

中国电气工程大典编辑委员会



CHINA ELECTRICAL

中国电气 工程大典

ENGINEERING CANON

第 6 卷

核能发电工程

主编 叶奇蓁 李晓明 俞忠德 黄学清 郑明光
曾文星 邢馥吏 徐 铎 徐元辉

 中国电力出版社
www.cepp.com.cn



CHINA ELECTRICAL

中国电气 工程大典

ENGINEERING CANON

中国电气工程大典编辑委员会

第 6 卷

核能发电工程

主编 叶奇蓁 李晓明 俞忠德 黄学清 郑明光
曾文星 邢馥吏 徐 铎 徐元辉



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

《中国电气工程大典》是由中国电工技术学会、中国机械工程学会、中国电机工程学会、中国动力工程学会和中国水力发电学会共同组织全国电气工程各领域的著名专家、学者编纂而成的。它是一部全面系统反映电气工程各领域最新成就和技术水平的综合性工具书。《中国电气工程大典》包括现代电气工程基础、电力电子技术、电气工程材料及器件、火力发电工程、水力发电工程、核能发电工程、可再生能源发电工程、电力系统工程、电机工程、输变电工程、配电工程、船舶电气工程、交通电气工程、建筑电气工程、电气传动自动化等15卷。

本书为第6卷，核能发电工程卷。主要内容包括压水堆核电厂、核电厂的建造、核电厂的调试及运营、先进压水堆核电厂、下一代先进核能系统。

本书主要供核能发电工程领域技术人员和管理人员使用，也可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国电气工程大典. 第6卷, 核能发电工程/叶奇蓁等主编: 中国电气工程大典编辑委员会编. —北京: 中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-8912-7

I. 中… II. ①叶…②中… III. ①电力工程-中国②核能发电-电力工程-中国
IV. TM TM613

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 088266 号

中国电力出版社出版发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年7月第1版 2009年7月北京第1次印刷

880mm×1230mm 1/16 • 73.25印张 • 3381千字 • 2插页

定价 320.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

中国电气工程大典

编辑委员会

- 主任：陆燕荪 原机械工业部副部长、教授级高级工程师
中国机械工程学会名誉理事长
- 陆延昌 原电力工业部副部长、教授级高级工程师
中国电机工程学会理事长
- 执行主任：周鹤良 原机械工业部电工局局长、教授级高级工程师
中国电工技术学会名誉理事长
- 宋天虎 原机械工业部科技司司长、教授级高级工程师
中国机械工程学会常务副理事长
- 副主任：潘崇义 中国电工技术学会副理事长、教授级高级工程师
- 吴玉生 中国电机工程学会秘书长、教授级高级工程师
- 邴凤山 中国水力发电工程学会副理事长、教授级高级工程师
- 严宏强 中国动力工程学会秘书长、教授级高级工程师
- 宗 健 中国电力出版社有限公司董事长、总经理、编审

