

注册核安全工程师  
岗位培训丛书

# 核安全

(修订版)

## 案例分析

《注册核安全工程师岗位培训丛书》编委会  
编著

HE ANQUAN

ANLI FENXI

中国环境科学出版社

注册核安全工程师岗位培训丛书

# 核安全案例分析

## (修订版)

《注册核安全工程师岗位培训丛书》编委会 编著



中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

核安全案例分析(修订版)/《注册核安全工程师岗位培训丛书》编委会编. —修订本. —北京:中国环境科学出版社, 2009.3

(注册核安全工程师岗位培训丛书)

ISBN 978-7-80209-904-3

I. 核… II. 注… III. 核工程—安全技术—案例—分析—工程技术人员—技术培训—教材 IV. TL7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 209222 号

责任编辑 沈建 刘大澍

封面设计 龙文视觉

---

出版发行 中国环境科学出版社  
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)  
网 址: <http://www.cesp.cn>  
联系电话: 010-67112765 (总编室)  
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂  
经 销 各地新华书店  
版 次 2004 年 12 月第 1 版 2009 年 3 月修订版  
印 次 2009 年 3 月第 3 次印刷  
印 数 5001—7000  
开 本 787×1092 1/16  
印 张 8.75  
字 数 200 千字  
定 价 总价 185.00 元(全套丛书共 4 册)

---

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载,侵权必究】  
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题,请寄回本社更换

## 《注册核安全工程师岗位培训丛书》编委会

主任委员：陈金元

副主任委员：汤搏

委员：（以姓氏笔画为序）

马校正	卞洪兴	王秀清	王青松	王瑞平	池雪丰	宋福祥
陈伯显	杨孟琢	张健	罗上庚	郁祖盛	郑继师	洪润生
俞尔俊	赵亚民	顾洪坤	桂立明	贾宝山	常向东	商照荣
蒋云清	熊本和	嵇凤官	潘英杰			

## 修订版说明

《注册核安全工程师岗位培训丛书》自出版发行几年以来，得到了广大专家、学者和广大读者的热情支持，在此表示感谢。随着我国核能与核技术领域的形势发展及注册核安全工程师培训任务的需要，结合本丛书几年来的应用实践，我们深感到这套丛书还存在许多不足之处，因此，《注册核安全工程师岗位培训丛书》编委会又组织了部分专家、学者对本丛书进行了修订，以趋日臻完善。

本丛书修订工作是在编委会陈金元主任主持下进行的。《核安全相关法律法规》由杨孟琢、张天祝、王青松负责修订。《核安全综合知识》由洪润生、范深根、许明霞、潘英杰、罗上庚、卞洪兴、陈竹舟、桂立明、赵亚民、施仲齐、杨孟琢负责修订。《核安全专业实务》由潘英杰、许明霞、范深根、罗上庚、张宝钢、施仲齐负责修订。《核安全案例分析》由杨孟琢负责修订。全套丛书修订的汇总协调工作由杨孟琢完成。中国环境科学出版社沈建主任、刘大澂编辑担任了修订版丛书的责任编辑工作。

