

## \* 科学与社会 \*

## 先进陶瓷与现代高技术

严 东 生\*

(中国科学院)

陶瓷是人类文明进程中第一种合成材料。这个发明大大改善了人类的生活质量,促进了冶金技术的发展,使生产力得到飞跃式的进步。

陶瓷的制备工艺复杂。长时期来,特别在中国,人们对制陶、制瓷的技艺有辉煌的成就,可称为科学与艺术结合的典范。

先进陶瓷是在传统陶瓷的基础上发展起来的。它涉及到元素周期表中除惰性气体外,几乎所有元素结合而成的无机化合物,因此在科学界也称它们为无机材料。和金属、有机高分子材料构成为三大类材料。

先进陶瓷的类别繁多,分别具有各种优越特性,如:

## 1. 力学性能

- 强度高,并能保持到远高于其它材料的温度
- 硬度大
- 耐磨损,摩擦系数低
- 弹性模量高,刚性好

## 2. 电学和磁学性能

- 绝缘性
- 导电性——电子及/或离子导电,超导性
- 介电性
- 压电性
- 半导性
- 磁性

## 3. 热学性能

- 耐高温
- 隔热性好——低热导材料
- 导热性好——高热导材料
- 热膨胀系数小
- 耐温度急变

## 4. 光学性能

- 透光性

---

\* 中国科学院学部委员、特邀顾问。

- 偏光透光性
- 荧光性

其它如化学特性、生物特性、核性能等不一一列举。

因此先进陶瓷是发展现代高技术的基本支撑,包括如:

- 微电子与信息技术
- 航空与空间技术
- 动力技术
- 新能源和高效节能技术
- 生态和环境保护技术
- 生物医学技术

.....

人类对自然界的客观规律的认识日益广泛、日益深刻。人类利用大自然的能力与愿望也就相应地与日俱增。感谢航空、航天技术的成就与发展,人类的活动范围将会越来越广。感谢信息技术的飞速进步,人类的活动节奏正在变得越来越明快。诗人的意境和科学、技术上的创新不断地从两个侧面相互接近。

深入分析这些可以预见的进步,人们会发现新材料,包括先进陶瓷是它们的核心,起着关键作用。或许可以说,没有新材料,就没有现代高技术。

从热力学原理,人们早已清楚发动机的热效率将随工作温度而大幅度提高(图1)。经过特别是近40年的努力,高温合金的工作温度提高了约 $300^{\circ}\text{C}$ ,达到 $1050\text{--}1100^{\circ}\text{C}$ ,接近了它的极限。

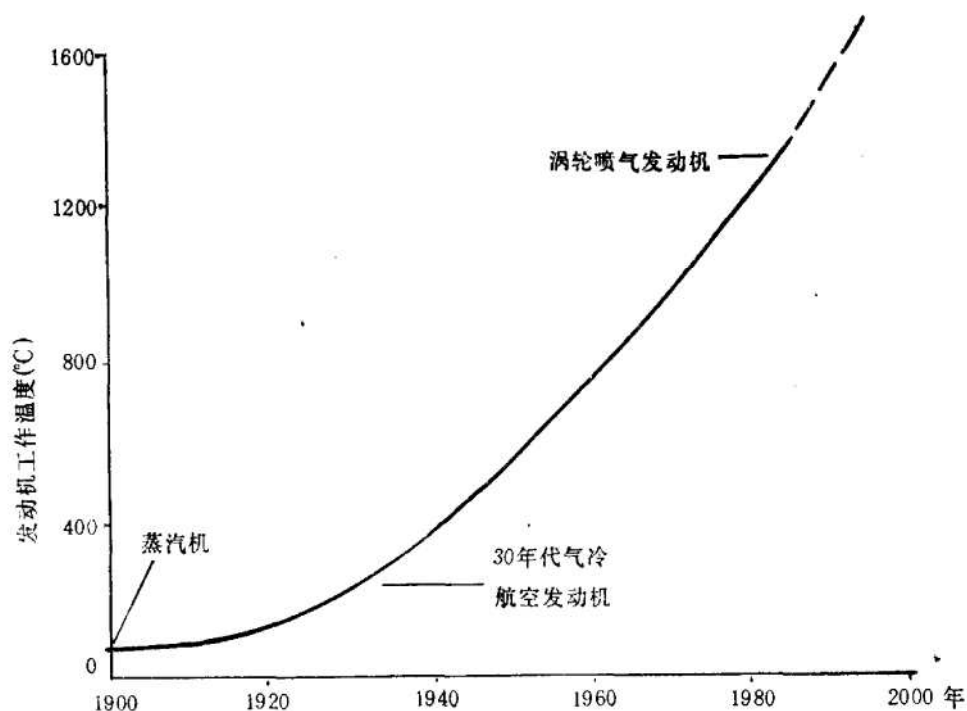


图1 本世纪40年代后发动机工作温度的提高趋势

70 年代、80 年代,美国、西德、日本、中国先后开展了庞大的计划,研究用于发动机的先进陶瓷。

对于柴油机,先进陶瓷材料与部件取得了重要进展。无水冷柴油机在干旱及沙漠地区使用,将提供很大方便。若干部件,如电热塞、涡流塞镶块、增压器涡轮转子等,都比原用部件有更大的功效,更长使用寿命(表 1)。涡轮复合绝热柴油机(Turbo-Compound Adiabatic Diesel Engine)则可明显提高效率,节省燃料。中国在 1991—1995 的工作重点是无水冷柴油机,降低材料与部件成本、提高其可靠性是两大工作内容。世界上有若干部件已批量生产,装在汽车上(Nissan, Suzuki, Toyota)。

