

古树新枝话陶瓷

从石器到陶瓷

大自然的馈赠

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现在，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他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他功能元件所需的材料；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，还有其他一些弱点，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。

陶瓷的显微结构

在显微镜下观察陶瓷材料，可以发现主要有三种结构，即晶体相、玻璃相和气孔。晶体相是陶瓷的基本结构，它是由陶瓷化合物的原子按一定规则排列而形成的晶体结构。玻璃相是由陶瓷各组成物和杂质的原子无规则排列而形成的非晶态结构，因这种结构同玻璃的显微结构相似，故称为玻璃相。陶瓷的性能同其显微结构密切相关。

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。

究竟什么是陶瓷

陶瓷的概念有狭义、广义之分。从狭义上说，陶瓷是用无机非金属化合物粉体，经高温烧结而成的，以多晶聚集体为主的固态物质。狭义的陶瓷概念中不包括玻璃、搪瓷、水泥、耐火材料、金属陶瓷等。从广义上说，陶瓷泛指一切经高温处理而获得的无机非金属材料，包括人工单晶、非晶态、狭义陶瓷及其复合材料、半导体、耐火材料及水泥等，像美国就用 ceramic（陶瓷）一词来泛指无机非金属材料。

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、电子打火机点火元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，甚至在许多工业领域中逐渐取得了主要材料的地位。这主要是因为先进陶瓷较其他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、电绝缘及其他功能和性能。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。

纳米

纳米是一种长度单位，符号为 nm。在国际单位制中，长度的基本单位是米，符号为 m。其他长度单位都与米有一定的换算关系，例如， $1 \mu\text{m}$ （微米）= 10^{-6}m （米）， 1nm （纳米）= 10^{-9}m （米）。一根头发丝的直径约为 $70 \sim 80$ 微米，故 1 纳米还不到头发丝直径的万分之一。

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（晶体内部原子规则排列），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，材料中的气孔和其他缺陷尺寸减小，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。”沙锅及其他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 800~1000℃），气孔率较高。虽然瓷器是在 1200~1400℃ 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。

克服陶瓷脆性的未来途径

使陶瓷显微结构的尺寸从微米量级减小为纳米量级,晶粒的微细化可有效地减小材料中的气孔和其他缺陷的尺寸,制备出少缺陷甚至无缺陷的陶瓷。所以,纳米陶瓷是人们在未来克服陶瓷脆性的根本途径。

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 为单斜结构,1170~2370 为四方结构,2370~2706 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 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，它是在其他陶瓷中引入氧化锆，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、氧化钽、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 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 ,能在 1600 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他新型的灯具,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微弱红外线能通过,传到红外探测器中,也就是说它必须具有透过红外线的能力。

能担当此任的材料非透红外陶瓷莫属,它非常适合于制造响尾蛇导弹头部的整流罩。红外线是一种从物体上辐射出来的肉眼看不见的电磁波。物体的温度越高,辐射出来的红外线波长越短;反之,物体的温度越低,红外线波长就越长。每种透红外陶瓷能透过一定波长的红外线。例如,氟化镁陶瓷能透过 0.45~9 微米波长的红外线,硫化锌陶瓷能透过 0.57~15 微米波长的红外线,硒化锌陶瓷能透过 0.48~22 微米波长的红外线,碲化镉陶瓷能透过

2~30 微米波长的红外线。人们可以根据实际的需要来选择合适的透红外陶瓷。

能自动调光的护目镜

也许你有这样的感受：当眼睛突然受到强烈光线照射后，会暂时看不清周围的东西，要过一段时间才能恢复正常的视觉。这种现象称为闪光盲，即眼睛因强闪光暂时丧失视觉功能。闪光盲会给正在进行的工作带来影响，经常发生闪光盲会损伤视网膜。但在工作和生活中，人们经常会遇到强光的刺激。

例如，电弧焊时产生的电弧，最高温度达到 6000~8000K（K 是绝对温度的单位，0 相当于 273.15K），发出强烈的弧光，所以电焊工人都要带上面罩，透过近乎黑色的护目镜才能进行操作。但在电弧尚未产生前，带了面罩根本看不清周围情况，工作起来非常不方便。

