

科學圖書大庫

玻璃纖維強化水泥之應用

譯者 張志純

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

玻璃纖維強化水泥之應用

譯者 張志純

江苏工业学院图书馆
藏 书 章

徐氏基金會出版

自序

志純於民國六十九年在台灣首度編譯「玻璃纖維補強塑膠之應用」一書，實開我國FRP工業之先河。當時國內僅有玻璃纖維遊艇廠、漁船廠及其他FRP模造廠數家，產品有限，使用人亦不多。十餘年間，發展非常迅速，目前已有玻璃纖維製造廠五家，玻璃纖維製造廠一家船艇廠一百家，其他FRP模造廠三百家。FRP成為國人之口頭禪，并有中華民國FRP技術協進會之設立，造福民生，擴大外銷，不一而足。

惟FRP在建築界進展不大，或因國人習於水泥混凝土之應用及愛好，總覺得玻璃纖維房屋及組件是怪怪的，沒有鋼筋混凝土的穩重沉着及防火特性，故敬鬼神而遠之，使FRP在土木工程及構築上英雄無用武之地，良可嘆也！

編者於一個偶然的機會接觸到GRC (Glass Reinforced Cement) (玻璃纖維強化水泥) 的資訊，認為青出於藍而勝於藍，比它的表哥FRP在某些方面高明得多。而且原料祇是普通水泥、細沙、清水和約百分之五的耐鹼玻璃纖維 (Cem-Fil A.R. Glass Fibre)，真是取之不盡，用之不竭。實可在建築方面補FRP及表妹FRTP之不足，博得使用人的喜愛，部份代替傳統混凝土的應用，而將我國土木工程升級至一嶄新的境界。特蒐集最新資料，編譯此書，作為拋磚引玉之舉。是為序。

張志純 七十二年十二月廿日

柯克先生序

玻璃纖維強化水泥（GRC），一種複合材料，在水泥、砂或其他填充料的基質中摻入各種形式的耐碱玻璃纖維製成。這種複合材料綜合了玻璃纖維的高抗張強度和水泥基料的高抗壓強度。

玻璃纖維強化水泥並不是一種單一材料。它包括許多種類不同的混合材料，其特性取決於各種可變因素，而且可按照各種不同的用途加以設計的方法是改變玻璃纖維的比例，纖維的長度，水泥的類型，外摻料的種類，有機與無機添加料和輸氣劑等。

玻璃含量可以在重量的3%至10%的範圍內進行變更。在此範圍內，比例極限，極限抗張強度與曲折係數等，隨着纖維含量的增加而提高。如果玻璃含量按重量計算超過15%，就很難以現有工序增加玻璃含量，基料收縮和纖維分佈不均的問題將會抵消增加纖維含量所帶來的任何優點。

GRC的物理特性（密度，熱膨脹和導熱性及電氣性能等）基本上是由基料的性質所決定的。建築工業所用的水泥多數是卜特蘭水泥或其他水凝性膠結材，同時摻入30%（重量）的砂以控制收縮并且加入不少於5%（重量）的Cem-Fil耐碱玻璃纖維。所產生的複合材料的密度範圍為1.8噸每立方公尺至2.2噸每立方公尺。

一、基本特性

如果用粉煤灰，珍珠岩或碎石等輕質外摻料按各種不同比例取代砂，可以使密度降低為0.8噸每立方公尺。

在這種情形下，似乎不可能一般地概括玻璃強化水泥的特性。目前幸已出產一種相當標準的材料，充份發揮玻璃纖維的特性，經濟效益和實際生產效果比較好，適合多種用途，可以在工業上廣泛使用。這是一種厚度約為10 mm的片材，在同一平面上具有基本均勻特性。它是用噴灑方法製成，在片材表面不規則地分佈着38 mm長的短玻璃纖維，佔片材體積的4%（佔濕材重量的5%）。

①抗張

具有這種玻璃纖維含量的材料的抗張負荷特性在彈性係數曲線上的直線部份和基料的特性幾乎相同，接着在曲線上出現急劇的轉折點，之後是開展很多裂縫區域及開裂區，導致在應變約為 1 % 的地方是最終破斷。因此，玻璃強化水泥在此階段混凝土和石棉水泥相比，具有非常高的韌性，而且能夠減輕局部應力集中的問題。

②抗彎

在抗彎試驗中，由於張力屈服狀況的關係，應力在試樣平面上重新分佈而且中和軸朝向受壓面移動。根據純撓矩理論計算出來的曲折係數約為抗張強度的兩倍半，而且在顯著偏離直線處（比例極限）的應力也比抗張試驗中的轉折點的應力高得多。

