

复合材料改变未来飞行

文/本刊记者 王徵

张博明，中国复合材料学会秘书长、北京航空航天大学高分子及复合材料系主任。



“幻想是极其可贵的品质”，人类正是依靠不竭的想象力一步步改变世

界。英国广播公司(BBC)在50年前曾推出过一档叫做《明日的世界》的科幻节目，畅想未来可能出现的新奇物品，其中许多假想业已变为现实。不知《明日的世界》中是否畅想过有一天复合材料会大行其道，但毋庸置疑的是由于它的引入，世界航空制造已悄然发生改变。

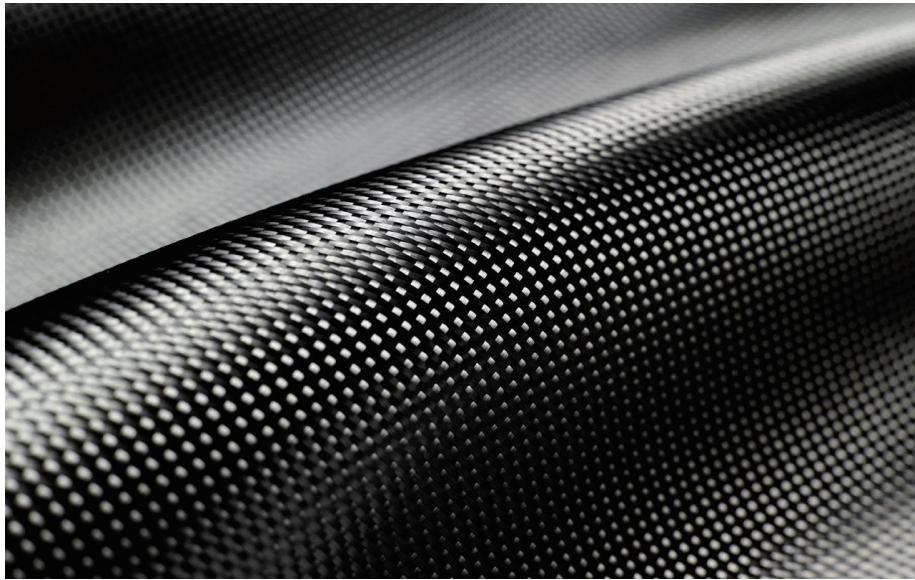
回首航空制造发展的百余年历史，飞机材料的更新迭代一直从未停歇，从最初的木布结构到如今的轻质复合材料，每一次材料科学的进步都产生了翻天覆地的影响，“一代材料，一代飞机”正是当前世界航空制造的生动写

照。相信在不久的将来，航空制造领域还将诞生更多奇迹。

“为减轻飞机每一克重量而奋斗”

“为减轻飞机每一克重量而奋斗”是全世界飞机设计师的格言，回顾历代飞机材料的更迭，无一不是服务于这一总目标。于是“更轻”的复合材料应时而生，复合材料用量也逐渐成为衡量客机先进性和市场竞争力的重要指标，代表了未来航空材料的主流。

“不止更轻，还更强，更易设计！”北京航空航天大学高分子及复合材料系主任张博明激动地对本刊记者说道。复合材料问世之前，以铝合金为代表的传统金属材料一直是飞机制造的主角，为改变高纯铝合金材料过重的问题，科学家又相继研发了铝锂合金，但是在材料密度与材料强度之间无法取得完美的平衡。以碳纤维增强为代表的复合材料，无异于一道曙光，不仅更加符合航空材料轻量化的刚性需求，同时也具备更加优良的抗拉强度，资料显示，碳纤维其比重是钢的四分之一，但强度可达到钢的10倍。此外，碳纤维复材外形具有显著的超弹性特质，成型工艺灵活，可以有效降低飞机装配成本。因此无论是从材料本身的特性还是材料的可设计性而言，碳纤维复材都具有非常突出的优势。