原子弹爆炸时，情况就更严重了：一颗梯恩梯当量为 20000 吨的原子弹爆炸时，火球辐射的光能约 30 万亿焦耳，几乎全部光能在 3 秒钟内骤然释放。所以核试验工作人员必须带上很深的墨镜。但是原子弹爆炸前带上墨镜，就看不清东西，变得寸步难行。原子弹爆炸了再戴上，就来不及了。如果能有一种自动调光的护目镜，那该多好。

有一种锆钛酸铅镧透明铁电陶瓷，能透光，耐高温，耐腐蚀，强度高，还能把电、光、机械变形等作用结合起来，具有电控光特征，故用它可制作存储、显示或开关用的光电器件。

用这种铁电陶瓷和两块偏振片可组成具有夹层结构的护目镜，这种护目镜带有控制电路、电源和开关，用光敏二极管作为强闪光的接收元件。当接收元件测出周围的光强度超过危险值时，立即发出信号给控制电路，使镜片关闭，护目镜就自动迅速变暗；当危险光消失后，控制电路又自动加压到铁电陶瓷薄片上，使镜片达到最大的开启状态，即又回复到原来的明亮状态。

有了这种护目镜，电焊工人就不必把面罩举上拿下了，核试验工作人员也可以一直戴着这种护目镜进行核爆炸前的准备工作。

1976 年，美国制成了 PLZT 核闪光护目镜，1977 年正式装备部队，作为飞行员头盔上的护目镜。

新奇的能量转换器——压电陶瓷

说起能量转换，我们都知道，水轮机带动发电机发电，是机械能转化为电能；电动机带动水泵把水抽到高处，是电能又转化为机械能；电灯把电能转化为光能和热能；植物进行光合作用，把光能转化为化学能……但你可知，有一种压电陶瓷，它能把机械能和电能相互转换，为我们做许多有益的事情，称得上是“新奇的能量转换器”。

压电效应

压电陶瓷是一种先进功能陶瓷，它具有压电效应。那么，什么是压电效应呢？

某些材料在机械力作用下产生变形，会引起表面带电的现象，而且其表面电荷密度与应力成正比，这称为正压电效应。反之，在某些材料上施加电场，会产生机械变形，而且其应变与电场强度成正比，这称为逆压电效应。如果施加的是交变电场，材料将随着交变电场的频率作伸缩振动。施加的电场强度越强，振动的幅度越大。正压电效应和逆压电效应统称为压电效应。

并非所有的陶瓷都具有压电效应。作为压电陶瓷的原材料，在晶体结构上一定是不具有对称中心的晶体，如氧化铅、氧化锆、氧化钛、碳酸钡、氧化铌、氧化镁、氧化锌等。将这些原材料在高温下致密烧结，制成陶瓷，并将制好的陶瓷在直流高压电场下进行极化处理，才能成为压电陶瓷。常用的压电陶瓷有钛酸钡、钛酸铅、锆钛酸铅以及三元系压电陶瓷等。

压电陶瓷的应用范围非常广泛，而且与人类的生活密切相关。其应用大致可归纳为以下四方面。

（1）能量转换。压电陶瓷可以将机械能转换为电能，故可用于制造压电打火机、压电点火机、移动X光机电源、炮弹引爆装置等。用压电陶瓷也可以把电能转换为超声振动，用于探寻水下鱼群，对金属进行无损探伤，以及超声清洗、超声医疗等。

（2）传感。用压电陶瓷制成的传感器可用来检测微弱的机械振动并将其转换为电信号，可应用于声纳系统、气象探测、遥感遥测、环境保护、家用电器等。

（3）驱动。压电驱动器是利用压电陶瓷的逆压电效应产生形变，以精确地控制位移，可用于精密仪器与精密机械、微电子技术、光纤技术及生物工程等领域。

（4）频率控制。压电陶瓷还可以用来制造各种滤波器和谐振器。

压电打火机

近年来，市场上出现的一种新式的压电打火机，就是应用了压电陶瓷的压电效应制成的。只要用大拇指压一下打火机上的按钮，使一根钢柱在压电陶瓷上施加机械力，压电陶瓷即产生高电压，形成火花放电，从而点燃可燃气体。在这种打火机中，采用直径为2.5毫米，高度为4毫米的压电陶瓷，就可得到10~20千伏的高电压。当压电陶瓷把机械能转换成电能放电时，陶瓷本身不会消耗，也几乎没有磨损，可以长久使用下去，所以，压电打火机

