

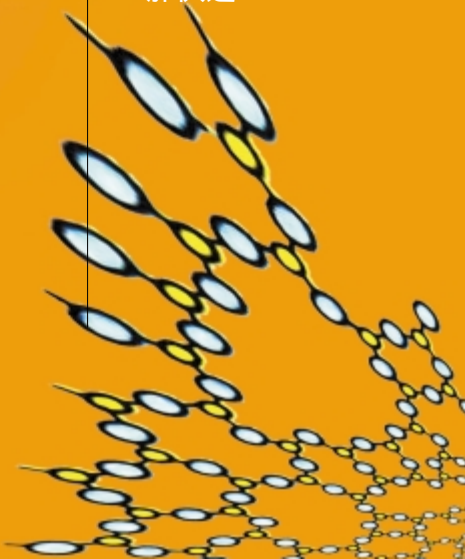
玻璃家族中的強者

玻璃纖維佳 與玻璃塑金剛

砂石、石灰石、蘇打，
這些材料不由得讓人聯想到
水泥製造業，這次可大錯特錯了。

本文要介紹的，
是利用上述材料所製造的玻璃纖維，
它不但質輕，且強韌、耐酸鹼
……已經是我們生活中少不了的東西了。

■ 郝俠遂



如果有一天你到一家紡織廠去洽公，發現這家紡織廠的原料倉庫裡堆積的並不是棉花與羊毛，也不是苧麻與蠶絲，更不是尼龍與縲縈這些化學合成纖維，而是砂石、石灰石、蘇打等東西，你大概會懷疑走錯了地方。但是到生產現場一瞧，生產線上正在製造出一匹匹柔軟光亮的布，質地看起來像綢緞，但是這些布居然燒不起來，也不怕酸鹼的侵蝕，更不慮蟲咬。別懷疑，你沒走錯地方，這裏的確是一家紡織廠，只不過它不是傳統的紡織廠，而是大家比較陌生的「玻璃纖維紡織廠」。

用砂石製絲

這家紡織廠倉庫中堆積的砂石（主要成分是二氧化矽， SiO_2 ）、石灰石（主要成分是碳酸鈣， CaCO_3 ）、蘇打（主要成分是碳酸鈉， Na_2CO_3 ），正是製造玻璃的主要原料。把這些原料分別碾碎成粉末，並按一定比例混合後送入窯中加熱，溫度要加到足以熔化鋼鐵的攝氏1,500度，在此高溫下原料變成了透明有流動性的融漿。玻璃融漿可以拉伸成平板玻璃，也可以吹製成瓶罐容器，這些加工技術早已極為成熟，但是要把玻璃融漿製成極細極細的纖維，可就不那麼簡單了。

玻璃纖維到底有多細呢？如果把50公克的玻璃融漿拉成玻璃絲，會有一百公里長，可以將它從基隆拉到新竹，把上百根的玻璃纖維集在一起也沒有一根頭髮那麼粗。製造玻璃纖維的原料與一般玻璃並不完全一樣，除了相同的基本原料外，還要加入一些含有鋁、硼成分的化合物，以增強它的韌性與延展性。

