

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20515—2018

压水堆核电厂乏燃料组件湿法贮存 临界安全分析准则

**Analysis criteria for spent fuel assembly storage criticality safety
of pressurized water reactor nuclear power plants**

2018 – 12 – 10 发布

2019 – 04 – 01 实施

国家能源局 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 术语和定义 1

3 分析准则 1

4 分析方法 2

附录 A（规范性附录） 乏燃料组件湿法贮存临界安全分析中可接受的假设和计算方法 4

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：上海核工程研究设计院有限公司、中国核电工程有限公司。

本标准主要起草人：杨波、洪谦、杨海峰、易璇。

压水堆核电厂乏燃料组件湿法贮存临界安全分析准则

1 范围

本标准规定了以二氧化铀为燃料的压水堆核电厂乏燃料组件湿法贮存临界安全分析应遵循的准则、可接受的假设和分析方法。

本标准仅适用于以二氧化铀为燃料的压水堆核电厂乏燃料组件湿法贮存系统的临界安全分析。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

异常工况 abnormal condition

在运行过程中由燃料组件装卸或贮存系统的设备故障或操作错误及其他外部事件始发并最终导致系统临界安全裕量减少的状态。

2.2

燃耗信用制 burnup credit

在临界安全分析中，考虑燃料随堆芯辐照和冷却时间增加引起的反应性的整体降低。

2.3

组件装载燃耗限值曲线 assembly loading burnup limit curve

在临界安全分析中，若采用燃耗信用制，通过计算获得的燃料组件可装载至贮存系统特定区域的最低燃耗限值，通常对应于燃料组件的初始平均富集度。根据燃料贮存系统设计，不同区域可具有不同的组件装载燃耗限值曲线。

2.4

整体型可燃中子吸收体 integral burnable neutron absorber

可燃中子吸收体是指放入反应堆内通过其逐渐燃耗来控制堆芯功率分布及补偿反应性长期缓慢变化的中子吸收体。在燃料组件制作过程中如果将可燃中子吸收体与核燃料直接组合形成不可分离的整体，此类型可燃中子吸收体称之为整体型可燃中子吸收体。

3 分析准则

3.1 总体分析准则

在乏燃料组件湿法贮存临界安全分析中，应遵守以下要求：

- 所采用的计算方法应进行适用性评价，以证实计算分析是按预期要求进行的；
- 考虑贮存系统装载有最大设计容量的燃料组件；
- 假设贮存系统装载的燃料组件具有其对应类型卸料组件中预期的最大反应性，燃料组件类型通常以组件初始平均富集度进行划分；
- 在所有临界计算中都应考虑最佳中子反射的效应；

- e) 计算结果中应计入系统制造公差、系统运行状态、临界安全分析计算方法等各种因素导致对系统反应性的影响；
- f) 计算模型应充分考虑不同贮存区域之间的边界条件对于反应性的影响。

3.2 次临界验收准则

通过中子有效增殖因子表示乏燃料组件贮存系统处于次临界的程度，具体要求如下：

若计算分析中不置信乏燃料组件贮存系统中的可溶性中子吸收体，则装载预期最大反应性组件的贮存系统包含各种偏倚和不确定度的中子有效增殖因子应小于0.95。

若计算分析中置信乏燃料组件贮存系统中的可溶性中子吸收体，则需同时满足以下要求：装载预期最大反应性组件的贮存系统在被纯水淹没时其包含各种偏倚和不确定度的中子有效增殖因子应小于0.98，此外在被含有可溶性中子吸收体的水淹没时包含各种偏倚和不确定度的中子有效增殖因子应小于0.95。

3.3 可溶性中子吸收体置信准则

临界安全分析中若对可溶性中子吸收体进行置信，则应证明乏燃料组件贮存系统在正常运行工况和异常工况下均能维持该所置信的可溶性中子吸收体含量，并具有有效监测手段对其进行测量。

3.4 燃耗信用制应用准则

临界安全分析中若对乏燃料组件燃耗进行置信，则应考虑下列因素：

- a) 应保守考虑燃料组件贮存过程中由于易裂变同位素的累积和（或）吸收中子同位素的衰变而导致的反应性增加；
- b) 对于乏燃料组件燃耗计算的不确定性留出裕量；
- c) 确定乏燃料组件核素成分及分布时，组件燃耗计算应考虑最终导致贮存系统具有最大反应性的保守条件。

