

国内外玻璃钢/复合材料工业发展现状

张耀明：中国工程院院士

一、玻璃钢复合材料工业发展回顾

上个世纪 30 年代美国伊里诺玻璃公司与康宁公司成立合资企业，先后开发出玻璃棉、连续玻璃纤维等生产技术。1939 年 E 玻璃纤维正式问世。几乎与此同时，环氧树脂及不饱和聚酯相继出现，从而为玻璃纤维增强塑料工业的发展奠定了物质基础。1945 年年玻璃钢用的主要增强材料——短切原丝毡及连续原丝毡投入生产，1952 年美国杜邦公司发明了沃兰偶联剂解决了增强塑料中玻纤与树脂的界面粘结问题，同一年硅烷偶联剂也问世，此后一系列的偶联剂产品的出现全面改进了玻纤——树脂基复合材料的性能，为其在各个领域的应用铺平了道路。

第二次世界大战对玻纤、玻璃钢的发展起了催化剂的作用，许多适应战争需要的玻璃钢产品如防弹片刺穿的玻璃钢油桶、雷达罩、军用盔甲被研制出来并投入为战争服务。战后的 1945 年，美国的二十几家玻璃钢公司成立了美国塑料工业协会低压层合材料工业分会，它标志着玻璃钢 / 复合材料作为一门独立的工业体系已从传统的塑料工业中分离出来。

1958—1959 年期间，玻纤池窑拉丝投入生产，这是对传统的玻璃球法拉丝工艺的重大技术突破。初期的玻纤池窑日产量只有 3 吨，时至今日全世界 95% 以上的连续玻璃纤维都已用池窑法生产，最大的无碱玻纤池窑达到日熔化玻璃 150 吨以上。池窑拉丝的普遍推广为玻璃纤维产品大规模经济有效的生产提供了可能，并使玻纤产品的质量得以保证。半年多世纪的发展历史证明，玻璃纤维与玻璃纤维增强塑料工业的发展是相辅相成、互相依赖互相促进的。近些年来，出现了一些高性能的增强纤维，如高模量碳纤维、陶瓷纤维、芳纶纤维、高强玻璃纤维等，它们推动了高性能、高附加值复合材料的发展，但由于这些高性能纤维价格昂贵，阻碍了它们在复合材料工业中的大规模应用，放至今 95% 以上的纤维——树脂基复合材料仍然使用玻璃纤维，在可以预见的未来一段时间里，这种情况仍将持续。

我国的玻璃纤维及玻璃钢工业均奠基于 1958 年，在改革开放年代之前，玻璃纤维与玻璃钢发展缓慢，截止到 1978 年玻璃钢全国年产量只有 6000 吨左右，主要是一些手糊的和模压的军工产品，而玻璃纤维只有 3 万吨左右，其中大多为我国自行研发的中碱玻璃纤维，主要产品为细纱薄布，主要工艺为代铂炉球法拉丝。改革开放以后特别是近十年来我国玻纤玻璃钢工业显现出前所未有的发展活力，无论是工艺技术装备还是产量质量品种均发生了巨大的变化，这两门工业已成为我国国民经济体系中不可缺少的环节。

二、因内外玻璃钢/复合材料及玻纤工业现状与发展特点

1. 产量

据统计截止 1998 年底全球玻璃钢/复合材料的总产量为 550 万吨,其中北美(美国、加拿大)约生产 183 万吨,占总量的 33%,而欧洲各国为 153 万吨,占 27.6%,亚太地区各国总产量为 159 万吨,占 28.6%,其它地区(包括东欧、南美、中东、非洲等地区)为 60 万吨,占 10.8%。在上述 550 吨的复合材料中,玻纤增强热固性塑料约占 70%,增强热塑性塑料约占 30%。在欧洲方面,德国、奥地利的玻璃钢/复合材料产量占欧洲总产量的 33%,意大利占 19%,法国占 14%,比、荷、卢三国占 13%,英国占 9%,西班牙、葡萄牙为 8%,瑞典、挪威、丹麦、芬兰等占 4%。在欧洲的玻璃钢复合材料总量中热固性玻璃钢占 63%,热塑性玻璃钢占 37%。这突出地反应了西欧玻纤增强热塑料发展之迅速。

