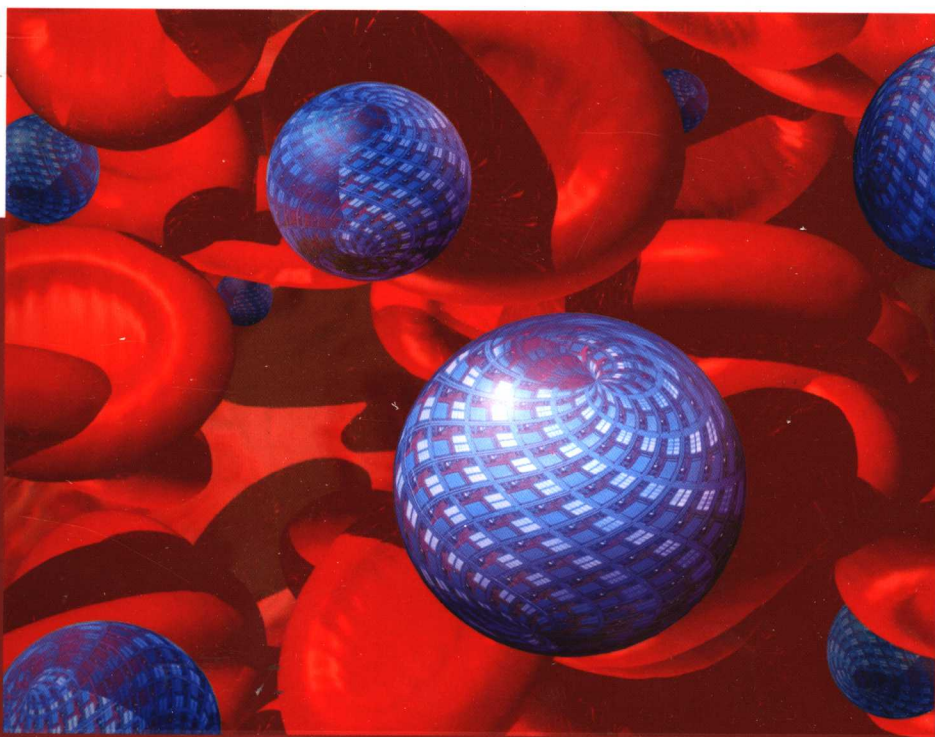


纳米生物技术丛书

纳米药物学

NanoPharmacology

张阳德 编著



化学工业出版社

现代生物技术与医药科技出版中心

纳米生物技术丛书

纳米药物学

张阳德 编著



化学工业出版社

现代生物技术与医药科技出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

纳米药理学/张阳德编著. —北京: 化学工业出版社,
2005. 10

(纳米生物技术丛书)

ISBN 7-5025-7724-6

I. 纳… II. 张… III. 纳米材料-应用-药理学
IV. R9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 116715 号

纳米生物技术丛书

纳 米 药 物 学

张阳德 编著

责任编辑: 邵桂林 孙小芳

责任校对: 战河红

封面设计: 关 飞

*

化 学 工 业 出 版 社
现代生物技术与医药科技出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷有限责任公司印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 18 1/4 字数 321 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7724-6

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序 一

纳米技术是一门新兴的技术。21 世纪初,随着美国实施全国纳米科技计划,带动了全世界对该学科的研究。许多国家都相继制定了本国的纳米科技发展战略,并投入了较多的人力和物力,积极抢占战略制高点,旨在在新一轮的科技和经济竞争中获取较多的领先优势。

纳米科技属于前沿的交叉性科技。近几年,科技界更加注意纳米技术与生物技术、信息技术和认知科学的结合,即 NBIC 技术。纳米技术与生物技术的融合,使纳米生物技术在近几年获得了很多重要的进展,无论在新原理的发展,新技术、新方法的发明,还是在开拓新应用领域方面,都引起了科学界和产业界的重视。