二、耐久性

根據現有的累積達十年的耐久性數據看來，玻璃強化水泥在乾燥儲存條件下的特性和初始工作特性差異極微；然而在潮濕的環境中水泥所含的玻璃纖維受到潮濕的鹼性環境的影響，雖然玻璃具有高度耐鹼性，仍免不了受到某種程度的侵蝕。同時，水泥基材繼續水化，強度稍微增加，但變得很脆。由於這些容易理解並且可以預測的變化，在設計上總是使用「老化材料」性能，將設計和工作的應力水平訂在初始的比例極限轉折點數值之下，「年青材料」性能對於構件的製造、搬動、運輸及裝配却具有重要的早期使用價值。

至於玻璃纖維強化水泥混合材料的設計標準，因篇幅所限，無法詳述。

畢金頓公司根據其政策，多年來連續不斷地進行材料檢測和改良工作，在全世界各地建立了一系列的風化試驗場地，收集各種成分材料在大氣中暴露多年後所得的資料作為設計數據。此外，還進行特殊條件下的實驗室試驗，其中包括凍融循環、濕度循環和熱水浸泡試驗以及上述蠕變、破裂應力及疲勞試驗等等。該公司同時繼續進行材料研究工作，為將來創造更好的 Cem-Fil 強化複合材料，目前已經獲得成果。例如，最近推出的第二代玻璃強化水泥（Cem-Fil 2）具有更大的耐鹼性。

三、生產方法

玻璃纖維強化水泥基本上是在薄的型材上採用，因此噴灑沉積法是恰當的實際可行的方法。目前 G R C 製造廠百分之九十採用手動式或自動化噴灑沉積法。

①噴灑方法

最簡單的噴灑方法就是手持雙噴頭的噴槍把水泥、沙漿和切碎的 Cem-Fil 玻璃纖維同時噴灑到適當的模板中。

水泥漿由經過特別設計的計量泵送入噴槍，被壓縮空氣霧化。玻璃纖維紗束（平行纖維線）在餵入切碎進料機時，被切成規定長度，然後注入噴灑水泥漿之中，在模板形成一層均勻的玻璃纖維水泥混合物。操作者把噴頭對準模板來回噴灑，使噴出的物質平均地沉積在模板表面之上，直至達到所需的玻璃強化水泥厚度，而且用手動壓輥壓實表層，使材料緊貼模型面并且擠出其中所藏空氣，同時使用量具控制其厚度。

假定工作時間為 50%，一具手動噴槍的平均產量為每日 2.5 噸。產品通常在次日拆模，在「露室」內養護一天至二十八天，實際日數視養護溫度和水泥品種而定。

採用手動噴灑方法可以在陽模或陰模的橫向或垂直表面上製造多種形狀的構件。根據此法，也可採用輕型空心材料或空隙樣板製造空心型材或層板，或者利用充氣塑膠片、泡膠板、粗麻網或金屬網等輔助材料在工地上進行建築工程。包層板門窗組件、模板、管道及街道器具等的工業生產目前已採用這個標準方法。

以上所述基本噴灑方法很容易實施機械化。在外形甚為平坦或低輪廓的構件生產上，手動噴灑法可自動化。模板在滾筒或板條輸送機上向前移動，經過一個橫向轉動的裝置上面而雙噴頭噴槍就在這個橫向裝置上往復運動。輸送機的前移速度和噴頭的橫移速度保持平衡，而且噴嘴精確對準位置噴灑，保證整塊混合材料上的沉積與纖維分佈平均。

這種機械方法目前已在單包層板、門窗組件、模板和污水管的生產中使用。只要再增加一個橫向噴灑台，就可以照本法製造簡單的夾層板了。

更先進的機械方法就是以機械人(Robot)操縱噴嘴，這種方法還在發展階段，首先需要設計一個受磁帶控制的電腦機械人裝置，而且把構件原型生產過程中的人工操縱噴嘴動作編製成為程式記錄在磁帶上。只要重播磁帶就可以使機械人準確地重複操作者的動作。

目前出產的一種密度高的易加工的片材可以在平坦狀態下凝結，也可以在濕態下成型為波形或微形板、口型部面型材、管材等。

②預攪拌程序

一切預攪拌程序都有共同的「水泥攪拌」工作，這項工作通常使用簡單的漿汁攪拌機。摻入玻璃纖維並不難，而且可以把含量達 5%，而切成一吋

的Cem-Fil 和水泥砂漿混合而不至於成球團，但必須密切控制攪拌轉數，把纖維在水泥漿含有磨料的條件下所受的磨損減到最低程度。

③灌入開放式模板法

把已經拌合的玻璃纖維和水泥漿簡單澆灌入開放模板的方法已經證明是製造許多種類的勿需高級機械性能的構件的完善方法。典型產品包括垃圾桶，種植盆，地下電纜連接箱，花園設備小探井蓋等。

