

# Intelligent Material



# 智能材料

## ——未来材料的宠儿

许淑玉◎编著

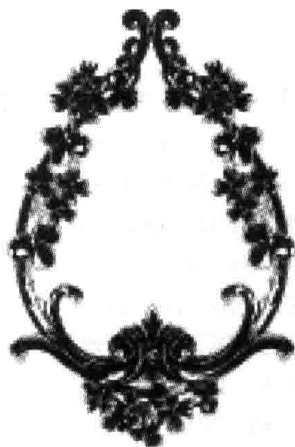


青少年科学知识丛书

# 智能材料

——未来材料的宠儿

许淑玉 编著



中国财政经济出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

智能材料：未来材料的宠儿/许淑玉编著. —北京：  
中国财政经济出版社，2013. 1  
（青少年科学知识丛书）  
ISBN 978 - 7 - 5095 - 4238 - 5

智… II. ①许… III. ①智能材料 - 青年读物②智能材料 - 少年读物  
IV. ①TB381 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 320233 号

责任编辑：刘瑞思  
封面设计：佳图堂设计工坊

**中国财政经济出版社** 出版

URL: <http://www.cfeph.cn>

E-mail: [cfeph@cfeph.cn](mailto:cfeph@cfeph.cn)

（版权所有 翻印必究）

社址：北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮政编码：100142

发行电话：010 - 88190406 财经书店电话：010 - 64033436（传真）

三河市航远印刷有限公司 各地新华书店经销

787 × 1092 毫米 16 开 12 印张 215 千字

2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月北京第 1 次印刷

定价：21.60 元

ISBN 978 - 7 - 5095 - 4238 - 5/TB. 0004

（图书出现印装问题，本社负责调换）

本社质量投诉电话：010 - 88190744



# 前 言

## 前 言

人类社会的漫漫征程是伴随着对自然界认识水平的不断深入，利用能力的不断提高而不断发展的。可以说，能源材料推动了人类文明的实现。

科学进步、经济社会发展和人类生活的需求，使能源材料消费量不断增加。人们对能源材料的需求日益增长，作为人类目前主要能源材料来源的化石储藏量却迅速地减少。

赖以生存的化石能源等自然界留给我们的宝贵财产终将耗尽，不可想象，如果这一天到来我们人类世界将会怎样。因此，寻找新的替代能源和新材料来保证社会的可持续发展早已成为全球性问题，寻找一种可再生的替代能源和新材料便成为科学界的研究方向。

新能源材料相比传统能源，将具有“取之不尽、用之不竭”的特点，故也称之为“绿色能源材料”。对新能源材料开发利用有利于环境保护，可有效替代化石能源的绿色能源，是人类减少污染物排放，保护环境，实现可持续发展的需要，因此也成为各国技术创新应对气候变化的重要战略措施。

本套丛书包括氢能、生物质能、智能材料、稀土、可燃冰、纤维、金属、海洋能、电池、地热能等，不仅有对新能源材料开发的详尽介绍，也有对传统能源材料利用前景的描述，展示了一幅新能源材料利用的美好图景。

丛书不仅有详细的文字，还有大量的图片，帮助读者了解新能源、新材料，期待着青少年朋友走进新兴科学天地，投身科学探索之路。



# 目 录

一、材料时代的新星——智能材料 .....	1
1. 材料发展的历史回顾 .....	1
2. 智能材料——材料时代的新变革者 .....	7
3. 智能材料的构成 .....	12
4. 智能材料的功能 .....	18
5. 国外智能材料研究 .....	23
二、智能材料的种类 .....	26
1. 压电材料、元件 .....	26
2. 形状记忆合金 .....	35
3. 机敏、灵巧材料 .....	39
4. 形状记忆聚合物 .....	44