常言道：“巧妇难为无米之炊”，对于航空复合材料行业而言，碳纤维就是这颗至关重要的“米”。但碳纤维复材自诞生之日起，掌声之中却也夹杂着非议。有观点认为其不耐高温、不耐冲击的死穴短期之内无法克服，对此张博明表示：“这是犯了一叶障目的错误。单就材料特性而言，碳纤维复材的耐热性能和耐撞性能要比铝合金材料差一些，但并不影响其在航空飞机上的使用。”事实上碳纤维复材完全可以满足民机上少数耐高温零件的要求，并且经过十几年的升级换代，碳纤维复料的抗冲击性也有长足的进步；同时，也有观点称生产加工碳纤维复材过程中有很大的毒性，还会产生环境污染问题。事实上并不需要太过担心。碳纤维本身主要是腈纶碳纤维化以后剩下的单质并无毒性，作为复合材料基体的树脂基材料多数无毒，预浸料制备过程也十分讲求环保，大众担忧的有毒物质是促使液态树脂转化为固体结构的固化剂以及其他有机溶剂、助剂，但它们目前已经很少使用。

当前，世界碳纤维生产长期由美日巨头垄断，国产碳纤维技术落后一度

成为制约我国复合材料行业稳健发展的“拦路虎”。正因为如此，国家对碳纤维国产化一直高度重视，颁布了一系列导向性政策给予扶持。目前碳纤维国产化已经取得了“从无到有”的巨大突破，接下来需要从“从无到有”出发，实现“从有到优”。

其一要形成良性的市场竞争机制，无论是上游制造单位，还是下游应用单位，都应培养市场竞争意识，不要一味地倚靠政策扶持。其二，技术瓶颈一直制约着国产碳纤维产品在高端领域的应用，要将关键单元技术攻关作为重中之重，未来应以大丝束碳纤维研发为研究重点。其三，为了抵御禁运危机，要加快关键设备产业化设计制造技术的研发步伐，摆脱过度依赖进口现状。其四，要充分利用传统化纤企业的技术和经验。

虽然目前碳纤维国产化取得了一点成绩，但与先进国家相比还有许多提升空间，譬如在质量要求较高的航空航天领域的应用比例仅为3%，远远没达到国际上碳纤维行业在航空航天领域应用占比的平均水平，这将是我们下一步攻坚的目标。

“全产业链”时代的人财战略

随着国产大飞机等一批国家重点项目的成功立项，以航空复合材料为先导的中国复合材料市场正面临着千载难逢的发展机遇。

“现在世界上最大的潜在的复合材料制造商和终端用户就是中国”，随着复合材料在航空制造领域的示范效应愈加显著，将持续拉动其在汽车工业、土木建筑、船舶制造、医疗器械、体育用材等方面的应用。尤其是复材所具备的高度设计性及产品轻量化优势，将使其在新兴产业大展拳脚，譬如时下大热的新能源汽车，利用碳纤维复合材料使其轻量化后，将立竿见影地使成本得到大幅下降，真正实现新能源汽车的产业化和市场普及化。可以说，复合材料下游市场正“嗷嗷待哺”，但是上游供给不足成为国内延展复合材料全产业链的最大瓶颈，而这其中关键在于两点：生产成本高昂和设计人才紧缺。

若想打响复材产业“成本突围战”的第一枪，首要的是扭转传统观念，长久以来复合材料应用于航空制造领域，作为“试水”，关注更多的是其性能是否稳定，生产成本则被摆在次要位置。成本观念若不更新，其他更无从谈起。其二，利用数字化技术降低生产成本。以汽车工业为例，目前国外多采用混合复合材料车身结构的轻量化技术路线，底盘和车架结构件逐渐由热塑性复合材料取代热固性复合材料，前者可以进行自动化连续生产，缩短制造周期，降低制造成本。由此可见，技术革新完全可以转化为成本优势。其三，开发更为灵活的设计方案，缩减设计修改周期。由于设计变更往往导致加工工具的二次制造，耗费不必要的物力、财力，目前美国国防先期研究计划局（DARPA）推出“可裁剪原材料及成型（TFF）”项目，允许多个部件采用同一个加工工具，降

低生产成本。

此外，复合材料设计人才储备也是增强核心竞争力的重要一环。复合材料不同于金属材料，而是需要被设计出来，然而由于国内高等院校的专业设置比较陈旧，从事复合材料设计研究的师资力量相对比较薄弱，我国复合材料设计人才相对而言是比较匮乏的。近年来国家也认识到了这一问题的严重性，一方面学校加速复合材料与工程专业工程技术型人才的培养，基于复合材料应用的学科交叉性较强，实行学校之间联合培养，同时注重教学与实践的结合；另一方面企业也不断加强设计人才的培养，以哈飞空客复合材料制造中心为例，随着复合材料在更多机型上的应用，许多员工被派往欧洲接受培训，同时工程师在实战中不断积累经验，能力也有大幅度提升。相信未来中国复合材料设计人才缺口将会有很大程度的改善。

