

团 体 标 准

T/CNS 85—2022

反应堆压力容器辐照 监督材料拉伸试验方法

Tensile test method of irradiation surveillance for reactor pressure vessel materials

2022 - 12 - 16 发布

2023 - 04 - 01 实施

中国核学会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号和说明	2
5 原理	2
6 试样	2
7 原始横截面积的测定	4
8 原始标距的标记	4
9 试验设备	4
10 试验要求	4
11 拉伸性能的测定	5
12 试验结果数值的修约	6
13 试验报告	6
14 测量不确定度	6
参考文献	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：中国原子能科学研究院、中国核动力研究设计院、上海核工程研究设计院有限公司、深圳中广核工程设计有限公司、生态环境部核与辐射安全中心。

本文件主要起草人：林虎、张长义、宁广胜、钟巍华、鱼滨涛、杨文、佟振峰、孙凯、黄娟、王秉熙、曹昱澎、贺寅彪、冉小兵、尤磊、李铁萍、曾珍。

反应堆压力容器辐照监督材料拉伸试验方法

1 范围

本文件描述了反应堆压力容器材料拉伸试验方法、定义、符号、试样及其尺寸测量、试验设备、试验要求、性能测定、测定结果数值修约和试验报告等内容。

本文件适用于反应堆压力容器辐照监督用金属材料拉伸性能的测定及加速辐照考验后样品的拉伸试验。

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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法

GB/T 228.2 金属材料 拉伸试验 第2部分：高温试验方法

GB/T 228.3 金属材料 拉伸试验 第3部分：低温试验方法

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 10623 金属材料 力学性能试验术语

GB 11930 操作非密封源的辐射防护规定

GB/T 12160 金属材料 单轴试验用引伸计系统的标定

GB/T 16825.1 静力单轴试验机的检验 第1部分：拉力和（或）压力试验机 测力系统的检验与校准

EJ/T 560 轻水冷却反应堆压力容器辐照监督

3 术语和定义

GB/T 10623、GB/T 228.1、GB/T 228.2、GB/T 228.3、EJ/T 560界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热室 hot cell

进行放射性试验和操作的屏蔽室，墙壁具有阻挡射线能力，拥有负压系统保证热室内放射性物质不随空气外泄。

3.2

半热室 semi-hot cell

进行放射性试验和操作的屏蔽室，部分墙壁具有阻挡射线能力，拥有负压系统保证半热室内放射性物质不随空气外泄。

3.3

反应堆压力容器材料 **reactor pressure vessel materials**

反应堆压力容器构成材料，包括本体母材和焊缝材料。

4 符号

表1中符号适用于本文件。

表1 符号和说明

符号	单位	说明
d_0	mm	圆形横截面试样平行长度的原始直径
L_0	mm	原始标距
L_c	mm	平行长度
L_e	mm	引伸计标距
L_t	mm	试样总长度
d_u	mm	圆形横截面试样断裂后缩颈处最小直径。
L_u	mm	断后标距
S_0	mm ²	原始横截面积
S_u	mm ²	断后最小横截面积
Z	%	断面收缩率
A	%	断后伸长率
A_g	%	最大力塑性延伸率
A_t	%	断裂后总延伸率
ΔL_t	mm	断裂总延伸
$\dot{\epsilon}_{L_e}$	s ⁻¹	应变速率
V_c	mm·s ⁻¹	横梁位移速率
\dot{R}	MPa	应力速率
m_E	MPa	应力-延伸率曲线弹性部分的斜率
R_{eH}	MPa	上屈服强度
R_{eL}	MPa	下屈服强度
R_m	MPa	抗拉强度
R_p	MPa	规定塑性延伸强度

5 原理

采用拉伸试验机牵引试样两端部，完成特定试样的拉伸试验，测定本文件规定的一项或几项力学性能。

6 试样

6.1 一般要求

试样拉伸段形状宜为圆柱型。

原始标距与横截面积 S_0 符合 $L_0=k\sqrt{S_0}$ 关系的试样称为比例试样，通常 $k=5.65$ 。原始标距不应小于15 mm。若由于 L_0 试样横截面积太小，无法满足比例试样的最小标距要求时， k 可取较高的值（优先采用11.3的值）或采用非比例试样。对于在放射性环境下进行的拉伸试验，可采用6.2所示试样。

