



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书
出版规划项目

Seismic Safety Evaluation for Nuclear Power Plants



《新能源出版工程》丛书共 23 分册，分别论述太阳能、风能、生物质能、海洋能、核能、新能源汽车、智能电网和煤制油等新能源相关领域的理论研究和关键技术

核电厂 抗震安全评估

张家倍 李明高 马琳伟 编著

上海科学技术出版社

013042781

TU27
11



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书
出版规划项目



核电厂抗震安全评估

Seismic Safety Evaluation for
Nuclear Power Plants

张家倍 李明高 马琳伟 编著

TU27
11



北航 C1650630

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

核电厂抗震安全评估/张家倍,李明高,马琳伟编
著. —上海:上海科学技术出版社,2013.1
(新能源出版工程)

ISBN 978-7-5478-1386-7

I. ①核… II. ①张… ②李… ③马… III. ①核电厂-防震设计-安全评价 IV. ①TU271.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 151206 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社
(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

上海中华商务联合印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 13.5 插页:4
字数:285千字

2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-1386-7/TL·2

定价:65.00元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向印刷厂联系调换

谨此献给：

开拓中国核电运行技术支持行业的人们！

内容提要

本书主要依据美国、国际原子能机构等国外机构成熟的核电厂抗震安全评估的标准、导则和研究报告,并参考了国外的相关经验和文献,系统介绍了核电厂抗震安全评估的相关理论基础和实施流程。

全书共7章,包括概述、系统建模及其分析、审查级地震、抗震能力评估、核电厂巡查、结果定量、应用及其探讨。本书在总结美国采用抗震安全评估方法的经验后,特别提出了这些方法在中国应用、管理、组织、实施、推广和扩展等系列的、完整的、独到的见解。为中国即将大规模开展核电厂抗震安全评估工作,提供了相关理论基础和实践准备。

本书是国内第一本系统介绍核电厂抗震安全评估的专业读本,内容全面,方法清晰,在工程上适于核电研究设计院所和核电运行机构人员阅读,在教育上也可作为国内高校有关专业师生的参考读物。

《新能源出版工程》

学术顾问 (以姓氏笔画为序)

阮可强	中国工程院院士
严陆光	中国科学院院士
杨裕生	中国工程院院士
林宗虎	中国工程院院士
倪维斗	中国工程院院士
徐大懋	中国工程院院士
翁史烈	中国工程院院士
黄其励	中国工程院院士
潘 垣	中国工程院院士

《新能源出版工程》

编委会

主 任

倪维斗

委 员(以姓氏笔画为序)

毛宗强 朱 军 贡 俊 李 春

张家倍 张德祥 周凤翱 徐洪杰

殷承良 闾耀保 喜文华 董长青

董亲翔 鲍 杰 戴松元

序 言

——为什么美国深度关注核电厂地震危险性分析和概率安全评估？

一、核电之灾

2011年3月11日14:46(北京时间13:46),日本本州东海岸附近海域发生了里氏9级地震。地震震中位于北纬 38.1° ,东经 142.6° ,震源深度约25 km,并引发了15 m海啸……该地震使“福岛”变成了“祸地”:

夺走了15 854个人的生命,
引发了3 271起失踪案,
摧毁了4个核电厂反应堆,
逼停了2个核电厂反应堆,
损失了约3 248亿美元。

统计表明,福岛30 km半径范围内约160 000人,其中大约10%的生命已永远消失;由地震、海啸、台风和火灾等可能导致的潜在放射性事故,应包括在应急响应计划中。

地球在距今46亿年前就作为一颗独立的天体开始出现在宇宙之中,而人类只有几千年的历史。因此,人类所不知的自然灾害何止万千!对于人类有所知的地震而言,最使人们触目惊心的,不仅仅是它何时将至,而且是它所造成的破坏力度和破坏速度。

