

学生应知科技知识

材料技术

郭一平 主编

目 录

话陶瓷	1
玻璃家族的新成员	29
无机非金属涂层	48
金属园地中的奇葩	55
有机高分子材料	99
树木的眼泪	104
使沙漠变良田的吸水树脂	109
从不粘锅说起	112
聚丙烯传奇	115
会爬杆的液体	124
从玻璃钢谈起	137
研制材料的新方法	145

话陶瓷

我们人类是从哪儿来的？按照科学的观点，人类是由一种称为古猿的古代动物进化而来的。但人类与动物有着本质的区别，区别之一就是：人能制造工具，具有改造大自然的本领。

要制造工具，首先得有制造工具的材料。人类最早用来制造工具的材料是大自然所馈赠的石头。原始人类把石头打磨成各种形状，用于砍劈、切削、钻凿，来同大自然搏斗，以求生存。在人类发展史上，这段时期称为“石器时代”，大约开始于 250 万年前。

石器时代有新旧之分。在旧石器时代，人类使用的石器工具比较粗糙，也有少量的骨器工具。那时的社会生产方式是采集和渔猎，即采集自然生长的植物，捕捉和猎取自然生长的鱼类和飞禽走兽，作为维持生命的食物。可见那时人类对大自然的慷慨馈赠，只不过是将它们设法获取而已。

陶器：材料技术的发端

旧石器时代的这种生产与生活方式大约持续了 200 多万年。在这一时期中，人类逐渐对大自然的馈赠感到不满足了，他们要“得寸进尺”了。于是大约在 1 万年前，人类发展史上的新石器时代开始了。

由于对采集的现成植物和渔猎的动物不甚满意，在新石器时代初期，人类开始主动种植植物和驯养动物。他们使用的石器工具也打磨得比较精致了，甚至制造了装有木柄的石斧。但是所使用的材料仍然是大自然所馈

赠的石头和木头。石头虽硬，但较脆，要打磨成一定形状的工具很费事，而木头的使用范围也有一定限度。于是，以粘土为原料，经过火烧而制成的陶器产生了。

陶器的产生是人类发展史上的一块里程碑。恩格斯把陶器的出现作为新石器时代开始的标志。

陶器是人类最早不用大自然的现成材料而制成的器具，制陶技术可说是最古老的材料技术，是人类材料技术的发端。在制陶技术的基础上，我国古代劳动人民又发明了制瓷技术。因此，我们介绍材料技术，还是先从陶瓷谈起。

陶瓷世家

说起陶瓷，在人们的心目中，也许会联想到缸、罐、钵、壶等日用器皿，它们的用途仅是充当厨房用具、餐具、卫生设施或艺术饰品。那么，陶瓷究竟是怎样起源的？严格地说，什么是陶瓷？现代的先进陶瓷与传统陶瓷有哪些区别？陶瓷的未来是怎样的？要回答这些问题，还得先让我们来考察一下陶瓷的世代变迁。

万年古树

早在 1 万多年前的旧石器时代末期，人类已会在用树枝条编成的容器上涂抹粘土，晒干后用来盛物，但这种容器既不牢固又怕浸水。在一些偶然的机，例如森林着火，这种容器经受了火烧。人们发现，其内部的树枝条烧成了炭，留下了坚硬的、耐火的坯料。也许，这就是古代陶器的雏形。后来，人们有意识地把粘土搓捏成形，烧制成器皿，用来盛水，存放、烧煮食物等，或烧制成渔猎工具，如刀、斧、渔网锤等。这就是最古老的制陶技术，所以制陶技术发展到今天，已有 1 万多年的历史，真可谓是一棵“万年古树”。

我国是世界上最早生产陶器的国家。用现代先进技术对在河北徐水及江西万年出土的考古发掘物进行鉴定，证明我国大约在 1 万年前就已有陶器生产。后来，我国的制陶技术不断发展，形成了黑陶、白陶、彩陶等多个品种。陕西临潼出土的秦始皇兵马俑，被人们称作“世界奇观”，它们就是在烧成的陶胎上进行彩绘而制成的，称为彩绘陶，其工艺水平令世人叹为观止。我国现代陶器的产地以江苏宜兴最为著名。

