

玻璃科学与玻璃生产

殷之文

(中国科学院冶金陶瓷研究所)

玻璃制品在人们日常生活与工业生产中的应用极其广阔。一般的精密仪器和自动控制设备都需要各种不同组成和具有预定性能的光学玻璃和特种玻璃。随着人民生活水平的提高,交通运输、建筑事业的发展,对玻璃在质上、量上以及品种上都提出了新的要求。将来高质量平板玻璃、磨光玻璃、钢化玻璃、压花玻璃、泡沫玻璃、玻璃纤维、玻璃空心砖以及大直径玻璃管等材料在建筑业、交通运输业中的大量应用,将根本改变这些工业的面貌。

埃及和罗马在世界玻璃制造史上固有它们的光辉历史,但我们祖先远在二、三千年以前也就知道了玻璃的制造技术。战国时代,我国劳动人民已能用玻璃制造各种不同颜色的玻璃珠等装饰品,遗留到现在的尚多。公元前五、六百年,他们首先知道在玻璃制造中采用含有氧化钡、氧化铅等矿物以增高玻璃光泽。唐代以后,钠-钙-矽系与钠-钙-铅-矽系的玻璃制品在我国已渐普遍。

瓷器上的瓷釉也是玻璃的一种类型。将近一千年以前我们祖先已知道制造各种颜色釉和色料的方法,并获得了辉煌的成就。一直到现在,使我国瓷器在国际上仍保持着极高的荣誉。

但是,这些成果大部停留在经验的阶段。直到十八世纪中叶伟大的俄国学者 M. B. 罗蒙诺索夫才将玻璃科学有系统地发展起来。他研究用各种不同的着色氧化物来制造颜色玻璃的方法,并对矽酸盐玻璃的本性作出了最初的概念。罗蒙诺索夫从多方面深入地研究了玻璃物质的物理化学性质,认为玻璃的粘度是表明玻璃物质的主要特性。这个概念即使到今日仍没有丧失它的真实性和近代性。

随着近数十年来世界科学的普遍提高,关于玻璃制造技术以及玻璃本性问题的研究也大大地向前推进了。在今日世界各国已产生了全面研究玻璃结构、性质与生产工艺过程的巨大的科学中心和科学学派,在各不同的领域内进行着极其复杂和广泛的研究工作。玻璃的生产和应用也随着科学研究的进展而愈来愈扩大了。

现在仅就玻璃科学与玻璃生产方面的有关问题和今后的发展趋势简单地介绍一下。

一 物质的玻璃状态与玻璃结构

玻璃的含义有二。狭义的仅指工业生产的玻璃制品。广义的包括一切非晶态的固体,它们具有与晶体物质不同的结构特性和性质。其中可分为无机、有机两大类。本文仅介绍无机部分。

玻璃物质的结构是目前尚待解决的重大科学问题之一。它们代表着从液态转变为晶态的过渡态结构。近年来虽出现了不少的关于玻璃结构的理论,但至今仍未有一个比较完善而能被公认的学说。苏联 A. A. 列别杰夫院士在 1921 年所建立的量子结构理论和德国 W. H. 扎哈利阿先在 1932 年所创立的无规律网状结构理论,如今在世界上占有最重要的地位。最近几年中,这两个理论对于某些基本问题,特别是关于原子在玻璃中排列的空间秩序这个问题上已经引导至同一观点。

苏联的学者们对于玻璃态物质的结构问题始终重视。1953 年 11 月在苏联列宁格勒举行的第二届玻璃结构理论会议上,对今后进行玻璃结构的研究工作指出了明确方向。现在将其要点介绍如下,作为我们今后工作中的重要参考。

(1) 创立玻璃态物质结构的一般理论。这个理论既要从质上,也要从量上来解释各种类型

的玻璃（玻璃态元素，一元和多元的无机玻璃与有机玻璃）在結構上的主要特征。

（2）探尋与研究能够如倫琴射綫对于結晶物質那样可靠地求出原子、离子或分子在玻璃中的空間排列的方法。更广泛地利用結晶化学的数据。

（3）繼續与大大地加強創立和研究玻璃結構的物理、物理化学、化学的新方法，以及研究这些方法的理論基礎。为了实现这个任务应该加強或重新進行玻璃結構的倫琴、电子与中子射綫譜的研究；借电子顯微鏡与超声波的方法，用研究紅外、紫外光譜、联合散射、發光与累利散射光譜的方法，用研究在寬廣的溫度範圍內玻璃的光性、机械性、电性与其他性質改变的方法，以及应用热容的量子理論、物理化学分析等等來進行玻璃結構的研究。

