

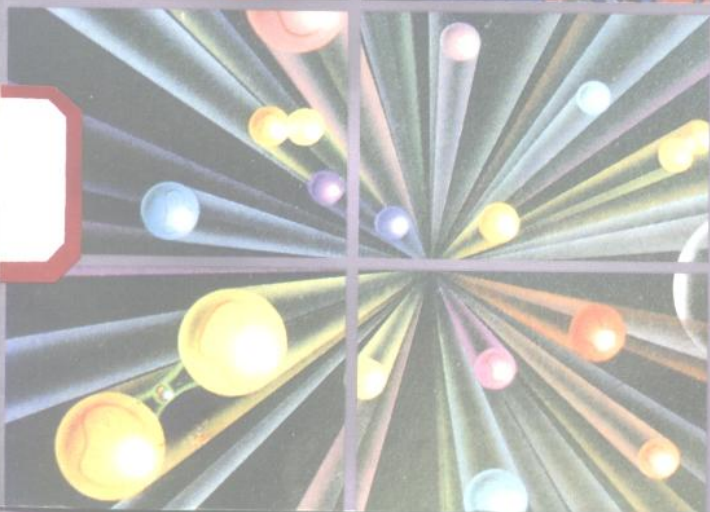
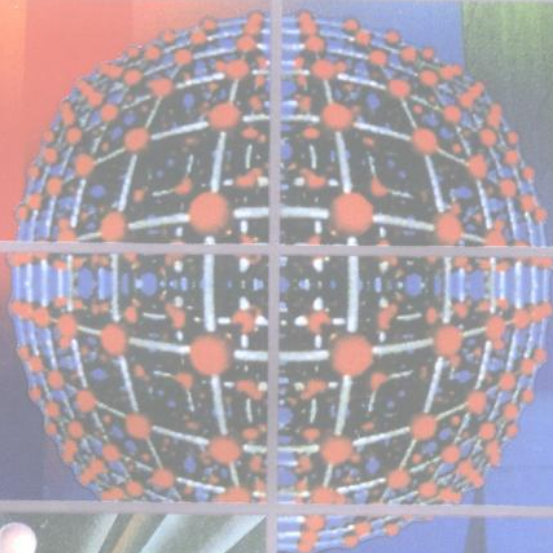


现代高技术丛书

核能与核技术

中国科学技术协会主编

上海科学技术出版社



TL-09

L34-

385342

中国科学技术协会主编



现代高技术丛书

李士 查连芳 赵文彦 编著

核能与核技术

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书是《现代高技术丛书》之一。

本书以比较通俗的语言、生动的实例,深入浅出地介绍了核能与核技术这一高技术的基本内容、原理、应用、最新进展及对社会发展带来的革命性巨变,同时展望了未来的发展。本书内容新颖、生动活泼、饶有趣味,读后不仅可以增长有关核能与核技术方面的知识,而且给人以启发。

本书可供具有中等文化程度的学生、工人、干部、科技人员和教师阅读。



现代高技术丛书

核 能 与 核 技 术

中国科学技术协会 主编

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所经销 上海市印刷三厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 7.75 插页 5 字数 200,000

1994年12月第1版 1994年12月第1次印刷

印数 1—3,000

ISBN 7-5323-3325-6/TL·1

定价: 11.70元

(沪)新登字108号

现代高技术丛书编审委员会

主 任： 朱光亚

副主任： 高 潮 闵桂荣

编 委(以姓氏笔画为序):

王守觉	王希季	王国文	邓寿鹏	刘化樵
刘成彦	刘胜俊	江东亮	孙延军	孙毓彦
朱光亚	闵桂荣	李 士	杨沛霆	何国祥
张 晶	陈伯镛	陈树楷	陈章良	武明珠
赵文彦	胡成春	胡 英	钟义信	高 潮
郭景坤	顾孝诚	戴绪愚		

