

科學圖書大庫

玻璃纖維及超級塑鋼大全

譯者 張志純

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十七年七月二十日三版

玻璃纖維及超級塑鋼大全

基本定價 8.40

譯者 張志純 前兵工工程學院教授

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第15795號
承印者 大原彩色印製企業有限公司 台北市西園路2段396巷19號
電話：3611986・3813998

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成爲事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允爲社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能爲蔚爲大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏爲監修人，編譯委員王洪鏞氏爲編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。爲欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尙在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尙祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

譯者序

本書乃繼徐氏基金會出版部暢銷書「玻璃纖維補強塑膠之應用」後之另一嘗試，除照 1969 年 8 月 George Lubin 所編 Handbook of Fiberglass and Advanced Plastics Composites (394 頁) 直譯外，並另增加摘譯 1970 至 1972 年間各國最新資料 186 頁，使成爲一玻璃纖維及超級複合物之總滙，以供海內外同胞，政府及軍事當局，工商企業界，以及大專院校學術團體，研究機構等等之參考與指南，良以當 FRP 房屋遍及市民住宅，塑鋼車船航駛島上海外，復國火箭進入衛星軌道之日，即譯者杜門謝客，揮汗寫作，寒夜圍爐，以茶代酒，但問耕耘，卒底於成之時也。

事關國防科學，國計民生，國家命脈，國際技術，國人宜人手一冊。是爲序。

張志純 誌於台北市

中華民國六十一年十二月

序 言

過去若干年航空學進步之步調因數爲引擎之動力產生。第二次世界大戰末期軍用飛機初試噴射引擎，實屬嚮往已久之突破。並導致 1950 年代初期出現之超音速軍用飛機及隨後商用航空公司之高效率豪華客機及運貨飛機。

噴射引擎問世後軍用及民航飛機之進步一日千里，若干人士認爲在 SST 及巨無霸噴射客機服役後，飛機績效將被拉平而不再有高潮。殊不知在次一 25 年間爲吾人估計複合材料之潛勢并予充分利用，則航空及太空飛行方面更燦爛之進展，將使前此 25 年間之成就大爲減色也。

複合材料，以其較高強度，較低重量，及在若干情形對熱和腐蝕之較大抵抗力，無疑掌握引進一新航空時代——超音速飛行，半地球飛行，及遠較目前爲低廉之客貨空運時代——之承諾。

空氣動力學者宣稱已能創製此等超績效飛機之結構設計。而 Scramjet 引擎已在航空研究所中證實可以應用。

因此，飛行方面之更進一步發展之步調因數，厥爲複合塑膠材料，尤其是新型優異複合物成長之速率及技藝介入組件設計與大量生產之輕而易舉，將取代一部份金屬之用途。

複合物之進步亦爲太空航行步調因數之一。其他步調因數爲燃料，推進系統、電子零件之微縮化，及電腦技術。

不過，進步之代價總是含有一克服慣性之因數，本人懇切希望并相信本書藉提供工程師們以有關此等新材料之湛深知識及廣泛資料報導，當有助於克服通常阻撓進步之慣性也。

編者序

本書之出版，約在補強塑膠工業誕生之 25 週年。在其短短的生命中，已有顯著之進步，而是項原為軍事用途而發之材料，現竟成為吾人日常生活中之必需品。

本書之主要目的，係為答復若干問題——當工程師及技術人員發現複合物之更多用途，及感覺此等材料，不似一般金屬，在若干事例中，因發展過於迅速，缺乏充分可靠資料以決定補強塑膠究竟如何好或如何壞時，所產生的數種問題。若干資料，可得自製造廠文獻，其他數據能由技術聚會之報告或在雜誌論文中蒐集。在本書中，吾人企圖旁徵博引以資回答上述問題。

本書大部分係嶄新原始資料，且由各該領域之專家所撰述，其內容及見解，文責自負。各項材料，由淺入深，先述實用最後至複雜設計公式。為使讀者能窺全貌，在需要進一步細節之處，係於章末列出文獻來源，以供參考。