虽然经过反复斟酌和努力，但由于时间紧迫和水平所限，《注册核安全工程师岗位培训丛书（修订版）》仍难免存在一些不足之处，敬请广大读者指正。

编委会

2008年12月15日

## 前 言

我国对核能与核技术的开发利用始于 20 世纪 50 年代。经过多年的不懈努力，核能与核技术已在我国国防、医疗、能源、工业、农业、科研等领域得到广泛利用，这对维护我国国防安全，促进国民经济和社会发展，增强我国的综合国力，起到了十分积极的作用。但是，核能与核技术开发利用过程中的安全问题和放射性污染防治问题，也越来越突出。主要表现：一是我国已有多座核设施，有些核设施已经进入退役阶段，如果监管不严或者处置不当，其遗留的放射性物质将对环境和公众健康构成威胁；现正在运行的核设施，也存在着潜在危险，一旦发生泄漏或者因发生安全事故产生放射性污染，将危及周边广大范围内的生态环境安全和公众健康。二是我国现有放射源五万多枚，由于用户多而分散，有的单位管理不善等原因，近年来因放射源使用不当或者丢失导致的放射性污染事故不断发生，造成严重后果。三是在铀（钍）矿和伴生放射性矿开发利用过程中，由于对放射性污染防治重视不够，缺乏对放射性污染防治的专项管理制度，乱堆、乱放放射性废矿渣的情况时有发生，由此造成的放射性污染事故威胁着环境安全和公众健康。四是我国已产生了不少放射性废物，虽然国家有放射性废物处置政策，但是，由于缺乏强制性的法律制度和措施，致使对放射性废物的处置监管不力，在一定程度上对环境和公众健康构成了威胁。为了解决上述问题，进一步做好放射性污染防治工作，在总结我国放射性污染防治的实践经验、借鉴一些有核国家防治放射性污染的成功经验的基础上，全国人大于 2003 年 6 月 28 日通过了《中华人民共和国放射性污染防治法》，对我国核安全的统一监管必将起到巨大的作用。

为了提高核安全专业技术人员素质，确保核与辐射环境安全，维护国家、社会和公众利益，根据《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国民用核设施安全监督管理条例》的有关规定，人事部、国家环境保护总局于 2002 年 11 月 19 日颁布了关于印发《注册核安全工程师执业资格制度暂行规定》（人发[2002]106 号）的通知，决定在核安全及相关领域中建立注册核安全工程师执业资格制度。

根据《注册核安全工程师执业资格制度暂行规定》，注册核安全工程师执业资格考试科目为：《核安全相关法律法规》、《核安全综合知识》、《核安全专业实务》和《核安全案例分析》。为了方便考生复习和准备考试，本丛书编写委员会依据国家环境保护总局组织编写、人事部审定的《全国注册核安全工程师执业资格考试大纲》的具体要求编写了此书，供广大专业人员培训或自学使用。

本套丛书共有四册，包括《核安全相关法律法规》、《核安全综合知识》、《核安全专业实务》和《核安全案例分析》。

《核安全案例分析》共编入了案例 100 例，其中，第一部分案例分析包括案例 40 例。其中，“反应堆工程案例”由俞尔俊编写；“铀（钍）矿与伴生放射性矿案例”由汤搏、

潘英杰编写；“核燃料加工、处理与放射性物质运输案例”由汤搏、蒋云清、商照荣编写；“核技术应用案例”由汤搏编写；“放射性废物管理与核设施退役案例”由汤搏、罗上庚、商照荣编写；“核设施选址案例”由李洪训编写；“质量保证案例”由马校正、郁祖盛、朱宏编写。第二部分案例选编包括案例 60 例，案例由有关专家提供。

在本书编写过程中，虽然经过反复斟酌和努力，但由于时间紧迫，难免存在不足之处，诚望广大读者提出宝贵意见，以便再版时修改完善。

## 编者的话

在核设施和核技术的应用中，保守的设计、高可靠的设备和高质量的建造是安全的前提，然而，归根结底安全取决于运行和应用过程中预防任何不利事件发生的能力。

从这个角度说，对核设施和核技术应用过程中曾发生过的各种事件进行分析，从中吸取有益的经验教训，是保证核设施运行和核技术应用安全的重要手段。国际上已经把运行经验反馈作为保证核安全的最重要措施之一。

为了对事件进行分析，国际上已经发展了多种分析方法。但是必须意识到，事件的分析是一件高度专业化的工作，分析人员需要经过大量的专业化培训和实践才能胜任这项工作。

在几十年的核设施运行和核技术应用历史中，世界各国发生过大量的事件，这些事件对人员、环境和社会都造成了一定的影响，有些甚至是严重的影响。作为从事核安全工作的人员，对这些事件有所了解，对于理解核设施和核技术应用过程中存在的安全问题，提高核安全意识无疑是非常有益的。

