ICS 27.120.99

CCSF80

**T/CNS**

中国核学会团体标准

T/CNS XXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

高温气冷堆核动力厂核测量系统探测器制造和鉴定准则

Criteria of Manufacturing and Qualification for Detectors of Nuclear Measurement in high temperature gas cooled reactor nuclear power plant

|  |
| --- |
| （征求意见稿） |
| 本稿完成日期：2025年7月 |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX – XX 实施

中国核学会   发布

目  次

[目  次 I](#_Toc204102970)

[前  言 II](#_Toc204102971)

[1 范围 1](#_Toc204102972)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc204102973)

[3 术语和定义 1](#_Toc204102974)

[3.1 1](#_Toc204102975)

[中子灵敏度 Neutron sensitivity 1](#_Toc204102976)

[3.2 2](#_Toc204102977)

[测量范围 Measurement range 2](#_Toc204102978)

[3.3 2](#_Toc204102979)

[坪曲线 Plateau characteristic curve 2](#_Toc204102980)

[3.4 2](#_Toc204102981)

[坪长 Length of plateau 2](#_Toc204102982)

[4 总体要求 2](#_Toc204102983)

[4.1 功能 2](#_Toc204102984)

[4.2 安全级别 2](#_Toc204102985)

[4.3 主要技术参数 2](#_Toc204102986)

[5 材料要求 3](#_Toc204102987)

[6 制造要求 3](#_Toc204102988)

[6.1 铝电极片电泳覆硼 3](#_Toc204102989)

[6.2 阴极圆筒电泳覆硼 4](#_Toc204102990)

[6.3 壳体焊接 4](#_Toc204102991)

[6.4 探测器充气 4](#_Toc204102992)

[6.5 无机电缆端接 4](#_Toc204102993)

[6.6 装配 4](#_Toc204102994)

[6.7 铭牌和标识 4](#_Toc204102995)

[7 试验要求 4](#_Toc204102996)

[7.1 鉴定试验 4](#_Toc204102997)

[7.2 出厂试验 6](#_Toc204102998)

[8 包装、运输和贮存 6](#_Toc204102999)

[9 质量保证和控制 6](#_Toc204103000)

[10 供货方提供的文件 6](#_Toc204103001)

[参 考 文 献 1](#_Toc204103002)

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：中核山东核能有限公司，清华大学核能与新能源技术研究院，中核能源科技有限公司，清能创新科技有限公司

本标准主要起草人：马惊霄，韩旭，李铎，李立涛，浦绍俭，李坤，王世震，陈明，张海明，于健。

高温气冷堆核动力厂核测量系统探测器制造和鉴定准则

1. 范围

本标准规定了球床式高温气冷堆（以下简称：高温气冷堆）核动力厂核测量系统制造和鉴定准则，包括材料要求、制造要求和试验及鉴定要求。

本标准适用于高温气冷堆核动力厂堆外核测量系统核测探测器。

1. 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，仅所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 2423.2 | 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温 |  |
| GB/T 12727 | 核电厂安全级电气设备鉴定 |  |
| GB/T 13625 | 核电厂安全级电气设备抗震鉴定 |  |
| GB/T 10263-2006 | 核辐射探测器环境条件与试验方法 |  |
| GB/T 19867.4-2008 | 激光焊接工艺规程 |  |
| GB/T 17626.2-2018 | 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验 |  |
| GB/T 17626.3-2023 | 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分：射频电磁场辐射抗扰度试验 |  |
| GB/T 17626.8-2006 | 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验 |  |
| GB/T 17626.5-2019 | 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验 |  |
| GB/T 17626.6-2017 | 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度 |  |
| EJ/T 1197-2007 | 核电厂安全级电气设备质量鉴定试验方法与环境条件 |  |
| GB/T 12727-2023 | 核电厂安全重要电气设备鉴定 |  |
| NB/T 20408 | 核电厂物项包装、运输、装卸、接收、贮存和维护要求 |  |