在亚太地区,日本是最大的玻璃钢/复合材料生产国,占亚太地区总量的 44%,我国大陆占 23%,我国台湾省占 15%,南韩占 7.4%,印度占 2.6%,泰国、马来西亚、菲律宾、印尼、越南及新加坡总共占 8%。美国是世界上最大的玻璃钢/复合材料生产国,在上述的 1998 年北美的 183 万吨中美国占 163.3 万吨,1999 年美国总产量达 170 万吨,2000 年达 177 万吨,这是 1991 年以来美国玻璃钢/复合材料工业连续第九个增长年头,这在美国复合材料工业发展史上是罕见的。

另外需指出的是近年来以高强玻纤、芳纶纤维、碳纤维、陶瓷纤维及硼纤维作为增强材料,以环氧及各种高性能树脂为基材的高性能复合材料发展较为迅速。以美国为例,它在 1999 年总共生产 236 万吨高性能复合材料,其总价值达 507 亿美元,预计今后年增长率为 8.4%,2003 年总产值可达 70 亿美元。高性能复合材料最主要的生产工艺为预浸料工艺,1999 年仅预浸料工艺生产的复合材料其价值就达 20.7 亿美元。

我国玻璃钢工业近年来发展迅速,下面两表格列出了 1994 年以来我国大陆及台湾省热固性玻璃钢、热塑性玻璃钢及覆铜板的年产量。

表 1, 我国大陆玻璃钢复合材料年产量(万吨)

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
热固性玻璃钢	15	15	17	22	25	30	35
热塑性玻璃钢	2.0	2.5	2.5	3.0	3.5	8	15

覆铜板	1.75	2.0	2.0	2.0	3.3	6	8
-----	------	-----	-----	-----	-----	---	---

表 2，我国台湾省玻璃钢复合材料年产量（万吨）

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
热固性玻璃钢	5.71	4.62	4.54	3.98	4.39	4.44
热塑性玻璃钢	3.60	3.80	4.26	4.96	5.325	6.435
碳纤维增强塑料	0.22	0.12	0.105	0.087	0.052	0.075
覆铜板	8.30	9.50	11.75	13.84	16.515	19.118

从上表看出台湾由于电子工业近年来的扩张迅速，导致对覆铜板的需求有巨大增长。

2. 玻璃钢/复合材料的应用模式

世界三个主要玻璃钢/复合材料生产地区的复合材料应用模式不尽相同。以美国 1999 年的玻璃钢/复合材料市场为例，这一年美国共生产 1703522 吨玻璃钢复合材料（包括热固性及热塑性玻璃钢，不包括覆铜板），它在各个市场的应用比例如下：

陆地运输工具（主要为汽车）：	31.86 %
建筑市场：	20.81 %
化工防腐制品：	11.59 %
船舶游艇：	10.05 %
电气电子：	10.03 %
消费品（包括休闲运动）：	6.26%

家电/办公设备:	5.50%
航空航天:	0.06%
其它:	3.20%

由上看出汽车、建筑及化工防腐是美国玻璃钢的三大支柱市场。

欧洲玻璃钢/复合材料市场情况如下:

交通运输 (汽车、火车):	33%
建筑与公共设施:	31%
工农业设备 (包括防腐等):	14%
消费品 (体育、休闲):	10%
电子、电气:	8%
其它:	4%

故欧洲复合材料占前三位的市场分别是交通运输、建筑及工农业设备，与美国大体相仿。

而亚太地区 (不包括中国)，复合材料各市场比例如下:

电子/电力:	32%
建筑与公共设施:	30%
交通运输:	17%
体育休闲设施:	11%
工农业设备:	8%
其它:	2%

居前三位的市场为电子/电力，建筑与公用设施及交通运输，其排序与欧美不同。

我国大陆玻璃钢/复合材料市场迄今尚没有较为准确的分类统计，其产品大致包括各种吨位的冷却塔，玻璃钢管道与贮罐 (用于防腐工程及流体输送工程)，拉挤型材 (用于化工防腐、采油、电工、门窗等)，建筑及环保

