

对中国碳纤维及其复合材料产业链发展现状的反思

林刚¹, 申屠年²

(1. 广州赛奥碳纤维技术有限公司, 广州 510075; 2. 富阳特种纤维应用研究所, 杭州 311400)

摘要: 简介了国际碳纤维及其复合材料的最新发展概况, 并对中国从聚丙烯腈到碳纤维复合材料整个产业链和各关键链段的发展现状做了分析和反思。提出并论述了以下观点: 要以系统论的思想发展碳纤维及其复合材料产业链; 需从复合材料系统性降低成本来实现低成本化; 深入了解与借鉴国际碳纤维行业的发展经验, 调整我们的发展理念与方向; 充分整合国际优质资源, 建立较高水平的技术装备平台; 转变观念, 提升产学研的合作效益; 借鉴国外成功经验, 加强我国复合材料共享数据库建设; 强化行业宏观管理, 强力推进整个产业链的突破。最后提出创建碳纤维及其复合材料产业链联合会建议。

前言

作者继 2010 年发表了“掌握前沿 创新理念 科学发展—中国碳纤维及其复合材料发展之我见”一文后, 将再次以此命题针对中国低水平重复发展中的碳纤维及其复合材料产业链现状展开反思, 分析并提出了一些想法和观点, 旨在抛砖引玉, 吸引业界官、产、学、研、用更多的关注、思考和作为, 及时作出有针对性的调整和有实效的变革举措, 确保这个新兴的高新技术产业能科学、理性、健康和领衔发展, 并实现对国民经济诸多重要领域和行业的转型升级、节能减排和创新高效的引领和推进作用。

1 国际碳纤维及其复合材料的发展现状

1.1 碳纤维及其应用市场

近几年, 大量投资涌入碳纤维领域, 世界 8 大公司完成了新一轮的扩产; 土耳其 AKSA 异军突起; 韩国的 Taekwang、Hyosung 等纷纷进入碳纤维领域; 印度 Kemrock 进入碳纤维; 沙特 Sabic 宣布与意大利 Monte 合作, 在西班牙和沙特建设碳纤维生产线; 我国也有大量的企业纷至碳纤维领域。

碳纤维复合材料的应用开发进展主要突出表现在汽车和风电叶片两个方面。

(1) 宝马汽车入股 SGL, 推出了世界第一款大量采用碳纤维复合材料的商用车 Megacity; 同时, 美国和日本的多家公司宣布了与碳纤维公司的合作, 共同打造碳纤维复合材料汽

车零件，图1是东丽对碳纤维在汽车领域的应用做出的估计^[1]。

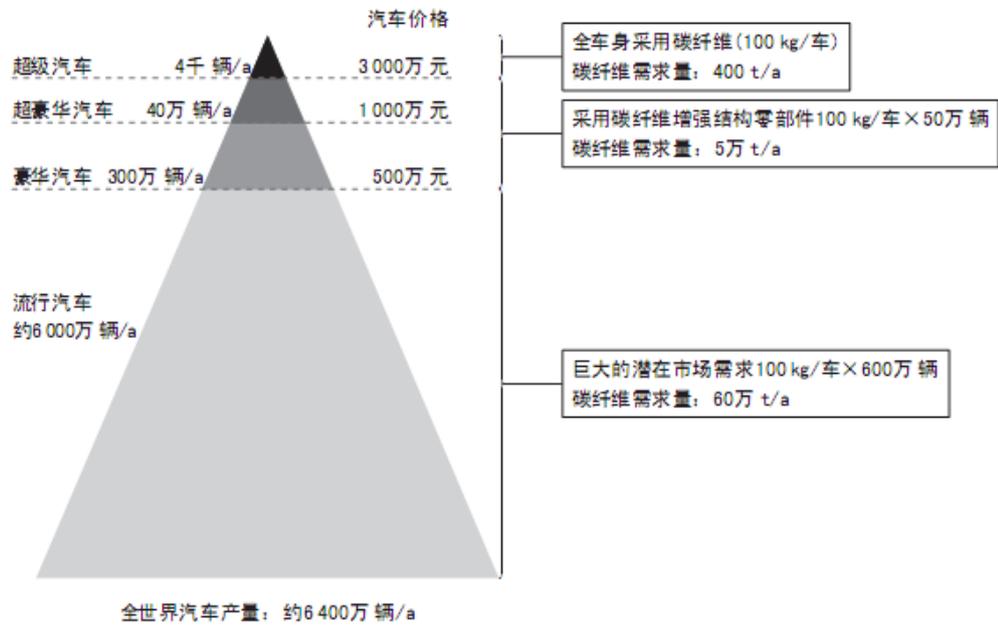


图1 东丽对碳纤维在汽车领域的应用作出的估计

(2) Zoltek 多年来致力于推广低成本大丝束碳纤维，为风电叶片领域总共供应了大约20000t 大丝束纤维。随着风电叶片长度的增加，国内已经有企业开始尝试使用碳纤维预浸料，开发风电叶片的支撑梁。鉴于对风电与汽车使用碳纤维复合材料的信心，Zoltek 对全球碳纤维未来几年的需求增长信心十足^[2]（见图2）。

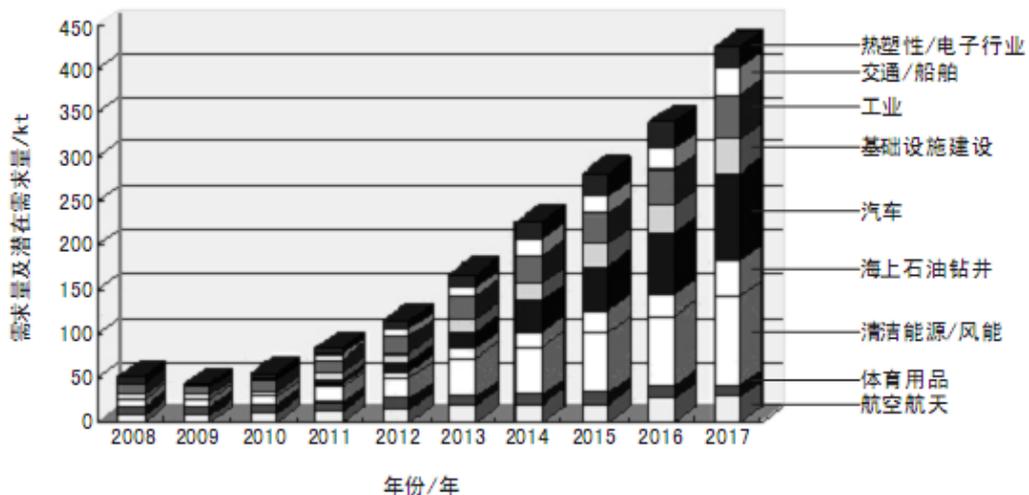


图2 Zoltek预计至2017年全球碳纤维的潜在需求量

不过对于碳纤维未来市场预测，国内外向来分歧较大。国内乐观派认为，“今后5年内碳纤维产品需求会产生爆发性增长，中国市场需求量将超过3万t/a，未来甚至可达数十万吨/年”，“仅电力输送就需10万t/a以上”，“复合材料火车车厢也需要10万t/a”，纺织机械也要上万吨/年.....