委 员：（按姓氏笔画排列）

丁 杰	卜广全	于 龙	于坤山	于 明	于新颖	马小亮	马文忠	马伟明	马伟斌
马旭东	马济泉	马晓茜	马隆龙	丰镇平	王之杰	王为民	王正鸣	王占奎	王永骥
王成山	王兆安	王志峰	王作民	王国海	王明渝	王金元	王学伟	王泽忠	王建生
王建华	王绍武	王春华	王厚余	王炳忠	王 勇	王素英	王振铭	王 乘	王维洲
王景芹	王 强	王锡凡	王新新	王黎明	王德宽	王赞基	文习山	文劲宇	方晓燕
方 磊	尹天文	邓长胜	孔 力	孔伯汉	孔昭年	石萍萍	卢 强	卢澎湖	叶奇蓁
田东强	田培斌	史进渊	史毓珍	白少林	白俊光	白晓民	白继彬	冯江华	司马文霞
邢馥吏	戎一农	吕征宇	吕鸿达	朱庆明	朱英浩	朱宝田	朱晓明	朱家驹	朱耀泉
仲明振	任兆宏	任修明	任俊生	危师让	鄒 雄	刘大明	刘广峰	刘卫宁	刘友梅
刘公直	刘文华	刘平安	刘 伟	刘仲儒	刘希清	刘 杰	刘尚明	刘国林	刘泽洪
刘建飞	刘建明	刘屏周	刘璞岩	刘德志	齐剑波	关志成	江秀臣	江哲生	池 涌
汤 涌	汤蕴林	祁恩兰	许江宁	许忠卿	许洪华	阮江军	阮新波	阮 毅	孙才新
孙凤杰	孙成群	孙 林	孙牧海	严宏强	严陆光	严俊杰	严 萍	苏秀苹	杜正春
杜毅威	杨玉岗	杨守权	杨寿敏	杨其国	杨奇逊	杨奇娟	杨怡元	杨俊智	杨 耕
杨维迅	杨 雯	杨道刚	杨德才	李 卫	李文健	李永东	李成榕	李 旭	李兴源
李安定	李 农	李若梅	李杰仁	李宝树	李定中	李 奎	李彦明	李晓明	李颂哲
李朗如	李培植	李盛涛	李崇坚	李道本	李道林	李 鹏	李 新	李肇林	李耀星
邴凤山	肖立业	肖昌汉	肖辉乾	肖湘宁	肖耀荣	吴正国	吴创之	吴运东	吴志坚
吴国平	吴质根	吴晓波	吴培豪	邱爱慈	何木云	何阿平	何金良	何梓年	何湘宁
何瑞华	佟为明	余 志	余贻鑫	邹云屏	邹金昌	邹孟奇	应百川	辛德培	辛耀中
汪继强	汪集旸	汪樵生	汪德良	沈小宇	沈 江	沈 兵	沈邱农	沈梁伟	宋文武
宋汉武	宋哲仁	迟 速	张艺滨	张文才	张玉花	张业广	张乔根	张仲超	张兆鹤
张伯明	张治文	张启平	张 波	张 亮	张洪钟	张祖平	张勇传	张晓江	张晓锋
张 敏	张 望	张景洲	陆永平	陆宠惠	陆俭国	陆剑秋	陆祖良	陆家榆	陆嘉明
陈汉民	陈伟根	陈 仲	陈众励	陈庆国	陈 坚	陈伯时	陈国柱	陈治明	陈建飏
陈 星	陈思铤	陈 勇	陈哲良	陈恩鉴	陈雪梅	陈清泉	陈超志	陈敬超	陈辉明
陈黎平	陈德昌	陈德胜	陈德桂	邵 岚	苟锐锋	林云生	林公舒	林集明	易学勤
罗永浩	罗景华	金如麟	周小谦	周以国	周双喜	周 平	周仲仁	周远翔	周孝信
周建中	周思刚	周家启	周 娟	周锡生	郑小康	郑云之	郑永红	郑克文	郑明光
宗建华	宓传龙	孟庆东	赵玉文	赵光宙	赵 伟	赵红一	赵昌宗	赵治华	赵宗让
赵荣祥	赵相宾	赵 洁	赵 敏	赵婉君	赵 琨	赵 毅	赵黛青	荣命哲	胡方荪

胡安	胡学浩	胡振岭	胡鉴清	段善旭	段献忠	侯子良	俞忠德	俞智斌	饶芳权
施围	施鹏飞	洪元颐	姚本荣	姚尔昶	姚家祎	姚福生	贺建华	贺益康	贺湘琨
贺德馨	骆仲决	秦和	秦裕碧	袁余军	袁建生	袁建敏	都兴有	耿英三	莫会成
贾东旭	夏立	夏祥贵	顾四行	顾国彪	钱昌燕	钱宝良	钱照明	倪维斗	徐元辉
徐凤刚	徐永法	徐兆丰	徐国政	徐洪海	徐殿国	徐铎	徐德鸿	殷禄祺	奚大华
高子瑜	高文胜	高庆国	高京生	高理迎	高培庆	郭天兴	郭国顺	郭保良	郭洁
郭振岩	郭灏	唐任远	唐炬	唐春潮	陶星明	黄少锋	黄仁乐	黄妙庆	黄其励
黄国治	黄学清	黄宝生	黄晓丽	黄崇祺	黄景湖	梅生伟	曹一家	曹惠彬	戚庆成
崔志强	崔翔	康勇	章名耀	章定邦	梁维宏	梁维燕	梁曦东	彭宗仁	葛大麟
葛少云	葛诗慧	葛蓉生	葛溪亭	葛增茂	董卫国	蒋洪德	蒋善定	韩民晓	韩英铎
惠世恩	覃大清	程天麟	程钧培	程时杰	董卫康	程浩忠	傅书遏	焦侬	焦树建
舒惠芬	曾文星	曾正中	曾明富	曾南超	程树康	程浩忠	游亚戈	谢开贵	谢秋野
雷银照	雷清泉	满慧文	蔡崇积	管瑞良	曾雁鸿	曾嵘	缪鸿兴	黎晓晖	焦树建
薛以太	戴先中	戴庆忠	戴慧珠	魏光辉	廖胜松	廖瑞金			颜渝坪

