

2013 年中国复合材料行业发展回顾与展望

Retrospect and Prospect of 2013 Composites Industrial Development in China

中材科技股份有限公司 薛忠民
北京玻璃钢研究设计院有限公司 张文玲
中国建筑材料联合会 吕琴



薛忠民

博士,教授级高级工程师,享受国务院政府特殊津贴。曾任北京玻璃钢研究设计院院长、中材科技股份有限公司副总裁,北京玻璃钢院复合材料有限公司及中材科技风电叶片股份有限公司董事长等职。现任中材科技股份有限公司董事长、中国复合材料工业协会副会长、中国硅酸盐学会玻璃钢分会理事长,《玻璃钢/复合材料》杂志社主编。

2013年,受国际政治经济形势的影响,中国经济整体增速放缓,复合材料行业的发展遇到产品价格下滑、原材料价格上涨、劳动力成本上升、财务费用增加、资金紧缺等诸多

作为国家战略性新兴产业中新材料领域的重要组成部分,复合材料在航空航天、风能发电、汽车轻量化、海洋工程、环境保护工程、船艇、建筑、电力等领域发展迅速,相关专利数量逐年快速增加,标准体系不断完善。

困难。在不利的、外部大环境下,全行业在国家产业政策的指导下,通过技术创新、调整产业结构、拓展应用领域等措施,整体呈现稳中有升的态势。

行业总体情况

据国家统计局对 383 家规模以上复合材料生产企业 2013 年前三季度的统计:主营业务收入达 541.2 亿元,同比增长 7%;利润总额为 42.1 亿元,同比增长 12.5%。

2013 年前三季度我国玻璃纤维纱产量为 217.51 万 t,同比增长 0.51%;前三季度玻璃纤维全行业主营业务收入 970 亿元,同比增长 14.5%;实现利润总额 56.4 亿元,同比增长 12.9%。

据不完全统计,2013 年 1~10 月

份,我国不饱和聚酯树脂产量较去年同期增长约 0.5%,其中,FRP 用不饱和聚酯树脂同比增长约 0.9%;FRP 用不饱和聚酯树脂约占此类树脂总量的 55%,成型的复合材料制品中各工艺所占比例及与去年同期相比的增长率如图 1 所示。2013 年 1~10 月份,我国乙烯基酯树脂产量较去年同期增长约 4.9%,预计 2013 全年乙烯基酯树脂产量可达 4 万 t。

作为国家战略性新兴产业中新材料领域的重要组成部分,复合材料在航空航天、风能发电、汽车轻量化、海洋工程、环境保护工程、船艇、建筑、电力等领域发展迅速,相关专利数量逐年快速增加,标准体系不断完善。SooPAT 数据显示,1998~2013 年我国复合材料相关专利数量达 52756 件(含发明专利、实用新型专

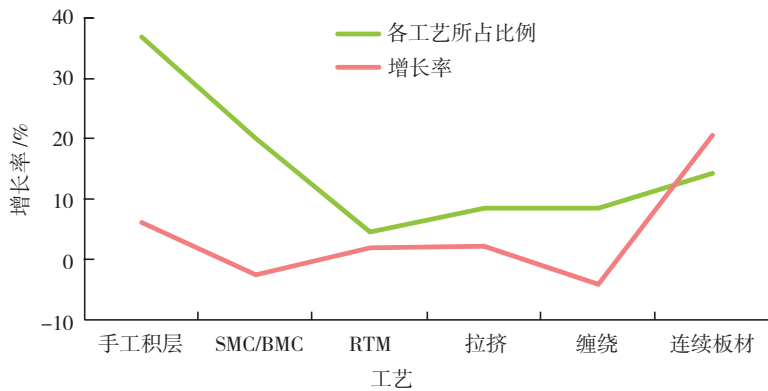


图1 2013年1-10月成型的复合材料制品中各工艺占比及增长率

利和外观专利),2013年公开专利数为11484件,较2012年增长了14%,申请人主要集中在国内高等院校,前10名都是国内知名大学,其中,哈尔滨工业大学数量最多(图2、图3)。

