

压水堆核电站燃料管理 燃料制造与燃料运行

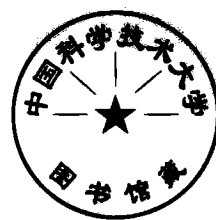
肖 岷 编 著



原子能出版社

压水堆核电站燃料管理、 燃料制造与燃料运行

肖 岷 编著



原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

压水堆核电站燃料管理、燃料制造与燃料运行/肖岷编著. —北京:原子能出版社, 2008. 11

ISBN 978-7-5022-4267-1

I. 压… II. 肖 III. 压水型堆-核电站-核燃料 IV. TM623.91 TL2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 166538 号

压水堆核电站燃料管理、燃料制造与燃料运行

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 黄厚坤

责任校对 冯莲凤

责任印制 丁怀兰 刘芳燕

印刷 保定市中画美凯印刷有限公司

经销 全国新华书店

开本 787 mm×1092 mm 1/16

字数 705 千字

印张 28.375

版次 2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-5022-4267-1

印数 1-3000 定 价 128.00 元

版权所有 侵权必究(如有缺页、倒装,请与出版社联系调换) 网址:<http://www.aep.com.cn>

编辑委员会

高立刚 肖 岷 李晓明

执 笔

肖 岷

主要供稿者

肖 岷 张世权

部分章节供稿者

沈 抗 张 洪 李 雷 张世顺 李伟才 周 州
卢向辉 厉井刚 聂立红 梁 薇 毛国平 李志军

序 言

本书是一部较全面阐述商用压水堆核电站燃料循环、燃料管理、堆芯设计、燃料运行经验和燃料制造的专著。

大亚湾核电站是我国第一座大型商用核电站。它的建成不但带动了我国大型商用核电站的运行和管理的自主化,而且通过大亚湾核电站的自主创新和不断改革,带动了我国堆芯设计、燃料管理和先进燃料管理技术的较大的发展,同时也带动了我国燃料组件制造工业的发展和进步。

本书从燃料循环、压水堆核电站燃料管理和燃料运行经验等方面阐述了国内外的经验,尤其是大亚湾核电站和岭澳核电站的经验。燃料、核燃料循环和燃料管理是商用核电站的核心技术环节之一,不但技术含量很高,而且对电站的经济效益有举足轻重的作用。本书详细描述了大亚湾核电站和岭澳核电站在燃料管理方面的经验,并详细介绍了国外的经验。

作为我国百万千瓦级的大亚湾核电站和岭澳核电站,在核燃料技术方面一直在国内外起着积极示范和表率的作用,在燃料管理方面大亚湾核电基地实现了三步走的战略。第一步从 AFA-2G 燃料组件起步,经过提高燃料富集度和浓硼系统改进。实现了年上网发电能力 140 亿千瓦时。第二步是实施 18 个月换料,将燃料组件更换为 AFA-3G 燃料组件,并带动国产燃料组件的升级换代。第三步是实施先进燃料管理,采用高损耗全 M5 AFA-3G 燃料组件,大大提高燃料经济性,达到国际先进水平,对节能减排的贡献十分显著,并同步带动高损耗先进燃料组件全 M5 AFA-3G 的引进及国产化。

大亚湾核电站和岭澳核电站的燃料运行水平是良好的。从运行业绩来看,燃料的可靠性是比较高的,除了运行初期有少量的燃料泄漏外(但一回路的辐射剂量仍在技术规范的范围),燃料的可靠性

一直保持较高的水平。运行数据表明国产燃料的可靠性是相当好的。

本书还对 AFA-3G 燃料组件制造的工艺原理和流程作了介绍。

我国核电站政策已经从过去的适度发展核电站变为积极发展核电。核电的发展对于环境保护、减缓全球变暖、节能减排有着不可替代的积极作用。

不但如此,核电的大发展对于推动我国核电产业(设计、研发、设备制造、核电站建设工程管理、自主运营、运行改进等)有着十分重要的作用,根据我国的核电发展规划,到 2020 年我国运行核电站容量将达到 40GW,在建核电站容量将达到 18GW。可以预见,2020 年后我国的核电工业基础将更强,我国的核电发展将迈开更大的步伐。