本书搜集了世界各国在核设施和核技术应用过程中发生过的部分案例，并试图从管理、人员技能、硬件设施和规程几个角度对这些事件进行初步的分析，但还是十分肤浅的。它只供有关专业人员培训之需，而非提供给专业的事件分析人员所用。

另外值得注意的一点是，由于许多事件发生在核工业和核技术应用的早期阶段，有关核辐射的知识和信息都有限，相关的法律、法规和标准不健全，以及一些众所周知的历史原因，我们不能用现代观点去苛责当时的一些事情，同时受限于本书编辑时资料来源的局限性，因而本书不是对许多事件“盖棺论定”式的评价，而仅供从事核安全工作的人员参考。



# 目 录

## 第一部分 案例分析

一、反应堆工程案例 .....	3
【案例 1】某试验反应堆主泵故障事件 .....	3
【案例 2】某核电厂硼稀释事件 .....	5
【案例 3】二环路核电厂应急给水系统设计差错案例 .....	7
【案例 4】压水堆核电厂二回路管线上大气释放阀安全设计案例 .....	9
【案例 5】某游泳池反应堆的超功率保护停堆事件 .....	10
【案例 6】 Browns Ferry 火灾 .....	11
二、铀（钍）矿与伴生放射性矿案例 .....	13
【案例 1】铀矿通风不良导致的辐照超标事件 .....	13
【案例 2】硝酸铀酰复合烧伤所致体内铀污染超剂量事件 .....	14
三、核燃料加工、处理与放射性物质运输案例 .....	15
【案例 1】核燃料元件厂六氟化铀泄漏事件 .....	15
【案例 2】核燃料厂工作人员过量吸入 $\text{PuO}_2$ 事件 .....	17
【案例 3】核燃料元件厂放射性物质大量释放事件 .....	18
【案例 4】核燃料加工厂临界事件 .....	19
【案例 5】核化工厂检修 S—404 计量泵发生的喷料事件 .....	21
【案例 6】废旧过滤器运输放射性物质泄漏污染事件 .....	22
【案例 7】放射性物质运输铀泄漏事件 .....	23
四、核技术应用案例 .....	24
【案例 1】 $^{137}\text{Cs}$ 源跌落破损污染事件 .....	24
【案例 2】 $^{226}\text{Ra}$ 源破裂后造成的大面积 $\alpha$ 污染事件 .....	26
【案例 3】 $^{60}\text{Co}$ 放射源提升系统失灵引致的过量照射事件 .....	28

五、放射性废物管理与核设施退役案例.....	29
【案例 1】铀金属车屑自燃事件.....	29
【案例 2】铀屑桶被盗事件.....	30
【案例 3】高放浓缩液泄漏事件.....	31
【案例 4】弱放废水蒸残液贮存罐泄漏事件.....	32
【案例 5】1AW 二次废液泄漏事件.....	33
【案例 6】南乌拉尔乏燃料后处理设施高放废液贮罐爆炸事件.....	34
【案例 7】放射性废树脂固化体的溶胀破坏事件.....	36
【案例 8】沥青固化工厂着火爆炸事件.....	37
【案例 9】放射性废物焚烧炉过早报废事件.....	39
【案例 10】退役决策争议事件.....	40
【案例 11】退役废物过量事件.....	41
六、核设施选址案例.....	43
【案例 1】核设施选址不当导致工程下马案例.....	43
【案例 2】厂址勘探缺陷及时补救措施的案例.....	45
【案例 3】地基施工不当案例.....	47
【案例 4】泥石流对核设施安全影响的案例.....	48
【案例 5】山区洪水淹没应急柴油发电机房事件.....	50
【案例 6】外部洪水引起内部水淹的事件.....	51
七、质量保证案例.....	53
【案例 1】质量保证大纲文件不完整的案例.....	53
【案例 2】物项采购控制失误的案例.....	54
【案例 3】重复发生焊接不符合项的案例.....	55
【案例 4】调试中不满足质保要求带来不良后果的案例.....	56
【案例 5】焊接工艺过程控制失误, 造成焊缝出现大量超标缺陷; 缺陷处理不符合质保要求, 导致无缺陷焊缝的质量不能确定的案例.....	57