设备（水箱、净化槽、整体卫生间、浴缸等），汽车火车部件及天然气瓶，运动及休闲器材及船艇（各种工作艇、游艇及少量渔船），用于汽车、电器设备等的增强热塑性塑料注射件（以增强聚丙烯为主），总的来说玻璃钢在陆地交通运输工具、建筑、化工防腐及环保、船舶、电气/电子等方面尚有十分广阔的待开发的市场。

3. 玻璃钢/复合材料成形工艺

目前国外热固性玻璃钢成形工艺以机械化成形为主。以下是欧、美、日等国的各种热固性玻璃钢成型工艺所占的比例。

美国各种聚酯玻璃钢工艺所占比例如下：

手糊：	18%
喷射：	20%
模压（包括 SMC、BMC 等）： [td=1, 1, 20%]	40%
纤维缠绕：	3%
拉挤：	2%
其它（包括 RTM、离心浇铸等）：	17%

日本各种聚酯玻璃钢工艺所占比例：

手糊：	17.9%
喷射：	20.3%
模压： [td=1, 1, 20%]	43.5%
其它压制工艺：	2.4%
纤维缠绕：	6.1%

拉挤:	4.4 %
其它:	5.4 %

欧洲各种玻璃钢工艺所占比例如下:

喷射与手糊:	31.8 %
拉挤、缠绕、离心浇注:	25%
SMC、BMC 等: [td=1, 1, 20%]	18.2%
机械化制板:	11.4 %
RTM:	4.5 %

我国自从上个世纪助年代以来引进并自行制造了大量的机械化成型设备, 据中国玻璃钢协会统计目前我国拥有定长管道及贮罐缠绕生产线 220 条, 连续制管线 2 条, 离心管道生产线 6 条, SMC 机组 40 台, BMC 机组 50 台, 拉挤生产线 140 条, 喷射设备 550 台, RTM 设备 90 台。但由于产品开发滞后等原因至个机械化设备利用率不高, 平均利用率不超过 50%, 大量设备处于半闲置状态。据统计目前我国大陆玻璃钢成型工艺仍以手糊为主, 占总产量的 70%, 管道缠绕工艺占 18%, SMC、BMC 占 8%, 拉挤占 4%。

在热塑性玻璃钢工艺方面, 目前国外大多数热塑性玻璃钢制品是用玻璃纤维与玻纤短切丝制成料粒, 然后再将料粒经注射成形为各种制品。但近十年来各种新型的增强热塑料工艺不断出现, 如可以改进制品机械性能的长纤维料粘注射工艺, 干法与湿法玻纤毡增强热塑料, 以玻纤与有机纤维形成的混合粗纱 (TWintex) 及织物进行模压或拉挤, 增强热塑性塑料拉挤工艺等均已投入工业化生产阶段。

4. 近年来玻璃钢/复合材料工业发展的若干特点

1) 主要工业发达国家玻璃钢/复合材料的产量增长连续多年超过国民经济 GDP 的增长, 其产品品种不断增加, 应用领域也不断扩大, 特别是在以下

七个领域。

a. 基础设施市场。美国与欧洲都面临着已多年使用的基础设施的翻新、加固与重建。高速公路、桥梁、码头、水工建筑、输变电路等都需要使用大量的复合材料。目前全复合材料的桥梁、输变电塔、灯杆都已获实际应用。特别要提及的是近年来出现的玻璃纤维拉挤钢筋代替传统钢筋，用在沿海地区钢筋混凝土建筑中防止海水及含盐潮湿空气对钢筋的侵蚀有着巨大的潜在市场。仅在欧洲每年混凝土用钢筋即达 1100 万吨，如果有 4% 的钢筋被玻纤拉挤钢筋代替，每年即需 11 万吨这种代钢筋材料。目前各国都在开发这种新材料，预期在解决了这种玻璃钢钢筋的延展性（即脆性）问题后，这种材料将会有突破性的发展。