序 言

1992年10月召开的党的十四大，以邓小平同志建设有中国特色社会主义的理论为指导，确立了建立社会主义市场经济体制的目标。会议指出社会主义的根本任务是发展生产力，现阶段必须以经济建设为中心，加快改革开放和现代化建设步伐，才能推动社会全面进步。科学技术是第一生产力，经济建设必须依靠科技进步和劳动者素质的提高。现代科技突飞猛进，社会主义市场经济不断发展，我们不懂得、不熟悉的东西很多。因此全党同志不仅要抓紧学习政治、经济和先进经营管理，还要学习现代科学文化。

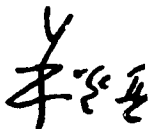
由中国科学技术协会组织编辑、上海科学技术出版社负责出版的《现代高技术丛书》，就是在1992年初小平同志视察南方发表重要谈话，举国上下学习讲话精神、加快改革开放和建设步伐的情况下开始筹划的。经过一年多的努力，现在开始与读者见面了。这套丛书是以高技术的若干领域为主要内容，请国内在这些领域中卓有成就的专家学者撰写汇编而成的，面向广大干部和非专业领域的科技工作者，是一套深入浅出的高级科普读物，重点是为各级领导干部学习高技术知识服务。

什么是高技术呢？需要指出的是，早在60年代这一名词就已在国外出现，但直到现在，对它的含义和范围，大家的认识仍有差异。一般认为，高技术是指以最新的科学发现创造为基础、具有重要应用价值的技术群。正是由于近半个世纪来科学技术日新月异的发展，高技术的内涵和范围也在不断发展和深化。50年代我国制定的《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要》，被列在12项重点任务前列的原子能技术、喷气与火箭技术、半导体技术、电子计算机技术和自动控制技术这5项技术群，就属于这种范畴，当时在我国称之为尖端技术。80年代我国开始引入高技术这一名词，到1986年初制定《高技术研究发展计划纲要》，被评选列入的7个技

术群是生物技术、航天技术、信息技术、激光技术、自动化技术、新能源技术和新材料技术。这一事例不仅说明我们应动态地理解高技术这一概念，而且还要认识到，高技术代表着科学技术发展的前沿，代表科学技术在社会进步和经济发展中的巨大力量，对增强一个国家的综合国力起着重要作用。

既然高技术是以最新的科学发现与创造为基础的，需要指出的另一点是，发展高技术、尤其是要实现其产业化，还应十分注意其必须具备的条件，包括掌握有关科学技术知识的人才、研究开发工作所必需的先进仪器装备与大量资金的投入、具有良好素质的工人队伍、大批生产必须具有的经济规模、工艺装备的不断更新需求以及相关高技术的配套发展等等。因此，既要积极进取，又要有敏锐的市场意识，把握机遇，善于经营。

前不久，江泽民总书记在会见全国科技工作会议代表时指出，要进一步确立和贯彻邓小平同志关于科学技术是第一生产力的伟大战略思想，加速科技进步，为90年代乃至下个世纪经济、社会发展提供强大动力。并再一次强调，要在干部特别是领导干部中普及现代科学技术知识。《现代高技术丛书》的及时出版，让更多的人能从中了解高技术的内涵、现状和发展趋势，将是十分有益的。展望世纪之交科学技术的发展，当然还应包括自然科学、技术科学的基础性研究以及全球生态环境变化与影响等方面的深入浅出评述和预测。更全面地介绍与普及现代科学技术知识，为增强全社会的科技意识，各级领导加强对科技工作的领导，把科学技术切实放在优先发展的战略地位，还需要科技界同志们继续努力。



1993年6月3日

前 言

1896 年法国科学家贝可勒尔 (Becquerel) 发现了铀的天然放射性,从而导致核能与核技术的出现。在近 100 年的时间内,核能与核技术对人类历史和社会发展做出了重大贡献,而且至今方兴未艾。核能和核技术与国民经济、国防建设、科学技术和边缘学科都有密切的关系,它已成为高技术领域中的一个重要的组成部分。可以预计,在下一个世纪中,它必将进一步大显身手,为人类谋幸福。