為較佳編組之目的，本書分成原料、製造、設計、及應用等四篇，共 29 章。連同附錄及術語以及第一章末之大事紀，有美皆備，無善不收，錫名大全，誰曰不宜。

George Lubin, 1969 年 8 月。

目 錄

序 言

編者序

譯者序

第一章 補強塑膠之沿革 1	第二章 聚酯樹脂 27
第一節 引言..... 1	第一節 概 述..... 27
第二節 補強塑膠之演進..... 4	第二節 術 語..... 28
第三節 貝克南之貢獻..... 5	第三節 化學變化..... 29
第四節 轉進模造法..... 6	第四節 性 能..... 32
第五節 Formica 公司之 進展..... 6	第五節 克利蒂樹脂..... 37
第六節 結構性補強塑膠..... 8	第六節 硬化作用..... 39
第七節 軍中研究發展工作 8	第七節 補強用織物..... 54
第八節 飛機結構..... 8	第八節 其他補強材料..... 64
第九節 商業上成長..... 9	第九節 如何選擇聚酯樹脂 66
第十節 消耗量..... 10	第三章 環氧樹脂 68
第十一節 補強熱熔塑膠..... 11	第一節 概 述..... 68
第十二節 研究與發展..... 11	第二節 製 造..... 71
第十三節 補強塑膠複合物 及所用機器大事 記..... 12	第三節 商業性樹脂..... 74
第一篇 原料	第四節 硬化方法..... 79
	第五節 改良劑..... 90
	第六節 樹脂系統..... 94

第四章 酚樹脂及呋樹脂

第七節 各種應用	95
第八節 操作及加工	103
第一節 酚樹脂	107

第二節 製造	110
--------	-----

第三節 砂樹脂	127
---------	-----

第四節 酚樹脂夾層材料	134
-------------	-----

第五章 耐高溫聚合物

第一節 概述	139
--------	-----

第二節 高溫性能之基礎	139
-------------	-----

第三節 各種考慮	140
----------	-----

第四節 耐高溫聚合物之種類	141
---------------	-----

第五節 將來之考慮	149
-----------	-----

第六章 玻璃填充之熱熔

第一節 複合物類型	152
-----------	-----

第二節 製造技術	155
----------	-----

第七章 玻璃纖維

第一節 概述	168
--------	-----

第二節 一般績效特性	168
------------	-----

第三節 應用	169
--------	-----

第四節 纖維之生產	171
-----------	-----

第五節 玻璃成分	179
----------	-----

第六節 商業用纖維之形式	184
--------------	-----

第七節 表面處理	207
----------	-----

第八節 使用FRP之原則	213
--------------	-----

第九章 高級玻璃及水晶

玻璃

第一節 定義	237
--------	-----

第二節 沿革	237
--------	-----

第三節 形態及用途	238
-----------	-----

第四節 成本及價格	241
-----------	-----

第五節 玻璃性能	243
----------	-----

第六節 複合物性能	245
-----------	-----

第十章 纖維及其他汽鍍

補強物

第一節 概述	248
--------	-----

第二節 連續性纖維之生產	248
--------------	-----

第三節 纖維之性能	250
-----------	-----

第四節 構造及形態	254
-----------	-----

第五節 殘餘應力	264
----------	-----

第六節 破裂特性	266
----------	-----

第七節 絲內硼之固有強度	273
--------------	-----

第八節 硼絲之可能性	274
------------	-----

第九節 其他蒸汽電鍍之細	276
--------------	-----

第十節	未來發展	279
第十一章	塑鋼用石墨補強物	281
第一節	概 述	281
第二節	石墨紗條	282
第三節	高強度及高係數石墨絲	284
第四節	炭素布及石墨布	288
第五節	其他構造	291
第六節	石墨纖維複合物	292
第七節	Carboform	299
第八節	Fortafil 石墨纖維	321

第十二章	鬚絲及其複合物	326
第一節	概 述	326
第二節	現行鬚絲種類及形態	329
第三節	複合物之形體學	330
第四節	應 用	341
第五節	新式纖維及鬚絲新構想	344
第六節	未來成本及產量	348