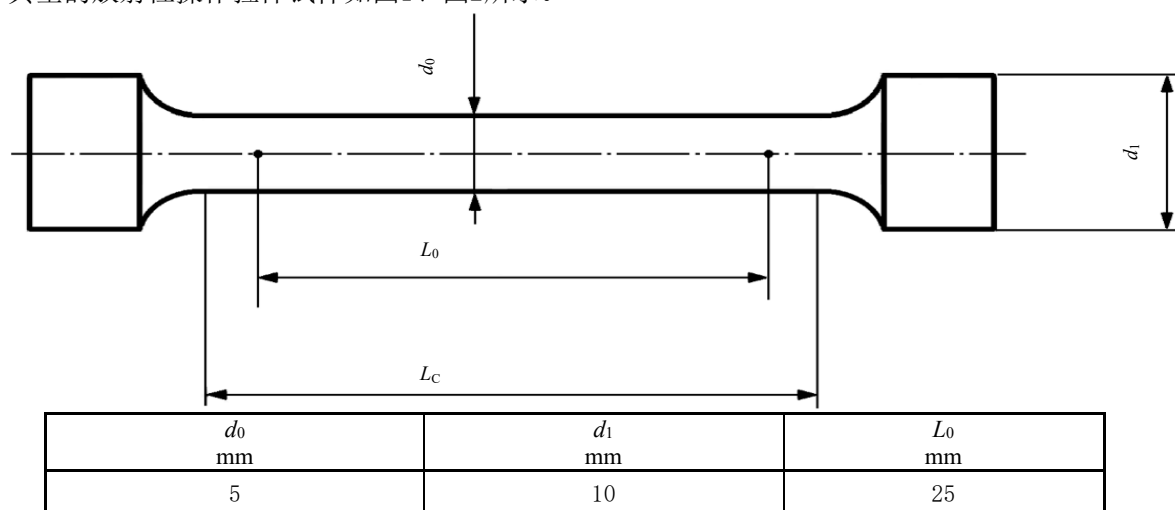
注：选用小于20 mm标距的试样，测量不确定度可能增加。

非比例试样其原始标距 L_0 与原始横截面积 S_0 无关。

试样的尺寸公差应符合GB/T 228.1的有关规定。

6.2 用于放射性环境下的拉伸试样的尺寸和形状

典型的放射性操作拉伸试样如图1、图2所示。



标引序号说明:

d_0 ——试样拉伸段直径;

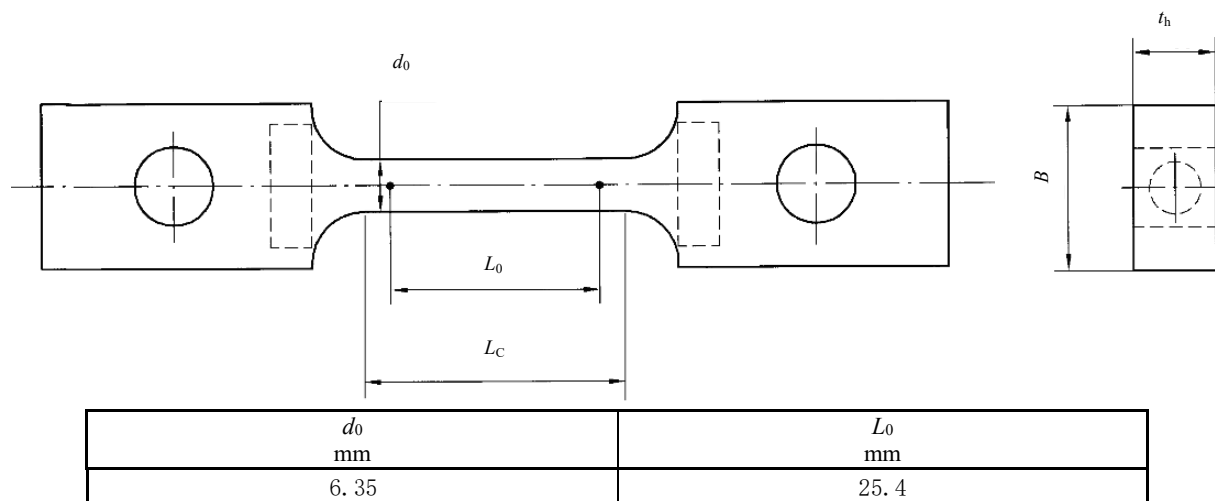
d_1 ——试样几项力学性能端部直径;