然而,由于核能最初的军事应用和前苏联切尔诺贝利核电站事故的发生,使人们一提到核能就会条件反射地想到“原子弹”,就会感到不安和恐惧,这是不难理解的。这有两方面的原因:一是过去过重宣传了军事上的应用;二是核能与核技术的理论和技术深奥,不容易理解。虽然过去已经出版了很多有关这方面的书籍,但由于所用专业术语太多,一般人很难看懂。为了让公众重新认识“核能与核技术”这一高技术,使大家了解它究竟包括哪些方面?核军事技术在核技术中所占的比重?目前发展到了什么阶段?对社会发展和人民生活的影响?与高技术的关系?等问题,帮助各研究领域的同志能更多地了解、掌握这项高技术,并应用到各自的研究工作中去,为我国的经济建设和科技发展做出更多的贡献。为此,著者搜集了有关资料和我们的工作编写了这本小册子。这本书基本上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貌,而且力图使其通俗易懂、富有趣味。叙述完全是定性的、初步的,许多问题都不求深入展开,也尽量少用专业术语,多用通俗比喻。

总之,本书的目的显然不是为了使读者成为核能与核技术方面的专家,确切地说,它是一本对不同背景的公众都能接受的、简

单而又说理清楚的、能了解这个领域最新进展的入门书。即可通读，也可选看感兴趣的章节。而需要进一步深入学习核能与核技术问题的读者，则可参阅其他有关专业书籍，但读者在阅读专业书之前，如能浏览本书，定会有驾轻就熟之感。当今，越来越多的公众关心高技术的发展，本书如能对读者在这方面有所帮助，则作者会感到无比荣幸。

本书由查连芳同志编写了第五章，其余章节均由李士同志编写并对全书定稿。在成稿过程中曾得到中国科学院数理化局赵文彦先生的热情关心和鼓励并提出了一些宝贵意见。赵舜英、孙殿义等同志帮助作者誊清了部分书稿。何国祥、李兑、李方同志在成稿过程中给予了很大支持和帮助，作者在此一并表示衷心感谢。

限于作者的水平，书中难免存在不少缺点和不妥之处，恳请读者不吝指正。

编著者

目 录

第一章 核能与核技术的形成和发展	1
一、高技术与核能、核技术	1
二、核能的困惑和核技术发展	2
三、核能与核技术的未来	5
第二章 从原子核谈起	9
一、原子与原子核	9
二、同位素与放射性同位素	12
三、放射性衰变和半衰期	13
四、核能的来源	15
五、核裂变与核聚变	19
第三章 反应堆技术	21
一、提供核能的装置——反应堆	21
二、从核裂变谈反应堆	24
三、费米与世界第一座反应堆	27
四、反应堆的分类和基本组成	28
五、核动力和核电站	34
六、低温核供热堆和核能低温制冷	39
七、放射性同位素生产	40
八、其他方面的应用	41
九、用之不竭的能源——核聚变能	43
十、反应堆的安全	45
第四章 核军事技术与国家安全	47
一、黑匣子与核武器	47
二、双手掰开“原子弹”	52
三、潜艇与核潜艇	54
四、海上核武器和核动力航空母舰	56
五、核动力火箭	58

六、核技术与民航安全	59
第五章 加速器技术	63
一、加速带电粒子的机器——加速器	63
二、加速器的组成和种类	66
三、北京正负电子对撞机	75
四、加速器质谱技术	80
五、同步辐射技术	83
六、加速器与自由电子激光	89
七、小型低能加速器的应用	95
第六章 放射性同位素应用技术	111
一、不似黄金胜似黄金	111
二、放射性同位素示踪技术	112
三、放射性同位素作为辐射源的应用	118
四、放射性同位素能源	129
第七章 核成像技术	131
一、从埃及古尸谈核成像技术	131
二、成像技术的革命——X射线成像技术	133
三、没有放射性的核成像——核磁共振成像技术	138
四、揭开人类大脑奥秘的武器——正电子成像技术	141
五、襁褓中的巨人——穆斯堡尔成像技术	151
第八章 核结构分析技术	154
一、铁钥匙——穆斯堡尔谱学技术	154
二、缺陷探测器——正电子湮没技术	171
三、微观环境的电磁探测——扰动角关联技术	178
四、高分辨分析方法——核磁共振技术	183
五、结构和动力学研究的有力武器——中子散射技术	189
第九章 核元素分析技术	195
一、痕量元素分析的有效方法——中子活化分析	195
二、“不破坏”分析方法——X射线荧光分析技术	200
三、多元素分析方法——质子激发X射线分析	205
四、深度分布分析方法——卢瑟福背散射技术	212
五、瞬发核辐射探测方法——带电粒子核反应瞬发	

