

材料创新是产业革命的一大基石，卫星上天、太空探索，一次次成功的背后都有一种特殊的材料在默默支撑，它就是陶瓷基复合材料，也被称为“摔不碎的陶瓷”。传统陶瓷是以黏土等为主要原料烧结而成，主要成分是硅酸盐化合物，像我们生活中常见的碗、盘、卫生洁具、瓷砖等等，都属于传统陶瓷。但是，传统陶瓷有一个致命的缺点，那就是脆，很容易破碎。而“摔不碎的陶瓷”则是以陶瓷为基体，用相关高性能陶瓷纤维作为增强体复合而成，具有耐高温、寿命长、重量轻、强韧性和抗氧化等优异性能，是航空航天、核电等前沿科技领域的明星材料。20世纪七八十年代，这种特殊陶瓷材料只有法国、美国等少数国家有能力制备，其核心技术更是严格保密。为了迎头赶上，满足国家重大战略产业需求，我国科学家经过多年呕心沥血，使我国的陶瓷基复合材料技术从无到有，不断突破。

陶瓷基复合材料领域不能没有中国

20世纪以来，航空发动机上使用的叶片是以镍为主的高温合金，这种材料不仅价格昂贵，而且温度到了1100摄氏度就达到极限值了，寻找更合适的替代材料就成为促进航空发动机行业进一步发展的必然选择。“推重比”是衡量发动机性能的一个重要指标，通俗地讲，就是飞机发动机推力与发动机重力的比值，“推重比”越大，飞机动力就越强劲。而提高涡轮前进口温度，则可以提升航空发动机的“推重比”并降低燃料消耗。20世纪70年代，法国波尔多大学的纳兰教授首先研究出来一种连续纤维增强的碳化硅陶瓷基复合材料。陶瓷基复合材料因其耐高温、强度高、密度低、具有良好的抗氧化和耐腐蚀性能，从而成为接替航空发动机中高温合金的重要材料之一。

陶瓷基复合材料，它跟金属材料相比有什么特点呢？它比金属更耐高温。比如说航空发动机用的叶片，它是用镍基高温合金，这种材料很贵，但是它最多只能用到1100摄氏度，如果说推重比再增加，它就没有优势了。这种材料又重，耐温又低，而陶瓷基复合材料最高可以用到1450摄氏度，还有一些可以用到1650摄氏度，至少能比镍基高温合金提高300摄氏度以上。陶瓷基复合材料又轻又耐高温，和金属相比它就更具有发展潜力。所以，在航空发动机上就是要发展连续纤维增强的碳化硅陶瓷基复合材料。发动机轻了，而且可以承受更高的温度，它的推重比就提升了，发动机的性能随之提高了。

陶瓷基复合材料的“骨头”是什么呢？就是陶瓷纤维。这样的纤维研究难度极大，美国用的还是日本的纤维，而我国是完全独立自主研制核心材料，只有这样才能支撑我国陶瓷基复合材料的发展。研究硅陶瓷基复合材料的特性，比如做一个复杂的构件，怎么做呢？如果是金属就把它焊起来或者是铆接起来，我国陶瓷复合材料目前可以焊接、铆接，还可以和



金属连接。铆焊是我们团队发明的，这种技术可以用很简单的材料做出很复杂的构件。我们研究的硅陶瓷基复合材料，也被称为“摔不碎的陶瓷”。2004年获得国家技术发明奖一等奖。陶瓷基复合材料的创始人纳兰教授表示：你们的发展太快了，在这个领域已经不能没有中国了。

“摔不碎的陶瓷”在哪儿

航空航天对材料和材质的可靠性要求非常高。纵观人类探寻太空的历史，不难发现，往往因一个小零件材质出现问题，就可能酿成重大灾难。1986年美国挑战者号航天飞机在升空不久后发生解体，航天员全部遇难。事后查明，这一事故就是因为安装在航天飞机固体火箭助推器上的密封圈故障所导致。2003年2月1日，美国哥伦比亚号航天飞机在着陆前坠毁，七名宇航员集体遇难，事故的调查结果让所有人感到意外，隔热材料的脱落和不抗氧化是导致这架航天飞机失事的主要原因。这些惨痛事故的发生，都与航天飞机使用的部件材料直接相关。

