

压水堆定期安全审评

Periodic Safety Review of PWR

周拥辉

(国家核安全局苏州核安全中心, 江苏苏州, 215004)

摘要 主要介绍了法国压水堆核电站定期安全审评 (PSR) 情况, 并对我国压水堆核电站定期安全审评作一简单介绍。

关键词 定期安全审评 符合性检查 安全再评价

Abstract Periodic safety review in French PWR was introduced, and periodic safety review in China was presented.

Key words Periodic safety review Conformity check Safety reassessment

目前, 国际上对运行的核电站有三种安全评价方式: (1) 运行期间的连续安全分析 (包括事故分析), (2) 专门项目的安全分析 (如辐射防护等), (3) 定期安全审评 (PSR)。与对运行反馈进行安全分析的连续安全分析相比, 定期安全分析可以对那些不能得到经验反馈信息的那些领域作出安全审评, 是对连续安全审评和专门项目安全审评的一种补充。

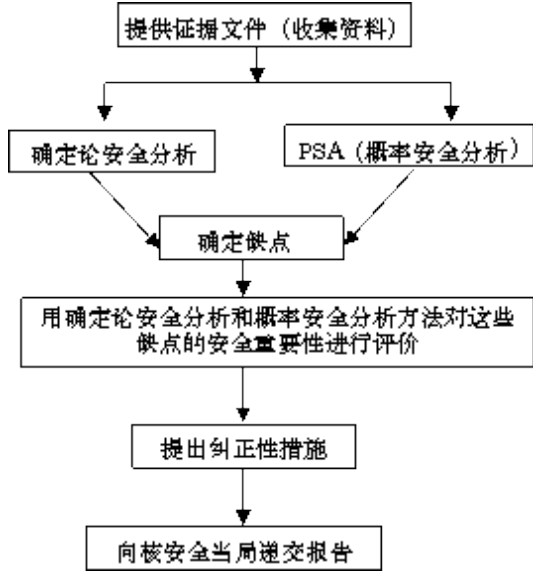
定期安全审评的目的是让运行许可证持有人来提高核电站 (NPP) 的安全性, 一般每十年需进行一次定期安全审评, 每次审评周期不应超过3年。定期安全审评的技术目的是: (1) 对机组的安全水平与其初始安全水平进行比较, 以发现机组的任何性能劣化现象和初始安全分析中的弱点; (2) 对机组的安全水平与当前运行的最新系列的机组安全水平进行比较, 以使机组安全性提高到新的安全水平, 消除发现的安全水平差异。

定期安全审评主要包含了三个阶段的工作, 其过程可用图1表示。

(1) 准备阶段。主要工作是编制适用的安全要求, 它包括安全分析报告、总体运行准则、现场应急计划、设备在役监督准则等。

(2) 审评阶段。主要工作是根据安全要求对电站机组的状态进行安全审评——也就是进行符合性检查, 对应用的安全要求与当前运行的最新系列机组的安全标准进行对比审评——也就是安全再评价。与当前安全标准进行比较并不意味着要满足所有的标准, 这样的再评价不是有系统地、追溯性地把最新系列机组的安全标准强制性地应用在被审评的机组上, 相反, 是对发现的安全差异进行系统的研究, 看是否要对此差异进行纠正。

综 述
核 电 设 计
工 程 管 理
工 程 建 造
运 行 维 护
核 安 全
核 电 前 期
核 电 论 坛
核 电 经 济
核 电 国 产 化
核 电 质 量 保 证
核 电 信 息



(3) 确定纠正措施。主要工作是根据符合性检查的检查结果以及安全差异来确定设计修改包，并对运行文件以及相关文件（如FSAR）进行修改和版本的升级。

本文主要是介绍法国压水堆核电站定期安全审评情况，并对我国压水堆核电站定期安全审评作一简单介绍。

1 法国压水堆定期安全审评

到目前为止，法国在运行的核电站机组有58台，如果对每个核电站都做定期安全审评，其工作量是不可想象、也是不可能的。针对此情况，法国核安全当局采取了系列策略，把几乎相似的核电站分为一个系列，共分了4个系列：

- CP0系列（共6个机组），第一代900 MWe型压水堆核电站；
- CP1—CP2系列（共28个机组），第二代900 MWe型压水堆核电站；
- P4—P’ 4系列（共20个机组），1300 MWe型压水堆核电站；
- N4系列（4个机组），1450 MWe型压水堆核电站。

