



徐滨士 著

# 神奇的表面工程



清华大学出版社



暨南大学出版社

## (京)新登字 158 号

### 图书在版编目(CIP)数据

神奇的表面工程/徐滨士著. 北京:清华大学出版社;广州:暨南大学出版社, 2000.12

(院士科普书系/路甬祥主编)

ISBN 7-302-01207-1

I. 神… II. 徐… III. 金属表面保护 IV. TG17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 83435 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦, 邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

暨南大学出版社(广州天河, 邮编 510630)

<http://www.jnu.edu.cn>

责任编辑: 宋成斌

印 刷 者: 北京市清华园胶印厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 850×1168 1/32 印张: 7.25 字数: 143 千字

版 次: 2000 年 12 月第 1 版 2000 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-04207-1/G·174

印 数: 0001~5000

定 价: 15.00 元

## 《院士科普书系》编委会(第二届)

编委会名誉主任 周光召 宋 健 朱光亚

编委会主任 路甬祥

编委会委员 (两院各学部主任、副主任)

陈佳洱 杨 乐 闵乃本 陈建生 周 恒

王佛松 白春礼 刘元方 朱道木 何鸣元

梁栋材 卢永根 陈可冀 任廷云 朱作言

孙 枢 安芷生 李廷栋 庄品先 陈 颖

王大中 戴汝为 周炳琨 刘广均 杨叔子

钟万勰 关 桥 吴有生 刘人响 顾国彪

陆建勋 龚惠兴 吴 澄 李人东 庄旭光

陆钟武 王思敬 朱建士 郑健超 胡见义

陈厚群 陈肇元 崔俊芝 张锦秋 刘鸿亮

方智远 旭日干 周国泰 王止国 赵 铠

钟南山 桑国卫

编委会执行委员 郭传杰 常 平 钱文藻 罗荣兴

编委会办公室主任 罗荣兴(科学时报社)

副主任 周先路(中国科学院学部联合办公室)

白玉良(中国工程院学部工作部)

蔡鸿程(清华大学出版社)

周继武(暨南大学出版社)

总 策 划 罗荣兴 周继武 蔡鸿程

总 责 任 编 辑 周继武 蔡鸿程 宋成斌

---

# 提高全民族的科学素质

## ——序《院士科普书系》

人类走到了又一个千年之交。

人类的文明进程至少已有 6000 余年。地球上各个民族共同创造了人类文明的灿烂之花。中华文明同古埃及文明、古巴比伦文明、古印度文明、古希腊文明等一起，是人类文明的发源地。

15 世纪之前，以中华文明为代表的东方文明曾遥遥领先于当时的西方文明。从汉代到明代初期，中国的科学技术在世界上一直领先长达 14 个世纪以上。在那个时期，影响世界文明进程的重要发明中，相当部分是中华民族的贡献。

后来，中国逐渐落后了。中国为什么落后？近代从林则徐以来许多志士仁人就不断提出和思索这个历史课题。但都没有找到正确的答案。以毛泽东同志、邓小平同志为代表的中国共产党人作出了唯一正确的回答：中国落后，是由于生产力的落后和社会政治的腐朽。西方列强对中国的欺凌，更加剧了中国经济的落后和国家的衰败。而落后就要挨打。所以要进行革命，通过革命从根本上改变旧的生产关系和政

---

治上层建筑,为解放和发展生产力开辟道路。于是,就有了 80 多年前孙中山先生领导的辛亥革命,就有了 50 年前我们党领导的新民主主义革命的胜利,以及随后进行的社会主义革命的成功。无论是革命还是我们正在进行的社会主义改革,都是为了解放和发展生产力。

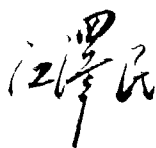
邓小平同志提出的“科学技术是第一生产力”的著名论断,使我们对科学技术在经济和社会发展中的地位与作用的认识,有了新的飞跃。我们应该运用这一真理性的认识,深刻总结以往科学技术发展的历史经验,把我国科技事业更好地推向前进。中国古代科技有过辉煌的成果,但也有不足,主要是没有形成实验科学传统和完整的学科体系,科学技术没有取得应有的社会地位,更缺乏通过科技促进社会生产力发展的动力和机制。为什么近代科学技术首先在文艺复兴后的欧洲出现,而未能在中国出现,这可能是原因之一吧。而且,我国历史上虽然有着伟大而丰富的文明成果和优良的文化传统,但相对说来,全社会的科学精神不足也是一个缺陷。鉴往开来,继承以往的优秀文化,弥补历史的不足,是当代中国人的社会责任。