而目前国际上航空航天领域更多是采用了这种被称为“摔不碎的陶瓷”的陶瓷基复合材料。这种材料在航空航天领域有着出色的表现，卫星、深空探测器等要长期在负180摄氏度的350摄氏度左右的环境中工作，需要既轻巧又能耐低温的材质。航空发动机、核电站、飞机的刹车盘等，则需要能耐1650摄氏度左右温度而且能够工作数百甚至数千小时、寿命更长的材质。液体火箭发动机、

冲压发动机、空天飞行器热防护系统等工作环境在2000摄氏度左右，而且需要能持续工作数十分钟至数小时。“摔不碎的陶瓷”因其具有耐高温，强度高、重量轻，良好的抗氧化和耐腐蚀性能，从大约负180摄氏度到大约2000摄氏度的温度范围，它都能承受并发挥作用，因此成为航空航天领域炙手可热的重要材料和构件。那这种材料在我国卫星运行、深空探测、飞行器等领域有哪些实际应用呢？又发挥着怎样举足轻重的作用呢？

陶瓷基复合材料处于整个材料金字塔的尖端，金字塔的形状就是越往底下量越大、技术含量越低，越往上面量越少、技术含量越高。陶瓷基复合材料，它是属于材料金字塔顶尖区域的一种材料，因为它的应用潜力非常大。

陶瓷基复合材料在航空航天方面应用广泛，1986年我国启动了“863计划”，当时就要做可重复使用的空天飞行器。这种飞行器的头锥和机翼前缘，都是用碳化硅陶瓷基复合材料做的。另外在高超声速飞行器上，陶瓷基复合材料也是不可缺少的。襟翼是控制飞机上下走的，长度大概有1.6米。我们查了国外的资料，我们的襟翼重量只是他们制作重量的60%，既轻又承力强。在高超声速飞行器上，这样一种先进材料有着广泛的应用前景。我国独创的超燃冲压发动机，它的应用条件很苛刻，要达到1600摄氏度的1800摄氏度，工作时间就是1600秒，也是用碳化硅复合材料制作的。

组成卫星的整个结构叫光机结构，光机结构里边有很多镜筒，还有其他构件，镜筒要能够抗超低温，金属抗零下180摄氏度不可能，但是陶瓷能抗零下180摄氏度低温。而且比

钛合金还减重了40%，因此在卫星上面应用的潜力也非常大。

但是陶瓷基复合材料在航空发动机上面的应用，我国和国际先进水平还是有差距的。美国通用电气公司，针对航空发动机在高压涡轮、喷嘴和叶片都用了陶瓷基复合材料，现在已经达到产业化的水平。但是他们用的纤维都是日本的纤维，而我们用的都是自主研发的纤维，在这一点上我们又有优势的。

陶瓷基复合材料在核能开发中的实际应用

随着技术不断进步，陶瓷基复合材料已成为航空发动机中不可或缺的重要材料，需求也不断上升。据相关部门预测，到2023年航空发动机市场对陶瓷基复合材料的需求将递增10倍。目前，国内外不少科技工作者正将陶瓷基复合材料推向民用市场，需求会进一步扩大。那么，除了在航空航天领域，我们可以再看看，陶瓷基复合材料在核能开发中有着怎样的实际应用呢？日本福岛核事故给人们带来了怎样的沉痛教训和科学警示呢？

日本福岛核事故发生的原因就是用铝合金做的核包壳管，它在压水堆上应用，温度上去以后，高温遇水产生氢气燃烧就发生了爆炸。后来国际上就发展用连续碳化硅纤维增强碳化硅陶瓷基复合材料来做核包壳管。这种直径10毫米，长4米，壁厚1毫米左右的管子做起来很难，国内一些厂家承担了这项任务。4米是很长的，它要求很直又不能变形，而且致密性还要好，因为里边要装核燃料。现在国际上的趋势就是发展陶瓷基复合材料

来做核包壳管。

刹车盘材料的新选择。原来是用碳碳（碳纤维增强碳基复合材料）作为刹车片，碳碳刹车片存在什么问题呢？它的静摩擦系数比较低，湿态的衰减就大，后来我们就发展碳陶（碳纤维增强碳化硅陶瓷基复合材料）来代替了碳碳。现在飞机和有些地面车辆的刹车盘就是用碳纤维增强碳化硅来做的。刹车盘用量很大，成本一定要低，我们发展出了成本比较低、效率比较高的制备方法。

