

团 体 标 准

T/CNS 41—2020

高温气冷堆核动力厂仪表系统设计准则

Design criteria for the instrumentation system of high temperature
gas cooled reactor nuclear power plant

2020-12-31 发布

2021-04-01 实施

中 国 核 学 会 发 布

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。

本文件由中国核学会提出。

本文件由核工业标准化研究所归口。

本文件起草单位：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。

本文件主要起草人：孙艳飞、仲朔平、李铎、谢峰、李智慧、李文茜、张立国、余文生、任成。

高温气冷堆核动力厂仪表系统设计准则

1 范围

本文件规定了球床模块式高温气冷堆(简称“高温气冷堆”)核动力厂主要物理量仪表系统的设计准则和基本要求。

本文件适用于高温气冷堆核动力厂热工过程测量、核测量、辐射监测和燃耗测量仪表系统的设计。

2 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/T 5204 核电厂安全系统定期试验与监测
- GB/T 7163 核电厂安全系统的可靠性分析要求
- GB/T 9225 核电厂安全系统可靠性分析一般原则
- GB/T 12727 核电厂安全级电气设备鉴定
- GB 12789.1—1991 核反应堆仪表准则 第一部分:一般原则
- GB 12789.3 核反应堆仪表准则 第三部分:高温气冷反应堆
- GB/T 13284.1 核电厂安全系统 第1部分:设计准则
- GB/T 13286 核电厂安全级电气设备和电路独立性准则
- GB/T 13625 核电厂安全级电气设备抗震鉴定
- GB/T 17626 电磁兼容 试验和测量技术
- NB/T 20040 核电厂安全级电气设备抗震鉴定试验规则
- NB/T 20060 核电厂安全重要仪表和控制系统隔离准则
- NB/T 20065 核电厂安全重要传感器和变送器的安装和布置要求
- NB/T 20071 核电厂安全重要仪表和控制系统的供电要求
- NB/T 20237 核电厂安全重要仪表管线安装技术规程
- NB/T 20255 核电厂安全重要仪表管线设计准则

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 总体要求

4.1 设计目标

实现高温气冷堆核动力厂的热工过程参数、反应堆中子注量率参数、核燃料的燃耗参数、辐射监测参数的实时测量,并将满足要求的电信号送至相关系统。

4.2 设计原则

高温气冷堆核动力厂仪表系统设计应满足 GB 12789.1—1991 中第 3 章和 GB 12789.3 的要求。
高温气冷堆核动力厂仪表设备安全分级、质保分级和抗震类别划分应遵循如下原则。

4.2.1 执行安全功能的仪表

安全等级:安全级(1E 级);质保等级:QA1;抗震类别:抗震 I 类。

4.2.2 不执行安全功能的重要仪表

安全等级:非安全级(NS 级);质保等级:质保 3 级(QA3)或工业 QA 级(QAN);抗震类别:抗震 I 类。

4.2.3 非安全重要仪表

安全等级:非安全级(NS 级);质保等级:工业 QA 级(QAN);抗震类别:非核抗震类(NO)。

4.3 安全级(1E 级)仪表设计总体要求

4.3.1 独立性

不同通道的安全级仪表之间应满足 GB/T 13286 规定的独立性准则。

4.3.2 冗余

安全级仪表的设计中应使用冗余技术。高温气冷堆用于保护系统的仪表冗余数为 4,用于事故后监测的安全级仪表冗余数为 2。

互为冗余的仪表测量通道在必要时可以共用具有非能动结构的流量测量一次元件和传感器,例如二回路主给水流量测量的安全级节流装置。

4.3.3 故障安全准则

安全级仪表发生故障或失去动力源时,系统应趋于安全动作。

4.3.4 可更换性

安全级仪表应设计成可更换的。现场留有标定、检修和更换的足够空间。

4.3.5 电源要求

安全级仪表的供电应满足 NB/T 20071 的要求。

4.3.6 电磁兼容要求

安全级仪表电磁兼容性能应满足 GB/T 17626 的有关要求。

4.3.7 功能保证要求

安全级仪表功能保证的基本要求如下:

- 应制订清晰、完整、明确的技术规格书;
- 应符合 GB/T 13284.1 的要求,设计应力求简单,限制功能范围,不增加不必要的功能;
- 设计应尽量采用有可靠运行经验(在类似情况下使用过并有文件证明)的系统和设备。

