

ICS 27.120.99

F 65

备案号: 38334-2013

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 20144—2012

代替 EJ/T 1113-2000

压水堆核电厂反应堆首次临界试验

Initial criticality tests for pressurized water reactor of nuclear power plants

2012-10-19 发布

2013-03-01 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 术语和定义 1

4 试验目的和试验方法 1

 4.1 试验目的 1

 4.2 试验方法 2

5 试验先决条件 2

6 试验步骤 2

 6.1 控制棒提升 2

 6.2 慢化剂硼浓度稀释 3

 6.3 达临界 3

 6.4 堆外核仪表系统线性和重叠性检验 3

 6.5 确定零功率物理试验范围 4

 6.6 反应性仪校验 4

7 注意事项 4

8 验收准则 4

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则制定。

本标准代替EJ/T 1113—2000《压水堆核电厂反应堆首次临界试验》，本标准与EJ/T 1113—2000相比主要变化如下：

——增加第三章“术语和定义”；

——调整了部分章条的顺序。

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：中广核工程有限公司。

本标准主要起草人：樊治国、薛斌、李军德、张松文、赵云涛。

本标准于2001年2月首次发布，本次为第一次修订。

压水堆核电厂反应堆首次临界试验

1 范围

本标准规定了压水堆核电厂反应堆首次临界试验的目的、试验方法、试验先决条件、试验步骤及注意事项。

本标准适用于新建压水堆核电厂在调试阶段进行的反应堆首次临界试验。

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。

HAD 103/02 核电厂调试程序

3 术语和定义

3.1

计数 count

辐射计数装置对单一事件的响应。

3.2

计数率 count rate

单位时间的计数。

3.3

反应性仪 reactivity meter

用于反应性测量的装置，反应性的常用单位为pcm， $1 \text{ pcm} = 10^{-5}$ 。

3.4

堆外核仪表系统 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。堆外核仪表系统用于实时监测反应堆的中子注量率或功率水平。

3.5

运行技术规范 operation technical specification

核电厂机组正常运行期间，确保公众与工作人员的安全必须遵守的最低技术规则。这些技术规则的执行确保重要的安全系统在异常或事故工况下能够正确运行。

4 试验目的和试验方法

4.1 试验目的

本标准涉及的试验按照HAD 103/02分类属于调试B2阶段。核电厂反应堆首次临界试验的目的主要包括：

- a) 将核电厂反应堆第一次引入临界状态;
- b) 检验堆外核仪表系统各量程通道之间的线性和重叠性;
- c) 确定零功率物理试验的范围;
- d) 校验反应性仪。

4.2 试验方法

反应堆临界就是把反应堆从次临界状态引入到临界状态,达到自持链式裂变反应的过程。反应堆首次临界过程是以堆芯设计理论计算值或同类型反应堆临界试验的测量值为参考,进行逼近临界点的操作。压水堆核电厂通过提升控制棒和稀释慢化剂的硼浓度使反应堆达到临界。确定反应堆临界的条件就是确定临界时控制棒的位置和慢化剂的硼浓度。在提棒、稀释使反应堆逼近临界点过程中,进行中子计数率的测量,绘制中子计数率倒数的曲线,外推倒计数率曲线估算临界点,确保逐步逼近临界。

反应堆临界后,应通过提升控制棒缓慢增加反应堆中子注量率。在堆芯中子注量率增加过程中,检验堆外核仪表系统各量程之间的线性和重叠性。

当中子注量率上升到核发热现象(即多普勒效应点)出现时,应停止中子注量率增加,记录堆外核仪表系统测量的中子注量率信号。热态零功率物理试验中子注量率水平的上限值至少取比核发热点的中子注量率低0.5个数量级。

临界操作一般分成三个阶段:

- a) 维持硼浓度不变,提升控制棒到堆芯的预定位置,一组或多组控制棒提升至堆芯中部。
- b) 维持控制棒位置不变,进行慢化剂硼浓度稀释操作。当反应堆接近临界时,停止稀释操作,等待慢化剂硼浓度充分均匀。
- c) 当慢化剂硼浓度均匀之后,提升在堆芯内的那组(或多组)控制棒,使反应堆向临界过渡。