国际上纳米生物技术的研究范围涉及纳米生物材料、药物和基因转运纳米载体、纳米生物相容性人工器官、纳米生物传感器和成像技术,以及利用扫描探针显微镜分析蛋白质和 DNA 的结构与功能等重要领域。我国纳米生物技术研究在纳米科技国际竞争的大环境中具有自身优势:第一,纳米科技的研究力量基本形成,我国是世界上少数几个从 20 世纪 90 年代就重视纳米材料研究的国家之一,现已形成在国际上有影响的、高水平的研究队伍,也建立了一些高水平的研究基地;第二,我国具有多种纳米材料的矿物资源和生物资源;第三,我国具有巨大的潜在市场。这些因素都有利于提高我国的竞争力。

本套《纳米生物技术丛书》由《纳米生物材料学》、《纳米生物分析化学与分子生物学》、《纳米药理学》、《纳米技术与医疗仪器学》四个分册组成。本丛书的编著者张阳德教授在中国率先开展纳米生物技术研究,担任国家“863 计划”主题管理专家,领导国家卫生部纳米生物技术重点实验室在纳米生物技术领域完成了大量卓有成效的工作。本丛书较详细地介绍了纳米生物材料、纳米生物分析技术、纳米药物和纳米医疗器械方面的最新发展及动态。这套丛书的出版,将弥补这一新学科领域专业书籍不足之缺陷,对医学领域的基础和临床研究、新药物研究开发和生产、农业现代化、生物医学工程交叉学科关键技术研究等有较高的参考价值,对推动我国纳米生物技术的发展有重要指导作

用。这套丛书也可作为多学科领域研究生和本科生的教材。



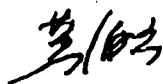
(作序者为中国科学院常务副院长、中国科学技术
协会副主席、中国科学院院士、第三世界科学院院士、
国家纳米科技指导协调委员会首席科学家、中国科学院
纳米中心学术委员会主任)

序 二

自 1959 年诺贝尔物理学奖得主费因曼 (R. Feynman) 在美国加州作题为“在底部还有很大空间”的讲演中提出“纳米科技”这一初始概念以来,纳米科技正以人们未能预料的速度迅速发展。纳米技术是一项涵盖生物学、化学和物理学的多学科跨领域技术,是继信息技术和生物技术之后,影响社会经济发展的又一重大技术,是在纳米尺度上研究物质结构与反应机理,进行纳米结构表征与检测的技术。这些技术及成果支撑了这个多学科交叉的科学研究领域,将引起众多领域产生一场革命性的变化,也将成为每个国家不容小觑的巨大产业。

同时,随着纳米科技的发展及其向医学领域的渗透,一门崭新的学科——纳米生物技术学便由此产生,并以其强劲的生命力,为现代医学的诊断和治疗带来一场跨世纪的革命。纳米生物技术在医学中的应用包括疾病早期诊治、纳米生物相容性材料、药物和基因输送系统、纳米生物传感器、成像技术诊断辅助设备、减少损伤的智能医学设备等重要领域。这些领域中的研究及应用现已显示或必将显示其巨大的优势及前景。由于纳米生物技术是一门全新的技术,为推动纳米技术在生物领域的发展,《纳米生物技术丛书》的出版就显得非常必要了。

《纳米生物技术丛书》(包括《纳米生物材料学》、《纳米生物分析化学与分子生物学》、《纳米药理学》、《纳米技术与医疗仪器学》)是由国家“863 计划”主题管理专家、国家卫生部纳米生物技术重点实验室主任、卫生部肝胆肠外科研究中心主任、中南大学生物医学工程研究院院长、博士生导师张阳德教授主持编著的。他 20 世纪 90 年代初在国内外最先开展了“磁纳米粒阿霉素白蛋白治疗肝癌”、“纳米中药制剂与加工”、“纳米药物载体”等前沿课题研究。这套丛书理论与实践相结合,从纳米药物、纳米生物材料、纳米生物化学与分子生物学及纳米医疗器械等方面对纳米生物技术作了详尽而系统的介绍,是一套学术性、可读性很强的丛书,可作为生物学、材料学、药学、生物工程与医疗器械研究人员、医师和教师的参考书和高等院校教材。



