

高等学校試用教材

玻璃工艺学

北京輕工业学院主編

中国財政經濟出版社

高等学校試用教材

玻璃工艺学

北京轻工业学院 主編

中国財政經濟出版社

1961年·北京

高等学校試用教材
玻璃工艺学
北京輕工业学院 主編

*
中国財政經濟出版社出版
(北京永安路18号)

北京市書刊出版业营业許可証出字第111号

中国財政經濟出版社印刷厂印刷
新华書店科技发行所发行
各地新华書店經售

*
787 × 1092毫米^{1/16} · 23^{14/16}印张 · 1插頁 · 544千字

1961年9月第1版

1961年9月北京第1次印刷

印数: 1~1800 定价: (10)2.80元

統一書号: 15166·052

前 言

本書是以有关高等院校的現有教材为基础，参考了国内外有关文献和苏联И.И.基泰戈罗德斯基主編的“玻璃工艺学”等編写而成的，供作輕工业高等院校玻璃专业的試用教材。

本書共十七章，一至九章論述了玻璃态，玻璃的物理和化学性質，原料，配合料，玻璃的熔制，缺陷，成型，退火与加工等基础理論。十至十七章叙述了各种有关玻璃制品的生产工艺和特种玻璃与技术玻璃制品。关于在其他課程中业已涉及的部分，如玻璃結構，熔窑热工，机械装备等，在本書中均不作詳細討論。

本書以基础理論为重点，力求理論联系实际，結合国内生产情况。在生产工艺中对于玻璃瓶罐，玻璃器皿，保温瓶，仪器玻璃与光学玻璃等作了比較詳細的闡述，并着重于叙述各工艺流程的比較与工艺因素的影响。同时，也适当地吸取了有关生产实践的經驗。

本書因內容較广，篇幅較多，在采用时可以結合实际情况和教学时数以定取舍。

本書由北京輕工业学院主編，輕工业部硅酸盐研究所、无錫輕工业学院参加，并得到北京建筑工业学院的协助，共同选編而成。

初稿完成之后，由輕工业部教材編审委员会組織了輕工业局、輕工业部設計院、硅酸盐研究所、辽宁省輕工业研究所、北京市玻璃厂等单位的負責同志和科学工程技术人員进行了修改和补充。

由于時間短促，錯誤或欠妥之处在所难免，希望采用本書的教师及讀者給予指正，以便再版时修改。

目 录

緒論	(7)
第一章 物質的玻璃态、实用玻璃与玻璃結構	(9)
1—1 物質的玻璃态	(9)
1—2 实用玻璃	(10)
1—3 玻璃結構的学說	(11)
第二章 玻璃的物理化学性質	(19)
2—1 玻璃的結晶性能	(19)
2—2 玻璃的粘度	(21)
2—3 玻璃的表面张力	(32)
2—4 玻璃的物理机械性質	(35)
2—5 玻璃的热学性質	(41)
2—6 玻璃的化学稳定性	(51)
2—7 玻璃的光学性質	(54)
2—8 玻璃的电学性質	(69)
第三章 原料	(75)
3—1 主要原料	(75)
3—2 輔助原料	(83)
第四章 配合料的制备	(90)
4—1 配合料的要求	(90)
4—2 原料的加工和处理	(92)
4—3 原料的称量与混合	(96)
4—4 配合料的制块	(98)
4—5 配合料質量的檢驗	(98)
4—6 配合料的輸送	(98)
4—7 卫生条件和劳动保护	(99)
4—8 配合料的計算	(99)
第五章 玻璃的熔制	(103)
5—1 玻璃的熔制过程	(103)
5—2 硅酸盐形成和玻璃形成	(104)
5—3 玻璃液的澄清与均化	(116)
5—4 玻璃液的冷却	(120)
5—5 影响玻璃熔制过程的一些工艺因素	(120)
5—6 玻璃熔窑的类型及其选择	(125)
5—7 熔窑的作业原理	(135)
5—8 玻璃熔制的温度制度	(145)
5—9 熔窑的仪表控制和自动調节	(150)
5—10 玻璃熔窑用耐火材料	(152)

