

ICS 27.120.20

F 65

备案号: 41471-2013

# NB

## 中华人民共和国能源行业标准

NB/T 20240—2013

代替 EJ/T 563—1999

### 压水堆核电厂重新装料后的物理启动试验

**Reload startup physics tests for pressurized water reactors of nuclear power  
plant**

2013 - 06 - 08 发布

2013 - 10 - 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 物理试验项目及其确定准则.....	2
4 单项试验 .....	2
5 试验文件编制 .....	7
附录 A (资料性附录) 用户指南 .....	8

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准代替EJ/T 563—1999《压水堆重新装料后的物理启动试验》。本标准与EJ/T 563—1999相比，除编辑性修改外，主要技术变化如下：

- 标准名称由“压水堆重新装料后的物理启动试验”修改为“压水堆核电厂重新装料后的物理启动试验”；
- 在第2章中对“控制棒组件”、“控制棒组”等的定义进行了修改，增加了“调节控制棒组”、“ARO”的定义；
- 第3章表1“物理试验项目”中删除了“控制棒插入时的临界硼浓度或硼微分价值”的相关内容，并删除相关的原第4.3和原第A3.1.2；
- 将第3章表1“物理试验项目”中“中子通量密度对称性”试验对应的堆芯状态由“满功率的0~30%”修改为“0~40%的额定功率”，并对4.6.3.1、A3.4.1.1中的相应内容进行了修改；
- 在4.2.3和A3.1.1.1中，将“控制棒提出时的临界硼浓度测量”试验的初始条件由“除先导控制棒组插入堆芯小于500mm外”修改为“除调节控制棒组部分插入堆芯外”；
- 在4.2.5“控制棒提出时的临界硼浓度测量”试验的试验结果评价中，删除“同时，保留这个数值，以便在4.9.4中使用”；在4.8.4（原为第4.9.4）“满功率水平时的临界硼浓度测量”试验的试验方法中，删除“此外，还要根据4.2.5给出的热态零功率状态下的测量偏差，对硼浓度测量值与预计值之间的差别进行修正”；同时，删除附录A中在A3.1.1.4和A3.1.2.4.1中的相关内容；
- 在4.3“控制棒组价值测量”试验中，增加“动态刻棒法”（4.3.4.4）和“落棒法”（4.3.4.5），同时在附录A中相应增加A3.2.2.4、A3.2.3.4和A3.2.2.5、A3.2.3.5；
- 在4.4.4.1、4.4.4.2中，删除“等温温度系数测量”方法中“取两次测量得到的等温温度系数的平均值”的描述；
- 在4.3.4.2和A3.2.3.2“换棒法”中增加了“基准控制棒组应为所有控制棒组中反应性价值最大的控制棒组”的要求；并对“换棒法”操作步骤进行了修正，要求换棒后被测控制棒组完全提出堆芯；
- 在4.5“通量密度对称性”试验中删除“控制棒价值对称性法”（原第4.6.4）相关内容，同时相应的删除附录A中原第A3.4.2相关内容；
- 在4.6.3中，将“中等功率水平时的功率分布测量”试验的初始条件“并且应处于氙平衡状态”修改为“并且应处于与预计值一致的堆芯状态”；
- 第2章名称由“定义”更改为“术语和定义”；第5章名称由“重新装料后物理启动试验的要求”更改为“试验文件编制”；
- 在A.2.3的表A.1“推荐的试验验收准则”中删除“棒价值法”相关内容；将计算百分比偏差用公式由“ $((\text{预计值}/\text{测量值}) - 1) \cdot 100\%$ ”改为“ $((\text{测量值}/\text{预计值}) - 1) \cdot 100\%$ ”；
- 在A.3.1.1.4“控制棒提出时的临界硼浓度测量”和A.3.1.2.4中“满功率时的临界硼浓度测量”中，将“ $\Delta\rho_{*}$ ——确定 $C_w$ 时控制棒的实际位置与基准位置间所相当的反应性”修改为“ $\Delta\rho_{*}$ ——测量或理论计算出调节控制棒组由最终位置全部提出堆芯所引入的反应性”；
- 在A3.3.1“等温温度系数测量”试验的初始条件中，将“各控制棒置于基准位置的 $\pm 250\text{mm}$

