



刘志海 李超 编著

低辐射玻璃 及其应用



化学工业出版社

低辐射玻璃及其应用

刘志海 李 超 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

低辐射玻璃及其应用/刘志海, 李超编著. —北京:
化学工业出版社, 2006. 7

ISBN 7-5025-9133-8

I. 低… II. ①刘…②李… III. 玻璃-镀膜-生产
工艺 IV. TQ171. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 084917 号

低辐射玻璃及其应用

刘志海 李 超 编著

责任编辑: 常 青

责任校对: 凌亚男

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 14 $\frac{3}{4}$ 字数 268 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9133-8

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着社会经济的不断发展,建筑能耗在社会总能耗中所占的比例越来越大,目前西方发达国家约为 30%~45%,尽管我国经济发展水平和人们生活水平都还不高,但这一比例也已达到近 30%。因此,不论西方发达国家,还是我国,建筑能耗状况都是牵动社会经济发展全局的大问题。

低辐射镀膜玻璃简称低辐射玻璃或 Low-E 玻璃,因其所镀的膜层具有极低的表面辐射率而得名。普通玻璃的表面辐射率在 0.84 左右,低辐射玻璃的表面辐射率在 0.25 以下。它可以将 80%以上的远红外线热辐射反射回去,具有良好的阻隔热辐射透过的作用,因此当今无论是在建筑市场还是建材市场上,低辐射玻璃几乎成了建筑节能产品的代名词。

作为一种性能优越的节能产品,低辐射玻璃在其发展历程中经过了不断的技术完善与革新。20 世纪 60 年代末,欧洲玻璃制造商开始在实验室研究基于离线生产的低辐射玻璃,不久后取得成功。1978 年,美国 Interqane 公司成功地将低辐射玻璃首先应用于建筑物上。随着科学研究的继续深入,英国 Pilkington 公司于 1978 年采用浮法在线高温热解沉积法镀膜工艺研制成功在线低辐射玻璃。该工艺后经多年的完善,于 1985 年正式实现商业化生产。之后,美国的 Ford 玻璃公司、PPG 公司、LOF 公司、嘉顿公司、AFGD 公司和英国 Pilkington 公司、法国圣戈班公司、德国莱宝公司等世界著名的玻璃公司相继研制出自己的低辐射玻璃并投放市场。

我国从 20 世纪 90 年代中期开始认识低辐射玻璃。1997 年,深圳南玻集团从美国引进了能够生产低辐射玻璃的特大型真空磁控溅射镀膜玻璃生产线,研究生产低辐射玻璃。同时,我国通过产品进口,部分高级建筑使用了低辐射玻璃,比如上海 66 广场(恒隆广场)使用了美国 AFGD 公司的低辐射玻璃,上海博物馆使用了英特佩的低辐射玻璃,长沙黄花机场使用了法国圣戈班的低辐射玻璃,沈阳机场使用了美国 LOF 公司的低辐射玻璃等。之后,格兰特工程玻璃有限公司、洛阳晶润镀膜玻璃股份公司、上海新比利帷幕墙有限公司等数家企业通过设备及技术引进方式生产离线低辐射玻璃产品。与此同时,在线低辐射玻璃也被列入开发研究日程,尤其是秦皇岛耀华玻璃股份公司自主开发研究,成功地掌握了

在线低辐射玻璃的原料配方，并通过了实验室样品制备工作，在此基础上于2000年与美国阿托菲纳公司签订了共同开发低辐射玻璃的合作协议。2003年11月，“耀华”牌低辐射玻璃形成批量生产并开始投放市场，引起业内极大的关注。这不仅标志着我国低辐射玻璃从单一的离线生产阶段进入了在线和离线共同生产的阶段，也标志着我国低辐射玻璃生产技术进入国际先进行列。