序

电气工程包括发电工程、输配电工程和用电工程，是为国民经济发展提供电力能源及其装备的战略性产业，是国家工业化和国防现代化的重要技术支撑，是国家在世界经济发展中保持自主地位的关键产业之一。电气工程的产业关联度高，对从原材料工业、机械制造业、装备工业以及电子、信息等一系列产业的发展均具有推动和带动作用，对提高整个国民经济效益，促进经济社会可持续发展，提高人民生活质量有显著影响。

经过改革开放 30 年来的发展，我国电气工程已经形成了较完整的科研、设计、制造、建设、运行体系，成为世界电力工业大国之一。至 2007 年底，我国发电装机容量达 7.13 亿 kW，三峡水电及输变电工程、百万千瓦级超超临界火电工程、百万千瓦级核电工程，以及正在建设的交流 1000kV、直流 ±800kV 特高压输变电工程等举世瞩目；大电网安全稳定控制技术、新型输电技术的推广，大容量电力电子技术的研究和应用，风力发电、太阳能光伏发电等可再生能源发电技术的产业化及规模化应用，超导电工技术、脉冲功率技术、各类电工新材料的探索与应用取得重要进展。特别是进入 21 世纪以来，电气工程领域全面贯彻科学发展观，新原理、新技术、新产品、新工艺获得广泛应用，拥有了一批具有自主知识产权的科技成果和产品，自主创新已成为行业的主旋律。我们的电气工程技术和产品，在满足国内市场需求的基础上已经开始走向世界。

电气工程技术的快速发展和巨大成就，要求对原有知识的不断更新，广大电气工程领域的工作者们对新的知识愈加渴求。在原机械工业部陆燕荪、电力工业部陆延昌两位老部长的倡议和领导下，由中国电工技术学会、中国机械工程学会、中国电机工程学会、中国动力工程学会和中国水力发电工程学会五个全国性学会，联合组织了电气工程各领域近 2000 位专家和学者，历



时4年多，编撰的《中国电气工程大典》现在出版了。这套内容新颖实用的巨著是电气工程领域一项重要的基础性工作，也是我国电气工程技术人员对社会的一项公益性奉献。这部鸿篇巨著不仅具有电气工程技术的知识魅力，同时也具有鲜明的时代特色，相信会为广大读者营造一个开卷有益的氛围。

电能作为目前使用最方便的二次能源，在推动社会进步、促进科学技术发展和提高人民生活质量方面发挥着越来越重要的作用。随着社会的不断进步和人民生活水平的不断提高，电气工程任重而道远，需要依靠科技进步，并用更新的科学知识武装每一位电气工作者，所以，希望这套著作能对电气工程的教学、科研、设计和管理人员有所裨益。

徐匡迪

二〇〇八年八月十二日



前言

电的产生和应用是人类有史以来最伟大的科学技术成就之一。电力作为目前最清洁和使用最方便的二次能源,在推动社会发展、促进科学技术进步和提高人民生活质量方面发挥着越来越重要的作用。一个多世纪以来,电气技术的不断发展,电力生产及应用的日益增长,迅速改变了人类社会的面貌,也深深影响着人们的生活方式。电气化的程度已成为国家文明程度的重要标志之一。

改革开放 30 年来,我国科学技术取得了突飞猛进的发展,科技创新已成为国家发展的重要战略。在电气工程领域,新原理、新技术、新工艺、新材料得到了广泛应用,涌现出一大批具有自主知识产权的科研成果和产品。三峡电站的建设,大容量高效清洁超临界和超超临界压力机组的迅速发展,特高压交直流输电技术和灵活交流输电技术的发展和应用,先进的核能发电厂及可再生能源发电厂的成功建造,大电网智能化动态稳定监控系统和管理系统的广泛应用,具有先进水平的电气装备制造业的高速发展,大容量电能变换与节能节电技术,风力发电、太阳能光伏发电等资源节约、环境友好的新技术的大量应用,计算机和信息网络技术在电气领域的普及,明显改变着电气工程领域技术发展状况。超导电工技术、脉冲功率技术,纳米材料、永磁材料、有机硅材料等各类电工新技术和新材料的探索与应用,都充分展示了中国电气工程领域所取得的骄人业绩,引起了世界的高度关注。其中许多科研成果和产品,已达到国际先进水平。

电气工程从业人员多,涉及面广,技术进步快,科研成果多,许多科研成果需要总结和积累,许多新的知识需要普及和传播。盛世修典,素有遗风。为反映电气工程领域最新的发展成就,总结已有的科研成果,传播工程领域最新的科学技术知识,中国电工技术学会、中国机械工程学会、中国电机工程学会、中国动力工程学会和中国水力发电工程学会五个学会,联合组织了电气工程各领域的约 2000 位专家和学者,编撰了《中国电气工程大典》。