以内”改为“所有控制棒基本上处于全部提出的状态”；  
——对表 A. 2 “问题识别”和表 A. 3 “问题识别的补充试验”进行了更新。  
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：中国核动力研究设计院。  
本标准主要起草人：于颖锐、吴磊、卢宗健。  
本标准代替了EJ/T 563。  
EJ/T 563于1999年首次发布。



# 压水堆核电厂重新装料后的物理启动试验

## 1 范围

本标准规定了压水堆核电厂停堆换料后或堆芯有明显变动<sup>1)</sup>后所进行的反应堆物理启动试验的要求；并为验证堆芯的运行特性是否满足设计要求提供了切实可行的试验方法。

本标准适用于压水堆核电厂停堆换料后或堆芯有明显变动后的物理启动试验。

## 2 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 2.1

**控制棒组件 control rod assembly**

反应堆内用于通过吸收中子来控制反应性的可部分或全部插入堆芯的棒束。

### 2.2

**控制棒组（棒组） control rod group (rod group)**

在正常运行期间，同时插入或提出的一个或几个控制棒组件。

### 2.3

**调节控制棒组 regulation bank**

用于调节堆芯平均温度，或补偿反应性的细微变化或控制轴向功率偏差的控制棒组。

### 2.4

**满功率 full power**

堆芯额定热功率。

### 2.5

**热态零功率 hot zero power**

反应堆的一种运行状态，在这种状态下堆芯实质上是临界的，但是没有产生可测的裂变热，并且一回路冷却剂系统的温度和压力处于相应的零功率设计值。

### 2.6

**等温温度系数 isothermal temperature coefficient**

当燃料和慢化剂温度相同时，它们的温度每变化一度所引起的反应性变化。

### 2.7

**反应性仪 reactivity meter (computer)**

采用与堆芯中子通量密度成正比的堆外核测信号来计算堆芯反应性的装置。

### 2.8

**试验验收准则 test criterion**

用于评价试验结果的判断标准。

1) 本标准中反应堆堆芯的明显变动包括新燃料循环设计的初次应用、燃料富集度的重大变化、燃料组件设计变更、可燃毒物设计变更或由计划外短换料周期所导致的堆芯变化等。

2.9

**反应性价值 worth (reactivity)**

用百分数表示的反应性变化，用公式1)表示。

$$\Delta \rho = \frac{K_2 - K_1}{K_1 \times K_2} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$K_1$ 、 $K_2$ ——分别为反应堆状态1、2的有效增殖系数。

2.10

**pcm**

反应性单位， $10^{-5}$ 。

2.11

**ARO (All Rod Clusters Out)**

控制棒全提出堆芯。

3 物理试验项目及其确定准则

3.1 表1中所列的每项物理试验所测量的数据不能从其他要进行的试验获得。但是，当某项试验不满足试验验收准则时应补充其他试验。

表1 物理试验项目

试 验	堆 芯 状 态	特 殊 要 求
控制棒全部提出 (ARO) 时的临界硼浓度	热态零功率	—
控制棒组价值	热态零功率	应测量两个或多个控制棒组，预计的反应性总价值至少为 3000 pcm。
等温温度系数	热态零功率	—
中子通量密度对称性	0~40%的额定功率	—
中等功率水平时的功率分布	40%~75%的额定功率	—
满功率水平时的功率分布	90%以上的额定功率	—
满功率水平时的临界硼浓度	90%以上的额定功率	—

3.2 每项试验应能定量地测量堆芯的某项重要的物理参数。本标准不包括下述试验（尽管由于其他原因可能进行这些试验）：

- a) 系统部件的机械试验（控制棒落棒时间等）；
- b) 只用于校准仪表的试验；
- c) 用于检查计算机程序的试验。

3.3 针对每项测量应提供相应的预计值。测量结果与预计值之间的偏差应满足相应的验收准则。

4 单项试验



## 4.1 试验的一般考虑

### 4.1.1 试验任务

每项试验的基本任务是为了测量相关反应堆物理参数。

### 4.1.2 试验目的

每项试验的基本目的是确定反应堆物理参数的测量值与预计值是否满足相关的试验验收准则。也可以用试验得到的数据确定相应的运行限值或用于鉴定与相应技术条件的一致性。

### 4.1.3 初始条件

通常应为每项试验规定试验的初始条件，以便能够准确地进行测量，并使反应堆堆芯的状态与计算预计值时所假设的相同。

### 4.1.4 试验方法

在附录A（资料性附录）中提供了一个或几个可接受的方法和注意事项。在每项试验期间，应记录相应的堆芯状态，并把这些状态保持在该试验的规定范围内。

### 4.1.5 试验结果评价

4.1.5.1 应根据规定的状态和测量时状态之间的差别，对试验结果或预计值进行修正。除异常情况外，在测量值与预计值比较时，每次由于不同状态所产生的修正对不确定性的影响是可以忽略的。所有的修正应形成文件。