4.3.8 可靠性保证要求

安全级仪表可靠性保证的基本要求如下:

- 在技术规格书中应规定对安全级仪表的可靠性要求,除另有规定之外,安全级仪表应满足单一故障准则,安全级仪表及其电缆应满足 NB/T 20060 规定的隔离准则,并能定期试验。
- 应根据 GB/T 7163 和 GB/T 9225 对安全级仪表进行可靠性分析。应考虑共因故障,当分析表明可靠性不能满足要求时,应考虑多样性。
- 安全级仪表安装和布置设计应满足 NB/T 20065 的要求。
- 安全级仪表管线设计应满足 NB/T 20255 和 NB/T 20237 的要求。

4.3.9 性能保证要求

对安全级仪表性能保证的基本要求如下:

- 应规定性能要求;
- 应制订质量保证(QA)大纲;
- 应考虑在运行期间的定期检验,试验的间隔时间应与估算的故障率相适应,一般每月一次到每年一次,在可接受的情况下试验的间隔时间也可与正常停堆的时间间隔一致。

4.3.10 耐环境能力保证要求

安全级仪表应按照 GB/T 12727 和 GB/T 13625 进行质量鉴定和抗震鉴定,抗震鉴定试验的试验项目、试验条件和有关要求应满足 NB/T 20040 的要求。

在仪表和控制系统内应采取例如屏蔽、特殊屏蔽电缆、信号电缆与动力电缆的实体隔离、滤波、光耦合和接地等措施。在仪表和控制系统预计易受到干扰损害的场合,应验证它们是否满足各项设计要求。

4.3.11 运行、试验和标定

安全级仪表的运行、试验和标定的基本要求如下:

- 应制订仪表的运行、试验和标定大纲,并按其实施。如果试验时间间隔短于核动力厂正常停堆的时间间隔,则应具有在功率运行时的试验能力。
- 周期性的校验、试验、标定鉴定应按 GB/T 5204 规定中有关仪表通道试验的部分进行。通常不必作响应时间的试验。
- 隔离装置的安装位置应允许在事故期间接近,以进行维护。

4.4 非安全级(NS级)仪表总体要求

4.4.1 选型要求

非安全级仪表基本选型要求如下:

- 非安全级仪表应优先选用核动力厂和常规工业领域已有成熟应用的测量仪表;
- 非安全级仪表输出的模拟量电信号宜采用标准 4 mA~20 mA 信号,不宜采用总线传输信号;
- 若非安全级仪表对抗震、耐辐照、耐环境能力有特殊要求,应进行相应的鉴定试验或分析论证。

4.4.2 信号传输要求

对于需要输出电信号的非安全级仪表,信号的传输路径应采取如屏蔽隔离、滤波、光耦合和接地等措施,以减少电气干扰。

4.4.3 安装要求

仪表及其信号管线的安装,应保证测量结果准确,安装位置应便于对仪表进行操作和维护。

4.4.4 试验和标定

非安全级仪表应定期校验、标定以保证仪表的测量功能和测量精度。

5 核测量仪表系统

5.1 系统功能

5.1.1 安全功能

向反应堆保护系统提供核功率和核功率变化率信号,用于反应堆功率保护、周期保护(具体的保护监测变量需要根据事故安全分析结果确定);向事故后监测系统提供核功率信号,用于事故后监测显示。

5.1.2 运行功能

实现反应堆全工况的核功率测量与显示,向运行人员提供核功率及周期信息;经报警系统向主控制室提供核功率及周期超限报警信号;向功率调节系统提供核功率信号。

5.2 安全分级

测量仪表的安全分级如下:

a) 执行安全功能

安全等级:安全级(1E级);质保等级:QA1;抗震类别:抗震Ⅰ类。

b) 执行运行功能

安全等级:非安全级(NS级);质保等级:QA3;抗震类别:非核抗震类(NO)。

5.3 设计原则

测量仪表系统的设计原则如下:

