



2015年核电站新技术交流研讨会



靖剑平

核与辐射安全研究所反应堆安全分析组组长，高级工程师，博士。主要从事反应堆热工水力和安全分析研究等工作。承担CAP1400严重事故校核计算及审评技术研究，大型先进压水堆及高温气冷堆核电站等重大专项子课题3项、中科院战略先导专项子课题1项、其它课题多项，编写科研报告多份，发表学术论文30余篇。

我国三代自主设计核电厂独立审核计算审评



核安全审评中的独立审核计算

环境保护部核与辐射安全中心

靖剑平

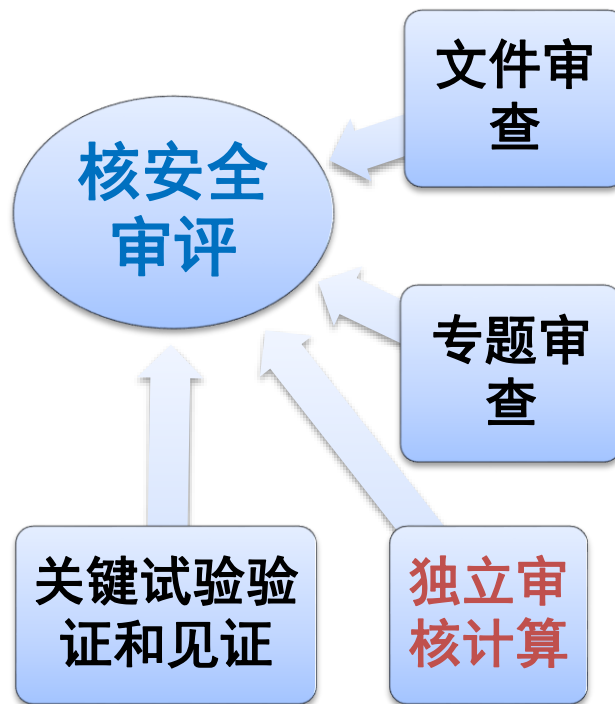


目录

- 一. 背景
- 二. 审核计算工作流程和方法
- 三. 审核计算内容和程序

- 日本福岛核事故发生后，国内外对核电厂的安全问题日益重视，提出了更高的要求
- CAP1400、华龙一号均为我国自主设计的三代核电机组，缺少可借鉴的国外审评经验和运行经验
- 环境保护部核与辐射安全中心自2010年起扩编至600人，并重新规划了业务部门的职责，建立了独立审核计算队伍
- 为了提高审评深度，依据核安全法规的要求，国家核安全局提出了新的审评方法，以审查核电厂满足法规要求的情况

- **文件审评**：即国家核安全局通常对安全分析报告及其他支持性文件的审查
- **独立审核计算**：针对各专业选定的内容，利用安全分析程序开展独立的模型建立和审核计算
- **独立试验验证**：试验方案、试验大纲、试验报告审查；现场试验见证；独立试验验证
- **专题审查**：针对程序适用性、试验方案完备性，以及其它重大技术问题