1. 破坏力度

无论是大飞机的撞击,还是大爆炸的破坏,所有这些打击都无法与地震比拟。地震的破坏力度不仅体现在地震本身在瞬间爆发,而且还可能引发海啸、山崩、地裂、泥石流、火山爆发、江河泛滥等超大型自然灾害;更为可怕的是引起人造系统的崩溃性灾难。

在福岛,当苦涩的海水越过 10 m 海堤后,就立刻彰显其恶魔般的劣迹。90 000 km² 的土地在强烈的震颤中,几千平方千米在几小时中被全部淹没,福岛核电厂的六个反应堆一下子被浸泡在 5.5 m 的水深里,激发了核电厂这个人造系统的连续性灾难。从全场断电,到堆内缺水;从堆芯聚热,到包壳熔化;从锆-水反应,到氢气积聚;从核岛爆炸,到机组废弃;这一连串暴风骤雨式的打击,其力度之大、之深、之强,这狰狞的恶魔创造了人类核电事故之最!

2. 破坏速度

地震的破坏速度不仅体现在地震本身在瞬间爆发,而且还因为自然灾害的立体突袭、系统溃散的连锁打击而令人震惊。打击的局促和反复、致命和快速,使人类不得不重新寻求安全的归宿。

在福岛,从地震到海啸,从水淹到氢爆,这种顷刻而降的恶魔与核电厂的纵深防御能力形成一个极其巨大的时间反差。这种反差不仅抹去了人们赖以面对自然挑战的思考内存、过程和结论,而且还不给人们有任何应对和抗争的立锥之地。它那种淋漓尽致的破坏力度,在它惊人的破坏速度的配合下,全面地剥夺了人类的认知权。在一个极其短暂的时空内,人们无法获得事件的真相,无法进行科学的思维,无法重组自己的团队,而只能听任恶魔去制造人类核电事故之最!

3. 核电之灾

谁都知道福岛的 9 级地震并不是人类所遇到的最强的地震,也都知道福岛海啸的 15 m 浪高并不是人类遇到的最高的海啸,对于福岛这样的地震破坏力度和破坏速度,倘若缺失了福岛核电厂这个对象,它根本无法创造如此癫狂的破坏力度和破坏速度。但是,恰恰就是这个破坏力度引起了核电厂系统和功能逻辑的各种障碍;恰恰就是这个破坏速度阻挡了人类自救和抵御能力的正常展现;于是,核电厂这个人造系统放大了地震的破坏力度和破坏速度,将地震之灾变成了核电之灾。这就是为什么福岛地震肆无忌惮地演绎了核电的旷世之灾的全部原因!

二、世界应对

要研究各国在福岛灾难后的应对,应重点研究德国、瑞典、印度、俄罗斯、法国、日本、韩国、中国和美国等 15 个国家和地区。因为它们的核电功率占全球总量的 92%,反应堆数量占全球总量的 90%。

德国和瑞士几乎是在福岛灾难发生后,随即决定有期限地关停境内所有核电厂。其中,德国政府宣布将在 2022 年关闭全部核电厂;瑞士政府将于 2019~2034 年陆续达到使用最高年限后,关闭全部五个核电厂。与此同时,意大利也宣布其公投的结果,多达 94% 的意大利民众毫不犹豫地否决了重启核电发展的计划。在德国退出核电的同时,总部位

于慕尼黑的德国西门子公司,也表示今后将不会参与核电厂全部配套工程的建设。研究表明,如果德国利用2%的土地安装风力发电设备,就能够满足德国65%的电力需求。对于一个有近8%的土地可用于发展风电的德国来说,为什么一定要选择核电呢?

