

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界科技全景百卷书 (96)

材料科学



# 材料科学

# 材料的历史

## 材料与人类文明

简单回顾一下历史便可知晓，正是在历史发展过程中以及与此相联系的人类知识和经验的增长过程中，材料的使用才得以发展。我们可从中得知：是哪些或哪类材料在一定的历史条件下最能满足技术和经济的需要；同时还看到，材料的发展与社会的发展以及人类文明之间贯穿着一条辩证的线索。

在人类发展史的早期阶段，直接获取的自然财富被用于满足最简单的需要。自然财富、原料、材料、产品阶段几乎是协调一致的。由于没有分工，并且只不过是满足自身的直接需要，所以精加工的劳动比重很小。随着分工程度的深化，对在自然界寻觅到的原始材料进行加工的兴趣提高了。此后，长期以来所形成的社会关系，不断提供新的途径来更多地生产消费品和改善居住条件。如果人类想要改善生活条件，那么无论在哪个社会阶段，都必须发展技术及与此相联系的材料使用为前提。人身体上的“工具”、“发动设备”和感官均有局限性。如果没有具备相应数量、质量、形式和布局的一定材料，没有必要的知识和技能，人类便会停留在原始阶段。

数百万年前，人类摆脱了动物界，开始有意识地使用石头。除了骨头之外，石头是人类最早使用的材料之一。起初这种材料造型粗糙，但后来经过加工，使人类得以掌握多倍于体力的力量，人类被迫发展那些在与环境斗争中取胜的能力。人类先是用石头和骨头制成简单、基本的工具来补充手掌、手指、指甲和牙齿的功能。这些工具是手握的。当他们获得了不仅使用原始石头，而且进行加工的能力后，几乎等于完成了一次革命。当人类约在 50 万年前使用火时，石料的价值就更大了。人类是由劳动创造的，劳动又是从制造工具开始的。在已经发现的旧石器时代的人类遗址里，可以看到我们的祖先用石头打磨制成的石刀、石斧、刮削器等，这些就是人类早期曾经用过的工具。劳动工具的出现，也带来了社会物质和人类文明的进步。

四、五十万年前北京猿人群居洞穴，狩猎为生，使用的工具主要源于石头和骨头，制作粗糙，用途尚未分化。他们的生产力水平低下，生活维艰，甚至弱肉强食。考古学家还发现猿人有食人之风，也许猿人根本没有意识到这样做是否道德。至于打扮自己——美的概念，他们连想也不会想。

在 18,000 年前山顶洞人的洞穴里，曾发现七件穿孔的石珠，五件穿孔的海蚶壳和一百多只穿孔的象牙。这说明了比较温饱的人类萌发了爱美之心。山顶洞人掌握了磨制和钻孔技术，能制造比较精致的石器和骨器，用骨针把兽皮缝制成衣服。

古生物学研究证明：在这个时期，除了能加工粗糙的石器外，还能制造工具。除了拳状镗之外，还有刮刀和刮板。骨头、象牙、石头和植物编织物被用来制造鱼叉、鱼钩和鱼网等。原始时代和史前时期用“划时代材料”来命名历史阶段，形象地说明了材料在人类历史上的重要性。

公元前 15,000 到 10,000 年之间，形成了早期的农业。此间产生的初期劳动生产力革命——农业革命的必然结果，是原始社会的解体。虽然材料仍局限在传统原料之内，但人的能力提高了。他们可以把材料加工得更加精细，而且富有艺术性。

约在公元前 7000 年，开始了最早的社会分工，形成了游牧部落和农耕。同时，材料及其产品有了进一步的发展，如罐壶、纺织和编织产品。至此，人类活动的产物主要来自直接支出的劳动，即活劳动。直到劳动分工和出现专式的制作时，劳动过程的组成部分才被加以区别。这就是劳动力、劳动工具和劳动对象。这个时期（其演变过程长达数千年）可看作是材料诞生的时期，劳动是慢慢地被物化了。

六千多年前的西安半坡遗址为我们提供了丰富的文物和史料。出土的汲水用尖底陶罐、鱼纹彩陶盆、口沿有几十种符号的陶钵都十分精美。半坡人普遍使用磨制的石铲、石刀等石器。他们还把骨、角制成针、锥、鱼钩、鱼叉和弓箭。岩石、兽骨和陶土成为他们熟悉的材料。

石器的使用历史最为漫长，达二、三百万年之久。后来由于生产力的发展，我们的祖先在不断改进石器和寻找石料的劳动中，发现了天然铜块（自然铜），把它加热锻打，加工成各种器物，铜首次被有意识地用来作为材料。后来又发现把锡矿石加到铜里一起熔炼，制成的物品更加坚韧耐磨，这就是青铜。一般来说，原始的农业、手工业和文字是青铜时代的特征。

公元前 5500 到 4000 年之间，随着灌溉技术的出现以及顺乎自然而形成的手工业，人类进入其生存的一个新的历史阶段。早期东方人在河谷地区居住，使农业和手工业分开。这是第二次大的社会分工，它使劳动生产率急剧增长，从而使少数人能够占有剩余产品和行使他们的权力。可以想像，一个古代狩猎者为保障其生存基础，需要有 20 平方公里的猎区；而以农田为生存基础的耕农，则可在相同的面积上养活 9000 人。显然，这个时期的初期已取得了巨大的进步，而后来的自然手工业和灌溉技术更使其大大向前迈进，彩陶是这个时期引人注目的改进。考古人员除发现了简单的用品外，还发现大量的容器，尤其是有相当艺术价值的绘画的容器。金属铜比石头具有更广泛的用途，这使它更广泛被采用，而石头作为材料已退居第二位。更主要的发展成果是青铜，铜具有这种形式后，才大大优于石器。起初，人们只是无意识地在铜内加入其它金属，如铅、锌、银和锡而得到合金。但不久便认识到，这些真铜和假铜具有比纯铜更好的性质，而用 6~20% 的锌制成铜合金的效果最佳。

在青铜时代早期，就发明了金属浇铸这一重要工艺技术。它主要用于合金成分大于 10% 的合金，因为这时已经不能再用锤打的方式进行加工。青铜熔炼是个突破，此后便能生产成分不同的新材料，冶金迈入技术历史的前列。随之而来的是金属分割、成型、焊接等不同的金属加工技术，同时，也使社会物质水平和人类文明得到不同程度的提高。

在五千多年前的仰韶文化遗址中，发现了陶制纺轮和骨针，有的陶器上留有麻布纹的痕迹，说明人们已懂得纺织。在 3500~3000 年前的商代遗址中，出土了大量青铜器，包括青铜乐器铜铙。河南安阳出土的商代晚期大司母戊鼎重达 875 千克，以其精美壮丽闻名中外。商代的墓葬物中已经有镀锡的铜器和锡、铅、金器，商代的甲骨文文字中，有不少“车”、“舟”、“帆”字，反映出当时的交通已有相当高的水平。

我国的青铜冶炼始于夏代（公元前 2140~公元前 1711 年）。进入奴隶社会以后，炼钢技术发展很快。所使用的劳动工具、武器、食具、货币、日用品和车马装饰，都是用青铜制造的，显示出我们祖先精湛的艺术才能。更主要的是青铜材料代表一种新的生产力登上了历史舞台，有力地促进了生产

的发展和人类文明的进步。

铁的出现，在很大程度上与陨铁的发现有关，但铁矿开采可能与铜矿开采有关。铁加工曾有两个技术中心，一个中心是西亚，另一个中心是中国。在那里，当时正向最早期的机械过渡（使用动物和水轮作动力的最老的机器），直到 18、19 世纪的工业革命才从数量和规模上超越了这个阶段。越来越多的手工业者能自力开采和加工金属。少数锻工场掌握了加工和制作最精良铜材的技术。淬火钢获得了声誉，古代称之为塞乐铁。为获得熔化金属矿石达到的温度，使用了木炭。但如果没有充分的氧气，木炭最高只能达到 900℃，被熔渣污染的初级产品在炽热状态下加以锤打，使其净化，从而可得到可锻铁。根据考古挖掘和现有的文献来判断，铁在公元前 12 世纪最终占据了统治地位。

2700 ~ 2400 年前的春秋时代，我国人民已经掌握了冶铁技术，比欧洲早 1800 年左右。那时是战国时代，铸铁的生产和应用显著扩大，已经使用铁模铸造农具，白口铁、展性铸铁、麻口铁等品种相继出现，进而由铸铁发展到炼钢，并且发展了三种不同的炼钢方法。

我国的传统冶炼和浇铸技术，包括精密浇铸技术延续发展了一千多年，直到六百多年前的明朝还在世界上处于遥遥领先地位，这也是我国灿烂的古代文化繁荣的基础，我国劳动人民对人类文明作出了巨大贡献。

在公元一世纪来临时，技术发展达到了第一个高潮。罗马帝国的崩溃和此后许多世纪许多社会生活领域的停滞不前，禁锢了技术的进步。

## 工业革命与新兴材料

公元 1000 年以后，技术领域才开始了一个新时代。原料的开采和加工技术经历了重要的繁荣阶段，当时以水力为驱动能代替以往动物和人的力量。利用水力驱动的鼓风机使冶炼达到的温度，可将铁化为液体，铁在炉火中被加工成可锻铁，从而发明了精炼法。此法直到 18 世纪末才被其它方法淘汰，直到这时才可以大量生产质量较高的铁。

18 世纪是技术革新的世纪。对行将到来的基础材料工业发展来说，最重要的发明是人们掌握了用硬煤炼焦并用于为炼铁输入能量。后来很快就发明了搅炼法，这种炼钢法可使用硬煤而不使其接触铁。1856 年，在把常压空气鼓进一个转炉内将铁变为钢的时候，引起了极大轰动。19 世纪，西汀丁——马丁法和托马斯法标志着炼钢技术的完善。

在此，涉及到材料史上一个新的历史阶段。因为它是科学技术革命以前人类历史上整个生产力系统第一次革命性转变的标志，故对其作几点重要说明。

18 世纪中期，可以看出当时最进步的国家（如英国）的技术发展趋势，这种发展在数十年内即导致阶级结构发生史无前例的变化，这就是 18、19 世纪的工业革命。当（1879 年）革命的风暴席卷法国时，英国正在发生比较安静的、但同样是巨大的变革。蒸汽和新的工作母机把手工工场转变为现代化大工业，从而使市民社会的全部基础发生了革命性变化。手工工场的缓慢发展过程转变为一个真正暴风雨般、突飞猛进的生产阶段。

劳动手段的变化，即从工具到机器的飞跃，促使其它工业部门也不能停滞不前。机器在重工业和交通中的应用也具有同样重要意义。这种变化与材料有多大关系呢？

18 世纪中期，由于生产金属所需的木炭不断增加，使英国的森林遭到严重砍伐。如果仍然不控制砍伐，便威胁到水土的保持。寻求新的、利用硬煤炼钢方法，不但能使生产保持当时的水平，而且能加以提高，以适应国民经济增长的需要。经过许多试验终于达到目的，1759 年卡龙制铁厂首次用煤代替木材。1750 年一炉的产量约为 300 吨，而 1800 年之后已达到 1500 吨，1783 年首次使用的炒钢法使钢铁生产发生了一次革命，它提高了钢的产量，最后还成功地把蒸汽机用在钢铁的生产中。在此之前，蒸汽机已经用在深度日益增加的矿山，以解决排水问题。

随着纺织工业建设对机器需求的不断增长，出现了新的工业部门——机械制造业。这个工业的劳动对象很久以来始终是木材，而且动工方式最初大多是木材加工，后来对铁、钢、黄铜和其它材料逐渐增多加工。在资本主义生产把国民经济立于新的基础上、将它所占领的市场统一为国内市场的情况下，必须用新的交通系统把生产与消费、原料与销售市场联系起来。因而，建造铁路就成为工业革命的巨大推动力，“钢铁时代”来临了。但这个时代几乎没能达到其骄傲的顶峰，因为新的材料已经问世了，那就是塑料。

天然产物的转换及合成材料的历史同焦油染料工业的历史有密切联系。焦油染料工业在 19 世纪末期是作为过去有机化学的工业结晶而形成的。随着硬煤炼焦的增多，焦油产量也增加了，因此人们普遍寻求利用这种废物的方法。1856 年，英国人威廉·亨利·泊金找到了一种大规模生产有用染料苯胺紫的工艺。当科库勒斯于 1865 年发现苯的化学式——碳化物的关键，一个新

的工业就诞生了，最初主要生产染料和药品。19世纪70年代至90年代是以电磁理论的建立及其在工业上的应用为主要标志的。法拉第发现了电磁感应现象以后，有实用价值的发电机已经制成。但是，电在工业上的应用，并不是从制造发电机开始的。也就是说，电不是首先作为能源使用，而是用于电报和电话等通信事业。因为那时候电灯、电动机等一类电器还未出现，发电机发出的电用不了，电没有多大销路，因此电力工业得不到大发展。自从1879年美国大发明家爱迪生发明了白炽电灯以后，每家每户都用电照明，用电量猛增，大规模工业发电才迅速发展，电力革命的曙光才照到人间。

白炽灯泡的发明，是与灯丝试验成功密切相关的。爱迪生花费了一年多时间，一共试验了一千多种灯丝材料，最后采用碳纤维才获得初步成功，以后又改用高熔点的钨作灯丝。大大小小的电灯泡推动了美国工业发展，发电厂（站）像雨后春笋般建立起来。电力工业发展的需要，促进了发电机、电动机、变压器、电线和电缆工业的诞生和发展。同时，还推动了材料与工艺技术的发展。例如，各种导体、绝缘体以及后来半导体材料的发现；电镀、电解、电焊、电火花加工等新工艺的应用。

工业革命后英国的钢铁产量大幅度上升，年产量从一万吨猛增到130万吨。钢铁、无机化工材料、机械等工业产品占世界总产量一半以上，获得了“世界工厂”的称号。这次工业革命，正如1848年《共产党宣言》中所说的：“资产阶级在它的不到100年的阶级统治中所创造的生产力，比过去一切时代创造的全部生产力还要多，还要大。”

本世纪前半期，则以核能、飞机、汽车、化工和电子计算机的发明或发展作标志的。放射性材料镭和钋发现以后，核裂变原理取得重要成果，核能开始被利用。飞机的革新是与航空材料的进步密切相关的；1927~1931年是化工技术发生转折的时期，继塑料以后，合成橡胶和合成纤维材料相继问世，使有机合成材料工业进入一个崭新阶段；本世纪初，内燃机技术取得突破，汽车开始大量生产；还有1945年世界上第一台电子计算机的发明；1957年第一颗人造卫星上天等。

当今世界，我们正面临着又一场新的技术革命——有人称之为第四次工业革命。这次革命是以信息科学、材料科学和生物科学为前沿的。世界科技界权威人士认为，这场工业技术革命所带来的影响和创造的社会财富，将远远超过历次工业革命。

在回顾历史时，不仅要看到质的问题，也要看到量的问题。从时代上看，材料的发展是相当缓慢的。用于材料的原料长期以来是有限的，只是随着工业革命及其产生的社会效果，才发生了变化。不同材料领域的科技迅速进步，在很大程度上标志并丰富了我们的时代。

## 原料能提供无穷财富吗

原料的基础包含于物质世界之内。人类通过劳动，将天然状态下的物料（其中有 75% 属于天然宝藏，25% 来自农业、林业和海洋经济）略加处理，便取得原料。实践中还分为一次原料和二次原料。前者从自然界中分化出来，并只经过一个阶段的加工；后者是在生产消费或个人消费的一定阶段上分出并返回生产过程。物料（天然资源）经过人类的劳动转变为原料。人类把原始的、天然的物料从其自然结构中分化出来，在这个阶段，原料成为社会上的消费对象或生产资料。由此可以得出结论：要满足人类的任何物质需要，都要有原料。因此，对原料的需要将经历长期的、然而却是根本的转变。动、植物产物用来维持生命，这是原料的第一个和最低级（然而也是最必要的）形式。人类当时对于物料变化的过程认识很有限，千万年来，寻找到的天然宝藏和财富很少得到精加工。随着手工工场的出现，劳动分工和专业化的进一步发展；随着生产率的提高，人们曾努力深入认识生产所用原料的奥秘。开始时根据经验成功发现的方法，可以反复出现，这就促使人们更深入地认识物质，寻找规律。人们开始掌握了这方面的必要知识，出现了关于物质内在联系的最早的科学研究。有趣的是，其起源是地质学。起初地质学的研究方向只是天然宝藏，探明矿床和开采方法。后来，社会需要要求地质学从一种寻找和发现的学说向着原料方法方面进一步发展并实现专门化。这个时期的特点是：人类利用附近环境的资源可以满足他们对原料的需要，而且用这种形式也可以满足在数量和质量上更高的要求。

最近 25 年，全世界生产了约 400 亿吨石油，这相当有史以来全部产量的 80%；同样，煤产量约为 600 亿吨，铁矿约为 120 亿吨，分别相当于有史以来产量的 40% 和 60%。过去的 25 年，世界人口增长到原来的 1.6 倍，煤和铁矿等重要原料的产量增加到原来的二倍，石油增加到五倍，天然气增加到四倍。为了扩大生产，要求探明更多、更好的矿床。一方面要勘查新的矿床，另一方面也要采用新的开采和选矿工艺，以利用品位低的原料。

地球上的五十多亿居民的原料需要取决于以下两个重要因素：用作能源和主要材料的原料的人均消耗量以及用于个人消费的原料的人均消耗量；工业国家居民所占的百分比。

20% 的世界居民消耗 80% 的原料，而其余的 80% 居民则仅用 20% 的原料以满足其基本的生活需要。工业发达国家所消耗的原料，超过世界水平的 2~3 倍，而发展中国家的人均消耗量仅为世界平均水平的 10%。一方面，为了满足工业国家不断增长的需要而要求更多的原料；另一方面，发展中国家为补足自己也要巨量材料。因此，为满足对原料日益增长的需要，开发新原料，研究利用现有原料或开发已查明储备原料等，都具有世界性的社会意义。

社会的需要决定了对原料的需求。

在所有国家，有效开发和利用原料，尤其是国内原料，是发展经济的重要前提。在其他工业高度发达的国家里，各种原料供应也很紧张。发达国家的原料出口，1955 年约为 94%，1960 年约为 90%，而 1966 年已下降到 88%，这种每隔十年下降 6% 的趋势将持续下去，而就地加工原料的趋势正在增加。有些原料的世界需求增加速度超出其生产增长速度，例如有色金属，在这种情况下，提高原料生产回收率具有重要意义。较合理的工艺和能源消耗相结合，对材料经济具有决定性的意义。



## 材料的业绩

近代科技和生产的发展，可以说是一日千里，人类从乘牛车、马车到乘宇宙飞船；从点油灯照明到用原子能发电；从使用大刀长矛到发射导弹核武器，等等。科学技术能以惊人的速度发生巨大的变化，应首先归功于材料。如果没有钢铁，再高明的技术工人也造不出汽车；没有高强度、耐高温的材料，再聪明的科学家也无法把卫星送上天；没有耐腐蚀、耐高压的材料，再勇敢的探险者也不能开发富饶的海洋资源……。在科学技术史上，材料问题解决与否，往往成为创造发明成败的关键。新材料一旦应用，不仅大大提高了科学技术和生产力的发展，也使人类的活动方式发生翻天覆地的变化，而且给人类带来空前优厚的物质利益和精神上的享受，把千百年来梦寐以求的神话变成现实。

纵观近年来的成败得失，不少决策人逐渐意识到科技的进步，关键在于材料。为了说明这一观点，他们要求对一些重大科学和技术项目进行分析，现仅就一些材料在工业、农业、国防和科研等方面所起的作用及其建立的功绩，选数例做一简单介绍。

## 飞机发展的关键

1903年，美国莱特兄弟发明了世界上第一架飞机，所用原料是木材和帆布。飞行速度每小时只有16公里，和骑自行车的速度差不多。1911年，铝合金研制成功，很快取代了木材和帆布，到第一次世界大战期间，全金属结构的飞机已很普遍了。从木布结构过渡到金属结构，使飞机的性能和速度获得一个飞跃。例如到1939年螺旋桨飞机创造的最高时速已达755公里，仅36年的时间，飞行速度提高了47倍。声音在空气中的传播速度为1200公里/小时，有些人试图用螺旋桨飞机超过音速，但都没有成功。失败和挫折使人们把音速看成是飞机速度无法逾越的障碍，简称“音障”。后来找到了失败的原因：原来空气是有压缩性的，螺旋桨飞机在高速飞行时，由于压缩空气的影响，机翼或其它部位的表面会出现“激波”，造成升力下降，阻力增加，阻碍了飞行速度进一步提高。于是人们寻求新的动力，造出了喷气式飞机。但是，初期的喷气式飞机仍然没有超过音速，因为喷气发动机的进口温度很高，需要耐高温的合金材料，而英国研制出的镍基合金只能承受700℃，使发动机推力和飞行速度受到影响。到了50年代，高温合金有了进一步发展，已经能够制造耐800℃以上的高温合金，再加上采用了后掠角更大的机翼和其它减少阻力的措施，终于研制出一种飞行速度超过音速的喷气式飞机，突破了以前不可逾越的“音障”。这里，喷气发动机立了一大功，而耐高温合金材料则起了关键性的作用。

可是，在提高飞行速度的征途上，又出现了新的问题。这就是飞机以超音速飞行时，其表面因受到空气强烈摩擦而发热，使温度急剧升高。这种现象叫做空气动力加热。飞机的速度越快，温度也愈高。以飞机在同温层边界飞行（那里的温度是-56℃）为例，当飞行速度等于音速时，飞机的表面温度为-18℃；两倍音速时，温度为98℃；当达到三倍音速时，飞机表面温度会升至300℃。从铝合金的耐热性来讲，当飞机速度达到两倍音速时，铝的强度会显著降低；三倍音速时，就会发生空中解体。通常认为，飞机速度应在二到三倍音速范围内，这种空气动力加热又是一堵新的障壁，称为“热障”。它对飞机的结构、飞行员工作环境和各种设备均带来不利影响，甚至危害。因此，要制造表面耐温超过180℃，即飞行速度为音速2.5倍的飞机，需要用钛合金（可承受550℃温度）代替铝合金。飞机是一种更新非常快的产品，它不断追求的目标是安全、迅速、舒适和经济。80年代制造成功的新一代中短程飞机波音757和波音767，能满足低油耗和低噪音的要求，与60年代的波音727比较，燃油消耗降低了35%。

近十年来，由于石油价格连续上涨，使民用飞机的燃油费用由1973年占航线直接使用费用的18%，上升到1982年的50%，从而迫使各飞机公司积极从飞机的减重入手，采用新的替换材料。

波音757是一种窄机身短程旅客机，载客190人；波音767是一种半宽机身中程旅客机，载客250人。新飞机的机身和机翼上，大量使用了改进的铝合金和复合材料。水平尾翼和垂直尾翼由于采用聚芳酰胺（凯芙拉）纤维和碳纤维复合材料，使重量比用铝减少了20~40%。波音767飞机上有24个零部件共使用了三吨碳纤维与凯芙拉—49混纤复合材料，比早期采用的玻璃纤维—环氧复合材料还要轻。波音767还是第一种使用铝合金主起落架梁的民用飞机，而波音757飞机由于空间的限制，选用了钛合金主起落架。此

外，两种飞机都增加了超高强度钢的品种和用量。

这样一来，一架波音 767 飞机由于采用复合材料减重 450 公斤，采用超高强度钢减重 900 公斤，采用改进铝合金减重 363 公斤，三项总计共 1.7 吨。据统计，飞机结构如减轻一公斤，每年可节省燃料 2900 公斤，可见其经济效益有多大。波音公司已在 90 年代的波音旅客机上，进一步扩大使用了复合材料。据称，除发动机和起落架外，大部分结构材料都能采用碳纤维和聚芳酰胺纤维，那么这架乘坐 250 人的飞机可减轻重量六吨！

