

滨海核电外部海洋环境 安全管理研究

吴琼 著

Research on Security Management of
Marine Environment outside of Nuclear
Power Station in Coastal Areas



中国海洋大学出版社
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS



作者简介

吴琼，1980年12月生，宁夏银川人，中共党员，博士研究生，就读于中国海洋大学海洋与大气学院海洋资源与权益综合管理专业，主要研究方向为海洋综合管理。参与国家海洋局战略规划与经济司“十三五”全国海洋经济发展规划前期研究课题“海洋经济与‘21世纪海上丝绸之路’建设研究”、国家海洋信息中心项目“海洋资源环境承载力和海洋生态脆弱性及生态重要性评价指标体系研究”、上海核电工程设计研究院的项目“滨海核电厂设计基准洪水概率分析研究”等。



责任编辑：王 晓
封面设计：祝玉华
终 审：张 华

Research on Security Management of
Marine Environment outside of Nuclear
Power Station in Coastal Areas



滨海核电外部海洋环境 安全管理研究

吴 琼 著

中国海洋大学出版社
• 青 岛 •

图书在版编目(CIP)数据

滨海核电外部海洋环境安全管理研究 / 吴琼著. —
青岛: 中国海洋大学出版社, 2017. 5

ISBN 978-7-5670-1424-4

I. ①滨… II. ①吴… III. ①核电厂—海洋环境—环
境管理—研究 IV. ① TM623.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 095649 号

出版发行	中国海洋大学出版社	
社 址	青岛市香港东路 23 号	邮政编码 266071
出 版 人	杨立敏	
网 址	http://www.ouc-press.com	
订购电话	0532-82032573 (传真)	
责任编辑	王 晓	电 话 0532-85901092
印 制	日照日报印务中心	
版 次	2017 年 11 月第 1 版	
印 次	2017 年 11 月第 1 次印刷	
成品尺寸	170 mm × 230 mm	
印 张	9.25	
字 数	152 千	
印 数	1~1 000	
定 价	25.00 元	

发现印装质量问题, 请致电 0633-2298957, 由印刷厂负责调换。

序

利用原子核内部蕴藏的能量所产生的电能称为核电。自 1951 年 12 月美国实验增殖堆 1 号 (EBR-1) 首次利用核能发电以来,世界核电至今已有近 70 年的发展历史,且目前核能总发电量占据全世界总电力的 17%。

中国是世界上能源生产和消耗的大国之一,多年来,中国的能源生产和消耗总量在世界上排名第二。越来越多的人认识到,核能是当前能够替代化石能源且有可能大规模发展的唯一现实可行的清洁能源。核能能量密度高,1 kg ^{235}U 裂变放出的能量等于 2 500 吨标准煤燃烧产生的能量,由此可以看出核能的利用可大大减少温室气体的排放,有效改善生态环境。

由于核电在运行过程中需要大量的水作为冷却用水,因此我国核电多建设在滨海地区。在滨海核电建设加速发展的今天,核电不仅给人类带来了能源和便捷,也给人类带来了一定的担忧和恐惧。尤其在 2011 年日本福岛核事故发生之后,世界掀起一股“去核潮”。在此背景下,展开滨海核电外部海洋环境管理研究,对滨海核电的健康、稳定和有序发展具有重要意义。

作者所在的课题组,自 20 世纪 80 年代便开始服务于滨海核电建设的初期论证工作,在设计基准洪水位、海洋功能区划调整、海洋环境影响评价及海域使用论证方面做了大量的工作。在导师的指导下,作者一直在进行滨海核电外部海洋环境安全管理的研究,并在博士论文的基础上,写成《滨海核电外部海洋环境管理研究》一书。该书将设计基准洪水位、废液排放管理和地震海啸风险管理以及后评估等方面作为滨海核电海洋外部环境管理的研究目标。作者从安全防洪的管理角度,对现有设计基准洪水位的计算方法进行了全面评述,指出潮汐和波浪现有的观测方法及观测点选取的客观局限