b. 风力发电。风力是清洁的能源，目前德国的风力发电居世界第一位，达 611 万千瓦，美国居第二位为 255 万千瓦，我国居第九位，风力发电总量为 34.5 万千瓦，只相当于居第五位的印度的 1/3。目前风力发电机组一般发电能力为 600 千瓦/台，但德国目前正在建造发电能力达 5000 千瓦的巨型发电机组，其玻璃钢叶片长度达 56 米。世界最大的风机叶片生产厂南丹麦的 LM 玻纤公司已在中国的天津建厂生产玻璃钢风机叶片，而按照我国规划到 2005 年新增风力发电 100 万千瓦，这将需要 1 万多吨的玻纤增强塑料。

c. 建筑市场。除了传统的玻璃钢整体卫生间、浴缸、净化槽等，近年来玻璃钢型材制造的窗框正在迅速增长。由于与塑钢窗框相比它的强度、刚度高，耐老化性好，使用寿命可比塑钢窗框延长一倍以上，阻燃性及保温性均很优良，因此它被称为第五代窗框型材。目前在国内外都有快速的成长。此外，用玻璃微珠填充树脂作芯层的聚酯玻璃钢可以建造房屋，使住宅重量大为减轻。美国 OC 公司为土耳其大地震后建造的玻璃钢房屋造价每套仅 1.5 万美元，据该公司估计这种玻璃钢房屋的全球市场总值达 60 亿美元。

d. 电子工业。近年来电子工业特别是个人电脑、移动通讯等的迅猛发展导致对印制电路板用的玻纤增强环氧树脂层压板有巨大的需求。尤其是世界电子工业的重心转移到亚洲地区，促使这一地区玻纤及玻纤增强树脂层压板产量剧增，这也给我国带来很大的机遇。

e. 陆地交通运输工具。随着汽车及城市轻轨交通的发展，对各种复合材料的需求增长迅速。以西欧为例，西欧每年要将 20 万吨玻纤增强热塑料用在各种类型的汽车上，除此之外，用 SMC、BMC 工艺制造的大量增强热固性塑料部件也仍呈增长趋势。汽车用蓄电池托架、保险杠、前后车灯、仪表盘、发动机罩下的部件如过气歧管都已广泛采用玻纤复合材料。轻轨车辆中的门、窗、座椅、行李架及至车体板、车头均可采用玻璃钢制造。

此外近年来，玻璃纤维在代替石棉制造摩擦材料方面发展也很迅速，由

于公认的石棉对人体健康的危害性,许多国家开始采用玻纤——酚醛树脂代替石棉—酚醛树脂制造机动车的刹车片等并已取得满意的效果。

f 光缆加强芯。通讯光缆加强芯包括两个部分,一是光缆中心的加强芯,这是玻璃纤维拉挤产品,另一部分是玻璃纤维被覆上特种树脂并吸附一种流水粉末,它可防止水份对光纤传光带来的不良影响。全球该市场的总值在每年 25 亿美元左右。

2) 玻璃纤维增强热塑料近年来一直以快于热固性玻璃钢的发展速度在发展,而且增强热塑料的新的生产技术也在不断出现,这是玻璃钢/复合材料工业发展的另一个特点。

如前所述,国外玻璃纤维增强塑料中有 1/3 为增强热塑料,按树脂用量的多少排序,占首位的是尼龙(尼龙 6 和尼龙 66),热塑性聚酯 PBT 和 PET,以及聚丙烯。目前增强热塑料主要用于汽车制造和电气/电子工业产品的制造。