分析技术.....	217
六、晶格定位测量的有效手段——带电粒子沟道效应	221
附录 1 核能与核技术发展史简表	224
附录 2 美国核武器型号及现状	230
(1) 美国已部署的核武器数量及性能	230
(2) 美国处于生产前阶段和研究发展阶段的核武器	232

第一章 核能与核技术的形成和发展

一、高技术与核能、核技术

“高技术”一词起源于美国，目前尚没有统一的定义。多数人认为，高技术是指那些基本原理建立在最新科学成就基础上，并能创造较高的经济效益，具有较强增值作用，能向经济、社会各个领域广泛渗透的新技术。高技术一般可分为两大类。一类称为高准度技术，如航天技术、导弹技术以及我们这里将要介绍的核能与核技术；另一类称为高效益技术，如微电子、生物工程、新能源、激光、新材料等等。当然，两者之间并没有严格的界线。例如，核技术领域里的核应用技术就介于两者之间，它既有高准度技术的特征，又能产生高效益。

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，核能与核技术的发展十分迅速。经过世界各国科学家的辛勤探索，取得了辉煌成果。在该领域已有 40 余人次获得过世界科学技术成就最高奖赏——诺贝尔物理或化学奖（见附录），这是其他任何学科领域从未有过的。

核能与核技术是继天然放射性和铀裂变现象的发现及加速器和反应堆的发明与建造成功，以核物理、核化学、核辐射探测学等科学研究成果为基础，并结合核电子学、核探测器、核分析技术、加速器及反应堆等技术的发展而兴起的一门高新技术。它发展速度之快、应用范围之广、增值和经济效益之高、产生的影响之大，都是人们所预料不到的。

核能与核技术主要包括反应堆技术、加速器技术、同位素制备技术、核辐射探测技术、核结构与元素分析技术、核成像技术、核军

事技术、电离辐射计量技术、辐射防护技术和应用核技术等。其中应用核技术又包括同位素示踪技术、辐射加工技术、辐射改性技术、同位素仪器仪表、核医学、核农业等。可以说，“核”与“核辐射”基本上囊括了该学科的全部内容(见图 1-1)。

细心的人也许提出这样的问题：早期众所周知的与原子弹相连系的“原子能”与本书提到的“核能”究竟是不是一回事儿？它们之间有什么区别？为什么现在“原子”改成姓“核”了？原来姓“原子”的，如今都叫做什么核能、核电站、核医学、核技术……了？就连家喻户晓的“原子弹”，也起哄似地跟着叫起什么“核弹、核武器”了？那么，复姓“原子”为什么都改为单姓“核”了呢？其实，“原子能”与“核能”是一回事，只是叫法不同而已。从文字含义的角度来讲，叫“核能”比叫“原子能”更为确切，众所周知的“原子能”其实是“原子核能”，凡是挂“原子”招牌的事，其实都是“核”的功劳，况且有时也不完全与它的“能”打交道。所以，将“原子(核)能”叫做“原子能”并不准确，而叫“核能”才恰如其分。然而，为了照顾人们的习惯，目前，两种叫法都可以使用，只不过此时的“原子能”是“原子核能”的缩略词罢了。

核能与核技术目前正处于成长和成熟阶段。其主要标志是基础核技术与核军事技术已趋于成熟，形成产业，并且具有相当可观的产值。而其他方面尚有大量的新领域正待开发，世界各国投入的研究费用有增无减，经济效益和社会效益日趋明显。一些核科学家认为，目前核技术应用的开发仅为其最大技术潜力的30%~40%，核能与核技术强大的技术优势决定了其强有力的生命力，是其他技术无法取代的。它在解决人类面临的一些重大问题，如能源、环境、资源、人口和粮食等各方面具有极为重要的作用，而且对于传统行业的改造和促进新技术革命的到来将产生深远影响。