(作序者为国家“863 计划”新材料领域专家委员会主任、中国工程院院士、中南大学校长)

前 言

随着科学的进步和人们生活水平的提高,人们希望有更加高效、低毒、使用方便的药物用于疾病的预防、诊断和治疗,尤其在治疗方面。

众所周知,许多药物在临床应用时发挥了良好的治疗作用,但有的药物由于副作用或对人体的毒性较明显,影响了其疗效和应用,从而成为“双刃剑”,导致病人不能坚持用药,影响了对疾病的治疗。这在抗癌药物应用时表现得尤为突出。有的药物由于自身化学和生物特性,导致只能注射给药,这给患慢性病的病人用药带来了不便。有的药物在体外表现出很强的生物活性,但在体内时生物利用度却表现得较低,有的甚至不能穿透生物屏障到达靶器官或组织,不能发挥应有的生物药物治疗效应等。这些都是药学领域专家希望解决的问题。

多年来,为了解决影响药物在临床应用中存在的这些问题,药物学家们在药物的分子结构改造、药物剂型优选等方面进行了大量的工作,虽然取得了一些可喜的成绩,但仍有一些问题得不到满意的解决。

1990年7月,在美国巴尔的摩召开的第一届国际纳米科学与纳米技术会上提出了“纳米技术”(nano scale technology)这一新概念。纳米技术是一门在0.1~100nm空间尺度内操纵原子和分子,对材料进行加工、制造具有特定功能的产品,或对物质进行研究、掌握其原子和分子的规律和特征的高新技术学科。纳米技术及纳米材料的发展,将为生命科学和生物医药研究提供一种新的有效的手段。

纳米药物具有许多优点,如稳定性好、对胃肠刺激性小、毒副作用小、生物利用度高、具有靶向性和缓释功能等。如用纳米技术研制的“纳米生物导弹”,可使病毒灭活,癌细胞变性坏死。由此,用与传统意义不同的思维和方法,将纳米技术用于药物研究和开发,制备或合成新的纳米药物,将对疾病的治疗带来突破性的进展,同时也是一项极富挑战性、有重大科学和进步意义的创新工作,将成为现代药物研究发展的一个重要方向,将推动药物生产革命。一门新的学科——纳米药物学也逐渐形成。目前,发达国家现都陆续注重纳米药物的研究与发展,投入了大量经费,成立了许多纳米科技研究机构,并认为

用纳米生物技术研制纳米药物将成为一个新的经济增长点，有重要的战略发展意义。

1994年我们在国内外领先开展了“磁纳米粒白蛋白阿霉素治疗晚期肝癌”这一探索性的研究。10多年来，积累了一些研究经验和取得了一些研究成果，目前已进入临床前申报新药工作，并发表了21篇学术论文，申请了2项国际发明专利、4项国家发明专利，出版专著5部，新创“纳米生物技术学”和“纳米药理学”学科。

自2001年担任国家十五“863计划”专家委员会主题管理专家，负责纳米生物技术和药物筛选专题课题管理工作以来，我与专家组的其它学科专家一起在全国选择合理布点，选择全国有研究基础的名校、科研院所、企业承担了国家“863计划”的纳米生物技术课题任务，并组织跨单位、多学科联合研究，尽力使相关课题得到较快的进展。

为配合国家“863计划”高新技术项目的宣传，我撰写了题为“纳米生物技术现状与展望”一文，介绍了该技术的科学性和战略发展意义，并于2001年11月5日在中国《科技日报》整版发表。2003年11月3日又在《科技日报》整版发表题为“我国纳米生物医药科技发展的战略思考”一文，总结了我国“十五”计划期间，2001~2003年国家“863计划”纳米生物技术专题的若干研究课题。这些研究都达到或超过了原定的工作任务，整体专题成果超过了预期规定的目标。与国外科技发达国家比较，中国在纳米生物技术这一领域现已处于世界先进水平，其中部分项目达国际领先水平。这些研究成果也证明了10多年来中国的纳米生物技术的发展是成功的。