在新的世纪中,中华民族将实现伟大的复兴。在一个占世界人口五分之一的世界中大国里,再用 50 年的时间基本实现现代化,这又是一项惊天动地的伟业。为实现这个光辉

---

· 目标,我们应该充分发挥社会主义制度的优越性,坚持不懈地实施科教兴国战略。

科教兴国,全社会都要参与,科学家和教育家更应奋勇当先,在全社会带头弘扬科学精神,传播科学思想,倡导科学方法,普及科学知识。科教兴国也要抓好基本建设,编辑出版高质量的科普图书,就是一项基本建设,对于提高全民族的科学素质,是很有意义的。在《院士科普书系》出版之际,写了上面这些话,是为序。

A handwritten signature in black ink, reading '江泽民' (Jiang Zemin), written in a cursive style.

1999年12月23日

---

## 人民交给的课题

——写在《院士科普书系》出版之际

世界正在发生深刻的变化。这一变化是 20 世纪以来科学技术革命不断深入的必然结果。从马克思主义的观点看来，生产力的发展是人类社会发展与文明进步的根本动力；而“科学技术是第一生产力”，因此，科学技术是推动社会发展与文明进步的革命性力量。从生产力发展的阶段看，人类走过了农业经济时代、工业经济时代，正在进入知识经济时代。

知识经济时代，知识取代土地或资本成为生产力构成的第一要素。知识不同于土地或资本，不仅仅是一种物质的形态，知识同时还是一种精神的形态。知识，首先是科学技术知识，将不仅渗透到生产过程、流通过程等经济领域，同时还渗透到政治、法律、外交、军事、教育、文化和社会生活等一切领域。可以说，在新的历史时期，一个国家、一个民族能否掌握当代最先进的科技知识以及这些科技知识在国民中普及的程度将决定其国力的强弱与社会文明程度的高低。科技创新与科普工作是关系到一个国家、一个民族兴衰的

---

大事。

对于我们科技工作者来说,我们的工作应当包含两个方面:发展科技与普及科技;或者说应当贯穿于知识的生产、传播及应用的全过程。我们所说的科普工作,不仅是普及科学知识,更应包括普及科学精神和科学方法。

我们的党和政府历来都十分重视科普工作。党的十五大更是把树立科学精神、掌握科学方法、普及科技知识作为实施科教兴国战略和社会主义文化建设的一项重要任务提到了全党、全国人民和全体科学工作者的面前。

正是在这样的背景下,1998年春由科学时报社(当时叫“中国科学报社”)提出创意,暨南大学出版社和清华大学出版社积极筹划,会同中国科学院学部联合办公室和中国工程院学部工作部,共同发起《院士科普书系》这一重大科普工程。

1998年6月,中国科学院与中国工程院“两院”院士大会改选各学部领导班子,《院士科普书系》编委会正式成立,各学部主任均为编委会委员。编委会办公室在广泛征求意见的基础上拟出150个“提议书目”,在“两院”院士大会上向1000多名院士发出题为《请科学家为21世纪写科普书》的“约稿信”,得到了院士们的热烈响应。在此后的半年多时间里,有176名院士同编委会办公室和出版社签订了175本书的写作出版协议,开始了《院士科普书系》艰辛的创作过程。

---

《院士科普书系》的定位是结合当代学科前沿和我国经济建设与社会发展的热点问题，普及科技知识、科学方法。科学性、知识性、实用性和趣味性是编写的总要求。

编写科普书对我国大多数院士来说是一个新课题。他们惯于撰写学术论文。如何把专业的知识和方法写成生动、有趣、有文采的科普读物，于科技知识中融入人文教育，不是一件容易的事。不少院士反映：写科普书比写学术专著还难。但院士们还是以感人的精神完成自己的书稿。在此过程中，科学时报社和中国科学院学部联合办公室、中国工程院学部工作部以及清华大学出版社、暨南大学出版社也付出了辛勤的劳动。

《院士科普书系》首辑终于出版了。这是人民交给科学家课题，科学家向人民交出答卷。江泽民总书记专门为《院士科普书系》撰写了序言，指出科普是科教兴国的基础工程，勉励科学家、教育家“在全社会带头弘扬科学精神，传播科学思想，倡导科学方法，普及科学知识”，充分表达了党的第三代领导集体对科普的重视，对提高全民族科技素质的殷殷期望。

