



增强塑料手册

〔美国〕G. 卢宾等著

哈尔滨玻璃钢研究所等译



中国建筑工业出版社

本书分四部分：原材料、成型工艺、设计与应用。原材料部分介绍了常用的树脂及增强材料，并列有原材料及其典型的模压复合材料的性能表。成型工艺部分介绍了简单的手糊工艺、对模模压、预浸渍材料、蜂窝夹层以及纤维缠绕等各种成型方法。设计部分介绍了有关的设计技术并简要的叙述了微观力学与宏观力学的分析方法，也介绍了玻璃钢及其他增强塑料的测试方法。最后一部分概述了增强塑料在航海、运输及航空等方面的应用。本书主要介绍玻璃钢，也有较多的篇幅谈到硼、石墨、晶须等特种纤维增强塑料。

本书可供从事玻璃钢及特种纤维增强塑料研究和生产的有关人员阅读，也可供造船、运输、航空及其他工业选用玻璃钢及特种纤维增强塑料时参考。

G. Lubin

Handbook of Fiberglass and Advanced Plastics Composites

VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY—1969

增强塑料手册

哈尔滨玻璃钢研究所等译

· 内部发行 ·

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

开本：850×1168毫米 1/32 印张：26 字数：689 千字

1975年3月第一版 1975年3月第一次印刷

印数：1—9,475 册 定价：2.55 元

统一书号：15040·3123

译者说明

增强塑料，也叫复合材料或塑料复合材料，它是一种新型的工程材料，具有比强度高、热性能好、电性能优良、耐化学腐蚀等一系列优点，所以发展很快，应用很广。虽然随着航空与宇宙航行事业的发展，除玻璃钢外，新型的增强塑料，如硼纤维、碳纤维、晶须等特种纤维增强塑料逐渐被人们所重视，但是，在今后相当长的一段时间内，玻璃钢仍然是一种重要的增强塑料。为了适应我国玻璃钢工业及其他特种纤维增强塑料发展的需要，我们翻译了本书。

本书原名为《玻璃纤维和高级塑料复合材料手册》(Handbook of Fiberglass and Advanced Plastics Composites)。考虑到本书介绍的内容和我国的习惯，译为《增强塑料手册》，但对文中出现的《composite》一词仍沿用复合材料这一译名。本书名为手册，实际上仅是一本比较全面、比较详尽的资料总结，不同于我们设计中常用的手册。

本书于1969年出版，收集了不少资料、提供了较多的线索，概略地反映了当时美国玻璃钢工业的发展情况和其他新型增强塑料的科研水平，有一定的参考价值。但是本书是由美国一些研究单位和厂商分别编写的，结构比较松散，有些章节内容有重复现象，对本公司的产品有吹嘘夸大的情况。同时，书中也反映出唯利是图，技术第一，英雄史观等资本主义观点。虽然译文作了删节，但限于译者水平，书中难免还会存在一些问题。因此，阅读时应当遵照伟大领袖毛主席的教导：“凡属我们今天用得着的东西，都应该吸收。但是一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，

才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。”原书个别章节编排欠妥或文不对题，译文酌情予以更动。若干技术上不妥或错误之处，凡发现的，译文均作了更正，并且加了译注。

译文沿用了原书的英制单位，为了读者使用方便，书末附有基本单位换算表，以供参考。

参加本书翻译工作的单位有：哈尔滨玻璃钢研究所；北京251厂；上海耀华玻璃厂；南京玻璃纤维工业研究设计院；上海化工学院；南京化工学院；北京化工学院；第一机械工业部材料研究所；天津合成材料厂以及上海科技情报研究所等。哈尔滨玻璃钢研究所；北京251厂；上海耀华玻璃厂分别派人参加了全书的总校订工作。上海化工设计院参加了本书的组织工作。

增强塑料，特别是玻璃钢方面，目前国内尚无统一译名，不少专业名词不得不由译者自拟。尽管拟定时考虑了国内已沿用的习惯名称，并参考了已出版的中文玻璃钢书籍，但不妥之处一定不少。加之，这类材料涉及专业很广，我们的技术水平和翻译能力有限，译文难免有不少缺点和错误，希望广大读者批评指正。

