ICS 点击此处添加ICS号

CCS点击此处添加中国标准文献分类号

**T/CNS**

中国核学会团体标准

T/CNS XXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

高温气冷堆核动力厂辐照石墨球源项测量

技术要求

Technical requirements for source term measurement of irradiated graphite spheres in high temperature gas-cooled reactor nuclear power plant

|  |
| --- |
| 征求意见稿 |
|  |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX – XX 实施

中国核学会   发布

目  次

[目次 I](#_Toc199433413)

[前言 II](#_Toc199433414)

[1 范围 1](#_Toc199433415)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc199433416)

[3 术语和定义 1](#_Toc199433417)

[3.1 特征峰 Characteristic Peak 1](#_Toc199433418)

[3.2 全能峰 Full Energy Peak 1](#_Toc199433419)

[3.3 效率刻度 Efficiency Calibration 1](#_Toc199433420)

[3.4 淬灭 Quench 1](#_Toc199433421)

[4 总述 1](#_Toc199433422)

[4.1 目的和功能 1](#_Toc199433423)

[4.2 设计原则 2](#_Toc199433424)

[4.3 主要技术参数 2](#_Toc199433425)

[5 主要设备 2](#_Toc199433426)

[6 测量方法及流程 2](#_Toc199433427)

[6.1 基本参数快速测量 2](#_Toc199433428)

[6.2 石墨芯柱取样 2](#_Toc199433429)

[6.3 石墨粉末样品获取 2](#_Toc199433430)

[6.4 总α/β计数和γ核素能谱测量 2](#_Toc199433431)

[6.5 液体样品制备 3](#_Toc199433432)

[6.6 3H及14C测量 3](#_Toc199433433)

[6.7 辐照石墨球源项分析 3](#_Toc199433434)

[7 测量要求 3](#_Toc199433435)

[8 注意事项 3](#_Toc199433436)

[9 质量保证和控制 3](#_Toc199433437)

[参 考 文 献 5](#_Toc199433438)

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：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，华能山东石岛湾核电有限公司。

本标准主要起草人：谢锋，刘学刚，李川，李红，冯孝贵，魏利强，王彧，马涛，曹建主，李富，董玉杰，张作义，蒲洋，高旭，陈立强，马超，牟晋德，马倩。

高温气冷堆核动力厂辐照石墨球源项测量技术要求

1. 范围

本文件规定了球床式高温气冷堆（以下简称：高温气冷堆）核动力厂辐照石墨球源项测量的技术要求，包括目的和功能、设计原则、主要技术参数、主要设备、测量方法及流程、测量要求和注意事项等。

本文件适用于高温气冷堆核动力厂经过堆芯辐照后的石墨球源项的测量分析工作及技术要求。

1. 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 18871 | 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 |  |
| HAF 003 | 核电厂质量保证安全规定 |  |

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

* 1. 特征峰 Characteristic Peak

指在γ谱中由核素衰变释放出的具有特定能量的γ射线形成的谱峰。

* 1. 全能峰 Full Energy Peak

指在探测器中，射入的γ射线的全部能量直接被吸收形成的谱峰。

* 1. 效率刻度 Efficiency Calibration

指建立给定测量条件下射线能量与其全能峰探测效率的对应关系的过程。

* 1. 淬灭 Quench

指在液闪测量过程中导致能量传递损失的干扰因素，该干扰因素使从闪烁瓶射出的光子总能量低于核辐射能量。样品的淬灭水平越高，液闪计数效率越低，通常用淬灭校正曲线，即淬灭指数与计数效率的关系曲线，来校正淬灭对计数效率的影响。

1. 总述
   1. 目的和功能

高温气冷堆初装堆芯中含有大量的石墨球，这些石墨球中没有燃料包覆颗粒，但其在堆芯中受到辐照，由于石墨中杂质元素的活化和天然铀污染裂变，以及表面存在放射性物质从一回路冷却剂的吸附沉积，使其成为放射性固体废物。

为了掌握辐照石墨球的源项信息，包括典型核素的类型、比活度及分布，需要制定相应的测量方法、流程和要求，获得高温气冷堆辐照石墨材料中的关键核素信息，为高温气冷堆核动力厂的辐照石墨球源项分析、固体废物处置等提供重要的实验结果。

* 1. 设计原则

测量对象为辐照石墨球，不影响反应堆的安全运行，为非安全级设备、常规抗震、工业质保等级。但需要根据GB18871的相关规定，做好充分的辐射防护。

* 1. 主要技术参数

主要技术参数要求如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 精密电子天平测量不确定度： | <0.001g； |
|  | 便携式γ剂量率仪测量不确定度： | <10%； |
|  | 液闪闪烁计数仪测量不确定度： | <5%； |
|  | 双路低本底α/β测量仪不确定度： | <5%； |
|  | 高纯锗γ谱仪能量分辨率： | ≤2.5keV@60Co 1.33MeV。 |

1. 主要设备

针对辐照石墨球放射性核素测量的推荐设备如下：

1. 精密电子天平；
2. 便携式γ剂量率仪；
3. γ多道能谱分析仪；
4. 钻铣床；
5. 自动电位滴定仪；
6. 样品燃烧装置：氧弹；
7. 双路低本底α/β测量仪；
8. 液体闪烁计数仪。
9. 测量方法及流程
   1. 基本参数快速测量