航空发动机的改进是从两个方面进行的，一是更多地使用比重小的钛合金和复合材料，以减轻自重；二是更多地使用工作温度高的新型高温合金，以加大推力和提高热效率。1982 年波音 767 飞机的发动机上开始使用单晶涡轮叶片。单晶合金的强度、疲劳寿命、耐腐蚀性和抗氧化性都比普通合金高，使整个热效应提高 30%。

至于高超音速的航天飞机，其表面温度可达到 1000 以上，这时任何合金都无能为力了，只有采用特种复合陶瓷材料才行。

1981 年 4 月 12 日，美国“哥伦比亚”号航天飞机发射成功，引起了世界的瞩目。航天飞机机身长 37.2 米，翼展 23.8 米，重量为 68.8 吨，大大超过了 1969 年登月的“阿波罗”飞船。它的主发动机使用液氢和液氧作燃料，加上外部燃料箱和两台固体燃料助飞火箭，发射时的全长达 56 米，实际重量 2020 吨。

航天飞机同时具有火箭和飞机两方面的特性，是一项极为复杂的综合技术成果，涉及空气动力学、气动加热、设计、制造、试验和计算机控制等技术。据美国宇航局称，航天飞机的关键技术有两项：重返大气层的热防护和长寿命火箭发动机。机身耐热材料要求重复使用 100 次，火箭发动机要求连续飞行 55 次无大修。对于习惯于一次使用观念的火箭设计师，无疑是一次相当苛刻的要求。

航天飞机在空间执行考察任务后，由 120 公里轨道再入大气层时，表面最高温度可达 1500 。根据不同部位的工作条件，航天飞机使用四种耐热材料：头锥和机翼前缘受气动摩擦最大，温度最高，超过 1260 ，使用表面涂硅的碳—碳复合材料。这是一种以热分解石墨纤维布作为增强剂、碳化树脂为基体的复合材料；机身和机翼下表面需耐热 650 ~ 1260 ，由两万四千多片高温陶瓷瓦组成；机身侧面和机翼上表面耐热 370 ~ 650 ，由七千多片低温陶瓷瓦组成；货舱门、尾段、机身等部分温度不超过 398 ，耐热较为容易，采用聚芳酰胺纤维制造的毡瓦，是一种柔性重复使用材料。

可以看出，航天飞机的热防护系统主要是由耐热陶瓷瓦组成，防护面积占全机面积的 70%，几乎可以说全身披挂陶瓷盔甲。高温陶瓷瓦和低温陶瓷瓦的尺寸分别是 15 × 15 × 1.3 ~ 8.9 厘米和 20 × 20 × 0.5 ~ 2.5 厘米，都是由直径 1.5 微米、纯度 99.7% 的氧化硅短纤维加入胶状氧化硅热压制成。

陶瓷瓦的特点是重量轻（密度 0.14 克/厘米<sup>3</sup>），耐热性和隔热性好。缺点是具有一定的脆性，并且根据不同的位置来变化形状和厚度，所以粘贴技术相当复杂，全靠人工来一片片粘贴。美国第一架航天飞机“哥伦比亚号”原订 1979 年 11 月上天，可是后来多次延期，都是因为耐热陶瓷瓦出的毛病。原来临发射前在地面试车时，贴在航天飞机机体上的陶瓷瓦在 538 ~ 649 已大片剥落。官员们大吃一惊，紧急召集了一个五人专家小组商讨对策。经过扫描电子显微镜观察后发现，这些剥落的陶瓷瓦中的纤维分布不均匀，导致

了传热不良、局部过热。后来在一名美籍华裔科学家的建议下，提高了陶瓷纤维喷硼化硅后的凝固速度，使纤维排列的均匀性不受干扰，才解决了问题。航天飞机第一次飞行结束，经检查机表面各部分的温度未超过计算值，令人担心的陶瓷瓦损坏意外地少，仅剥落 700 片左右，加上厚度减少需更换者，仅一千三百余片，占陶瓷瓦总数的 4.5%，基本上满足了设计要求。

1982 年 7 月发射的“挑战者号”航天飞机的部分防热陶瓷瓦改用 80% 氧化硅纤维和 20% 含硼纤维混合制成的陶瓷瓦代替，效果更好，今后航天飞机的热防护系统仍是有待改进的项目之一。

关于航天飞机发动机所用材料不多，已知高压氧涡轮泵和高压氢涡轮泵采用的叶片，都是用最新的高铬—钴—钨镍基高温合金 Mar M246，按定向凝固精密铸造工艺制成，提高了抗热冲击性能。航天飞机主发动机的导向叶片，也采用 MarM246 合金，但按更先进的单晶精密铸造工艺制成，这种导向叶片是空心的，用液态氢进行冷却，更进一步提高了抗热冲击性能，从而保证了发动机低重量、长寿命的要求。

航天飞机的研制成功，是人类征服太空的又一次胜利，也显示出在现代技术革命中材料举足轻重的地位。

## 农业现代化的坚强后盾

农业现代化是一场伟大的技术革命，它的核心是工具和其他技术手段的变革。农业现代化最显著的特征是要在生产中大量采用各种先进的工业技术和新材料，换句话说，现代化农业要由工业部门投入大量物资，用现代工业的装备武装农业。

农业现代化包括的内容很多，大体可归纳为：农业机械化、农业工厂化、农业电气化以及农业和技术装备的一体化。不言而喻，材料都是它们当中当然的“主角”。拿农业机械来说，它包括农田基本建设机械、耕作机械、排灌机械、植物保护机械、收获机械、农业运输机械、农副产品加工机械以及畜牧机械等等。

拖拉机是应用最广泛的一种农业机械。制造拖拉机不仅消耗材料多，而且要求零部件质量好、寿命长，这些零部件都要用性能优越的材料来制造。例如，生产一台自动联合收割机，仅钢材就需要两千多种不同规格的品种，其中优质钢材用得最多，约占整个钢材品种的 25%。由于材料质量和设计制造水平的提高，使得拖拉机的结构和性能也得到不断改进。不但向大型化、大马力、高速度和高效率方向发展，还可对配套农具实现自动调节和控制。它除了能耕地、整地、播种外，根据需要，交换不同的农具，还能干推土、铲运、开沟、施肥、收获、割草等几十种工作。人们可能会问：这种拖拉机一定是几百马力的大家伙，行动都很笨拙吧？不，由于配有液压的自动伸缩、折叠机构，即便是碗口粗的农具，也能乖乖地折起三、五折，便于路上行驶。

作物成熟后，用自动联合收割机收割。这些收割机是由电子计算机控制的，不需要驾驶员操作，能完成前进方向的调整、割头高低的升降，到了地头还能自动转向。它的收割头，像一把大的理发轧刀，随着机器的运转，一割就是一大片。操作台上装有割脱监视器，收割机前进速度和脱粒部分能很好配合。装上不同的收割头，可以收割水稻、麦子、玉米、油菜、大豆、高粱等庄稼。这种收割机工作效率很高，每天能收割水稻几万斤，并能同时完成脱粒、清场、装包等工作，相当于一、二百个强壮劳动力的工作量。

## 新能源中的老问题

从 70 年代的能源危机以来，新能源的开发和节能技术引起了普遍重视。这些技术中除核反应堆已经进入实用阶段，其他都比较年轻。例如，太阳能、深层地热和氢能等还存在各种各样的问题。一些过去进展缓慢的领域，如煤的气化和液化，重新成为研究的重点。从目前的情况看，这些技术的突破，在很大程度上将依赖于新材料的进展，目前使用的材料大多不能满足苛刻的工作环境要求。

自从 1957 年第一座核电站运转以来，世界上已建成约 300 座核电站，1990 年其发电量占总电量的 10%。第一代核反应堆为重水堆、石墨气冷堆和轻水堆；第二代为高温气冷堆；第三代为快中子增殖堆。目前 80% 反应堆为轻水堆，而所用材料的要求一代比一代严格。

核反应堆材料涉及到核燃料、中子减速材料、中子反射材料、屏蔽材料和结构材料等，要求都很严格。对于高速增殖反应堆来说，未解决的问题更多。例如，装铀材料的细管使用有钼 316 的不锈钢制造，它遭受大量中子辐射，并与高化学活性的钠接触，环境极端恶劣，其寿命期使人担心。今后十年左右，初期建造的反应堆已面临分解处理复杂等问题，如何延长未来反应堆的寿命，是一项重点研究课题。1979 年，美国三里岛核电站发生事故，舆论哗然。最后调查表明，是由于控制人员操纵错误而使含放射性的冷却水泄漏，与材料无直接关系，才平息了人们的议论。反之，如果材料上出现漏洞，核反应堆会被取缔。

太阳能利用是一项正在发展中的技术。日本已在春川县建成一座 1000 千瓦的实验发电装置。太阳能是一种稀薄的能源，每平方米最多为一千瓦，而按目前太阳能装置的转换效率（约为 10%），则只能获得 0.1 千瓦。唯一可行的办法是改进材料，提高反射镜的反射效率和集热效率。现在太阳能电池的转换效率有所提高，为约 13% 左右，但硅、镓半导体的价格很高，很难大规模使用。此外太阳能电站多位于沙漠和偏僻地区，输电材料也待改进。由此可见，太阳能的利用是否能够普及，有赖于材料科学家的努力。

地热发电始于意大利，至今已有一个多世纪的历史。今天地热电站已遍及新西兰、美国、日本和菲律宾等国。地热发电站的关键问题是耐腐蚀材料和高效率的热交换器。一般地热发电站利用的热源温度在 100 以下，要通过低沸点的工质（如氟利昂）蒸汽才能带动汽轮机工作。近年来，美国在新墨西哥州芬顿山开凿深井，利用热干岩的热量发电，引起了人们的注意。

热干岩发电工程分为两期，第一期 1978 年完成，由注水井和采热井组成的竖井对深度为 3000 米、底部有一块有效直径约 60 米的人工破碎岩石区，有效传热面积约 8000 平方米，当注入冷水后，可以采出温度 200 的热水，相当于每天 4500 千瓦的热能。

随后又开始规模更大的第二期计划，将井深由 3000 米增加到 4000 米。经过多次人工破碎作业，使总传热面积扩大到 100~200 万平方米，井底水温相应提高到 250~275，这样竖井对提供的热量达到 2~5 万千瓦。竖井穿过层层的花岗岩达到了 6000 米的深度，注水井弯入采热井的底部，中间为相距 330 米高的人工破碎区。即使估计低一些，水温为 160，所采的热量仍足以带动一台五万千瓦的发电机组，而发电余热还可供温室和取暖使用。

地下热水中经常含有硫酸钾、硫化氢等硫腐蚀物质，温度越高腐蚀越严

重。竖井的使用寿命估计为 25 年，但目前的耐硫化钢可能维持不了如此长的使用期，这样将给维修带来很大的困难。现正在发展更好的耐硫化钢和寻找代用材料，可能陶瓷涂层有助于延长寿命。

氢作为一种新型能源也引起了人们重视。氢是一种无色、无嗅的可燃性气体，因此可做燃料使用。氢气一般用高压钢瓶储存，即使加压到 150 个大气压，所装氢气重量还不到钢瓶重量的百分之一，显然这种方法不适于工业上和生活上大量用氢的场合。

近年来普遍认为液氢是一种更理想的燃料，将氢气经 140 个大气压压缩，同时用液氨或液态空气冷却，即可获得液氢。液氢是一种清洁的燃料，它的燃烧过程只产生水蒸汽及少量氧化氮，不会污染环境。航天飞机的主发动机使用的燃料为液氧和液氢，以液氢为燃料的汽车和飞机正在设计中。液氢使用中最大的问题是运输和储存，液氢必须储存在与空气隔绝的高压容器内，加以它的沸点在常压下为  $-253^{\circ}\text{C}$ ，许多金属在这样低的温度下都会发生脆化，所以必须采用超低温钢制造。同时为了隔热保冷，储箱外面包覆一层聚苯撑氧泡沫塑料、聚氨酯泡沫塑料或玻璃纤维套等，比普遍用的油箱复杂得多。

现在有一种新的储氢方法，就是利用某些合金与氢反应吸收大量氢气，吸氢量高达体积的数十倍或上千倍，而加热以后又很容易使氢气再释放出来，这些合金为钛合金、镧镍合金和镁镍合金等，所形成的金属氢化物是固体，因此储存时不需要高压和低温。这些合金材料对于氢的利用将起到重要的作用。

## 国防军事的当务之急

实现国防现代化，一个重要的标志是要使武器和装备现代化。具体地说，就是要有现代化的战略战术武器和先进的兵器；要有高度可靠的现代化指挥通信工具和情报侦察手段；还要有适应于现代化战争的后勤和工程支援。显然这一切都与材料结下了不解之缘。因为单就武器来讲，不论是常规武器（如弹药和坦克、军用飞机），还是现代化武器如原子弹、氢弹、中子弹、核潜艇等，哪一样都离不开材料，尤其是性能优异的新型材料。

让我们回顾一下，材料是怎样为坦克的“成长”创造条件的：

1916年，第一次世界大战期间，法国索玛河畔的战场上，英德两军用猛烈的炮火互相攻击，双方的士兵都隐蔽在战壕里，谁也不敢“越雷池一步”。9月15日黎明，英军又开始炮击，德军照常还击。突然，从英军阵地发出一阵阵的怪声。不一会，许多像大铁盒似的庞然大物向德军阵地直冲过来。这些家伙没有轮子却能跑，炮弹不断从它的两侧飞出来。德军慌忙向它射击，可是子弹一碰上去就被反弹回来。这种能攻能防又能跑的怪物就是坦克。它一出现就在战场上显示出巨大的威力。

可是过了不久，所向披靡的英军坦克，出乎意料地被德军的一种特殊炮弹击穿了。英国分析了德国弹头的成分，发现里面含有钨这种元素，钨和钢中的碳结合，生成很硬的碳化钨，用这种合金制成的炮弹穿透力很强，所以能摧毁坦克。然而，“道高一尺，魔高一丈”。后来又有人在制造坦克装甲的钢中加进了钨、钼、钒等元素，它的硬度超过了钨钢炮弹，这种合金的防弹能力很强。现在的坦克装甲厚度达150~240毫米，采用铬锰硅钢或铬镍钼钢，经过热处理制成，可以经得住直径120毫米的炮弹轰击。但是增加装甲的厚度，坦克的重量也会增加。为了提高防弹能力和减轻重量，又出现了金属和非金属复合结构的装甲。

但是，任何武器和装备都不是无敌的，坦克也是这样，针对坦克装甲材料和结构的改进，又相继出现了许多反坦克武器，如反坦克手榴弹、反坦克火箭筒、反坦克炮、反坦克地雷等等。为了对付各种反坦克武器，坦克还在改进。例如，英国研制出一种名叫“乔巴姆”的新型坦克，它的装甲是由两层特殊钢板制成，中间装有玻璃纤维、超硬陶瓷和树脂。据说，这种装甲具有抵御各种反坦克武器的能力。

从每一代坦克和反坦克武器的交替出现，我们不难看出，战争中一种武器或装备的克敌制胜，在很大程度上是由制造这种武器、装备的材料决定的。这也说明，为了赢得战争的主动权和实现国防现代化，在国防建设和军事工程中，往往把新材料的研制作作为当务之急，道理就在这里。



## 节能技术的突破

各工业大国在开发新能源的同时，普遍注意到节能技术，因为在工矿使用的能源中，几乎有一半的热量被作为废热排入大气和江海之中。日本 1976 年制订的“月光”计划中，把废热的回收利用作为重要的一环。从 30~60 的低温废水，直至 700 以上的加热炉煤气和 1000 的焦炭都规定了不同的余热回收方式。对 400 以下的废热以热管回收为主，更高温度的废热则利用热交换器回收。

充分发挥现有设备的潜力，尽可能达到极限效率也是节能的一种重要手段。“月光”计划中把一台高温燃气涡轮和一台汽轮机串联作为试验方案，这时燃气温度高达 1500，普通涡轮叶片使用的镍钴基超级高温合金已无能为力了，必须采用氮化硅、碳化硅、塞龙（Si—AL—O—N 化合物等）等精铸陶瓷才能满足要求。

改革传统设备，采用效率更高的新型发电设备和储能技术，也是节能中值得考虑的方式。

磁流体发电经过近 20 年的基础研究，已接近实用阶段。磁流体发电机是在约 2500 高温时，使等离子气体高速通过与其成直角方向的强磁场，不经过机械能，直接把热能变为电能而发电，这种发电方式不用旋转的机件，因此比蒸汽机热效率提高 50% 以上。

磁流体发电的最大问题是使用了高温氧化气体，同时为了改善导电性还加入了钾离子，必须是在恶劣环境中不起反应的材料才能胜任。目前，只能采用折中的方法，稍稍降低电极的表面温度，并在气体通道内铺覆耐火材料。所用电极材料只有陶瓷，如碳化硅、锆酸镧或铬酸镧等，所用绝热材料在温度较低部位为氧化铍和氧化铝，在高温部位为氧化镁。但是，这些材料还不够理想，有待于进一步改进。研究工作较早的前苏联，于 1990 年建成百万千瓦级的磁流体发电站。

飞轮的储能方式早已应用在发动机和压力机上，无论是电能和动能都可通过飞轮的旋转储蓄起来。在 70 年代一些国家就发展了大型飞轮储能系统，把夜间剩余的电力储入飞轮，以备白天高峰用电时使用。此外在电车和汽车上也可用飞轮把刹车能储蓄起来，以便在加速时使用，这些方面的研究工作正在进行。

飞轮的特点是旋转时必然产生动力损失，设计高性能飞轮应在选材和制造技术上考虑解决。使用碳纤维和聚芳酰胺纤维复合材料制造的飞轮转子，比使用金属制造的重量轻而强度高，因此提高了单位重量的储能。一种试验的复合材料飞轮，轮缘用的是碳纤维—环氧复合材料，而轮辐用的是聚芳酰胺—环氧复合材料。一个大规模的飞轮储能系统，占地面积半英亩（2000 平方米），共有 36 个直径为 2.1 米的竖井，竖井分为八层，每层放置五个飞轮，总计使用飞轮 1440 个，共储能 1600 千瓦时。

目前复合材料强度高，但成形困难，价格较贵，因此在大规模使用上受到限制。从以上介绍可以看出：在未来的能源工程中陶瓷材料和复合材料会被首先考虑。

## 科学实验的先锋

科学实验是在生产斗争的基础上发展起来的一项独立的社会实践活动，它是科学研究工作的主要组成部分。自从自然科学运用了实验方法以后，人们除了通过生产实践和从对自然界的直接观察中来认识自然规律外，还可以凭借各种实验手段和仪器设备，更深刻地揭示自然的本质，推动科学技术的发展。如果没有先进的科学仪器和设备，即使再有本领的科学家也只能束手无策，而每一种仪器设备都是由各种材料、特别是新型材料制成的。例如，电子显微镜、射电望远镜、高能加速器、电子计算机，这些标志着现代科学技术水平的仪器，都是由金属、非金属、晶体、电磁、热敏、光电、激光、红外、合成以及复合材料制成的。科学工作者有了用这些材料制成的仪器和设备，就如同作家使用笔和纸一样，可以“胸藏万卷凭吞吐，笔者千钧任施张”了。

另一方面，材料在科学研究工作中的地位也是首当其冲的。例如，自从1990年发现第一个激光工作介质以来，已经发现和研制了一百多种能产生激光的晶体材料，为激光科研提供了必要的物质前提。从科学和技术的关系来看，材料往往是科学理论过渡到技术应用的成败关键，它直接影响着很多重大科技领域的进展。例如，60年代前后，美国曾为发展核能飞机集中了大量人力和财力进行研究。经过了几年努力，终因材料问题无法解决，而使这项工作告吹。这也表明，没有适用的材料，科学家将无所作为。

科学理论早已过关，但因缺少材料不能在技术上推广应用的也不乏其例。这可以通过低温超导体的科研情况说明。

1911年，荷兰物理学家翁纳斯在研究水银的低温性能时，发现了一个奇迹。当温度下降到 $-269^{\circ}\text{C}$ ，水银的电阻突然消失了，这种现象就叫超导现象，具有超导性质的材料就叫超导体。电气工程师们一直幻想着，有一天获得没有电阻的导线，超导现象的发现，终于为他们打开了希望之门。

然而，几十年过去了，由于没有找到高转变温度、高临界磁场和高电流密度的超导材料，使这一科研项目一直停留在实验阶段，得不到推广应用。自从60年初，研制出合格的铌锡合金超导材料以后，才使得超导输电、超导磁场得以实现，“超导”才在技术上崭露头角。现在，已经发现有近30种金属、上千种合金和化合物具有超导性。“超导”已经发展成为一项专门技术，在电机、输配电、交通运输、核物理、空间、电子等科技领域，展现出诱人的前景。例如，利用超导电缆输送电力，在几乎没有损耗的情况下，把电流输送到千里之外；用超导体制成磁场强度为 $15\sim 20$ 高斯的电磁体，只有几十公斤重，若用铜导体制成这样的电磁体，重量有好几吨；超导体还可制成时速为500公里的超导磁悬浮列车，按这个速度计算，从北京到上海只需三个多小时。

## 丰富多彩的材料世界

有人对当今浩瀚的材料世界进行过粗略统计，70年代登记的新老材料达到25万种，到1980年登记的材料总和已有36万种，并且每年还以5%的增长率增加。如果把形形色色的材料按化学组成分类，可以分为金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料三大类。它们鼎足而立，构成了材料世界的“三大家族”。如果从使用角度看，不论上面哪一种材料，都可以归纳为两大类：一类叫做结构材料，主要是利用它们的强度、韧性、硬度、弹性等机械性能；另一类是功能材料，是利用它们所具有的电、光、磁、热等功能和物理效应。当然，上述各种材料之间也存在着交叉关系。例如，复合材料就把金属和非金属结合了起来；非晶态金属则介于金属与非金属之间。此外，还有按材料的用途分类的，如建筑材料、耐火材料、电工材料、光学材料、感光材料等；按材料的物理效应与功能分类，如电压材料、热电材料、电光材料、声光材料、激光材料等等。

综合以上分类方法和材料使用状况。让我们到这广阔的材料世界里去漫游一番吧！

## 材料世界的三大领域

以材料作为划分时代的标志，已经为人们所熟悉和接受因为这种划分正确地反映了人类社会的生产力发展水平，另一方面也反映出材料举足轻重的意义。在现代科学技术中，材料科学已经和能源科学、信息科学并列为三大支柱。值得注意的是，无论能源技术还是信息技术对于材料的依赖，均变得越来越突出。

现代科学和工业中使用的材料极为广泛，品种繁多，要想把它们严格分类已很困难。过去的教科书习惯把材料划分为金属材料和非金属材料两大类，然而这种划分材料的方法越来越显得不合理，因为不少的新型材料是跨越两者之间的。近年来出现了材料三大领域的提法，即把材料划分为金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料。尽管如此，在继续细分这些材料的小类和决定某些材料的归处时，仍出现不少困难。例如复合材料就是一个例子，它是由一种主要原料（基体）和另一种或几种材料（增强材料）组成的；基体和增强材料都可能是金属、有机高分子或无机非金属中任何一种，究竟如何给它们分类呢？有人建议把它们单独提出来，另立门户。

总之，任何一种分类方法都只能看成是暂时的、不完善的，这也反映出材料世界的日益繁荣和多样化。

工业部门是生产各种材料的基地，同时也是使用各种材料的最大用户。这些部门中的原子能、航空与航天、中子、海洋开发的迅速发展，对材料提出许多更新的、更严的要求，天然材料和靠天然原料制备的材料，已经不能满足人们的需要了。因此所谓“尖端材料”或“极限材料”的研究成为重点。举例来说，原子能工业要求耐辐射和耐腐蚀的包套材料；热核聚变反应堆需要优异的激光工作物质来实现点火；新型飞机和航天器要求强度极高、重量极轻的结构材料。目前正在研究一种比木材还轻，在水中也不下沉的镁铝合金。海洋开发要求耐高压、耐腐蚀的潜水壳体材料，也许新型金属玻璃能够满足需要。凡此种种，都可以划入“尖端材料”的研究领域。

