

FRAPCON-2 动力堆燃料棒稳态性能程序移植

周善元

(中国原子能科学研究院, 北京)

关键词 计算机程序, 燃料棒, 稳态, 许可证, 反应堆安全。

一、程序移植目的

1. 模拟动力堆燃料元件单棒稳态运行性能供燃料元件单棒的设计和运行参考

我国反应堆燃料性能程序研究起步较晚, 移植美国 NRC 经过多年发展和校验的标准程序有利于我国动力堆燃料元件的设计、制造和运行方面的研究, 对发展我国轻水堆燃料元件稳态性能程序有一定参考价值。

2. 为动力堆燃料元件单棒瞬态性能分析和事故工况分析提供初始条件

FRAPCON-2 是轻水堆燃料元件稳态运行性能程序, 与燃料元件瞬态性能分析程序 FRAP-T 6, 水堆热工水力事故分析程序 RELAP 4/MODEL 7 是配套使用的, 并为后面两个分析程序提供初始条件。因为反应堆的瞬态过程或事故, 通常是在反应堆作一段稳态运行之后发生的, 瞬态分析或事故分析须建立在稳态运行的初始条件上。目前我国正积极开展反应堆安全分析方面的工作, 引进 FRAP-T6 和 RELAP 程序, 因此移植稳态性能程序 FRAPCON-2 是很有必要的。

二、FRAPCON-2 简介

FRAPCON-2 是美国核管会在七十年代末和八十年代初开发的大型计算机程序, 目的是为反应堆安全分析和审批核电站许可证进行校核计算, 并已经过大量堆内堆外实验数据定标和校核。现在是美核管会动力堆燃料单棒稳态运行性能的审批程序。程序的模型概括了下述八个方面: (1) 燃料和包壳中的热传导; (2) 包壳的弹塑性变形; (3) 燃料-包壳间的力学相互作用; (4) 裂变气体释放; (5) 燃料棒中气体内压; (6) 燃料和包壳间的热传; (7) 包壳的氧化; (8) 由包壳到冷却剂的热传。

1. 理论模型

FRAPCON-2 包含有四个温度力学理论模型, 六个气体释放理论模型, 根据需要可供选择, 并可作不确定性分析, 其温度和力学模型如表 1。气体释放模型列于表 2。

2. 程序结构

FRAPCON-2 是大型的计算机程序, 包括 260 多个子程序。这些子程序又根据不同功能和模型分别组成七个程序包, 见表 3。

FRAPCON-2 程序的运算过程可以用图 1 简明地表示。

表 1 综合的温度和力学模型

力学模型名称	相关燃料垂置位模型	相关燃料热导因子模型	模型简述
FRACAS-I	COLFMEN	COLEMAN	刚性芯块模型
FRACAS-II	CARLSON	COLEMAN	变形芯块模型
PELET/RADIAL		WILLIFORD	开裂芯块模型
AXISYM	—	—	局部应变二维模型

表 2 气体释放模型

气体释放模型名称	模型的基础	开发实验室
BEYER-HANN	经验性的	PNL
BOOTH	具有经验常数的扩散理论	AECL
MaCDONALD-WEISMAN	具有经验常数均释放和滞留机率的模型	INEL
ANS 5.4	详尽的扩散模型	PNL
FASTGRASS	机制性的方法	ANL
GRASS	机制性的方法	ANL

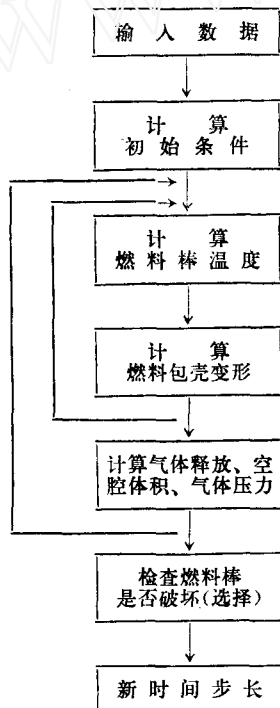


图 1 FRAPCON-2 运算简图

三、不同模型计算结果比较 (气体释放模型)

在 FRAPCON-2 中，共有五个气体释放模型，对于程序本身提供的例题，用不同的气体模型计算，得到图 2 和图 3。算例属于 PWR 元件单棒稳态运行工况，为避免冗长，算例的输入数据和输出结果可参考文献 [1] 和例题计算结果。图 2 为燃耗和累积气体释放量的关系；图 3 为峰值功率轴向区段的燃料棒中心温度和燃耗的关系；图 4 是燃料棒中气体内压和燃耗间的关系。结果表明：

(1) 不同模型间结果相差较大。譬如在同样的力学模型下 (FRACAS-II 变形芯块模型) MaCDONALD-WEISMAN 模型计算的累积裂变气体释放量较 BEYER-HANN 模型计算结果高出约十倍，但 BEYER-HANN 模型的结果和 BOOTH 模型的计算

