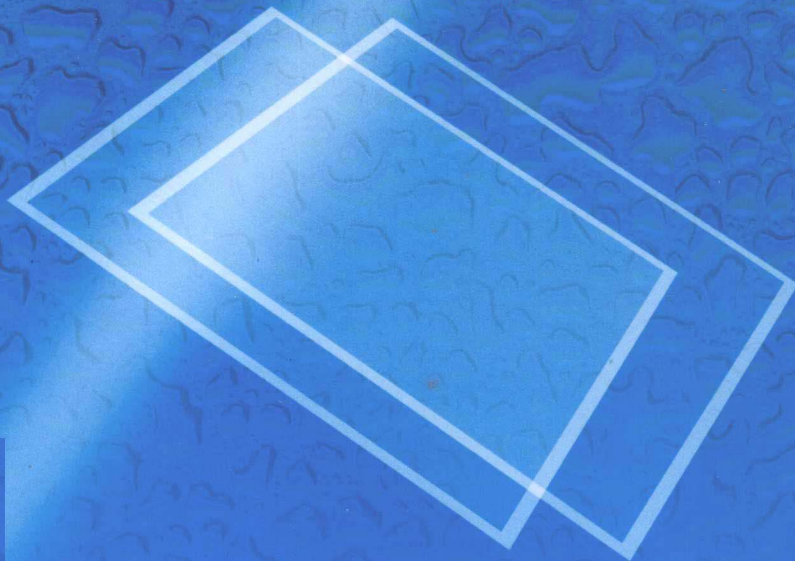


建材工业技术丛书  
建材院校教学用书

# 浮法 玻璃

F u f a B o l i

陈正树 等编著



武汉理工大学出版社

# 浮 法 玻 璃

陈正树等编著

江苏工业学院图书馆  
藏书章

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

浮法玻璃/陈正树等编著. —武汉:武汉理工大学出版社,1997.8

ISBN 7-5629-1276-9

I. 浮… II. 陈… III. 浮法玻璃 IV. TQ171.72

## 内 容 简 介

本书较系统地叙述了浮法玻璃生产从原料制备、电子称量及混合、玻璃熔制、浮法成型、玻璃退火到玻璃切割包装等工艺过程的特点及其控制原理和要求;并着重介绍了浮法玻璃生产的主要设备——电子称量混合系统、熔窑、锡槽、退火窑和切装系统的工作原理、结构形式、材质选用及其主要的设计要求和计算。同时,对浮法玻璃生产中出现的问題,简要地作了理论分析,并介绍了处理的方法。此外,叙述了锡槽用保护气体的制备和净化处理及其输送和配气的要求。

本书可供从事平板玻璃工业的设计、生产、教学和科研人员参考。

武汉理工大学出版社出版发行

(武汉市洪山路狮路122号 邮编430070 电话027-87394412)

各地新华书店经销

荆州市鸿盛印刷厂印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:22.375 字数:560千字

1997年8月第1版 2006年2月第4次印刷

印数:3001-5000册 定价:32.00元

(如有印装质量问题,请与承印厂调换)

# 前 言

众所周知,浮法玻璃成型工艺首先是由英国皮尔金顿玻璃公司发明的。由于浮法玻璃的质量可以与机械磨光玻璃相媲美,而其建设投资和生产成本要比机械磨光玻璃低得多,因而得到很快的发展和广泛的应用。迄今为止,世界上已有 140 多条浮法玻璃生产线,而大多数生产线都是向英国皮尔金顿玻璃公司购买专利技术兴建起来的,唯独我国的浮法玻璃工艺是在自力更生的方针指引下,我国的科技人员通过实验室试验、中间工业性试验和工业性试生产三个阶段研究开发成功,随后通过生产实践和科技攻关,逐步发展起来的。

随着我国国民经济的迅速发展和城乡人民生活水平的不断提高,对平板玻璃的数量和质量要求也不断提高。我国过去基本上都采用弗克法生产平板玻璃,但自 1981 年 4 月浮法玻璃工艺技术通过国家级技术鉴定后明确指出:浮法工艺是我国发展平板玻璃工业的主导方向,1985 年国家建材局又进一步明确指出,我国今后建设日熔化量在 300t 以上的玻璃工厂,必须采用浮法工艺。所以近十年来,我国浮法玻璃发展很快,在原有生产试验线基础上,迄今为止已建成投产和即将建成的浮法玻璃生产线约有 35 条。目前尚有十几个地区正在筹建浮法玻璃厂和将原有用传统法生产线改为浮法生产线,预计到 2000 年我国将有 50 多条浮法生产线。因此,迫切需要一本比较系统地介绍浮法玻璃的书,供教学、设计、科研和生产参考。

我们在编著过程中,力求理论联系实际,尽量吸收近年来发展的先进技术和科研成果,以达到供设计、生产、教学和科研参考的目的。但因水平所限,缺点和不妥之处在所难免,恳望读者多多指正。

本书由陈正树等合编,编写分工:陈正树第一章,第二章第一节,第六章第一、二、三、五节,第七章第一、二、四、五节,第八章第一、二、三、六、七节及第五节的前面部分;何守义第八章第四节的退火窑辊道及传动部分,第九章第一、二节(与周晓白、林楚荣合编);张叔平第三、四章,第七章第三节(与张楚立合编);林言瑞第五章;俞美秀第六章第四节;黄翼翼第二章第二、三、四节;曾象贤第二章第五节的设备部分;陈飞虎第二章第五节的控制部分;付锦屏第六章第六节的工艺部分;余干文第六章第六节的控制部分(与庄武合编),第七章第六节及第八章第五节的温度控制部分;张骏第八章第四节的退火窑结构部分;钟穗滋第九章第三节;金佩宠第九章第四节;王士俊第十章。

本书在编著过程中,得到了国家建材局科学技术委员会原副主任田维良教授级高级工程师的热情鼓励和支持,后又得到他认真的审阅和提出许多宝贵意见,特此表示衷心感谢。在出版过程中,又得到了国家建材局张人为局长和人教司范令惠副司长以及武汉工业大学出版社领导和同志们的支持和帮助,特此表示感谢。