本书的出版对于我国大型商用压水堆核电站的核燃料循环、燃料管理和燃料制造将起到积极的借鉴和指导作用。

陈学俊

2007 年 12 月

(陈学俊教授系中国科学院院士,第三世界科学院院士,动力工程多相流国家重点实验室主任。)

肖岷简介。1958 年出生,研究院高级工程师。西安交通大学毕业。博士研究生。长期从事反应堆热工水力分析、核安全分析、严重事故分析和燃料管理。曾多年担任广东核电合营有限公司燃料管理科科长。2003 年任大亚湾核电站电厂副总工程师,主管核燃料、燃料管理和燃料循环。主持并成功组织实施多项大亚湾电站和岭澳核电站重大堆芯设计、燃料管理改进和严重事故管理改进。发起并推动高燃耗燃料组件全 M5 AFA-3G 的引进及国产化。主持 CPR1000 堆芯设计的重大改进。中国首批“新世纪百千万人才工程”国家级专家,国务院政府特殊津贴专家,深圳市杰出专家。现任中广核集团中科华核电技术研究院反应堆工程设计与燃料管理研究中心主任。

目 录

绪论	(1)
第一篇 压水堆核电站的核燃料管理	(5)
第 1 章 核燃料循环	(7)
1.1 核燃料循环的前端	(7)
1.1.1 铀的开采和提炼	(7)
1.1.2 铀的转化	(8)
1.1.3 铀的浓缩	(8)
1.1.4 核燃料的制造	(9)
1.1.5 核燃料前段产生的废物	(9)
1.2 核燃料循环的中段(运行中的燃料)	(11)
1.3 核燃料循环的后端	(12)
1.3.1 乏燃料的运输和中间储存	(12)
1.3.2 后处理及废物管理	(12)
1.3.3 乏燃料的封装	(13)
1.3.4 废物的最终处置	(13)
1.3.5 钚及铀的再循环	(14)
1.4 CANDU 型重水堆燃料循环	(14)
第 2 章 压水堆核电站的核燃料管理实例	(16)
2.1 美国压水堆核电站的基本情况 及核燃料管理	(16)

2.2 法国压水堆核电站的核燃料管理	(17)
2.2.1 法国的核电站.....	(17)
2.2.2 法国的核燃料.....	(20)
2.2.3 法国核电站堆内燃料管理.....	(22)
2.3 南非核电站的核燃料管理	(27)
2.3.1 南非的核电站.....	(27)
2.3.2 南非的核燃料管理.....	(27)
2.4 比利时核电站及燃料管理	(28)
2.5 韩国压水堆核电站及核燃料管理	(30)
2.6 日本的核电站及核燃料管理	(32)
2.6.1 日本核电站概况.....	(32)
2.6.2 日本核电站的运行.....	(35)
2.6.3 日本的核燃料工业.....	(36)
2.6.4 日本的核燃料管理.....	(36)
2.7 中国台湾省压水堆核电站的核燃料管理	(37)
第3章 压水堆核电站的核燃料管理原理与方法	(39)
3.1 核燃料管理的过程	(39)
3.1.1 浓缩铀和零部件采购.....	(39)
3.1.2 燃料组件的采购.....	(39)
3.1.3 燃料组件制造.....	(39)
3.1.4 换料设计.....	(39)
3.1.5 堆芯核燃料起运与装载.....	(40)
3.2 换料堆芯设计过程、内容与方法	(40)
3.2.1 燃料管理设计概述.....	(40)
3.2.2 换料设计过程.....	(41)
3.2.3 堆芯核设计.....	(42)
3.2.4 堆芯热工水力设计.....	(53)
3.3 换料安全评价方法	(65)
3.3.1 概述.....	(65)
3.3.2 通用关键安全参数.....	(67)
3.3.3 堆芯功率能力验证.....	(68)
3.3.4 特定事故关键安全参数.....	(73)
3.3.5 参数超限后的再评价和再分析.....	(78)
3.3.6 换料安全分析检查表.....	(78)