在总结前期工作的基础上，近两年我编著了《纳米生物技术学》及《纳米生物技术丛书》（含《纳米药理学》、《纳米生物分析化学与分子生物学》、《纳米生物材料学》《纳米技术与医疗仪器学》），《纳米生物技术丛书》较详细地介绍了纳米生物科技领域的发展和应用现状，并且《纳米药理学》、《纳米生物技术学》、《纳米生物分析化学与分子生物学》均为目前国内外第一部较系统地阐述这一新学科发展及技术的专著。

同时，我和国内外同行专家在美国创办了《纳米科学》杂志（英文版）、成立了“美国纳米科学技术协会”，并担任杂志主编、协会主席，为促进中美、中国和其它国家纳米生物技术的交流与合作，为新创“纳米生物技术学科”、“纳米药理学”做了大量实际的工作。

《纳米药理学》是国内外第一部关于纳米药理学方面的专著。本书从学科发展需要和临床医疗需求方面出发，较详尽地介绍了多学科交叉融合研制纳米药物的概念、原理、方法和临床应用等，具体内容包括引言、上篇、下篇和

附录四个部分。其中,引言主要介绍纳米技术的概念及纳米技术在医学和药学领域的应用和发展概况;上篇主要介绍了各种纳米给药系统的特点和应用;下篇主要介绍了各种纳米药物制剂的创新构建和制备技术;附录主要介绍了纳米科技发展历程中的一些重大事件。本书涉及药理学、纳米生物技术学、临床医学、化学、材料学、生物信息学等多个学科领域,所阐述的内容是多个学科的有机结合。

《纳米生物技术丛书》的创作与构思从一开始就承蒙国内外多位专家的支持和指教,获得白春礼院士、黄伯云院士、裘法祖院士、钟南山院士、何继善院士、姚开泰院士、魏于全院士、周宏灏院士、曹雪涛院士、王宇研究员、王宏广研究员、祁国明研究员、刘雁飞研究员、王琛研究员、江雷研究员、李玉宝教授、王小宁教授、陈志南教授、顾宁教授、裴雪涛教授、朱桢教授、Philip Martin, Ph. D., T. Reinhard, Ph. D., M. Johnson, Ph. D., J. L. Willians, Ph. D., Jonathan M. Sackier, M. D., Günter Rolf Fuhr, Ph. D., David L. Bartlett, M. D., Clakr K Lum, Ph. D., Haowei Zhang, M. D., Reinhard Tomsik, M. D. 等的热情帮助,在此表示衷心的感谢,并特别感谢白春礼院士(中国科学院常务副院长、中国国家纳米科学中心主任、中国化学学会主席、化学家)、黄伯云院士(中南大学校长、中国国家“863 计划”新材料领域专家委员会主任、材料学家)为本丛书作序。

本书为力求反映本领域的最新进展,使其具有新颖性、科学性,写作过程中多次经过修改,工作量很大。在此过程中,李新中、刘新生、张浩伟、张怡、王欣、王苏阳、李晓莉、张宗久、顾红、周健、江捍平、齐贵新、刘勇、赵明钢、李异凡、翟登高、彭健等教授和博士做了大量的编校工作,为保证本书的质量和出版付出了辛勤的劳动,在此一并表示衷心的感谢。

由于纳米药理学是多学科交叉、新的边缘学科,许多概念、认识、技术和内容都在不断形成和发展之中,许多观点和经验还有待实践的检验。因此,本书在内容选择、深度和观点阐述等方面难免有不足之处,期望各位专家和同仁不吝指正。本书可作为临床医学、药理学、生物学、化学、生物医学工程学、材料学、生物信息学等专业的本科生、研究生的教材,以及研究人员的参考用书。

张阳德
2005 年 8 月

目 录

引言	1
第一节 纳米技术的基本概念	1
第二节 纳米技术的重要地位	2
第三节 国内外纳米技术在产业中的应用	4
第四节 纳米生物技术的现状与发展	6
参考文献	9