在标准化方面,归口单位全国纤维增强塑料标准化技术委员会,2013年共计完成了包括《玻璃纤维增强塑料地下储油罐》在内的8项国家标准的立项工作,较2012年增加了3项;完成了10项国家标准的审查工作。5月份,中材科技风电叶片股份有限公司与国内外各大认证机构一同参与了IEC61400-5第5大部分的讨论,即风电叶片的设计标准,涵盖材料和设计分析两个部分。此外,业内领军企业,都积极参与国内外标准制修订工作,完善标准体系,争取标准主动权和话语权,推进标准化进程。

复合材料部分应用领域发展情况

1 高性能纤维及复合材料领域

高性能纤维是指高强、高模、耐高温、耐腐蚀以及阻燃性能等传统纤维所不具备的优良特性的纤维材料,主要包括碳纤维、芳纶纤维和超高分子量聚乙烯^[1]。高性能纤维及复合材料特别是碳纤维及复合材料相关基础研究工作本年度取得了一定进展,国内碳纤维原丝技术和规模化生产技术有所突破,产品稳定性有所提

高,推广应用于航空航天、新能源汽车、电力输送等领域。

1.1 碳纤维产能增加,产量有限,关键工艺技术有待继续突破

2013年全球小丝束聚丙烯腈基碳纤维产能约为71000t,同比增长了5%;大丝束聚丙烯腈基碳纤维产能约为25000t,同比增长了6%;沥青基碳纤维产能约为1890t,与去年持平^[2]。目前,日本东丽、东邦、三菱丽阳等碳纤维企业基本垄断了高端碳纤维市场。国内外碳纤维工艺对比如表1所示。

我国拥有碳纤维生产企业30余家,产能约14000t;国内部分碳纤维企业已建原丝产能21260t,碳化12755t;在建、拟建原丝产能5000t,碳纤维产能11200t;若干年产百吨级生产线和千吨级生产线已建成投产,碳纤维规模化生产技术获得突破

