中国复合材料/玻璃钢工业50年

薛忠民

（中国FRP学会理事长；中国复合材料工业协会副会长）

中图分类号：TB332　文献标识码：A　文章编号：1003－0999(2009)05－0084－05

1 综 述

2008年注定是一个不平凡的年份，中国改革开放30周年，神七飞天宇航员成功出舱，百年奥运梦想顺利实现，又恰逢我国复合材料/玻璃钢工业50周年。回顾我国复合材料/玻璃钢工业50年的历程，从业人员从最初的7人研究小组发展到现在的超过25万人，产品应用领域从最初的航天耐烧蚀防热部件发展到现在的航天、航空、船舶、交通、能源等国防和国民经济领域，工艺技术及装备由单一手糊、层压工艺发展为拥有门类齐全、与国际同步的工艺及装备。

中国的复合材料/玻璃钢工业肇始于1958年。发展历程大致可分为三个阶段。

1958～1978年为第一阶段。致力于国防军工，从无到有，为我国复合材料/玻璃钢工业发展打下了坚实的基础。

1978～1998年为第二阶段。十一届三中全会以后，我国从计划经济转型为市场需求导向，复合材料/玻璃钢工业厚积薄发，在国民经济各个领域全面开花。先进复合材料开始起步，初步建立了完整的研发生产测试体系。

1999～2008年为第三个阶段。新产品迅速上升，新产品、新工艺与世界同步发展，我国的复合材料/玻璃钢工业开始腾飞，先进复合材料在航空航天领域获得了新的发展。

通观行业50年发展历程，复合材料/玻璃钢产量从1978年的6000多吨，发展到1990年的近10万吨，2004年即超过100万吨，2008年我国树脂基复合材料年产量295万吨，跃居世界第二位。我国复合材料/玻璃钢工业一直处于由小变大、由弱变强的迅猛发展之中。

图1所示为近年来中国复合材料/玻璃钢产品产量及分布。

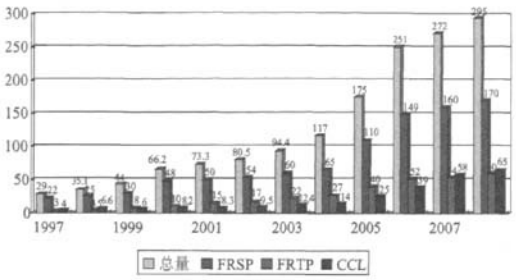

图1　国内FRP总产量及分布（万吨）

2 中国复合材料/玻璃钢工业的起源与成立

在党中央、国务院领导下，原国家建筑材料工业部（局）对我国复合材料/玻璃钢工业的发展起了先导性和基础性的作用。1955年10月，老红军、时任重工业部副部长的赖际发同志赴前苏联考察，发现玻璃钢的优异性能，回国后向中央报告，组织力量开始研究。

1958年1月，在时任建材部部长赖际发同志的关怀和指导下，建材部玻璃陶瓷研究院从屋面材料室抽调文和阳、涂序梅、何宇声、饶芳甫、方尚华、万进书、詹惠珍等7名同志组成了我国第一个玻璃钢研究小组，开始玻璃钢研究工作，同年5月，研制成功我国第一块玻璃钢板材。1960年建材部玻璃设计院成立新材料设计室。1960年2月4日筹建建工二五一厂。1965年9月起，上述两个研究设计室与二五一厂合并，成立北京玻璃钢研究所，同时具有北京二五一厂的名称。1986年10月升格为国家建材局玻璃钢研究设计院，并继续保留北京二五一厂名称。1999年更名为北京玻璃钢研究设计院（北玻院）。

上海玻璃钢研究院（上玻院）创建于1960年。1965年12月31日，同济大学新材料结构研究所组建成上海玻璃钢结构研究所。1980年2月4日，更

万方数据

名为上海玻璃钢研究所。2005 年 12 月，更名为上海玻璃钢研究院。

哈尔滨玻璃钢研究院（哈玻院）创建于 1960 年，其前身为哈尔滨建筑工程学院玻璃钢研究室，隶属原国家建筑材料工业局。

南京玻璃纤维研究设计院（南玻院）创建于 1964 年，隶属国家建筑材料工业局。

1999 年 7 月，根据国家经贸委 242 家科研院所体制改革方案，北玻院和南玻院进入中国非金属矿工业（集团）总公司，哈玻院进入中国建筑材料集团公司，上玻院进入上海建材集团。

