

科技进步与社会发展丛书

无穷的潜力

——核技术与社会

朱继洲 单建强 景春元 编著

山东科学技术出版社

科技进步与社会发展丛书

无穷的潜力

——核技术与社会

朱继洲 单建强 景春元 编著

山东科学技术出版社

科技进步与社会发展丛书

无穷的潜力

——核技术与社会

朱继洲 单建强 景春元 编著

*

山东科学技术出版社出版

(济南市玉函路16号 邮编250002)

山东科学技术出版社发行

(济南市玉函路16号 电话2014651)

济南新华印刷厂印刷

*

850mm×1168mm 1/32 开本 8.5 印张 4 插页 177 千字

1998年12月第1版 1998年12月第1次印刷

印数:1-1000

ISBN 7-5331-2165-1

G·267 定价 18.50 元

《科技进步与社会发展丛书》编委会

主 任 林宗虎 王为珍
编 委 (以姓氏笔画为序)
 王克迪 田惠生 孙北林
 宋德万 苏荣誉
策 划 王克迪 孟爱平 苏荣誉
责任编辑 胡 明

总主编

林宗虎

总 序

现代社会最显著的特点是科学和技术日新月异,它一方面飞速前进,另一方面无孔不入地深入社会每一个角落。这种在深度和广度方面的进展是一步步取得的。

科学和技术是有所区别的。科学的进步给人们新知识、新理解,使人们知道过去所不知道的事情;技术的进步则意味着新产品、新生产方法和工艺流程、新原料、新市场和新生产组织方式,使人们能做到过去所做不到的事情。20 世纪初的科学革命为技术进步展开了广阔天地,第二次世界大战中发明的核武器、导弹、雷达和青霉素的广泛应用,证明了技术进步的巨大威力,战后的电子技术、通信技术、电脑技术、生物技术、航空航天技术、新材料技术等等如雨后春笋般地成长起来,人类的社会结构和日常生活被永久性地改变了。人们无一例外地感受到这一点,人们为技术进步所带来的变化、便利和舒适而欢欣鼓舞,但同时也夹杂着疑惑。这些疑惑来自两个方面:

一是近几十年的技术进步大多发生在高技术领域,建立在对 20 世纪以来所获得的精深的科学知识基础之上,这使得普通群众和非专业人员难以理解和把握,人们感到它们很神秘,但又离不开它们。例如,电子计算机,可以说现代社会的正常运行绝对不能没有它,而未来的网络化社会则将通过它来完全改变每一个人的衣食住行和人际关系,然而它又是地道的高技术产品,

真正用好它需要相当的专业理论和知识,还要有丰富的实际操作经验。对于许多人而言,计算机是那样的功能强大,却又是那样的令人望而生畏;人们知道迟早要依靠它生存,但又担心自己驾驭不了它,进而对未来的信息社会产生恐惧感和陌生感。

二是技术进步在奉献给人类巨大恩惠的同时,也带来了一些灾难。实际上,很少有几项高新技术是不夹带或多或少的负面效应的。高分子化工生产出塑料、杀虫剂,节约了无数的木材,获得了许多个粮棉丰收年成,但它带来的污染却杀死了许多物种,毁掉了许多良田;原子能的开发利用给人们带来取用不尽的能源,但核事故的威胁像阴云一样笼罩在人们心头无法驱散,核废料的永久性辐射从此将伴随人类的子子孙孙。

产生这些疑虑是可以理解的。不过,这些疑虑也是可以化解的,我以为最有效的化解方式就是由科学工作者和工程技术人员告诉公众这一切是怎么回事。我们有责任这样做。我们的科学家和工程师是人民养育的,人民信任我们,把国家的强盛、民族的繁荣、生活的富裕和世界的未来都托付给了我们。因此,我们就有责任和义务告诉人民,我们正在做什么,为什么这样做,已经得到了些什么成果,将会对社会有什么影响,还将会有什么结果,我们今后将打算再怎么做,人民的钱财和我们的才智是否花得值得,等等。

这套丛书就是我们向公众的一个初步交代。我们选择了在近几十年来发展最快、在未来最有发展前途的七个领域,分别成书,介绍其发展的历程所依据的科学原理,所采用的技术手段,所达到的效果,对科学和技术的影响,对社会和人们日常生活的影响,以及对未来的影响。这七个领域分别是:计算机技术、通信技术、航天技术、海洋科学、生物技术、核技术和材料技术。

