

ICS 19.020

B 04

备案号: 59675—2017

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20475—2017

**干式贮存系统和运输容器核临界控制用
含硼中子吸收材料的鉴定和验收**

**Qualification and acceptance of boron based metallic neutron absorbers for
nuclear criticality control for dry cask storage systems
and transportation packaging**

2017 - 04 - 01 发布

2017 - 10 - 01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	2
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 服役条件与设计要求	4
5 中子吸收材料的鉴定试验	4
6 中子吸收材料的验收试验	6

前 言

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：中广核工程有限公司、上海核工程研究设计院、中国核动力研究设计院、中国核电工程有限公司。

本标准主要起草人：王傲松、孟氢钡、杨寿海、石悠、郑越、刘晓珍。

干式贮存系统和运输容器核临界控制用 含硼中子吸收材料的鉴定和验收

1 范围

本标准规定了含有中子吸收核素 ^{10}B 的金属合金、金属基复合材料、陶瓷材料等有包覆层或无包覆层中子吸收材料的鉴定试验和验收试验等技术要求。

本标准适用于干式贮存系统和运输容器核临界控制用含硼中子吸收材料的鉴定和验收。

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/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法(GB/T 228.1—2010,ISO 6892-1:2009,MOD)

GB/T 228.2 金属材料 拉伸试验 第2部分:高温试验方法(GB/T 228.2—2015,ISO 6892-2:2011,MOD)

ASTM C791 核纯级碳化硼的化学、质谱和光谱化学分析的标准试验方法(Test methods for chemical, mass spectrometric, and spectrochemical analysis of nuclear-grade boron carbide)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

面密度 areal density

对具有平行表面、均匀厚度的中子吸收材料,单位面积上中子吸收核素的含量,该值为材料中中子吸收核素(^{10}B)的密度乘以材料的厚度,单位为克每平方厘米(g/cm^2)。

3.2

中子衰减检测 neutron attenuation test

将中子吸收材料置于热中子束中,测量热中子透过材料的比率,可换算出中子吸收材料的面密度。

3.3

概率抽样 probability sampling

以概率理论和随机原则为依据来抽取样本的抽样,使总体中的每一个单位都有一个事先已知的非零概率被抽中的抽样。

3.4

系统抽样 systematic sampling

将总体中各单位按一定顺序排列,根据样本容量要求确定抽选间隔,然后随机确定起点,每隔一定的间隔抽取一个单位的一种抽样方式。

3.5

拟合优度检验 goodness of fit test

运用判定系数和回归标准差, 检验模型对样品观测值拟合程度的检验方法。

4 服役条件与设计要求

4.1 设计方应明确服役条件与设计要求, 包括环境条件、力学性能、面密度或等同的中子吸收核素含量、热导率、表面状态等要求, 应选出对中子吸收材料性能影响较大的服役条件, 结合材料失效模式与工业实践确定鉴定试验。

4.2 环境条件应至少包括水化学、水温、接触材料、流体压力、浸泡时间、 γ 射线和中子剂量、排水时升温速率、最高使用温度。

4.3 中子吸收材料用于结构材料时, 应通过结构分析确定其力学性能要求; 中子吸收材料用于非结构件时, 应明确该材料在使用环境中满足其耐久性所需的力学性能。

5 中子吸收材料的鉴定试验

5.1 鉴定目的

- a) 通过 5.3 的试验, 验证中子吸收材料的耐久性满足设计寿命要求;
- b) 通过 5.4、5.6 的试验, 验证中子吸收材料的物理性能满足设计要求;
- c) 通过 5.5 的检测, 验证中子吸收材料 ^{10}B 的分布满足设计要求。

5.2 适用范围

在下述情况下, 应进行中子吸收材料的鉴定试验:

- a) 未被鉴定的中子吸收材料;
- b) 新的制造厂生产的已被鉴定过的中子吸收材料;
- c) 已鉴定的中子吸收材料, 其关键工艺及工艺控制发生了 5.7 规定的改变;

5.3 环境鉴定测试

对下述鉴定试验, 应采用目视及尺寸检查、力学性能测试、中子衰减检测等方法确认中子吸收材料在试验后, 其性能仍能满足设计要求:

- a) 辐照、热老化试验: 应在服役条件或等效加速条件下进行。
- b) 腐蚀试验: 应在腐蚀试样暴露于服役条件或等效加速条件下进行。
- c) 对于多孔性中子吸收材料应在模拟的装载及服役条件下测试, 其结构受压、温度、时间与真空度应与实际工况一致。

5.4 力学性能测试

金属合金和金属基复合材料应按照 GB/T 228.1 和 GB/T 228.2 进行拉伸试验。

对于包覆材料等标准测试方法不适用的中子吸收材料, 供货单位应制定合适的力学性能测试方法。

用于结构件的中子吸收材料, 应考虑高温服役工况下的蠕变性能。当设计要求时, 应进行其它力学性能试验, 如韧性测试、弯曲测试等。

5.5 ^{10}B 分布均匀性检测

5.5.1 表征参数

中子吸收核素 ^{10}B 分布均匀性可用以下两个指标之一表征:

