

秦山第三核电有限公司

三哩岛事故和 切尔诺贝利事故

核电史上两起严重事故详情

邹正宇 苏鲁明 编译

三哩岛事故和切尔诺贝利事故

——核电史上两起严重事故详情

邹正宇 苏鲁明 编译

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

三哩岛事故和切尔诺贝利事故——核电史上两起严重
事故详情/邹正宇,苏鲁明编译. —北京:原子能出版社,
2008.10

ISBN 978-7-5022-4261-9

I. 三… II. ①邹… ②苏… III. ①反应堆事故分析—美国—1979 ②反应堆事故分析—苏联—1986 IV. TL364

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 149483 号

三哩岛事故和切尔诺贝利事故——核电史上两起严重事故详情

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100037)

责任编辑 张关铭

责任校对 冯莲凤

责任印制 丁怀兰

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

印张 6

字数 93 千字

版次 2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-5022-4261-9

印数 1—3000 定 价 25.00 元

版权所有 侵权必究

网址:<http://www.aep.com.cn>

序

化石能源的过度开发和利用给人类带来了一系列严重问题:能源枯竭、环境污染、气候变化。这些问题正威胁着人类的可持续发展,甚至人类自身的生存。能源结构调整、污染减排和应对气候变化成为 21 世纪人类必须解决的重要课题,各国政府和企业界纷纷寻求清洁、安全和经济的能源替代化石能源。

核电经过 50 年的发展,技术日臻成熟,安全性大大提高,是当今最现实可大规模开发的替代能源。中国颁布了核电中长期发展规划,计划到 2020 年建成和在建核电厂总装机容量达 6 000 万千瓦;其他各国也制订了庞大的核电发展计划。世界性的核电复兴正在到来。

尽管五十多年、超过一万堆年的运行经验表明,核电厂出现核安全事故的概率极小,但三哩岛和切尔诺贝利事故的阴影依然挥之不去,一直是全人类心中永远的痛楚。人们对核电厂发生核事故的忧虑困扰着政府的决策、公众的接受,阻碍着全球核电复苏的步伐。

较之于其他工业事故,核事故具有以下典型特点:事故的突发性,稍不小心,转瞬之间就会发生灾难性的后果;公

众和社会的极度敏感性,核事故会给公众和社会带来极大的心理负担,造成社会的恐慌;影响的全球性,一方面放射性的影响没有国界,另一方面核电厂的核事故会使全世界对核能的安全性产生极大的怀疑,全球的核能发展将遭受重创;修复的艰巨性,事故电厂的处理要付出难以预计的经济代价;难以恢复性,一旦发生了放射性事故,当地的辐射环境在相当长的时期几乎没办法恢复到原来的自然水平。因此,防止核事故、确保运行核电厂的安全既是保护环境、社会和人类的需要,也是核电事业本身发展的基础和所有核电从业者的重大责任。

自从三哩岛和切尔诺贝利事故以来,全世界的核电从业者已从中吸取了经验和教训,为预防核事故、确保核安全做出了巨大努力:设计者通过不断改进安全设计,提高核电厂的固有安全性;制造者通过提供高质量的设备,保证核电厂的安全设备可靠运行;营运单位通过实施完备的质量保证和员工能力的培养,确保核电厂运行安全;政府通过制定严密的法规和实行国家独立监管,确保核电厂建造和运行安全处于政府的完全控制之下;而提高所有从业人员的核安全文化水平、强化运行经验反馈的重要作用已是核工业界共同的认识。

前事不忘,后事之师。尽管三哩岛和切尔诺贝利事故已经过去二、三十年,但我们仍然需要不断告诉后来者核电厂曾经发生过的灾难。在这些事故的温习中,充分认识核安全的极端重要性,清楚自己的失误可能产生的严重后果,提高在

一切活动中坚持“安全第一,质量第一”的自觉性,肩负起确保核安全的重任。

本书详细介绍了三哩岛和切尔诺贝利事故发生的经过、原因和后续措施,文字简洁、通俗易懂,既可作为核电厂运行人员和管理人员的培训资料,也可为核安全教育和经验反馈提供事故案例。

环境保护部核安全管理司副司长

A handwritten signature in black ink, appearing to read '王中强' (Wang Zhongqiang), written in a cursive style.

