



浮法玻璃生产操作丛书

# 浮法玻璃 退火生产操作

FUFA BOLI TUIHUO SHENGCHAN CAOZUO

总主编◎韩建军

主编 刘超

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

浮法玻璃生产操作丛书·第四册

# 浮法玻璃退火生产操作

总主编 韩建军

主 编 刘 超

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

浮法玻璃退火生产操作/刘超主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2015.3

(浮法玻璃生产操作丛书)

ISBN 978-7-5629-4469-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 246531 号

项目负责人:王兆国

责任编辑:李兰英

责任校对:王思

装帧设计:芳华时代

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:安陆市鼎鑫印务有限责任公司

开本:880×1230 1/32

印张:5.5

字数:147 千字

版次:2015 年 3 月第 1 版

印次:2015 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

丛书副总主编 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 汤李纓 孙宜华

阮 健 刘新生 李 平 陆 平 张 成

李 宏 张金奎 张明德 何 峰 金文国

周学东 郑 滔 胡开文 贺建华 胡魁亮

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,我国有三百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,我国对浮法玻璃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章由汤李纓、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、汤李纓编写,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章由汤李纓、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章由汤李纓、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,即使是在生产上和实践中多属有效的操作,由于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。

虽然我们多年从事无机非金属材料,特别是玻璃材料的教学、科研与生产,并且取得了一些理论成果和积累了生产实践经验,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与整理过程中,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 浮法玻璃退火窑的结构与设计</b> .....	(1)
一、概述 .....	(1)
二、浮法玻璃退火窑结构 .....	(4)
三、浮法玻璃退火窑热工工艺.....	(23)
四、浮法玻璃退火窑的设计与计算.....	(38)
五、浮法玻璃退火窑的安装与验收.....	(53)
六、浮法玻璃退火窑烘烤.....	(59)
七、浮法玻璃退火窑维护与升级改造.....	(63)
八、国内两种进口浮法玻璃退火窑比较.....	(65)
<b>第二章 浮法玻璃退火原理与工艺计算</b> .....	(71)
一、浮法玻璃退火原理.....	(71)
二、浮法玻璃退火工艺制度.....	(74)
三、浮法玻璃的退火热应力.....	(80)
四、浮法玻璃退火工艺计算.....	(90)
五、浮法玻璃的成形方法与退火 .....	(100)
六、新建浮法玻璃退火窑工艺参数的确定 .....	(101)
七、浮法玻璃退火过程中常见工艺问题 .....	(104)
八、退火窑风机的风量和风压对工艺的影响 .....	(106)
<b>第三章 退火工艺的日常工作技术操作</b> .....	(108)
一、岗位交接与安全规程 .....	(108)
二、退火岗位日常操作程序 .....	(109)
三、锡槽引头子时的退火操作 .....	(111)
四、锡槽砸头子时的退火操作 .....	(112)



五、锡槽改品种时的退火操作 .....	(112)
六、退火窑冷却风机操作 .....	(113)
七、退火窑电加热的操作 .....	(115)
八、退火窑主传动的操作 .....	(115)
九、锡槽断板后的退火操作 .....	(117)
十、退火窑停电时的处理 .....	(117)
十一、锡槽发现异物时的退火处理 .....	(117)
十二、退火温度的控制方法 .....	(117)
十三、玻璃边松、边紧的调整操作 .....	(118)
十四、薄玻璃的退火操作 .....	(119)
十五、厚玻璃的退火操作 .....	(120)
十六、退火窑换辊子操作 .....	(121)
十七、玻璃横切时出现白渣的退火操作 .....	(122)
十八、退火窑红外辐射温度计的使用 .....	(123)
十九、退火窑风机变频器的使用与维护 .....	(125)
<b>第四章 退火操作中玻璃缺陷的分析与处理</b> .....	(127)
一、玻璃退火发生的纵向炸裂 .....	(127)
二、玻璃退火发生的横向炸裂 .....	(132)
三、玻璃退火发生的特殊炸裂 .....	(137)
四、玻璃退火发生的凹凸变形 .....	(141)
五、玻璃退火发生的板面翘曲 .....	(143)
六、玻璃退火发生的辊痕压裂 .....	(145)
七、玻璃退火发生的板面弯曲 .....	(146)
八、玻璃退火引起的横掰裂口 .....	(148)
九、玻璃退火发生的玻璃板劈边 .....	(148)
十、玻璃退火不良造成的玻璃切割问题 .....	(150)
<b>第五章 国家标准规范主要内容介绍</b> .....	(155)
一、《平板玻璃行业准入条件》 .....	(155)