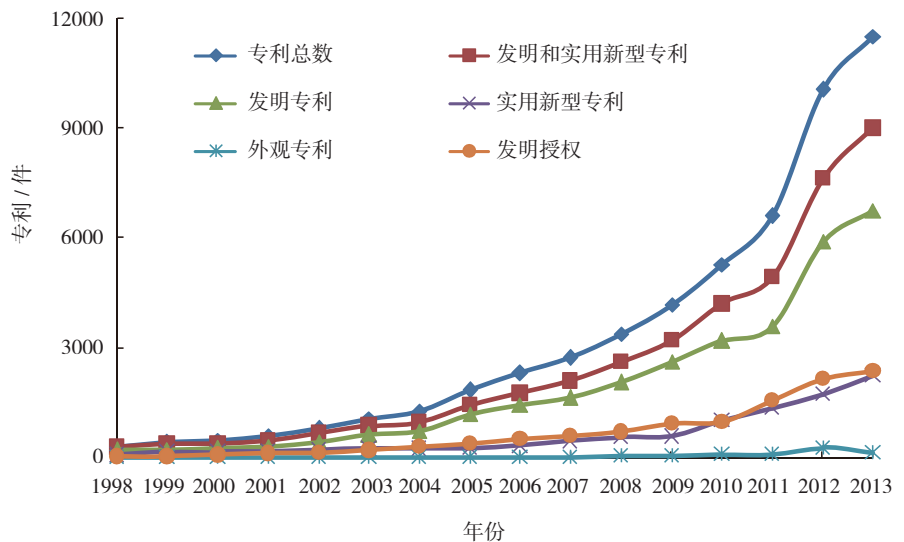


图2 1998-2013年我国复合材料相关专利数量图

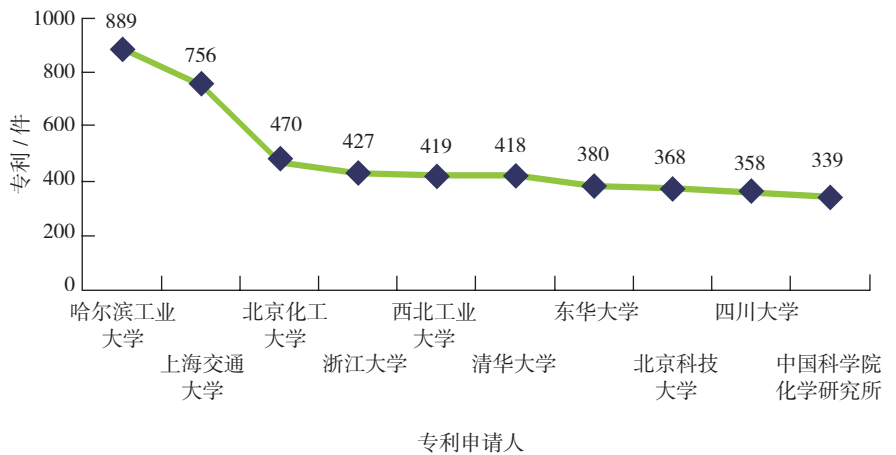


图3 1985-2013年我国前十位复合材料专利申请人

表1 国内国际碳纤维工艺差距^[3]

对比项		国内	国际
关键工艺	间歇釜 /m ³	6~10	20~45
	原丝收丝速率 / (m·min ⁻¹)	50~120	300
	碳化收丝速率 / (m·h ⁻¹)	150~400	900
	单线产能 12K / (t·a ⁻¹)	10~500	1000~1800
原材料	聚丙烯腈纯度 /%	95	99.5
	上浆剂	无工业化生产	大量工业化生产

性进展。T300 级碳纤维和 T700 级碳纤维工业化生产技术已被掌握, T800 级碳纤维处于试验线试制阶段, M40 级碳纤维处于研发、试制阶段。国内碳纤维产能虽然很高,但是产量很低,2013 年我国碳纤维产量约为 4000t,且大部分为 T300 级碳纤维^[2],碳纤维需求缺口仍然很大。

目前,我国碳纤维生产企业主要集中在对低端产品的开发与摸索中,仅少数企业从事原丝生产和碳纤维材料生产,但强度低、均匀性和稳定性较差,质量和数量都无法满足国内市场需求。核心技术如 PAN 原丝生产中的聚合、喷丝、牵引,以及碳化过程中的低温碳化、高温碳化尚未攻破;预氧化炉、碳化炉等关键设备缺乏;而且,我国碳纤维生产企业实际有效生产规模较小、缺乏核心竞争力、研发的新技术被国际专利覆盖等问题。此外,整个碳纤维复合材料产业链仍不健全,从原材料向复合材料过渡的中间环节仍比较薄弱,针对民用领域的低成本碳纤维开发力度不足。

1.2 碳纤维复合材料应用领域扩展,设计、制造水平提升

(1) 航空用碳纤维复合材料用量增加,自动铺带关键技术有所突破。

大飞机零部件大量采用碳纤维复合材料,全碳纤维小型飞机不断被研发。今年交付的首架波音 787-9 梦想飞机,其方向舵为中国制造,大量使用复合材料,占 60%~70%。为

更好解决方向舵零件外形尺寸大、部分结构零件形状复杂的问题,方向舵大量采用了碳纤维复合材料;备受瞩目的中国 C919 大型客机铁鸟试验台用结构产品——副翼铁鸟试验件,包含有 34 个复合材料件。小型飞机方面,碳纤维复合材料结构平台的六旋翼无人机圆满完成相关军事科目演练,其机身、旋臂和起落架均由碳纤维复合材料制成;中国首架应用碳纤维复合材料和燃料电池动力的无人机“雷鸟”,其机身和机翼都采用全碳纤维复合材料;中国首架自主知识产权电动飞机——RX1E 锐翔双座电动轻型飞机已在沈开始批量生产,该飞机以锂电池为能源,采用全碳纤维复合材料结构机体;并且 AEE 无人机系统 F50 已在国内多个省市的执法单位中广泛使用,该无人机采用全碳纤维复合材料一体化机身结构。