我希望读者看完这几本书之后,除了对书中所介绍的知识有所了解外,能够感觉到科学和技术,特别是高新技术,并不是什么神秘的、高深莫测的东西,有许多前沿进展很新,很重要,但也并不是高不可攀。我还希望从这套丛书中,读者能体会到什么是科学精神,什么是按照科学规律办事;在科学的王国里,人类能做些什么、不能做些什么;技术进步能给人们带来些什么,会使人类失去些什么。我希望读者能赞同我的想法,知识是人类力量的源泉,技术进步是我们时代和社会前进的动力,技术进步是积极的、富于创造力的、勇于实践的、利大于弊的。我特别希望青年学生读后能鼓舞起献身科学的勇气和信心,如果没有年轻一代人源源不断涌入科学研究队伍,科学就将停滞不前,技术很快就会失去进步的源泉,而我们的世界也就没有了希望。

最后我还要指出,科技工作者相互之间用高度技术化的语言讨论专业问题时,交流起来比较容易。可是当我们努力想用通俗语言说清楚我们所做的一切是怎么回事时,就多少有些力不从心,这是现代科学和技术高度专门化的结果。这套丛书的作者都是有成就的科学家和工程师,他们自告奋勇地承担起写作任务,他们尽了力,也尽了责。出版社的编辑同志也为丛书的顺利出版付出许多辛劳。现在读者见到的这套丛书,是许多人携手合作的结果。我谨向他们表示衷心的感谢和敬意。

中国工程院院士

林宗虎

1998年2月于西安交通大学

序

当今,世界各国在科学技术领域里的竞争十分激烈,科学技术上的领先往往意味着经济发展的优势。核科学技术由于与国防、国民经济、边缘学科和高技术发展关系密切,因而受到人们的高度重视。

核科学技术的形成和发展是人类对物质微观结构及其运动规律的认识和对核能发现、开发利用的一个飞跃,是 20 世纪科学技术的重大成果,是新技术革命的重要组成部分。

1896 年法国青年科学家贝可勒尔对天然放射性的发现和研究为物理学家们探索原子结构的奥秘指明了方向。以此为起点,20 世纪上半叶,许多令人惊奇的发现把人们的目光集中到原子及其核的内部,深化了人类对微观物质世界的认识,引发了一场新的科学技术革命,其中,已为人们所熟知的关键事件有:中子的发现,人工核反应的实现,核聚变反应的实现和铀核裂变理论的提出等。1942 年,美国建造并启动了世界上第一座人工核反应堆,实现了可控、自持的铀核裂变链式反应,宣告了人类驾驭与开发原子核能时代的开始。

第二次世界大战期间,核科学技术的最新成果被首先用于军事目的,战后一段时间里,除侧重于军用外,科学家们关注着如何利用核能为人类造福。50 年代初期,人们首次尝试利用核能发电。核电站的研制与发展经历了试验、示范和商业推广等阶段,至今世界上已有 34 个国家和地区建造了 425 套机组,成为

一种安全、清洁、经济而可靠的新能源,开创了人类利用核能的新纪元。

除核能外,核科学技术在材料科学、环境科学、生命科学、医学科学以及天体、地质、考古等领域中获得了广泛的应用,做出了显著的贡献。

中国的核工业创建于 50 年代后半期,在党中央和人民政府的正确领导下,在核工业战线广大科技人员、干部和工人的努力下,自力更生、艰苦奋斗,在 60、70 年代,突破原子弹、氢弹、潜艇核动力技术难关,建立起比较完善的核工业体系。改革开放以来,我国的核科学技术又有了长足的进步和发展,北京正负电子对撞机建成并成功实现了正负电子对撞,高通量工程试验堆、铀氢锆脉冲堆、低温核供热堆先后建成,我国自行设计与建造的试验性核电站——秦山核电站(300 兆瓦)和第一座商用大型核电站——大亚湾核电站(2×900 兆瓦)投入运行,放射性同位素在工、农、医、考古学、地质学等领域广为应用,取得了巨大的经济效益和社会效益。

在即将到来的 21 世纪,核科学技术在社会各领域将得到更为广泛的应用,如工业断层显像技术的应用,离子注入在电子工业中的应用,核分析技术在生命科学和材料科学中的应用,核测井技术在开发资源中的应用以及 21 世纪新型动力反应堆在能源领域中的应用。

总之,核科学技术是理论上和应用上都十分重要的学科,又是一门内容异常广泛和丰富的学科。本书从物理原理和应用技术的结合上论述核技术和核能的应用,反映了核能与核技术及其在各个领域中的最新发展和应用概况。全书内容简明扼要,突出原理、方法的叙述,注重特色的介绍,让读者能从中了解核科

