

# 平板玻璃深加工学

---

朱雷波 主编

GLASS PROCESSING

WUHAN  
UNIVERSITY  
OF  
TECHNOLOGY  
PRESS

武汉理工大学出版社

# 平板玻璃深加工学

主 编 朱雷波  
参 编 张战营 刘 缙 胡 炜  
林鸿宾 王克强 孙海英  
郭 卫 杨真理 郭 明

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

平板玻璃深加工学/朱雷波主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2002.9  
ISBN 7-5629-1866-X

I. 建…

II. 朱…

III. 平板玻璃-深加工-工艺学

IV. TQ·180

武汉理工大学出版社出版发行  
(武汉市珞狮路122号 邮政编码 430070)  
各地新华书店经销  
武汉第二印刷厂印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:24.25 字数:602千字  
2002年9月第1版 2002年9月第1次印刷  
印数:1—2000册 定价:55.00元

## 序

步入 21 世纪,平板玻璃深加工企业如雨后春笋发展极快,迄今为止,全国已有平板玻璃深加工企业上千家,平板玻璃深加工产品的比例达到了平板玻璃产量的 16%。但是,在国外,发达国家平板玻璃深加工产品比例已超过 60%。相比之下,我国深加工产品的比例较低、品种较少,还不能满足飞速发展的建筑业、交通运输业等行业的要求。近年来我国各地逐步颁布实施“建筑用安全玻璃的规定”等法规,必将促进加工玻璃行业的迅猛发展。

我对朱雷波同志有很多的了解,他 80 年代大学毕业后到洛玻集团公司工作,在这个大家庭里,从一个技术员成长为洛玻的高级经理。在洛玻主抓了中国洛阳浮法第二代提高型浮法线——洛玻浮法一线 600 吨全面技术改造和中国中西部最大的加工玻璃基地建设;担任了中国硅酸盐学会玻璃专业委员会的副理事长,中国建筑玻璃与工业玻璃协会镀膜专业委员会的主任,国家玻璃标准技术委员会等社会职务;他先后二十余次出访了美国、英国、日本、芬兰、德国、意大利、比利时等国,参加技术交流、设备考察、合资谈判、设计联络、技术培训和展览等活动,因此,对国内外加工玻璃工业的发展状况和科学趋势有比较深入的了解。此间,又先后进修了中国人民大学、同济大学的硕士、博士课程。在长期的学习、工作实践中积累了多方面的经验。为满足我国玻璃深加工生产的需要,针对我国玻璃深加工行业缺乏系统的理论指导的现状,朱雷波博士在他多年从事加工玻璃科研、生产、组织和管理的的基础上,组织编写了《平板玻璃深加工学》一书,深入浅出地介绍了平板玻璃深加工领域的进展和主要成就,特别是作者结合实例兼收并蓄各家之见和所长,详细介绍了各种深加工产品的生产系统知识,使读者能更多和更容易地理解平板玻璃深加工的过程和原理,对建筑平板玻璃深加工行业的发展必将起到积极的推动作用。

本书的出版无疑将对从事玻璃工业的科研、设计、教学,加工玻璃研制和生产的科技人员以及学习本专业的高校学生带来裨益。

中国建材工业协会会长



2002 年 8 月

## 前 言

自腓尼斯基商人在地中海靠拢贝卢斯(Belus)河附近沙滩上采用钠脱龙(Natron)架锅偶然生成玻璃至今,已有五千年的历史了。随着近代大规模机制玻璃工业的发展,人们越来越认识到由于玻璃所具有的特殊的透光、化学稳定、装饰性能等,它已成为人们生活中必需的和不可替代的材料。近十年来,玻璃科学的研究领域已集中在信息、能源、生态环境、交通、航天、建筑等几个大的领域。据统计,建筑行业是使用玻璃的第一大户,普通平板玻璃又是建筑物能量损失的主要源头(建筑物中平均有56%的能源是由玻璃门窗损失掉的)。在能源日益紧张和人们对建筑玻璃新功能提出更高要求的今天,我们必须加强对建筑玻璃深加工产品的研究、开发、生产和使用。