## 富有的传统废材料——木材

木材是植物的“产品”。乔木和灌木的祖先是羊齿科植物，这种植物的历史可追溯到泥盆纪。约在二亿五千万年前的二迭纪，这种原始羊齿科植物发展为针叶树，直到一亿年前的白垩纪才形成宽叶树。

古代人们起初是不经加工就利用树木取得食物，以后，又把木棒和石头结合起来（石斧）以及把手杖和石头结合起来（矛），从而首次制造了工具。随着学会用火，木材在数千年内成为人类最重要的能源。因此，人类应用木材起始于获取能源。约在新石器向中石器时代过渡时期（约一万年前），人类学会了加工木材，人类学会用木材造船和修筑简单的住所以及制造各种家庭用具。直到最近三、四千年，木材作为原材料应用才发展到目前的状况。现在我们在技术和艺术活动中到处可见木材。

木材虽密实，但仍是一种孔隙性有机材料。木材由其细胞构成，细胞壁内的空腔中充有多种不同物质。木材的原始形式，即未经加工的形式，称为原木。木材都是指砍伐后的、长度厚度和质量不同的树木。可见木材既是原料又是材料。木材主要产在经济林中，在一定程度上也来自森林之外（公路、通道）。大陆的三分之一有森林覆盖，当然其中有 50% 的面积不易通行。约有 35% 的森林面积未加利用，也就是说这种森林的生长无人工影响。世界森林面积只有 11% 左右属于经济林。人类付出力量经营经济林，以获得木材。木材砍伐分两个阶段，其中又要区别初期利用和最终利用。按森林建设和保障质量的要求，在种植了 15~30 年以后要进行初次砍伐。以后每隔 5~10 年重复进行（使森林变稀，初期利用）。到树木完全成熟（不同树种的成熟期介于 80~140 年之间）为止，整个森林面积上生产的全部木材有 40% 到 60% 已经砍伐进行初期利用，其中大部分为较细的木材品种，然后将余留的树木伐掉（较粗的木材品种）。

从物理上看，木材并不密实，含有大大小小的空腔，因此称之为孔隙体。细胞壁的空腔（毛细管）比细胞的空腔小得多。并在一定程度上充填有水或水汽混合物。木材的这种水分对其强度影响很大。木材的体积密度为 300~900 公斤每立方米，软木与硬木的界限约为 550 公斤每立方米，如不考虑空腔，即所谓“净密度”，对木纤维是 1600 公斤每立方米，对木质素是 1400 公斤每立方米，对所有树种，可用的平均值为 1500 公斤/米<sup>3</sup>。木材像任何孔隙物体一样，吸收空气中的水蒸汽，这就是说有吸湿性。随着空气的温度及湿度的不同，木材总是具有相应的湿度，也就是说，木材和环境空气间总是达到吸湿平衡状态。空气相对湿度为 20% 时，木材经过一段时间的适应后，湿度达到 11%。木材吸水膨胀，反之则收缩。俗话说这是木材在“干活”。其轴向上的膨胀和收缩率大多降低 0.5%，故可以忽略不计；而切向上的长度变化（松树为 8%）几乎总是经向上的两倍，但膨胀和收缩只发生在湿度从 0% 到 30% 这个范围内，之后就达到所谓纤维饱和状态，停止了这个过程，水分继续增加而膨胀不会继续增加。木材的热延伸性意义不大。木材的磁性能也相当有利，因为用木材制作天线的塔架时，它几乎不影响天线的发射电磁场。木材的声学特性与其他材料有明显区别，因此在制作乐器方面优先得到采用。最典型的例子是声阻力和隔声能力比金属高十倍左右。木材也具有好的弹性。如果木梁的负荷处于虎克定律范围而距离破断负荷足够远，那么在当负荷解除时，变形几乎完全消失，这是典型的弹性材料性质。当然，

木材也像其他材料那样具有屈服现象，即在一定负荷下，变形与时间有关。

木材的强度（在毛密度条件下测出）是突出的，然而，木材允许负荷仅为破断力的 10% 左右，所有强度特性与木材的水分相关，水分增加，强度下降。例如，水分为 50% 时，强度为初始值的 50% 以下。

木材缺点中最甚者，是容易受到寄生的菌类及寄生虫的侵蚀，但可以用某些药剂和其它方法保护木材。

木材的质量和品种的不同，每立方米的价格也不同，我们决不能忽视。森林除了有生产木材的功能以外，还有其它功能。它们对国家文化、环保、水土保护和人类休养的重要性是难以用数字表达的。

目前，我们的地球上有 24 亿亩的有用森林（全部森林面积为 38 亿亩），可供利用的木材约有 3000 亿立方米，其中每年约采伐 30 亿立方米。到 2000 年，全世界每年的木材消耗量将从目前的 28 亿立方米左右增加到近 50 亿立方米。

从世界范围来看，在天然原料的使用数量方面，木材仅次于煤和石油而居第三位，因而在整个原料经济中占有重要地位。木材同煤、石油及另外一些天然原料（金属矿、矿物）相比，有一个根本性的区别，就是它作为天然高分子聚合物能够不断生长，从而能持久地供人使用。由于气候、供水设施、国家文明及其它原因，地球上可居住地区的森林必须保持一定面积，因此木材生产将持久不断。但木材产量也不能任意提高，因为一棵树从幼树到可砍伐要生长 80 ~ 140 年，而人烟稀少或无人地区的砍伐在经济方面也有一定限度。

谨慎而节约地使用材料的要求无疑也适用于木材，何况木材并不是取之不尽的。根据预测，木材必然发展为化学燃料。这种趋势可能会使木材这种“传统”的原材料到本世纪末在材料经济中的地位发生质的变化。

## 经济发展中重要的材料——金属

在我们日常生活中，经常谈到金属或金属材料。众所周知，铁、铜、铝、金和银是金属，钢是一种金属材料，而且，金属和金属材料的种类繁多，历史悠久。金属由于反射率高，因而有光泽，几乎可以说只有金属才有光泽。金属的重要特征是具有晶体结构。除水银之外，在室温下所有金属均为固体结晶状态。一提到金属，人们就会想到，它具有高强度而且又具有良好变形能力。众所周知，金属具有良好的导电性和导热性。腐蚀现象是金属和金属材料发生化学反应的一种标志。换句话说，这是其不利因素。

比重是划分金属和金属材料的一个重要标准。轻金属和轻金属合金，比重一般低于 4.4 克每立方厘米；重金属和重金属合金，比重高于 4.4 克每立方厘米，工业中最重要的轻金属是铝、镁及其合金；最重要的重金属包括铜、铅、锌和锡以及以这些金属为基础所组成的合金。在二者之间，还有钛，一般把钛划归轻金属。

虽然在古代已经使用金、银、汞和铅，到中世纪又发现了许多元素，但只是到 18 世纪中叶以后才开始对金属进行科学研究。在这一时期，又发现了许多具有金属性质的元素。例如，铂、镍、锰、钨和铬。在 1800 和 1850 年间，才首次制取了镁、镉及大部分碱土和碱金属，如铝、铍。到 19 世纪末，发现了钛、铯、铷和镭。在原子衰变过程中也产生新的元素。当前，我们已经知道了 105 种元素。

上一世纪的工业高涨促进了冶金和制造技术的迅速发展，金属与金属材料产量越来越多，而且可加工成可以利用的器件。这时，虽然已能利用最现代化的科学知识和仪器仪表，但这种发展还不能认为是已进入真正科学研究的阶段。只是在最近，材料科学才迅速发展，在金属和金属材料中有许多重要发现。当前，在高度工业化的国家，大约已生产和加工了 500 种用量较大的金属材料，此时，金属已成为国民经济中头等重要的材料和工业材料的“主力”。

现代工业生产中，钢铁占有非常重要的地位。钢铁产量往往是衡量一个国家工业水平和生产力水平的主要标志。目前，在整个结构材料中，钢铁占 70% 左右。由于它具有良好的物理和机械性能，资源丰富，价格低廉，并且工艺性能也很好，因此应用非常广泛。

钢铁虽然都是铁和碳组成的合金，但是含碳量不同，它们的“性格”有很大的差别。工业上以含碳量多少为标准，把钢铁分为生铁、纯铁和钢三种。

钢铁按照组成元素分为碳素钢和合金钢；按用途可分为结构钢、工具钢和特种钢。结构钢具有一定的强度和韧性，用途最广，一般用作结构零件，如用来制造汽车、轮船、钢轨、机械、油田井架、电视塔等等；工具钢的强度高、耐磨性好，大量用于机械制造，用工具钢做的刀具，可像切豆腐那样切削一般金属材料。特种钢按用途不同可分为磁性钢、耐磨钢、高温合金钢、低温钢、精密合金钢、电工钢等等。

发展现代化工业技术不仅离不开钢铁，而且还对钢铁材料提出了更苛刻的要求。例如，海洋工程用的钢材，需要很高的强度、韧性和耐海水腐蚀的能力；大跨度桥梁需要采用强度和韧性都很好的钢铁材料建造；发展航空航天技术则要求材料重量轻、强度高。对于这些特殊要求，一般碳钢无能为力，只有合金钢才能担负起这方面的重任。所谓合金钢就是在钢中另外加入铬、

镍、钨、钛和钒等化学元素，它们可以使钢材增加某一特殊性能。常用的合金钢有合金结构钢、弹簧钢、高速工具钢、滚珠轴承钢、不锈钢等。例如，高压容器要用合金结构钢制造；不锈钢韧性好、耐腐蚀，主要用于化工设备。

预计到本世纪末，工业材料虽然仍以钢铁为主，但是有一部分会被高分子合成材料所代替。同时，钢材在性能上也会有很大提高，除了钢材合金以外，将通过精炼技术、控制结晶技术、控制轧制技术，表面处理技术和热处理技术的综合应用来提高钢材性能，强度一般可望比现在提高一至二倍。各种复合钢材、预硬化钢材、异型断面钢材，彩色不锈钢将被大量采用；成百上千种性能近似的钢材由几种甚至几千种钢号所代替；钢材品种将更规范化、系列化，各国通用的钢材牌号也将取得一致；钢材的利用率将由现在的50%左右提高到80%，使用会更加合理。

自然界共有83种金属元素，通常按外观颜色分为黑色和有色金属两大类。黑色金属包括铁、锰、铬和它们的合金，其余80种金属都可统称为有色金属。有色金属也是重要的金属材料，它是现代化工业的生力军。常用的有色金属有铝、铜、钛、镁、镍、钴、钼、铅、锡、锌、金、银和铂等，它们的消耗量虽只占金属材料消耗量的5%，但具有许多特殊的优良性能，是别的材料难以代替的。例如，它们的导电、导热性好，比重小，化学性质稳定，耐热、耐腐蚀，工艺性好等等，是电气、机械、化工、电子、轻工、仪表、航天工业不可缺少的材料。

许多人以为铁是地壳中最多的金属，其实地壳中最多的金属是铝，其次才是铁。铝占地壳总重量的7.45%，比铁多将近一倍。现在，世界铝的产量已经超过铜，仅次于钢铁。

电线、电缆材料以铝代铜为发展方向。虽然铝的导电性能比铜稍差，但是铝的比重几乎只有铜的三分之一，可以把铝线做得粗一些，以增强它的导电性能，同时，铝的价格要比铜低得多。因此，在电力工业上，铝成了铜的有力竞争者。例如，我国第一条电气化铁路——宝成铁路线上，输电线便由铝来充当。

铝的比重仅为铜的三分之一左右，今后随着节能和产品轻型化问题的突出，高强度铝作为机械产品结构材料的比重会增长较大。

值得一提的还有钛。钛在地壳元素的大家庭里排行第九，比铜、镍、铅、锌的总和还要多16倍。那么为什么长期以来给它戴上了“稀有金属”的帽子呢？这是由于笨拙的冶炼方法所造成的。钛在高温下总是和氧、碳等许多元素紧紧结合在一起，很难分离，目前，工业上还没有一种好办法直接把钛和氧分开而得到金属钛。因此，钛还被埋没着，不能大量生产。

钛的外观很像钢铁，也呈银灰色。和钢铁相比，两者的硬度差不多，而钛的重量却只有同体积钢铁的一半，熔点也比钢铁高，要到1668℃才熔化，比号称不怕火的黄金的熔点还要高600℃。和铝比较，钛只比铝稍重一点，但比铝的硬度大二倍。钛在常温下性质很稳定，就是在强酸、强碱的溶液里，也不会被腐蚀。钛合金不仅强度高，而且耐高温和低温的性能也很好。由于钛具有以上许多优异的性能，已成为有色金属中倍受青睐的“后起之秀”。随着科技的发展，在提高冶炼技术和降低成本的前提下，用不了多久，钛将成为继铜、铁、铝以后，被广泛使用的金属。

除了常用的铁、铜、铅、铝、锌、锡、镁、金、银等金属以外，其它金属都可以算做稀有金属，其实，“稀有”与“普通”之间也没有什么严格的





线路，就是用稀土铝镁制的导线，它比一般导线强度高 40%，每架设 100 公里，可节约投资 5~7 万元。

现代工业技术方面，稀土还在光电材料、磁性材料、化工催化剂及核能等方面得到应用。作为光电材料，稀土还适用于产生激光，目前已用稀土制造彩色荧光材料；稀土活化物是很好的永磁材料；在核反应堆里，稀土可制作控制棒和结构材料。

金属材料在国民经济中具有重要意义，倘若没有金属制品，当前人类的发展状况和整个科技进步是不堪设想的。无论冶金工业，还是金属加工工业，机器制造和电力工业，在发展过程中所获成就都是在材料科学和制造技术基础上取得的，这些成就同时也为未来新的重要任务奠定了基础。根据金属材料在国民经济中的重要意义，可以断言，将来随着国民收入的不断增长以及工业产品生产的持续增多，对金属材料的需求也将增多。首先，除了提高冶金和金属加工工业的劳动生产率之外，还要发展、应用和广泛利用省料、节能、节约劳动时间的方法和工艺，还要充分发挥材料的经济效益。

## 合成高分子材料——分子界的巨人

人工合成有机高分子材料的成功，是材料发展史上的一次重大突破。多少世纪以来，人们使用的各种材料，如石器、陶瓷和金属等，都是直接取自大自然的天然物质，或者把一些天然物质进行冶炼、焙烧，加工后制成的。随着生产领域不断扩大，它们的品种和性能都受到很大限制。随着人类物质、文化生活需求不断增加，自然界的“恩赐”已经供不应求了。于是，各种人工合成高分子材料应运而生，把人类物质文明的发展又向前推进了一大步。

人工合成高分子材料弥补了大自然的不足，以崭新的姿态出现在各个工业部门，同时又迅速地打入民用市场、和人们日常生活产生了密切的联系，今天已是“天下无人不识君”了。人工合成有机高分子材料的品种很多，主要包括一般说的“三大材料”，即合成纤维、合成橡胶和合成塑料，此外还包括合成油漆、涂料、胶粘剂和一部分液晶。

一般的无机化合物和有机化合物，其分子只包含几个或几十个原子，最多也不超过二三百个原子，而高分子化合物却不同，每一个分子所含的原子数可达几千或几万，甚至几百、几千万。也就是说它们的分子量特别大，所以叫做高分子。

高分子化合物是通过化学方法以天然气或石油为原料，经过一系列反应得到的。它的分子链形状细长，或者首尾相连，或者含有小支链，相互交连，吸引力非常强，所组成的物质在强度、弹性等方面都比低分子物质优越许多。从结构上看，高分子化合物的分子是由许多相同的单体（链节）重复排列组成，所以又叫高聚物。例如，乙烯的分子量是 28，而聚乙烯的分子量可达 56 万，也就是说，聚乙烯是由大约两万个乙烯链节组成的。乙烯、丙烯和丁二烯等单体都可以合成高分子材料。

合成纤维、橡胶和塑料都是高聚物，它们在形状和性能上有很大差异，但是，它们三者之间并没有严格的界限。同一种聚合物，由于合成方法和工艺不同，就可以分别制成纤维或塑料，如聚酰胺（尼龙）就有这种特点。又如聚氨酯弹性体，同时具有橡胶和塑料的双重性能。下面分别谈谈合成纤维、橡胶和塑料三大材料。

### 合成纤维

合成纤维是以煤、石油、天然气、水、空气、食盐、石灰石等为原料，经化学处理制成的人工纤维。70 年代合成纤维的年产量已占世界纤维总产量的一半。合成纤维的主要品种有：锦纶（聚酰胺）、腈纶（聚丙烯腈）、涤纶（聚酯）、维纶（聚乙烯醇）、丙纶（聚丙烯）和氯纶（聚氯乙烯）等六种，其中前三种产量最大，占整个合成纤维产量的 90%。它们都具有强度高、耐磨、比重小、弹性大、防蛀、防霉等优点。除做衣服以外，在工业和其它方面也很有用处。它们共同的缺点是吸湿性和耐热性较差，染色比较困难。

锦纶是最早出现的合成纤维，尼龙 66 和尼龙 6 先后于 1939 年和 1943 年开始工业化生产。特点是比重小、强度高，具有突出的耐磨性，大多用于制造丝袜、衬衣、渔网、缆绳、降落伞、宇航服、轮胎帘布等。

腈纶又称人造羊毛，比重低于羊毛，强度是羊毛的三倍，手感柔软蓬松，耐洗耐晒，可以纯纺或同羊毛混纺，制作衣料、毛毯和工业毛毯。腈纶毛线是市场上最畅销的产品之一。近年来，复合材料需用的碳纤维数量日增，常常采用腈纶纤维作为原丝。

涤纶俗称“的确良”，它兼有绵纶和腈纶的特点，强度高、耐磨，混纺后的棉涤纶和毛涤纶成为最常用的衣着用料。在工业上，涤纶还可制作轮胎帘布、固定带及运输带等。涤纶纤维出世较晚，但 70 年代产量已超过绵纶而居合成纤维首位。

维纶可作医用手术缝合材料等等。

以上各种合成纤维产量大，用途广泛，和人们日常生活关系密切，已为大家所熟悉，被称为通用合成纤维。在制造服装方面，合成纤维除了可制成各种织物和针织品外，还可充当棉絮，具有重量轻、弹性好、不板结、不变形的特点，制成的被褥、座垫、睡袋、沙发和防寒服等可以整洗，并且不怕霉菌和虫蛀，因此在 80 年代合成棉絮的用量已和天然棉絮平分秋色了。

合成纤维绵絮的进一步发展是人造羽绒。取自禽类身上的天然羽毛，由羽片、绒羽和纤羽三部分组成。人们采用粘合法和静电植毛法完全可以仿造出羽毛上的羽轴、羽枝和小羽枝，人造羽绒呈立体结构，富有弹性，蓬松保暖。最近，人们对于臃肿的天然羽绒和人造羽绒服的热情开始减退，这主要是出现了一种薄型合成絮片的缘故。

在 1983 年以后的奥林匹克冬季滑雪运动会上，一些运动员身穿紧身型滑雪装，人体的曲线美充分显露，腾飞的动作更加潇洒利落，滑跑的速度加快，这要归功于薄型合成纤维絮片。原来这类絮片是由超细纤维或发泡纤维制成的，增加了静止空气的储量，减少了热量的对流和传导，只需原羽绒服的一半厚度就足以保暖了。在宇航服的启发下，一些合成纤维絮片还采用厂表面金属蒸发沉积镀层，形成防湿保暖效果极好的辐射屏蔽层。由此可见，通用合成纤维也面临着革命。

在尖端工业中起作用的是特种合成纤维，它们的产量不大，品种却不下数十种，它们具有特殊的物理、机械性能，是天然纤维和通用合成纤维无法达到的。

与“塑料王”氟塑料源出一家的氟纶（聚四氟乙烯），在各种酸碱介质中耐腐蚀性最好，还可耐 250 左右的高温，并保持良好的电绝缘性，在原子能、航空和化学工业中发挥了巨大作用。

号称“合成钢丝”的芳纶（芳香族聚酰胺）在 60 年代就打入航空和航天领域，是目前有机合成纤维中强度最大、产量最高的纤维。比强度（同样重量材料得到的强度）是钢丝的五倍，用手指粗的芳纶绳就可以吊起两辆大卡车！有的品种可以在 260 高温下连续使用上百小时。在飞机上，芳纶被制成降落伞、机轮帘布、电绝缘和过滤结构，或作为增强纤维用于复合材料框架、桁条和舱门等；在航天飞机上，芳纶毡毯用于再返大气层时的热防护；宇航员穿的宇航服中有氟纶防火保暖层和芳纶防辐射及防流星层。美国 1980 年在航空和航天结构上使用了 45 万公斤的芳纶纤维。

芳纶坚韧耐磨，刚柔兼备，现在又发展成最有希望的防弹材料。过去的防弹材料主要是防弹铝板和钢板，都比较笨重，使用起来不灵活。现在用芳纶编织的防弹背心重量轻、结构紧凑、层数多、防护力强，适合于警察和公安人员日常穿用。士兵在战场上感到威胁最大的是弹片和散弹，穿上一种内衬陶瓷板的芳纶避弹衣，就可以保证肺、胸、脊骨等重要部位的安全。芳纶编织层能吸收弹丸 60% 的能量，陶瓷板能使弹丸偏离或碰掉。由 80% 芳纶纤维和 20% 树脂制成的“钢”盔，在与真正钢盔重量大致相等的情况下，安全性提高了两倍以上。据统计，芳纶防弹衣和钢盔最少能防护人的 60~70% 关

键部位，使伤亡人数至少降低三分之一。

芳纶陶瓷装甲还普遍应用于坦克、装甲车和直升机，可作为主防护装甲和辅助防护装甲。这些装甲有的单独使用芳纶层压板，有的与铝板复合使用，大大轻于传统的装甲钢板。这种新型复合装甲还可用于民航机上，作为防爆的防护板。此外，芳纶增强塑料还可制造鱼雷发射管、雷达天线罩等。

在康复医学中，使用各种人造合成纤维的数量越来越大。氟纶、涤纶和碳纤维是最常用的，如氟纶人造血等，尼龙中空纤维人工肾、碳纤维人工心脏瓣膜等，都具有良好的生物相容性。人工肺的主要部分是数万根空心丙纶纤维管，每根长 30 厘米，直径 250 微米，这样小的孔，连血液也不能渗透进去，但却可以让氧气和二氧化碳进行交换，保障人的正常呼吸。可见，合成纤维和人们的关系是越来越密切了。

合成纤维的发展，只不过四、五十年的历史。1940 年，世界棉花产量为 690 万吨，合成纤维只有 5000 吨。到 1963 年，合成纤维产量急剧增加到 130 万吨，二十多年增加了 259 倍。现在，人类的衣服原料已进入化学纤维时代。

### 合成橡胶

天然橡胶不仅在数量上，而且在性能上均不能满足人们的需要，只有大力发展人工合成橡胶才是出路。人们将石油中的多种碳氢化合物分离出来，利用化学方法聚合得到合成橡胶。人工合成橡胶具有一定的优越性，不仅可以制造出许多结构和性能相当于天然橡胶的普通橡胶，而且还能合成许多优于天然橡胶的特种橡胶。

合成橡胶问世已有半个多世纪的历史。在 20 年代，人们首先合成了丁二烯橡胶，它具有很高的弹性和耐寒性，到了 30 年代，合成橡胶工业蓬勃发展。目前，合成橡胶的数量和性能都大大超过了天然橡胶。

采用合成橡胶的经济效益也非常显著，例如，每生产 1000 吨天然橡胶需要 300 万株橡胶树，为此要占用五百多名劳动力和数千亩土地，而且也非一年可得。而生产同等数量合成橡胶的小工厂，每年只要数十名熟练工人和一定数量的石油。

在通用合成橡胶中，最常用的有丁苯、丁基、氯丁、丁腈橡胶等，它们都可以代替天然橡胶制成日常橡胶制品如轮胎、救生艇、密封件、电缆、软管和油箱等。丁苯橡胶在合成橡胶中产量最高，主要用于制造汽车和飞机轮胎等；氯丁橡胶弹性和加工性好，可制造密封件和减震零件；丁腈橡胶具有耐热、耐油和耐老化的特点，可制作耐油胶管和油箱。

