

国家能源局
国家核安全局 编著



画说核安全

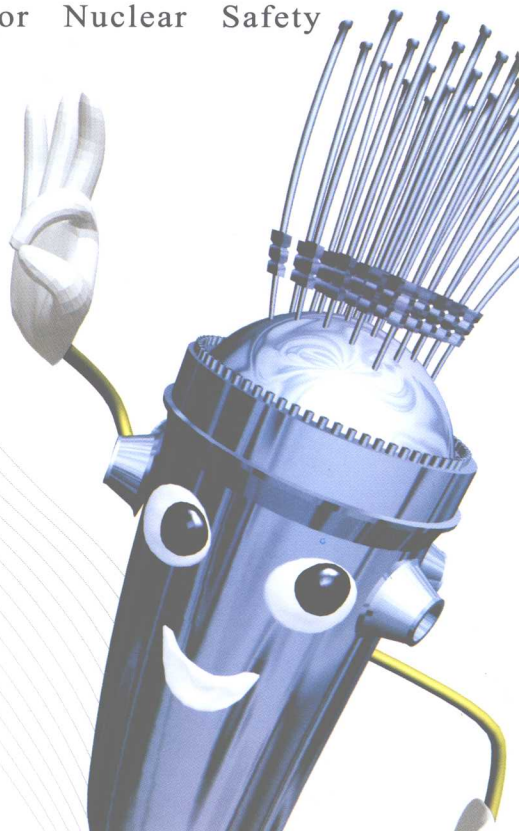
An Illustrated Book For Nuclear Safety

 人民出版社

国家能源局 编著
国家核安全局

画说核安全

An Illustrated Book For Nuclear Safety



 人民出版社

策 划：姜诗元

特约编辑：李盈安

责任编辑：贺 畅

责任校对：吕 飞

装帧插图：文 彬

图书在版编目 (CIP) 数据

画说核安全 / 国家能源局、国家核安全局 编著 北京：人民出版社，2008. 10

ISBN 978-7-01-006765-0

I. 画... II. 中... III. 核工程—安全技术—图解 IV. TL7-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第204954号

画 说 核 安 全

HUA SHUO HE AN QUAN

国家能源局 国家核安全局 编著

人民出版社 出版发行

(100706 北京朝阳门内大街166号)

<http://www.peoplepress.net>

北京毕诚彩印厂印刷 新华书店经销

2008年10月 第1版 2008年10月 第1次印刷

开本：880毫米×1230毫米 1/32 印张：5

字数：100千字

ISBN 978-7-01-006765-0 定价：36.00元

邮购地址：100706 北京朝阳门内大街166号 人民东方图书销售中心

电话：(010) 65250042 65289539

序一

能源是人类赖以生存和发展的重要物质条件。人类进入近代社会以来，煤炭、石油、天然气等化石能源的开发利用对人类进步和社会发展起到了重大的推动作用。但是，随着化石能源消耗量的增加，资源枯竭压力加大，环境污染问题日益严重，事实上人类近代社会近200年的历史消耗了地球几十亿年积累的能源财富。能源供应不足与社会可持续发展之间的矛盾越来越突出，也越来越受到国际社会的广泛关注。调整能源结构、提高能源效率、保护生态环境、实现可持续发展已成为国际社会的共识，关系到人类可持续生存的问题。

随着经济持续快速增长，我国能源需求越来越大，目前已经成为世界第二大能源生产大国和消费大国。我国政府高度重视能源问题。按照建设资源节约型、环境友好型社会的要求，为缓解社会发展与资源、环境之间的矛盾，促进社会全面、协调、可持续发展，国家研究制定了坚持节约优先、立足国内、保护环境、多元发展、加强合作，努力构筑稳定、经济、清洁能源供应体系的发展战略。

核电作为一种重要的能源形式，在未来能源结构中具有举足轻重的地位。自上世纪50年代第一座商业核电站投产以来，核电发展已历经50年。目前，全世界核电共有458个反应堆，装机容量近3.6亿千瓦，分布在31个国家和地区；核电年发电量占世界总发电量的17%。核电与水电、火电一起构成世界电源的三大支柱。在核电发展史上出现过切尔诺贝利核电站事故这样悲惨的事件，迟滞了核电的发展，但核电开发运行的实践证明，只要规范操作，严格安全管理，核能是一种安全、清洁、可靠、经济的能源。随着技术的进一步提高，具有固有安全性的新一代核电开发应用，发展核电没有煤电那样的温室气体排放，是清洁和安全的，可改善我国的能源结构，保障国家能源安全和经济安全。

