

ICS 27.120.20

F 65

备案号: 35979—2012

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20057.1—2012

代替 EJ/T 318—1992

**压水堆核电厂反应堆系统设计
堆芯 第1部分: 核设计**

**Pressurized water reactor nuclear power plants reactor system design—Core—
Part 1: Nuclear design**

2012-01-06 发布

2012-04-06 实施

国家能源局 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 燃料燃耗与燃料管理 1

4 功率分布控制 1

5 反应性控制 2

6 反应性系数 2

7 可燃毒物 3

8 中子源 3

9 燃料贮存 3

10 计算机程序与核数据库 3

前 言

《压水堆核电厂反应堆系统设计》分为四个部分：

- 压水堆核电厂反应堆系统设计 堆芯 第1部分：核设计；
- 压水堆核电厂反应堆系统设计 堆芯 第2部分：热工水力设计；
- 压水堆核电厂反应堆系统设计 堆芯 第3部分：燃料组件；
- 压水堆核电厂反应堆系统设计 堆芯 第4部分：燃料相关组件；

本部分为《压水堆核电厂反应堆系统设计》的第1部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分代替EJ/T 318—1992《压水堆核电厂反应堆核设计准则》，与EJ/T 318—1992相比，主要技术变化如下：

- 标准名称改为《压水堆核电厂反应堆系统设计 堆芯 第1部分：核设计》；
- 在3.2中，将“使循环末的卸料比燃耗达到预期值”改为“并使平衡循环末的卸料燃料组件平均比燃耗不低于预期值”；
- 在3.3中，将“燃料”改为“燃料组件(或元件)”；
- 在4.3中，将“在工况Ⅱ，为了避免堆芯燃料熔化，极限线功率密度不应超过590W/cm（对二氧化铀燃料）”改为“在工况Ⅱ，极限线功率密度不应超过为避免堆芯燃料熔化所确定的限值”。

本部分由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本部分由核工业标准化研究所归口。

本部分起草单位：中国核动力研究设计院。

本部分主要起草人：陈长、吴磊、于颖锐。

EJ/T 318于1988年首次发布，1992年第1次修订。

压水堆核电厂反应堆系统设计

堆芯 第1部分：核设计

1 范围

本部分规定了压水堆核电厂反应堆堆芯核设计的基本要求。

本部分适用于压水堆核电厂反应堆堆芯的核设计。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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。

NB/T 20035—2011 压水堆核电厂工况分类

HAD 102/07—1989 核电厂堆芯的安全设计

HAD 102/15—2007 核动力厂燃料装卸和贮存系统设计

HAD 103/03—1989 核电厂堆芯和燃料管理

3 燃料燃耗与燃料管理

3.1 设计应给出第一循环及后续循环（包括平衡循环）堆芯的合理设计（见 HAD 102/07-1989 附录III），至少应包括下列因素的合理性：

- a) 燃料组件的装载；
- b) 固体可燃毒物布置；
- c) 控制棒分组及布置；
- d) 卸料组件比燃耗；
- e) 换料组件富集度；
- f) 倒、换料方式；
- g) 临界硼浓度随燃耗的变化等。

3.2 各循环初堆芯的燃料装载，应提供足够的剩余反应性，保证所需的循环长度，并使平衡循环末的卸料燃料组件平均比燃耗不低于预期值。

3.3 燃料组件（或元件）的最大比燃耗不得超过设计限值，以保证燃料元件的机械完整性。

3.4 换料设计应满足 HAD 103/03—1989 中 2.2.5 的有关要求。

4 功率分布控制

4.1 给出堆芯径向功率分布、轴向功率分布以及功率峰因子。应考虑下列主要因素对反应堆功率分布的影响：

- a) 堆芯燃耗；
- b) 控制棒状态；

- c) 工况（工况分类见 NB/T 20035—2011）；
- d) 氙毒；
- e) 可燃毒物；
- f) 反应堆功率等。

4.2 在工况 I，燃料棒不同高度处的最大线功率密度不应超过为满足失水事故安全准则所确定的限值。

4.3 在工况 II，极限线功率密度不应超过为避免堆芯燃料熔化所确定的限值。

4.4 在工况 I 和工况 II，堆芯功率分布不导致在燃料棒表面发生偏离泡核沸腾（DNB）现象。

4.5 在功率峰因子 F_Q 和核焓升因子 $F_{\Delta H}^N$ 计算中，应考虑工程不确定性、燃耗、氙毒分布、燃料密实效应以及计算不确定性等修正因子。

4.6 堆芯功率分布应具有内在的稳定性。堆芯功率分布径向和方位角的氙致振荡应是自阻尼的；在堆芯功率输出一定的情况下，堆芯功率出现的空间振荡应能可靠地、较快地被探测和抑制。

4.7 对堆芯功率和功率分布应提供可靠的监测和分析手段。堆内测量系统的测点数量和布置应有利于根据堆内测量值推算出全堆功率分布；堆外测量系统应能提供轴向功率偏移的监测信号和控制信号。