4.1.5.2 考虑到测量与预计两方面的不确定性，制订试验验收准则时应留有足够的裕度。附录A（资料性附录）中提供了以现行技术和实践为基础的典型准则。

4.1.5.3 如果每项试验测量值（某些试验是由测量值导出的物理参数）与预计值之间的差别在试验验收准则的范围内，则认为试验是满意的。

4.1.5.4 如果某个物理参数的测量值和预计值超出试验验收准则的范围，则应对该测量进行审查或重新测量。另外，该项物理试验项目的结果应该与启动期间进行的其他物理试验结果一起评价。必要时，应对预计值进行详细的审查，同时评价这一差别对核电厂安全的影响，或规定适当的运行限制。

## 4.2 控制棒提出时的临界硼浓度

### 4.2.1 试验任务

测量所有控制棒全部提出堆芯时的热态零功率临界硼浓度。

### 4.2.2 试验目的

确定热态零功率控制棒全部提出堆芯时堆芯临界硼浓度的测量值与预计值是否一致。

### 4.2.3 初始条件

反应堆堆芯应处于热态零功率状态，除调节控制棒组部分插入堆芯外，其他的控制棒提出。

### 4.2.4 试验方法

测量临界硼浓度并记录相应的反应堆状态，考虑到规定的状态与测量时实际状态间的差别对测量值进行修正。

#### 4.2.5 试验结果评价

确定已修正后的硼浓度测量值与预计硼浓度之间的差别，将这一差别与试验验收准则比较。

#### 4.3 控制棒组价值

##### 4.3.1 试验任务

测量所选择的各控制棒组的价值。这些控制棒组的选择应遵守下述准则：

- a) 径向分布合理；
- b) 包括两组以上控制棒组。测量控制棒组价值，控制棒组总价值至少 3000pcm。

##### 4.3.2 试验目的

确定所选择的各控制棒组的价值与预计值是否在相应的试验验收准则的范围内。

##### 4.3.3 初始条件

反应堆堆芯应处于热态零功率状态。

##### 4.3.4 (可供选择的) 试验方法

###### 4.3.4.1 调硼法

以连续的方式改变反应堆冷却剂硼浓度；根据硼浓度的改变所引起的反应性变化，在整个行程范围内移动一个被测控制棒组；用反应性仪测量每次由控制棒组移动引起的反应性变化。

求出在该控制棒组的整个行程中反应性增量之和，对试验期间发生的反应堆状态的变化进行修正。对于要试验的所有控制棒组重复这一过程。

###### 4.3.4.2 换棒法

用调硼法测得的一个基准控制棒组的价值，得到该棒组全行程价值的积分曲线。基准控制棒组应为所有控制棒组中反应性价值最大的控制棒组。

将待测控制棒组完全插入堆芯，其他控制棒组全部抽出堆芯，调硼维持堆芯临界。维持堆芯的硼浓度不变，在抽出待测控制棒组的同时，插入基准控制棒组，以维持临界。重复此过程直至被测控制棒组完全提出堆芯。

待测控制棒组的积分价值等于基准棒组在初始位置到最终插入位置之间的积分价值。

###### 4.3.4.3 硼端点法

当所选的一组棒在其行程的一端时，记录相应的反应堆状态（包括硼浓度）。

移动这组控制棒到它的行程的另一端，通过改变硼浓度补偿控制棒组的移动，保持临界状态，或在控制棒组移动后重新建立临界状态。记录控制棒组在最终位置时对应的反应堆状态。对于要试验的每组控制棒重复这一过程。