审核计算工作流程和方法



环境保护部核与辐射安全中心
Nuclear and Radiation Safety Center

- 计算目的

- 确保安全设计满足法规要求
- 验证安全分析计算的正确性

- 计算范围

- 重要的安全设计和事故分析
- 安全审评中关注的具体问题

- 计算过程

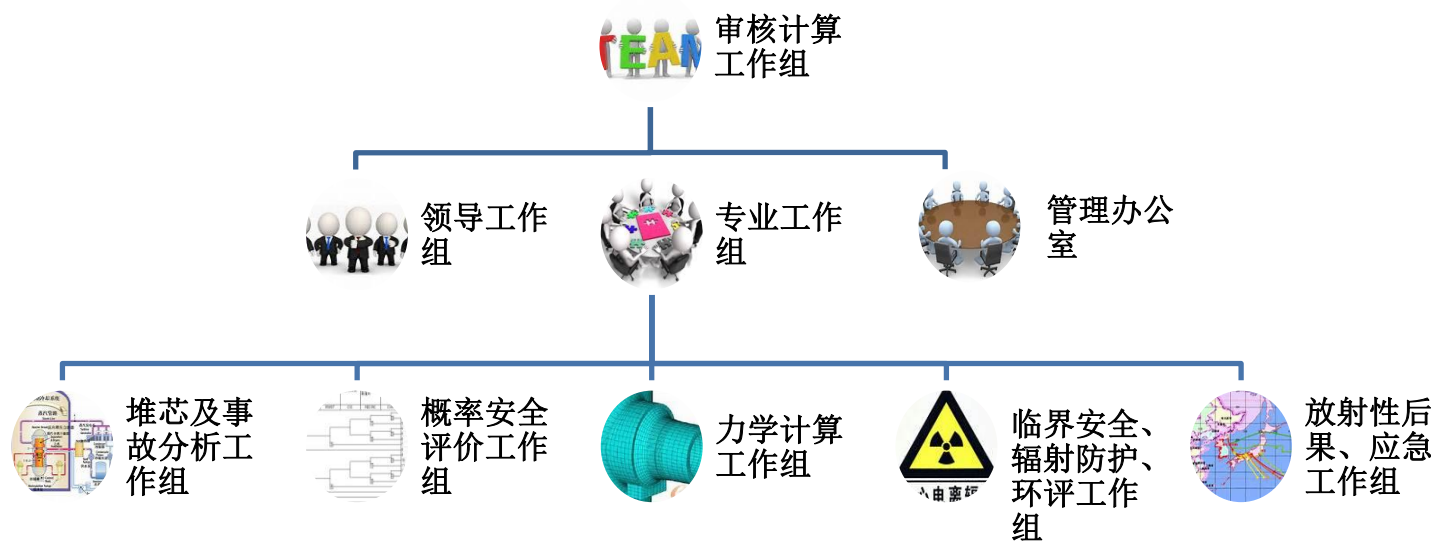
- 初步设计阶段
- 最终设计阶段
- 运行阶段

审核计算工作流程和方法



环境保护部核与辐射安全中心
Nuclear and Radiation Safety Center

- 核电厂审评方案
- 国家核安全局下派任务工作单
- 核与辐射安全中心承担具体计算工作



核二司 工作任务单

编号: 二司工作单 [2015]55 号 2015 年 2 月 28 日

承担单位	核与辐射安全中心; 机械院核安全中心	密级	普通	紧急	普通
项目名称	防城港核电厂二、四号机组初步安全分析报告	项目编号	审评 1402		
工作内容	广西防城港核电有限公司向我局报送了防城港核电厂二、四号机组初步安全分析报告。现请贵中心组织机械院中心、惠州核安全中心等单位开展审评。审核人员按照进度				

核二司 工作任务单

编号: 二司工作单 [2014] 号 2014 年 12 月 22 日

承担单位	核与辐射安全中心	密级	普通	紧急	普通
项目名称	福清 5、6 号机组独立审评计算及关键试验见证	项目编号	审评 1402		
工作内容	按照《福清核电厂 5、6 号机组安全审评方案》的要求, 现请贵中心结合前期已开展的试验见证和审评计算工作, 组织开展以下工作: 1. 选取关键、典型的核安全问题进行独立审评计算。审评计算事项应当遵循使用不同设计单位的软件进行, 使用与设计相同软件时计算至少应进行独立建模分析。审评计算事项分两阶段进行, 第一阶段于 2015 年 12 月完成, 第二阶段于 2016 年 3 月完成。具体任务分工见《安全审评方案》。 2. 针对福清 5、6 号机组已完成的关键试验, 请于 2015 年 1 月底前完成试验见证报告; 对于审评过程中提出的试验计划, 请于 2015 年 2 月底前完成试验计划。				