1.1 900 MWe压水堆核电站

在法国900 MWe系列核电站定期安全审评（PSR）中，用来编制安全要求的文件主要是来自（1）安全分析报告，（2）总体运行准则的第3、6、9、10章，（3）预防性维修的基本大纲，（4）质量手册以及相关的导则。

在1996年12月，法国核安全当局通过了EDF提出的900 MWe系列核电站符合性检查大纲，它包括了以下8个方面内容：

- （1）重要安全相关设备的分级；
- （2）重要安全相关设备在事故条件下的合格证明；
- （3）电气保护装置；
- （4）机械设备和电气设备的支撑；
- （5）文明施工和防止内部水淹；
- （6）地震事件；
- （7）火灾防护；

(8) 极冷天气的防护。

CP0系列定期安全审评的安全再评价工作相当详尽，共涉及到52个主题，几乎所有的主题都包括在安全分析报告中。

CP0系列核电站定期安全审评的安全再评价工作开始于1988年，在1995年结束。在第一个10年停机检修期间对机组进行了大量的修改，提高了机组的安全性。一些重大的修改（如更换安全壳喷淋系统的热交换器等）在第二个10年（从1999年开始）停机检修期间进行。从1995年开始，由于CP1—CP2系列核电站定期安全审评的成果被应用在CP0系列核电站定期安全审评中，所以CP0系列核电站在完成这些重大修改后，可以认为CP0系列机组的安全水平达到了CP1—CP2系列机组的安全水平。这样，法国所有的900 MWe型核电站安全水平就达到了同一安全水平。

1.2 法国900 MWe压水堆定期安全审评经验反馈

在对900 MWe系列核电站进行定期安全审评时，遇到了一些困难，同时也发现了大量的文件差异和设备差异。

(1) 在审评时发现的主要文件差异是：

- 1) 在对重要安全相关设备的地方数据库与国家数据库进行比较时，发现地方数据库以及国家安全参考数据库的设备分级都有错误。
- 2) 在规定电气保护装置设置的文件和计算机数据库发现有差异。
- 3) 发现合格设备的扭矩有差异。

(2) 设备差异主要表现在以下方面：

- 1) 在一些安全级泵上使用了不合格轴承罩；在余热移出泵上使用了不合格的油脂；在化容控制系统泵和余热移出泵上使用不合格密封。
- 2) 在检查电气保护装置设置时，发现用来保护稳压器加热器的一些短路器断开阈值设定太低。
- 3) 在进行文明施工和防止内部水淹内容检查时，发现要对法国所有900 MWe系列核电站的换料水箱（RWS）防护屏障（retention dike）进行修补，连同反应堆厂房的油漆和厂房接合处，以及其它水箱的疏水渠。
- 4) 蒸汽发生器排污系统上的地脚螺栓（用来防甩击）热处理不合适，辅助给水箱的地脚螺栓丢失；安注箱的地脚螺栓不可接近检查。

(3) 在进行定期安全审评时遇到的困难主要是：

- 1) 在检查电气保护装置设置时，发现CP0电站缺少共用的电气保护装置阈值设定参考标准。
- 2) 在进行文明施工和防止内部水淹内容检查时，发现一些检查需要进入高放射性或有污染风险的区域。纠正缺陷时间也有困难，例如在反应堆厂房的油漆工作就需要分布在几个大修期间进行。

1.3 1300 MWe压水堆核电站

法国1300 MWe系列定期安全审评开始于1997年，在1998年年底，法国电力公司（EDF）上交了1300 MWe系列定期安全审评大纲，经过相关部门的审评后，在2000年，形成了最终的1300 MWe系列定期安全审评大纲。

在法国1300 MWe系列核电站定期安全审评编辑当前安全要求时，EDF采用了以下文件（1）安全分析报告；（2）总体运行准则；（3）现场应急计划；（4）设备在役监督准则。法国1300 MWe系列核电站的符合性检查覆盖了以下6个方面的内容：