- 应设置中子注量率测量仪表,以直接测量反应堆的核功率水平;
- 中子注量率测量系统应有足够宽的测量范围,允许用不同类型的测量手段相互衔接覆盖全量程范围,各区段之间至少搭接一个量级;
- 应设置测量仪表,测量低功率段中子注量率的变化率或直接给出反应性指示;
- 应考虑长期高功率运行后,停堆状态下裂变产物蜕变对中子注量率测量的影响;
- 中子探测器的位置选择至少应满足测量系统灵敏度的最低要求,并最大限度提高源水平下的读数。冷停堆状态下中子注量率显示应满足安全启动最低限值;
- 安全功能(保护、事故后监测)和运行功能(控制、显示)可共用中子注量率测量通道,应可靠隔离;
- 安全级测量通道的冗余度应满足反应堆保护系统和事故后监测系统对通道的冗余度要求;
- 仅用于运行目的(控制、显示)的中子注量率测量通道及其所属设备属于非安全级(NS级),但考虑所有核测量中子探测器和测量仪器的一致性,统一按1E级要求;
- 中子探测器组件应能承受所处的环境条件,并应考虑足够长的使用寿命;
- 核测量仪器应有在线自检和定期检验的手段。

5.4 系统组成及要求

5.4.1 中子探测器

5.4.1.1 中子探测器要求

中子探测器的基本要求如下:

- 应具有满足运行要求的测量特性;
- 应考虑长期辐照条件下,中子吸收材料的燃耗作用,提高探测器的使用寿命,尽量避免在反应堆的有效运行期间性能下降;

- 应考虑探测器的结构材料能耐高温和辐照水平,尤其要保持高温高辐照下绝缘子的电绝缘性能;
- 为事故后监测提供测量信号的探测器应能承受事故后可能出现的环境;
- 探测器结构材料的激发放射性活度应尽量小,以免干扰测量、增加维修和退役困难;
- 探测器孔道应设置探测器悬挂屏蔽装置,该装置除支撑探测器外还应有生物屏蔽功能;
- 连接探测器的信号电缆,应是低噪声及耐辐照的高频电缆,并应有足够的工作寿命;
- 通常应设置备用安装孔道及备用探测器。

5.4.1.2 探测器安装位置要求

探测器安装位置的要求如下:

- a) 探测器的安装位置要求能得到与反应堆裂变率成正比的中子注量率,以使堆功率与所测中子注量率之比,在反应堆运行功率范围内,线性度变化最小。还要考虑中子注量率空间分布畸变带来的测量误差不得超过允许值。
- b) 探测器安装位置应考虑堆芯结构及中子源位置与强度等因素,以保证冷停堆状态下系统的计数率具有足够的信噪比,反应堆启动过程中随着反应性的引入中子计数率有增长;且在有效增殖系数(K_{eff})大约为 0.99 时,反应堆裂变中子份额 $\geq 95\%$ 。
- c) 探测器安装位置的中子注量率变化范围在反应堆正常运行时不应超过探测器的额定测量范围,在反应堆事故状态下不应超过其极限值。
- d) 要注意探测器安装位置 γ 射线的影响。低中子注量率水平下, γ 最大剂量率在探测器脉冲工况下总信号中所占的比例不超过 20%。对功率通道的探测器而言,在低功率运行时, γ 的直流贡献不得超过限值。
- e) 同一功用、相同性能、属于同一子系统内的探测器,应尽可能按极坐标对称的原则布置在反应堆周围。
- f) 应考虑机械安装和维修的可达性。
- g) 移动和固定探测器的提升机构,应工作可靠、便于检修。

5.4.2 中子源

可以利用中子源提高反应堆停闭状态下中子注量率的监测水平,以满足 5.4.1.2 b) 的要求。

5.4.3 中子注量率测量仪器

5.4.3.1 中子注量率测量仪器完成下列功能:

- 向保护系统提供核功率测量信号,用于反应堆功率保护、事故后监测显示;
- 向 DCS 系统输出脉冲计数率、核功率及周期信号,由 DCS 系统实现显示、报警和功率控制功能;
- 用数字功率表在控制室直接(不经 DCS 系统)提供功率显示。

5.4.3.2 中子注量率测量仪器按其测量原理分为如下几种类型,测量仪器根据需要可选用其中几种或全部:

- 脉冲计数装置;
- 线性电流测量装置;
- 对数电流测量装置;
- 方差法(或均方法)或脉冲方差组合测量装置。

5.4.3.3 中子注量率测量仪器的刻度:

