

文章编号：0258-0926(2014)02-0166-04

# HFETR 老化管理研究及老化管理数据库系统研发

张晓媚, 贾亚青, 刘 鹏, 陈启兵, 李子彦, 张 莹

中国核动力研究设计院, 成都, 610005

摘要：高通量工程试验堆（HFETR）作为我国自行设计建造的多用途研究堆，在运行 25 年后，于 2005 年展开老化管理研究工作，包括 HFETR 老化管理方式的确定、设备的选取等，并根据老化管理的研究成果，研发 HFETR 老化管理数据库系统。

关键词：HFETR；研究堆；老化管理数据库；老化管理设备

中图分类号：TL38 文献标志码：A

## 0 研究堆的特殊性

高通量工程试验堆（HFETR）是我国自主研发的多用途研究堆，建造于 20 世纪 70 年代，一直运行至今。对于研究堆，虽然影响设备老化的因素，或者老化相关降质的方式与动力堆相似，但由于研究堆的设计、运行和应用原则与动力堆有很大区别，需要针对研究堆运行特点制定不同于动力堆的老化管理原则。具体原因如下：

（1）运行参数与动力堆不同：一般来说，大多数的研究堆运行参数较低，相对于动力堆 15 MPa 左右的运行压力及 300 左右的运行温度来说，研究堆的运行压力一般在几个 MPa 以下，运行温度也普遍较低。

（2）运行方式与动力堆不同：研究堆的运行有以下特点：首先，为了完成一些试验，需要调整反应堆运行功率以及不同的工况下改变堆芯的布置，总体来说运行工况复杂；其次，研究堆的燃料装量普遍比较少，一炉循环时间也就相对应的短，每炉循环的累积积分功率低，寿期内启停堆次数多。

（3）作为试验平台：作为试验平台是研究堆的一个重要应用方面，以研究堆本身作为试验应用或者在反应堆运行期间的单独试验，尽管在设计这些试验时，已经尽可能地考虑了试验对反应堆的影响，然而由于试验的不确定性，使得试验

本身对反应堆的影响无法全部事先估计得到。

（4）研究堆的修改：研究堆的修改是指对原设计的变化或改进，其表现在由于应用方向的变化，需要对原有的设计进行改变；由于技术进步，需要对原设计进行改进；引进新的部件；由于安全概念的进步或安全要求的提高，对原有软、硬件的有关变更。

（5）研究堆特殊的设备和部件：不同于动力堆批量化设计和建造，研究堆由于其应用目的不同，其设计不同，一些关键设备和部件为特殊设计的（多为堆芯部件和一回路设备），且由于大多数研究堆设计年代久远，以及研究堆的频繁修改，使得研究堆或多或少存在备品备件不足的情况，部分设备和部件的设计无法追溯其源头。

## 1 HFETR 的老化管理

### 1.1 老化管理方法

老化管理的目的是监测并评价核电厂系统、构筑物 and 部件（SSCs）的可靠度，并采取适当的措施和策略，减轻老化对 SSCs 重要设备的不利影响，确保其在规定的时间内满足安全裕度要求。

老化管理的方法是选择出老化敏感的设备作为老化管理的对象，通过制定老化监测计划，实施老化监督活动，收集和记录数据，通过对数据的分析评价老化的影响。

老化监督活动是一项长期的计划，一般要求尽可能贯穿反应堆的整个寿期，包括在役检查、监测、试验和功能验证。对老化影响的评价，一方面可以对老化机理研究得到的模型对老化数据进行评价，以评价老化管理对象的可靠度，并指导对老化管理对象的监督活动，另一方面可以根据类似堆型的经验和专家（包括核工业领域以外的专家）的意见评价老化的影响。

## 1.2 老化管理对象的选择

由于 HFETR 涉及的设备数量众多、种类繁多，其承担的功能也有很大差别，没必要也无法对每个设备进行专门的老化管理。

HFETR 在老化管理实践中，将对反应堆安全有意义的设备作为老化管理对象，并将其分为 3 类（图 1）：不可更换设备（NR）、不易更换设备（HR）、易更换设备（ER）。

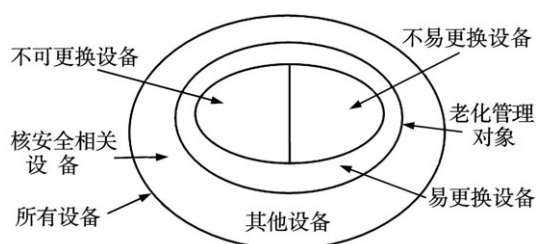


图 1 HFETR 老化管理对象示意图

Fig. 1 Objects of HFETR Ageing Management

1.2.1 2005 年选定的管理对象 在 2005 年制定《HFETR 老化管理大纲》时，根据国家核安全局的要求选定老化管理对象<sup>[1]</sup>，选择了 6 个安全级的不可更换或不易更换设备作为主要老化管理对象，分别为：反应堆压力容器（RPV）、栅格板、主泵、安全棒、控制棒导管及压架、堆出口母管。针对这 6 个老化管理对象分别制定老化管理程序，并要求定期完成老化管理报告。对于易更换设备纳入在役检查、预防性维修、定期试验、定期安全审查（PSR）、周期检定与校验等范围，必要时做老化评估。