哈尔滨飞机工业集团有限责任公司承担的省重大科技攻关项目“复合材料构件自动铺带应用技术研究”通过科技成果鉴定,项目总体技术水平居国内领先。以国产材料为基础进行铺带工艺技术研究,进一步开发自动铺带设备性能和技术,突破关键技术,研究出具有自主知识产权的自动铺带工艺技术控制程序与标准,为国家大飞机研制、大型直升机研制等新机研制提供先进的数字化制造技术,突破了复合材料大部件铺带技术的瓶颈,为实现复合材料构件数字化制造和自动铺带工艺技术工程化应

用奠定了基础^[4],也进一步推动了碳纤维复合材料在航空领域的应用。

(2) 碳纤维复合芯导线结构、工艺等关键技术有提升。

碳纤维复合芯导线结构和工艺设计取得进展。由哈尔滨玻璃钢研究院承担的黑龙江省重点科技攻关项目“架空输电电缆用碳纤维复合材料加强芯研制”顺利完成。该项目在碳纤维复合芯架空导线产品的结构设计和工艺设计方面取得突破,研制出耐高温、高韧性、低粘度树脂配方,依据纤维混杂理论,完成了对混杂增强材料(碳纤维、玻璃纤维)及其匹配的优化设计和试验,完成了专用成型设备的设计与制造,以及模具、工装、预成型模具等工艺装备的设计与工艺试验,解决了成型工艺技术中的诸多技术难题,产品的各项性能指标均达到或超过国外同类产品水平,已在多条线路上成功应用^[5]。中复碳芯电缆科技有限公司生产出了目前国内挂网运行截面最大的碳纤维复合芯导线,其产品已进入航空、航天领域,将在酒泉卫星发射基地挂网运行^[6]。

目前,全国有碳纤维复合芯生产企业 30 余家,碳纤维复合芯生产线 200 余条。其中,有规模生产能力的企业 4~5 家^[2]。碳纤维复合芯导线已在南京、宁波、海南、山西等地挂网运行,取得了良好的经济效益和社会效益。预计 2014 年将会有更大规模的应用。

(3) 汽车轻量化助力碳纤维复合材料打开汽车领域大市场。

全球节能减排大趋势,使得轻量化成为汽车产业发展的必然趋势。世界一流汽车企业纷纷与原材料供应商合作,组成产业联盟,研究碳纤维低成本化技术,推动碳纤维复合材料的大规模应用。2013 年 7 月 29 日,全球首发的宝马 i3 电动车首次大量运用了碳纤维材料,其量产车型的乘员座舱采用全碳纤维复合材料制造,

大大减轻了整备质量。通过与碳纤维厂家合作,宝马攻克了在大规模生产中使用碳纤维增强塑料技术,可根据需求自由决定碳纤维增强塑料部件的成分、强度和几何形状,突破了树脂快速固化技术,数分钟便能实现固化成型,大大缩短了生产时间,并且减少了零部件数量,使得制造成本比10年前降低了50%^[7]。

目前,我国已基本突破了车身轻量化设计技术与评价方法、纤维增强塑料模块化设计与应用技术和以整车减重为目标的多种轻量化技术集成应用等汽车轻量化关键技术。2013年年初,我国首台配备碳纤维全复合材料车厢的车辆下线,该车长8.6m,载重50t,自重4.8t,比金属厢体减重29%^[8],标志着我国复合材料在汽车轻量化领域的应用技术有了新的突破,开启碳纤维应用的“蓝海”。中联重科推出了碳纤维臂架泵车等两款新产品,并且其研发的80m碳纤维泵车已实现小批量生产。常州神鹰碳塑复合材料有限公司已投资建设年产20万件碳纤维轿车顶棚板、引擎盖、保险杠生产线;长城汽车、奇瑞汽车也与国外企业开展合作,推进轻量材料的应用^[9]。

2 风电叶片领域

国内风电叶片产业,在经历了高速发展期和调整期后,技术不断成熟,原材料国产化取得重要进展,配套能力不断增强,检测水平不断提高,风电装机重回全球第一。叶片向大型化方向发展趋势明确,并逐步向海上风电和海外市场拓展。