由于低辐射玻璃尚属一种新兴产品，其技术、性能、应用等方面还处于不断发展阶段，因此介绍起来比较困难。本书编写时力求将其科学化、系统化，一方面对生产方法、产品性能以及产品检测等内容进行较为全面的介绍；另一方面结合我国建筑节能政策，阐述了低辐射玻璃应用中的注意事项、安装以及维护等内容。有些方面由于各种原因，只能阐述到一定深度。因水平和时间有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，恳请各位读者给予批评和指正。

本书在编写过程中，得到了中国耀华玻璃集团公司领导及耀华玻璃股份公司李西平总经理的大力支持；耀华集团公司鲁大学、侯英兰、杜震宇、张欣、庞世宏等同志和燕山大学赵洪力教授为本书的编写提供了不少宝贵资料；尤其是耀华集团公司技术发展部曾丽同志不仅收集整理了大量资料，还参与了本书的结构讨论，提出具有实用价值的建议。在此，一并向他们致以衷心的感谢！

编著者
2006年3月

目 录

第 1 章 低辐射玻璃的基本概念	1
1.1 玻璃的基本知识	1
1.1.1 玻璃发展史简介	1
1.1.2 平板玻璃的组成	6
1.1.3 平板玻璃的性质	10
1.1.4 平板玻璃的分类	12
1.1.5 浮法玻璃表面结构与特性	15
1.1.6 浮法玻璃表面性质	21
1.2 镀膜玻璃的基本知识	23
1.2.1 玻璃和薄膜	23
1.2.2 镀膜玻璃的发展过程	25
1.2.3 玻璃表面膜的类型	27
1.2.4 玻璃表面膜的性能	29
1.2.5 玻璃表面膜的形成机理	40
1.2.6 镀膜玻璃的生产方法简介	44
1.2.7 镀膜玻璃的产品品种	46
1.2.8 镀膜玻璃的发展趋势	47
1.3 低辐射玻璃的特点及应用	51
1.3.1 什么是低辐射玻璃	51
1.3.2 衡量低辐射玻璃特性的主要指标	51
1.3.3 低辐射玻璃相关术语解释	51
1.3.4 低辐射玻璃性能指标计算	53
1.3.5 低辐射玻璃的发展过程及现状	54
1.3.6 低辐射玻璃的特点及应用	58
1.4 低辐射玻璃与建筑节能	60
1.4.1 热辐射基本知识	60

1.4.2	建筑节能基本知识	62
1.4.3	低辐射玻璃节能原理	64
1.4.4	低辐射玻璃节能演示装置	66
1.5	低辐射玻璃与光污染	67
1.5.1	什么是光污染	67
1.5.2	光污染的危害	68
1.5.3	玻璃幕墙光污染产生的原因	68
1.5.4	预防光污染的相关政策法规	69
1.5.5	低辐射玻璃没有光污染的原因	69

第2章 低辐射玻璃的生产技术 71

2.1	低辐射玻璃的分类	71
2.1.1	按膜层的遮阳系数性能分类	71
2.1.2	按生产工艺分类	71
2.2	离线低辐射玻璃的生产方法	72
2.2.1	浮法玻璃表面的清洁技术	72
2.2.2	离线低辐射玻璃的成膜原理	78
2.2.3	离线低辐射玻璃的生产方式及工艺流程	80
2.2.4	离线低辐射玻璃的特点	82
2.3	离线低辐射玻璃的膜层结构及特性	83
2.3.1	离线低辐射玻璃膜系基本结构	83
2.3.2	离线低辐射玻璃膜系结构分类	84
2.3.3	各种膜系的离线低辐射玻璃光学、热学性能	86
2.4	离线低辐射玻璃生产注意事项	86
2.5	在线低辐射玻璃的生产方法	87
2.5.1	在线低辐射玻璃的成膜原理	88
2.5.2	在线低辐射玻璃的工艺流程	88
2.5.3	在线低辐射玻璃的技术难点	88
2.5.4	在线低辐射玻璃的特点	89
2.6	在线低辐射玻璃的膜层结构种类	89
2.7	在线低辐射玻璃生产注意事项	90
2.8	低辐射贴膜玻璃	90
2.8.1	低辐射贴膜玻璃的起源和发展	90
2.8.2	低辐射贴膜玻璃的结构	91