但我们认为：自日本碳纤维1970年代进入市场，经历40余年，世界市场也只4万t/a左右规模，目前看不出有井喷式发展趋势。其原因主要是碳纤维“贵”，不可能像玻璃纤维那样广泛应用，除非其所用原料大幅降价，或出现革命性的新工艺和新技术，而目前现实是原料不断涨价，也未看到崭新技术出现的苗头。由于丙烯腈价格在不断上涨，碳纤维成本也随之上升，制约了碳纤维复合材料的大面积使用。Zoltek预计2017年碳纤维需求将达425kt/a的预测误差过大。实际经济形势不好，使碳纤维消费量处于停滞甚至下滑状态，例如，2009年因金融危机，全球碳纤维销售量从2008年的4.2万t下降到3.7万t，2010年销量有所回升，但2012年受欧债危机影响预计又将有所下降。

1.2 预浸料发展方向

全世界最著名的预浸料公司是Toray、Hexcel、Cytec、Gurit、ACG（2012年已被Cytec收购）和TenCate。这些公司的碳纤维预浸料产品在近几年呈现了新的预浸发展趋势。

(1) 大丝束碳纤维预浸料在工业领域的优势凸显^[3]。单向碳纤维预浸料面密度高达600g/m²，这类厚重的预浸料大大提升了预浸和后续铺放工艺的效率。在风电叶片与汽车领域有广泛的应用。

(2) 非热压罐工艺（OOA，Out of Autoclave）的预浸料大力发展^[4]。此成型工艺大大降低了预浸料后续固化成型的时间与成本，这些新型的预浸料可以采用较低成本的真空袋压法。先进拉挤法和热模压法。产品如Hexcel的Hexply® M 56，Tencate的TC 250，Cytec的Cycom 532，ACG的MTM 44-1。

(3) 不同预浸料产品形态的出现^[3]。短切预浸料，可以采用经济型的模压工艺，产品如Hexcel的Hexm c，D e n c a t e的MS系列产品；半预浸料，在预浸工艺时不需要完全“湿透”纤维，在后续工艺中完成完全浸润，产品如Hexcel的Hexfit。

(4) 针对不同应用的专用预浸料^[4]。如汽车领域，对零件短时间成型要求高，为满足后续快速成型工艺，必须开发<5 min的快速固化预浸料，产品如Hexcel的Hexply M77，可

以在 150 °C 下 2min 固化；为了满足风电叶片支撑梁 - 厚层合板的生产，Gurit 开发了 SparPreg™，无需压实和借助其他排气织物，就可以获得低孔隙率的层合板；在复合材料模具领域，各家也开发了相应的预浸料产品，如 Hexcel 的 Hextool，ACG 的 DForm™ 专业产品。

(5) 结构与功能结合的预浸料。在树脂中混入纳米碳管或短切碳纤维，再浸润碳纤维丝束或织物，形成具有吸波功能的预浸料。

(6) 与其他材料共固化的预浸料。预浸料可以与灌注的树脂共同固化，可以与 SMC 共同模压固化，也可以用单向预浸料 + 织物预浸料 + SMC 共同模压固化。

(7) 碳纤维热塑性预浸料。近几年，热塑性预浸料及其复合材料迅猛发展，与热固性预浸料相比，热塑性预浸料无需冷库仓存与运输，后续成型工艺高效且方便，材料的韧性大，抗冲击性能好，尤其可再生利用，符合节能减排绿色环保趋势。但热塑性预浸料存在的最大问题主要有 4 个：一是热塑性树脂的高粘度导致与纤维的浸润非常困难；二是还没有合适的低成本、高效率和能保证质量的预浸料制备方法与装备；三是高性能热塑性树脂成型温度在 350°C 以上，预浸料及其复合材料制品成型工艺难度很大；四是高性能热塑性树脂与通用热固性树脂相比较价格太昂贵。目前国际上主要通过粉末喷涂、纤维混纺、薄膜辊压等工艺，获取了不同树脂质量分数精度的热塑性预浸料，分别满足各类成型应用的需要。

1.3 复合材料新型成型工艺

对于高端复合材料成型工艺，由于预浸料具有精确的纤维和树脂质量分数优点，所以以预浸料为原料，发展了很多新的成型工艺，有些正在替代传统成型工艺。另外，汽车领域对复合材料短时间成型要求高，也催生了一些快速成型工艺。

(1) 新型拉挤与缠绕工艺。传统的拉挤与缠绕工艺的最大优点是自动化程度高，缺点是由于丝束浸润树脂的质量分数不均和较为随机的排列，导致树脂质量分数精确度低、纤维浸润均匀度低和产品品质不高的缺点。采用预浸带材后，传统拉挤工艺可以提升为先进拉挤工艺 (ADP, Advanced Pultrusion)，既可以完成精确的铺放，又可以采用连续模压，形成高品质型材；缠绕工艺采用预浸带，则可以生产出更精密的管材与罐类产品。

(2) 自动铺纤维 (带) 工艺。1960 年代，美国空军率先开发自动铺带技术，实现了对手工铺放工艺的替换。之后，以美国 MAG Cincinnati、Ingersoll，法国 Forest-Line (2011 年被 MAG 收购) 和西班牙 M-Torres 为代表的传统数控机床设备厂家积极推动大型自动铺放

设备的发展，2012年MAG推出了铺纤、铺带一体机；随着工业机器人在工业中的普及，借助多轴机器人带动铺放头的自动铺放设备蓬勃发展，可以经济地加工中心型零件的铺放。法国的Coriolis是这个行业的典范，他们开发的16（或32）条窄带，窄带宽度6.35mm，可实现16（32）条内任何数量的铺放，满足复杂表面的高精度铺放。热塑性预浸带自动铺放设备也是一个亮点，在铺放预浸带的同时，通过激光、热吹风等加热方式熔化树脂，把预浸带压实到模具上，是热塑性复合材料精密加工典型的工艺[5~7]。有关公司的自动铺纤（带）机和热塑性铺带机见图3。



图3 有关公司的自动铺纤(带)机和热塑性铺带机

(3) 预浸料模压成型工艺 (Prepreg Compression Molding, PCM)。为满足汽车行业对复合材料快速成型的要求，以日本三菱为代表的厂家推出这个新型工艺（该工艺示意图见图4），结合其最新推出的大丝束碳纤维 P330 60k 和 WCF 50k，三菱希望实现具有与小丝束类似的良好加工性与高性能，与小丝束类似的高品质，利用 PCM 实现高产能，最终为汽车行业提供良好的价格与产量^[8]。

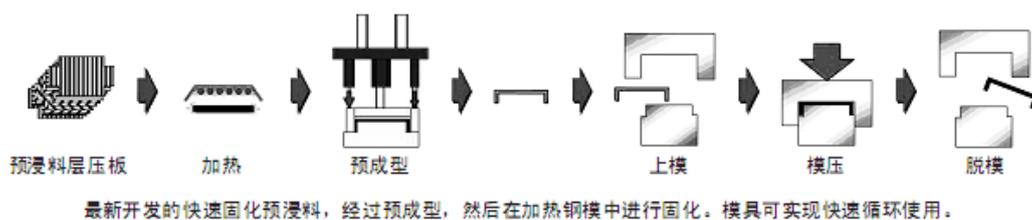


图4 预浸料模压成型工艺示意图

(4) 先进树脂传递模塑成型工艺 (Advanced RTM)。除了基于预浸料的新型工艺，对于干型增强材料，比如各类机织布、多轴经编织物、三维编织物、缝编织物等，这些预成型 (Preform) 制件通过剪裁后，放置到模具中预定型，然后进入 RTM 模具，高压注入树脂，模具加热加压，对材料固化定型。得益于新型的快速固化的树脂，复合材料可以在 5 min

内完成（工艺示意图见图 5）。目前，东丽、宝马与 SGL 的合资公司均采用该工艺，成功应用于汽车复合材料的部件成型^[8]。

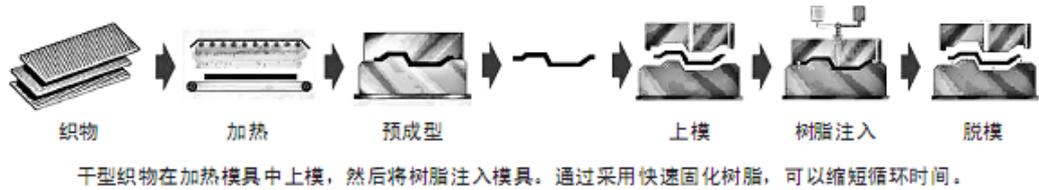


图5 先进树脂传递模塑成型工艺工艺示意图

(5) 集成自动生产工艺。为实现更高效的生产，业界已经开发了集成自动化生产工艺：从预浸料裁切备料，自动铺放，高压热模压成型，修边，所有工序集成到一条生产线上自动完成。其中比较典型的公司是美国科罗拉多州的 Fiberforge 开发的热塑性预浸带复合材料的专利生产系统^[9]（见图 6）。