三、智能材料在建筑中的应用 .....	47
1. 钢筋混凝土 .....	47
2. 机敏混凝土 .....	51
3. 碳纤维混凝土 .....	56
4. 水泥基智能材料 .....	61
5. 桥梁工程中的智能监测 .....	66
6. 混凝土固化中的监测 .....	72
四、智能材料在生活中的应用 .....	76
1. 人造器官中的智能材料 .....	76
2. 智能控制和智能生活方式 .....	81
3. 智能材料与住宅智能化 .....	85
五、智能材料在航空中的应用 .....	90
1. 航天技术领域的应用 .....	90
2. 航空工业的应用 .....	99
3. 封闭空间主动降噪智能结构 .....	108
4. 翼面结构设计中的应用 .....	114
5. 翼面结构工程化的应用 .....	119
6. 大型空间站和轨道平台技术 .....	124



六、典型智能材料及其智能化应用 .....	127
1. “凯夫拉”材料 .....	127
2. 氧化锆材料及其应用 .....	131
3. 替代硅的高分子聚合物 .....	135
4. “脚手架”修补骨骼 .....	139
5. 能“记忆”的玻璃 .....	143
6. 合金的遗传 .....	147
7. 人造胶原质血管 .....	150
8. 电器控制开关 .....	154
9. 智能涂料“感知”温度 .....	158
10. 时软时硬的新型塑料 .....	161
11. 仿生传感器 .....	164



## 材料时代的新星——智能材料

### 1 材料发展的历史回顾

材  
料  
时  
代  
的  
新  
星  
|  
|  
智  
能  
材  
料



#### 知识导言

材料的发展直接影响着人类的文明。人类的材料历史可以分为石器时代、青铜器时代和铁器时代等，每一新时代的到來都是由于人类对生活更高的追求而造成的。在20世纪末和21世纪初，随着人类对先进技术的不懈追求，合成材料，包括陶瓷、塑料以及各种复合材料在材料领域中逐渐占据统治地位。

人类最早以天然材料作为工具，这些材料包括纤维、皮、骨骼、兽角以及矿石。在旧石器时代，人类通过摩擦铁矿石和燧石产生火星，用来点燃易燃材料。随着人类开始食用煮熟食物，需要烧水、