2.8.3	低辐射贴膜玻璃的生产方法	91
2.8.4	低辐射贴膜玻璃的性能及特点	92
2.9	低辐射玻璃的性能	92
2.9.1	低辐射玻璃的一般性能	92
2.9.2	国内在线低辐射玻璃的主要性能	94
2.9.3	国内离线低辐射玻璃的主要性能	95

第3章 低辐射玻璃的深加工技术 101

3.1	低辐射玻璃深加工的前期处理	101
3.1.1	低辐射玻璃的搬运	101
3.1.2	低辐射玻璃的切割	101
3.1.3	低辐射玻璃的磨边	101
3.1.4	低辐射玻璃的清洁	102
3.2	低辐射玻璃的钢化技术	102
3.2.1	钢化玻璃的发展现状	102
3.2.2	钢化玻璃生产设备	103
3.2.3	玻璃的钢化方法及种类	103
3.2.4	低辐射玻璃的钢化技术	105
3.2.5	钢化低辐射玻璃性能及应用	107
3.3	低辐射玻璃的夹层技术	107
3.3.1	夹层玻璃的发明	107
3.3.2	夹层玻璃的发展现状	108
3.3.3	低辐射玻璃的夹层技术	109
3.4	低辐射玻璃的中空技术	110
3.4.1	中空玻璃简介	110
3.4.2	中空玻璃的结构	111
3.4.3	中空玻璃的性能	112
3.4.4	影响中空玻璃节能性能的主要因素	114
3.4.5	低辐射玻璃的中空技术	121
3.4.6	影响中空低辐射玻璃性能的主要因素	121
3.4.7	中空低辐射玻璃应用注意事项	123
3.4.8	低辐射中空玻璃的应用	124
3.5	离线低辐射玻璃与在线低辐射玻璃的区别	124
3.5.1	生产工艺的区别	124

3.5.2	深加工性能的区别	125
3.5.3	其他性能的区别	127
3.5.4	节能效果的区别	127
第4章	低辐射玻璃的应用技术	131
4.1	低辐射玻璃膜面辨认方法	132
4.1.1	单层低辐射玻璃膜面辨认方法	132
4.1.2	低辐射中空玻璃膜面辨认方法	132
4.2	低辐射玻璃的最佳使用方法	133
4.2.1	单片使用在线低辐射玻璃膜面的位置	133
4.2.2	中空玻璃使用低辐射玻璃膜面的位置	134
4.3	低辐射玻璃在建筑中的应用	135
4.3.1	不同地区建筑物对低辐射玻璃的要求	136
4.3.2	低辐射玻璃在建筑门窗中的应用	141
4.3.3	低辐射玻璃在建筑玻璃幕墙中的应用	155
4.3.4	低辐射玻璃在建筑应用中节能分析实例	164
4.3.5	浮法玻璃抗风压设计	166
4.3.6	浮法玻璃热炸裂机理及防治	172
4.4	低辐射玻璃在家用电器中的应用	176
4.5	低辐射玻璃在其他行业中的应用	177
4.5.1	汽车工业	177
4.5.2	保护屏	178
4.5.3	低辐射玻璃今后可开发的应用领域	178
第5章	低辐射玻璃的安装及维护	179
5.1	玻璃安装技术的发展	179
5.1.1	有框架安装结构	179
5.1.2	无框架安装结构	180
5.2	玻璃安装材料概述	180
5.3	低辐射玻璃门窗的安装及维护	181
5.3.1	低辐射玻璃门窗的安装技术	181
5.3.2	低辐射玻璃门窗的保养与维护	182
5.4	低辐射玻璃幕墙的安装及维护	183
5.4.1	低辐射玻璃幕墙的安装技术	183