北玻院、上玻院、哈玻院、南玻院以及常州二五三厂（天马集团有限公司）等玻璃钢复合材料专业研究院所（厂）的建立标志着我国复合材料/玻璃钢工业研究开发组织体系正式成立，中国复合材料/玻璃钢工业肇始 50 周年即源于此。

3　复合材料工艺技术与产品发展历程

3.1　艰苦创业，自力更生、成绩斐然的 20 年（1958～1978）

我国复合材料/玻璃钢工业自 60 年代初起步开始就涉足航天、航空、船舶、电子、兵器及核工业等领域，为我国国防工业现代化配套建设做出了重大贡献。在这一阶段，我国复合材料/玻璃钢工业处于成长阶段，复合材料/玻璃钢工艺中的接触成型、层压、模压、布带缠绕、纤维缠绕工艺及设备设计技术已经基本掌握，从原材料、产品试制到性能测试的研发体系初步建立，国家宏观的研发生产布局框架已经基本完成。同时，玻璃钢渔船等民用复合材料/玻璃钢也开始得到应用。

1973 年 11 月，国家建筑材料工业局玻璃钢技术交流组在保定成立，参加会议的有北京玻璃钢研究所、上海耀华玻璃厂研究所、哈尔滨玻璃钢研究所、常州二五三厂、秦皇岛工业技术玻璃厂、南京玻璃纤维研究设计院和建材研究院情报所七个单位。

1974 年 5 月，专业技术期刊《玻璃钢》杂志创刊，后发展为《玻璃钢/复合材料》。

1975 年 5 月，首届玻璃钢技术交流组年会在广西宜山召开。现已成功举办了十七届全国玻璃钢/复合材料学术年会，并将于 2010 年举办第十八届学术年会。

3.1.1　第一块玻璃钢在北玻院诞生

1958 年在赖际发部长关怀下，建材部玻璃陶瓷研究院抽调了 7 位同志组成了玻璃钢小组，开始玻璃钢研制。在此之前，这 7 位同志都是从事硅酸盐和沥青研究的，对玻璃钢闻所未闻，在没有任何仪器设备的艰苦条件下，他们发扬了敢想敢干，艰苦创业的精神，仅仅一个多月时间就研制成功了我国第一块 10mm 厚玻璃钢板，获得朱德总司令的嘉奖和题词。

3.1.2　原材料发展情况

1957 年，位于北京管庄的建材研究院以及上海耀华玻璃厂先后以坩埚拉制出了无碱玻璃纤维。1962～1966 年，南玻院完成中碱 5#玻璃纤维和无碱 1#（$R_2O<0.5\%$）玻璃纤维的研制，上海耀华玻璃厂完成生产试验并全国推广，无碱玻璃纤维成为我国玻纤工业二大主要产品。

1960 年至 1962 年，中科院化学所研制的耐烧蚀树脂取得了工程应用，合成了耐烧蚀性能较好的 616 酚醛树脂，1965 年开始在北京二五一厂生产。经过数十年的发展完善，目前 616 酚醛树脂和钡酚醛树脂仍是耐烧蚀树脂的主导产品。

1966 年，建材二五三厂（常州）从英国引进年产 500 吨不饱和聚酯树脂的设备和生产工艺，为聚酯复合材料发展奠定了原材料基础。

3.1.3　航天用复合材料

1961 年，国防科委、国家科委同时向建材院玻璃钢室和哈尔滨建工学院玻璃钢室下达了东风二号（1061）耐烧蚀大面积防热部件的研制任务。经过三年的艰苦奋战，建工二五一厂成功地将玻璃钢大面积烧蚀材料应用到导弹壳体上。

1965 年哈玻院接受了玻璃钢发动机壳体的研制任务，1985 年通过部级鉴定，1990 年正式应用于“长二捆”运载系统的近地点发动机，这是我国第一发用于飞行的大型玻璃钢壳体。

1966 年 9 月，北京二五一厂（北玻院）承担了东方红卫星（651 工程）大型玻璃钢喷管的研制任务，1967 年研制成功，并首次应用于 1970 年 4 月 24 日发射的我国第一颗人造地球卫星。

1971 年上玻所设计安装了直径为 44 米的大型全玻璃钢蜂窝夹层结构的地面雷达罩。

3.1.4　航空气瓶

1960 年国家下达玻璃钢高压气瓶的研制任务，1963 年建工二五一厂采用玻璃纤维缠绕成型工艺在国内首家研制成功玻璃钢气瓶。1964 年以后，哈玻院和上玻院也相继开展了玻璃纤维缠绕工艺及玻璃钢气瓶的研究工作。1966 年 11 月，多种规格的

