

第一章 绪论

1.1 概 述

平板玻璃是玻璃工业产品中最主要的一个品种，它包括普通玻璃和平板加工玻璃。平板加工玻璃内容很广泛，如磨光玻璃、钢化玻璃、夹层玻璃、磨砂玻璃、压花玻璃，夹丝玻璃、吸热玻璃、中空玻璃等等。平板玻璃不仅是近代建筑不可缺少的材料，它也广泛用于汽车、火车、轮船、国防、轻工等各种行业。平板玻璃按厚度划分通常有 2 毫米、2.5 毫米、3 毫米、4 毫米、5 毫米、6 毫米、8 毫米、10 毫米、12 毫米等规格。近年来高层建筑迅速发展、原规格玻璃产量所占的比重也日益增加。据不完全统计，我国以平板玻璃为原料的产品在百种以上。此外，各种器皿玻璃品种尤为繁多。所以玻璃不仅是重要的生产资料又是与人民生活有密切相关的生活资料。

玻璃是由硅质原料、长石、白云石、萤石、芒硝和纯碱熔成玻璃液而制成的。这些原料中硅质原料一般占 70% 左右。

硅质原料通常是指石英砂岩、石英岩、含二氧化硅高的石英砂以及脉石英岩等矿物原料。在一些原料缺少的地区，有些工厂用一些含二氧化硅高的其它岩石如伟晶岩、细晶岩、霞石正长岩等作为硅质原料的代用品。

我国玻璃硅质原料矿产资源较丰富，按目前工业中已利

用矿石的结构区分，大体上可分为石质和砂质两大类：石质原料包括石英岩、石英砂岩及脉石英等；砂质原料包括各种成因的石英砂、长石石英砂以及呈半固结状态的粘土长石石英砂（岩）等。对玻璃硅质原料矿床进行专业性的地质工作始于1955年，三十多年来已对100多处矿（床）作过不同程度的地质勘查，并在许多地区开展过资源调查，基本掌握了我国玻璃硅质原料矿产的分布规律与矿床特征，不仅为我国玻璃工业的发展提供了矿产基地，也积累了比较丰富的硅质原料矿床地质研究资料及地质工作经验。就建筑材料原料矿产来说，玻璃硅质原料是我国当前研究得较好的矿产之一。

我国玻璃硅质原料矿床类型很多，主要的有：（1）沉积变质石英岩矿床，规模较大，矿石质量好，是我国北方重要的矿床类型；（2）沉积石英砂岩矿床，规模较大，质量较好，是我国南方主要的矿床类型；（3）海相沉积石英砂矿床，以广东、广西、福建等地的一些砂矿质量较优；（4）湖相沉积砂矿床，见于鄱阳湖东岸等地、质量尚可；（5）河流沉积石英砂矿床，见于江苏、甘肃、内蒙古等地，质量变化较大，但易选矿；（6）风成砂矿床，分布较广，但为工业利用的尚不多；（7）热液裂隙充填脉石英矿床和伟晶岩块体石英矿床，较广泛地分布于变质岩区，矿石质量好，但硬度大，尚未普遍利用。玻璃硅质原料矿床的成矿时代广泛，从太古代至第四纪各个时代形成的地层中都有发现。其中脉石英、石英岩矿床多形成于太古代或元古代；石英砂岩矿床主要以泥盆纪形成的较好，志留化及震旦纪形成的某些石英砂岩矿床的质量也优；砂矿多在第四纪形成，也有少数为第三纪形成的。矿床的成因因素有沉积、沉积·变质、岩浆热液-伟晶岩等多种作用所形成的各种不同类型的