瑞典、芬兰、捷克和土耳其等仍对发展核电持积极的态度。他们指出,整个欧盟应该建立一个合乎整个欧洲利益的、完整的“新欧洲核安全体系”。土耳其新建的阿库优核电厂,位于地中海沿岸的梅尔辛附近。福岛灾难后的两个月,该项目举行了奠基仪式,预计在2022年完成。有趣的是,北欧冰天雪地里的瑞典人却给世界树立了榜样。早在30年前,瑞典人就开始考虑自己的核废料储存设施。面对各国民众的争议,瑞典政府愿意敞开大门,将于2020年全面投入使用瑞典核废料储存设施,以福荫世界人民10万年。这种以进为退的积极应对,极大地显示了欧式挑战性格。

印度原先是“非核国家”,所有核电设备技术均受西方发达国家严格限制。印度自力更生造了很多小型堆,功率虽小,但国产化程度极高,并在2008年就有了17个机组。印度的铀矿极度匮乏,在全力用钍开发快堆后,其收获不菲;与此同时,印度还全面引进了先进的年处理能力达100 t的后处理厂。在西方发达国家对印度解禁后,它实施与美、法、日、俄、韩的平行合作方针,计划修建两个大型核工业园,以实现多个十年、分三步走的核电发展长期规划。2023年,将建成48座核反应堆。福岛灾难后,印度开始建造第25座核反应堆。这座700 MW的加压重水堆是印度拉贾斯坦核电厂的第七座反应堆。印度也似乎没有福岛之虑。

俄罗斯和乌克兰,这两个完全掌控核电自主知识产权的国家,继续坚定地建造计划中的13个反应堆。同时,俄罗斯在2011年11月不仅签署了7座浮动国家核电厂的备忘录,而且它的第二座浮动电厂已在2012年正式开工。现任俄罗斯核能主管部门负责人谢尔盖·基里延科,在解释推进核电项目时说,福岛核电厂已经服役了40年,但是它们所表现的抵御风险的能力使他印象深刻。他断言,从专业角度看,任何未来替代能源的开发与核能开发一定相关。显然,俄罗斯核电出口也在增长。2011年,俄罗斯核电出口订单为21个反应堆,同比增加100%。显然,俄罗斯核电发展的方针是坚定不移的。

法国不能没有核电,它是依赖核能最高的国家。法国的电力价格不仅低于德国40%,而且核能行业为法国居民提供了多达20万个就业岗位。特别是由于核电应用大大降低了石油的进口,加速了技术和装备的出口,每年对法国的国内生产总值(GDP)贡献多达300亿欧元。因此,虽然法国人大多住在核电厂300 km以内,但是“支持法国核能工业”已经是法国大众的认知。核电专家索兰说:“核电厂是会老化,但是更换核反应堆组件的频率已经大大延长了老核电厂的寿命。随着技术更新,核能的安全系数与日俱增。”但是随着核电安全神话的消失,法国政界人士也在选举中承诺,要减少法国对核电的依赖。

日本既得益于美国的技术支持,又与美国在战略上互为犄角,以全面抗衡法国核电的国际战略。尽管在福岛灾难中有很多问题,诸如抢险决策被误判、事实真相被隐瞒、国外支援被拒绝、放射污染被排放……但是,相比西方社会对苏联切尔诺贝利的丑化,国际上似乎无人非难日本。福岛灾难几个月后,在国内,日本用新法规阻止了常规检查反应堆的重启动,用叫停全部核电厂和成立核电安全监察部等行动取信于世人;在国外,它成功实

现了在美洲、欧洲、中东、非洲的全球销售策略,在以后的15年内有望出口80套核电厂,实现了堤内损失堤外补。

韩国在福岛灾难前,制定了雄心勃勃的核电承建计划。在国内,预计2030年将建成11个核电厂,使核电覆盖总量超过40%。在国外,2009年,它一举击败了法、日、美,获得阿联酋400亿美元的订单;2010年,它又签了约旦的研究堆和土耳其两个民用核电厂;目前,韩国的技术得到了芬兰、立陶宛、印度、波兰、摩洛哥和菲律宾等的广泛认同。韩国立足提供核电的设计、制造、安装、调试、运行和维修等全套服务,出口销售直追日本,15年内也获80套核电出口。就在福岛灾难后的第二天,韩国和阿联酋的核电奠基仪式照常进行。虽然该项目的技术升级巨额费用使韩国唏嘘不已,但韩国业界毫不退缩。