图6 Fiberforge热塑性预浸料带复合材料的专利生产系统

2 我国从聚丙烯腈到碳纤维复合材料产业链关键链段的发展现状

2.1 碳纤维复合材料产业链

从聚丙烯腈到高性能碳纤维复合材料制品的应用，跨越形成了很长的产业链（见图 7）。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。以下重点介绍我国在这条产业链上几个重要链

段的发展现状。

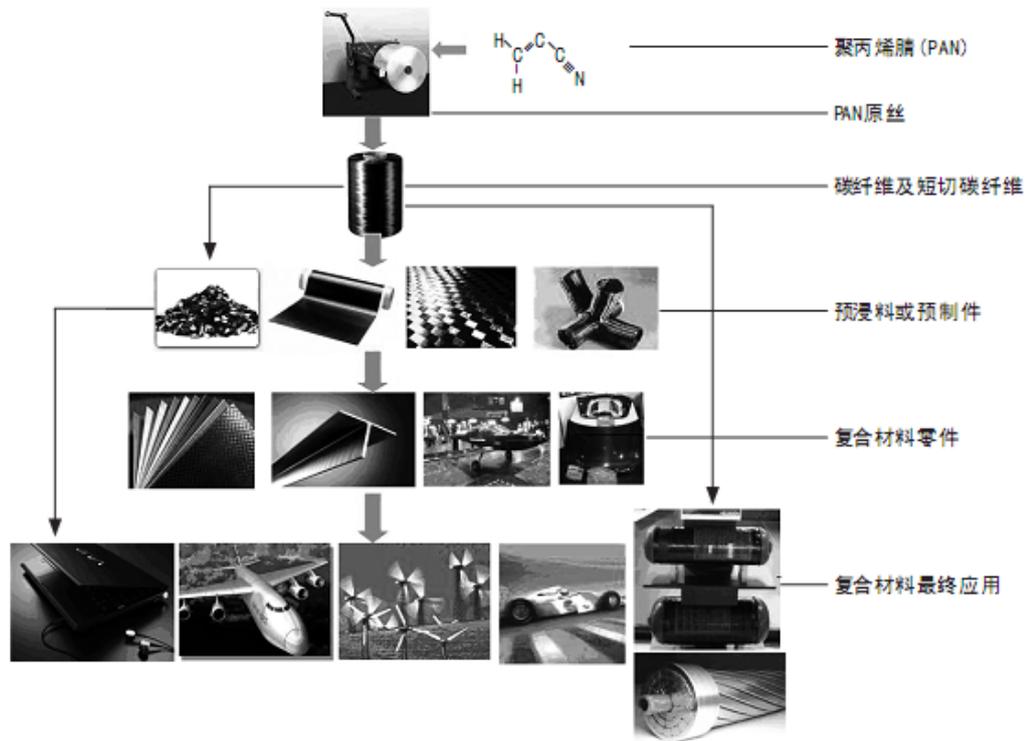


图7 从聚丙烯腈到高性能碳纤维复合材料制品整个产业链链谱

为落实系统论的思想，我们试从最终应用起逆向介绍和分析，以期许业界同行们有新的启示。

2.2 碳纤维复合材料应用现状概况

(1) 体育器材。该领域依然是中国碳纤维复合材料的最大应用面，主体是分布在广东、福建及山东的台资OEM形式加工厂和本土体育器材厂家。采用碳纤维复合材料加工成钓鱼竿、高尔夫球杆、自行车、网球拍等产品。体育器材由于品牌的原因，各种档次复合材料均有其市场：既有高端的东丽T1000、M60J预浸料的销售；也有中端的台塑碳纤维和土耳其AKSA碳纤维；还有国内一些低端碳纤维在这个市场销售。该领域普遍采用碳纤维预浸料和搓管工艺，该细分市场每年碳纤维消耗量约为5 000 t，相对稳定。

(2) 航空航天及军工。由于该领域涉及军品部分长期受制于国外对碳纤维的严格监管控制，在国家利益驱使下，倾向于采用国产碳纤维，但必须通过严格和长期的评审考核来确定定点生产单位。而国产民用航空器（如民航机）的生产，通常可直接申请进口到优质的碳纤维及其预浸料。

尽管碳纤维复合材料已经被主管部门提到战略的高度，但限于对碳纤维复合材料的设计、制造和应用验证的水平、数据和经验积累，我国飞机制造业要大量使用碳纤维复合材料还需待以时日，尚不可能像波音和空客公司那样，对碳纤维复合材料产业形成巨大的推动力。据 2012 年 4 月 26 日报道，中国商飞公司旗下上海飞机制造工业公司与美国 Cytec 签订了为期 10 年的复合材料供应合同。我国该细分市场对碳纤维的消耗量大约是 200~300 t/a，目前国内航空航天市场对国产碳纤维的要需求是类似 T300 级小丝束碳纤维。

(3) 碳纤维复合材料芯导线。对比传统导线，碳纤维复合材料芯导线具有抗拉伸强度大、运行温度高、线膨胀系数小、质量轻、耐腐蚀、减小磁损等优点，适合旧线路增容改造、新建线路、大跨距等国家电网工程。目前，全球碳纤维复合芯导线应用里程超过 10 000 km，2006 年至今已有 100 多条输电线路挂线运行，总长超过 5 000 km，占全球复合芯导线输电线路总里程 50%以上。现阶段应用主要以线路增容改造为主，在新建线路中尚未大规模推广^[10]。据业内专家称，该电缆芯目前主要采用东丽 T700-12K 的碳纤维，每年约有 500~800 t 消耗量，这是一个值得期待的大市场。

(4) 风电叶片用碳纤维复合材料。专家预测，当风电叶片长度超过 40 m，就需要部分使用碳纤维。国际上 Vestas 在其 44 m 叶片的梁帽采用了全碳纤维；Gamesa 在其 42.5、44、87 和 90 m 长叶片的梁帽上采用了碳纤维/玻纤混杂预浸料；Neg Micon 在其 40 m 叶片梁帽上采用碳纤维；Nordex Rotor 在其 44 和 56 m 叶片主梁采用了碳纤维；Repower 在其 126 m 直径的叶片的梁帽上采用碳纤维与玻纤混杂预浸料；Dewind 在其 40 m 叶片的梁帽采用了预浸碳纤维；GE 在其 48.5 m 叶片梁帽上采用碳纤维。国内南通东泰电工在其 2 MW 风机叶片的主梁采用了碳纤维，中材科技在其 56 m 叶片的主梁采用了碳纤维；中复联众在其 39.2 m 叶片主梁采用碳纤维^[11]。目前国内还有一些重要的风电叶片厂在考虑和试用碳纤维预浸料。风电叶片基本采用类似于 T300~T400 水平的大丝束碳纤维（48k 或 50k），中国目前还没有大丝束碳纤维的生产，所以主要依赖进口。当前，风电装备制造经营举步维艰，碳纤维在该领域的大批量应用也非常艰难，可能的突破思路有两条：第一是叶片结构设计上充分利用碳纤维的优势，全面创新结构设计；第二，从叶片的设计要求看，碳纤维的模量（中模）是非常重要的指标，是与玻纤竞争的关键所在，开发中模大丝束，提升碳纤维的竞争优势。