性,给基准洪水位计算带来诸多不确定因素,据此引入海水高度的概念,提出“同步高度法”来计算基准洪水位,以期消除现有观测资料系列的不同步性。同时,本书还从海洋生态保护角度,对滨海核电废液排放计算方法提出改进;从安全角度,对地震海啸进行估算与预测等。作者进一步指出,30多年来,虽然我国核电在诸多方面取得大量经验和成绩,但还存在法制不全、观测资料积累不足等问题。作者从我国滨海核电外部海洋环境安全管理层面,引入“后评估”管理理念。希望滨海核电的管理形成一个由前期论证、选址与建设、安全运营、后评估管理组成的一个闭合回路,加强法制建设、增加基础科学研究、建立健全观测体系等措施,以期保证滨海核电健康、稳定、安全和可持续发展,同时也是践行科学发展观,推进生态文明建设的内在要求。

尽管在该书的编写过程中,作者吸收很多同行宝贵的方法与研究成果,但是,由于专业水平有限,本书一定会存在不足与缺点,恳请读者提出斧正。

郭佩芳 侍茂崇

2017年3月

Contents

目录

第1章 前言 / 1

- 1.1 研究背景和意义 / 1
- 1.2 滨海核电外部海洋环境的界定 / 3
- 1.3 国内外滨海核电外部海洋环境管理研究综述 / 4
- 1.4 拟解决的问题 / 11
- 1.5 研究内容及技术路线 / 12
- 1.6 创新点 / 14

第2章 研究基础 / 15

- 2.1 我国核电法规标准概述 / 15
- 2.2 滨海核电外部海洋环境相关法律法规综述 / 16
- 2.3 研究的理论基础 / 18
- 2.4 小 结 / 21

第3章 滨海核电设计基准洪水位 (DBF) 的风险管理研究 / 22

- 3.1 决定滨海海水高度的诸要素概述 / 23
- 3.2 滨海海水高度主要要素的观测 / 27
- 3.3 潮位和波浪观测在基准洪水位计算中存在的不足 / 32
- 3.4 海水高度和“同步高度法” / 37
- 3.5 滨海核电及海洋台站关于设计基准洪水位的管理建议 / 49

3.6 小 结 / 50

第 4 章 海洋生态文明建设条件下的滨海核电管理研究 / 52

4.1 滨海核电排废液体概述 / 52

4.2 核电废液的来源及危害 / 54

4.3 滨海核电废液排放管理 / 62

4.4 滨海核电废液排放的监测管理 / 70

4.5 滨海核电近岸海域环境功能区管理 / 74

4.6 海洋生态文明建设条件下的废液排放策略研究 / 80

4.7 小 结 / 87

第 5 章 滨海核电地震海啸风险管理研究 / 89

5.1 地震海啸概况 / 89

5.2 中国地震海啸潜在危险分析 / 92

5.3 我国滨海核电地震海啸管理存在的问题 / 97

5.4 我国滨海核电地震海啸管理的研究 / 103

5.5 小 结 / 107

第 6 章 滨海核电站外部海洋环境后评估管理的研究 / 109

6.1 滨海核电的外部海洋环境后评估理论 / 109

6.2 滨海核电外部海洋环境安全后评估的不足之处 / 115

6.3 滨海核电外部海洋环境安全管理的后评估的对策 / 119

6.4 小 结 / 124

第 7 章 总结与展望 / 125

7.1 小 结 / 125

7.2 展 望 / 127

参考文献 / 128

后 记 / 135

第 1 章 前 言

1.1 研究背景和意义

能源是人类赖以生存与经济发展的基本物质之一，是国民经济的血脉。从历史发展的角度和全球视野来看，世界各国在完成自身的社会和工业化进程时，都有一个共同的特点，那就是必然要消耗大量的能源，从而达到社会财富的快速积累。目前，地球上的能源已随着人口的不断增加、世界经济高速持续的大规模发展而日渐匮乏。当下，能源短缺、环境污染、生态极度恶化等问题逐渐成为人类迫切需要面对的问题。随着世界经济的发展，能源供需矛盾已日渐尖锐，尤其是在经济较发达而能源相对匮乏的地区，能源供需矛盾已成为阻碍当地经济发展的重要瓶颈。

