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/CNSXXXXX—2025 |

高温气冷堆核动力厂

控制棒功率控制系统设计要求

**The design requirements for the control rod power control system in a high temperature gas cooled reactor nuclear power plant**

|  |
| --- |
| （征求意见稿） |
| 本稿完成日期：2025年7月 |

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX–XX 实施

中国核学会   发布

中国核学会团体标准

T/CNS

 目  次

[前  言 II](#_Toc24323)

[高温气冷堆核动力厂控制棒功率控制系统设计要求 1](#_Toc25638)

[1 范围 1](#_Toc17930)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc23206)

[3 术语和定义 1](#_Toc876)

[4 总体要求 1](#_Toc21750)

5[设备要求 3](#_Toc15798)

[6 设计要求 3](#_Toc307)

[7 自动调节设计要求 4](#_Toc21106)

[8 安全要求 5](#_Toc6414)

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：冯俊婷、黄晓津。

高温气冷堆核动力厂控制棒功率控制系统设计要求

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）核动力厂控制棒核功率控制系统设计要求，包括系统功能、设计基准和设备要求。

本文件适用于高温气冷堆核动力厂控制棒核功率控制系统设计要求。

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的应用是必不可少的条款。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。

HAF102—2016 核动力厂设计安全规定

HAD102/10-2021核动力厂仪表和控制系统设计

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文。

**3.1**

**控制棒系统 control rod system**

为实现反应性控制，驱动中子吸收材料制成的控制棒在其孔道内竖直方向运动和保持的系统。

包括控制棒驱动机构、控制棒、及其相关仪控设备。

**3.2**

**控制系统 control system**

控制系统是一种能够对物理过程或装置进行自动控制的系统。通过传感器、控制器和执行机构协同工作，实现对被控对象进行精准调节。

**3.3**

**核功率控制 nuclear power control**

在核反应堆运行过程中，通过调节堆芯中的中子通量，以维持或调整反应堆的功率水平。

1. 总体要求
   1. 系统功能
      1. 控制棒核功率控制系统执行下列基本功能：
2. 安全联锁：设置各种安全联锁条件，确保手动或自动控制棒操作的安全。
3. 控制棒手动操作：按照手动操作指令产生控制信号，使控制棒提升或下插，实现反应堆的启动、功率运行、功率转换和正常停闭。
4. 功率自动调节：单堆额定功率范围内，可以自动完成不同功率水平的转换。
5. 控制方式切换：手动实现手动／自动控制方式的选择与切换。
6. 功率控制操作终端：在主控室设置一台操作终端，当DCS操作员站人机界面失效后，可使用操作终端操作控制棒。
7. 棒位计算及监督：根据棒位测量信号计算棒位，并将每根控制棒的实际棒位与预期棒位进行比较，监督控制棒驱动机构及棒位测量系统的工作是否正常。
8. 信息显示：将监测的控制棒棒位、核功率及功率控制系统的状态等信息经通讯网络发送到主控制室进行显示。
   * 1. 非正常情况下完成以下功能
9. 紧急停堆后降补偿棒功能。
10. 控制棒故障处理功能。
    1. 安全级别

本系统为非安全级（NS级），质保等级NC+，抗震类别为常规抗震类。

* 1. 设计基准

1. 满足反应堆在启动、功率运行、功率转换和正常停闭工况下控制棒有关的功率控制功能要求。
2. 设置必要的控制安全联锁，确保在手动和自动运行方式下控制棒操作的安全。只有在规定的允许条件全部满足时，功率控制系统才可以处于工作状态。只有在规定的自动投入条件全部满足时，才允许投入并处于自动调节状态。
3. 保护系统被触发时应提供联锁信号，抑制控制棒核功率控制系统的不安全动作。
4. 核功率控制系统与反应堆保护系统保持独立，保证在任何情况下，核功率控制系统的故障或错误动作都不会影响保护系统执行预期的安全功能。安全系统的任何故障也不会使核功率控制系统产生导致反应性增加的动作。
5. 核功率控制系统输入变量的测量仪表尽可能独立设置，必须与保护系统共用时，采取可靠的隔离措施，隔离装置作为保护系统的一部分，按照保护系统的要求进行设计。
6. 备用停堆点被触发时，停止提棒操作。
7. 限制连续过多、过快提升控制棒，避免两根或多根控制棒同时提升，以防止反应堆功率过快增长事故。
8. 在网络失效的情况下，核功率控制系统仍能操作控制棒进行核功率的维持。
9. 设备要求
10. **控制棒核功率控制系统设备采用标准工业控制器配置成机柜**