特种合成橡胶在国防尖端工业中起着重要作用，它们产量不大但品种繁多，包括丁丙橡胶、异戊橡胶、聚硫橡胶、硅橡胶、氟橡胶、聚氨酯橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶、丙烯酸橡胶、氯醇橡胶等。

乙丙橡胶是乙烯和丙烯单体共聚制得的橡胶，由于它的分子链基本上是饱和的，所以能耐氧和臭氧老化、透气性小，耐化学介质和耐液压油性好，使用温度范围为 -60 ~ 150℃，最高可达 170℃，可用于制造汽车散热管及发动机零件。在航空上常用作液压系统的密封件和软管、火箭燃料和氧化剂的密封件和容器。

聚硫橡胶是含硫原子的合成橡胶的总称。具有优良的耐油、耐老化及透气性小的特性。用于飞机座舱、整体油箱、电器设备的密封，它还可以做成密封腻子，用于建筑物的防水。

氟橡胶由于分子链中有一部分被氟原子取代，形成与碳原子更紧密的结

合，因而使其具有耐高温、耐各种油类及腐蚀介质的能力。例如氟—26 橡胶的使用温度范围为-40~200℃，氟—246 橡胶可在 250℃ 高温环境中使用，氟醚橡胶可在 300℃ 油中和液氧、液氢中使用。氟橡胶在飞机上用作耐热、耐油密封零件，在火箭上用作密封件和容器，由于它具有突出的耐热性，在原子能和化工上也有广泛的用途。

硅橡胶由于其主链中具有硅—氧链而获得高的耐热性，是一种使用温度范围最广的橡胶，为-100~300℃，加以具有优越的耐大气老化性和电绝缘性，广泛用于航空、造船、化工和建筑，作为密封、减震和电绝缘件。在飞机上，透明硅橡胶用作飞机座舱的多层有机玻璃的中间夹层。正在发展的硅硼橡胶和硅氮橡胶，耐热性可达 500℃。

硅橡胶在人体中具有很好的生物相容性，是制造人工器官比较理想的材料，已用于人体内的有人造血管、人造瓣膜和人造心脏等；在体外应用的有人工心肺机、人造肾脏、输血导管等。

近年来国内外兴起的美容整形手术广泛采用有机硅胶填料，使塌鼻和扁平的乳房隆起，赋予有缺陷的女性必要的曲线美，手术安全而简便。胶粘剂和涂料也是有机高分子化合物的重要应用领域，在许多新型机械、电工和电子产品中都离不开它们。各种胶粘剂不仅可用于木材、皮革、纺织品、塑料、玻璃、陶瓷自身和相互间的胶接，还适用于金属自身和与上述材料相互间的胶接，甚至在医学上划破的伤口、人工骨与天然骨之间也采用了胶接。

结构用胶粘剂主要有改性环氧、改性酚醛及聚酰亚胺。它们的特点是强度、韧性和耐久性良好。50 年代起，在飞机上开始大面积使用胶接蜂窝夹层结构的舵面、安定面、机翼、机身壁板和直升机旋翼等。在推广先进连接工艺方面，胶铆、胶焊、胶接——螺接等复合连接方式大量代替了铆接和焊接，大大提高了疲劳强度和耐久性，减轻了结构重量。这些先进的连接工艺已推广至汽车、自行车、火车车厢和船舶制造业。

某些特殊用途的胶粘剂，如厌氧胶粘剂，在空气和氧气中不固化，一旦隔绝空气和氧气后即固化。它们被用于紧固防松、密封防漏和装配固定。压敏胶粘剂具有类似医用橡皮膏的特性，在室温下长期保持粘性，使用时只要对胶带轻微加压，即能粘附于物体表面，不用时又可撕去而不留痕迹。它们被用于电缆接头的包扎、零件临时定位和防止表面磨损，如直升机旋翼前缘贴上压敏胶带可以防止砂蚀。导电胶粘剂用于波导管及导电元件的胶接，无损于电气性能。

有机高分子涂料在国防尖端工业中也获得了广泛的应用。例如，在飞机机头雷达罩、机翼前缘和直升飞机旋翼上，涂有合成橡胶和氟弹性体组成的抗侵蚀涂层；在宇宙飞船和航天飞机的座舱内，涂有芳香族聚合物或有机硅——硅酸盐组成的抗辐射涂层；在人造卫星、宇宙飞船和高速飞机上，都必须有硅酸钾二氧化钴或有机硅氧化锌温控涂层。此外，还有防雨涂料、防雷击涂料、雷达吸波涂料等，都是为了满足特定目的而设计的。

在民用方面，防水、防锈、防雷、发光涂料和油漆使用的例子就更多了。

#### 塑料

在人工合成的有机高分子材料中，塑料诞生最早，发展最快，产量最高，和人们生活的关系也最密切，因此有些学者认为：人类已处于塑料时代。

塑料的显著特点是具有可塑性和可调性。可塑性是指采用最简单的工艺，就可以用在短时间内制造出形状极复杂的塑料制品；可调性是指生产过

程中，可以用改变工艺、变换配方等方法来调整塑料的各种性能，以满足不同的需要。此外，塑料还具有重量轻、不导电、不怕酸碱腐蚀、不传热的优点，可做成透明、不透明或各种颜色的制品。

1838年，人们就在实验室里合成了聚氯乙烯，1863年，合成了酚醛塑料（电工）。到了本世纪40年代以后，塑料进入蓬勃发展阶段。据统计，1930年全世界塑料的年产量为10万吨，1950年达160万吨，1960年达740万吨，1970年达3000万吨，预计2000年将达3.5亿吨。

现在的塑料有三、四十大类，三百多个品种。按其热性能可分为热塑性塑料和热固性塑料两大类。顾名思义，前者的特点是遇热会软化或熔化，产生热塑料，冷却后又会变硬；而热固性塑料是在一定条件下起化学反应后，形成固化塑料，再不能软化或熔化。

更为流行和方便的是从使用的角度来划分，把塑料分为通用塑料和工程塑料两大类。从70年代中期开始，又逐渐从工程塑料中分出高性能工程塑料。这三大类品种的划分至今没有定论，各国在划分上也略有差异，但大体上可以采用如下分类：

通用塑料——聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、酚醛塑料和氨基塑料等。

工程塑料——聚酰胺、聚甲醛、ABS、聚碳酸酯、聚酯、改性聚苯醚等。

高性能工程塑料——聚芳醚、聚芳砜、聚芳酯、聚芳杂环类、聚芳酰胺、聚对二甲苯、含氟材料等。

除此之外，还有特种透明塑料和新近发展起来的功能高分子材料等。

通用塑料的产量较大，占塑料总产量的80%以上。它们共同的特点是价格低、用途广，可制成生活用品、一般零件和包装材料，以代替纸和木材，并部分代替金属。聚乙烯能制造容器、管材和家具；聚丙烯用来制造汽车、电视机零件和食品包装袋；聚氯乙烯可以制成各种硬质、软质的泡沫塑料、农用薄膜等。将来，一张轻巧柔软的薄膜可以代替装淡水的大容器，使海岛和舰船上的人大受裨益；如果在汽车上装上一层气体分离膜，就可提高发动机功率，节约大量能源。

工程塑料是指机械性能好，可以代替金属制造机械零件，并且能在一些特殊环境，如高温、低温、腐蚀、大载荷条件下长期工作的一类塑料。工程塑料的出现是60年代塑料应用方面的重大突破，它既可用作电工器材，又可应用于机械工业，作钢铁和有色金属的代用品。广泛使用工程塑料的工业部门包括：机械制造、电子、化工、汽车、飞机制造、原子能和建筑等。例如，一吨聚氯乙烯塑料可代替五吨铅或七吨半不锈钢，或六吨半黄铜；尼龙塑料可以制成有良好润滑性的轴瓦，比铜瓦耐磨；聚甲醛材料，具有很高的刚性和硬度，耐疲劳性也很好，已用来制造电机、无线电、机械、汽车、原子能、航空航天等方面的某些零件。在汽车用材中，1978年塑料仅占4%（重量），1985年已达到10%。目前，工程塑料的使用温度在300℃以下，抗拉强度低于20千克每平方毫米，作为结构材料还不能与钢铁等金属相抗衡。国外约60%用于建筑和包装，约20%用于汽车和化工。国内在机械产品中用作轴套、密封件、导管、导轨、罩壳、油箱以及受力小的仪表构件等。预计到2000年，某些塑料耐热性可达500℃以上，强度可与普通钢铁匹敌，那也许会有塑料代替大部分钢材和有色金属。

高性能工程塑料又称特种工程塑料，它同军事工业和尖端技术的发展密

切相关，因此，虽在世界塑料总产量中比例很小，仅占 1%左右，但它们的作用是别的任何材料都无法比拟的，具有不容忽视的地位。

特种工程塑料大多是 60 年代进入工业化生产的，其工艺还不够成熟，产量不高。例如聚芳醚的价格低于聚碳酸酯和尼龙，而综合性能优于 ABS 等工程塑料，在 80 年代上升为主要的品种。

在提高耐热性方面，现有一系列的特种工程塑料可以满足要求，如聚砵的长期使用温度为 150℃，短时为 180℃，能够用于电绝缘而代替云母，增加电机的容量并缩小体积；聚芳砵在 -240 ~ 280℃ 温度范围内有良好的强度和电性能，可制成连接器、开关部件和印刷电路板；聚苯砵长期使用温度为 180℃，是砵族系统中耐热性最好的聚合物。

芳杂环的特点是耐热、耐辐射和突出的高温综合机械性能，目前进入商业化生产的有聚酰亚胺、聚海因、聚仲斑酸等，耐热性最高达 350℃，而正在研究中的聚苯并咪唑、聚喹噁啉、聚噁二唑等，耐热性可望达到 500℃，目前仅限于宇航方面的应用。

60 年代的特种工程塑料倾向于追求高性能，特别是耐热等级；70 年代以来，各企业都转向注重加工性和降低价格，向综合性能和通用用途发展；80 年代的主要研究工作是通过化学——物理方法，对现有品种进行改性。在未来的节能型小汽车和旅客飞机上，塑料和树脂基复合材料的用量将大大超过金属材料。

随着新技术革命和医学科学的发展，需要塑料具有光、电、磁的特性和人体的某些生理功能。在医学上，多年来人们一直想用人工器官代替病人的器官，这种愿望直到合成高分子材料广泛应用的今天才得以实现。据专家们估计，将来人体至少有一半以上的组织器官可用合成高分子材料代替。



## 无机非金属材料

无机非金属也简称无机材料。在物质或材料的成分里，凡是含有碳水化合物的，都称为有机物。例如，当某种物质受热时有碳化现象发生，或者在燃烧后生成二氧化碳的均称为有机物。而在物质或材料的成分里，不含有碳氢氧结合的化合物，称为无机物。其实，金属材料也属于无机材料的范畴，但是这里讲的是除了金属以外的无机材料。因此，为了明确起见，常常在这类材料的名字前加上“非金属”三个字，称为无机非金属材料。

较早的无机材料主要有水泥、玻璃和陶瓷，后来又出现了耐火材料。因为它们的成分中均含有二氧化硅这种化合物，所以又称为硅酸盐材料（它们是由二氧化硅和金属氧化物组成的化合物）。随着近代工业和科学技术的进步，使得无机材料的家族越来越庞大。如光学玻璃、工业陶瓷、石棉、石膏、云母、铸石、金刚石、石墨材料，不仅是建筑、化工、机械、冶金、电力、燃料、轻工业等工业部门不可缺少的材料，而且在国防工业和尖端技术中也有它们的重要地位。目前，这种材料发展很快，原来的硅酸盐材料已不能满足要求，一些新型无机材料成分里，不一定含有二氧化硅，这类材料称为新型无机材料。

无机材料的特点和应用有以下几个方面：

无机非金属材料是重要的资源。它的品种较多，约有一百多种。目前在工业上应用广泛、作用大的有三十多种，其中石灰石、石英石、长石、石膏、瓷土是生产水泥、玻璃和陶瓷等建筑材料的原料；石棉、云母、金刚石、石墨、水晶、滑石等矿物材料，在各个工业部门应用很广。例如，石棉是唯一的自然矿物纤维，具有较大的抗拉强度和弹性，并有优良的防火、隔热、耐酸碱、保温、防腐和电绝缘性能，许多机器和设备都要以石棉为主体制造各种密封、绝热、保温材料；又如金刚石，是自然界的硬度“冠军”，它在工业和材料中有独特的用途。

很多无机非金属材料是代替钢铁、棉、木材、麻、丝的理想材料。用来代替钢铁和有色金属的有铸石、石棉压力管、石棉水泥井管、石棉塑料闸瓦等；代替木材的有水泥船、水泥轨枕、水泥电杆、水泥矿井支架等等；用以代替棉、麻的主要是玻璃纤维。拿铸石来说，它是用辉绿岩、玄武岩等天然岩石为原料，经熔化、浇注、结晶、退火制成的一种新型无机材料，具有良好的耐磨和耐腐蚀性能，用在冶金、煤炭、化工、水电、机械等部门的一些设备和装置上，要比合金钢耐磨性好，它比不锈钢的抗腐蚀性更高。

无机材料是基本建设的主要物质。无论修建住房、厂房、办公楼，还是道路、桥梁、堤坝、机场、电站，都需要大量的砖、瓦、水泥、砂、石、玻璃等建筑材料。材料费用占整个建设投资的50%左右，由此可见这类材料的重要性。

新无机材料还是发展高、精、尖科学技术不可缺少的材料。在航天、核能、电力、电子、激光等工业部门都有广泛应用。例如，火箭发动机的燃烧室和喷嘴，需要承受两千多度的高温而不氧化，它是用石墨表面喷涂一层二硅化钼材料制成的；石墨还被大量用作核能工业的“减速剂”；雷达里的大型电子管外壳，既要耐高温，又要有良好的超高频和绝缘性能，它是用氧化铝超高频绝缘陶瓷做的；还有核反应堆外部的防护层，是采用一种含钡的特种水泥筑成的。

## 复合材料

近代科学技术的发展，对材料性能的要求越来越高，所要求的性能中甚至有些相互矛盾。例如：航空和空间技术要求强度高、重量轻的材料；造船工业需要耐高压、耐腐蚀的结构材料。这使得单一的材料很难同时满足需要，而且三大类材料都有它们本身的弱点。唯一可行的有效办法就是把两种或两种以上的材料按一定方法组合起来，使它们互相取长补短，相得益彰，制成兼有几种优良性能的新材料，这就叫复合材料。

其实，复合材料并不是什么新的发明创造。古代就用稻草拌泥土制成粘土坯房屋，还有钢筋混凝土，这都是早期的复合材料。仅把水泥、砂子和水混合制成水泥块，很容易断裂。如果在里面加上钢筋，水泥块的强度就会大大地提高，钢筋在混凝土中起了增强作用。又如，金属比较坚韧，但大多数金属不耐高温；陶瓷能耐高温，却又很脆，它们各有所长，又各有缺点。如果用粉末冶金的方法，把它们掺合在一起制成金属陶瓷，就既具有金属的高强度、高韧性，又具有陶瓷的耐高温特性。

现代复合材料是由基体材料和增强剂复合而成的。这种复合可在不同的非金属之间、金属之间以及非金属与金属之间进行。通常使用的基体材料是塑料、树脂、橡胶、金属和陶瓷，而增强剂为玻璃纤维、碳纤维、硼纤维或金属丝，有时也采用粉末和颗粒增强剂。

按照基体所用的材料不同，可将复合材料分为非金属基复合材料和金属基复合材料两大类。

复合材料在一定程度上克服了原有材料的缺点，如金属不耐腐蚀、有机高分子材料不耐高温、陶瓷材料脆性高等，因此在综合性能上超过了单一的材料。

制造复合材料最常用的工艺是纤维增强，即采用熔铸、浸渍、层压等方法把玻璃纤维、碳纤维、硼纤维及其织物嵌入树脂和塑料基体中，也可采用熔铸、轧制等方法把硼纤维、高强度钢丝嵌入铝、镁、钛合金中。此外，常用的工艺还有层叠和骨架复合等，如纸、铝箔和塑料薄膜组成的复合包装材料、带塑料面板或不锈钢面板的复合钢板、包含数百条  $Nb_3Sn$  蕊线的  $Cn-Sn$  合金超导电缆、纸芯、塑料芯和金属芯的蜂窝夹层结构等，就是用上述工艺制造的。

复合材料的关键是增强材料，它的弹性模量和强度都必须大大超过基体，因而才能使制得的复合材料的机械性能优于未增强的基体。另一方面，基体在抗腐蚀性、韧性等方面又弥补了增强材料的缺点，因此可以说复合材料具有人工设计的特点。

### 非金属基复合材料

玻璃钢是人们熟悉的一种多用途的复合材料，它的学名叫玻璃纤维增强塑料，诞生于 30 年代。人们发现玻璃原来很脆，但拉成纤维后柔软如丝，可以像棉纱一样纺织。玻璃纤维愈细，强度愈高。玻璃钢所用的增强纤维直径为 5~9 微米，只有头发的十几分之一，但单丝的拉伸强度高达 100~300 千克每平方毫米，比天然纤维和化学纤维高 5~10 倍，比高强度钢高 1~2 倍。在复合之前，应把玻璃纤维制成毡垫或纺织品，或根据需要切成短纤维。

目前广泛使用的玻璃钢有玻璃纤维增强尼龙、聚碳酸酯、聚乙烯、聚丙烯、环氧、酚醛及有机硅树脂等品种。玻璃钢的特长是质量轻强度高、耐腐

蚀性好，同时具有良好的隔热、隔音、抗冲击和透波能力。玻璃钢最早用于航空和军事工业，现在已推广到各行各业。军事用途包括自动枪托、火箭发射管、钢盔、登陆艇、飞机机头罩、机翼、尾翼、副油箱、雷达罩等，一般比采用金属部件重量轻 20~25%。在化工和石油工业中，玻璃钢管道、泵、槽节约了大量的不锈钢、铜、铝等金属，还延长了使用寿命。例如一台石油裂化冷风机采用玻璃钢叶片后，可节省 50 千克不锈钢和 35 千克铝合金。采用一吨玻璃钢代替棉布层压板，可节省棉布 4000 米。近年来许多先进体育器械也有用玻璃钢制造的，如网球拍、高尔夫球棍、滑雪板等。

长期以来，玻璃钢都是用手糊法加工的，就是说在手工铺好的玻璃纤维或织物上糊上树脂，经过固化成形，费工费时，质量也没有保证。近年来，半自动化和自动化的液压注射和短切纤维喷射工艺相继出现，加速了玻璃钢的普及。液压注射同金属压铸工艺类似，采用闭合模具，在模具内放置好玻璃纤维铺层后压入树脂，固化后脱模得到光洁度很高的产品。短切喷射法的效率高，连续的玻璃粗纱在喷枪内被短切刀具切断，和催化后的树脂一起由喷枪口喷出，在开式模具表面上堆积，逐步固化成形。这种方法不需要预先铺玻璃纤维，所以大大简化了操作过程，缩短了工期。

有一些大型玻璃钢制作，如管道和容器可以缠绕的玻璃纤维为骨架，现在发展到用电子计算机控制的自动缠绕机来加工，效率更高。可以加工出直径数米、长度几十米的开口或闭口管道。闭口管道的半圆盖是单独加工的，在缠绕过程中再结合到一起。

目前使用最广泛的玻璃钢大型部件是直升机旋翼和风车旋翼。1982 年美国哈密顿公司生产出世界上最大的风车旋翼。旋翼长 39 米，桨毂直径 5 米，重达 13.6 吨，三只旋翼装在 80 米高的塔架上，风速以每小时 52 公里算，可以发电 4000 千瓦。

70 年代以来，传统的建筑材料也发生了很大的变化，以合成树脂为粘接剂，加入各种填料的人造大理石和塑料混凝土异军突起，迅速打入高层建筑和豪华的宾馆中。人造大理石色泽鲜明，纹理清晰，在外观和性能上与天然大理石相似，而价格只有它的二分之一至五分之一，特别是一些异型制品，如浴盆和洗面池等，使用人造大理石的优点更为突出。人造大理石是在聚酯树脂中加入粉末填料，如碳酸钙、氧化铝、石英砂、玻璃粉和天然大理石粉等混合浇注而成。为了追求色泽和花纹的美观典雅，还可以加入各种颜料，如二氧化钛、三氧化二铁等。

人造大理石中填料的用量可达 75% 以上，这样不仅提高了产品的耐火性和抗腐蚀性，同时也降低了成本。人造大理石通常是一种基色和两种不同的花纹，也可以根据需要增加或变化花纹颜色。

人造大理石的另一关键是表层的凝胶薄膜，又称胶衣。凝胶必须有足够的强度、耐磨性、抗老化性、光泽度和透明度，它直接影响产品的使用寿命。专用凝胶喷涂机可以变换喷涂多至六种颜色的凝胶。神话传说中的女娲曾炼五彩石补天，现在这种奇异的五彩石已进入人们的生活。

塑料混凝土不追求人造大理石那样的光泽和花纹，而以性能取胜。塑料混凝土的比重比水泥混凝土轻，而抗拉和抗压强度为后者的四倍。此外，耐酸性和抗冻性都比水泥混凝土好。因此，塑料混凝土大都制成薄而轻的结构，只是其硬度稍低，耐火性也不及普通混凝土。

在施工过程中，塑料混凝土的优点十分显著，它的硬化脱模时间少于一

小时，而普通混凝土为 7~28 天，从而大大提高了模具周转和缩短了工期。

塑料混凝土所用树脂的品种很广泛，有聚酯、丙烯酸、呋喃、苯乙烯和环氧等；所用填料种类也很多，例如日本曾为利用发电厂的煤灰和烟灰，专门研究了一种结构混凝土，用于制造纺织机轴、床料和屋瓦等。目前，塑料混凝土的用途比人造大理石更广，如排水管、电气设备外壳、化工槽、地板、墙壁、水下餐厅、露天桌面、城市雕塑等，色彩可以任意选择。在大型飞机跑道和高速公路损坏时，用塑料混凝土修补最为方便，加有强烈催化剂的树脂在几分钟内即可固化。使用塑料混凝土最著名的例子是日本北部贯穿津轻海峡的青函隧道，这条隧道全长 54 公里，海水渗漏是致命的弱点，筛选的若干种防漏材料中以塑料混凝土效果最佳而中选。

人造大理石和塑料混凝土同玻璃钢相比，它们在使用的填料和用途上都存在着很大的不同，基本上不再使用玻璃纤维，但人们往往为了习惯，仍把它们列入玻璃钢的家族中。

碳纤维是 60 年代发展起来的另一种新型增强纤维。碳纤维的诞生是在百年之前，直到人们在寻求复合材料的新增强纤维时才想到它。现代的碳纤维是以聚丙烯腈、人造丝或木质素为原丝，在高温分解和碳化后得到的，具有强度高、重量轻、比重小、刚性好、抵抗变形能力强等特点，是现代良好的复合材料。

碳纤维复合材料的出现只不过几十年的时间。用它代替金属，已经在化工、机电、造船、特别是航天航空工业中得到广泛应用。例如：用碳纤维屑加塑料制成的轴承，摩擦系数小，抗磨蚀性好，甚至可用在重型轧机上；用碳纤维与聚四氟乙烯制成的复合材料密封圈具有耐热、耐磨和耐腐蚀的特点，适用于高压化工泵和液压系统的密封；碳纤维复合材料制作的齿轮，重量轻、强度高，完全可以代替金属而又无须用润滑剂等。

碳纤维复合材料最主要的用户是航天航空工业，飞机机翼尖、翼尾、起落架支柱，直升机旋翼均使用了碳纤维和硼纤维复合材料。美国战斗机的平均空重约 14 吨，碳纤维复合材料约占总重量的 10%，到现在已增至 15%。AV—8B 改型鹞式飞机是美国军用飞机中使用复合材料最多的机种，其机翼、前机身都使用了石墨—环氧大型部件，全机所用碳纤维的重量约占飞机结构总重量的 26%，使整机减重 9%，有效载荷活动半径比 AV—8A 飞机增加了一倍。

