

在陶瓷、稀土、合金、有机硅等新型材料中，有一种材料具有十分独特的优越性，它就被誉为“新材料之王”的碳纤维。小到球拍、钓鱼竿等民用产品，大到飞机、卫星和导弹等高精尖设备，都是碳纤维大展身手的领域。正是因为有着耐高温、耐腐蚀、重量轻等诸多特殊性能，碳纤维一直以来都是国外进行技术封锁和产品垄断的战略物资。再加上碳纤维的制造难度高、工艺复杂等原因，导致我国碳纤维的研究和发展在过去很长一个时期处于落后状态。

20世纪80年代，我国组织全国力量开展碳纤维研制攻关，近年来已相继实现了多个系列和级别的碳纤维国产化，而且解决了宇航级碳纤维的自主保障问题，使我国成为继日本、美国之后第三个掌握宇航级碳纤维技术的国家。

随着航空航天、风力发电、氢能源和新能源汽车等产业的发展，碳纤维行业正步入发展的快车道。在碳纤维的研究领域，我们实现了哪些重大突破？未来在碳纤维产业化的道路上，我们还有哪些问题亟待解决？

碳纤维为什么神奇

一桶标准的碳纤维，重约1公斤，长15000米。它的颜色黑黑的，其貌不扬，但是它确实很神奇。它是由我们人造的有机纤维经过高温转化得到的含碳量达到90%以上的一种无机纤维，也叫“黑黄金”。为什么说是神奇的碳纤维呢？主要体现在五个方面。

第一是细如发丝。碳纤维直径大概在5—8微米。

第二是轻如鸿毛。碳纤维的密度是钢的五分之一，是钛的五分之二，是铝的五分之三。用碳纤维做成的自行车，重量仅仅5公斤，一位女士就可以很轻易地把它单手提起来。

第三是强如钢铁。碳纤维很强，首先它的强度高，一束标准12K碳纤维，可以承受130公斤左右的重量。其次碳纤维非常耐高温，碳纤维在3000摄氏度下依然安然无恙。

第四是制备非常难。它的制备难度与航空发动机制造、芯片制造、微纳制造是可以比拟的，它也是集人类工业文明之大成的一个杰作。碳纤维制备流程非常长，它包括上百个细分的工序，目前统计有两千多个要控制的参数，是一个确确实实需要千锤百炼的过程。有专家统计，如果纯粹靠实验来研制碳纤维，所需要做的实验次数是10的6次方到10的7次方。如果每天做10次实验，碳纤维的研制需要上千年甚至更长的时间，所以是一个非常艰难的研发、制备过程。

第五是贵如黄金。因为碳纤维的制备非常难，流程非常长，所以它非常贵。目前宇航级的碳纤维，它的价格每公斤在千元到万元这个范围，是钢和铝合金的几十倍。

碳纤维还有其他很多优点，比方说它的耐腐蚀性能好，能耐各种酸、碱、油，还包括海洋环境，它的耐腐蚀性能优于黄金和白金。同时碳纤维还有一个非常奇特的特点，就是它的膨胀系数接近0，在负100摄氏度到正100摄氏度之间，它的尺寸基本保

如何认识神奇的碳纤维

□ 李仲平



李仲平（1964.08—），复合材料专家，中国工程院院士。现任中国工程院党组成员、副院长。长期从事航天极端环境复合材料应用基础研究、工程应用研究以及型号研制。负责并带领团队探明天线罩热透波、隔热复合材料微观烧蚀、高效防隔热等机理，提升一代、发展两代防隔热材料体系；创新发展烧蚀隔热树脂液体成型方法与应用技术，成为烧蚀隔热复合材料主要工艺；主持我国宇航级碳纤维国产化攻关，构建研制技术体系与自主保障能力；主持创建我国第一代临近空间材料体系，支撑了临近空间与高超声速飞行器引领发展；研制出系列新材料与隔热结构，支撑保障了再入机动、精确制导、滑翔、小型化等型号跨代发展及探月、探火等航天重大工程成功。曾获国家科技进步特等奖1项、一等奖1项、二等奖2项。

持不变。另外把碳纤维做成复合材料以后，它的抗疲劳性能非常好。

碳纤维有什么用

碳纤维材料从无到有，经历了100多年的历史。它的出现推动了相关领域的技术进步，同时也形成了一个巨大的消费市场。据相关数据统计，目前全球碳纤维产能已经突破了10万吨量级。如此数量的碳纤维究竟被应用在哪些领域？它又如何改变着我们的生活？