(5) 交通工具（汽车、高速列车、船舶等）。碳纤维复合材料在国外著名品牌汽车（尤

其是豪华汽车)中,已经得到长期和比较广泛的应用。在全球节能减排的大潮流下,汽车轻量化的趋势不可逆转,尤其对于新型混合动力汽车。几乎每家国外著名汽车厂商和碳纤维巨头强强联手,对碳纤维复合材料在汽车的应用都有宏伟的计划,积极开发新型和专用的大丝束碳纤维,提升后续工艺效率,大幅降低碳纤维复合材料在汽车上应用的整体成本。然而,此举在国内却显得比较冷清,估计原因是我国的中高档汽车主要源自外资企业,很多研发在国外合资方总部完成;而国产的中低档汽车厂商,由于价格原因,很难采用碳纤维复合材料。因此,这个领域应用的出路是积极争取与有技术话语权的国际汽车大品牌合作。例如,目前已有台商与欧洲高档车厂签约,除在欧洲设立公司外,已在大陆专设 CFRP 汽车组件 OEM 工厂,货交欧洲原车厂。同时,台商还认为大陆本身是高档车最大市场,加上电动车等项目,未来在 CFRP 汽车减重领域商机无穷,还有日本在中国设厂或 OEM 机会的可能。高速列车被称之为地面飞行器,在安全范围内的轻量化也是必然趋势,但同样存在于汽车类似的问题。中国高速列车依靠国际技术集成,在国际上异军突起,借助这个机会,通过材料技术的革新,领先于世界高铁技术,也是行内很多专家的共识。然而,要在高速列车上实现碳纤维复合材料化,推动起来还需要一个漫长的过程。这几年,中国的船舶行业(包括豪华游艇)发展迅猛,对高性能复合材料已经形成一定的需求,但是由于成本的局限,也没有被广泛的采用,有待长时间去培育发展。

(6) 建筑结构加固补强。国内结构加固补强市场约需碳纤维 700~800 t/a,由于该领域用途受国家标准《混凝土结构加固设计规范》和《结构加固修复用碳纤维片材》对加固材料产品性能指标的严格限定,国产碳纤维力学性能指标有明显差距,目前该领域所需碳纤维一部分依靠进口。而很大一部分则是由浙江海宁、江苏宜兴、山东德州一带非良企业大量采购国产碳纤维(非合格品)或玄武岩纤维,通过假冒伪劣、以次充好、偷工减料的形式和以假乱真的手段大量制造和抛售加固材料,导致加固材料市场极度混乱,由此造成的工程隐患则更令人担忧,因此,碳纤维材料在结构加固补强应用的技术优势日渐式微,需求萎靡不振。

2.3 我国碳纤维复合材料层合固化工艺及其装备

(1) 层合固化工艺及其装备。我国的碳纤维复合材料层合固化工艺及其装备,是在玻璃钢工业的基础上发展的。比如哈尔滨玻璃钢研究院、武汉理工大学、南京诺尔泰复合材料

设备制造有限公司、航天 43 所等开发了多轴的纤维缠绕与拉挤设备，这些设备通过改造提升，也可基本适应碳纤维的缠绕与拉挤工艺。

国内早期就仿制美国和台湾的搓管工艺及设备，从搓管机、薄膜缠绕机、抽芯机、抛光机、固化烘箱等，都实现了国产化可以满足基本的体育器材类的管件制造。但随着国内市场竞争加剧，为降低成本，这类设备质量或有下降趋势。

(2) 大型自动铺纤(带)机。由于西方国家对大型自动铺纤(带)机销往中国实施严格的许可证出口管制，我国(尤其是涉及军品)的企业很难进口到这样的设备。南京航空航天大学肖军教授的团队，长期研发自动铺带(纤)设备，并已经在国内一些用户处使用，这是我国开拓先进层合工艺与设备的亮点。

综上所述，我国高性能复合材料领域整体上尚处于起步阶段，所以层合固化工艺及装备还相当落后。很多先进的设备还必须依赖进口，而西方对很多高性能复合材料的层合装备都实行严格的管制，成为制约新型碳纤维复合材料在我国普及、应用和发展的重要因素。

2.4 预浸、预制件和短切纤维的工艺与装备

(1) 预浸工艺及其碳纤维预浸料。碳纤维的预浸工艺有很多种。对于热固性预浸料，主流是热熔型预浸工艺，通常采用树脂膜制备与浸润设备两步法工序。热固性预浸料的核心竞争力是针对不同应用的树脂及其树脂固化体系配方的开发、相关的预浸工艺及严格的品质管理体系。当前，除了极少数航空航天部门的预浸单位基本具备这个核心能力，其他预浸料企业基本还不具备较强或可与国外公司抗衡的竞争能力。尽管我国在预浸领域的著名专家张凤翻研究员常年撰文和演讲，告之预浸料行业的技术难点与门槛，但很多投资者依然存在着一个误解：只要不惜重金买一台好的设备，就可以顺利进入预浸料行业。如果对预浸料的核心竞争力不做出充分的准备，这些投资的前景让人堪忧。

碳纤维预浸料是衔接碳纤维与复合材料的最为重要的桥梁，对于碳纤维企业，发展预浸料是不二的选择。预浸料业务的重大意义在于：可以及时把纤维品质信息向纤维生产部门反馈，协助纤维部门提升工艺性能，更深入理解市场对碳纤维的要求；进入复合材料领域，在纤维基础上增加附加值，也能更好地适应碳纤维行情的波动对企业效益带来负面的影响。

碳纤维企业上预浸料项目，须清楚地认识到预浸料部门不仅是一个独立的盈利单位，它必须与纤维部门共存亡。因为企业在纤维上的投资是远远大于预浸项目的投资。如果这个预浸厂很“娇贵”或唯利是图，只能消化进口纤维，即使它能获点利，但相比企业自产碳纤维的亏损，这点利润没有任何意义。所以，碳纤维企业建立的预浸料厂，必须立足于为本单位碳纤维服务。当前，我国所有厂家的碳纤维都处于“成长期”，综合品质不堪与东丽比肩。所以，开发出适合本厂碳纤维的适用预浸料，并以预浸料带动碳纤维的销售，无疑是非常重要的战略举措。

(2) 碳纤维预制件。预制件 (Preform) 主要是指把纤维预制成一定组织结构和形状的“干的织物”，主要的工艺有：机织 (Weaving平纹、斜纹和缎纹)、多轴经编 (Multi-axle warp knitting)、编织 (Braiding)、缝纫 (Stitching)、三维机织 (3D Weaving) 等，是在传统纺织工艺与装备的基础上发展起来的，有些织物要通过预浸工艺与树脂结合而“变湿”，而有些可以通过树脂灌注、RTM等工艺去与树脂结合。这些预制件的主要目的是提高后段工序的工作效率。我国江苏常州、宜兴一带有好几家相当出色的织物制造商。高端的装备主要依赖进口，而天津工业大学李嘉禄教授的团队在三维编织 (3D braiding) 工艺与装备的研发方面是亮点，三维编织装备的发展将日益重要。

(3) 短切及研磨碳纤维。短切及研磨碳纤维或是一种特殊形式的预制件，主要有4个方面的应用：①利用其强度，作为增强塑料和降重材料，替代玻纤增强不能满足的高端市场；②利用其电与热的传导性，作为电子产品防静电外壳；③利用其模量，作为新型的海上油气田的漂浮材料-复合泡沫塑料的增强体，可以承受很大的压力；④利用其与树脂结合后的吸波或透波功能，成为雷达罩 (支架) 或隐身功能的材料。

世界8大碳纤维厂家中，基本都有短切和研磨产品。有的企业不光用B等品碳纤维生产短切料，也用很多A等品碳纤维生产。其实碳纤维短切和研磨是有很高技术难度的，不是手工剪切和冲床的作坊就能做好的产品。保持均匀的短切碳纤维定尺长度 (规格在1~56 mm范围)，保证对各种树脂的分散性，以及保证生产连续运行，是一个很复杂的系统技术。