---

二、《平板玻璃工厂设计规范》 .....	(155)
三、《平板玻璃工厂节能设计规范》 .....	(156)
四、《玻璃工厂工业卫生与安全技术规程》 .....	(157)
参考文献 .....	(159)

# 第一章 浮法玻璃退火窑的结构与设计

## 一、概 述

退火窑是改善玻璃应力的设备,作用是将玻璃带由拉出锡槽的温度,按照退火工艺要求逐渐冷却到便于切割和搬运的温度。它直接影响到玻璃的成品率及玻璃的后续处理,在玻璃生产中处于重要的地位。玻璃产品的性能指标、生产规模及质量标准决定了退火窑的退火特点,因而,不同玻璃产品的退火窑结构存在一定的差异。现在,浮法玻璃退火窑为适应浮法玻璃的生产有着自己的特点,它能够处理大吨位锡槽拉出的玻璃带,且具有现代化的自动控制技术,生产出的玻璃产品能够适应不同用户对浮法玻璃的质量要求。

### 1. 国际上浮法玻璃退火窑的发展

自从英国皮尔金顿公司发明了浮法工艺生产平板玻璃后,世界上有两大公司的浮法玻璃退火窑被广泛采用,一种是比利时CNUD(克鲁德)公司的冷风工艺浮法玻璃退火窑,另一种是法国STEIN(斯坦因)公司的热风工艺浮法玻璃退火窑。冷风工艺退火窑使用最早,热风工艺退火窑是20世纪70年代末,由法国STEIN公司研制开发出的第一代浮法玻璃退火窑。

浮法玻璃全钢全电结构退火窑壳体,比利时CNUD公司一般分为A0区、A区、B区、C区、D区、RET区、E区和F区,而法国STEIN公司则分为A0区、A区、B区、C区、E区、D区、RET区和F区。虽然在过渡区和重要退火区的叫法不一,但各部分的功能

是一样的。

目前,两家公司在退火窑的热工工艺和装备上愈来愈接近,其区别只在重要退火区,比利时 CNUD 公司采用冷风(室温风)冷却玻璃,而法国 STEIN 公司则采用热风(风温 200~300℃)间接冷却玻璃;而在退火前区和退火后区,两家公司采用的工艺和装备几乎一样,其玻璃退火质量均达到国际一流水平,两家公司的退火窑产品分布世界各地。

## 2. 我国浮法玻璃退火窑的发展

20 世纪 80 年代初期,比利时 CNUD 公司和法国 STEIN 公司的退火窑相继进入我国的玻璃行业,两家公司的退火窑均能满足洛阳浮法工艺的要求。此后,我国通过对其消化吸收,开发出自己的全钢全电浮法玻璃退火窑,并在国内外多条浮法玻璃生产线上安装使用。

### (1) 全电砖结构式退火窑

采用 20 世纪 70 年代国外浮法玻璃退火理论,将退火窑设计成砖结构隧道式,窑内装有电加热器和风冷却器。这种形式的退火窑最大特点是造价较低,但存在密封保温不好、操作不灵活、维修不方便、玻璃板不能太宽等缺点。

### (2) 全钢全电退火窑(传统冷风工艺)

采用 20 世纪 70 年代国外浮法玻璃退火理论,全钢结构,窑内装有电加热器和风冷却器。其特点是造价相对较高,但密封性能好、易操作、易维修。

### (3) 全钢全电退火窑(新型冷风工艺)

20 世纪 80 年代初期,我国自行设计出全钢全电浮法玻璃退火窑,其原理和结构基本上与比利时 CNUD 公司 20 世纪 70 年代末及 80 年代初的退火窑相同,直到 20 世纪 90 年代初期,我国浮法玻璃行业几乎都是使用这种退火窑。

### (4) 全钢全电退火窑(热风工艺)

1996年我国第一台热风工艺全钢全电退火窑投入运行,这台退火窑吸取了法国STEIN公司的工艺特点,兼顾了我国玻璃企业的操作习惯及机械制造行业的条件,其技术性能水平基本接近法国STEIN公司20世纪80年代初的退火窑。

到目前为止,我国浮法玻璃行业全电砖结构退火窑、全钢全电传统冷风工艺退火窑、全钢全电新型冷风工艺退火窑、全钢全电热风工艺退火窑共存,但以全钢全电热风工艺退火窑居多。

### 3. 我国浮法玻璃退火技术存在的问题

从生产实践来看,我国浮法玻璃退火技术领域尚存在一些值得重视的问题:

(1)退火窑设计部门基本上是参照比利时CNUD公司和法国STEIN公司20世纪80年代的工艺技术设计的,并没有完善所有的技术要求。

(2)退火窑制造厂家按设计部门的设计图纸进行制造,质量检验不到位,退火窑运行后才发现许多部位达不到设计技术要求。

(3)退火窑上装配的风机、蝶阀一般都是标准设备选型。在生产运行中,风机压力、风量不足,蝶阀精度不够,影响退火窑内温度的精确调节和稳定。

(4)新投产的退火窑使用一段时间后,会出现电加热元件发热量下降、壳体的散热量增加等现象,影响退火窑热工制度的稳定。

(5)操作人员甚至包括相关技术人员,对退火窑的工作原理、操作方法以及常见问题的处理方法没有完全掌握,难以发挥退火窑的效能。

### 4. 浮法玻璃退火技术的发展方向

从浮法玻璃生产实践来看,因退火窑性能不良而影响生产的情况有两种,一是退火不良影响产品的质量与品种;二是退火窑性能不能满足增加产品品种和产量的需求。解决这两个问题也就是退火技术今后的发展方向。

### (1) 科学的设计

科学、先进、合理的设计是退火窑具备优良性能的前提。应运用最新的玻璃退火理论设计退火窑,除了使退火窑具备正常运转的性能外,还应便于处理生产中各种产品质量问题。

### (2) 科学的制造

应对退火窑的非标设备及标准设备进行科学的制造与选型,以达到设计的要求,确保退火窑性能。

### (3) 科学的运行

科学的运行包括退火窑的安装、调试和操作三个方面。玻璃生产企业的有关人员应直接参与退火窑的安装和调试,熟悉设备的组成及运行原理,便于生产操作和维修。

## 二、浮法玻璃退火窑结构

浮法玻璃退火窑是浮法玻璃生产中的关键热工设备,其作用是根据玻璃板在不同的温度区间内的特点,有控制地进行退火和冷却,将玻璃板的残余应力控制在要求的范围内,并使之冷却至 $70^{\circ}\text{C}$ 左右,以满足切裁、堆垛、搬运、储存、加工、使用等要求。

### 1. 概述

目前,国内外浮法玻璃退火窑主要有两种结构形式,一种是砖结构退火窑,另一种是钢结构退火窑。砖结构退火窑的窑体主要是由耐火砖砌筑而成,窑内设置加热和冷却装置,在施工现场砌筑安装。钢结构退火窑的窑体主要是由内外两层金属壳体构成,中间填充保温棉,这种退火窑一般在机械厂制造,在施工现场安装就位。为便于运输和吊装,整个退火窑分成若干节,每节长 $3\text{m}$ 左右。钢结构退火窑由于密封性能好,操作简单且容易控制,已经逐渐取代砖结构退火窑。

目前,全钢结构退火窑(由 CNUD 公司生产)一般分为 5 个

区,从前到后分别是 A 区、B 区、C 区、RET 区和 F 区;根据产量的不同,还可将各区再分成几个小区,如 B 区可分为 B1 区、B2 区等, F 区可分为 F1 区、F2 区、F3 区等,RET 区可分为 RET1 区、RET2 区。另外,在 RET 区前后设有过渡段 D 区和 E 区,如图 1.1 所示。

## 2. 钢壳体退火窑的结构

A 区、B 区、C 区为钢壳保温封闭结构,内部设有电加热器和辐射冷却器;RET 区为封闭钢壳结构,内部设有热风循环冷却装置;F 区为敞开式结构,设有强制冷却装置。A 区、B 区内壁及上部热交换器由合金钢(1Cr18Ni9Ti)制作,下部热交换器由合金钢(1Cr17)制作,其余部分由普通钢材制作。

### (1) A0 区结构

A0 区也称喷镀区,长度一般为 2.7~9m。顶部和底部均设置有电加热器;底部辐射冷却器与 A 区相连,上部不设置冷却器,以方便拆卸。该区为生产镀膜玻璃而设计,主要用于安装镀膜设备。生产普通玻璃时,其作用与 A 区相同。

目前,国内外有些生产厂家在该区下部还装有  $\text{SO}_2$  气体进口管,其目的是改善玻璃表面性能和保护高温段的耐热钢辊子表面。

### (2) A 区结构

A 区为退火前区,其作用是使玻璃带温度尽可能均匀化,并自动控制使玻璃带温度达到玻璃退火温度上限,一般为  $550^\circ\text{C}$  左右。

该区一般由 4~7 节组成,每节的结构基本相同。内壳为耐热不锈钢板,外壳为普通钢板;内外壳的中间填充保温棉。

该区上、下均布置有管束式辐射冷却器。冷却器在横向分成几组,每组由若干根小风管组成,冷却风量分组控制。上部风管用焊接于壳体顶部面板的长螺栓固定,下部风管放置于底板的矩形管的支撑上,并用长螺栓固定。冷却风(室温)由第一节吸入辐射