碳纤维有什么用？主要包括以下三个方面。

第一，碳纤维是航空航天竞争力的一个重要标志。中国已经成为世界上第三个自主拥有卫星导航系统的国家。在这方面碳纤维是功不可没的。北斗卫星，看起来就像一座房子带着两只翅膀，它的房子和翅膀都是用碳纤维复合材料做的。为什么要用碳纤维？首先，卫星要装足够多的仪器设备，要求它的结构重量比要小于5%，所以必须用碳纤维；其次，卫星的天线、相机等设备要求很高的精度，要解决热变形的问题，碳纤维正好有这方面的优势，所以现在包括北斗卫星在内的高性能卫星都是碳纤维复合材料化的卫星。

第二，碳纤维是提升竞技体育成绩的一个制胜法宝。碳纤维在体育器材上应用广泛。碳纤维的网球拍现在已经成为冠军选手必备的装备。用碳纤维制作的网球拍，最高球速可以达到每小时将近250公里，但是高性能的铝合金网球拍只能达到每小时200公里左右，速度提高了20%以上。刚刚退役的网球运动员费德勒，就是用Pro staff这种碳纤维网球拍获得了20

届大满贯的冠军。

第三，碳纤维将是第四次工业革命一个重要物质支撑。即将到来的星际航行、清洁能源和人工智能时代，碳纤维也将大有作为。人类要进入宇宙空间，要探索月球，要进行载人登月，要探测火星，也有可能要进行载人火星探测，要探索其他行星和小行星。无论进入宇宙空间到驻留宇宙空间，再到探索宇宙空间，包括今后建立宇宙空间的科考站，碳纤维都是不可或缺的。

今后会有大量的智能机器人，以机器人为代表的智能装备，必须解决结构重量的问题，要轻量化，以保证它们的行走里程、续航时间等指标的完成。另外，这些智能装备、机器人必须具备动态响应特性，碳纤维的复合材料在这方面有其他材料不可比拟的优势。在第四次工业革命前夕，在即将进入智能化、智慧化社会这个过程中，碳纤维和碳纤维复合材料将发挥越来越重要的作用。

我国在碳纤维领域有哪些重大突破

性能优异的碳纤维，因为制备难、技术壁垒高等特点，逐渐成为全球在材料研究领域展开竞赛的目标。特别是由于发达国家对碳纤维技术进行严格的专利保护和全面的技术封锁，导致新兴国家在发展碳纤维上举步维艰。我国早在20世纪50年代后期就展开了碳纤维的技术研究，但由于基础研究落后，碳纤维的产业发展一直在低水平徘徊，与国外的差距逐渐拉大。

2000年以后，全球碳纤维供不应

求，进口碳纤维非常困难，严重影响国防安全。在此关键时刻，2001年，83岁的战略科学家师昌绪院士给中共中央写了《关于加速开发高性能碳纤维的请示报告》，得到高度重视，对推动我国碳纤维研发与投入产生了深远影响。

历经多年艰苦攻关，如今我国宇航级碳纤维的产品性能已经达到国外同类产品水平。从落后到奋起直追，我国在碳纤维研究的关键技术上取得了哪些重大突破？未来在碳纤维应用领域，还有哪些亟待开拓的空间？

我们解决了国产宇航级碳纤维的有无，这是一个很不简单的事情。到目前为止，中国碳纤维主要的成绩体现在以下三个方面。

第一是突破了碳纤维制备的关键技术，相继实现了系列碳纤维（包括T300级、T700级和T800级）的国产化，解决了航天、航空等国防工业的自主保障问题。

第二是建立了若干高水平碳纤维和复合材料的研发研制平台，形成了包括高校、科研院所、大型企业在内的研发格局，正在推动碳纤维和复合材料的发展进入一个新阶段，这个新阶段可以说是从量变到质变的过程。

第三是在这些工作的基础上，建立了百吨级的宇航级碳纤维生产线，后续又相继开工了工业级的一些碳纤维生产线，所以国外碳纤维的价格就发生了很大变化。大概2009年到2014年这5年，T700这种工业级的碳纤维价格降到了原来的三分之一，宇航级碳纤维价格降到了以前的十分之一。所以自主解决碳纤维的有无，无论是从经济上，还是从社会效益方面都有很大的贡献。

2010年后，地方政府的积极性和热情大涨，民营企业投资的热度非常高，所以国内的碳纤维生产线放量建设，最多的时候碳纤维企业达到了40多家。近两年这种放量的趋势正在放缓，在高质量发展的推动下，现在不再一味追求增加产能。近期我国大型国企正在寻求建立高水平的研发团队和研发平台，推动产业的升级和转型。