2.5 我国PAN基碳纤维产业现状

据不完全统计，目前我国已有32~35家公司投入碳纤维的研发与生产。其中自己拥有原丝的有19家。如果按照已经购买了设备，已建成或在建的生产线统计，假如这些生产线

全部建成并投产，碳纤维总产能可达到约1.6~2.0万 t/a，“十一五”期间，企业、银行和国家各级政府总共投入资金约100~120亿元人民币。该行业虽已经出现一些投资者退出和破产的现象，但仍不乏有新的投资者在进入。

在生产碳纤维的型号和规格方面，目前所有的厂商中只有蓝星公司生产 24k 碳纤维，上海石油腈纶事业部有大丝束的规划，其他厂家主要生产 12k 或以下 k 数产品。绝大部分厂家宣称，产品达到东丽 T300 的水平。至少有 5 家企业宣布产品达到东丽 T700 的水平，但在市场上鲜有批量的销售。至少有 4 家企业宣布产品达到东丽 T800 的主要技术指标，其中一家江苏的企业高调宣称其在中国已率先攻克碳纤维生产线连续生产稳定性难题，甚至其碳纤维产品力学性能和离散系数超越了东丽 T800 的指标。目前除了北京化工大学，还没有企业宣布高模量碳纤维（类似东丽 M40）的生产。

目前国产强度 3 000 MPa 左右 12k 碳纤维在市场的售价约 120 元/kg 以下，土耳其 AKSA 公司 A-42~A-49 型号 12k 碳纤维的价格分别约 135~145 元/kg，同级别台湾碳纤维价格类比土耳其约高出 15%，日本三菱 TR50S-12k 碳纤维价格约 155 元/kg，而日本东丽 T700-12k 碳纤维价格较乱，约在 180~200 元/kg 之间，如果按照东丽 22~25 美元/kg 的国际价格，加上进口关税和增值税，到中国市场价格应该是 200 多元/kg，可能由于去年价格较低时，国内有存货在今年抛售，或是导致东丽 T700-12k 价格混乱原因。上述价格让几乎所有碳纤维供应商无利可图，尤其是国产碳纤维企业，很多厂家是低于成本价抛售，销售越多，企业亏损越大。一方面是碳纤维生产线巨大的资金投入和存在大量的产品技术与品质问题令人纠结，另一方面是亏本销售，碳纤维企业因此陷入了空前的困境。

人们不禁要问，国内碳纤维市场的低价格走势是如何形成的？是国内碳纤维企业相互恶性竞争的结果？或是国外老牌碳纤维企业有意打压中国新生的碳纤维产业？抑或处于成长期的我国碳纤维因品质不好，目前只能被市场边缘化？但无论何种原因都不是我们所能掌控。唯有打破僵局，努力寻求突破“围城”之路。

虽有一些企业已积极向碳纤维下游产业链开拓，快速进入预浸料及各类织物的加工，甚至是复合材料零件产品的制造。然而他们却发现，进入这些行业后也面临很大的技术问题，做出的产品品质、性能和性价比也不高，很难在市场竞争中获胜或无法进入高端市场。到头来是摊子越铺越大，路子却越走越艰难，企业或将陷入更大的困境。

3 以系统论的思想发展碳纤维复合材料

系统的通常定义是：有若干要素以一定结构形式联结构成的具有某种功能的有机整体。系统论的基本思想，就是把所要研究和处理的对象当作一个系统，分析系统的结构和功能，研究系统、要素和环境三者的相互关系与变动的规律性。贝塔朗菲强调：任何系统都是一个有机的整体，它不是各个部分的机械组合或简单相加，系统的整体功能是各要素在孤立状态下所没有的性质^[12]。

3.1 企业要以碳纤维产业链系统为战略基础

碳纤维复合材料产业链每个环节的技术的关联度是非常紧密的，可以说是环环紧扣，步步关联，例子比比皆是：如市场上没有优质的、大批量和低成本的原丝，要想单独建一个大型的纤维碳化厂可谓是“无米之炊”；而当碳纤维丝束独立存在时却是“英雄无用武之地”，只有与树脂基体结合后才能充分发挥出其优异的力学性能和功能；即便是同样品质的碳纤维，如在复合材料中的排列方式不一样，其各自复合材料的总体性能差异就很大；碳纤维如与性能不匹配的树脂复合，也不可能成为高性能的复合材料；即或所有基础材料都是高品质和相匹配，但加工成型的设备和工艺不对，也不可能生产出高品质和高性能的复合材料……总之，在整个碳纤维复合材料产业链领域，无论是发展碳纤维产业，还是发展复合材料下游产业，我们的各级决策者应秉承系统论的思维与战略尤为重要。不站在系统论的观点盲目跟风去发展碳纤维，就很容易误入迷途。

同理，不对国内外碳纤维有清晰的认识，对高素质复合型人才缺乏了解，盲目发展高性能复合材料，也会陷入被动。

3.2 需从复合材料系统性降低成本来实现低成本化

国际上业界有一句流行的话：从原材料到碳纤维，价格从1变到3；把碳纤维加工成复合材料，价格可从3变到10。这句话表达了两层含义：从碳纤维到复合材料，增加的附加值更多；碳纤维在复合材料中的成本是约20%~30%。但必须指出，所谓低成本高性能复合材料不是指绝对的低成本，必须要强调高性能价格比，而且要强调系统下的比较成本优势，比如汽车用碳纤维复合材料，不光要计算其零部件本身的成本，更要计算组合安装成本以及节能减排和绿色环保效应带来的综合效益。否则，只计算零部件的绝对成本，高性能复合材料肯定比传统或常规的复合材料高出很多。

如前所述，要用系统论来看待和处理高性能结构复合材料。在这种思维指导下，我们

可以发现大量的成本节省空间。比如，同样一个结构复合材料，采用大丝束或小丝束碳纤维的问题，节约的成本可不光是纤维本身的价格差，后续预制工艺也在节约成本，甚至预浸铺层工艺也会节约成本。从结构复合材料的设计开始，就必须充分考虑成本因素，如果设计师在各个环节缺乏相对精确的许用值，不断加大安全系数，设计出的复合材料零件比金属零件还厚重，那低成本就根本无从谈起。

对于高性能复合材料，成本不仅可以控制，还可以设计。有大量原材料和成型工艺的排列组合可供设计师选择，不同的材料工艺组合就有不同的成本。所以，高水平复合结构的设计人员，不光是优秀的技术人员，也应是精确的成本核算师。

人类在不停地提升碳纤维和树脂的性能以及各种结构复合材料的成型工艺，优秀的结构设计人员应及时掌握这些信息和动态，不断提升结构的性能与功能，以期获取最高性价比的产品。

4 借鉴国际碳纤维产业的发展模式，调整我们自己的发展观念与思路

全世界有8家碳纤维大企业，各有其发展模式与特点。

4.1 小丝束碳纤维企业

日本的东丽、东邦和三菱3家企业比较类似，产品范围比较全面，从标准模量、中模量到高模量，力学性能品级齐全，品种规格丰富，产能主要集中在小丝束，用于航空航天及高端体育器材，素以引领世界碳纤维发展“三驾马车”著称，尤其在全球进入节能减排时代后，日本这几家著名碳纤维企业首先配合波音和空客两大飞机制造公司，相继在B787梦想飞机和A380空中巨无霸大飞机上大量使用碳纤维复合材料，突破了民航大飞机上先进复合材料结构超过50%的革命性创举。在此基础上，他们分别主动与欧美、日系汽车企业强强联手，抢占先机，大力发展新能源复合材料汽车。台塑是1984年收购美国Hitco碳化技术后进入碳纤维领域的，主要生产12k碳纤维，产能规模排位世界第4，其碳纤维主要用于台资企业的体育器材领域；美国Hexcel与Cytec均生产小丝束碳纤维，Hexcel有高强、中模碳纤维，Cytec只有普通品种的PAN碳纤维和世界上最好的沥青基碳纤维，这两家公司在东丽进入波音公司前，其预浸料基本垄断了美国航空航天复合材料（尤其是军品）市场，同时还供应碳纤维复合材料零件。