5.4.2 低辐射玻璃幕墙的保养和维修	187
第6章 低辐射玻璃的检测方法	188
6.1 浮法玻璃的检测方法	188
6.1.1 尺寸的测定方法	188
6.1.2 厚度的测定方法	188
6.1.3 气泡、夹杂物、线道、划伤及表面裂纹的测定方法	188
6.1.4 波筋的测定方法	188
6.1.5 光学变形的测定方法	188
6.1.6 断面缺陷的测定方法	189
6.1.7 对角线差的测定方法	189
6.1.8 尺寸偏斜的测定方法	189
6.1.9 弯曲度的测定方法	190
6.1.10 平整度的测定方法	190
6.2 镀膜玻璃的检测方法	191
6.2.1 检测依据	191
6.2.2 检测项目	191
6.2.3 检测前准备	191
6.2.4 检测流程	192
6.2.5 检测方法	193
6.2.6 判定规则	195
6.3 低辐射玻璃的检测方法	196
6.3.1 检测依据	196
6.3.2 检测项目	196
6.3.3 检测前准备	196
6.3.4 检测流程	196
6.3.5 检测方法	196
6.3.6 判定规则	197
参考文献	198
附录1 镀膜玻璃国家标准（摘录）	200
镀膜玻璃 第1部分 阳光控制镀膜玻璃	200
镀膜玻璃 第2部分 低辐射镀膜玻璃	205
附录2 公共建筑节能设计标准（摘录）	210

第 1 章 低辐射玻璃的基本概念

在玻璃表面涂镀一层或几层具有低辐射功能膜的玻璃，叫低辐射玻璃（Low Emissivity Glass，简称 Low-E 玻璃）。低辐射玻璃首先是一种镀膜玻璃，一种玻璃表面处理技术的产品；其次是一种节能玻璃。

所以，本书在论述低辐射玻璃之前，先对玻璃、薄膜和镀膜玻璃等方面的知识做一个基本介绍。

1.1 玻璃的基本知识

1.1.1 玻璃发展史简介

1.1.1.1 世界玻璃制造技术发展历程

玻璃的发明像许多产品一样具有偶然性。据传，大约在公元前 3400 年古埃及的“前王朝时期”，一些旅行家在一次长途旅行中，由于天气发生急剧变化，不得不在近海的一个山谷里住下来。于是他们便在那里生火取暖，歇脚煮食。几天过去，天气回转，大海变得风平浪静，他们喜出望外，准备继续旅行。可是，当他们收拾行李，准备离开那个山谷时，突然发现：在烧过饭的余烬里，有一粒粒白色鳞片状的东西，闪闪发光。这是什么东西呢？他们惊奇地拾起这些莫名其妙的“鳞片”，带着它们踏上了旅程。这奇怪的“鳞片”到底是什么呢？

几千年过去了，人们终于揭开了这个谜。其实，这就是人类最早在无意中制成的玻璃。那些古埃及的旅行家，为何在那里烧了 12 天的饭，就制造出了“玻璃”呢？原来，这一海域具有丰富的“海砂”，这些细砂遇到柴火燃烧时，由于木柴燃烧产生含有碱性碳酸钠的木炭灰，这样，靠木柴燃烧热度和碳酸钠的化学作用，就把细砂粒熔化了。冷却后，重新结晶，就生成了一粒粒透明体——玻璃。

人工制造玻璃的起源可追溯到公元前 2000 年的美索不达米亚时代，当时埃及的美索不达米亚人就开始有目的地用石头烧制玻璃。到了第 18 王朝（公元前 1580～1350 年），尼罗河沿岸的阿玛尔纳城镇就建起了玻璃工厂，这可以认为是

年代最古的玻璃厂。不过那时的玻璃制品，价值贵如黄金，仅能用作装饰方面。公元前 1500 年时的埃及玻璃除去宝石珠类之外，还有小盆、小瓶之类的器物。这些容器是先以细铁棒混合泥土与马粪做胚芯，然后在外表面抹上玻璃液并装饰各种颜色玻璃色丝，勾勒波浪形花纹，待玻璃冷却后，将其中的胚芯取出，即完成玻璃容器制品。