译 者

1973年8月

目 录

第一章 复合材料的历史 (D.V. 罗萨托)	1
第二章 聚酯树脂 (M. 卢宾)	10
第一节 绪言	10
第二节 制备	11
第三节 性能	15
第四节 固化	19
第五节 增强材料	29
第三章 环氧树脂 (E.N. 道曼)	34
第一节 绪言	34
第二节 制造	37
第三节 工业树脂	41
第四节 固化方法	43
第五节 改性	53
第六节 树脂体系	58
第七节 应用	60
第八节 操作和工艺	70
第四章 酚醛和硅树脂 (H.J. 多伊尔, S.C. 哈利)	73
第一节 酚醛树脂	73
第二节 制备	76
第三节 硅树脂	93
第五章 耐高温聚合物 (H. 莱文)	102
第一节 高温性能的基础	102
第二节 各种考虑	103
第三节 耐高温聚合物的种类	105
第四节 展望	113
第六章 玻璃纤维增强热塑性塑料 (D.V. 罗萨托)	117
第一节 复合材料的类型	117

第二节 制造工艺	120
第七章 玻璃纤维 (D.G. 梅特司)	133
第一节 一般使用特性	133
第二节 应用	134
第三节 纤维的制造	136
第四节 玻璃成分	139
第五节 商品玻璃纤维产品的形式	144
第六节 表面处理	155
第七节 使用玻璃钢的原则	158
第八节 玻璃钢的制造工艺	160
第九节 玻璃钢的特性	166
第八章 石棉 (D.V. 罗萨托)	169
第一节 前言	169
第二节 纤维类型和形式	170
第三节 石棉复合材料的有关数据	172
第四节 应用	177
第九章 高硅氧及石英 (H. 许罗克)	178
第一节 定义	178
第二节 应用	178
第三节 性能	181
第十章 化学气沉积法制造的硼纤维和其他增强材料 (L.E. 莱因, U.V. 亨德森)	187
第一节 连续硼纤维的生产	187
第二节 硼纤维的性能	190
第三节 结构和形态	193
第四节 用化学气沉积法制造的其他纤维	214
第五节 结束语	218
第十一章 石墨纤维增强塑料 (J.C. 波曼, J.C. 布瑞南)	221
第一节 概论	221
第二节 纱	223
第三节 高强度、高模量石墨纤维	225
第四节 布	227

第五节 其他结构	230
第六节 石墨纤维复合材料	231
第十二章 晶须和它的复合材料(J.J.夏因,R.C.谢弗)	241
第一节 绪言	241
第二节 晶须和晶须制品的市售品种	244
第三节 复合方法	245
第四节 用途	257
第五节 新纤维和晶须的设想	259
第六节 晶须将来的成本和生产	264
第十三章 手糊成型法(A.G.温菲尔德)	267
第一节 简单的手糊法	271
第二节 复杂的手糊法	274
第三节 覆布抽吸成型法	278
第四节 喷射法	280
第五节 湿糊低压成型	281
第六节 无模手糊法	282
第十四章 结构层压制品袋模法制造工艺(S.F.门罗, B.E.奇特伍德)	284
第一节 袋模法一般介绍	284
第二节 袋模法使用的材料及其性能	285
第三节 结构性能的确定以及它们之间的关系	288
第四节 袋模法工艺规范	289
第五节 质量控制程序	293
第六节 生产程序	295
第七节 固化设备的一般介绍	301
第八节 固化操作规程	304
第九节 小结	308
第十五章 对模模压——织物、毡和预成型坯(G.卢宾)	311
第一节 绪言	311
第二节 模压用毡料	313
第三节 预成型工艺	315
第四节 预成型坯用粘结剂	321
第五节 织物成型	323