在航天工业中，碳纤维复合材料用于制造火箭和导弹头锥、喷嘴、人造卫星支承架等。如直径和长度数米的轨道转移器壳体、大型卫星电站、空间结构和空间站，都是采用石墨—环氧复合材料制造的。

碳—碳复合材料是一种性能特殊的复合材料，它是由多孔碳素基体和埋在其中的碳纤维骨架组成。在极高的温度下，仍旧可以抵抗腐蚀性介质的作用，保持很高的强度。它的耐热、耐腐蚀性也十分优异，因而是一种高温结构和热防护的理想材料。在所有的复合材料中，它的工作温度居第一位。它用于制造先进飞机的刹车盘，以代替过去用的钢和烧结材料，可以减重 60% 左右，提高寿命 2~3 倍。首先采用碳—碳刹车盘的为 A310“空中公共汽车”旅客机，减重 400 公斤以上。在火箭和航天飞机上，碳—碳复合材料用于受热最高的再返大气层头锥、前缘、热屏蔽、激光屏蔽和火箭喷嘴等部位。

在修复医学上，碳—碳人工骨和人工关节已被植入人体，其密度、强度和生物相容性都比金属件和陶瓷件优越。

在民用工业中，使用碳纤维最多的是汽车和运动器具。1979年美国福特汽车公司，展出了全部使用碳纤维复合材料制成的小轿车。重量比钢制的轻60%以上，疲劳性能和抗冲击性能都更好。

70年代以来，碳纤维复合材料被大量用于先进体育器材，使之面貌一新。碳纤维和混纤（硼纤维、芳纶纤维和玻璃纤维等）复合材料制品包括弓箭、滑雪板、滑雪杖、高尔夫球杆、撑杆跳杆、标枪、网球拍、羽毛球拍、赛艇等，总计四十余种。到80年代世界各国用于体育竞赛器具上的碳纤维，已超过用于航天航空上的数量。

在一些重大的竞赛中，著名运动员已把碳纤维器具视为克敌制胜的法宝。例如，新型碳纤维弓箭，发力均衡、射程远；球拍轻盈，反应迅速，特别是具有良好的手感。至于撑杆跳，借助于碳纤维的高强度和高弹性模具，撑杆几乎可以弯曲成C形而不折断，其反弹力相当强。

硼纤维也是一种新型的增强剂，硼的熔点和硬度都很高，硼化物被称为人造金刚石。

硼纤维是以直径10~13微米的钨丝为芯，在高温下沉积一层硼后制成的，直径达到100~200微米。硼纤维的强度是玻璃纤维的五倍。新型的硼硅克（BORsic）和氮硼尔（Nitboral）是改性硼纤维，在硼上积有一层碳化硅和氮化硼，能承受更高的温度。硼—环氧、环沉硼—铝复合材料还处于试用阶段。

复合材料工艺到目前还不够成熟，纤维的铺设和缠绕大多用手工或半自动化进行，不仅成本高，而且性能也不稳定。国外发展了数控机床，制造了整机设备。此外，改进增强材料和基体材料的工作也一直在进行。想使其性能更加完美则需要人们不断的努力。

#### 金属基复合材料

与非金属基复合材料相比，金属基复合材料的潜力尚未充分发挥，应用面比较窄，成熟的品种很少。这种情况一直到70年代中期才略有好转。1974年美国材料咨询局第一次肯定了研制和使用金属基复合材料的正确性，表示对这项工作要重视和支持。这主要是航空、航天、能源工业的发展提出的一系列严格的要求，看来只有依赖金属基复合材料和精陶瓷才能够解决。金属基复合材料所用的增强剂除了石墨、硼（硼硅克）纤维外，还有高强度钢丝、高熔点合金丝（钨、钼）和晶须（氧化铝、碳化硅）等。这些纤维分别用来与铝、镁、钛、铜和镍钴基高温合金组成复合材料。

硼—铝复合材料的研制起步最早，取得了一定效果。这种材料用于航天飞机的中机身构架管，可减重80千克。采用硼—铝复合材料的飞机为数不多，目前只有F—111、S—3A等，此外还有“阿特拉斯”导弹的壳体。

硼—铝复合材料最有希望的潜在用途是制造喷气发动机的压气机及风扇叶片，如用其代替钛合金可减重33%，节省成本45%左右。美国几家主要发动机公司如普拉特·惠特尼、通用电器、TRW等均进行过硼—铝复合材料风扇叶片的研究。JT8D发动机上试用硼—铝压气机叶片，工作温度达到300℃，此外，在TF—41—P3发动机上还试用了铍—铝压气机叶片。

石墨—铝复合材料也具有很高的比强度和比模量，适合直升机、导弹、坦克和突击浮桥使用。CH47直升机的传动机，采用了多层石墨—铝护板，大大减少了振动噪音，此外石墨—铝和石墨—镁将被用在人造卫星和大型空间结构上，如卫星支撑架、平面天线体、可折式抛物面天线肋等。

镍基和钴基高温合金使用高熔点钼、钨丝式晶须增强后成为耐热复合材料。这项工作在许多国家开展多年，目的是为了满足不同工作温度和载荷日益提高的先进涡轮发动机的需要。利用这种耐热复合材料制成实心涡轮叶片，可以提高涡轮的温度和转数，减少涡轮级数和冷却气体的消耗，为改进发动机创造了条件。采用加有二氧化钽和碳化钨的钨丝增强复合材料，工作温度为1160~1200℃，至少比目前的涡轮工作温度提高100℃。

利用氧化铝晶须毡或单晶纤维增强熔点钼钨后，可以耐更高的温度，在1650℃时的强度为钨的两倍，作为火箭喷口材料已通过试验。

以钢板为基体的各种层压板也是一种通用的复合材料。例如波音767和757飞机上采用的一种包不锈钢铝板，可以代替钛合金作为发动机的防火材料，重量轻而价格低。

另一种是以钢板为基、多孔青铜的中间层、聚四氟乙烯塑料为表面层的三层复合材料，可用于制造载重汽车底盘衬套、机床导轨和在高温腐蚀介质中工作的轴承。

超导电缆也是一种复合材料，它是以铜—锡合金为基体，埋入295根铌线后组成，经过扩散处理在界面形成七微米厚的 $Nb_2Sn$ 金属化合物，它具有超导性，可以用于制造磁悬浮高速列车、核聚变反应堆电磁铁、储能超导感应器、超导发电机等新产品。

## 功能材料

功能材料是指在电、光、热、磁、催化、分离、生物和医学等方面具有特殊性能的材料。我们对它还是比较熟悉的，如日光灯管的内壁涂有发光材料；照相胶卷上有感光材料；扩音器话筒和电唱机唱头里装有压电晶体材料。这些材料均属于功能材料。随着各种奇妙的功能材料层出不穷，光电、电声、激光、红外、半导体、超导技术的应用，仿佛使我们进入了一个神话世界。上天、入地、千里眼、顺风耳已成为事实。

在当代的科学技术中，功能材料应用更加普遍了。例如，人们习惯上的“电脑”、“电鼻”、“电眼”、“电耳”、“功能高分子材料”等，就是分别采用记忆、光电、气敏、压电晶体和人工合成材料制成的。

电脑是电子计算机的俗名。“电脑”是怎样记忆事物的呢？原来，电子计算机的“大脑”又叫存贮器，这是一个很大的“记忆仓库”，是存贮数据和指令的地方。它好比我们使用的笔和纸。计算机需要人事先编排好“计算程序”，存放在存贮器中，这样计算机便记住了解题方法和步骤。那么存贮器又是依靠什么方法来记住“计算程序”的呢？靠的是许多圆环记忆磁芯，它的直径比芝麻粒还小。每粒磁芯能够在电场作用下，互相转化成两种磁化状态。这两种磁化状态分别代表“0”和“1”。如果加正向电流代表“1”，那么反向电流就代表“0”，一个磁环能表示“0”和“1”两种状态。如果有三个磁环组成一串，就能表示八种状态，即：000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111。若用四个磁环，就能表示16个( $2^4=16$ )状态。许许多多串磁环组成的磁芯体，就能像人的头脑一样，记忆大量数码。可以把信息随时写入存在磁芯体里，要用的时候可让计算机随时“读”出，或通过打字机打印出来。如果不用时去掉也很容易，只要送入一个负电位，磁芯体立刻变成“0”状态，好像写满字的纸瞬间变成了白纸。正因为磁芯体有这些特点，所以，用氧化铁磁性材料制成的磁芯成了电子计算机的关键材料。

目前，我国电子计算机的生产和应用，在世界新技术革命浪潮的推动下，出现了喜人的势头。品种、数量增加，质量提高。在电网调度、电厂监控、水文预报、瓦斯监测、仓库管理、收购统计、存款利息估算、铁路调运、宾馆管理等许多方面已被利用起来，提高了社会综合服务的经济效益。

德国大诗人歌德曾经说过：“眼睛的存在应当归功于光。”正是由于光的刺激，动物身上的有机物才在亿万年进化的过程中，逐步形成了感光的器官——眼睛。然而，今天人们只花数十年的时间就利用光电材料制成了与人们眼睛功能相似的“光电管”。

19世纪末，人们发现铯、铷、钾、钠等金属内部的电子很不稳定，受到光线照射后，一部分电子会被释放出来，所释放的电子数量与光的强弱成正比，这种现象叫光电效应。如果用一块具有光电效应的金属板和另一导电的金属板组成光电管，并分别加上正负电压。那么，一旦光线照在负极板上，电路中就立即会有电流通过，而电流的大小与光照的强弱成正比。由于光电管能够把光和电联系起来，使光信号变成电信号，因此光电管又称“光电眼”。而铯、铷等金属正是制造光电管最重要的材料。光电管现已广泛用于电视、电影、无线电传真等方面，正为人类造福。

“光电眼”还在信号装置、光度计、照明、自动控制等技术方面，有着广泛应用。例如，用于自动控制炼钢炉温度，由于“光电眼”可以根据炉内

光线强弱精确地“算出”温度，自动装置就能够采取相应措施，及时准确地调节炉温；有的“光电眼”不仅对光的强弱很敏感，而且还能识别颜色。生产中如要实现带色图案工作的自动化，可让“光电眼”分辨彩色图案的色泽、亮度和形状，把光电信号输入到电子计算机，“电脑”经过鉴别判断，即可命令机器去完成规定的动作。

“电鼻”的学名叫“气体检漏仪”，是发现危险气体和检查危险气体浓度的仪器。它是怎样“闻”到气味的呢？原来，这个仪器中装有一种金属氧化物材料，叫气敏半导体。由二氧化锡、氯化钨等材料混合烧结制成，它的表面吸附着氧分子。当仪器靠近易燃、易爆气体时，这些气体很容易和氧结合，夺走气敏半导体表面的氧，报警器便发出信号。气体消散后，即可再次使用。

“电鼻”对许多气体反应非常灵敏。例如它能把百万分之一浓度的氢气指示出来；对冷冻机、电冰箱中用的氟利昂，哪怕只有十万分之一的浓度，它就能“闻”出来；对剧毒的一氧化碳，人鼻子闻不出，“电鼻”却很灵敏。目前，“电鼻”能够“闻”出的气味已有四十多种，包括苯、染料、油漆、氨、树脂、瓦斯和酸等。它可以很负责地担任气体检漏、浓度测定、报警等工作，在石油、化工、矿山、仓库、环境保护及科学研究等部门很有用处。另外，人们还根据“电鼻”的原理研制出了一种“电子警犬”，它比狗的鼻子还要灵敏一千倍，已开始用于侦缉破案工作。

眼，明察秋毫；耳，能探微音。人的耳朵是灵敏的声音接收器。可是有一种“电耳”要比人耳高明许多倍，它的专业名称叫声纳，是利用超声波在水中通信和探测的一种仪器。声纳发射机发出的超声波，碰到水中的物体便被反射回来形成回波，并由接收机接收。根据超声波从发出到返回的时间，声纳便可以发现目标并探测两者之间的距离。

声纳的探测和接收元件，是用一种所谓压电陶瓷制成的。这是一种具有压电特性的陶瓷材料。压电效应是1880年由法国科学家皮埃尔·居里兄弟发现的。他们在研究石英、电石、酒石酸钾钠等晶体的过程中，发现这些晶体在一定温度下受压时会有信号产生；在通电时，又会发生形变。后来，人们便利用这种奇特的压电效应，将机械能转变成电能，或把电能转变成机械能。如果把电子振荡器产生的几万周的振荡电流加到压电晶体上，使薄片周围的水也随着发生波动，这就是超声波。装有“电耳”的潜水艇就是凭借压电晶体所发出的超声波以及接收的回波，来发现敌舰、水雷、暗礁以及冰山的。

目前，常用的压电陶瓷材料，主要是钛酸钡陶瓷、锆钛酸铅陶瓷及以其为基础的三元素陶瓷等。

功能高分子材料是在某领域具有特殊性能的人工合成材料。一部分功能高分子材料的用途已为人们所熟知，占有稳定的市场，如通用塑料等，而另一些独特的功能材料正在扩大使用范围，留给人们深刻的印象，逐步建立起不容置疑的地位，如集成电路用的感光树脂、电子照相用的光导电性树脂、海水淡化用的离子交换树脂、回收废污水中重金属离子的螯合树脂、人造肾脏渗析的中空纤维等。

下面让我们举例说明这些功能高分子材料的重要性。如加有 $ASF_5$ 掺杂剂的聚乙炔和聚苯硫醚都是能导电的塑料，这些聚合物在结构上和一般塑料没有什么不同，但外表看起来却非常像金属，它们的导电性接近于金属铅，所



以又称“塑料金属”，因为它们既能导电，又具有重量轻的特点，因此有广泛的用途。美国新研制出的一种塑料蓄电池，就是采用这种塑料做电池的电极，它的体积小，重量轻，可以提供常规铅蓄电池 10 倍的电力，并且在长期使用过程中不需要维修，充电次数可达 1000 次以上。还有一个优点即塑料电池是密封的，不会释放出有害的化学物质和气体污染环境。

选择性吸收高分子功能材料也是功能材料的新秀，它优于碳吸附剂。因为规则的高分子碳化后，具有可控制的选择吸收性，如碳化聚丙烯腈吸附硫酸醇的能力，比活性炭高 10~20 倍，用于冷库、空气净化机可以消除臭味；碳化聚乙烯醇具有分子筛的作用，筛目可以控制，能用于分离氧、一氧化碳和氢气等；选择性螯合树脂，能与特定的金属离子形成络合物，可用于工业废水回收有害金属或化工溶液去除金属离子。

生物高分子材料的产量增长很快。例如具有肾脏功能的人工肾脏渗析器由中空纤维或膜组成，年产量达到数百万只；能渗透氧和二氧化碳的人工肺有机硅胶膜，年产量近万只；人造血液（聚乙烯基吡咯烷酮）也有商品供应。

减阻功能高分子材料给许多工业部门带来了福音。例如，在流体中加入某些微量的高分子材料，可使流动阻力大大降低。水中加入 25PPm 的聚环氧乙烷，就使水管中的阻力下降 75%，出水率增加好几倍，可用于灭火水管等方面；在油田开采中加入聚丙烯酰胺和聚丁烯类聚合物，就会使原油易于从岩石缝隙中渗出和在输油管中通过，多出油和减小远程输油中的油量及能量消耗。

保湿功能高分子材料对农业有重要意义，这种用纤维素或淀粉与丙烯酸的接枝共聚物有很强的吸水能力，能吸收自身重量 300 倍的水分，其中 95% 可供植物吸收，因此起到了地下小水库的作用。施用保湿剂后，小麦产量可提高 15%，大豆产量可提高 25%。

有的科学家指出，近年来一场“革命”材料已悄悄地走出实验室而进入了工程界各个领域。这里的“革命”材料实际上是指高分子材料，不久之后，它就会成为无所不在的万能材料了。

## 半导体材料

提起半导体，就使人们想到那小巧玲珑的晶体管收音机，人们习惯地称它为半导体。其实这仅仅是半导体应用中一个很小的方面，如今，它已渗透到人类生产、科研和各个家庭。从小小电子表到大型电子计算机；从家庭电视到自动化仪器；从电子秤到数控机床……，形形色色的现代化电子设备都离不开半导体材料。

半导体材料实际上是指锗、硅、砷化镓一类材料。因为它们的导电性介于金属和非金属之间，所以称为半导体。由于半导体的微观结构是按一定规则排列的晶体结构，因此半导体也叫晶体管。

锗是一种浅灰色金属，质地坚硬，自然界蕴藏量很少，地壳中的含量只占有万分之七，被称为稀有金属。硅和锗不同，到处都有它的踪迹，在地壳中，除了氧以外它是含量最多的。例如沙子中就含有二氧化硅。由于硅的半导体特性必须在很高的纯度下才能显示出来，同时提纯技术又很复杂，因此，一直到 50 年代硅单晶材料才问世，硅的应用到 70 年代得到发展。而现在，它已遍及各个技术领域，显得再平常不过了。

半导体材料的导电性能，在不同的温度、光照、杂质等条件下会灵敏地发生变化。正因为半导体这一非凡的“本领”，才使得它能够在技术上大显神通。例如，利用半导体对温度十分敏感的特性，制成自动化装置中常用的热敏电阻，可以测出万分之一度的温度变化。

半导体中微量的杂质，就可以使它的导电性能发生显著变化，就这一点点杂质，又使半导体大有用场。例如在一块纯硅中掺入百万分之一的杂质元素，会使它的电阻降低 100 万倍。

我们知道，半导体器件与电子管或其它电子器件比较，它的优点是体积小、重量轻、安全可靠、寿命长、省电、效率高、成本低。晶体管的平均寿命比电子管长 100~1000 倍，可靠性高 100 倍，可称“半永久性器件”。晶体管最显著的特点是体积小。因为电子器件的体积越大，遭受损坏和出现故障的机会也越多；另一方面，元件和器件的高频性能，与它们的尺寸密切相关。电子器件的体积越小，高频率工作特性也就越好，而现代无线电、电子技术多在短波、超短波、微波等高频和超高频范围内工作，这也就是晶体管和集成电路得到迅速发展的原因所在。集成电路使电子设备向微小型发展产生了一次飞跃。实践表明：集成电路的可靠性要比分立元件电路高 100 倍左右，大规模集成电路又比一般集成电路高出 100 倍以上。

什么是集成电路呢？它主要是由许多集成块组成的，集成块是在平面晶体管技术的基础上，把晶体管、电阻及电容等都做在一小块半导体材料上，组成不能拆换的整体，代替传统的分散元件。集成块的功能和原电路的晶体管、电阻和电容的功能是相同的。

目前，制造集成电路的硅单晶材料的纯度已经很高，它为超大规模集成电路的发展提供了有利条件。在一块几毫米见方的小硅片上，制作几十万个晶体管等元件，就可以构成超大规模的集成电路。这是一件多么奇妙的事情！

现在电子技术发展的两大主流是集成电路技术和电子计算机。超大规模集成电路的应用，大大加快了电子计算机的发展速度。

新的工业革命，使我们进入了信息时代。其主要特征是用电子计算机，把信息、电子计算机的智能与机器系统紧密结合起来，来代替人的体力劳动

和一大部分脑力劳动。其实，智能机器人的内部结构正是集半导体材料和功能材料之大成，其“大脑”是电子计算机，“眼睛”是电子摄象机，“耳”和“嘴”是电子拾音和放音系统，“鼻子”是嗅敏仪，四肢的指（趾）端是能够产生调制的红外光感觉（触觉）传感器。也就是说智能机器人具有和人主要器官对应的模拟器官，因而能够像人一样，感觉外界信息并加工处理这些信息，最后作出行动反应。

电子计算机和智能机器人不但可以模拟人的感觉和思维，把人们从大量、繁重、简单的劳动中解放出来，大大提高生产和工作效率，而且还可以逾越人体机能的限制，在存贮、计算、逻辑判断、程序控制和自动化等方面，完成人难以承担的繁重工作，为我们提供崭新的生产手段和管理方法。

## 材料工程放异彩

现代显微测试技术的迅猛发展，使人们在观测材料的结构时，能从晶体再细微到分辨出原子和电子，因而对材料所具有的独特的物理性质（电学、光学、磁学、热学、能量转换等）能够不断地揭示，给人类提供了设计新材料，改造、利用现有材料的依据。自然科学的进步和高新技术的旋风，为材料工程增添了异彩，已经培育出现代材料科学的灿烂花朵。而且由于高科技的涌现，人们已经制造出了许许多多性能奇妙的新材料，成为材料园地中的佼佼者。用于材料工程上的技术繁多，有离子束、电子束、激光束、电解、电镀、化学镀、高压、快速冷凝等等，都在制备新材料方面做出了重大贡献。

## 载能束巧夺天工

载能束指的是电子束、离子束、激光束。将这些具有高能的束流强行注入材料内部，在材料的表层可以迅速加热到高温，也可以实现快速冷却，冷却速度达每秒  $10^{12}$  摄氏度。这两种作用和载能束的本身都能对材料发挥奇特的作用。载能束本身的离子作为掺杂物质，掺入材料表面，能改变材料表面的成份。快速加热和快速冷却，会引起材料内部的结构变化，使原子重新组合，新的化合物可由此产生。

1973 年，迪利那利发明了用离子注入的方法把晶体合金转变成非晶合金，这个方法是事先选择要注入合金晶体的元素，然后，把这些元素放入放电管，在放电管两端加上高电压，放电过程中使放入元素变成离子。这种放电管所形成的离子进入磁质量分析仪，通过分析仪选出所需能量的离子，在高电压的电场下加速，使离子具有较高的能量（大约有几十万电子伏特），用这样的离子束流去轰击金属或合金表面。当注入的离子大于金属总原子量的 10% 时，可以使被注入的金属表面形成一层非晶态膜。非晶态膜比晶态金属的硬度要高几十至几百倍，这样就提高了材料的强度。

高剂量的离子注入晶态金属或合金，导致晶态金属的结构受到破坏，使晶态表面产生极高的应力密度。因此，在这些非晶化的合金表面，得到高强度、高硬度、高韧性的特性，其成份结构和原来材料截然不同。这叫做材料的表面改性。

但是，并不是任意注入离子和被注入的金属合金进行任意组合都能使材料表面非晶化。如果用被注入的合金的自身离子束注射，如铜离子注入金属铜，就不能形成表面非晶化。近年来，用离子注入法已制造出的非晶化表面的金属（合金）有：钨离子注入金属铜；钽离子注入金属铜；磷离子注入金属镍；磷离子注入不锈钢；金离子注入铂金；铁离子注入镉金属；镍离子注入镉等等。这些制造成功的金属，引起了人们的注意，有的已在工业生产中获得有效应用。

离子注入技术可以通过束流的控制，实现金属表面的局部非晶化，使人们能进行随意操作，使用巧妙自如。如采用大面积的扫描离子注入，就可以获得人们梦寐以求的大面积金属表面非晶化的保护，而且，在室温条件下就可以实现。离子注入的前景是非常美妙的。

载能束改变材料表面的结构，可以大大提高材料的抗磨损性能。载能束加热的金属，可以在改性材料表面上形成扩散层，增加材料的抗磨、抗腐蚀的性能。如将铝蒸汽扩散到钢上，铝的扩散层对钢起着很好的防护作用。1978 年，英国哈威尔原子能中心的研究者 N·E·W 哈特勒公布了用氮离子注入能提高钢的抗磨能力，大大激起了人们的兴趣。目前，用氮离子注入人工髋关节材料钒铝钛 ( $TiAl_6V_4$ ) 进行表面改性，已发现其耐磨性能提高到原来的 1000 倍，效果特别奇妙。激光表面处理在工业上已获得广泛应用，如对邮票打孔机的滚筒经激光处理之后，把一个滚筒原先只能打印 150 万张的记录提高到 1500 万张，就是一个成功的例子。