我国核电从上世纪70年代起步，经过三十多年的努力，取得了很大发展。目前，已经建成投产广东大亚湾核电站、浙江秦山核电站一、

二、三期，广东岭澳核电站和江苏田湾核电站，共11台核电机组，装机容量近900万千瓦；岭澳核电站二期工程、泰山核电站二期扩建工程、辽宁红沿河核电站、福建宁德核电站等多个核电项目正在建设中；广东阳江、广东台山、浙江三门、山东海阳等核电项目正在开展前期工作，即将陆续开工建设。

“积极推进核电建设”将是我国电力发展的基本方针。2007年9月，国务院批准颁布了《国家核电中长期发展规划（2006~2020）》。按照规划，到2020年，我国核电装机容量争取达到4000万千瓦，占全部发电装机容量的4%左右，核电发电量达到2600~2800亿千瓦时，占全国发电量的6%左右。在目前在建和运行核电基础上，新投产核电装机容量3200万千瓦。同时，考虑核电的后续发展，2020年末保持在建核电容量1800万千瓦左右。2007年下半年以来，国际原油价格屡创新高，煤炭价格持续上涨，进一步凸显了能源供应的紧张局面。特别是2008年初在我国南方部分地区发生冰冻雨雪灾害后，核电作为安全、可靠、稳定能源的优越性再次体现，社会各界纷纷呼吁进一步加快核电发展，进一步加快核电发展既是形势所需，也是大势所趋。

在新的形势下，国家能源局与国家核安全局联合编写这本科普读物，目的就是让更多的人了解核电、认识核电，消除大家“恐核”、“谈核色变”的心理，支持核电的发展，参与核电发展决策，促进我国核电的健康发展。本书在总结核电安全管理经验的基础上，充分考虑不同读者的需要，采用多种表达方式，从科学常识、基础理论和生产实践等不同角度，系统阐述和介绍了核电站安全管理的相关知识。

希望读者通过本书进一步了解核电知识，为核电发展献计献策，促进我国能源结构的调整和持续健康发展。

国家能源局局长

张四宝

二〇〇八年九月

序二

自英国科学家卢瑟福1919年用 α 粒子轰击氮核打出质子、首次实现人工核反应后，核科学技术得到了迅速发展和应用。1954年，苏联建成世界上第一座试验核电站，为人类和平利用核能开辟了广阔的舞台。经过50多年的发展，核电已经与水电、火电一起构成世界电源的三大支柱。

自1991年12月15日秦山核电站成功并网以来，我国核电站的安全运行业绩良好，运行水平稳步提高，主要特征参数优于世界均值；我国大陆地区第一座百万千瓦级大型商用核电站——大亚湾核电站，运行水平已达到核能发达国家水平，运行业绩进入了世界同类机组先进行列；秦山核电站、大亚湾核电站、岭澳核电站、秦山第二核电站、秦山第三核电站和田湾核电站都保持安全稳定运行，放射性废物产生量逐年下降，气体和液体放射性废物排放量远低于国家许可限值，创造了显著的经济效益、社会效益和环境效益，为社会经济发展作出了重要贡献。

核电作为一种清洁、安全和经济的能源，是当今最现实的能大规模发展的替代能源。积极发展核电是我国优化能源结构、保障能源安全、促进经济持续发展的迫切需要，是厉行节能减排、减少温室气体排放和应对气候变化，实现经济、社会和生态环境协调发展的有效途径；对于提高我国核工业能力，促进装备制造产业升级将产生重要作用。

核电要发展，关键在安全。核安全是国家安全的重要组成部分，是核电建设的生命线，是保持核电持续、稳定、健康发展的前提和基础。我国历来对核安全给予高度重视。1984年，在我国核电事业刚刚开始起步的时候，就成立了国家核安全局。目前，已制定了与国际接轨的核安全法规和标准体系，对民用核设施实行独立的安全审评和监督，并建立了中央、地方、企业三级核电站内、外应急体系，为民用

核设施的有效监管奠定了坚实基础。

2005年1月，温家宝总理在视察大亚湾核电站时指出：“核电安全，重于泰山，是核电的生命线，必须以对国家、民族和人民负责的精神，高度重视和保障核安全。”长期以来，我国核电事业工作者始终坚持“安全第一，质量第一”的工作方针，核电站工程建设和生产运行一直保持良好的纪录，积累了丰富的核安全管理经验，为促进我国核电事业的健康发展作出了不懈努力。

在构建社会主义和谐社会的征程上，我国核电建设者肩负着发展核电的崇高使命，也承担着保障核安全的社会责任。在我国核电快速发展的时期，核电安全与国计民生紧密相连，广大民众对核电安全更加关注，普及核电安全知识具有重要的现实意义。