第 六 节	真空注射成型	323
第 七 节	移动式或无压对模成型	329
第 八 节	柔性柱塞成型	331
第 九 节	成型压机	332
第 十 节	非金属模具材料	334
第十一节	金属对模模压	335
第十二节	对模模具材料和模具设计	335
第十三节	模压用树脂	340
第十四节	摘要	340
第十六章	增强模压料 (R. P. 扬)	346
第 一 节	定义	346
第 二 节	历史	347
第 三 节	性能	349
第 四 节	应用	368
第 五 节	材料	373
第 六 节	配方	379
第 七 节	混料	382
第 八 节	模压	390
第 九 节	模具结构	394
第 十 节	压机	398
第十一节	模制件的设计	400
第十七章	预浸渍材料 (H. 雷弗)	403
第 一 节	预浸渍的定义	403
第 二 节	预浸渍材料的优点	404
第 三 节	预浸渍材料的模压	405
第 四 节	树脂-增强材料的组合及预浸渍材料的用途	406
第 五 节	预浸渍单向纤维材料	409
第 六 节	耐烧蚀预浸渍材料	413
第 七 节	预浸渍材料的机械性能	413
第 八 节	展望	417
第十八章	纤维缠绕 (A. M. 西伯利)	420
第 一 节	绪言	420
第 二 节	缠绕的基本材料	421

第 三 节	缠绕过程	432
第 四 节	纤维缠绕复合材料的性能	445
第 五 节	小结	465
第十九章	连续生产方法 (W.B. 哥特施威尔舍)	468
第二十章	蜂窝和夹层结构 (D.V. 罗萨托)	476
第 一 节	绪言	476
第 二 节	结构材料	477
第 三 节	设计准则	495
第 四 节	合理的材料选择	507
第 五 节	纤维缠绕技术	510
第 六 节	成型	514
第 七 节	试验方法	519
第二十一章	烧蚀 (H.J. 多伊尔)	522
第 一 节	定义	522
第 二 节	分析	523
第 三 节	历史	524
第 四 节	应用	526
第 五 节	材料特性	527
第 六 节	环境的影响	529
第 七 节	热解的和石墨化的塑料	530
第 八 节	改进过的酚醛烧蚀器	532
第二十二章	连接和机械加工工艺 (S. 达施丁)	534
第 一 节	复合材料的机械连接	534
第 二 节	复合材料的胶接	548
第 三 节	复合材料的机械加工工艺	566
第二十三章	复合材料设计 (V.G. 格里尼斯, J.V. 诺伊斯)	574
第 一 节	绪言	574
第 二 节	分析方法	574
第 三 节	微观力学	575
第 四 节	宏观力学	593
第二十四章	硼-环氧飞机结构 (R.N. 亥德考克)	605
第 一 节	绪言	605

第二节	机械性能的比较	608
第三节	“纳姆哥5505” 硼-环氧复合材料	611
第四节	多向层压板材	620
第五节	结构分析与设计	630
第二十五章	增强塑料的试验 (G.埃普斯坦)	638
第一节	绪言	638
第二节	增强塑料试验方法的文件	641
第三节	一般考虑	646
第四节	增强塑料的原材料检验	648
第五节	增强塑料的非破坏检验方法	669
第二十六章	复合材料试验方法 (G.C.格兰姆斯, M.E.布鲁斯坦特)	685
第一节	通用的试验方法	685
第二节	其他的试验方法	701
第二十七章	航海应用 (N.弗里德)	718
第一节	船舶结构层压板	718
第二节	航海环境的影响	720
第三节	船舶结构的设计	726
第四节	应用	726
第五节	当前的和将来的发展	737
第六节	总结——包括评论	749
第二十八章	增强塑料在运输车上的应用 (R.S.莫里森)	754
第一节	绪言	754
第二节	生产和材料成本	755
第三节	与运输业有关的玻璃钢性能	756
第四节	增强塑料的使用	758
第五节	树脂和增强材料	760
第六节	转折点和平衡点	761
第七节	改进的机械化自动化设备	763
第八节	机械化的不足	763
第九节	改进的设备	764
第十节	高质量低成本的汽车和卡车部件整修	765

第十一节	增强塑料的使用情况	766
第十二节	结论	769
第二十九章	飞机和宇宙航行中的塑料 (D.V. 罗萨托, G. 卢宾)	770
第一节	飞机	770
第二节	应用	775
第三节	宇宙航空	784
附录		800
表 A-1	玻璃纤维织物和无捻粗纱常用处理剂一览表	800
表 A-2	用各种处理剂处理的 181 玻璃织物聚酯层板的机械性能	804
表 A-3	使用不同处理剂的环氧层板的干态和湿态机械强度	805
表 A-4	环氧复合材料中玻璃织物处理效果的比较	806
表 A-5	纤维直径对聚酯复合材料的影响	807
表 A-6	纤维直径对环氧复合材料的影响	807
表 A-7	玻璃纤维织物的性能	808
表 A-8	增强层板典型性能一览表	814
表 B-1	英制单位和公制单位换算表	818