在逼近临界操作过程中,建议连续绘制中子计数率倒数与控制棒位置、硼浓度、稀释水量的关系曲线。

5 试验先决条件

压水堆核电厂反应堆首次临界的先决条件主要包括:

- a) 反应堆处于热停堆状态,各项参数(稳压器水位、主回路压力、慢化剂硼浓度等)均满足运行技术规范对热停堆状态的要求;
- b) 反应堆保护系统可用,保护定值按照试验要求设置完毕;
- c) 反应堆控制棒系统可用;
- d) 反应堆专设安全系统已完成相关试验;
- e) 堆外核仪表系统可用,初始参数按照要求已设置完毕;
- f) 堆外核仪表系统的一个源量程测量通道与控制室声响报警装置连接;
- g) 主回路可溶硼浓度指示仪表和核取样系统可用并处于正常状态;
- h) 补给水箱有足够的除盐水可以满足慢化剂硼稀释需要;
- i) 反应性仪与堆外核仪表系统相连,并完成各项检验,处于可用状态。

6 试验步骤

6.1 控制棒提升

6.1.1 记录临界操作前机组状态参数,记录堆外核仪表系统源量程通道初始中子计数率,将该计数率作为基准计数率(C_0)。

6.1.2 以固定间隔提升控制棒,每次提升一定的步数后,记录堆外核仪表系统源量程通道计数率(C_i),可计算倒计数率。倒计数率($1/M$)为 C_0 与 C_i 的比值,即 $1/M=C_0/C_i$ 。

6.1.3 依次把控制棒提升到预定位置。每次提棒后记录控制棒的位置和源量程计数率,绘制倒计数率与控制棒位置关系曲线。

6.2 慢化剂硼浓度稀释

6.2.1 当控制棒提升到预定位置后,记录源量程通道计数率,并以此作为稀释过程中基准计数率(C_0)。

6.2.2 在整个稀释过程中,应连续取样分析一回路主管道和稳压器中的硼浓度。取样分析频率不低于每半小时一次。

6.2.3 根据理论数据,估算稀释所需水量,根据安全分析对于反应性引入速率大小的限制和逼近临界程度,确定稀释速率。

6.2.4 在稀释过程中,为了使稳压器与主回路中的硼浓度快速达到均匀,可投入稳压器的全部加热器。

6.2.5 连续监测并记录硼浓度、稀释时间和注入水总量等数据,分别绘制倒计数率与硼浓度和注水总量关系曲线,并外推临界硼浓度。

6.2.6 当一回路硼浓度接近外推(或理论计算)临界硼浓度或中子倒计数率($1/M$)达到0.08时,停止稀释,等待慢化剂硼浓度均匀,即稳压器与主回路中的硼浓度偏差小于 $20\mu\text{g/g}$ 。

6.3 达临界

6.3.1 如果在慢化剂硼浓度均匀过程中反应堆临界,可通过控制棒稳定堆芯的中子注量率,并记录临界时机组状态参数。

6.3.2 如果慢化剂硼浓度充分均匀后,反应堆还没有临界,逐步提升停留在堆芯内的一组(或几组)控制棒或继续进行硼稀释,密切注视中子注量率增加情况,直到反应堆临界,并记录机组状态参数。

6.3.3 如果停留在堆芯内的所有控制棒被提升到上限后,反应堆还没有临界,则将控制棒重新插回到开始稀释前的位置,然后向堆芯内注入适量的除盐水,等待慢化剂硼浓度进一步均匀。

6.3.4 重复6.3.1~6.3.3操作步骤,直至反应堆临界。

6.4 堆外核仪表系统线性和重叠性检验

6.4.1 反应堆临界后,利用停留在堆芯内的一组(或几组)控制棒稳定堆芯中子注量率水平,记录堆外核仪表各个量程通道的信号。

6.4.2 调整堆外核仪表系统各个测量通道的保护定值,为使源量程通道在中子注量率提升过程中观察到饱和现象,可适当提高源量程的保护定值。

6.4.3 提升控制棒,引入一个较小的正反应性,使中子注量率缓慢增加。中子注量率增加过程中,当出现源量程允许闭锁信号时,暂时不闭锁源量程通道。连续记录堆外核仪表系统各测量通道信号,检验各测量通道的线性和重叠性。