上篇 纳米给药系统

第一章 药物的传递系统	13
第一节 常规药物剂型及制剂	14
第二节 缓控释给药系统	14
第三节 靶向给药系统	21
参考文献	33
第二章 纳米乳给药系统	35
第一节 纳米乳剂概述	35
第二节 纳米乳剂在医药领域中的应用	38
参考文献	42
第三章 纳米粒给药系统	43
第一节 纳米粒药物载体概述	43
第二节 纳米粒的种类	43
第三节 纳米粒的载药和表面修饰	47
第四节 纳米粒在医药领域中的应用及体内过程研究	48
第五节 纳米粒在医药领域中的最新研究进展	49
第六节 将来的纳米药物制剂	57
参考文献	58
第四章 纳米脂质体	60

第一节	纳米脂质体概述	60
第二节	纳米脂质体的应用	62
	参考文献	66
第五章	固体脂质纳米粒	68
第一节	固体脂质纳米粒概述及其制备方法简介	68
第二节	影响固体脂质纳米粒粒径的因素	68
第三节	载体的降解与释药	71
第四节	固体脂质纳米粒给药途径研究	74
第五节	固体脂质纳米粒稳定性研究	77
第六节	固体脂质纳米粒的毒性研究	78
第七节	载药固体脂质纳米粒的药效学研究	78
第八节	固体脂质纳米粒存在的问题及展望	78
	参考文献	80
第六章	磁性纳米载体	83
第一节	概述	83
第二节	磁性纳米颗粒在提高药物靶向性方面的应用	88
第三节	磁性纳米材料在临床磁共振成像中的应用	95
第四节	磁性纳米材料制备的免疫磁性微球在生物学中的应用	99
	参考文献	106
第七章	长循环纳米载体	108
第一节	概述	108
第二节	长循环纳米粒的生理基础	109
第三节	隐形机制	109
第四节	延长纳米粒体内循环时间的方法	115
第五节	影响纳米粒体内分布及循环时间的因素	116
第六节	长循环纳米粒的制备方法	118
第七节	长循环纳米粒的评价方法	119
第八节	生物降解聚合物纳米粒长循环的途径	119
第九节	长循环纳米粒的应用前景	123
	参考文献	123
第八章	温度敏感性纳米载体	126
第一节	概述	126
第二节	热敏脂质体的释药原理	126

第三节	制备热敏脂质体的材料及其特点	127
第四节	适于制备热敏脂质体的药物	127
第五节	热敏脂质体的评价	128
	参考文献	128
第九章	pH 敏感性与光敏感性纳米载体	130
第一节	概述	130
第二节	应用研究	130
	参考文献	131
第十章	免疫纳米载体	133
第一节	概述	133
第二节	纳米载体在疫苗及其佐剂中的应用	134
第三节	问题与展望	138
	参考文献	138
第十一章	纳米基因载体	141
第一节	概述	141
第二节	纳米基因载体制备方法简介	141
第三节	纳米基因载体的表面修饰	142
第四节	纳米基因载体的 DNA 加载方式及 DNA 的释放	143
第五节	纳米微粒-DNA 复合物的体内分布及其携带基因的转染率	144
第六节	纳米颗粒在基因转染中的作用	144
第七节	纳米载体介导的基因入胞机制	146
第八节	运载反义寡核苷酸的纳米控释系统	146
第九节	与其他载体的比较	149
第十节	展望	151
	参考文献	151
第十二章	纳米中医药	156
第一节	纳米中药及纳米中医药学的定义	156
第二节	纳米技术在中医药研究开发中的重要性和必要性	156
第三节	纳米中药的制备技术	157
第四节	中药纳米化所面临的问题及纳米技术在中医药 领域中的应用前景	159
	参考文献	159