矿床，具有各自的地质特征。

从工业利用价值来说，由于玻璃硅质原料矿床成因的多样，成矿过程中的古地理环境、地壳活动以及各种地质作用，往往引起矿石成分的变化，而玻璃生产对原料质量要求高，虽然硅质岩石和硅砂普遍可见，但矿石符合高硅、低铝、微铁和具一定粒度范围要求的矿床却难以发现。我国硅质原料矿石化学成分多在 $\text{SiO}_2 > 97\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.2\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 < 2\%$ 范围内，优质矿床尚不多。一般来说，砂岩矿的质量高于内陆砂矿，北方的砂岩矿较优于南方的砂岩矿，而砂矿的质量变化较大，以南海岸的白色砂矿质量较好。总体来说，我国玻璃硅质原料矿石质量多处于中上水平。正是由于玻璃原料质量要求高，所以，虽然我国硅质岩和硅砂资源分布广泛，但可供工业利用的矿床分布却有相当的局限性。目前虽然多数省（自治区）内都已有所发现，已被生产利用的近二十个大中型矿山，分布于十几个省（自治区）中，主要分布区有辽、冀、豫石英（砂）岩区，长江流域砂岩区，南海岸砂矿区，通辽砂矿区，黄河沿岸砂矿区以及宿迁、南宁砂矿，沂南石英砂岩，辽南凤阳石英岩等几个小范围的分布区等。然而有一些省内至今尚未发现较理想的大中型矿床，尤其南方各地更较少见。实践证明要想找到一个理想的玻璃硅质原料矿山并不容易。三十多年来，经过广大地质工作者的努力，虽然已探明的矿床和储量基本满足了以往玻璃工业发展的需要，但保有的工业储量中仅三分之一可供设计开采，且多已被生产企业占用，可供新建企业选择利用的并不多，难以适应玻璃工业今后发展的需要。因此，努力寻找尽快评价新的优质玻璃硅质原料矿床，仍然是矿床地质工作者必须重视的课题。

玻璃硅质原料也和其它矿产一样，容易找到的矿床都已相继发现，寻找新矿床的难度将愈来愈大。这就要求矿床地质工作者要总结以往的经验，提高对矿床分布规律和各类矿床特征的认识，改进找矿与勘探方法，提高地质工作效益，才能不断发现新的矿床；随着高质量玻璃的需要量迅速增加，对原料质量的要求必然更高，这就要求在努力寻找优质矿石的同时，注意对矿石可选性的研究，合理评价矿产资源。又由于我国硅砂选矿工作起步较晚，生产经验不足，更需要在地质勘探中加强这方面的研究，探讨效果好、成本低的选矿途径，促进硅砂选矿生产技术的发展。这样，才能进一步提高我国玻璃硅质原料矿床地质工作水平，满足今后玻璃工业日益发展的需要。

应予指出，在过去只限于以石英岩、石英砂岩和石英砂为制造玻璃的硅质原料，对于可以代替此类矿石的原料如霞石正长岩、伟晶岩、细晶岩等的研究工作尚极不充分，在某种程度上可以说是尚处于空白状态。以这些岩类作为原料既可开辟新的硅质原料来源，又可减少玻璃厂的外购长石量，甚至不用外购长石。因此，大力开展新矿种的综合研究工作，是十分必要的，也是迫在眉睫的。

1.2 我国玻璃工业发展的概况

人类究竟什么时候才开始利用玻璃和类似玻璃之类的物品，尚无确切资料可考。据说世界上最早的玻璃是腓尼基商人在河边篝火灰烬中发现的。这是由于在高温煅烧下，河沙中所含的石英砂、长石、石灰石等成分的化学反应的产物。

我国也是世界上最早发明和利用玻璃的国家之一。有关文献记载，早在战国时期（公元前五世纪至公元前三世

纪)，我国已经出现了玻璃，人们拿玻璃当作宝石，并称之为璧，用来制成装饰品，并且在上面雕刻各种花纹图案。据建筑材料科学研究院等单位对从战国到北宋一千多年间的二十多种古代玻璃的研究，发现出土的战国时期的玻璃璧制品，其中氧化铝的含量一般在40~50%，最高可达70%，确定这些玻璃制品是我国独立制造出来的，与古代埃及和两河流域生产的钾、钙玻璃的成分完全不同。

十七世纪中叶，法国出现了手工玻璃制品的生产，随着资本主义的兴起，欧洲逐渐出现了许多玻璃企业。在很长的一个时期里，平板玻璃的生产方法处于人工操作状态。人们用手工方法把玻璃液吹制成圆筒状，再把这些圆筒切开摊平而制成平板玻璃。大约在本世纪初，美国又发明了机械吹筒法制造平板玻璃，但这种方法仍与完全机械化生产还有相当距离。