## 第二部分 案例选编

【案例 1】切尔诺贝利核电厂事故.....	61
【案例 2】三哩岛核电厂事故.....	63
【案例 3】某核电厂全部丧失安全厂用水事件.....	65
【案例 4】某实验反应堆燃料试验元件熔化事故.....	66

【案例 5】核电厂主给水系统隔离安全设计案例 .....	67
【案例 6】美国 Browns Ferry3 控制棒插入故障案例 .....	68
【案例 7】核燃料元件厂更换阀门引致的六氟化铀泄漏事件 .....	69
【案例 8】核燃料厂 $\text{Pu}(\text{CO}_3)_2$ 夹带逸出事件 .....	70
【案例 9】核燃料元件厂四氟化铀泄漏事件 .....	71
【案例 10】铀浓缩厂放射性物质泄漏事件 .....	72
【案例 11】核化工厂过量吸入硝酸铀事件 .....	73
【案例 12】核化工厂二氧化铀洒落事件 .....	74
【案例 13】核化工厂量槽间铀料液泄漏事件 .....	75
【案例 14】核燃料厂 $^{131}\text{I}$ 泄漏事件 .....	76
【案例 15】核燃料厂运输废旧过滤器跌落事件 .....	77
【案例 16】核化工厂 1A 槽泄漏事件 .....	78
【案例 17】核化工厂铀线设备间泄漏事件 .....	79
【案例 18】放射性同位素运输中丢失 $^{32}\text{P}$ 事件 .....	80
【案例 19】放射性 KCl 样品运输中的表面污染事件 .....	81
【案例 20】放射性废物运输中的表面污染事件 .....	82
【案例 21】美国橡树岭 Y-12 工厂的意外临界事件 .....	83
【案例 22】美国汉福特 Recuplex 工厂的意外临界事件 .....	84
【案例 23】美国伍德河杰可逊工厂的意外临界事件 .....	85
【案例 24】英国温茨凯尔工厂的意外临界事件 .....	86
【案例 25】美国爱达荷化学处理厂的意外临界事件 .....	87
【案例 26】法国皮埃尔拉特的 $\text{UF}_6$ 释放事件 .....	88
【案例 27】美国汉福特铀处理工厂的火灾事件 .....	89
【案例 28】英国温茨凯尔工厂“首端”厂房中事件 .....	90
【案例 29】美国萨凡纳河工厂的爆炸和火灾事件 .....	91
【案例 30】意外 $\gamma$ 辐射源照射事件 .....	92
【案例 31】 $^{137}\text{Cs}$ 源破损所致污染事件 .....	93
【案例 32】丢失 $^{226}\text{Ra}$ 放射源事件 .....	94
【案例 33】 $^{60}\text{Co}$ 射线机源脱出事件 .....	95
【案例 34】 $^{60}\text{Co}$ 放射源意外照射事件 .....	96
【案例 35】电子束致右手急性皮肤损伤 .....	97
【案例 36】热室检修人员误受 $^{60}\text{Co}$ 源超剂量照射事件 .....	98
【案例 37】镭源破漏事件 .....	99
【案例 38】电子束致左手急性皮肤损伤 .....	100