這麼細的纖維製造方法大致如下：先根據性能要求

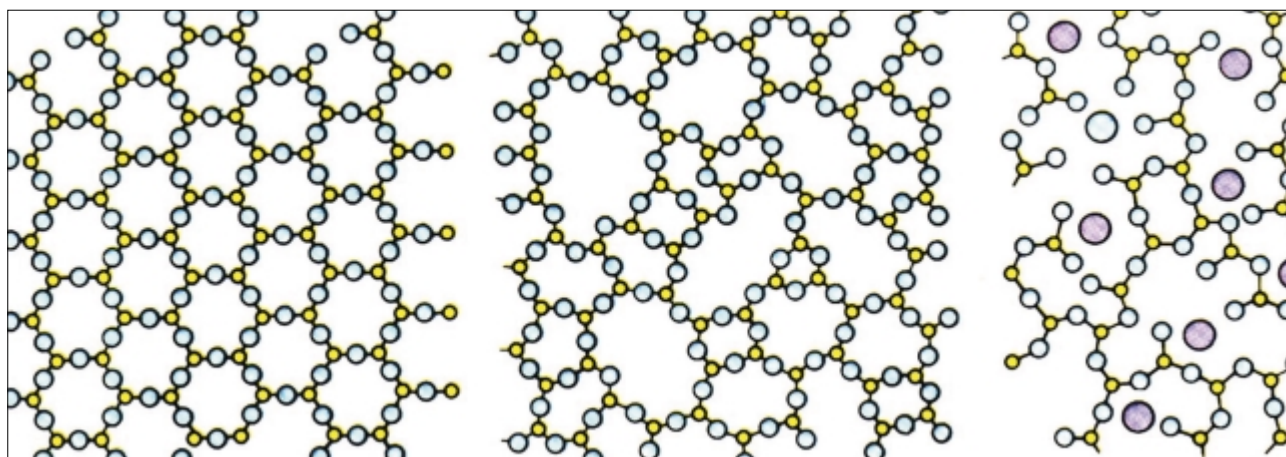
的配方，將原料製成直徑約二厘米的玻璃小球，送入白金坩堝中再度熔為融漿。坩堝底上有上千個比針眼還要細小的孔，玻璃液順著孔流下就變成比蜘蛛絲還要細得多的玻璃絲，直徑在數微米至20微米之間（微米即百萬分之一米，符號是 μm ）。然後將絲束上油，並集束再送到高速旋轉的拉絲機捲繞筒上，拉伸而成為玻璃絲。

另外還有一種方法稱為直接法，不需要先製成玻璃球，可以直接把各種原料按組成比例同時投入窯中熔融，熔態玻璃經澄清後通過窯中的數十塊白金拉絲板的小孔流出，再按前述處理程序獲得玻璃絲。

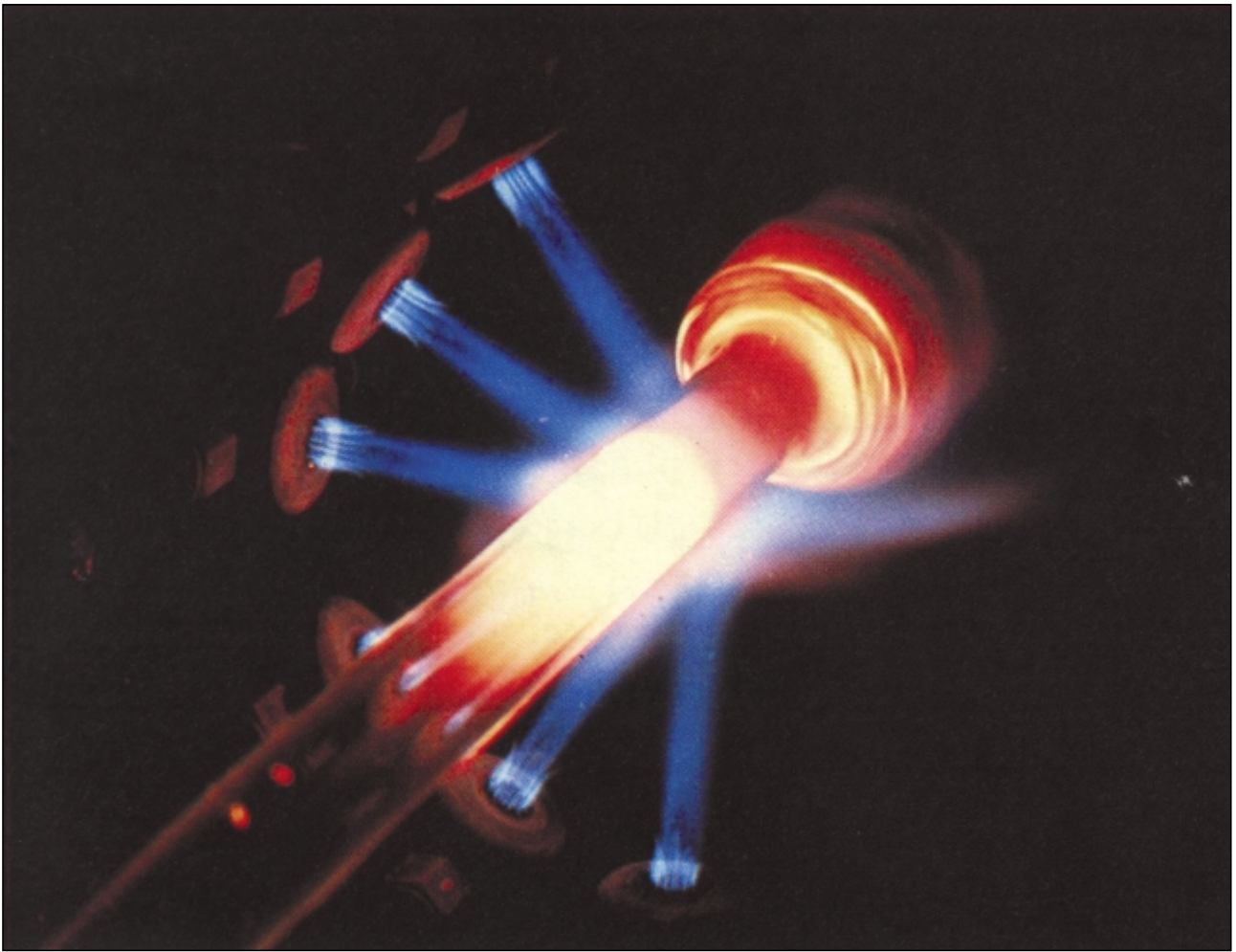
通過白金拉絲板以機械拉絲方法拉製成很長的纖維，稱為連續玻璃纖維，俗稱長纖維。通過滾筒或氣流製成的非連續纖維，稱為定長玻璃纖維，俗稱短纖維。此外，如採用高壓蒸汽或壓縮空氣，噴吹剛從噴絲板小孔流出的玻璃流，將其吹拉成12~38厘米長度的絮狀、潔白無瑕、柔軟蓬鬆短纖維，稱為玻璃棉。玻璃纖維紡絲廠的廠房內明亮寧靜，沒有一般紡織廠紗錠旋轉的喧鬧與髒亂，玻璃絲與玻璃棉被送到織布廠加工，那裡跟普通的紡織廠差不多，只不過織出來的是玻璃布。