- 利用中子测量仪器指示核功率水平,应根据热平衡时的热功率数刻度测量仪器的核功率值,刻度应在氩中毒达平衡状态下完成;
- 测量仪器更换基本功能单元或插件,不得影响刻度性能,在给定电源电压情况下,对不同的中

子探测器要特别注意其灵敏度差异。

5.4.3.4 执行安全功能的仪器应满足安全级仪表的设计要求。

5.4.3.5 测量仪器本身发生故障时应能发出报警信号。

5.4.3.6 测量仪器应能够进行在线自检和定期检验,检验设备属于核测量系统的一个组成部分。

6 热工过程测量系统

6.1 系统功能

6.1.1 安全功能

向反应堆保护系统提供属于反应堆保护参数的热工过程参数信号,用于反应堆保护;向事故后监测系统提供属于事故后监测参数的热工过程参数信号,用于事故后监测显示。

6.1.2 运行功能

实现反应堆及各工艺系统过程参数的测量,实现过程参数就地显示和/或将测量结果转换为电信号传送给控制系统,向运行人员提供反应堆及各工艺系统过程参数信息。

6.2 安全分级

热工过程测量系统的仪表安全分级、质保等级和抗震类别按 4.2 设计原则确定。

6.3 设计原则

热工过程测量系统的安全级(1E 级)仪表设计原则按 4.2 执行,并满足 4.3 要求。

热工过程测量系统的非安全级(NS 级)仪表设计原则按 4.2 执行,并满足 4.4 要求。

6.4 系统组成及要求

6.4.1 反应堆温度测量

6.4.1.1 一般原则

反应堆温度测量应满足下列原则:

- 宜采用常规的温度测量方法,但在某些情况下,应考虑高温、辐照引起物理和化学性能变化;
- 应有足够的温度测点,保证数据获取的可靠性,维持反应堆的有效监测;
- 在温度探测器和测量装置不可更换的地方,应装入足够数量的备件;
- 温度测量元件应能承受可能遇到的最高温度,测量装置应在正常运行范围内刻度;
- 用于反应堆保护的信号,测点尽可能保持独立,如与其他系统共用,应可靠地隔离,还应考虑故障安全和防止引发误动作。

6.4.1.2 反应堆冷却剂温度测量

高温气冷堆的入口和出口冷却剂温度可在蒸汽发生器出口和入口处测量,作为保护系统的监测变量,也可用于控制系统控制冷却剂的流量。温度指示与实际温度之间因时延而引起的瞬态误差,应在允许范围之内。

6.4.1.3 反应堆压力容器温度测量

为保证高温气冷堆的反应堆压力容器、热气管壳、蒸汽发生器壳体工作在可接受的温度以下,应设置探测压力容器温度的手段,重要测点提供的温度为事故后监测变量。

6.4.1.4 反应堆堆内构件温度测量

为监测高温气冷堆的堆内构件的工作温度,可在堆内构件的不同位置设置温度测点。

6.4.2 反应堆冷却剂测量

6.4.2.1 一般原则

反应堆冷却剂测量应满足下列原则:

- 高温气冷堆一回路冷却剂的流量、压力、湿度为保护参数,应直接监测,当直接测量无法实现时允许推算;
- 宜对高温气冷堆一回路冷却剂的纯度进行监测;
- 测量仪表应具有满足运行要求的测量特性;
- 用于反应堆保护的冷却剂状态参数的测量仪表,应满足 4.3 的要求,还应考虑故障安全和防止引发误动作;
- 为事故后监测提供测量信号的仪表应能承受事故后可能出现的环境。

6.4.2.2 冷却剂流量测量

冷却剂流量测量应满足以下原则:

- 高温气冷堆一回路冷却剂流量为保护参数,当一回路流量超过整定值时,应触发紧急停堆。流量测量信号也可用于控制系统,如与保护系统共用,应可靠地隔离。
- 冷却剂流量测量也可间接实现,例如,测量主氦风机的转速和扬程,或风挡的开度。推算用风机转速、扬程或风挡开度等参数的测量设备及供电均需满足 4.3 要求。

6.4.2.3 冷却剂压力测量

冷却剂压力测量应满足下列原则:

