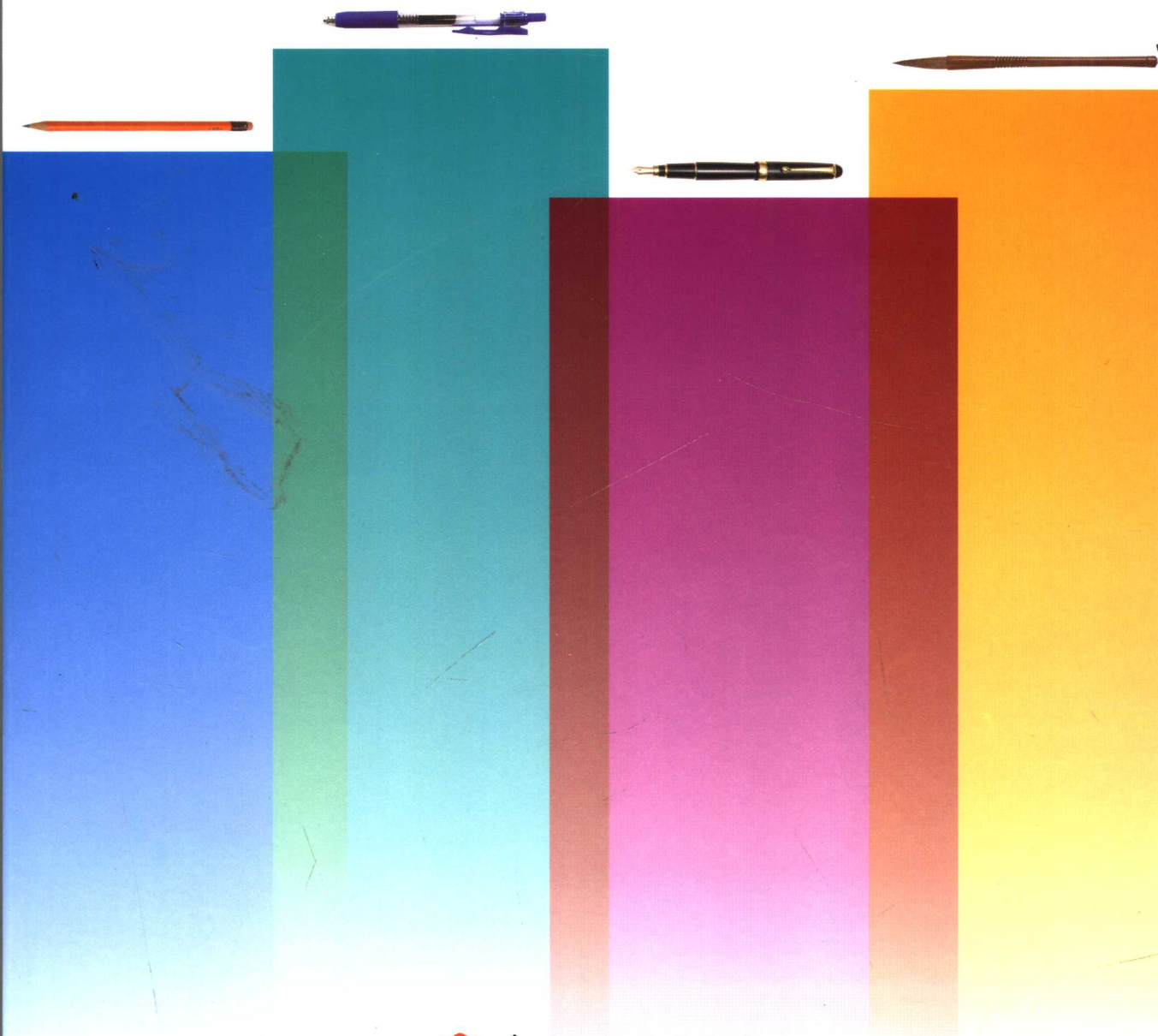



ZHIBI CAILIAO 制笔材料

周永强 向卫东 梁晓娟 刘海涛 编著



 中国轻工业出版社

制 笔 材 料

周永强 向卫东 梁晓娟 刘海涛 编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

制笔材料/周永强等编著. —北京: 中国轻工业出版社,
2007. 3

ISBN 978-7-5019-5793-4

I. 制… II. 周… III. 笔-制造-原料 IV. TS951.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 156501 号

责任编辑: 王 淳

策划编辑: 王 淳 责任终审: 孟寿萱 封面设计: 高 建

版式设计: 马金路 责任校对: 李 靖 责任监印: 胡 兵 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2007 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18.5

字 数: 473 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-5793-4/TB·050 定价: 28.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010-65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010-85119817 65128898 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

60634K5X101ZBW

前 言

中国改革开放以来，制笔工业发生了巨大的变化，得到了飞跃的发展。制笔工业的变化主要表现在：行业规模迅速扩大，产品质量稳步提高，品种产量大幅增加，制笔技术装备不断更新，出口创汇节节攀升，制笔工业正在由数量主导型逐步向质量、品种、出口、效益主导型转变，顺利地驶入了协调、健康、快速发展的轨道。目前，我国的自来水笔、圆珠笔、木杆铅笔的产量居世界首位，活动铅笔的产量居世界第二位，我国已经成为笔类产品生产和出口大国。我国制笔工业的不断发展，为国民经济建设和文化教育事业的发展作出了积极的贡献。

我国的制笔工业发展很快，这主要是指量的方面。如果从质的方面来说，与国际先进水平相比，无论是在品种、质量，还是在制笔技术和装备以及管理方面，都存在着较大的差距，我国要从制笔大国成为制笔强国还有一段较长的路要走。