4.2 大丝束碳纤维企业

美国 Zoltek 在 1988 年通过收购 Stackpole Fibers 进入碳纤维，1992 年，Zoltek 建立了第一条基于工业腈纶的连续碳化线，把战略目标锁定在低成本的工业应用；1995 年，Zoltek 收购了位于匈牙利的腈纶厂；1999 年，Zoltek 收购了 4 家复合材料企业，包括材料设计、预浸料和复合材料设备公司，努力向碳纤维下游突进；进入新世纪后，Zoltek 在风电叶片领域销售了大量的碳纤维及其碳纤维预浸料，同时，积极开拓汽车市场^[13]。德国 SGL 通过 1997 年收购英国 RK Carbon 进入碳纤维领域；1998 年，与美国著名的高尔夫球杆公司 Aldila 合资建立碳纤维碳化厂，产能 1 100 t/a；2010 年，与宝马的合资公司在美国投资碳纤维碳化线，专用于宝马汽车复合材料。同时，在大丝束领域令人瞩目的是，日本三菱在产品开发中嬗变战略，从小丝束跨界到大丝束领域，看好的就是蓬勃发展的国际风电产业市场和未来低成本、高性能碳纤维复合材料的发展方向，其 60k 大丝束碳纤维力学性能已达到东丽 T700 水平，并且 SGL 与宝马合资在美国的大丝束碳纤维碳化线，所原丝也是由三菱提供的。

4.3 要在反思中学会选择借鉴适合自己的发展模式

通过了解和借鉴上述 8 家世界主要碳纤维公司的运营历史与模式，值得我国碳纤维企业认真反思自己的发展模式。是否言必称和行必效东丽？是否应该找一家更适合我们国情及企业本身条件的模式来学习？我们觉得中国碳纤维产业应该着眼于发展大丝束碳纤维，建议以 20%/80% 比例分配小丝束/大丝束的产能，除少数几个科研单位或企业可以专攻特殊品级（如高强中模如东丽的 T800 和 T1000，高强高模如东丽的 M50J 和 M60J 等）碳纤维外，其他大部分碳纤维厂家应该把战略定位在大丝束碳纤维及工业化应用上。这是因为小丝束碳纤维的传统市场如航空航天市场是一个缓慢和有限的发展过程，体育器材市场扩展空间也有限，最有发展潜力的是能源、汽车等工业应用领域，必然是将来低成本大丝束碳纤维应用的广阔市场。同时，随着技术的成熟和市场应用的促进，大丝束不再是“低档货”的代名词，如今大丝束力学性能不仅有 T300 级别的，也有 T700 强度级别和中高模量的。

日本友人曾形象的比喻，碳纤维生产犹如中国传统的象牙雕刻，需要精雕细琢，而中国的现代工业文明正是缺失这种“一丝不苟”的文化因素，所以要想做出高水平的碳纤维是很困难的。从中国目前对碳纤维掌握的技术与管理水平看，大力发展大丝束碳纤维不失为明智和务实的选择，也完全符合当今低成本碳纤维及其复合材料的全球发展趋势，这一

趋势已从碳纤维在工业领域应用的今天，世界8大碳纤维企业中的大丝束碳纤维厂商迅速崛起得到印证。而且中国人的成本控制能力非常强，中国价格也是闻名四海，低成本大丝束碳纤维或将是我们可以在世界竞争中获胜的主要法宝。

5 充分整合国际优质资源，建立较高水平的技术装备平台

西方国家严格实施对碳纤维及其复合材料领域的技术与装备出口的管制，主要是针对军事用途的。当我们大部分企业把目标市场定义在工业应用领域后，我们就可以整合大量成熟的国际资源为我们服务。

5.1 充分借鉴成熟腈纶工业的成果，发展工业级大丝束碳纤维

国际上几乎所有的碳纤维巨头，都曾经有强大的腈纶工业做支撑。在实验室或小试线制备研发原丝时，似乎与腈纶工业关系不大，但在碳纤维工业化和商业化的进程中，腈纶工业的技术基础就显得尤为重要。目前，我们国内还存在着一 种莫明的现象：搞原丝的人似乎不太看得起腈纶工业的“粗犷”，而搞腈纶的人则觉得搞原丝的人“不懂工业”。我国有世界第二和第三规模的腈纶产业基地，我们也有很多科研单位与厂家以小试规模做出了类似T700和T800性能的原丝，我们能否形成“科研部门等技术单位继续研发小丝束原丝满足军工需求，腈纶厂则在腈纶技术基础上研发工业应用大丝束原丝的互利互助的分工合作格局”？改造和采用腈纶大规模的生产及工程系统经验，生产工业级大规模和低成本的大丝束原丝技术，是生产低成本大丝束碳纤维的重要方向：可以充分借助腈纶厂现有的公用工程和废物处理系统，减少项目投资；可以充分借助腈纶厂熟练的技术工人和管理经验，保证生产的连续与品质；可以充分借助腈纶厂对生产成本和对经济产能的严格要求，保证最低的成本；腈纶科技人员要充分尊重原丝的技术生产特点，要把原丝技术有机地融入腈纶工业体系，这可能是我国碳纤维突破眼前困境的重大思路。

5.2 大丝束、大规模和低成本碳化线

整体上讲，大丝束碳纤维的预氧化和碳化工艺比小丝束复杂。目前，我国绝大多数碳化线是按12k小丝束为基准来设计的。对大丝束的预氧化和碳化也缺乏工艺经验，对整个生产线的低成本运营更是没有经验。而SGL在美国投资的产能1500 t/a碳化线，从土建奠基到碳纤维产出，只用了一年的时间，足以证明该公司的大丝束碳化线技术、工程与系统十分成熟和稳定。这类成熟和可靠的经验平台，值得我们学习与借鉴。在对待发展大丝束碳纤维的产

业观念上，中国人必须要从航空航天和国防军工定义的小丝束碳纤维概念的束缚中摆脱出来：大丝束不是“低档货”的代名词，大丝束不仅是过去的 T300 级别，目前也有 T700 强度的，将来还有中高模量的。配合原丝技术的提升，精确设计碳化的各段工艺与技术装备，实现每千克纤维的公用工程消耗最小化，是碳化线技术平台努力的方向。

5.3 热熔性预浸料整体解决方案

如前面所提及，对于新上预浸料的投资者，一定要充分重视预浸生产核心竞争力的准备，不要认为买一台好的设备，就自然可以做出合格的预浸料。所以这类新投资者，最需要购买整体解决方案。借助有经验预浸专家的帮助，建立良好的系统，才能获得有回报的投资。而对于现有国产碳纤维企业投资预浸料设备，若必须要进口预浸机来加工本厂的碳纤维，这也需要有经验专家和后续应用的支持，否则待浪费了大量的国产材料和折腾了时间后，最终仍不得不采用进口的碳纤维。

5.4 各类碳纤维复合材料应用解决方案

国外经过长期的发展，对很多碳纤维复合材料的应用已经有非常成熟的解决方案。比如碳纤维复合材料风电叶片梁、大型碳纤维复合材料桅杆、碳纤维复合材料芯导线等。引进这些成熟解决方案，是我们快速推动和扩大碳纤维复合材料应用的捷径。