在新的形势面前,为了面向21世纪,使广大的科研、生产、使用者都能够充分了解建筑玻璃深加工产品性能、生产工艺、检测手段、使用方法,我们在现有的国内外有关建筑玻璃深加工方面的专著、教材、讲义、专利、文献、标准和最大的平板玻璃生产和加工企业——中国洛阳浮法玻璃集团公司40多年所取得经验的基础上,编写了这本《平板玻璃深加工学》,以飨读者。

本书由朱雷波主编,张战营、刘缙、胡炜、林鸿宾、王克强、孙海英、郭卫、杨真理、郭明参加编写。本书作者是改革开放后从国内著名大学毕业的青年才俊,他们有着扎实的理论功底和在科研、教学、生产、销售一线近20余年的工作经验,而特别可贵的是他们都有一颗为中国平板玻璃加工事业孜孜不倦、顽强拼搏的进取心。

本书编写过程中,想尽可能做到既讲玻璃加工基础,又联系生产实际,如果能为从事玻璃深加工方面研究、开发设计、生产、施工、管理、监理经营的广大同仁提供一些帮助,作者将感到十分欣慰。

本书在编写过程中得到中国建材工业协会、中国洛阳浮法玻璃集团有限责任公司、同济大学、华东理工大学、武汉理工大学、中国凯胜玻璃集团有限责任公司的支持和协助,得到了张人为、郭晓寰、戴志良、董延庆、王新友、王培铭、马福定、童树庭、华南珍、孙承绪、朱华统等许多著名专家学者的指导和帮助,在此向他们表示感谢。

作 者

2002年5月

## 引领玻璃加工新主流 创造时代卓越品质

中国洛阳浮法玻璃集团有限责任公司作为中国玻璃生产的功勋企业,以其雄厚的综合实力,代表了中国玻璃工业的发展方向和水平,是中国最大的综合性浮法玻璃生产企业,是世界三大浮法玻璃之一的“洛阳浮法玻璃工艺”诞生地。公司现拥有总资产 34 亿元人民币,可控资产 49 亿元人民币,由其发起创立的洛阳浮法玻璃股份有限公司,先后在香港和上海上市。

洛玻集团加工玻璃有限公司是由中国洛阳浮法玻璃集团有限公司和洛阳玻璃股份有限公司于 1998 年 7 月经过资产重组创立,所属七家全资和控股子公司,资产总额 5.8 亿人民币。公司引进国际先进设备,现拥有六条玻璃预处理生产线、四条钢化玻璃生产线、两条夹层玻璃生产线、两条镀膜玻璃生产线、两条中空玻璃生产线、一条银镜生产线、八条热弯玻璃生产线以及 BOB 数控玻璃加工中心、LASEM 电脑刻花机、立式打孔机等设备,年综合加工能力 1000 万平方米。公司率先在国内同行业中取得“采用国际标准标志”资格,拥有中国建设部颁发的“一级幕墙施工企业”证书和“甲级专项工程设计”证书,多次荣获国家建设最高奖——鲁班奖。

公司通过了 ISO9000 国际质量体系认证,车用安全玻璃获得国家质量认证、欧洲经济委员会 ECER-43 和美国 DOT 认证,防弹玻璃通过国家公安部安全与警用电子产品质量检测中心的检测,中空玻璃、镀膜玻璃和银镜玻璃均通过国家玻璃检测中心的检测。