冷却器,经热交换后由末节引出,带走热量以冷却玻璃带(冷风顺流)。冷却风量根据热电偶测温数据由自动控制高温蝶阀的开度大小调节。

该区上、下布置有电加热器。电加热器置于辐射冷却器和玻璃带之间。在顶部和底部设有抽屉式(亦称插入式)电加热器(主要是启动时用,平时很少用)。为防止碎玻璃落入下部电加热器内,一般在下部加热器上覆盖一层不锈钢丝网。如需提高退火窑内温度(特别是边部温度),可开启电加热器。A区结构如图1.2所示。

### (3)B区结构

B区为退火区,其作用是以一定的速度,将玻璃带温度从退火温度上限降至退火温度下限,使玻璃带内的永久应力控制在允许的范围。

B区结构跟A区基本相同,也是由若干节组成,B区一般要比A区多2~4节以上,具体长度与玻璃的产量和退火需要的时间有一定关系。

该区顶部两侧各设一组电加热器,以调节边部温度,也可在启动时使用。

该区的顶部和底部均设有多个管束式辐射冷却器。低温循环风由末节吸入辐射冷却器,经热交换后由第一节引出,带走热量以冷却玻璃带(冷风逆流);风量大小由自动控制高温蝶阀的开度大小调节。

B区每节壳体各部位所填充的保温棉与A区基本相同。B区结构如图1.3所示。

### (4)C区结构

C区为退火后区,其作用是使B区出来的低于退火温度下限的玻璃带以较快的速度进行冷却。因为在该区玻璃只产生暂时应力,不产生永久应力。

该区的顶部和两边侧墙均采用普通钢板制造,壳体仍分为内



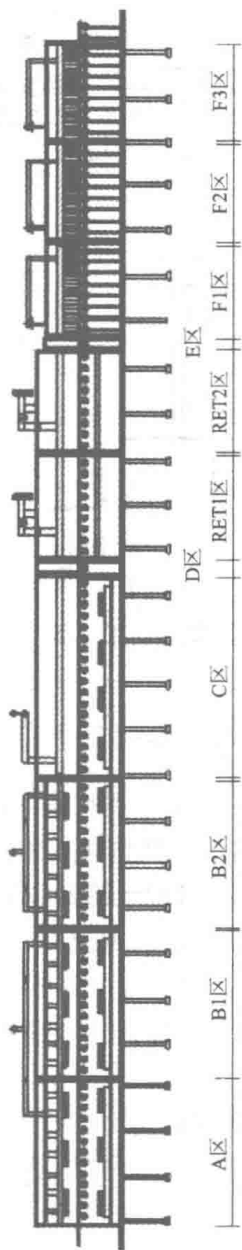


图1.1 全钢结构退火窑

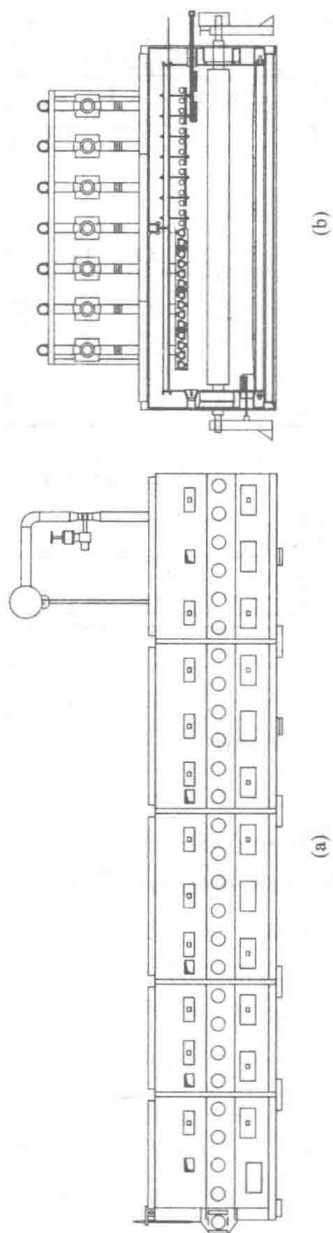


图1.2 A区结构

(a)A区纵向结构示意图; (b)A区横向结构示意图