万方数据

玻璃钢气瓶通过了部级工艺性能鉴定。

3.1.5 民用产业萌芽

1967年我国开始研发BMC,1975年开始研发SMC。一些民用复合材料/玻璃钢,例如模压玻璃钢座椅、贮罐、风机叶片、船艇等相继开发研制成功,复合材料/玻璃钢民用产业开始萌芽。

3.2 技术引进,厚积薄发、发展壮大的20年(1979~1998年)

改革开放以后,生产社会化,通过自主创新与吸收国际先进技术,国家经济建设与人民生活所需的玻璃钢工业是获得长驱的进步,各种工艺、装备得到长足的发展。1985年引进SMC生产技术和设备,1987年末引进意大利缠绕管道与贮罐生产技术与设备,1993年引进玻璃钢夹砂管生产线,随后又陆续引进拉挤、RTM等工艺及设备,从而带动了我国复合材料/玻璃钢的技术进步与规模化生产。

我国复合材料/玻璃钢完整的原材料、产品、测试研发体系已经建立。这一时期,我国复合材料/玻璃钢厚积薄发,在国民经济各个领域全面开花,每年都有新的玻璃钢产品研制成功,如冷却塔、化工贮罐、水箱、管道、体育器材及文娱用品等都相继投产。以碳纤维复合材料为代表的先进复合材料开始起步,先后获得了"863计划"等国家重大科研计划的大力支持。1998年复合材料/玻璃钢年产量达到35.5万吨。

1979年10月,中国硅酸盐学会玻璃钢专业委员会成立。1984年更名为玻璃钢/复合材料专业委员会。1989年更名为中国硅酸盐学会玻璃钢学会(中国FRP学会)。

1980年9月,"全国塑料标准化技术委员会"成立,并设立"纤维增强塑料标准化委员会分会",1984年6月,该分会升级为"全国纤维增强塑料标准化委员会",一直延续至今。

1984年3月,"国家建筑材料工业局玻璃钢制品质量检测中心"成立,1991年"国家玻璃钢制品质量监督检验中心"成为国家级检测中心。

1985年,《玻璃钢/复合材料》期刊改为国内发行,1988年改为国内外发行,国内统一刊号为CN11-2168。

1984年,全国性行业组织中国玻璃钢工业协会成立,后更名为中国复合材料工业协会。

1995年,亚洲规模最大复合材料领域的展览会"第一届中国国际复合材料展"举办,迄今已成功举办15届。

3.2.1 原材料发展情况

1986年我国池窑拉丝生产线在重庆投产。截至1998年底,我国玻璃纤维年产量18万吨,缝编毡、短切原丝毡、连续毡、多轴向织物等各种类型的增强材料相继进入市场。80年代以来,我国先后引进不饱和聚酯树脂(UPR)和环氧树脂生产技术,促进了技术进步,开始了中国大陆基体树脂的规模化生产。

3.2.2 国防军工上的应用

我国在热防护材料和先进复合材料研制上取得了卓越的成就,新型弹头防热材料、玻璃钢发动机及喷管、导弹发射筒、级间段等功能材料和结构材料相继应用。复合材料叠层板构件制造技术在飞机制造应用上已趋于成熟,大量应用于垂尾、前机身、机翼主承力结构、平尾等飞机部件。

碳/环氧复合材料结构件成功用于风云二号地球同步卫星。我国研制成功"芳纶高压氮气瓶",并首次在飞机上应用。舰艇用复合材料、雷达天线罩、复合材料桅杆、舱室封面板等大型复合材料结构件投入使用。