作为燃气轮机用的先进陶瓷部件,美国 AGT-101、AGT-105 是两项有代表性的计划,现在的工作进程是已在 1370℃ 下,进行了 300 小时整机台架试验。预计在下世纪初可达到商业化水平。

陶瓷发动机在 2000 年前后如取得重大突破,将是先进陶瓷对人类的一大贡献。

表 1 陶瓷部件在无水冷柴油机中的试验情况

部 件	材 料	台架或道路试验
活塞顶	$\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$	400 小时 + >1000 公里
涡流塞镶块	$\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$	>2000 小时
挺柱	SiC	2000 小时
气门座	Y-TZP, Ce-TZP, Mg-PSZ	300 小时
喷油嘴针阀	Y-TZP	500 小时
涡轮转子	$\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$	50 小时
排气净化器	Cordierite	2000 小时
烟气过滤器	Cordierite	350 小时
活塞和气缸	SiC	350 小时
汽缸盖	Mullite	100 小时
电热塞	$\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$	>10000 次
汽缸头受热面涂层	$\text{ZrO}_2$ -Coating	500 小时
气门导管	$\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$	900 小时
气门	$\beta'$ -Sialon	300 小时
排气管衬里	Aluminum Titanate	25000 公里

先进陶瓷在信息技术的发展中,起着重要的作用。在信息处理、信息存储、信息传输和信息显示诸方面,都有先进无机材料起着关键作用。

先进陶瓷与航空航天技术也有着密切关系。1961 年 4 月 12 日加加林首次进入太空,开始了人进入宇宙的活动。

美国从 70 年代起研制多次使用的航天飞机。用火箭将航天飞机送入太空,完成任务后,在水平跑道上降落。航天飞机再入大气层时,要经受大气与机身表面摩擦产生的 1300—1650℃ 的高温。先进陶瓷解决了这个关键问题。现在使用的是纤维增强石英复合防热瓦和碳-碳复合瓦,数量达 2 万多块。这种有效的保护措施,使航天飞机已进行了几十次飞行,预计可往返飞行 100 次。这又是先进陶瓷支撑高技术的一个重要范例。

科学的发展是无止境的。这种航天飞机仍然相当昂贵。一次发射费用达 2—3 亿美元,每

次飞行后的维修、测试时间需 4—6 个月。可重复使用的价值只占发射费用的 16%。因此美国与欧洲联合又提出空间飞机 (Aerospace plane) 设想和计划。它可在常规跑道上起飞, 加速到 4 马赫的巡航速度, 再用助推火箭加速到进入地球轨道的速度。空间飞机的最大优点是结构相对简单, 没有需要抛弃部分, 操作与维修费用可望大幅度降低。它的关键问题之一, 仍是重量轻、强度高、抗高温、隔热的蒙皮材料。先进复合陶瓷将再次成为航天技术的先导。

以上的例子都充分说明先进材料和高技术的血肉关系。事实上, 人类的一部文明史, 可以归结为材料的发现、发展和使用的历史 (图 2)。人类文明进步的另一翼, 当然是文化、艺术的

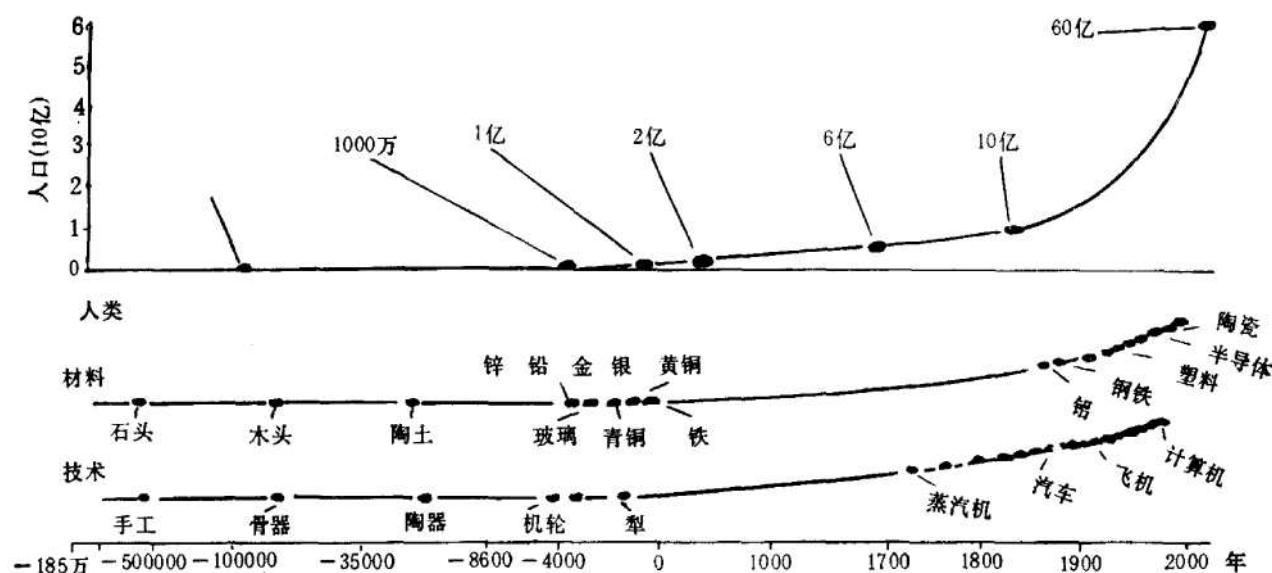


图 2 材料、技术与人类发展的历史进程

发展, 人类精神生活质量的提高和满足。正像李政道先生所说, 人类智慧的情感相互密切交织的关系, 使科学和艺术成为不可分割的两翼。我希望先进陶瓷和现代高技术这一部分人类智慧的活动, 能够为人类获得更美好的生活质量, 达到情感与精神的丰满, 贡献一点光辉。