现在通常把有槽垂直引上法生产玻璃，作为近代玻璃工业的标志。这种方法是由比利时人埃米尔·弗克于一九一〇年发明的。一九一三年投入工业性生产，由于有槽垂直引上法投入工业性生产，使平板玻璃工业得到迅速发展。

我国近代平板玻璃工业始于一九二四年投产建成的秦皇岛耀华玻璃厂。当时年产玻璃15万标箱左右。到一九四九年，我国仅有秦皇岛耀华、大连、沈阳三个平板玻璃厂。年产量仅为108万标箱。解放后，陆续建设了上海耀华、株洲、洛阳、兰州、太原、蚌埠、昆明、杭州、厦门等大中型平板玻璃厂。八十年代初，又建成我国自行设计、建设的大型浮法平板玻璃厂——内蒙古通辽玻璃厂。

一九五八年以来，地方小型平板玻璃厂开始兴起，全国约有七十个小型玻璃厂建成。现在除新疆、西藏、青海、贵州

外，均有规模不同的玻璃工业。一九八四年全国平板玻璃⁴⁴产量达到4736万标箱，为解放初期的43倍多。平板玻璃的一级品率一九八三年已提高到82.49%。

我国历年平板玻璃产量表（单位：万标箱）表 1.1

| 年 份 | 1949 | 1952 | 1957 | 1962 | 1965 | 1970 | 1975 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 总产量 | 108 | 213 | 462 | 399 | 803 | 1053 | 1453 | 2771 | 3064 | 3545 | 4167 | 4736 |

一九八〇年以后，我国平板玻璃的绝对产量已居世界第三位。但人均占有量仅0.3平方米。与日益增长的需要量还有很大距离。因此，玻璃工业还将有一个大的发展，要适应这个发展，玻璃硅质原料的资源工作必须走在前面。

1.3 地质工作与矿山建设

如果把一九二四年作为我国近代玻璃工业的起点，而玻璃硅质原料的地质勘探、设计、正规的矿山建设，都是在解放后才开始起步的。解放前的二十多年里，我国所用的玻璃硅质原料主要是从东南亚进口的海砂。解放后，一些玻璃厂开始就近寻找一些石英岩或石英砂岩，做了一些简单的地表地质工作。例如对秦皇岛鸡冠山，本溪平顶山等震旦系石英砂岩的利用，开创了我国大规模利用岩类硅质原料矿石的途径。五十年代以来，由于内地玻璃企业建设的大量需要，开始了正规的系统的硅质原料地质工作。最先勘探的是河南省渑池县方山震旦系石英砂岩和湖南省湘潭县雷子排泥盆系石英砂岩矿床。方山石英砂岩矿床经正规设计后，于一九五八年建成我国第一个设计能力为年产三十万吨的石英砂岩矿山。成为洛阳玻璃厂的可靠的原料基地。五十年代末以后，兰州、昆明、太原、蚌埠、杭州、厦门等玻璃厂纷纷兴建。与

此同时，地质工作与这些厂的建设紧密配合，找出并勘探了一大批玻璃硅质原料矿产基地；又为一些老厂的扩建和改造勘探了一批矿产原料基地，保证了玻璃工业的正常发展。这些矿山主要有北京市昌平县南口石英砂、河北省滦县雷庄甲山石英砂岩、内蒙古通辽市甘旗卡石英砂、辽宁省本溪市小平顶山石英岩、江苏省苏州市清明山石英砂岩、辽宁省彰武县阿尔乡石英砂岩矿、江苏宿迁县白马涧石英砂岩、云南省昆明市白眉村石英砂岩矿、山东省荣成县旭口石英砂矿、安徽省凤阳县老青山石英砂岩矿、福建省东山县梧龙石英砂矿、浙江省长兴县范湾石英砂岩矿、青海省大通县斜沟石英岩矿等，其中大部分已经开发利用。此外，还有一些玻璃硅质原料矿床已经做了地质工作，可供今后生产建设中选用。这些工作既为发展玻璃工业提供了建设依据，也为全面开展玻璃硅质原料矿床地质研究工作打下了一定的基础。

