

浮法玻璃生产操作丛书

# 浮法玻璃 原料生产操作

FUFA BOLU YUANLIAO SHENGCHAN CAOZUO

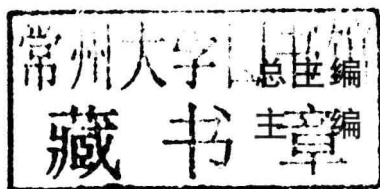
总主编◎韩建军

主编 胡开文

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

浮法玻璃生产操作丛书·第一册

# 浮法玻璃原料生产操作



韩建军  
胡开文

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

浮法玻璃原料生产操作/胡开文主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2014.3

(浮法玻璃生产操作丛书)

ISBN 978-7-5629-4368-6

I. ①浮… II. ①胡 … III. ①浮法玻璃-原料-生产工艺  
IV. ①TQ171.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 016925 号

项目负责人:王兆国

责任编辑:李兰英

责任校对:王兆国

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

经销:各地新华书店

印刷:武汉兴和彩色印务有限公司

开本:880×1230 1/32

印张:5.375

字数:140千字

版次:2014年3月第1版

印次:2014年3月第1次印刷

印数:1—3000册

定价:19.00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—87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

# 浮法玻璃生产操作丛书

## 编审委员会

名誉主编 程金树 赵修建 吕在国

丛书总主编 韩建军

丛书总副主编 徐麟 刘超 谢俊 吕鑫

丛书总编委(按姓氏笔画排列):

王道德 王 静 田培静 刘新生 孙宜华

汤李纓 阮 健 何 峰 张 成 张明德

张金奎 李 平 李 宏 陆 平 周学东

郑 滔 金文国 胡开文 胡魁亮 贺建华

谈小平 高贤安 陶海征 黄俊波 黄玲林

## 前 言

玻璃是现代社会生活中不可缺少的材料。平板玻璃工业是我国建材工业的重要组成部分。目前,我国有 300 多条浮法玻璃生产线。近年来,行业结构调整、资源整合以及生产工艺技术的自主创新等举措初见成效,促进了我国浮法玻璃工业产值增长和节能减排等目标的实现。但纵观整个行业的发展现状,我国浮法玻璃对生产一线岗位操作进行规范、培训指导等方面的理论总结还相对滞后,在原料选择、燃料使用、设计规范、生产操作、质量控制、问题处理等方面存在参差不齐的现象。为了推动玻璃生产企业规范技术操作与可持续发展,硅酸盐建筑材料国家重点实验室(武汉理工大学)、绿色建筑材料及制造教育部工程研究中心(武汉理工大学)、湖北省玻璃工业工程技术研究中心(湖北三峡新型建材股份有限公司)、河北省沙河玻璃技术研究院、三峡大学、上海睿信玻璃技术装备工程有限公司、上海和利玻璃技术有限公司等院校及浮法玻璃相关企业,共同编著了这套《浮法玻璃生产操作丛书》。

本丛书共分六册,第一册《浮法玻璃原料生产操作》,第二册《浮法玻璃熔化生产操作》,第三册《浮法玻璃成形生产操作》,第四册《浮法玻璃退火生产操作》,第五册《浮法玻璃冷端生产操作》,第六册《燃料与燃烧生产操作》。丛书全面介绍了浮法玻璃生产各工段使用设备概况、基本工艺计算、正常生产操作、事故处理操作、质量缺陷判断与处理措施等专业操作知识,符合现代浮法玻璃生产的实际情况。

丛书由韩建军任总主编,徐麟、刘超、谢俊、吕鑫任副总主编,胡开文为第一分册主编,谢俊为第二分册主编,吕鑫为第三分册主

编,刘超为第四分册主编,吕在国为第五分册主编,陆平为第六分册主编。

丛书第一分册的第1章由胡开文、谢俊编写,第2章由张金奎、胡开文编写,第3章由徐麟、吕鑫编写,第4章由汤李樱、王静编写,第5章由李平、吕鑫编写,第6章由胡开文、刘新生编写,第7章由王道德、郑滔编写,第8章由刘新生、韩建军编写,第9章由刘超、孙宜华编写,第10章由周学东、黄玲林编写。