《院士科普书系》将采取滚动出版的模式。一方面随着院士们的创作进程，成熟一批出版一批；另一方面随着科学技术的进步和创新，不断有新的题材由新的院士作者撰写。因此，《院士科普书系》将是一个长期的、系统的科普工程。

---

这一庞大的工程,不但需要院士们积极投入,还需要各界人士和广大读者的支持——对我们的选题和内容提出修订、完善的建议,帮助我们不断提高《院士科普书系》的水平与质量,使之成为国民科技素质教育的系统而经典的读本。在科学家群体撰写科普书方面,我们也要以此为起点为开端,参与国际竞争与合作,勇攀世界科普创作的高峰。

中国科学院院长  
《院士科普书系》编委会主任

路甬祥

2000年1月8日

---

## 前 言

随着生产的发展,人们对工业设备和零部件乃至生活用品等的“皮肤”和外表提出了越来越高的要求(承受高温、高载荷,具备高硬度、高抗腐蚀性和高耐疲劳性能以及美观、耐用等),这样就出现了各种新的表面工程技术。

“削铁如泥”是武侠小说中常见的一个字眼,但要使刀剑实现这一功能,就需要进行特殊的处理。利用各类金属的性能规律,通过表面热处理使金属材料表面硬、内部韧,充分发挥其潜能,这样,使用起来就可以“游刃有余”了。

单一的材料和单一的表面技术往往具有一定的局限性,很难满足性能上的各种要求,这就使复合材料和复合表面技术应运而生。采用表面工程技术的复合可以获得性能优异的表面涂层。

表面工程技术分布在各个领域,例如表面改性、表面处理、表面涂覆等等。复合表面工程技术将两种以上表面工程技术复合在一起,可以取得更佳的效果。

随着高新技术的发展,表面工程技术层出不穷。如随着对物质的第四态即等离子态的认识,等离子喷涂、离子注入等技术蓬勃发展;激光的发现,促使激光熔敷、激光重熔等各种激光表面改性技术纷纷涌现;微波、电子束的发展促使诸如电子束物理气相沉积等技术发展迅猛;纳米技术的出现促使摩擦化学转化膜等技术在航空航天、汽车等领域的应用前景更加广泛。

---

新材料的出现给表面工程改性技术带来了新的活力,除金属材料外,出现了陶瓷材料、合成材料、塑料、纳米材料、非晶态材料、超导材料等,使机器设备及零件的皮肤和外衣的质量发生了质的改变。各种特殊功能的要求又促使了表面材料的不断发展,如隐身材料、抗磁性材料、导电、降噪声材料及抗高温腐蚀材料等层出不穷。

知识经济的到来又对环保、节能、节材等提出了更高的要求,无节制地浪费和消耗的时代将一去不复返了。重新制造的出现正适应了这一要求,表面工程技术可以使大批机器设备零件再生,并可节能、节材、减少污染、降低成本,是先进制造技术的新的重要领域。

表面工程逐步形成了自己的学科体系,在实际中得到了广泛的应用。而本书是从实际工程问题引出表面工程技术的,这些问题,读者多数能够接触到,用神奇的效果增加了该书的趣味性和对读者的吸引力。在技术的本质叙述上,以生活中的例子来比拟,做到形象易懂,着重讲述表面工程技术的原理和应用场合,体现科普读物的特点。

本书内容新颖充实,取材广泛,适于高中文化程度以上的表面工程技术爱好者阅读。

刘世参教授、韩文政教授、马世宁教授、张振学、乔玉林、原津萍、时小军、朱绍华教授等协助了本书部分编写工作,《院士科普书系》编委会、编审同志给予了大力支持和帮助,在此一并深表感谢。

徐滨士

2000年1月

---

# 目 录

<b>1</b>	<b>概论</b>	
1.1	什么是表面工程 .....	2
1.2	表面工程的功能 .....	3
1.3	表面工程的发展 .....	5
1.4	推广表面工程的意义 .....	8
<b>2</b>	<b>使零件表硬内韧的表面热处理技术</b>	
2.1	齿轮的表面淬火 .....	15
2.2	齿轮的化学热处理 .....	20
<b>3</b>	<b>立竿见影的喷丸强化技术</b>	
3.1	喷丸强化设备 .....	31
3.2	喷丸强化效果 .....	32
<b>4</b>	<b>变化无穷的摩擦化学转移膜技术</b>	
4.1	了解摩擦学 .....	39
4.2	认识摩擦化学 .....	48
4.3	理解摩擦化学转移膜技术 .....	55
4.4	应用摩擦化学转移膜技术 .....	64