**中国洛阳浮法玻璃集团加工玻璃有限公司**

地址:河南省洛阳市高新技术主业开发区卓飞路

电话:(86)0379-4333058

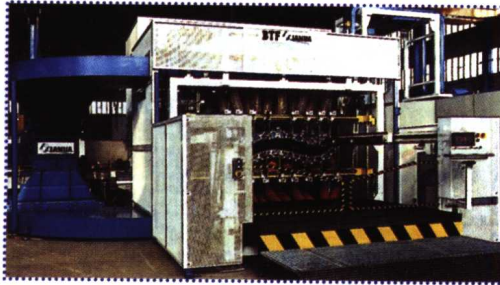
传真:(86)0379-4333056

邮编:471003

网址:<http://www.clfg.com.cn>

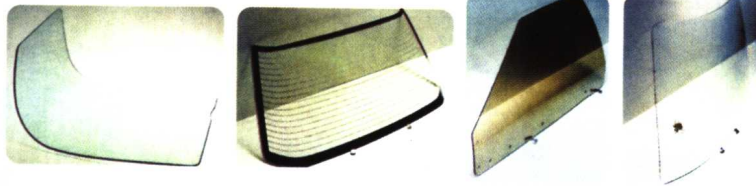
E-mail:Lglass@public2.lytt.ha.cn

## BTF型汽车玻璃弯钢化炉



- COMPLEX SHAPES
- DEEP BENT GLASSES
- HIGHEST OPTICAL QUALITY

ALL THIS BY  
PATENTED  
AIR SUPPORT  
FINAL HEATING



## HTM型建设玻璃水平钢化炉



- EXCELLENT FOR LOW-E AND COATED
- TOP QUALITY
- HIGHEST YIELDS
- 25/30% HIGHER CAPACITY

## 边到边丝网印刷设备



- EDGE TO EDGE SYSTEM
- OPTICAL SCREEN POSITIONING

- 2500mmX2500mm.  
OR 3210mmX6000mm.
- MAX THICKNESS 65mm.

## 全套夹层玻璃生产线



同时，意大利燕华公司已与顺德卓大玻璃机械有限公司联手合作，将切割机加技术转让给顺德卓大玻璃机械有限公司，如有意向购买切割机，敬请联系顺德卓大玻璃机械有限公司，联系方式如下：

公司：卓大玻璃机械有限公司  
电话：86-765-3833207  
传真：86-765-3313082  
地址：广东省 顺德市 陈村镇 佛陈大道 大都工业区内

意大利燕华公司中国总代理：

公司：深圳市高士添实业发展有限公司  
电话：86-755-26600515 / 26905574  
传真：86-755-26605835  
地址：广东省 深圳市 华侨城 海景花园 海虹阁 19F

# 目 录

<b>1 玻璃的结构与组成</b> .....	(1)
1.1 玻璃的定义与通性 .....	(1)
1.1.1 玻璃的定义 .....	(1)
1.1.2 玻璃的通性 .....	(1)
1.2 玻璃的转变 .....	(2)
1.3 平板玻璃结构 .....	(2)
1.3.1 硅酸盐玻璃的结构 .....	(2)
1.3.2 玻璃的结构因素 .....	(3)
1.3.3 几种典型的玻璃结构 .....	(4)
1.4 玻璃结构中阳离子的分类及其氧化物在玻璃中的作用 .....	(5)
1.4.1 玻璃结构中阳离子的分类 .....	(5)
1.4.2 各种氧化物在玻璃中的作用 .....	(5)
1.5 平板玻璃的组成 .....	(7)
<b>2 平板玻璃的物理性能</b> .....	(8)
2.1 玻璃的性质 .....	(8)
2.1.1 玻璃的粘度 .....	(8)
2.1.2 玻璃的表面张力和密度 .....	(10)
2.1.3 玻璃的力学性能 .....	(12)
2.1.4 玻璃的热学性能 .....	(15)
2.1.5 玻璃的化学稳定性 .....	(16)
2.1.6 玻璃的光学性质 .....	(18)
<b>3 平板玻璃的生产</b> .....	(22)
3.1 平板玻璃生产原料 .....	(22)
3.1.1 浮法玻璃的化学成分 .....	(22)
3.2 原料的质量要求 .....	(23)
3.2.1 平板玻璃对原料化学组成的要求 .....	(23)
3.2.2 浮法玻璃对原料粒度组成的要求 .....	(25)
3.2.3 平板玻璃对原料中难熔矿物含量的要求 .....	(27)
3.3 平板玻璃的生产方法 .....	(28)
3.3.1 浮法玻璃生产 .....	(28)
3.3.2 平拉玻璃生产 .....	(29)
3.3.3 引上玻璃生产 .....	(29)
3.3.4 压延玻璃生产方法 .....	(30)
<b>4 玻璃体的缺陷</b> .....	(31)
4.1 概述 .....	(31)



