

平板玻璃

生产过程与缺陷控制

PINGBAN BOLI SHENGCHAN GUOCHENG YU QUANXIAN KONGZHI

彭 寿 杨京安 编著



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

平板玻璃生产过程与缺陷控制

彭 寿 杨京安 编著

武汉理工大学出版社

【内容提要】

本书结合平板玻璃特别是浮法玻璃生产过程讲述了平板玻璃缺陷产生的原因,并提出了针对性的解决办法。

本书是一本实用性较强的专业教材,可供平板玻璃企业广大一线操作工、工程技术人员及管理人员在生产过程中控制平板玻璃缺陷时使用,也可作为平板玻璃企业在生产过程中对员工进行岗位培训及相关职业技术学校教学的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

平板玻璃生产过程与缺陷控制/彭寿,杨京安编著. —武汉:武汉理工大学出版社,2010.12

ISBN 978-7-5629-3400-4

I. ① 平… II. ① 彭… ② 杨… III. ① 平板玻璃-生产过程-高等学校-教材 ② 平板玻璃-玻璃缺陷-控制-高等学校-教材 IV. ① TQ171.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 020262 号

项目负责人:杨学忠 徐秋林

责任编辑:徐秋林

责任校对:张明华

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉理工大学出版社

地 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号(邮编:430070)

网 址:<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉理工大印刷厂

开 本:787×960 1/16

印 张:21.5

字 数:421 千字

版 次:2010 年 12 月第 1 版

印 次:2010 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1—3500 册

定 价:49.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87394412 87383695 87384729 87397097(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

进入 21 世纪以来,我国建筑业、汽车业及装饰业呈高速发展趋势,并带动了平板玻璃行业的快速发展,同时对所需求的平板玻璃质量提出了更高的要求,致使 20 世纪采用的垂直引上等传统平板玻璃生产工艺在 21 世纪基本被技术先进、产品上乘的浮法生产工艺所淘汰。浮法生产工艺不仅产量大,更主要是生产的浮法玻璃质量远远好于传统工艺生产的平板玻璃。但是,国内大多数生产线生产的浮法玻璃,其质量与发达国家的浮法玻璃相比仍有很大差距。截至 2010 年 6 月,我国已建成的浮法玻璃生产线有 216 条之多,日熔化量达 10.5 万吨,产量已位居世界之首,但真正可称为优质浮法玻璃的却不到已建成生产线总数的 30%,也就是说我国是生产大国,并不是强国。这固然与生产线投资的大小有一定关系,但更主要是与所选用的原燃材料质量优劣、员工操作水平的高低、生产过程的控制方法、企业管理理念等有很大关系。现在已投产的浮法玻璃生产线如何在目前的装备条件下,生产出高质量的平板玻璃,就是本书所关注和研讨的问题。

作者根据近三十年生产设计的实践经验,集合业内专家之所长编写了《平板玻璃生产过程与缺陷控制》一书,就是想通过此书抛砖引玉,得到更多专家的斧正,以提高我国大多数浮法玻璃生产厂的玻璃品质,将玻璃缺陷控制在出厂前,从而解决目前大多数厂家生产的浮法玻璃质量差的问题。

本书在编写过程中得到了许多专家学者的支持与帮助,在此一并表示最诚挚的感谢!

由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请有识之士批评指正。

作 者

2010 年 5 月

目 录

第一篇 平板玻璃生产过程概述

1 原料生产	(1)
1.1 生产平板玻璃的主要原料	(3)
1.1.1 引入二氧化硅的原料	(3)
1.1.2 引入氧化钠的原料	(7)
1.1.3 引入氧化铝的原料	(11)
1.1.4 引入氧化钾的原料	(14)
1.1.5 引入氧化钙的原料	(15)
1.1.6 引入氧化镁的原料	(18)
1.1.7 碎玻璃	(19)
1.2 生产玻璃的辅助原料	(20)
1.2.1 澄清剂	(20)
1.2.2 助熔剂	(26)
1.2.3 着色剂	(27)
1.2.4 脱色剂	(32)
1.2.5 乳浊剂	(34)
1.3 玻璃原料的选用、运输和储存	(36)
1.3.1 玻璃原料的选用原则	(36)
1.3.2 玻璃原料的运输	(38)
1.3.3 玻璃原料的储存	(38)
1.4 玻璃原料的加工	(40)
1.4.1 原料加工工艺流程	(40)
1.4.2 原料的破碎与粉碎	(42)
1.4.3 原料的筛分	(43)
1.4.4 原料的除铁	(46)
1.5 手工配料表计算	(46)
1.5.1 手工配料表计算条件	(47)