第六章 玻璃体的缺陷	(158)
6-1 结石的种类和产生原因	(158)
6-2 结石的检查	(162)
6-3 条纹和节瘤的种类及其产生原因	(163)
6-4 条纹和节瘤的检查	(165)
6-5 气泡及其产生原因	(166)
6-6 气泡的检查	(167)
第七章 玻璃的成型	(168)
7-1 玻璃成型的理论基础	(168)
7-2 成型方法	(172)
第八章 玻璃的退火与淬火	(187)
8-1 玻璃中的应力	(187)
8-2 玻璃的退火	(191)
8-3 玻璃制品的退火工艺	(196)
8-4 玻璃的淬火	(202)
第九章 玻璃制品的加工	(204)
9-1 玻璃制品的冷加工	(204)
9-2 玻璃制品的热加工	(214)
9-3 玻璃表面的化学处理	(219)
第十章 玻璃瓶罐的生产	(226)
10-1 玻璃瓶罐的分类及其用途	(226)
10-2 玻璃瓶罐的基本要求	(227)
10-3 玻璃瓶罐生产工艺	(227)
10-4 玻璃瓶罐的成型	(229)
10-5 玻璃瓶罐的缺陷及其消除的方法	(247)
10-6 玻璃瓶罐工厂的生产技术检验	(250)
10-7 模子及其维护	(252)
第十一章 玻璃器皿的生产	(259)
11-1 玻璃器皿的品种和特点	(259)
11-2 器皿玻璃的化学组成及原料	(259)
11-3 器皿玻璃的熔制	(261)
11-4 玻璃器皿的成型	(266)
11-5 颜色玻璃与乳浊玻璃	(269)
11-6 晶质玻璃	(279)
11-7 玻璃器皿的加工与装饰	(282)
第十二章 保温瓶的生产	(289)
12-1 保温瓶玻璃的基本要求和化学组成	(290)
12-2 保温瓶的制造工艺	(290)
12-3 保温瓶的质量工艺因素	(297)
第十三章 仪器玻璃	(299)
13-1 仪器玻璃的要求	(299)

13-2	實驗室儀器玻璃	(299)
13-3	溫度計玻璃	(302)
13-4	安瓿玻璃	(304)
13-5	水表玻璃	(305)
13-6	細孔漏斗	(306)
13-7	玻璃管道與化工設備	(307)
13-8	高硅氧玻璃	(310)
第十四章	熔融石英與石英玻璃	(315)
14-1	石英製品的物理及化學性質	(315)
14-2	石英製品的製造	(321)
14-3	石英製品的用途	(328)
第十五章	光學玻璃	(329)
15-1	光學玻璃的發展簡介	(329)
15-2	光學玻璃的基本要求	(330)
15-3	光學玻璃的種類	(332)
15-4	光學玻璃的組成	(333)
15-5	原料和配合料	(333)
15-6	粗玻璃(毛料)的製造	(334)
15-7	毛料的热加工	(339)
15-8	光學玻璃的精密退火	(340)
15-9	眼鏡片玻璃	(341)
第十六章	玻璃纖維及其製品	(344)
16-1	玻璃纖維的分類	(344)
16-2	玻璃纖維的基本性質	(345)
16-3	連續玻璃纖維	(347)
16-4	玻璃棉	(349)
16-5	玻璃網	(351)
第十七章	技術玻璃與特種玻璃	(355)
17-1	感光玻璃	(355)
17-2	微晶玻璃	(359)
17-3	防禦玻璃	(369)
17-4	照明玻璃	(367)
17-5	電燈泡及電子管玻璃	(372)
	參考文獻(主要參考書籍)	(376)

緒 論

玻璃的工业生产已有很久的历史。20世紀以来，玻璃工业随着人民日常生活、文化艺术、交通运输、房屋建筑等的巨大需要，以及玻璃制品在科学技术与国民经济各个部門的广泛应用，而获得极为迅速的发展，并且起着非常重要的作用。

作为玻璃的主要产品之一的瓶罐，具有清洁、美观、耐蚀、价廉等特点，因而成为食品工业、化学工业、医药工业和文教用品工业等所乐于采用的玻璃制品，其需要量很大，为玻璃工业带来了巨大的任务。

各种精美的玻璃器皿，如餐具、茶具以及钢化器皿等，也随着人民生活日益增长的需要而逐年大量增产。各种刻花、套料、装饰玻璃制品以及人造宝石等，具有高度的艺术价值；它们是劳动人民智慧和技艺的结晶，形式丰富多彩，大大丰富了人民的文化生活。

玻璃保温瓶不仅用于日常生活，并且用于科学研究。玻璃制成的化学仪器和实验室器材一向都是化学、生物学、医学、物理学工作者等所必备的物品。

近代科学的发展与玻璃的制造和应用有着相互依存和相互促进的关系。显微镜、望远镜和各种复杂的光学仪器，大大改变了科学研究的条件和方法，使科学家作出了许多新的发现和发明。

透紫外綫玻璃应用于物理化学研究、医疗卫生、温室植物培养；透紅外綫玻璃应用于物料干燥设备和长距离探察设备等。

信号玻璃在海、陆、空交通运输上起着非常重要的作用，各种控制仪表采用顏色玻璃作为指示灯，应用于工业生产和科学研究。

照明玻璃和电真空玻璃是电灯、收音机、电影机、电视机、X光机以及其他许多电气制品的不可缺少的元件材料。

此外，窗片玻璃、平板玻璃、空心玻璃砖、飾面板和隔音隔热的泡沫玻璃砖在现代建筑中获得日益普遍的应用。玻璃纖維、玻璃棉和玻璃鋼，都是新型优质材料。原子物理学实验设备和某些尖端技术所需的特殊材料也可由各种各样的玻璃予以不同程度的解决。

