

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,但我们祖先远在三、四千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的光泽。到唐代以后,钠-钙-硅系与钠-钙-铅-硅系的玻璃制品在我国已很普遍。

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,并对硅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。狭义玻璃仅指工业生产的玻璃制品。广义的玻璃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。

玻璃物質的結構是目前尚待解決的重大科學問題之一。它們代表着從液態轉變為晶態的過渡態結構。近年來出現了不少的關於玻璃結構的理論，但至今仍未有一個比較完善而能被公認的學說。蘇聯A.A.列別傑夫院士在1921年所建立的晶子結構理論和德國W.H.扎哈利阿先在1932年所創立的無規律網狀結構理論，如今在世界上占有最重要的地位。最近幾年中，這兩個理論對於某些基本問題，特別是關於原子在玻璃中排列的空間秩序這個問題上已經引導至同一觀點。

蘇聯的學者們對於玻璃態物質的結構問題始終重視。1953年11月在蘇聯列寧格勒舉行的第二屆玻璃結構理論會議上，對今後進行玻璃結構的研究工作指出了明確方向。現在將其要點介紹如下，作為我們今後工作中的重要參考。

(1) 創立玻璃態物質結構的一般理論。這個理論既要從質上，也要從量上來解釋各種類型的玻璃（玻璃態元素，一元和多元的無機玻璃與有機玻璃）在結構上的主要特徵。

(2) 探尋與研究能夠如倫琴射綫對於結晶物質那樣可靠地求出原子、離子或分子在玻璃中的空間排列的方法。更廣泛地利用結晶化學的數據。

(3) 繼續與大大地加強創立和研究玻璃結構的物理、物理化學、化學的新方法，以及研究這些方法的理論基礎。為了實現這個任務應該加強或重新進行玻璃結構的倫琴、電子與中子射綫譜的研究；借電子顯微鏡與超聲波的方法，用研究紅外、紫外光譜、聯合散射、發光與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、機械性、電性與其他性質改變的方法，以及應用熱容的量子理論、物理化學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區域的大小與形式；確定這些區域的組成與特性，並與相當化合物的結晶體相比較，以確定這些晶子結構的畸變程度。用物理與化學方法決定有規律排列區域在整個玻璃體積中所佔據的部分。發展研究鈉-硼-矽酸鹽玻璃的工作與闡明其他具有類似性質的玻璃系統。

(5) 研究自高粘性狀態轉變為玻璃態過程的動力學與機構。繼續進行揭示與確定在複雜玻璃中化合物的本性問題，以及研究玻璃性質與其相當系統的相平衡圖的關係的工作。

最近的研究結果顯示，闡明玻璃結構將有可能改善玻璃的機械性能，使玻璃材料更多更好地為社會的生產需要服務。

二 光學玻璃與特種玻璃

在儀器製造中，光學玻璃是製造各種光學另件（例如透鏡、三稜鏡、反光鏡等）的材料。這些光學另件的質量決定了光學儀器的精密度和準確度。高質量的光學玻璃必須滿足下列的各項要求：

(1) 最少玻璃缺陷（氣泡、輝紋、條紋等）和嚴格的均勻性。

(2) 最小的剩餘應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) 固定的光學常數（折光率 and 色散率）。因此，光學玻璃的製造需要着高度的理

論知識和技术知識。

特种玻璃是指光学玻璃以外的一切应用于技术目的的玻璃。濾色玻璃、紅外紫外玻璃、电絕緣玻璃、鈉汞等蒸气灯玻璃、石英玻璃与高硅氧玻璃、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术上的要求，复杂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确立它們的熔制条件是極其复杂的工作。

近数十年來世界各国在光学玻璃与特种玻璃的制造上获得了極大的成就和發展。苏联、美国、英国、德国等工業發达的国家都已建立起了本国的光学玻璃工業，同时进行着有关理論方面与生产方面的研究工作。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”等新技术也都已推广及工厂，在实践中加以运用。

在特种玻璃方面，美国康宁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为止尚是其他很多国家进行仿制的对象。德国耶拿工厂在特种玻璃，特别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产了种类多、質量高的特种玻璃，充分地滿足了国家建設的需要。近年来，光敏、半导、抗幅射等玻璃的發現又为特种玻璃方面开辟了新的广闊的研究領域。

显然的，随着世界科学与工業的飞速發展，配合科学研究与生产技术的新的精密仪器与操縱設備將不断地創造出来。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，进一步有系統地和采用最現代的方法来进行这一方面的研究工作是一个非常重的问题。

(1) 在玻璃結構理論的基础上，应用相平衡的知識，研究不同玻璃組成与性質的关系，可以导致發現一系列的新的具有特殊性能的玻璃品种。数十年來世界玻璃工作者在这一方面曾进行了不少的工作。对于某些組成的玻璃，已經导出可以根据由实验所得的經驗常数，采用加和法則从玻璃組成來計算玻璃的各种性質。最近A. A.阿品又以扎哈利阿先关于玻璃的無規律網狀結構理論为基础，采用各原子（或离子）在晶态氧化物中的配位数作为玻璃中各原子的配位数这一观点出發，导出了一系列的随各原子在玻璃中配位数的改变而改变的各项玻璃性質系数的計算公式。应用此項公式从玻璃組成來計算玻璃性質所获得的結果要比仅采用加和法則的方法准确得多。

