

谈 谈 材 料 科 学 技 术

瞿家骅 史荫庭 李明智 编
上海科学技术出版社



现代科学技术讲座

谈谈材料科学技术

瞿家骅 史荫庭 李明智 编

上海科学技术出版社

现代科学技术讲座

谈谈材料科学技术

瞿家骅 史荫庭 李明智 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 2 字数 40,000

1979年8月第1版 1979年8月第1次印刷

印数: 1-30,000

书号: 13119·804 定价: 0.16元

出版说明

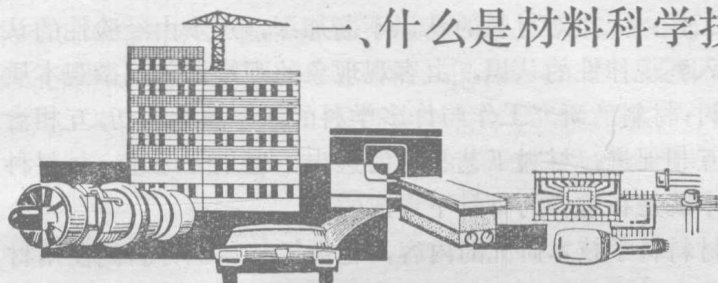
为了帮助广大读者初步了解现代科学技术一些重要部门的基本面貌，我们请有关同志分头编写了这组《现代科学技术讲座》，扼要介绍现代农业科学技术、能源科学技术、材料科学技术、电子计算机科学技术、激光科学技术、空间科学技术、高能物理和遗传工程的概况及其在四个现代化中的重要意义，供广大干部和各条战线上的同志们参考。

本书中错误和不足之处欢迎批评指正。

目 录

一、什么是材料科学技术.....	1
二、金属材料.....	4
三、无机非金属材料.....	22
四、有机高分子材料.....	39

一、什么是材料科学技术



材料科学技术是以材料为研究对象的一门综合性科学技术。材料这个概念包括的面极广，从制造机器设备的钢材，建厂房、盖住宅的建筑材料，造计算机用的电子材料，到织布用的人造纤维，印这本书用的纸，都包罗在材料这个大范围内。材料是发展国民经济的物质基础。俗话说，“巧妇难为无米之炊”，离开了材料，发展工农业生产，提高科学技术，加强国防建设，改善人民生活，显然都成了空话。新材料的使用还与人类社会的发展有着紧密的联系。最早，人类只会使用天然的材料，用石块、木棍之类制作粗笨的工具，在历史上称为“石器时代”。后来，人类学会了从矿石中冶炼金属，以之制造工具。金属工具的使用，大大提高了劳动效率，极大地推动了社会生产力的发展，促成了生产关系的变革，人类社会先后跨进了“青铜器时代”和“铁器时代”。

今天，随着科学研究与生产技术的突飞猛进，人类对材料的需要也在不断增长。尤其是原子能、计算机、空间技术、激光、环境保护等新科学技术部门的兴起，对材料提出了更多、更高、有时甚至是似乎彼此矛盾的各种要求。过去习用的那些材料，无论在性能方面还是品种、数量方面，都已无法满足日益增长的需要，人们必须努力去发展更多的具有新性

质、新功能的新材料。因此，近年来各国都加强了对材料的研究工作；人类对材料的认识不断加深，逐步由经验性的认识深入到规律性的认识，由客观现象的观察深入到微观本质的探讨；材料的研究工作与许多学科的联系愈益密切，互相渗透，互相促进；材料工艺技术的进步，也十分迅速。材料科学技术就是在这样的背景下形成的。

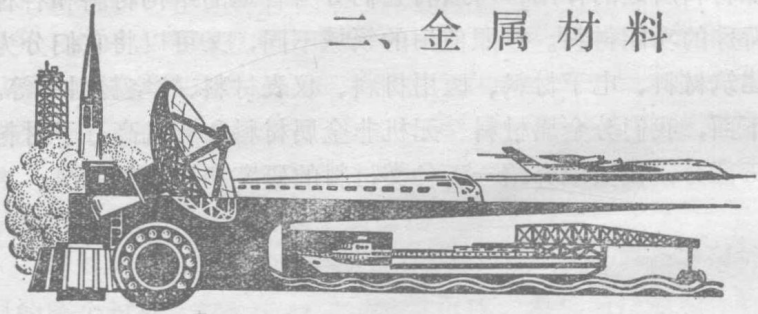
材料科学技术研究的内容，包括了从认识材料到使用材料的整个过程。它研究材料的化学组成、结构与性能变化的关系，深入探索其客观规律，从本质上认识材料，发展新材料；它研究材料的形成机理和制取方法，研究材料物性的测试方法和技术；它还分析材料的损坏机理，研究材料的合理加工方法和最佳使用方法，以扩大材料的用途，做到既节省材料又能保证质量。材料科学技术的目的，就是要从化学和物理研究的角度来说明材料为什么具有这样那样的性能，并以此为指导来发展各种新材料，以满足生产和科学技术发展的需要。

