

团 体 标 准

T/CNS 60—2022

高温气冷堆核动力厂反应堆首次装料及 初始临界试验

Reactor first loading and initial criticality test in high temperature gas cooled
reactor nuclear power plants

2022 – 12 – 16 发布

2023 – 04 – 01 实施

中国核学会 发 布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号和缩略语	1
5 试验目的	1
6 专用试验设备	1
7 专门预防措施	2
8 试验先决条件	2
9 试验初始条件	2
10 试验步骤	3
11 验收准则	4

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：华能山东石岛湾核电有限公司、清华大学、华能核能技术研究院有限公司、核工业标准化研究所。

本文件主要起草人：王栋栋、李志容、罗勇、李海穹、贺启超、丰星、刘福成、于福鑫、刘峰峰、孙福瑞、黄健、贾晶晶、郝晓雨、李晗。

高温气冷堆核动力厂反应堆首次装料及初始临界试验

1 范围

本文件描述了高温气冷堆核动力厂在调试试验阶段反应堆首次装料及初始临界试验的专门预防措施、先决条件、初始条件、试验步骤及验收准则等。

本文件适用于球床式高温气冷堆核动力厂反应堆首次装料及初始临界试验。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

堆外核测量系统 ex-core nuclear instrumentation system

设置在反应堆压力容器外的中子探测装置，根据测量量程可分为源量程通道、中间量程通道和功率量程通道。

3.2

物理启动系统 physical startup system

在反应堆首次装料和趋近临界时监测反应堆内中子水平的临时系统，由中子计数管、物理启动装置、操作机柜和连接电缆等组成。

3.3

混合燃料 mixed fuel

指的是燃料元件和石墨球以特定比例组成的混合球。

3.4

初始满装载 initial full charge

空气气氛下堆芯混合燃料目标装载数量。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

k_{eff} ：新生一代的中子数和产生它的直属上一代中子数之比。

DCS：分布式控制系统（Distributed Control System）。

5 试验目的

取得控制棒全部提出堆芯时的净堆临界混合燃料装载量，获得堆芯达到初始满装载高度时的控制棒临界棒位。

6 专用试验设备

除核动力厂常设设备、仪表外，本试验需配备以下专用设备或者同类功能的设备：

- a) 物理启动系统；
- b) 计时装置。

7 专门预防措施

- 7.1 初始状态下,反射层中的物理启动用中子计数管在中子源条件下,计数率大于等于 2 cps,信噪比大于 2。
- 7.2 每次外推燃料装载量完成后,应待物理启动用中子计数管计数率稳定后方可进行正式计数。
- 7.3 每次外推计数至少 3 次,选择合适的定标时间,确保每次累积计数大于 100。
- 7.4 外推临界过程中,当中子计数管读数临近量程上限时,需要上提中子计数管,使计数率降低 1 个数量级以上,但每次外推只允许移动一个中子计数管,同时记录移动前后中子计数管的计数率和位置信息。
- 7.5 在装料过程中,若需要拆除堆芯缓冲装料装置缓冲管段,应暂停装料,关闭气力提升气源,同时记录拆除前后中子计数管的计数率。
- 7.6 为保证操作人员的安全,在移动中子计数管和拆除堆芯缓冲装料装置缓冲管段之前,应将一根控制棒下插至石墨球层高度以下,确认中子计数管和堆芯缓冲装料装置缓冲管段操作完成且人员撤离之后,再提升插入的控制棒。
- 7.7 当至少两个中子计数管外推反应堆 $k_{\text{eff}} \geq 0.998$ 时,方准许向临界或超临界过渡。
- 7.8 在反应堆向临界或超临界过渡的过程中,当中子计数管读数接近量程上限时,需要将物理启动系统相应中子计数管电源关闭,之后通过源量程探测器进行中子测量。
- 7.9 在试验过程中若出现下列情况之一时,应停止装料或停止提棒并下插控制棒确保反应堆次临界度大于等于 1000 PCM,待查明原因且恢复正常后方可继续进行试验:
- a) 计数率异常上升,即外推过程中任何 1 个中子计数管通道计数率突增 5 倍以上,或 3 个中子计数管通道计数率突增 2 倍以上;
 - b) 有 2 个中子计数管通道工作不正常或物理启动系统故障;
 - c) 控制棒系统运行异常;
 - d) 反应堆倍增周期小于 30 s;
 - e) 保护系统和 DCS 系统故障;
 - f) 试验过程中试验情况与预期发生明显偏离。
- 7.10 试验过程中当记录中子计数管中子计数率时,同时记录源量程中子计数率。
- 7.11 在多根控制棒提升的操作步骤中,反应堆操作员需尽量将控制棒对称提出至指定位置,避免反应堆出现大的径向中子通量密度倾斜。
- 7.12 停止装料 2 h 以上时,应下插一根控制棒至石墨球层高度以下。
- 7.13 装料过程中密切关注中子计数管和源量程中子计数变化情况,每装入 1000 个混合燃料时记录混合燃料装载量、中子计数管计数率和源量程计数率。