1.5.2	手工配料表的计算	(48)
1.6	配合料的制备	(64)
1.6.1	配合料的基本要求	(64)
1.6.2	配合料的制备过程	(66)
1.6.3	配合料质量的检验	(73)
2	玻璃燃料供应	(77)
2.1	能源的基本概念	(77)
2.1.1	能源分类	(77)
2.1.2	能源名词解释	(80)
2.2	玻璃用燃料	(93)
2.2.1	液体燃料	(93)
2.2.2	气体燃料	(112)
3	玻璃熔窑	(129)
3.1	玻璃熔窑的基本类型	(129)
3.1.1	按熔窑规模分类	(129)
3.1.2	按加热方式分类	(130)
3.1.3	按火焰流动方向分类	(130)
3.2	玻璃熔窑基本结构	(131)
3.2.1	投料池	(131)
3.2.2	熔化部和澄清部	(132)
3.2.3	小炉	(140)
3.2.4	余热利用设备	(145)
3.2.5	玻璃池窑的分隔设备	(153)
3.2.6	冷却部	(155)
3.2.7	耳池	(156)
3.2.8	烟道与烟囱	(157)
3.2.9	熔窑风机	(160)
3.3	中档熔窑耐火材料配置举例	(161)
4	玻璃的熔制	(166)
4.1	玻璃熔制的五个阶段	(166)
4.1.1	硅酸盐形成阶段	(166)
4.1.2	玻璃形成阶段	(170)
4.1.3	玻璃液的澄清阶段	(170)
4.1.4	玻璃液的均化阶段	(172)

4.1.5 玻璃液的冷却阶段	(173)
4.2 理论热耗与热效率	(173)
4.3 玻璃的熔制过程	(175)
4.3.1 投料与液面控制	(175)
4.3.2 温度曲线与火焰控制	(179)
4.3.3 泡界线与玻璃液流的稳定	(197)
4.3.4 窑压与窑压控制	(200)
4.3.5 熔窑气氛控制	(203)
4.3.6 换向设备及操作	(203)
4.4 影响玻璃熔制的主要因素	(205)
4.4.1 原料颗粒度	(205)
4.4.2 配合料的成分和混合	(206)
4.4.3 料层厚度	(206)
4.4.4 熔窑内的温度和窑压	(206)
5 玻璃成形与退火	(207)
5.1 垂直引上法成形	(207)
5.2 平拉法成形	(209)
5.3 压延法成形	(210)
5.4 浮法成形	(211)
5.4.1 浮法玻璃成形工艺过程	(212)
5.4.2 浮法玻璃成形设备	(214)
5.4.3 生产浮法玻璃的浮托介质	(223)
5.4.4 浮法玻璃的成形控制	(229)
6 保护气体	(233)
6.1 保护气体在浮法成形工艺过程中的意义	(233)
6.2 氮气和氢气的性质	(233)
6.3 保护气体在锡槽内的流体作用	(235)
6.3.1 配气工艺流程	(235)
6.3.2 配气方法	(235)
6.3.3 保护气体在锡槽内的流动	(236)
6.3.4 保护气体的纯度	(237)
7 平板玻璃退火	(238)
7.1 玻璃中的应力	(238)
7.1.1 热应力	(238)



7.1.2 结构应力	(239)
7.1.3 机械应力	(239)
7.2 平板玻璃退火原理	(240)
7.3 退火温度区的划分	(240)
7.4 退火窑构造概述	(241)
7.5 退火窑工作原理	(244)