核功率控制系统设备全部采用与全厂分布式控制系统（简称DCS系统）中的过程控制站相同的设备，以方便安装、调试和维护，减少备品备件。

1. **配置冗余要求**

为提高核功率控制系统的可靠性，控制棒核功率控制系统设备均实现内部冗余，应配置冗余的CPU模块和冗余的网络通讯模块，并采用冗余电源供电。

1. **通过软件编程实现监测、逻辑控制和调节算法**。
2. 设计要求

除了必须满足核动力厂仪表和控制系统设计基础外，还应满足如下的设计要求：

1. **功能要求**
2. 提供控制棒手动操作和功率自动调节两种工作方式。
3. 在手动操作方式下，可以手动选择任何一根控制棒进行操作。
4. 在手动操作方式下，控制棒操作提供“单步”和“连续”两种工作方式。
5. 在自动调节方式下，自动进行调节棒的选择和功率调节操作。
6. 在自动调节方式下，可以同时选择一根补偿棒进行操作，以调整调节棒位置或展平功率分

布。

1. **控制棒操作安全性要求**
2. 在手动操作方式下，可以对控制棒进行操作。
3. 在自动调节方式下，只可以对一根调节棒进行自动操作，可以同时选择一根补偿棒进行手动操作。
4. **操作方便性要求**

使正常工况下的操作尽量简化，手动操作全部采用DCS操作员站屏幕进行并需要确认，以方便操作，并使操作员出错的可能性减到最小。

1. **可靠性要求**

核功率控制系统的设计采取各种可能的措施，实现高度的可靠性，以保证电厂连续、高效地运行。

1. **可维护性要求**

采用工业标准的数字化控制设备实现，便于功能检查和故障定位，减少备品备件种类和数量，降低维护技术难度。

1. **热备用要求**

在系统网络失效的情况下，由操作员通过功率控制终端，手动操作调节棒（提升或降棒）以维持核功率值。

1. 自动调节设计要求
   1. 功率自动调节的作用
2. **抑制扰动**

在稳态运行工况下用来克服因各种因素引起的瞬时功率扰动，在单堆额定功率自动调节范围内，自动维持反应堆功率在给定的水平；

1. **不同功率水平转换**

在操纵员站改变功率定值后，主动引入适当的反应性，自动完成功率水平的转换。

* 1. 调节算法

高温气冷堆核功率控制模式采用设定负荷运行模式，控制手段采用核功率偏差进行调节，控制棒核功率控制系统计算反应堆平均功率值，将平均功率值与设定功率定值进行比较，根据两者的偏差和偏差的变化率经过一定的功率调节算法产生提棒或降棒操作指令，通过移动控制棒实现平衡反应性，反应堆升功率、降功率及稳态运行。

* 1. 自动调节联锁

在“自动调节”方式下，必须设计必要的安全联锁，满足一定条件，对控制棒的操作才有效，否则不执行并退出“自动调节”方式，切换到“手动控制”方式。

* 1. 功率自动调节性能

功率自动调节的最终性能指标受反应堆的物理热工特性、控制棒驱动机构特性及控制器的工作特性等多种因素影响。设计阶段预定目标为：

1. **自动调节范围**

设计单堆额定功率自动调节范围。

1. **静态误差**

小于±1％额定功率。

1. **调节时间**

小于300秒。

1. 安全要求

系统设计应满足HAF102—2016 核动力厂安全设计规定，具体体现如下：

1. **独立性要求**

控制棒核功率控制系统与保护系统独立设置，联锁信号均在保护系统一侧采取了电气隔离措施。在任何情况下，功率控制系统的故障都不会影响保护系统执行预期的安全功能。

1. **控制棒安全操作要求**

只有在保护系统投入保护后，才允许执行控制棒操作。运行过程中的操作设置必要的安全联锁和限制，以抑制可能的不安全动作。

1. **冗余备份要求**

功率控制操作终端，在主控室设置一台操作终端，当DCS操作员站人机界面或系统网络失效，可使用操作终端操作控制棒，保证反应堆安全运行。