笔类产品的生产大量地使用各种各样的材料，这些材料涉及金属材料、高分子材料、无机非金属材料 and 复合材料等。材料对笔类产品的性能、质量和花色品种有着重要的影响，它在笔类产品中发挥着重要的作用。但至今还没有一本专门论述制笔材料的书籍，为了填补这一空白，满足制笔行业工程技术人员的需要，提高我国笔用材料的研究、生产和使用水平，赶超国际先进水平，我们温州大学制笔行业重点实验室组织编撰了《制笔材料》这本书。此书可供制笔工业和材料工业的工程技术人员参阅，也可作为制笔行业职业技能鉴定的培训教材和材料学科师生的教学参考书使用。

本书包括六章内容：第1章 概论；第2章 笔用塑料材料；第3章 笔用金属材料；第4章 笔用橡胶和合成纤维材料；第5章 笔用木材；第6章 笔用其他材料。本书概括介绍了笔和材料的基础知识，重点介绍了笔用塑料、笔用金属材料、笔用橡胶和合成纤维材料的生产加工过程、结构和性能及应用，简要介绍了木材、陶瓷、玻璃、纸等其他笔用材料。

本书由周永强、向卫东、梁晓娟、刘海涛编撰。另外，夏禹、潘明初、王兆伦、杨昕宇、张景峰等亦参加了编写工作。全书由周永强负责统稿，王德滨审稿。

由于本书涉及的专业多、内容广泛，可供参考的制笔方面的文献不多，加之时间仓促和编者水平有限，书中难免有疏漏和错误之处，恳请专家和读者批评指正。同时，对引用到的相关资料的作者致以诚挚的感谢。

编著者
2007年1月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 材料概述	1
1.1.1 材料的定义和分类	1
1.1.2 材料的地位、作用与发展概况	3
1.1.3 材料的要素	8
1.1.4 材料组成、制备、结构、性能与使用效能之间的关系	13
1.1.5 材料的选用	14
1.2 笔用材料概述	20
1.2.1 中国制笔工业的现状	20
1.2.2 笔的定义和分类	21
1.2.3 各种笔简介	22
1.2.4 笔的组成	32
1.2.5 笔的发展概况	39
1.2.6 笔用材料的定义和分类	41
第 2 章 笔用塑料材料	42
2.1 塑料概述	42
2.1.1 塑料的定义和分类	42
2.1.2 塑料的组分及其作用	43
2.1.3 塑料的性质	46
2.1.4 塑料成型物料的配制	53
2.1.5 塑料的成型加工方法	54
2.1.6 塑料材料的选用原则	59
2.2 笔用塑料材料	62
2.2.1 聚苯乙烯塑料 (PS)	62
2.2.2 聚丙烯塑料 (PP)	71
2.2.3 ABS 塑料	77
2.2.4 聚乙烯塑料 (PE)	83
2.2.5 聚氯乙烯塑料 (PVC)	94
2.2.6 聚甲醛塑料 (POM)	100
2.2.7 苯乙烯-丙烯腈共聚塑料 (AS)	107
2.2.8 聚甲基丙烯酸甲酯塑料 (PMMA)	109
2.2.9 聚酰胺	114
2.2.10 甲基丙烯酸甲酯共聚模塑料	120
2.2.11 AES 塑料	120
2.2.12 笔用其他塑料	121
第 3 章 笔用金属材料	123
3.1 金属材料概述	123
3.1.1 金属材料的定义和分类	123

3.1.2	金属材料的结构与组织	124
3.1.3	金属材料的性能	138
3.1.4	金属材料的生产工艺	146
3.1.5	金属材料的成型与加工	150
3.2	笔用金属材料	157
3.2.1	不锈钢	157
3.2.2	铜及铜合金	159
3.2.3	铝及铝合金	168
3.2.4	金、银和铂族合金	174
3.2.5	碳化钨	177
3.2.6	钢和铁	181
第4章	笔用橡胶和合成纤维材料	185
4.1	橡胶	185
4.1.1	橡胶的定义和分类	185
4.1.2	橡胶的结构与性能	185
4.1.3	橡胶的加工工艺	188
4.1.4	天然橡胶	194
4.1.5	合成橡胶	195
4.2	合成纤维	200
4.2.1	纤维的定义和分类	200
4.2.2	合成纤维的生产工艺	201
4.2.3	天然纤维和人造纤维及合成纤维	203
第5章	笔用木材	211
5.1	概述	211
5.1.1	木材的分类和用途	211
5.1.2	木材的组成和结构	212
5.1.3	木材的一般性能	212
5.2	笔用木材	212
5.2.1	椴木和拟赤杨	213
5.2.2	桤木和马尾松及雪松	213
5.2.3	节耳冬和泡桐属及早冬瓜	214
第6章	笔用其他材料	215
6.1	玻璃	215
6.1.1	玻璃的定义和分类	215
6.1.2	玻璃的性质	217
6.1.3	玻璃的生产工艺	217
6.2	陶瓷	222
6.2.1	陶瓷的概念和分类	222
6.2.2	陶瓷的显微结构和性能	225
6.2.3	普通陶瓷的基本制备工艺	228
6.2.4	笔用陶瓷	235
6.3	纸	236
6.3.1	纸的分类和命名	236

6.3.2 纸的结构与性能.....	237
6.3.3 纸的生产过程.....	252
6.3.4 纸板的生产过程.....	274
6.3.5 纸杆铅笔.....	279
6.4 书写材料	280
6.4.1 中国墨.....	280
6.4.2 墨水.....	281
6.4.3 油墨.....	284
6.4.4 铅笔芯及其他固态书写材料.....	285
主要参考文献	287

第 1 章 概 论

材料是人类赖以生存和发展的物质基础。材料与人类的出现和进化有着密切的联系，一切经济活动与生活行为，都离不开材料。在历史上，每一次大的社会进步，无一不是以新材料的出现与应用为前提。因而材料的名字已被认为是人类文明的一种标志。人类经历了石器时代、青铜器时代、铁器时代，今天，正跨进先进材料的新时代。在当今社会，人们把材料、能源、信息誉为现代文明的三大支柱，又把新材料与信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。材料发展与应用水平的高低，已成为衡量一个国家国力强弱、科学技术进步程度、人民生活水平的主要标志。因此，无论过去、现在，还是将来，材料在国民经济与社会进步中的基础与先导的地位是永远不会改变的。