从以上各国的应对来看,除了在能源选择上有条件改弦更张的极少数国家外,福岛灾难后,整个世界的核电应对非常执着而又坚定。没有停顿,没有疑虑,全球继续发展核电不动摇。

三、重启核电

1. 面对历史

1979年,美国三哩岛核电事故犹如噩梦突如其来,又添人因失误,结果是堆芯裸露,温升千度。一方面是百吨冷却剂误入地下室,密闭的辐射物可在20s内取人性命;另一方面是熔化的燃料棒释放出大量的氢气,躲藏在反应堆外壳之顶的爆炸可使放射性气体殃及方圆几百千米……于是,孕妇撤离,学校关闭,万家逃遁,一片狼藉。最后,卡特总统亲临现场,组织抢险。六天以后,堆芯温度才开始下降,爆炸威胁才得以消除。尽管事故没有造成厂毁人亡,但是,事故阴影驱之不散。美国断然取消了76个反应堆订单;设备制造商Babcock & Wilcox轰然倒闭,核电承包商Westinghouse易主东芝。

经过几任总统的不懈努力,直到奥巴马,才批准了《2005年能源政策法令》。美国能源部预测,2030年美国电力需求增长为40%~50%;2020年美国规划新增的核电装机容量将达50MW。30余年笼罩在美国核电界的三哩岛阴影似已驱散,美国打开了重启核电的希望之门。可是,福岛灾难不期来临。千年一遇的9级地震和跳跃而来的强大海啸,不仅使核电显得不堪一击,甚至在三哩岛被成功遏制的氢气爆炸,福岛却在劫难逃。这个世界顶级的核电灾难,震惊了全球。

于是,针对太平洋西岸的加利福尼亚州在世界强震带上的四座核电厂,两名加利福尼亚州议员致函美国核监管委员会主席格雷戈里·杰克扎克,要求对其重新作安全评估。据此,无论奥巴马总统在上任后对核电厂建设表现得何等执着,他作出的第一时间响应声明是:对美国核电厂进行全面的抗震安全评估。

2. 美国之策

美国花了半年时间,由民主到集中、由初步到深入、由表面到核心、由理论到实际地完成

了对福岛核电事故的分析。福岛灾难一周年,美国核监管委员会发布了指挥性和强制性的公文:三个“命令”和一个“征询函”。命令包括:提高乏燃料池中水位监测器的可靠性;提高沸水堆(MARKI,II)安全壳的通风系统可靠性;提高核电厂应对极端自然灾害和超设计基准事件的能力。征询函包括:重新评估在役核电站场址的地震危险性;重新评估运行核电厂址的水淹危险性;制定抗震巡查方法并通过巡查;制定水淹巡查方法并通过巡查;制定全部通信供电的应急措施。该命令和征集函,既是美国实际核电经营的积累,也是美国应对福岛事故的行动指南,更是资源优化的结晶。目前,全美的核电厂都在无条件地执行。

3. 重启决定

(1) 战略决策:美国两党一致同意美国发展核电的战略;政府宣告美国完全能确保核电生产的安全和责任;美国核监管委员会批准在美建设两座1100 MW反应堆,确定投资140亿美元,计划在2016~2017年投运;美国能源部为该项目提供了83亿美元的贷款担保;推出了360亿美元支持在美建设20座核电厂,以降低对外部能源的依赖。美国决定引导所有的国人去面对美国“重启核电”的现实。