2008年10月

前 言

三哩岛事故和切尔诺贝利事故是世界核电史上的两起严重事故。这两起事故,国内许多文献虽有一些介绍,但不够详细和完整。作为直接从事电站运行操作的运行人员,我们从一进入核电这个行业就听说这两个事故。事故的细节,运行人员在事故中的行为,例如:他们是如何判断事故的?是如何进行操作的?是什么原因导致了他们的错误判断?以及事故背后隐藏的深层次的原因和故事等,一直像谜一样吸引着我们。

本书较详细介绍了三哩岛事故和切尔诺贝利事故的发生经过和原因。特别是切尔诺贝利事故,在前苏联解体后,国际原子能机构(IAEA)于1992年根据新得到的资料对事故原因重新进行了分析和评价,其分析结果与1986年的结果有较大的改动。切尔诺贝利事故之后,国际原子能机构提出了安全文化概念,并将切尔诺贝利事故的根本原因总结为安全文化的缺乏。三哩岛事故虽然发生在安全文化概念提出之前,但其事故原因中同样也有安全文化不足的因素。

三哩岛事故和切尔诺贝利事故是世界核电史上的两起严重事故。然而,事故之后,这两个核电站的道路却不尽相同。三哩岛事故之后,三哩岛核电站认识到安全文化对电站安全运行的重要性,在电站积极倡导和建立安全文化。经过持续 25 年的努力,三哩岛核电站取得了辉煌的运行业绩,成为世界上最优秀的核电站之一。而切尔诺贝利事故之后,切尔诺贝利核电站却最终不得不彻底关闭。其中差别,耐人寻味。

我国的核电事业正进入一个快速发展的时期。在电站的选址、设计、建造、安装、调试、运行等核电活动的各个阶段都应建立完整的安全文化体系,应始终贯彻“安全第一”的安全文化理念,避免急功近利,以确保中国核电得到快速、稳定、持续的发展。

我们编写本书,真诚希望更多从事或即将从事核电工作的人员能详尽地了解三哩岛事故和切尔诺贝利事故,通过事故了解安全文化对核安全的至关重要性,并能在实际工作中践行和传播安全文化的理念。

感谢美国核动力运行研究所(INPO)许可我们使用 IN-PO 88-008《三哩岛 2 号机组事故案例学习材料》。感谢美国同行蒂姆·马丁先生(Tim Martin)提供了非常详细的 INPO 88-008《三哩岛 2 号机组事故案例学习材料》,并帮助我们得到了该资料的版权许可。感谢国际原子能机构提供的 INSAG-7《切尔诺贝利事故:INSAG-1 的升级版》报告,使我

们获知切尔诺贝利事故原因的最新信息。感谢金晓东先生为本书绘制了部分插图。

由于我们的英文理解和编译水平有限,书中难免会有不足和差错,恳请读者能给予指正。

编译者

2008年7月

目 录

第一篇 三哩岛事故

1 介 绍	(3)
2 三哩岛核电站工艺系统介绍	(4)
2.1 反应堆冷却剂系统	(4)
2.2 给水系统	(5)
2.3 集中控制系统	(6)
2.4 反应堆冷却剂上充下泄系统,高压安注系统	(6)
2.5 放射性废气处理系统	(6)
3 三哩岛事故详细经过	(9)
4 三哩岛事故后记	(21)
4.1 机组状况	(21)
4.2 应急响应	(23)
4.3 核电站工作人员的辐射照射剂量	(23)
4.4 堆芯损坏情况	(23)

4.5	放射性物质向环境释放情况	(23)
5	三哩岛事故的主要原因	(24)
5.1	设计	(25)
5.2	运行	(26)
5.3	维修	(26)
5.4	操纵员培训	(27)
5.5	运行经验反馈	(28)
6	三哩岛事故当事操纵员自述	(29)

第二篇 切尔诺贝利事故

1	引言	(57)
2	切尔诺贝利电站反应堆介绍	(58)
2.1	堆型及堆芯结构	(58)
2.2	热循环方式	(59)
2.3	反应堆控制和保护系统	(59)
2.4	反应堆应急保护系统	(60)
2.5	运行反应性裕度	(60)
2.6	RBMK-1000 型石墨堆设计特点	(61)
2.6.1	空泡系数	(61)
2.6.2	控制棒和停堆棒的设计——正停堆效应	(62)

II

2.6.3	停堆棒的落棒时间	(63)
2.6.4	反应堆功率控制	(63)
2.6.5	用于指示运行反应性裕度的仪表	(64)
2.6.6	堆芯体积	(64)
2.6.7	安全系统、保护系统、报警系统的闭锁	(64)
2.6.8	堆芯入口冷却剂的过冷度	(64)
2.6.9	反应堆冷却剂系统	(65)
2.6.10	安全壳	(66)
3	切尔诺贝利事故经过	(66)
4	切尔诺贝利事故的主要原因	(69)
4.1	反应堆设计	(69)
4.1.1	正功率系数	(69)
4.1.2	正停堆效应	(69)
4.1.3	运行反应性裕度 ORM	(70)
4.2	运行人员的行为	(71)
4.2.1	违反规程	(71)
4.2.2	偏离试验规程	(73)
4.2.3	操纵人员对核安全缺乏足够的理解和敏感	(74)
4.2.4	小结	(74)
4.3	运行经验反馈	(74)
4.4	核安全管理体制	(75)
4.5	安全文化	(75)
5	切尔诺贝利事故对人类利用核能的影响	(76)
6	安全文化的诞生	(76)

