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一回路放射性粉尘

取样测量技术要求

Technical requirements for the radioactive dust sampling and measurement in the primary circuit of 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](#_Toc199433476)

[前  言 II](#_Toc199433477)

[1 范围 1](#_Toc199433478)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc199433479)

[3 术语和定义 1](#_Toc199433480)

[3.1 过滤效率 Filtration Efficiency 1](#_Toc199433481)

[3.2 特征峰 Characteristic Peak 1](#_Toc199433482)

[3.3 全能峰 Full Energy Peak 1](#_Toc199433483)

[3.4 效率刻度 Efficiency Calibration 1](#_Toc199433484)

[3.5 能量刻度 Energy Calibration 1](#_Toc199433485)

[4 总述 1](#_Toc199433486)

[4.1 目的和功能 1](#_Toc199433487)

[4.2 设计原则 2](#_Toc199433488)

[4.3 主要技术参数 2](#_Toc199433489)

[5 主要设备 2](#_Toc199433490)

[6 测量方法及流程 2](#_Toc199433491)

[6.1 放射性粉尘取样流程 2](#_Toc199433492)

[6.2 取样过滤器外表面γ剂量率测量 3](#_Toc199433493)

[6.3 γ放射性核素测量 3](#_Toc199433494)

[6.4 粉尘颗粒粒径和质量测量 3](#_Toc199433495)

[6.5 液体样品制备 3](#_Toc199433496)

[6.6 β放射性核素测量 3](#_Toc199433497)

[6.7 一回路放射性粉尘源项信息测定 3](#_Toc199433498)

[7 测量要求 3](#_Toc199433499)

[8 注意事项 4](#_Toc199433500)

[9 质量保证和控制 4](#_Toc199433501)

[参 考 文 献 5](#_Toc199433502)

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，魏利强，聂瑞，王彧，姚峰，刘凌，曹建主，李富，王海涛，董玉杰，张作义，刘彤，蒲洋，陈立强，牟晋德，马超，马倩，陈曦。

高温气冷堆核动力厂一回路放射性粉尘取样测量技术要求

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）核动力厂一回路放射性粉尘取样测量的技术要求，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一回路放射性粉尘取样测量的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. 过滤效率 Filtration Efficiency

指在一定条件下过滤器所捕集的粒子重量或数量与过滤前一回路冷却剂氦气中含有的粒子重量或数量之比，用百分率表示。

* 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γ射线能量与其全能峰探测效率的对应关系的过程。

* 1. 能量刻度 Energy Calibration

指建立给定测量条件下入射粒子的能量与多道分析器的道数之间对应关系的过程。

1. 总述
   1. 目的和功能

由于高温气冷堆堆芯内球形燃料元件的流动摩擦，以及其与堆内石墨构件、管道的摩擦磨损，高温气冷堆一回路中存在粉尘。这些以石墨成分为主的粉尘与一回路中的放射性核素结合，形成放射性粉尘，是高温气冷堆特有的源项。在事故情形下，一回路放射性粉尘再悬浮是高温气冷堆的重要源项。

一回路放射性粉尘为放射性核素提供了一条平行于氦气冷却剂的传输途径。必须要考虑放射性粉尘输运行为和特点，设计专门的一回路放射性粉尘取样系统和装置，测定放射性粉尘上的典型核素类型、比活度及其在核动力厂不同运行功率下的浓度、粒径分布等信息，才能掌握高温气冷堆核动力厂一回路放射性粉尘源项信息，进而科学合理的开展辐射剂量评价和实施有效的辐射防护。

* 1. 设计原则

测量对象为一回路放射性粉尘，不影响核动力厂的安全运行，系统和设备为非安全级、常规抗震、工业质保等级。但需根据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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 过滤元件的过滤效率： | ≥95%； |
|  | 精密电子天平测量不确定度： | <0.001g； |
|  | 液闪仪测量不确定度： | <5.00%； |
|  | 高纯锗γ谱仪能量分辨率： | ≤1.82keV@60Co 1.33MeV。 |

1. 主要设备

针对一回路放射性粉尘测量推荐的设备如下：

1. 精密电子天平；
2. 便携式γ剂量率仪；
3. 自动电位滴定仪；
4. 样品燃烧装置：氧弹；
5. 液体闪烁计数仪；
6. 高纯锗γ谱仪；
7. 光学显微镜，扫描电镜及能谱仪（备选）；
8. 超声振荡器；
9. 取样过滤器，包含不同过滤精度的过滤元件（如1μm、5μm、10μm、20μm等）；
10. 阀门（隔离阀、调节阀等）及仪表（温度变送器、压力变送器、流量计等）。
11. 测量方法及流程
    1. 放射性粉尘取样流程

一回路放射性粉尘取样测量回路与氦净化系统正常净化列的尘埃过滤器并联，从尘埃过滤器前分流一定流量的一回路氦气（~10%），取样流量可由电动调节阀调节，气体流经取样过滤器，收集一回路氦气中载带的放射性粉尘，取样完成后样品送至放化实验室进行测量分析。具体取样流程如下：

