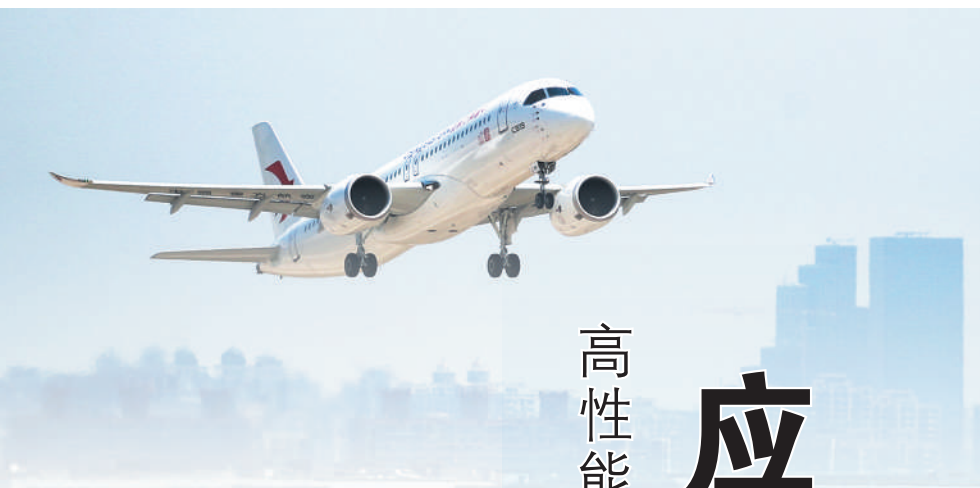


高性能碳纤维

应用前景广阔的新材料

徐 坚



开卷知新

习近平总书记指出：“新材料产业是战略性新兴产业，也是高技术竞争的关键领域，我们要奋起直追、迎头赶上。”新材料的开发应用，能够推动技术进步和产业升级，甚至推动人类社会迈上新台阶，比如半导体材料就带我们走进了信息社会。

放眼世界，材料学研究不断取得新突破，先进钢铁材料、先进有色金属材料、先进石化化工材料等一批新材料纷纷涌现，为制造业和经济社会发展注入强劲动能。碳纤维就是新材料中应用非常广泛的一种。

一副由碳纤维制造的自行车车架，重量仅600克左右，相当于3个苹果；一根1米长的T1000级碳纤维，手指粗的一束，重量只有0.5克，可以拉动两架民航客机；碳纤维制品可在3000摄氏度高温下安然无恙，能在酸、碱、油、盐等各种腐蚀性环境里使用……碳纤维具有强度高、模量高、耐高温、耐腐蚀、重量轻等诸多优异性能，在现代制造业中应用前景广阔，被誉为“工业黑色黄金”。

细如发丝、轻若鸿毛、强过钢铁

碳纤维是一种碳含量在95%以上的无机纤维，由不同原料经聚合、纺丝、氧化、高温碳化而成。根据原料种类，碳纤维主要有聚丙烯腈基碳纤维、粘胶基碳纤维和沥青基碳纤维3种。其中，以石油化工产品聚丙烯腈为主要原料的聚丙烯腈基碳纤维，占世界碳纤维总产量的90%以上，是高性能碳纤维的最主要来源。

碳纤维具有细如发丝、轻若鸿毛、强过钢铁等优异性能。碳纤维直径通常为5—7微米，只有头发丝1/10左右粗细，密度较小，一般为钢的1/5、钛的2/5、铝的3/5。虽然“身轻体薄”，碳纤维强度却非常高，一般为钢的35倍。实际应用中，通常会有一定数量的碳纤维“细丝”像编绳子一样缠绕起来，一束标准的12K（即1.2万根）碳纤维不到一支铅笔粗，却可以承受130千克左右的重量。与此同时，碳纤维能在3000摄氏度高温下安然无恙，在零下100摄氏度到100摄氏度之间，其尺寸基本保持不变，并且能在高腐蚀性环境里使用，可谓“真金不怕火炼”。

要想获得这样的特性并不容易。碳纤维制备流程长、工艺复杂，难度堪比芯片和微纳光刻。碳纤维制备流程包括上百个细分工序，涉及高分子化学、高分子物理、材料科学、高分子加工与纺丝工程、工业自动化控制、高温工程等，其工艺控制点上千，工艺参数超过