7	安全文化的定义	(77)
8	如何理解安全文化	(77)
8.1	文化的多层次模式	(78)
8.2	安全文化的特性	(79)
8.2.1	人为产物上的特性	(79)
8.2.2	信奉价值上的特性	(81)
8.2.3	基本信念上的特性	(81)
	参考文献	(82)

第一篇

三哩島事故

1 介绍

1979年3月28日,美国三哩岛核电站2号机组满功率运行(参见图1.1)。凌晨4时,因凝结水系统故障导致全部主给水泵跳闸,汽轮机停机,辅助给水泵自动启动但辅助给水隔离阀处于关闭状态,稳压器卸压阀因反应堆冷却剂系统压力上升而自动开启,反应堆停堆。当反应堆冷却剂系统压力下降后,稳压器卸压阀未能关闭,导致反应堆冷却剂系统冷却剂持续排放。高压安注系统自动动作,但注射流量被人为减小。稳压器失去压力控制功能,反应堆冷却剂系统压力下降,导致在压力容器内的上部形成蒸汽。在停运所有主泵后,堆芯失去了所有有效的冷却手段,堆芯过热,燃料包壳与蒸汽发生锆水反应,产生氢气,堆芯熔化。



图 1.1 三哩岛核电站全景

2 三哩岛核电站工艺系统介绍

三哩岛核电站为压水堆(PWR)核电站,堆芯装载有 37 000 根燃料棒,约 100 t 的二氧化铀燃料,额定电功率 880 MW。1978 年 3 月 28 日,2 号机组反应堆首次临界。事故发生时,2 号机组正运行在第一个换料周期,平均燃耗 3 175 MWd/t。

2.1 反应堆冷却剂系统

反应堆冷却剂系统(简称主系统)有两个环路(参见图 1.2,1.3)。每个环路有两台主泵,一台能产生过热蒸汽的直流式蒸汽发生器(SG)。堆芯出口冷却剂从蒸汽发生器顶端进入,换热后从蒸汽发生器底部流向两台并联布置的主泵入口。如果在满功率运行时失去给水,蒸汽发生器将在约一分钟内发生干涸。

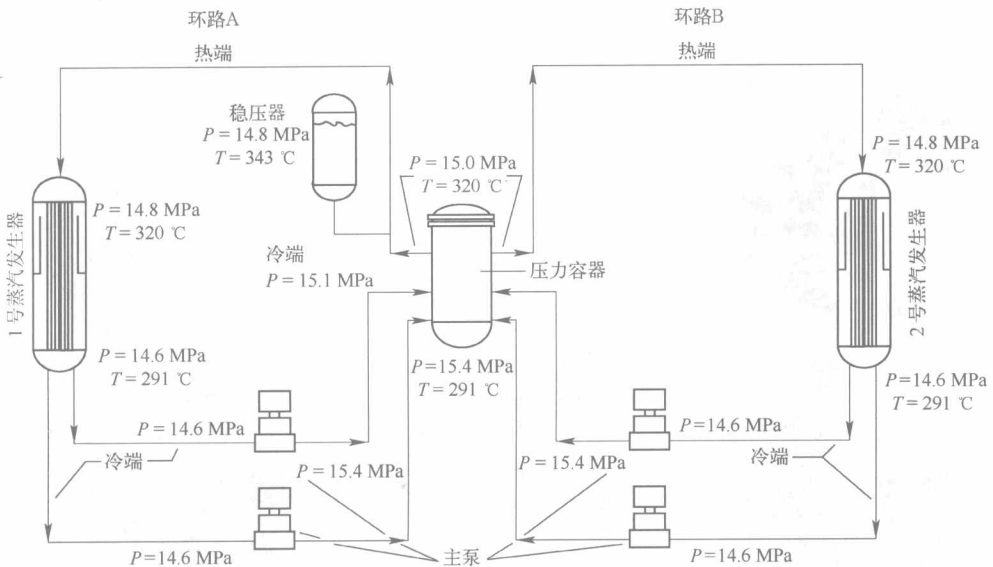


图 1.2 反应堆冷却剂系统流程图