第 4 章 大亚湾核电站的燃料管理	(79)
4.1 核燃料供应国产化和核燃料管理国内自主化	(79)
4.1.1 概述	(79)
4.1.2 核燃料组件供应国产化	(81)
4.1.3 燃料管理国内自主化	(83)
4.2 大亚湾核电站的燃料管理改进	(86)
4.2.1 功率象限倾斜抑制	(86)
4.2.2 安注浓硼系统改进	(94)
4.2.3 提高燃料富集度	(102)
4.3 18 个月换料模式	(108)
4.3.1 可行性研究	(108)
4.3.2 18 个月换料必须采用的新设计技术和新燃料组件	(113)
4.3.3 新燃料组件选则和使用要求	(113)
4.3.4 AFA-3G 燃料组件	(114)
4.3.5 18 个月换料燃料管理方案的确定	(116)
4.3.6 堆芯核设计和功率能力分析	(121)
4.3.7 关键安全参数	(124)
4.3.8 WRB-A 和 FC-2000 CHF 关系式	(127)
4.3.9 用统计法(MSG)确定 DNBR 设计限值	(137)
4.3.10 DRM 和 LOCA 分析	(146)
4.3.11 事故分析及安全裕量	(152)
4.3.12 PCI 分析	(156)
4.3.13 长期低功率运行模式	(181)
4.3.14 提高核燃料的燃耗限值	(184)
4.3.15 高燃耗下的弹棒事故分析	(185)
4.3.16 运行图和保护图	(190)
4.4 延伸运行模式	(192)
4.4.1 延伸运行的概述	(192)
4.4.2 延伸运行的目的	(192)
4.4.3 延伸运行的原理	(193)
4.4.4 延伸运行的特点、物理现象和限制条件	(193)
4.4.5 延伸运行的安全分析基础	(194)
4.4.6 延伸运行期间修改的参数	(196)
4.4.7 延伸运行实施的准备	(198)

4.4.8	延伸运行的实施	(200)
4.4.9	延伸运行的验证和评价	(201)
4.4.10	结论	(207)
4.5	P+3 先导组件项目	(207)
4.5.1	背景	(207)
4.5.2	引进 Performance+3 先导组件的目的	(208)
4.5.3	Performance+3 的主要特点和技术评价	(208)
4.5.4	大亚湾核电站引入 P+ 先导组件实施方案	(213)
4.5.5	风险评价	(214)
4.5.6	结论及总体进度	(219)
4.6	24 个月换料模式	(219)
第 5 章 岭澳核电站的核燃料管理		(220)
5.1	混合堆芯和提高燃料富集度	(220)
5.1.1	岭澳核电站投产初期燃料管理基本特点	(220)
5.1.2	岭澳核电站第二循环以后燃料管理面临的问题	(220)
5.1.3	岭澳核电站混合核燃料堆芯与提升燃料富集度项目论证	(221)
5.1.4	项目的实施	(225)
5.1.5	经济性分析	(225)
5.1.6	结论	(225)
5.2	换料设计经验	(226)
5.2.1	象限功率倾斜超差及对策	(226)
5.2.2	1 号机组第三循环换料设计改进	(227)
5.3	延伸运行	(228)
5.3.1	背景	(228)
5.3.2	项目分析论证	(229)
5.3.3	仪表与控制准备	(229)
5.3.4	运行准备	(229)
5.3.5	执照申请	(230)
5.3.6	其他方面	(230)
5.4	先进燃料管理	(230)
5.4.1	背景与目的	(230)
5.4.2	岭澳核电站先进燃料管理的策略	(231)
5.4.3	燃料管理改进的重要前提条件	(232)
5.4.4	岭澳核电站先进燃料管理过渡的特点	(232)