本套书的编写工作于2004年开始启动，编委会多次召开工作会议，精心组织，按照“取材突出新原理、新技术、新工艺、新材料；内容体现新颖性、先进性、实用性；表达力求简明扼要、深入浅出、直观易懂”的原则，反复讨论并修改编写大纲，确定编写内容。经过4年磨砺，数易其稿，终于付梓出版。《中国电气工程大典》共15卷约5000万字，包括《现代电气工程基础》、《电力电子技术》、《电气工程材料及器件》、《火力发电工程》、《水力发电工程》、《核能发电工程》、《可再生能源发电工程》、《电力系统工程》、《电机工程》、《输变电工程》、《配电工程》、《船舶电气工程》、《交通电气工程》、《建筑电气工程》和《电气传动自动化》。

所有组织者和编著者都把编撰本套书当作电气工程领域建设的一项重要的基础性工作，他们认真负责，辛勤耕耘，倾注了大量心血。本套书在编写出版过程中，得到参与编写的各科研院所、企业、高等院校等单位的大力支持，还得到业内有关院士和专家、学者的热心帮助。正是大家的积极参与和无私奉献，才使得这部大典能顺利编写出版，编委会对他们的奉献和支持表示衷心感谢。

这部鸿篇巨著，涉及电气工程设计制造、建设施工、生产运行、科研教学、工程管理等领域，总结了改革开放30年来电气工程各领域的技术发展与成功经验，展示了各专业领域的最新技术数据、设计经验、科技成果和发展动态，汇集了国内外相关的先进理念和成熟经验，体现了科学性、先进性和实用性的结合，是一套可供电气工程领域专业技术人员和管理人员使用的综合性工具书，也可供高等院校相关专业师生参考。

《中国电气工程大典》的编撰出版工作涉及面广，参与人员多，写作难度大。尽管编撰人员尽心尽力，倾注了无数心血，但书中难免存在缺点和不足之处，恳请读者指正。

中国电气工程大典编辑委员会主任

陆燕荪 陆延昌

本 卷 前 言

自从中央作出积极发展核电的战略决策以来，核电的发展面临着极好的机遇和前景。核电是一种清洁的能源，不排放 SO_x 、 NO_x 等有害气体和 CO_2 温室气体，有利于环境保护。核电站可建设在临近负荷中心，减轻了煤炭运输的压力，同时亦增加了电网供电的可靠性。核电的建设有利于减少化石燃料的消耗，可优化资源利用并改善能源结构和电力结构。

第二代改进型压水堆核电机组已经在我国批量化、规模化地进行建设。我国已能自主设计建设 300、600、1000MW 级的核电机组；核电机组的主设备和关键设备，包括反应堆压力容器、蒸汽发生器、堆内构件、控制棒驱动机构、稳压器、装卸料机、主管道等，基本上由国内厂商制造和供货，国产化比率达到 70% 以上并不断提高；核电站用的大型铸、锻件，核级管材和焊材，核级泵、阀，以及因康镍 690 的 U 型管的试制和生产均取得了很大的进展；核级仪表和探测器，以及数字化仪控系统亦正在开发并获得了显著成效。我国已投产的核电站采用的是国际上成熟的核电技术，具有足够的安全性和可靠性，并且广泛运用了 20 世纪 90 年代以来开发的先进技术，运行情况良好，负荷因子超过 85%。根据 WANO 的统计，我国运行核电站的运行业绩均排在世界核电站的前列。为了实现 2020 年的规划目标，在当前批量化、规模化地建设第二代改进型压水堆核电机组是现实的选择。同时，它还将为我国第三代核电机组的自主化建设打下坚实的技术和工业基础。

第三代引进的先进压水堆核电机组驱动项目的建设，以及引进技术的消化、吸收正在全面地进行。大型先进压水堆重大专项正在组织开展之中。第三代先进压水堆核电机组在安全性上有较大的提高，引入非能动安全系统，大大降低了堆熔概率；设置双层安全壳，大大降低了大量放射性外泄的概率。如果加强对放射性废液的管理和净化处理，尽量回收复用，降低废液排放的比放射性浓度和总量，将会更有益于江河湖海的水质保护。相信经过周密的设计、充分的验证试验，第三代核电机组的成功建设会使我国的核电发展上一个新台阶。2009 年 3 月第一座

AP1000 型的核电机组将在浙江省开始建设,相继还有三座 AP1000 的核电机组将陆续进行建设。2009 年首座 EPR 型机组将在广东省开建。驱动项目的成功建设将为我国第三代先进压水堆核电机组的批量化、规模化建设打下基础。