(2) 技术确认:美国核监管委员会审批通过了非能动、压水堆AP1000。该机组发生紧急事故时,不需要外部应急电源,而是靠重力、势能、自然循环和蒸发等自然能量,驱动冷却水冷却反应堆,对安全壳散热。该机型在设计中考虑了恐怖袭击、自然灾害和客机冲击,并能在失去外部电源72 h内持续冷却反应堆。该机组可抗9级地震。AP1000非能动技术佐证了美国的前瞻性,它已经成为美国的骄傲。

4. 原因分析

对比三哩岛历史,为什么在福岛灾难后,美国却神闲气定地决定重启美国民用核电的建设呢?美国在20世纪初,就将地震作为核电安全的基本命题。特别是近60年来,美国已经有步骤、有计划、有成效地完成了美国全部104个核反应堆的抗震评估工作。非能动的抗震机型AP1000也是美国重启核电的“加速器”。该机型凝聚了美国民用核电60年的运行经验、地震研究、技术创新和求实精神。它不但摒弃了“增加冗余”这种陈旧思维,而且触及了“人因失误”这个事故隐患,AP1000使美国民用核电技术上上了一个全新的台阶。

在美国全面重启核电的30年的努力过程中,它真正做到了在技术上的胸有成竹,在产品上的独具匠心,在经济上的平衡需求,在计划上的实际有序。福岛灾难才一年,美国全面启动国内核电建设的重大决策没有引起任何国际和国内的舆论喧嚣,但是这将迎来一场核电技术革命的来临。

四、安全文化

全世界都在说“全球性转向核电的期望已经一去不复返”了,究其原因,皆在于核电的

安全所系。其实核电所需要的安全,是一种“自我批评的安全文化”,以及“对可能忽略的危险永无止境地探索”。

大家知道,文化是一种社会现象,是人们长期创造形成的产物;文化同时又是一种历史现象,是社会历史的积淀物。确切地说,文化是指一种人文传统、一种自然习俗、一种生活方式、一种行为规范、一种思维方式、一种价值观念。所谓核电的“安全文化”,就是将核电的安全意识不仅融入到我们的自觉和不自觉的全部行为里,而且自觉地在个人、集体、机构、行业、国家的各个层面里,不断地进行自我批评和自我反思。这种自我批评和自我反思的目标行为就是分析、评估、预测、报告,并杜绝任何可能“忽略的危险”。基于这样的核电安全文化,我们就不难理解为什么美国深度关注核电厂的地震危险性分析和概率安全评估了。

1. 地震研究的对象起了变化

大量事实说明,地球变得好动了。20世纪,6级以上地震总共为3600次,而在21世纪的前10年,已有1200次。其中,8级地震20世纪是平均每年一次,可是在21世纪,8级地震成了地球的常客。专家提出,太平洋在以后的30年里进入“拉马德雷冷位相期”,强震和飓风会结伴而来。2012年末,“桑迪”飓风独闯美国东部,美国东部26个运行反应堆个个谨小慎微。其中,8个严阵以待,3个被迫逼停。地震的研究也发生了变化。地震的板块运动诱发机制已经拓展到天体相互作用的领域,以及海洋水层温差等的复杂研究。诸如太平洋漏斗学说和海沟东移的探测,更使地震变得深不可测。地震的变化使人类丝毫不能懈怠。所以,即使是地震的一些变化端倪,人们也必须永无止境地去探索和应对。

2. 地震研究的结果起了变化

地震危险性分析是核电设计的重要前提。例如,美国发现中东部核电厂的地震反应谱在高频范围内安全条件有隐患,为避免抗震设计的缺陷,必须重新评估其抗震安全。又如,当今已经有12个反应堆经历了燃料损伤或堆芯部分熔化的事故。这样,全球582个反应堆实际的平均堆芯熔化率,应为1/1300堆年。其中,115个沸水堆已达1/1000堆年。显然,这些统计事实改变了原先抗震评估的结论,抗震安全评估势在必行。再如,在福岛灾难后,一方面是因为堆芯熔化率分析必须重估,另一方面是因为自动停堆的“冗余”概念受到了挑战。这样,抗震安全评估的结果,就无法回避地震概率危险性分析的结果。即使这种因为自我批评和反思所引起的成本是巨大的,人类也无法拒绝。