5 反应性控制

5.1 应设置两套依据不同原理、独立的反应性控制手段。例如，控制棒束控制与可溶硼控制。

5.2 控制棒束控制系统应具有补偿因负荷改变引起的快速反应性变化和热停堆能力。

5.3 化学和容积控制系统应具有补偿由包括氙中毒影响在内的预期正常负荷变化和燃耗所引起的反应性慢变化和冷停堆能力。

5.4 当反应性价值最大的一束控制棒卡在堆芯外，反应堆运行在任一功率水平时，仅用控制棒应能迅速实现热停堆，并有足够的停堆深度。化学和容积控制系统投入后应能使反应堆达到并保持冷停堆状态。

5.5 在正常运行时，应限制由于控制棒提升和（或）反应堆冷却剂系统冷却剂中硼稀释所产生的反应性引入速率。

5.6 在正常运行时，调节棒组的最大插入深度不得超过规定的限值。这个限值应根据停堆能力、功率分布控制要求以及满足弹棒事故安全准则来确定。

5.7 控制棒束控制系统应具有紧急快速停堆能力，该系统的响应时间和控制棒落棒时间应小于设计基准事故分析所确定的时间。

5.8 在任何冷停堆状态下，当控制棒全部提出堆芯时，仅用化学和容积控制系统应能使反应堆保持冷态次临界状态。

5.9 在工况 IV 下（例如弹棒事故、主蒸汽管道断裂事故等），反应堆应能实现快速停堆并维持在次临界状态。

6 反应性系数

6.1 应给出慢化剂反应性温度系数、密度系数、压力系数、空泡系数、燃料温度系数和功率系数。

6.2 给出的反应性系数，其参数范围应包括反应堆的所有运行工况。

6.3 在各种功率水平下运行时，慢化剂反应性温度系数应保持为负值或零，使堆芯反应性具有负的反饋特性（换料堆芯再启动零功率物理试验时例外）。

6.4 反应性系数的最小和最大限值是多种参数（例如功率水平、硼浓度、燃耗等）的函数，应通过适当研究证实用于分析各种运行工况和事故工况所采用的反应性系数包络值的合理性。

7 可燃毒物

- 7.1 在第一循环堆芯，为保证不出现正的慢化剂反应性温度系数，应添加固体可燃毒物。在后续循环堆芯，也可设置固体可燃毒物，补偿初始剩余反应性、展平功率分布。
- 7.2 可燃毒物的燃耗速率应与燃料的燃耗速率较好地匹配。
- 7.3 应评价固体可燃毒物的燃耗对堆芯功率分布，特别是对局部功率峰因子的影响。

8 中子源

- 8.1 在初始堆芯中装入启动中子源（一次中子源），一次中子源的强度和布置应满足启堆探测系统的最低计数率要求。
- 8.2 堆芯设置受辐照后能产生中子的二次中子源，例如 Sb-Be 源，其强度和位置应满足启堆探测系统的最低计数率要求。

9 燃料贮存

- 9.1 应按照 HAD 102/15—1989 的要求对燃料组件的装卸、传送或贮存的每个系统进行临界安全分析。
- 9.2 应采用某些物理方法，特别是采用适当的几何布置，防止新燃料贮存系统达到临界。
- 9.3 新燃料贮存格架间距设计的依据是：对具有最高富集度的新燃料在实际可能的最佳慢化条件下，其有效增殖系数 k_{eff} 不超过 0.95。
- 9.4 应采用某些物理方法，特别是采用适当的几何布置，防止乏燃料贮存系统达到临界。
- 9.5 乏燃料贮存格架间距设计的依据是：在全部装载最高富集度新燃料，并浸没在水中和呈无限大几何形状时，其有效增殖系数 k_{eff} 不超过 0.95。
- 9.6 当燃料组件处于反应堆压力容器内，且反应堆压力容器顶盖未到位时（例如换料或停堆维修操作时），依靠控制棒的全部插入和足够的可溶硼应能维持其有效增殖系数 k_{eff} 不超过 0.95；且当全部控制棒抽出时，可溶硼仍能维持足够的次临界度。

10 计算机程序与核数据库

- 10.1 核设计所使用的核数据库应采用评价过的核数据。
 - 10.2 选择某一计算机程序计算特定的物理参数，应论证该程序所用的理论模型和计算方法是适当的；与所用核数据库和其他配套计算程序是自洽的，能达到可接受的精度。
 - 10.3 应通过基准问题的检验，验证计算机程序的模型和计算方法是适用的。
 - 10.4 应通过对零功率实验、物理启动实验及运行实测数据的分析，证明所采用的核数据库和计算机程序是合理的，其计算精度满足工程设计的要求。
-

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
压水堆核电厂反应堆系统设计
堆芯 第 1 部分：核设计

NB/T 20057.1—2012

*

原子能出版社出版
核工业标准化研究所发行
北京海淀区骚子营 1 号院
邮政编码：100091

电话：010-62863505

总装备部军标出版发行部印刷车间印刷

版权专有 不得翻印

*

2012 年 4 月第 1 版 2012 年 4 月第 1 次印刷
印数 1—200