世界上的能源消费目前仍以化石资源为主。根据专家的科学预测，按已探明的石油、天然气的储量和世界每年所需消耗的数量来估算，石油、天然气最多只能维持不到 50 年，而煤炭资源也最多只能维持个一二百年。因此，当下人类所面临的能源危机已处于异常严峻的状态。虽然目前世界上许多国家已经在提高能源使用效率和开发利用可再生能源方面进行了积极探索和大量实践，但是从现实状况来看，依旧不能从根本上解决能源短缺及环境污染的问题。

核能作为一种清洁能源，与煤炭发电等传统能源相比，在经济和环境保护两方面占有绝对的优势。目前各国能源需求的高速增长导致化石资源短缺与环境承载力不堪重负，气候异常变化、环境污染严重等问题日益凸显。而核能作为一种新能源，在全球常规能源日渐减少的情况下，正好满足了当下全球能源市场的经济和环保需求，已逐步被全球所关注，日渐成为部分国家的主要能源供给方式。

与此同时,目前无核电的国家中,已有 17 个国家将核电建设提上重要议程。其中,阿联酋和白俄罗斯两个国家正在建设本国首批核电机组,而越南、孟加拉国、立陶宛、哈萨克斯坦、波兰、土耳其、埃及、约旦和印度 9 个无核国家已经计划建设本国首批核电机组,且预计在未来 8 至 10 年内投入运行。此外,还有 6 个国家即朝鲜、泰国、智利、沙特、马来西亚和以色列已有明确计划拟建本国核电机组。由此可见,在全球范围内核电的发展目前已明显升温,在可预见的未来,核电将成为世界能源供给的重要组成部分。根据世界核协会网站公布的资料,本书将 2005 年至 2015 年的世界核发电量进行了年统计,并绘制了近十年世界核发电量占全球总发电量的比例,见图 1-1。从图中我们可以清楚地看出 2015 年世界核发电量总计大约为 2 441 TWh。

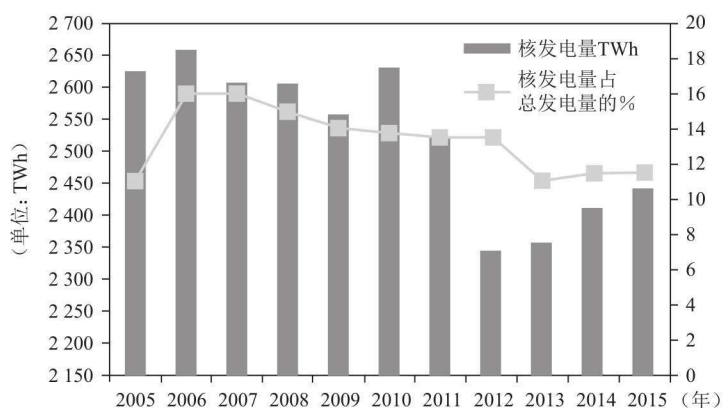


图 1-1 全球近十年核发电量及占总发电量的份额

随着核能的再次发展与广泛利用,随之而来的便是核能的安全问题。核电站由于其特有的潜在放射性风险和几次核事故导致的对“核”的误解与恐慌,使得这些年来核安全问题异常敏感,且涉及社会和政治诸多方面。因此,确保核电企业的持续安全发展是核电发展最基本的出发点,也是核电企业生存的生命线。

根据世界核协会 WNA 的解释,核电安全主要是指核危机与放射性物质泄漏,但当下民众对核安全的理解重点放在因放射性物质泄漏而造成的环境污染和人类所遭受的核辐射方面。虽然核安全隐患不可彻底消除,但与传统的能源(石油、煤、天然气等)相比,正常情况下核能是最安全、对人类健康和生态环境损害最小的一种发电方式,尤其是在当下以降低温室气体的排放量

为目标的大环境下。核电产业在运行过程中不会产生温室气体和酸雨,可以说是一种很好的可替代传统化石燃料的清洁能源。经过半个多世纪的发展,核电的生产技术已越来越成熟,其安全生产经验越来越丰富,加之核电发电成本的降低,核电逐步成为世界各国普遍关注并争先追求发展的能源战略目标^[1]。