玻璃之所以获得这样广泛的应用，主要是由于它具有一系列可贵的性质和优良的实际价值：玻璃透明而质硬；有很高的化学稳定性；有一定的耐热性；可以用多种多样的成型方法和加工方法，制成各种形状和大小的制品。而且按照应用目的的不同，可以通过玻璃的化学组成的调整 and 改变，在很大程度上改变其性质，从而适应各种不同的要求。此外，玻璃的主要矿物原料如石英砂、石英岩、石灰石、白云石、长石等分布极广，易于获得，这也是促使玻璃发展的重要原因之一；特别是对于工业玻璃的生产，这是十分有利的条件。

玻璃的制造，根据考古学家的研究，一般认为最早是在古代的埃及。在我国，战国时代已能制造玻璃珠等装饰用品。根据化学分析结果，战国时代的玻璃，都含氧化铅和

氧化鋇，因而我国的玻璃与古代其他国家的玻璃有明显的区别。

最初，人們在生活实践中經過不断的摸索而得出制造玻璃的方法；其后，随着社会的向前发展，科学技术不断提高，因而玻璃制造的客观规律逐渐地为人們所了解和掌握，这才逐步提高了制造技术。另一方面，由于制造所需的燃料、原材料和机械設備随着社会生产力的发展而相应地改善，这就为玻璃制造业的发展鋪平了道路。19世紀中叶，发生爐煤气和蓄热式爐窑已应用于玻璃的熔制；随后，机械生产的方法也应用于玻璃的成型和加工；同时，化学工业所提供的純碱，以及优质耐火材料如熔融石英、电熔莫来石和鎂質耐火砖的出现，对玻璃工业起了巨大的促进作用。目前，玻璃的制造技术和科学理論都达到了高度的水平。

我国的玻璃工业在解放以前是十分落后的。当时，除了极少数几个用机器生产的平板玻璃厂和制瓶厂以外，其余为数不多的玻璃厂还多半处于手工生产的状态，設備简陋，劳动条件很差，品种也不多。解放前夕，由于帝国主义的侵略和国民党反动派的残酷压榨，我国玻璃工业經常处于停工状态。許多在国防上和科学上十分重要的品种，例如光学玻璃、玻璃纖維和大部分特种玻璃都不能自行生产。

全国解放以后，玻璃工业在生产、科学研究和技术力量的培养等各方面都获得了飞跃的发展。全国很多地方都有了玻璃工厂，新产品不断涌现。目前，不仅花色精美的日用玻璃产量突飞猛进，并且各种光学玻璃、特种玻璃、玻璃纖維和建筑玻璃也都已大量生产。

在光学玻璃方面，我国已掌握多种不同光学常数玻璃的制造，并在科学理論上作了很多研究。玻璃纖維方面，已建立了现代化的工厂，其他多种新型玻璃也不断地試制成功，并投入生产。

在仪器玻璃方面，我国已能自制所需要的各种仪器产品。

許多玻璃制品不但在質量上和产量上有了很大的提高，而且很多工厂不断地增添近代装备，某些工厂已开始走上自动化的道路。

随着玻璃工业发展的需要，已經建立了許多大型玻璃企业，工人队伍逐渐壮大，技术力量日益雄厚。此外，玻璃的科学研究机构和設計单位也已建立了起来；很多高等院校設置了硅酸盐专业。玻璃的科学技术干部和工程技术人員有了迅速增长。

玻璃的应用是非常广泛的。我国的玻璃原料非常丰富，且有一定的技术基础和技术力量，在党和政府的正确领导下，玻璃工业已有了巨大的发展，并且具有无限广阔的前途。就目前而論，我国的玻璃工业还不能完全满足人民日益增长的生活需要和各項建設事业以及科学技术发展的需要。为此，必須在現有的基础上作出更大的努力，向更高的水平迈进。

第一章 物質的玻璃态、实用玻璃与玻璃結構

1-1 物質的玻璃态

物質的玻璃态，是物質由熔融的液态冷却时所形成的一种无定形固态。根据苏联科学院术语委员会的定义：“凡由于熔融物的过冷却，因粘度增加所得到的具有机械固体性质的所有无定形物体，不管它们的化学組成和硬化的温度范围如何，都称之为玻璃；而且由液态变为玻璃态的过程是可逆的”。