1.2.2 2011 年增加的管理对象 在 2011 年 HFETR 第 2 次 PSR 时，参考国际原子能机构（IAEA）对核电厂的老化管理规定<sup>[2]</sup>，增加安全重要电缆作为主要老化管理对象，并将堆出口母管替换为一次水管道，包含了入口母管。HFETR 主要老化管理对象增至 7 个。之所以选择这些对象作为专题老化管理对象，是因为其重要安全意

义和对反应堆寿命的重要性。

HFETR 的 RPV 和栅格板作为不可更换部件，其寿命即为 HFETR 的寿命，需要特别关注其老化情况；安全棒为重要安全部件，它是保证反应堆安全停闭和保证停堆深度的重要手段，也是反应堆运行人员和管理者最为关心的重要部件之一，需要严密监视其老化状况。

主泵、控制棒导管及压架和一次水管道，由于设计制造年代久远，备品备件不足且不易更换，在不可预期的情况下，发生损坏或故障进行维修时，将使反应堆长时间停闭，并可能导致更严重的事故发生，以至于最终导致反应堆永久停闭。为避免这种情况的发生，需要记录相关的运行状况，关注其老化降质情况，在发生损坏前及时采取恰当的措施保证其功能。

安全重要电缆虽然为易更换部件，但由于其失效可能导致很严重的后果，而且大部分安全重要电缆的工作环境（辐射剂量、温湿度）恶劣，老化降质现象明显，有必要进行老化管理。

## 1.3 HFETR 老化管理策略

HFETR 从 2005 年开始制定老化管理大纲，明确了老化管理的范围和目的，同时明确了 HFETR 老化管理的策略，即合理实施在役检查，积极开展预防性维修，建立科学可靠的评价体系，全面收集老化数据。根据在役检查结果和设备运行维修数据，制定对应预防性维修计划，通过对设备数据的分析，评估其寿命并通过在役检查和预防性维修加以确认。

在 HFETR 的老化管理活动中，制定在役检查计划和预防性维修计划，以监测设备的老化状况并缓解，同时针对重要设备，根据其老化管理的特点，制定专门的老化管理程序，从检查方法、检查频率、维修（护）措施、记录格式等方面规范重要物项的老化管理活动。

下面以 RPV 为例进行说明。

与动力堆不同，HFETR 的 RPV 采用奥氏体不锈钢，其材料本身耐辐照性能较好，因此在 HFETR 运行管理中并没有设置辐照监督管，对于 HFETR 的 RPV 在老化管理活动中重点关注的是其焊缝的老化状况。通过每年一次的外观监测确认焊缝完整性；同时每年对焊缝处和整个 RPV 中子积分通量进行计算，通过与材料允许的积分中子通量水平比较来判断 RPV 的寿命；通过压力试

验及监测二次包容液位来判断焊缝是否有泄漏情况；对 RPV 连接部位的螺栓、螺母以及密封圈制定检查更换计划，以保证其安全可靠。

## 2 HFETR 老化管理数据库系统研发

### 2.1 研发背景

HFETR 的运行、维修数据繁多且均为纸质记录，无法进行快捷检索。因此建立了 HFETR 老化管理数据库系统，对 HFETR 各种数据进行长期跟踪、监测和分析，不仅可以为老化管理提供指导和数据支持，也为反应堆延寿提供参考，同时为退役提供数据，还可以为新建研究堆的设备选型和材料选择提供参考。

### 2.2 基本架构

HFETR 老化管理数据库系统是针对 SSCs 的设备状况及其维修信息数据的全面综合管理系统。根据 HFETR 的长期运行经验，要求该系统必须实现 SSCs 状态信息的全面管理功能。包括设备档案、设计参数、生产记录、维修记录等信息的存储、分类、查询、打印及输出功能；同时按照老化管理相关法律法规的要求，针对核安全相关的部分重要物项实现专门老化管理，即该系统的基本构架是以设备信息管理为基础，重点实现重要物项的专题老化管理<sup>[3]</sup>。

设备信息管理涵盖 HFETR 整个 SSCs 的所有相关信息。专题老化管理是在所有 SSCs 基础上选定部分设备，初步选定专题老化管理对象（RPV、栅格板、主泵、安全棒、控制棒导管及其压架、堆出口母管、重要安全电缆共 7 个物项）。HFETR 老化管理数据库系统在设计架构上既有足够的广度，又有要求的深度，能够实现 HFETR 信息全面管理的要求功能。

### 2.3 HFETR 老化管理数据库系统设计

老化管理数据库具有检索、编辑、更新的功能，并随着老化管理研究的不断深入，将具备智能分析诊断、老化管理建议等功能。老化管理数据库由 2 个重要部分构成：基础数据库和老化管理数据库。

基础数据库的建立原则上参照 IAEA 的《核电站老化管理的数据收集和记录保存》进行<sup>[4]</sup>，并充分考虑与核设施现有的接口。全面收集、整理核设施的设计、制造、运行和维修数据，及国内外同类核设施的经验反馈信息和国际上最新的