编著者  
1995. 10

# 目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 浮法工艺的产生	(1)
一、概述	(1)
二、浮法工艺的产生	(1)
三、浮法工艺的优点	(1)
第二节 浮法玻璃的发展概况	(2)
一、国外浮法玻璃的发展概况	(2)
二、我国浮法玻璃的发展概况	(4)
第三节 浮法玻璃成型工艺的特点	(5)
一、成型时不需克服玻璃自身的重力	(5)
二、可以充分发挥玻璃表面张力的作用	(5)
三、玻璃带横向温度均匀	(5)
四、可以比较容易地生产特薄和特厚玻璃	(6)
五、成型过程中温度降落慢、拉引速度快	(6)
六、避免了玻璃结晶缺陷、作业周期长	(6)
七、板宽加大比较容易	(6)
八、可以在线生产镀膜玻璃	(7)
九、容易实现切装机械化自动化	(7)
十、可以比较容易地生产特大片玻璃	(7)
第二章 原料工艺及其技术装备	(8)
第一节 浮法玻璃的化学成分	(8)
一、玻璃中各种氧化物的作用	(8)
二、浮法玻璃的化学成分	(9)
第二节 原料的质量要求	(10)
一、浮法玻璃对原料化学组成的要求	(10)
二、浮法玻璃对原料粒度组成的要求	(11)
三、浮法玻璃对原料中难熔矿物含量的要求	(14)
第三节 原料均化	(15)
一、原料均化系统	(15)
二、物料均匀性的评价和计算	(16)
三、均化类型及堆取料方式	(18)
第四节 贮料仓	(21)
一、物料在贮仓中流动现象	(21)
二、整体流仓斗	(22)
第五节 配合料的制备	(29)
一、配料过程的设备及其功能	(29)
二、配合料的混合	(43)
三、配合料制备过程的控制系统	(50)
第三章 浮法玻璃成型原理	(65)
第一节 玻璃的粘度	(65)

	一、粘度的定义及其作用 .....	(65)
	二、温度和成分对玻璃粘度的影响 .....	(66)
	三、玻璃粘度的计算方法 .....	(67)
第二节	玻璃的抛光原理 .....	(69)
	一、抛光的概念 .....	(69)
	二、表面张力 .....	(70)
	三、成型特性和平衡厚度 .....	(71)
	四、玻璃液表面波的特性及其衰减 .....	(74)
第三节	拉薄原理 .....	(77)
	一、拉薄的适宜粘度 .....	(77)
	二、拉薄方法 .....	(78)
	三、自由拉薄过程分析 .....	(78)
	四、控制拉薄过程分析 .....	(82)
第四节	厚玻璃生产原理 .....	(86)
第四章	锡槽中的物理化学反应 .....	(87)
第一节	金属浮抛液 .....	(87)
	一、金属浮抛液的选择 .....	(87)
	二、锡的性质 .....	(87)
第二节	锡槽中的化学反应 .....	(89)
	一、玻璃液与耐火材料之间的化学作用 .....	(89)
	二、氧化还原反应 .....	(89)
	三、锡的化合物对玻璃质量的影响 .....	(90)
第三节	保护气体成分和质量要求 .....	(92)
	一、保护气体成分 .....	(92)
	二、保护气体消耗量 .....	(93)
	三、保护气体纯度的理论计算 .....	(93)
第四节	锡槽中的离子交换反应 .....	(100)
	一、产生离子交换反应的机理 .....	(100)
	二、离子交换反应及其产生的影响 .....	(100)
第五节	氢和氧对形成“雾点”的影响 .....	(103)
第五章	浮法玻璃的成型工艺 .....	(105)
第一节	浮法玻璃的成型方法 .....	(105)
	一、6mm 玻璃的生产 .....	(105)
	二、薄玻璃的生产 .....	(105)
	三、厚玻璃的生产 .....	(108)
第二节	锡槽日常操作 .....	(109)
	一、引头子 .....	(109)
	二、砸头子 .....	(109)
	三、换流槽(唇砖) .....	(109)
	四、换闸板 .....	(109)
	五、加锡 .....	(109)
	六、清锡渣 .....	(109)
	七、锡的存放 .....	(110)
第三节	锡槽的附属设施 .....	(110)

一、拉边机 .....	(110)
二、直线电机 .....	(111)
三、八字砖 .....	(111)
四、挡边轮 .....	(111)
五、冷却器 .....	(111)
六、扒渣机 .....	(111)
第四节 锡槽生产指标及操作注意事项 .....	(111)
一、锡槽生产指标 .....	(111)
二、锡槽操作注意事项 .....	(112)
<b>第六章 玻璃熔窑</b> .....	<b>(113)</b>
第一节 玻璃熔窑的发展概况 .....	(113)
第二节 熔窑的结构 .....	(114)
一、投料池的结构和尺寸 .....	(114)
二、熔化部尺寸的确定及其结构 .....	(117)
三、卡脖和冷却部的结构 .....	(125)
四、小炉和蓄热室的结构 .....	(132)
五、烟道和烟囱 .....	(141)
第三节 燃烧器的选型及其安装布置 .....	(143)
一、概述 .....	(143)
二、燃烧器的设计选型及其要求 .....	(143)
三、重油燃烧器的安装位置 .....	(144)
四、天然气燃烧器的布置安装方式及其要求 .....	(146)
五、几个值得注意的问题 .....	(148)
第四节 玻璃熔窑用耐火材料 .....	(149)
一、窑体侵蚀的一般机理 .....	(149)
二、各部位耐火材料的选择和要求 .....	(153)
第五节 熔窑的节能途径 .....	(162)
一、提高熔化率是熔窑节能最有效的途径 .....	(162)
二、改进蓄热室结构、提高蓄热效能 .....	(167)
三、熔窑保温 .....	(170)
第六节 熔窑的生产操作及其控制 .....	(175)
一、概述 .....	(175)
二、投料方式与液面控制 .....	(175)
三、熔窑的燃烧控制 .....	(184)
四、熔窑压力的检测和控制 .....	(192)
五、换向系统 .....	(197)
六、冷却风系统 .....	(198)
<b>第七章 锡槽</b> .....	<b>(201)</b>
第一节 概述 .....	(201)
第二节 锡槽尺寸的确定 .....	(201)
一、锡槽的热平衡 .....	(202)
二、锡槽面积计算公式的推导 .....	(202)
三、锡槽尺寸的确定 .....	(203)
四、计算举例和说明 .....	(204)