一種全新的材料

玻璃纖維的主要成分是二氧化矽、氧化鋁、氧化鈣、氧化硼、氧化鎂、氧化鈉等，根據玻璃中鹼含量的多少，可分為無鹼玻璃纖維（氧化鈉0~2%）、中鹼玻璃纖維（氧化鈉8~12%）和高鹼玻璃纖維（氧化鈉13%以上）。玻璃纖維的截面呈圓形，直徑在數微米至20微米之間，密度大約是2.4~2.7公克/立方厘米。玻璃纖



玻璃的分子結構圖。



在爐中加熱的玻璃柱。

維極為強韌，抗拉強度大約是同樣粗細鋼絲的五倍，它所能承受的負載可達每平方厘米 70 公噸，一根手指頭粗細的玻璃纖維編織的繩子，可以把一輛 10 輪大卡車吊起來。

玻璃纖維能耐酸鹼的腐蝕，由它所織成的玻璃布在化工廠裡特別受歡迎。用玻璃布做的吸塵袋比棉布做的耐用二十多倍。以往在化學工廠中過濾腐蝕液的過濾布大半是用毛料做的，現今都已改用玻璃布了。

玻璃纖維屬於無機纖維，在化學性質上遠比有機纖維具有更好的耐熱性、耐濕性、不燃性、耐化學腐蝕性、抗霉、抗蛀、隔熱、隔音、電絕緣性等特點。在工業上，玻璃纖維主要當作過濾、防腐蝕、防潮、隔熱、隔音、絕緣、減震的材料。但是玻璃纖維有一個大缺點，就是性質較脆，耐磨性較差，為了補救此一缺點，可以用有機材料被覆在玻璃纖維外面，以提高其柔韌

性，用來製成包裝布、窗紗、貼牆布、覆蓋布、防護服和絕緣、隔音材料等。

由於玻璃纖維可耐高溫，所以可拿玻璃布製成防火衣，這種防火衣看起來銀光閃閃，因為衣服表面噴鍍上一層鋁，以防熱的輻射。穿上這種防火衣，可以在幾百度的高溫下工作，隔熱效果不比石綿差，但穿起來輕巧的多。玻璃布的這項特質不止用在救火上，連太空人的衣服也有用塗了聚四氟乙烯的玻璃布製成的。玻璃棉的外觀柔軟輕盈、潔白如雪，是非常好的隔音、絕熱材料，冰箱、冷藏車、鍋爐都用得上它，甚至噴射飛機、太空梭都拿它當作隔熱材料。