万项，每一项参数的变化都会影响碳纤维的最终性能。当前世界上最先进的芯片光刻技术达到几纳米尺度，与之相似，高性能碳纤维也要求碳纤维内部缺陷控制在10纳米以内。碳纤维还要经过从普通室温到1700摄氏度甚至2500摄氏度的高温碳化，且温度精度要控制在5—10摄氏度，难度可见一斑。可以说，每一束碳纤维材料都是千锤百炼得来的。因为技术要求高、制造难度大，碳纤维价格比较昂贵，宇航级碳纤维价格在每千克数千到万元之间，是钢和铝合金价格的几十倍，但碳纤维凭借优异性能，依然成为国民经济和国防建设不可或缺的关键材料。

现代制造业的支撑性材料

碳纤维兼具碳材料的高强度和纤维纺织材料的柔软可加工性。一束手指粗的高强度碳纤维可以拉动飞机，碳纤维还可以编织成纤维布，根据需要编织剪裁成特定形状，经树脂固化变成比高强度钢强度更高的材料。因为拥有多种优异特性，碳纤维应用广泛，成为航空航天、电力、交通运输等高端装备、重大基础工程、新能源等领域重要支撑性材料。

在航空航天领域，碳纤维的用量常被作为衡量航空航天装备水平的重要标志。碳纤维复合材料可以用于飞机、卫星、火箭等的制造，还能帮助产品减小噪声、节约燃料。例如，民航客机使用碳纤维复合材料叶片，重量比传统钛合金减少500多公斤，机身整体重量减少1吨，飞机油耗大幅度降低，航程实现有效提升。将碳纤维加入推进剂和发射药中，还能改善推进剂的力学性能，提高推进剂燃烧速度，改善发射药的燃烧性能。

在与民生息息相关的汽车和风电领域，碳纤维成为提升性能利器。碳纤维复合材料的密度低、重量轻、刚度大、吸力大，碰撞时材料吸能能力高出钢结构6到7倍。将碳纤维复合材料用于汽车制造，能大幅提升汽车的加速性能、制动性能、减震性能、安全性能。比如高端精密的一级方程式赛车，各车型无一例外地应用碳纤维增强聚合物基复合材料制造车架、车身、底盘等，使车身减轻质量40%到60%，相当于钢结构质量的1/3到1/6，还保持了足够的强度和刚度。基于碳纤维材料，有的汽车生产企业已经制造出车身重量不到300千克的超级跑车。

在风电设备方面，叶片主梁是碳纤维复合材料的首选之地。这些主梁长度往往超过70米甚至达到120米，使用大丝束碳纤维进行制造，可以明显降低叶片重量，增加叶片刚

度，产品性价比大幅提升，整个机组的发电效率、稳定性也随之提高。

在体育运动装备制造中，碳纤维也能一展身手。目前，将碳纤维用于高端体育装备制造，可以帮助运动员突破极限，创造新纪录。如在网球拍、自行车、高尔夫球杆、滑雪板、皮划艇制造中，充分发挥碳纤维材料重量轻的优势，可以减轻运动员“负担”。与铝合金球拍相比，运动员使用碳纤维制作的网球拍，可以将击打的最高球速提高20%，达到250公里/小时。未来，随着技术提升和成本降低，将会有更多运动装备用上碳纤维。

产学研结合，做强碳纤维产业

进入新世纪以来，我国组织优势科技力量，开展碳纤维科学技术攻关。经过20余年不懈努力，碳纤维工程化、产业化、国产化取得突破性进展。今年8月，国产T1000级聚丙烯腈基碳纤维千吨级工业生产技术，通过专家委员会技术鉴定。紧接着，全国首个万吨级高性能碳纤维生产基地在西宁建成。中国碳纤维产业从无到有、从有到大、从大到优，技术水平和产业化发展势头良好，研究应用进入高速发展新阶段。