第二篇 平板玻璃生产过程中的缺陷控制

1 夹杂物缺陷控制	(249)
1.1 粉料夹杂物	(250)
1.1.1 “粉料”结石表现形式	(250)
1.1.2 “粉料”结石形成原因	(251)
1.1.3 解决“粉料”结石的方法	(252)
1.2 耐火材料夹杂物	(253)
1.2.1 耐火材料夹杂物的表现形式	(255)
1.2.2 耐火材料夹杂物的形成原因	(255)
1.2.3 消除耐火材料夹杂物的方法	(261)
1.3 析晶夹杂物	(262)
1.3.1 析晶夹杂物的表现形式	(262)
1.3.2 析晶夹杂物产生的原因	(263)
1.3.3 解决析晶夹杂物缺陷的方法	(264)
1.4 其他夹杂物	(266)
1.4.1 硫酸盐夹杂物	(266)
1.4.2 黑点夹杂物	(266)
1.4.3 二氧化锡(SnO_2)夹杂物	(267)
1.4.4 疖瘤	(268)
1.5 夹杂物的诊断方法	(268)
2 条纹缺陷控制	(271)
2.1 条纹表现形式	(271)
2.2 条纹形成原因	(272)
2.2.1 高粘度粒团引起的线道条纹	(273)
2.2.2 熔化不均匀引起的波筋条纹	(274)
2.2.3 熔化温度引起的条纹	(274)

2.2.4	窑内气氛引起的条纹	(275)
2.2.5	成分挥发引起的条纹	(275)
2.2.6	渣滴引起的条纹	(275)
2.2.7	耐火材料受侵蚀引起的条纹	(276)
2.2.8	结石熔化引起的条纹	(277)
2.2.9	浮法成形引起的波纹	(277)
2.2.10	流道处引起的线道	(278)
2.2.11	玻璃成形引起的波筋	(278)
2.3	条纹的检测方法	(279)
2.4	消除条纹的方法	(280)
3	气泡缺陷控制	(282)
3.1	熔化过程产生的气泡	(283)
3.1.1	一次气泡	(283)
3.1.2	二次气泡	(287)
3.1.3	耐火材料气泡	(289)
3.1.4	金属铁气泡	(290)
3.1.5	搅拌泡	(290)
3.1.6	水泡	(291)
3.1.7	大气泡	(291)
3.2	玻璃成形过程产生的气泡	(291)
3.2.1	流道底部气泡	(292)
3.2.2	闸板气泡	(292)
3.2.3	唇砖泡	(292)
3.2.4	槽底气泡	(293)
3.2.5	锡液气泡	(295)
3.2.6	雾点泡(氢气泡)	(296)
3.3	气泡的检测	(298)
4	光畸变点、渗锡、粘锡及辊痕缺陷控制	(299)
4.1	光畸变点	(299)
4.1.1	表现形式	(299)
4.1.2	产生原因	(300)
4.1.3	消除方法	(301)
4.2	渗锡(虹彩)	(302)
4.2.1	表现形式	(302)



4.2.2	产生原因	(303)
4.2.3	消除方法	(304)
4.3	粘锡	(305)
4.3.1	表现形式	(305)
4.3.2	产生原因	(305)
4.3.3	消除方法	(305)
4.4	锡灰	(306)
4.4.1	表现形式	(306)
4.4.2	产生原因	(306)
4.4.3	消除方法	(306)
4.5	辊痕	(307)
4.5.1	表现形式	(307)
4.5.2	产生原因	(307)
4.5.3	消除方法	(308)
5	表面裂纹、划伤、弯曲与断面缺陷控制	(309)
5.1	表面裂纹	(309)
5.1.1	急冷裂口	(309)
5.1.2	压痕裂口	(312)
5.2	玻璃划伤	(312)
5.2.1	上表面划伤	(312)
5.2.2	下表面划伤	(313)
5.2.3	划伤的消除方法	(314)
5.3	玻璃弯曲	(315)
5.3.1	表现形式	(315)
5.3.2	产生原因	(315)
5.3.3	解决方法	(316)
5.4	玻璃断面缺陷	(316)
5.4.1	产生原因	(316)
5.4.2	消除方法	(317)
5.5	白点缺陷	(317)
5.5.1	产生原因	(318)
5.5.2	消除方法	(318)
5.6	厚薄不均	(318)
5.6.1	产生原因	(318)