虽然如此，但是由于玻璃的組成非常复杂，以前的这許多工作除了少数者以外，大部是由不同科学学派根据各人不同的技术目的，采用不同的方法在不同的玻璃系統中进行研究的。所以工作做得虽多，但有系統的却不多，如要將它們总结出来以建立玻璃組成与性質的系統关系是万分困难的。因此，重新和繼續对玻璃的各主要系統，例如多元硅系、硼硅系与鋁硼硅系和加强对新的系統，例如磷系、鍺系等进行有系統的关于玻璃組成与性質关系以及少量氧化物（包括稀土、稀有金屬氧化物）对各該系統玻璃性能影响的研究，是一項非常重要和具有实际意义的工作。

(2) 研究应用新的熔制、制作和加工技术于光学玻璃、特种玻璃的生产，是另一項非常要紧的研究工作。光学玻璃与特种玻璃的組成非常复杂，每种玻璃具有其独自の

熔制过程和制作条件。有些玻璃由于組成中包含过量的氧化鋁、氧化鋇、氧化鉛、氧化錳以及硼、磷等的氧化物，在熔制过程中往往难于均化，不易澄清，并强烈地侵蚀耐火材料。为了解决这許多問題，近年来發展了采用新的机械攪拌操作，高頻率、超声波等的澄清方法，新的澆注制作、研磨、磨光、表面透光等技术，采用了抗蚀性很强的高质量耐火材料（例如莫来石-鋳英石質、鋼玉質、融熔石英等耐火材料）。在这些新成就的基础上，进一步研究和創立关于玻璃熔制、澄清、制作、加工各过程的新方法和新技术以及这些新方法、新技术的理論基础是非常重要的。

可以預見，随着玻璃結構理論的發展，玻璃組成与性質关系的进一步的闡明，以及新的玻璃制造技术的不断出現，其他多种多样的、为滿足不同技术目的的光学玻璃与特种玻璃將被制造出来。

三 發展建筑玻璃与日用玻璃的生产

建筑玻璃和日用玻璃与人們的生活关系非常密切。除了少数艺术品以外，它們都是以大量生产的方式进行制造的。

玻璃材料在建筑工業中有着極大的前途。正是由于玻璃的价格还很昂贵，它們的应用范围一直未能获得充分的發展。因此，如何提高玻璃的生产效率以降低成本；同时改进玻璃質量，扩大产品品种以及其应用范围，是当前建筑玻璃，也是日用玻璃生产上的主要問題和研究內容。現在仅就以下几方面提出討論，以供参考。

1. 地方性天然熔剂原料在玻璃生产中的利用：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广。它們都包含有相当量的鹼金屬氧化物，是可以大量应用于玻璃生产中的有价值的原料。世界玻璃工作者就本国的地方性原料曾进行了不少的研究工作。但是，总因为在这些岩石中鋁、鉄的含量太高，未能获得应有的利用。

近年来建筑用玻璃管、泡沫玻璃、玻璃空心磚与表面磚，以及其他供建筑用的玻璃裝飾材料和玻璃瓶罐等的生产大大發展起来。在制造这許多制品时都可以部分地或全部地采用地方性天然熔剂原料来代替人造原料。这样可以为国家节省了如苏打这类的珍贵原料，又大大地降低了玻璃的生产成本。因此，在發展建筑玻璃与日用玻璃的生产中，如何利用本国地方性天然熔剂原料是必須进行研究的重要問題。

2. 玻璃熔爐的工藝設計与热工：除了加强自动控制和改进耐火材料質量以外，玻璃熔爐設計与热工方面目前尚存在两个重要的問題。第一个問題是提高熔爐的热效率，第二个問題是解决池爐内玻璃液的热对流。

在現在，虽然对火焰式玻璃池爐的結構与操作有着不断的改进，但是它們的热效率仍不能高于20%，这是不能令人滿意的。采用电熔爐可以提高熔爐的热效率到75%，是一个發展的方向。为了增大粉料顆粒与爐气的接触面积以加速玻璃的熔制过程，最近苏联与比国都研究着使粉料悬浮于爐膛空間与爐气相接触进行熔化的窑爐。这些窑爐目前虽用得不多，有些还是在試驗的过程中，但有着它們的远大前途。

近年来的科学研究已經証明，玻璃液热对流对玻璃均化的作用是極小的，而对玻璃熔制、澄清以及制作过程往往帶來了很多危害。玻璃制品的許多缺陷时常是由于池爐热对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热对流的行动方向和