- 高温气冷堆的一回路冷却剂压力为保护参数和事故后监测参数,以保证高温气冷堆在所有运行条件下有足够的冷却剂质量流量,并维持冷却剂压力在设计范围内。在一回路冷却剂压力过高和压力过低时应触发紧急停堆和相关的保护动作。
- 高温气冷堆还应监测一回路冷却剂压力变化率。

6.4.2.4 冷却剂湿度测量

高温气冷堆的一回路冷却剂湿度为保护参数,用来探测蒸汽发生器的泄漏,以防止蒸汽从破损的蒸汽发生器漏进一回路冷却剂时对高温下的石墨堆芯产生不可接受的损坏。在一回路冷却剂湿度过高时应触发紧急停堆和相关的保护动作。

6.4.2.5 冷却剂纯度测量

为确定冷却剂与反应堆其余物质间的化学反应状态,高温气冷堆宜监测一回路冷却剂纯度。一回路冷却剂纯度的分析,也可给出一回路和二回路间泄漏的指示。

6.4.3 其他工艺过程参数测量

其他工艺系统的过程参数包括温度、压力、流量、液位等,这些参数的测量原则应满足 6.3 的要求。

7 辐射监测系统

7.1 系统功能

为确保高温气冷堆的安全运行,保护工作人员健康,防止放射性物质外泄,保护环境,保障公众的安全,应设置辐射监测系统。

7.1.1 安全功能

为保证主控室可居留性,辐射监测系统对主控室新风口放射性浓度进行监测并发出放射性高报警信号,用于事故通风切换。

7.1.2 运行功能

除上述安全功能外,执行区域辐射监测、工艺辐射监测、放射性流出物监测、环境监测、卫生通道及工作人员的个人剂量监测以及与这些监测相关的实验室测量的功能。

7.2 安全分级

7.2.1 执行安全功能

安全等级:安全级(1E级);质保等级:QA1;抗震类别:抗震I类。

7.2.2 执行运行功能

安全等级:非安全级(NS级);质保等级与抗震类别可与相连接的系统分析确定。

7.3 设计原则

7.3.1 一般原则

应配置设备以保证在反应堆运行状态和设计基准事故下以及尽实际可能的在严重事故下有适当的辐射监测。其具体要求如下:

- 在运行人员常驻之处以及在正常运行或预计运行事件期间由于辐射水平的变化可能,应在一定时间内限制进入的场所,应设置固定式剂量率仪表进行就地的辐射剂量率监测。此外,应在适当的地点安装固定式剂量率仪表,用以指示在设计基准事故和尽实际可能的在严重事故下总的辐射水平;这些仪表应向控制室或有关控制点提供足够的信息,以便运行人员及时采取必要的纠正措施。
- 在人员常驻之处及气载放射性水平可能高至要求防护措施的场所,应设置监测系统测量空气中放射性物质的活度浓度。测得高活度浓度核素时,这些系统应向控制室或其他的相应控制点发出指示和声光报警。
- 应设置固定式设备和实验室装置,以便在反应堆运行状态或事故工况下及时测定流体处理系统中取自核动力厂系统或空间的气体或液体样品中所选定的放射性核素的活度浓度。
- 应设置固定式设备,以便监测向环境排放前或排放过程中放射性排出流的活度浓度。
- 应设置用于测量放射性表面污染的仪器。
- 应设置用于测量人员所受剂量和污染的装置。

7.3.2 其他放射性影响途径的监测考虑

除了在核动力厂内进行监测外,还应为确定核动力厂对邻近地区可能产生的任何放射性影响作出

安排。如：

- 包括食物链在内可能影响到居民的各类途径；
- 对当地生态系统的放射性影响(如果有的话)；
- 放射性物质在实体环境中可能的积聚；
- 任何可能的未经批准的排放途径。