4.2	气泡(气体夹杂物).....	(31)
4.2.1	一次气泡(配合料残留气泡).....	(31)
4.2.2	二次气泡.....	(32)
4.2.3	耐火材料气泡.....	(33)
4.2.4	金属铁引起的气泡.....	(34)
4.2.5	气泡的检验.....	(34)
4.3	析晶与结石(固体夹杂物).....	(34)
4.3.1	配合料结石.....	(35)
4.3.2	耐火材料结石.....	(35)
4.3.3	析晶结石.....	(37)
4.3.4	硫酸盐夹杂物(碱性夹杂物).....	(38)
4.3.5	黑色夹杂物“黑斑”与污染物.....	(39)
4.3.6	结石的检验.....	(39)
4.4	条纹和节瘤(玻璃态夹杂物).....	(41)
4.4.1	熔制不均匀引起的条纹和节瘤.....	(42)
4.4.2	窑膛玻璃滴引起的条纹和节瘤.....	(42)
4.4.3	耐火材料被侵蚀引起的条纹和节瘤.....	(42)
4.4.4	结石熔化引起的条纹和节瘤.....	(43)
4.4.5	表面张力对消除条纹的作用.....	(43)
4.4.6	条纹和节瘤的检验.....	(43)
4.5	光学变形(锡斑).....	(44)
4.6	划伤(磨伤).....	(45)
5	平板玻璃加工前处理.....	(46)
5.1	研磨抛光.....	(46)
5.1.1	机械研磨与抛光.....	(46)
5.1.2	酸抛光.....	(51)
5.1.3	化学抛光.....	(53)
5.1.4	蚀刻.....	(53)
5.2	玻璃的装片及卸片.....	(54)
5.2.1	吊车-真空吸盘组合装置.....	(54)
5.2.2	自动装片机.....	(55)
5.2.3	行走式自动装片机.....	(56)
5.3	切割.....	(57)
5.3.1	机械切割.....	(57)
5.3.2	火焰切割.....	(58)
5.3.3	自动切割机.....	(59)
5.3.4	水平式夹层玻璃自动切割机.....	(60)
5.4	喷砂.....	(60)
5.5	钻孔.....	(61)

5.5.1	常用的钻孔方法	(61)
5.5.2	玻璃钻孔机	(62)
5.6	磨边	(63)
5.6.1	直线立式磨边机	(63)
5.6.2	水平式磨边机	(64)
5.7	清洗	(67)
5.7.1	玻璃表面清洁度的检验	(67)
5.7.2	清洗方法	(68)
5.7.3	清洁表面的保持	(70)
5.7.4	玻璃洗涤设备	(70)
5.8	玻璃加工前处理	(72)
5.8.1	切割上下片操作规程	(72)
5.8.2	磨边机操作规程	(73)
<b>6</b>	<b>玻璃的热弯和钢化</b>	<b>(74)</b>
6.1	热弯	(74)
6.1.1	概述	(74)
6.1.2	热弯玻璃的设备	(74)
6.2	玻璃的物理钢化	(76)
6.2.1	钢化玻璃发展综述	(76)
6.2.2	钢化玻璃的性能	(77)
6.2.3	钢化玻璃的钢化原理	(78)
6.2.4	炉温的确定	(80)
6.2.5	影响钢化的工艺因素	(83)
6.2.6	各种钢化技术	(86)
6.3	玻璃的物理钢化的生产工艺及设备	(87)
6.3.1	物理钢化法的生产工艺	(87)
6.3.2	物理钢化法生产线的种类及其设备	(90)
6.4	化学钢化	(100)
6.4.1	化学钢化的分类	(100)
6.4.2	离子交换化学钢化法	(100)
6.4.3	物理钢化与离子交换钢化的比较	(106)
6.5	芬兰 TAMGLASS 公司 HTBS 电护作业指导书	(106)
6.5.1	电炉升温程序	(106)
6.5.2	正常生产程序	(107)
6.5.3	弯钢化玻璃的生产	(107)
6.5.4	平钢化玻璃的生产	(108)
6.5.5	紧急情况处理	(108)
<b>7</b>	<b>玻璃的镀膜</b>	<b>(109)</b>
7.1	气凝胶法	(109)