（4）進一步確定玻璃中有規律排列区域的大小与形式；確定这些区域的組成与特性，并与相当化合物的結晶体相比較，以確定这些晶子結構的畸变程度。用物理与化学方法決定有規律排列区域在整个玻璃体積中所占据的部分。發展研究鈉-硼-矽酸鹽玻璃的工作与闡明其他具有类似性質的玻璃系統。

（5）研究自高粘性状态轉变为玻璃态过程的动力学与機構。繼續進行揭示与確定在复雜玻璃中化合物的本性問題，以及研究玻璃性質与其相当系統的相平衡圖的关系的工作。

最近的研究結果顯示，闡明玻璃結構將有可能改善玻璃的机械性能，使玻璃材料更多更好地为社会的生產需要服务。

二 光学玻璃与特种玻璃

在仪器制造中，光学玻璃是制造各种光学零件（例如透鏡、三棱鏡、反光鏡等）的材料。这些光学零件的質量决定了光学仪器的精密度和准確度。高质量的光学玻璃必須滿足下列的各项要求：

- （1）最少的玻璃缺陷（气泡、輝紋、条紋等），嚴格的均匀性和良好的化学穩定性。
- （2）最小的剩余应力以滿足玻璃的均光性。
- （3）最低的光吸收和表面反射以滿足玻璃的最高透明度。
- （4）固定的光学常数（折光率和色散率）。

因此，光学玻璃的制造需要着高度的理論知識和技術知識。

特种玻璃是指光学玻璃以外的一切应用于技術目的的玻璃。濾色玻璃、紅外紫外玻璃、电絕緣玻璃、鈉汞等蒸气灯玻璃、石英玻璃与高矽氧玻璃、耐热玻璃与化学玻璃等玻璃品种，針对着光学、采光学、电学、热学、化学等方面的应用特点具有各不相同的組成和性質。为了滿足某些特殊技術上的要求，复雜的特种玻璃包含有十几种甚至更多的氧化物。因此，与光学玻璃一样，拟訂特种玻璃組成和確立它們的熔制条件是極其复雜的工作。

近数十年來世界各國在光学玻璃与特种玻璃的制造上獲得了極大的成就和發展。苏联、美國、英國、德國等工業發達的國家都已建立起了本國的光学玻璃工業，同时進行着有关理論方面与生產方面的研究工作。現在，例如苏联，已采用 100 多种不同类型的具有固定光学性質的光学玻璃。关于研磨、磨光以及“表面透光”等新技術也都已推廣及工厂，在實踐中加以运用。

在特种玻璃方面，美國康寧公司現已掌握着数以百計的特种玻璃的組成和制造方法。这些玻璃組成到目前為止尚是其他很多國家進行仿制的对象。德國耶拿工厂在特种玻璃，特別是化学玻璃的制造上是举世聞名的。在苏联經過近数十年來的發展也生產了种类多、質量高的特种玻璃，充分地滿足了國家建設的需要。近年來，光敏、半導、抗輻射等玻璃的發現又为特种玻璃方面开辟了新的廣闊的研究領域。

顯然的，随着世界科学与工業的飛速發展，配合科学研究与生產技術的新的精密仪器与操縱設備將不断地創造出來。这些在光学玻璃与特种玻璃上的已有成就，是远远不能滿足今日的需要了。