玻璃态与結晶态不同，其主要特征如下：

(一) 玻璃态是各向同性的，即其性质，如折射率、硬度、弹性系数、介电常数等，在各个不同方向上具有同样的数值；而結晶态则为各向异性。玻璃态的各向同性是起因于它的统计性均匀结构的这种必然现象。玻璃态不具有双折射现象。

(二) 同一物質的玻璃态較其結晶态所具有的内能为大，因此玻璃态是介稳状态。玻璃态的結晶总是放热的。

(三) 玻璃态由熔融的液态轉变为机械的固态时，其过程是逐渐的并且是可逆的。当温度降低时，玻璃熔体的粘度不断增加，其他物理化学性质，也发生連續的变化。

图 1-1 曲线 (1) 表示玻璃的热容或热焓与温度变化的关系。

曲线上有三个綫段：低温綫段 aB ，其性质随温度的变化按照近似直綫的規律进行；高温綫段 CE ，其性质几乎也是直綫改变的；中間温度綫段 BC ，其性质的变化呈曲线状并随温度上升愈益加速地增长。若所研究的性质是所述函数的温度导数，例如，热容 $C_p = \frac{dE}{dT}$ (或热膨胀系数 $\alpha = \frac{1}{v} \frac{dv}{dT}$)，則其与温度的关系一般可用曲线 (2) 表示之。

这个曲线也有三个綫段：低温綫段 $a'B'$ 和高温綫段 $C' - \frac{dE}{dT}$ ，其性质几乎与温度变化无关；中間綫段 $B'C'$ 其性质随温度而急速改变。

应当识别两个温度： T_g 和 T_f 。 T_g 位于曲线 aBC 上低温直綫开始轉为曲线的地方，即在 B 附近；第二个温度在点 C 附近，将曲线 BC 与高温直綫部分 CE 分开。

在曲线 $a'B'C'$ 上的温度 T_g 和 T_f 相当于 B' 和 C' 各点的温度。温度 T_g 是这样的温度，即低于它时玻璃获得脆性；相当于这个温度的粘度为 10^{13} 泊。温度 T_f 是这样的温度，即高于它时玻璃开始呈现液态所具有的一般性质；在这种温度下，可以从軟化的玻璃拉成細絲，相当于温度 T_f 的粘度大約等于 10^9 泊。温度区間 $T_f - T_g$ 的大小决定于玻璃的化学組成；对于不同玻璃，这种温度区間的变动范围，由几十度至几百度。

温度区間 $T_f - T_g$ 是玻璃特有的过渡范围，因为玻璃的性质在这一温度范围内有激烈的变化，所以又称为反常間距。在这个温度范围内玻璃以可塑状态存在。

在反常間距內，粘度与温度的变化，如图1—2所示。粘度随温度降低的急剧增加与玻璃的成型和热加工，有密切的关系。

以上所述是玻璃态的外表特征，并未说明玻璃的本質。

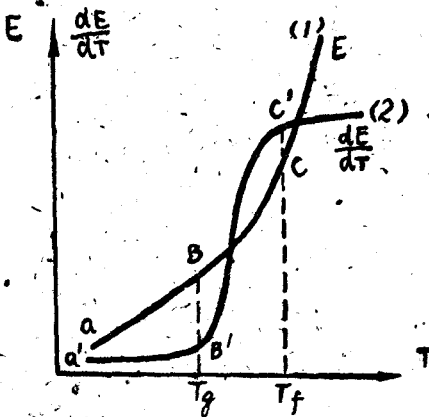


图1—1 玻璃的热容或热焓与温度变化关系

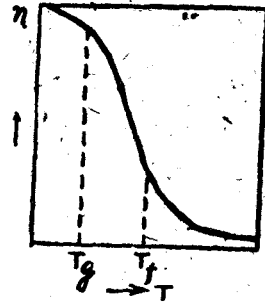


图1—2 玻璃的粘度与温度关系图

1—2 实用玻璃

1—2.1 实用玻璃的組成

19世紀初叶，玻璃的品种是非常少的。19世紀末叶，特别是在20世紀进行了以許多新氧化物熔制玻璃和改变玻璃中氧化物含量的工作，創造了一些具有极宝贵性質的新型玻璃。

现在的玻璃組成中包括多种氧化物，如 SiO_2 ， Na_2O ， CaO ， MgO ， Al_2O_3 ， B_2O_3 ， K_2O ， PbO ， BaO ， ZnO ， As_2O_3 ， Sb_2O_3 ， Fe_2O_3 ， TiO_2 ， P_2O_5 ， ZrO_2 ， Li_2O ， BeO ， SrO ， ThO_2 ， La_2O_3 ， Ta_2O_5 ， WO_3 ， CdO 等。

此外，在制造有色玻璃时，还采用了大量的化合物和元素作为着色剂：如 CoO ， NiO ， UO_2 ， MnO_2 ， CuO ， Cr_2O_3 ， CrO_3 ， FeO ， Fe_2O_3 ， Cu ， Se ， CdS ， CdSe ， Ag ， Au 等。