8 试验先决条件

- 8.1 燃料元件和石墨球数量满足需求并存放就位。
- 8.2 压力容器顶盖安装完毕。
- 8.3 堆芯缓冲装料装置安装完毕且工作正常。
- 8.4 中子源安装完毕。
- 8.5 堆芯底部已装入规定数量的石墨球。
- 8.6 物理启动系统中子计数管安装完毕,系统工作正常。
- 8.7 已采取措施保证燃料元件的转运安全,并对装料区清洁度和人员进行控制。
- 8.8 装料及反应堆运行安全所必须的各系统工作正常。
- 8.9 装料、物理外推现场与主控制室通讯正常。

9 试验初始条件

- 9.1 所有吸收球均位于堆芯上部贮球罐内。

- 9.2 所有控制棒均处于上限位。
- 9.3 堆芯处于常压，空气气氛。
- 9.4 反应堆堆芯温度低于 100℃。

10 试验步骤

10.1 首次装料临界

- 10.1.1 投入物理启动系统，并将参数调整至合理范围。
- 10.1.2 记录中子计数管计数率、反应堆堆芯温度。
- 10.1.3 向堆芯装入理论临界装载量 1/3 的混合燃料。
- 10.1.4 待本次所有混合燃料装入堆芯且中子计数管计数稳定后，记录混合燃料装载量及中子计数管计数率。
- 10.1.5 向堆芯装入理论临界装载量与当前混合燃料装载量差值 1/3 的混合燃料。
- 10.1.6 待本次所有混合燃料装入堆芯且中子计数管计数稳定后，记录混合燃料装载量及中子计数管计数率。
- 10.1.7 根据每个中子计数管的计数率计算外推临界装载量，取理论临界装载量和外推临界装载量的最小值与当前混合燃料装载量差值的 1/3 作为下一步的装载量。
- 10.1.8 待本次所有混合燃料装入堆芯且中子计数管计数稳定后，记录混合燃料装载量及中子计数管计数率。
- 10.1.9 根据每个中子计数管的计数率计算外推临界装载量，取外推临界装载量最小值与当前混合燃料装载量差值的 1/3 作为下一步的装载量。
- 10.1.10 待本次所有混合燃料装入堆芯且中子计数管计数稳定后，记录混合燃料装载量及中子计数管计数率。
- 10.1.11 重复步骤 10.1.9~10.1.10，直到至少 2 个中子计数管外推反应堆 $k_{\text{eff}} \geq 0.998$ 时，可以向临界或超临界过渡。
- 10.1.12 向临界或者超临界过渡
- 10.1.12.1 下插 1 根控制棒至石墨球层高度以下。
- 10.1.12.2 继续装入混合燃料至上一次最小外推临界装载量外加反应性约 100 PCM 对应的混合燃料，装料过程中密切关注中子计数管和源量程中子计数变化情况。
- 10.1.12.3 待本次所有混合燃料装入堆芯后，逐步提起下插至石墨球层高度以下的控制棒，提棒过程中密切关注中子计数管和源量程中子计数变化情况。当反应堆出现稳定的倍增周期时，停止提棒，使反应堆处于超临界状态。
- 10.1.12.4 记录以下数据：混合燃料累计装载量、反应堆倍增周期、下插控制棒的棒位。
- 10.1.12.5 当源量程计数率上升到一定水平时，调节控制棒棒位使源量程计数率趋于稳定，宣布反应堆达到临界状态。
- 10.1.12.6 记录控制棒临界棒位及源量程计数率，然后将一根控制棒下插至石墨球层高度以下。
- 10.1.13 记录侧反射层各测点温度，计算侧反射层平均温度。