5.4.5	岭澳核电站先进燃料管理的策略分析	(233)
5.4.6	岭澳核电站先进燃料管理采用的新技术、新程序和全 M5 AFA-3G 评价 ..	(236)
5.4.7	岭澳核电站先进燃料管理的经济分析	(246)
5.4.8	岭澳核电站先进燃料管理最终策略的综合分析	(248)
5.4.9	岭澳核电站 1/4 年度换料的燃料管理计算的分析	(253)
5.4.10	结论	(256)
5.5	岭澳二期核电站的燃料管理改进	(259)
5.5.1	大亚湾核电站和岭澳核电站的经验反馈	(259)
5.5.2	模拟堆芯设计和安全裕量评价	(261)
第二篇	压水堆核电站的核燃料组件的生产	(273)
第 6 章	UF₆ 的转换和 UO₂ 粉末的制造	(275)
6.1	ADU 工艺	(275)
6.1.1	UF ₆ 的汽化和水解	(275)
6.1.2	ADU 沉淀	(276)
6.1.3	ADU 浆体的过滤、洗涤和干燥	(276)
6.1.4	ADU 的热解、还原、脱氟	(276)
6.1.5	UO ₂ 粉末稳定化、筛分和均匀化	(276)
6.1.6	返料 UO ₂ 粉末制备	(277)
6.2	IDR 工艺	(278)
6.3	AUC 工艺	(278)
6.4	UO₂ 粉末的重要性能参数	(279)
第 7 章	UO₂ 芯块的制造	(280)
7.1	UO₂ 芯块的主要工艺	(280)
7.2	陶瓷 UO₂ 芯块	(280)
7.2.1	混料	(281)
7.2.2	制粒	(281)
7.2.3	压制生坯芯块	(282)
7.2.4	烧结	(282)
7.2.5	磨削	(283)
7.2.6	外观检查	(283)
7.3	含钆 UO₂ 芯块	(284)
7.3.1	含钆 UO ₂ 芯块的主要用途	(284)

7.3.2	含钐 UO_2 芯块的生产工艺	(284)
第 8 章	燃料组件的零部件及其加工	(285)
8.1	上管座部件	(285)
8.2	下管座部件	(286)
8.3	定位格架	(286)
8.3.1	双金属格架	(288)
8.3.2	跨间搅混格架	(291)
8.3.3	镍基合金格架	(292)
第 9 章	燃料棒的制造	(294)
9.1	概述	(294)
9.2	UO_2 芯块燃料棒	(294)
9.2.1	燃料棒标识	(294)
9.2.2	零部件清洗	(295)
9.2.3	下端塞的环焊	(295)
9.2.4	下端塞环焊缝 X 射线检查	(298)
9.2.5	填装 UO_2 芯块、压紧弹簧	(299)
9.2.6	上端塞的环焊和堵孔焊	(300)
9.2.7	上端塞环焊缝及堵孔焊点 X 射线检查	(302)
9.2.8	燃料棒的无损检查	(302)
9.2.9	燃料棒的最终尺寸、外观检查	(303)
9.2.10	燃料棒的搬运和储存	(304)
9.3	含钐 UO_2 芯块燃料棒	(304)
第 10 章	燃料组件组装	(306)
10.1	导向管部件组装焊接	(306)
10.1.1	焊端塞	(306)
10.1.2	焊套管	(307)
10.1.3	导向管部件检查	(307)
10.1.4	导向管部件分组	(308)
10.1.5	AFA-3G 导向管部件	(308)
10.2	骨架组焊	(309)
10.2.1	工艺过程简介	(309)
10.2.2	骨架检验	(311)

10.2.3	AFA-3G 燃料组件骨架	(312)
10.3	燃料盒中预装燃料棒	(312)
10.4	燃料组件组装	(312)
10.4.1	组装前的准备	(312)
10.4.2	组装燃料棒	(313)
10.5	燃料组件清洗	(313)
10.6	燃料组件检查	(313)
10.6.1	组装过程中的检查	(313)
10.6.2	燃料组件最终检查	(314)
第 11 章	燃料组件吊运、储存与运输	(317)
11.1	燃料组件吊运	(317)
11.1.1	操作中的规定	(317)
11.1.2	对操作燃料组件的要求	(317)
11.1.3	操作中的一般注意事项	(318)
11.2	燃料组件储存	(319)
11.3	燃料组件运输	(319)
第三篇	压水堆核电站的核燃料运行	(323)
第 12 章	国外压水堆核电站的核燃料运行	(325)
12.1	法国核燃料的运行	(325)
12.2	美国核燃料的运行	(326)
12.3	典型燃料事件	(326)
12.3.1	控制棒下插异常	(326)
12.3.2	燃料棒流致振动磨损问题	(326)
12.3.3	腐蚀产物在燃料棒上沉积引起的问题	(334)
12.3.4	匈牙利燃料组件化学清洗破损事件	(339)
12.3.5	法国 Dampierre 4 机组装错燃料事件及其后果分析	(343)
12.3.6	比利时 TIHANGE 1 AFA-2GE 燃料破损事件	(355)
12.4	WANO 和 INPO 的经验反馈	(355)
12.4.1	设计变更管理	(355)
12.4.2	水化学规范	(356)
12.4.3	和供应商的关系	(356)
12.4.4	预测不足	(357)