“两兄弟”

陶瓷实际上是陶和瓷“两兄弟”的总称。瓷是陶的“弟弟”，但年龄要小好几千岁。比起“哥哥”来，“弟弟”身材轻盈，玲珑剔透，肌肤光泽细腻，性格刚强，不渗水，不透气，耐高温，抗腐蚀，人见人爱，可谓“天之骄子”。

制瓷技术是在制陶技术基础上逐渐发展而形成的。从制陶到制瓷，主要是在以下三方面技术上取得了进展。

(1) 精选原材料。瓷器是以含铝成分较多的高岭土为原料烧制而成的。

(2) 改进窑炉，提高烧成温度。

(3) 发明和利用釉。釉是以石英、长石、粘土等为原料，烧结在陶瓷表面的玻璃质薄层。

我国早在 3000 多年前的商代，就已出现了上釉的原始瓷器，烧成温度在 1200℃ 以上。经过 1000 多年的改进和提高，到了东汉（公元 25～220 年），位于今浙江绍兴、余姚一带的越窑首先发明了用 1300℃ 以上高温烧成的上釉青瓷。瓷器是中华文明的象征。在许多拉丁语系国家中，“瓷器”和“中国”都以 CHINA 这同一种字母拼音表示。汉代以后，我国的制瓷技术已发展到非常高的水平，出现了许多名窑和名瓷。古人用这样的诗句来赞扬

越窑出产的美丽青瓷：“九秋风露越窑开，夺得千峰翠色来。”素有“瓷都”美称的江西景德镇所烧制的薄胎瓷器，更被誉为：洁如玉，明如镜，薄如纸，声如磬。

以上这些称为传统陶瓷，也就是利用瓷石、粘土、长石、石英等无机非金属天然矿物为原料，经粉碎、混和、磨细、成形、干燥、烧成等传统工艺制成的产品，现在人们主要用作日用器皿和建筑、卫生制品。

先进陶瓷

本世纪 20~30 年代以来，传统陶瓷遇到了严重的挑战。

首先是科学技术的发展，对陶瓷提出了越来越高的要求。例如，电力工业远距离输电线的建立，要求有耐几十万伏高压的绝缘性能良好的陶瓷材料；汽车工业要求有耐高温、高压和高电压的供气缸点火用的火花塞及其它高性能的汽车零件材料；电子工业要求有大功率集成电路用的陶瓷基片以及其它功能组件所需的材料；火箭、导弹、宇宙飞船等空间技术产品要求提供耐极端高温的高强结构材料和各种功能陶瓷。

其次是传统陶瓷在性能上的致命弱点——脆，使得它在工程应用面前望而却步，不得不让位于金属材料。

陶瓷除了脆以外，还有其它一些弱点，人们发现这主要是因为陶瓷结构中存在较多的玻璃相。玻璃相的组织比晶体疏松，是陶瓷中的薄弱环节，它在一定温度时会软化，降低了陶瓷的耐热性。玻璃相中还含有杂质，这就降低了陶瓷的许多性能。

挑战是对极限的超越，挑战孕育了新的起点。科学家经过大量的试验研究，特别是对陶瓷结构进行显微分析，认识到如果能降低陶瓷中玻璃相的含量，甚至制造

出几乎不含玻璃相、由许多微小晶粒结合而成的结晶态陶瓷，其性能将会大幅度提高。为此，人们不断提高原材料中氧化铝的含量，加入许多高纯度的人工合成化合物去代替天然原料，并对制备工艺作了许多改进。后来发现，完全不用含硅酸盐的天然原料，也可以制成性能很好的陶瓷。于是，在本世纪 40~50 年代，陶瓷世家中一类新型陶瓷——“先进陶瓷”诞生了。这类先进陶瓷到目前还在不断发展之中，可谓“万年古树”上新长出的茂盛枝叶。

所谓先进陶瓷，是以高纯、超细的人工合成的无机化合物为原料，采用精密控制的制备工艺烧结而成的，比传统陶瓷性能更加优异的新一代陶瓷。先进陶瓷又称为高性能陶瓷、精细陶瓷、新型陶瓷或高科技陶瓷。