3.2.3 纤维缠绕制品

1986年,第一台玻璃纤维缠绕储罐在氯咸行业投入使用。

1987年,第一台玻璃纤维缠绕塔器在钢铁行业投入使用。

1994年,陕西非金属材料研究所成功研制CNG气瓶,并首先在首都公交车上使用。

1994年,第一批玻璃钢夹砂管道在给排水行业投入使用。

1997年,环形气瓶研制成功。

3.2.4 SMC/BMC制品

1988年,北京汽车玻璃钢制品公司引进美国SMC机组压机及模具,建立了我国首个研发与量产SMC汽车件的基地。

SMC主要产品为座椅、水箱、电表箱、卫星发射与接收碟形天线、汽车零部件、火车客车厢内饰件等。

BMC主要产品为电器产品,如开关、高压绝缘件、仪表箱、塑封电机、汽车前灯反射面等。

3.2.5 拉挤工艺技术制品

自1980年代以来,我国引进英、美、意、加等国

万方数据

拉挤机 30 余台。现主要拉挤产品有门窗、格栅型材、冷却塔支架、锚杆、建筑筋材、电缆桥架，帐篷杆、钓鱼竿等。

3.3　自主创新，突飞猛进、走向辉煌的 10 年（1999～2008）

进入新世纪后，我国复合材料/玻璃钢工业开始腾飞，产品产量迅速上升，机械化程度显著提高，新产品新工艺与世界同步发展，大型风机叶片、游艇、交通运输用复合材料、土木工程建筑补强用复合材料等飞速发展，复合材料大量应用于奥运场馆建设、西气东输工程、三峡工程、南水北调工程等。截止 2008 年，我国复合材料年产量约 295 万吨，居世界第二位，比 1978 年增加 480 倍，比 1998 年增加约 8 倍。上世纪 80 年代末期，我国玻璃钢成型技术，接触（手糊）成型占 85% 以上，到“十五”末期，机械成型已跃升达 60%。

3.3.1　原材料发展情况

2007 年我国玻璃纤维年产能逾 162 万吨，不饱和聚酯树脂年产量 115 万吨，环氧树脂产量 60 万吨。2008 年我国玻璃纤维年产能逾 226 万吨，不饱和聚酯树脂逾 125 万吨，环氧树脂 65～70 万吨。我国已经成为全球最大的玻璃纤维生产国，不饱和聚酯树脂产量与用量最大，环氧树脂产量、进口量、消费量最大的国家。

3.3.2　航空航天领域的应用

复合材料/玻璃钢工业最初是为满足我国航空航天建设急需而发展起来的，因此，航空航天领域最能够发挥其优异性能。经历了 50 年的风雨历程，复合材料/玻璃钢在航空航天领域又得到了新的应用。神舟飞天、嫦娥探月、10 号工程等，为先进复合材料的发展提供了广阔的应用舞台。航天 703 所、43 所、五二九厂、航材院、625 所等单位在先进复合材料的发展应用方面做出了杰出的贡献。

“耐高温长寿命抗氧化陶瓷基复合材料应用技术”荣获 2004 年度国家技术发明奖一等奖，“神舟飞船用先进复合材料主承力结构及特种无机非金属材料”荣获 2004 年度国家科技进步二等奖，标志着我国在先进复合材料研究领域取得了重大突破。

3.3.3　可再生能源方面的应用

上玻所是我国第一批参加国家科委，电力部下达研究风力发电任务的单位，先后成功试制出 Φ3m、Φ6m、Φ10m、Φ19m、Φ32m 等多种规格的风力机叶片。2004 年我国自行研发成功 1MW（1000kW）风机用叶片已装机运行。2006 年上半年制造成功 1.5MW 风机叶片，单片叶片长 37.5m。北京玻璃钢研究院开发了适合我国风况的 1.5MW～2.0MW 风机叶片，叶片长 40.25m。据统计，到 2008 年底，我国风机叶片生产能力 5000MW，其中产能最大者当推中复连众公司。预计到 2010 年，全国生产能力将超过 9000MW。

3.3.4　交通运输用复合材料

近 5 年来 SMC、GMT 模压汽车件，火车内饰件发展甚速，已建成规模化的专业生产企业 10 家。双层客车壁板、洗手间地面、酚醛玻璃钢风管等已成功应用。CNG 瓶已批量装车使用，并随整车出口。2006 年高阻燃低发烟 SMC 通过鉴定。汽车牵引的摩托车玻璃钢拖车出口欧美。火车铁轨连接用玻璃钢鱼尾板已投入实用。高速公路上的玻璃钢防眩板、反光标志已普及。地铁第 3 轨保护罩及其支座、电缆支架、紧急逃生平台等已规模化采用。

2002 年，《聚合物基复合材料液体成型技术及其应用研究》荣获国家科学技术进步二等奖。

3.3.5　民用船舶领域用制品

1999 年 7 月，33m 玻璃钢渔船下水，标志着我国的玻璃钢渔船设计制造水平步上一个新台阶。2008 年，首艘国产太阳能 FRP 游艇在珠海建造。

我国复合材料船艇工业的飞速发展对船艇入级和产品的标准化、规范化提出了要求，自 70 年代以来我国已制订了一系列复合材料船艇的技术、工艺标准，我国复合材料船舰制造技术与标准正在逐步与国际接轨。