根据形成玻璃的主要氧化物的性質不同，可将玻璃分为硅酸盐玻璃（其中基本结构的氧化物是二氧化硅）、硼硅酸盐玻璃（其基本结构是由二氧化硅和硼酸酐构成）、硼酸盐玻璃（具有 B_2O_3 的基本结构）、磷酸盐玻璃（其基本结构是五氧化二磷）及其他玻璃等。基本氧化物在玻璃成分中的含量通常是最大的；就其本身性質來說，它們都是酸性氧化物。在工业玻璃中最常采用的碱性氧化物是 Na_2O 、 K_2O 、 CaO 、 MgO 。

玻璃的組成常以其所含氧化物的重量百分数或分子百分数或分子比例来表示。用重量百分数表示时，可以直接与化学分析結果联系起来，并便于計算配料，而用分子百分数或分子比例表示时，則便于进行各种氧化物相互取代。

改变玻璃組成，向其中加入一定的氧化物，可以制得預先所規定的物理化学性質的玻璃。譬如：为了制得化学稳定性和耐急冷急热性高的玻璃，必須将碱性氧化物含量尽

量减少并用硼酸酐，或在某种情况下用 TiO_2 代替一部分碱性氧化物。 Al_2O_3 是通常加入的数量不多而又必需是必需的氧化物。

由轻元素氧化物制得透X光的玻璃，可使用铯和铍以及硼酸酐作为轻元素氧化物。相反的，在强烈吸收X光的玻璃中，要加入大量的重金属氧化物——主要是氧化铅。

在玻璃成分中加入大量的氧化铅，可以制成具有折射率和色散系数大的玻璃；在玻璃组成中加入氟或大量磷酸酐可以制得折光率小和色散系数小的玻璃。

在电气真空仪器工业中，需要热膨胀系数接近某些金属和合金（铅、钼、钨、铜等等）的热膨胀系数的玻璃，以便能同这些金属焊接，得到坚固而不漏气的接合缝。选用适当的玻璃化学组成，就能实现这些要求。

当玻璃组成中加入硼酸酐、氧化铅或氧化钡并减少玻璃中碱性氧化物含量时，即可制得介电常数高的和介电损失小的玻璃。加入多量碱性氧化物，可以制得导电率大的玻璃。

一般工业玻璃都是多元系统。研究这些系统需要制备和研究很多种不同的熔融物，是非常繁杂的。但是许多工业玻璃的主要组成是 SiO_2 、 Na_2O 和 CaO ，也常常含有其余氧化物如 Al_2O_3 和 MgO 等。因此必须在详细研究 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 系统的相图并在研究 Al_2O_3 和 MgO 对这种系统的影响的基础上进行。

例如燧石玻璃，其主要组成是 SiO_2 、 PbO 和 K_2O 或 Na_2O ，或同时含有这两种碱性氧化物。因此，对于燧石玻璃物理化学性质的研究可用研究 $\text{K}_2\text{O}-\text{PbO}-\text{SiO}_2$ 或 $\text{Na}_2\text{O}-\text{PbO}-\text{SiO}_2$ 系统的方法来进行。

一般玻璃的化学组成如表 1-1。

1-2.2 玻璃制品的分类

玻璃制品的分类是根据其特征来进行的。如根据其用途，可分为瓶罐玻璃、器皿玻璃、平板玻璃、窗玻璃、仪器玻璃、光学玻璃及特种玻璃等；根据形状，可以分为实心玻璃制品，空心玻璃制品、大型玻璃制品等；根据制造方法也可以分为吹制品、拉制制品、压制制品等；也有根据以上所述的特征综合分类的。兹将苏联科学院玻璃制品分类法举例如下（表 1-2）：

玻璃体的分类是根据基本结构氧化物而进行的。如前所述，可分为硅酸盐玻璃，硼硅酸盐玻璃，硼酸盐玻璃，磷酸盐玻璃等。

在我们这个时代里，技术不断地飞跃发展，对玻璃特性的要求愈来愈多，而玻璃的组成也将愈来愈复杂。玻璃的新产品不断出现，今后要建立一个合理的玻璃分类法将是十分复杂的工作。

1-3 玻璃结构的学说

19世纪末和20世纪初，许多化学家把玻璃看作为固定的化合物。Д.И. 门捷列夫首先科学地论证了玻璃是复杂系统的概念。根据门捷列夫的意见，玻璃态的熔融物不是组成固定的化合物，而是与组成可以改变的金属合金相类似的熔融物。Д.И. 门捷列