3. 地震研究的方法起了变化

方法指为解决某种问题,达到某种目的,而采取的工作途径、步骤和手段。我们不妨还是以全美重作地震危险分析为题。大家知道,美国花了半个世纪,才完成了地震概率安全评估的作业,并获得“符合继续进行监管评估的风险准则”这个结论。但是,美国为何不惜再重作呢?其实,美国并非想要否定它40年完成的地震概率安全评估,而是既希望保

护历史成果,又决心减少人因失误。在重估地震危险工作中,美国核监管委员会在工作途径上强调原始输入,规定重作地震危险性曲线和地震动反应谱;在工作步骤上强调判据比较,用严格规定路径和细化定量判据,达到保留历史成果和提高工作效率的结果;在工作手段上强调结果核查,需进行电厂巡查和同行评审两项任务,其意在杜绝人因失误。福岛灾难以后,美国对抗震安全评估三易其稿,这种对自己过去决定的甄别和纠错就是安全文化的实践。

4. 地震研究的内涵起了变化

地震是一个小概率事件。然而地震的破坏力度和破坏速度,叠加它的二次灾难和关联灾难,不仅可以直击堆芯的控制和冷却,还可以形成超大规模的社会灾难。所以,抓住了地震灾难这个最具系统性、完整性和真实性的对象研究,也就抓住了纵深安全防御体系的核心主体,即地震的特殊研究产生了普遍的安全意义。美国全部运行核电厂将用六年完成厂址地震危险性分析,电厂地震反应计算,地震概率安全评估或抗震裕度评估,以及极为严格的电厂巡查。美国正是采用这种反复、长期、深入的行为,锲而不舍地、真正地实施着“预防为主”的安全战略。它不仅提升了应对超设计基准事件的能力,探索着可能忽略的危险,更为重要的是地震研究改变了核电安全的攻防地位,使人类掌握了主动权。

在这个世界上,任何的错误都是人因失误。而“自我批评的安全文化”以及“对可能忽略的危险永无止境地探索”是人因失误的唯一克星。

五、资源情愫

在美国近30年,最使笔者震撼的是这个国度广袤的资源。这种震撼完全相异于技术广厦的触摸和社会形态的探求。它既是一种立体的对比,也是一种犀利的剖析;它既是一种巨大的撞击,也是一种强制的灌注。正是这种资源,才使美国核电工业有一个自然而又完整的生态环境。

1. 积累,资源的形成

积累是资源形成的全部原因。它需要巨大的经济投入和开阔的时间空间,以及不断的自我批评和实际的价值目标。那种将资源视为货架上的商品,那种试图在一个晚上、一次对话、一个问题里获得自己全部需求的做法,是不能取信于人的,也是无法形成自主资源的。就抗震安全评估体系的建立来说,美国的投入几近百年。几代美国人正是在这种巨大投入下,平静地在深度和广度中积累,形成抗震安全评估的资源。更重要的是,为了资源,美国人甚至拿起分析、反思和甄别的思想武器,严格审度自身可能的人因失误。以至对花了40年才完成的全美抗震安全评估,做了一个翻天覆地的决定:全部重新评估!在资源的积累中,批评和自我批评显然是一个不可多得的强大人文武器。

2. 专业,资源的质量

专业是资源质量的重要标尺。专业质量标准必须具有实用性、重复性、包容性和系统性。实用是一种基本的价值,而且它具有生命期。短命的存在不但不能提供价值,反而可能引发灾难。专业的重复性指专业的实施过程可以再现。这种再现常常不是映像的结果,而具有一定程度的变化和创新。专业的包容性指专业所具备的融入实际、融入应用、融入过程的能力。专业的系统性指其理论联系实际的完整性和合理性。如美国新定义的抗震安全评估就是一个高质量的资源,它用规定统一了重估的方法和步骤,它用判据保护了40年中可能积累的成果,它用分析处理了过去堆芯熔化率分析结果,它用文件将理论融于实际之中。所以,这个专业案例堪称一个资源的典范。