第二分册的第1章由程金树、谢俊编写,第2章由何峰、胡开文编写,第3章由李宏、田培静编写,第4章由吕鑫、张成编写,第5章由黄俊波、刘超编写,第6章由吕在国、韩建军编写,第7章由徐麟、陆平编写,第8章由张金奎、刘超编写,第9章由刘超、黄玲林编写。

第三分册的第1章由张明德、吕鑫编写,第2章由吕在国、何峰编写,第3章由谢俊、王静编写,第4章由田培静、王静编写,第5章由黄俊波、胡开文编写,第6章由吕鑫、汤李樱编写,第7章由刘新生、韩建军编写,第8章由周学东、黄玲林编写。

第四分册的第1章由高贤安、陆平编写,第2章由吕在国、刘超编写,第3章由谈小平、陶海征编写,第4章由韩建军、谢俊编写,第5章由刘超、黄玲林编写。

第五分册的第1章由吕在国、周学东编写,第2章由郑滔、陶海征编写,第3章由郑滔、陆平编写,第4章由胡魁亮、周学东编写,第5章由吕鑫、阮健编写,第6章由金文国、周学东编写,第7章由阮健、胡开文编写,第8章由刘超、黄玲林编写。

第六分册的第1章由徐麟、田培静编写,第2章由吕在国、王静编写,第3章由陆平、阮健编写,第4章由汤李樱、李宏编写,第5章由何峰、陶海征编写,第6章由孙宜华、吕鑫编写,第7章由吕在国、何峰编写,第8章由谢俊、吕鑫编写,第9章由贺建华、田培静编写,第10章由陆平、吕鑫编写,第11章由汤李樱、胡开文编写,第12章由贺建华、刘超编写,第13章由周学东、黄玲林编写。

丛书由韩建军、吕在国、谢俊、刘超、吕鑫、陆平、胡开文审校定稿。

丛书在内容编排上,遵循“理论上够用,指导生产中实用”、“注重岗位、遵循行业标准”的原则,力求突出浮法玻璃生产的实践性、实用性和职业性,同时兼顾内容的理论性和实时性;书中有大量的图表,适合从事浮法玻璃生产的管理人员、技术人员、主要岗位操作人员阅读,本丛书也可作为玻璃工程人员的技术参考、岗前培训用书。

丛书中所介绍的生产技术操作知识大多来源于实际生产经验、业界知名专家的著作,以及所有编委的实践经历。笔者希望浮法玻璃生产线从设计投产之初就建立起规范统一的良好操作习惯,使企业在投产后的生产操作和管理过程中少走弯路,尽早步入正轨,并试图使企业员工在学习本书后能独立进行岗位操作。但需要声明的是,即使是在生产上 and 实践中多属有效的操作,因部分内容出现的年代较早、生产线装备差异、玻璃成分变化以及各企业的操作方法略有不同等多方面的因素,不一定能符合所有企业的实际情况。为此,望读者根据企业自身工艺装备特点和实际操作方法进行补充和完善。

虽然我们有多从事无机非金属材料,特别是玻璃材料的教学、科研与生产方面的理论成果和生产实践,但是由于水平有限,丛书中错误及疏漏之处在所难免,敬请读者及各界同仁批评指正。

在丛书资料多年收集整理过程中,承蒙各位专家、学者和企业家们提供的宝贵帮助,使得丛书能顺利出版,在此深表谢意!