使用方便，安全可靠，寿命长。

压电引爆装置

其实，压电打火机的点火原理可应用于各个领域，特别是军事领域。在反坦克炮弹上装上压电陶瓷元件，当炮弹击中坦克时，陶瓷因受压而产生高电压，从而引燃炸药，摧毁坦克。压电陶瓷在非常强的机械冲击波的作用下，储存的能量在以微秒计的瞬间释放出来，产生瞬间电流达 10 万安培以上的高压脉冲，可用于原子武器的引爆。

压电探鱼仪

探鱼仪是一种用来探测水下鱼群的声纳设备。它一般由声波发射部分、接收部分、记录装置、显示装置等组成。压电探鱼仪的声波发射部分和接收部分用压电陶瓷制成。压电陶瓷在交变电场作用下，会产生伸缩振动，从而向水中发射声波。当交变电场的频率与压电陶瓷的固有频率相近从而产生共振时，它能发出很强的声波，传至上百千米外。声波在向前传播时遇到鱼群即被反射回来，压电陶瓷接收部分收到回波后，即将它变换成电信号，经过电路处理就会显示出鱼群的规模、种类、密集程度、方位和距离等，便于捕捞作业。

压电陶瓷的硬度很高，它振动起来可以发出很强的功率。压电探鱼仪由于声波发射部分采用了压电陶瓷，其发射功率已达到兆瓦级。用压电陶瓷制成的接收部分有很高的灵敏度，根据回波的强弱可以判断是海底、礁石，还是鱼群，甚至可以判断鱼群的种类、大小和分布情况。

压电振荡器与压电滤波器

让我们首先认识一下目前收音机中根据电磁振荡原理制成的振荡器和滤波器。

在超外差式收音机中，有一个双联可变电容器，其中大的电容器和天线磁棒线圈相连，小的电容器和一个电感线圈相连，分别组成两个振荡器。假如我们要收听 790 千赫的节目，把双联电容器调整到相应的适当位置，这时一个振荡器的振荡频率为 790 千赫，另一个振荡器同时产生频率比 790 千赫高 465 千赫的高频信号，这两种信号在晶体管中混在一起，通过差频作用，产生出一个 465 千赫的中频信号，经过中频变压器（它事实上是由电感、电容组成的，只允许频率在 465 千赫附近的信号通过的滤波器）放大，然后经检波，检出声频信号后再进行放大，最后通过扬声器放出，我们就听到了 790 千赫电台的播音。

由此可知，在收音机的电子线路中，振荡器和滤波器是不可缺少的重要部件。那么，压电陶瓷是怎样来完成振荡、滤波功能呢？

作用在压电陶瓷上的交变电压会产生一定频率的机械振动。在一般情况下，这种机械振动的振幅很小。但是当所加电压的频率与压电陶瓷的固有机机械振动频率相同时，就会引起共振，使振幅大大增加。这时，外加电场通过逆压电效应产生应变，而应变又通过正压电效应产生电流，电能和机械能最

大限度地互相转换，形成振荡，就像在电容和电感所组成的谐振回路中，电能和磁能相互转换形成振荡一样。这就是压电振荡器的基本工作原理。

在同样的电压作用下，只有在共振频率时通过压电陶瓷的电流最大，因此对于有各种频率的电流来讲，只有频率在共振频率附近的电流可以通过，这就是压电滤波器的基本工作原理。

用压电陶瓷制造的振荡器和滤波器，频率稳定性好，精度高，适用频率范围宽，而且体积小，不吸潮，寿命长，特别是在多路通信设备中能提高抗干扰性，所以目前已取代了相当大一部分电磁振荡器和电磁滤波器，而且这一趋势还在不断发展中。