打通“全产业链”并非易事，从 PAN基碳纤维到高性能碳纤维复合材料制品的应用，其中每一链段都饱含高精尖的技术与品质，即使当今世界著名8大家碳纤维企业中，也找不出一家能真正全链打通并实现商业化运营。虽然我国目前尚处在复合材料行业发展的“初级阶段”，但“初生牛犊不怕虎”，只要一步一个脚印，坚持自主创新与吸收外来经验相结合，内外并举前景可期。

当“舶来”遇见本土——师其长技

古语有云：“它山之石可以攻玉”，借力国外先进经验，少走弯路抢占先机，但不能生搬硬套，要注意学习和吸收，将“舶来品”真正“本土化”。

欧美为实现复合材料低成本化而又不改变复合材料的强度优越性，第一，建立可使用复合材料共享数据库，

大大缩短研发周期。基础性科学数据是推动科学技术滚动发展的必要前提，在我国，材料数据作为一种共享资源还未得到应有的重视。第二，制订并投资了一系列发展计划，旨在发展低成本的复合材料综合技术。譬如1985-1997年美国NASA实施ACT计划，为日后飞机主承力构件的设计分析制造一体化的实现奠定了基础。而后美国国防部实施低成本复合材料计划，以政策驱动的形式，力促复合材料综合技术有了质的飞跃。第三，组建专门机构研究复合材料制品和生产加工中产生的边角余料的回收再利用问题，譬如英国的回收碳纤维公司(RCF)有2000吨/年的处理能力，已和英国GKN航空公司签订合同回收其废品，近期100吨/年，后会有30%的年增长率。这一方面国内尚无太多的实际行动。其实这些都是中国可供学习和借鉴的宝贵经验。

首先要树立数据库建设意识，在样件生产、飞机装配之前，通过三维系统仿真技术积累实验数据，初步建立复合材料共享数据库，减少低水平重复试验。其次由政府出面统一组织制订相关法规，使复合材料的设计和鉴定文件化、规范化，编制全行业的技术标准，形成设计和鉴定的统一指南，推动复合材料的应用发展。虽然我国也曾编写过类似《复合材料设计手册》等文件，但都在部属范围内进行，规模有限。最后，在复合材料使用保障、回收利用等方面尽早规划部署，努力缩短与国外的技术差距。

目前随着国内航空企业实力的跃升，以海外并购的方式将是快速带动国内技术研发，“曲线救国”的一着好棋。之前我国一直苦于国外技术封锁，复材制造设备、技术更新严重滞后，比如以自动铺带(ATL)和自动铺丝(AFP)为核心的复合材料自动化制造技术，自动

铺带机由波音牵头，早在1983年已投入使用，而我国还处在原理性研究和工程样机研制阶段。现如今，中国航空工业首次海外并购瞄准FACC，这是一家专业从事研发及制造复合材料部件及系统的专业化公司，同时也是空客A380的一级供应商、波音787的二级供应商。收购完成后，中国西飞形成以FACC为核心的航空复合材料结构件研发试制中心和以中国本土为核心的生产制造中心，通过资源整合，形成新的发展和盈利模式，构建世界领先的航空复合材料研制生产平台，将有效改善这一被动局面。

同时，中国传统航空工业集团与国际著名航空企业联姻，能够使国内复材生产设计人员近距离地接触、学习世界一流范式。比如空客和哈尔滨飞机公司合建的合资企业“哈飞空客复合材料制造中心”，目前公司主要为全球最畅销的空客 A 320系列飞机及空客最新的 A 350 X W B 宽体飞机生产复合材料零部件，这个年轻公司的“元老”们，多数来自空客欧洲各公司的高级技术、管理人员，同时也带来了精良的生产设备。顶尖航空公司的生产流程，国内工程师耳濡目染，职业技能也将有大幅提升。

不过中国若想跻身世界航空市场并分得一杯羹，还是要坚定不移地走自主研发之路，时刻保持对行业前瞻性的清醒认识，逐步强化原始创新、集成创新、引进消化吸收再创新，进一步弥补与发达国家的技术差距。研发之路道阻且长，但并非遥不可及。中国有全球最大的航空复合材料终端市场，并且逐步形成了一支有实力的研发队伍，三足鼎立之势指日可待。目前全球航空市场格局多变未变，也许正在酝酿一次巨变，中国应该抓住历史发展机遇，早日抢滩国际市场。