玻璃纖維除有連續的長纖維和切成一定長度的短纖維供作織物用之外，為因應工業上的需要，近年來又發展出空心纖維、捲曲纖維、麻面纖維、表面塗層纖維等產品。在特殊用途上可做為有拈紗、無拈紗、膨體紗、

混紡紗、染色紗、導電紗、股線、縫紉線、纜線、輪胎網線、氈片和各種織物製品。另外玻璃纖維還可做為材料的增強劑，用來製造強化塑膠、強化橡膠、強化石膏和強化水泥等製品。

在加工的過程中，要格外注意空氣中是否有懸浮的短玻璃纖維，以免吸入人體，造成傷害。

高竿的鳥人

你可能想像不到，在玻璃纖維的幫忙下，撐竿跳的世界紀錄居然提高近30%。撐竿跳起始於一八六六年，運動選手使用的撐竿是木製的，當時的世界紀錄是 3.05 米。後來改用富有彈性且重量輕得多的竹竿，世界紀錄一下子就提高到 4.77 米，這是一九四二年的事。後來選手們又改用鋁合金桿代替竹竿，雖然鋁合金竿質輕而且牢固，可惜彈性不足，對撐竿跳的紀錄提升幫助不大，從一九四二年到一九五七年的 15 年間，撐竿跳高的世界紀錄僅僅提高一厘米而已。

運動員們都渴望能有一種又細、又圓、又有彈性、

又勻稱、又結實，長度還得在五米以上的撐竿，要到哪兒去找呢？還好，就在大家為此一籌莫展的時候，化學家解決了這個難題。一九六〇年代開始，有一種用新開發的材料製造的撐竿問世了，運動員靠著這種新竿子不斷地刷新世界紀錄。

在一九九四年的歐洲田賽場上，烏克蘭選手布波卡（Sergey Bubka）雙手緊握長長的撐竿，注視著前方不遠高高架起的橫桿，急速向前奔去，將撐竿準確地插入固定洞，猛然用力，身體騰空飛起。那長長的撐竿，被體重壓得彎曲下來，猶如一張拉彎的弓，剎那間，這根撐竿憑藉著優異的彈性，迅速地伸直，將布波卡穩穩地送過了 6.14 米高的橫桿，締造了新紀錄，這是目前撐竿跳的世界紀錄。製造這根竿子的材料是以玻璃纖維為原料的「玻璃纖維強化塑膠」（glass fiber reinforced plastics，GFRP），俗稱「玻璃塑鋼」。

多用途的玻璃塑鋼

我們都知道水泥塊非常耐壓，鋼材十分耐拉，如果



蓬鬆、柔軟、纖細、強韌的玻璃纖維。

用鋼材當作筋骨，水泥砂石做為肌肉，讓它們凝結成一體，互相截長補短，就會變得非常的堅實，這就是最熟悉的建築材料鋼筋混凝土。運用同樣的原理，如果用玻璃纖維做為筋骨，用合成樹脂（如酚醛樹脂、環氧樹脂、聚酯樹脂等）做為肌肉，讓它們結合成一體，製成的材料，它的抗拉強度可與鋼材相媲美。

玻璃塑鋼是一項品種繁多、性能各異、用途廣泛的複合材料總稱，它是由合成樹脂和玻璃纖維，經複合工藝製作而成的一種功能性的新型材料。玻璃塑鋼除了具有重量輕、強韌度高、耐腐蝕、電絕緣性能好、導熱慢、熱絕緣性好、容易著色，以及能透過電磁波等特性外，與常用的金屬材料相比，它還具有以下特點：

一、玻璃塑鋼可以根據不同的使用環境及特殊的性能要求而設計製作，只要選擇適宜的原料，基本上可以滿足各種不同用途對產品的性能要求。因此，玻璃塑鋼是一種可設計性高的材料。