	五、锡槽的工艺分区 .....	(205)
	六、锡槽的深度 .....	(207)
第三节	锡槽的结构和材质 .....	(207)
	一、槽体 .....	(208)
	二、顶盖 .....	(212)
	三、胸墙 .....	(215)
	四、钢结构 .....	(216)
	五、入口端 .....	(216)
	六、出口端 .....	(217)
第四节	锡槽热工制度 .....	(217)
	一、玻璃在锡槽中浮抛冷却过程的传热问题 .....	(218)
	二、玻璃带在锡槽中冷却过程的表面热流 .....	(221)
	三、玻璃带的表面温度与介质温度的关系 .....	(221)
	四、玻璃带在锡槽中的冷却速度问题 .....	(224)
第五节	锡槽电功率的计算和分配 .....	(225)
	一、锡槽烘烤加热 .....	(225)
	二、锡槽保温加热 .....	(227)
	三、锡槽生产加热 .....	(227)
	四、燃气辅助加热 .....	(227)
第六节	锡槽电加热元件和温度控制 .....	(228)
	一、电加热元件的选择 .....	(228)
	二、三相硅碳棒的特性及其安装要求 .....	(230)
	三、铁铬铝电阻丝的特性及其安装要求 .....	(233)
	四、锡槽的温度控制 .....	(234)
第八章	玻璃退火窑 .....	(237)
第一节	概述 .....	(237)
	一、玻璃退火的定义和目的 .....	(237)
	二、玻璃中内应力的成因和检验方法 .....	(237)
	三、玻璃退火的标准 .....	(239)
第二节	玻璃退火温度的确定 .....	(239)
	一、阿达姆斯和威廉逊法 .....	(240)
	二、玻璃退火上限温度的近似计算 .....	(241)
	三、根据玻璃化学成分计算退火温度 .....	(241)
	四、计算举例和说明 .....	(241)
第三节	玻璃退火工艺制度的计算 .....	(243)
	一、加热均热预退火区(A区) .....	(244)
	二、重要冷却区(B区) .....	(244)
	三、冷却区(亦称后退火区,C区) .....	(246)
	四、热风循环强制对流冷却区(Ret区) .....	(247)
	五、室温风强制对流冷却区(F区) .....	(247)
	六、举例计算和说明 .....	(247)
第四节	退火窑的结构和传动 .....	(250)
	一、退火窑结构概述 .....	(250)
	二、钢壳体的退火窑结构 .....	(250)



	三、退火窑辊道及其传动装置 .....	(253)
第五节	退火窑的温度制度及其控制 .....	(256)
	一、退火的温度制度 .....	(256)
	二、退火窑的温度控制 .....	(259)
第六节	玻璃在退火中出现的问题和解决方法 .....	(261)
	一、玻璃带上下表面不对称冷却 .....	(261)
	二、玻璃带横向温度不均匀 .....	(262)
	三、玻璃板横向温度不对称分布 .....	(264)
	四、玻璃在退火中出现的缺陷和解决方法 .....	(265)
第七节	退火窑的热工计算 .....	(268)
	一、退火窑加热系统的设计计算 .....	(268)
	二、退火窑冷却系统的设计计算 .....	(269)
	三、冷却风管的布置和风机选型 .....	(277)
<b>第九章</b>	<b>冷端设备及其自动控制和玻璃的储存</b> .....	<b>(278)</b>
第一节	工艺对冷端设备的要求 .....	(278)
	一、概述 .....	(278)
	二、冷端工艺流程 .....	(278)
第二节	冷端设备的功能和结构 .....	(279)
	一、概述 .....	(279)
	二、冷端各项设备的功用、结构、性能和特点 .....	(280)
	三、浮法玻璃检测装置 .....	(287)
	四、玻璃的切裁系统 .....	(291)
	五、浮法玻璃表面保护 .....	(298)
	六、玻璃的堆垛与装箱 .....	(301)
第三节	冷端自动控制系统 .....	(305)
	一、概述 .....	(305)
	二、切割区控制系统 .....	(305)
	三、输送堆垛区控制系统 .....	(312)
	四、碎玻璃系统的控制 .....	(316)
第四节	玻璃的储存(成品库) .....	(317)
	一、成品库的面积 .....	(317)
	二、成品库装备 .....	(318)
	三、其他要求 .....	(319)
<b>第十章</b>	<b>保护气体</b> .....	<b>(324)</b>
第一节	氮氢混合气的制备和净化 .....	(324)
	一、氮和氢的物化性质及其在保护气体中的作用 .....	(324)
	二、氮、氢气的制备方法 .....	(324)
	三、氮气的制备——空气分离法 .....	(324)
	四、水电解制氢 .....	(331)
	五、氨分解制氢 .....	(337)
	六、氢的净化 .....	(339)
第二节	保护气体的输送和混合 .....	(347)
	一、保护气体的输送 .....	(347)
	二、保护气体的混合 .....	(347)