载能束的表面改性技术，从精细工艺、精致图案到较大的面积，可以无所不包地解决表面改性问题，其效果被人们称赞不已，真可谓巧夺天工。

## 制膜术交响曲

当人们漫步在高科技的商品市场时，会惊奇地看到许多小巧美观、令人爱不释手的电子整机，如袖珍型电视机、盒式录像机、微型计算机等等。这些产品之所以小巧玲珑，是由于微电子技术的迅速发展。微电子技术已进入制作超大规模集成电路及其微组装阶段。在微组装中使用多层布线板、各种微型片式元件（包括各种集成电路）和表面安装技术（即纳米技术）。若剖析这些奇异的电子整机，不难发现，它们的各部分所用的材料基本上是薄膜，可见功能薄是微电子技术的基础。在高科技蓬勃发展的今天，向材料科学提出了特殊要求，其中之一就是要求提供性能极为稳定的控制和测量元件。宇航和生物医学要求的微型元件，特殊功能的高性能微元

件，太阳能电池等，都要求制作出纯度很高，厚度是几百 Å 到几个微米的膜质优良、厚度均匀的功能膜。在高科技发展的大潮中，各种各样功能膜的制备，汇成了美妙的制膜技术交响曲。

在制膜技术中，膜料也可按成分、结构、性能、用途和制备方法分类。按成分，现有的薄膜有元素金属膜、合金薄膜、元素半导体薄膜、化合物半导体薄膜、氧化物薄膜、氮化物薄膜、高分子薄膜、混合物薄膜等。按组织结构则分为单晶薄膜、多晶薄膜和非晶薄膜。在实用上广泛采用按用途分类，如电子薄膜、光学薄膜、机械薄膜、装璜薄膜等。电子膜中又分为超导薄膜、导电薄膜、电阻薄膜、半导体薄膜、介质薄膜、绝缘薄膜、保护薄膜、铁电薄膜、磁性薄膜等。其他还有性能特殊的压电薄膜、热电薄膜、光电薄膜、电光薄膜、磁电薄膜、磁光薄膜等。有不少薄膜具有两种或多种优良性能，它们可以有几种用途。

展望微电子工程，从单晶硅片到晶体三极、二极管及传感器等，都需要建立高级的严密的制膜技术。要想在 1/1000 毫米到 3/100 毫米厚的单晶硅层上掺入磷或锑以变成一个半导体层，必须经过一系列制膜技术制成器件，需要按不同要求镀上膜，并在上面划出几百甚至是上千个彼此孤立的分区，这些分区都有截然不同的特性和功能，每个区域就是不同的器件，它们都承担一种结构元件的功能。可见，薄膜技术十分重要，而技术要求又是十分苛刻的。

制膜技术有两大类，那就是用物理方法和化学方法。要制出膜质优良、性能稳定的功能薄膜，常用物理方法加工，用这种方法制膜都要在真空抽气机（机械泵和油扩散泵）抽成的高真空容器中进行。目前，用化学方法制膜在膜质上还达不到要求，所以多采用物理方法，首先将要制功能薄膜的原料（块状或片状）进行加热蒸发，形成原子蒸汽，然后让它在要使用的衬底上冷凝、沉淀（衬底可用晶片、玻璃、金属片）。要使功能膜成膜均匀，具有一定的机械强度，必须精确控制真空容器中的气氛和成膜时给衬底加热的温度。改变气氛和温度，可以制备出各种不同类型、不同质量、具有特殊功能的薄膜。根据成膜的原理和蒸发源不同，按其特点可分为：电阻加热、电子束加热、激光束加热、高频电流加热、高压直流（磁控）溅射、13.56 兆赫频率源的射频溅射、离子束溅射等。目前，经过改进已使用于制备半导体制膜的最完备的设备称为分子束外延设备。

制膜技术非常奇妙而丰富地制造出许多功能膜。1975 年，斯皮尔等人用

硅烷直流辉光放电分解沉积制成非晶态硅薄膜。自它问世以来，这种薄膜已作为一种新能源材料，开辟了广阔的前景。以往太阳能电池主要用硅、铁化（CdFe）（GaAs） $0.5 \sim 0.7 \mu\text{m}$ （微米），（ $1/1000$  毫米），为单晶硅电池厚度的  $1/500$ ，而且在各种各样的衬底上容易成膜。如玻璃、不锈钢、陶瓷、塑料薄膜等。它们的面积可以大于  $30 \times 30\text{cm}^2$ （平方厘米），而且有利于发展为多种材料的选层式太阳能电池，大大地提高太阳能的转换效率。非晶硅薄膜还用于集成电路，制作成极灵敏的传感器元件，组成控制和检测的仪器。如用非晶态硅—氢合金膜制成的光电图像传感器。可获得非常清晰的图像。

非晶态硒薄膜，是静电复印材料，具有可作成为大面积、膜质优良、长期使用不发生结构变化、抗震、耐磨等优点，已获得广泛应用。

运用制膜技术，可以制备出许多具有独特的电学、光学、热学、声学等性能的铁电薄膜，可望它与半导体硅和砷化镓组合成光电子学、集成光学、微电子学等，在高科技领域中有广泛的应用，因而引起了国际科技界、产业界、军事界以及政府部门的极大关注。因为铁电薄膜可制成随机存取存储器，具有永久存储的能力，断电时也能保持存储信息，其读写周期短，抗辐射损伤能力强，存储器体积小，适合于计算机对高速度、高密度和永久存储的要求。美国卡利沙力公司和日本 NEC 公司已先后推出 16K 和 64K 的 FRAM 器件。科学家们预测 1995 年 FRAM 将在国际存储器市场中占 48%。

早在公元前，人们已发现了金刚石，本世纪 80 年代在制膜技术获得重大突破之后，金刚石制膜技术获得了完满的成功。早在 1704 年，牛顿首先提出了金刚石是碳的一种结构形态的假设，1797 年，这个假想获得了实验上的证实。后来，用天然的或高压合成的金刚石颗粒制成了整流二极管、光探测器、发光管。1982 年，在天然的金刚石上成功制作成双极晶体管、横辐射探测器，用于温度  $2 \sim 1000\text{K}$  的范围内对电阻变化反应非常灵敏的热敏传感器。这样，科技界、产业界对于金刚石膜作为半导体材料应用于电子器件上寄托了极大的希望，金刚石薄膜可能会成为新一代的半导体材料。

制膜技术，还可以做成像彩虹那样，使每层薄膜之间没有明显分界面的功能膜，这种材料叫梯度材料。它们各层之间，成份组成和性能（弹性、导热性、热胀性等）也是渐渐变化的。1989 年，这种梯度材料已经走出了实验室，投入了应用，已取得明显效益。飞机上采用梯度功能材料是应用的一个重要方面。另外，用于医学，如假牙的制作，它可以改变假牙的结构，可作成一截坚硬、耐磨、耐腐蚀，而另一截则与牙床结合成非常吻合的结构。这样，用梯度材料做成的假牙质量优良，且使用舒适，非常令人满意。

制膜技术还可以制备两种不同材料薄层（几个纳米至几十纳米厚）交替生长出多层结构，这就是通常所谓的超晶格（在半导体上又称量子阱）。其最典型的超晶格结构是砷化镓/砷化铝镓这种结构可以作为性质优良的半导体器件。近年来，人们还制备出非晶态半导体的超晶格结构。金属超晶格和磁性元素/非磁性元素超晶体，以及稀土金属超晶格等。人们可以利用超晶格的电性、磁性制出各种具有特性的功能器件。如钇/钴超晶格，可以成为磁光可擦写存储或磁泡存储器件。

在制膜技术中，新功能膜在高科技园地犹如百花争艳，正在不断展示出它们的丰姿。

## 定向生长的晶体

晶体结晶的过程，是从高温熔融的原液冷凝成固体的过程。这种过程导致固体材料内部的成分分布是不均匀的。例如金属大多数是多晶状态，在一个个有规律排列的晶粒的边界上，在结晶过程中，杂质就会挤入晶粒之间，而且产生杂质富集，这些杂质在低温时，会使晶体畸变，有时对金属整体有一定的强化作用。但在高温下，晶界部分首先熔化。在外力作用下，这种杂质晶界首先使晶粒间相对运动，晶界上的杂质就成为一种运动的润滑剂。这样，人们就很容易想到，要提高金属的强度，就要消除晶粒间的晶界，生长成单晶体，实现这种设想的技术称为晶体的定向生长。

控制晶体定向生长，是一种极其复杂的很难掌握的技术。70年代，工程技术人员想通过铸铁的水冷底板来控制高温金属熔融体的冷却速度，期望能制成一种特殊的飞机叶片。这种叶片上的晶粒要沿着主要受力的方向排列（工程上称为沿主应力方向排列），这种飞机叶片，在最容易破裂的方向上消除了晶界，形成了条状的晶柱，人们称为柱晶合金。和原来的合金相比，柱晶合金的耐高温度及热疲劳强度都有显著提高。这种加工方法后来发展成生产单晶合金工艺。在柱晶生长晶路上增设一条弯的通道，只让一条晶柱通过，并经过严密控制冷却条件，就可制备一个具有完整晶粒的构件。在这种构件上，横向、纵向均无任何界面，或者说接近于没有缺陷。

定向单晶合金比普通多晶合金的工作温度可提高 80~100 。在同样高的工作温度下，单晶合金做成的构件的工作寿命比普通多晶合金的构件要长 7 倍以上。

单晶合金已开发了近百种，成为各种工程构件。美国的波音系统客机、欧洲的空中公共汽车系列客机、美国的战斗机、预警机和轰炸机都使用了单晶合金。美国航天飞机的主发动机，由于选用单晶合金而赢得“安全”之美名。我国的单晶合金生产工艺已在国内开花结果，进入了高技术的各个领域。



## 太空生长晶体

“敢上九天揽月，敢下五洋捉鳖”，这在过去是一种神话，人类用这句话来表达改造自然的决心。然而这类神话却吸引了一批科学的探索者，为实现这种神话而献身。他们企盼着能在失重和高洁净的太空随心所欲地生产各种性能优良的材料，特别是单晶材料。科学家们在 1983 年 12 月发射的宇宙飞船空间实验室 1 号中，进行了制备单晶的实验，把在地球上生长单晶体的设备和方法，搬上太空实验室并制造出半导体硅和半导体锑化镓晶体，从而在人类的科学技术发展史上，写下了太空生长晶体的光辉一页。

在太空实验室里生长晶体，仍旧是采用地球上的硅单晶“区熔法”的生长设备。其具体作法是：在一个密封炉体内，使用两个作为加热源的卤光灯，聚焦于椭圆炉体的共焦点上，形成一个熔区，熔区因加热炉移动而移动。单晶硅的生长是用一定形状的多晶硅棒作原料，在氩气氛保护下通过掺硼工序逐步完成的。宇航员通过程序控制装置自动调节卤光灯的功率。生长硅单晶时，卤光灯功率是 200 ~ 800 瓦特，晶体在生长过程中以 8 转/分的速度旋转。随着炉体的移动，晶体以 5 毫米/分的速度慢慢生长，这次实验的生长时间定为 21 分钟。

## 未来材料

对于未来材料的概念尚未统一，有的文献中把它们称为尖端材料或先进材料。一般认为：未来材料是指那些新近发展或正在发展的具有优异性能或特殊性能的、代表现代新技术动向并能满足未来需要的材料。从工业发展的情况看，这些新兴材料大致有：供光通信用的光导纤维材料、先进金属材料、新型陶瓷材料；用于计算机技术的半导体超纯材料和信息记录材料；供无线电技术用的人工晶体材料；供激光技术用的激光发生、光调制、光波导、光存储材料；在新能源中用的超导材料；供生物工程用的人工器官材料；在遥感技术上用的传感功能材料……，这些新材料是各项新技术发展的物质基础。下面简要举例谈谈几种未来材料。

## 新型金属——合金材料

在开发先进合金中，发展方向主要为：最大限度发挥原有合金的潜力，在某一方面而不是全面地提高合金的性能，由不同的成分承担不同的性能要求，达到取长补短的目的；开发全新的合金等。

### 高温合金

高温合金是指那些在极高温下仍能满足工作要求的金属材料。它出现于 30 年代，它的发展动力首先来源于航空发动机的需要，特别是 40 年代末喷气机发动机问世以来，对优质高温合金的需求日益增加，同时，它的使用范围也扩大了。

高温合金依靠“固溶强化”、“金属间化合物强化”及“碳化物强化”三种强化机理而不断得到增强。在 70 年代以前，高温合金耐热的发展速度大约每年提高 10%。例如涡轮叶片最初使用的耐热钢，工作温度只有 550~650℃，到 70 年代已达到 1050℃。继续提高镍基和钴基高温合金的工作温度越来越困难，因为这样高的温度已接近基体金属镍和钴的熔点（镍的为 1453℃，钴的为 1495℃）。很明显，合金的潜力几乎被挖尽，上面几种强化方法再也难以奏效。于是，科学家只好求助于设计和工艺的改进来满足工作温度的要求。

### 超塑性合金

超塑性合金是指那些具有超塑性的金属材料。超塑性是一种奇特的现象。具有超塑性的合金能像饴糖一样伸长 10 倍、20 倍甚至上百倍，既不出现缩颈，也不会断裂。金属的超塑性现象，是英国物理学家森金斯在 1982 年发现的，他给这种现象做如下定义：凡金属在适当的温度下（大约相当于金属熔点温度的一半）变得像软糖一样柔软，而应变速度为 10 毫米/秒时产生本身长度三倍以上的延伸率，均属于超塑性。

最初发展的超塑性合金是一种简单的合金，如锡铅、铋锡等。一根铋锡棒可以拉伸到原长的 19.5 倍，然而这些材料的强度太低，不能制造机器零件，所以并没有引起人们的重视。

60 年代以后，研究者发现许多有实用价值的锌、铝、铜合金中也具有超塑性，于是前苏联、美国和西欧一些国家对超塑性理论和加工发生了兴趣。特别在航空航天上，面对极难变形的钛合金和高温合金，普通的锻造和轧制等工艺很难成形，而利用超塑性加工却获得了成功。到了 70 年代，各种材料的超塑性成形已发展成流行的新工艺。

现在超塑性合金已有一个长长的清单，最常用的铝、镍、铜、铁、钛合金均有 10~15 个牌号，它们的延伸率在 200~2000% 之间。如铝锌共晶合金为 1000%，铝铜共晶合金为 1150%，纯铝高达 6000%，碳和不锈钢在 150~800% 之间，钛合金在 450~1000% 之间。

实现超塑性的主要条件是一定的变形温度和低的应变速率，这时合金本身还要具有极为细小的等轴晶粒（直径 5 微米以下），这种超塑性称为超细晶粒超塑性。还有一些钢，在一定的温度下组织中的相发生转变，在相变点附近加工也能完成超塑性，称为相变超塑性。

超塑材料加工具有很大的实用价值，只要很小的压力就能获得形状非常复杂的制作。试想一下，金属变成了饴糖状，从而具有了可吹塑和可挤压的柔软性能，因此过去只能用于玻璃和塑料的真空成形、吹塑成形等工艺被沿

用过来，用以对付难变形的合金。而这时所需的压力很小，只相当于正常压力加工时的几分之一到几十分之一；从而节省了能源和设备。使用超塑性加工制造零件的另一优点是可以一次成形，省掉了机械加工、铆焊等工序，达到节约原材料和降低成本的目的。在模压超塑性合金薄板时，只需要具备一种阴模或阳模即可，节省一半模具费用。超塑性加工的缺点是加工时间较长，由普通热模锻的几秒增至几分钟。

超塑性铝合金已经商品化，如英国的 Supral 100 (Al—6Cu—0.4Zr) 和加拿大的 Alcan 08050 (Al—5Ca—5Zn)。铝板可在 300~600℃ 时利用超塑性成形为复杂形状，所用模具费用降低至普通压力加工模具费用的十分之一，因此它具有和薄钢板、铝压铸件及塑料模压件相竞争的能力。

据推测，最近超塑性成形工艺将在航天、汽车、车厢制造等部门中广泛采用，所用的超塑性合金包括铝、镁、钛、碳钢、不锈钢和高温合金等。

### 记忆合金

记忆合金是指那些改变形状后在一定的条件下仍能恢复原形的合金，它们的成分通常是镍钛、铜锌、铜铅镍和铜金锌等。以 50% 的镍和 50% 的钛组成的“镍钛诺”应用最广，最近铜锌合金的发展也很快。

记忆合金变形超过屈服极限后，只要一加热，变形消失后会返回原来的形状，似乎对自己的原形有记忆，因此而得名。记忆合金又是一种超弹性合金，变形大大超过屈服极限后，一旦除去载荷，它能徐徐返回原形，这种超弹性现象又称为伪弹性或橡胶状弹性。

记忆合金的特性是 50 年代初期被发现的，金镉、铟铈合金都有这种特性。1958 年美国海军军械实验室主任冶金师布勒在研究镍钛合金时，发现镍钛合金棒互相碰撞，发出啞啞而迟钝的声音，可是刚从炉子里取出的镍钛合金相撞时发出了清脆如铃的声音，这就证明温度对这种合金的组织 and 硬度都有很大的影响。以后布勒又弄清这种镍钛合金的记忆特性和不知疲劳的坚韧性，就把海军军械实验室的英文简写 NOL 加在合金后命名，组成了“Nitinol”，这就是著名的“镍钛诺”名称的来源。1973 年，美国加州劳伦斯实验室的朋克制成了第一台“镍钛诺”热机，立刻使记忆合金名扬四海。

关于记忆合金的原理现在还不十分清楚。一般认为，记忆合金由复杂的菱形晶体结构转变成简单的立方晶体结构时，就会发生形状恢复的记忆。而当记忆合金恢复原形时伴随产生极大的力，镍钛诺合金高达 60 千克每平方毫米，远比最初变形时加的力大。一般说来，可达原变形的十倍，这就意味着输出的能量比输入的能量大得多。科学家对此无法解释，物理学家罗沙尔说：“热力学定律一点没有错的地方，但这些定律就是不适合于镍钛诺……”

形状记忆的温度范围可以调整，例如镍钛诺的形状记忆效应随合金中镍和钛的含量而改变。镍和钛的含量稍微提高一点，形状记忆的温度范围就提高到 120℃ 以上，这样就能制成火灾自动报警器和自动灭火器。

目前，记忆合金已用于管道结合和自动化控制方面，用记忆合金制成套装可以代替焊接，方法是在低温时将管端内径扩大约 4%，装配时套接一起，一经加热，套管收缩恢复原形，形成紧密的接合。美国海军飞机的液压系统使用 10 万个这种接头，多年来从未发生漏油和破损。船舰和海底油田管道损坏，用记忆合金配件修复起来，十分方便。在一些施工不便的部位，用记忆合金制成销钉，装入孔内加热，其尾端自动分开卷曲，形成单面装配件。

记忆合金特别适合于热机械和恒温自动控制，已制成室温自动开闭臂，

能在阳光照耀的白天打开通风窗，晚间室温下降时自动关闭。记忆合金热机的设计方案也不少，它们都能在具有低温差的两种介质间工作，从而为利用工业冷却水、核反应堆余热、海洋温差和太阳能开辟了新途径。现在普遍存在的问题是效率不高，只有4~6%，有待于进一步改进。

记忆合金在医疗上的应用也很引人注目。例如接骨用的骨板，不但能将两段断骨固定，而且在恢复原形状的过程中产生压缩力，迫使断骨接合在一起。

齿科用的矫齿丝、结扎脑动脉瘤和输精管的长夹、脊柱矫直用的支板等，都是在植入人体内后靠体温的作用启动，血栓滤器也是一种记忆合金新产品。被拉直的滤器植入静脉后，会逐渐恢复成网状，从而阻止95%的凝血块流向心脏和肺部。

人工心脏是一种结构更加复杂的脏器，用记忆合金制成的肌纤维与弹性体薄膜心室相配合，可以模仿心室收缩运动。现在泵送水已取得成功。

由于记忆合金是一种“有生命的合金”，利用它在一定温度下形状的变化，就可以设计出形形色色的自控器件，它的用途正在不断扩大。

### 防振合金

防振合金最先出现在美国和英国，到现在只有几十年的发展历史。最初，它用在导弹控制板、飞行器陀螺仪和潜艇螺旋桨等先进武器上，以达到防振和消音的目的。后来它的使用范围迅速扩展，逐渐由军事转向民用，成为各种运输工具和家电防止噪音的一种有力手段。

过去工业上的防振，主要采用系统防振方式（如使用空气或油压减振装置）或结构防振方式（如两种金属间夹入粘弹性高分子材料，采用蜂窝夹层结构等）。这两种方式只不过部分吸收与缓和了振源的振动和噪音，且制造工艺复杂。

此外，夹有高分子材料的层板，由于不导电而引起点焊等工艺性恶化，且使用温度受限制，一般只能在室温至120℃范围内工作。

现在的材料防振系统，是利用本身衰减能很高的防振合金制造零件，直接削弱振源，所以是一种更加经济适用的高效防振方式。

使用较多的是一种复合型防振合金，它们同复合材料一样有两种不同的组织成分，一种是高韧性的基体；另一种是嵌在基体中的柔软颗粒。在两种不同成分的交界面上很容易产生变形，这就能像海绵吸水一样吸收和消耗外部的振动能，达到消除噪音的目的，对噪音一般能降低3~40分贝。

### 金属玻璃

金属玻璃又称非晶态合金，它既有金属和玻璃的优点，又克服了它们各自的弊病。如玻璃易碎，没有延展性。金属玻璃的强度却高于钢，硬度超过高硬工具钢，且具有一定的韧性和刚性，所以，人们赞扬金属玻璃为“敲不碎、砸不烂”的“玻璃之王”。

金属和玻璃从宏观特性到微观结构从不“搭界”。那么，又是什么手段使金属变成“玻璃”的呢？这是把高温下熔化了了的液体金属，以极快的速度冷却，使金属原子来不及按它的常规编排结晶，还处于不整齐、杂乱无章的状态便被“冻结”了，因此，出现了类似玻璃的奇异特性。

制造金属玻璃的关键是保持极高的冷却速度，要在千分之一秒的时间内，把熔化的金属材料冷却为固体，这样的冷却速度等于在一秒钟内把温度突然降低一百万摄氏度。由于冷却速度太快了，熔化的合金液体来不及调整

为晶体结构，突然被凝固成毫无秩序的固态。几乎所有的金属都可通过快速凝固的方式成为金属玻璃，人们最初使用的是一种金硅合金。现在常常用铁作为主要材料，因为它的价格比较便宜，而且电磁性能也比较好。1974年美国首先制成的商品材料“金属玻璃”（Metglas）和1975年日本制成的商品材料“非晶态金属”（Amomet）都是铁基合金。

金属玻璃是70年代刚刚走出实验室成为商品的一种新材料。人类在使用金属几千年漫长的岁月中，所遇到的金属是晶体的金属和合金，它们均具有排列整齐的原子结构。而在它的排列缺陷的地方会被拉断，金属玻璃的原子排序是无序的，它没有特殊的薄弱环节。因此金属玻璃的抗断裂强度比一般金属材料高得多，可达350公斤每平方毫米。更可贵的是，在达到如此高强度的同时，这种材料还保持难以令人想象的韧性和塑性，所以可用来制造高压器和火箭等关键部位的零件。

由于金属玻璃没有金属那样的晶粒边界，腐蚀剂无空子可钻，所以从根本上解决了金属晶界的腐蚀问题，能经受多种化学溶液的腐蚀，有良好的化学稳定性。它的抗腐蚀性要比不锈钢强100倍。金属玻璃还具有很好的超导性和抗核辐射能力等难得的优良性能。人造卫星上的太阳能电池是单晶硅电池，这种电池价格昂贵，如果将硅制成非晶硅（即硅金属玻璃）其价格就便宜多了，太阳能电池也就能更好地推广和普及。