第一章 复合材料的历史

D. V. 罗 萨 托

绪 言

塑料复合材料现在的研究及发展方向是：具有非常高的结构强度和非常高的模量重量比（如图1-1所示）。这种多相材料的生产工艺发展很快，而且潜力很大。相反，在其他方面，例如精制板状钢材、铝及钛，其发展就比较小。复合材料的原料及生产技术方面的继续研究和发展，将会很快地使其投入大量的生产，并能

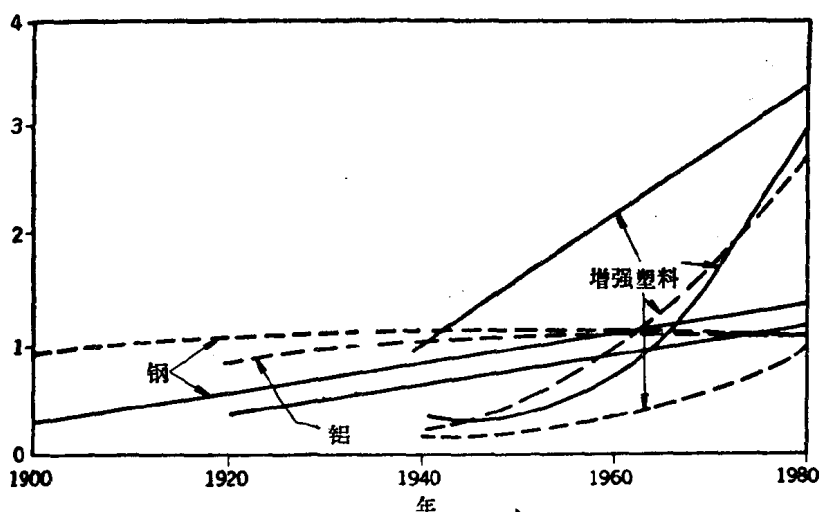


图 1-1 复合材料（增强塑料）及通用材料结构性能的发展和预想

拉伸强度（磅/吋²）与密度（磅/吋³）之比 $\times 10^5$ ；拉伸弹性模量（磅/吋²）与密度（磅/吋³）之比 $\times 10^6$

同其他材料相竞争。

基于现在的了解，1940年复合材料或增强塑料开始在工程上应用以来，玻璃钢仍旧是使用得最广泛的一种材料。虽然新型复合材料，例如石墨、硼及晶须等特种纤维的复合材料，以后将有更大的发展，但从消耗量及经济利益角度来看，用热固性与热塑性塑料制作的玻璃纤维复合材料（玻璃钢）仍旧是必需的和主要的。如图 1-2 所示，玻璃钢的发展是很可观的。

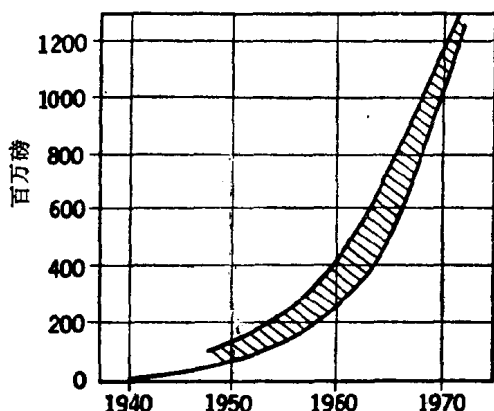


图 1-2 聚酯玻璃钢过去与将来的消耗量

复合材料的发展

复合材料是两种或两种以上的材料综合组成的，即，复合材料是由所选定的填料或增强材料与相应的树脂结合而制成的具有特殊性能的材料。从宏观上看，增强材料与树脂的结构和形态是不同的。虽然各成分彼此作用成为一个整体，但是它们互不溶解，也没有以其他方式相互完全融合。通常各成分在其交界面上可以物理的区分出来。界面的性能通常对复合材料的性能起着决定性的作用。