采用精密天平和便携式γ剂量率仪对选取的辐照石墨球进行质量、表面剂量率（距离球表面~1cm处）测量，并采用γ多道能谱分析仪对其进行γ核素能谱测量及分析，确定待测辐照石墨球的质量、表面剂量率以及γ核素类型等基本信息。

* 1. 石墨芯柱取样

使用钻床和专用钻孔工具钻取一个穿过辐照石墨球球心的圆柱形石墨芯柱。

* 1. 石墨粉末样品获取

使用钢挫将圆柱形石墨芯柱沿轴向每隔大约1~2mm为一个样品，挫（磨）成石墨粉末状样品。由此获得从石墨球外表面到中心沿径向不同位置上的一系列石墨粉末样品。

* 1. 总α/β计数和γ核素能谱测量

将上述石墨粉末样品平铺到一个直径约52mm的不锈钢专用圆盘上，采用双路低本底α/β测量仪将平铺后的石墨粉末样品进行总α/β计数测量分析，确定每一石墨粉末样品的总α和总β计数信息。先对高纯锗γ谱仪进行能量刻度和效率刻度，然后将石墨粉末样品放入高纯锗γ谱仪中，测量γ核素谱图，根据特征峰位置确定放射性核素的类型，并确定每个核素的活度。

* 1. 液体样品制备

准确称取一定量的不同径向位置处石墨粉末样品，置于样品燃烧装置（氧弹）中，使用经优化后确定的样品燃烧方法将石墨粉末样品进行燃烧。燃烧后的气体使用NaOH溶液吸收。燃烧过程中，石墨粉末样品中的碳、氢等元素转变为CO2和H2O并被液体吸收，即放射性核素3H、14C等转入液体样品。

* 1. 3H及14C测量

针对获得的液体样品，使用酸碱滴定方法确定其中含有的总碳量；使用液体闪烁计数法确定其中含有的3H和14C活度。液闪测量主要是将经前处理得到的液相样品与闪烁液进行混合，制成液闪样品。由于核素及样品差异，不同闪烁液在液闪测量中表现出不同的淬灭水平和探测效率。闪烁体在闪烁液中有一个最佳浓度使得计数效率最高。需考虑混合碱浓度对3H和14C计数效率的影响，以便选择适合的闪烁液并绘制淬灭曲线。对液体闪烁计数仪测量得到的谱图进行淬灭校正、效率刻度等，再由计数率得到液体样品中3H和14C的活度信息。

* 1. 辐照石墨球源项分析

综合上述结果，确定辐照石墨球典型核素类型、比活度及径向分布，进一步结合每种核素的产生机制和敏感性分析，确定典型核素的产生来源和影响其比活度的关键因素，为高温气冷堆辐射安全评价和辐射防护设计提供重要的实验数据。

1. 测量要求

高温气冷堆辐照石墨球源项测量，获得的信息至少包含：

1. 辐照石墨球的质量；
2. 辐照石墨球的表面γ剂量率；
3. 整体石墨球的γ核素能谱；
4. 石墨芯柱每隔1~2mm的石墨粉质量、总α及总β计数、γ核素能谱、液闪仪谱图；
5. 辐照石墨球的核素类型，典型核素包括3H、14C、60Co、137Cs、152Eu、154Eu；
6. 辐照石墨球的典型核素比活度及其径向分布。
7. 注意事项

（1）应根据实际测量的辐照石墨球总γ剂量率，基于GB18871相关规定，选择在放化分析实验室或热室中开展辐照石墨球源项测量实验工作；

（2）在进行辐照石墨球芯柱的钻取及石墨粉末制样过程中，应采取密闭措施防止粉尘扩散，并充分考虑工作人员的辐射防护；

（3）整个测量过程应避免放射性样品的交叉污染，以及对设备、设施可能存在的沾污。

1. 质量保证和控制

高温气冷堆核动力厂辐照石墨球源项测量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许可证的单位开展。并按照HAF 003《核电厂质量保证安全规定》制定并有效实施质量保证大纲，并在满足辐射防护和放化分析条件要求的场所进行。

参 考 文 献

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| [1] GB 6249 | 核动力厂环境辐射防护规定 |  |
| [2] T/CNS 22 | 高温气冷堆核动力厂辐射防护设计准则 |  |
| [3] T/CNS 97 | 高温气冷堆核动力厂工艺辐射监测和放射性流出物监测系统设计准则 |  |
| [4] EJ/T 1091-1999 | 放射性核素活度测量锗γ谱仪法 |  |
| [5] | Feng X, He Q, Wang J, *et al.*, The long-term stability on basic performances of a diisopropylnaphthalene-based liquid scintillation cocktail, *Applied Radiation and Isotopes*, 70 (8), 1536-1540, 2012. |  |
| [6] | Liu X, Huang X, Xie F, *et al.*, Source term analysis of the irradiated graphite in the core of HTR-10, *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2017, 2614890 (1-6), 2017 |  |
| [7] | Li H, Liu X, Xie F, *et al.*, Experimental study on the content and distribution of key nuclides in an irradiated graphite sphere of HTR-10, *Nuclear Engineering and Design*, 323, 39-45, 2017 |  |
| [8] | Xie F., Li H., Liu X, *et al.*, A comprehensive study on source terms in irradiated graphite spheres of HTR-10, *Annals of Nuclear Energy*, 122, 352-365, 2018. |  |
| [9] | L’annunziata M F, Tarancón A, Bagán H, *et al.*, Liquid scintillation analysis: Principles and practice, *Handbook of Radioactivity Analysis*, 575-801, Amsterdam, Elsevier, 2020. |  |