随着我国中部和西部地区经济的发展,电网容量的扩大,内陆建设核电的需求也日益迫切。特别是 2008 年初南方的雪灾,交通运输瘫痪,煤炭供应不上,电厂被迫停运,加上电网故障,使得广大地区断电,对地区经济和人民生活造成很大困难和损失。核电站的建设可减缓对交通运输的压力,并支撑地区电网的运行,加强供电的可靠性。但是内陆核电站多位于江河、湖泊边,且内陆人口较密,因此内陆核电建设要加强对环境和水源的保护。为此,要加强对环境保护和三废处理的研究,进一步净化和减少排入环境的废气和废水。

此外,我国亦正在研究开发属于第四代的未来核电机组。我国正在建设钠冷快中子实验堆,预计 2009 年可以达到临界,2010 年并网发电。我国已建成球床型模块式高温气冷实验堆,并正在筹建高温气冷堆的示范电站。同时正在开展超临界水堆的技术研究。

正是在这样的背景下,组织编写了《核能发电工程》卷。用以总结我国在核电设计和建设方面的成果和经验,包括主参数、系统功能和流程、厂房布置、设备性能及技术特征,以及工程建设和调试运行方面的经验(见第 2、3、4 篇)。随着我国第三代核电机组的引进和建设,有必要对 AP1000 和 EPR 的设计概貌和技术特性进行介绍,以便对第三代引进机组有个基本概念(见第 5 篇)。本卷还对第四代核电机组进行了介绍(见第 6 篇),以便使读者对核电的未来发展有所了解。此外,本卷还就核电设计的共性问题进行了论述,诸如厂址选择、安全审评、环境影响评价等(见第 1 篇)。在第 1 篇概论中还简要介绍了核能发电的基本原理,核电站的类型及其基本特征,以及核燃料循环的主要环节及其主要原理。

本书可供从事核电和将要从事核电的学生、科技人员、工程管理人员,以及有关管理机关的工作人员参考。鉴于核能技术发展迅速,本书所涉及的具体内容需要不断更新,并补充新的知识。

编者

中国电气工程大典

第⑥卷

核能发电工程

编辑出版人员名单

责任编辑	李建强	王岳	郑艳蓉	乐苑
	周俊霞	彭莉莉	刘汝青	赵鸣志
复审人员	刘广峰	朱铁生	许宝成	
封面设计	郑小平	王英磊		
版式设计	张秋雁			
责任校对	罗凤贤			
责任印制	甄苗			

目 录

序	
前言	
本卷前言	
第1篇 概论	1
第1章 核能发电概述	3
1 核能发电在能源结构中的地位	3
1.1 世界能源结构及核能地位	3
1.2 核能发电在中国能源发展中的作用	4
2 核电厂的工作原理	4
2.1 核裂变与核聚变	4
2.2 反应堆物理	5
2.3 反应堆动力学	6
2.4 反应堆热工水力	7
2.5 核电厂的核岛	9
2.6 核电厂的常规岛	9
2.7 电厂配套设施	9
3 反应堆类型	10
3.1 压水堆	10
3.2 沸水堆	12
3.3 重水堆	13
3.4 石墨水冷堆	15
3.5 气冷堆	15
3.6 高温气冷堆	17
3.7 快中子增殖堆	17
4 核能发电的基本特征	18
4.1 核电厂安全性	18
4.2 核电厂环境影响	20
4.3 核电厂经济性	20
5 核能发电的发展趋向	21
5.1 第一代核能发电	21
5.2 第二代核能发电	22
5.3 第三代核能发电	22
5.4 第四代核能发电	24
6 受控核聚变	25
6.1 受控核聚变的工作原理	25
6.2 受控核聚变的开发	25
6.3 聚变实验装置	26
6.4 聚变实验反应堆	26
第2章 核电厂厂址选择	28
1 核电厂厂址的特点和基本要求	28
1.1 核电厂厂址的特点	28
1.2 核电厂选址基本准则要求	28
2 核电厂厂址选择的法规、导则和标准	29
2.1 核安全规定及导则	29
2.2 国家标准	30
2.3 数值规定	30
2.4 标准技术术语	31
3 核电厂选址程序	31
3.1 初步可行性研究阶段	32
3.2 可行性研究阶段	32
4 核电厂厂址查勘	33
4.1 厂址查勘的目的	33
4.2 核安全相关厂址特征及判别准则	34
5 厂址的地震地质调查和评估	35
5.1 收集资料要求	35
5.2 建立区域地震构造模型	36
5.3 确定设计基准地面运动	36
5.4 设计基准地面运动特征	36
5.5 能动断层	37
5.6 地震引起的波浪(海啸、湖涌)和溃坝	37
5.7 与地震和地质现象有关的潜在永久性地面变形	37
6 厂址的工程地质勘探和评估	37
6.1 技术术语和定义	38
6.2 勘查大纲的编制	38
6.3 厂址评价阶段的典型勘查大纲	39
7 厂址的水文地质调查和评估	39
7.1 水文地质特征	39
7.2 水文地质调查	39
7.3 水文地质调查大纲	40
7.4 相关水文地质调查	40
8 厂址的气象调查和评估	41
8.1 气象调查要求	41
8.2 气象调查大纲和收集资料	41
8.3 弥散计算	42
8.4 极端气象事件	42
9 厂址的人口分布调查和评估	43
9.1 资料要求和收集	43
9.2 筛选厂址的方法和应用	44
9.3 几种方法的参考做法	44
10 厂址的外部事件调查和评估	45
10.1 资料收集和潜在危险源的确认	45
10.2 对外部人为事件影响的评估	45
11 厂址安全性分析与评价	47
11.1 厂址及其环境特征	47
11.2 外部事件分析与评价	47
12 核电厂对环境影响的分析和评价	48
12.1 最终热阱	48
12.2 电厂事故的环境影响	48
12.3 执行应急计划的厂址条件	49
第3章 核电厂的环境影响	50
1 放射性物质的产生和排出	50
1.1 运行状态下的排放源项	50
1.2 事故工况下的排放源项	50
2 环境影响评估	52
2.1 运行状态下的环境影响	52
2.2 事故工况下的环境影响	53
3 气载流出物的大气弥散	54
3.1 基本的弥散模式	54
3.2 运行状态下的大气弥散	54
3.3 事故工况下的大气弥散	54
3.4 熏烟及静风条件下的特殊考虑	55
4 液载流出物的水体弥散	55