现在真正能发挥非晶态合金特长的是电磁器件。非晶态铁合金是极好的软磁材料，容易磁化和退磁。与普通结晶磁性材料相比，它具有导磁率高、损耗小、电阻率大等优点。用硅钢和金属玻璃分别制成15千伏变压器的对比试验表明：磁芯损耗分别为322和180瓦，金属玻璃可使损失减少约一半。如果电动机也采用金属玻璃，节能的效果将更显著。易于磁化和高硬度结合的特性，使金属玻璃有效地用于放大器、开关、记忆元件、换能器等器件上。日本TOK公司用非晶态合金制成的录音机磁头，由于磁畸变极小而改善了音质。

金属玻璃是直接从熔融状态制成的，因而避免了费用高、周期长、耗能大的加工过程，它的成本仅为不锈钢制品的五分之一。含铬金层玻璃由于耐腐蚀和点蚀，特别是在氯化物和硫酸盐中的抗腐蚀性大大超过不锈钢，获得了“超不锈钢”的名称，可以用于海洋和医学等方面。例如制造海上军用飞机电缆、鱼雷、化学滤器、反应容器、刮胡刀及手术刀等。

金属玻璃的高强度也引起了工程技术人员的注意，由于目前生产的各种元件尺寸不大，所以要通过编织和铺砌才能制成结构元件。这些用途包括高强度控制电缆、电缆和光缆护套、压力容器、储能飞机、机械传送带、轮胎帘布等。

用金属玻璃代替硼纤维和碳纤维制造复合材料，会进一步提高复合材料的适应性。硼纤维和碳纤复合材料的安装孔附近易产生裂纹，而金属玻璃在具有很高强度（232~372千克每平方毫米）的情况下，仍保持金属塑料变形的能力，因此有利于阻止裂纹的产生和扩展。目前正在研究将金属玻璃纤维用于飞机构架和发动机元件。

金属玻璃已引起世界各国的普遍重视，近年来已获得了长足的进展。但要获得每秒摄氏一百万度的冷却速度却是十分艰难的，而且在这么快的冷却速度下所获得的金属往往是很薄的，因而在应用上受到一定的限制，这些问题尚需要进一步解决。

## 金属材料在 21 世纪经济发展中的地位和作用

在展望面向 21 世纪新材料发展的前景时，首先让我们回顾一下 80 年代新材料在整个世界贸易中的市场景象。尽管陶瓷、复合材料、塑料的平均增长率分别高达 16.1%、8.1%和 7.0%，而新型钢制品和新型有色金属制品的平均年增长率分别只有 2.2%和 3.7%。但是，新型钢制品和新型有色金属制品的营业额总和却超过了其他所有的材料及其制品的总和，从其基数大和增长率低这一客观事实可以得出两个观点：其一是由于金属材料毕竟是发展历史悠久而且系统完整的传统材料，从中发展新材料的机率和比例相对较低；其二是由于基数大而增长率低这一事实并不能掩盖新兴金属材料在新材料发展中的重要地位和作用。以上是对 80 年代的整个世界贸易中新材料市场分析。

根据多方面预测，到 21 世纪世界钢产量仍处于上升的趋势，但各国的情况差别很大，美国已进入饱和时期，从经济 and 环境保护的角度出发，他们将减少本国的钢铁产量，进口部分钢铁并大力发展新材料；日本和欧洲共同体已开始进入饱和态；独联体也已进入成熟时期，但其居高不下的钢产量已经阻碍了工程塑料等新材料的发展；中国和其它发展中国家则还处在成长期，不是什么“夕阳工业”的问题。我国居世界第四，这是仅从数量讲。更重要是在品种、规格和质量方面，总的差距还是很大的，所以到本世纪末乃至下世纪相当长的时期内，我国包括钢铁、有色金属等传统金属材料在内的金属材料工业仍将处于重要的发展阶段，而新兴金属材料则更需迎头赶上世界发展的水平，并要特别注意我国富有的稀土和硼等资源的开发和利用。

金属材料从原来几乎一统天下的地位逐渐让出部分市场并为其他新材料所取代，这是符合历史发展规律的。但是，在可以预见的未来，金属材料仍将占据材料工业的主导地位，这种情况在中国等发展中国家尤其如此。这是因为金属材料工业已经拥有了一套相当成熟的生产技术和庞大的生产能力，并且质量稳定，供应方便，在性能价格上也占有一定优势。此外，在相当长时期内金属材料的资源是有保证的。

## 影响深远的光电子材料

光导纤维是光通信的传输材料。这种通信线路不是用一般的金属导线和电缆，而采用象头发丝那样细的透明玻璃纤维制成的电缆。玻璃纤维传导的不是电信号，而是光信号，所以玻璃纤维又叫光导纤维。利用光导纤维进行远距离通信的效率非常惊人，要比电缆的通信效率高十亿倍以上。

光导纤维是怎样传输信息的呢？大家熟悉的无线电通信，是靠电磁波在空间传播的。光实质上是电磁波的一种，只不过它比无线电用的超短波和微波频率高得多。玻璃纤维就是用来传导光波的导体。但是，光在任何物质中传导都会不断地衰减。实验表明：通过长一公里的光导纤维中的光束，至少要有 30% 在另一端出现才有实用价值，其中的关键问题是要有超纯的质量很高的玻璃纤维材料。人们用超纯石英或特种光学玻璃拉成极细的丝，直径和一根头发丝差不多。这种玻璃的纯度极高，杂质的含量不超过几亿分之一，它相当于在一千吨纯净物质中，落入一克的杂质。高纯纤维的出现，给光纤通信事业的发展提供了极有利的条件。

光纤通信的优点是很突出的，它和普遍电缆通信相比，通信容量大、重量轻、耐腐蚀、不怕电子对抗，而且保密性好、建设费用低、施工方便，还可节省大量的有色金属。例如，1000 公里长的中同轴电缆，大约需铜五万吨，铅 20 万吨；采用光导纤维，只需几十公斤石英玻璃拉成 1000 公里的光导纤维即可。现在的光导纤维都是石英制成的，不仅加工较困难而且价格高。为此，科研人员正在设法减小有机玻璃的光衰。这样，廉价的有机玻璃就可代替石英用于光纤，这无疑有着革命性的意义。

光纤通信不仅可以广泛应用在邮电部门，还可应用在军事、经济、科学技术、文化和人民生活等各个方面。由于它的容量极大，利用它可进行超高速数据传输，建立起灵活高速的大规模计算机网、四通八达的电视网，并可远距离传送全息图象。由于它的抗干扰能力极强，可以解决超高压输电网的通信联络，使自动化遥控装置最终摆脱高压电干扰。它应用在计算机、自动化系统和飞机、船舶、导弹等狭小空间的复杂控制系统中，可以避免大量电路之间的互相干扰而产生错误动作。

光导纤维除用于通信外，另一个重要用途是传能，即传输高强度的激光。如在激光手术应用中，将激光器发射的光传输到需要手术的部位，尤其是内脏器官，与传统的手术相比，把病人的痛苦减小到极限程度。对这种传能应用来说，当激光波长在近紫外区到近红外区时，可以用熔石英为基的低损耗光纤；当激光波长在红外波段时，可采用重金属氟化物玻璃光纤，也可用硫化物或卤化物的单晶或多晶光纤。

光纤还有一个重要应用，就是制作光纤传感器。光纤传感器的原理是利用光纤材料的某些物理性能来探测外界物理量的变化。这类传感器在抗干扰和高灵敏方面有明显的优点，可用于遥感、遥测技术。所选用的材料有低损耗的熔石英玻璃和重金属氟化物玻璃，为使这类光纤传感器的灵敏度和选择性能更进一步提高，人们正在发展特种光纤。

光电子材料除光纤外，还有光学功能晶体材料、光电存储与显示材料等，人们普遍认为，今后 20 年左右将是世界高新技术发展的重大转折时期。21 世纪，人类将从工业时代进入信息时代。信息时代到来的标志，是实现所谓“四 A 革命”，即实现办公室自动化、工厂自动化、实验室自动化和家庭自



动化。四 A 革命将使过去由人来完成的许多工作越来越多地由电子和光电子材料所构成的系统来完成。光电子材料在光电子技术中起着基础和核心的作用，亦即光电子材料将使信息技术进入新纪元。

## 面向未来的先进超级陶瓷材料

陶瓷是一种古老的制品，它是由粘土或粘土加入石英和长石等的混合物经成形、干燥和焙烧而成的。在遥远的石器时代，原始人就在篝火上烧制出第一批陶器。

灿烂的中华文明和陶瓷关系密切。六千多年前的西安半坡村人普遍使用尖底汲水陶罐；五千多年前的仰韶文化时期出现了陶制纺轮和彩陶；四千多年前的龙山文化时期已采用了快轮制陶技术，制成了闻名中外的黑陶。有的黑陶表面光亮，厚度仅1~2毫米，称为蛋壳陶；秦始皇陵出土的大批陶兵马俑，制作之精美，气派之宏伟，被认为举世无双；唐代的“唐三彩”陶瓷至今还为人们所喜爱。五代时期我国的陶瓷技术已登峰造极了，这时生产的陶器被誉为“青如天，明如镜，薄如纸，声如磬”。以后的历代名窑产品数不胜数，在一些国家词汇中，中国和陶瓷是同一个词“China”。中国的陶瓷于九世纪传至非洲东部和阿拉伯，13世纪传至日本，15世纪传至欧洲，对世界文化有很大的影响。

陶瓷的基本成分是铝硅酸盐，由于天然原料带有杂质，使陶瓷的一些性质受到损害。后来科学家用不含硅酸盐的天然原料，成功研制了性能更优越的陶瓷，从而出现了不含硅的新一代陶瓷，也叫现代陶瓷。常见的品种有二氧化物、氮化物、碳化物陶瓷及硼化物陶瓷等等。为了改善陶瓷的脆性和增加强度，人们又在陶瓷基体中添加金属纤维和无机纤维，组成复合材料，其中有的强度已经超过每平方厘米可承受一万千克的力，成为陶瓷材料的佼佼者。

碳化硅和氮化硅又被称为精细陶瓷材料，它们克服了一般陶瓷的致命弱点——脆性，有很高的韧性、塑性和耐磨性，并在高温下具有较高的耐热性，经几百次骤冷骤热试验不会产生破裂，抗冲击能力也比一般氧化物陶瓷强。

目前，精细陶瓷材料主要使用在尖端工业上，如微电子、核反应堆、航天、地热和磁流体发电、人工骨和人工关节等方面，由于工作环境原因，对其质量要求很严。精细陶瓷材料应满足以下三方面的要求：精选的原料——为了充分发挥功能，要选用高纯度的原料，颗粒要尽可能细；严格控制的化学成分——在制造时注意防止杂质混入和成分本身挥发。对烧结件的颗粒粒度、界面、气孔等要严格控制，以达到质量稳定和具有再现性；精确的形状和尺寸——精细陶瓷制品一般不经加工，直接使用，特别是陶瓷电子器件要求精度更高。例如，1982年日本进行了世界首次陶瓷柴油机的汽车试验，效果很好。采用精细陶瓷材料制造汽车发动机，可提高效率45%，节油30%。

把陶瓷粉与金属末混匀，经高温烧结，就得到了金属陶瓷，它兼有金属和陶瓷的特点，韧而不脆，硬而耐热。例如含20%钴粉的金属陶瓷是制造火箭喷口的材料。在高温中，陶瓷中的金属首先蒸发掉，热量被带走，温度随着降低，因而能在高温环境里工作。例如，美国“哥伦比亚”号航天飞机的外壳，便是由31,000块金属陶瓷瓦片铺砌而成，经受了返回大气层时所产生的白热化高温的严峻考验。

高铝陶瓷是有名的“硬骨头”，用它作机器上的耐磨器件，其耐磨性能比金属高2~3倍。至于刚玉瓷、氮化硼陶瓷制成的瓷刀，更能“削铁如泥”。

类似的例子还很多，无怪乎专家们预言：人类将“重返”石器时代，不过这是一个全新的“石器时代”。在本世纪最后十年和下世纪初，陶瓷科学

将实现从先进陶瓷到纳米陶瓷（晶体颗粒大小为 10 ~ 100nm）的飞跃。近些年来陶瓷科学的飞速发展这一突破打下了良好的基础，而现代技术的发展则为这一突破提供了强有力的支持。电子显微镜，包括扫描电子显微镜和透射电子显微镜的推广应用，特别是近年来高分辨电镜和分析电镜技术的发展，使人们有可能进入到纳米量级线度上来研究材料的组成和结构。现在人们已能直接观察到晶粒以及晶粒中的缺陷，从而为纳米结构的形成和控制研究提供了保证。当然，陶瓷科学家还需要在诸如纳米粉体的制备、成型、烧结等许多方面进行大量艰苦、细致的攻关，才能最终突破这一难关，实现陶瓷发展中的新飞跃。

## 材料的发展趋势

五光十色的物质世界吸引了许多甘愿为之献出毕生精力的科学家。分子或原子彼此间发生化学变化，生成了新的物质。人类就是在这些纷纭复杂的反应中，摸索规律，寻找新的材料，创造新的物质文明。人类社会的发展和材料总是密切相关的，将来也是如此。人类制造工具的历史，经历了石器时期、青铜器时期和铁器时期。目前，占绝对优势的仍是金属材料，但是，材料的发展趋势又是怎样呢？

材料科学的发展，将使各种结构材料的数量对比发生很大变化。由于复合材料博采众长，随着生产工艺不断完善，其种类会有所增加，用途也会扩大。未来的一段时期里，将成为复合材料的全盛时期，但这个时期只是钢铁向非金属材料过渡的开端和序曲，最终取代钢铁而在结构材料中占主导地位的将是高分子材料。高分子材料在一定程度上可以摆脱自然资源的限制，它们原料丰富，制造方便，产品多样，性能优异，在许多方面都远非钢铁、有色金属等材料所能比拟的。但是钢铁仍是主要的结构材料。今后，各国的钢铁产量还会增加，到本世纪末，将达到 17 亿吨。钢铁生产将向着冶金工业大型化、生产过程高度自动化方向发展，优质钢和特殊钢的冶炼规模还会扩大。

材料的应用效果和性能将不断提高。人们已经深入了解了原子间结合的内聚性规律，这将提高材料的机械性能。把现有材料加以改造，有可能大大提高其性能。例如聚乙烯这种高分子材料的分子链很长，排列很乱，强度也差。如果使其分子排列的整齐度达到 10%，就可以使它的强度超过钢铁。由于材料内部组织结构存在着位错，夹杂和微裂纹等缺陷，使得实际强度和理论强度差别很大。人们将通过固体理论研究和改进工艺来解决这一问题。试验表明：提高结晶速度能有效地改善和提高金属及合金的性能，特别是增加强度。

具有特殊性质和功能的新材料会被不断研制出来，以适应新技术革命的需要。目前，对特殊元素材料的研制十分重视。例如，钎、铼、钼、钽等难熔金属；镓、铟、碲等稀有分散元素；铍、锂、镉、锶等轻金属。这些材料用量虽不大，但是影响到电子技术、新能源及尖端科学技术的发展。因此，近年来一些发达国家对特殊材料的研制取得了很大进展，生产出了许多性能优异的新材料。

开展极端条件下材料性质的研究，是开拓研制新材料的一个新途径。某些物质在超高压、超高温、超低温、超快速冷却等极端条件单独或综合作用下，会表现出异常性质。例如在超高压下物质原子间的自由空间减小，或电子壳层发生很大变化，结果使绝缘体变成导体、液态氢变成金属氢；高温高压下，碳元素材料可以变为金刚石。

我们如懂得将自然科学知识在技术中应用，并使其符合实际情况，就能迅速地将这些知识作为方法和生产手段用于生产，到了 2000 年我们将就占有更多、更好的具有适当性能的材料。

## 21 世纪的突破

全球经济腾飞的洪流，势不可挡，汹涌澎湃，冲击着科学、技术、产业、文化的经络，展示出未来 21 世纪的宏伟蓝图。材料仍然是 21 世纪经济发展的柱石，科学家们已经预言：非晶态如繁星密布；高温超导将掀起第四次技术革命；纳米将是 21 世纪的材料新单元；高分子将功盖全球。这一切将汇成 21 世纪的最强音，人类的文明将进入新纪元。

## 繁星闪烁

非晶态材料是材料科学中一个广阔而又崭新的领域。自然界中的各种物质，按组成物质的原子模型，分为两大类：一类为“有序结构”的晶态物质，它的原子占据着布拉菲点阵上的顶点，而每个晶胞则呈有规律的周期性排列。另一类是气体、液体和某些固体（非晶固体）则称为“无序结构”。气体相当于物质的稀释态，液体和非晶态固体相当于物质的凝聚态。液体分子就像口袋里装着的小弹子，一个紧挨一个地密集堆叠在一起。气态或液态也可获得非晶态的固体。非晶态固体的分子好像液体一样，以同样的紧密程序，一个紧挨着一个无序堆积（杂乱无章地堆积）。所不同的是在液体中，分子很容易流动。而在稠密的糊状物中，分子滑动则变得很困难。非晶固体中的分子则不能滑动，具有固有的形状和很大的刚性，被称为“凝结的液体”。

“非晶态”的概念在人们的头脑里是相对于“晶态”而言的。金属和很多固体，它们的结构状态是按一定的几何图形、有规则地周期排列而成，就是我们曾定义的“有序结构”。而在非晶态材料的结构中，它只有在一定的大小范围内，原子才形成一定的几何图形排列，近邻的原子间距、键长才具有一定的规律性。例如非晶合金，在15~20 Å 范围内，它们的原子排列成四面体的结构，每个原子就占据了四面体的棱柱的交点上。但是，在大于20 Å 范围内，原子成为各种无规则的堆积，不能形成有规则的几何形排列。因此，这类材料具有独特的物理、化学性能，有些非晶合金的某些性能要比晶态更为优异。

在人类发展史上，非晶态物质如树脂、矿物胶脂等，早在几千年前的远古时代，已被人类的祖先所利用。在我国，玻璃制造至少已有2000年的历史。近半个世纪以来，人们几乎全部致力于理想的晶态物质及其超高纯度高均匀方面的研究，而忽略了非晶态物质的开发。

20世纪30年代，克拉默尔用气相沉积法获得了第一个非晶态合金。50年代中期，科洛密兹等人，首先发现了非晶态半导体具有特殊的电子特性。1958年，安德森提出：“组成材料的几何图形（晶格）混乱无规则地堆积在一定程度，固体中的电子扩散运动几乎停止，导致非晶态材料具有特殊的电、磁、光、热的特性。”这就引起了科学家们的极大兴趣。但是，当时如何制造能够应用的非晶态材料的方法尚未解决，金属、合金的生产仍沿用传统的冶炼技术。

1960年，美国加州理工学院杜威兹教授领导的研究小组发明了用急冷技术制作出进行工业生产的非晶合金的办法。采用这种方法，可以制备出各种宽度的非晶合金条带，条带的带宽已达150毫米以上。另外，这种方法还可制备非晶态的粉末，其粉末粒度直径可达1 μm（微米，1/1000毫米）左右。这种方法也可制备非晶合金丝。此方法在冶金工业生产工序上节省了多道工序，节省能源消耗，被称为冶金工艺的一次革命，也就是“炼金术”的革命。

非晶固体的研究结果已发现的非晶态材料包括：非晶态金属及其合金、非晶态半导体、非晶态超导体、非晶态电介质、非晶态离子导体、非晶态高分子及传统的氧化物玻璃等。非晶态材料是一个包罗万象，极为富有的材料家族，它已广泛应用于航天、航空、电机、电子工业、化工以及高科技各领域并取得了显著效果，而且，还继续显示着它的不竭功能。

非晶态金属比一般金属具有更高的强度，如非晶态合金  $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$ ，其断裂强度达  $370\text{kg}/\text{mm}^2$ ，是一般优质结构钢的 7 倍，弯曲形变可达 50% 以上。可见，它在保持高强度的同时还具有较高的韧性。这种非晶态合金还具有优异的抗辐射特性，经中子 射线辐射而不损坏，在火箭、宇航、核反应堆、受控核反应等方面都具有特殊的应用。非晶态材料可以制备成复合材料和层状材料。在产品生产工序上，金属玻璃的制备可以连续生产，一次成型，生产程序简单、成本低廉。自 1974 年起，美国、日本、西德、法国已大量投资，提供了不少的市场产品。

非晶态合金在工业上首先使用于变压器，非晶合金片薄，一般为  $20 \sim 30 \mu\text{m}$ （微米， $1\%_0$ 毫米）制成这种微型优质变压器适用于航天、航空、航海的供电网络上。由它制成的其他配电变压器、脉冲变压器都已投入使用。常用的变压器铁心均是用硅钢片制造，而且要经过冲压、剪切、绝缘等  $6 \sim 8$  道工序。采用非晶态合金片，减少了这一连串工序，而且所制成的变压器能量损耗低，只有硅钢片变压器的 40%。同时，这种非晶态合金片的强度比硅钢片的高，耐腐蚀性好，还具有极优的电学性能。1980 年美国 GE 公司用非晶态合金片做成的电动机，其体积小，能量损耗低，其耗能只有用硅钢片制成的电动机的  $1/3$ 。目前，全世界已有  $6 \sim 7$  万台非晶态合金制成的配电变压器投入运行。如果在我国，将硅钢片制造的配电变压器全部换成非晶态合金片的变压器，那么每年可节电 100 亿度约合价值人民币 10 亿元以上。世界上属于非晶合金的生产类型很多，美国有 58 个，日本 73 个，我国 28 个，并且已有年产百万吨铁心的非晶合金厂。非晶合金种类极多，有以铁为主的叫铁基非晶态合金，还有钴基、铁—钴基、铜基、镍基等。非晶合金还包括永久磁性或在电场下具有磁性的磁性材料，前者称硬磁材料，后者称软磁材料。

非晶态磁头，是非晶态合金应用的另一个领域。一种钴—铁—镍—铌—硼体系的非晶态合金耐磨性高、噪声小、硬度高（比常用磁头的硬度高  $2 \sim 3$  倍），是很好的磁记录材料。

早在 1988 年，我国已生产 80 吨非晶态软磁合金，用于电子工业的各种电器。非晶态钨—硅合金，可作成电磁、超声信号延迟线，作为信号延迟一段时间的器件，并用于军工、雷达电子计算机、彩色电视、通讯系统或测量仪器。电磁延迟线可由几毫微秒延长达几十微秒，超声延迟线则由几微秒延迟到几千微秒，均可直接使用，免除了一大套延迟讯号的线路和仪器设备。用非晶态合金制作成性能稳定、精确可靠的应变仪和各种传感器都已投入使用，已形成替代原有设备、器件之趋势。

非晶态还有一些独特功能，如低热膨胀系数、在磁场作用的变形接近于零等，根据这些特性，人们已经制造出各种要求不随温度、磁场而变化的精密仪器，如标准量具、精密天平、高精度钟表、 $10^4 \sim 10^5$  立方米的液化天然气的大型运输罐等。常用的磁录像机、电视和电子显微镜也都需要大量的非晶态合金，如铁—硼系，铁—磁系（铁、镍、钴）—锆系等非晶态合金。

有的非晶态合金具有恒弹性特性，在受到不同压力作用下，其产生的形变大小，不随温度变化而变化，是制作精密仪器的重要材料。

非晶态合金具有超高强度、高硬度、耐腐蚀的性质，是一种非常理想的刀具和轴承材料。

非晶硅太阳能电池，在国际能源危机的情况下，闪耀着夺目的光辉。由

于太阳能是取之不尽、用之不竭和没有污染的能源，所以非晶硅的研究热潮席卷全球。美国在 1986 年以前十年中已在这方面投入 15 亿美元。著名的物理学家英特在第八届国际非晶态会议的闭幕式上说：“我不能预见未来，不能说明究竟在什么时候，太阳能电池将要取代石油！”

各种富有特性的非晶态材料已占领了科学、技术、产业的各个领域，它们已成为重要的新型固体材料大家族的成员。虽然，非晶态科学从理论到实践，还有许多问题尚未清楚，但是，有关非晶态材料的许多特性已被人们慢慢认识并付诸应用，在非晶态材料这个广阔的领域内，人们将会开拓出许多新课题、新性能、新材料和新前景。当代冶金工业的“炼金术”的革命，在 21 世纪将继续产生重大的影响。