(1) 防止外部风险

— 地震事件；

— 极冷事件；

— 超载电缆盘的地震抵抗力。

(2) 防止内部风险

— 内部水淹；

— 高能管道破裂 (HELB)。

(3) 安全相关设备、厂房的分级以及重要安全相关设备在事故条件下的合格证明

(4) 柴油发电机的供电能力

(5) 辐射防护

— 放射性区域的分级；

— 应急操作程序中规定的安全相关设备的可接近性。

(6) 总体运行准则的应用

— 在主控室的报警管理和报警探测；

— 在严重事故工况条件下应急操作程序中规定的安全相关设备的可操作性；

— 总体运行准则第4章内容的应用 (确定第二个十年检查期间需要做的定期试验)。

1300 MWe系列定期安全审评的安全再评价选择了以下5个主题：

(1) 事故分析准则；

(2) 事故放射性后果的评价；

(3) 防止外部风险；

(4) 防止现场风险；

(5) 系统设计。

1.4 概率安全分析在法国1300 MWe系列压水堆定期安全审评中的应用

在1998年，法国电力公司提出把PSA应用在1300 MWe系列核电站安全再评价中，他们认为：在1300 MWe系列核电站第二个十年检查框架内，PSA的洞察力可以用在研究和执行设计或运行修改决策上。在2000年7月，EDF提出了一个应用PSA的实用方法。该方法包括了三部分内容：

(1) PSA目标的编制

EDF考虑了反应堆所有状态下的初始事件，把1300 MWe系列反应堆堆芯损坏的总体概率目标定为 10^{-5} /堆·年。在这一阶段，EDF采用的是P-EPS 1300V0计算软件，在这个基础上，EDF把所有概率大于 10^{-8} /堆·年的基本序列收集在功能序列中，最后共组成14个功能序列。

(2) 研究和运行经验反馈对PSA目标的检验

EDF考虑现时反应堆的状态和认识，检查反应堆是否维持反应堆堆芯损坏的总体概率目标在 10^{-5} /堆·年。如果达不到这个值，则要对组成这个功能序列的基本序列进行分析。在这个阶段，EDF采用的是P-EPS1300V1计算软件，在这个基础上，共确定了17个功能序列。EDF对风险增加1倍的功能序列进行了研究分析 (P-EPS1300V0与P-EPS1300V1计算结果的比较结果)，他们是：

1) LHA/LHB配电盘的共模故障 (DCC-LH)；

- 2) 控制棒组机械阻塞导致的紧急停堆失败;
- 3) 在主回路敞开的停堆状态下再循环失败;
- 4) 辅助给水和蒸汽旁路系统在需可用时不可用;
- 5) 蒸汽管线破裂情况下主蒸汽隔离失败。

(3) PSA目标的再评价

考虑了堆芯熔化伴随安全壳早期失效, 使用“1+”级PSA, EDF提出总体概率目标10⁻⁶/堆·年。实际上, “1+”级PSA是由EDF在900 MWe系列2级PSA研究结果的基础上发展出来的, 而900 MWe系列2级PSA还没有经过法国辐射防护和核安全研究所(IRSN) 分析认证, 因此在目前, 第三部分工作是不可执行的。

2 中国压水堆定期安全审评

对核电站的安全进行全面的评价是件很复杂的工作, 经验表明: 把安全性分解成一系列的安全因子可以使该工作变得容易。当前国际原子能机构(IAEA) 把安全性分解成以下因子:

电站

- (1) 电站设计;
- (2) 系统、建筑物和设备的实际状态;
- (3) 设备合格性;
- (4) 老化管理;

安全分析

- (5) 确定论安全分析;
- (6) 概率安全分析;
- (7) 风险分析;

性能和经验反馈

- (8) 安全性能;
- (9) 其它核电站的经验和研究成果的利用;

管理

- (10) 机构和行政管理;
- (11) 程序;
- (12) 人力因子;
- (13) 应急计划;

环境

- (14) 放射性对环境的影响。

安全因子的选择会由于各国具体要求以及具体电站的不同而有差异。如果不采用安全因子模式, 电站安全审评的全面性应该得到保证。

IAEA安全因子对理解电站安全审评的全面性有很大的帮助，我国目前只有大亚湾核电站以及秦山一期核电站在做定期安全审评工作，其做法主要是参考国际原子能机构（IAEA）的安全因子做法，根据我国HAF0312（即将出台）法规要求，对电站以下11个安全因子进行检查和审评：

- （1）反应堆实际状态；
- （2）安全分析；
- （3）设备合格性；
- （4）老化管理；
- （5）安全绩效；
- （6）其他反应堆的经验反馈和研究成果的利用；
- （7）程序；
- （8）机构和行政管理；
- （9）人力因子问题；
- （10）应急计划；
- （11）环境影响。

3 结束语

定期安全审评是对现存核电站进行一个全面的安全评价、使该核电站安全水平达到当前国际上接受的安全标准和惯例的一个有效方法，是对连续安全审评和专门项目安全审评的一种补充，而不是替代。我国在这这方面的工作，包括技术上的支持都有待加强和提高。

参考文献

- [1] 中法定期安全审评研讨会资料