改革开放以后，我国的制笔工业得到了飞跃发展，现已经成为笔类产品生产和出口的大国。我国的自来水笔、圆珠笔、木杆铅笔的产量居世界首位，活动铅笔的产量居世界第二位。笔类产品的生产大量地使用各种各样的材料，这些材料涉及金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料等。其中，使用量最大的是塑料，各种笔类产品的笔套杆多用塑料制成，其他如自来水笔的尖套、笔项、笔舌和排气管，圆珠笔的笔芯油管、笔帽、尾塞和棘轮以及活动铅笔的塑料卡头、掀头、塑料笔夹和储芯管等都可用塑料制成；其次是金属材料，金属材料主要用于笔尖、笔头、笔套杆、笔夹、护胆管、笔芯金属油管、三簧（夹簧、内簧、吸水簧），金属螺钉以及装饰圈等，所用材料多为铜、铝和它们的合金或不锈钢的板材、带材、条材或丝、棒等。材料对笔类产品的性能、质量和花色品种有着重要的影响，它在笔类产品中发挥着重要的作用。

1.1 材料概述

1.1.1 材料的定义和分类

材料一般是指人类用以制造生活和生产所需的物品、器件、构件、机器和其他产品的物质。材料是物质，但不是所有的物质都可以称为材料。如燃料和化学原料、工业化学品、食物和药物，一般都不算是材料。只有那些可为人类社会接受而又能经济地制造有用器件的物质，才叫做材料。但是这个定义也并不那么严格，如炸药、固体火箭推进剂，有人便称之为“含能材料”。材料总是和一定的用场相联系，可由一种或若干种物质制成。同一种物质，由于制备方法或加工方法不同，可成为用途迥异的不同类型和性质的材料。

由于材料的种类繁多，用途广泛，因此它有许多不同的分类方法。依据材料的来源可将材料分为天然材料和人造材料两类。目前正在大量使用的天然材料只有石料、木材、橡胶等，并且用量也在逐渐减少，许多原先使用天然材料的领域正在日益被人造材料取代。如，铁道上的钢筋水泥轨枕在代替枕木，人造橡胶在代替天然橡胶，化学纤维在代替植物纤维等。

从研究材料的角度来看，常按物理化学属性将材料分为金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料四大类，每一大类又可分为若干类，如图 1-1 所示。金属材料、无机非金属材料、高分子材料因原子间的相互作用不同，在各种性能上表现出极大的差异。它们相互配合，取长补短，构成现代工业的三大材料体系。复合材料则是由上述三类材料相互之间复合而成，它结合了不同材料的优良性能，在强度、刚度、耐腐蚀性等使用性能方面比单一材料优越，具有广阔的发展前景。材料按物理化学属性分类的性能比较见表 1-1。

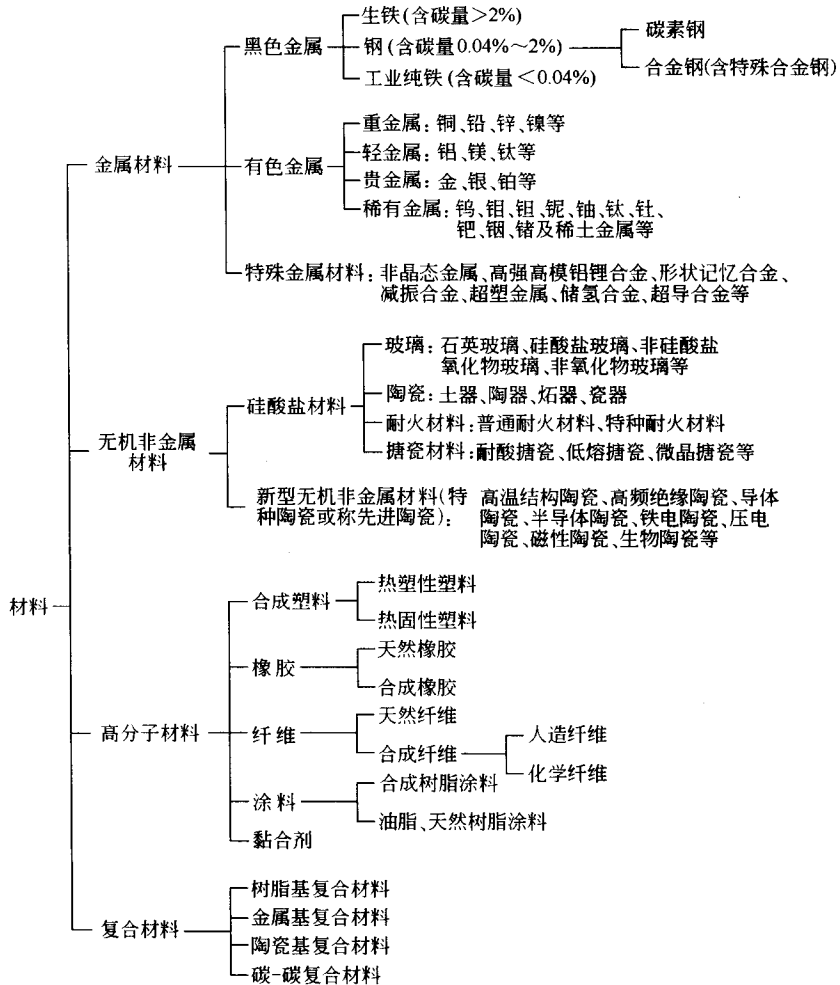


图 1-1 材料的分类

按材料的用途分类，可分为电子材料、航空航天材料、建筑材料、核材料、生物材料等。

更常见的分类方法有两种。一种是从材料的使用性能考虑，将材料分为结构材料和功能材料两类。前者以力学性能为基础，用于制造以受力为主的构件，当然，结构材料对物理性能和化学性能也有要求，如光泽、热导率、抗辐照、抗腐蚀、抗氧化能力等，对性能