3. 集合,资源的结构

集合是美国资源结构的特点之一。在核电集合中,分子之大,可以诸如西屋或燃料组件;分子之小,可以独立一人或力学计算。美国的小公司、小团体、小联合数量之大,实属世界之最。非但如此,这个集合没有清晰的边界线。只要严格执行美国机械工程师协会(ASME)标准,美国核电少有排他性。动态组合、分工明确、管理优化、标准统一是这个集合的最大特点。它是教育的成果,文化的传承;它既将核电融入社会之中,也限制了核电的疯长和衰落。在地震危险性分析的顶级专家中,有世界级的水坝专家,有大师级的力学专家,有转战各种科研机构的独行者,也有结伴专门作抗震安全评估的小分队;他们是群星璀璨、珠联璧合的世界资源,不是做大做强、斗智斗勇的社会产品。这就是集合,就是美国资源的结构。

4. 界面,资源的管理

要使用资源,就需要管理。要研究资源管理,就需要研究管理界面。原因很简单,资源在美国也是稀缺的。要将资源变成工程的支柱、应用的核心、研究的灵魂和使用的价值,这无疑是一种技术,一种集专业掌控和管理艺术的技术极品。非此,何以管得好资源,何以形成界面?界面管理作为一种高度的集成化管理,它不仅要面对计划制定、内容调整和细节实现,还要面对技术交流、工程进度和费用支付,界面管理要实现的是在精细管理实现中,在项目平稳展开中,从容不迫地消灭人因失误,安静和谐地实现资源使用。所以,界面管理本身就是一种极度稀缺的资源。当人们用商业头脑、思辨算式、产权所得去谈工论价时,他们失去的是时间、质量、标的和价值,因为他们不懂资源管理也需要资源。

前些天,笔者遇到一位知名的中国核电专家,他对笔者说了下面这段话:

我常常听到这样的汇报,说某项目“好了”。意思就是结束了。我会问所有的人,“好了”是什么意思?是指你自己认为“好了”,还是专家评审认为“好了”;是用户认为“好了”,还是核安全局认为“好了”。我们要的是实事求是的结论。有些东西说是“好了”,其实言过其实。有很多是知其然,而不知其所以然。所以我们要学习别人是如何做事的,特别是别人是如何管理的。

这是一段非常朴素的话。他也是讲了他的资源之情愫。

六、人因失误

人因失误是一个凝聚了很多内涵的命题，它同时也是分析和结论。对于核电安全思考来说，它其实是形影不离地伴随着我们，给予我们痛苦、彷徨、忧虑、震撼的幽灵。很多人都对笔者说，美国人的生活理念是享受生活。其实，将人因失误作为终身的思考，是笔者周围很多朋友的一种享受。

核电界有一种特别使笔者崇拜的思维是，将自然灾害模拟成一种破坏的假定，然后去面对它。那种人定胜天的乐观向上，那种知难而上的人间勇气，让笔者从心里感受到世间还真有英雄。笔者就是因为这种精神才会被核电所吸引。他们将人因失误看似一块牛排横刀竖叉，然后用犀利的牙齿撕裂咬碎它们，用唾液胃肠去消化它们，给核电安全带去血液、营养和精气神！笔者知道他们是人类的极少数，但正是结识了他们，笔者才理解了真理永远掌握在少数人手里。