未来碳纤维的产业之路该如何走

在应用方面，现在碳纤维还比较普遍地存在用不起和不会用的问题，很多工业领域目前还不会用碳纤维。现阶段形成了碳纤维发展的一个天花板，但是这个天花板不是固定的。目前亟须解决以下几个问题。

实现物美价廉。要做到价廉，解决贵的问题，首先是降低成本，就是把生产线的效率提上来，包括工艺装备的容量，聚合釜的容量，纺丝的幅宽，碳化的幅宽。这中间装备的设计和研制是非常关键的，应该尽快解决单线产能从数百吨级提高到两千



吨级。

拓宽应用领域。要扩大应用，首先是扩大我国民用航空的应用。未来，中国在20年内需要9000架民用客机，年均大概是450架。如果每架飞机碳纤维平均用量能达到5吨，那么碳纤维的年均需求就可以达到2250吨，这个数量远远超出我国目前军用、国防、航空碳纤维的用量，可以有力地拉动碳纤维的应用和发展。

汽车轻量化和绿色低碳化这个发展潮流不可阻挡，也将为我国碳纤维和复合材料行业带来巨大的市场拉动力。据估计，2025年中国的汽车产量将达到3000万辆，如果每辆汽车用5公斤碳纤维，这样碳纤维的总用量也能达到15万吨，这是碳纤维一定要千方百计突破的一个应用出口。

还有一个很重要的方面，我国碳纤维在体育用品方面的用量，2020年已经达到了1.46万吨，但是主要是带料加工，用的主要还是国外的纤维，这是一个很大的市场。因为中国的人口基数大，同时还能带动我国健康产业碳纤维应用，这个市场也能达到数万吨的规模。

加大自主创新。要创新发展，加快解决高强、高模、高初这一类碳纤维的自主发展问题。我们不可能从国外跟踪甚至引进来解决这个问题，需要做碳纤维和用碳纤维的人一起来解决第三代先进复合材料创新的问题，要抢占科技制高点。

另外，创新发展还有一个很重要的方向，就是要发展颠覆性的低成本技术，如果能实现这样一个目标，就是划时代的成就。要把碳纤维的价格降到每公斤10美元以下，现在距离这个目标还有比较大的距离。能不能另辟蹊径？从目前来看有两个方向。

第一就是变革性的原丝技术，不用现在的聚丙烯腈，用天然纤维（天然废物的纤维），像木质素，或者用非常容易制造的低成本的有机纤维，甚至还有人提出可以用澳大利亚的羊驼跟其他原材料一起混纺的纤维，这些途径都值得探索。目前迫切需要变革性的原丝技术，因为原丝的成本在碳纤维成本中占到了50%左右。

第二就是要发展变革性的碳化技术，碳化的成本也占到了碳纤维成本20%以上。现在有一些方向，要做短流程的碳化，用等离子体辅助的碳化这样一些变革性的碳化技术，碳纤维最终实现大规模工业应用，进入千家万户，要跨过这个门槛。

现在来看，世界上无论从碳纤维本身，还是从碳纤维的应用，仍然存在巨大的未知和没有开拓的空间。随着科技和工业革命的深入发展，碳纤维必将大展宏图，既能够帮助我们遨游太空，也将走入千家万户，真正成为第四次工业革命重要的助推力量。



更多精彩内容扫码看视频

营造有利于青年科技人才脱颖而出的环境

□ 刘明熹 万劲波

当今世界，新一轮科技革命和产业变革加速演进，科技创新成为国际战略博弈的主战场，围绕科技制高点的竞争空前激烈，而科技竞争的实质是人才竞争。作为国家战略科技人才的重要组成部分，当代青年科技人才的成长与我国2035年实现跻身创新型国家前列的时间高度契合。青年科技人才是国家创新活力之所在，也是科技进步希望之所在。

青年科技人才是我国科技事业发展的中坚力量。党的十八大以来，中央、部门和地方多措并举强化青年人才培养使用，储备了一大批有潜力的优秀青年科技人才。“十四五”规划纲要提出，实行“揭榜挂帅”“赛马”等制度，鼓励支持青年科学家创新。国家重点研发计划在纳米科技、蛋白质机器与生命过程调控、合成生物学、量子调控与量子信息、发育编程及其代谢调节、干细胞及转化研究等基础前沿类重点专项中专门设立青年科学家项目，支持35岁以下青年科学家承担国家科研任务，不受研究内容和考核指标限制。据统计，截至2021年底，国家重点研发计划参研人员中45岁以下的科研人员占比达80%以上。2016—2020年，科技部支持青