# 第一章 绪 论

## 第一节 浮法工艺的产生

### 一、概述

众所周知,由于玻璃具有透明的特点,使玻璃获得十分广泛的用途。随着我国国民经济的迅速发展和人民生活水平的不断提高,对平板玻璃的数量和质量不断提出更多更高的要求。

过去平板玻璃制造的方法基本有两种,即窗玻璃法和压延、磨光玻璃法。窗玻璃法,就是有用槽(Fourcault Process)、无槽(Pittsburgh Process)、平拉法(Colburn Process)以及旭法(Asahi Process)生产的平板玻璃。这种玻璃具有自然光泽的表面,但由于其成型方法固有的原因,使制得的玻璃很难避免波筋和条纹等缺陷,使得通过玻璃所观察的物体产生了畸变现象。这样,就限制了玻璃有更广泛的用途。这种玻璃只能作一般住宅的窗玻璃用。为了满足汽车、火车、船舶、飞机和高级建筑等的需要,只能将压延玻璃(无花纹)经研磨、抛光制得机械磨光玻璃;我国也有有用槽和无槽法生产的平板玻璃再经研磨抛光制造磨光玻璃,这是很不合理的。压延、磨光玻璃法,是指玻璃液经无花纹的钢辊(上下两个)滚压成型,退火的玻璃再经研磨抛光制得机械磨光玻璃。当然压延法亦可生产压花和压花夹丝玻璃。由于压延玻璃经滚压成型,大大降低其透明度,一般只适用于卫生间和不希望室外能看清室内的建筑。

这种经研磨抛光的玻璃表面平整而无波筋,质量优美,过去被广泛应用于高级建筑和汽车等。但由于它建设投资大、生产成本高,因而也限制了它更普遍的使用。所以玻璃工作者在很早以前,就曾想将上述两种工艺方法的优点综合起来,发明一种生产质量优异而价格又便宜的平板玻璃的方法,来满足建筑、交通和国防工业等日益发展的需要。

### 二、浮法工艺的产生

早在1902年,美国的希奇柯克(Hitchcock)和黑尔(Heal)就曾提出了使玻璃液飘浮在熔融金属表面,进行热处理的设想。但由于当时还没有连续水平成型方法而未能实现。

据称英国皮尔金顿(Pilkington)平板玻璃兄弟有限公司的阿拉斯塔·皮尔金顿,于1952年一次偶然的机,看到一层油飘浮在水面上,于是最早的这种浮法的设想就在他脑子里产生。该公司根据上述这一设想,于1953年初开始着手试验。据报导该公司集中了大批科技人员,经过七年多的不断努力、花了400万英镑的巨额费用,终于发明了一种生产平板玻璃的革命性的方法——浮法工艺(Float Process)。用这种方法生产的平板玻璃称为浮法玻璃。它是因玻璃液飘浮在熔融金属表面获得抛光成型而得名的。制得的玻璃表面平整而无波筋,可与机械磨光玻璃相媲美。

### 三、浮法工艺的优点

浮法玻璃与机械磨光玻璃相比较,具有以下明显的优点:

#### (一)建设快

由于浮法玻璃生产不需要庞大的砂子分级和机械磨光设备的制造和安装,因此其建设速度要比连续机械磨光线快得多。国外,一般从筹建到投产只需一年左右。

## (二)投资省

由于浮法玻璃生产不需大量的砂子分级和研磨抛光设备投资,而且其占地面积相对来讲也比较小,因此,其基建费用只需相同规模的双面连续磨光玻璃生产线的50%左右。

## (三)质量好

浮法玻璃的平整度、平行度和透光度完全可以与机械磨光玻璃相媲美。而其他性能如机械强度和热稳定性,都要比机械磨光玻璃好。

## (四)产量高

浮法玻璃的产量,主要取决于玻璃熔窑的熔化量和玻璃带成型的拉引速度,对于相同厚度的玻璃,浮法的拉引速度,比连续压延磨光玻璃要快好几倍,而且其板宽加大也比较容易,所以其生产量很高。目前,国外的浮法玻璃生产线的熔窑熔化量在400~600t/d,最大达900t/d。我国的浮法线过去大多为200~300t/d,最近十年来,也有许多条浮法线达500t/d,今后拟向更大规模发展。

## (五)成本低

由于浮法玻璃生产线可以长期连续生产,不仅产量大,而且机械化自动化水平高,生产工人少、劳动生产率高,设备维修费用少。因此,生产成本要比机磨玻璃低得多,基本与普通窗玻璃相接近。

## (六)品种多

用浮法可以生产0.55~25mm的优质平板玻璃,供各种用途;而机磨很难生产薄于4mm玻璃。同时,浮法还可以生产各种本体着色和在线镀膜玻璃,这是机磨玻璃望尘莫及的。

总之,浮法工艺的问世,确实是平板玻璃生产工艺技术的一次重大突破,是本世纪平板玻璃生产的所有成就中最重大的成就。

# 第二节 浮法玻璃的发展概况

## 一、国外浮法玻璃的发展概况

由于浮法工艺具有上述的明显优点,所以过去使用磨光玻璃的地方,已绝大部分为浮法玻璃所代替;虽然某些特殊用途的产品,如夹丝磨光玻璃,仍然需要机磨玻璃,而对于大量需要的产品,已被浮法玻璃代替了。正由于这种原因,自1959年2月,英国皮尔金顿玻璃兄弟有限公司宣布浮法工艺成功以来,浮法玻璃已有了很大的发展。

首先由于浮法的成功,英国皮尔金顿玻璃公司,就停止了圣海伦市原有的磨光玻璃的生产,而且在1961年11月也将原来计划兴建的一条双面磨光玻璃生产线撤销了。该公司为了在世界玻璃市场上占领先地位,除了1959年在圣海伦市,柯雷·希尔工厂建设世界上第一条浮法玻璃生产线外,先后于1962年2月和1963年7月,在该厂兴建第二和第三条浮法玻璃生产线,此外,还在加拿大的多伦多市附近属于该公司的斯卡堡劳福玻璃厂建设一条浮法玻璃生产线。该公司于70年代又在英国建设两条生产规模更大的浮法玻璃生产线。

美国匹兹堡平板玻璃公司,是世界上第一个与英国皮尔金顿玻璃公司,于1962年2月达成协议购买浮法专利技术,在美国马里兰州康勃兰工厂,兴建浮法玻璃生产线,于1963年3月投入生产。该公司的第二条浮法线也于1966年初在密苏里州的克里斯脱城建成投入生产。美国另一家玻璃公司,利比-欧文斯-福特玻璃公司,也急于向英国皮尔金顿玻璃公司引进浮法技术专利,在加利福尼亚州的拉斯洛普市建设一条浮法线,于1964年9月投入生产,该公司接着