先进陶瓷按化学成分可分为氧化物陶瓷、氮化物陶瓷、碳化物陶瓷、硼化物陶瓷、硅化物陶瓷、氟化物陶瓷、硫化物陶瓷等。

按性能和用途，先进陶瓷大体上又可分为先进结构陶瓷和先进功能陶瓷两大类。

先进结构陶瓷是指以其优异的力学性能而用于各种结构部件的先进陶瓷，主要用于要求耐高温、耐腐蚀、耐磨损的结构，如机械密封装置、轴承、缸套、刀具等。日本企业家和陶瓷专家为改变人们对陶瓷易碎的印象，用增韧氧化锆陶瓷制成剪刀和水果刀，作为礼品赠送或廉价出售，称之为永不卷刃、永不生锈、永不磨损的刀具，取得了戏剧性的宣传效果。

先进功能陶瓷则是指利用材料的电、磁、声、光、热等性能或其耦合效应，来实现某种使用功能的先进陶瓷。例如，压电陶瓷可利用机械压力产生电效应，故用

于制造内燃机点火系统、电子打火机点火组件和炮弹引爆信管等。先进功能陶瓷具有品种多、价格低、功能全、更新快等特点，在民用、军用和高新技术等领域中都有广泛的应用。

第三次飞跃：纳米陶瓷

本世纪 60 年代以来，具有优良性能的先进陶瓷不断涌现，使得陶瓷在生产应用方面发生了质的变化。如果说，以前传统陶瓷尚处于辅助材料地位的话，那么现在先进陶瓷已初露锋芒，正和金属材料、有机高分子材料并驾齐驱，甚至在许多任务领域逐渐取得了主要材料的地位。这主要是因为先进陶瓷较其它材料表现出更多的具有实用价值的独特性能，如具有高温强度、耐腐蚀、电绝缘及其它功能和性能。在空间技术、原子能技术、激光技术、计算机技术等新兴科技领域，对各种先进陶瓷材料的需求日益增长；而高新技术的发展，特别是现代测试技术和先进仪器的发展，为深入研究先进陶瓷提供了客观条件。例如，以前主要用光学显微镜来研究陶瓷的内部结构，现在则可以采用电子显微镜，尤其是近年来高分辨电镜和分析电镜技术的发展，使人们能进入更深层次的微观世界来研究陶瓷材料，并且取得了令人瞩目的成就。

科学技术的发展永远不会停止，陶瓷技术的发展当然也永无止境。在陶瓷的世代变迁中，如果把从陶器发展到瓷器称为第一次飞跃，从传统陶瓷发展到先进陶瓷称为第二次飞跃，那么目前正面临着从先进陶瓷发展到纳米陶瓷的第三次飞跃。

纳米陶瓷是指显微结构具有纳米量级水平的陶瓷材料。

这里，显微结构是指借助于各种显微分析仪器所观察到的材料的内部组织。先进陶瓷的显微结构主要是由许多晶粒组成的多晶体结构。目前绝大部分先进陶瓷的显微结构处于微米量级水平，即晶粒尺寸为 $1\sim 10$ 微米，在 1 立方厘米体积中约有 10^{10} 个晶粒。纳米陶瓷的显微结构则更加细微，具有纳米量级水平，即晶粒尺寸为 $1\sim 100$ 纳米，在 1 立方厘米体积中约有 10^{19} 个晶粒。由此可知，纳米陶瓷较先进陶瓷其晶粒细小得多。

可别以为这仅仅是数量上的变化，这种显微结构的微细化会引起陶瓷在性能上的质变。在纳米陶瓷中，1 立方厘米体积中存在 10^{19} 个晶粒边界（称为晶界），晶界上的原子占晶体总原子数的 50%，它们受到周围原子的相互作用，其排列组态既不同于晶体（晶体内原子规则排列），也不同于非晶态（非晶态如玻璃，其中原子呈短程有序、远程无序的排列），这种新的原子排列组态给纳米陶瓷带来了许多新性能。纳米陶瓷晶粒细化，有助于晶间的滑移，从而导致了超塑性；也因为晶粒细化，材料中的气孔和其它缺陷尺寸减小，可获得少缺陷甚至无缺陷的陶瓷，其力学性能大幅度地得到提高。总之，纳米陶瓷使陶瓷的原有性能得到很大的改善，以致在性能上发生突变，甚至出现新的性能或功能。