核二司 工作任务单

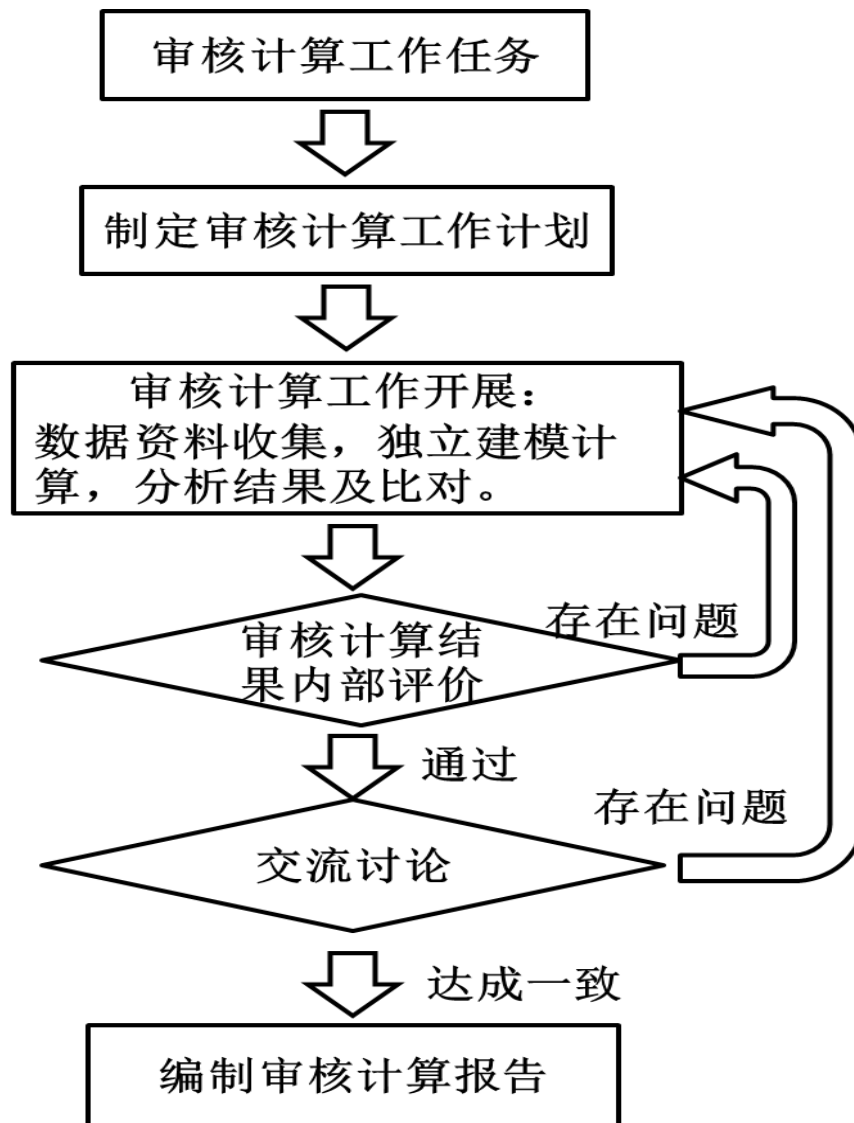
编号: 二司工作单 [2013]04 号 2013 年 4 月 22 日

承担单位	核与辐射安全中心	密级	普通	紧急	普通
项目名称	CAP1400 非能动系统独立审评计算	项目编号	审评 1306		
工作内容	为贯彻落实 CAP1400 非能动系统安全审评总体方案的要求, 请贵中心以标准设计为对象, 按照独立审评计算要求, 通过独立建模, 完成审评计算任务, 并按时提交 PSAR 阶段的独立审评计算报告。 请贵中心按照独立审评计算要求编制独立审评计算工作计划书, 并于 4 月 30 日前报核电厂。附件: 独立审评计算要求 文件编号: 核电三处 [2013]17 号				
完成时间	2013 年 12 月				
联系人	刘有才	联系电话	66555843		
业务处	核二处 102-13	审核处	核二处 102-13		
审核人	[Signature]				
审核日期	2013 年 4 月 22 日				

审核计算工作流程和方法



环境保护部核与辐射安全中心
Nuclear and Radiation Safety Center



审核计算工作流程和方法



环境保护部核与辐射安全中心
Nuclear and Radiation Safety Center



审核计算工作方式

- 背对背独立建模，开展安全分析
- 进行结果比较
- 针对分析结果形成独立的评价意见



内容选取原则

- PSAR阶段：
 - 主要选取安全分析报告中的分析内容，采用相同的分析方法和假设进行计算，对比结果
 - **审核分析方法、分析过程的适用性，计算结果的正确性**
- FSAR阶段：
 - 独立选取相关参数、假设和工况
 - 以概率安全评价为支持，选取风险重要系统和部件等
 - **审核设计的有效性和安全性**



- 独立审核计算的七个方面内容：
 - 反应堆物理
 - 设计基准事故分析
 - 严重事故分析
 - 辐射防护
 - 概率安全评价
 - 应力与结构抗震分析
 - 环境影响评价