④滑模施工法

目前正在發展中的一種極有前途的施工法把振動澆鑄法原理推廣應用於具有各種形狀剖面的玻璃強化水泥構件的連續生產上。預先攪拌的玻璃纖維強化水泥被送進一個料斗，料斗中有一個橫向振動器，斗底有一個橫向槽，密切地楔合一個模板。模板在料斗下橫向移動而玻璃纖維強化水泥可以從料斗上連續不斷地流下來。用模板的成型剖面可能是一塊簡單的平板，也可能是複雜的構件，如反向槽型板、窗或門框構件、雨水管等。此法有可能特別適合製造線型產品，即以GRC取代木材、鋼或鋁的型材。

⑤加壓澆鑄法

用加壓方法排除預先拌合的玻璃強化水泥中的多餘水份可以改良材料的機械特性（如在噴灑後抽乾水份）並且可以立刻拆模。因此，加壓澆鑄法對於大量生產集管箱、探井蓋等小型構件是一種良好的方法。一般所用壓力並不大。

四、所具有的優點

①長期保持可靠的抗張、抗彎強度，因此可用以設計多種建築與工程構件。

②這種產品在其初期所表現的「虛假撓性」使構件具有韌性，足以承受製造、儲藏、運輸、安裝與其他操作。

③不燃燒，耐火。

④防腐，抗蟲，抗蝕。

⑤施工法種類繁多，足以製造多種尺寸與形狀的構件。

五、結 論

玻璃纖維強化水泥產品補充了傳統的各種材料，它在建築工業的地位已經確立，在農業和其他工業也有廣泛的用途。這些工業充分利用了各種玻璃強化水泥的特性。

這種產品無疑將繼續在新的地區開拓市場，台灣就是即待開發 G R C 的處女地。

玻璃強化水泥可減少國內鋼筋的使用，鋼鐵是國防戰略物資，而且它們的製造消耗不少能源，玻璃纖維生產所需能源不多，廣用玻璃纖維，也就是節約能源最好手段之一。FRP 已在中華民國紮根結果，我希望 G R C 也會在台灣地區生根開花！

A handwritten signature in black ink, appearing to read "R. M. Cox". The signature is stylized with a large, sweeping "R" and a cursive "Cox".

Major Licensee Liaison Manager
Gem-Fil Div, Fibreglass Limited

目 錄

自 序	I
柯克先生序	II
第一篇 GRC設計	1
前 言	3
第一章 性 能	4
一、目 的	4
二、概 述	4
三、機械性能	11
四、物理性能	13
第二章 個案研究	20
一、UOP 辦公大樓及工廠	20
二、Melrose 中心	24
三、Scicon 電腦中心	28
四、Stuttgart 花卉館	30
五、杜魯門辦公大樓	33
六、Nishi-Nihon Yoko 大樓	35
七、荷蘭冷藏系統	36
八、一號大廈	38
第三章 設 計	40
一、設計理論	40
二、組成份	42
三、生 產	48
四、噴製法	49
五、預混法	60
六、硬 化	63
七、品質控制	64
八、表面光製	64

九、貯 存	69
十、固定點	69
十一、安 裝	72
十二、接 頭	73
十三、成 本	76
第四章 規 格	77
一、玻璃強化水泥協會	77
二、標 準	77
三、規 格	79
四、未來展望	83
第二篇 GRC分論	95
前 言	97
第五章 技術資料	98
第六章 土木工程	106
第七章 房屋再修飾	116
第八章 導管及溝渠	130
第九章 G R C應用實例	141
第十章 G R C機具	148
第三篇 回饋資料	179
前 言	181
第十一章 玻璃纖維製造設備	182
第十二章 防彈用織物及積層	184
第十三章 傳導性玻璃補強布	192
第十四章 漿劑對玻璃纖維及複合物特性之影響	196
第十五章 建築材料	220
第十六章 碳纖維之製造	338
第十七章 高抗張與高抗壓強度的結合	347
第十八章 強化塑膠材料的能含量	350
附錄一 英國畢金頓公司改編者函及特許證樣本	353
附錄二 G R C機器及零件資料	362
附錄三 日東紡績株式會社玻璃纖維技術知識	401

附錄四	G R C之技術資料·····	420
附錄五	換算因素·····	433
附錄六	編者譯著科技書籍一覽表·····	441

第一篇 GRC設計

前 言

玻璃強化水泥（GRC，Glass Reinforced Cement）正向一極具意義的建築材料的大道邁進。在若干方面它酷似鋼筋混凝土，但有多項勝過混凝土的優點，例如：高強度重量比，易於成形，便利切成各種形體及與其他材料合併成為較高強度的隔熱半結構性建材。本書原文曾登載於英國建築師雜誌，提供若干對其性能、設計、規格的實用指引、及個案研究，使建築師和其他建築界人士了解GRC新材料組件的特性和節約能源及鋼筋的使用。