表 1-1

一般玻璃的化学组成

名 称	玻璃氧化物组成(以百分重量计)										
	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	ZnO	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	As ₂ O ₃
人工制白色玻璃	70以下	3.0~6.0	0.2以下	12.0~13.0	—	—	—	13.0以下	—	—	—
人工制半白色玻璃	70以下	3.0~6.0	0.5以下	12.0~13.0	—	—	—	13.0以下	—	—	—
人工制深色玻璃	70以下	3.0~6.0	2.0~5.0	12.0~14.0	—	—	—	13.0以下	—	—	—
半机器成型玻璃(压吹法)	70~73	3.0~6.0	0.2~3.0	10~11.5	—	—	—	14~14.5	—	—	—
半机器成型玻璃(吹吹法)	70~73	0.5~3.5	0.2~3.0	8.5~8.7	—	—	—	16.5~16.7	—	—	—
人工吹制的器皿玻璃	76~78	0.5~3.5	0.2~3.0	9~10	—	—	—	15~16	—	—	—
人工压制的器皿玻璃	75~76	0.5~0.8	0.6以下	7.0以下	5.5~6.5	—	—	13.5~17.5	—	—	—
机器压制的器皿玻璃	71~74	0.5~1.0	0.1以下	5~7	2.0~2.5	—	—	14.5~18.0	—	—	—
保温瓶玻璃	73.0	0.5~0.8	0.1以下	6~8	1.5~2.0	—	—	15.5~16.0	—	—	—
保温瓶玻璃	71.28	2.6	—	5.2	3.2	—	—	16.5	—	—	—
仪器玻璃(德国耶那20)	74.7	1.92	—	3.87	3.19	1.21	—	12.13	1.01	—	—
仪器玻璃(派来克斯)	81.0	5.3	—	1.20	—	—	—	8.0	—	3.4	—
仪器玻璃(苏联N29)	68.6	2.0	—	0.5	—	—	—	4.5	—	—	—
仪器玻璃(中国“九五”料)	78.56	3.7	—	7.5	3.5	0.2	—	10.0	3.0	—	—
仪器玻璃(苏联N23)	69.47	2.0	—	—	—	0.21	—	5.40	—	—	—
光学玻璃(冕牌玻璃)	72.00	4.88	—	8.16	—	—	—	8.76	5.63	—	0.21
光学玻璃(燧石玻璃)	47.00	8.15	—	1.55	0.45	—	—	7.21	10.45	—	0.25
吸收X射线玻璃	34.00	—	—	—	—	—	46.40	—	6.35	—	—
温度补偿玻璃(耶那16 III)	67.30	2.1	—	7.0	—	7.0	52.0	—	6.0	8.0	—
湿度计玻璃(耶那59 IV)	72.0	5.0	—	—	—	—	—	14.0	—	—	—

表1—2

玻璃制品分类表

类别	组别	种别	按玻璃液中 铁的含量而 分等级	Fe ₂ O ₃ 含量 %
I 片玻璃	第一组 拉制片玻璃 (及吹制片玻璃)	1.普通窗玻璃 2.摄影玻璃 3.优质片玻璃(光滑弯曲的三层安全玻璃) 4.信号灯用玻璃	V	至0.20
	第二组 轧制片玻璃	5.镜玻璃 6.图案玻璃 7.普通装甲玻璃 8.优质装甲玻璃	IV V IV	至0.10 至0.20 至0.10
II 中空玻 璃	第三组 器皿玻璃	9.铅玻璃 10.无铅玻璃 11.食器	II III	至0.02 至0.06
	第四组 器皿玻璃	12.无色瓶 13.半白色瓶 14.深色瓶 15.透明的药瓶 16.半白色药瓶 17.普通香料瓶 18.优质香料瓶	IV VI VII IV V III	至0.10 至0.30 不定 至0.10 至0.20 至0.06
	装盛用器皿 玻璃	19.普通玻璃器皿 20.优质玻璃器皿 21.番茄状小瓶 22.家用半白色玻璃器皿 23.家用深色玻璃器皿 24.半白化学用瓶 25.深色化学用瓶	V IV VI VI VI VI	至0.20 至0.10 不定 至0.30 至0.30 不定
	第五组 照明装备用 玻璃	26.灯罩 27.电灯用制品 28.电学装备用玻璃 29.矿井用玻璃	IV V IV	至0.10 至0.20 至0.10
	第六组 电瓶玻璃	30.白炽灯 31.无线电真空管 32.钢琴管 33.水银灯 34.发生器电灯 35.煤气灯	VI IV	至0.30 至0.10
	第七组 工业用中空 玻璃	36.化学器皿 37.化学及物理仪器 38.医学用玻璃 39.玻璃管及模塑物 40.寒暑表用玻璃 41.特别坚固的玻璃 42.热水瓶用玻璃	V VI V	至0.20 不定 至0.20