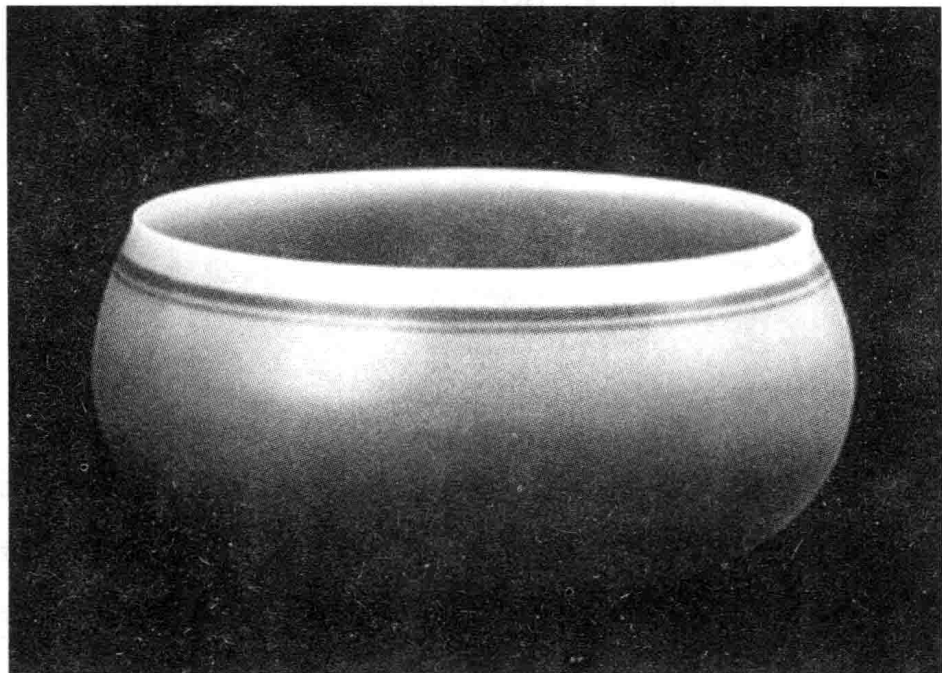
双面砍砸石器

煮烹的用具，就促进了陶瓷的发展，将柔软的粘土制成石头一样坚硬的材料。在新石器时代，人们开始用不同的材料装饰陶器和窑洞；采用木





头、石头制成各种工具去耕地、收割谷物及碾磨谷粉；并用纤维、亚麻、芦苇和动物毛发织成各种布。在新石器时代后期，人们由于书写的要求，开始利用太阳的热量晒干粘土片，在上面书写文字。高温窑的发明促进了金属的冶炼，出现了青铜和铁器。



陶瓷

青铜器时代是从公元前 3500 年到公元前 1000 年，青铜由铜和锡组成，是人类最早发明的合金。这个时代的工具和武器是用青铜制成的，反映了人们已利用铸造技术生产工具和武器。这个时代的典型手工艺品是杯、缸、装饰品、盔、剑和盾。科学的进步，使人们知道了铁矿石的存在，但由于炼铁需要  $1500^{\circ}\text{C}$  的高温设备，炼铜仅需  $900^{\circ}\text{C}$ ，因此炼铜出现在炼铁之前。

铁器时代起源于公元前 1500 年的亚洲。铁比铜坚硬，来源又丰富。铁器时代的早期，科学家阿基米德发明了多种机械设备，如滑轮、杠



杆、液压机和螺旋切割机等，促进了铁器时代的发展。另外，水泥的发现影响了整个欧洲，这种结构材料很快用于路面、建筑物、桥梁和沟渠等方面。



青铜器

天然磁铁很早就被中国人发现，并应用它发明了指南针，以后世界各国在航海中都加以应用，促进了世界贸易的发展。直到18世纪钢出现以前，铁一直是社会中的主要材料。钢和铁的应用也促进了英国的工业革命。



铁犁头

青铜、铁、钢等都是应用天然材料制成的，它们的制作成本高，原料受区域的限制，因此合成材料就应运而生了。1860年，在实验室中发明了赛璐珞、假象牙，1908年发明了合成玻璃纸，1909年发明了酚醛塑料。合成材料的发展越来越受重视，塑料工业也迅速发展起来。由于构成合成材料的主要元素为碳、氢、氧和氮，它们可以从煤、石灰石、石油和水中得到，恰当地将它们合成一些微结构，就能得到符合需要的合成材料，可以做成硬的、软的、防水的、透明的、耐腐蚀的和隔热的各种产品。由于合成材料的可塑性和可裁性，易于建成加工流水线，目前已在多种工业中代替金属，如汽车外壳、电器外壳、包装件、医疗器械和人工器官等。在合成材料中，尤其引人注目的是纤维复合材料，它是由纤维和基体等两种或两种以上单元材料结合而成。新一代复合材料的特点是重量轻、强度硬度高、耐腐蚀。航空工业采用碳纤维、



高强度玻璃纤维、陶瓷纤维等作为增强材料，获得了高强度、高硬度及耐高温的复合材料，并已在飞机重要受力构件上应用，目前已出现了全复合材料飞机和直升机，商用飞机上应用的复合材料将占飞机总重量的65%。在汽车工业中，大量采用聚合物基复合材料（SMC）制成汽车外壳及各种零件，它的外形美观，并且可大大减轻汽车重量，节省大量开支。先进的复合材料还在各种工业机械、运动器具、自行车上大量采用。因此，当下的材料时代是合成材料时代。