学技术这一高新技术的国内外现状和发展趋势,对提高读者的科学文化素质、普及现代科学技术知识、增强全社会的科技意识,将是十分有益的。

西北核技术研究所研究员

陈 达

前 言

自 1896 年法国物理学家贝可勒尔(H. Becquerel)发现了铀的天然放射性以后,核技术与核能的发展十分迅速,它已成为人类知识宝库的重要组成部分,是人们最为关注的一门新兴高新技术。核技术和核能为解决人类面临的一些重大问题,如能源、资源、环境等领域中的难题,发挥了重要的作用;核技术和核能对传统行业改造和促进新技术革命的进程,具有重大的影响,并已取得明显的经济效益;同时,核技术与核能促进了社会的进步,为人类健康做出了贡献,其社会效益也是难以估量的。

核技术与核能发现与发展的 100 年间,大体经历了基础理论研究、军事应用和军用转向民用三个阶段。核技术的最新科学技术成果被美国首先用于军事目的。美国于 1942 年建成了第一座核反应堆,1945 年制成了三颗原子弹,在实验了第一颗原子弹以后,将其余的两颗分别投在日本的广岛和长崎,造成 20 万人伤亡,核能的威力,开始为世人所瞩目。在第二次世界大战以后,核技术大规模地转移到国民经济各领域,但是,1979 年和 1986 年发生的美国三哩岛核电厂和前苏联切尔诺贝利核电厂事故,造成了公众对核的不安和恐惧心理,以致世界各国调整与放慢了原定的核电发展规划。80 年代以后,核技术的应用由于得到微电子学、计算机技术以及各种新型仪器设备的支持而出现了新的发展高潮,其应用领域日益拓宽,发挥的作用越来越大。两次核电厂事故引起了人们对核反应堆安全的高度重视,反

应堆安全性有了很大的提高与改进,一个核电发展的新高潮将会在一些国家出现。因此,可以预见,在即将到来的 21 世纪中,核技术与核能这一高新技术,一定会有惊人的发展。未来的世界,必将是核能的世界。

核技术与核能主要包括:核军事技术、反应堆技术、加速器技术、核结构与元素分析技术、核辐射探测技术、辐射和同位素技术等。本书力图反映核技术与核能的主要技术及其在各个领域中的最新发展与应用,编写中以定性叙述为主,力求深入浅出,图文并茂,通俗易懂,引人入胜。读者既可通读全书,也可选读感兴趣的章节,以期对核技术与核能的特点及其应用获得较清晰而正确的了解,消除对放射性和射线的恐惧心理,普及核技术的应用知识,进而推动核技术和核能的发展。

本书由朱继洲主编并编写了第一部分、第五部分三~六、第六部分、第七部分和第八部分,单建强编写第二部分和第四部分,景春元编写第三部分和第五部分一、二,王武军整理了部分书稿。感谢西北核技术研究所陈达研究员为本书作序并审阅了第三部分和第五部分。书中引用了许多国内外文献中的图表和数据,谨向这些资料的作者表示深切的谢意。

限于作者的学识水平,书中一定存在不少缺点,恳请读者不吝指正。

编著者

于西安交通大学

目 录

核技术的历程与效益	1
一、核技术与核能的发现和发展	1
二、核技术和核能在国民经济中的作用	6
潜力的源泉——原子与原子核能	12
一、原子与原子核	12
二、同胞兄弟——同位素	13
三、放射性	15
四、核反应	20
五、核力与核能	24
六、裂变反应与聚变反应	27
沉重的威慑——核军事技术	36
一、概况	36
二、原子武器	37
三、核武器的杀伤和破坏机理	47
四、核武器的防御	60
五、核动力舰艇	64
六、核武器的发展现状和前景	68
受控核反应——反应堆技术	73
一、反应堆综述	73
二、啤酒点不着——反应堆的安全性能	76
三、万变不离其宗——反应堆的基本结构	80
四、核能在能源中的地位 and 作用	82

五、核电厂用堆的主角——轻水堆	86
六、独具一格的重水堆	98
七、用途甚广的研究堆	106
八、生产反应堆	111
九、21 世纪的核能——先进核反应堆	113
十、核电站的废物处理	128
高速粒子的产生——加速器技术	130
一、概况	130
二、高压加速器	134
三、电子感应加速器	143
四、回旋加速器	147
五、对撞机和光子工厂	160
六、直线加速器	168
七、加速器的应用	172
崭新的核分析技术	181
一、利用核效应的分析技术	181
二、灵敏准确的多元素分析技术——中子活化分析	182
三、分析重基体中轻杂质的核反应瞬发分析技术	188
四、揭开越王剑两千年寒光不衰奥秘的 X 射线荧光分析	192
五、月球土壤成分的现场测量——卢瑟福背散射技术	200
六、研究物质超精细结构的探针——穆斯堡尔谱学技术	204
七、研究物质微观结构的重要手段——正电子湮没谱学	213
广泛领域大有作为——放射性同位素技术的应用	218
一、放射性同位素在工业上的应用	219
二、放射性同位素在农业上的应用	231
三、放射性同位素在医学上的应用	237
四、放射性同位素在地质年代测定及考古研究中的应用	243
面向 21 世纪的核技术和核能	245