编 者

2013年12月30日

# 目 录

<b>第一章 浮法玻璃成分</b> .....	(1)
一、玻璃的通性 .....	(1)
二、浮法玻璃化学成分 .....	(3)
三、浮法玻璃组成特性 .....	(5)
四、玻璃组分中各氧化物的作用 .....	(9)
<b>第二章 玻璃生产原料与质量控制参数</b> .....	(12)
一、主要原料.....	(12)
二、辅助原料.....	(17)
三、原料质量控制参数.....	(22)
四、我国现行的玻璃原料国家和行业标准.....	(29)
五、碎玻璃管理及使用.....	(30)
六、原料粉尘.....	(33)
七、现代玻璃生产对原料的要求.....	(34)
<b>第三章 原料加工工艺过程</b> .....	(37)
一、原料加工系统.....	(37)
二、加工工艺流程.....	(37)
三、原料上料.....	(39)
四、原料储存.....	(41)
五、原料均化.....	(42)
六、原料粉碎.....	(43)
七、原料筛分.....	(44)
八、原料称量.....	(44)
九、原料混合.....	(47)



---

十、碎玻璃系统	(48)
十一、原料除铁	(49)
<b>第四章 配合料制备</b>	<b>(52)</b>
一、配合料的计算	(52)
二、原料熔成玻璃的耗热量计算	(58)
三、配合料控制系统	(63)
四、配合料混合	(66)
五、配合料输送	(68)
六、混合料质量指标的控制	(71)
七、配合料质量对熔化的影响	(73)
<b>第五章 原料加工设备与操作规程</b>	<b>(80)</b>
一、颚式破碎机	(80)
二、对辊式破碎机	(82)
三、六角筛	(84)
四、电磁振动筛	(85)
五、平面摇筛	(87)
六、皮带输送机	(88)
七、斗式提升机	(90)
八、电磁振动给料机	(91)
九、硅砂均化设备	(93)
十、称量设备	(94)
十一、混合设备	(95)
十二、芒硝、炭粉混合机操作	(98)
十三、粉料仓及辅助设备	(98)
十四、电磁除铁器操作	(100)
<b>第六章 原料制备岗位技术操作规程</b>	<b>(101)</b>
一、原料生产安全管理规范	(101)
二、外检与上料工岗位技术操作规程	(102)

---

三、平面摇筛筛分工岗位技术操作规程 .....	(102)
四、破碎工岗位技术操作规程 .....	(103)
五、筛分工岗位技术操作规程 .....	(105)
六、称量工岗位技术操作规程 .....	(106)
七、混合工岗位技术操作规程 .....	(108)
八、微机配料工岗位技术操作规程 .....	(112)
九、碎玻璃工岗位技术操作规程 .....	(113)
十、碎玻璃称量工岗位技术操作规程 .....	(114)
十一、皮带工岗位技术操作规程 .....	(114)
十二、窑头皮带工岗位技术操作规程 .....	(116)
十三、碎玻璃提升工岗位技术操作规程 .....	(117)
十四、电子秤的校验操作 .....	(117)
十五、原料水分测定与补偿操作规程 .....	(118)
<b>第七章 原料生产事故产生的原因与处理措施</b> .....	<b>(120)</b>
一、进厂原料质量事故 .....	(120)
二、储存倒运事故 .....	(120)
三、原料上料系统事故 .....	(121)
四、粉料仓料流事故 .....	(122)
五、称量系统事故 .....	(124)
六、混合机操作事故 .....	(125)
七、配合料质量事故 .....	(128)
八、原料的均匀性故障 .....	(131)
<b>第八章 原料产生的缺陷与解决措施</b> .....	<b>(132)</b>
一、原料成分不均匀造成的缺陷 .....	(132)
二、粉料粒度大小引起的缺陷 .....	(132)
三、配合料工艺参数不合理及其引起的缺陷 .....	(135)
四、配合料质量引起的缺陷 .....	(137)
五、物料的挥发性与粉尘造成的均匀性故障 .....	(144)