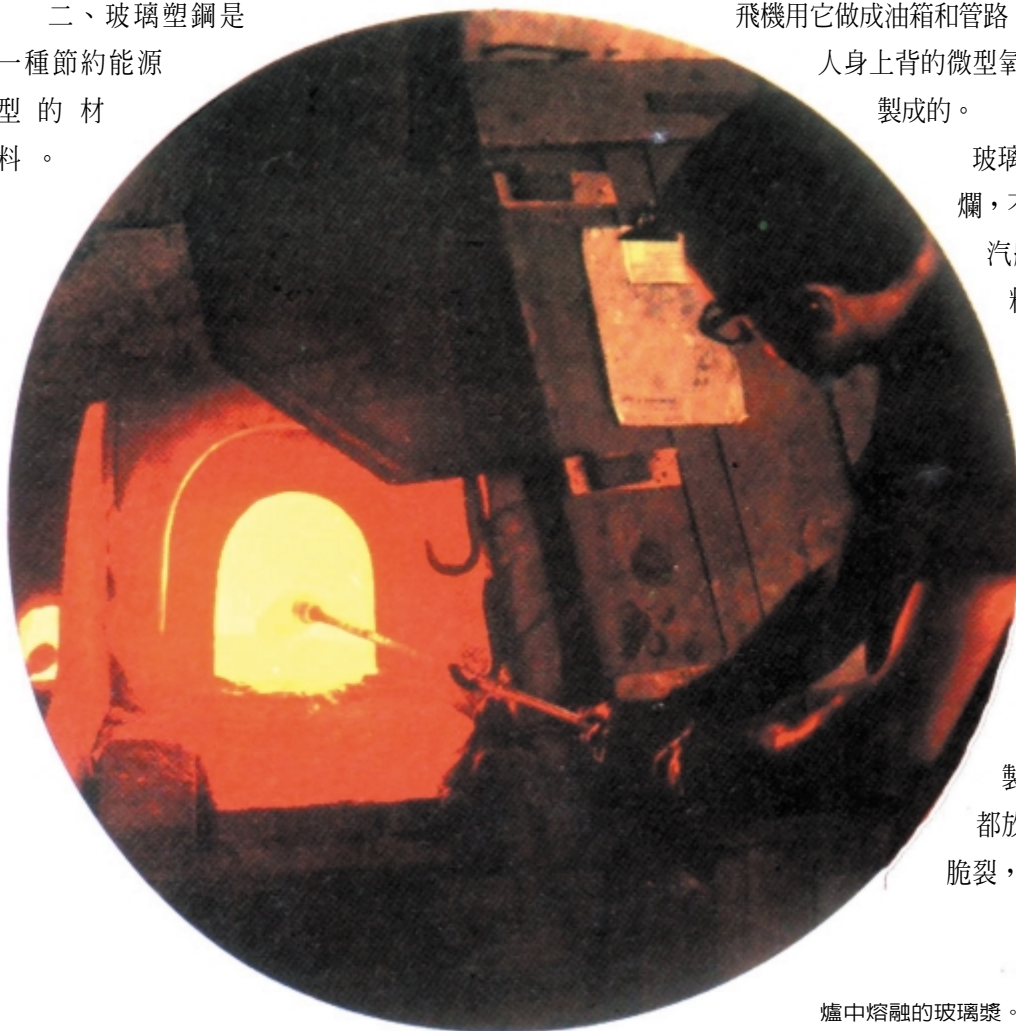
二、玻璃塑鋼是一種節約能源型的材料。

若採用手工糊製的方法，其成型的溫度一般在室溫下，因此成型製作所需能量很少。即使使用機械成型加工，例如模壓、纏繞、注射、噴射、擠拉等成型法，其成型溫度亦遠低於金屬材料及其他的非金屬材料。

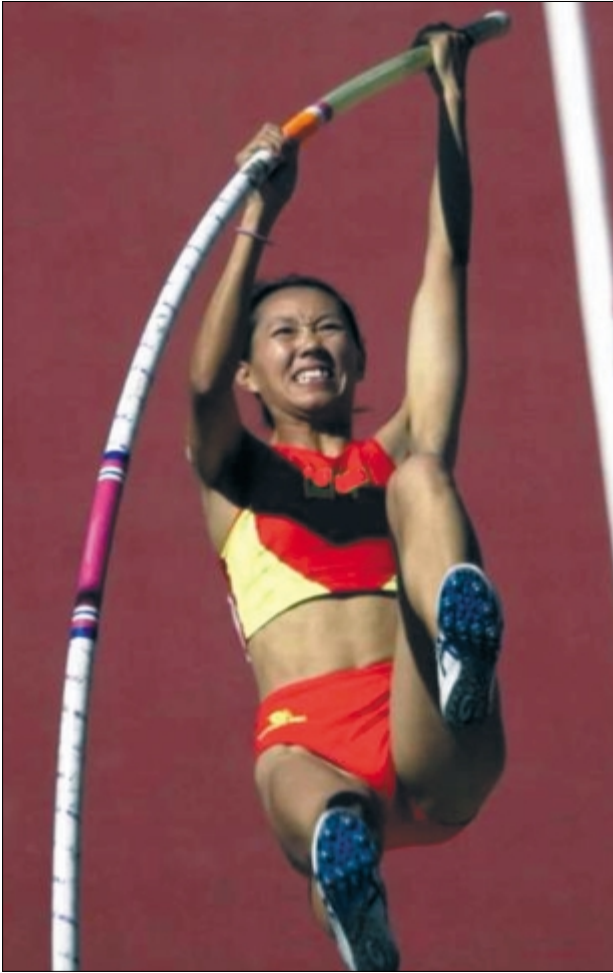
三、玻璃塑鋼製作時可一次成型，與金屬材料不同。只要根據產品的設計，選擇合適的原材料鋪設方法和排列程式，就可以把玻璃塑鋼材料和結構一次完成，避免了金屬材料通常所需要的二次加工，故可降低能源與產品的物料消耗，減少人力浪費。