一些主要玻璃生产国平板玻璃历年生产量（单位：万平方米）表 1.2

| 国 家 | 年 份 | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| | 1960 | 1970 | 1975 | 1980 |
| 美 国 | 102.5 | 198.8 | 236.9 | 360 |
| 苏 联 | 147.2 | 231.4 | 269 | 245 |
| 日 本 | | 255 | 254.6 | 375.7 |
| 西 德 | 72 | 168.6 | 155.1 | 243.3 |
| 比 利 时 | | 98.8 | 72.4 | |
| 法 国 | 30 | 107.3 | 102.1 | 136.1 |
| 意 大 利 | | 112.4 | 102.4 | |
| 东 德 | 16 | 21 | 23 | 24 ① |
| 波 兰 | 22.5 | 48.5 | 88 | 71.1① |
| 罗 马 尼 亚 | 18.1 | 45.2 | 68 | 79.1① |

① 为1979年产量

第二章 玻璃与玻璃硅质原料

2.1 玻璃的化学组分及其在玻璃中的作用

玻璃这一词从广义上来说是指一种无机的熔融物。当其冷凝成固态时，不具有结晶现象。但一般所指的玻璃通常都具有硬而脆的共同特性。因此，玻璃不一定是无色和透明的。它也可以是半透明的，甚至还可以是不透明的；它可以是无色的，也可以具有各种的颜色。人们又常根据其用途，把玻璃分别称为器皿玻璃、光学玻璃、平板玻璃等。

在制造各种玻璃过程中，根据对其性能的不同要求，几乎可以引入所有的氧化物。但平板玻璃的成分主要由二氧化硅、三氧化二铝、氧化镁、氧化钙和氧化钠组成。这五种氧化物一般要占玻璃组成的95%以上。在生产过程中，由于各种原料不纯净，以及玻璃液窑被腐蚀等因素，往往会带入少量的杂质，经常带入的有三氧化二铁、氧化钛等有害组分。二氧化硅（ SiO_2 ），是形成玻璃的主要组分，是玻璃的骨架。玻璃的一系列优良性能如透明度、机械强度、化学稳定性、热稳定性等都是由二氧化硅提供的。

制造玻璃过程中，将各种原料混合，进入窑中熔融成玻璃液。玻璃液的粘度，随着二氧化硅含量增高而加大。矿物原料中的二氧化硅多半为结晶状态，以石英矿物形态出现，其熔点为 1728°C 。配料时二氧化硅过高，会提高玻璃液的熔点。一般平板玻璃中二氧化硅控制在70%左右，并通常加入适量

的助熔剂，如萤石等矿物。

三氧化二铝 (Al_2O_3)，通常来自长石或含长石的石英砂。在玻璃中能提高化学稳定性增加机械强度，并能降低玻璃液的析晶倾向。氧化铝还可提高玻璃的热稳定性能，降低热膨胀系数，还可以减少对玻璃窑衬里耐火材料的腐蚀。但是，氧化铝存在会使玻璃液的粘度大幅度提高，成型时增加工艺上的困难，如处理不当会使玻璃出现波筋等缺陷。波筋是平板玻璃常见的一种缺陷，它是与拉引方向平行的条纹或波纹，严重时会降低玻璃的机械强度。

玻璃中的氧化钙 (CaO) 主要来自石灰岩，其含量一般为 6~7%，加入适量的氧化钙能降低玻璃液的高温粘度，促进熔融和澄清作用。当温度降低时，氧化钙又能增加玻璃液的粘度，以提高玻璃的成型速度。此时氧化钙还可以提高玻璃的化学稳定性。当玻璃液中含氧化钙过量时，能增加玻璃液的析晶倾向，减少玻璃的热稳定性，提高其退火温度，使玻璃变脆。

玻璃中氧化镁 (MgO) 的作用与氧化钙类似。如降低高温粘度，提高化学稳定性等。但氧化镁又不象氧化钙那样增加玻璃液的析晶倾向和加快硬化速度等缺点，它对熔融成型都有好处。玻璃中的氧化镁主要来自白云石。