3.3.6　建筑领域

1999 年，容积 1260m^3 的组合式模压 SMC 水箱投入使用。

2000 年起，利用碳纤维片材加固混凝土结构技术的建筑结构补强在国内兴起，基础设施修复、更新及加固已构成复合材料目前极重要的应用领域。

2003 年，玄武岩纤维增强电厂用混凝土冷却塔与水坝取得成功。

2006 年，建筑混凝土用复合材料/玻璃钢筋材通过鉴定。

3.3.7　环保领域

2006 年，我国在苏州建立年产能达 11 万只复合材料气瓶的生产基地。中材科技（苏州）公司生

万方数据

产的复合材料气瓶已成为全球四大品牌之一。2008年,中国复材集团年产CNG(压缩天然气)气瓶17万只基地在沈阳奠基。

2006年春,北京高碑店电厂烟塔合一除硫系统中,烟气管道采用ECR纤维增强乙烯基酯树脂制作的玻璃钢管,直径达7m,以立式缠绕机与卧式缠绕机现场制造,质量甚得好评。

4 中国复合材料/玻璃钢工业的可持续发展

4.1 复合材料低成本技术

保持复合材料工业的可持续发展,降低成本尤为重要。复合材料的成本较高,特别是制造成本(70%以上)较高,成为其进一步扩大应用的主要障碍之一。复合材料的低成本制造技术已经成为目前各国发展的热点。主要研究方向为共固化/共胶接和大型整体成形、RTM及其衍生工艺、自动铺带技术、自动纤维铺放技术、设计制造一体化技术等。

4.2 功能复合材料

未来复合材料的研究方向将集中在多功能复合材料、机敏智能复合材料、纳米复合材料等领域。

功能复合材料具有导电、磁化、光、压电、微电子、生物活性等功能特性的复合材料。多功能复合材料是功能复合材料的发展方向。

机敏复合材料是指材料自身具有感知并作出反应的能力。将有传感功能的材料和具有执行功能的材料通过某种基体复合在一起,通过外部信息处理系统把传感器给出的信息传达或启动执行材料运作。

纳米复合材料是当前复合材料的新生长点之一。纳米复合材料是指内含一维尺寸小于100nm的相,使材料性能发生非线性变化的多相复合材料。

4.3 热塑性复合材料(FRTP)

热塑性复合材料冲击韧性好,生产是物理过程、无污染、较易回收利用,是复合材料发展的一个方向。

2003年开发的PP/GF混编的缝编织物用于压制FRTP滑水板。长纤维增强热塑性塑料-粒料(LFT-G)生产线近两年已增至11条;直接法(LFT-D)生产线,台商正在长春建设中,为一汽配套。2006年我国自主研发的年产5000吨GMT生产线,于2007年下半年在江苏江阴投入运行。泰山玻纤公司开发的玻纤/热塑性树脂复合纱(国家863项目)及其复合材料制品生产工艺已取得突破性进展。

4.4 环境友好复合材料

目前发达国家已执行了严格的环保标准,如要求工作环境中苯乙烯挥发物含量低于30ppm。对复合材料制造和使用过程中产生的废弃物的回收处理和综合利用研究是今后的发展方向之一。

5 小 结

纵观50年发展历程,从早期航空航天用烧蚀材料、高压容器,到国民经济各个领域的广泛应用,再到先进复合材料在航空航天领域的深度拓展,我国的复合材料/玻璃钢工业从无到有,从小到大、从弱到强,走出了有自己特色的发展之路,其发展速度令西方实业界人士震惊。

但是在近10年先进复合材料工艺技术和设备发展大潮中,与国外相比,我国在门类上似乎近于齐全,但品种质量不高,产品的技术水平较落后。先进复合材料用增强材料和树脂大多依赖进口,高端成型设备还不能自已制造。

今后我国复合材料行业必须立足自主创新,以企业为主体,突出能力培养,重视原始创新,大力发展规范化,制度化,集约化的先进复合材料新型生产模式,向深度发展,重视保护知识产权,加强行业自律,减少低层次的低价恶性竞争,重点开发环保、可再生能源、建筑、化工防腐、交通(含陆地车辆、船舶、航空航天)等领域的产品与市场,促进我国由复合材料大国向复合材料强国转化。

6 致 谢

中国复合材料工业协会、中国FRP学会、哈尔滨玻璃钢研究院、上海玻璃钢研究院、南京玻璃纤维研究设计院、常州天马集团有限公司、威海中复西港船艇有限公司为本报告的编写提供了数据和素材,在此表示衷心的感谢。

由于时间有限、资料繁多,报告编写难免挂一漏万,有欠缺之处,恳请不吝赐教。

万方数据