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。



中子灵敏度  Neutron sensitivity

探测器对中子的响应强度。

注：单位为cps/n(cm2 .s) -1或A/n(cm2 .s) -1 。



测量范围 Measurement range

探测器有效测量中子数量的范围。

注:单位为n/cm2 .s。



坪曲线 Plateau characteristic curve

中子数目不变的情况下，从0电压到工作电压上限对探测器施加电压，得到的探测器输出电流与施加电压关系的曲线。



坪长 Length of plateau

坪曲线中探测器输出电流与施加电压关系的曲线斜率较低且固定的电压范围。

1. 总体要求
   1. 功能

在高温气冷堆核动力厂中，核测量系统探测器监测反应堆中子通量，并经由核测仪器柜，向反应堆保护系统、事故后监测系统和功率控制系统提供信号。

* 1. 安全级别

安全级别为1E级，抗震类别为抗震I类，质保等级为QA1。

* 1. 主要技术参数

硼计数管的技术参数见表1：

表1 硼计数管技术参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 外形尺寸： | 安装探测器护套后的外形尺寸需要满足探测器孔道安装要求； |
|  | 电缆长度，m： | ≥15； |
|  | 中子灵敏度，cps/n（cm-2·s）-1： | ≥20； |
|  | 测量范围，n/cm-2·s： | 0.1~1×104； |
|  | 背景噪声，cps： | ＜0.3； |
|  | 设计寿命，年： | ＞15（灵敏度下降＜1%）； |
|  | 绝缘电阻，Ω（500VDC）： | ≥1012； |
|  | 最高线性计数率，cps： | ~2×105； |
|  | 工作温度，℃： | 60； |
|  | 最高极限温度，℃： | 100； |
|  | 电缆静态弯曲半径，mm： | ~60； |
|  | 电缆动态弯曲半径，mm： | ~150； |
|  | 特性阻抗，Ω： | 50±5； |

补偿电离室的技术参数见表2：

表2 补偿电离室技术参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 外形尺寸： | 安装探测器护套后的外形尺寸需要满足探测器孔道安装要求； |
|  | 电缆长度，m： | ≥15； |
|  | 中子灵敏度，A/n（cm-2·s）-1： | ≥5×10-14； |
|  | γ感应度，A/n（cm-2·s）-1 | ＜5×10-12； |
|  | 测量范围，n/cm-2·s： | 1.4×102~1.4×108； |
|  | 设计寿命，年： | ＞15（灵敏度下降＜1%）； |
|  | 绝缘电阻，Ω（500VDC）： | ≥5×1011； |
|  | 工作温度，℃： | 60； |
|  | 最高极限温度，℃： | 100； |
|  | 电缆静态弯曲半径，mm： | ~60； |
|  | 电缆动态弯曲半径，mm： | ~250； |

非补偿电离室的技术参数见表3：

表3 非补偿电离室的技术参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 外形尺寸： | 安装探测器护套后的外形尺寸需要满足探测器孔道安装要求； |
|  | 电缆长度，m： | ≥15； |
|  | 中子灵敏度，A/n（cm-2·s）-1： | ≥5×10-14； |
|  | 测量范围，n/cm-2·s： | 1.4×106~2.8×108； |
|  | 设计寿命，年： | ＞15（灵敏度下降＜1%）； |
|  | 绝缘电阻，Ω（500VDC）： | ≥1011； |
|  | 工作温度，℃： | 60； |
|  | 最高极限温度，℃： | 100； |
|  | 电缆静态弯曲半径，mm： | ~60； |
|  | 电缆动态弯曲半径，mm： | ~250； |