玻璃中的氧化钠 (Na_2O) 主要来自纯碱、芒硝和钠长石。氧化钠的熔点低、粘度小，可以增加玻璃液的流动性，起助熔剂的作用。氧化钠还能改善玻璃液的析晶倾向。氧化钠在玻璃中引起的缺点是降低玻璃的化学稳定性，增加热膨胀系数，破坏热稳定性，降低玻璃的机械强度。

玻璃中的氧化钾 (K_2O) 主要来自钾长石或含长石的石英砂。其作用与氧化钠近似。氧化钾还能增加玻璃的光泽，

改善玻璃的成型性能。

氧化铁、二氧化钛和三氧化二铬被认为是玻璃中的有害成分，给玻璃带来一定危害性，原则上这些组分愈少愈好。

铁的氧化物在玻璃原料中可呈三价氧化物 Fe_2O_3 ，或二价氧化物 FeO 存在。前者是在氧化环境中生成，后者是在还原条件下生成的。不管 Fe_2O_3 或 FeO 的存在对玻璃的生产和质量都有较大的危害。特别是对玻璃熔制过程中的热学性质和玻璃成品的透光性质。由于 Fe_2O_3 、 FeO 的存在使玻璃在窑中表面和深部的温度差扩大，因而影响了玻璃液的熔融、澄清等工序。这是由于铁的氧化物对热辐射具有较强的吸收作用而引起的。辐射热大部受表层玻璃液的吸收，而形成上下熔液之间的温度差。据测定， Fe_2O_3 含量为 0.088% 的玻璃液，窑表面与底部温差为 35°C，而 Fe_2O_3 含量达到 0.51% 的玻璃液，其温差可达 380°C。如果要使底部玻璃原料熔化，就必须提高整个窑中的温度，这不但对能源消耗、窑体寿命都有一定影响，并且由于玻璃液各部分温度不匀，还容易使平板玻璃产生波筋等缺陷。铁的氧化物更主要的是降低玻璃的透光率。透光性是评价玻璃质量的重要因素之一，而氧化铁对透光性的影响是很大的。在这方面 FeO 比 Fe_2O_3 的影响程度要严重。据对 10 毫米厚的平板玻璃测定，当 Fe_2O_3 含量为千分之一时，其透光率为 91.3%，而当 10 毫米的平板玻璃中 FeO 含量达到万分之一时，其透光率降为 89.6%。如果 Fe_2O_3 和 FeO 含量均增加到千分之一时，含 Fe_2O_3 玻璃的透光率降为 89.8%，而含 FeO 玻璃的透光率竟降到 74.8%。上述的数据意味着当 FeO 和 Fe_2O_3 分别由万分之一增加 10 倍，增到千分之一时， Fe_2O_3 使玻璃的透光率相对降了 1.64%，而由 FeO 却使玻璃透光率相对降了 16.5%。

可见 FeO 含愈高时 对玻璃的危害愈严重。

氧化钛 TiO_2 和三氧化二铬 Cr_2O_3 在玻璃原料中很少遇到。据我国玻璃原料情况来看，它们主要来自石英砂矿中一些重矿物，如金红石、钛铁矿、尖晶石、铬铁矿等。这些矿物熔点很高，在玻璃中着色性能强，含量虽很低，危害程度却很大。由于这些矿物含量很少，虽经过选矿也难以把它们除去。例如山东省荣成县旭口石英砂矿区，为海成石英砂矿床，其中 Cr_2O_3 含量大约在百万分之三点九到百万分之十。经工业试验制成的玻璃，出现米粒状黑色斑点，严重影响该矿的利用价值。

2.2 平板玻璃生产方法

玻璃是由各种原料（硅质原料、长石、白云石、芒硝、纯碱等）按不同比例在窑中熔融，澄清成为透明的玻璃液，然后再成型制成的。原料配比是玻璃生产中的重要一环。原料配比是否恰当，直接影响玻璃的成分、工艺性能以及产品的质量。因此，每个工厂对原料质量情况以及它们之间比例十分重视。原料配比首先要满足玻璃设计成分的要求，同时还要尽可能采用易破碎、易熔化和有利于澄清的原料。