5.6.2 消除方法	(319)
6 平板玻璃的霉变和纸纹缺陷控制	(320)
6.1 平板玻璃的霉变缺陷	(320)
6.1.1 表现形式	(320)
6.1.2 产生原因	(320)
6.1.3 减轻玻璃发霉的方法	(323)
6.2 平板玻璃的纸纹缺陷	(326)
6.2.1 表现形式	(326)
6.2.2 产生原因	(326)
6.2.3 消除方法	(327)
6.3 白霜试验	(327)
6.3.1 白霜试验机理	(327)
6.3.2 试验方法	(327)
参考文献	(329)

平板玻璃生产过程概述

平板玻璃生产是指在一定时间段中经过原料加工、燃料制备、配合料熔化、玻璃液成形、玻璃板退火、玻璃检验、切裁、装箱等工序,连续不间断地生产出符合用户需求的平板玻璃的生产过程。本书所涉及的平板玻璃主要是指由垂直引上法(有槽引上法、无槽引上法)、平拉法、浮法等(不含压延法)成形工艺生产的钠钙硅酸盐透明平板玻璃;由硼硅酸盐、铝硅酸盐等其他玻璃成分系统生产的耐热防火、生物医疗、印刷感光、光电转换、电子信息、液晶显示屏等特殊性能要求的特种平板玻璃不在本书叙述之列。

1 原料生产

原料生产是玻璃生产过程重要的环节,是控制玻璃质量的源头。据不完全统计,由原料质量和配合料均匀性不良而造成的弊病,反映在成品玻璃上的缺陷约占总缺陷的40%,严重时可达50%以上。随着玻璃质量大幅度提高,玻璃生产者对从原料的选用到原料加工质量整个过程越来越重视。原料的生产质量通常主要是控制其中的化学氧需要值COD(Chemical Oxygen Demand),也就是控制配合料的氧化还原数,窑内的气氛也是按配合料的COD值来调整的。控制COD值主要是通过控制原料成分稳定、合理匹配粉料粒级及准确称量配料三大要素来实现。

原料的选用取决于其成分是否能稳定地满足玻璃成分的要求。平板玻璃与大多数的实用玻璃一样,在玻璃成分构成方面属于最常见的硅酸盐玻璃中的钠钙硅玻璃($\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$)系统,各种成分在玻璃中的含量是根据熔制、成形、退火及其玻璃的性能要求确定的。钠钙硅平板玻璃常用化学成分范围如表1.1.1。

表1.1.1中的各种氧化物主要是通过含有这些氧化物成分的原料来引入,如 SiO_2 主要用硅砂引入, Na_2O 主要用纯碱引入, CaO 主要用石灰石(或方解石)引入, MgO 主要用白云石引入, Al_2O_3 和 K_2O 主要通过长石引入等。这些用于制备



玻璃配合料的各种物料,统称为玻璃原料。

表 1.1.1 钠钙硅平板玻璃常用化学成分范围(%)

序号	成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O+K ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃
1	有槽玻璃	71.9~72.5	1.38~2.39	6.25~7.5	3.15~4.1	14.55~14.90	<0.15	≤0.3
2	无槽玻璃	71.5~72.65	1.0~1.7	7.4~8.5	3.0~4.0	13.80~14.50	<0.15	≤0.3
3	平拉玻璃	71.45~73.3	0.6~1.26	8.5~10.1	3.0~4.2	12.40~13.47	<0.15	≤0.3
4	浮法玻璃	71.8~72.8	0.15~1.2	8.0~9.1	3.0~4.0	13.80~14.0	<0.10	≤0.2
5	压延玻璃	69.1~73.2	0.41~1.5	8.0~11.59	0.1~4.0	13.34~15.00	<0.10	<0.2
6	超白玻璃 1	70.4~72.8	0.8~1.5	8.55~8.74	3.0~3.84	13.8~14.58	<0.010	<0.3
7	超白玻璃 2	70.4~72.8	0.8~1.5	9.0~10.74	0~3.0	13.8~15.09	<0.010	<0.3