第二篇 製造

第十三章	手積法	353
第一節	概 述	353
第二節	簡式手積法	357
第三節	複式手積法	362
第四節	幕式模造法	365

第五節	噴霧積層法	367
第六節	濕式積層低壓縮模造法	385
第七節	無模積層法	386
第八節	直接積層法	388

第十四章 結構性疊層之袋式模造法 391

第一節	概 述	391
第二節	加工法一般說明	391
第三節	袋式模造之協同動作	392
第四節	材料及其性能	395
第五節	結構性能之決定	398
第六節	加工規範	399
第七節	品管程序	403
第八節	生產程序	405
第九節	硬化設備之一般說明	411
第十節	詳細硬化作業	413
第十一節	總結	416

第十五章 上下模具模造法 419

第一節	概 述	419
第二節	定 義	419
第三節	範 圍	420
第四節	模造法之考慮	420
第五節	模造用席料	421
第六節	連續性纖維席	422
第七節	上下模之拔角	423
第八節	碎纖維預形物	423
第九節	指向纖維預形法	427
第十節	水漿法	427

第四節	設計基準	635
第五節	最佳材料之選擇	646
第六節	纏絲技術	649
第七節	加工法	652
第八節	試驗法	657
第九節	槽芯塑鋼	657
第十節	立體紡織法	661

第二十一章 熔散作用.....669

第一節	定 義	669
第二節	分 析	670
第三節	沿 革	671
第四節	應 用	673
第五節	材料特性	674
第六節	環境影響	676
第七節	焦化及石墨化塑膠	677
第八節	改良酚樹脂熔散物	679

第二十二章 接合及機器 施工.....681

第一節	概 述	681
第二節	複合物之機械緊定 法	681
第三節	複合物之粘着劑結 合法	695
第四節	複合物之機器施工 法	713

第三篇 設計

第二十三章 複合物材料 之設計.....723

第一節	概 述	723
第二節	分析方法	723
第三節	顯微力學	724
第四節	可見力學	741

第二十四章 硼環氧飛機 結構.....752

第一節	概 述	752
第二節	機械性能之比較	754
第三節	Narmco 5505 硼 環氧複合物	757
第四節	多向疊層	765
第五節	結構分析及設計	774

第二十五章 補強塑膠試 驗法.....782

第一節	概 述	782
第二節	補強塑膠試驗文 獻	785
第三節	一般作業	791
第四節	原料試驗法	793
第五節	非破壞性試驗	811

第二十六章 複合物試驗 法.....825

第一節	AC-I 法	825
第二節	AC-IA 法	828
第三節	AC-II 法	829
第四節	AC-IIA 法	833
第五節	AC-III 法	834
第六節	AC-IV 法	837
第七節	X-1 法	842
第八節	X-2 法	849
第九節	X-3 法	851
第十節	X-4 法	855

第四篇 應用

第二十七章 海上應用.....863

- 第一節 概 述.....863
- 第二節 海上結構性疊層...863
- 第三節 對海上環境之反應
.....867
- 第四節 海上結構之設計...871
- 第五節 應 用.....879
- 第六節 當前及未來發展...890
- 第七節 結 論.....902

第二十八章 車輛用補強 塑膠.....905

- 第一節 概 述.....905
- 第二節 生產與材料成本...906
- 第三節 FRP 有關車輛之
性能.....907
- 第四節 所用之補強塑膠...908
- 第五節 樹脂及補強物.....911
- 第六節 營業平衡點.....911
- 第七節 自動化設備.....913
- 第八節 汽車光製.....915
- 第九節 有關實例.....916
- 第十節 結 論.....919

第二十九章 飛機及太空研 究用塑膠.....920

- 第一節 概 述.....920
- 第二節 飛 機.....920
- 第三節 太空研究.....935

專門術語.....951

附 錄.....1003

- 一、英國玻璃纖維織物... 1003
- 二、西德玻璃纖維織物... 1023
- 三、澳洲玻璃纖維織物... 1027
- 四、美國主要後飾劑..... 1027
- 五、美國玻璃複合物..... 1035
- 六、美國玻璃纖維織物... 1037
- 七、補強塑膠管接頭用粘
着劑..... 1044
- 八、補強塑膠作業用手套
..... 1045
- 九、英國補強塑膠用機具
及價格..... 1048
- 十、補 膠..... 1063
- 十一、脲醛模壓粉之製造法
..... 1064
- 十二、本書各章原名與著述
人及其工作地點..... 1067