对于每组控制棒，计算初始测量的和最终的硼浓度之差，并通过硼微分价值求出硼浓度变化引入的反应性，该反应性价值等于所选棒组的积分价值。对控制棒组实际行程和预计行程之间的差别进行修正，对试验期间反应堆状态的变化进行修正。

###### 4.3.4.4 动态刻棒法



动态刻棒技术采用空间修正的点堆模型来测量反应性,并引入静态空间修正因子和动态空间修正因子,从而在控制棒快速移动的过程中测量得到控制棒的价值。

堆芯所有控制棒提至堆顶,通量略小于多普勒点水平,堆芯具有一定正反应性的状态,将被测棒组从堆顶连续下插至堆底,然后将控制棒提回堆顶,在此过程中通过专门的反应性仪,直接测得被测棒组价值;控制棒提回堆顶后,使堆芯具有一定正反应性,维持一段时间,恢复通量水平,选择另一被测棒组,重复上述步骤,直至完成所有控制棒的价值测量。

#### 4.3.4.5 落棒法

在热态零功率时,通过按下应急保护停堆按钮,使部分或全部控制棒下落并插入堆芯底部,反应堆功率降至次临界状态,通过反应性仪记录堆芯的反应性值。

通过理论计算修正测得的反应性,补偿空间效应,将修正后的测量值与理论预计值进行比较,以判断是否在可接受的验收准则范围内。

#### 4.3.5 试验结果评价

确定选定的每组控制棒价值的测量值与预计值之差是否在试验验收准则的范围内。确定测量的价值总和与预计值之间的差别是否在试验验收准则范围内。

### 4.4 等温温度系数

#### 4.4.1 试验任务

测量反应堆的等温温度系数。

#### 4.4.2 试验目的

确定等温温度系数的测量值与预计值是否在试验验收准则范围内。

#### 4.4.3 初始条件

反应堆堆芯应处于热态零功率状态。

#### 4.4.4 试验方法(可供选择的)

##### 4.4.4.1 斜率法

反应堆冷却剂的硼浓度稳定后,缓慢地连续改变反应堆冷却剂的温度,变化速率应足够慢且保持线性变化,以满足反应堆燃料和反应堆冷却剂之间同步变化。用反应性仪测量温度变化时的反应性变化,并做出反应性-温度曲线,由这条曲线的斜率确定等温温度系数。使温度沿相反方向变化重复这个试验。