---

<b>第九章 主要职业危害与防治措施</b> .....	(145)
一、原料粉尘 .....	(145)
二、噪声 .....	(146)
三、其他危害 .....	(147)
<b>第十章 国家标准规范主要内容介绍</b> .....	(150)
一、《平板玻璃行业准入条件》.....	(150)
二、《平板玻璃工厂节能设计规范》.....	(150)
三、《平板玻璃单位产品能源消耗限额》.....	(151)
四、《清洁生产标准 平板玻璃行业》.....	(151)
五、《平板玻璃工业大气污染物排放标准》.....	(152)
六、《玻璃工厂工业卫生与安全技术规程》.....	(153)
<b>参考文献</b> .....	(155)

# 第一章 浮法玻璃成分

## 一、玻璃的通性

### 1. 玻璃的定义

按照《辞海》的定义,玻璃是由熔体过冷所得,并因黏度逐渐增大而具有固体机械性质的无定形物体。

### 2. 玻璃的通性

#### (1) 各向同性

玻璃态物质的质点排列是无规则的,但却是统计均匀的。所以,当玻璃中不存在内应力时,其物理化学性质在各方向上都是相同的。但当玻璃中存在应力时,结构均匀性就遭到破坏,玻璃就会显示出各向异性。

#### (2) 介稳性

玻璃由于在冷却过程中黏度急剧增大,质点来不及作形成晶体的有规则排列,系统的内能不是处于最低值,而是处于介稳状态。因此,从热力学的观点看,玻璃态是不稳定的,但从动力学的观点看,它又是稳定的。

#### (3) 无固定熔点

玻璃态物质由固体转变为液体是在一定温度区间(转化温度范围内)进行的,与结晶态物质不同,玻璃态物质没有固定熔点,只有一个软化温度范围。在此范围内,玻璃由黏性体经黏塑性体、黏弹性体逐渐转变成为弹性体。

#### (4) 性质变化的连续性和可逆性

性质变化的连续性是指,在玻璃形成的过程中,由于化学成分可以连续变化,因此玻璃的一些物理性质必然随其所含各氧化物组分的变化而连续变化。性质变化的可逆性是指,玻璃由固体向熔融态变化过程或由熔融态向固体变化过程可以多次进行,而不会伴随新相生成。

### 3. 玻璃结构中阳离子的分类

一般按元素与氧结合的单键能的大小和能否生成玻璃,将氧化物分为网络生成体氧化物、网络外体氧化物和中间体氧化物三大类。

(1) 网络生成体氧化物:主要有  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{GeO}_2$ 、 $\text{As}_2\text{O}_3$  等。

(2) 网络外体(网络调整体)氧化物:它们的主要作用是提供额外的氧离子,从而改变网络,如  $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{BaO}$  等。

(3) 中间体氧化物:一般不能单独生成玻璃,其作用介于网络生成体氧化物和网络外体氧化物之间,如  $\text{BeO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  等。

### 4. 玻璃的主要性质

#### (1) 玻璃表面张力

硅酸盐玻璃的表面张力为  $(200 \sim 380) \times 10^{-3} \text{ N/m}$ 。玻璃的表面张力在玻璃的澄清、均化、成形、玻璃液与耐火材料相互作用等过程中起着重要的作用。

#### (2) 玻璃的理论强度

玻璃的理论强度按照 Orowan 假设计算为  $11.76 \text{ GPa}$ ,表面无严重缺陷的玻璃纤维,其平均强度可达  $686 \text{ MPa}$ 。

① 玻璃的抗张强度一般为  $34.3 \sim 83.3 \text{ MPa}$ 。

② 抗压强度一般为  $1.96 \sim 4.9 \text{ GPa}$ 。

③ 玻璃的抗折强度只有  $6.86 \text{ MPa}$ ,比理论强度小两三个数量级。

### (3)玻璃的密度

普通钠钙硅玻璃的密度为  $2500\sim 2600\text{kg}/\text{m}^3$ 。当温度由  $20^\circ\text{C}$  升高到  $1300^\circ\text{C}$  时,密度下降  $6\%\sim 12\%$ 。