續上表

类、别	组 别	种 别	按玻璃液中 鉄的含量而 分 等 级	Fe ₂ O ₃ 含量 %
		43.蓄電池 44.干電池 45.显影用盘		
III 块玻璃	第八组 建筑用玻璃	46.裝飾表面用的玻璃 47.裝飾玻璃窗用玻璃 48.温室用玻璃 49.玻璃瓶 50.建筑用零件 51.艺术雕刻用品	VII IV IV VI IV III	不 定 至0.10 至0.10 不 定 至0.10 至0.06
	第九组 服飾用玻璃	52.鈕扣、珠子、玻璃球、人造宝石、表玻璃等。	IV	至0.10
	第十组 工业用玻璃	53.絕緣器 54.透化硬磚 55.机械结构的零件 56.藥用射綫保护用玻璃	VII VI VI II	不 定 至0.3 不 定 至0.2
	第十一组 光学工业用 玻璃	57.弗列尔涅玻璃 58.戈罗瓦玻璃 59.头、灯 60.聚光鏡 61.普通反射鏡 62.特种反射鏡 63.眼鏡玻璃 64.工具玻璃 65.精密的遮光器	IV IV IV IV IV III I	至0.06 至0.10 至0.10 至0.10 至0.06 至0.02
IV 纖維状 及多孔 块玻璃	纖維状及多 孔状玻璃	66.玻璃棉 67.玻璃毡 68.玻璃纖維 69.玻璃織物 70.化学过滤器 71.泡沫玻璃	VI VI VI	不 定 至0.30 不 定

夫写道“金属合金，其主要性质是由各熔融金属的质量和数量而定，而二氧化硅化合物的性质也决定于同二氧化硅化合物的氧化物与每一氧化物组份的数量”。門捷列夫认为玻璃或硅酸盐的结构是复杂系统，把它分成两个组成部分：主要部分——不可以改变的，和其他部分——可以改变的。主要部分当然是二氧化硅熔融物的基本骨干，它的改变会使整个化合物发生变化。相反地，可变部分是可以加以改变和置换的。其次，門捷列夫指出了形成硅酸盐玻璃态系统的分子聚合作用。他认为可以将二氧化硅本身看作是一种聚合物质 Si_nO_{2n} 。

由此，Д.И. 門捷列夫奠定了玻璃是高粘度的复杂熔融物的现代概念。以后又发展了Д.И. 門捷列夫的概念，现在我们认为玻璃是一种处于过冷状态的复杂液体系统。

既然認為玻璃是過冷液體，因此，液體結構的特徵也能夠運用到玻璃結構上來。

現在把液體的結構看作是大量極微小變形晶體（微晶結構）的聚集，或者呈連續不規則的網狀結構。其中有序結構單位只局限於最靠近的質點，而隨著距離的增加，有序結構就越來越遭到破壞。這兩種學說均與實驗數據符合，並能證明液體內存在或多或少類似於晶體的內部結構。

關於玻璃結構的理論，有許多不同的學說。以下將主要討論“過冷液體”學說、微晶子結構學說與不規則連續網結構學說。

1-3.1 過冷液體學說

過冷液體學說是由泰曼提出的。泰曼根據玻璃的無定形性及冷卻過程中逐漸發生的可逆硬化的性質，把玻璃看作為過冷卻的液體，即在通過結晶溫度範圍時沒有發生結晶而保持了液體所固有的結構。

泰曼認為玻璃在冷卻時粘度的增加是由於玻璃的組成分子在冷卻過程中彼此接近了，互相間引力增加所致。從結構上來說，玻璃系統是均勻的單相體。

這個學說指出了玻璃結構與液體結構的相似性。但當時對於液體的看法，認為是完全無序的。必須指出：現在對於玻璃態的定義與泰曼的學說有本質上的不同。

僅限於由物理現象研究玻璃形成的泰曼學說不能解釋為什麼一些液體比較容易變為玻璃，而另一些比較容易變為結晶。由於這一學說不夠完整，雖然到現在還有其擁護者，但已逐漸為其他學說所代替。

1-3.2 微晶子學說

微晶子學說是1921年蘇聯A.A.列別捷夫（A.A.Лебедев）院士所提出的。

A.A.列別捷夫在從事玻璃退火的研究所觀察了玻璃折射率與溫度變化的關係。他確定了玻璃的折射率最初隨着溫度上升而增加，而後，在520~600°C溫度範圍內，發現其劇烈減小（圖1-3）。