研究成果。基础数据库分为基本信息、运行历史数据、维修历史数据和辅助数据。

对于纳入专题老化管理的设备，建立各设备特有的数据库，实现设备的全面数据收集和老化评估。老化管理数据库具有通用性，可通过研发或引进专门软件，如老化数据分析诊断系统，使老化管理数据库具备专家系统的功能，可在老化管理活动中为管理者提供建议和意见。

HFETR 老化管理数据系统采用 SQL Server 2005 Express 架构服务器，软件平台采用 Visual C# 编写，软件流程见图 2。

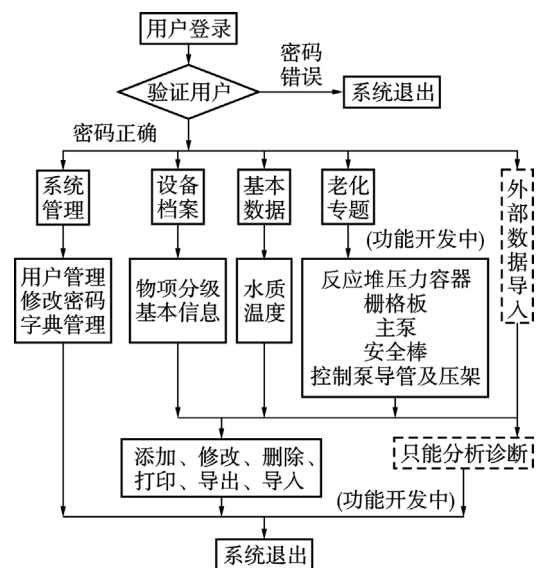


图 2 HFETR 老化管理数据库系统软件流程图

Fig.2 Software Flow Chart of HFETR Ageing Management Database System

### 2.4 HFETR 老化管理数据库系统功能及应用

HFETR 老化管理数据库系统，将安全有效地记录和存储反应堆相关设备的基本数据和老化信息；本系统还将记录设备的维护维修记录，统计各设备故障类型、维修方法、维修时间、故障次数、无故障时间（运行时间）等维护参数，对设备的维护工作提供数据支持。系统具有方便数据的录入、修改和查询，能便捷且直观地显示数据和结果。主要包括：数据录入功能、数据导入导出功能、数据检索功能、报表打印功能、外部数据导入及老化数据分析诊断功能。目前外部数据导入和老化数据分析诊断功能正在开发中。

现阶段，通过使用 HFETR 老化管理数据库系统对 HFETR 的 SSCs 历史数据进行整理和导

入，并录入了新的维修信息和老化管理收集的数据。软件界面友好，且操作方便，可以开展 HFETR 老化数据管理工作，在今后需要重点发展老化数据库的分析诊断模块。

### 3 结束语

国内关于研究堆老化管理仍处于摸索阶段，通过借鉴动力堆老化管理的经验和国际上有关研究堆老化管理的研究，HFETR 的老化管理工作已经取得部分成果，通过了国家核安全局的 2 次 PSR，并取得延寿运行的许可。

在 HFETR 老化管理工作的基础上，研发 HFETR 老化管理数据库系统，经应用表明该系统

符合 HFETR 现阶段老化管理的要求，今后随着老化管理研究的深入，将开发老化数据分析诊断功能，为我国研究堆老化管理提供重要参考。

参考文献：

- [1] EJ/T 1176-2005: 研究堆老化管理[S]. 核工业标准化研究所, 2005.
- [2] IAEA. NS-G-2.12: Ageing Management for Nuclear Power Plants[S]. 2009.
- [3] 高泉源. 研究堆老化管理的法规依据、现状及建议[J]. 核安全, 2006, 4(1): 5-12.
- [4] IAEA. SAFETY SERIES No.50-P-3: DATA COLLECTION AND RECORD KEEPING FOR THE MANAGEMENT OF NUCLEAR POWER PLANT AGEING [S]. 1991.

## Research on HFETR Ageing Management and HFETR Ageing Management Database System Development

Zhang Xiaomei, Jia Yaqing, Liu Peng, Chen Qibing, Li Ziyang, Zhang Ying

Nuclear Power Institute of China, Chengdu, 610005, China

**Abstract:** HFETR, as the multipurpose research reactor, was designed and built by China independently, and the research on ageing management of HFETR was started in 2005 after HFETR had been operated for 25 years. The research is mainly about ageing management methods, ageing management object and etc. According to the achievement of the research, HFETR ageing management database system has been developed.

**Key words:** HFETR, Research reactor, Ageing Management Database, Ageing Management Object

作者简介：

张晓媚（1975—），女，工程师。1996年毕业于乐山师范学院电子技术专业。现主要从事反应堆运行管理及技术研究工作。

贾亚青（1982—），男，工程师。2005年毕业于哈尔滨工程大学核工程与核技术专业，获学士学位。现从事反应堆运行、管理及技术研究工作。

刘鹏（1984—），男，工程师。2007年毕业于西安交通大学核工程与核技术专业，获学士学位。现从事反应堆运行及技术研究工作。

（责任编辑：刘君）