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氚取样测量

技术要求

Technical requirements for tritium 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](#_Toc199432681)

[前  言 II](#_Toc199432682)

[1 范围 1](#_Toc199432683)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc199432684)

[3 术语和定义 1](#_Toc199432685)

[3.1 捕集效率 Collection Efficiency 1](#_Toc199432686)

[3.2 氧化效率 Oxidation Efficiency 1](#_Toc199432687)

[3.3 吸附效率 Adsorption Efficiency 1](#_Toc199432688)

[3.4 淬灭Quench 1](#_Toc199432689)

[4 总述 1](#_Toc199432690)

[4.1 目的和功能 1](#_Toc199432691)

[4.2 设计原则 2](#_Toc199432692)

[4.3 主要技术参数 2](#_Toc199432693)

[5 主要设备 2](#_Toc199432694)

[6 测量方法及流程 2](#_Toc199432695)

[6.1 一回路氦气中氚取样流程 2](#_Toc199432696)

[6.2 液体样品中H-3测量 3](#_Toc199432697)

[6.3 一回路氚测量结果分析 3](#_Toc199432698)

[7 测量要求 3](#_Toc199432699)

[8 注意事项 3](#_Toc199432700)

[9 质量保证和控制 3](#_Toc199432701)

[参 考 文 献 4](#_Toc199432702)

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，冯孝贵，魏利强，王彧，姚峰，刘学刚，李川，曹建主，李红，王海涛，董玉杰，张作义，高旭，陈景，石琦，马倩，陈曦，张钰麟。

高温气冷堆核动力厂一回路氚取样测量技术要求

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）核动力厂一回路氚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氚取样测量工作及技术要求。

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. 捕集效率 Collection Efficiency

指在一定条件下含有混气装置的氚取样器从一回路中捕获的氚的量与冷却剂中总氚的量的比值。

* 1. 氧化效率 Oxidation Efficiency

指在一定条件下一回路冷却剂经过氧化铜床，被氧化为HTO的HT、CH3T等占冷却剂中原有总HT、CH3T的质量比值。

* 1. 吸附效率 Adsorption Efficiency

指在一定条件下一回路冷却剂流经分子筛床，被吸附的HTO与冷却剂中原有总HTO的质量比值。

* 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

高温气冷堆是具有第四代核电系统特征的先进堆型，其堆芯采用TRISO包覆颗粒球形燃料元件、氦气作为一回路冷却剂、石墨作为慢化剂、反射层及结构材料，因此高温气冷堆堆芯及一回路放射性核素的类型、活度水平、输运行为及分布等与压水堆具有明显差异。高温气冷堆核动力厂一回路冷却剂中氚的产生来源，不仅有三元裂变、石墨杂质中Li-6、Li-7、B-10的活化，还有氦气冷却剂中He-3的活化。高温气冷堆核动力厂一回路冷却剂中氚的化学形态与水堆中的也明显不同，不仅存在HTO，也存在HT、CH3T等，因此对高温气冷堆核动力厂一回路氚的取样测量需根据上述特点进行设计，才能有效获得一回路氚源项及行为信息。

为了掌握一回路氚源项特点，包括氚的活度浓度及不同化学态氚（HT、CH3T和HTO）的比例，以及氦净化系统中氧化铜床的氧化效率、分子筛床的吸附效率等，需设计相应的取样系统及装置，制定相应的测量方法、流程和要求，获得高温气冷堆核动力厂一回路氚源项信息。

* 1. 设计原则

测量对象为一回路冷却剂中的氚，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：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 氚取样器的氧化效率： | >95%； |
|  | 氚取样器的捕集效率： | 气体氚的捕获率>95%；  氚化水的捕获率>95%； |
|  | 液体闪烁计数仪测量不确定度： | <5%。 |

1. 主要设备

针对一回路氚取样测量的推荐设备如下：

1. 氚取样回路（包含过滤器、减压阀、调节阀、截止阀等）；
2. 含有混气装置（或固体氧化剂装置）的氚取样器；
3. 液体闪烁计数仪（liquid scintillation counter, LSC）。
4. 测量方法及流程
   1. 一回路氦气中氚取样流程

进入氦净化系统的一回路氦气流过氧化铜床时，所含的杂质H2被转化成H2O，微量氚被氧化成氚水。流过氧化铜床后的氦气降温后流入正常气/水分离器，分离出的水排向氦辅助系统的冷凝水收集贮存罐。核动力厂正常运行情况下，一回路氦气中杂质为ppm量级，不会有过饱和的水凝结并分离出来。据已有国内外高温气冷堆一回路氚研究经验，一回路冷却剂氦气中的氚可能会以HT、CH3T和HTO形态存在。