材料科学技术的发展既牵涉到固体物理、表面物理、晶体结构学、电化学、量子化学等许多基础科学领域，又与冶金、化工、电子、建筑等许多工业部门密切相关，已经成为衡量一个国家工业和技术发达程度的标志之一。

材料科学技术的对象非常之多。近代科学技术的高速发展，使材料的种类急剧增长。据 1976 年统计，在西方各国注册的材料共有 25 万余种，而且还在不断增加之中。对于名目如此繁多的材料，可以有多种不同的分类。按照各种材料的特性，可以将它们粗略地分为金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料三大类；除此之外，近年来又发展出一类将两种以上材料通过特殊方法结合起来而构成的复合材料。按

照材料所起的作用，可以将它们分为普通的结构材料和各种特殊的功能材料。按照使用的领域不同，又可以将它们分为建筑材料、电子材料、医用材料、仪表材料、航空材料等等。下面，我们分金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料三部分，概要地介绍一下各类材料的研究和发展的情况。

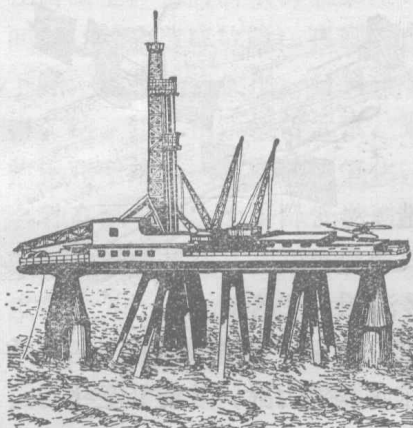
二、金属材料



现代化对金属材料的要求

先从钢铁说起。在现代工业中，钢铁是主要的金属材料，在机械产品中占整个用材消耗的60%以上。钢的品种很多，按用途可分为结构钢、弹簧钢、轴承钢、工具钢、不锈钢、耐热钢等若干类。铸铁也分为灰铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁等许多种。钢铁的资源丰富，提炼和加工容易，能在相当宽的范围内满足各种需要，用途十分广泛，是现代工业的基础。要实现四个现代化，离不开大量的机械设备。为了实现农业机械化，要提供百万台大型拖拉机和各种中小型拖拉机；为了发展能源工业，要建设油气田、煤炭基地和大型电站；为了实现国防现代化，要以各种导弹、飞机、坦克和战舰等现代化的武器装备人民解放军……要造出这么多机器和设备，就意味着需要成亿吨的钢铁。有了钢铁和机器，才能有整个工业和国民经济的高速度发展。

除了钢铁，有色金属也是重要的金属材料，常用的有色金属有铝、铜、钛、镁、镍、钴、钨、钼、铅、锡、锌，还有贵金属金、银、铂等，工业上还常常使用它们的合金材料（两种以上金属熔合而成）。别看有色金属只占金属材料消耗的5%，但



它们具有许多特殊的性能，如导电导热性优良、比重小、化学性质稳定、耐热耐腐蚀等等，因而在现代工业技术中占了重要的地位。

生产的要求

现代工业生产对于金属材料，不仅要求数量多，而且要求质量好，能够满

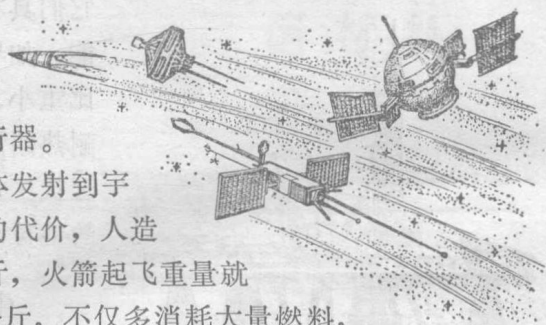
足各方面的特殊需要。尤其是原子能工业、航空工业、电子工业和航天事业、海洋开发事业的迅速发展，对材料提出了极高、极严格的要求，促使材料科学工作者研制各种高性能的金属材料，来满足科学发展的需要。