世界各国和一些大工厂根据所使用的原料、工艺等各种因素，在生产中采取措施，使之尽量接近所要求的成分。

我国的平板玻璃成分与某些国家的玻璃成分基本相似（表2.1）。据十七个大中型厂一九七九年（个别厂为一九八〇年）出厂玻璃的平均成分为： SiO_2 72.07%、 Al_2O_3 2.33%、 Fe_2O_3 0.19%、 CaO 6.53%、 MgO 3.7%、 $\text{NaO} + \text{K}_2\text{O}$ 14.5%、 SO_3 0.28%。

当前，世界上生产平板玻璃的方法主要有：有槽或无槽

一些国家浮法玻璃成分

表 2.1

| 国 家 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | 注 |
|---------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|-----------------|------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | SO ₂ | |
| 美 国 | 72.40 | 1.20 | 0.13 | 8.10 | 3.84 | 14.00 | 0.01 | 0.30 | 1963 |
| 美 国 | 71.38 | 0.15 | 0.11 | 11.76 | 2.54 | 13.26 | | | 1969 |
| 英 国 | 72.50 | 1.00 | 0.10 | 8.90 | 3.10 | 13.30 | 0.50 | | |
| 日 本 | 72.50 | 1.60 | 0.09 | 7.70 | 4.00 | 14.00 | | | 1974 |
| 苏 联 | 72.80 | 1.00 | | 8.70 | 3.60 | 13.40 | | 0.50 | |
| 法 国 | 73.00 | 0.10 | 0.10 | 8.90 | 3.90 | 13.60 | 0.05 | 0.30 | |
| 捷克斯洛伐克 | 72.40 | 0.97 | 0.07 | 8.20 | 3.60 | 0.25 | 14.20 | 0.30 | |
| 西班牙 | 71.78 | 0.84 | 0.11 | 9.14 | 3.49 | 14.07 | 0.08 | 0.32 | 1971 |
| 联 邦 德 国 | 72.00 | 0.30 | 0.05 | 13.70 | 13.30 | | 0.60 | | |

垂直引上法、平拉法、压延法和浮法。无论采用哪种方法生产平板玻璃，都是先将原料磨细按比例配合适当，送入熔窑中熔融成玻璃液，再以上述五种不同工艺成型而制成平板玻璃。

有槽垂直引上法：是在玻璃窑成型池的玻璃液面上压入耐火槽子砖，由垂直引上机向上拉引，经过冷却和退火等工艺使平板玻璃按一定规格成型。这种方法是我国平板玻璃生产的基本方法。当前我国80%以上的平板玻璃是由此法生产出来的。

无槽垂直引上法：引上成型作业方法与有槽垂直引上法相类似。但这种方法不用槽子砖，而是在玻璃液下沉入一块用耐火材料制成的引砖。玻璃液直接从自由液面用垂直引上

机向上拉引成玻璃带，再进行退火等工序制成平板玻璃。此法为美国匹兹堡平板玻璃公司于一九二五年发明。我国于一九七一年在太原玻璃厂首次使用此法生产出平板玻璃。一九七三年上海耀华玻璃厂又将其原有的有槽引上法改为无槽引上法投产。

平拉法：熔窑中的玻璃液被垂直拉引到距液面0.5~0.7米高的地方，再经火焰加热软化，借一转轮的作用，将垂直拉引改为水平方向拉引，随即进入退火窑退火。这种方法的优点是：水平拉引的速度比垂直拉引要高，易于实现操作自动化。但由于成型池中玻璃液水平方向温度不一致，因而易于使平板玻璃的厚薄不均。此法多为地方小厂采用。我国首先采用此法的是广东石岐玻璃厂，于一九六八年投产。此后许多小厂如北京昌平，河北邢台、石家庄、秦皇岛，辽宁锦州、鞍山、阜新、阿尔多，吉林德惠、吉林，黑龙江佳木斯、齐齐哈尔、山东临沂，内蒙古海拉尔，广西北海、兴安，湖南桃江、邵阳、邵东，陕西神木，宁夏永宁县红光，四川等玻璃厂均采用平拉法生产。