7.1.1	化学沉积法(化学气相沉积法)	(109)
7.1.2	化学沉积法的生产工艺设备	(110)
7.1.3	产品理化性能	(110)
7.1.4	化学沉积法的优点及前景	(111)
7.2	溶胶-凝胶法	(111)
7.2.1	凝胶浸镀法的原理及膜型	(111)
7.2.2	凝胶浸镀法的生产工艺流程	(112)
7.2.3	浸镀溶液	(113)
7.2.4	产品品种和性能	(114)
7.2.5	凝胶浸镀法的优缺点	(117)
7.3	蒸发法	(117)
7.3.1	真空蒸镀法	(117)
7.3.2	真空蒸镀法的工艺流程	(117)
7.3.3	真空蒸镀法的生产工艺	(118)
7.3.4	真空蒸发镀膜玻璃的品种	(127)
7.3.5	真空玻璃镀膜机(制镜镀膜机)	(128)
7.4	阴极溅射法	(131)
7.4.1	概述	(131)
7.4.2	真空的基本原理	(132)
7.4.3	溅射工艺	(133)
7.4.4	磁控溅射原理及溅射法制备薄膜的特点	(135)
7.4.5	膜层的性能参数	(138)
7.4.6	阴极磁控溅射法的生产方式	(145)
7.4.7	磁控溅射镀膜玻璃的品种及性能	(147)
7.4.8	磁控溅射玻璃镀膜机	(161)
7.4.9	生产镀膜玻璃需注意的工艺事项	(170)
7.5	在线镀膜与离子喷镀	(171)
7.5.1	喷涂法原理	(171)
7.5.2	喷液法	(171)
7.5.3	喷粉法	(171)
7.5.4	喷涂法的工艺流程及装备	(172)
7.5.5	喷粉法镀膜玻璃的性能	(173)
7.5.6	离子镀膜法	(173)
7.6	制镜	(173)
7.6.1	化学镀银镜的原理	(173)
7.6.2	化学镀银镜的生产工艺流程	(174)
7.6.3	镀银镜的生产设备	(174)
7.6.4	镀镜用的原材料	(178)
7.7	镀膜玻璃、玻璃镜原材料及公共工程的要求	(178)