原始板状玻璃的问世，大约比珠宝、器皿类玻璃制品晚 2000 年左右，在第 18 王朝以后 1000 多年的公元前 1 世纪时，罗马人发明了玻璃的吹制技术，从而进入了玻璃史上第一个规模生产时代，使得玻璃不再只是奢侈品，而成为日常用品。其生产技术向当时罗马帝国所属的欧罗巴各地流传，从而进一步传到东方的波斯，便形成了西亚系统的玻璃生产。到了 12 世纪，玻璃产品逐渐成了一种繁荣发达的行业，出现了举世闻名的威尼斯玻璃。

威尼斯玻璃生产的最盛时期为 15~16 世纪。那时，各种颜色玻璃的生产、涂釉、镀金、刻花等精致美丽的装饰加工技术都已达到相当高的水平。当时威尼斯共和国根据欧洲各国的需要，生产供应了彩绘玻璃、玻璃锦砖、酒杯以及其他具有高度艺术装饰性的玻璃器皿，还有玻璃镜、窗玻璃、花灯等，几乎独占了整个欧洲市场。但因玻璃作坊容易起火，曾引起过火灾，所以自 1291 年起，玻璃作坊就全部迁往威尼斯北面 2 公里左右的姆拉诺岛（Murano），并与外界隔绝形成了一种产业保护政策。进入 16 世纪，开始有玻璃工匠外逃到岛外，分散到欧洲各地，逐渐把威尼斯的玻璃技术传播到各个地方。

到了相当于文艺复兴时期、巴洛克风格、洛可可风格的 17~18 世纪，在捷克、法国、英国等国家，玻璃制造技术在某些方面有了显著的进步。

捷克的波希米亚地区，盛产优质硅石，又有森林资源作为燃料，为发展玻璃工业奠定了基础。但是那里的地理条件不利——没有海港，难以进口纯碱。为了克服这一困难，人们便采树烧灰作碱的原料。由于使用了这种含钾量多的木炭，所以制造出折射率和透明度比以往都高的优质玻璃，诞生了今天仍然誉为波希米亚玻璃的高级玻璃。

在法国，路易十四时代便建立了王室所属的玻璃厂。17 世纪后半叶，已能用铸造法制造出大面积的玻璃镜和平板玻璃。

人类从开始采用原始的、手工的方法到开始采用机械化连续方法制造平板玻璃，大约又经历了 3300 年漫长的演变过程。当人们发现煤炭这种燃料资源的价值、又发明了蒸汽机之后，人类开始了 18 世纪后期的产业革命，对于玻璃的历史也带来了划时代的大变革。这个时期，玻璃技师一方面致力研究烧煤的玻璃熔窑和玻璃成型工艺的机械化；另一方面研究以食盐为原料制碱，以改变过去依靠天然碱和木炭的状态。18 世纪末发明了路布兰制碱法后，迄 19 世纪中叶，终于

发明了用氨碱法制造的纯碱。这样，玻璃工业算是完成了向近代大规模生产的转变，终于从一门艺术进入了工业生产的时代。

当时已有的横口坩埚和烧煤的直火式坩埚窑和半煤气坩埚窑，虽然成效很大，评价甚好，但它们仍是隔着坩埚壁的间接加热，而且在坩埚窑中，熔化、澄清、成型的各个操作阶段，每日要周期性地反复，坩埚和它所在的熔窑均需经受激烈的温度变化，耐火材料极易受损伤。由于坩埚的意外破裂，玻璃液一漏出，熔窑也就不能再工作，这样的事故屡见不鲜。使这种生产效率低的熔化方法一举得到飞跃发展的是弗里德里希·西门子（Fridrich Siemens）及其兄弟们协助下完成的“西门子式玻璃池窑”，这种玻璃熔窑效仿使用焦炉煤气或发生炉煤气的炼钢平炉的加热方法（即蓄热式发射炉），使玻璃液在广阔的受热面上移动，借以连续地进行熔化、澄清乃至引上成型操作。这种连续式的玻璃池窑于1873年在比利时获得成功，从其中制造出了高质量的大块平板玻璃。比利时由此一跃而以生产优质平板玻璃的国家驰名于世。