L_0 ——原始标距;

L_c ——平行长度。

注: 试样端部为光滑结构, 如果试验条件和加工条件允许, 可在端部加工用于试样装卡的螺纹。

图1 悬挂拉伸试样



标引序号说明:

B ——试样端头宽度;

d_0 ——试样拉伸段直径;

L_0 ——原始标距;

L_c ——平行长度;

t_h ——试样端头宽度。

图2 销钉型悬挂拉伸试样

7 原始横截面积的测定

横截面积测量应按照GB/T 228.1的有关规定进行。可采用图像尺寸测量仪、轮廓测量仪、视频显微测量系统等光学设备测量尺寸，测量精度不低于0.02 mm。

注：实际测量时如果能保证测量精度，可采用卡尺等传统工具直接测定试样尺寸。

8 原始标距的标记

应用小标记、细划线或细墨线标记原始标距，但不应用引起过早断裂的缺口作标记。

对于比例试样，如果原始标距的计算值与其标记值之差小于 $0.1L_0$ ，可将原始标距的计算值按照GB/T 8170修约至最接近5 mm的倍数。原始标距的标记应准确到±1%。如平行长度 L_c 远大于原始标距 L_0 ，例如不经机加工的试样，可标记一系列套叠的原始标距。可在试样表面划一条平行于试样纵轴的线，并在此线上标记原始标距。对带有放射性的试样进行标记，应在热室或半热室内的台架上进行。

9 试验设备

9.1 测力系统

应按照GB/T 16825.1进行校准，并且其准确度应为1级或优于1级。

9.2 引伸计系统

引伸计的准确度级别应符合GB/T 12160的要求。测定上屈服强度、下屈服强度、屈服点延伸率、规定塑性延伸强度、规定总延伸强度、规定残余延伸强度及规定残余延伸强度的验证试验，应使用不劣于1级准确度的引伸计；测定其他具有较大延伸率的性能，例如抗拉强度、最大力总延伸率和最大力塑性延伸率、断裂总延伸率及断后伸长度，应使用不劣于2级准确度的引伸计。

引伸计标距不应小于10 mm，固定在试样平行长度的中间位置并沿着中心轴的方向。

在不同试验温度下，引伸计原始标距 L_e 的设定应按照GB/T 228.1、GB/T 228.2、GB/T 228.3的有关规定进行。

9.3 热室系统

放射性环境下的试验应在热室或半热室内进行，并配有试验操作的机械手和固定试样的台架。

10 试验要求

10.1 设定试验力零点

应符合GB/T 228.1的要求。

10.2 试样的夹持方法

应符合GB/T 228.1的要求。

对于图1所示拉伸试样可采用悬挂型拉伸试样卡住试样两端部，对于图2销钉型悬挂拉伸试样可采用悬挂卡具卡在端部，也可采用销钉卡具或者夹具夹持固定端部。

10.3 应变速率控制的试验速率

室温下试验应按照GB/T 228.1的有关规定进行；高温下试验应按照GB/T 228.2的有关规定进行；低温下试验应按照GB/T 228.3的有关规定进行。

10.4 引伸计的要求

考虑到变形测量对试验结果的影响，引伸计精度不宜低于0.5%。

对于高温或低温试验，采用不同方法设定引伸计标距，将使测试结果产生一定差别。应将所采用的方法进行记录。当在室温下进行试验时，应按照GB/T 228.1的有关规定进行；在非室温下进行试验时，需要考虑温度延伸的影响，应按照GB/T 228.2以及GB/T 228.3的有关规定进行。