表 1-1

材料按物理化学属性分类的性能比较

材料种类	化学组成	结合键	主要特征
金属材料	金属元素	金属键	有光泽、塑性、导电、导热、较高强度和刚度
无机非金属材料	氧和硅或其他金属的化合物、碳化物、氮化物	离子键、共价键	耐高温、高强、耐蚀、具特殊物理性能(功能)、脆、无塑性
高分子材料	碳、氢、氧、氮、氯、氟等	共价键、分子键	轻、比强度高、橡胶具有高弹性、耐磨、耐蚀、易老化、刚度小、耐高温差
复合材料	两种或两种以上不同材料组合而成		比强度和比模量高、抗疲劳、高温和减振性能好、功能复合

的要求因材料用途而异；功能材料则主要是利用物质独特的物理性质、化学性质或生物功能等而形成的一类材料。一种材料往往既是结构材料又是功能材料，如铁、铜、铝等。另一种是分为传统材料和新型材料（又称新材料、先进材料）。前者是指已经成熟且在工业中已批量生产并已得到广泛应用的材料，如钢铁、水泥、塑料等，这类材料由于用量大、产值高、涉及面广，又是很多支柱产业的基础，所以又称为基础材料；后者则是指刚刚投产或正在发展而且有优异性能和应用前景的一类材料。新型材料与传统材料之间并没有截然的界限，传统材料可以发展成为新型材料，新型材料在经过长期生产与应用之后也就成为传统材料。传统材料是发展新型材料的基础，而新型材料又往往能推动传统材料的进一步发展。

随着现代科学技术的发展，材料的分类方法也在发展。现在，人们常将能源的开发、转换、运输、储存所需的材料统称为能源材料。信息储存和传播方面的进展，一点也离不开材料的发展。今天的社会，信息与材料也是相互依靠的，为了强调这种关系，也常将信息的接收、处理、储存和传播所需的材料统称为信息材料。与传统意义上的功能材料不同，人们又将通过光、电、磁、力、热、化学、生物化学等作用后具有特定功能的新材料称为功能材料。这种材料涉及面很广，大致有电、磁功能，光功能，分离功能，生物功能，形状记忆功能材料等。这一新兴功能材料的应用，对航天、导弹等先进技术的发展起着重要作用。

1.1.2 材料的地位、作用与发展概况

材料是人类社会进步的里程碑，是人类赖以生存和得以发展的重要物质基础和先导。正是材料的使用、发现和发明，才使人类在与自然界的斗争中，走出混沌蒙昧的时代，发展到科学技术高度发达的今天。因此，在材料学家看来，人类的文明史就是材料的发展史，并往往以不同特征的材料划分人类的历史时期，诸如石器时代、青铜器时代、铁器时代、高分子材料时代……。

石器时代又可以分为旧石器时代和新石器时代，这是一个极其漫长的历史时期。大致可以追溯到 250 万年前，从树上下到地面、开始直立行走的人类祖先，为了生存、抵御猛兽袭击和猎取食物，逐渐学会使用天然的材料——木棒、石块等。然而，这种纯天然的材料使用起来并不得得心应手，也不够犀利。于是，先民们开始人工打制石器——石矢、石刀、石铲、石凿、石斧、石球等。打制石器用的材料大多数是石英石，少部分是燧石（俗

称火石)。燧石是一种发火材料，猛烈敲击能发出火星，引燃枯草、树叶、树皮、树枝等可燃物质。燧石的使用，是人类文明的一个重要里程碑。在此之前，人类不会自己生火，无法驾驭火。每当黑暗来临，先民们只能在野兽的嗥叫声中度过漫漫长夜，恐惧地等待着太阳的升起。学会了人工取火，结束了人类茹毛饮血的生活。熟食是人类的一大进步。

旧石器是利用一块较硬的石头砍砸另一块较软的石头打击而成，所以称砍砸器，其形状既不规则，又不固定，加工十分粗糙。但不管怎么说，这是人类制造的第一种原始材料。这段时期，大约一直延续到1万年前。1998年，中国安徽繁昌县人字洞发现了众多的石制品和骨制品，据初步测定，估计距今约200万~240万年，是目前欧亚大陆发现最早的文化遗存；1954年，山西襄汾县发掘的26400年前的丁村遗址，发现了一大批人工打制的200~1500g左右的石球；1954~1957年间在西安市半坡村，对公元前4800年~公元前4300年新石器时代遗址考古时，又发现了240件石球和227件陶制弹丸。人工打制的石球，光滑、缺棱少角，飞行时阻力小、速度快、命中率高，用其狩猎，打得又快又准。

新石器时代开始于1万年前，其标志是：打制的石器更加精美、陶和玉器工艺品的出现、用石头和砖瓦作建筑材料。如湖北屈家岭文化出土的距今约5000年的精细石铲、圭形石凿，还有钻了孔的石斧等，在钻孔中装上木柄，使用更方便。

随着火的利用，将黏土捏成各种形状，放在火中可烧成各种土器。先民们在枝条编织的容器上，涂抹泥土，用火烧制成最原始的陶器。陶是人类第一个人工制成的合成材料。陶的出现，为保存、储藏粮食提供了可能，标志着人类从游猎生活进入农牧生活。江西万年县出土的距今1万多年前的残陶碎片，提供了直接的证据。西安城外骊山脚下，被誉为“世界第八大奇迹”、在地下历经两千余年、重现“秦王扫六合”的兵马俑所展示的庞大军阵，是中国古代陶文化的奇葩。在制陶的同时，先民们发现为使陶器更精美，可在陶器上挂釉。并意外地发现了玻璃。公元前7000多年埃及古代遗址中出土的青色玻璃球，标志着人类已学会玻璃的制造。玻璃，迄今仍极大地丰富着人类的生活。