7.7.1	玻璃	(178)
7.7.2	靶材	(178)
7.7.3	电源	(179)
7.7.4	车间环境	(179)
7.8	镀膜玻璃操作堆积	(180)
7.8.1	更换靶材操作规程	(180)
7.8.2	靶材操作规程	(182)
7.8.3	调试作业指导书	(182)
7.8.4	上片作指导书	(183)
7.8.5	下片作业指导书	(184)
7.8.6	工艺操作指导书	(184)
<b>8</b>	<b>夹层玻璃</b>	<b>(185)</b>
8.1	夹层玻璃的生产概况	(185)
8.2	夹层玻璃的生产技术	(185)
8.2.1	原材料	(185)
8.2.2	夹层玻璃的生产	(186)
8.2.3	夹层玻璃的质量特性	(189)
8.3	夹层玻璃的生产动态	(189)
8.3.1	减薄的夹层玻璃	(189)
8.3.2	遮阳的隔热夹层玻璃	(190)
8.3.3	电热夹层玻璃	(191)
8.3.4	装有无线电天线的夹层玻璃	(191)
8.3.5	夹层玻璃膜片及贴膜玻璃膜片的开发	(191)
8.4	夹层玻璃生产设备介绍	(192)
8.4.1	连续 SU-2/3 型连续玻璃热弯炉	(192)
8.4.2	LK-2 型夹层玻璃制造机	(192)
8.4.3	IK-1 型真空室	(193)
8.4.4	LPK-1600/25 型玻璃清洗机	(193)
8.4.5	LPK-300/2 型玻璃清洗机	(194)
8.4.6	KPK-1600/1R 型 PVB 夹层洗澡漆机	(194)
8.4.7	KPL-1300 喷粉装置	(195)
8.4.8	EPY-1600/1 型预压机	(195)
8.4.9	XHK-型磨边机	(196)
8.5	贴膜玻璃	(196)
8.6	夹层玻璃操作规程	(201)
8.6.1	合片室操作细则	(201)
8.6.2	夹层合片线及预压线操作法	(201)
8.6.3	压釜操作法	(204)
8.7	夹丝、夹网玻璃	(204)

8.7.1	夹丝、夹网玻璃的分类与技术要求	(204)
8.7.2	夹丝、夹网玻璃的性能	(205)
8.7.3	夹丝、夹网玻璃的用途	(205)
<b>9</b>	<b>中空玻璃</b>	(206)
9.1	中空玻璃发展现状与发展动向	(206)
9.2	中空玻璃生产的工业方法	(207)
9.2.1	工艺方法	(207)
9.2.2	密封材料	(210)
9.2.3	干燥剂	(211)
9.2.4	金属隔框材料	(212)
9.2.5	中空玻璃的新工艺方法	(214)
9.3	中空玻璃的品种与规格	(214)
9.3.1	品种	(214)
9.3.2	规格	(214)
9.4	中空玻璃的主要性能	(217)
9.4.1	主要性能	(217)
9.4.2	提高中空玻璃隔热性能的主要措施	(222)
9.5	中空玻璃的应用	(224)
9.6	中空玻璃的生产设备	(225)
9.6.1	生产设备的主要公司	(225)
9.6.2	生产设备的主要技术性能	(225)
9.7	中空玻璃操作规程	(240)
9.7.1	合片作业指导书	(240)
9.7.2	清洗作业指导书	(241)
9.7.3	压片作业指导书	(242)
9.7.4	锯框作业指导书	(242)
9.7.5	丁基胶涂覆作业指导书	(242)
9.7.6	聚硫胶作业指导书	(242)
9.7.7	上片操作规程	(243)
9.7.8	下片操作规程	(243)
9.7.9	干燥剂填充操作规程	(244)
<b>10</b>	<b>深加工玻璃的性能</b>	(245)
10.1	节能性	(245)
10.1.1	节能和玻璃的关系	(245)
10.1.2	具有节能的玻璃	(245)
10.1.3	吸热玻璃	(246)
10.1.4	热反射玻璃	(248)
10.1.5	双层中空玻璃	(248)
10.2	安全性	(249)