二、核能的困惑和核技术发展

核能的发现，曾一度使人们徘徊在十字街头。一条路，令人不

寒而栗，其结局可能是促使人类走向毁灭的核武器大竞赛；另一条路则是旭日东升，其未来是人类和平利用核能，进入光辉灿烂的原子时代。问题的关键是人类究竟何去何从？不幸的事情终于发生了。1945年秋，日本广岛、长崎一声巨响，高楼大厦毁于一旦，二十多万无辜百姓伤亡，其状惨不忍睹。罪恶与善良、繁荣与萧条，顷刻间被一颗小小原子弹一扫而光，使核能的利用走上了邪路。当时，欧洲许多著名科学家为核能被战争狂人用来制成威力巨大的核武器而感到担忧。从此，全世界的人们一听到“原子弹”三个字便不寒而栗，甚至一听到“原子能”或“核能”就立即联想到原子弹的爆炸，而令人闻而生畏。“原子能”或“核能”已被曲解为核武器的代名词了。此外，震惊世界的前苏联切尔诺贝利核电站事故，更加剧了人们的核恐怖。所以，核能与核技术这一高技术在发展道路上，除了需要解决核能与核技术中某些技术本身的关键问题之外，还必需克服公众对核能与核技术的“恐惧”和“神秘”的心理障碍。

然而，人们不会让“核能”这一伟大发现长期黯然失色，也不能让“核能与核技术”永远扮演“反面人物”。其实，“核能”的发现和应用与中国古代“火药”的发现和应用类似。火药可以用于制造战争杀人的武器，但也可以用来开山修路，移山填海、开采矿石。若使用不当，出现事故也能伤人。“核能”也一样，它完全可以应用于和平事业，为人类谋幸福，只要使用得当，切尔诺贝利核电站事故是完全可以避免的（第三章详细介绍）。

可曾几何时，地球公转九圈之后，世界上第一座核电站轰轰烈烈地在前苏联运转起来，给人们送去了温暖，带来了希望和光明。于是，全世界人们欢呼雀跃，欢呼核能给人类带来了福音。事实上，几十年来，核能与核技术和平利用所取得的重大成果已向人们生动地展示，核能与核技术不仅仅是一种破坏性军事技术，而且是一种伟大的能改造世界的创造力量，可以为人类物质文明与精神文明作出重大的贡献。

从1896年天然放射性的发现至今，核能与核技术的发展已有96年的历史了（见附录）。发展过程可大致划分三个阶段。第一阶

段从 1896 年至 1942 年,为核基础研究阶段。在这一阶段,经过世界各国许许多多科学工作者的努力,取得了一系列基础研究的重大发现和突破。例如放射性的发现、原子核结构模型的建立、同位素概念的提出、人工放射性的发现等。这一阶段的研究成果为以后核技术的发展奠定了理论基础。第二阶段从 1942 年至 1945 年,为军事应用阶段。为了战争(第二次世界大战)的需要(赶在纳粹德国之前造出原子弹),美国集中了全世界优秀的科学家和巨额财力(约 23 亿美元),历时 4 年试验,爆炸了世界第一颗原子弹。之后,核能与核技术对整个世界政治产生的重大影响是人们有目共睹的。第三阶段从 1945 年至今,为军事应用与和平利用并举阶段。第二次世界大战结束以后,核技术开始大规模地转移到国民经济应用中。此外,美国为了巩固其核武器的世界垄断地位,保持军事优势,继续发展其核武器。而其他国家为了打破美国核垄断而加速进行核武器的试验。1949 年苏联、1952 年英国、1961 年法国、1964 年中国、1968 年印度也相继爆炸了自己的原子弹或核装置,打破了美国一家独霸的局面。在和平应用方面,自 1954 年苏联建成第一座核电站以后,核技术的应用出现了前所未有的高潮。核动力客轮下水、原子破冰船首航、辐射育种、辐射不育技术消灭病虫害、医用 γ 相机研制成功、放射性免疫测定技术的建立等等像雨后春笋,竞相开放,并转向解决紧迫的社会问题、技术问题及生物医学中的问题。例如环境污染与保护、海水淡化、能源开发、生物工程、癌症的诊断与治疗等等。到了 70 年代,核技术已在许多方面形成了新兴的产业,在西方发达国家,核技术的应用已经深入到国民经济的各个领域,技术日趋成熟,并不断取得新进展。进入 80 年代以后,随着计算机、快电子学以及其他新材料、新技术在核技术领域的广泛应用,使其出现了新的发展高潮,其应用领域更加广泛,发挥的作用也越来越大。应用核技术所取得的经济效益已构成世界国民经济总收入的 0.5%。其社会效益的影响就更大,仅就核技术在现代医学领域中的应用而言,已拯救了成千上万人的生命。表 1-1 给出了发达国家核技术应用经济效