现代化的大型结构件，象南京长江大桥、上海电视塔、海洋钻井平台、化工压力容器、大型起重吊臂、卫星地面站天线、远洋船舶和高层建筑框架等，都特别高大，负荷很重。一般低碳钢因强度低，是难于胜任的，这就需要研究一系列高强度的钢材。材料科学工作者研究了合金元素在钢中的作用，发现加入少量合金元素（如硅、锰、钼、钒、硼、铬、镍等）和简单热处理后，钢的强度可提高2~6倍，用这类低合金高强度钢制造上述这些庞然大物，就能不怕狂风巨浪，在祖国大地和海洋上巍然屹立（图1）。



图1 海上钻井平台（左上）和卫星地面站天线

为了发展空间技术，开发宇宙，要有火箭、人造卫星和空间飞行器。



我们知道，把物体发射到宇宙空间要化很大的代价，人造卫星每增加1公斤，火箭起飞重量就要增加大约500公斤，不仅多消耗大量燃料，而且体积增大，制造也更困难。所以，制造火箭和卫星的结构材料既要求重量轻，又要求承载能力大，才能经受飞行过程中的巨大冲击，即使上述低合金高强度钢也难胜任。为此，材料科学工作者通过复杂合金化和特殊热处理技术，研制成功一类新的超高强度钢。它的强度可达每平方毫米140公斤以上，目前实验室中强度已达每平方毫米400公斤。用这种材料制造火箭壳体，可以获得又薄、又轻、又牢的效果。

除了超高强度钢以外，铝合金和钛合金也是高强度的结构材料。通过在铝、钛材料中加入其他合金元素和变形强化，材料强度可提高到每平方毫米60~100公斤以上，由于铝、钛的比重小，这些合金的比强度(强度与比重之比)很大，用于制造飞行器，能进一步减轻自重，节约燃料消耗。如有的大型飞机，主要结构件的百分之九十用钛合金制造，使自重显著下降。

航空涡轮喷气发动机和工业燃气轮机，都是现代化的设备，目前只有工业发达的国家能够制造。这些设备中有一些关键零件，象动叶片、导向叶片、喷嘴、涡轮盘等均在高温气流中工作，受到高温燃气的严重冲刷。制造这类零件的材料要求具有特殊的耐热性。普通的钢材是经不起高温考验的，

在高温下，它们会很快氧化，剥落下来的氧化皮掉入发动机间隙，就会造成故障；再则，在高温下，钢材的强度会陡然下降，以至无法使用。材料科学家经过研究，在钢中加入镍、铬、钴、钨、钼、钒等元素，通过一系列加工处理，制成耐热钢和耐热合金，既能抗氧化，又保持高温强度，适合制作各种高温零件。为了降低燃料消耗，增加航程，航空涡轮喷气发动机的热效率要求越高越好。从计算可知，若将工作温度提高 55.5°C ，发动机的热效率可增加 11% 。一台工业用燃气轮机，如果进气温度从 750°C 提高到 850°C ，不仅效率提高，而且体积可缩小一倍，材料消耗减少 50% 。显然，要达到这个目标，就要求有能耐更高温度的材料。但是，高级的镍-钴基高温合金目前已使用到了极限温度，怎么办呢？材料科学工作者们发现，用超细颗粒的不溶性金属氧化物，如氮化物或硼化物等，经特殊工艺处理，使其均匀弥散分布于合金之中，能起到强化作用。这种新型的弥散强化高温合金突破了原有合金的极限使用温度，使燃气轮机工作温度有可能提高到 $1200\sim 1250^{\circ}\text{C}$ ，甚至可达 1300°C ，使喷气发动机的技术水平又迈前了一步。今后，燃气轮机将在汽车、船舶、移动电站、天然气输送增压站等部门广泛应用，高温合金也将发挥更大的作用。

除了上面介绍的方面外，材料科学技术还帮助人们同金属的腐蚀作斗争。大家知道钢铁会生锈，这是空气中的氧、水分、二氧化碳等对钢铁的腐蚀。还有许多酸、碱、盐介质，都会严重腐蚀金属。金属由于腐蚀而造成的损失是惊人的，有人估计，每年全世界因腐蚀而报废损失的设备，相当于世界钢产量的三分之一。腐蚀还会造成严重的事故，不仅停工停产，甚至危及人身安全。所以金属的防腐蚀问题是材料科