10.3	装饰性	(250)
10.3.1	透明	(250)
10.3.2	透光	(250)
10.3.3	反射	(250)
10.3.4	多彩	(250)
10.3.5	光亮	(251)
10.4	防紫外线性	(251)
10.5	隔音性	(251)
10.5.1	玻璃的透射损失	(251)
10.5.2	中空玻璃的隔音性能	(252)
<b>11</b>	<b>建筑平板玻璃深加工产品标准及检测方法</b>	<b>(254)</b>
11.1	平板深加工产品标准	(254)
11.1.1	GB/T9963—1998 钢化玻璃(Tempered glass)	(254)
11.1.2	GB11944—1989 中空玻璃(Sealed insulating glass)	(261)
11.1.3	GB17841—1999 幕墙用钢化玻璃与半钢化玻璃(Tempered and heatstrengthened glass used in curtain walls)	(266)
11.1.4	GB11946—2001 船用钢化安全玻璃(Toughened safety glass for ships)	(273)
11.1.5	GB9962—1999 夹层玻璃(Laminated glass)	(280)
11.1.6	GB17840—1999 防弹玻璃(Bullet resistant glazing)	(291)
11.1.7	JC846—1999 贴膜玻璃(Film mounting glass)	(298)
11.1.8	GB15763.1—2001 建筑用安全玻璃-防火玻璃(Safety glazing materials in building-Fire-resistant glass)	(304)
11.1.9	JC/T871—2000 镀银玻璃镜(Silver coated glass mirror)	(312)
11.1.10	热弯玻璃(Heat bent glass)(建材行业标准讨论稿)	(318)
11.2	建筑平板玻璃深加工产品及性能的测试方法	(324)
11.2.1	中空玻璃测试方法(Testing method of insulating glass)	(324)
11.2.2	GB/T198144—2000 玻璃应力测试方法(Test method for measurement of stress in glass)	(330)
11.2.3	CB/T3385—2001 船用舷窗和矩形钢化安全玻璃—非破坏性强度试验—冲压法(Shipbuilding and marine structures—Toughened safety glass panes for rectangular windows and side scuttle—Punch method of Non—destructive strength testing)	(335)
<b>12</b>	<b>平板玻璃深加工产品和技术的发展方向</b>	<b>(343)</b>
12.1	玻璃钢化工艺的新进展	(343)
12.1.1	玻璃的传热特性	(343)
12.1.2	全辐射加热引起的问题	(344)
12.1.3	辐射-对流加热工艺原理	(345)

12.1.4 玻璃水平钢化炉发展近况.....	(346)
12.2 玻璃镀膜工艺的新发展.....	(348)
12.2.1 阳光控制 Low-E .....	(348)
12.2.2 抗反射膜.....	(351)
12.3 中空玻璃与真空玻璃.....	(353)
<b>附录 平板玻璃深加工行业主要词汇的中英文对照.....</b>	<b>(356)</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>(374)</b>

# 1 玻璃的结构与组成

玻璃的物理化学性质不仅决定于其化学组成,而且与其结构有着密切的关系。只有认识玻璃的结构,掌握玻璃成分、结构、性能三者之间的内在联系,才有可能通过改变化学成分、热历史,或利用某些物理的、化学的处理方法,制取符合预定物理化学性能的玻璃材料或制品。

## 1.1 玻璃的定义与通性

### 1.1.1 玻璃的定义

玻璃是非晶态固体的一个分支,按照《辞海》的定义,玻璃由熔体过冷所得,并因粘度逐渐增大而具有固体机械性质的无定形物体。习惯上常称之为“过冷的液体”。

### 1.1.2 玻璃的通性

在自然界中固体物质存在着晶态和非晶态两种状态。所谓非晶态是以不同方法获得的以结构无序为主要特征的固体物质状态。玻璃态是非晶态固体的一种,玻璃中的原子不像晶体那样在空间作远程有序排列,而近似于液体,具有近程有序排列。玻璃像固体一样能保持一定的外形,而不像液体那样在自重作用下流动。玻璃态物质具有下列主要特征。

#### (1) 各向同性

玻璃态物质的质点排列是无规则的,是统计均匀的,所以,玻璃中不存在内应力时,其物理化学性质(如硬度、弹性模量、热膨胀系数、热传导系数、折射率、导电率等)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,玻璃就会显示各向异性,如出现明显的光程差等。