按所引入氧化物在玻璃结构中的作用,可分为玻璃形成氧化物原料(SiO₂)、中间体氧化物原料(Al₂O₃)、网络外体氧化物原料(Na₂O、K₂O、CaO、MgO)。

按所引入氧化物的性质,可分为酸性氧化物原料(SiO₂、Al₂O₃)、碱金属氧化物原料(Na₂O、K₂O)、碱土金属氧化物原料(CaO、MgO)。

按所引入氧化物在玻璃成分中的多少,可分为主要原料和辅助原料。所谓主要原料系指往玻璃中引入各种组分氧化物的原料后即可确定玻璃主要性质的原料。所谓辅助原料系指在配合料中用量少、工艺上不可缺少、可使玻璃获得某些必要性质和加速熔制、澄清过程的原料。根据辅助原料在玻璃中作用的不同,可分为澄清剂、助熔剂、着色剂、脱色剂、乳浊剂、氧化剂、还原剂等。

根据平板玻璃成形工艺(有槽垂直引上工艺、无槽垂直引上工艺、平拉工艺、浮法工艺)不同,其组成中的氧化物含量略有差异。例如:无槽工艺组成中的碱金属含量比有槽工艺低 1.0%~1.5%,碱土金属含量高 1.0%~1.5%;平拉工艺组成中的碱金属含量比有槽工艺低 1.2%~2.5%,碱土金属含量高 2.1%;浮法玻璃成分为“高钙中镁低铝微铁”,但生产所用的原料种类基本相同。

各种原料除了其主要成分应稳定地满足玻璃成分需要外,还要看其他成分,例如:三氧化二铁含量不符合玻璃生产的要求,即使主要成分满足玻璃成分需求,也不能用于玻璃生产。例如生产超白玻璃时长石中三氧化二铁含量通常较高,选不到低铁长石,就不用长石引入氧化铝,而是选用化工产品氢氧化铝引入氧化铝。

1.1 生产平板玻璃的主要原料

1.1.1 引入二氧化硅的原料

1.1.1.1 二氧化硅的物化性质

二氧化硅分子式为 SiO_2 , 分子量 60.09, 熔点 $1713\text{ }^\circ\text{C}$, 密度 $2.4\sim 2.65\text{ g/cm}^3$, 属于酸性氧化物原料。

含 SiO_2 的原料在自然界中分布极为广泛, 占地壳总质量的 87%。可作玻璃原料的硅质岩(砂)有许多种, 通常统称为玻璃硅质原料。玻璃硅质原料矿石的主要矿物成分为石英, 石英是自然界中由 SiO_2 单独形成的最常见的矿物, 包括三方晶系的低温石英(α 石英)和六方晶系的高温石英(β 石英)两种。常见的绝大部分为低温石英, 简称石英, 呈无色、乳白色, 混入杂质的可呈多种颜色; 无解理, 具贝壳状断口, 油脂光泽; 莫氏硬度 $7.0\sim 7.5$ 级, 密度 2.65 g/cm^3 , 容积密度 1.75 g/cm^3 , 熔点 $1480\text{ }^\circ\text{C}$, 磨损率 0.03%。

二氧化硅是形成玻璃的最主要成分, 也是构成平板玻璃的基础, 故称为玻璃形成体氧化物。在玻璃中以硅氧四面体 $[\text{SiO}_4]$ 的结构单元形成不规则的连续网络, 构成玻璃的骨架。