要获得纳米陶瓷，科学家需要制备相应的甚至更细的陶瓷粉末，寻求新的粉料制备方法，探索成型和烧结新工艺等。总之，需要进行大量艰苦、细致的攻关，才能实现陶瓷发展中的这第三次飞跃。

目前在陶瓷显微结构微细化方面，人们已经取得了一些研究成果。例如，晶粒非常细小的氧化锆陶瓷的力学性能得到了改善，亚微米晶粒的钛酸钡陶瓷的电学性

能已有大幅度提高。预计在本世纪末和下世纪初，在研制纳米陶瓷方面会取得重大突破。

打不破的陶瓷

俗话说：“打破沙锅问（纹）到底。”沙锅及其它传统陶瓷制品脆性大，韧性差，抗拉强度低，这是传统陶瓷不容置疑的缺点。那么，陶瓷为什么会容易破裂呢？

陶瓷为什么容易破裂

陶瓷脆性大，经不起外力撞击，也不能急热急冷，例如用沙锅煮食物时，开始切忌猛火烧，烧好后沙锅也不能用水急冷，否则就要炸裂。前者是因为陶瓷的抗机械冲击性差，后者是因为抗热冲击性差。这是两种不同的起因，但有着大致相同的破裂过程，即首先从陶瓷内部已经存在的微裂纹开始，裂纹逐渐扩展，直到全部断裂。而且对陶瓷来说，裂纹扩展的速度非常快，一眨眼就“纹到底”了。

从以上陶瓷破裂的过程可以看出，陶瓷内部存在微裂纹，是引起陶瓷破裂的第一原因。在陶器碎片的断面上，你会看到许多小孔洞，颗粒也比较粗大，这是由于陶器的烧成温度较低（一般为 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ），气孔率较高。虽然瓷器是在 $1200\sim 1400^{\circ}\text{C}$ 高温下烧制的，结构细密多了，用肉眼常看不出有什么缺陷，但在显微镜下，仍可以看到在其表面有许多微小的伤痕，瓷器碎片的断口上分布着许多微裂纹、气孔和夹杂物。在放大倍数更大的电子显微镜下，还可以发现有许多晶体结构缺陷，如空位、位错和晶界等。所有这些微裂纹、气孔、夹杂物、晶体缺陷、表面伤痕等，都可能成为裂纹的发源地。

引起陶瓷破裂的第二个原因是在陶瓷中一旦形成裂纹，裂纹就会迅速扩展。陶瓷不像金属那样，金属在外

力作用下可以产生塑性变形，塑性变形可以吸收扩展裂纹的能量，起到止裂的作用。陶瓷属于脆性材料，一旦形成裂纹，由于缺乏塑性变形能力，材料内部出现的应力立即集中到裂纹尖端，推动裂纹迅速向前扩展，直至断裂。如果是在热冲击情况下，还由于陶瓷的导热性差，热膨胀系数大，热应力因此增加，促使裂纹迅速扩展。

根治“痼疾”

脆性虽是陶瓷的“痼疾”，但绝非“不治之症”。经过科学家的长期努力，陶瓷脆性这一缺点已在很大程度上得到克服。尽管与金属材料相比，还有很大差距，但陶瓷的这一“痼疾”终究是会得到根治的。

归纳起来，目前克服陶瓷脆性的途径有以下几条。

陶瓷的断裂往往从表面或近表面的缺陷开始，故改善陶瓷的表面状态（称为陶瓷的表面改性）至关重要。例如，通过化学或机械抛光技术可消除表面缺陷；对氮化硅、碳化硅等非氧化物陶瓷，通过控制表面氧化技术可消除表面缺陷或使裂纹尖端变钝；经热处理可消除内应力或在表面形成能防止裂纹扩展的压应力。这些陶瓷的表面改性技术，可达到表面强化和增韧的目的。这是一条途径。