对于热室半热室内试验，测量试样变形过程的引伸计并非必选设备。

10.5 加热和冷却

10.5.1 概述

装置和方法应符合GB/T 228.2、GB/T 228.3的有关规定。

10.5.2 温度的允许偏差

温度控制系统应能使试样达到规定温度 T ，并且在达到温度前，温度偏差不应超过温差限值。

T_i 是指在试样平行长度表面上所测量的温度，该温度已进行系统误差修正，但未考虑温度测量装置的不确定度。

当规定温度 T 小于等于600℃时，测量温度 T_i 和规定温度 T 的允许偏差应符合GB/T 228.2、GB/T 228.3的有关规定，或者参考温度梯度见表2。

注：温度梯度是指由加热装置等产生的沿试样轴向存在的固定温度差值。

规定温度大于1100℃时，温度允许偏差和温度梯度应由双方协商确定。

当试验温度到达规定温度 T 时，最少保持10 min（保温时间）后，在引伸计输出稳定后施加载荷。

表2 允许的温度偏差及温度梯度

规定温度 $T/^\circ\text{C}$	T_i 与 T 的允许偏差 $^\circ\text{C}$	温度梯度 $^\circ\text{C}$
$T \leq 600$	± 3	3

10.5.3 温度的测量

测量内容如下。

- 在试样平行长度的两端及中心位置各固定一支测温探头。
- 如加热装置与试样的相对位置可确保试样温度的变化符合10.5.1的规定，测温探头的数目可以减少。但是，应在试样上固定一支测温探头。
- 测温探头应与试样表面有良好的热接触，应避免加热、制冷设备对测温探头有直接接触。
- 如在均匀冷却液中进行试验，可仅设置一个测温探头；如在液氮中进行试验，可以不设置测温探头。上述情况需要在试验报告中说明。
- 当温度达到预设试验温度后，保温时间不低于10 min，并且应等待引伸计稳定后再进行拉伸。

10.5.4 温度测量系统的检验

温度测量系统的最低分辨力为1℃，允许误差应在 $\pm 0.004T$ 或 $\pm 2^\circ\text{C}$ 以内，取最大值。

注：温度测量系统包括所有测量组件（传感器、导线、显示装置、联结点）。

温度测量系统应在试验温度范围内检验和校准，其检验方法应溯源到国际单位。

10.6 辐射防护的要求

在热室或半热室中进行试验，防护措施应满足GB 11930的有关规定。

11 拉伸性能的测定

在热室或半热室中进行拉伸试验和试样尺寸测量。试样对于断裂试样尺寸的直径、延伸率的测量可采用视频技术，测量过程中应采用台架固定试样。

拉伸性能按照GB/T 228.1中上屈服强度、下屈服强度、 $R_{p0.2}$ 、抗拉强度、断后伸长率、断面收缩率等有关规定进行测定。

12 试验结果数值的修约

应按照GB/T 228.1进行修约，对于试验温度修约至1℃。

13 试验报告

试验报告应包括但不限于以下信息，除非双方另有约定：

- a) 本文件编号；
- b) 注明试验条件信息；
- c) 试样标识；
- d) 材料名称、牌号、状态（如已知）；
- e) 试样类型和试样尺寸；
- f) 未试验前的试样宏观照片；
- g) 试样的取样方向和位置（如已知）；
- h) 应变速率和应变速率范围；
- i) 试验温度控制系统；
- j) 试验温度及保温时间、升温时间或冷却时间、制热或制冷方式；
- k) 如在高温或低温下进行试验，应按照 GB/T 228.2、GB/T 228.3 说明设定引伸计标距 L_e 的方法；
- l) 试验结果。

包括：上屈服强度、下屈服强度、 $R_{p0.2}$ 、抗拉强度、断后伸长率、断面收缩率等。如果采用引伸计测量变形，试验结果应给出工程应力-应变关系曲线、最大力塑性延伸率。

14 测量不确定度

应符合GB/T 228.1、GB/T 228.2、GB/T 228.3的有关规定。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2975 钢及钢品 力学性能试验取样位置和试验制备
 - [2] GB/T 22066 静力单轴试验机用计算机数据采集系统的评定
 - [3] ASTM E1012 Standard practice for verification of test frame and specimen alignment under tensile and compressive axial force application.
-