年科学家项目共计235项，涉及国拨经费8.74亿元，平均支持强度372万元。中国科协于2015年起实施“青年人才托举工程”，每年通过所属学会选拔一批32岁左右的青年科技人才进行连续3年的稳定资助培养，截至2021年底累计培养青年人才约2100人。近日，科技部等五部门联合印发《关于开展减轻青年科研人员负担专项行动的通知》，围绕青年科研人员挑大梁、增机会、减考核、保时间、强身心等方面开展新一轮减负行动，体现了国家关心、支持青年科技人才成长发展的决心。

长江后浪推前浪，青年正在成为我国科技创新的“弄潮儿”。据《中国科技人力资源发展研究报告（2020）》显示，截至2020年底，我国39岁及以下科技人力资源约占四分之三，年轻化特点和趋势明显。据统计，我国航天探月工程五大系统的主任设计师甚至总设计师，大多数是三十多岁的年轻人。北斗卫星团队核心人员平均年龄36岁，量子科学团队平均年龄35岁，中国天眼研发团队平均年龄仅30岁。嫦娥团队、神舟团队等航天科技团队，都是由一大批青年科技人才挑大梁、担重任，展

现了新时代中国青年奋发进取的精神风貌。

多措并举强化青年人才培养使用。青年人才是国家战略人才力量的源头活水。建设科技强国和人才强国，关键在于青年科技人才的培养与使用。要坚定人才培养自信，完善优秀青年人才全链条培养制度，培养具有国际竞争力的青年科技人才后备军，用好用活人才，大胆使用青年人才。

一是充分发挥院士和科技领军人才的“传帮带”作用。院士和科技领军人才是科研领域的“关键少数”，要围绕“识才、育才、用才”做好“四个表率”，支持、引领、带动更多青年科技人才扎扎实实搞研究、端端正正做学问。大力弘扬科学精神和科学家精神，发扬学术民主，破除论资排辈、圈子文化，奖掖后学，为青年人创造更多出彩机会，鼓励青年人大胆创新、勇于创新。

二是敢于让青年科技人才“挑大梁、当主角”。深化人才培养体制机制改革，为青年人才搭建干事创业平台。加大国家重大人才计划、科技项目、科研基金对青年科技人才的支持力度。如减负行动3.0在“挑大梁”

方面，明确要求国家重点研发计划40岁以下青年人才担任项目（课题）负责人和骨干的比例提高到20%，在中国科学院新开工建设的国家重大科技基础设施工程指挥部中新设立副总师岗位，由45岁以下青年科研人员担任。总之，相关单位要大胆使用甚至破格使用优秀青年科技人才，营造青年科技人才脱颖而出的良好微生态。鼓励科研单位和社会力量加强青年科技人才奖励，有意识地支持青年科技人才参与国际科技合作与交流活动，支持青年科学家加入国际科技组织并发挥作用。

三是建立符合人才成长规律的评价机制。完善以创新价值、能力、贡献为导向的青年科技人才评价机制。构建能够促进青年科技人才脱颖而出的人用体系和评价体系，在重大科技项目申报、重大人才工程等方面不唯职称，不简单以年龄作为限制，真正让更多青年科技人才有成长机会。如减负行动3.0在“增机会”方面，明确要求推动有条件的科研单位设立职业早期青年人才培养专项，对新入科研岗位的博士毕业生、博士后给予不少于5年的非竞争性科研经费支持。同时，在“减考核”方面，明确要求

合理评价青年科研人员实际工作贡献，避免仅以有署名的成果作为考核评价依据，避免简单强调成果转化数量、金额。给予青年科技人才足够的创新空间和容错空间，鼓励探索、包容失败。

四是解决青年科技人才的“后顾之忧”。给予青年科技人才长期稳定支持，资助一批取得突出成绩且具有明显创新潜力的青年人才。完善“高层次人才分类目录”，畅通青年科技人才晋升通道。在住房、落户、子女入学等方面给予青年科技人才更多保障，助其潜心科研。在全社会营造崇尚科技创新、尊重青年人才的良好氛围，激励更多有志青年投身科研。如减负行动3.0在“保时间”方面，强调确保青年专职科研人员工作日用于科研的时间不少于五分之四；在“强身心”方面，要求定期组织青年科研人员开展心理健康咨询和心理疏导，推动开展“每天运动1小时”活动。