3.5 异常工况分析准则

对于异常工况的分析，应考虑导致系统临界安全水平降低的燃料组件装卸或贮存系统的设备故障或操作错误等两个始发事件同时发生；除非根据燃料组件装卸及贮存系统的设计特点和运行策略证明相关始发事件不会单独发生或同时发生。

4 分析方法

乏燃料组件贮存临界安全分析可采用如图1所示流程，分析中可接受的假设和计算方法见附录A。

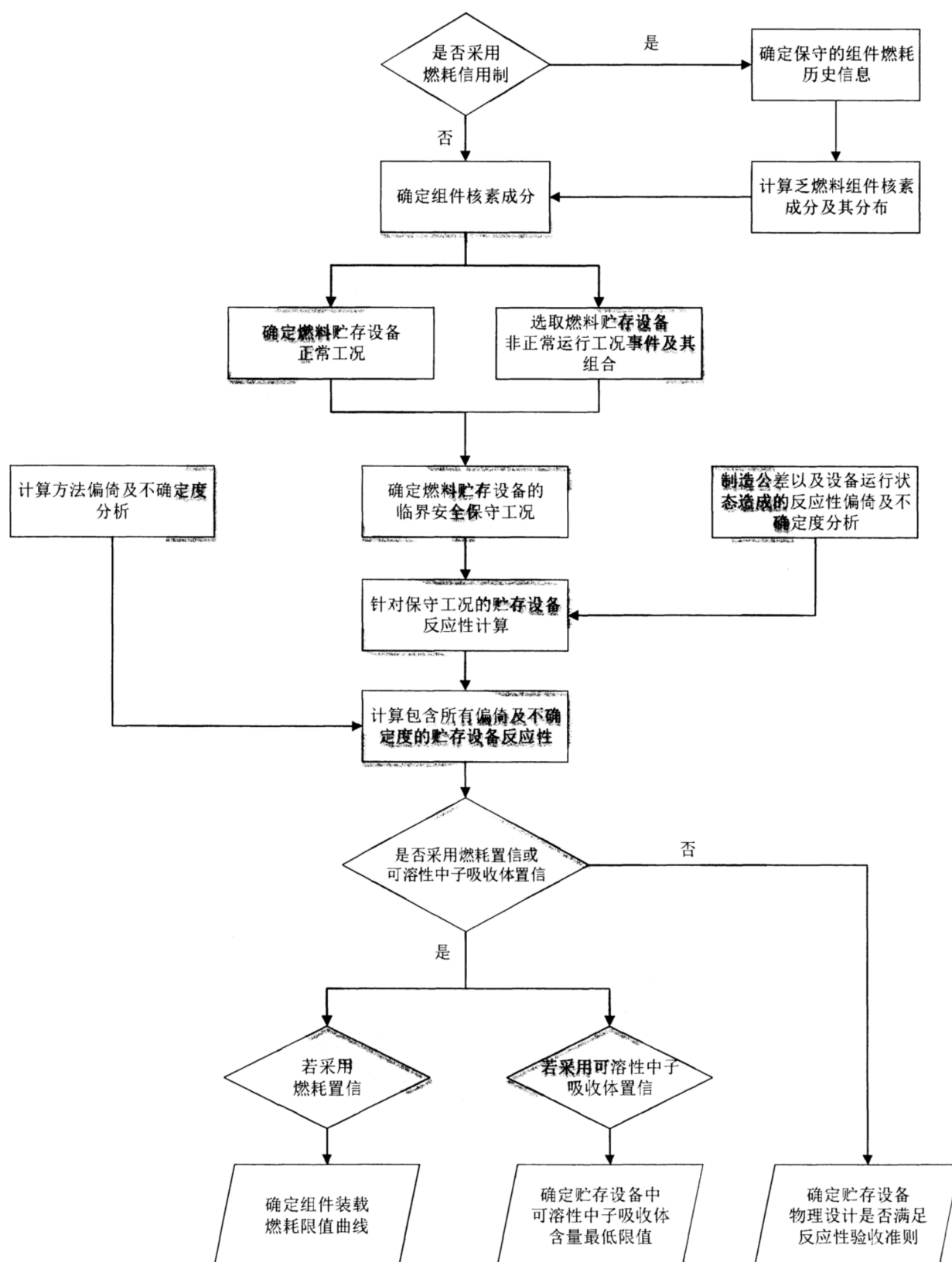


图1 乏燃料组件湿法贮存临界安全分析流程图

附录 A
(规范性附录)