压电地震仪

地震是常见的自然现象。全世界每年要发生几百万次地震，平均每分钟就有十几次。不过绝大多数地震比较微弱，人们感觉不到。强烈的大地震，一般每年不过三五次。然而这种大地震一旦发生，对人类造成的灾难是毁灭性的，因此地震预报十分重要。测量地震的仪器灵敏度越高越精确，地震预报就报得越早越准，就可把地震带来的损失减得越小。

现在让我们来看看，压电陶瓷是怎样在地震仪中起作用的。

地震发生的地方叫震源，震源一般在地壳内比较深的地方。从震源开始，震动不断向四面八方传播。震动是一种机械波，当地震仪中的压电陶瓷受到机械波的作用后，按照正压电效应，就会感应出一定强度的电信号，这些信号可以在屏幕上显示或是以其他形式表现出来。

由于压电陶瓷的压电效应非常灵敏，能精确测出几达因的力的变化，甚至可以检测到十多米外昆虫拍打翅膀引起的空气扰动，所以压电地震仪能精确地测出地震的强度。由于压电陶瓷能测定声波的传播方向，故压电地震仪还能指示出地震的方位和距离。可以毫不夸张地说，压电陶瓷在地震预报方面大显了身手。

压电超声医疗仪

生物医学工程是压电陶瓷应用的重要领域。用作生物医学材料的压电陶瓷称为压电生物陶瓷，如铌酸锂、锆钛酸铅和钛酸钡压电陶瓷等。压电生物陶瓷主要用于制作探测人体信息的压电传感器（如用钛酸钡压电陶瓷制作的心内导管压电微压器和心尖搏动心音传感器，用复合压电材料制作的脉压传感器）和压电超声医疗仪。

压电超声医疗仪中应用最广的是B型超声诊断仪。这种诊断仪中有用压电陶瓷制成的超声波发生探头，它发出的超声波在人体内传输，体内各种不同组织对超声波有不同的反射和透射作用。反射回来的超声波经压电陶瓷接收器转换成电信号，并显示在屏幕上，据此可看出各内脏的位置、大小及有无病变等。B型超声诊断仪通常用来检查内脏病变组织（如肿块等）。

压电陶瓷还可应用于超声治疗。进入人体的超声波达到某一强度时，能使人体某一部分组织发热、轻微振动，起到按摩推拿作用，达到治疗的目的，如用于治疗关节、肌肉及其他软组织的创伤和劳损。此外，还可用超声波粉碎体内结石，如胆结石、肾结石、尿路结石等。

陶瓷应用的新天地

陶瓷作为一种工程材料，较之金属、塑料等其他材料有许多无可比拟的优异性能，如耐高温、耐磨损、耐腐蚀、不老化，特别是随着脆性等缺点的逐渐克服，陶瓷的应用越来越广泛，陶瓷成了航天、航空、冶金、建筑、机械、化工、电子、生物医学工程等领域的关键材料。未来的科技对材料的要求越来越苛刻，陶瓷有可能成为解决技术难题的最有希望的材料。前面我们已对透明陶瓷、压电陶瓷的应用作了些介绍，下面再介绍一些陶瓷的其他应用实例。

宇宙飞行器的“头盔”

在晴朗的夜晚，抬头仰望灿烂的星空，有时会看到一道划破夜空的亮光、似昙花一现，稍纵即逝。这是高速运动的陨星与大气剧烈摩擦的结果，摩擦产生的巨大热量可以把陨星的大部分或全部烧毁。

当宇宙飞行器完成航天任务返回地球时，它面临着与陨星一样的处境。研究表明：当宇宙飞行器的飞行速度等于声速的3倍时，其前端的温度可达330℃；当飞行速度等于6倍声速时，可达1480℃。宇宙飞行器遨游太空归来，到达离地面高度60~70千米时，其速度仍保持在声速的20多倍，温度在10000℃以上，这样的高温足以把宇宙飞行器化作一团熊熊的烈火。高速带来了高温，这似乎是一道不可逾越的障碍。人们把这种障碍称为“热障”。

怎样使宇宙飞行器克服“热障”，安然地返回地面呢？科学家在分析了“宇宙不速之客”——陨石后发现，陨石表面虽已熔融，但里面的化学成分没有变化。这说明陨星在下落过程中，尽管表面因摩擦生热产生几千度高温而熔融，但由于穿过大气层的时间很短，热量还来不及传到陨石内部。这给科学家以启发：让宇宙飞行器的头部戴一顶用烧蚀材料做成的“头盔”，把重返大气层时摩擦产生的热量消耗在烧蚀材料的熔融、气化等一系列物理和化学变化中，“丢卒保车”，达到保护宇宙飞行器的目的。