40年前，当笔者看到佳林·库普曼斯(Tjalling C. Koopmans)的中文介绍摘句时，就激动得不行。因为佳林先生是“资源最优分配理论的杰出代表”，而“资源最优分配”六个字深深打动了笔者的心。但是，现在最使笔者感动的，不光是资源最优分配，还是美国面对人因失误的精细防范：美国核监管委员会(NRC)要求所有根据2012年“三个命令和一个咨询函”所重新完成的、核电厂地震危险性分析和概率安全评估，必须再经过有资质的“同行审查”，否则不予认可。这种对人因失误的批评和自我批评真是叫绝。因为，任何一个人类的认知，不仅需要经历理论、技术、装备、应用的完整积累，而且还需要经历人文、社会、历史、发展的完整积累。非此，何以消灭人因失误？

从崇拜英雄，到崇拜思维；从崇拜技术，到崇拜资源。要解决好人因失误，开拓资源、用好资源是必不可少的。资源，作为一种综合成果，它既包括人才，又包括事物；既包括思想，又包括装备；甚至还包括环境、文化、教育、习俗等看起来与资源无关的东西。如地震危险性分析和地震概率安全评估，你接触到的资源越多、层次越高，才会越觉得要融入世界范围里去，才会期望成为世界核工业的成员，才有可能看明白世界资源。减少人因失误，特别是核电的人因失误需要全世界参与解题。

这就是为什么笔者既享受面对人因失误的分析和处理，也专注开发界面管理的理论和实践的原因。

美国鲍威技术有限公司总经理 张家倍

脱稿于休斯敦

定稿于中国上海

前 言

人们公认经过精心设计的核电厂存在固有的抗震能力,能够抵御大于其原始设计基准的地震。这种固有的抗震能力体现在抗震分析和设计过程中,通常用“抗震裕度”这个术语进行定义。然而在适用于核电厂的抗震设计和抗震鉴定的标准、规范中并没有规定如何度量核电厂的实际抗震裕度。

20世纪80年代,随着人们对地球科学认识的深入,认为核电厂有可能遭受大于其设计基准的地震威胁。同时,由于新的地震学方面信息的出现,原始的设计基准受到了挑战。基于此,超设计基准地震逐渐受到关注,美国开始研究和定义核电厂超设计基准的抗震裕度。针对超设计基准地震事件,美国核监管委员会(NRC)和电力研究院(EPRI)先后开发了三种抗震安全评估方法来评估核电厂的抗震安全,分别是地震概率安全评估、基于概率安全评估的抗震裕度评估和 EPRI 抗震安全评估。

20世纪90年代初,美国 NRC 要求其所有在运核电厂都要进行个别电厂外部事件调查(IPEEE)。在 IPEEE 计划中,美国采用了上述三种方法完成了所有电厂的抗震安全评估,特别是抗震安全重新评估的方法在美国进一步得到拓展,这些均已得到全世界的广泛认可。正是因为美国 NRC 和 EPRI 的科学预见、通力合作、有效投资以及核电工业人员的严格执行,使得美国拥有辉煌的核电厂运行业绩。

由于历史等诸多原因,中国核电厂从未作过抗震安全评估。2011年3月11日日本发生福岛核事故的一年以后,抗震安全评估在中国受到前所未有的关注和重视,一场大规模核电抗震安全评估将在中国全面展开。随着全球各类专家的纷至沓来,中国俨然成了一个核电抗震安全评估的市场热点。

本书在简要引入核电厂构筑物、系统和部件(SSC)的抗震鉴定、抗震安全评估等概念的基础上,系统地介绍了三种抗震安全评估方法的基本原理、实施步骤、方法异同。全书内容包括7章:第1章简要介绍了核电厂 SSC 的抗震鉴定相关知识和抗震安全评估的历史、方法比较和实施流程;第2章分别介绍了通过成功路径和事件树/故障树建立系统模型的方法和对系统模型的分析;第3章介绍了开展抗震安全评估的地震输入即审查级地震;第4章介绍了评估 SCC 抗震能力的两种方法即保守的确定性失效裕度(CDFM)方