核能的最初发现是在1942年12月2日,美国芝加哥大学成功地启动了世界上第一座核反应堆,证明了实现受控核裂变链式反应的可能性。由于当时处于“二战”期间,这种超能量一经发现便被首先运用到了军事领域。1945年美军向日本投放的两颗原子弹直接促成了日本的无条件投降,使得人们真正认识了“核”这个物质,并被原子核裂变所产生的巨大威力和其裂变过程中释放的辐射危害所震惊。然而,在核电发展过程中,切尔诺贝利、美国三里岛、日本福岛三座核电站所发生的事故又将核能发电推上了核恐怖舆论的风口浪尖,致使核电的发展曾一度缓慢甚至停滞。但由于能源短缺与经济发展、人类生存之间的现实矛盾,使得核电又被重新推上历史舞台,地位日益显要。当然,与此同时,更加被重视的就是核电的安全,即如何安全无害地利用核电、如何在核事故发生时将核辐射的影响控制到最低等,核安全问题成为摆在全人类面前的课题。对于核电站来说,最基本的要求就是保证反应堆的安全,其次才是提高核电站的经济性。毋庸置疑,核安全高于一切的理念应贯穿于核电站的设计、建造、运营等各个阶段和环节中,而核电站外部海洋环境的安全管理与推进则是核电站持续安全运营的重要因素,是核电站安全运行的基本保障。

在滨海核电建设加速发展的今天,核能发电已经使我国的经济社会发展发生了重大的改变,对滨海核电的外部海洋环境的安全管理展开相关研究可以更好地了解滨海核电安全管理现状及存在的问题,为今后滨海核电站的设计、建设、运营等提供科学的、有效的建议,对我国滨海核电的安全发展具有一定积极意义。

1.2 滨海核电外部海洋环境的界定

考虑到核电的用水需求,核电站多建设在河流区域或者海滨地区。本书的论述范围仅限于滨海核电厂。因滨海核电厂的选址、建设、运行以及废弃

退役都会与外界海洋环境发生相互影响,因此本书主要从海洋环境的角度出发,从中选取四个要素的管理现状进行论述,以期为我国滨海核电的安全运行提供一定参考。

本书选取的海洋环境要素包括:计算基准洪水位的设计、排废液体以及地震海啸,以上三种要素在本书中被界定为滨海核电外部海洋环境。在滨海电厂的实际选址、建设和运营过程中,这些要素的变化都将改变滨海核电厂的安全运营。

1.3 国内外滨海核电外部海洋环境管理研究综述

1.3.1 国内外核电发展综述

1.3.1.1 世界核电发展现状

众所周知,核能来源于核反应时原子核释放的能量。在“二战”结束后,美、苏、法、英等国利用已有的军用核技术,开始开发建造以发电为目的的核反应堆。1951年12月美国实验增殖堆1号(EBR-1)首次利用核能发电,标志着核电开始从军事领域走向民用领域。1954年6月,苏联建成了世界上第一座装机容量为5 MW的奥布宁斯克实验核电站,实现首次利用核能发电。截至今天,世界核电已经走过了近70年的路程。在其发展过程中,因核泄漏事故的发生,核电曾一度在全世界范围内暂停或缓慢发展,其大致经历了实验示范、高速发展、减缓发展和开始复苏四个阶段。

21世纪以来,随着世界经济的复苏,能源供应日渐紧张,全球环境问题日益严重,温室气体减排压力增加。在这种情形之下,核电作为清洁能源的优势又重新被人类所重视。历经半个多世纪,鉴于核电技术在安全性和经济性上都取得了长足的进步,增强了安全可信度,核电再次受到各国的青睐,于是全球范围内多国又重新积极制订新的核电发展规划,世界核电开始逐渐进入复苏发展期。目前,美国、欧洲、日本开发的第三代先进轻水堆核电站取得了重大的进展,部分反应堆已投入商用或即将立项。

这期间,虽然日本福岛核泄漏事故迫使各有核国家重新调整核电发展规划,开始评估核电事故所造成的可能影响,但这些举措都没有从根本上改变本国发展核电的趋势,只是对目前在运行的及在建的核电机组的设计和运

行安全提出了更加严格的审批和规范要求。美国在 2012 年 2 月至 3 月一个月时间内,相继审核批准了 4 台 AP1000 机组的建设;2013 年 3 月,以法国、英国、西班牙等为首的 12 个国家联合签署了部长级联合宣言,宣言中承诺将继续支持核能发电产业的发展;而俄罗斯、印度等国家也都开始积极投资,加速发展核电。除此之外,从世界能源供应和生态、环保的角度考虑,越来越多的无核国家逐步开始考虑或已启动核电站建造计划。