【案例 39】误受 $^{60}\text{Co}$ 源超剂量照射事件 .....	101
【案例 40】EPS 辐射事件 .....	102
【案例 41】核燃料元件厂蒸发池跑水事件 .....	104
【案例 42】改变 $\text{UO}_2$ 富集度导致临界事件 .....	105
【案例 43】铀金属车屑自燃事件 .....	106
【案例 44】核化工厂强放废液喷出污染事件 .....	107
【案例 45】核化工厂 1AW 废液泄漏事件 .....	108
【案例 46】核化工厂生产下水污染事件 .....	109
【案例 47】汉福特核基地 40 年代 $^{131}\text{I}$ 的强释放 .....	110
【案例 48】通风不良导致氦及氡子体浓度超标事件 .....	111
【案例 49】英国乏燃料贮存火灾事件 .....	112
【案例 50】认定后更改地震等级事件 .....	113
【案例 51】雷击造成全厂断电事件 .....	114
【案例 52】厂址地基不均匀沉降事件 .....	115
【案例 53】新的设计要求未能落实造成不符合项的事件 .....	116
【案例 54】未认真执行质保大纲使产品鉴定无效事件 .....	117
【案例 55】设备组装作业程序疏漏造成组装返工的事件 .....	118
【案例 56】质保记录不符合要求而不能成为质量的客观证据的事件 .....	119
【案例 57】质保内、外监查不符合质保监查要求的事件 .....	120
【案例 58】管理部门审查流于形式未起到应有作用的事件 .....	121
【案例 59】设计错误致使交工后还要大量返工的事件 .....	122
【案例 60】监督和验收不力致使产品存在的严重问题到安装时才发现的事件 .....	123
<b>参考文献</b> .....	124
<b>丛书初版后记</b> .....	125

# 第一部分

## 案例分析



## 一、反应堆工程案例

### 【案例 1】某试验反应堆主泵故障事件

#### 背景材料

某试验堆由两台离心式清水泵（1#、2#）建立一次水强迫循环。该试验堆于半年内发生了 5 次主泵故障，造成非计划停堆 4 次，故障涉及的问题比较集中，频度高。

主泵故障情况如下：

第一次，在反应堆临界试验过程中主泵跳闸，原因是靠近主泵的供电开关保险松开，拧紧保险后重新启动主泵，运行正常。

第二次，出现一次水流量低警告信号，手动停堆后，检查发现 2# 主泵入口阀 Z03 处在半开状态。分析认为是 1# 主泵振动较大，堆芯出口母管低频振动使 2# 主泵入口阀 Z03 手轮共振下滑所致。检修发现 1# 主泵联轴节靠背轮减振垫圈全部振碎，主泵轴端部弯曲，轴承保持架破碎，机械密封磨损。经修理后重新启泵，恢复运行。但考虑到 1# 主泵已经损坏，决定更换，并立即向生产厂家订货。

第三次，2# 主泵后轴承损坏。分析原因也是振动所致。（随后 2# 主泵又一次发生后轴承损坏）

第四次，2# 主泵入口测压脉冲管与入口管的焊缝断裂。

第五次，2# 主泵入口测压脉冲管与入口管的焊缝再次断裂。

如上所述，每次主泵发生故障，均采取了一定的处置措施，但没有阻止故障的一再发生。根据长期以来存在地面振动较大的情况，推断 1# 主泵机座可能发生下沉，使泵轴扭曲，造成多次运行设备损坏，决定在更换新泵时拆除机座重新浇注。

拆除 1# 主泵机座见到的情况符合分析意见：

1. 移开主泵底盘后，发现机座上部水泥层全部振碎为粉末状；
2. 电机机座部位混凝土较为疏松，特别是南西部位地脚螺栓周围混凝土尤其疏松，构成受力不均匀而振动；
3. 混凝土机座比较单薄，载荷能力不足，机座没有开挖机坑，仅与地面构成一体，下面存在很厚的软土层，振动能量形成纵向与横向波动，在长期过程中渐变而产生位移与变形。

为此，针对浮土层开挖近 1 m 深的机坑，考虑设置槽支架、定位板、安装板及微调对中措施。1# 主泵安装完毕。试车启动运行平稳，振动和噪声很小，用振动仪测试，符合设计要求，经验收后，正式投入运行。