还决定扩建在托利多的现有玻璃工厂，建设两条浮法玻璃生产线。美国的福特汽车公司也不甘落后，于1964年8月与皮尔金顿玻璃公司达成协议，在田纳西州的纳什维尔市和密执安州的阿堡市兴建浮法玻璃厂，先后于1966年中和1967年初建成投产。到80年代，美国已建成投产的浮法玻璃生产线有35条。

在欧洲，经济发达的国家，如法国、德国、意大利、比利时等国的几家玻璃公司，也都于60年代初向皮尔金顿玻璃公司购买浮法专利，在这些国家兴建浮法玻璃生产线。

日本的旭玻璃公司和板玻璃公司，也都于1964年，同皮尔金顿玻璃公司达成协议，于1965年建成各自的浮法玻璃生产线；日本的中央玻璃公司，也于60年代末建成浮法玻璃工厂。

原苏联和东欧一些国家，也于60年代后期和70年代初，向英国皮尔金顿玻璃公司，购买浮法技术专利，建设浮法玻璃生产线。

总之，自1959年英国皮尔金顿玻璃有限公司宣布浮法成型工艺成功并出售专利使用许可证以来，世界平板玻璃工业有了长足的发展，平板玻璃总产量从1960年的434万吨，增长到1990年的2300万吨，浮法玻璃在平板玻璃总产量中的比例逐年增加，目前已达80%以上。世界上已有36个国家和地区（不包括中国大陆）建成投产137条浮法玻璃生产线。

在这期间，浮法玻璃的生产技术和锡槽结构，也有了很大的发展和改进，使玻璃质量进一步提高，品种进一步增多。其改进的有以下几方面。

#### （一）成型方法

美国匹兹堡平板玻璃公司，于1975年宣布，他们在英国皮尔金顿玻璃公司的浮法成型工艺基础上，开发了新浮法成型工艺，采用了新颖的输玻璃液系统，把流液道和流槽结合在一起，同时把流槽加宽，使流入锡槽的玻璃液带的宽度，与成品玻璃的宽度相接近。这样，可以缩短玻璃液在锡槽锡液面上横向伸展的时间，而且玻璃带的横向平直性更好。

#### （二）拉薄方法

由于玻璃液带在锡槽的锡液面上，在其表面张力和重力以及适当的退火窑辊道的拉引力作用下，所形成的玻璃带厚度总是接近于6mm。当拉引速度加快，即拉引力加大时，玻璃带厚度变薄的同时，玻璃带的宽度也随之收缩，不能满足生产出相当宽度的要求。所以在浮法工艺问世的初期，只能生产6mm厚的玻璃。为了生产薄于6mm玻璃时，必须在玻璃带的适当部位的两侧，施加另一种力，以阻止或减少玻璃带展薄时的横向收缩。早期采用急冷和重新加热拉薄法，即玻璃在高温下摊平抛光后，采取强冷措施，使玻璃带冷却到700℃，然后在两边用夹辊式拉边机把玻璃带的两边夹住，重新加热到850℃，加快退火窑辊道的速度，把玻璃带拉薄。这种方法由于需要重新加热，不仅要耗费大量的电能，而且对玻璃成型质量也带来一定的不利影响。后来改进为采用徐冷拉薄法，采用单辊机头带齿的拉边机，拉边机机头与玻璃带成一角度，压在玻璃带边部转动，两边产生横向拉力，以防止玻璃带展薄时的横向收缩。这种方法，既大大减少电能的消耗，又提高了玻璃的成型质量和成品率。

#### （三）玻璃品种

在60年代初，浮法只能生产6mm厚的玻璃，经过不断研究改进，现在已能生产0.55~25mm各种不同厚度的玻璃。同时，在此期间，根据离子交换原理和气相沉积方法，在线生产镀膜玻璃。这就为现代建筑提供面积大、价廉物美的浮法玻璃。

#### （四）生产规模

由于浮法成型工艺的特点和优点，玻璃带成型的宽度容易加大，拉引速度可以加快，浮法

玻璃生产规模随之不断增大。同时,由于生产规模扩大,其单位能耗指标大大降低,生产成本减少,促使浮法玻璃生产线的生产规模向大型化发展,最大的生产规模已达 800~900t/d。

#### (五)自动控制

由于浮法玻璃水平拉引的工艺特点,为全生产线实现机械化、自动化创造了有利条件。其自动控制包括原料的称量和混合、配合料的输送和投料,熔窑的温度、液面和窑压,玻璃液的流量和温度、锡槽的分区温度和横向温差、拉边机转速的调节,退火窑的温度分区和横向温差和辊道速度,玻璃质量的检测分等,玻璃带的切割、掰断及掰边,分片输送和堆垛铺纸等。60年代采用数字程序控制,70年代都已普遍采用电子计算机自动控制。由于全线实现了自动控制,不仅节省了人力,提高了劳动生产率,而且对稳定生产和提高玻璃质量都起到了促进和保证作用。

#### (六)锡槽结构

锡槽是浮法玻璃生产工艺的最关键的设备。早期的锡槽是直通式的,即整个锡槽的宽度是一样的。鉴于玻璃带在锡槽中成型过程前宽后窄的特点,为了减少锡液的暴露面积,降低锡的消耗,将锡槽做成喇叭形,即前宽后窄,与玻璃带的形状相适应。同时,对锡槽的深度、槽底砖的厚度、密封装置、玻璃进出口端的结构等也都作了改进。这样,不仅减少了锡槽的容锡量和锡的消耗,而且也大大改善了玻璃的成型质量。

总之,通过生产实践,逐渐对浮法成型工艺的特点加深认识,不断地改进装备和操作,使浮法生产工艺日臻完善。在这方面,国内外的经验是一致的。

## 二、我国浮法玻璃的发展概况

已如上述,到目前为止,世界上(不计中国大陆)已有 137 条浮法玻璃生产线。这些浮法玻璃生产线大都是与英国皮尔金顿玻璃公司达成协议,购买浮法工艺技术专利使用许可证兴建起来的。唯独我国的浮法工艺技术是在独立自主、自力更生下研究开发成功的。