在新石器时代，先民们用石头做建筑材料，用土制作砖瓦。早在1万年前，人类已学会使用稻草作增强材料，掺入黏土中，用太阳晒干制砖，以后又学会了火烧制砖。利用石头和砖瓦，先民们创造了辉煌的历史，如被誉为古代世界七大奇迹的埃及金字塔、巴比伦空中花园、古希腊奥林匹亚的宙斯神庙、埃及亚历山大城的灯塔、小亚细亚埃弗兹城的月亮女神庙和摩索拉斯陵墓、地中海罗得岛上的太阳神巨像。尽管它们中的绝大部分已淹没在浩瀚的历史长河中，但金字塔、狮身人面像几千年来傲视人间，吸引了无数考古学家和一批又一批游览者，令人折服。

水泥是无机材料中使用量最大、对人类生活影响最显著的建筑材料和工程材料，在水的作用下，它可与砂、石等材料形成坚硬的石状体（混凝土），是人工的石头（“砼”）。早在2000多年前，希腊和古罗马人就将石灰和火山灰的混合物作建筑材料，这是最早应用的水泥。今日，它已发展成庞大的家族，是建房修桥筑路等领域的顶梁柱，有石材不可替代的优越性。

中国是玉器的故乡。玉器出现于新石器的中晚期，以浙江良渚文化、内蒙古红山文化等为代表，既作精美的装饰物，也是权力的象征。玉璋、玉璧、玉圭、玉环、玉珏、玉琮、玉刀、玉戈、玉雕人像、玉雕动物，千姿百态，栩栩如生。河南安阳殷墟妇好墓出土

距今 3000 多年的玉器就达 700 多件；1968 年河北满城山中山王刘胜墓出土的“金缕玉衣”更是举世闻名，玉衣是用 2498 块玉、1.1kg 金丝穿起来的，全长 1.88m。

必须指出，有些考古学家认为，在石器时代之前，应有一个木器时代，因为来到地面的猿人，首先能得到并能使用的显然是棍、棒之类木质工具，只可惜有机质难于保存下来，无法得到明证；而在新石器时代和青铜器时代之间，中国还存在一个玉器时代。

在人类历史上，有过一个辉煌灿烂的青铜器时代。考古表明，青铜文明的源头在古代中国、美索不达米亚平原和埃及等。早在公元前 8000 年，先民们已发现并利用天然铜块制作铜兵器和铜工具。到公元前 5000 年已逐渐学会用铜矿石炼铜。考古发现，中国湖北大冶铜绿山古铜矿遗址早在 3600 年前的殷商时期就开始开采铜矿石，从矿区四周 40 万吨炼铜废渣推算，中国古代先民们在此取走了 10 万吨铜。因此，铜是人类获得的第二种人造材料。铜（Cu）的英文名称是由当时炼铜较出名的塞浦路斯演变而来的。随着时间的推移，先民们发现在铜中加入部分锡，可使原来较软的铜制品变得更坚韧、更耐磨。青铜——铜锡合金，这是最原始的合金，也是人类历史上发明的第一个合金。中国商代青铜器已经盛行，并将青铜器的冶炼和铸造技术推向了世界的顶峰。中国先民们的贡献可以说是全方位的，他们已掌握了冶炼 6 种不同铜、锡比例的青铜技术，其配比之精确与现代研究基本一致。并且知道含锡量 $\frac{1}{6}$ 的青铜韧性较好，可做钟鼎；而含锡量 $\frac{2}{5}$ 的青铜较硬，可做刀斧（用今日的话讲，先民们已掌握了组成与性能的关系）。不仅如此，他们还为我们留下了一批精妙绝伦、震撼世界的杰作。如：高 133cm、质量 832.84kg 商代文丁时期的遗物——司马戊方鼎；秦始皇陵墓陪葬坑新近出土的 212kg 的秦王鼎；湖北江陵望山一号楚墓出土的越王勾践用剑；徐州狮子山楚王陵出土的铜戟；西安秦始皇陵墓陪葬坑出土的铜剑（此剑发现时已被压在其上面的质量 200kg 的陶俑压弯，当抬走陶俑后，剑身竟不可思议地反弹平直了）和由 8 马 2 车 2 俑组成的质量达 1061kg 的铜马车。这些剑、戟铸造精美，虽深埋地下 2000 余年，但仍寒光闪闪、锋利如初，十几层厚的纸被其轻轻一划，竟一裂为二。四川广汉三星堆出土的世界上年代最久远、树枝最高最大、形象神奇多彩、高约 4m 的青铜神树，高 2.6m 的青铜立人、青铜人头像和青铜面具等，更令世人惊叹；湖北随州市曾侯乙墓出土的计 64 件、2500 余千克的古代乐器——铜编钟，其音域之宽广堪与现代乐器媲美，1999 年 7 月 1 日香港回归的庆典上，用其演奏的《交响乐 1997》，更是海内外轰动。

远古时代，先民们已经使用陨铁制作武器或其他器物。河北藁城出土的商代中晚期铜钺刀口就是陨铁加热锻打而成的。陨铁来自天外，数量有限，只有当发明了从铁矿石中冶炼铁时，铁器时代来临了。小亚细亚的赫梯人约在公元前 1400 年开始了人工炼铁。中国在甘肃灵台的一座春秋早期墓葬中出土了一把铜柄铁剑，再加上干将莫邪铸剑的传说和湖北大冶铜绿山古铜矿遗址一处战国时期矿井内发现的宽 40cm、长 60cm、质量 32kg 的铁斧以及铁锤、铁砧、铁锄等，可以认为中国也是较早掌握炼铁术的国家之一，且很长一段时间里都处于世界冶金技术的前列。建于宋代嘉祐六年（1061 年）的湖北当阳玉泉寺山门外的砖身铁塔，高 17.9m，由质量为 38300kg 的 44 块铸件组成，其拼装得天衣无缝、浑然一体，铸造技术之高超令人叫绝。尽管当阳铁塔不如高 328m、质量 1 万余吨的法国巴黎埃菲尔铁塔闻名，但毕竟比其早了 800 多年。