- 已开展独立审核计算的核电厂：
 - 国核压水堆示范工程（CAP1400）独立审核计算
 - 编制并提交了《国核压水堆示范工程初步安全分析阶段审核计算安全评价报告》
 - 防城港3、4号机组（华龙一号）独立审核计算
 - 《防城港3/4号机组初步安全分析阶段审核计算安全评价报告》初稿已完成
 - 福清5、6号机组（华龙一号）独立审核计算
 - 正在编制《福清5/6号机组初步安全分析阶段审核计算安全评价报告》

审核计算内容（PSAR）



环境保护部核与辐射安全中心
Nuclear and Radiation Safety Center

- 反应堆物理

核电厂	计算内容
国核压水堆示范工程	▲ 堆芯核设计 ▲ 乏燃料水池临界安全分析
福清5、6号	▲ 乏燃料水池燃料临界安全分析 ▲ 弹棒事故分析
防城港3、4号	▲ 堆芯核设计

审核计算内容（PSAR）



环境保护部核与辐射安全中心
Nuclear and Radiation Safety Center

- 设计基准事故分析

核电厂	计算内容
国核压水堆示范工程	反应堆冷却剂系统流量下降事故 单根蒸汽发生器传热管破裂事故 汽机停机事故 主给水管断裂事故
福清5、6号	丧失厂外电源 卡轴事故 反应堆冷却剂强迫流动全部丧失 蒸汽发生器传热管破裂 中小LOCA
防城港3、4号	丧失厂外电源 卡轴事故 中小LOCA

- 严重事故分析

核电厂	计算内容
国核压水堆示范工程	- DVI管破裂触发严重事故 - ADS-4阀门误开启触发严重事故
福清5、6号	SB0触发的严重事故
防城港3、4号	SB0触发的严重事故

• 辐射防护

核电厂	计算内容
国核压水堆示范工程	- 堆芯源项、气载放射性源项 - 反应堆压力容器快中子注量率、混凝土一次屏蔽中子注量率、辅助屏蔽
福清5、6号	- 一回路裂变产物源项、腐蚀产物源项 - 压力容器快中子注量率、一次屏蔽中子注量率、厂房的屏蔽设计
防城港3、4号	- 堆芯积存量、反应堆厂房的气载放射性源项 - 压力容器快中子注量率

• 概率安全评价

核电厂	计算内容
国核压水堆示范工程	• 一条安注管线破裂始发事件分析 • 主给水可用瞬态始发事件分析
福清5、6号	• 大LOCA始发事件分析 • 丧失厂外电始发事件分析
防城港3、4号	• 蒸汽发生器传热管破裂始发事件分析 • 丧失主给水始发事件分析 • 通用瞬态 • 内部灾害（基于蒸汽发生器丧失主给水）

• 应力分析

核电厂	计算内容
国核压水堆示范工程	- 反应堆压力容器下筒体和下封头应力分析 - 堆芯补水箱到冷段管应力分析 - 蒸汽发生器排污管线应力分析
福清5、6号	- 主管道应力评定 - 稳压器排放系统的力学分析 - 反应堆压力容器顶盖应力分析 - 波动管的疲劳分析 - 主蒸汽管道裂纹稳定性分析
防城港3、4号	- 压力容器下封头部分应力分析 - 堆芯支撑板应力分析

• 结构抗震

核电厂	计算内容
国核压水堆示范工程	• 钢安全壳极限内压承载力分析 • 核岛屏蔽厂房结构安全性分析
福清5、6号	• 安全壳极限承载力分析 • PCS抗震性能分析 • 基础底板地震响应分析 • 反应堆冷却剂环路结构抗震分析
防城港3、4号	• 模型建立

• 环境影响评价

核电厂	计算内容
国核压水堆示范工程	• 气态流出物源项 • 液态流出物源项
福清5、6号	• 气态流出物源项 • 液态流出物源项
防城港3、4号	• 大气弥散因子 • 液态流出物在受纳水体中的稀释扩散因子 • 正常运行下排放物和流出物所引起的居民辐照剂量

中子物理和临界安全分析程序： PARCS、NEXUS/ANC9程序包、SCALE6.1、MCNP、ORIGEN-S、SCIENCE、Microshield

热工水力分析程序： RELAP5、TRACE、COBRA、VIPRE-W、FLICA

严重事故分析程序： MELCOR

安全壳热工水力程序： GASFLOW

结构程序： ANSYS、PIPESTRESS、ABAQUS

放射性后果分析程序： MACCS

概率安全分析程序： RiskSpectrum程序包



谢 谢！