在 60 年代中期,我国曾派代表团去英国皮尔金顿玻璃公司考察,拟向该公司洽谈购买浮法专利事宜,该公司当时认为中国建浮法玻璃生产线为时还早而未能实现。因此,当时的建筑材料工业部决定组织自己的科技力量进行试验研究。

我国的浮法工艺的试验研究,经过了实验室的小型试验,中间工业性试验和生产性试验三个阶段。从 1965 年开始的实验室试验到 1971 年的生产性试验线建成投产并取得成功,差不多也用了七年时间。开始只能生产 6mm 厚的玻璃,通过一年多的生产试验,到 1972 年冬就比较稳定地生产出 4~9mm 玻璃,并试拉了 3mm 玻璃。由于该生产试验线,是利用一条当时正在生产的压延玻璃生产线改造而成的。熔窑熔化能力低,退火窑辊道速度慢,切割输送系统等都不能适应浮法生产要求。同时,1974 年进行扩建改造,1978 年又进行熔窑改烧重油、扩大生产能力的改建。1980 年已能稳定地生产 3~10mm 玻璃。1981 年 4 月通过国家级技术鉴定,获国家级二等发明奖。由于该生产试验线是在洛阳玻璃厂试验成功,故定名为“中国洛阳浮法”。

众所周知,我国自 1979 年初开始实行改革开放以来,我国的经济迅速发展,人民生活水平也随之提高,平板玻璃供不应求。当时的建材部提出今后发展平板玻璃,要以浮法工艺为主的方针,所以从 80 年代初开始,我国建了一大批浮法玻璃生产线,有的原批准为用有槽和无槽法的生产线,在建设中停下来改用浮法工艺,有的原有用槽法的生产线,也在冷修中改为浮法工艺。到 1994 年我国已建成投产的浮法玻璃生产线有 28 条,其生产规模为 150~500t/d。同时,在这期间,英国的皮尔金顿公司和美国的匹兹堡平板玻璃公司,采用他们的浮法工艺技术与我国合资,在上海和广东深圳各建成一条 200t/d 和 500t/d 的浮法玻璃生产线。我国从 1990 年

开始,平板玻璃产量居世界第一,但其中浮法玻璃还不到总产量的40%。目前正在建设的有十几条,预计到2000年,我国平板玻璃年产达15000万重箱,浮法玻璃要占60%~70%。由于不论采用有槽法、无槽法或平拉法工艺生产的平板玻璃,玻璃质量差、能耗高、劳动强度大、劳动生产率低,生产成本也不比浮法工艺低多少,经济效益较差。所以这些落后工艺被浮法工艺淘汰,已是大势所趋。从80年代后期开始,我国浮法工艺技术,已向发展中国家出口。总之,我国浮法玻璃工业的发展前景看好。

### 第三节 浮法玻璃成型工艺的特点

浮法成型工艺和普通平板玻璃的成型工艺,有哪些共同点?又有什么特殊点呢?其共同点都是要掌握玻璃液的一定粘度,当玻璃的化学成分一定时,就是要掌握其成型温度;其次是要借助外加拉引力,即控制其拉引速度来达到生产不同厚度的玻璃。但无论是有槽和无槽法,旭法还是平拉法,从成型工艺角度来讲,都是属于垂直拉制法(平拉法也是先垂直引上,然后由转向辊转变成水平的);虽然压延法是属于水平拉制,但它是借助压延机的上下一对压辊滚压成型的,而因玻璃液经辊子滚压后,玻璃表面很不光滑、透明度大大降低,而限制了它的使用。只有浮法工艺才是真正的水平拉制成型。同时,玻璃表面得到抛光,这就是浮法成型工艺的主要特点。由于这一特点,使浮法比用传统的几种落后工艺方法生产的玻璃质量好、品种多、产量高、作业周期长。这可由以下几方面加以简要的说明:

#### 一、成型时不需克服玻璃自身的重力

由于浮法玻璃是水平拉制成型,玻璃液带的重力是由锡液来支承的,拉引力主要用于克服玻璃液的粘滞力;而传统的成型方法则不同,拉引力既要克服玻璃液的粘滞力,又要克服玻璃带自身的重力,而且后者要比前者大得多。所以必须要用辊子将玻璃带夹住或托住;这样,由于玻璃带与辊子接触,就不可避免地会使玻璃产生轴花和压口的缺陷。平拉法虽然用单一的转向辊承托,但由于此时玻璃带温度还处在700℃左右的高温,玻璃还处于完全塑性状态,加之转向辊的冷却强度大,因而又会引起斑点和表面不平整的弊病,当转向辊加工质量不好或不及时更换时,尤其严重。而浮法玻璃的整个成型过程是在密闭的锡槽中进行,只是在玻璃带冷却硬化后,由光洁平滑的辊子将玻璃带托起拉出锡槽,而且玻璃带同辊子是线接触,因此,完全避免了上述的缺陷,而能保持在锡槽中获得抛光表面的质量。

#### 二、可以充分发挥玻璃表面张力的作用

玻璃工作者都知道,玻璃的表面张力这一特性,是使玻璃获得自然抛光、表面平整的主要因素。传统的成型工艺,为了使垂直引上成功,必须使玻璃的粘度在很短时间内急速增加,也就是使其温度从940℃左右迅速下降到600℃以下,否则,玻璃带就会因粘度小而无法引上,造成掉炉。玻璃的表面张力虽然随温度下降变化不大,但因这时玻璃的粘度已经很大,表面张力已不起作用了。浮法成型工艺则不同,由于玻璃的重力是由锡液来承托的,而且两者之间的摩擦力甚微,锡槽较长,玻璃的温度下降较慢,而且可以根据成型要求加以控制,玻璃液在抛光区的温度高于1000℃,粘度小,因此,玻璃的表面张力就能起主导作用(任何物体的表面张力有使其表面积趋于最小的特性),而使玻璃得以自然抛光、表面平整而无波筋和条纹等缺陷。