4.1 滨海厂址	55	4.3 评价实施要点	81
4.2 河边厂址	55	5 核电厂各阶段的质量保证	82
4.3 水体中的悬浮物和沉积	56	5.1 核电厂各阶段质量保证综述	82
5 公众的受照剂量估算	56	5.2 物项和服务采购的质量保证	83
6 核电厂环境影响的管理	57	5.3 物项制造的质量保证	84
6.1 国家环境保护部的监管	57	5.4 核电厂选址的质量保证	87
6.2 核电厂环境影响报告书的编制	57	5.5 核电厂设计的质量保证	88
6.3 地方环保局监督	57	5.6 核电厂建造的质量保证	89
附录 3A 运行状态下大气弥散的计算模式及参数	58	5.7 核电厂调试的质量保证	90
附录 3B 事故工况大气弥散模式及考虑	59	5.8 核电厂运行的质量保证	91
附录 3C 隔空间转移参数的缺省值	59	5.9 核电厂退役的质量保证	92
附录 3D 环境影响报告书典型内容的目录	59	第 6 章 核燃料循环	94
第 4 章 核电厂安全监督管理	61	1 核燃料循环的基本类型	94
1 核电厂安全管理原则	61	1.1 铀—钚燃料循环	95
1.1 安全文化	61	1.2 铀—钍燃料循环	96
1.2 营运单位的职责	61	2 核燃料循环的组成	97
1.3 管理控制和独立验证	61	2.1 铀矿地质勘探	97
2 核安全技术原则	62	2.2 铀矿的开采	97
2.1 纵深防御策略	62	2.3 铀的冶炼	97
2.2 通用技术原则	62	2.4 铀同位素分离	99
2.3 构筑物、系统和部件的可靠性设计	63	2.5 核燃料组件的制作	102
2.4 核电厂安全运行	63	2.6 堆芯辐照	108
3 核安全法规标准	64	2.7 核燃料的后处理	110
3.1 法律和法规	64	2.8 乏燃料运输	112
3.2 安全导则	64	2.9 乏燃料储存	113
3.3 技术标准	64	2.10 放射性废物的处理和处置	114
4 核安全许可制度	64	参考文献	117
4.1 核电厂安全许可证件的种类	64	第 2 篇 压水堆核电厂	119
4.2 核电厂安全许可证件的申请、审评、 颁发和中止或吊销	65	第 1 章 概述	121
5 核电厂安全监督	65	1 压水堆核电厂的组成部分	121
5.1 国家核安全局的监督职责	65	1.1 核能发电基本原理	121
5.2 奖励和处罚	66	1.2 压水堆核电厂系统构成	121
5.3 国际上新的核安全监管方法	66	1.3 厂房布置	122
附录 4A 许可证件申请需提交的文件	66	2 中国内地压水堆核电厂发展概况	122
附录 4B 安全分析报告典型内容的目录	66	2.1 秦山核电厂	122
第 5 章 核电厂的质量管理	71	2.2 秦山第二核电厂	122
1 质量保证体系	71	2.3 大亚湾核电厂	123
1.1 质量保证体系的总体要求	71	2.4 岭澳核电厂	123
1.2 质量保证大纲的文件类型和主要内容	71	2.5 田湾核电厂	123
1.3 国际原子能机构核电厂质量保证法规 与安全导则	72	2.6 秦山二期扩建工程	123
1.4 我国核电厂质量保证的核安全法规 与安全导则	72	2.7 岭澳核电厂扩建工程	124
2 物项分级	73	3 压水堆核电厂安全设计常用概念	124
2.1 安全等级	73	3.1 安全目标和纵深防御概念	124
2.2 抗震类别	74	3.2 安全功能和分级	124
2.3 规范等级	75	3.3 设计基准	125
2.4 质量保证分级	75	3.4 构筑物、部件、系统的可靠性设计	126
3 管理要求	78	3.5 安全分析	126
3.1 人员培训和资格考核	78	第 2 章 反应堆	128
3.2 不符合项控制和纠正措施	78	1 反应堆概况	128
3.3 文件控制和记录	80	1.1 反应堆功能	128
4 质量保证体系实施的评价	81	1.2 反应堆主要参数	128
4.1 评价目的	81	1.3 反应堆本体主要设备	129
4.2 评价分类	81	1.4 反应堆辅助设备	130
		2 堆芯部件	130
		2.1 燃料组件	131