硅酸盐玻璃的一系列性能(例如: 热膨胀系数、硬度、机械强度、透明度、热稳定性)主要是由二氧化硅决定的。在钠钙硅酸盐玻璃中, 增加 SiO_2 含量, 可提高玻璃的热稳定性、化学稳定性、软化温度、耐热性、硬度、机械强度、透明度、粘度和透紫外光性等; 可使玻璃的热膨胀系数和密度降低。但是, SiO_2 含量高时, 需要较高的熔化温度, 使玻璃液粘度增大, 从而造成玻璃熔化、澄清、均化困难, 能耗增加, 并且易导致玻璃液析晶。所以, 一般钠钙硅平板玻璃中 SiO_2 的含量控制在 71%~73%。

1.1.1.2 硅质原料的种类

本书所述玻璃硅质原料矿, 系指在《中华人民共和国矿产资源法实施细则》矿产资源分类细目(1994)中, 单列矿种的玻璃用石英砂岩、石英岩、脉石英及石英砂 4 种。此外, 伟晶岩、细晶岩、霞石正长岩及粉石英等 SiO_2 含量高的岩石, 也可用作玻璃硅质原料, 但目前在我国玻璃工业生产中应用尚少。

在自然界, 用于玻璃生产的硅质原料有石英岩类矿和石英砂类矿两大类。石英岩类矿有脉石英、石英岩及石英砂岩; 石英砂类矿有石英砂、含长石石英砂、含长石粘土石英砂等。脉石英、石英岩及石英砂岩化学成分较稳定, SiO_2 含量一般达



97.0%以上,有的达99.0%以上, Al_2O_3 含量一般为0.3%~1.3%, Fe_2O_3 含量一般为0.015%~0.39%。天然石英砂矿的化学成分各地变化较大,其趋势是从北到南质量逐渐提高, SiO_2 含量为82.0%~99.0%, Al_2O_3 含量为0.2%~6.0%, Fe_2O_3 含量为0.04%~1.38%。我国具有工业开采价值的石英砂岩、石英岩多分布在北方地区,而优质的天然硅砂矿相对集中在福建、海南和广东等南方省份。

若按 SiO_2 含量来区分硅质原料的优劣,通常认为水晶优于脉石英,脉石英优于石英岩,石英岩优于石英砂岩,石英砂岩优于海相沉积砂,海相沉积砂优于河湖相沉积砂。从目前探明的矿藏储量情况来看,水晶少于脉石英,脉石英大大少于石英岩和石英砂岩,所以,水晶多用于制作高级光学仪器、光电器具;脉石英多用于超白玻璃制品;石英岩和石英砂岩多用于制造平板玻璃;二氧化硅含量在85%以上的石英矿石还可用于作半导体和晶硅系列太阳能电池中单晶硅、多晶硅的初级工业硅原料。

(1) 脉石英(见图1.1.1) 脉石英是由熔融岩浆侵入花岗岩和其他岩石冷凝而成,是结晶硅石的一种,主要产于花岗岩或花岗片麻岩区,矿体呈不规则脉状,一般厚度为几米至几十米,长度为十几米至几百米,宽度为几米至十几米。一个矿区可由单条矿脉或许多条矿脉组成,其纯度较高,矿物组成几乎全部为石英,其次含微量长石、云母、赤铁矿等,矿石中常夹有围岩团块, SiO_2 含量一般在99.20%以上, $\text{Al}_2\text{O}_3 < 0.4\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.03\%$ 。矿石常呈白色、乳白色或灰色,透明无色的是水晶;油脂光泽,块状构造,不等粒变晶结构。脉石英有明显的结晶面,常用作石英玻璃、器皿玻璃、工艺玻璃和超白玻璃的原料。