7.4 系统组成及要求

7.4.1 系统组成

辐射监测系统由下列各部分组成：

- 该系统包括区域辐射监测、工艺辐射监测、放射性流出物监测、环境监测、卫生通道及工作人员的个人剂量监测以及与这些监测相关的实验室测量等设备系统。
- 为及时发现高温气冷堆反应堆及其辅助系统可能发生的辐射事件,保证高温气冷堆反应堆的正常运行和工作人员的辐射安全,设置区域辐射监测。区域辐射监测包括固定式区域 γ 辐射测量;便携式 γ 辐射剂量测量;便携式中子当量剂量率测量;便携式 α 、 β 表面沾污测量;一些重要工艺间气体放射性活度浓度测量;以及一些重要工艺间气体氦和碳-14活度浓度取样测量。
- 工艺辐射监测包括一回路氦冷却剂放射性 γ 活度浓度监测;氦净化系统净化处理后的氦冷却剂放射性 γ 活度浓度监测;一回路氦冷却剂气体放射性 β 活度浓度测量;氦净化系统净化处理后的氦冷却剂放射性 β 活度浓度测量;废气贮存罐排放前的气体放射性 β 活度浓度测量;反应堆舱室气体 β 活度浓度测量;氦净化系统舱室气体 β 活度浓度测量;液体废物处理系统蒸发处理工艺放射性监测,废水池(罐)贮水的放射性监测;氦辅助系统的排水系统、设备冷却水系统、蒸汽发生器事故排放系统、余热排出系统、反应堆压力壳支承冷却系统、水/汽回路等工艺系统中产生或用水的放射性监测;固体废物处理系统工艺辐射监测。
- 放射性流出物监测包括气载放射性流出物监测和液态放射性流出物监测。气载放射性流出物主要来自反应堆舱室及各工艺房间的通风系统、一回路抽真空系统、燃料装卸设备的气体抽真空系统所抽出的气体及放射性废气贮罐的放射性气体经衰变后的释放。为保护环境,保障公众的安全,应对排放气体进行放射性浓度的监测,并记录年总排放量。事故状态时,监测系统还应发出相应的声、光报警,提示值班人员,以采取措施,防止过量放射性物质外泄。另外,高温气冷堆运行时,产生的放射性废液很少,废水处理排放前应先取样测量其活度浓度,并在排放过程中进行放射性活度浓度的在线监测。
- 正常运行工况下,环境监测的主要目的是提供充分的数据,来证明高温气冷堆周围的环境符合环境质量标准;并通过环境监测,对高温气冷堆运行对周围居民产生的照射上限值作出估计;而且在长期环境监测的基础上,也能监测反映出事故的发生。环境监测包括空气放射性气溶胶总 β 与 γ 核素浓度监测、环境 γ 辐射监测、水监测、土壤监测以及植物(农产品)监测。
- 卫生通道闸门及工作人员的个人剂量监测则通过监测工作人员所受到的个人剂量及放射性剂量率,对工作人员可能受到的辐射照射进行有效的控制,保障工作人员的健康。

7.4.2 辐射监测布点和仪表设置原则

辐射监测系统测量点的布置和仪表设置满足下列原则：

- 经常有人活动并存在辐射的场所,在有代表性或典型地点,设置固定式仪表就地报警及远距离监测点。
- 限定工作区和特许工作区不设固定式仪表,采用便携式或移动式仪表进行监测。
- 所有卫生闸门间应设置表面污染监测仪,工作场所的表面污染用便携式仪表进行测量。

- 有可能被气载放射性物质污染的场所,应进行气载放射性的监测。工作人员经常活动的场所设置固定式连续或定期取样监测,其余场所采用便携式或移动式仪表临时取样监测。
- 气载放射性流出物集中排放口进行连续或定期取样监测。
- 废水排放槽在排放前应取样监测。
- 对可能受到高能或中子照射的工作人员,应提供个人剂量计。应对电厂工作人员定期进行照射监测。个人监测结果要记录、存档。工作人员离开被放射性污染的工作场所时,应进行身体表面放射性污染检查。
- 应对下列系统进行连续的或定期取样监测:
 - 二回路泄漏水在排放前进行氡监测;
 - 运行部件冷却系统、安全级冷却系统,要进行定期取样监测;
 - 氮净化系统的出口和入口进行取样监测;
 - 废气贮存罐在排空前要进行测量,当放射性浓度达到规定值,才能进行排放;
 - 对于安全壳排风道的气载放射性,应进行惰性气体 β 连续监测,以及气溶胶和碘的取样监测;对于可能发生一回路氦气泄露的重要工艺设备间,应进行间歇式惰性气体 β 监测,并预留适当的气溶胶和碘的取样口;
 - 对于乏燃料球流管道的气载放射性,应进行惰性气体 β 连续监测;对于乏燃料各个贮存区,应依据贮存区所存放的乏燃料的剩余放射性强度,进行连续或间歇式的惰性气体 β 监测,并预留适当的惰性气体、气溶胶、碘的取样口。