第一章 性 能

一、目 的

玻璃強化水泥爲近年營造科技字典中最重要的新術語。原料的廣幅現成及比較價廉以及完工組件製造程序的相當簡單，引發水泥／玻璃纖維複合物分佈日廣的應用，往往代替了傳統建材的若干用途。英國畢金頓兄弟公司，經多年巨大投資，竭力發展及試驗，并明智的遴選世界各處代理商，已在建築績效的需求日增及若干其他新材料發生災禍式的失敗之際奠定一可靠性的健全基礎。比喻言之，G R C已成功的度過其爬行階段，有信心的經歷其漫步階段，并將於未來5年內在當代營造科技的主流中一瀉千里直抵黃龍。

本書目的爲使建築師能完全利用此種新材料的技術能量及在營造科技的領域中厘定一新的文字，因爲G R C有權在建材中鶴立雞群，獨樹一幟。

二、概 述

1. GRC是什麼？

GRC 能予比喻爲脆性材料——水泥、砂、玻璃——間的理想結合以產生一種強韌的複合物。主要構成物爲平常的卜特蘭水泥（Portland cement）、矽砂（Silica sand）和水（Water）的底質（Matrix）與耐鹼玻璃纖維（Alkaliresistant glass fiber）混合，製成無機GRC複合物。濕時它有一髮狀水泥的形狀（圖1）。因GRC是一種新的科技要切實記住將玻璃纖維加入砂和水泥中，絕莫將砂和水泥加到玻璃纖維內。玻璃纖維僅構成該材料約5%重量。

FRP（玻璃纖維強化塑膠）在台灣真是家喻戶曉。它與GRC不同之點爲底質用塑膠（Plastics）而非水泥和砂；其硬化不用水而用觸媒及促進劑。在美國常稱爲GRP，另與GRC相混，雖然GRP就是FRP，特建議我們仍然用FRP於塑膠，而以GRC表示玻璃強化水泥，F指Fibre-

glass 或 Fiberglass，但請避免用 F R C，因為國外有 Fibreglass Reinforced Plastics 這個名詞而無 Fibreglas Reinforced Cement 的稱謂，祇有 Glass Reinforced Cement (G R C) 這個術語。

2. 特 性

水泥的主要德行，為其成本低，適應性及壓縮强度高。其主要缺點為低抗張強度及脆性。因此引入補強材料以承受抗張力。以玻璃纖維補強水泥的抗優點為製造遠比用鋼筋補強水泥可能者較薄（典型上 10 公厘）及較輕的組件的能力——鋼筋混凝土必須 25 公厘或以上厚度的鋼面水泥覆蓋作為防腐蝕的保護層。少量的 G R C 可敷得很寬。



圖 1 水泥 / 玻璃纖維複合物，放大 50 倍。

玻璃強化水泥在甚多方面與普通鋼筋混凝土相似，例如：

- 耐氣候。

- 不燃燒。
- 低熱流動。
- 易維護。
- 耐蟲菌。

不過，它有若干勝過混凝土的優點：

- 高強度重量比，因此能使用較薄截面。
- 早期高衝擊抗力。
- 易於成形至各種形體（如像FRP）。
- 易於與其他材料形成隔熱半結構性高強度組件。
- 能用簡單工具造型及割切。
- 有廣幅光製表面可供用。

主要缺點為尚未准許用於全結構性用途。它能用於半結構性場合，例如，帷幕牆，可與較輕金屬及塑膠者競爭。它的優點包括可達成平板的大小、夾心板的U值及防火。製造中無健康方面的危險，然操作纖維時規定有相當條件。

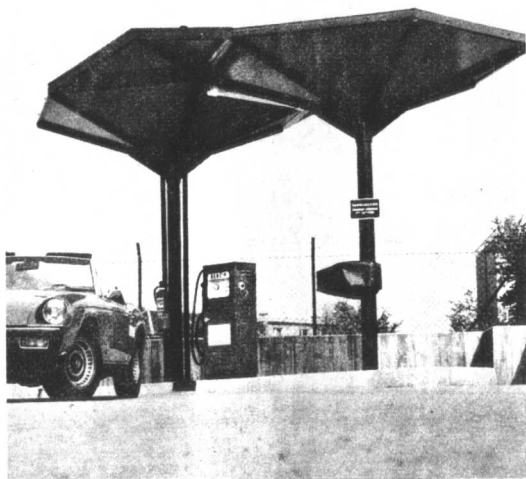


圖 2 西德加油站的GRC凉亭。

3. 製 造

從原料製成完工的GRC組件有兩個基本加工法：噴佈及預混。