12.5 燃料包壳完整性的评价方法	(357)
12.5.1 燃料包壳完整性评价概述.....	(357)
12.5.2 燃料包壳完整性评价方法.....	(357)
12.5.3 燃料包壳破损原因分析.....	(362)
12.5.4 破损燃料组件处理政策.....	(363)
12.5.5 燃料破损行动计划.....	(364)
第13章 大亚湾核电站的核燃料运行	(370)
13.1 核燃料运行概况	(370)
13.2 大亚湾核电站1号机组燃料组件使用情况	(371)
13.3 燃料破损及其检查	(372)
13.3.1 在线啜漏试验.....	(372)
13.3.2 离线啜漏试验.....	(372)
13.3.3 1号机组第十循环燃料组件破损.....	(373)
13.4 燃料组件装卸过程摩擦事件	(374)
13.4.1 事件过程.....	(374)
13.4.2 事件分析.....	(375)
13.4.3 对安全的影响.....	(376)
13.5 燃料组件YQ00X9严重变形事件	(376)
13.5.1 事件过程.....	(376)
13.5.2 初步应力释放.....	(376)
13.5.3 变形组件处理方案.....	(376)
13.6 燃料组件外观与变形检查	(380)
13.6.1 AFA-2G燃料组件检查.....	(380)
13.6.2 AFA-3G先导组件检查.....	(380)
13.7 大亚湾核电站YQ010G跌落燃料组件检查	(382)
13.8 功率象限倾斜	(386)
13.8.1 功率象限倾斜的现象.....	(386)
13.8.2 象限功率倾斜超差风险.....	(388)
13.8.3 功率象限倾斜的运行规定.....	(388)
13.8.4 发生象限功率倾斜的主要原因.....	(390)
13.8.5 象限功率倾斜的处理及抑制方法.....	(390)
13.8.6 经验反馈.....	(391)
13.9 轴向功率偏差及其控制	(391)
13.9.1 引言.....	(391)

13.9.2	降功率期间影响 ΔI 的原因	(392)
13.9.3	降功率期间 ΔI 控制策略以及模拟计算	(396)
13.9.4	岭澳核电站 U2C2 循环初轴向功率偏差的模拟	(398)
13.9.5	结论	(400)
13.10	慢化剂温度系数及其对运行的影响	(400)
13.10.1	岭澳核电站 U2C2 循环初启动期间慢化剂温度系数为正的处理	(400)
13.10.2	岭澳核电站 U1C3 的正慢化剂温度系数问题	(401)
13.11	启动物理试验结果及其偏差分析	(402)
13.11.1	控制棒价值偏差分析	(402)
13.11.2	经验反馈	(403)
13.12	堆芯出口热电偶温度指示超差	(403)
13.12.1	背景	(403)
13.12.2	对安全的影响	(404)
13.12.3	原因分析及结果	(404)
13.12.4	短期问题的解决	(405)
13.12.5	长期问题的解决	(407)
13.12.6	经验反馈	(407)
13.12.7	关于计算的合理性	(408)
13.13	启动物理试验核功率与热功率过大偏差	(408)
13.13.1	大亚湾核电站 U2C10 在 30%FP 试验台阶功率偏差的运行事件	(408)
13.14	初始燃料循环硼浓度过高及水化学问题	(409)
13.14.1	U2C11 的换料设计特点	(409)
13.14.2	一回路水化学技术导则的要求	(410)
13.14.3	启动物理试验中的控制	(410)
13.14.4	U2C11 换料设计	(410)
13.14.5	U2C11 水化学参数超出技术规范的讨论	(411)
13.14.6	改进行动	(412)
13.14.7	结论	(412)
13.15	紧急换料设计	(412)
13.15.1	U2C3 紧急换料设计	(412)
13.15.2	U2C11 紧急换料设计	(412)
13.15.3	U1C11 紧急换料设计预案	(414)
13.16	落棒时间超差	(415)
13.16.1	18 个月换料落棒时间超差事件	(415)
13.16.2	国外经验	(415)