炼铁技术和制造技术的发展，开创了人类文明的新时代。以蒸汽机发明为起点，近

200 年来，人类经历了 4 次技术革命。新的技术革命一次比一次迅猛，对人类的影响也一次比一次深远。进入 20 世纪，人类科学技术发明和创造之和超过了以往 2000 年的总和。

蒸汽机的发明，是人类文明史上又一重要里程碑。第一台蒸汽机出现于英国达德利城堡，时间为 1712 年，由铁匠纽可门，集铅管匠、油匠和锡匠于一身的卡利制造，用于煤矿排除积水。然而，其效率极低，只利用了热量的 1%。1777 年苏格兰格拉斯哥大学机匠瓦特对蒸汽机作了重大改进，热量利用效率大大提高。从此，蒸汽机的普及走上了坦途。

第一次技术革命发端于 18 世纪后期，以蒸汽机的发明及广泛应用为主要标志，实现了高炉、转炉、平炉制造优质钢材的工业化。由此引发的纺织工业、冶金工业、机械工业、造船工业等的工业大革命，是这次技术革命的产物，使人类从手工工艺时期跃进到机器工业时代，开创了工业社会的文明。

第二次技术革命开始于 19 世纪末，以电的发明和广泛应用为标志，由于远距离送电材料以及通讯、照明用的各种材料的工业化，实现了电气化。其结果是石油开采、钢铁冶炼、化学工业、飞机工业、电气工业、电报电话等迅猛发展，组成了现代产业群，使人类跨进了一个新的时代，实现了向现代社会的转变，促进了国际关系的最终形成。

第三次技术革命始于 20 世纪中期，以原子能应用为主要标志。1942 年 12 月，意大利物理学家费米在美国建立了第一个核反应堆，实现了控制核裂变，使核能利用有了可能，实现了合成材料、半导体材料等大规模工业化、民用化，把工业文明推到顶点，开启了通向信息社会文明的大门。

20 世纪 70 年代开始，人类进入了一个新的阶段——第四次技术革命，它是以计算机，特别是微电子技术、生物工程技术 and 空间技术为主要标志，新型材料、新能源、生物工程、航天工业、海洋开发等新兴技术是主攻方向。1946 年世界第一台电子计算机诞生，用 18000 个电子管，总质量 30 余吨，占地 180m²，运算速度为每秒 5000 次，比人工运算快 1000 至数千倍。今天，用大规模集成电路制成的台式个人计算机每秒可运算 4.5 亿次。目前世界上最快的计算机每秒运算速度为 1 万亿次，每秒 1000 万亿次的超级电脑已在研制中。人类实现了 DNA 的人工合成和“克隆”羊，登上了月球、火星，实现了遨游太空的梦想。这是人类历史上规模最大和最深刻的一次革命，它对国际关系已经并将继续产生极其深远的影响。

在相当一段时间里，金属有过辉煌的地位，直到 20 世纪 50 年代，以钢铁为代表的金属材料仍居统治地位。随着无机非金属材料（尤其是特种陶瓷）、高分子材料及先进复合材料的出现和发展，钢铁老大的地位受到了挑战。高分子材料在今天发挥的作用越来越大，从 1909 年第一个人工合成的酚醛塑料算起，至今还不足 100 年，然而 20 世纪 90 年代初，塑料产量已逾 1 亿吨，按体积计，已超过钢铁产量。因此，人们往往将这段时期称为高分子材料时代。从年增长率看，塑料也远远大于钢铁，例如，20 世纪 40~80 年代 40 年间，平均年增长率塑料为 13.6%，钢为 5.7%，木材为 1.6%，水泥为 6.4%，塑料的年增长率分别为钢、木材和水泥的 2.4 倍、8.5 倍和 2.1 倍。因此，现在已经以塑钢比替代以往用钢产量衡量一个国家综合实力的统计方法。例如美国的塑钢比约在 40% 上下，中国的塑钢比在 15% 左右。

由上述不难看出，材料在人类发展中有不可替代的作用和地位。人们往往用材料的发展和水平来衡量一个国家国力的强弱、科学技术的进步程度和人们生活水准的高低。

材料，过去是、今天是、将来也必然是一切科学技术，尤其是高新技术发展的先导和柱石。随着科学技术的发展，对材料的需求也不断发生变化，新的材料不断出现，新的构成发生极大的变化。表 1-2 所示为美国 8 个重要工业部门对材料的要求。

表 1-2 美国 8 个工业部门对材料的要求

所需特性	工业部门							
	航空航天	汽车	生物材料	化工	电子	能源	金属	通讯
质轻高强	✓	✓	✓					
耐高温	✓			✓		✓	✓	
耐腐蚀	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
迅速开关					✓	✓		✓
高效加工	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
近无余量成型	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
材料回收		✓		✓			✓	
预测使用寿命	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
预测物理性能	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
材料数据库	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

均一材质的材料往往已无法满足高新技术发展的要求，复合材料应运而生。在欧美等国家，轿车上复合材料已超过 50kg，法拉利等高级跑车、全塑汽车等的车身是以复合材料制作的。在航空航天工业中，减轻自重可以使火箭、卫星、导弹等飞得更高、更远。譬如，人造卫星质量每减少 1kg，就可使运载火箭减轻 500kg。喷气发动机每减轻 1kg，飞机可减轻 4kg，升限可提高 10m；而其工作温度每提高 100℃，推动力就可提高 15%。使用碳-碳复合材料的火箭与全金属材料相比，其射程可远 950km。因此，有人认为 21 世纪是复合材料的时代。