进入20世纪以后的玻璃工业以玻璃成型机械的飞跃进步为特征。以往窗玻璃是用人工吹制的，先把玻璃用人工吹成尽可能大的球泡，或者吹成圆筒，然后摊平，但到了1902年，美国拉贝尔斯（Lubbers）发明了机械吹筒法，能吹成直径为1m、长度为20m的巨大圆筒，即所谓拉贝尔斯法。之后仅仅20年间，在美国和比利时发明了效率更高、生产能力更大的两种自动平板引上法，即科尔法（平拉法）和弗克法（有槽垂直引上法）。以后不久，又由汽车大亨福特创造了压延法，即从熔窑末端流出玻璃液经过两个辊筒之间连续地轧碾成用来加工为磨光平板玻璃的毛坯，尔后又将压延成型、退火、研磨连成一条流水线，1922年在福特汽车厂开始工业规模的生产。

特别是1959年宣布诞生、1960年投入商业运营的浮法成型工艺，更是平板玻璃发展史上一次影响最大、意义最为深远的革命。1952年，英国人阿拉斯泰尔·皮尔金顿爵士发明的浮法玻璃工艺，经过6年的努力，1959年浮法玻璃工艺实现产业化，揭开了平板玻璃工业现代史的序幕，平板玻璃工业从此进入了大工业时代。世界先进国家从20世纪60年代初开始购买英国皮尔金顿的浮法玻璃专利技术，截至2005年底，世界上共有30多个国家的40多家企业购买了皮尔金顿的专利许可证，全世界共建成了350余条浮法玻璃生产线，年总产量达到了4300多万吨。

1.1.1.2 我国玻璃制造技术发展历程

中国是世界四大文明古国之一，又是在烧陶的基础上最先发明瓷器的国家。玻璃本来就源于陶瓷，瓷釉就是一种玻璃质材料。据出土文物考证，在我国河南、湖南、广西、陕西、广东、山东等地的古代墓葬中，多次出土料珠、管珠、

棱形珠、蜻蜓眼、琉璃壁、琉璃杯、琉璃瓶等大量文物，尤其是在湖南一些古墓中出土的大量战国、西汉时的玻璃器皿，上面有中国民族装饰特点的纹饰及图案，具有鲜明的民族特色。我国古玻璃技术萌芽于西周，到了战国时期已生产出真正意义上的玻璃。我国古代称玻璃为“琉琳”、“流离”、“琉璃”，从南北朝开始，有“颇黎”之称。根据《广雅》和《韵集》的记载，在相当长的一段时间内，“琉璃”是用火烧的玻璃质珠子以及其他一些透明物质的统称。

宋代以后各朝，玻璃器皿种类增多，用途与人民生活的关系更为密切。新疆若羌瓦石峡元代玻璃作坊遗址和山东博山元明初玻璃作坊遗址，是我国迄今已发现的最早的玻璃作坊。

我国大约在 14 世纪末才出现手工吹泡摊片法的作坊，据清代王侃所著《江州笔谈》记述，这种技术是明代郑和出使“大秦”（即罗马帝国）时，“携其匠入中国”，首先教会广州人使用该技术制造平板玻璃。到了明代后期和清代，平板玻璃生产中心在山东淄川县颜神镇（今博山县）、广州和北京。清代自康熙时设立了宫廷玻璃场，已能生产透明玻璃和颜色多达 15 种以上的单色不透明玻璃。清代的缠丝玻璃、套色雕刻玻璃及鼻烟壶等，都是世界玻璃艺术的珍品。据有关地方志、产业史和中外人士所写的游记等资料粗略匡算，1900 年前后我国平板玻璃年产量约为 1.5 万吨。