下篇 纳米药物制剂技术

第十三章	纳米乳与亚纳米乳的制备技术	163
-------------	----------------------	-----

第一节	概述	163
第二节	纳米乳的形成机理	164
第三节	纳米乳的结构类型及其理论	165
第四节	常用乳化剂与助乳化剂	168
第五节	纳米乳的形成条件	169
第六节	纳米乳的制备	171
第七节	亚纳米乳的制备	180
第八节	质量评价	182
第九节	纳米乳制剂	185
	参考文献	187
第十四章	纳米粒制备技术	189
第一节	概述	189
第二节	纳米粒的制备材料	190
第三节	纳米粒的制备方法	198
第四节	纳米粒的质量评价	222
第五节	纳米粒的体外释药	228
第六节	纳米粒的体内分布及应用	233
	参考文献	237
第十五章	固体脂质纳米粒的制备技术	240
第一节	概述	240
第二节	固体脂质纳米粒的制备方法	243
第三节	不同制备工艺的比较	246
第四节	固体脂质纳米粒胶体分散系的灭菌与干燥	247
第五节	固体脂质纳米粒质量和结构特征	252
第六节	固体脂质纳米粒的制备和储存中可能出现的问题	256
第七节	药代动力学类型	261
第八节	固体脂质纳米粒的安全性	261
第九节	固体脂质纳米粒的应用	263
第十节	展望	264
	参考文献	265
附录		270
	纳米科技大事记	270
	Memorabilia of Nanotechnology	274

引 言

所谓纳米技术，是指用数千个分子或原子制造新型材料或微型器件的科学技术。纳米技术是一门高新技术，它对 21 世纪材料科学和微型器件技术的发展具有重要影响。纳米技术涉及的范围很广，纳米材料只是其中的一部分，但它却是纳米技术发展的基础。

纳米技术在现代科技和工业领域有着广泛的应用前景。例如，在信息技术领域，据估计，再有 10 年左右的时间，现在普遍使用的数据处理和存储技术将达到最终极限，为获得更强大的信息处理能力，人们正在开发 DNA 计算机和量子计算机，而制造这两种计算机都需要有控制单个分子和原子的技术能力。在医药技术领域，纳米技术也有着广泛的应用前景。如用纳米技术制造的微型机器人，可将它安全地置入人体内对健康状况进行检测，必要时还可用它直接进行治疗；用纳米技术制造的“芯片实验室”可对血液和病毒进行检测，几分钟即可获得检测结果；科学家还可以用纳米材料开发出一种新型药物输送系统，这种输送系统是由一种内含药物的纳米球组成的，这种纳米球外面有一种保护性涂层，可在血液中循环而不会受到人体免疫系统的攻击，如果使其具备识别癌细胞的能力，它就可直接将药物送到癌变部位，而不会对健康组织造成损害。

除此之外，纳米技术在工业制造、国防建设、环境监测、光学器件和平面显示系统等领域也有广泛的用途，对 21 世纪科技发展具有重要作用。

据研究，到 2010 年，纳米技术将成为仅次于芯片制造的世界第二大产业，拥有数百亿英镑的市场份额。为此，2004 年 7 月，英国贸工部在新发表的科技与创新白皮书中，已将纳米技术列为 21 世纪科技发展的重点，加速该领域的发展。正如科学家所预测：纳米技术这一新兴的高科技领域，将成为 21 世纪一颗新的科技明星。

第一节 纳米技术的基本概念

所谓“纳米”，原来只是一种计量单位，就像毫米、微米一样是一个尺度概念，是 10^{-9}m ，并没有物理内涵。当物质到纳米尺度以后，大约是在 $1\sim 100\text{nm}$ 这个范围空间，物质的性能就会发生突变，出现特殊性能。这种既具