由此可知，與傳統的金屬材料及非金屬材料相比，玻璃塑鋼材料及其製品，具有強度高、性能好、節約能源、產品設計自由度大，以及產品使用適應性廣等特點。因此，在某些層面上來說，玻璃塑鋼材料是一種應用範圍極廣，開發前景極大的材料之一。玻璃塑鋼是近三十多年來發展迅速的一種複合材料，玻璃纖維產量的70%都被用來製造玻璃塑鋼。玻璃塑鋼堅韌質輕，噴射飛機用它做成油箱和管路，可減輕飛機重量。太空人身上背的微型氧氣瓶，也是用玻璃塑鋼製成的。

玻璃塑鋼加工容易，不銹不爛，不需油漆，廣泛用作小型汽艇、救生艇及遊艇的材料。化工廠也採用酚醛樹脂的玻璃塑鋼代替不銹鋼製作各種耐腐蝕設備，可以延長生產設備的壽命。玻璃塑鋼並非毫無缺點，若是經長時間的日光曝曬，會逐漸劣化變得易脆。曾經一度流行使用玻璃塑鋼為原料來製造水塔，由於水塔幾乎都放在戶外，日曬久了容易脆裂，如今都改用不銹鋼製的



爐中熔融的玻璃漿。



以玻璃纖維強化塑膠為材料所製造的撐竿跳竿，具有極佳的彈性、重量輕、韌度高，圖中撐竿已幾乎彎成了90度仍不致斷裂，靠著材料的彈性選手方能屢創佳績。

水塔了。

玻璃塑鋼沒有磁性，不會阻擋電磁波通過，用它來做飛彈的雷達罩，就好比給飛彈戴上了一副防護眼鏡，既不阻擋雷達的「視線」，又有防護作用。現在有許多飛彈和地面雷達站的雷達罩都是用玻璃塑鋼製造的。

根據化學工業界三年前的粗略統計，玻璃塑鋼這種材料大約有28%用於造船工業、約20%用於建築工業、約10%用於化工耐腐蝕容器管路、約10%用於飛機製造工業，其餘用於車輛、機械和日用消費品方面。

玻璃塑鋼的成型方法有很多種，如噴射成型法、纖維纏繞法、模壓成型法、模塑膠成型法、拉擠成型方法等，這些都是專業的工藝知識，不在此贅述。最後，由一個例子來看看玻璃塑鋼的強度。

貯存液態氧氣一般都使用鋼瓶，需要能耐極高的壓力，它所承受的壓力要能達到1.53億公斤／平方公分。

為了安全考量，製造時要求它能承受三倍的工作壓力，即達到4.59億公斤／平方公分不會爆裂才算合格。美國有一個工業安全檢驗機構曾測試一個用玻璃塑鋼製造的氧氣瓶，測出它能承受的壓力居然可達7.14億公斤／平方公分，可見它的堅韌程度，而它的重量不到鋼瓶的三分之一。

這個檢驗機構做了另一個測試，將另一個玻璃塑鋼氧氣瓶充氣到1.53億公斤／平方公分的工作壓力，從幾百米高的山頂推下山谷，一路碰撞著嶙峋的岩石，直到摔滾到谷底仍然沒有爆裂，順利地通過了品質鑑定的嚴苛測驗，可見它有多麼的堅實。 □

郝俠遂

淡江大學化學系