为此，我们在总结核电安全管理实践经验的基础上，与国家能源局一起策划编写了这本科普读物。相比严谨系统的法规和理论专著，本书具有以下几个特点：一是语言通俗易懂，用简单的语言将核能发电、核安全知识和核安全管理等知识呈现给读者；二是表现形式活泼，参考其他科普读物的做法，本书采用了大量生动逼真的漫画、图片、表格等表现方式，增加了知识的趣味性、生动性和可读性；三是结构安排合理，由浅到深，由表及里，层层展开，逐步深入，既适应普通社会公众的需求，又可以作为核电工作者的工作参考书籍。

通过阅读本书，希望广大读者更加了解核电站，了解核安全，支持核电发展，并积极参与和支持我们的核安全监管工作，共同营造有利于核电事业持续发展的社会氛围，为贯彻落实科学发展观，实现建设小康社会的宏伟目标作出应有的贡献。

国家核安全局局长



二〇〇八年九月

目 录



| | |
|---------------------------|-----|
| 序一 | I |
| 序二 | III |
| 第 1 章 安全：人类的基本生存需要 | |
| 什么是风险 | 2 |
| 安全：对风险的可知可控 | 4 |
| 现代社会的风险接受三原则 | 6 |
| 核安全：不容忽视的问题 | 8 |
| 核安全管理：我们的神圣使命 | 10 |
| 第 2 章 什么是核电厂 | |
| 核能发电的基本原理 | 12 |
| 核反应堆的控制问题为什么那么重要 | 15 |
| 压水堆核电站里为什么要用水 | 16 |
| 世界上有多少种核电厂 | 17 |
| 核电在国民经济和能源结构中的重要作用 | 18 |
| 核电的经济竞争力 | 20 |
| 核电是一项高技术产品 | 21 |
| 核风险来源：放射性物质的不可控过量释放 | 22 |
| 第 3 章 辐射环境与人类生活 | |
| 日常生活中的辐射 | 24 |
| 核电厂辐射来源 | 26 |
| 放射性健康后果 | 27 |
| 辐射防护知识（个人辐射防护知识） | 28 |

目 录

第4章 保障核安全的有力措施

| | |
|----------------------|----|
| 安全第一, 预防为主 | 32 |
| 多道屏障 | 34 |
| 纵深设防 | 37 |
| 基本手段: 固有安全(本质安全) | 38 |
| 故障安全设计 | 39 |
| 多重配置 | 40 |
| 多样性 | 41 |
| 实体隔离 | 42 |
| 成熟技术 | 43 |
| 国家监管体制: 实行有效监督的许可证制度 | 44 |
| 国际核电同行交流与检查评估 | 46 |
| 核电企业内部的安全监督金字塔 | 48 |

第5章 选址: 确保万无一失

| | |
|---------------|----|
| 核电厂址选择的基本要求 | 52 |
| 核电厂运行对环境的可能影响 | 54 |
| 环境因素对核电厂的影响 | 57 |
| 加权评分法厂址比选要点 | 58 |

第6章 设计: 本质安全的保障

| | |
|-------------------------|----|
| 设计要依据成熟可靠的技术 | 60 |
| 安全功能设置 | 61 |
| 安全壳的重要作用 | 62 |
| 全面落实设计原则的范例之一: 应急冷却水源设计 | 64 |
| 全面落实设计原则的范例之二: 供电可靠性设计 | 65 |

第7章 建立可靠有效的质量保证体系

| | |
|--------|----|
| 质量保证体系 | 68 |
|--------|----|



| | |
|------------------------------|-----|
| 严格执行质量标准 | 70 |
| 运行阶段的设备可靠性与材料寿命管理 | 72 |
| 定期试验与在役检查 | 73 |
| 系统设备升级与改造 | 75 |
| 技术规范执行 | 76 |
| 质量保证体系的一次飞跃：以效能为中心的质量管理体系 | 77 |
| | |
| 第8章 前事不忘后事之师：经验的积累与升华 | |
| 经验反馈体系 | 80 |
| 人员的培训与授权体系 | 82 |
| 团队建设的重要意义 | 84 |
| 事件报告制度：把差错作为学习的机会 | 85 |
| 事件处理原则：“四不放过” | 86 |
| 纠正行动要求与良好实践 | 88 |
| 外部经验反馈 | 90 |
| | |
| 第9章 核电的实际安全水平 | |
| 认识与评价核电安全的主要方法 | 94 |
| 概率论方法简介 | 95 |
| 事件树分析 | 96 |
| 故障树分析 | 97 |
| 确定论方法简介 | 98 |
| 核电厂事故分类 | 99 |
| 国家核安全法规中核动力厂状态的定义 | 99 |
| 事故分析 | 101 |
| 严重事故研究 | 102 |
| 国际核电安全水平现状 | 103 |
| 我国核电厂运行业绩 | 104 |
| 核电厂工业安全管理水平 | 106 |