#### 三、玻璃带横向温度均匀

为了保证玻璃的成型质量,配合料和玻璃的熔化质量是先决条件,但如何使玻璃带横向温度差小,粘度较均匀,是玻璃带横向厚度均匀的重要因素。用传统法生产玻璃时,由于其自身固

有的原因,很难达到整个板面温度均匀,其板中和板边的温度差经常在 50°C 以上,特别是玻璃板的宽度加大后,横向温度均匀尤其困难。而浮法玻璃成型是在较长的锡槽中来完成的,在设计中可以根据浮法成型工艺要求,分成若干工艺区,各区的纵向和横向温度,可以根据生产要求,采取边部加热和冷却措施,来进行自动调节控制,以使纵向温度符合成型温度制度要求和减少横向温度差(不大于 10°C)。这样,就为玻璃带横向厚度均匀和玻璃抛光质量创造了有利的条件,而且也不会因玻璃带的宽度加大而使调节控制增加困难。

#### 四、可以比较容易地生产特薄和特厚的玻璃

由于浮法工艺是水平拉制的,使浮法比传统法较容易地生产特薄和特厚的玻璃。据报道国外浮法可以生产 0.55~25mm 的高质量玻璃;而传统法,不论是有槽、无槽还是平拉法,生产厚度大于 12mm 和薄于 1mm 玻璃就十分困难,其主要原因是克服其自身的重力和更难使其横向温度达到成型的要求。而浮法则不然,不需要克服其重力,其成型的各区温度,可以自动调节来达到生产要求;同时,玻璃带在高温下停留时间长,可以充分发挥玻璃的表面张力的作用,而不影响玻璃的抛光质量。

#### 五、成型过程中温度降落慢、拉引速度快

用传统法生产平板玻璃时,玻璃液从成型室开始引上到玻璃带定型,是在 1m 左右的距离中完成的。在这过程中,玻璃的温度大约从 940°C 左右降到 600°C 以下(平拉法是在 0.7m 距离中大约从 940°C 降到 700°C 左右),玻璃的粘度急剧增加,否则要掉炉;所以必须在成型中采取急冷措施(冷却水包),使玻璃快速冷却下来,这无疑会给玻璃的表面质量带来十分不利的影响,如冷却不当还容易引起炸裂而掉炉;同时,也由于这个原因而限制了玻璃成型的拉引速度。对一定厚度的玻璃,每小时要想提高几米的速度都十分困难,不仅影响质量,甚至无法生产。

而浮法玻璃的成型过程,是在几十米长的锡槽中进行的,其长度可根据生产规模和拉引速度来设计,而且根据成型工艺要求分若干区,玻璃的温度分区控制,所以浮法玻璃的拉引速度的变化幅度范围很大,对相同厚度的玻璃,其拉引速度可以相差几百米。如生产 6mm 玻璃时,一般拉引速度可为 120m/h,有时也可达到 360~460m/h,而且其成型质量也不会因速度加快而受影响。这就为浮法生产线优质、高产、降耗创造了充分和必要的条件。

#### 六、避免了玻璃结晶缺陷、作业周期长

传统法成型室的玻璃液较深,其上下温度差大,而且成型的温度又接近玻璃的析晶温度,所以在成型室的堵头和两侧的死角处,玻璃液容易结晶。因此,其成型作业期短,一般不到一个月,就必须打炉停拉,加热成型室挖玻璃釉子,以免结晶的玻璃被带到玻璃带来。平拉法虽然成型室浅一些(改进的格法平拉的成型室也较深),但也不能避免结晶倾向,同时,其转向辊长期使用也会影响玻璃质量,所以一般也在一个月左右,就必须停止作业更换转向辊和挖玻璃釉子。

浮法生产,玻璃液是通过一个比较浅的液流道流入锡槽的,玻璃液的温度在 1100°C 以上,这就避免了玻璃液结晶的可能,既保证了玻璃的成型质量,又可以大大延长成型作业期。一般来讲,浮法成型作业期主要决定于流槽和流量控制闸板所用的耐火材料的质量。通常浮法成型作业期在一年左右,这也是用传统法生产平板玻璃无法比拟的。

#### 七、板宽加大比较容易

由于浮法成型是水平拉制和其重力由锡液承托以及横向温度可以自动控制的特点,使浮法成型的玻璃带宽度加大比较容易,而且也不会因宽度加大而影响成型质量。生产规模在 600t/d 以上的浮法玻璃生产线,其成型的玻璃带宽度都在 4m 以上。而有槽法成型的玻璃带宽

度最大只达 3m 左右,无槽法成型的玻璃带宽度大于 2.4m,成型就很困难了,我国某玻璃厂的六机无槽法生产线的失败,其主要原因之一是板宽大(3m),就是例子。

#### 八、可以在线生产镀膜玻璃

由于浮法成型是在较长的锡槽内水平拉制,而且其纵向和横向温度可以根据生产要求进行自动调节控制,其拉引速度可以适当加快或适当降低(在一特定的浮法线),使其有可能在锡槽内安装一种装置,在线生产镀膜玻璃。实际上国内有几条浮法线已在线成批生产镀膜玻璃供应市场。其生产成本远远低于线外生产的镀膜玻璃。

#### 九、容易实现切装机械化自动化

不论有槽、无槽法还是旭法生产平板玻璃都是垂直引上,引上机很高,这就给切装机械化自动化带来困难。因切装楼面很高,玻璃成品运到底层,不仅很不方便,而且增加破损。浮法由于是水平拉制,经退火窑退火的玻璃不仅退火质量好,而且便于实现玻璃质量检验、纵切、横切、掰断、掰边、纵掰、纵分、喷粉或铺纸、分片、堆垛等机械化自动化;同时可以在同一标高的地面运送入库。即使退火工段和切掰工序在二层楼面,玻璃可以在掰断掰边、纵掰纵分后,通过一定倾斜度的辊道平稳地运至底层的辊道上,同样可以实现喷粉或铺纸、分片堆垛机械化自动化,不仅可大大降低劳动强度,减少玻璃破损,而且提高玻璃切装的质量(避免擦伤)。