今天，合成材料的生产已实现了设计制造的一体化。近年来，在高温陶瓷材料、光学纯玻璃材料、超导材料和镓砷化合物的半导体材料方面都进入了应用阶段，智能材料结构、纳米材料、梯度功能材料、生物材料的研究已取得很大进展。当今，军事、商业、医学、交通、电子等领域又对材料、信息、生物工程三方面提出了更加迫切的要求，为此，科技界已经将先进材料技术、信息技术和生物技术作为当今世界优先发展的三大技术。其中，先进材料技术又是三大技术的基础，它的发展将非常迅速，并且给对人类生活带来的冲击将比微电子芯片的冲击更大。



### 英国工业革命

英国工业革命也称“英国产业革命”，一般认为是18世纪发源于英格兰中部地区的工业革命。英国的工业革命影响了整个欧洲大陆，并带动了当时许多国家相继发生工业革命。严格来说，工业革命不能算是真正的革命，它没有推翻任何政权，只是属于社会、科技方面的急剧进步和发展。

从生产技术方面来说，工业革命使机器工厂代替了手工工场，创造了巨大的生产力，蒸汽时代成为机械运动的主要动力，英国成为“世界工厂”。从社会关系来说，工业革命使依附于落后生产方式的自耕农阶级消失，工业资产阶级和工业无产阶级形成和壮大起来，工业革命使资本主义生产方式最终战胜封建生产方式。同时，工业革命转变了人们的思想观念和生活方式，大量农村人口涌向城市，推动了城市化进程。人类从农业文明走向工业文明。机械化摧毁了不能投入其中的人们的生活，工人们在可怕的劳动条件下劳作和生活。工业革命造成先进的西方和落后的东方，使东方从属于西方，加快了亚、非、拉落后地区的殖民地半殖民地化的进程。

第一次工业革命具有划时代的历史意义，对人类社会的演进产生了空前深刻、巨大的影响。它为新生的资本主义制度奠定了坚实的物质基础，促使欧美诸国先后实现工业化，由农业国变成工业国。它为英国提供了历史机遇，英国利用其工业化先发优势，确立了“世界工厂”的地位。工业革命给人类带来了进步和幸福，同时也使人类面临新的矛盾和挑战。



## 2 智能材料——材料时代的新变革者

### 知识导言

大千世界包罗万象又千差万别，万变不离其宗的唯有材料。材料是人类可以用来制作有用构件、器件或物品的物质，一般指人造的固体物质。人类有史以来就没有停止过对材料的改良，通过筛选、嫁接，甚至不惜采用转基因技术来改良农副产品；非食用材料的进步则经历了天然材料、烧结材料、合成材料、复合材料等阶段，而将要迎来的则是智能材料时代。

智能材料通常是指把高技术传感器、敏感元件与传统的结构材料、功能材料结合在一起，并赋予这种新材料以崭新的性能，使无生命的材料似乎有了“感觉”和“知觉”。

未来的世界必定是智能材料大展宏图的世界。

“智能”一词之义，是具有智慧或智力，有思考或推理的本领；或具有敏捷地体会、解释和正确决定的本领。1989年，日本高木俊宜教授根据信息科学融于材料的物性和功能，提出了“智能材料”概念。至此，智能材料与结构的研究也开始由航空航天及军事部门逐渐扩展到土木工程、医药、体育和日常用品等其他领域。

智能材料也可以理解为是对外部环境刺激具有可感知、可响应并具有功能发现能力的新材料。具体来说智能材料需具备以下内涵：

一是具有感知功能，能够检测并且可以识别外界（或者内部）的



刺激强度，如电、光、热、应力、应变、化学、核辐射等。

二是具有驱动功能，能够响应外界变化。

三是能够按照设定的方式选择和控制响应。

四是反应比较灵敏、及时和恰当。

五是当外部刺激消除后，能够迅速恢复到原始状态。

智能材料是继天然材料、合成机敏材料、人工设计材料之后的第四代材料，是现代高技术新材料发展的重要方向之一，将支撑未来高技术的发展，使传统意义下的功能材料和结构材料之间的界线逐渐消失，实现结构功能化、功能多样化。科学家预言，智能材料的研制和大规模应用将导致材料科学的重大革命。