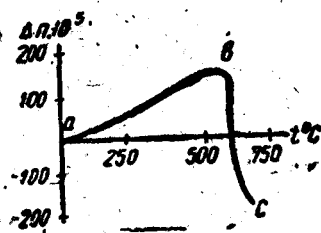


圖1-3 玻璃的折射率與溫度之間關係

在520°C以前，折射率的增長，純粹是溫度的可逆效應，而與玻璃的結構變化無關。譬如，在曲線ab範圍內加熱和隨之冷卻試樣，每次都會得到折射率相同的數值。

若將這些試樣加熱到與曲線下降段（圖1-3 BC）相適應的溫度，並在此溫度下保溫，然後冷卻，則試樣的折射率的數值急劇變化。根據A.A.列別捷夫的意見，這說明玻璃在溫度520~600°C範圍內熱處理時

發生了結構變化。

上述變化的事實，A.A.列別捷夫認為與矽酸鹽玻璃內可能存在的石英結晶的 α - β -變體有聯繫。因此A.A.列別捷夫曾假定在矽酸鹽玻璃結構中存在著微晶體，其中形式之一即為微晶的石英。

進一步發展列別捷夫的概念，可以把矽酸鹽玻璃結構看作是各種不同的矽酸鹽和二

氧化硅的微晶体的集合体，它们的化学性质决定于玻璃的化学组成。这些微晶体可能是固定组成的化合物，也可能是固溶体。它们的性质与形成玻璃系统的相图有关，在玻璃中多半会呈微细共晶体的结构。但无论如何决不能认为，微晶体就是简单的正规结晶格子的微小碎片。实际上，这一种结构组织，在很大程度上是变形的，并或多或少具有相应的结晶格子所表现的特点，这样的结构组织称为晶子。显然，在晶子的中央部分才有最大的规律性，而随着向外围的过渡，结晶格子的变形程度就要增大。各个晶子借无定形的间层相互结合。

微晶子学说可以解释玻璃反常间距的现象和用热处理可以改变玻璃折射率的原因，并且已为许多实验所证实，是比较能够反映玻璃的本质的。但是这一学说尚不能说明玻璃的微晶子大小如何，含量如何，因此仍处于定性阶段。

1-3.3 不规则连续网结构学说

这一学说首先由扎哈里阿先 (Zacharyasen) 所阐明。按照他的说法，玻璃结构和相应的晶体结构一样，是连续的网状体。离子、原子或原子团分布在网状体的结点上，但是与正常的结晶网不同，玻璃的结构网是不规则的。结晶网可以由单位晶胞经多次规律地重复而形成，而玻璃结构网的结构单位的重复是不规律的。

例如，石英玻璃和结晶石英都是由 SiO_2 的四面体所构成的。但是在结晶石英中每一个四面体对于其他四面体都是有规律地排列着，而在石英玻璃中甚至最邻近的四面体在互相的方向上已经有较小的不规则性，距离愈远的四面体排列愈不规则，可以认为是任意排列的。结晶石英和石英玻璃的结构网的平面投影示于图 1-4 的①和②中。

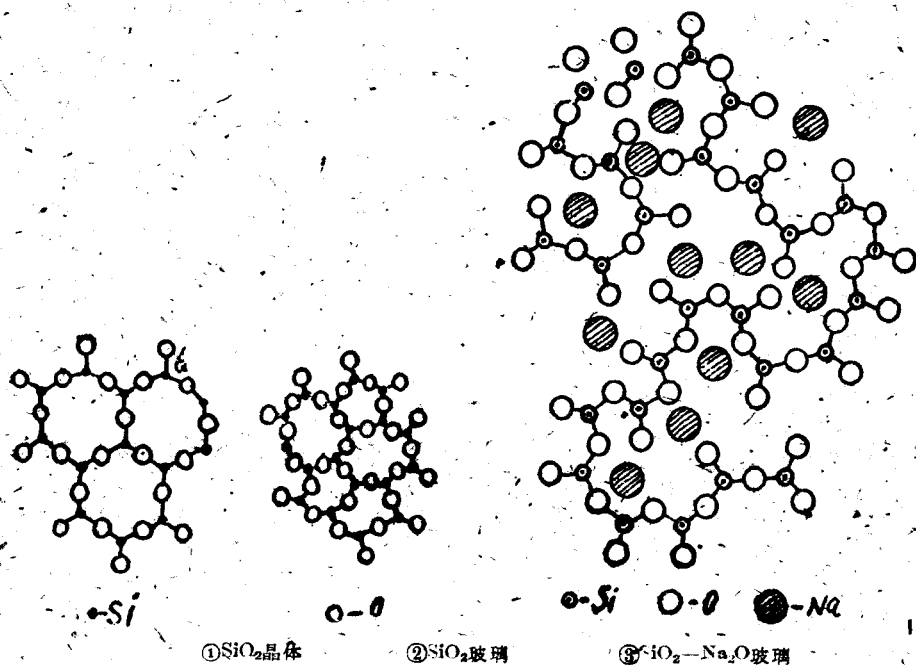


图1-4 结晶二氧化硅和玻璃态二氧化硅以及钠硅酸盐玻璃的结构网的平面投影图