### (4)玻璃的热膨胀系数

玻璃的热膨胀系数可在  $(5.8\sim 150)\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$  范围内变化。

### (5)普通玻璃的电阻率

普通玻璃的电阻率,在常温下一一般为  $10^{11}\sim 10^{12}\ \Omega\cdot\text{m}$ ,而在熔融状态下为  $10^{-3}\sim 10^{-2}\ \Omega\cdot\text{m}$ 。

## 二、浮法玻璃化学成分

### 1. 浮法玻璃对成分的要求

(1)玻璃黏度-温度曲线和表面张力要满足浮法成形和自抛光的需要;同时,料性要短,以适合于高速拉制;

(2)玻璃的析晶上限温度要低于成形温度;

(3)玻璃成形时,不易产生波筋、条纹等缺陷;

(4)玻璃的化学稳定性要好,不易风化(发霉);

(5)玻璃的透明度要高,3mm 玻璃的可见光总透过率为  $87\%$  以上;

(6)玻璃的机械强度要高,热稳定性要好,抗压强度在  $80\text{MPa}$  以上,抗拉强度在  $60\text{MPa}$  以上,在  $90^\circ\text{C}$  左右热稳定性要好。

### 2. 浮法玻璃成分类型

浮法玻璃成分选择  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO-R}_2\text{O}$  (R 为 Na、K 等)系统。该系统成分特点是高钙、低铝、微铁。

(1)微铝型:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为  $0.1\%\sim 0.2\%$ ,以减少波筋,提高玻璃表面质量;

(2)低铝型:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为  $1\%\sim 1.3\%$ ,以减少波筋,保持较好的化学稳定性;

(3)高铝型:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 1.5%~2%, 保持较高的玻璃强度。

### 3. 玻璃组成范围

(1)一般玻璃成分及含量范围

$\text{SiO}_2$ : 71%~73%	$\text{Al}_2\text{O}_3$ : 0.1%~2%
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 0.07%~0.21%	$\text{CaO}$ : 7.7%~11.8%
$\text{MgO}$ : 2.5%~4.0%	$\text{R}_2\text{O}$ : 13.4%~14.6%

其中:  $\text{CaO} + \text{MgO}$  的总含量为 11%~13%,  $\text{CaO}$  与  $\text{MgO}$  含量之比为 1.5~3.0,  $\text{MgO}$  含量不超过 4%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量在 2% 以下。

(2)普通玻璃与浮法玻璃的化学成分含量(表 1-1)

表 1-1 普通玻璃与浮法玻璃的化学成分(%)

化学成分	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{R}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$
普通玻璃	71~73	1.5~2	<0.2	6~6.5	4.5	15	<0.3
浮法玻璃	71.5~72.5	<1.0	<0.1	8~9	4.0	14~14.5	<0.3

### 4. 浮法玻璃化学成分的局部调整

(1)浮法玻璃拉引速度快, 必须采用硬化速度快的“短”性玻璃成分, 即  $\text{CaO}$  含量增加到 8%~9%。但是  $\text{CaO}$  含量增加, 使玻璃发脆并容易产生硅灰石析晶, 因此  $\text{MgO}$  含量宜控制在 4% 左右, 以改善玻璃析晶性能。

(2)为了获得优质的玻璃表面质量, 应将  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的含量降低到 1% 以下, 并注意不能影响玻璃的机械强度、热稳定性。

(3) $\text{Fe}_2\text{O}_3$  是原料中的杂质引入的, 它是一种着色剂, 因此严格限制其含量在 0.1% 以内, 最好在 0.08% 以下, 以使玻璃有良好的透光率。