智能材料涉及化学、物理学、材料学、计算机、海洋工程和航空领域等很多学科，分类方法很多。根据材料的来源不同，可将智能材料分为智能金属材料、智能无机非金属材料以及智能机敏材料。根据智能材料的作用不同，可分为传感器用智能材料、驱动器用智能材料。智能材料的应用领域非常广泛，用智能材料制作的防护服、防护头盔、防割手套以及防护鞋等防护装备在工业生产中的作用很显著，因而根据智能材料的最终用途，可分为医学用智能材料、纺织用智能材料、航天用智能材料、建筑用智能材料、环保用智能材料和军事用智能材料等。



防护头盔





智能材料的重要性体现在两个方面：一是由于智能材料是多学科交叉的一门科学，与物理、化学、力学、电子学、人工智能、信息技术、材料合成及加工、生物技术及仿生学、生命科学、控制论等诸多前沿科学及高技术领域紧密相关，一旦有所突破，将推动或带动许多方面的巨大技术进步；二是智能材料与结构有着巨大的潜在运用背景，例如，材料的智能和器件集成一体化更容易实现结构微型化，由于能在线“感觉”，并可通过预警、自适应调整、自修复等方式，预报以至消除危害性“病兆”，从而极大地提高工程结构的安全性和可靠性，避免灾害性事故的发生。正是由于智能材料与结构的重要性，因此引起各工业发达国家的重视。预计在 21 世纪智能材料将引导材料科学的发展方向，其应用和发展将使人类文明进入更高的阶段。



磁悬浮列车

一种新的概念往往是各种不同观点、概念的综合。智能材料设计的思路与以下几种因素有关：

一是材料开发的历史，结构材料→功能材料→智能材料。



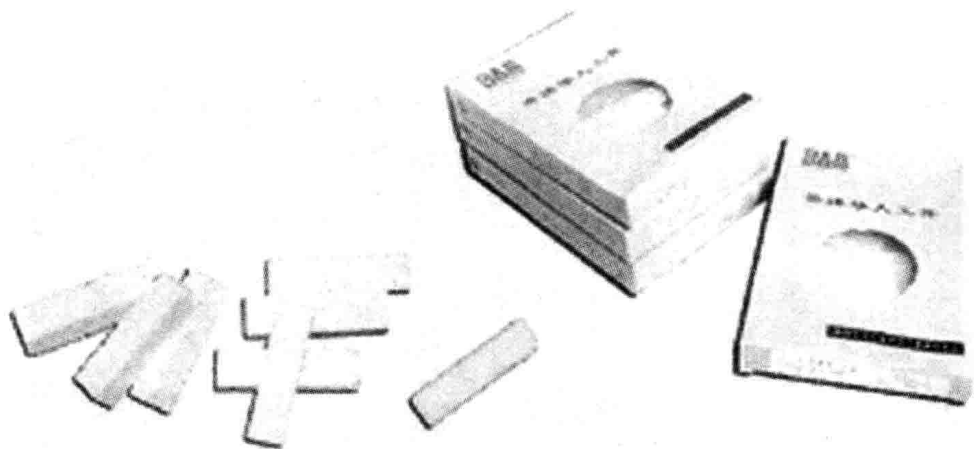
二是人工智能计算机的影响，也就是生物计算机的未来模式、学习计算机、三维识别计算机对材料提出的新要求。

三是从材料设计的角度考虑智能材料的制造。

五是对材料的期望。

四是软件功能引入材料。

六是能量的传递。七是材料具有时间轴的观点，如寿命预告功能、自修复功能，甚至自学习、自增殖和自净化功能，因外部刺激时间轴可对应做出积极自变的动态响应，即仿照生物体所具有的功能。例如，智能人工骨不仅与生物体相容性良好，而且能依据生物体骨的生长、治愈状况而分解，最后消失。



人工骨