在生产工艺方面,多数增强热塑性塑料是用玻纤短切原丝与树脂料粒在双螺杆挤出机中挤出复合制成粒粒,然后再注射成形。这种工艺的缺点是玻纤原丝在树脂充分塑化并将玻纤原丝包覆之前玻纤原丝暴露于双螺杆机的剪切作用之下,纤维被切短。当注射成形时纤维还会被进一步损伤,故在最终制品中纤维长度很短,增强效果不理想。针对这一问题,近年来开发出所谓长玻纤料粒,它是借用热塑性树脂拉挤技术,使连续玻纤无捻粗纱通过模头、粗纱被强制散开使每根单丝都受到树脂包覆,然后经冷却短切成料粒。这种料粒在注射成形时纤维处于熔融塑料包围之中,从而使纤维受注射螺杆的损伤降至最低,使得在最终制品中玻纤保持较长的长度,目前这种工艺被用在越来越多汽车制品的生产中。

增强热塑料的另一个发展是所谓的玻璃毡增强热塑料,即 GMT,它是将连续玻璃纤维针刺毡或连续原丝毡与熔融聚丙烯或 PET 复合成片材,再将这种片材裁切成预定形状,经加热冲压成最终制品。由于它采用连续玻纤,其机械强度高,目前这种 GMT 片材已广泛用于制造汽车工业的部件。

属于 GMT 范畴的还有一种湿法成型的玻纤增强热塑料片材。它是将玻纤短切丝与塑料粒子(如聚丙烯料粒)在水中混合,利用助剂使塑料粒子悬浮在水中,将玻纤短切丝与塑料粒子形成的浆料通过专用的纸机按成片材,经加热加压使塑料领熔后,纤维与塑料熔成一体。这种片材与上述 GMT 一样可以用加热冲压成型工艺制造各种制品。这种制品的外观好,可以用于制造汽车上的一些外观要求高的部件,其机械强度低于上述干法 GMT 片材制品。

增强热塑性塑料生产技术的最新进展是 TWintex 的出现,它是在玻纤拉丝的同时用挤出机将树脂(如聚丙烯)通过模头形成有机纤维,两种纤维掺

混排列在一起形成一种混合无捻粗纱，在这种混合粗纱中，玻纤纱含量可达60—75%，这是一般增强热塑料所达不到的。这种无捻粗纱可以织成方格布或制成针刺织物，通过加热使有机纤维熔化成树脂基材，从而使玻璃纤维与树脂固结在一起，可以通过模压工艺将其制成模压制品，混合无捻粗纱也可以用拉挤工艺制成型材，用含玻纤60%的混杂无捻粗纱方格布模压出的制品机械性能远胜于 GMT 制品。具体对比见以下数据。

	GMT	Twintex-60
拉伸强度 MPa	95	240
抗弯强度 MPa	150000	300000
悬臂梁抗冲(缺口) KJ/m	70	220
玻纤含量	40	60

从上表看出 Twintex 的物理机械性能远远超出 GMT，就抗冲击性能而言，它甚至超过了聚酯玻璃钢的抗冲性能。目前 Twintex 业已投入工业化生产。

除了玻璃纤维的 Twintex 之外，碳纤维与有机纤维的混合纤维也在开发之中。

增强热塑性塑料拉挤工艺在最近几年也取得了一定的突破。由于热塑性塑料在熔融态粘度很高，很难浸透玻璃纤维以实现纤维与树脂的牢固粘结，因此增强热塑性塑料拉挤多年来没有能获得广泛应用。最近美国道化学公司采用一种工程热塑料聚氨酯与玻纤经过拉挤制成强度、韧性、抗损伤性能均很优良的型材。这种聚氨酯在加热熔融状态分子量降低导致粘度很低，极易浸透玻璃纤维，而当冷却固化时分子量又重新恢复到原始状态，从而既使拉挤工艺易于进行，又保证了最终产品的性能。其拉挤速度可达到热固性塑料拉挤速度的10倍。这种拉挤型材与聚酯玻璃钢拉挤型材机械性能对比见下表。