为了准确获得高温气冷堆核动力厂一回路氚源项信息，在尘埃过滤器之后、氧化铜床之后（气/水分离器之前）和分子筛床之后分别设取样管路，取样气体经减压阀、过滤器和调节阀等部件，然后进入含有混气装置的氚取样器进行氚的取样，其串联的鼓泡器会把氦气中的HTO有效滞留在取样液中，获得的液体样品定期送往放化实验室采用LSC进行氚活度测量。此外，氚取样器前设置吹扫气路，取样前先将氚取样器前端管路进行吹扫，使取样具有代表性。

含有混气装置的氚取样器有两种工作模式：

（1）混气装置打开时，进入鼓泡器的一回路氦气样气中具有足量的氧气，在其中的加热催化装置作用下，可获得一回路氦气中全氚的活度测量。

（2）混气装置关闭时，进入鼓泡器的一回路氦气样气中缺少氧气，仅能获得一回路氦气中以HTO形态存在的氚的活度。

采用混气装置打开时的测量结果，可获得高温气冷堆核动力厂尘埃过滤器后、氧化铜床后（气/水分离器之前）和分子筛床后一回路氦气中全氚的活度浓度。采用混气装置关闭时的测量结果，通过对比监测尘埃过滤器后和氧化铜床后氦气中氚的活度水平，可获知氚被氧化铜床氧化的效率；通过对比监测氧化铜床后和分子筛床后一回路氦气中氚的活度水平，可获知氚被分子筛床吸附的效率。

在核动力厂启动与停堆过程中，可采用较大的取样频率（如3天1次），稳态运行后取样频率可降低（如7天1次或半月1次）。当发现数据异常或活度变化剧烈时，应加大取样频率并分析原因。

* 1. 液体样品中H-3测量

氚的活度通过LSC测量。测量的样品是从氚取样器的每个取样瓶中采集两个平行样品，每个样品2mL。通过LSC测量液体样品中氚的活度后，再结合之前测量的收集瓶中无离子水的量和体积，通过计算确定一回路中氚活度浓度。用LSC测量氚时，记录样品的计数率和淬灭指数，然后根据事先用一系列氚标准液闪样品确定的淬灭校正曲线计算计数效率，从而得到样品中氚的活度。

* 1. 一回路氚测量结果分析

综合上述结果，确定高温气冷堆核动力厂不同运行工况下氦净化系统尘埃过滤器后（即氧化铜床前）、氧化铜床后、分子筛床后一回路氚的活度浓度（换算为标准状况），阐释一回路氚以HT、CH3T和HTO形态存在的比例，明确氧化铜床的氧化效率和分子筛床的吸附效率，进一步结合一回路氚的产生机制和敏感性分析，确定高温气冷堆一回路氚的主要产生来源和影响其活度浓度的关键因素。

1. 测量要求

高温气冷堆核动力厂一回路氚取样测量，获得的信息包含：

1. 取样管路中氦气的压力、温度以及累积流量；
2. 氚取样器每个取样瓶中氚的液体闪烁计数仪谱图及活度；
3. 含有混气装置的氚取样器中氦气累积流量、空气累积流量、混合气体累积流量；
4. 取样测量确定的对应一回路取样位置处的氚活度浓度（换算为标准状况）；
5. 氦净化系统氧化铜床对氚的氧化效率和分子筛床对氚的吸附效率；
6. 一回路冷却剂中以HT、CH3T和HTO化学形态存在的氚的比例。
7. 注意事项

（1）基于GB18871的相关规定，在放化分析实验室中开展一回路氚测量分析实验工作；

（2）在进行一回路氚取样、制样及测量过程中，应充分考虑工作人员的辐射防护，尤其注意氚的内照射，并在有通风的房间中进行实验；

（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氚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许可证的单位开展，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] | 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. |  |
| [5] | Xie F, Cao J, Feng X, *et al.*, Study of tritium in the primary loop of HTR-10: Experiment and theoretical calculations, *Progress in Nuclear Energy*, 105, 99-105, 2018. |  |
| [6] | Cao J, Zhang L, Xie F, *et al.*, Source term study on tritium in HTR-PM: Theoretical calculations and experimental design, *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2017, 3586723 (1-11), 2017. |  |
| [7] | Liu X, Peng W, Xie F, *et al.*, Summary of tritium source term study in 10 MW high temperature gas-cooled test reactor, *Fusion Science and Technology*, 76 (4), 513-525, 2020. |  |
| [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. |  |