索 引..... 1071

第一章 補強塑膠之沿革

第一節 引言

目前補強塑膠之研究發展計劃，如圖 1.1 所示，正導向具有極大結構強度及係數對重量之比的材料。於此一迅速充實之多相材料之科學技術中，存在有產生重要性進步之可能性，與諸如鍛造鋼、鋁及鈦等板金之他種材料的改良相當有限，適得其反。此種現代高積效材料，至少與任何其他材料效率相同。此等補強塑膠之材料及製造技術之快速不斷研究發展，能使其可供商業用途，並與他種材料競爭。其對材料科技方面之貢獻，有如電子理論對電氣工程之錦上添花也。（參閱本章末之參考文獻）

四十年代以來，當時工程複合物，即補強塑膠，已基於近代知識展開最重要之一頁，玻璃纖維仍保持其使用最廣的成分之地位。即使諸如炭素、硼、及藍寶石鬚等新型補強塑膠之未來，進步無限，然按消耗量及利潤而言，玻璃纖維補強熱固塑膠及玻璃纖維補強熱熔塑膠之風靡時代，對工業界之不可或缺及重要性，仍未過去也。如圖 1.2 所示，玻璃纖維補強塑膠（FRP）之成長，大有可觀。

根據西洋史，三千年前腓內基人及早期威尼斯人對熔融玻璃之纖維手工藝，已屬司空見慣。甚至達文奇（Leonardo da Vinci）大師曾構想並應用補強物於材料中，將此等纖維模塑於結構內，直至本世紀似始為人所掌握也。

歷史學者對美國塑膠工業之發軔，歸功於海特（John Werley Hyatt）1868 年製成塞璐珞。不過，若干年後，纖維素塑膠以外之熱熔樹脂始可供商業用途。1909 年左右，酚樹脂開熱固塑膠之先河。彼時，補強塑膠亦初次出現。然結構性補強塑膠工業之以幾何級數起飛，實自 1940 年玻璃纖維之使用開始。

近三十年來，玻璃纖維補強塑膠之使用，日益擴大，產量隨之增長。1970 年初，英國 Fibreglass Limited 之總經理 Geoffrey Andrew 在倫敦招待

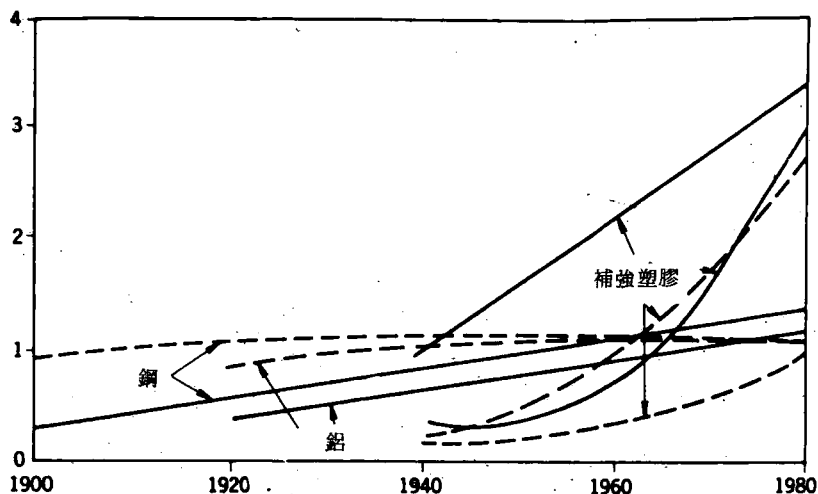


圖 1.1. 美國補強塑膠及傳統材料結構性能之成長與預測。縱標表示
抗張強度 (Psi) / 密度 (lb/cuin) × 10⁶ 及彈性係數 (Psi)
/ 密度 (lb/cuin) × 10