益及研究经费情况。

表 1-1 发达国家核技术应用经济效益及研究经费(单位:万美元)

年 代	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980*	1985*
美国	经济效益	—	—	3100	10000	42000	85000	130000
	研究经费	1800	3300	4800	5940	10560	12960	14500
英国	经济效益	—	—	3300	4520	5050	15000	25000
	研究经费	140	390	870	940	1420	1520	1640
法国	经济效益	—	—	760	1100	2500	5000	14000
	研究经费	200	1480	3280	3440	3000	3510	3550
德国	经济效益	—	—	900	1450	3000	4800	9500
	研究经费	—	80	420	1230	2810	5400	4850
日本	经济效益	—	—	300	650	2000	4100	7500
	研究经费	—	20	60	90	320	1220	2850

*: 预测值

三、核能与核技术的未来

核能与核技术为什么会对人类进步产生如此深远的影响?

大家可以回顾一下自然的力量在世界历史进程中扮演的角色和发挥的作用。几十万年以前,我们的祖先是依靠自己的双手和臂膀养活自己并创造人类历史的。古埃及、古希腊和巴比伦的古代文明建立在奴隶的脊背之上。蒸汽机的发明和使用,导致了英国 18 世纪的工业革命,推动了人类社会的巨大变革。内燃机、汽轮机的出现使现代科学技术突飞猛进,导致了汽车、火车、轮船、飞机一一出现。

核能与核技术的应用,使人类社会进入了原子时代,并发生了根本性的改变。人类生活与生产将离不开核能与核技术。核电、核供暖、核医学、核农业、核工业、核军事等层出不穷。可以预测,下

个世纪将是核能与核技术全方位应用的新时代。

能源的开发利用对经济发展具有十分重要的意义。能源对于文明社会，犹如水和空气一样重要。随着人口的增长和时间的推移，能源的消耗量飞快地增长。例如 1956 年全世界石油消耗量为 240 亿吨，1966 年为 430 亿吨，到了 1976 年为 640 亿吨，平均每年以 20 亿吨的速度增加。表 1-2 为 1976 年世界一些国家和地区石油消耗情况。

表 1-2 1976 年世界一些国家和地区石油消耗情况

国家和地区	石油消耗量 (亿吨)	占世界总消 耗量百分比	人口数 (百万)	占世界总人 口的百分比	人均消耗 油量(吨)	世界 排位
美国和加拿大	201.6	31.3	240	6	8.4	1
比 利 时	4.6	0.7	10	0.025	4.6	2
前 西 德	26.1	4.1	61	0.15	4.3	3
前 苏 联	107	16.6	258	6.3	4.1	4
东 欧	41.8	6.5	107	2.6	3.9	5
法 国	17.9	2.8	52	0.13	3.4	6
日 本	35.6	5.5	112	2.8	3.2	7
西 欧	77	12.0	255	6.3	3.0	8
拉丁美洲	31.5	4.9	353	8.2	0.95	9
中 国	41.5	6.5	852	21.0	0.48	10
亚太地区	45.6	7.1	1352	33.0	0.34	11
非 洲	12.8	1.9	412	10.2	0.31	12
总 计	643.2		4064		1.6	

根据地球上目前已查明的有开采价值的石油和煤的储藏量计算(每吨石油相当于 1.4 吨煤的发热量)，若按保守的估计，即保持原有的耗能水平，地球上煤的开采只能维持 200 年，而石油和天然气只能维持 50 年左右；若全世界均按美国和加拿大的耗能水平(人均 8.4 吨/年)计算，即使人口增长率为零，地球上煤的开采