乏燃料组件湿法贮存临界安全分析中可接受的假设和计算方法

A.1 计算分析中应考虑对结果保守的临界计算输入假设：

- a) 不考虑乏燃料组件内部包含的整体型可燃中子吸收体，除非能够通过有效方法证明其可信的含量；
- b) 不考虑格架及组件中非固定式中子吸收材料，如不具备防止被移除装置的可燃中子吸收体组件及控制棒组件等。对固定式中子吸收材料降级的考虑，应通过有效方法证明其保守性；
- c) 对于具有不同富集度燃料分布的燃料组件，计算模型中应准确定义燃料具有的富集度或证明计算模型所采用的富集度数值足够保守；
- d) 对于破损燃料组件贮存区域的分析，应保守考虑所贮存的破损燃料组件为具有预期最高反应性的新燃料组件；
- e) 若采用燃耗信用制，应选取保守的组件燃耗分布，该分布应通过验证以证明其对不同批次卸料组件的保守性。

A.2 计算分析中考虑以下因素导致的反应性偏倚及不确定度：

- a) 燃料组件及贮存系统制造公差；
- b) 系统运行状态及环境条件，包括组件装载位置、水密度及温度等；
- c) 计算方法，指包含对应输入条件和计算模型的计算程序导致的计算结果的偏倚及不确定度，通常采用该程序分析临界实验并通过统计学方法计算得到。

A.3 在贮存系统临界计算中，根据燃料组件装卸及贮存系统的设计特点以及运行管理策略，选取可能同时发生的两个将导致影响系统临界安全水平的始发事件。针对于该不同的始发事件组合，选取典型富集度及燃耗的乏燃料组件开展贮存系统反应性计算，以确定最为保守的工况。通常而言，贮存系统可能发生的将影响系统临界安全水平的始发事件，例如：

- a) 导致最佳慢化状态的始发事件；
- b) 可溶性中子吸收体含量降低；
- c) 不符合装载要求的燃料组件错误装载在相应贮存单元内；
- d) 燃料组件错误放置在燃料格架边界外的位置；
- e) 燃料组件水平跌落在贮存格架上方；
- f) 燃料组件垂直跌落至贮存单元内；
- g) 地震等造成格架间距变化以及燃料组件在贮存单元内部的位置改变。

A.4 若采用燃耗信用制，应基于贮存系统所有可能发生的保守工况以确定可装载入贮存系统的组件燃耗最低限值。计算乏燃料组件核素成分时，应考虑以下因素的影响，根据实际情况选取保守条件与数值：

- a) 组件内部的中子吸收体，包括可燃中子吸收体和控制棒。在组件中包含可燃中子吸收体或控制棒将使得组件燃耗时中子能谱更为硬化，从而获得卸料组件中相同燃耗值下使反应性增加的核素成分；
- b) 堆芯可溶硼浓度。更高的堆芯硼浓度将使得组件燃耗时中子能谱更为硬化，从而获得卸料组件中相同燃耗值下使反应性增加的核素成分；
- c) 慢化剂温度。更高的慢化剂温度将使得慢化剂密度降低，导致组件燃耗时中子能谱更为硬化，从而获得卸料组件中相同燃耗值下使反应性增加的核素成分；

- d) 芯块温度。更高芯块温度由于多普勒效应将使得组件燃耗时中子能谱更为硬化，从而获得卸料组件中相同燃耗值下使反应性增加的核素成分；
- e) 冷却时间。乏燃料组件所包含的核素处于乏燃料水池中将由于自然衰变而导致反应性的变化，故需要针对不同组件设计特点、功率历史及分析时选取的核素，分析乏燃料组件贮存系统随运行时间变化的反应性变化趋势，以确定最为保守的状态；
- f) 功率密度。燃耗过程更高功率密度会产生更高氙密度而导致中子能谱硬化使乏燃料组件反应性上升。

A.5 若对可溶性中子吸收体进行置信，应基于贮存系统所有可能发生的保守工况以确定所需可溶性中子吸收体最低含量要求，并确保贮存系统能够维持的可溶性中子吸收体含量不会低于该值。

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
压水堆核电厂乏燃料组件湿法贮存
临界安全分析准则

NB/T 20515—2018

*

核工业标准化研究所出版发行

北京海淀区骚子营1号院

邮政编码：100091

电 话：010-62863505

原子能出版社印刷

版权专有 不得翻印

*

2019年4月第1版 2019年4月第1次印刷

印数 1—50

定价 21.00 元