兆瓦级风力发电机组风轮叶片原材料国产化取得重大进展。风电叶片是风力发电机组的关键核心部件之一,约占其总成本的15%~20%。其原材料长期以来受国外公司控制,严重制约了我国风力发电产业的发展。由中材科技风电叶片股份有限公司牵头完成的兆瓦级风力发电机组风轮叶片原材料国产化项目,系统

的对国产化原材料的叶片成型工艺技术进行研究,成功开发出兆瓦级风电叶片用五类主要原材料,包括高性能真空灌注环氧树脂体系、高强高模E玻璃纤维及其多轴向织物、高性能泡沫夹芯材料、结构胶黏剂以及表面保护涂料,掌握了核心关键技术,并建成多条生产线,实现了原材料的规模化工业生产。该研究重点突破了兆瓦级叶片结构强度分析校核、国产原材料评价技术和各类原材料生产等关键技术,有效降低了叶片成本,并形成了相关行业标准和技术规范,推动了我国风电产业的发展^[10]。

制造工艺不断改进,积极开发大型风电叶片,进军海上风电市场和海外风电市场。中材科技风电叶片股份有限公司对技术成熟的53.8m 2.5MW叶片主体结构铺层工艺进行改进,不仅使生产周期缩短了25%,还提高了产品质量和生产效率^[11];国电联合动力66.5m 6MW风电叶片已完成试制,其承担的“12MW风电叶片多目标优化设计”项目顺利通过专家验收,建立了大兆瓦级风电叶片选材数据库,设计开发了12MW超大风机叶片^[12]。双一集团成功开发出54m叶片模具和长16m、宽9m、高9m的风力发电机舱罩,为海上风电发展做好了充足的准备。中材科技风电叶片股份有限公司为金风科技出口巴拿马的22台/套风电机组配套的风电叶片,已顺利挂机。2013年11月份,明阳集团与罗马尼亚签订的风电设备出口合同,标志着中国重大设备、中国风电海外战略取得重大成果,此项目为迄今中国最大的风电设备出口合同,总装机容量200MW,总投资额约4亿欧元^[13]。

中电联发布的2013年前三季度全国电力供需形势分析预测报告,前三季度全国风电发电量保持高速增长,并网风电新增装机647万kW,9月底全国并网风电装机6826万kW,同比增长23.6%,发电量同比增

长40.6%,利用小时1522h,同比提高138h,风电设备利用率继续提高^[14]。这将有利于吸引投资理性回归,促进市场回暖。

3 船艇领域

复合材料在船艇上有极大的应用空间,市场潜力巨大,处于战略机遇期。船艇生产分复合材料船艇和金属船艇两类。通常35m以下的船艇选择复合材料做艇体和上部结构,35~100m的船艇选择金属做艇体,上部结构采用复合材料。35m以下的船艇总量占船艇总量的90%~95%,造船业对复合材料需求巨大。我国造船总量2008年已超过韩国位列世界第一,占世界造船市场的25%以上^[15]。

我国复合材料船艇产业基础较为扎实,在生产规模、产品品种和质量控制等方面都取得了长足进步。目前,拥有船艇专业生产厂家370余家,约500多家复合材料船艇用材料及配套产品生产企业。产品有渔船、游艇、帆船、赛艇、巡逻艇、渔政船、救生艇、缉私快艇、冲锋舟等上百个品种,100多种型号,年产量达到上万艘^[16]。材料上,开始采用先进的多轴向缝编织物和乙烯基酯树脂等高性能树脂,设计上开始进行夹层结构、硬壳式结构和波形结构等各种艇体结构形式的设计和建造实践,工艺上实现了复合材料真空辅助成型工艺在船体制造中的应用突破^[15]。

游艇作为船艇中的一个类型,未来或将迎来大众化消费时代,带来巨大的商业机遇。目前,我国已建成、在建和已经规划的游艇俱乐部99家,全国拥有18所游艇驾驶培训学校。现有游艇码头泊位1170个,在建1285个,规划建设13588个,游艇俱乐部和游艇会35家^[17]。随着经济的发展,消费水平的提高,游艇市场需求将进一步扩大,未来10年,中国的游艇拥有量将从目前的1500艘增加到10万艘,游艇产业将达500亿