<b>5</b>	<b>多姿多彩的气相沉积技术</b>	
5.1	“热气腾腾”的真空蒸发镀膜 .....	67
5.2	一石激起千层浪——溅射镀膜 .....	72
5.3	前途光明的离子镀膜技术 .....	79
5.4	非同凡响的化学气相沉积(CVD) .....	85
5.5	气相沉积技术的应用与进展 .....	90
<b>6</b>	<b>所向披靡的三束及其改性技术</b>	
6.1	高效率的离子注入技术 .....	94
6.2	走向产业化的激光束表面处理 .....	101
6.3	异军突起的电子束表面处理 .....	111
6.4	走向未来的三束改性处理 .....	118
<b>7</b>	<b>点石成金的电刷镀技术</b>	
7.1	概述 .....	119
7.2	电刷镀技术的基本原理 .....	121
7.3	五颜六色的镀液 .....	125
7.4	电刷镀工艺 .....	133
7.5	电刷镀技术的应用范围 .....	138
7.6	电刷镀技术的新进展及展望 .....	148
<b>8</b>	<b>喷枪射彩虹,零件换新装的热喷涂技术</b>	
8.1	热喷涂技术原理 .....	156
8.2	热喷涂的分类及其应用特性 .....	161

8.3	热喷涂方法及应用	167
8.4	特种喷涂	179
<b>9</b>	<b>简便易行的表面粘涂技术</b>	
9.1	粘接与表面粘涂技术	185
9.2	表面粘涂技术的特点	187
9.3	粘涂层的物质基础——胶粘剂	189
9.4	粘涂层的粘附机理	191
9.5	粘涂工艺	194
9.6	粘涂技术在设备制造与维修领域 大显身手	197
<b>10</b>	<b>1+1&gt;2 的复合表面技术</b>	
10.1	柏油路面式的复合	202
10.2	胶合板式的复合	204
10.3	阶梯式的复合	206
10.4	离心分层式复合	207
10.5	先喷后熔式复合	208
10.6	美容化妆式的复合	209
	<b>参考文献</b>	211

# 1

## 概论

---

随着人民生活水平的提高,皮肤保健已成为时尚,各种基本的和功能性的护肤用品像润肤霜、防晒霜、防皱霜、增白霜等大量上市。

其实机械零件、构件和电子元器件也有“皮肤”,也需要保护。机械零件、构件和电子元器件的“皮肤”,我们统称为表面。高耸云空的电视塔表面、浸入海水的钻探机械表面、埋入地下的各种管道表面都必须进行防腐性保护;破土开山的挖掘机铲斗表面必须进行预防磨损强化处理;录音机磁带表面,因为有了钴-磷或钴-镍磁性镀层,才能复奏出美妙的音乐;氟树脂涂于锅

提高机械产品的性能需要从延缓和控制零件表面失效着手,这就推动着表面学科的研究与发展。

体内表面而成为不粘锅。这些都是表面工程为人类做出的贡献。

## 1.1 什么是表面工程

一位美国学者说过一句俏皮话,即“上帝创造了物质,魔鬼给了一个表面”。其意思是说,物质内部的成分、结构和性能都比较均匀,其规律性相对容易掌握,改造它们也易得其法。而物质的表面成分、结构和性能有很大的不均匀性,并常伴有许多缺陷,使表面容易出现各种损伤,表面的规律难以掌握,可用“活见鬼”三个字来形容。从这个意义上来说,表面工程是与魔鬼斗法的科学。

机械产品其本身不可能“青春常驻”。一辆汽车制造出来,即使你不使用它,车中的橡胶零件、塑料制品也会逐渐老化失效,金属零件、构件也会慢慢发生锈蚀。如果你使用它,则在发挥其运输功能的同时,车中相互接触又相对运动的零件表面都会发生摩擦磨损,曲轴、齿轮等零件长时间使用会发生疲劳断裂。机械产品的这些性能下降、失效,往往是在零件表面发生的,腐蚀从零件表面开始,摩擦磨损在零件表面发生,疲劳断裂由表面向里延伸。所以,提高机械产品的性能就需要从延缓和控制零件表面失效着手,这就推动着表面学科的研究与发展。从传统意义上讲,表面学科包括表面基础科学、表面技术和表面工程三个部分。表面基础科学是研究物质表面基本规律的科学,其研究成果形成了表面物理、表面化学、固体力学、摩擦学、腐蚀学等各分支,它是表