核电作为一种可持续的、稳定的、经济的清洁能源,与水电、煤电一起已然成为世界能源供应的三大支柱之一,其复苏发展的趋势不会因个体事故的发生而发生改变。时至今日,核电不但重新登上世界能源发展的历史舞台,并且占据相当的分量。作为世界能源支柱之一,核电在保障能源安全、改善环境质量等方面发挥了重要作用。目前,全世界核电运行机组共有 444 台,分布在 30 个国家,其发电量约占世界发电总量的 16%。根据 WNA 世界核协会网站提供的资料,截至 2016 年 7 月 1 日,全球有核国家的核电具体情况见表 1-1。

表 1-1 世界上运行核电的国家或地区核电站情况统计(截至 2016 年 7 月 1 日)

国家或地区	核发电量 (2015)		在运行机组 ^①		在建机组 ^②		计划中机组 ^③		拟建机组 ^④		铀需求 总数
	总数 (TWh)	(% ^⑤)	数量 (台)	净装机容量 (MWe)	数量 (台)	总装机容量 (Mwe)	数量 (台)	总装机容量 (Mwe)	数量 (台)	总装机容量 (Mwe)	2016 (tU)
美国	798	19.5	100	100 013	4	5 000	18	8 312	24	26 000	18 214
法国	419	76.3	58	63 130	1	1 750	0	0	1	1 750	9 211
俄罗斯	182.8	18.6	35	26 053	8	7 104	25	27 755	23	22 800	6 416
中国	161.2	3	33	29 577	21	24 036	42	48 330	136	156 000	6 072
韩国	157.2	31.7	25	23 017	3	4 200	8	11 600	0	0	4 926
加拿大	95.6	16.6	19	13 553	0	0	2	1 500	3	3 800	1 730
德国	86.8	14.1	8	10 728	0	0	0	0	0	0	1 689
乌克兰	82.4	56.5	15	13 107	0	0	2	1 900	11	12 000	1 985
英国	63.9	18.9	15	8 883	0	0	4	6 100	9	11 800	1 734
西班牙	54.8	20.3	7	7 121	0	0	0	0	0	0	1 271

续表

国家或地区	核发电量 (2015)		在运行机组 ^①		在建机组 ^②		计划中机组 ^③		拟建机组 ^④		铀需求 总数
	总数 (TWh)	(% ^⑤)	数量 (台)	净装机 容量 (MWe)	数量 (台)	总装机 容量 (Mwe)	数量 (台)	总装机 容量 (Mwe)	数量 (台)	总装机 容量 (Mwe)	2016 (tU)
瑞典	54.5	34.3	9	8 849	0	0	0	0	0	0	1 471
印度	34.6	3.5	21	5 302	6	4 300	24	23 900	36	41 600	1 077
捷克	25.3	32.5	6	3 904	0	0	2	2 400	1	1 200	567
比利时	24.8	37.5	7	5 943	0	0	0	0	0	0	1 015
芬兰	22.3	33.7	4	2 741	1	1 700	1	1 200	1	1 500	1 126
瑞士	22.2	33.5	5	3 333	0	0	0	0	3	4 000	521
匈牙利	15	52.7	4	1 889	0	0	2	2 400	0	0	356
保加利亚	14.7	31.3	2	1 926	0	0	1	950	0	0	327
斯洛伐克	14.1	55.9	4	1 816	2	942	0	0	1	1 200	905
巴西	13.9	2.8	2	1 901	1	1 405	0	0	4	4 000	332
墨西哥	11.2	6.8	2	1 600	0	0	0	0	2	2 000	282
南非	11	4.7	2	1 830	0	0	0	0	8	9 600	308
罗马尼亚	10.7	17.3	2	1 310	0	0	2	1 440	1	655	179
阿根廷	6.2	4.8	3	1 627	1	27	2	1 950	2	1 300	217
斯洛文尼亚	5.4	38	1	696	0	0	0	0	1	1 000	137
巴基斯坦	4.3	4.4	3	725	3	1 841	1	1 161	0	0	273
日本	4.3	0.5	43	40 480	3	3 036	9	12 947	3	4 145	1 728
荷兰	3.96	3.7	1	485	0	0	0	0	1	1 000	102
伊朗	3.2	1.3	1	915	0	0	2	2 000	7	6 300	178
亚美尼亚	2.6	34.5	1	376	0	0	1	1 060			88
全球总计	2 441.06	11.5	444	387 757	56	58 041	148	156 905	278	313 650	64 437