##### 4.4.4.2 端点法

维持反应堆冷却剂的硼浓度不变,改变反应堆冷却剂的温度。

用反应性仪测量反应堆冷却剂在开始时的温度和在最终稳定状态的温度之间的反应性变化。用反应性总变化除以温度总变化来确定等温温度系数。

温度沿相反方向变化重复试验。

#### 4.4.5 试验结果评价

确定等温温度系数的测量值与预计值之间的偏差是否在试验验收准则的范围内。

### 4.5 中子通量密度对称性

#### 4.5.1 试验任务

根据所使用的方法，在实际可达到的低功率水平时测量中子通量密度的方位对称性。

#### 4.5.2 试验目的

确定所测量的中子通量密度的方位对称性是否与预期的对称性一致。

#### 4.5.3 中子通量密度分布法

##### 4.5.3.1 初始条件

反应堆功率水平应不大于额定功率的40%。

##### 4.5.3.2 试验方法

在堆芯选定的方位上合理地布置通量密度探测器，然后记录堆内这些探测器的响应，并将探测器的响应换算成其等效的相对通量密度。审查数据的内在一致性。

##### 4.5.3.3 试验结果评价

确定由堆内探测器测得的信号导出的每个被测组件处的通量密度与预计值之间的差别是否在试验验收准则的范围内。

#### 4.6 中等功率水平时的功率分布

##### 4.6.1 试验任务

测量中等功率水平下的堆芯功率分布。

##### 4.6.2 试验目的

确定堆芯功率分布的测量值与预计值是否一致。

##### 4.6.3 初始条件

反应堆功率应处于40%~75%的额定功率水平，并且应处于与预计值一致的堆芯状态。

##### 4.6.4 试验方法

在堆芯选定的方位上合理地选用中子通量密度探测器，然后记录堆内通量密度探测器的响应，并将探测器的响应换算成等效的相对功率值，并审查数据的内在一致性。

##### 4.6.5 试验结果评价

确定由堆内探测器测到的信号所导出的每个被测组件的相对功率与预计值之间的差别是否在试验验收准则的范围内。

#### 4.7 满功率水平时的功率分布

##### 4.7.1 试验任务

测量满功率状态时的堆芯功率分布。

##### 4.7.2 试验目的



确定堆芯功率分布的测量值与预计值的偏差是否在试验验收准则范围内。

#### 4.7.3 初始条件

反应堆堆芯应处于大于90%满功率的稳定功率水平状态，并且应该处于氙平衡状态。

#### 4.7.4 试验方法

在堆芯选定的方位上合理地选用中子通量密度探测器，然后记录堆内这些探测器的响应，并将探测器的响应换算成等效的相对功率值，并审查数据的内在一致性。

#### 4.7.5 试验结果评价

确定由堆内探测器测到的信号所导出的每个被测组件的相对功率与预计之间的差别是否在试验验收准则的范围内。

### 4.8 满功率水平时的临界硼浓度

#### 4.8.1 试验任务

测量所有控制棒完全提出堆芯时，满功率状态下的临界硼浓度。

#### 4.8.2 试验目的

确定满功率状态下临界硼浓度的测量值与预计值是否在试验验收准则的范围内。

#### 4.8.3 初始条件

在所有控制棒接近完全提出堆芯时，反应堆功率水平应大于满功率的90%，并且堆芯应该处于氙平衡状态。

#### 4.8.4 试验方法

测量反应堆冷却剂硼浓度，并记录相应的反应堆状态。根据测量时的实际状态同规定状态之间的差别对测量值进行修正。

#### 4.8.5 试验结果评价

确定已修正的满功率下硼浓度的测量值与预计值之间的差别，将这一差别与试验验收准则比较。

### 5 试验文件编制

将各项试验的结果形成文件，至少应包括下列内容：

- a) 所使用的试验方法；
- b) 被测的参数；
- c) 预计的参数值和考虑到堆芯各种状态所作的修正；
- d) 用于试验验收的、预定的试验验收准则；
- e) 试验结果的评价（根据被测参数与预计值间的比较进行，并考虑测量值与预计值的不确定性）。



附录 A  
(资料性附录)  
用户指南

## A.1 序言

本指南为本标准的用户提供一系列细则、注意事项和建议,仅供参考,帮助用户制订出满足本标准要求的物理启动试验大纲。本指南还给出了推荐的各项试验验收准则的有关数据。

## A.2 推荐的试验验收准则和依据

### A.2.1 概述

利用准则评价试验结果是工业上长期采用的方法,这种方法可对照核设计的预计值立即对试验结果作出评价。

一个理想的准则应该是足够严密的,任何设计异常都得到考虑,而且应非常灵活,使得典型的设计与测量比较不致违反该准则。

设计模型的限制条件、测量限值以及设计与测量方法之间的相容性是确定准则的部分因素。

大部分试验验收准则是根据试验经验而不是通过对方法和模型的严格分析来制订的。

### A.2.2 依据

本指南提供的试验验收准则是根据观察到的测量值与预计值的实际差别制定的。

制定试验验收准则是为了确定物理试验结果是否与预期的一致,因此,该准则不是以安全分析或技术条件中的假设为根据。这些假设(保守的假设)可能与试验验收准则相同,也可能不相同。例如,如果个别的试验超出试验验收准则,结果是意料之外的,但是未必是不能接受的。如果意外的结果是在安全分析所假设的保守范围以内,那么可以进行试验或提升功率。另一方面,如果试验结果是在安全分析所假设的保守范围以内,但是超过了安全分析所作的假设,则应审查试验验收准则和安全分析的假设,使得与实际范围一致。

本指南中给出的试验验收准则仅是推荐值。准则应该随着经验的积累而变化,获得这些经验前,新工艺、更先进的燃料循环等也可能需要不同的试验验收准则。

这个试验验收准则是在排除了已知的偏离后制订的,在进行比较之前应该从预计值中除去这些已知的偏离。

### A.2.3 评价

应该使用常规方法评价试验结果。如果所有的试验满足其相应的试验验收准则,并留有很小的裕度,那么可以看作是对整个试验大纲的评价。此外,单项试验的结果应该与整个启动试验大纲的结果一起评价。表A.1给出了每项试验推荐的试验验收准则。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/816131241024010035>