到 1000 亿元人民币产值^[16]。

目前,全球每年的游艇经济收入已超过 500 亿美元,游艇业对经济的拉动作用是 1:6.5 至 1:10^[18]。北美洲、欧洲的游艇市场及规模分别占世界游艇市场的 90% 和 80% 以上,已趋近饱和。世界游艇经济重心开始向中国、海湾国家、俄罗斯等新兴市场转移^[16]。这对我国游艇乃至船舶产业来说,是一次大的机遇。

4 环保防腐领域

复合材料具有耐化学腐蚀性强、使用寿命长、轻质、热导率低、强度高、可承受高热应力等优点,广泛应用于燃煤电厂烟气脱硫、排烟冷却塔烟道、喷淋管、除雾器、浆液管道等设备以及冶金、化工领域所需的管罐等。

“烟塔合一”技术推动了排烟冷却塔的发展,使得大直径、大跨度烟道和湿烟道的内筒成为复合材料新的应用领域。河北可耐特玻璃钢有限责任公司为徐州发电有限公司 2×1000MW 机组配套的净烟气玻璃钢烟道直径达 8.5m,为百万机组首次采用国际先进的烟塔合一技术,刷新了世界同类项目记录^[19]。随着耐腐蚀性的乙烯基酯树脂合成技术的不断进步,耐腐蚀性、物理性能以及耐热性不断提高,复合材料烟道、复合材料烟道内衬性能也将不断增强,同时,复合材料烟道还可降低建设投资成本和运行维护成本,经济效益可观,市场前景可期。

管罐为复合材料传统领域,2013 年冀州市中意复合材料有限公司自主研发的“实时监测渗漏的三维立体织物全复合材料双层储罐”这一新产品,为传统市场注入了新的活力。该产品具有超强耐腐、自动泄漏报警、高效环保、安全经济等独有特性,在环保、防渗漏、防腐蚀、延长使用寿命等方面具有较强的竞争优势,可广泛应用于石油类制品、化学溶剂的贮存,特别适用于该类产品的地下储

存,市场前景广阔^[20]。

行业发展趋势探讨

经过半个多世纪的发展,国内对复合材料已经高度认同,即复合材料已经成为现代工业、国防和科学技术不可缺少的基础材料,也是新技术革命赖以发展的重要物质基础,是新材料领域的主导材料,也是国家战略性新兴产业之一。从产业角度考虑,玻纤、树脂、复合材料产品,中国无疑已经成为复合材料产量全球第一大国。但是,从技术水平上看,国内复合材料的制造水平与国际先进水平依然存在较大的差距,表现在难以获得高性能原材料和高精度装备、未完全掌握快速低成本成型技术、缺乏高质量的复合材料产品制造技术和设计创新能力薄弱等方面。为了促进国内复合材料行业的健康持续发展,国内已经形成共识,国家的引导措施也相继出台。未来的行业趋势表现为:

(1) 材料高性能化,以碳纤维为代表的高性能材料应用将推动整个复合材料行业技术进步、产品升级、装备提升。

2013 年 11 月 7 日,工信部印发《加快推进碳纤维行业发展行动计划》。计划提出,经过 3 年努力,初步建立碳纤维及其复合材料产业体系,碳纤维的工业应用市场初具规模。到 2020 年,我国碳纤维品种规格齐全,基本满足国民经济和国防科技工业对各类碳纤维及其复合材料产品的需求,初步形成 2~3 家具有国际竞争力的碳纤维大型企业集团及若干创新能力强、特色鲜明、产业链完善的碳纤维及其复合材料产业集聚区。计划要求在产业推进发展进程中不忘转型升级,并鼓励骨干企业开展跨地区、跨所有制的联合重组,力争到 2020 年前 5 家生产集中度提高至 70% 以上。碳纤维产业如果能够持续稳定发展,必将取得突破并在全球格局中占有一席之地,同时,将有力