2.2 相关组件	140	3.3 反应堆硼和水补给系统	251
3 堆芯核设计	144	3.4 硼回收系统	255
3.1 设计要求	144	3.5 反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和 处理系统	259
3.2 设计基准	145	3.6 核取样系统	262
3.3 设计模型和计算机程序	146	4 二回路核蒸汽系统	265
3.4 堆芯燃料管理	149	4.1 主蒸汽系统	265
3.5 堆芯核设计	153	4.2 主给水系统	269
3.6 堆芯物理试验和测量	161	4.3 蒸汽发生器排污系统	273
3.7 堆芯换料设计	163	5 电厂辅助系统	277
4 反应堆热工水力设计	165	5.1 设备冷却水系统	277
4.1 设计基准	166	5.2 安全厂用水系统	282
4.2 堆芯热工水力设计	166	5.3 通风系统	284
4.3 反应堆水力学设计	172	5.4 消防系统	291
4.4 堆芯水力学稳定性	176	6 放射性废物处理系统	294
4.5 堆芯功率能力分析	176	6.1 气体废物处理系统	294
4.6 仪表监测	179	6.2 液体废物处理系统	296
5 反应堆及反应堆冷却剂系统屏蔽设计	179	6.3 固体废物处理系统	300
5.1 设计准则和设计要求	179	6.4 废物的贮存和处理	303
5.2 辐射分区及其设计剂量限值	180	7 常规岛主要工艺系统	305
5.3 计算程序和数据库	180	7.1 概述	305
5.4 反应堆源项计算	181	7.2 常规岛主蒸汽系统	305
5.5 冷却剂系统源项计算	184	7.3 汽水分离再热器系统	306
5.6 反应堆辐射屏蔽设计	186	7.4 常规岛主给水系统	306
5.7 反应堆辐射漏束计算	191	7.5 给水加热及除氧系统	306
5.8 主回路设备间辐射屏蔽设计	193	7.6 蒸汽旁路系统	308
5.9 反应堆厂房大气中 ⁴¹ Ar源项计算	194	第4章 核电厂关键设备	309
6 事故分析	195	1 反应堆压力容器	309
6.1 分析原则	195	1.1 功能	309
6.2 分析范围与工况	195	1.2 设计准则	309
6.3 验收准则	196	1.3 结构简述	309
6.4 分析方法	197	1.4 设计参数	310
6.5 二回路排热增加	197	1.5 材料	310
6.6 二回路系统排热减少	199	1.6 制造	313
6.7 反应堆冷却剂系统流量减小	201	1.7 检验、试验和验收	313
6.8 反应性和功率分布异常事故	203	1.8 运行、监督和维护	315
6.9 反应堆冷却剂装量增加	207	2 堆内构件	315
6.10 反应堆冷却剂装量减少	208	2.1 功能	316
6.11 辅助系统或设备的放射性后果分析	216	2.2 设计准则	316
6.12 未能紧急停堆的预期瞬态(ATWS)	217	2.3 结构描述	317
6.13 电厂运行特殊工况	219	2.4 设计参数	322
6.14 附录	222	2.5 材料	322
第3章 核电厂的主要系统	223	2.6 制造	322
1 反应堆冷却剂系统	223	2.7 组装、安装、调试及试验	323
1.1 系统功能	223	2.8 包装运输原则	325
1.2 设计基准与安全准则	223	3 蒸汽发生器	325
1.3 系统描述	223	3.1 功能	325
1.4 运行原则	227	3.2 设计准则	325
2 专设安全设施系统	232	3.3 结构描述	325
2.1 安全壳注入系统	232	3.4 设计参数	327
2.2 安全壳喷淋系统	236	3.5 材料	327
2.3 蒸汽发生器辅助给水系统	239	3.6 制造	328
2.4 安全壳氢浓度控制和空气监测系统	243	3.7 检验与试验	329
2.5 安全壳隔离系统	244	3.8 安装、运行及维修原则	329
3 核辅助系统	245	4 反应堆冷却剂泵	330
3.1 化学和容积控制系统	245	4.1 功能	330
3.2 余热排出系统	249		

