架；
- 30 —— 测试试样。

图 A.1 高温高压循环水应力腐蚀试验系统示意图

附 录 B
(资料性)

直流电位降(DCPD)裂纹萌生在线监测系统

DCPD 裂纹萌生在线监测系统见图 B.1。



标引序号说明：

- 1——试样；
- 2——直流恒流源；
- 3——固态继电器桥；
- 4——电脑；
- 5——纳伏微欧表。

图 B.1 DCPD 裂纹萌生在线监测系统

DCPD 裂纹萌生在线监测系统包括配备通用接口总线(general purpose interface bus,GPIB)数据采集卡的电脑主机、显示器、恒流源、纳伏表、数据采集开关、固态继电器等设备。

采用不锈钢丝、镍丝或铂丝作为测试线。测试线需包覆一层聚四氟乙烯热缩管,从而达到绝缘效果。

通过分别测量线采集试样标距段和参比段两端电压值的变化,进而换算成参比应变,从而得到应力腐蚀裂纹萌生时间。

在试验过程中可按试验要求调整试验条件,如溶解氧浓度、温度、加载参数等。推荐每次改变试验条件时只改变其中一个条件。

附录 C
(资料性)
应力腐蚀裂纹萌生试样

推荐的试样的形状和尺寸要求见图 C.1。

单位为毫米

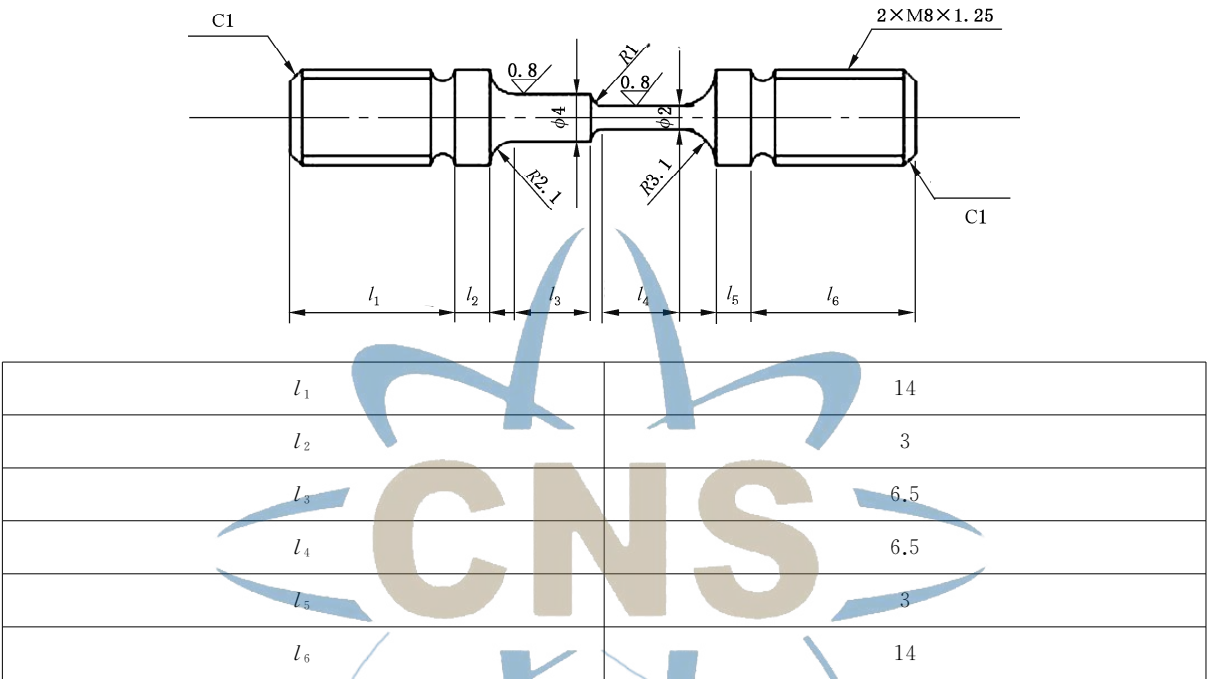


图 C.1 应力腐蚀裂纹萌生试样的尺寸

中国核学会
团体标准
核电厂金属材料高温高压水中应力
腐蚀裂纹萌生试验方法
T/CNS 48—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

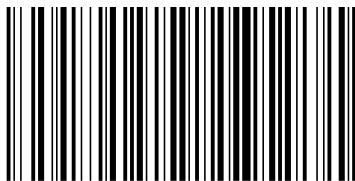
*

开本 880×1230 1/16 印张 0.75 字数 22 千字
2022年1月第一版 2022年1月第一次印刷

*

书号: 155066·5-3745 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 48-2021



码上扫一扫 正版服务到