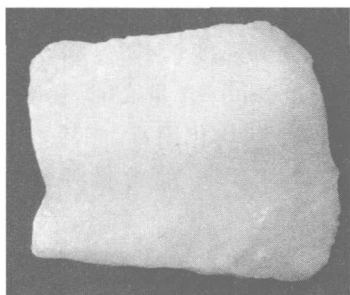


图 1.1.1 脉石英

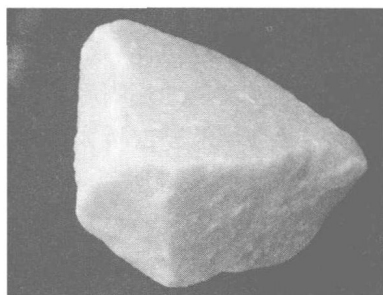


图 1.1.2 石英岩

(2) 石英岩(见图1.1.2) 石英岩在岩石学中是指由石英砂岩或硅质岩经变质作用而形成的一种变质岩,主要是由石英的粒状集合体所构成,与石英砂岩相比,其质地致密坚硬,莫氏硬度为7级(比砂岩高)。根据其变质程度,分为岩石质石英岩、再结晶石英岩及胶结石英岩。 SiO_2 含量一般在98.0%以上,常呈灰白色,有鲜明的光泽,断面呈鳞片状。由于原岩和变质条件不同,因此常含有长石、白云

母、黑云母、绢云母、角闪石等杂质矿物。一般只有在一些变质程度较深的石英岩中,杂质矿物含量少,适于作为硅质原料矿石。典型的石英岩矿床为安徽凤阳县老青山石英岩矿床和辽宁本溪小平顶山石英岩矿床。前者原矿的主要化学成分平均为:SiO₂ 98.25%~99.5%,Al₂O₃ 0.35%~0.63%,Fe₂O₃ 0.04%~0.08%;后者原矿的主要化学成分平均为:SiO₂ 98.90%,Al₂O₃ 0.41%,Fe₂O₃ 0.089%。

还有一种沉积石英岩,又称正石英岩,胶结物几乎全部为再生石英,碎屑颗粒与胶结物界限不明显,硅质胶结物围绕石英碎屑,有次生加大现象,这种沉积石英岩在我国北方震旦系地层中分布较广,有人称为石英岩,也有人称为石英砂岩,使用情况与砂岩相同。

(3) 石英砂岩 简称砂岩,是由超过 95% 的石英砂和胶结物质在地质变化的高压作用下,胶结而成的坚实致密的固结砂质岩石,按形成方式一般有沉积岩、变质岩、火山岩和侵入岩。矿石矿物成分除石英外,含有少量电气石、金红石、铁矿、长石、云母和粘土矿物等,胶结物多为硅质,主要呈蛋白石、玉髓等非晶状态,也有钙质、铁质、海绿石及少见的白云石胶结物。根据胶结物的不同,可把砂岩分为由二氧化硅胶结的砂岩,称为硅质砂岩,纯度较高;粘土胶结的砂岩含 Al₂O₃ 较多,称为粘土质砂岩;石膏胶结的砂岩,含 CaO 较多,称为钙质砂岩。所以砂岩的化学成分不仅取决于石英颗粒,而且与胶结物的性质和含量有关。总的来说,砂岩所含的杂质较少,而且稳定。典型的石英砂岩矿床为山东沂南孙祖石英砂岩矿床和陕西汉中石英砂岩矿床。前者原矿的主要化学成分平均为:SiO₂ 96.93%~98.69%,Al₂O₃ 0.38%~1.12%,Fe₂O₃ 0.064%~0.55%,矿石的嵌布粒度:0.25~0.5 mm 约 88%;后者原矿的主要化学成分平均为:SiO₂ 97.5%~98.90%,Al₂O₃ 0.54%~1.2%,Fe₂O₃ 0.04%~0.30%,矿石的嵌布粒度主要集中在 0.125~0.5 mm。

砂岩的莫氏硬度一般为 6.5~7 级,主要是因胶结物的不同而不同,由二氧化硅胶结的砂岩就非常坚硬,由石膏胶结的砂岩就较松软。对砂岩的质量要求是 SiO₂ 含量应在 98% 以上,Fe₂O₃ 含量不应大于 0.15%。通常砂岩开采加工过程复杂且成本较高,粉碎加工合格后的砂岩粉料称为砂岩粉。