压延法：玻璃液经流槽流到一对上下压辊中间。通过压辊成型，制成平板玻璃。此法成型设备和操作都比较简单，压延的玻璃厚度范围比较宽。但生产出来的玻璃透明度较低，多用于需要遮断影象的门窗和供做磨光玻璃的毛坯。我国采用此法生产的大型厂有秦皇岛耀华玻璃厂和株洲玻璃厂；小型厂有宁夏永宁县红光玻璃厂、湖南邵东县平板玻璃厂、湖南邵阳市玻璃厂、广东化州县玻璃厂、北京昌平县玻璃厂等。

浮法：玻璃液经流槽进入一个锡槽中，玻璃液平摊在锡液面上成型。由于锡液比玻璃液比重大，玻璃液在锡液面上如同油浮在水上，摊成厚度均匀，表面平整的平板玻璃。

这种方法生产玻璃的品种，厚度范围大，质量优于其它方法，并且自动化程度也高。此法为五十年代末由英国皮尔顿金玻璃公司研制成功，我国于七十年代中期开始应用。现在洛阳、通辽等玻璃厂均有浮法生产线。

2.3 国外玻璃工业对硅质原料的化学成分要求

世界上主要玻璃生产国的硅质原料大部分来自石英砂矿，这些石英砂矿通常是集中供应。而我国的玻璃硅质原料主要为石英砂岩和石英岩，石英砂和脉石英的使用量相对量较少。

据大中型玻璃厂的统计，石英砂岩和石英岩的使用量约占全部硅质原料的三分之二，而石英砂仅占三分之一。我国玻璃工业中所使用的原料就价格而论，虽然硅质原料在大中型厂仅占11%到22%，而在数量上却达到70%左右，硅质原料是制造玻璃的最主要原料。

硅质原料是否适于制造玻璃，化学成分是其最关键的因素。由于生产玻璃品种不同，各国对原料的要求亦有差异。

美国是世界上生产玻璃最多的国家。美国生产的玻璃品种也很多。他们所使用的玻璃原料，既有宾夕法尼亚州阿巴拉契亚山区坚硬的奥里斯坎尼石英岩矿，也有胶结程度比较低的圣彼得砂岩矿。还有更普遍的是石英砂矿，这些石英砂分布在密执安南部、俄亥俄、密苏里以及西南部和沿太平洋地区。这些石英砂矿大多数质量很好，不需选矿就可用于玻璃工业，也有些砂矿，如产于新泽西西南部的松散石英砂，只需经过简单的洗涤、干燥和筛选，便可用于玻璃工业。在美国的天然石英砂分为白砂和黄砂两种，其化学成分区别如下：

美国的白砂和黄砂的化学成分

表 2.2

| 种 类 | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | Cr ₂ O ₃ (%) |
|-----|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 白 砂 | >99 | ≤0.52 | ≤0.03 | ≤0.003 |
| 黄 砂 | >98.5 | ≤0.5 | ≤0.2 | ≤0.005 |

此外，还有一种选出的，专门为生产玻璃用的叫做 1 号玻璃砂，其化学成分 SiO₂ 接近 99.6~99.8%，Al₂O₃ 很少超过 0.3%，Fe₂O₃ 的含量稳定在 0.025% 以下。其含铁量比白砂的含铁量还低，成本也不比其它石英砂高多少，因此一些玻璃厂都希望购买 1 号砂直接配料。

苏联的平板玻璃产量，多年来居世界第二位，仅次于美国。苏联共有三十多家玻璃厂，生产方法以垂直有槽引上法为主，一九八一年共生产玻璃 2.62 亿平方米（实际厚度）。苏联的玻璃硅质原料主要用石英砂矿，由国家统一建设矿山和选砂厂。各矿山生产的砂的品位也不完全相同，几个主要生产玻璃用石英砂矿的产品要求如表 2.3。

此外，苏联还有拉明、诺沃谢洛夫、库尔岗钨、阿尼克什恰依和拉依奇欣等一些大型选砂厂，其选砂能力在年产 20 万到 67 万吨之间。例如拉明选砂厂年产 67 万吨精选砂，其中 24 万吨达到特级品要求，即 Fe₂O₃ < 0.05%。

日本也是世界上主要生产平板玻璃的国家之一，一九八一年生产了 3200 余万标箱平板玻璃，其历史最高水平为 3760 万标箱。日本所使用的玻璃硅质原料主要为天然石英砂矿，一九七七年石英砂的产量曾达到 304 万吨。这些砂矿主要产在爱知县濑产附近和岐阜县的土岐平原，以及，岗县的宇久须地区。其中濑户石英砂质量最好。原矿 Fe₂O₃ 的含量为 0.018