因此，進一步有系統地和採用最現代的方法來進行這一方面的研究工作是一個非常重要的問題。

(1) 在玻璃結構理論的基礎上，應用相平衡的知識，研究不同玻璃組成與性質的關係，可以導致發現一系列的新的具有特殊性能的玻璃品種。數十年來世界玻璃工作者在這一方面曾進行了不少的工作。對於某些組成的玻璃，已經導出可以根據由實驗所得的經驗常數，採用加和法則從玻璃組成來計算玻璃的各種性質。最近 A. A. 阿品又以扎哈利阿先關於玻璃的無規律網狀結構理論為基礎，採用各原子（或離子）在晶態氧化物中的配位數作為玻璃中各原子的配位數這一觀點出發，導出了一系列的隨各原子在玻璃中配位數的改變而改變的各項玻璃性質系數的計算公式。應用此項公式從玻璃組成來計算玻璃性質所獲得的結果要比僅採用加和法則的方法準確得多。

雖然如此，但是由於玻璃的組成非常複雜，以前的這許多工作除了少數者以外，大部是由不同科學學派根據各人不同的技術目的，採用不同的方法在不同的玻璃系統中進行研究的。所以工作做得雖多，但有系統的卻不多，如要將它們總結出來以建立玻璃組成與性質的系統關係是萬分困難的。因此，重新和繼續對玻璃的各主要系統，例如多元矽系、硼矽系與鋁硼矽系和加強對新的系統，例如磷系、鉻系等進行有系統的關於玻璃組成與性質關係以及少量氧化物（包括稀土、稀有金屬氧化物）對各該系統玻璃性能影響的研究，是一項非常重要和具有實際意義的工作。

(2) 研究應用新的熔製、製作和加工技術於光學玻璃、特种玻璃的生產，是另一項非常緊要的研究工作。光學玻璃與特种玻璃的組成非常複雜，每種玻璃具有其獨自的熔製過程和製作條件。有些玻璃由於組成中包含過量的氧化鋁、氧化鋇、氧化鉛、氧化錳以及硼、磷等的氧化物，在熔製過程中往往難於均化，不易澄清，並強烈地侵蝕耐火材料。為了解決這許多問題，近年來發展了採用新的機械攪拌操作，高頻率、超聲波等的澄清方法，新的澆注製作、研磨、磨光、表面透光等技術，採用了抗蝕性很強的高質量耐火材料（例如莫來石-鎢英石質、鋼玉質、熔融石英等耐火材料）。在這些新成就的基礎上，進一步研究和創立關於玻璃熔製、澄清、製作、加工各過程的新方法和新技術以及這些新方法、新技術的理論基礎是非常重要的。

可以預見，隨着玻璃結構理論的發展，玻璃組成與性質關係的進一步的闡明，以及新的玻璃製造技術的不斷湧現，其他多種多樣的、為滿足不同技術目的的光學玻璃與特种玻璃將被製造出來。

三 發展建築玻璃與日用玻璃的生產

建築玻璃和日用玻璃與人們的生活關係非常密切。除了少數藝術品以外，它們都是以大量生產的方式進行製造的。

玻璃材料在建築工業中有着極大的前途。正是由於玻璃的價格還很昂貴，它們的應用範圍一直未能獲得充分的發展。因此，如何提高玻璃的生產效率以降低成本；同時改進玻璃質量，擴大產品品種以及其應用範圍，是當前建築玻璃，也是日用玻璃生產上的主要問題和研究內容。現在僅就以下幾方面提出討論，以供參考。

(1) 地方性天然熔劑原料在玻璃生產中的利用：長石、密致長石、霞長岩、火山灰等天然岩石在自然界中的分布極廣。它們都包含有相當量的鹼金屬氧化物，是可以大量應用於玻璃生產中的有價值的原料。世界玻璃工作者就本國的地方性原料曾進行了不少的研究工作。但是，總因為在這些岩石中鋁、鐵的含量太高，未能獲得應有的利用。

近年來建築用玻璃管、泡沫玻璃、玻璃空心磚與表面磚，以及其他供建築用的玻璃裝飾材料和玻璃瓶罐等的生產大大發展起來。在製造這許多制品時都可以部分地或全部地採用地方性天然熔劑原料來代替人造原料。這樣可以為國家節省了如蘇打這類的珍貴原料，又大大地降低了玻璃的生產成本。因此，在發展建築玻璃與日用玻璃的生產中，如何利用本國地方性天然熔劑原料是必須進行研究的重要問題。

(2) 玻璃熔爐的工藝設計與熱工：除了加強自動控制和改進耐火材料質量以外，玻璃熔爐設計與熱工方面目前尚存在兩個重要的問題。第一個問題是提高熔爐的熱效率，第二個問題是解決池爐內玻璃液的热對流。