不同于原来组成的原子、分子，也不同于宏观的物质的特殊性能构成的材料即为纳米材料。如果仅仅是尺度达到纳米，而没有特殊性能的材料，也不能称为纳米材料。过去，人们只注重原子、分子或者宇宙空间，常常忽略这个中间领域，而这个领域实际上大量存在于自然界，只是以前没有认识到这个尺度范围的性能。第一个真正认识到它的性能并引用纳米概念的是日本科学家，他们在 20 世纪 70 年代用蒸发法做了超微离子，并通过研究它的性能发现，一个导电、导热的铜、银导体做成纳米尺度以后，它就失去原来的性质，表现出既不导电、也不导热的特性。磁性材料也是如此，像铁钴合金，把它做成大约 20~30nm 大小的材料后，磁畴就变成单磁畴，它的磁性要比原来高 1000 倍。20 世纪 80 年代中期，人们就正式把这类材料命名为纳米材料。

纳米技术是一种在纳米尺度空间内的生产方式和工作方式，并在纳米空间认识自然、创造一种新的技能。例如进入血管的机器人很小，将来它要工作的工具就必须是纳米材料。最近，科学家已经发明了纳米铲子、纳米勺子，血管机器人可以在血管里用这些工具来进行操作，这就是纳米工具，而不像现在的工具这样。

纳米技术的内涵非常广泛，它包括纳米材料的制造技术，纳米材料向各个领域应用的技术（含高科技领域），在纳米空间构筑一个器件实现对原子、分子的翻切、操作以及在纳米微区内对物质传输和能量传输新规律的认识等。但是，不要把纳米技术仅仅看作是纳米材料，也不能把纳米材料仅仅理解为是纳米粉体。纳米粉体仅仅是纳米材料中的一类，实际上纳米丝、纳米管、纳米线、纳米电缆、纳米薄膜、三维纳米块体等都是纳米材料。另外，纳米材料不单纯是固态的，也有液态，例如纳米水。

第二节 纳米技术的重要地位

2000 年 3 月，美国总统克林顿向国会发布了关于美国纳米技术促进计划，标题是《纳米技术：要引发下一场工业革命》。这个报告一经发布，立即在全世界引起强烈反响。接着，中国、日本、欧洲各国及其他一些发展中国家也把发展纳米技术作为极其重要的战略决策来进行实施。

纳米技术是 21 世纪科技发展的制高点，是新工业革命的主导技术。原因是这种技术能对社会发展、经济振兴、国家安全乃至人民生活水平的提高等各个领域都起到关键作用，而且这种技术影响面极广，向各个领域渗透能力相当强，可以带动很多行业的发展。

纳米技术是 21 世纪的主导技术，主要体现在以下几个方面。

① 从信息技术及其产业发展来看, 计算机技术从 20 世纪 70 年代开始, 每 5~7 年都有一个大变化。一是每 18 个月单位面积存储信息量要增加 1 倍, 而且价格更便宜; 二是计算机每隔 5~7 年尺寸要缩小为原来的 $1/10$, 价格降至原来的 $1/10$, 同时计算的速度提高 10 倍。1998 年, 美国明尼苏达大学率先研制出量子磁盘, 已经进入市场, 2005 年将创造 400 亿美元的产值。一个量子磁盘只有 100nm 大小, 完全是纳米阵列, 它的存储密度是 465G, 相当于 10^{11} , 我国现在的磁盘是 10^6 , 一个量子磁盘相当于现在的 10 万~100 万个磁盘。这样一种器件就要用纳米材料在纳米尺度内加工制成。

② 从生物技术及其产业发展来看, 在人类测定出基因组排序以后, 人们对遗传疾病、疑难病症又有了新的认识, 而且利用基因排序, 可以进行医药、医疗方面的研究。目前, 基因芯片研究已经进入实验室, 生物芯片组装用到的就是纳米技术, 而生物酶的大小也是纳米尺度。这些研究对象是纳米生物学研究内涵之一, 下一步生物技术的发展就要和纳米技术相结合。譬如, 为什么现在没有一种药物能治疗病毒, 就因为它非常小。用纳米结构组装一种寻找病毒的药物后, 艾滋病、病毒性感冒等都可以治疗, 2003 年以后这已成为又一个研究热点。生物技术, 包括生物制药等相关产业发展应用纳米技术已是刻不容缓。