在这一产学研深度融合的生产领域，向市场提供种类丰富、质量稳定、产量充足、价格合理的系列产品，是碳纤维技术迭代升级的关键所在。按照国际通行标准，碳纤维产品会根据强度、模量划分为不同型号，如高强、高模、高强中模、高强高模等系列，其中高强系列又按拉伸强度分为T300、T800、T1000等型号。应用领域不同的碳纤维产品，好比一个个科研题目，需要逐个攻破。即便最低等级的T300碳纤维，强度也是一般汽车防撞梁的数倍，研发难度可想而知。在分子设计、聚合工程、凝固成型、装备精细化控制等软硬件技术合力支持下，我国在“十五”至“十三五”期间，先后突破T300、T700、T800级别聚丙烯腈基碳纤维关键技术，实现规模化生产。2022年，我国碳纤维产量已占全球1/3。

产量上去了，超高性能碳纤维生产也亟待我们“登顶”，实现规模化、稳定化生产。T1000级碳纤维是目前全球强度最高的碳纤维系列之一。国内碳纤维生产企业与深圳大学协同攻关，攻克了这项技术。经国内权威机构检测，在年产1700吨生产线上制备这类碳纤维产品，性能达到国际同级产品水平，产品质量合格率高于95%。随着生产稳步推进，T1000级碳纤维材料将助力满足我国高端工业领域日益增长的迫切需求。

在政策和市场双重推动下，我国碳纤维技术不断提升，碳纤维产业链逐渐完善。从奋起直追、迎头赶上到再接再厉、勇攀高峰，在实现高水平科技自立自强的路上，碳纤维技术贡献更加坚实的“中国强度”。

（作者为深圳大学教授、中国复合材料学会副理事长）

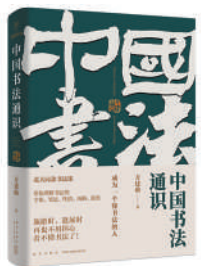
上图为部分使用碳纤维材料制造的C919客机。 资料图片 左图为碳纤维生产车间。

徐 坚 供图
版式设计：沈亦伶

推荐读物

《碳纤维复合材料轻量化技术》：《碳纤维复合材料轻量化技术》编委会著；科学出版社出版。
《碳纤维及石墨烯》：贺福编著；化学工业出版社出版。

新书架



《中国书法通识》：方建勋著；新星出版社出版。

本书从书体、笔墨、性情、书写、观念和再造等维度，赏析名帖佳作，阐释中国书法之美。



《我把理想写进空间站》：刘伯明著；中国宇航出版社出版。

本书是航天员刘伯明执行神舟十二号任务期间的航天日记，记录了作者巡天之旅的过程和感受。

展开气势磅礴的黄河画卷

杨国斌



《黄河画传》：全国政协文化文史和学习委员会主编；江苏人民出版社出版。

新中国成立以来先后实施的“蓄水拦沙”“上拦下排，两岸分滞”“调水调沙”等一系列治河方略中，见证黄河岁岁安澜的巨大历史性成就，感悟不惧艰险、敢于斗争、坚忍刚强的精神力量。

翔实的资料，通俗易懂的讲述，包括经典美术作品和文物图片在内的300多幅精美图片，让读者获得知识和审美的双重享受，在图

文并茂中感受泱泱大河孕育华夏文明的筌路蓝缕，塑造民族基因的气势磅礴，激发文物保护意识和文化传承热情。

保护和弘扬黄河文化，不仅要推进黄河文化遗产的系统保护，守好老祖宗留给我们的宝贵遗产，也要结合新的时代背景和社会发展，讲好黄河故事。《黄河画传》从这一认识出发，阐释黄河文化的时代内涵，收录高标准建设黄河国家文化公园、推动黄河文化对外传播交流、探索黄河文化保护利用路径等内容，更有针对性地普及知识，满足读者阅读需求。

《黄河画传》是全国政协文化文史和学习委员会主编的“国家文化公园画传”系列丛书的一部。建设大运河、长城、长征、黄河、长江等国家文化公园，是推动新时代文化繁荣发展、建设社会主义文化强国的重大工程。系列丛书通过史传合一、图文并茂、系统通俗的形式，呈现大运河、长城、长征、黄河、长江等文化标识的独特创造和鲜明特色，让更多读者了解国家文化公园的故事。期待读者从中感悟中华民族伟大创造精神、奋斗精神，为保护、传承、弘扬中华文化贡献自己的力量。