在現在，雖然對火焰式玻璃池爐的結構與操作有着不斷的改進，但是它們的熱效率仍不能高於20%，這是不能令人滿意的。採用電熔爐可以提高熔爐的熱效率到75%，是一個發展的方向。為了增大粉料顆粒與爐氣的接觸面積以加速玻璃的熔製過程，最近蘇聯與比國都研究着使粉料懸浮於爐膛空間與爐氣相接觸進行熔化的窯爐。這些窯爐目前雖用得不多，有些還是在試驗的過程中，但有着它們的遠大前途。

近年來的科學研究已經證明，玻璃液熱對流對玻璃均化的作用是極小的，而對玻璃熔製、澄清以及製作過程往往帶來了很多危害。玻璃制品的許多缺陷時常是由於池爐熱對流的不正常而引起的。利用示踪原子的研究方法可以測量玻璃液熱對流的行動方向和速度。如何運用熱工理論在窯爐設計與操作中來改善、減弱甚至消除熱對流是今後值得考慮的問題。

(3) 玻璃熔製、製作過程的強化：在現在，往往提出這樣一個問題，就是在原有生產設備的基礎上，怎樣來提高工廠的生產率。為了解決這個問題，就必須考慮以下幾點：

1. 怎樣變更玻璃的成分使玻璃在熔製過程中的粘度減小以利于熔化和澄清；而為了防止析晶和有利于操作又要提高它在製作溫度範圍內的粘度。

2. 怎樣選取合適的配方原料與顆粒組合，如何改進混和與加料的方法和採用助熔劑來提高熔爐單位面積的熔化量與熔化速度。

3. 怎樣利用玻璃熔體的物理特性（粘度與表面張力）來研究玻璃成形機械的加速操作方法。例如，在保證正常退火的條件下，提高平板玻璃的引上速度。

近年來世界玻璃工作者在研究玻璃形成過程的反應機構、玻璃熔體的物理化學性質以及玻璃在成形、加工過程中的物理化學性質的變化等理論問題的基礎上，為玻璃熔製、成形、退火等工藝以及整個玻璃生產的強化作出了很大的貢獻。最近由蘇聯創立的薄層加料、無槽引上以及同溫成形等先進方法就是一個明顯的例子。

(4) 磨光玻璃與晶質玻璃的冷加工與化學加工：在建築玻璃與日用玻璃中，像磨光玻璃、晶質玻璃這類制品都必須經過精細的冷加工或化學加工的處理。用引上法製造的玻璃平板在平度上是不容易滿足夾層玻璃、鏡子玻璃、櫥窗玻璃等需要平度極高的玻璃品種的要求的。這些玻璃制品需要經過研磨和磨光。

晶質玻璃主要是製作玻璃藝術品。由於對此項玻璃的質量要求很高，到現在極大部分的晶質玻璃還是在坩堝中進行熔製的。晶質玻璃制品需要各式各樣的為獲得高度藝術性的加工手續，包括研磨、磨光、輪刻、化學蝕刻等。這樣使得這些制品的價格極為昂貴。

前節已經提到，目前不論對研磨、磨光的理論或實際應用方面都有着極大的發展，並已創造了平板玻璃兩面研磨和磨光過程的連續機械設備，大大地提高了生產能力。捷克、瑞典等國家所產的晶質玻璃制品，瑩淨無滓，藝術精緻，在日光照耀下顯得五彩繽紛，是人民十分喜愛的藝術制品。

冷加工與化學加工對製造磨光玻璃與晶質玻璃的意義極大。在玻璃表面性質、化學穩定性、機械性能等的理論基礎上進一步研究新的操作技術和自動化可以改進制品質量和降低成本。隨着人民生活水平的日益提高，對這類高質量的玻璃制品的需要將愈來愈增多了。

四 玻璃纖維

玻璃纖維是以玻璃狀態的物質（主要是矽酸鹽類）所製成的極細的纖維。纖維的直徑愈小，其強度愈大。當纖維的直徑小於約為7~9微米時，其強度急速增加同時使纖維產生了彈性和彎折