20 世纪初叶，世界上玻璃工业发展很快，但旧中国工业仍十分落后。直到清朝光绪皇帝在维新派的推动下，曾一度推行“新政”和“变法”，并于 1903 年颁布了《奖励公司章程》，1904 年便有几个官僚采用官办为主、官商结合的方式筹建平板玻璃厂，从德国和英国购买设备和耐火材料，1906 年先后建成山东博山玻璃公司、宿迁耀徐玻璃公司、武昌耀华玻璃公司和汉口玻璃厂等数家半手工、半机械的吹筒摊片法工厂，但由于变法失败、管理不善和洋货冲击等原因，只经营了四五年就纷纷倒闭。之后第一次世界大战曾一度给我国平板玻璃制造业提供生机，据 20 世纪 30 年代初修编的《博山县志》记载，仅博山一地采用吹泡摊片法的手工作坊，就由数家发展到二三十家，计有窑炉 180 余座，年产量曾达 7000~8000 吨。

1921 年，在“洋务运动”中暴富起来的民族资本家周学熙等人，看准了比利时人埃米尔·弗克发明的有槽引上法的优势，与获得“弗克法”在中国制造玻璃专利权的比利时乌德米财团驻华代表进行磋商，双方达成了在中国合办“耀华机器制造玻璃股份有限公司”的协议。1922 年 3 月公司正式成立，1924 年 9 月该公司第一座熔窑正式采用垂直有槽引上法生产平板玻璃，是我国乃至远东地区用机械化生产平板玻璃的开始。1922 年 4 月由日本人控制的满洲铁道株式会社在大连投资建设机械吹筒摊片法工厂，1925 年 4 月由日本旭硝子株式会社与

表 1-1 从公元前到 20 世纪末世界平板玻璃制造技术的演变过程

时代	平板玻璃成型方法	发 明 地	发 明 人	开始生产年代			窑 炉 形 式	使用燃料	碱性原料
				世 界	中 国	日 本			
手工制作时代	手工浇铸法	古埃及		公元前		—	坩埚炉	木炭	土碱、草木灰
	手工吹泡摊片法	古罗马帝国		约 3 世纪	14 世纪末	—	坩埚炉	木炭	土碱、草木灰
	手工单辊压延法	欧洲		1688		—	坩埚炉	木炭、煤炭	土碱、草木灰
	半手工、半机械吹筒摊片法	欧洲		约 1880	1906	—	从反射炉到蓄热炉	从煤炭到煤气	从土碱到纯碱
	半手工、半机械间歇压延法	英国	伯明翰玻璃公司	1880		—			
	机械吹筒摊片法	美国	拉贝尔斯	1903	1925	1914			
机械制造时代	垂直引上法	比利时	埃米尔·虎克	1914	1924	1928	不断改进的蓄热式池窑，近年又出现了数座无蓄热室的全氧燃烧熔窑	从发生炉煤气为主到重油、天然气为主，还有部分熔窑用电辅助加热，也有个别小窑采用全电熔	纯碱和经提纯的天然碱
		美国	PPG 公司	1930	1966	1931			
		日本	旭玻璃公司	1971	1981	1971			
	平拉法	美国	伊尔文·阿尔本	1917	1968	1935			
		比利时	格拉维伯尔公司	1961	1984				
	连续压延法	美国	福特汽车公司	1920	1965	1935			
		英国	皮尔金顿公司	1959	1987	1965			
		美国	PPG 公司	1975	—	—			
	浮法	中国	厂、院结合	1971	1971	—			