支持中国高性能复合材料发展,调整产业格局。

最新报道显示,日本东丽已经完成对美国 Zoltek 公司的并购,将产品占世界比重从现在的 20% 提高到 30%,在汽车碳纤维领域也争取领先^[21]。同时,东丽还启动了在日本和美国的扩产工作,计划在 2016 年之前将用于飞机等的轻量材料碳纤维的产能在目前基础上增加 50% 以上。三菱丽阳也计划 2014 年以后增强美国工厂的设备,将年生产能力在现在的约 1 万 t 的基础上增加 20%。而帝人则与美国通用汽车在碳纤维技术利用方面展开了合作,2014 年将在美国新建工厂,并面向量贩车供应碳纤维^[22]。三大碳纤维公司纷纷扩大产能,将推动全球碳纤维产能增加 20%~50%,以此应对未来 CFRP 需求的高速增长。

(2) 应用高端化和产品化,以航空航天为主要方向,包括通用航空飞机和新能源汽车,可能爆发式增长,接替 2005 年开始的风力发电叶片领域增长势头。

英国先进复合材料产量占整个工业的 1/3 以下,产值已经占到产业的 2/3。今年以来,中国航空航天领域有大量先进飞机、火箭等装备投入试验和批产,这就表明先进复合材料及其应用技术近年来有重大进展。随着这些装备的定型批产,必将带来先进复合材料高端应用越来越普及,并为行业发展积累装备、人才、技术和标准体系,为中国复合材料下一轮大发展奠定坚实的基础。

第二个大的进展是碳纤维复合材料汽车成功推向市场。中国汽车轻量化工作任重道远。BMW 发布的第一辆纯电动 i3,车身大量使用碳纤维复合材料,采用树脂传递模塑工艺,使得整备质量仅为 1224kg^[23],比传统同类型汽车的重量减轻 250~350kg^[7],并且生产周期也降低了一半以上,制造和原材料成本也

减少了 30%~40%^[23]。美国特斯拉汽车公司生产的双人座纯电动汽车特斯拉 Roadster 跑车,最大的特点就是高功率和轻重量。如此轻的车身重量,源于制造过程中使用了碳纤维/环氧轻质复合材料。特斯拉公司在 RTM 工艺中应用了碳纤维毡生产汽车用复合材料零部件。车身面板采用三明治结构,面板为碳纤维复合材料,芯材为玻璃纤维和聚合物。i3 和 Roadster 的成功,为汽车工业发展规划了新的路径。美国约 30% 的复合材料产量用在汽车上,传统的汽车轻量化路径是使用玻璃钢材料替代钢铁,同时,快速由热固性向热塑性转变,现在增加一个趋势,即,使用碳纤维复合材料。

此外,游艇等船艇用复合材料、电缆芯已成潜在市场热点。随着经济的发展,消费能力的提升,以及复合材料工艺技术的进步,游艇等船艇用复合材料将获得较大的发展。碳纤维复合芯导线具有提高线路的单位输送容量,节省输电走廊资源,减少土地占用面积、杆塔和基础的材料用量,降低成本,保护环境、节能减排、改善人类生存环境等优越性能,尤其是在大跨越、大落差、重冰区、高污染等特殊气候和地理场合该导线的应用,可有效提高抗冰能力和抗污染能力,提升线路的安全性^[24]。优越的性能必将推动其量化发展。

(3) 设计先行,制造自动化和绿色复合材料成为行业发展必然趋势。

复合材料是材料结构一体化产物。由于复合材料的优异性能必须通过优化设计,才能制造出来,复合材料设计将更加专业化、职业化和市场化。

制造自动化是高性能复合材料的必由之路,预浸料、自动铺放、高温高压固化一直是航空复合材料的标准工艺,通过自动化可以有效提高质量和效率,降低成本。液体成型工艺等替代工艺一直在研究中。

由于环保压力,在汽车部件应用领域,可回收性要求日益严格,热塑性复合材料增速远大于热固性复合材料,天然纤维复合材料研究和应用已成热点。目前,虽然相关组织以及部分企业非常重视复合材料废弃物回收再利用技术研发工作,但仍然缺乏经济可行方案。

(4) 科技创新能力持续提高,知识产权保护意识增强。

因产业开放度高,目前,中国已经发展成为复合材料大国,拥有强大的制造能力。在技术引进方面,或者购买代价不菲,或者很难买到适用技术。通过建立市场引导的科技创新体系,产学研密切合作已经成为共识,合作取得很好效果。