③ 从下一次工业革命的特点来看, 节约资源、节约能源、净化环境是下一次工业革命的必然趋势。在下次工业革命中要想节约资源、能源, 就要用纳米尺度的材料做成器件, 它的特点是工具小、节省材料、能耗低。因此纳米技术在新的工业革命中将发挥重要的作用。

④ 从纳米产业未来的市场发展来看, 世界各国正在纷纷抢占纳米产业这个巨大的市场。对未来纳米材料所创造的产值, 德国早在 1997 年就预测 2000 年全世界纳米技术和相关产业的产值为 3700 亿马克。实际上 2000 年的产值是 3700 亿美元, 而且主体纳米材料产业的贡献比较大, 2005 年是 7800 亿马克, 到 2010 年要达到 22000 亿马克, 按当时比价可达 14400 亿美元。在这个市场中, 美国要占据一半, 几乎也是接近全世界的一半。近年来, 美国、日本、德国加大了对纳米技术研究的投资力度。1997~2000 年, 美国是 1.9 亿美元, 日本 1.98 亿美元。但在 2000 年, 美国在这方面的研究投资增加了一倍, 达 4.98 亿美元, 尽管日本经济不太景气, 仍投入了 4.2 亿美元, 德国决策投资 3.7 亿美元。我国也十分重视在这方面的投入, 2000 年, 朱镕基总理接见中国科学院副院长白春礼院士时说, 中国也要投资 5 亿人民币, 5 年累计投入 25 亿来发展纳米技术。中国成立的纳米科技协调指导委员会组织专家起草了《中国纳米科技发展纲要》(简称《纲要》)。《纲要》提出, 除了支持现有项目外,

还要开展若干个纳米专项研究，建立两个技术平台、若干个核心实验室，要在全国布局若干个纳米技术工程示范中心，建立若干个示范产业，而且要辐射若干个相关产业。

21 世纪前 20 年是发展纳米技术的关键时期，纳米技术将成为第五次推动社会经济各领域快速发展的主导技术。目前，纳米技术已经成为全世界非常关注的技术，纳电子代替微电子，纳加工代替微加工，纳米材料代替微米材料，纳米生物技术代替微米尺度的生物技术，这已是不以人的意志为转移的客观规律，只有认识它、发展它，才有可能在未来经济竞争的格局中占据有利地位。

第三节 国内外纳米技术在产业中的应用

一、环境产业中的纳米技术

纳米技术对空气中 20nm 以及水中的 200nm 污染物的降解是不可替代的。要净化环境，必须用纳米技术。现在已经成功制备了一种对甲醛、氮氧化物、一氧化碳能够降解的设备，可使空气中大于 10^{-5} （体积分数）的有害气体降低到 10^{-7} （体积分数），该设备已进入实用化生产阶段；利用多孔小球组合光催化纳米材料的技术，已成功应用于污水中有机物的降解，对苯酚等其他传统技术难以降解的有机污染物，有很好的降解效果。近年来，不少公司致力于把光催化等纳米技术移植到水处理产业用于提高水的质量，已初见成效；采用稀土氧化铈和贵金属纳米组合技术对汽车尾气处理器件的改造效果也很明显；治理淡水湖内藻类引起的污染的技术，最近已在实验室初步研究成功。

二、信息产业中的纳米技术

纳米技术在信息产业中的应用主要表现在 3 个方面。①应用于光电子器件、分子电子器件、巨磁电子器件。②网络通讯中关键纳米器件（如网络通讯中激光器、过滤器、谐振器、微电容、微电极等）的研制。③压敏电阻、非线性电阻等的改性，如可添加氧化锌纳米材料进行改性。

三、能源产业中的纳米技术

合理利用传统能源和开发新能源是中国当前和今后的一项重要任务。在合理利用传统能源方面，现在应用的主要是净化剂、助燃剂，它们能使煤充分燃烧，燃烧中产生自循环，使硫减少排放，不再需要辅助装置。另外，利用纳米技术改进汽油、柴油的添加剂已经有了，实际上它是一种液态小分子可燃烧的