8 燃耗测量系统

8.1 系统功能

燃耗测量系统要实现如下两项基本功能:

- a) 鉴别石墨球和燃料球;
- b) 测量燃料球的燃耗值,识别乏燃料球,以满足高温气冷堆的安全和经济地运行。

8.2 安全分级

燃耗测量系统的仪器和设备属非安全级(NS级)。

8.3 设计原则

8.3.1 测量对象的选择原则

高温气冷堆的燃耗测量采用测量燃料球中的裂变产物含量进而估算燃耗的方法。根据测量要求,选择可标识燃耗的产物应遵循如下准则:

- 中子俘获截面低;
- 相当长的半衰期;
- 放出较高能量的特征的 γ 射线,且容易与其他 γ 分开;
- 在燃料元件内有低的迁徙率。

8.3.2 燃耗测量设计基本要求

燃耗测量系统与燃料装卸系统相结合,通过数据的接受和处理使燃耗测量过程实现自动化,具体测量要求如下:

- 可以在线测量和就地刻度;

- 由测量到的放射性量可以直接确定燃耗值；
- 测量时不要破坏燃料球；
- 燃耗深度的测量范围为 10 GWd/tU~100 GWd/tU；
- 对于达到卸料燃耗整定值的燃料球,燃耗测量误差要保证燃料球不超过燃耗限值,且一般应在 $\pm 5\%$ 以内；
- 测量结果要及时反馈到燃料装卸系统和反应堆控制系统；
- 石墨球和燃料球的误判率分别小于 10^{-4} 和 10^{-3} ；
- 应与燃料装卸系统协调系统配置,以保证反应堆运行所需的单日所需处理能力；
- 定期进行效率校检。

8.4 系统组成及要求

8.4.1 系统构成

燃耗测量系统主要部件包括：

- 高纯锗(HPGe) γ 谱仪系统；
- 刻度源贮存与提升装置；
- 燃料球定位和控制系统(通常集成在燃料装卸系统中)；
- 探头屏蔽铅室及支架；
- 准直系统(含准直器及支撑)；
- 数据的接受、处理及终端接口。

8.4.2 运行模式

在该燃耗定量测量前进行筛选测量,设置适当的探测率阈值,把石墨球或低燃耗球先行排出系统。对于高燃耗燃料球,要及时和准确地对其进行非破坏性燃耗测量,根据测量到的放射性量直接确定燃耗值。应在筛选模式和定值模式间平衡测量时间。

燃耗测量采用高纯锗探测器(或灵敏度、分辨率和探测效率优于高纯锗探测器的其他探测器)。高纯锗探测器的分辨率对于 ^{137}Cs 源的 662 keV γ 射线的半高宽窄于 2 keV。为了减少燃耗测量系统所在舱室的辐射本底和燃料球中其他放射性裂变产物的干扰,燃耗测量系统须配有限束的准直器和降低本底的屏蔽。

为了保证测量的准确性,燃耗测量系统与燃料装卸系统需配合以使得每个待测球在冷热态下均在有效探测范围内。

燃耗测量结果信息应及时有效反馈给控制系统。

8.4.3 技术参数

燃耗测量系统的技术参数如下：

- HPGe 晶体探测效率 $\geq 30\%$ ；
 - 能量分辨率 ≤ 1.8 keV(1 332 keV)；
 - 最大通过率 ≥ 100 kcps；
 - 道址漂移 < 1 道 24 h。
-

中国核学会
团体标准
高温气冷堆核动力厂仪表系统设计准则
T/CNS 41—2020

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

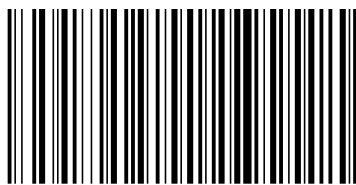
*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 27 千字
2021年8月第一版 2021年8月第一次印刷

*

书号: 155066·5-3451 定价 18.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



T/CNS 41—2020



码上扫一扫 正版服务到