近年来,专利申请数量持续增长,产学研联合攻关,企业与高校、科研院所联系日益紧密,各专业人才协同合作,有效克服单个企业创新资源有限、创新能力不足的弊端。政府部门制定的一系列旨在鼓励科技创新的政策,保护知识产权的措施,有力地推动了行业内各企事业单位自主创新工作的开展。

展望 2014,中国复合材料工业将继续保持第一并继续适度增长,但高性能复合材料和热塑性复合材料会加速发展,高端应用加快,环保以及绿色制造方面有较大潜力。

致谢: 本文编写得到了全国纤维增强塑料标准化技术委员会秘书长胡中永、中国复合材料工业协会秘书处张立国等同志的大力指导,在此表示感谢! 文中不足之处,敬请指正。

参考文献

[1] 吴谦,王栋,孙瑾. 高性能纤维研究进展. 化学工程师, 2013(9): 48-49.
 [2] 蔡金刚. 碳纤维及其复合材料产业发展现状. “复合材料关键领域发展现状及趋势”高层研讨会. 北京, 2013-09.
 [3] 中商情报网. 全球碳纤维行业供需状况分析, 2013-12-18[2013-12-29]. <http://www.>

askci.com/news/201312/18/1816485034938.shtml.

[4] 黑龙江省科技厅. 黑龙江省重大科技攻关项目“复合材料构件自动铺带应用技术研究”通过科技成果鉴定, 2013[2013-12-29]. <http://www.mszz.cn/2013/kjcx/1224/106539.html>.

[5] 黑龙江省科技厅. 架空输电电缆用碳纤维复合材料加强芯研制成功并产业化, 2013[2013-12-29]. http://www.most.gov.cn/dfkj/hlj/zxdt/201310/t20131028_110012.htm.

[6] 中复碳芯电缆科技有限公司. 中国最大截面碳纤维复合芯导线在南京挂网运行, 2013[2013-12-29]. <http://www.zfec-cable.com/a/gb2312/xwzx/gsxw/20131125949.html>.

[7] 中国新闻网. 汽车轻量化开启碳纤维应用“蓝海”, 2013-04-26[2013-12-29]. <http://finance.chinanews.com/auto/2013/04-26/4766132.shtml>.

[8] 叶紫. 首台配备碳纤维全复合材料车厢自卸车下线. 中国工业报, 2013-01-10(B1).

[9] 刘松柏. 汽车轻量化开启碳纤维应用“蓝海”. 经济日报, 2013-09-03(06).

[10] 科技部. MW 级风力发电机组风轮叶片原材料国产化取得重要进展, 2013-06-07[2013-12-29]. http://www.most.gov.cn/kjbgz/201306/t20130606_106445.htm.

[11] 中国玻璃纤维专业情报信息网. 中材科技叶片主体铺陈新工艺助力“两海战略”, 2013-12-23[2013-12-29]. <http://www.fiberglass365.com.cn/Info/Info14469.html>.

[12] 刘丹. 联合动力承担北京科委项目通过专家验收, 2013-12-12[2013-12-29]. <http://www.gdupc.com.cn/publish/main/3/21/2013/12/13/20131213152548819937970/index.html>.

[13] 广东新闻网. 中国与罗马尼亚签订最大风电设备出口合同, 2013-11-27[2013-12-29]. <http://www.gd.chinanews.com/2013/2013-11-27/2286463.shtml>.

[14] 傅玥雯. 跨区送电加快风光水消纳. 中国能源报, 2013-11-11(02).

[15] 栾桂卿, 苗会文, 谭军波, 等. 中国复合材料船艇工业的发展现状和展望. 玻璃钢/复合材料, 2012(2):97-101.

[16] 刘长忠. 中国已成为世界第 6 大游艇生产国. 中国新闻网, 2013-07-21[2013-12-29]. <http://finance.chinanews.com/cj/2013/07-21/5066248.shtml>.

本文共有参考文献 24 篇, 因篇幅有限, 未能一一列出, 如有需要, 请向本刊编辑部索取。(责编 日午)