(4) 石英砂 石英砂是一种矿产品的名称,包括海相沉积砂、风积砂、河湖相沉积砂等品种。玻璃石英砂矿是指脉石英、石英岩和石英砂岩等硅质岩石在自然界长期受地质作用或风化作用而形成的一种以石英为主要矿物成分、不需要经过破碎粉碎加工处理粒度就能基本符合玻璃工业要求的天然砂状矿物原料。通常自然风化形成的石英砂其粒度组成以 0.1~0.5 mm 的中细砂为主,其含量大于 90%。质地纯净的石英砂为白色,一般石英砂因形成方式不同(例如海相沉积砂、河湖相沉积砂)、产地不同(例如福建东山和海南文昌海相沉积砂、内蒙古通辽风积



砂、江西永修松峰河湖相沉积砂)所含有的铁氧化物和有机物质多少不同,故多呈现出浅灰色、黄色或红褐色。矿石的矿物成分以石英为主,伴生矿物有各类长石、石榴子石、电气石、透辉石、角闪石、黄玉、绿帘石、钛铁矿等,以及云母和粘土矿物等。

国内典型的天然石英砂原矿成分如表 1.1.2。

表 1.1.2 国内典型天然石英砂原矿成分

形成方式	产 地	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	粒度(mm)
海相沉积砂	福建东山	97.36	1.38	0.147	0.1~0.5 ≥90%
海相沉积砂	海南文昌龙马	97.31~97.61	0.676~1.168	0.124~0.147	0.1~0.5 ≥90%
风积砂	内蒙古通辽	89.11	5.55	0.36	0.1~0.5 ≥90%
河湖相沉积砂	江西永修松峰	93.77	3.05	0.16	0.1~0.5 ≥70%

优质石英砂 SiO₂ 含量应在 99.0% 以上,仅含有很少量的 Al₂O₃、Na₂O、K₂O、CaO、MgO、Fe₂O₃、TiO₂ 等杂质。其杂质中的 Al₂O₃、Na₂O、K₂O、CaO、MgO 是平板玻璃中的组成氧化物,属于无害杂质,特别是 Na₂O 和 K₂O 还可以代替一部分价格较贵的纯碱,但是它们的含量应该稳定。

普通石英砂 SiO₂ 含量应在 93.0% 以上,其余物质为粘土、长石、白云石、海绿石等轻质矿物和磁铁矿、钛铁矿、铬铁矿、赤铁矿、褐铁矿、金红石、硅线石、蓝晶石、黑云母、锆石等重矿物,也常含有氧化铁、有机物和锰、镍、铜、锌等金属化合物的包膜,其中含铁矿物如磁铁矿、钛铁矿、铬铁矿、赤铁矿、褐铁矿是有害组分,尤其以铬铁矿的危害最大,它含有 Cr₂O₃,是一种着色能力比氧化铁强的着色剂,使玻璃着成绿色,在熔融玻璃时带来不良影响,造成熔化、澄清困难,降低玻璃的透明度、透紫外线性能、透热性和机械强度。钛铁矿中的 TiO₂ 使玻璃着成黄色,它和氧化铁同时存在时使玻璃着成黄褐色。此外,蓝晶石、硅线石和金红石等熔点高、粘度大、难以熔化和均化,在玻璃中会形成条纹和结石。所以,在制造无色平板玻璃时,对这些氧化物的含量应加以控制。

1.1.1.3 硅质原料的基本要求

可供普通平板玻璃生产选用的硅质原料成分应符合下列指标,否则带入的杂质就较高:

SiO₂ ≥ 98.00%; Fe₂O₃ ≤ 0.15%; Al₂O₃ ≤ 1.0%。

对于生产优质平板(浮法)玻璃的硅质原料其化学成分应达到下列指标:

SiO₂ ≥ 98.50%; Fe₂O₃ ≤ 0.06%; Al₂O₃ ≤ 0.5%; TiO₂ ≤ 0.05%。

对于生产超白平板(浮法、压延)玻璃的硅质原料其化学成分应达到下列指标:

SiO₂ ≥ 99.50%; Fe₂O₃ ≤ 50 ppm(0.005%); Al₂O₃ ≤ 0.2%; TiO₂ ≤ 0.0005%。