	玻纤聚氨酯拉挤 型材	玻纤聚酯拉挤 型材
抗弯强度 MPa	1000	990
断裂伸长率%	2.5	1.3
横向搞弯强度 MPa	151	69

这种拉挤型材还可以用金属对模压工艺进行后加工，如将杆状型材加工成各

种弯曲甚至弹簧形状。道化学公司认为这种新型复合材料不仅可与聚酯玻璃钢竞争，更重要的是它将大大延伸复合材料的领域。

3) 在热固性玻璃钢技术方面，近年来由于环保的要求日趋严格，苯乙烯散发严重的敞模模塑工艺如手糊及喷射成型受到越来越大的压力，闭模模塑工艺特别是 RTM 及各种在 RTM 基础上改进的工艺方法正在逐渐取代敞模工艺。RTM 工艺是将增强材料铺放在上下模具中，泵入树脂，为了改进树脂对纤维的浸透及适应制造大尺寸玻璃钢制品的需求，在 RTM 的基础上开发了真空辅助的 RTM 工艺，一方面藉助压力使树脂强制通过增强材料层，而在玻纤层合材料的另一面则藉助真空泵形成的真空增加树脂对纤维的浸透作用，目前有多种改进的 RTM 工艺，而尤以所谓的 SCWP 工艺最为著名，它不用树脂注射而是全部采用真空的办法使树脂流过纤维，按照这种工艺，层合的增强材料铺放在刚性的模具底部，表面上覆盖真空织物袋，这种真空袋的内侧设有许多使树脂分流的渠道，在模具的一端接上真空泵，在真空作用下催化的树脂从模具中心通过真空袋下面的分流渠道均匀流过纤维增强层，从而达到树脂与纤维结合为一体。在抽真空的过程中，增强材料上面覆盖的真空袋会压缩纤维使其致密。这种真空袋是用 PTEE 涂覆的硅橡胶制成，可反复使用，该工艺适合于不饱和聚酯、环氧及乙烯基酯树脂。该工艺可以用于制造轻质、大尺寸的结构材料，其成本也较低。最为重要的是由于它是闭模模塑，苯乙烯在树脂与纤维融合过程中已通过化学反应而基本上消耗殆尽，散发到环境中的苯乙烯浓度不到 10PPM，大大改善了环境。

4) 在玻璃钢/复合材料用增强纤维方面，除了传统的玻璃纤维及一些高性能纤维以外，包括木纤维在内的天然纤维越来越多地用在复合材料的生产中，这构成了近年来复合材料工业发展的另一个特色。

按照 2001 年世界水纤维——塑料复合材料会议发表的文献的统计，2000 年北美（美国、加拿大）用于塑料复合材料的增强材料及填料总量为 250 万吨。其中玻纤 775 万吨，碳酸钙 100 万吨，其它矿物填料 55 万吨，天然纤维为 17.5 万吨。天然纤维中包括水纤维、亚麻、黄麻、洋麻、大麻、剑麻等。与玻纤不同的是，天然纤维几乎全部用于增强热塑性塑料的复合材料，常用的热塑料包括聚氯乙烯、聚丙烯、聚乙烯及高密度聚乙烯。

从历史的统计数据看，1980 年天然纤维在北美复合材料中的用量仅为 4.76 万吨，1990 年为 5.22 万吨，而到 2000 年即达 17.5 万吨，其中木纤维占据绝大部分，麻类等天然纤维为 0.7 万吨。而今后的发展趋势是天然纤维将更多地用在复合材料中。天然纤维复合材料主要应用在建筑材料及汽车制造中。按照预测，从 2000 年到 2005 年建筑用复合材料所使用的天然纤维将达到年增长率 60%，使用的主要纤维为木纤维，亚麻及大麻纤维。目前主

要产品形式为户外用铺地板、装饰板条、篱笆、扶手、门窗型材，正在开发的有百页窗、房屋被叠板、屋面瓦多。天然纤维复合材料的优势是吸水性很低，不霉烂，故维修成本低、抗翘曲性好、防虫蛀、美观、使用寿命长。预计到 2005 年北美建筑市场需要 136 万吨天然纤维制造复合材料。