5.5 国际市场成熟的碳纤维用户与市场

目前，中国每年约消耗 10 000 t 碳纤维，是国际上碳纤维消耗大国。但是，我们的复合材料市场并不强大，如很多客户根本就没有材料的设计能力，换一个品种的碳纤维后，就不知道该怎么做了。相比之下，发达国家的碳纤维用户显然有更强的技术能力，不光在产品上善于创新，也比较容易接受新鲜的事物。建议国内较成熟的碳纤维企业要敢于走到国际市场，利用国际市场开发使用我们的碳纤维，并得以机会逐步提升国产碳纤维品质。

6 转变观念，提升产学研的合作效益

我国碳纤维及其复合材料产业的一般发展模式是专家与企业的结合。其中不乏专家与企业成功合作的范例，但也有不少合作矛盾重重。如有些企业的工程技术人员看不起专家，认为他们说什么技术都头头是道，但现场遇到问题就束手无策，很多现场的问题全靠工程技术人员解决；反之，有些专家看不起企业的工程技术人员，认为你连碳纤维的基本知识都不懂，怎么可能把碳纤维搞好？还有一些企业，在解决了一定的工程技术难题后就盲目自信，

认为自己已经是碳纤维专家了，什么都明白。科学与工程之间的矛盾，演变成专家与企业的矛盾，这对我国碳纤维的发展是极为不利的。

一方面，由于各国对碳纤维技术的保密，要在国际人才市场上引进有系统经验的真正的专家非常困难。所以，国内为数不多的专家是国家稀有的宝贵财富，是企业发展碳纤维的技术支撑。从聚丙烯腈到原丝，从原丝到碳纤维，再从碳纤维到纤维到广泛应用的复合材料，形成了一个既庞大又复杂的碳纤维及其复合材料产业链，还有很多类似机理方面的基础研究科学问题尚未得到很好的理论解释，光靠企业的工程实践经验是无法破解的。值得注意的是，我们一些企业家曾经在传统工业领域取得了辉煌的成功，带着强烈的爱国情怀，全身心投入碳纤维事业，天天蹲在生产线旁边研究问题，这种精神值得钦佩，但是如果能够有效地激励科技人员攀登科学高峰的激情，形成持续和不断扩大的研发实力，恐怕比你身体力行更有效益。因此，企业家们必须胸襟豁达，目光放远，力戒浮躁，尊重科技人员，努力建立一个好的分享机制，推动专家们悉心去研究，不断攻克技术难关，并用他们的研究成果去指导工程实践。

另一方面，在碳纤维及其复合材料的整个产业链中，除了基础科学研究的学术和理论，也依然有大量工程实践的经验与技术，尤其是大规模工业生产线，我国的专家也极少有实际工程方面的经验。毕竟当前整个中国还没有一条能高效、稳定、连续和低成本的碳纤维工业化装置成功运行，所以专家们也无从去积累经放大或成熟后的工程经验。主要的经验只能靠企业的工程技术人员和专家一起在实践中去摸索。这些宝贵的经验，应该成为专家们科学理论的验证数据和进一步深入研究的基础数据，所以也理应得到专家的尊重与认可。

只有科学研究与工程实践的相互促进和螺旋式提升，才能真正形成一个既有科学理论和又有工程实践经验的完整的技术体系。这是我国碳纤维及其复合材料产业链可持续发展，赶超发达国家的必要条件。

7 借鉴国外成功经验，加强我国复合材料共享数据库建设

复合材料与其说是材料，更是一种结构，这个特点给结构设计人员带来难题，他们期望能有一个像金属材料设计手册一样的材料性能数据库，以便于复合材料更容易被各个工业领域所采用。美国航天局（NASA）和美国航空管理局（FAA）一直在推动航空领域内共享复合

材料数据库的建设，主要经历了3个阶段的发展：第一个阶段，传统模式。对于一个新的飞机型号，设计者首先要向适航当局申请适航型号合格证（TC），TC申请人对复合材料供应商开展Qualification（合格性鉴定），并将所有文件和数据整理报适航当局有关机构进行适航符合性审查。审查通过后，TC申请人会将该供应商列入其合格供应商目录。实施过程形成的数据库、材料规范、工艺规范等知识产权一般归TC申请人所有，TC申请人一般不愿将这些数据和知识与其他航空型号设计和制造商共享。其他TC申请人即使使用同一种材料也必须重复材料鉴定工作，这就造成了经费的浪费和时间的耽误，对于小型航空器设计和制造公司来讲，这些浪费几乎是不可接受的。

第二个阶段，AGATE阶段。从1994年开始在NASA、FAA和美国70家企业、学术机构与政府机构组织开展了AGATE（Advanced General Aviation Technology Experiments）项目。在通用航空领域内，发展一种通用的复合材料鉴定和性能等同判断方法和规则，建立共享的数据库，大幅度降低材料鉴定的成本和时间，加快通用飞机设计、发展进程和适航审定。

第三个阶段，NCAMP阶段。2005年NASA的技术人员认识到AGATE的方法应该从通用航空领域推广到整个航空行业，于是建立了一个永久性机构（National Center for Advanced Materials Performance, NCAMP），与复合材料手册CMH-17（之前叫MIL-HDBK-17，由美国军方管理）一起来继续优化这些方法，并致力于这些方法的发展和应用，同时也成为共享数据库的运行维护者和服务提供者^[14]。

根据上述美国在航空航天领域复合材料数据库的创建和发展经验，我们认为：我国航空航天部门要加快对上述经验的学习与吸收，积极发挥“后发优势”，不走历史老路，尽快成立类似于“NCAMP”的机构；美国的大量复合材料数据是基于本国或日本、欧洲厂家的数据，我们要积极鼓励我们本土的纤维企业、复合材料企业及复合材料用户提供各类数据，加大对这些数据在复合材料用户中的推广宣传，用翔实的实验数据打消应用单位采用国产复合材料的顾虑和担忧，并积极鼓励他们敢用与多用；复合材料共享数据库不应该仅仅限于航空航天领域，应该扩展到其他所有应用领域；复合材料数据库不应该仅限于国内，也要做国际推广，让国外的用户了解中国复合材料的发展进展和标准规范，让中国数据库成为世界数据库的组成部分。这个工作同时可以起到帮助推销我国碳纤维及其复合材料产业链企业的产品和技术，且是一种极为有效和权威的推销思路 and 手段；本共享数据库的建设，也是维系行业团

结与共同进步的纽带，充分发挥“我为人人，人人为我”的团体优势，摒弃低水平血拼式恶性竞争方式，用技术与品质为中国复合材料产业在国际上赢得一席之地。

8 加强行业宏观管理，强力推进整个产业链的脱困与发展

8.1 回顾历史和以邻为鉴

先有必要回顾一下中国碳纤维的发展史。1960年代，我们几乎是与日本和美国同时起步研发碳纤维。1970年代，日本与美国在碳纤维领域有一个迅猛的发展；而我国张爱萍将军组织的“7511会战”也取得了很大成绩。1980年代，东丽就宣布开发出其顶级产品T1000；而台塑、Zoltek等公司刚起步；我国已经投资为吉林化学工业公司（现中石油吉化公司）引进了英国产能100 t/a的工程线，随后北京化工学院（现北京化工大学）利用联合国的资助引进了英国产能10 t/a的实验装置。1990年代，世界碳纤维格局发生巨大变化，Cyttec收购Amoco碳纤维部门进入碳纤维领域，Hexcel收购Hecules碳纤维进入碳纤维领域，SGL收购RK Carbon进入碳纤维领域，Zoltek收购匈牙利腈纶厂，为低成本碳纤维打下原丝基础；而我国的碳纤维事业却基本处于停滞状态。2001年，两院院士师昌绪先生给江泽民主席写了“关于加速开发高性能碳纤维的请示报告”，重新点燃了中国碳纤维的发展之炬，尤其自2007年起（十一五期间），中国进入了如火如荼般的碳纤维投资期，短短几年间即诞生了大量的碳纤维厂家，但绝大部分均处于低水平的重复建设项目。全国各地先后至少4~5个城市和6~7家企业在上项目时宣称产能上1万 t/a，更有甚者，有家企业以碳纤维技术方名义，竟前后分别与4~5家央、国企或民企合作，不惜巨资和重复投资，在各地建“万吨级碳纤维项目”，甚至在当下碳纤维产业已整体陷入困境的情况下，还与某市紧锣密鼓合作，声称要在该市投30亿元巨资上1万 t/a产能的小丝束碳纤维项目，虽然其技术水平低下，更没有PAN原丝技术，但却妄称自己是中国的“碳纤维之父”，屡次三番得到某些政府和投资企业的青睐，竟然也不断得到某些知名专家、权威的支持和吹捧，真乃咄咄怪事！也足见这种“烧钱”的投资行为已疯狂到无以复加的地步！