第10章 核安全事故处理对策

| | |
|--------------------------|-----|
| 核电厂事故不同于原子弹 | 108 |
| 美国三里岛事故及其后果与教训 | 110 |
| 苏联切尔诺贝利事故的过程及其后果与教训 | 112 |
| 我们的压水堆核电厂不可能发生切尔诺贝利那样的事故 | 117 |
| 处理核电厂事故的基本对策： | |
| “小洞不补，大洞吃苦”，防止偏差变成故障 | 118 |
| 预防外部灾害影响到厂内 | 119 |
| 固若金汤的核电厂保安系统 | 121 |
| 常备不懈：事故状态下的应急运行管理 | 122 |
| “狼来了”怎么办：严重事故管理 | 123 |

第11章 核安全管理的最高境界：核安全文化

| | |
|-----------------|-----|
| 推进核安全文化的行动计划 | 126 |
| 核安全文化的基本要求 | 128 |
| 推进核安全文化的要素 | 129 |
| 核安全文化的发展阶段 | 130 |
| 我国核电厂建设核安全文化的经验 | 131 |

第12章 核电厂的公共关系

| | |
|------------------------|-----|
| 公共关系与周边协同：确保核安全的重要因素之一 | 134 |
| 交流：取得公众的理解与支持 | 135 |
| 国际核事件分级 | 136 |
| 应急计划 | 138 |
| 核技术科学普及 | 140 |
| 融入社区，共建和谐社会 | 142 |

后记

145

安全

人类的基本生存需要



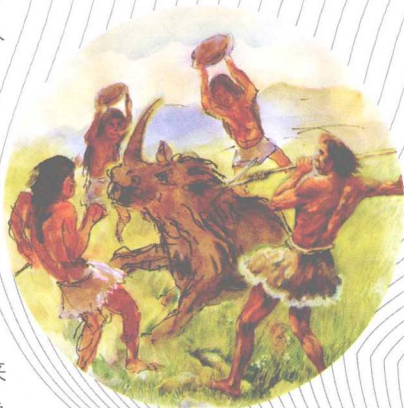
什么是风险

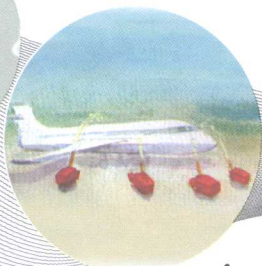
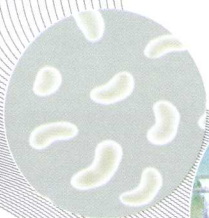
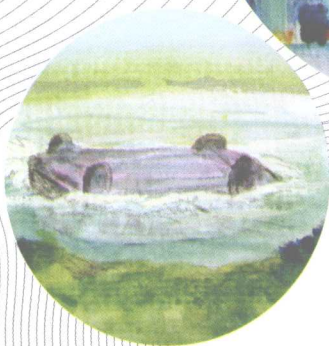
人类除了吃饭、喝水、睡觉等生理需要外，还有一个最基本的需要就是安全。人们只有体魄健全，体格健壮，才有可能生存，也才有可能发展。

在日常生活中，我们无时无刻不在面对着各种危险或威胁。人类从古猿进化而来的初期，先民与虎豹虫蛇为伍，时时有生命之虞。后来古人想到住在树上（“有巢氏”），发明了取火的方法（“燧人氏”），用火堆驱赶野兽，后来又发明了农耕（“神农氏”），逐渐远离兽群，人类生存的安全性就大大地提高了。

人类社会的一切进步，都是为了提高生活质量，增加个人的安全感。我们生活在现代社会里，已经基本不用担心毒蛇猛兽的侵害，可是我们仍然每天要面对各种危险或威胁。各种病菌病毒会使我们得病，乘坐便捷的各种交通工具，可能会发生交通事故，地震海啸会夺取成千上万人的生命，恐怖组织会突如其来地残杀无辜。就算我们没有遇到上面种种不幸，说不定会不小心买到黑心棉、黑心豆腐、劣质奶粉，或者含苏丹红的辣椒酱。

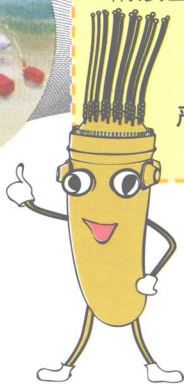
所以说，从古至今，我们时时都在面对存在危险的环境，我们的安全实在是一个值得关心的问题。