复合材料有很多不同的分类方法。已经采用的分类是：纤维的（由纤维及基体组成）；层板的（由一层一层材料铺叠而成）；以及特殊的（基体中含有粒状增强材料）。薄片状及构架状的增

强材料制成的复合材料均属于特殊型的范畴。

在工业上，复合材料这个名词的含义更广泛了，包括增强塑料，玻璃钢，层板，低压层板，高压层板以及模压制品。

“复合材料”这个名词的定义是不确切的，有一些组合如其看成复合材料，还不如看成是复合结构更好。

对于生产者及设计者来说，在刚性复合材料或柔弹性复合材料的生产中，增强材料是基本的，但常常是复杂的问题。实际上，有关复合材料的书刊，均指刚性复合材料而言。柔弹性复合材料仅是由六十年代开始，为提供工程分析而对其进行了机械性能的研究。

军用方面的研究和发展

很明显，作为复合材料的增强塑料，其基本成分，在1940年以前，尽管了解的还不多，但已在科学和工艺上有所了解。第二次世界大战期间，电子工业的需要促进了工艺的继续发展。问题是要找出一种适宜的材料，防护军用飞行器的雷达天线，特别是防护战斗机及轰炸机上的雷达天线^[2,30,31,34]。这种雷达罩是用来防护气候对精密电子仪器的影响。所用的材料必须足以抵抗空气动力荷载的作用；在作用的温度范围内制品尺寸要稳定；耐气候性；特别需要的是透射来回的超高频X频带脉冲特性波。后一要求使飞机在这部分上不能采用金属外壳。

在1940年和1941年期间，适合于用作非金属雷达罩材料的发展，大大地促进了对应用各种材料的研究。这些材料有：木材、硬橡胶、丙烯酸塑料以及增强塑料。军界和工业界的许多研究者（在历史上第一次）大量采用聚酯玻璃钢（当时叫作低压层板和真空加压层板）才解决了这个问题。

利用真空加压法、高压釜以及200磅/吋²低压固化法代替常用的2,000磅/吋²高压固化来制备层板，这对于制做形状复杂的产品、要求快而且容易改变形状的产品是很需要的。对生产用的价

廉模具也能既快而容易地制得，而对高压模压来说，模具既贵又重，这对于大型或较复杂形状产品的生产不太实际。

第一个成功的增强塑料飞机结构

俄亥俄州莱特空军发展中心，空军结构及材料实验室第一个采用、发展并设计了飞机骨架轻质结构。分析增强塑料的试验结果以后，理论计算指出：最好的结构是夹层结构，它的蒙皮是高强度的聚酯玻璃钢层板，夹芯是比重小的材料。

1944年3月24日，机身用塑料制成的BT-15型飞机在莱特-帕特生空军基地第一次试飞。这被认为是第一次成功地使用增强塑料制作主要的飞机结构部件。AT-6型飞机机翼用增强塑料制成，这是在飞机上使用增强塑料的又一个有成效的研究和发展计划的例子。

商业生产的发展

1946年，玻璃钢便转到了民用方面，成为制作各种船只、汽车、卡车、建筑、各种器具、容器、电子器材、家俱、自来水工程、各种管道以及各种贮罐等的重要材料。1953年通用汽车公司在“柯维脱”汽车上采用了玻璃钢壳体。为了更换，曾制作一些卡车挡泥板，由于原有的生产模具不能再用了，系用原有的金属挡泥板作模具来进行制作的。

开始时，原材料价格很贵，工艺方法效率低而且成本高，影响了增强塑料的发展，但是作为一种工业，增强塑料却仍然向前发展着。其生产工艺包括：层压、手糊、喷射、包覆、离心浇铸、连续拉制、预成型坯和毡片模压、挤出成型、压缩模压、传递模压、纤维缠绕，最近又有注射模压法。

增强塑料的生产在基本方法方面不同于塑料工业采用的自动化程度高的模压成型法，例如注射法、压缩法、传递法、挤出法

等。主要区别是：开始时，增强塑料主要是用人工生产，以后逐步改用机器生产。

新的和已经改进过的完全自动化连续生产或半连续生产的机械设备正在发展。到五十年代，已经有了增强塑料板的连续生产线，它主要是用来满足军用飞机自动密封柔性油箱的生产要求。与此同时，军用的纤维缠绕法也广泛地发展了^[25]。