## 高温超导材料的探索

人类的发展史上曾经兴起过三次技术革命的风暴，它们已经被光荣地载入史册。首次技术革命始于 18 世纪 60 年代，是以蒸汽机的广泛应用为标志，推动了社会工业化的大革命。第二次技术革命发生在 19 世纪 70 年代，是以电力的广泛应用和无线电通讯的发明为标志，把全球推进到了生产自动化的文明社会。第三次技术革命的掀起是在 20 世纪 50 年代以后，科学家们进行了一些重要的实验，以发现了原子结构、电子、原子核分裂产生原子能、电子计算机、激光的广泛应用为标志，把人类社会推向了高度智能化的高度文明年代。随着高温超导体的发现，科学家们凭着高度灵敏的科学灵感，第四次技术革命即将到来！这是多么令人振奋的消息！在人类发展的历史长河中又要增添闪光的新星。回想超导材料发展的艰难岁月，科学研究者作出了多少艰辛的努力！

1911 年的一天，荷兰雷登大学的卡末林·翁纳斯皮（K. Onnes）突然向世界宣布，他发现了超导现象！！！这个消息震撼了世界，人们以十分兴奋而赞赏的目光注视着他的研究工作。1908 年前，翁纳斯成功地将气体氦进行液化，使液体氦的温度接近绝对温标的绝对零度（零下 273 摄氏度）。这样，当翁纳斯的助手在接近绝对零度的温区研究金属汞的电阻和温度的关系时，发现在绝对温度 4.2K 附近，汞的电阻突然由 0.125 欧姆降到零。他的助手向翁纳斯报告了这种奇怪的令人难以置信的现象。翁纳斯开始并未介意，认为这可能是实验上的失误。但他还是以非常认真的态度，闭门谢客，把自己关进了实验室，经过一天一夜的观测，次日清晨，他向全世界宣布了他的实验结果。这个结果，具有无穷的凝聚力，吸引着许多富有探索精神的科学家，在世界科技界，掀起了超导研究的热浪，有人努力寻求电阻为零的新超导材料；有人探索超导材料的微观结构和微观机理；有人研究超导材料的电磁特性并且开拓它的应用领域。科学家们经历了 75 年的艰难岁月，尝遍了甜酸苦辣，已查明在元素周期表里的大部分元素本身都具有超导特性或在高压作用下呈超导现象。科学家们肯定了其中只有 33 种元素本身没有超导性。但是，那些元素的超导转变温度极低，只有零点几度（绝对温度 K）至几度（绝对温度 K）。随即，由巴丁（J. Bardeen）库柏（L. N. Cooper）和施瑞弗（J. R. Schrieffer）共同创立了解释超导转变的微观理论。这就是著名的 B. C. S 理论，这个理论在 1957 年问世，他们因此而荣获诺贝尔物理奖。在研究导体的电磁特性方面，1933 年迈斯纳（W. Meissner）和奥克森菲尔德（R. Ochsenfeld）的磁测量表明，超导体的磁性完全与导体不同，纠正了统治超导界 22 年，认为超导体和导体的磁性能完全一致的观点。这个效应就被称为迈斯纳效应，是现代悬浮超导列车能够飞速运行的理论基础。60 年代后期，日本就开始执行超导磁悬浮列车计划，利用超导磁力使车厢在轨道上悬浮起来，并推动车厢高速前进。1972 年第一台 MC—100 型实验车实验成功，车长 400 米，浮起 10 厘米，但时速每小时只有 60 千米；1978 年时速达每小时 347 千米；1987 年载人列车的时速已达每小时 400 千米。日本目前已计划建设从东京到大阪的时速为每小时 500 千米的磁悬浮超导悬浮列车，在西欧也处在实验阶段，各方面技术在实验过程中都得到不断的提高。人们期望这种列车不久将会运行在铁路上。

此外，用超导材料制造的电动机、发电机、变压器、热开关、辐射检验

器以及无接触转换开关、国防军工仪器等已经投入使用。

超导现象刺激着科学家们的求知欲，但是由于超导转变温度太低，超导的设备、仪器、元件还需要在液氦温区（4.2K）内工作，人们不得不以巨额投资设计和建造庞大的液氦站，建立繁杂的辅助设备，把气态的氦转变成液体氦，然后通过辅助设备送到使用的装置上去。所以当超导材料的超导转变温度还是在 23.3K 的时候，科学家们的梦想，只好冻结在缥缈的脑海之中。然而，要提高超导材料的超导转变温度，并不是一件轻而易举的事。经过 75 年的漫长岁月，超导材料的超导转变温度从 4.2K 到 23.2K，仅提高了 19K，这种缓慢的进展速度，多么令人困扰！

1986 年秋，中国科学院物理研究所的赵忠贤、陈立泉等人在镧钡铜氧和镧锶铜氧化物体系中观察到了在 46.3K 和 48.6K 下的超导转变，同时物理研究所李林教授领导的研究小组，用溅射方法制备出超导转变温度为 25~27K 的镧锶钡氧超导薄膜。中国的科学家，在高科技的国际竞争中已进入角色。1993 年，美国得克萨斯超导研究中心的美籍华人朱经武宣布，他制备出氧化汞、钡钙铜的超导体超导转变温度为 153K（零下 120℃），这是目前的最高纪录。

全球超导热的浪潮，实际上是一场综合国力和科学水平的竞争，形成了美、中、日三国三足鼎立的格局。谁都不甘落后，新的研究，新的成果不断涌现，尤其是在 1987~1988 年间，几乎是每三天都有高温超导研究的新突破。还有一些科学家，如日本的科学家称曾发现铋钡钇铜氧超导体有零下 60℃ 的超导转变，一些科技刊物多次报导发现室温超导的现象，美国休斯顿大学的科学家也声称在铟钡铜氧体系中发现有 230K（零下 43℃）的超导转变现象，遗憾的是，这些结果无法重复成功，超导研究的每个突破都牵动着无数人的心，震撼着科技界、产业界，各国政府都为超导研究鸣锣开道，美国原总统布什曾公开宣布他要亲自过问超导研究，可见其重视程度。

超导热持续升温，而且持续的时间在科学史上是最长的，涉及的人数也是最多的，这是什么原因呢？正如高温超导体一出现，世界的科学家们就断言：第四次工业革命即将到来。因为高温超导体实现了在强电方面的应用，全球的电力输送，从发电到供配电模式都将全部改变，若能做到无损耗地输电，仅美国一个国家一年即可节省 100 亿美元。采用超导材料建设超导电子对撞机的电子贮存环，有可能使达到 40 万亿电子伏特的粒子发生对撞，对揭示神奇的微观世界和物质结构元将有重大的贡献。超导在弱电应用方面，如电子通讯、信息技术、精密仪表、核物理、医学、军工、宇航的应用均有着广阔的前景。高温超导的超导量子干涉仪已经诞生，为在上述领域中制备有关仪器打下了基础。日本东海铁道和铁路新研究所声称时速每小时为 550 千米的悬浮列车已经研制成功，并在 1996 年完成全部试验，投入使用。超导材料的成功应用。对电力工程、磁流体发电、超导电子学、地球物理、国防科学、生物磁学、医学等十几个学科都带来重大影响，高温超导材料在 21 世纪无疑会大放异彩。

## 纳米材料定乾坤

1959年,诺贝尔奖获得者,美国物理学家查德·费因曼(Richard Phillips Feynman)曾经提出:“如果有一天可以按人的意志安排一个个原子,将会产生怎样的奇迹?”这并不是一位科学家的异想天开,随着纳米材料科学的出现、发展与完善,它很快变成了现实。纳米科学将对人类社会生产力的发展产生深远的影响,有可能从根本上解决人类面临的重大问题,如粮食、健康、能源和环境保护等。

纳米材料是指材料的尺寸处于1~100nm(纳米:即10<sup>10</sup>Å~10<sup>11</sup>Å)范围内的金属、金属化合物、无机物或高分子的颗粒。这些纳米级的颗粒显示出许多奇异的性能,这些性能既不同于通常的大块材料,也不同于单个原子状态的特性。纳米科学领域,包括纳米技术和纳米颗粒的制备方法,观测它们的奇异特性,各种纳米颗粒合成的纳米固体以及固体内的成份分布及纳米固体的新特性与有关的应用。

从19世纪60年代开始,纳米材料的发现是在胶体溶液中,它们是直径为1~100nm的粒子。科学家指出,直径小于1nm的颗粒是由10个原子构成,称为原子簇团。固体的纳米材料首先是由德国萨利仑特斯大学的H.格利特(H. Gleiter)教授所领导的研究组在1984年制成,他们是用6nm(纳米)铁粉压成纳米固体。1986年,H.格利特宣称,纳米固体是一种具有奇异结构类型的固体,而且指出,在纳米颗粒的直径为2~10nm的颗粒中,其原子数目一般为100~1000个,其中有50%的体积为按不同方向排列的界面原子。这样组合而成的材料,表现出这种材料既不同于晶态,也不同于非晶态。在纳米粉末方面,性质上显现出一连串奇异的物理特性,如金属的纳米粒子并不反光而且吸收光,一般金属粉末在不同程度上都具有反射光的性质,而呈现白色或灰色。而纳米金属粒子都很黑,不反光,说明具有很强的吸光特性。另外,纳米金属粒子的熔点明显的比金属粉末低,如10nm的铁粉,熔点比铁低33%,即从1526.5降为1493.5。纳米金粉降低27%,即从1063至1036。其粒度越细,熔点下降越显著。在光学、电学、磁学、热学等方面均与同类的块体材料不同。而且对于同一物质,即便有同样粒度,也会由于制备方法、所处的环境和测量方法的不同而得到不同的特性。

1982年,G.宾宁格(G.Binnig)和H.罗尔(H.Rohrer)发明了扫描隧道显微镜(STM)。这种显微分析技术可以直接观察到原子,为开展纳米材料的研究创造了有利条件。到80年代末,扫描隧道显微镜不仅是一种观测的工具,而且,还可用来排布原子。为此,G.宾宁格和H.罗尔在1986年获得诺贝尔奖。这种扫描隧道显微镜的价格仅为电子显微镜的1/10,但其放大倍数要比电子显微镜大10倍以上。我国的科学家已经成功地制造了这类仪器,而且它已进入了国内某些实验室。

1989年,美国斯坦福大学的阿尔希勒奇在晶态石墨表面搬走了原子,写下了“Stanford university”的字样。1990年,美国IBM公司的埃格勒博士在零下296℃的Ni表面用35个氢原子排出了“IBM”的字样,1991年,日本电光学有限公司在硅表面上搬走原子写下了“CEOL”(公司的缩写)。1993年12月,中科院北京真空物理实验室的宠世瑾教授在硅表面搬走了原子,写下了“中国”的字样。短短几年中,美、日、中三国已掌握了搬动原子的纳

米技术，所写的字母大小是一个标点符号的  $1/500000$ ，表明人类按需要排布一个个原子的技术成为可能。查德·费因曼的梦想变成现实已不是遥远的事情了，人类打开多姿多彩的原子、分子世界的时代即将到来。随着纳米技术的发展，为开发原子级存贮技术，打下了有利的基础。如果将某种存贮材料的原子一个个地按预想的方式进行排列，几个原子一组作为一个存贮单元，根据设计的功能，进行合理布局，这样就可以使单位面积（或单位体积）的存贮材料的容量提高几个数量级。这样，飞速发展的计算机技术就会如虎添翼，超高速的计算机将遍地开花。

纳米技术促进着纳米材料的发展。当纳米材料实现原子级的布局的时候，人类就会进入一个崭新的天地。目前，在现有的科学水平上，纳米材料的制备基本上分成两个阶段。首先是纳米颗粒的制备，接着是保持这些纳米颗粒在没有受到污染（包括表面氧化）的条件下用  $5\text{GPa}$ （ $\text{G}$ 为千兆帕，即  $10^9$  帕）的高压将纳米颗粒压缩成纳米固体。为了使纳米颗粒不受污染，纳米颗粒的制备和纳米固体的压制都应在超高真空（ $10^{-7}$  帕）容器中进行。生产纳米颗粒的方法很多，有机械研磨法、物理方法和化学方法。用物理方法制取纳米粉末的设备和非晶态薄膜制备的方法原理相似，都可采用电子束、激光束、高频加热、电阻加热等离子溅射，电子回旋共振等离子溅射等方法，这些方法首先将待加工的材料激发成原子蒸汽再使它们沉淀下来，然后收集粉末，进行压制。这类制备方法能获得较纯净的纳米材料，而且易于控制，但还无法解决大量生产的问题。化学方法制备的纳米颗粒，粒度比较大，且不均匀，连续压制成纳米材料比较困难。工业上已能制备的金属纳米颗粒有：钠、钾、钙、铜、铝、镓、钇、银、铟、钨、钽、铌、铯、铊、铷、铈、金、铱、铂、钯等，还有部分金属氧化物。

纳米材料的应用将以丰富多彩的特色在材料科学史上描绘出奇妙的一页，如纳米镍粉或铜锌纳米粉末对某些化合物反应是极好的催化剂，可代替昂贵的铂金或钯催化剂。铁的纳米颗粒外面覆盖着一层  $5 \sim 20\text{um}$ （纳米）的聚合物，可以固定大量蛋白质或酶，以控制生物反应，在生物技术和酶工程领域中大有用处。高分子的纳米材料在润滑剂、高级涂料、人工肾脏、各种传感器及功能电极材料方面均有重要应用。纳米材料的磁性功能也是非常突出的，纳米级的磁记录材料能获得很高密度的磁记录特性。纳米材料不仅包括粉状。而且还有纳米级的薄膜和纳米纤维。纳米薄膜又称超薄膜材料，制成  $10\text{um}$  磁膜或磁带材料，其磁性能得到显著的改善，如铁——硼——硅非晶磁膜的磁导率比一般同类成分的磁性材料分别提高 10 倍。

纳米机器人（nano robot）正在科学家们精心的设计之中，第一代的纳米机器人是生物系统（如酶）和机械系统有机结合的产物，即使用多功能的微型机器人（称为易于在人体血管流动的药物），注入人体血管内，作为全身健康检查，疏通脑血管中的血栓，清除心脏动脉脂肪沉积物，甚至还能消灭病毒，杀死癌细胞。第二代纳米机器人是直接由原子、分子装配成有一定功能的纳米尺寸的装配装置，它具有自我调节能力的转换程序，例如可以生产人体所需的蛋白质。第三代纳米机器人将是含有纳米电子计算机的，可以实现人机对话的并有自身复制能力的纳米装置。那时，人类的劳动方式将彻底改变，劳动的主体——人将得到完全解放！

纳米材料一出现，有的科学家就预言，纳米材料将是 21 世纪材料构成的基本单元，这就意味着，由纳米材料构成的许多新材料将会显示出许多前所

未有的奇异特性。于是，美国最早成立了纳米研究中心。早在 1985 年，日本就建立了全国性的研究体制，英国政府在财政困难下，1992 年投入 1280 万英镑支持纳米技术的发展。我国已在 1990 ~ 1992 年先后召开了两次全国性的纳米学术盛会，并把纳米技术纳入“863”计划。人类进化史表明一个真理，“一个充满挑战的时代也往往是一个充满机遇的时代”，机遇总是降临到敢于驾驭局势的人们。历史最终属于创造它的“上帝”。

## 高分子王国

在世界范围内，高分子材料的制品属于最年轻的材料。它不仅遍及各个工业领域，而且已进入所有的家庭，其产量已有超过金属材料的趋势，将是 21 世纪最活跃的材料支柱。

有机化合物是碳元素的化合物。除碳原子外，其他元素主要是氢、氧、氮等。碳原子与碳原子之间，碳原子与其他元素的原子之间，能形成稳定的结构。碳原子是四价，每个一价的价键可以和一个氢原子键连接，所以可形成为数众多的、具有不同结构的有机化合物。有机化合物的总数已接近千万种，远远超过其他元素的化合物的总和，而且新的有机化合物还不断地被合成出来。这样，由于不同的特殊结构的形成，使有机化合物具有很独特的功能。高分子中可以把某些有机物结构（又称为功能团）替换，以改变高分子的特性。高分子具有巨大的分子量，达到至少 1 万以上，或几百万至千万以上，所以，人们将其称为高分子、大分子或高聚物。

高分子材料包括三大合成材料，即塑料、合成纤维和合成橡胶（未加工之前称为树脂）。

面向 21 世纪的高科技迅猛发展，带动了社会经济和其他产业的飞跃，高分子已明确地承担起历史的重任，向高性能化、多功能化、生物化三个方面发展。21 世纪的材料将是一个光辉灿烂的高分子王国。

现有的高分子材料已具有很高的强度和韧性，足以和金属材料相媲美，我们日用的家用器械、家具、洗衣机、冰箱、电视机、交通工具、住宅等，大部分的金属构造已被高分子材料所代替。工业、农业、交通以及高科技的发展，要求高分子材料具有更高的强度、硬度、韧性、耐温、耐磨、耐油、耐折等特性，这些都是高分子材料要解决的重大问题。从理论上推算，高分子材料的强度还有很大的潜力。

在提高高分子的性能方面，最重要的还是制成复合材料。第一代复合材料是玻璃钢，是以玻璃纤维和合成树脂为粘合剂制成。它具有重量轻、强度高、耐高温、耐腐蚀、导热系数低、易于加工等优良性能，用于火箭、导弹、船只和汽车躯体及电视天线之中。其后，人们把玻璃纤维换成碳纤维，其重量更轻，强度比钢高 3~5 倍，这就是第二代的复合材料。如果改用芳纶纤维，其强度更高，为钢丝的 5 倍。高性能的高分子材料的开拓和创新尚有极大的潜力。科学家预测，21 世纪初，每年必须比目前多生产 1500~2000 万吨纤维材料才能满足需要，所以必须生产大量的合成纤维材料，而且要具有更轻型、耐火、阻燃、防臭、吸水、杀菌等性能。有许多新型纤维，如轻型空腔纤维、泡沫纤维、各种截面形状的纤维、多组份纤维材料等纷纷被研制出来，人们可指望会有耐静电、耐脏、耐油，甚至不会沾灰的纤维材料问世。这些纤维材料将用于宇航天线、宇航反射器、心脏瓣膜和人体大动脉。

高分子功能材料，在分子王国里是一片百花争艳的盛景。由于高分子的功能团能够替代，所以只要采用极为简便的方法，就可以制造各种各样的高分子功能材料。常用的吸水性材料，如棉花、海绵，其吸水能力只有本身重量的 20 倍，在挤压时，已吸收的大部分水将被挤出来。而用淀粉和丙烯腈制成的高分子吸水材料，它不仅能吸收自身重量数百倍到上千倍的水，而且受到挤压也不会挤出水来。人们可以期望，将高吸水性的分子材料制成能将化学能转变成机械能的装置，以及具有类似于肌肉的功能或制造测量仪

器。在微电子工业的光刻集成块工艺，常用的光刻胶（又称光致抗蚀材料），就是能使高分子相连接成一种功能团，光照射时会起化学反应，使其溶解度降低或提高。应用这种光刻胶制备集成块，可以使集成块的线宽达到 0.1 到 0.01 微米（1% 毫米），只有用其他工艺制成的集成块的线宽的 1/10 到 1/100，是适合于 21 世纪电子计算机的主要元件——微细元件的开关。光刻胶并能用于各种精细加工，如半导体元件，EP 印刷线路板，金属板膜或表面的精细加工、玻璃、陶瓷的精细刻蚀、精密机械零件加工等。

高分子功能材料应用在信息工程方面，已经生产了光导摄影材料、光信息记录材料、光——能转换材料，并都已进入实用阶段。

像“当代摩神树”的离子交换树脂的高分子功能材料也发展很快，许多高分子离子交换膜、高分子反渗透膜、高分子气体分离膜、高分子透过蒸汽膜等都在化学工艺的筛分、沉淀、过滤、蒸馏、结晶、萃取、吸附等过程中获得应用，而且分离结果优于其他方法，可节约大量能量。日本的制盐工业早已用离子交换膜去代替盐田和电解盐工艺。利用反渗透膜对有机化工、酿造工业的三废进行处理，可回收胺、酯、醇、醚、酮、酚等重要有机化合物。气体分离膜对不同气体的透过率和选择性不同，可以利用这一性质从混合气体中选择分离某种气体，如从空气中富集氧，从合成氨中回收氢，从天然气中收集氦，还可以制备一种水下呼吸器（人工鳃），它是直接从海水中提取氧的潜水装置，人类可望能长期生活在海水中，进入海龙王的宫殿，分享海龙王海底宁静的幸福生活的梦想可变成现实。还有各种信息转换膜、反应控制膜、能量输送膜等正在研制阶段。一种富有吸引力的生物膜也正在研究之中。生物膜有奇特的性能，不仅能起能量、信息、物质的传递作用、还能参加光合作用及有机物质的生命合成等生命活动。这就是 21 世纪的高科技的一颗明珠，摘取这颗明珠需要有极大的勇气和百折不挠的精神。

高分子功能材料的另一极为重要的发展就是用于催促化学反应，这类高分子功能有机材料被称为高分子催化剂。早在本世纪 40 年代，人们已经使用一种叫交联磺化聚苯乙烯的离子交换树脂作催化剂，用于化学反应的各个过程，如水解、缩合、聚合等。尔后，这类高分子功能有机材料发展很快，高分子金属络合物催化剂接着问世，它能够在化学反应中加速捕捉金属离子，实现金属化合物的迅速分离，在工业生产和工业分析上是一种十分重要的方法。还有高分子金属催化剂，是促进化合物中金属离子迅速完成化学反应的材料，它已获得了成功的应用。自然界存在一种最有效的催化剂，称为酶。这一类高分子材料像酶一样有很强的催化作用，称为人工合成酶。酶是由氨基酸组成的蛋白质高分子化合物，它是生物体内各种生物化学反应的高效催化剂，是性能最优异的天然的高分子功能有机材料。现在，各种人工合成酶已经研制成功并逐步投入应用，其种类越来越多，科学家根据酶的作用原理试图模仿应用于化学工业的催化剂在化学工业上进行一场革命。它可以制作进行化工生产，可以充分利用再生的生物资源，以摆脱传统的以石油系列为主要原料的合成工艺，而且还可利用酶的催化原理，避开传统的合成工艺中的高温、高压的条件，在各种物质混合的状态下，有选择地使特定物质发生化学反应，使反应物能够不加分离地连续反应至生产出最终产物。这样，生物反应器将会改变化工企业高塔森立的传统面貌，不仅能节约能源，改善工作环境，同时还可以广开化工资源，消灭废水、废气和废料（又称三废），使建立无污染的理想化学工业成为可能。例如天门冬酰胺酶制成的中性树脂的前

景就非常光明。

高分子材料在医学和生命科学上的应用已有很长的历史，但是依靠着高科技的进步，近期来这个领域的发展令人惊讶，人工心脏瓣膜、人工肺、人工肾、人工血管、人造血液、人工皮肤、人工骨骼、人工关节，从研制迅速成功到不断完善，并且已付诸使用。高分子材料制作的手术器械、医疗用品已不计其数。

高分子材料生物化的最大特色就是控制人的健康和生命，利用不带药剂性的高分子与其他药剂合成的高分子药剂，可大大改善治疗效果，这一类药剂入体易于吸收，毒性和副作用小。如引起恶心、全身不适等不良反应的抗癌药，把它们高分子化，其效果就大大改善，像抗癌药芳庚酚酮和甲基丙烯酸结合为高分子，其效果更佳。另一类高分子药物，本身就有很高的药效，如合成的聚乙烯吡咯烷酮，就可以作为血浆的代用品。商品化的聚醚与聚氨酯合成的高分子药物与血浆蛋白质中的白蛋白的亲合力特别高，相处很融洽，是一种解决人体血凝的医用高分子材料。

综观上述，高分子已经成为 21 世纪材料科学中强有力的支柱，高分子材料的发展在 21 世纪将会取得更大的成就。