备注：① 在运行：已经并网发电的机组；

② 在建：反应堆已浇筑第一灌混凝土，或者正在进行重大整修；

③ 计划中：已获批准且建设资金已到位，或已有慎重承诺，大部分将在未来 8 至 10 年投入使用；

④ 拟建：已有明确计划或厂址建议，大部分将在未来 15 年内投入使用；

⑤ %：该国或地区核发电量占总发电量的百分比。

根据世界核协会网站提供的资料,本书绘制了截至 2015 年年底世界上一些国家核发电量占本国总发电量的百分比图示,见图 1-2。从图 1-2 中我们可以看出,全球目前已有 13 个国家的核电发电量超过了本国总发电量的 30%,而法国则达到了 76.3%,已成为本国能源供给的主要方式。

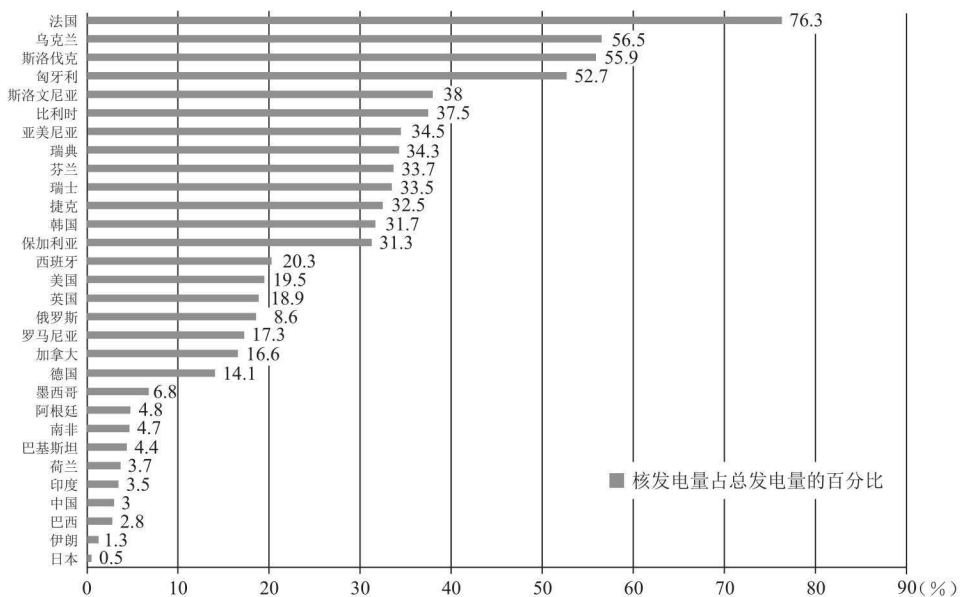


图 1-2 世界各国核发电量占本国总发电量的百分比

预计在未来 10 年中,核电发展速度最快的前三位国家将是中国、俄罗斯和印度。目前,我国在建机组有 24 台、计划建设机组 44 台,在未来预计规划建设机组 136 台。

1.3.1.2 国内核电发展现状

我国目前处于经济快速发展时期,对能源的需求在未来几十年甚至更长的时期内都会持续增长。然而目前传统的煤电能源已面临重重危机,水电的总发电量有限,而风电、太阳能等新能源处于初期发展阶段具有成本高、入网困难等难题。在此能源形势下,核电的优势凸显而出,与传统煤电能源相比具有低碳环保的优势。核电对生态环境的自然属性没有损害,而且,目前国际上的核电技术已相对成熟,且发电成本低。我国自 20 世纪 50 年代后期即着手发展核武器,并很快掌握了原子弹、氢弹和核潜艇技术,借助已掌