美国商业部曾对 2000 年时 12 项新兴技术作了预测，如表 1-3 所示。先进材料的产值居首位，占 43%。据估算，全世界的先进材料为 4000 亿美元，占新兴技术 10000 亿美元的 40%。由此可见，材料对科学技术进步的重要性。

表 1-3 美国商业部对 2000 年时 12 项新兴技术的预测

项 目	产值/亿美元	所占比例/%	分 类
先进材料 ^①	1500	42.1	新兴材料
超导材料	50	1.4	
先进半导体器件	750	21.1	新兴电子与信息技术
数字图像技术	40	1.1	
高密度数据存储	150	4.2	
高功能计算机	500	14.0	
光电子	40	1.1	
人工智能	50	1.4	新兴生产系统
柔性集成加工	200	5.6	
传感技术	50	1.4	
生物技术	150	4.2	新兴生命科学技术
医疗与诊断装置	80	2.3	
合计	3560	100	

注：① 先进材料包括特种陶瓷、陶瓷基和金属基复合材料、金属间化合物与轻合金、先进塑料、表面改性材料、金刚石薄膜、膜材料及生物材料等。

1.1.3 材料的要素

人类已经发现的材料达 800 余万种，每年还以 25 万种的速度增长着，具有实际工业价值的也有 8 万余种。材料的种类繁多，性能千差万别，应用领域十分广泛。表 1-4 为各种材料的主要物性。由表可知，通常情况下，几种材料的比较如下：

- 密度：钢铁>陶瓷>铝>玻璃纤维增强复合材料>塑料（由大到小）；
 耐热性：陶瓷>钢铁>铝>玻璃纤维增强复合材料>塑料（由高到低）；
 拉伸强度：钢铁>玻璃纤维增强复合材料>铝≈陶瓷>玻璃>塑料（由大到小）；
 比拉伸强度：玻璃纤维增强复合材料>铝>钢铁>塑料>玻璃>陶瓷（由高到低）；
 韧性：钢铁≈铝≈玻璃纤维增强复合材料>塑料>陶瓷≈玻璃（由强到弱）；
 导热性：铝>钢铁>陶瓷>玻璃>玻璃纤维增强复合材料>塑料（由高到低）；
 线膨胀率：塑料>铝≈玻璃纤维增强复合材料>钢铁>玻璃≈陶瓷（由大到小）；
 导电性：铝>钢铁>陶瓷>玻璃纤维增强复合材料>玻璃>塑料（由大到小）。

表 1-4 各种材料的主要物性

性能	金属		塑料		无机材料	
	钢铁	铝	聚丙烯	玻璃纤维增强尼龙-6	陶瓷	玻璃
熔点/℃	1535	660	175	215	2050	
密度/g·cm ⁻³	7.8	2.7	0.9	1.4	4.0	2.6
拉伸强度/MPa	460	80~280	35	150	120	90
比拉伸强度(拉伸强度/密度)	59	30~104	39	107	30	35
拉伸模量/GPa	210	70	1.3	10	390	70
热变形温度/℃	—	—	60	120	—	—
膨胀系数/×10 ⁵ K ⁻¹	1.3	2.4	8~10	2~3	0.85	0.9
传热系数/W·(m ⁻² ·K ⁻¹)	0.40	2.0	0.0011	0.0024	0.017	0.0083
韧性 ^①	√	√	—	√	×	×
体积电阻率/Ω·cm	10 ⁻⁵	3×10 ⁻⁶	>10 ¹⁶	5×10 ¹¹	7×10 ⁴	10 ¹²
燃烧性	不燃	不燃	燃烧	难燃	不燃	不燃

注：①“√”——优；“—”——良；“×”——差。

因此，粗看起来，似乎各种材料各具特性，相互间差异很大，并无多少共同之处。

在相当长一段时间内，材料科学与工程的研究主要集中在结构与性能的关系上，关注的是使用过程中固有的性能（即宏观性能），如物理性能、力学性能、热性能、光学性能、电性能、透气性能、耐化学药品性能、耐候性能、长期使用性能、燃烧性能等。然而，随着科学技术的发展和对材料科学与工程关键问题认识的日益深化，材料研究已深入到分子、原子、电子的微观尺度研究化学结构与分子结构，如核外电子层排列方式、原子间的结合力、化学组成与结构、立体规整性、支链、侧基、交联程度、晶体结构、链形态等。人们发现，每当一种材料被创造、发现和生产出来时，该材料所表现出来的性质是人们关心的中心问题，而材料的性质取决于成分和各种层次上的结构，材料的结构又是合成和加工的结果，最终得到的材料制品必须能够、并且以经济和社会可以接受的方式完成某一指定的任务。

因而，无论哪种材料都包括了 4 个要素：

性质——赋予了材料的价值和用性；

使用效能——是材料在使用条件下应用性能的度量；

结构与成分——包括了决定材料性质和使用性能的原子类型和排列方式；

合成和加工——实现了特定原子排列。

图 1-2 (a) 所示为材料 4 个要素之间的关系。4 个要素反映了材料科学与工程研究中的共性问题，其中合成和加工、受加工影响的使用性能是两个普遍的关键要素。正是在这 4 个要素上，各种材料相互借鉴、相互补充、相互渗透，抓住了这 4 个要素，就抓住了材料科学与工程研究的本质。而各种材料，是其特征所在，反映了该种材料与众不同的个性。如果这样去认识，则许多长期困扰材料科技工作者的问题都将迎刃而解。可以依据这 4 个基本要素评估材料研究中的机遇，以新的或更有效的方式研制和生产材料，判断这 4 个要素的相对重要性，而不必拘泥于材料类别、功用或从基础研究到工程化过程中所处的地位。同时，也使材料科技工作者可以识别和跟踪材料科学与工程研究的主要发展趋势。