抑制陶瓷材料中裂纹的扩展速率则是另一条途径。在这方面被实践证明为成功的实例，是利用氧化锆陶瓷在组织转变时所伴随的体积膨胀，吸收能量，减缓裂纹尖端的应力集中，导致裂纹重新闭合，不再向前扩张，从而达到提高陶瓷韧性的目的。根据这一原理，人们已经研制成功了氧化锆相变增韧陶瓷。

用纤维均匀地分布在陶瓷基体中，来提高陶瓷的强度和韧性，也是一条克服陶瓷脆性的有效途径。其原理

同我们在石灰中加入纸筋成为不易产生裂缝的纸筋石灰相类似。首先，由于选择的纤维都具有较高的强度，在工作时可承担大部分外加负荷，从而减轻了陶瓷的负担，使裂纹不易产生；其次，当外加负荷增加，使陶瓷中的裂纹尖端扩展到纤维与陶瓷基体的结合面时，应力集中现象可得到缓解，裂纹尖端可以被钝化；第三，外加负荷进一步增加，使纤维从陶瓷基体中拔出时，由于需要克服摩擦力做功，消耗能量，韧性因此可得到提高，从而使脆性在很大程度上得到克服。

氧化锆陶瓷

氧化锆在大自然中存在于锆英砂中，澳大利亚和我国海南岛均有高质量的锆英砂。在不同的温度范围内，氧化锆呈现出不同的晶体结构：从室温到 1170°C 为单斜结构， $1170\sim 2370^{\circ}\text{C}$ 为四方结构， $2370\sim 2706^{\circ}\text{C}$ 为立方结构。这三种结构的氧化锆，比重分别为 5.68、6.10 和 6.27。可见温度越高，比重越大。因此，在同样重量下，温度越低，体积越大。

氧化锆从四方结构冷却到单斜结构时会有 8% 的体积膨胀。为避免氧化锆陶瓷在烧成时因体积变化引起开裂，须加入适量的氧化钙、氧化镁、氧化钇等氧化物作为稳定剂，以形成较稳定的四方或立方结构氧化锆。这种稳定的氧化锆陶瓷具有高耐火性（能耐 2000°C 高温）、良好的化学稳定性（高温时能抗酸性腐蚀）、较小的比热和导热系数，因此是理想的高温绝热材料。它适合于制造冶炼金属与合金用的坩埚、连续铸锭用的耐火材料、耐 2000°C 左右高温的电炉发热体和炉膛耐火材料，它还可用来作为氧浓差电池以及磁流体发电机组中的高温电极材料。

在克服陶瓷脆性的进程中，氧化锆相变增韧陶瓷非常令人瞩目，它正在改变着人们对陶瓷力学性能的传统看法，促进了先进陶瓷的进一步发展。

氧化锆相变增韧陶瓷是利用氧化锆由四方结构向单斜结构转变时的效应来克服陶瓷脆性的。

氧化锆相变增韧陶瓷有多种类型。其中有一种称为部分稳定氧化锆陶瓷的，是在氧化锆中加入适当的稳定剂而形成的。它由稳定的立方结构氧化锆和亚稳定的四方结构氧化锆所组成。在外应力作用下，亚稳定的四方结构转变为单斜结构，且伴随有体积膨胀，从而起到增韧作用。

目前又采用有机溶剂蒸馏法获得氧化锆超微颗粒（其直径仅几十纳米），可在较低温度下烧结成具有微细结构的四方结构氧化锆陶瓷（晶粒尺寸在1微米以下）。这种陶瓷具有高强度和高断裂韧性，适用于制造拉丝模、导辊、工夹具、刀具、耐磨部件等。

还有一种氧化锆增韧陶瓷，它是在其它陶瓷中引入氧化锆，从而达到增韧效果的。如氧化锆增韧氮化硅陶瓷，它可用于制造刀具、发动机、热机零部件等；又如氧化锆增韧氧化铝陶瓷，它可用于制造刀具、绝热发动机的某些部件等。