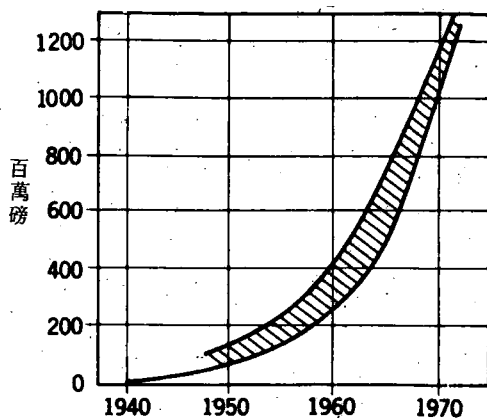


圖 1.2. 美國玻璃纖維補強聚酯樹脂之過去及未來消耗量

表 1-1 英國玻璃纖維補強塑膠之市場預測

	1969 實際值	1980 預期值	1980 可能值
船艇	11,000 噸	35,000 噸	58,000 噸
車輛及飛機	13,000	42,000	76,000
建築及消費者貨品	12,000	29,000	43,000
化學工廠及抵抗腐蝕	4,000	19,000	38,000
電氣及電子工業	4,000	12,000	20,000
補強熱熔塑膠	3,000	15,000	35,000
總計	47,000	152,000	270,000

記者，檢討補強塑膠市場，提供英國在未來十年間補強塑膠工業可能發展之情形。表 1-1 即係該項市場預測之統計。

圖 1-3 顯示英國玻璃纖維補強塑膠使用量之成長，以 1970 年為例，總

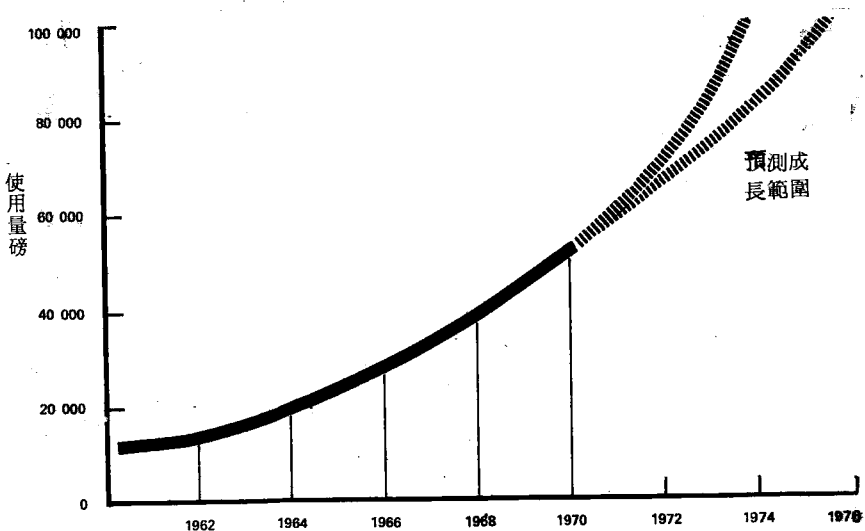


圖 1.3. 英國玻璃纖維補強塑膠使用量之成長

表 1.2 歐洲玻璃纖維補強塑膠消耗量

	總消耗量 (噸)	每人消耗量 (尅)
挪威	10,500	2.80
瑞典	17,700	2.26
丹麥	8,000	1.57
西德	85,100	1.48
瑞士	7,500	1.26
法國	60,900	1.23
英國	53,500	0.98
荷蘭	10,400	0.83
比利時	7,800	0.82
義大利	37,000	0.71
奧地利	3,000	0.41
美國 (比較)	444,000	2.26

銷售量達 53,500 噸。不僅此也，歐洲西方國家晚近數年之玻璃纖維補強塑膠使用量，亦大有可觀，如表 1.4 所示。

1961 至 1970 十年間，西德補強塑膠之成長率為 23%；英國，17%；法國 16%；美國較緩慢，僅為 14%，可能因其使用補強塑膠較久，在六十年代初期，已有較大成就。

第二節 補強塑膠之演進

補強塑膠係一藉二種或多種材料之合成組合所創製之系統：即一種選定之填料或補強物及一種相容之樹脂結合劑，以獲致特定之特徵或性能者。其成分頗不一致，且以大尺度之形式製成。各該組成物雖協同作用，然非互相溶解或完全合併。通常，組成物可沿其間界面分別看出。此種界面之式樣及性能，一般決定補強塑膠之特徵與績效。

補強塑膠可按若干不同方式分類。公認類型，有纖維性（由底質內纖維組成），疊層性（由數層材料組成），及顆粒性（由底質內粒子組成）等三種。在顆粒性類型中，又分鱗片狀及骨架狀。

當工業界需要一包羅萬象以描述由若干不同補強物及底質合併所得最後