6.4.4 当源量程通道出现饱和或距离停堆保护定值只有0.5个数量级时,下插控制棒稳定堆芯中子注量率,闭锁源量程通道。

6.4.5 提升控制棒,引入一个较小的正反应性,使中子注量率缓慢增加。当出现核发热现象或中子注量率增加到距离停堆保护定值还有0.5个数量级时,下插控制棒稳定中子注量率。

6.4.6 如果停止提升中子注量率后,反应堆还没有出现核发热现象,则检查机组状态是否稳定以及堆外核仪表系统各个通道信号是否一致。如果一切正常,重新设置堆外核仪表系统的保护定值,再次提升控制棒增加中子注量率,直到出现核发热现象为止。

6.4.7 在中子注量率增加过程中，记录堆外核仪表系统各个测量通道（源量程已经闭锁）测量信号，进行线性和重叠性的检验。

6.5 确定零功率物理试验范围

6.5.1 当出现核发热现象时，记录堆外核仪表系统各个通道的中子注量率信号。在这个中子注量率水平的基础上，降低大约 0.5 个数量级，即为零功率物理试验的上限。

6.5.2 物理试验范围的下限比堆外核仪表系统功率量程通道本底电流高一个数量级。本底电流在验证功率量程通道的线性过程中测量得到。

6.6 反应性仪校验

6.6.1 通过控制棒调整中子注量率，使之处于合适水平。如果引入正反应性，调整通量水平在反应性仪测量范围的下限位置（大约为满量程的 15% 左右），如果引入负反应性，则调整通量水平在反应性仪测量范围的上限位置（大约为满量程的 90% 左右）。

6.6.2 快速提升或插入控制棒引入反应性，堆芯中子注量率将缓慢变化，记录中子注量率从不同起点增加一倍的时间（推荐 30%—60%，35%—70%，40%—80%），然后计算平均值，作为中子注量率倍增周期。

6.6.3 根据倍增周期与反应性的关系曲线（或表格），查找出与倍增周期对应的反应性，与反应性仪显示的反应性进行比较。

6.6.4 利用上述方法，依次引入若干个具有代表性的反应性（绝对值建议小于 60 pcm），校验反应性仪的测量值与理论计算值的偏差，每次结果必须满足其验收准则，如不满足，则查找原因，并重新验证直到能满足测量精度要求为止。反应性仪校验的验收准则为：

$$\left| \frac{\rho_F - \rho_D}{\rho_D} \right| \leq 4\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ρ_F ——反应性仪测量的反应性值；

ρ_D ——利用中子注量率倍增时间查找出的反应性值。

7 注意事项

7.1 试验应遵守运行技术规范的要求。

7.2 中子注量率增加速率限制在每分钟一个量级以下，即倍增周期大于 18 s。

7.3 不容许同时进行两种及以上改变反应性的操作。

7.4 在进行提升控制棒或慢化剂稀释操作时，应密切关注堆外核仪表系统各测量通道的信号。当发现异常增加时，应立即停止操作，查明原因。在判明事件确实不危及反应堆安全之前，不应恢复试验。

7.5 在稀释过程中，如果发生停堆事件，立即停止稀释，认真查明事件原因，当判明造成停堆的原因确实不危及反应堆安全时，则硼浓度可以保持在停堆时的水平。

7.6 严格控制稀释过程中反应性的引入速率，确保反应性引入速率不超过 1000 pcm/h。

8 验收准则

8.1 安全地将反应堆引入到临界状态。

8.2 堆外核仪表系统各量程通道之间的线性和重叠性满足设计要求。

8.3 确定了零功率物理试验的范围。

8.4 反应性仪的测量值与利用中子注量率倍增时间法获得的反应性之间的误差不大于 4%。

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
压水堆核电厂反应堆首次临界试验
NB/T 20144—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

*

2013 年 3 月第 1 版 2013 年 3 月第 1 次印刷
印数 1—200