1. 材料要求

关键部位的材料推荐进行如下选择：

1. 壳体应选用钛材；
2. 中心电极应选用镀金钨丝或铝；
3. 工作气体应选用氩气+二氧化碳或氦气加氮气。
4. 制造要求
   1. 铝电极片电泳覆硼

满足如下要求：

a) 铝电极片电泳覆硼前应进行目视检查。确保铝电极片表面无划痕、无缺口，电泳覆硼后应进行目视检查。确保镀硼后的铝电极片无缺镀，电泳覆硼后应进行硼膜厚度检测；

b）镀硼后的铝电极片应进行高温牢固性检测。高温考验后目视检查硼膜无脱落，铝片无变形；

c）镀硼后的铝电极片应进行振动牢固性检测。振动考验后目视检查硼膜无脱落，铝片无变形。

* 1. 阴极圆筒电泳覆硼

满足如下要求：

a) 阴极圆筒电泳覆硼前目视检查无划痕，确认已清洗，电泳覆硼后目视检查无缺镀，电泳覆硼后进行硼膜厚度检测；

b) 镀硼后的阴极圆筒应进行高温牢固性检测。高温考验后目视检查硼膜无脱落；

c）镀硼后的阴极圆筒应进行振动牢固性检测。振动考验后目视检查硼膜无脱落。

* 1. 壳体焊接

按GB/T 19867.4-2008要求进行壳体焊接。焊接后进行检漏，可参考GB/T 36176-2018进行氦检漏。

* 1. 探测器充气

充入氩气+二氧化碳或氦气加氮气气体，充气后密封腔体。

* 1. 无机电缆端接

根据制造厂自身工艺要求进行端接后进行外观检查、密封性试验2项工艺评定试验。要求无机电缆端接牢固、密封良好。

* 1. 装配

在干燥的环境中将各个部件装配在一起，装配后进行电性能及核性能检查。要求探测器电性能及核性能满足本标准4.3节之要求。

* 1. 铭牌和标识
     1. 铭牌

变送器应在显著位置钉有牢固的铭牌，铭牌上应清晰标识下列内容：

a) 制造商名称、商标；

b) 变送器的型号和名称；

c) 准确度等级、测量范围；

d) 编号和出厂日期；

* + 1. 标识

供货方应提供标识牌。不同核安全级测量通道的标识牌应采用不同的底色和文字颜色，位号、底色及文字颜色按工程要求确定。

1. 试验要求
   1. 鉴定试验

核测探测器应至少有各两台样品按GB/T 12727-2017的总体要求进行鉴定试验，探测器的功能特性按GB/T 7164-2022中规定的测试方法进行测试和鉴定。至少包括如下试验项目：

a) 基准试验：按GB/T 7164-2022的规定对堆外测量探测器进行机械性能、电性能以及核性能的基准测试，应符合相应要求。

b) 极限运行条件下的试验

1) 探测器最低工作温度为5℃，低温试验按GB/T 10263-2006进行，选取严酷等级C对探测器样机进行-25℃±3℃，24h的低温试验，探测器连同一体化无机电缆一同放入低温箱中，试验前后目视检查无缺陷、裂纹出现，电性能满足要求。

2) 探测器正常运行期间最高工作温度为60℃，极限高温不超过100℃，高温试验按GB/T 10263-2006进行，选取严酷等级C对探测器样机进行100℃±2℃，24h的高温试验，探测器连同一体化无机电缆一同放入高温箱中，试验前后目视检查无缺陷、裂纹出现，电性能满足要求。

3) 探测器正常运行及储存期间最高湿度为90%RH，恒定湿热试验按GB/T 10263-2006进行，选取严酷等级C对探测器样机进行40℃±2℃，95（-3~+2）%RH的恒定湿热试验，探测器连同一体化无机电缆一同放入温箱中保持24小时，试验前后目视检查无缺陷、裂纹出现，电性能满足要求。

c) 电磁兼容试验

电磁兼容试验按GB/T 17626.3、GB/T 17626.8、GB/T 17626.2、GB/T 17626.5、GB/T 17626.6进行。

d) 热老化性能试验

按NB/T 12727-2017的要求，采取阿伦纽斯定律进行老化试验。根据阿伦纽斯方程计算加速热老化参数确定总体热老化时间。依据GB/T 2423.2的方法，探测器连同一体化电缆放入高温箱中进行热老化试验

e) 辐照老化试验

由于探测器主体及一体化电缆均为无机材料，无明显辐照老化机理。辐照老化试验根据EJ/T 1197-2007的规定确定辐照老化条件。

e) 振动老化试验

将核探测器样机和悬挂屏蔽装置模拟实际安装工况安装并固定在试验支架内，按GB/T 10263-2006,选取严酷等级B对探测器样机进行和扫频耐久试验。

f) 抗震性能试验

根据GB/T 13625-2018进行抗震试验，安装位置的地震响应谱见工程文件。

g) 最终功能试验

事故和事故后环境条件的试验完成后，对探测器进行最终功能试验，试验方法参考GB/T 7164-2022的规定中子通量范围的试验需要在实验堆上进行。

* 1. 出厂试验

每台核测探测器在出厂前应进行试验，试验至少应包括如下内容：

a) 尺寸检查

b) 电气和机械的符合性检查

c) 坪曲线绘制

d) 电性能检查

e) 核性能检查

f) 清洁度检查

以上试验结果应满足本标准4.3节之要求或技术规格书之要求。

1. 包装、运输和贮存

产品的包装、运输和贮存应符合NB/T 20408中B级物项的有关规定。

1. 质量保证和控制

制造方必须经资格评审合格并持有国家核安全监管部门颁发的相应的许可证，并按照HAF 003制定并有效实施质量保证大纲。

1. 供货方提供的文件

供货方在交货时应至少提供如下文件：

a) 产品合格证书

b) 产品完工报告

c) 设备装箱清单

d) 技术说明书

e) 安装使用和维修手册

f) 出厂试验报告

g) 鉴定试验报告

参 考 文 献

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| [1] HAF 003 | 核电厂质量保证安全规定 |  |
| [2] HAD 003/03 | 核电厂物项和服务采购中的质量保证 |  |
| [3] HAD 003/08 | 核电厂物项制造中的质量保证 |  |
| [4] GB/T 7164-2022 | 用于核反应堆的辐射探测器特性及测试方法 |  |