4.2	设计准则	330	2.2	反应堆功率调节系统	362
4.3	结构描述	331	2.3	稳压器压力和水位控制系统	365
4.4	设计参数	332	2.4	蒸汽发生器水位控制系统	367
4.5	材料	333	2.5	蒸汽排放控制系统	370
4.6	制造	334	2.6	棒控和棒位监测系统	373
4.7	主泵监测和保护仪表	334	2.7	典型瞬态下的动态特性	375
4.8	安装、运行和维护原则	335	3	反应堆保护系统	378
4.9	检验和试验	335	3.1	系统范围	379
5	稳压器	336	3.2	功能	379
5.1	功能	336	3.3	设计基准	380
5.2	设计准则	337	3.4	设计准则	380
5.3	结构描述	337	3.5	保护参数	381
5.4	设计参数	337	3.6	运行	382
5.5	材料	337	3.7	ATWS 缓解系统	385
5.6	制造	339	4	反应堆核测量系统	385
5.7	检验、试验和验收	340	4.1	堆外核测量系统	385
6	反应堆控制棒驱动机构	341	4.2	堆芯核测量系统	389
6.1	功能	341	4.3	事故后监测系统	392
6.2	设计准则	341	4.4	辐射监测	394
6.3	结构描述	342	5	核电厂控制室	397
6.4	工作原理	343	5.1	主控制室	397
6.5	设计参数	343	5.2	公共控制室	400
6.6	材料	344	5.3	控制室未来发展方向	400
6.7	制造	345	5.4	辅助控制室(应急停堆控制点)	400
6.8	检验和试验	345	6	计算机数据处理系统	402
7	工艺运输设备	346	6.1	计算机数据处理系统	402
7.1	工艺运输设备简述	346	6.2	安全盘系统	405
7.2	环吊	347	7	核电厂电气系统	408
7.3	装卸料机	348	7.1	核电厂电气系统功能、组成	408
7.4	燃料转运装置	348	7.2	交流供电系统	410
7.5	乏燃料水池吊车	348	7.3	直流和 220V 交流不间断电源系统	414
7.6	辅助吊车	349	7.4	通信系统	416
7.7	新燃料储存格架	349	7.5	实体保卫系统	416
7.8	乏燃料储存格架	350	第 6 章	核电厂建、构筑物	418
7.9	新燃料升降机	350	1	厂房总体布置	418
7.10	新燃料检查装置	351	1.1	核安全相关厂房的布置原则	418
7.11	乏燃料检查装置	351	1.2	核岛厂房及其功能	418
7.12	离线吸取检测装置	351	1.3	常规岛厂房	418
7.13	破损燃料组件储存小室	351	1.4	其他厂房(BOP)	418
7.14	破损控制棒组件储存小室	351	1.5	国内某核电厂核岛平面布置图	419
7.15	可燃毒物组件存放架	352	2	反应堆厂房安全壳	419
7.16	操作工具	352	2.1	安全壳主要功能	419
7.17	乏燃料容器吊车	353	2.2	安全壳种类	419
8	常规岛主要设备	354	2.3	设计基准	419
8.1	汽轮机	355	2.4	结构	419
8.2	发电机	356	2.5	安全壳结构整体性试验和密封性试验	421
8.3	凝汽器	357	3	反应堆厂房内部结构和核岛其他厂房	422
8.4	汽水分离再热器	358	3.1	反应堆厂房内部结构构成	422
第 5 章	核电厂的控制、仪表和电气	360	3.2	内部结构的作用和作用效应组合	424
1	核电厂的仪表与控制	360	3.3	其他抗震 I 类结构	425
1.1	仪表和控制系统的功能	360	3.4	作用和作用效应组合	428
1.2	核电厂的控制特性	360	4	抗震设计	429
1.3	核电厂的监测和控制方式	360	4.1	抗震分类与设防标准	429
1.4	操纵员干预核电厂运行的程度	360	4.2	抗震设计参数	429
2	核蒸汽供应系统的控制	361	4.3	抗震分析	430
2.1	控制系统	361	4.4	作用效应组合	431