结果比较相近。对于较为典型的压水堆燃料元件单棒稳态运行工况，譬如 H.B.ROBINSON BO 5 棒计算结果，与堆内实验结果比较，BEYER-HANN 模型的计算结果和实验结果符合得较其它模型为好^[2]。

(2) 用不同力学模型，同一气体释放模型计算累积裂变气体释放量，其结果相差不

表 3 FRAPCON-2 的主要程序包

程序包名称	简 述
FRAPCON	程序的主体, 包含所有热模型, 还包含不确定性分析, 包壳破坏模型, 刚性芯块力学模型 FRACAS-I 的子程序
FRACAS-II	包含变型芯块力学模型 FRACAS-II 的子程序
PELET	包含构成开裂芯块力学模型 PELET/RADIAL 的子程序
AXISYM	包含构成局部应变力学模型 AXISYM 的子程序
MATPRO	材料性能程序包
GRASS	包含构成 GRASS 裂变气体释放模型的子程序
FAST-GRASS	包含构成 FAST-GRASS 裂变气体释放模型的子程序

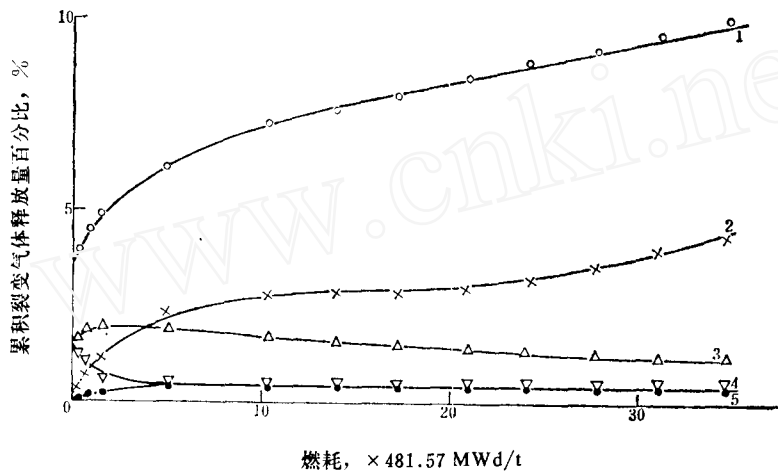


图 2 累积裂变气体释放量和燃耗的关系

- MECHAN=3, NGASS=0, MaCDONALD-WEISMAN Model;
- ×—MECHAN=3, NGASR=6, ANS 5.4 Model; △—MECHAN=3, NGASR=1 & 2, BEYER-HANN Model;
- ▽—MECHAN=1, NGASR=2, BEYER-HANN Model;
- MECHAN=3, NGASR=-1, BOOTH Model.

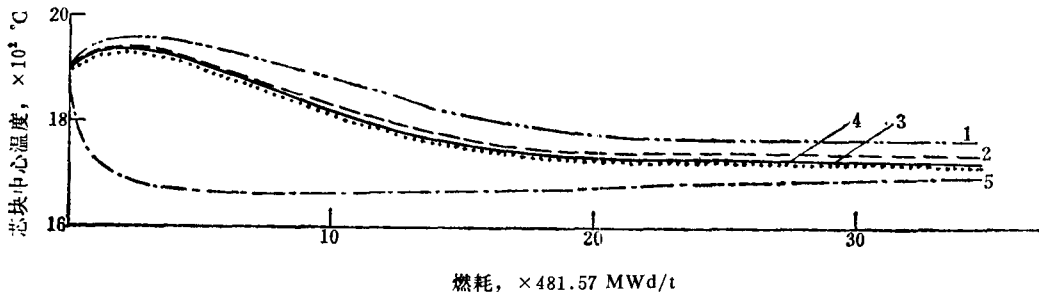


图 3 峰值功率轴向段芯块中心温度和燃耗的关系

- MECHAN=3, NGASR=0, MaCDONALD WEISMAN Model;
- - - MECHAN=3, NGASR=6, ANS 5.4 Model;
- MECHAN=3, NGASR=2, BEYER-HANN Model;
- MECHAN=3, NGASR=-1, BOOTH Model;
- MECHAN=1, NGASR=2, BEYER-HANN Model.