#### 十、可以比较容易地生产特大片玻璃

现代建筑业的发展和特殊工程需要特厚、特大面积的玻璃,如 19mm×3.5m×15m 的特大玻璃,用传统法是无法生产的,即使生产出来其切割掰断运输也不好解决。而浮法生产,增厚加宽都比较容易,其长度则更容易根据需要在辊道上切割掰断,然后用真空吸盘水平运送入库,或直接运装在特制的汽车上运送到用户。

总之,由于浮法是在锡槽中成型水平拉制,不仅玻璃质量好,而且容易加宽和生产特厚、特薄玻璃,拉引速度快,所以单机产量高,同时具有容易实现全线机械化自动化等无可比拟的优点,所以几种传统法工艺在经济发达的国家,如西欧、北美和日本等国都已被淘汰。日本旭玻璃公司,鉴于上述原因,为了使传统法不被淘汰,在有槽和无槽法成型工艺基础上发明了所谓旭法工艺,其表面质量比用有槽或无槽法生产的玻璃好一些,其作业周期也长一些,但其玻璃质量与浮法生产的相比还是十分逊色,拉引速度的提高也十分有限。我国由于经济还不发达,人民生活平均水平还低于小康(尤其边远地区和农村),所以普通平板玻璃还有市场。随着我国经济的快速发展和人民生活水平不断提高,可以预计在不远的将来,用传统法的工艺技术生产的普通平板玻璃必将被浮法玻璃所代替。

这里应指出,用中国洛阳浮法工艺生产的浮法玻璃,其质量和品种与用 Pilkington 法,即 PB 法生产的相比还有一定差距,其主要原因是:(1)所用原料尤其是硅质原料质量差。(2)由于受建设资金限制,采用国产的设备和耐火材料质量不好。(3)工人素质差,生产管理不严。(4)科研投入少,理论基础研究薄弱,技术进步慢,致使成型设备的某些环节不够完善和理想,影响玻璃的成型质量。总之,发展中国洛阳浮法工艺还有不少工作要做,在原有基础上,要进一步努力,设计科研、大专院校、生产企业通力合作,期待能在不远的将来,赶上世界先进水平,使我国浮法玻璃工业跻身于世界先进行列。



## 第二章 原料工艺及其技术装备

### 第一节 浮法玻璃的化学成分

玻璃化学成分的选择,是按玻璃制品的用途和成型方法来决定的。浮法玻璃和普通平板玻璃一样,都是钠-钙-硅系玻璃,只是因其成型工艺特点而得名,其化学成分与普通平板玻璃相似,主要氧化物仍然是氧化硅、氧化钠和氧化钙。此外,还有氧化铝、氧化镁和微量的氧化钾。这些氧化物在玻璃熔制和成型过程中的作用,及对玻璃性能的影响,概要地分述如下:

#### 一、玻璃中各种氧化物的作用

##### (一) 二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )

$\text{SiO}_2$  是制造平板玻璃的最主要成分,是玻璃的“骨架”,能增加玻璃液的粘度,降低玻璃的结晶倾向,提高玻璃的化学稳定性和热稳定性。

##### (二) 三氧化二铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

$\text{Al}_2\text{O}_3$  对增加玻璃液粘度的影响程度比氧化硅大。因此,玻璃中氧化铝含量增加,不仅会使熔化速度减慢和使澄清时间拖长。同时,对玻璃液在锡槽中摊平抛光也不利。但  $\text{Al}_2\text{O}_3$  能降低玻璃的结晶倾向和速度,降低玻璃的膨胀系数,从而提高玻璃的热稳定性,并提高玻璃的化学稳定性和机械强度。

##### (三) 氧化钙( $\text{CaO}$ )

$\text{CaO}$  是玻璃的主要成分之一,它能加速玻璃的熔化和澄清过程,并提高玻璃的化学稳定性;但  $\text{CaO}$  会使玻璃产生结晶的倾向;在高温时,能降低玻璃液的粘度,为高速度拉引玻璃带创造有利条件。但玻璃中  $\text{CaO}$  的含量也不宜太大,如大于 10%,则会增加玻璃的脆性。

##### (四) 氧化镁( $\text{MgO}$ )

$\text{MgO}$  能提高玻璃的化学稳定性和机械强度,并能降低玻璃的结晶倾向。如以  $\text{MgO}$  代替  $\text{CaO}$ ,则能降低晶体消失温度,降低玻璃的失透倾向和结晶速度,而且对提高玻璃的热稳定性也有良好的影响。 $\text{MgO}$  对玻璃的粘度有复杂的作用,当温度高于  $1200^\circ\text{C}$  时,会使玻璃液的粘度降低,而在  $1200\sim 900^\circ\text{C}$  之间,又有使玻璃液的粘度增加的倾向,低于  $900^\circ\text{C}$ ,反而使玻璃的粘度下降。因此,玻璃中的  $\text{MgO}$  含量也不宜太大。

##### (五) 氧化钠( $\text{Na}_2\text{O}$ )

$\text{Na}_2\text{O}$  能大大降低玻璃液的粘度,是制造玻璃的助熔剂,对玻璃的形成和玻璃液的澄清过程都有很大的影响。但  $\text{Na}_2\text{O}$  含量过多,则会使玻璃的化学稳定性、热稳定性以及机械强度大大降低,而且容易使玻璃发霉和使玻璃生产成本增加。

##### (六) 氧化钾( $\text{K}_2\text{O}$ )

$\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  一样,也能大大降低玻璃的粘度,但其作用稍差些,也是制造玻璃的助熔剂。 $\text{K}_2\text{O}$  能降低玻璃的结晶倾向,改善玻璃的光泽。在  $\text{R}_2\text{O}$  含量一定时,适当增加  $\text{K}_2\text{O}$  会提高玻璃的化学稳定性。

##### (七) 氧化铁( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\text{FeO}$ )