一位宇航员曾亲眼目睹了宇宙飞船闯过“热障”的壮观：当飞船降落时，首先从舷窗中看到了烟雾，然后又看到了红色、金黄色、黄色、绿色、蓝色等五彩缤纷的火焰，同时还听到了噼噼啪啪的声音，这是飞船头部的烧蚀材料在燃烧，它们“牺牲”了自己，把飞船内的温度始终维持在正常的范围内，最后使飞船平安地到达地面。

作为烧蚀材料，要求气化热大，热容量大，绝热性好，向外界辐射热量的本领大等。烧蚀材料有很多种，其中陶瓷不失为一“佼佼者”。不过，单纯陶瓷材料的抗热冲击性能还经受不了如此激烈的温差变化，最好采用纤维补强。近年来，人们研制成功了许多具有高强度、高弹性模量的纤维，如碳纤维、硼纤维、碳化硅纤维和氧化铝纤维，用它们可以制成相应的纤维补强陶瓷复合材料。

我国著名科学家严东生院士领导下的中国科学院上海硅酸盐研究所，研制成功了火箭导弹头部用的烧蚀材料——碳纤维—石英复合材料和其他无机烧蚀材料，并将它们应用于我国第一代洲际导弹和远程火箭，成功地解决了端头超高温防热的技术难题，为我国的航天事业作出了贡献。

陶瓷发动机

陶瓷具有较好的高温强度、耐蚀性和耐磨性，尤其是氮化硅和碳化硅陶瓷，有可能作为高温结构材料来制造发动机。陶瓷发动机已成为当前世界各国竞相开发的目标之一。用陶瓷材料制造的发动机，具有以下优越性。

(1) 陶瓷的耐热性好，这可以提高发动机的工作温度，从而使发动机效率大大提高。例如，对燃气轮机来说，目前作为其制造材料的镍基耐热合金，工作温度在 1000℃ 左右；若采用陶瓷材料，工作温度可达 1300℃，使发动机效率提高 30% 左右。

(2) 工作温度高，可使燃料充分燃烧，排出废气中的污染成分大大减少。这不仅降低了能源消耗，而且减少了环境污染。

(3) 陶瓷的热传导性比金属低，这使发动机的热量不易散发，可节省能源。

(4) 陶瓷具有较高的高温强度和热稳定性，这可延长发动机的使用寿命。

我们知道，发动机是将其他能量（如热能等）转化为机械能的动力装置。其中燃气轮机是利用燃气推动涡轮（由叶轮和转轴组成）旋转做功，内燃机是用活塞在气缸中往复运动做功。目前汽车发动机一般用内燃机。从 50 年代开始，人们研究将燃气轮机作为汽车动力源。燃气轮机由于采用的是连续燃烧方法，燃料容易充分燃烧，因此可以使用多种燃料，是一种低公害、节省资源的动力装置。而且燃气轮机运行时振动较小，适用于赛车、重型载重汽车等（普通乘用车开车、停车频繁，难以充分发挥燃气轮机的优越性）。

首先让陶瓷获得应用的是高温燃气轮机。用陶瓷制造燃气轮机，不但有利于提高工作温度，降低燃料的消耗，而且陶瓷原料供应丰富，不存在资源紧缺的问题。用陶瓷来代替镍基、钴基等耐热合金，成本可降低到原来的 1/30。当然，陶瓷也可用于制造内燃机。在燃气轮机中可试用陶瓷制造的零部件有：叶片、燃烧筒、套管、主轴轴承等。在内燃机中可用陶瓷制造的零部件有：活塞内衬、气缸、预燃烧室、挺杆、阀门、喷嘴、涡轮增压器转子、轴承等。