考虑在四要素中的组成和结构并非同义词：相同成分或组成通过不同的合成或加工方法，可以得出不同结构，从而材料的性质或使用效能都不会相同。因此，我国有人提出一个五个基本要素的模型，即成分、合成/加工、结构、性质和使用效能。如果把它们连接起来，则形成一个六面体，如图 1-2 (b)。

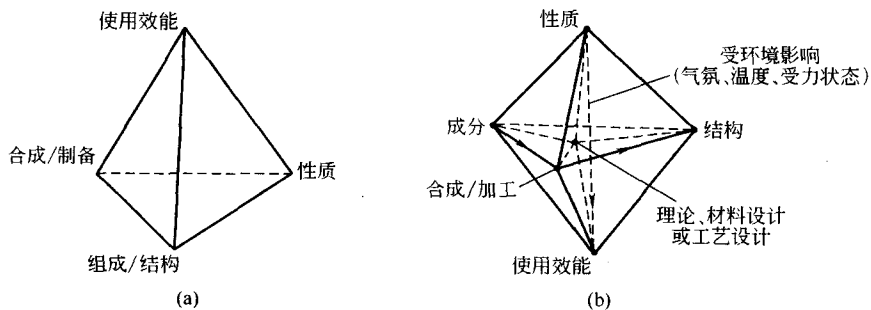


图 1-2 材料科学与工程要素图

(a) 材料科学与工程四要素 (b) 材料科学与工程五要素

材料科学与工程五要素模型的特点主要有两个：一是性质与使用效能有一个特殊的联系，材料的使用效能便是材料性质在使用条件下的表现。环境对材料性能的影响很大，如受力状态、气氛、介质与温度等。有些材料在一般环境下的性能很好，而在腐蚀介质下性能却下降显著；有的材料在光滑样品时表现很好，而在有缺口的情况下性能大为下降，特别有些高强度材料表现尤为突出，但凡有一个划痕，就会造成灾害性破坏。因此，环境因素的引入对工程材料来说十分重要。二是材料理论和材料设计或工艺设计有了一个适当位置，它处在六面体的中心。因为这五个要素中的每一个要素，或几个相关要素都有其理论，根据理论建立模型，通过模型可以进行材料设计或工艺设计，以达到提高性能及使用效能、节约资源、减少污染或降低成本的最佳状态。这是材料科学与工程最终努力的目标。有人设想提出性能指标或使用效能要求，可以通过材料配方，采用最佳工艺，就可制备出符合要求的材料或器件。应该说明，目前国际流行的仍是四要素模型，五要素模型也有人引用。

(1) 性质

性质是材料特征性质和功能性质的定量度量 and 描述。材料的性质可分为两类，一种称之为特征性质，包括热学、力学、电学、磁学、光学等性能，是属于材料本身所固有的性质；另一种称为功能性质，是指在一定条件下和一定限度内对材料施加某种作用时，通过材料将这种作用转换为另一形式功能的性质。

1) 特征性质 常遇到的材料特征性能有以下几种：

① 热学性能。例如材料的热容、热膨胀、热导率、熔化热、熔点、蒸发热、沸点等都属于热学性能。

② 力学性能。外加作用力与变形及破坏的关系称为力学性能，例如材料的弹性模量、拉伸强度、压缩强度、抗冲强度、屈服强度、耐疲劳强度等。

③ 电学性能。包括电导率、电阻率、介电性能、击穿电压等。

④ 磁学性能。如顺磁性、反磁性、铁磁性等。

⑤ 光学性能。包括光的反射、折射、吸收、透射以及发光、荧光等性质。

⑥ 化学性能。材料参与化学反应的活泼性和能力，这种能力往往用以表征材料耐腐蚀性的大小。同材料化学性能有关的问题还有催化性能、离子交换性能、吸收、吸附等性能。

2) 功能性质(效应物性) 许多材料具有把力、热、电、磁、光、声等物理量通过“物理效应”、“化学效应”、“生物效应”进行相互转换的特性，因而可用来制作各种重要的器件和装置，在科学技术的发展中起着重要的作用。对于这些功能性质举例如下：

① 热-电转换性能。这种性能应用于红外技术、温度测定，如热敏电阻、热释电红外探测。具有这种性能的材料如过渡金属氧化物以及 LiTaO_3 、 PbTiO_3 等。

② 光-热转换性能。是使光转换成热能的一种性质，例如使太阳光转变成热能的平板型集热器就是实现这种转换的装置。

③ 光-电转换性能。是指材料受光照射时其电阻会发生变化，有的会产生电动势或向外部逸出电子。这种光电效应在一些半导体中表现得很明显。具有这种性能的材料如 Si 、 Ge 、 GaAs 、 CdS 等，用于制备光敏二极管或三极管、光电池、太阳能电池等方面。

④ 力-电转换性能。是指机械能与电能相互转换的性能。最典型的表现是压电效应。压电效应有两方面的含义：一种是在一些介电晶体中，由于施加机械应力而产生的电极化；另一种是压电效应的反效应，即在晶体的某些晶向间施加电压而产生材料的机械形变。具有这种性能的材料有石英晶体(单晶体)、钛酸钡和锆钛酸铅(多晶体)以及高分子材料聚氯乙烯等。这类材料用于制备半导体测压元件、声纳、滤波器、压力二极管等，在压力测定、应变测定等方面都有广泛的应用。

⑤ 磁-光转换性能。是指在磁场作用下，材料的电磁特性发生变化从而使光的传输特性发生变化的一种性能。具有这类性能的材料有 MnBi 、亚铁石榴石、尖晶石铁氧体等。这类材料用于光调剂及记录、存储装置、激光雷达等方面。

⑥ 电-光转换性能。这是指晶体以及某些液体和气体在外加电场作用下折射率发生变化的性能。如 LiNbO_3 、 LiTaO_3 等即有这种性能。这种性能用于激光讯号调制、光偏转等方面。

⑦ 声-光转换性能。声波依介质密度(或折射率)的周期性疏密变化可看作一种条纹