苏联主要石英砂矿化学成分

表 2.3

| 石英砂矿 | 特级砂 (%) | | 一级砂 (%) | | 二级砂 (%) | | 三级砂 (%) | |
|-------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
| | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ |
| 达什林 | >99.5 | <0.05 | >99 | <0.08 | >98.7 | <0.13 | | |
| 留别列茨 | >98.5 | <0.05 | >98 | <0.08 | >97.6 | <0.13 | >97 | <0.20 |
| 格列鲍夫 | >98.5 | <0.06 | >97.75 | <0.08 | >97 | <0.13 | | |
| 阿夫杰也夫 | >98.0 | <0.05 | >97.50 | <0.08 | >97 | <0.13 | >96.5 | <0.20 |
| 阿契苏 | | | | | | | >97 | <0.20 |
| 诺鲍夫 | | | | | | | >98 | <0.20 |
| 科兹洛夫 | | | | | | | >96.5 | <0.20 |
| 库特鲁古泰 | | | | | | | >98 | <0.20 |

日本石英砂的化学成分要求

表 2.4

| 石英砂等级与用途 | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ 最大(%) | Fe ₂ O ₃ 最大(%) | CaO、MgO ₃ 最大(%) |
|-----------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 一级光学玻璃 | 99.8 | 0.1 | 0.02 | 0.1 |
| 二级火石玻璃和灯具玻璃 | 99.5 | 0.5 | 0.035 | 0.2 |
| 三级火石玻璃 | 99.0 | 4.0 | 0.035 | 0.5 |
| 四级平板玻璃、乳浊玻璃、窗玻璃 | 98.5 | 0.5 | 0.03 | 0.5 |
| 五级同上 | 95.0 | 4.0 | 0.06 | 0.5 |
| 六级绿色玻璃 | 98.0 | 0.5 | 0.30 | 0.5 |
| 七级同上 | 95.0 | 4.0 | 0.30 | 0.5 |
| 八级琥珀色玻璃 | 98.0 | 0.5 | 1.00 | 0.5 |
| 九级同上 | 95.0 | 4.0 | 1.00 | 5.5 |

%，经过选矿可降低到 0.012%。根据用途不同，日本把石英砂分成九个不同品级。

其它一些国家对制造玻璃的石英砂的化学成分要求与美国，苏联和日本差别不大。见表 2.5。

一些国家玻璃用石英砂要求表 2.5

| 国 家 | 化 学 成 分 | | | | |
|--------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | Cr ₂ O ₃ (%) | TiO ₂ (%) |
| 英 国 | >98.5 | 0.1~0.5 | <0.03 | <0.0006 | <0.05 |
| 联邦德国 | >98 | | <0.02 | 0.0005 | |
| 民主德国 | | | <0.02 | | |
| 捷克斯洛伐克 | >98.5 | <0.4 | <0.04 | | <0.15 |
| 南斯拉夫 | >98.6 | | <0.1 | <0.001 | |
| 印 度 | >98.6 | <1.6 | <0.08 | | |

此外，加拿大所用的玻璃硅质原料为安大略的前寒武系石英岩，其 SiO₂含量达 99.6%，Fe₂O₃含量仅 0.02%。

2.4 国外玻璃工业对石英砂的粒度要求

国外对制造玻璃用的石英砂的粒度要求比较严格。因为粒度过粗，原料在玻璃窑中熔融困难。如果粒度过细，原料容易在玻璃窑中结成团块，使配料不容易拌均匀。此外，过细的颗粒还容易被热气流带走，影响原料成分的均衡，同时也影响玻璃的生产工艺。因此，无论是天然的石英砂矿，或是由石英岩、石英砂岩和脉石英经粉碎的“石英粉”，过细的颗粒都不能太多。制造玻璃的硅质原料，一般认为颗粒度在 0.1 毫米到 0.5 毫米之间最适宜。这个粒级如按一般沉积岩力学的概念，应在最细砂到中粒砂之间。一些国家对玻璃硅