为了更好地研究掌握对人类的各类危险或威胁，找到恰当的处置办法，科技界给危险或威胁下了一个定义，叫做**风险**。这一研究工作就叫做**风险分析**，或者叫做**安全评价**。

风险，是指发生某一严重后果事件的可能性。



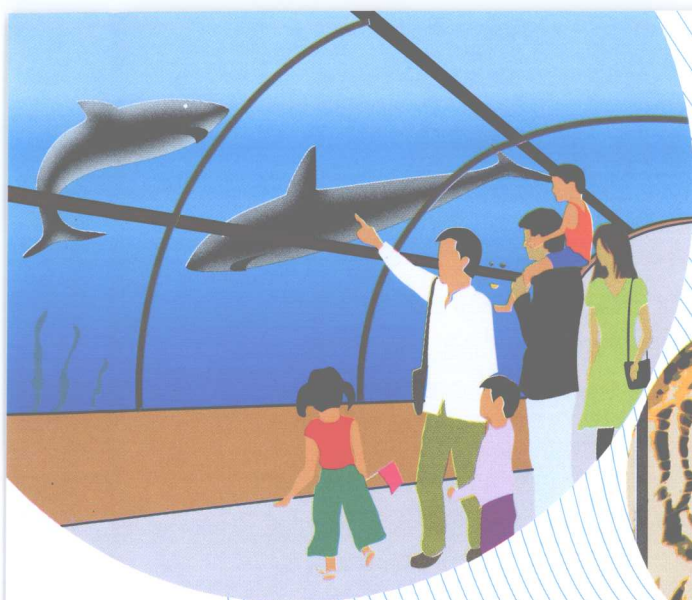
安全：对风险的可知可控

安全，是相对风险而言的。如果我们知道哪里有危险，并且能控制这种危险不让它发生，或者发生后不让它严重影响到我们的生命财产，我们就认为我们是安全的。安全，就是对风险的可知可控。

我们知道老虎会吃人，于是我们为老虎设一个“特区”，人轻易不到“特区”去打扰老虎；或者我们把老虎关在笼子里，就像在动物园里那样，人隔着笼子欣赏老虎的雄姿；或者我们让老虎自由，而把自己关在笼子一样的密闭车辆里，开着车去拜访它们。在这三种情况下，我们都不会怕老虎吃我们。因为我们把老虎吃人的风险控制住了。

我们知道小汽车开得快，出了车祸要死人，所以我们要制定并执行交通规则，要求坐在小车前排的人，在行车时要系上安全带。我们知道许多疾病的致病源，所以我们要定期注射预防针，接种牛痘和卡介苗，对住所进行消毒处理。我们尽量不买、不吃无证商贩经营的食物。

这些，都是通过控制风险来保证我们安全的办法。

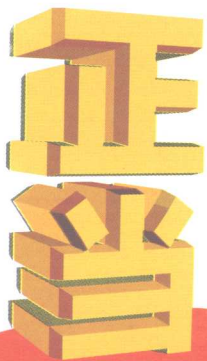


现代社会的**风险接受三原则**

现代社会是以工业化生产为支撑的。除了日常生活中的风险以外，工业生产活动也会给我们带来一定风险。比如有的化工厂有爆炸的危险，有的有毒气泄漏的危险，火电厂要烧煤，而挖煤的时候可能发生瓦斯爆炸、冒顶或者水淹事故，对工人的生命构成威胁。

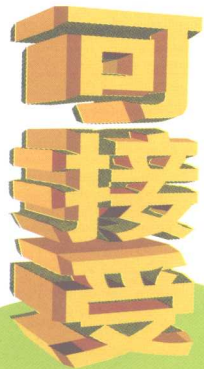
社会要发展，要满足人民群众日益增长的物质与精神生活的需要，我们就不能不从事工、农、商业等各项活动。没有现代大工业生产，我们就会倒退到神农氏时代，就会面临很高的活活饿死的风险，那威胁，比起我们偶尔遇到一次车祸来，真不知要大了多少倍。所以虽然安全是我们的基本需要，但我们却不能贸然地宣称：“我什么风险都不接受。”一般来说，我们都会“两害相权取其轻”，这是一种实事求是的态度。

根据多年的经验和科学研究，一项工业活动的风险能否被接受，有三个指导性原则。



正当

活动必须是正当的，也就是说，如果我们把风险看成是损失的话，工业活动的所得必须大于所失，冒一点风险是值得的，也是必需的。



可接受