### 三、浮法玻璃组成特性

“高钙、中镁、低铝、微铁”是浮法玻璃的组成特征。确定了浮法玻璃的组成,须将“温度-黏度”关系通过富尔切尔方程式计算出系列数据,并列出表格以指导生产。因为,黏度不能直接测得,温度却能自动记录,以此可控制玻璃生产的熔化、澄清、摊平、抛光、展薄(或增厚)、冷却和退火等工序。

#### 1. 玻璃组成与特征(表 1-2)

表 1-2 玻璃组成与特征

	英国	美国	日本	西班牙	捷克	法国	俄罗斯	中国
SiO <sub>2</sub> 含量(%)	72.79	72.51	72.50	72.00	72.46	73.07	72.95	72.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量(%)	1.01	1.20	1.60	0.84	0.97	0.10	1.00	1.50
CaO 含量(%)	8.94	8.11	7.70	9.17	8.20	8.91	8.72	8.20
MgO 含量(%)	3.11	3.85	4.00	3.50	3.60	3.95	3.61	4.00
Na <sub>2</sub> O 含量(%)	13.35	14.02	4.00	14.11	14.21	13.61	13.43	14.00
K <sub>2</sub> O 含量(%)	0.50	0.01		0.08	0.25	0.05		
合计	99.70	99.70	89.80	99.70	99.69	99.69	99.71	99.70
<i>B</i>	4559	4655	4706	4524	4593	4632	4638	4668
<i>A</i>	1.7443	1.7911	1.7927	1.7811	1.7650	1.8371	1.7894	1.8082
<i>T</i> <sub>0</sub>	241.8	231.0	227.6	241.6	232.5	233.8	237.4	231.6
<i>t</i> <sub>2</sub> (°C)	1459	1459	1468	1438	1452	1441	1461	1457
<i>t</i> <sub>3,6</sub> (°C)	1095	1094	1100	1082	1089	1086	1098	1086
<i>t</i> <sub>3,7</sub> (°C)	1079	1079	1084	1067	1073	1070	1082	1079
<i>t</i> <sub>3,9</sub> (°C)	1050	1049	1054	1038	1043	1041	1053	1049



续表 1-2

	英国	美国	日本	西班牙	捷克	法国	俄罗斯	中国
$t_{4.2}$ (°C)	1009	1008	1013	998	1002	1001	1012	1009
$t_{4.7}$ (°C)	949	948	952	940	943	942	952	949
$t_{5.5}$ (°C)	871	869	873	863	865	865	874	870
$t_{5.9}$ (°C)	838	836	839	831	832	832	841	837
$t_6$ (°C)	830	828	831	823	824	825	833	829
$t_{7.65}$ (°C)	727	724	726	721	720	722	729	725
$t_{10.1}$ (°C)	627	622	623	622	620	622	627	624
$t_{10.5}$ (°C)	614	610	610	610	607	609	615	611
$t_{11}$ (°C)	600	595	596	596	592	595	600	596
$t_{13}$ (°C)	551	546	546	548	546	545	551	547
$t_{3.7\sim4.2}$ (°C)	70	71	71	69	71	69	70	70
$t_{4.7\sim5.5}$ (°C)	78	79	79	77	78	77	78	79
$t_{4.2\sim7.65}$ (°C)	282	284	287	277	282	279	283	284
$t_{7.65\sim13}$ (°C)	176	178	180	173	174	177	178	178
$t_{1.3,6}$ (°C)	983	969	962	987	970	982	979	970
$t_{0.1,1}$ (°C)	1018	993	989	1016	983	1007	1017	1005

## 2. 玻璃组成特征点说明

$B$ 、 $A$ 、 $T_0$ ——富尔切尔方程式中，由玻璃组成求得的三个特性常数；

$t_2$ ——黏度为  $10\text{Pa}\cdot\text{s}$  时的相应熔化温度；

$t_{3.6}$ ——玻璃液与锡液开始接触的温度；

$t_{5.5}$ ——纵向拉薄的最佳温度；

$t_{5.9}$ ——横向拉薄的最佳温度；