纤维补强陶瓷基复合材料

纤维补强陶瓷基复合材料是以纤维作为增强体，把纤维同陶瓷基体通过一定的复合工艺结合在一起而组成的材料的总称。这类复合材料具有高强度、高韧性、优异的热稳定性和化学稳定性，是一类新型结构材料。

作为增强用的纤维有金属纤维（如钨丝、钼丝、钽丝等）、玻璃纤维和陶瓷纤维（如碳、碳化硅、氧化铝、

氧化锆等纤维)；而陶瓷基体有氧化物基(如氧化铝、氧化锆等)和非氧化物基(如碳、碳化物、硼化物、氮化物等)。

在选择纤维和陶瓷基体时要注意性能的匹配，如纤维必须和陶瓷一样具有耐高温性能，纤维的热膨胀系数应稍大于陶瓷基体。

纤维补强陶瓷基复合材料的应用领域和即将应用的领域有刀具、滑动构件、航空航天部件、发动机零件、能源构件等。法国已将长纤维增强碳化硅复合材料应用于制造超高速列车的制动件。由于这种材料具有优异的耐摩擦性能和耐磨损性能，使用效果令人满意。

经过纤维补强的陶瓷，无论在抗机械冲击性，还是在抗热冲击性方面，都有了极大的提高，这在很大程度上克服了陶瓷的脆性，同时又保持了陶瓷原有的许多优异性能。这种打不破的陶瓷目前虽只是初露端倪，但肯定有着美好的发展前景。

能透光的陶瓷

看了这个标题，也许你会诧异：是否写错了？只有透明的玻璃，陶瓷哪能透光？日常生活中使用的传统陶瓷确实是不透光的。但是，经过科学家的长期研究，已经开发出一批能透光的先进陶瓷，并在生产中获得应用。

能使陶瓷透明吗

陶瓷作为理想的绝缘材料，被广泛地应用在电器行业中。与玻璃比较，陶瓷的强度高，耐火性好，能抵抗化学腐蚀，能经受放射性物质的强烈辐照。但陶瓷不透明，以致许多场合，特别是在照明电器上无法应用。因此，在本世纪 50 年代，如何使陶瓷透明成了一项急需解决的重要课题。

美国通用电器公司研究所有一批陶瓷专家，从事陶瓷材料的研制和产品开发。在总结前人研究的基础上，他们认识到陶瓷不透明的主要原因是陶瓷中存在许多微小的气孔。当一束光线照射到陶瓷表面时，微气孔由于具有对光线很强的散射能力，把大部分光线分散到四面八方，最后被陶瓷所吸收。微气孔成了光线前进路上的“拦路虎”，所以，不把这只“拦路虎”赶跑，休想让光线从陶瓷中通过。

为此，陶瓷专家们试着采取了几项技术措施。首先，烧制陶瓷所用的原材料要有很高的纯度和细度，而且颗粒要均匀，不能有的粗有的细，故他们用了纯度为 99.99 %、平均颗粒尺寸只有 0.3 微米的氧化铝粉末作原料。其次，要减慢陶瓷结晶过程中晶粒长大的速度，这样便可依靠晶粒边界的缓慢移动，把微气孔赶跑，所以他们在原料中加入了极少量的氧化镁作为阻碍晶粒长大的添加剂。第三，要减少加热炉中的气体，最好能抽成真空，但由于受到设备的限制，结果他们在炉中通入氢气。这是因为氢气分子的体积比空气中氮气分子的体积来得小，氢气分子容易通过晶格扩散到晶界，最后被排除出去。

世界上第一块透明陶瓷

一天，陶瓷专家科布尔和他的助手们正在实验室里研制透明陶瓷，他们从炉内取出一块烧好的陶瓷小圆片试样，不知怎么一来，小圆片落到了实验桌上正翻开的一本书上，奇妙的事情发生了：透过陶瓷片，书上的文字清晰地映入人们的眼帘。年轻的助手们欢乐地跳了起来，把帽子抛向天空，喊着：“成功了！成功了！”奔向科布尔。科布尔抑制住内心的激动，故作镇静地坐到了