天然纤维复合材料另一个大市场是汽车工业。目前天然纤维复合材料在汽车上的主要用途为门边银板、行李托盘、承载地板、备用股罩、椅背。正在开发的用途为椅子扶手、后货架、车项内社、遮阳板等。目前汽车用复合材料中所用的天然纤维多为亚麻、大麻、洋麻，树脂为聚丙烯及酚醛，纤维含量为 50%。天然纤维复合材料在汽车应用方面的优势有如下几方面：①绿色环保，纤维本身是符合环保的，使用过程及所制造的制品均为环保型的；②减轻汽车部件的重量。玻璃纤维的比重为 26 克/厘米³，而木纤维及天然纤维的比重为 1.5—1.6 克/立方厘米之间；③天然纤维制成的复合材料部件成本低，玻纤的价格平均为 0.9 美元/磅，而水纤维为 0.12 美元/磅，其它天然纤维约在外 15—0.3 美元/磅；④良好的抗控性能；⑤隔音性能；③可回收性。

预计从 2000 年到 2005 年北美天然纤维用在汽车复合材料方面年增长率超过 50%，到 2005 年总量将达到 4.5 万吨当然在天然纤维用于复合材料方面尚有一系列问题需要解决，如选用合适的添加助剂，包括润滑剂、紫外吸收剂、界面粘结促进剂等，另外一般而言天然纤维的运输成本也较高，有时运输成本甚至相当于天然纤维成本的 50% 乃至 100%，因此考虑就近取材是降低成本的一个重要因素。

目前就发展速度而言，欧洲在天然纤维复合材料的开发应用方面领先于北美。世界最大的玻纤公司美国 OC 公司针对欧洲汽车工业对天然纤维复合材料的需求最近开发出亚麻纤维增强聚丙烯，可以用于汽车内装饰及发动机罩下面的若干部件。

除了天然植物纤维外，近年来另一种由天然矿物玄武岩制成的连续纤维作为塑料的增强材料也显示了很大的潜力。这种玄武岩纤维的抗拉强度与高强玻纤相近，其耐酸性、耐碱性均远胜于传统的 E 玻璃纤维，这种纤维在增强塑料方面可以代替 E 玻璃纤维制成许多高性能的复合材料。相信在解决了大规模工业化生产的一些技术问题之后，玄武岩连续纤维增强塑料将会获得较快的发展。

5. 玻璃纤维工业的发展现状

作为玻璃钢/复合材料工业最主要的纤维增强材——玻璃纤维，在经历了 60 多年的发展后，全世界的总生产能力已接近 300 万吨，2000 年实际生产量达 230 万吨，其中增强塑料用玻纤占 65%，增强沥青材料用玻纤占 19

%，其余 16%为纺织用玻纤细纱，即使这 16%的纺织用玻纤细纱中有 70% 仍然是用于玻纤增强环氧树脂以制造电子工业用的覆铜板。

北美地区（美、加）2000 年总共使用 105.3 万吨玻纤，西欧地区用量为 68 万吨，亚太地区 43 万吨（不包括中国），东欧地区为 10.76 万吨，南美、中东及非洲地区为 9 万吨。居世界三大玻纤公司首位的是美国的欧文斯·科宁公司，它在全球有 20 座玻纤工厂，年产玻纤约 65 万吨。法国圣戈班集团的维托泰克斯玻纤公司居第二位，其总生产能力接近 60 万吨。目前它在中国有两座玻纤工厂分别位于北京、杭州。美国 PPG 公司的玻纤分部居世界第三位，年生产能力约 50 万吨，目前它正在我国的昆山建设一座年产 2.5 万吨玻纤的大型池窑，其远

期目标为 7.5 万吨/年。

用于玻璃钢/复合材料的玻纤增强材料的主要品种为各种捻粗纱、玻纤短切原丝、各种玻纤织物、短切毡、连续原丝毡、表面毡、磨碎纤维、玻纤针刺毡及多轴向缓编织物。近年来多轴向玻纤缝编织物发展很快，这种织物的特点是玻纤经纬纱呈挺直排列、无弯曲，玻纤纱可以按照要求排在 0+90 度及全 45 度的方向上。也即按照玻璃钢受力方向布置纤维以便最大限度地发挥纤维的增强作用。这种多轴向缝编织物大量用于风力发电的叶片及 FRP 船艇的制造上。