（作者为华北水利水电大学教授）

一纸信笺，见字如晤。时光的散简为我们提供了更多线索，串联起科学家钱三强从初出学堂到以身许国波澜壮阔的一生，也为展现中国科技发展不凡历程提供了珍贵史料。

“光明的中国，让我的生命为你燃烧吧！”这句印在《钱三强往来书信集注》腰封上的话，是钱三强一生的写照。

钱三强留下的书信不多。他的秘书、本书的编注者葛能全，多年来在钱老家人和朋友帮助下，收集了钱三强从1933年至1992年间275份往来信件，时间跨度近60年。一纸信笺，见字如晤。时光的散简为我们提供了更多线索，串联起科学家钱三强从初出学堂到以身许国波澜壮阔的一生，也为展现中国科技发展不凡历程提供了珍贵史料。

在这275份信件中，能看到钱三强的人生足迹，感受到他的亲情、友情、爱情、师生情、民族情、家国情。父亲钱玄同在给远赴法国学习的钱三强的书信中对他寄予厚望，勉励有加，悉心嘱托“惟求学之时，光阴最可贵”。家书切切意义万重，展示了钱家良好的家教家风；在二战战火中，分别身处法国和德国的钱三强与何泽慧，在一封封寥寥数字的书信中谈心、谈事业、谈未来，纸短情长相思，终成一段科研伉俪佳话。

在欧洲求学期间，钱三强与约里奥·居里夫妇建立了跨越国界的师生情谊。他们三次为钱三强撰写推荐信，高度评价他的科研素养与优秀人品；在钱三强夫妇回国前夕，伊雷娜·居里夫人赠言“要为科学服务，科学要为人民服务”。导师的临别寄语蕴含着跨越国界的真挚情谊和殷切期望，成为钱三强的座右铭，激励他为人民、为科学奋斗不息。

筌路蓝缕开天辟地，征途漫漫上下求索。新中国成立伊始百业待兴，钱三强和大批归国海外学子决意归来报效国家。回国后，钱三强全身心投入科学管理工作。多年后，回忆往事，他由衷感慨：“作为一个老科技工作者，我为自己能化作卵石、化作沙粒，铺垫在千军万马去夺取胜利的征途上而感到高兴、欣慰！”从新中国成立科建科研体制、探索科技发展模式到开展“两弹”事业，钱三强运筹帷幄、甘为人梯、奉献终身，干惊天动地事，做隐姓埋名人。

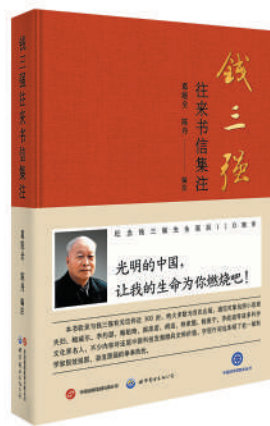
钱老一生充满传奇色彩。他出身书香门第，心系家国天下；他坚信科学没有国界，但科学家都是有祖国的；他和一大批仁人志士以不畏艰险、勇于探索的精神，改写了中国科技一穷二白的面貌，真正做到了“想做事、敢做事、能做事、成大事”。他的学术成就得到世人敬仰，人品为人称道，科研组织工作堪为典范。

本书是对科学家史料开发的一次生动实践，也是“老科学家学术成长资料采集工程”（以下简称“采集工程”）的重要成果体现。书中的很多书信、手稿源自采集工程。14年来，在4000余位采集人员的共同努力下，采集工程积累了丰富资料，成为中国现代科学家珍贵历史资料收藏工程。工程已先后启动674位科学家的资料采集工作，获得实物原件资料13万件、数字化资料32万件、视频资料44万分钟、音频资料53万分钟，出版科学家传记和口述自传120册，在多地举办科学家主题展，在社会上产生良好反响。

为更好地保存中国科技事业发展的历史材料，展示科学家群体的历史贡献和推进新时代科技自立自强的使命担当，中国科协正在牵头建设中国科学家博物馆。中国科学家博物馆将在采集工程十几年扎实工作基础上，打造“采、藏、研、展、教、宣”六位一体的采集工程升级版，逐步实现“实体馆、数字馆、网络馆”三馆合一，致力于讲好中国科学家故事，树立科技工作者的良好形象，在社会上形成尊重科学家、尊重科学的社会氛围。

（作者为中国科协书记处书记、中国科技馆馆长）

《钱三强往来书信集注》：葛能全、陈丹编注；世界图书出版公司出版。



读