13.16.3	DNMC 对大亚湾核电站落棒事件风险分析	(417)
13.16.4	行动对策	(417)
13.17	延伸运行的实施	(418)
13.17.1	首次延伸运行	(418)
13.17.2	第二次延伸运行	(418)
第 14 章	岭澳核电站的核燃料运行	(420)
14.1	核燃料运行事件	(420)
14.1.1	岭澳核电站 1 号机组第二次大修燃料摩擦事件	(420)
14.1.2	岭澳核电站 1 号机组燃料组件外观及变形检查	(422)
14.2	混合堆芯及提高核燃料富集度运行	(424)
14.2.1	背景	(424)
14.2.2	岭澳核电站混合核燃料堆芯与提升燃料富集度项目论证	(425)
14.2.3	项目的执照申请	(427)
14.2.4	项目的现场实施	(427)
14.2.5	改进后鉴定试验结果评述	(428)
14.2.6	结论	(431)
14.3	岭澳核电站先进燃料管理(1/4 换料)运行	(432)
14.3.1	总体情况	(432)
14.3.2	岭澳核电站 1 号机组第六循环运行	(432)
14.3.3	岭澳核电站 2 号机组第六循环运行	(433)
14.3.4	岭澳核电站 1 号机组第七循环运行	(434)
参考文献	(434)
致谢	(437)

绪 论

燃料循环和燃料管理是压水堆核电站核心环节和核心技术之一。本书涵盖燃料管理、压水堆核电站的核燃料组件生产和压水堆核电站的核燃料运行三大部分。

核电站整个核燃料循环可分为三个区段：循环前端、中段和后端。

(1) 循环前端是指从铀开采直到制造好的核燃料发运到核电站。

(2) 循环中端是指燃料组件在反应堆中运行，包括利用裂变能来发电和燃料组件在核电站临时储存。

(3) 所谓后端，从乏燃料由核电站储存地装运开始，经过后处理厂处理直到后处理产生的玻璃固化高放废物得到最终处置为止，或将乏燃料封装好直接处置。其中，后处理是指把反应堆取出的乏燃料进行化学处理，除去裂变产物，回收来用尽的和新生成的核燃料物质。

本书简要叙述了核燃料的前端工艺过程。主要包括核燃料的开采和提炼，产生稳定的 U_3O_8 。之后进行铀的转化，将天然的 U_3O_8 转化为 UF_6 ，后者为气体，便于用于进一步的铀浓缩。铀浓缩过程是利用气体扩散或离心的方法，将 ^{235}U 逐步浓缩。

1. 以核燃料循环为主的核燃料管理。循环中端的管理是燃料组件在反应堆内运行期间的监督管理，是核燃料管理的中心环节，直接影响核电站的运行安全和发电能力。燃料组件采购是核电站运营期间最大的采购项目，其采购质量也是核电站安全稳定运行的重要影响因素。

本书叙述了国外的核燃料管理概况。比较详细地叙述了美国、法国、南非、比利时、日本、韩国等国家和地区的燃料管理的历史、现状和主要经验。这对于我们借鉴和改进中国的燃料管理是有益的，尤其是美国和法国的燃料管理和燃料技术一直是各国堆芯设计、燃料设计和燃料管理的路线的重要参考。

本书详述燃料管理与堆芯设计论证分析过程和实施经验。中国的百万千瓦级主流核电站的燃料管理、燃料组件及燃料包壳的技术路线是由大亚湾和岭澳 M310 反应堆以及后续的一系列重大改进所确立的。

M310 反应堆原始的燃料组件及包壳是 AFA-2G 及锆-4。

大亚湾 18 个月换料项目(1998—2001 论证,2002 年实施)带动了我国长周期先进燃料管理的首次实施,带动了 AFA-3G/MSMG 在我国的首次应用及国产化。AFA-3G/MSMG 的包壳为 M5,最大组件燃耗 52GWd/tU。AFA-3G/MSMG 燃料组件及 M5 包壳材料已经在大亚湾核电站、岭澳核电站及秦山 II 期推广。

岭澳先进燃料管理(1/4 换料)项目(2004—2006 论证,2007 年实施)带动了我国 AFA-3G AA(即全 M5 AFA-3G)的首次应用及国产化。AFA-3G AA 是 AREVA 目前最先进的燃料组件,组件最大燃耗 57-62G Wd/tU(不同的项目申请不一样)。

本书详细以大亚湾核电站和岭澳核电站的燃料管理经验为主要依据,叙述了燃料管理