速度。如何运用热工理論在窑爐設計与操作中來改善、減弱甚至消除热对流是今后值得考虑的問題。

3. 玻璃熔制、制作过程的强化：在現在，往往提出这样一个問題，就是在原有生产設備的基础上，怎样來提高工厂的生产率。为要解决这个問題，就必须考虑以下几点：

(1) 怎样变更玻璃的成分使玻璃在熔制过程中的粘度减小以利于熔化和澄清；而提高在制作温度范围内的粘度以防止析晶，并有利于操作。

(2) 怎样选取合适的配方原料与顆粒組合，如何改进混和与加料的方法和采用助熔剂來提高熔爐單位面积的熔化量与熔化速度。

(3) 怎样利用玻璃熔体的物理特性（粘度与表面張力）來研究玻璃成形机械的加速操作方法。例如，在保証正常烘煉的条件下，提高平板玻璃的引上速度。

近年来世界玻璃工作者在研究玻璃形成过程的反应機構、玻璃熔体的物理化学性質以及玻璃在成形、加工过程中的物理化学性質的变化等理論問題的基础上，为玻璃熔制、成形、烘煉等工艺以及整个玻璃生产的强化作出了很大的貢獻。最近由苏联創立的薄層加料、無槽引上以及同温成形等先进方法就是一个明显的例子。

4. 磨光玻璃与晶質玻璃的冷加工与化学加工：在建筑玻璃与日用玻璃中，像磨光玻璃、晶質玻璃这类制品都必须經過精細的冷加工或化学加工的处理。用引上法制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种的要求的。这些玻璃制品需要經過研磨和磨光。

晶質玻璃主要是制作玻璃艺术品。由于对此項玻璃的質量要求很高，到現在極大部分的晶質玻璃还是在坩堝中进行熔制的。晶質玻璃制品需要各式各样的为获得高度艺术性的加工手續，包括研磨、磨光、輪刻、化学蝕刻等。这样使得这些制品的价格極為昂貴。

前节已經提到，目前不論对研磨、磨光的理論或实际应用方面都有着極大的發展，并已創造了平板玻璃兩面研磨和磨光过程的連續机械設備，大大地提高了生产能力。捷克、瑞典等国家所产的晶質玻璃制品，整淨無滓，艺术精致，在日光照耀下显得五彩繽紛，是人民十分喜爱的艺术制品。

冷加工与化学加工对制造磨光玻璃与晶質玻璃的意义極大。在理論的基础上进一步研究新的操作技术和自动化可以改进制品質量和降低成本。随着人民生活水平的日益提高，对此类高質量的玻璃制品的需要將愈來愈增多了。

四 玻璃纖維

玻璃纖維是以玻璃状态的物質（主要是硅酸鹽类）所制成的極細的纖維。纖維的直徑愈小，其强度愈大。当纖維的直徑小于約为7微米时，其極大的强度使纖維产生了彈性和弯折性，而可与其它纖維一样，被編織成各种織物。

玻璃纖維是近二十年来新兴的工業。世界各工業發达的国家都已生产。所制纖維的品种有兩类：第一类是用拉制方法制造的連續玻璃絲，第二类是用噴吹、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，例如高的强度、良好的电絕緣性能、耐温耐蝕性能和絕热隔音性能等，当其与某些有机塑料層压制成制品后，其强度更可与鋼鉄相比似。所以，不論在建筑工業、航空工業、造船工業、汽車

工業以及电工、化工、日用等方面，玻璃纖維織物及其制品都获得了广泛的应用。以現在美国而論，純玻璃纖維的年产值为一亿五千万美元，玻璃纖維制品的年产值达二十亿美元。在二十年内从开始生产發展到这样龐大的年产值，其速度是可以惊人的。

随着玻璃纖維生产的迅速发展，有关玻璃纖維的研究也就很快地生長起来。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。改进纖維的質量，制造更細的纖維以增高其强度。降低制品成本以及制造各式新型的玻璃纖維产品，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（强度、彈性、耐折性、抗水性、耐蚀性、电性等），以及影响这些性能的因素（玻璃成分、制造方法、纖維細度、温度、湿度与其他因素等），从而扩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、矿渣等作为原料来制造玻璃纖維。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决定其主要用途。

4. 研究玻璃纖維織物与有机塑料、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来研究玻璃纖維的工作，过去做得很少。

总的說来，玻璃纖維制品在工業上的应用虽然已很广泛，但是無論在生产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阶段，需要研究的問題極多。可以預料，在进一步开展玻璃纖維研究工作的基础上，玻璃纖維及其制品的生产和应用將获得更快的發展和扩大。

自解放以来，在人民政府的重視下，我国的玻璃工業与玻璃研究工作有了一定的發展。但是由于过去的基础太弱，到現在还是十分落后。玻璃生产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产品，目前都还没有正式生产。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，現在的玻璃工厂大都采用硅石或砂岩作为引入硅氧的主要原料。这样既加重了原料車間的粉碎負担，又提高了玻璃的生产成本。有許多在玻璃生产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，至今仍要仰給于国外。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产进行着極少量的工業研究題目外，理論性的基本研究尚未开始。在这些研究所內，具备独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，全国只有华东化工学院一校設有以玻璃專業为重点的硅酸鹽教研組。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，远远不能滿足国家在玻璃生产建設上的需要。

玻璃科学与玻璃生产在我国的現狀是落后于其他科学与生产的。为要在十二年内与其他学科一起赶上国际先进水平，有待于全国研究玻璃物質本性与玻璃生产的同志的共同努力。