从材料到工程化到产业化的应用，这里边得益于产学研的一个链条。上文提到的很多构件都是通过实验室做基本材料研究，然后到国家工程中心做转化，成为构件，最后再到企业去批量生产。所以产学研这个链条支撑了陶瓷基复合材料向高水平持续发展，这是非常重要的。

“摔不碎的陶瓷”未来发展方向

陶瓷基复合材料是重要的高科技



术材料，它的应用在一定程度上可以反映出国家航空航天等高科技产业的发展水平。它在研发、生产工艺、资本投入等方面具有高壁垒性，而发展耐2000摄氏度以上甚至更高温的超高温陶瓷基复合材料以及进一步降低成本、提高生产效率，这些都是我们进一步努力的方向。产业化的陶瓷基复合材料，对于推动我国交通运输、新型能源、冶金、化工、机械制造等行业的技术进步都将产生深远的影响。陶瓷基复合材料未来在高铁、重型卡车以及家用轿车等交通领域有着怎样的应用前景？

用做重型卡车的刹车盘。重型卡车下雨天刹不住车，因为刹车盘用的是金属盘子，就是粉末冶金盘子，湿态时它衰减大。如果重型卡车用碳陶刹车盘，湿态和干态是一样的，就能提高它的稳定性。但是现在碳陶刹车盘成本还很昂贵，怎么降低成本又保证性能，这是我们今后努力的方向。

用做高铁、地铁的刹车盘。高铁现在用的还是金属的刹车盘，比较重，如果用了碳陶刹车盘，那就轻多了。高铁变轻了以后，载客量、载货量都可以提高，而且碳陶刹车盘耐磨性好，又耐高温。以后高铁、动车碳陶刹车盘都可以发展，我们正在研究，也跟相关部门在合作。地铁也是一样，用了碳陶刹车盘以后，它安全性也更好了，而且载重也可以提高。

用做高档轿车的刹车盘。在欧洲高档轿车也用到了碳陶刹车盘，但是，价格很贵，每副盘子要300欧元。这属于潜在市场，以后会慢慢发展。怎样能降低成本保证质量，在我国轿车领域尽快地用上碳陶刹车盘，这也是我们奋斗的目标。

用做舰船燃气轮机的部件。陶瓷基复合材料在舰船上也有潜力，这方面的工作我们都在进行。陶瓷基复合材料可以用做舰船防腐蚀部件，因为它是耐腐蚀的。在舰船和海水直接接触的一些部位，如果用上陶瓷基复合材料的话，对舰船的可靠性和轻量化，是有促进作用的。

我国自主研发的纤维增强陶瓷基复合材料及其构件制备技术和连续碳化硅纤维和氮化硅纤维等纤维材料的制备技术，通过产学研结合形成了产业规模，可以满足我国各类构件的制备需求，有力支持了我国新型航空航天器和核能等领域装备的创新发展。陶瓷基复合材料构件的智能设计与制备技术是优化设计和降低成本制造构件的基础，应该加强研究和重点发展。



更多精彩内容扫码看视频

（上接1版）这个主题和梦想，在新民主主义革命时期，表现为中国共产党带领中国人民追求民族独立解放和人民自由幸福；进入社会主义革命和建设时期，则表现为中国共产党带领中国人民建设社会主义现代化国家，实现祖国的繁荣昌盛，满足人民对幸福生活的美好追求；进入改革开放和社会主义现代化建设新时期特别是中国特色社会主义进入新时代后，突出地表现为对全面建设社会主义现代化强国的追求，正是在不懈追求中，中华民族迎来了从站起来、富起来到强起来的伟大飞跃，中华民族伟大复兴的历程展现出走向富强民主文明和谐美丽的新图景。

中国式现代化,与社会主义建设紧紧连在一起

这个“紧紧连在一起”的意思就是说：中国式现代化，是从中国社会主义建设道路的探索中

来的。我们党对中国式现代化的认识是逐步深化的。自新中国成立以来，我们党始终坚定地沿着建设社会主义现代化国家、实现中华民族伟大复兴的目标迈进。为此，我们党一开始就按照一个五年的计划（规划）和一段一段的远景目标设想，逐步推动经济社会向前发展、逐步朝着现代化国家的目标迈进。尽管我们最初对“现代化”内涵的理解还不够全面，但走向“现代化”的目标是确定的，认识也是不断发展和深化的。