一、显像技术的新发展——工业断层显像技术(工业 CT)及其应用	245
二、离子注入对电子工业的影响	246
三、核分析技术对生命科学和材料科学的影响	247
四、核测井技术对开发资源的作用	248
五、辐射化工及新型生物高分子材料的开发	249
六、21 世纪是核能应用的新时期	250
参考文献	253

核技术的历程与效益

一、核技术与核能的发现和发展

20 世纪即将结束,21 世纪将要到来。

当代世界科学技术突飞猛进,社会发展日新月异,使人类社会经济、科技、政治、军事等一切领域经受了巨大的震荡和挑战。毋庸置疑,即将来临的 21 世纪也必将是一个以更高速度发展和变化的新世纪。当人们关注和审视这场新技术革命浪潮时,不难发现,核技术与核能是 20 世纪发展最为迅速的一门新兴的高技术。

自 1896 年法国物理学家贝可勒尔发现了铀的天然放射性以后,核技术与核能的发展十分迅速,已成为人类知识宝库的重要组成部分,在 100 年的历史中,大体经历了三个阶段,见表 1。

表 1 世界核技术与核能的发展

I 实验室阶段	
1895 年	发现 X 射线
1896 年	发现天然放射性
1905 年	法国实现子宫内放射治疗(镭照射)
1910 年	提出同位素概念
1910 年	实现 X 射线照相无损探伤
1911 年	瑞士开始制造夜光表发光涂料
1930 年	发明带电粒子加速器
1934 年	发现人工放射性
1935 年	放射性示踪原子用于生物实验
1936 年	采用活化分析
1938 年	发现核裂变

(续表)

Ⅱ 军用阶段	
1942 年	第一座核反应堆临界, 实现链式核裂变反应
1945 年	美国爆炸第一颗原子弹
Ⅲ 民用阶段	
1946 年	实现碳-14 测定年代、钱三强等用核乳胶观测了核三分裂现象
1951 年	核医学同位素自动扫描机研制成功
1951 年	美国首次制成同位素仪表(厚度计, 用于橡胶工业)
1952 年	实现高分子化合物辐射交联
1954 年	世界第一座原子能发电站开始运行(前苏联)
1955 年	第一次和平利用原子能国际会议在日内瓦召开
1957 年	美国开展昆虫辐射不育技术消灭害虫取得成功
1957 年	小麦辐射育种成功, 选育出高产、耐旱、抗病虫害新品种
1958 年	采用冻干技术完成老鼠全身放射自显影
1958 年	γ(闪烁)照相机(核医学用)研制成功
1959 年	美国核动力客货轮“萨凡纳”号下水
1959 年	前苏联原子破冰船“列宁”号首航
1960 年	体外超微量分析法——放射免疫测定技术建立
1960 年	实现辐射化工产业化(辐射交联高分子电线电缆绝缘层)
1961 年	放射性同位素电池首次进入太空轨道
1962 年	体内放射显影药物钼—锝(^{99}Mo — ^{99}Tc)发生器问世
1963 年	头颅放射性同位素断层扫描机研制成功
1966 年	第一种辐射食品(马铃薯)投入市场(加拿大)
1972 年	西德污泥辐射处理实验开始
1976 年	高产矮秆水稻辐射育种成功, 深化绿色革命
1980 年	美国污水辐射处理系统实用化
1980 年	第一台工业断层扫描机问世(美国)
1983 年	欧美 11 个国家的 700 位物理学家在欧洲联合核子研究中心的质子—反质子对撞装置上证实弱电统一规范理论
1991 年	欧洲联合核聚变实验室宣布, 首次成功实现了受控热核聚变反应
1994 年	德国物理学家彼得·安布鲁斯特领导的小组在全粒子直线加速器上合成了第 110 和 111 号新元素
1995 年	美国费米国家加速器实验室发现了最后一种夸克
1996 年	欧洲核子研究中心德国和意大利科学家宣布实验中获得了第一种反物质——反氢原子

第一阶段——实验阶段, 从 1895 年至 1941 年, 在这一阶