对 2# 主泵同样更换新泵并重建机座。此后，主泵运行状态良好。

## 问题

1. 根据国家核安全法规试分析本案例发生非计划停堆的主要原因。
2. 本案例的纠正措施是如何确定的？其内容包括哪些因素？
3. 应汲取的经验教训。

## 分析要点

本案例属于研究堆的运行事件。在分析多次发生非计划停堆的原因时，应根据背景材料提供的情况进行。在此基础上分析得到主要原因是设计缺陷、施工缺陷、管理因素和人的因素。确定纠正措施应基于主要原因而考虑。应汲取的经验教训包括设备和人为两方面因素。

## 参考答案

### 1. 主要原因：

(1) 这是一起因为反应堆主要设备故障而引起的运行事件。1<sup>#</sup>和 2<sup>#</sup>主泵由于振动过多次发生故障，造成多次非计划停堆。对前几次故障只是作了局部处理，马上又投入运行，并没有解决根本问题，因此故障连续发生。

(2) 由于主泵振动过大引起损坏，进一步分析发现导致两台主泵多次发生故障是由于机座设计载荷能力不足及施工上存在严重的缺陷。工作管理中的人为差错表现为：只查一般情况，而没有分析主要原因，因此无法找到正确的纠正措施，造成事件一再重复发生。人为差错表现为：人员发现、解决问题的能力不够，造成事件连续发生。

2. 纠正措施是根据主要原因确定的。纠正措施包括：机座设计、机座施工、管理改进和提高维修人员的知识与能力。

3. 应汲取的经验教训：必须把减少和防止设备故障与人为差错作为重要的安全目标。从管理角度来说，必须建立起一套完整的规章制度并严格执行。发生了故障，要查明情况，采取切实可行的纠正措施。这样才能从根本上解决问题。从人员来讲，检修工作必须由受过良好培训、知识与技能称职的人员承担，否则难以胜任工作。



## 【案例2】某核电厂硼稀释事件

### 背景材料

某核电厂在对主系统升压补水的过程中，操纵员误将换料水箱中 2 100ppm 的硼水当作硼酸制备系统 7 000ppm 的硼水与清水混合，补入了主系统。后从硼浓度表指示发现问题，及时停止了补水过程，事件没有造成严重后果。

事件后调查发现：由于核电厂过于关心进度，在大量系统尚未完成调试的情况下急忙装料，导致许多系统尚未移交主控制室。由于系统调试工作分散，使主控制室人员对核电厂整体状态，特别是系统状态缺乏了解和控制，因而并不知道系统状态已经改变，补水用的硼酸补给泵已从硼酸制备系统切换到换料水箱，而从事补水操作的操纵员并不知道。

### 问题

1. 根据国际核事件分级表（INES）试对本事件进行分级。
2. 根据国家核安全法规试分析本事件的主要原因。
3. 应汲取哪些经验教训。

### 分析要点

本案例属于核电厂运行事件。事件分级应按国际核事件分级表（INES）的规定进行。事件的主要原因应根据背景材料所提供的情节进行分析，主要涉及核电厂反应堆运行中的生产安排、信息沟通和操纵员失误等人为差错，在此基础上分析，主要涉及安全管理以及运行人员的资格等。总结应汲取的经验教训。

### 参考答案

1. 根据纵深防御准则，该事件出现了超出规定运行范围的异常情况，事件分级为 INES 1 级。

2. 事件的主要原因：

（1）这是一起核电厂反应堆运行的安全事件。一方面没有真正树立“安全第一”的思想，生产进度的安排忽略了安全的要求，在大量系统尚未完成调试的情况下急忙装料，导致许多系统尚未移交主控制室。同时，由于系统调试工作分散，使主控制室人员对核电厂整体状态，特别是系统状态缺乏了解和控制，并不知道系统状态已经改变。另一方面操纵员没有特别关注防止硼稀释事件的问题，没有进行有关的检查与观测，出现了操作失误。

（2）A. 工作管理中的人为差错。一方面营运单位管理层在安排生产计划时出现了差错，另一方面在信息沟通和反馈上出现了失误。

B. 从核电厂反应堆运行的基本要求来看，操纵员的知识和技能尚不能满足要求。