据说，汽车发动机的所有零部件若都用陶瓷制造，其重量比现在的发动机轻 2/3，燃料费将下降 20%。看来，陶瓷是汽车产业在激烈竞争中的一张获胜王牌。

1977 年，美国福特汽车公司用氮化硅和碳化硅陶瓷制造了一台全陶瓷车用燃气轮机，并进行了运转试验，燃气温度为 1230℃，转速为 5 万转/分。这台燃气轮机成功地运转了 25 小时。

1982 年，瑞典鲍尔鲍和联合公司通过共同研究，用陶瓷制成了燃气轮机，并且进行了燃气轮机乘用车的实际行驶，首次在世界上取得成功。这台燃气轮机的涡轮工作温度为 1100℃（目标为 1350℃），转速为 5 万转/分（目标为 10 万转/分），运行了 10 小时。

我国在“七五”期间（1986~1990 年），有数十个单位在国家科委的组织下，协同攻关，研制成一系列陶瓷发动机的关键零部件，并装配成发动机。不仅顺利通过了台架试验，而且在大型公共汽车上完成了上海与北京间的往返装车路试，使我国成为世界上少数几个有能力进行陶瓷发动机装车路试的

国家之一。这种由陶瓷部件装配的发动机，燃油效率高，无需水冷却系统，特别适用于沙漠地区等恶劣环境。该机已进入西北沙漠地区进行性能考核。我国科学家还将研制工作温度更高的陶瓷燃气轮机，他们正为攻克陶瓷发动机难关而不懈地努力着。

陶瓷滚动轴承

滚动轴承是现代机械中的重要部件。它主要用于支承轴及轴上的零件，对整台机器的精度、效率和使用寿命有直接的影响。

滚动轴承从 19 世纪开始使用以来，至今已有 100 多年历史。目前全世界一年要生产 25 亿只滚动轴承，几乎每一台机器设备都要使用滚动轴承。滚动轴承较之滑动轴承具有摩擦系数小、消耗功率少、效率高的优点。它一般由外圈、内圈、滚动体和保持架四部分组成，常用合金钢制造，但同样可用陶瓷制造。

目前，这种陶瓷滚动轴承已经问世。一年一度的名古屋优质陶瓷商品交易会上，日本、英国、德国生产的陶瓷滚动轴承特别引人注目。陶瓷滚动轴承具有下列优点：

（1）陶瓷的耐蚀性好，所以陶瓷滚动轴承适合于在有腐蚀性介质的恶劣环境中工作；

（2）陶瓷滚动体的密度比钢低，转动时对外圈的离心作用力可降低 40%，故使用寿命长；

（3）陶瓷的热膨胀系数比钢小，在轴承的间隙一定时，允许在温差变化较大的环境中工作；（4）陶瓷的弹性模量比钢高，具有较好的刚度，有利于提高工作速度，达到较高的精度。

陶瓷滚动轴承的制造材料主要采用氮化硅陶瓷，其中含氧化铝和氧化钇添加剂的陶瓷强度要比含氧化镁的高。

日本已开发成功在高温下采用固体润滑剂的陶瓷滚动轴承，以及用液体或油脂润滑的钢—陶瓷组合滚动轴承或全陶瓷滚动轴承。

目前，陶瓷滚动轴承已应用于涡轮增压器、离心分离器、燃气轮机、柴油机和飞机发动机等。

陶瓷刀具

刀具也是陶瓷的一个重要应用对象。衡量刀具质量的高低，不在于在室温时硬度的高低，关键是在高速切削产生高温的条件下是否仍能保持高硬度。这种在高温时仍能保持高硬度的能力，称为热硬性或红硬性。陶瓷不仅具有高硬度、高耐磨性，而且高温下的热硬性仍较好，因此是理想的刀具材料。

陶瓷刀具材料主要有氧化铝陶瓷、氧化铝—碳化钛陶瓷（含 30% 碳化钛，目的是提高韧性）、氮化硅陶瓷和复合氮化硅陶瓷等。例如，在加工冷硬铸铁轧辊的时候，复合氮化硅陶瓷刀具可比普通硬质合金刀具切削速度快 5 倍，刀具寿命提高 20~30 倍，还能在间断切削工况下顺利工作，而这是硬质合金刀具无法完成的。

在 70 年代研制成功的立方氮化硼陶瓷刀具，其硬度仅次于金刚石，但耐