通过这段历史的简单回顾，可以断定我国碳纤维及其高性能复合材料的产业管理严重缺失。早期，我们依靠中央组织会战；后期，我们依靠著名科学家去呼吁，去推动；再后来，就各自为阵，大干快上，相互复制。今天，30多家企业（除了极个别军工定点的企业）集体陷入了空前的困境：一方面，千军万马蜂涌而上“独木桥”，但技术不过关，又无创新能力，

产品品质不如人且成本过高，以前期盼的碳纤维及其复合材料的广阔应用愿景，好多在中国并不存在和不现实，价格被国际市场打压在严重亏损的区间，导致国产碳纤维甚至亏本还难卖，希望正在化为泡影。而另一方面，“独木桥”下仍不断有新的项目、巨资和热情在跃跃欲试。整个产业的宏观管理堪称乱象丛生！有人对此却不以为然，认为市场经济就应该经历这种群雄混战和优胜劣汰的过程。但是试问：我国对碳纤维的投资难道是真正的市场经济行为吗？答案和事实是绝大部分项目背后都有国家和地方政府、银行和央企支撑的身影，这显然又是典型中国特色的“市场经济”产物！

而与我国碳纤维发展模式大相径庭和不可思议的是，2007年时，一家土耳其的AKSA腈纶公司初涉碳纤维领域，仅短短几年工夫就成了一匹惊愕于世的“黑马”，其Aksaca碳纤维性能品级从A-42（相当于东丽T300）一下子突破A-49（相当于东丽T700），总产能跃升至3 500 t/a，从2010年抢滩中国市场至今仅两年半时间，就在中国市场创造了销售1 500 t碳纤维的奇迹，年销售量比中国全部碳纤维企业年实际销售总量（指合格品 产品）还多！仅此为鉴，难道还不足以令我们以 碳纤维举国战略的泱泱大国震惊和汗颜吗？接下来，韩国的Taekwang和Hyosung，还有沙特、印度等国近年来相继介入的碳纤维企业，也一定会 快速在国际碳纤维领域崛起，届时我们又将情何以堪？

8.2 创建“碳纤维及其复合材料产业链联合会”或将是摆脱困境之上策

对于30多 家已进入碳纤维领域并集体陷入困 境的企业，谁应该来引导和支持他们集体脱困？ 按目前的发展态势，几年后，紧随其后的碳纤维 复合材料产业或将成为一个更大的“烂尾楼”？我国还要不要这个“新兴的战略产业”？谁该来 拯救这个“刚出生就面临夭折的孩子”？

在此我们向业界呼吁：直面现实，须以凤凰涅槃和浴火重生的勇气，锐意改革，敢于创新， 开辟出一条具有中国特色的碳纤维及其复合材料产业通衢。建议在中国创建一个由“官、产、 学、研、用”等组成的碳纤维及其复合材料产业 链联合会组织。该联合会至少应由5 个方面群体 组成：

第一大群体，自然是已投入巨资的碳纤维企业，他们是困境陷入者，对摆脱困境最有迫切需求；

第二大群体，为碳纤维复合材料的终端用户或潜在用户，如航空航天、体育器材、风电

叶片、高铁汽车、国家电网、深海油田、建筑补强等应用部门。这类群体原本是最重要的，是碳纤维的终端需求市场，将围绕碳纤维形成跨行业、跨界和庞大的高新技术产业链，有待于下大力气培育壮大；

第三大群体，为介于碳纤维到复合材料制品的中间材料制造企业，如预浸料、织物、短切纤维等原材料以及型材等复合材料加工企业，这个群体是碳纤维到最终应用必须过渡的技术和物质桥梁；

第四大群体，为研究碳纤维及其复合材料的设计和工程技术专家，以及服务于这个行业的技术及装备企业，还有服务于这个行业的树脂企业和其他复材耗材企业。这个群体是服务于整个产业链的各个环节，并提供技术、材料和装备支持的。

第五大群体，为具有对各行业发展规划和协调的公权力及影响力的政府领导部门、两院院士和著名专家。这个群体需要去深入和客观地了解行业的真相，运用其卓越的洞察力、智慧和公权力及影响力，去为整个产业链健康有序发展制定政策环境。

上述联合会组织不等同于一般的民间协会，从联合会的组织结构、功能职能、制度机制、运转方式等都是一种前所未有的创新之举，无论外延与内涵都明显与数年前曾创立的“碳纤维产业联盟”或近期各地相继成立的区域或行业性类联盟组织有很大区别。要把能调动上述5个群体积极性的政策，如政府支持的建议权，甚至经费分配的建议权归到这个组织中。使之对整个联合会形成强有力的支配力量。以各家参与企业在市场上产生的绩效或潜在绩效划分话语权，采取集体协商与决策制度。

以目前中国碳纤维及其复合材料的现状和管理体制，靠任何单个企业或产业链段是无法改变局面和摆脱困境的。在关乎国家兴衰的战略性产业面前，风云变幻的国际竞争很可能出现强势联手将“新生儿”扼杀于摇篮之举，而且“杀手们”往往都采用国际惯例的商业规则，防不胜防。我国“举国机制”是一大中国特色，往往会创造出令世人瞩目的奇迹。“水能覆舟更能载舟”，如“中国特色”不慎导致碳纤维及其复合材料产业链走入困境，不妨仍用“中国特色”来突破重围。但愿创建“碳纤维及其复合材料产业链联合会”之举措，或将是解决当前和相当长时间内中国碳纤维及其复合材料产业链转危为安和健康、有序发展的有益思路。

鸣谢：

本文在多年的观察、调研、酝酿和写作过程中，承蒙我国新材料领域部分著名专家学者、科技领导及企业家的赞许和具体指导，在此谨向他们深表敬意和谢忱！

参考文献：

- [1] Toray strategy for carbon fiber composites materials, Toray Industries, Inc., 2008.
- [2] The Status and future of comercial carbon fiber, Zoltek companies, Inc., 2010.
- [3] 吴一波. 碳纤维预浸料的现状和最新发展, HEXCEL 上海办事处, 2011.
- [4] New prepreg materials offer versatility, top performance, Richard Stewart, 2009.
- [5] Advanced technology for tape laying for affordable manufacture of large composites structure, Michael N. Grimshar, Carrol G. Grant, Cincinati Machine, Jose Manuel Luna Diaz, CASA.
- [6] www.coriolis-composites.com
- [7] www.Afpt.de
- [8] Introduction of New large tow carbon fiber and PCM technology, Mitsubishi Rayon Co., Ltd.
- [9] www.fiberforge.com
- [10] 陈新. 碳纤维复合材料芯导线在电网输电线路中的应用研究, 中国电力科学研究院, 2011.
- [11] 碳纤维在风电叶片中应用技术发展, 中材科技风电叶片股份有限公司, 2011.
- [12] 魏宏森, 曾国屏. 系统论:系统科学所学[M]. 北京:世界图书出版公司, 2009.
- [13] www.zoltek.com
- [14] 李宏远. 复合材料在民机应用中有关适航问题的探讨[J]. 航空制造技术, 2009, (16): 26-29.