在连续玻璃纤维所用的玻璃成份方面，由于环保的要求，为了消除硼与氟对环境的污染，一些国外公司已将传统的含硼含氟的无碱玻璃纤维改成无硼无氟或无硼的无碱玻璃纤维，这种趋势正在加快发展。

在玻璃纤维生产技术方面重大的进展是全氧助燃的玻纤窑炉的出现。由于使用纯氧代替空气帮助燃料燃烧，窑炉排放的氮氧化物大为降低，在改善环境同时提高了玻璃熔制效率，提高玻璃液质量。目前国外已有相当多的玻纤池窑使用纯氧助燃。

我国的玻纤工业近年来取得了长足进步，2001 年总产量已达到 27 万吨，增强型玻纤制品占 50%，无碱玻璃纤维约占 55%。2000 年我国玻纤的出口总量达 11.2 万吨，总金额为 1.9 亿美元。目前正在运行的无碱玻璃纤维池窑有 10 座，总生产能力近 12.5 万吨。此外，两座中碱玻纤池窑总生产能力约 1.5 万吨/年。另有两座使用废丝生产 E 一玻纤的池窑，总生产能力为 0.7 万吨。正在建设的无碱玻纤池窑有 9 座，总生产能力达 15.2 万吨，预计 2003 年可全部投产。另外，目前正计划建造的池窑尚有 6 座，总生产能力 11.8 万吨。如果上述计划近期全部实现则我国的无碱玻纤池窑的总生产能力将很快达到每年近 40 万吨，加上近 20 万吨的球法玻纤，总生产能力将超过日本成为世界第二大玻纤生产国。

我国目前已能生产国际市场上大多数品种的玻璃钢用增强材料,前些年存在的增强玻璃纤维切不断、浸不透、分不散的状况已有很大改观、玻璃纤维行业已能向玻璃钢工业提供质量较好的玻纤增强材料,但总的来说玻纤质量仍存在许多问题,即使池窑拉丝所生产的玻纤增强材料在质量方面在国际市场中也只居中等水平。在国际市场上我国生产的玻璃纤维在多数情况下是以低价而取胜。在玻璃纤维品种规格质量方面与国外相比仍然有很大差距,

突出表现在:

1) 玻纤表面处理技术落后,导致若干品种的玻璃纤维制品仍然是空白。如适用于玻纤增强环氧耐高压管道所用的玻纤缠绕纱,油田输油管用的拉挤玻璃纤维无捻粗纱等我国均不能生产,仍需从国外进口。

2) 增强热塑料用的玻纤制品在国外已形成一个大的系列,而我国还大部分属于空白状态,即使是适合于各种热塑料(如尼龙、聚丙烯、热塑性聚酯 PET 和 PBT)所专用的玻纤短切原丝,其规格品种及质量尚不能满足用户需求。

3) 多轴向玻璃纤维缝编织物在我国基本上还是空白。

4) 连续原丝毡目前我国只有一条中试生产线,无论质量还是数量均不能满足国内外市场的需求。

以上情况说明我国玻纤工业在提升整体技术水平及产品质量方面仍需做很多工作,这一点从我国进口的玻纤产品的数量和金额也可以证明。2001年,我国进口玻纤制品达近 10 万吨,总金额为 2 亿多美元,它说明我国所需要的许多高质量的玻璃纤维产品仍需从国外进口。

三、结束语

以上简要介绍了国内外玻璃钢/复合材料工业的发展现状及特点,从中可以看到尽管我国的玻璃钢/复合材料及玻纤工业已有了很大发展,逐渐成长为玻璃钢/复合材料的大国,但我们与国际先进水平仍有相当大的差距,特别是在技术与产品质量方面,还有很长的路要走。相信在我国玻璃钢/复合材料业界人士的共同努力下,我们一定会迅速缩小这种差距,从而使我国玻璃钢/复合材料工业能对国民经济的发展作出应有的贡献。