#### (2) 介稳性

所谓玻璃处于介稳状态,是因为玻璃是由熔体急剧冷却而得,由于在冷却过程中粘度急剧增大,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;但尽管玻璃处于较高能态,由于常温下粘度很大,因而实际上不能自发地转化为晶体;只有在一定的外界条件下,即必须克服物质由玻璃态转化为晶态的势垒,才能使玻璃析晶。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。因为它虽具有自发放热转化为内能较低的晶体的倾向,但在常温下,转变为晶态的几率很小,所以说玻璃处于介稳状态。

#### (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,它与结晶态物质不同,没有固定熔点。当物质由熔体向固体转化时,如果是结晶过程,在系统中必有新生成,并且在结晶温度,许多性质等方面发生突变。但是,当物质由熔体向固态玻璃转化时,随着温度的逐渐降低,熔体的粘度逐渐增大,最后形成固态玻璃。此凝固过程是在较宽温度范围



内完成的,始终没有新的晶体生成。从熔体向固态玻璃过渡的温度范围决定于玻璃的化学组成,一般波动在几十到几百度内。因此玻璃没有固定的熔点,而只有一个软化温度范围。在此范围内,玻璃由粘性体经粘塑性体、粘弹性体逐渐转变成为弹性体。这种性质的渐变过程正是玻璃具有良好加工性能的基础。

#### (4) 性质变化的连续性和可逆性

玻璃态物质从熔融状态到固体状态的性质变化过程是连续的和可逆的。所谓连续变化,是由于除能够形成连续固熔体外,二元以上晶体化合物有固定的原子和分子比,因此,它们的性质变化不是连续的。但玻璃则不同,在玻璃形成范围内,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或相反过程可以多次进行,而不会伴随新相生成。

## 1.2 玻璃的转变

玻璃可以看作是介于液体和晶体之间的特殊状态。玻璃从熔融态冷凝转变成固态过程中,结构不断重新组合和调整,冷却速率愈快,冷却后固态玻璃的结构愈接近高温时熔体的结构,组成相同的玻璃根据冷却条件不同而具有相应的结构和性质,这为玻璃的热态加工提供了本质基础。如我们为了得到没有应力的玻璃,可以通过精密退火过程来获得;而要获得具有应力均匀分布的强化玻璃则可以选择钢化过程。

## 1.3 平板玻璃结构

### 1.3.1 硅酸盐玻璃的结构

“玻璃结构”是指离子或原子在空间的几何配置以及它们在玻璃中形成的结构形成体。关于玻璃结构的研究物化了许多玻璃科学工作者的心血和智慧结晶。最早试图解释玻璃本质的是 G. Tamman 的过冷液体假说,认为玻璃是过冷液体,玻璃从熔体凝固为固体的过程仅是一个物理过程,即随着温度的降低,组成玻璃的分子因动能减小而逐渐接近,同时相互作用力也逐渐增加使粘度上升,最后形成堆积紧密的无规则的固体物质。随后有许多人做了大量工作,但最有影响的近代玻璃结构的假说有:晶子学说、无规则网络学说、凝胶学说、五角形对称学说、高分子学说等,其中能够最好地解释玻璃性质的是晶子学说和无规则网络学说。

#### (1) 晶子学说

兰德尔(Randell)于1930年提出了玻璃结构的微晶学说,认为玻璃由微晶与无定形物质两部分组成,微晶具有规则的原子排列并与无定形物质间有明显的界限,微晶尺寸为1.0~1.5nm,含量为80%以下,微晶取向无序。列别捷夫在研究光学玻璃退火中发现,在玻璃折射率随温度变化的曲线上,于520℃附近出现突变,他把这一现象解释为玻璃中的石英“微晶”发生晶形转变所致。他认为玻璃是由无数“晶子”所组成,晶子是具有晶格变形的有序排列区域,分散在无定形介质中,从“晶子”部分到无定形部分是逐步过渡的,两者之间并无明显界线。

#### (2) 无规则网络学说

1932年查哈里阿森(W. M. Zachariasen)提出了无规则网络学说。他借助于离子结晶化