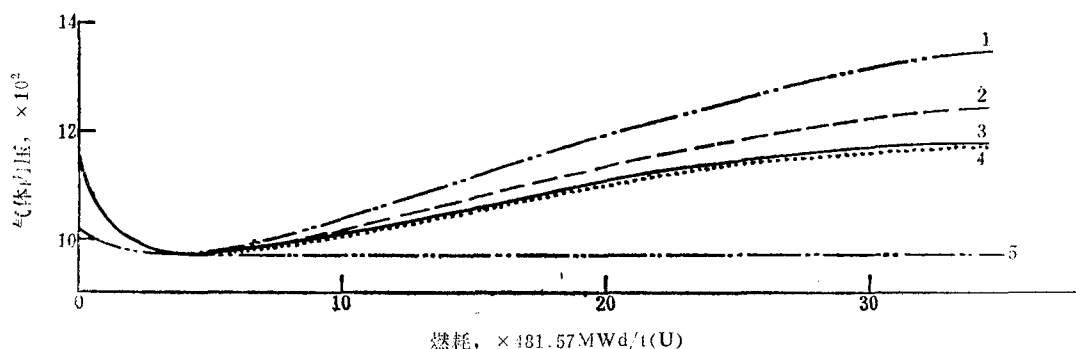


图 4 燃料棒气体内压和燃耗的关系

- MECHAN=3, NGASR=0, MaCDONALD WEISMAN Model;
- MECHAN=3, NGASR=6, ANS 5.4 Model;
- MECHAN=3, NGASR=1 & 2, BEYER-HANN Model;
- MECHAN=3, NGASR=-1, BOOTH Model;
- - - MECHAN=1, NGASR=2, BEYER-HANN Model.

大。这说明不同的力学模型对气体释放量的计算虽有影响,但并不敏感。譬如同样用 BEYER-HANN 模型,而力学模型分别采用变形芯块力学模型 FRACAS-II 或开裂芯块力学模型 PELET 计算,其累积裂变气体释放量相差不大。

(3) 用同一力学模型,不同气体释放模型计算燃料棒中心温度分布,其结果虽因气体释放模型不同而有影响,但相差不大。即燃料棒中心温度分布对气体释放模型不敏感(图3曲线 1, 2, 3, 4);但是同一气体释放模型,不同力学模型计算出的燃料棒中心温度分布值相差较大(图3曲线 3 和 5)。

从所需计算机内存容量来看,变形芯块模型 FRACAS-II 较开裂芯块模型 PELET 所需内存容量小;但是,从计算时间上,PELET 模型比 FRACAS-II 收敛快,FRACAS-II 所需的计算机时间约为 PELET 模型所需计算机时间的三倍。(譬如对所算的同一例题,当选用 PELET/BEYER-HANN 时计算机时间为 478 s 而选 FRACAS-II/BEYER-HANN 模型组合时,计算机时间为 1362 s)。

根据 FSAPCON-2 开发评价报告,对于压水堆燃料元件单棒稳态运行工况,力学模型取 FRACAS-II,气体释放模型取 BEYER-HANN 是一个可取组合^[2]。

FRAPCON-2 程序已移植在国内 CYBER-172 计算机上,可用于工程计算。(由于 CYBER-172 机内存容量不够,在计算模型的选择上有一定限制,譬如不可选 PELET/GRASS 组合或 AXISYM 子程序以及相应的搭配)。可对秦山核电站燃料元件单棒进行稳态性能实例计算,也可对广东核电站燃料元件单棒性能进行校核计算。对于 CYBER-825 机,由于内容量大,在计算模型的选择搭配上有更大的自由度。

参 考 文 献

- [1] NUREG/CR-1845, R 3, 1981.
- [2] NUREG/CR-1949, PNL-3849, 1981.

(编辑部收到日期: 1984 年 7 月 31 日)

INSTALLATION OF USANRC'S FRAPCON-2 COMPUTER CODE FOR LWR FUEL ROD STEADY STATE PERFORMANCE ANALYSIS

ZHOU SHANYUAN

(Institute of Atomic Energy, P.O.Box 275, Beijing)

ABSTRACT

USANRC'S licensing computer code FRAPCON-2 for LWR fuel rod steady state performance calculation is introduced and installed on Cyber-172/720 computer. Different theoretical models, particularly for fission gas release are compared. The code is recommended for LWR licensing computation and providing initial conditions for reactor safety transient analysis.

Key words Computer code, Fuel rod, Steady state, Licensing, Reactor safety.

用 γ 射线衰减技术测量两相流中 空泡份额精度的试验研究

沙宏玮 赵可人 杨晓和 田赤军 单学传

(中国原子能科学研究院, 北京)

关键词 γ 射线, 空泡份额, 测量精度。

一、引言

用 γ 射线衰减技术测量两相流中的空泡份额, 方法简单, 应用最为广泛, 并常以它来对其它测量方法进行标定, 因此它的测量精度就十分重要。对于一次测量法, 在空泡份额 $> 10\%$ 的情况下认为可达 $\pm 5\%$, 而实际上一般取为 $\pm 10\%$ ^[1]。

本文介绍对 γ 射线一次测量法的测量精度进行试验研究的结果, 以及如何实现高精度测量的问题。

二、研究方法

利用 γ 射线衰减技术测量两相流中空泡份额 α 的公式为^[2]:

$$\alpha = \frac{\ln(N_m/N_1)}{\ln(N_g/N_1)} \quad (1)$$

式中,

N_m —— γ 射线穿过试验段中空气-水两相混合物后的计数率(计数/分),