学中一个重要的研究内容,有的国家在制定材料研究政策时,曾把腐蚀问题放在首要的地位。如何保护金属不被腐蚀呢?除了用涂料保护外,能否提高金属本身的耐腐蚀性呢?材料工作者观察分析了各种金属的腐蚀情况,发现一些化学稳定性好的金属,象金、铂、铅等,能抵抗腐蚀;还有一些金属,表面能生成致密的保护膜,象铬、铝之类,在某些场合也有良好的耐蚀性。但是这些大都是有色金属或贵金属,使用受到限制。能否提高钢材本身的耐腐蚀性呢?材料工作者经过研究,发现在钢中添加铬、镍、硅、铝等合金元素后,能显著改善钢的耐腐蚀性能,这就是我们平常说的不锈钢。现在,各种各样的不锈钢和耐酸钢已经成了制造农药、化肥和各种化工原料的生产设备不可缺少的重要工程材料。

在石油、天然气开采过程中,硫化氢(即臭皮蛋中的那种恶臭气体)会对金属产生严重的腐蚀,甚至会将井口阀门腐蚀损坏,造成井喷火灾危险。这个问题不解决,石油天然气就无法顺利开采。材料科学工作者研究了硫化氢腐蚀规律,发现在潮湿环境中硫化物对材料的腐蚀与氢在金属材料中的渗透有关,氢渗透会引起氢脆开裂,这又与材料的内部缺陷和受力状态有关。这样,复杂的腐蚀问题终于被弄清了。在这样认真分析研究的基础上研制出的抗硫化氢腐蚀新钢种,就能防止开裂,避免井喷事故,保证了安全生产。

大家知道,海洋中蕴藏着极丰富的资源,除了石油外,在深海海底还有极丰富的多种矿物资源。有人估计,仅太平洋底下就有镍 90 亿吨、铜 50 亿吨、钴 30 亿吨、锰上千亿吨,经济价值极大。然而深海采掘作业是件不容易的事,在材料方面就遇到许多新问题。在深度超过六千米的深海,压力达到 600 个大气压以上,同时深海中盐分含量高,对材料

有严重的腐蚀作用。所以深海用材料，既要求高的强度，能耐很高的压力，又要求耐腐蚀。常用的不锈钢强度不够，高强度钢又不耐腐蚀。材料工作者设法综合了二者的优点，研制成一类特殊的高强度不锈钢。它兼有不锈和高强两种特性，适合制造各种深海作业的潜水船、各种工作仓和休息仓构件等(图 2)，是深海作业的重要材料之一。

在原子能发电设备中，又遇到了另一类腐蚀问题。原子能反应堆连续工作时间很长，不允许随便打开检修，安全要求又特别高，所以对接触腐蚀介质的部件，要求严格的耐腐蚀性。尤其是在先进的增殖型反应堆中，热交换器和管、泵、阀等零件均可能与高温的液态金属钠、锂或熔盐接触，要求材料能抗高温液态金属或熔盐的腐蚀。此

外，在反应堆中有强烈的中子辐射，一般金属材料受到中子强烈辐照后，强度和韧性都要下降，研究材料的抗辐照能力也是迫切的材料技术问题。

还有，电子技术、自动化技术在实现四个现代化的过程中发挥着巨大的作用，要普遍实现电气化、自动化，就少不了各种遥测、遥控元件。制造这类自动化元件需要许多特殊的功能材料，实现热、光、声、压力等和电之间的信号转换。这些功能材



图 2 深海作业的潜水船

料中有相当部分是金属材料，在习惯上又称精密合金，如测高温用的铂铑-铂、钨-钼等热电偶材料，用于精密测量的恒弹性材料，电阻率几乎不随温度变化而变化的电阻合金等等都是。诸如此类的精密合金，用量虽然不大，用途倒十分广泛，对于工业技术的发展显得相当重要。

新材料对生产技术的促进

在实现四个现代化的过程中，材料科学技术肩负着艰巨的任务，影响到各个领域，从提高产品质量到新技术的推广应用，几乎都和材料有关。

先以机械工业为例，为了向国民经济各部门提供先进的技术设备，除了设计要先进外，还要靠材料质量水平的不断提高。如载重量同样为4吨的汽车，工业先进国家生产的自重仅为2.5吨，除了发动机设计先进外，设计人员在汽车结