10.2 初始满装载提棒达临界

- 10.2.1 依次下插所有调节棒和补偿棒至下限位。
- 10.2.2 确认所有安全棒处于堆芯顶部。
- 10.2.3 确认所有吸收球在堆芯顶部贮球罐内。
- 10.2.4 记录混合燃料装载量及中子计数管计数率。
- 10.2.5 按照初始满装载量与当前混合燃料装载量差值的 1/3，向堆芯装入混合燃料。
- 10.2.6 待本次所有混合燃料装入堆芯且中子计数管计数稳定后，记录混合燃料装载量及中子计数管计数率。
- 10.2.7 根据每个中子计数管的计数率计算外推临界装载量，取外推临界装载量与当前混合燃料装载量

差值的 1/3 和初始满装载量与当前混合燃料装载量差值的最小值作为下一步的装载量。

10.2.8 待本次所有混合燃料装入堆芯且中子计数管计数稳定后,记录混合燃料装载量及中子计数管计数率。

10.2.9 重复步骤 10.2.7~10.2.8,直至达到初始满装载。

10.2.10 提升所有调节棒和补偿棒至石墨球层高度,待中子计数管计数稳定后,记录各控制棒棒位及中子计数管计数率。

10.2.11 将所有调节棒和补偿棒上提 200 mm,待中子计数管计数稳定后,记录各控制棒棒位及中子计数管计数率。

10.2.12 根据每个中子计数管的计数率计算外推临界棒位,取外推临界棒位与当前平均棒位差值的 1/3 和 200 mm 中的最小值确定下一步的提棒高度,进一步确定下一步提棒目标棒位。

10.2.13 提升所有调节棒和补偿棒至上一步确定的目标棒位,待中子计数管计数稳定后,记录各控制棒棒位及中子计数管计数率。

10.2.14 重复步骤 10.2.12~10.2.13,直到至少 2 个中子计数管外推反应堆 $k_{\text{eff}} \geq 0.998$ 时,可以向临界或超临界过渡。

10.2.15 将调节棒和补偿棒依次逐根缓慢提升,单根棒单次引入反应性小于等于 50 PCM,提棒过程中密切关注中子计数管和源量程中子计数变化情况。当反应堆出现稳定的倍增周期时,停止提棒,使反应堆处于超临界状态。

10.2.16 记录调节棒和补偿棒棒位以及反应堆倍增周期。

10.2.17 当源量程计数率上升到一定水平时,调节控制棒棒位使源量程计数率趋于稳定,宣布反应堆达到临界状态。

10.2.18 记录控制棒临界棒位及源量程计数率,然后将一根控制棒下插至石墨球层高度以下。

10.2.19 记录侧反射层各测点温度。

10.2.20 依次下插所有调节棒和补偿棒至下限位。

10.2.21 关闭物理启动系统。

11 验收准则

11.1 通过装入混合燃料实现堆芯临界,给出堆芯临界时的混合燃料装载量。

11.2 堆芯装料达到初始满装载堆芯高度时,通过提升控制棒实现临界,给出临界状态控制棒棒位。