性，而可与其它的纖維一样，被編織成各种纖維。

玻璃纖維是近二十年來新兴的工業。世界各工業發達的國家都已生產。所制纖維的品種有兩類：第一類是用拉制方法制造的連續玻璃絲，第二類是用噴吹、离心、爆裂等方法制造的不連續的玻璃毛。因为玻璃纖維制品具有許多卓越的性能，例如高的強度、良好的電絕緣性能、耐溫耐蝕性能和絕熱隔音性能等，當其與某些有机塑料層压制成制品后，其強度更可与鋼鐵相比擬；所以，不論在建築工業、航空工業、造船工業、汽車工業以及電工、化工、日用等方面，玻璃纖維纖維及其制品都獲得了廣泛的應用。以現在美國而論，純玻璃纖維的年產值为一億五千萬美元，玻璃纖維制品的年產值達二十億美元。在二十年內从开始生產發展到这样龐大的年產值，其速度是可以驚人的。

随着玻璃纖維生產的迅速發展，有关玻璃纖維的研究也就很快地生長起來。目前的主要工作对象可以概括地分成下列几方面：

(1) 研究玻璃纖維的制造方法。改進纖維的質量，制造更細的纖維以增高其強度。降低制品成本以及制造各式新型的玻璃纖維產品，例如弯曲的玻璃毛和耐火玻璃纖維等。

(2) 研究玻璃纖維、玻璃紗、玻璃布的性能（強度、彈性、耐折性、抗水性、耐蝕性、電性等），以及影响这些性能的因素（玻璃成分、制造方法、纖維細度、溫度、湿度与其他因素等），从而擴大其在各方面的用途。

(3) 研究利用天然岩石（易熔性粘土、玄武岩等）以及高爐爐渣、礦渣等作为原料來制造玻璃纖維。根据原料的性質，試驗用各种不同的制造方法来試制纖維。最后按照纖維的性能決定其主要用途。

(4) 研究玻璃纖維纖維与有机塑料、石膏等結合材料的制造方法、性能和应用。

从玻璃纖維的組織状态以及表面性質等理論方面來研究玻璃纖維的工作，过去做得很少。

总的說來，玻璃纖維制品在工業上的应用虽然已很廣泛，但是無論在生產制造方面或理論探討方面的研究工作全都处于正在發展的階段，需要研究的問題極多。可以預料，在進一步开展玻璃纖維研究工作的基礎上，玻璃纖維及其制品的生產和应用將獲得更快的發展和擴大。

* * *

自解放以來，在人民政府的重視下，我國的玻璃工業与玻璃研究工作有了一定的發展。但是由于过去的基礎太弱，到現在还是十分落后。玻璃生產除了少数半自动化的平板玻璃与瓶罐玻璃工厂外，大多仍处于完全手工業的状态。玻璃制品的質量不高，品种也很少，如光学玻璃、大部分的特种玻璃、玻璃纖維等十分重要的產品，目前都还没有正式生產。玻璃原料也存在着問題。由于已經發現的适用于玻璃制造的石英砂很少，现在的玻璃工厂大都采用砂石或砂岩作为引入砂氧的主要原料。这样既加重了原料車間的粉碎負擔，又提高了玻璃的生產成本。有許多在玻璃生產中意义極其重要的原料，如硼砂、硼酸、紅丹以及其他的許多氧化物，至今仍要仰給于國外。这許多問題都是急待解决的。

在玻璃研究方面，除了科学院、建筑材料工業部、輕工業部的各有关研究所結合生產進行着極少量的工業研究題目外，理論性的基本研究剛在开始。在这些研究所內，具备獨立研究能力的人員極少，这是使研究工作不易开展的主要原因。

在現在，全國只有華东化工学院一校設有以玻璃專業为重点的矽酸鹽教研組。但是也是由于師資不足，發展迟緩，而每年畢業的学生数量也很少，远远不能滿足國家在玻璃生產建設上的需要。

玻璃科学与玻璃生產在我國的現狀是落后于其他科学与生產的。为要在十二年內与其他学科一起赶上國際先進水平，有待于全國研究玻璃物質本性与玻璃生產的同志的共同努力。

（本文轉載自“科学通报”1956年9月号）