构件上也动了不少脑筋，如，改用低合金高强度钢制造汽车大梁，就可节约钢材百分之十五，既减轻了自重，降低了燃料消耗，还提高了使用寿命。

大家知道轴承(指滚动轴承)是机械中普遍应用的重要零件。轴承的质量涉及许多机械产品的质量，而轴承的质量又与材料内在质量直接有关，如轴承钢中的

脆性夹杂物评级降低一级(即夹杂物含量有所增加)，则轴承的平均接触疲劳寿命就下降50%。如果采用真空处理来净化钢液，使夹杂物减少，轴承寿命可大幅度提高。为了使国产

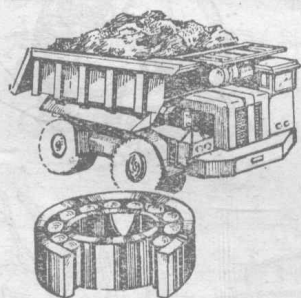


图3 汽车、轴承都需要材料科学技术

轴承的质量和使用寿命赶上和超过世界先进水平，就必须发展材料科学技术，研究提高轴承钢的质量(图3)。

机械工业的生产效率高也是技术先进程度的标志之一。以切削加工为例，现代化加工都实现高速自动切削，这对刀具材料要求严格，特别是一次刃磨后的切削寿命很重要。随着材料应用的扩大，难加工材料越来越多，对刀具的要求也就更高了。材料科学工作者研制了一系列先进的刀具材料，如超硬高速钢、硬质合金、立方氮化硼和表面气相沉积氮化钛等，这些材料硬度很高、非常耐磨、对高速切削的推广十分重要。另一方面，为了提高切削速度，还可以从被加工材料上动脑筋。如在钢中加入铅、硫、钙等元素，能改善钢的切削性能，成为一种易切削钢，车削时可比普通钢节约三分之一的能源。使用新材料还能降低产品的成本，收到良好的经济效果。举个例子来说，在普通铸铁中加入镁和稀土元素，可使铸铁中的碳分呈均匀的球状分布，称为稀土球墨铸铁。它的强度高、韧性好，是一种廉价的优良结构材料，可以代替部分铸钢件，在拖拉机、农机、冶金矿山等设备上推广使用，能显著地降低成本。

材料技术的重大突破往往为新技术的推广开辟道路。早在1911年，人们就发现了超导现象，即在极低温下，某些金属的电阻几乎为零，能承载非常大的电流而几乎没有损耗。但是，由于缺乏可供实用的超导材料，超导现象一直没有能够得到实际应用。六十年代，人们发明了铌-锡合金超导材料，超导技术方才付诸实用。现在，超导技术已经成为磁力悬浮列车、磁流体发电、磁控热核反应研究等方面的必要技术了。

用超导材料制造电机，不仅可以节省能量消耗，而且大大节约原材料。一台常规的八千马力电机重370吨，采用超

导材料的仅重40吨，总造价可下降50%。对建造五百万千瓦以上的大型电机，更几乎是非用超导技术不可。再有，用超导材料作远距离输电线十分经济，输送效率可达99.5%以上，几乎没有损耗；试验中的磁力悬浮列车预期速度可达500公里/小时，按这个速度从上海到北京只要三个多小时。现在，超导技术的用途越来越广，这里就有材料工作者的很大功劳。

目前，超导材料虽然已有多种，但都只能在接近液氮（ -269°C ）的超低温下应用。要获得和保持如此低的温度，在技术上相当复杂。因此，材料研究者正在研究临界温度较高的超导材料，寻找能在液氮（ -196°C ）温度，甚至在室温下工作的超导材料。据认为，将氢液化后，进一步冷却，同时施以80万~100万大气压的压力，就可能使之转化为一种稳态或亚稳态的金属氢。金属氢在室温下仍有可能保持固态。由于氢原子的特殊结构，金属氢将呈现超导性。显然，金属氢如能制备出来，就是一种可贵的室温超导材料，它将促使超导技术普遍应用，引起电机和电讯工业的巨大变革。

材料科学技术的发展与现代各种极端技术也有密切关系，诸如超高压、超低温、超高真空和超高温等技术的建立，都离不开特种新材料的发展。如超高压是用来合成人造金刚石和其他超硬物质的主要工艺技术，还可模拟地层内部的高压状态，是固体物理的一项基础技术。获得超高压的高压腔和高压砧要承受很高的压力以及加载卸载的变化。材料科学工作者研制出了一种超硬合金，在它表面再包覆烧结一层金刚石，就能承受几十万个大气压，这才使超高压技术得以发展。超低温技术要求材料在 -200°C 的低温下保持足够的韧性。由于有了在 -253°C 的低温下仍有良好韧性的无磁性奥氏体材料和铝、钛合金低温材料等特殊材料，超低温技术