- a) 中子吸收材料中 ^{10}B 密度及材料厚度;
- b) 中子吸收材料面密度;

5.5.2 抽样方法

测试样品可采用概率抽样或系统抽样。

5.5.3 中子衰减检测

中子衰减检测是根据热中子分别通过被检测产品及标准样品时的衰减进行比较,从而确定中子吸收材料的 ^{10}B 含量及其分布均匀性的方法。测试的中子吸收材料产品与标准样应采用同样的检测设备与布置。如采用非中子衰减检测,应得到设计方批准。

5.5.4 中子衰减检测程序

中子衰减检测前应编制程序文件,应至少包括以下内容:

- a) 所用标准样及其验证;
- b) 规定校准频率以说明中子束强度的变化或中子源的衰减;
- c) 中子源及中子束准直(如有);
- d) ^{10}B 面密度采用标准样检测值间的插值法进行计算;
- e) 中子探测仪器;
- f) 标准样中含有被检测材料中没有的中子吸收与散射核素时,程序中应说明这些核素对检测准确度的影响。

5.5.5 下限值

用拟合优度检验确认测量结果为正态分布时,计算出其下限值 T , T 值采用下述公式计算:

$$T = x(\bar{bar}) - Ks \dots\dots\dots(1)$$

式中:

T ——下偏差限值的数值,对于面密度单位为克每平方厘米(g/cm^2),对于中子吸收核素密度单位为克每立方厘米(g/cm^3);

K ——考虑到概率 P 和置信度 γ ,正态分布下一面偏差的无量纲定量参数。通常来说, $P \geq 95\%$ 且 $\gamma \geq 95\%$;

$x(\bar{bar})$ ——样品的平均值的数值,单位为克每平方厘米(g/cm^2)或克每立方厘米(g/cm^3);

s ——样品的标准偏离的数值,单位为克每平方厘米(g/cm^2)或克每立方厘米(g/cm^3)。

当采用拟合优度检验,测试结果不是正态分布时,应采用非参数的下限值。在此情况下,下限值给出方法应在文件中说明。

检测时应考虑中子计数的统计不确定性的影响。中子计数的相对统计不确定度等于中子计数的平方根除以中子计数。

5.6 其他检测

检测其他性能和参数是否满足设计要求,如热导率、化学成分、表面状态、尺寸等。

5.7 关键工艺及工艺控制

制造厂应编制一份制造文件,按时间先后顺序给出制造流程,应描述关键工艺及关键工艺控制。应控制关键工艺以保证商业产品与鉴定样品的重要性能一致。在任何一项关键工艺和工艺控制方法变更之

前,供货单位应提交设计方变更说明及其对材料性能潜在影响的评估,设计方据此判断是否需要重新进行全部或部分鉴定试验。重新鉴定试验可仅针对变动预计影响到的性能。

示例:

- a) 关键工艺及工艺控制方法的变动可能会影响到材料的力学性能,如增加硼含量,降低粉末金属的压紧密度等,应按 5.3~5.6 进行相应项目的重新鉴定。
- b) 由于设备的变动、混料参数变化或沉淀相变化等会影响到 ^{10}B 分布发生变化,应重新鉴定 ^{10}B 均匀度。

6 中子吸收材料的验收试验

6.1 验收规则

中子吸收材料验收试验应按批进行。设计方应明确中子吸收材料批的定义,制定取样计划、试样位置(如适用)及测试方法、验收准则。

6.2 取样位置

试样的取样位置应具有足够的代表性,或者应选自性能较差的部位。测试可直接在最终产品上进行,或取自与最终产品的延长段。

6.3 中子吸收核素 ^{10}B 含量及均匀性

6.3.1 ^{10}B 密度或面密度的验收试验通常截取试样进行,试样应代表大面积板材或一定数量的坯料。对材料进行 100%检测时,验收试验应对试验结果拟合处理,测试结果在给定的概率和置信度下,应满足设计规定最小 ^{10}B 密度或面密度的要求。通常概率和置信度应为 95%或更高。

6.3.2 测量材料中子吸收核素的含量的方法如下:

- a) 按照设计方确认的方法进行中子衰减测试;
- b) 采用化学分析法检测 B 含量,按照 ASTM C 791 检测 ^{10}B 丰度,并计算 ^{10}B 含量。

6.3.3 中子吸收材料 ^{10}B 密度可用 ^{10}B 面密度除以面密度测量部位的厚度进行计算。

6.4 其它性能测试

中子吸收材料其它性能测试按设计方的要求进行。

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
干式贮存系统和运输容器核临界控制用
含硼中子吸收材料的鉴定和验收

NB/T 20475—2017

*

核工业标准化研究所出版发行

北京海淀区骚子营1号院

邮政编码：100091

电 话：010-62863505

原子能出版社印刷

版权专有 不得翻印

*

2017年10月第1版 2017年10月第1次印刷

印数 1—50

定价 21.00 元