在我们党历经千辛万苦长期的早期探索 and 实践中，许多领导同志经过对国内国际社会反复比较，一些领导人通过自身亲历国外的印象，对西方的现代化是个什么样子以及中国当时的落后状况，是有着切身体会、强烈比较和深刻认识的。1949年4月，在思考建立一个什么样的新中国的过程中，周恩来明确指出：“中国太落后，现代性工业在国民经济中只占百分之十左右，需要用极大

的努力才能使国家现代化。”这就是周恩来对新中国设想中的一个重点方向，也就是“现代化国家的方向”。

其他方面的现代化设想，也随着新中国建设，一步步展开。从老一辈革命家留下的一系列文献集中我们能够看到，自1949年12月到1975年，他们不断提出“农业现代化、农业机械化”“建设现代化的城市，发展现代化的工业”“现代化的大生产”“现代化的重工业”“工业现代化、国防现代化”“现代化的交通运输业、轻工业、农业”等现代化问题，同时阐述了各个产业之间的关系，涉及各个门类现代化建设之间的相互协调的问题。这就是我们今天所说的，中国式现代化是各种文明之间相互协调的现代性，是有着切身体会、强烈比较和深刻认识的。1949年4月，在思考建立一个什么样的新中国的过程中，周恩来明确指

出：“中国太落后，现代性工业在国民经济中只占百分之十左右，需要用极大

略安排，即从第三个五年计划开始，第一步用15年时间建立一个独立的比较完整的工业体系和国民经济体系，第二步，再用15年时间，在20世纪末实现工业、农业、国防和科学技术“四个现代化”的目标。由此也开启了两个重要概念：一是以工业、农业、国防和科学技术为抓手的“四个现代化”概念；二是中国共产党领导中国现代化建设的“两步走”发展战略概念，这就是“两个十五年”设想的起源。

中国式现代化,与改革开放伟大进程紧紧连在一起

这个“紧紧连在一起”的意思就是说：中国式现代化，是从改革开放和中国特色社会主义发展道路中来的。进入改革开放和社会主义现代化建设新时期，我们党进一步深化建设社会主义现代化国家的宏伟目标。在“四个现代化”基础上进一步丰富发

展。1979年12月，邓小平在会见日本首相时指出，我们要实现的四个现代化，是中国式的四个现代化。我们的四个现代化的概念，不是像你们那样的现代化的概念，而是“小康之家”。第一次提出了“中国式”四个现代化的重要概念，有力推进了中国特色社会主义现代化建设。

进入中国特色社会主义新时代，党的十九大提出了新的“两步走”战略，确定从2020年到2035年，在全面建成小康社会的基础上，再奋斗十五年，基本实现社会主义现代化；从2035年到本世纪中叶，在基本实现现代化的基础上，再奋斗十五年，把我国建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国。党的二十大重申了全面建成社会主义现代化强国的“两步走”战略安排。

从中国式现代化历程与中华民族伟大复兴进程的逻辑关系中，我们可以清晰地看出：中国共产党对建设社会主义现代化国家在认识上不断深入、在战略上

不断成熟、在实践上不断丰富；党和人民建设社会主义现代化国家的意志和决心始终没有动摇。所以说，我们全面建设社会主义现代化国家有着坚实的实践基础、理论基础和制度基础。

中国式现代化发展逻辑，充分说明了我们党对历史发展客观规律的深刻把握，充分证明了通过中国式现代化推动中华民族伟大复兴这一历史进程的不可逆转。正如习近平总书记所说，改革开放和社会主义现代化建设深入推进，书写了经济快速发展和社会长期稳定两大奇迹新篇章，我国发展具备了更为坚实的物质基础、更为完善的制度保证，实现中华民族伟大复兴进入了不可逆转的历史进程。理解了这样的历史发展逻辑，就清楚了中国式现代化的历史来源，才能理解习近平总书记提出并亲自阐述的“中国式现代化”这一概念和理论体系的深远用意。

（作者系中央党史和文献研究院对外合作交流局局长、研究员）