显微镜前。经过仔细的检查，在这片陶瓷中竟找不到一个微气孔。1957 年一次会议上，科布尔郑重地向大家宣告：世界上第一块透明陶瓷诞生了。

自从透明氧化铝陶瓷诞生以后，透明陶瓷家族真是人丁兴旺，成员已经有几十个，而且还在不断扩大。在氧化物陶瓷方面有氧化镁、氧化钇、氧化铍、氧化钽等透明陶瓷。还有一些由几种氧化物组成的透明陶瓷，如铝镁尖晶石（由氧化铝、氧化镁组成）、锆钛酸铅镧透明铁电陶瓷（由氧化锆、氧化钛、氧化铅、氧化镧组成）。在非氧化物陶瓷方面有氟化镁、氟化钙、氟化镧等透明陶瓷，还有能透过波长较长的红外线的陶瓷，如硫化锌、硒化锌、碲化镉、砷化镓等透红外陶瓷。

高压钠灯

早在 30 年代初，人们就已经知道利用钠蒸气放电可获得一种高效率的光源。但是钠蒸气放电会产生超过 1000°C 的高温，而且钠是一种非常活泼的金属，有很强的腐蚀性，用玻璃制成的灯管无法耐受，而一时又找不到能在高温下抵抗钠蒸气腐蚀的合适灯管材料。经过了二十几个年头，一直到 1957 年，人们盼来了透明陶瓷。透明氧化铝陶瓷的熔点高达 2050°C ，能在 1600°C 的环境里不受钠蒸气的腐蚀，而且可以通过 95% 的光线。有了它，高压钠灯才在 1960 年呱呱坠地，并经过不断改进，得到了实际应用。

高压钠灯是发光效率很高的一种电光源。普通白炽灯的发光效率只有 10 流明/瓦，高压汞灯的发光效率为 50~60 流明/瓦，而高压钠灯的发光效率高达 110~120 流明/瓦。在同样功率的情况下，一个高压钠灯能顶两个高压汞灯，而且光色金白，在它的灯光下看物清晰，不

刺眼。高压钠灯的光线能透过浓雾而不被散射，用它作为汽车灯特别适合。高压钠灯平均寿命长达 1~2 万小时，比高压汞灯寿命长 2 倍，高过白炽灯 10 倍，是目前寿命最长的灯。

除了高压钠灯外，透明陶瓷还适用于制造其它新型的灯具，如钾灯、铷灯、铯灯、金属卤化物灯等。

响尾蛇的启示

响尾蛇是一种生长在美洲的毒蛇。在漆黑的夜里，响尾蛇会出其不意地发起攻击，像闪电一般将田鼠吞食。响尾蛇为什么有这样灵敏的感觉？科学家发现，奥秘就在于响尾蛇眼与鼻孔之间的一个凹陷的“颊窝”。他们做了一个有趣的实验：把响尾蛇头部包起来，只露出颊窝，前面放一个用黑纸包着的未通电的灯泡，这时响尾蛇无动于衷；但当灯泡通电发热时，响尾蛇立即向它发起猛烈的攻击。这说明响尾蛇的颊窝能接收发热物体产生的红外线。原来，在响尾蛇的颊窝内有一薄膜，上面布满着神经末梢和一种叫线粒体的细胞器，它能随温度的变化而膨胀和收缩，周围温度只要有千分之一度的变化它就能感觉出来。

响尾蛇的奥秘给科学家带来了启示，他们让导弹向响尾蛇“学习”，在导弹头部安装了一个用光敏半导体制成的，能感受红外线的红外探测器。当敌机发动机喷射出的高温燃气或机身上辐射出的红外线被导弹上的红外探测器感受到后，导弹导向系统就会自动地将导弹引向目标，最终击毁目标。导弹头部的红外线探测器上，需要有一个保护罩（称为整流罩），它要有足够的强度和硬度，以抵抗高速气流和雨雪的冲刷，但它又要保证让敌机辐射出来的哪怕是非常微弱的红外线能通过，传到红