（1）将取样过滤器装入一回路放射性粉尘取样回路，并通过电动隔离阀与氦净化系统正常净化列隔离，使其成为密闭的回路；

（2）连通氦辅助抽真空子系统，对整个取样回路抽真空后再隔离；

（3）将电动调节阀调至较小开度，打开与氦净化系统正常净化列入口、出口分界的电动隔离阀，使氦气缓慢进入到取样回路中。然后用电动调节阀调节取样回路的氦气流量，收集一回路氦气中的放射性粉尘，并记录流量、温度和压力参数。根据不同的工况，收集周期一般约4周（视实际取样收集情况可调整）；

（4）收集周期结束后，关闭与氦净化系统正常净化列入口、出口分界的电动隔离阀，将取样回路与氦净化系统正常净化列隔离，使其成为密闭的回路。连通氦辅助抽真空子系统，将取样回路中的高压氦气泄放到常压后隔离，并将取样过滤器拆下，送至放化实验室进行测量分析。

* 1. 取样过滤器外表面γ剂量率测量

使用便携式γ剂量率仪对取样过滤器外表面的γ剂量率进行测量，判断取样过滤器总体γ放射性水平，以确定是否收集到放射性粉尘样品，并针对不同放射性水平采取相应的辐射防护措施。

* 1. γ放射性核素测量

从取样过滤器中将不同过滤精度的过滤元件取出，并进行标识。首先采用便携式γ剂量率仪对每一片过滤元件的外表面进行测量（表面~1cm处）。然后先对高纯锗γ谱仪进行能量刻度和效率刻度，再将含有放射性粉尘的过滤元件放入高纯锗γ谱仪中进行测量，测定粉尘上γ放射性核素的类型和活度，典型核素包括60Co、131I、137Cs、152Eu、154Eu等。

* 1. 粉尘颗粒粒径和质量测量

把过滤元件浸入到乙醇溶液中进行超声振荡，使其上的粉尘转移到乙醇溶液中。取其中少量液体放入光学显微镜下测量，标记颗粒粒径，并进行统计分析，确定各过滤元件中的颗粒粒径分布。对乙醇溶液进行蒸发，然后用精密电子天平获得每一片过滤元件上的粉尘质量。如有条件，可选择采用扫描电镜对粉尘颗粒的形貌进行测量和表征，采用能谱仪对粉尘的成分进行定性分析。

* 1. 液体样品制备

用精密电子天平准确称取一定量的石墨粉尘样品，置于样品燃烧装置（氧弹）中，使用优化后确定的样品燃烧方法将石墨进行燃烧。燃烧后的气体使用NaOH溶液吸收。燃烧过程中，固体粉末状石墨样品中的碳、氢等元素转变为CO2和H2O，并被NaOH溶液吸收后制成β放射性测量液体样品。

* 1. β放射性核素测量

对获得的液体样品，使用酸碱滴定方法确定其中的总碳量。使用液体闪烁计数仪确定其中纯β放射性核素的活度，典型核素包括3H、14C等。

* 1. 一回路放射性粉尘源项信息测定

根据上述取样过滤器累积的氦气流量、过滤元件上粉尘的质量、光学显微镜统计的颗粒粒径分布、高纯锗γ谱仪测定的γ核素类型和活度以及液体闪烁计数仪测定的β核素类型和活度，获得一回路放射性粉尘的关键源项信息，包括放射性粉尘的浓度、典型核素类型和比活度、颗粒粒径分布等。

1. 测量要求

高温气冷堆核动力厂一回路放射性粉尘源项测量，获得的信息包含：

1. 放射性粉尘在不同过滤元件上的质量；
2. 取样测量时流过取样过滤器的累积流量；
3. 一回路放射性粉尘的浓度；
4. 放射性粉尘在不同过滤元件上的γ核素能谱；
5. 放射性粉尘在不同过滤元件上的颗粒粒径分布；
6. 放射性粉尘在不同过滤元件上的液闪仪谱图；
7. 放射性粉尘上核素类型，典型核素包括3H、14C、60Co、131I、137Cs、152Eu、154Eu等；
8. 一回路放射性粉尘典型核素的比活度；
9. 放射性粉尘颗粒的形貌（备选）；
10. 放射性粉尘成分定性分析（备选）。
11. 注意事项

（1）应根据实际测量的取样过滤器外表面γ剂量率及过滤元件表面γ剂量率，基于GB18871的相关规定，选择在放化分析实验室中开展一回路放射性粉尘测量实验工作；

（2）在进行一回路放射性粉尘取样测量过程中，应充分考虑工作人员的辐射防护，尤其是吸入内照射的预防；

（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一回路放射性粉尘取样测量工作的实施单位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，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，并在满足辐射防护要求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] HAF 003 | 核电厂质量保证安全规定 |  |
| [3] T/CNS 22 | 高温气冷堆核动力厂辐射防护设计准则 |  |
| [4] 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 |  |
| [5] EJ/T 1091-1999 | 放射性核素活度测量 锗γ谱仪法 |  |
| [6] | Feng X, He Q, Wang J, *et al.* The long-term stability on basic performances of a diisopropylnaphthalene-based liquid scintillation cocktail [J]. *Applied Radiation and Isotopes*, 2012, 70(8): 1536-1540. |  |
| [7] | Xie F, Cao J, Feng X, *et al.*, Experimental research on the radioactive dust in the primary loop of HTR-10, *Nuclear Engineering and Design*, 324, 372-378, 2017. |  |
| [8] | 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. |  |