从五十年代后期开始到1965年，热塑性玻璃钢已开始大量地使用注射成型机械进行生产。虽然，这种材料的使用每年至少增长20%，但是这种机械设备在商业上和工业上的使用却是比较缓慢的。

消 耗 量

美国现在（1969年）每年大约要消费70亿磅或约10亿美元的复合材料。从广义来看，它包括各种层板，以及用各种填料（纤维状、薄片状、颗粒状以及构架状）制成的模压件。增强塑料通常含有10~60%（以重量计）的增强材料、填料以及其他非塑料添加物，平均为25%^[14]。

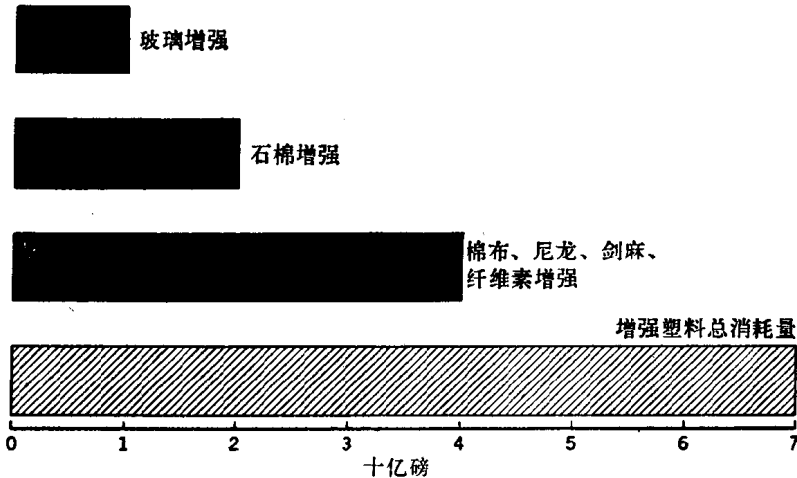


图 1-3 美国增强塑料的估计年产量

现在所使用的大量生产的增强材料是不同形状的玻璃（例如纤维状、球状、薄片状、以及颗粒状）、棉布、纤维素纤维、剑麻、合成纤维、黄麻和石棉。特殊的增强材料是碳、石墨、硼、晶须以及钢丝等^[33]，这些材料在工业上早已是非常重要的。上述各种增强材料在价格、结构以及性能等方面的差异很大。玻璃纤维已被广泛地用来生产商业产品、工业产品以及宇宙航行、飞机、水面及水下运输工具等部件。

70亿磅增强塑料中，有10亿磅不同形状的玻璃钢，20亿磅石棉增强塑料，以及40亿磅的其他增强塑料，包括纤维素、棉布和剑麻等增强材料（参看图1-3）。大量的石棉纤维用来制做管道、建筑物镶板、热及电绝缘材料、各种器具、化学设备、导弹、火箭、制动器衬里、屋面结构、衬垫、包装材料、隔音砖以及各种汽车部件。所用的主要石棉类型是布状、毛毡状、席状或呈松散状的温石棉及青石棉^[36]。

热塑性增强塑料

用玻璃基（纤维、薄片状、珠状）作增强材料制成的复合材料所使用的树脂大多数都是热固性的（聚酯、酚醛、环氧）。在过去10年间的重大进展是开始使用玻璃及石棉纤维增强的热塑性塑料^[14]。预计，1968年生产的玻璃纤维有7.73亿磅用于热固性塑料，0.64亿磅用于热塑性塑料。热塑性增强塑料主要用于军事上，经过研究和发展，已能使它具有比非增强塑料更好的性能。

热塑性增强塑料也开始被广泛地制成片状模压料（SMC）。它同金属板一样，可以使用普通的金属成型机械和切削机械大量的加工成各种部件。1968年热塑性片状模压料的产量预计可达2千万磅，1977年预计将达到3亿磅。

研究与发展

在美国，研究与发展复合材料的总费用是每年0.5亿美元。