注：1. 严格地说，机械吹筒摊片法尚不算完全的机械化连续生产方法，因为它的重要工序仍需要人工拉引，而且还是间歇式生产。
2. “.....”表示不详，本表是查阅了大量外史资料整理汇编的。日本从 1873 年开始曾采用多种方法试制平板玻璃，但均以失败告终，直到 1990 年才生产出 1 片 2 平方英尺（即 0.186m²）的平板玻璃。

“满铁”合营建立昌光硝子株式会社，1933 年更名后的昌光硝子株式会社大连工场改造为“弗克法”生产线；1937 年 9 月昌光硝子株式会社又在沈阳建厂，1940 年昌光硝子株式会社奉天工场投产。直到 1949 年，中国实际只有秦皇岛耀华、沈阳、大连和尚未建成的上海耀华三个半平板玻璃厂，年生产量为 4.6 万吨。

新中国成立后，在非常困难的国内外环境下，迅速恢复和改造原有三个老厂，并将上海耀华玻璃厂续建成功，使几个老厂的产量迅速达到并大幅度超过历史最好水平。之后研究开发了各种工艺技术，1959 年 11 月采用“弗克法”建成株洲玻璃厂，1964 年 4 月在株洲玻璃厂建成连续压延生产线，1966 年 12 月在秦皇岛耀华玻璃厂实验成功无槽引上工艺，1968 年 11 月在广东石岐玻璃厂实验成功浅池平拉工艺，同时，采取这些工艺先后建成一批不同规模的平板玻璃生产线。1971 年 9 月通过北京实验室研究、株洲半工业实验，在洛阳玻璃厂建成我国第一条浮法玻璃工业实验线。进入 20 世纪 80 年代后，我国平板玻璃工业得到迅速发展，自 1989 年以来，我国平板玻璃产量一直居世界第一。

从公元前到 20 世纪末世界平板玻璃制造技术的演变过程见表 1-1。

1.1.2 平板玻璃的组成

玻璃是一种由无机熔融物冷却硬化而形成的非晶体固体。通常所说的平板玻璃为透明的钠钙硅酸盐玻璃，并且其厚度远远小于其长度和宽度，是上下表面平行的板状玻璃制品，其化学成分组成见表 1-2。

表 1-2 平板玻璃化学成分的组成 单位：%

SiO ₂	Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
71~73	13~15	6~10	1.5~4.5	0.5~2.5	<0.2

1.1.2.1 主要原料

平板玻璃的主要原料是基础玻璃的骨架和主要成分，它决定玻璃的物理和化学性质，通常使用这些原料制得的玻璃是无色透明的。平板玻璃引入各种氧化物的原料见表 1-3。

1.1.2.2 辅助原料

凡能使玻璃获得某些必要的性质和加速熔制过程的原料，统称为辅助原料。根据作用不同，平板玻璃的辅助原料可分为澄清剂、着色剂、脱色剂、助熔剂和氧化还原剂等。

(1) 澄清剂 在玻璃配合料或玻璃熔体中，加入一种或几种在高温时本身能分解放出气体，以促进玻璃气泡的排除，这种物质称为澄清剂。常用的澄清剂有三氧化二砷、硝酸盐、硫酸盐、氟化物、氯化物、氧化铈、三氧化二铈等。

表 1-3 平板玻璃引入主要氧化物的原料

引入氧化物	引入氧化物的原料	原料特征
SiO ₂	石英砂(硅砂)、砂岩、石英岩、脉石英	
Al ₂ O ₃	长石:常用钾长石和钠长石 $K_2O(Na_2O) \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	
	瓷土: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	密度 2.4~2.6g/cm ³
	蜡石: $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	密度 2.8~2.9g/cm ³
	氧化铝、氢氧化铝	化学原料
B ₂ O ₃	硅砂: $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	密度 1.72g/cm ³
	硼酸: H_3BO_3	密度 1.44g/cm ³
	含硼矿物:包括硼镁石、钠硼解石、硅硼钙石	
Na ₂ O	纯碱: Na_2CO_3	
	芒硝: Na_2SO_4 , 可分为无水芒硝和含水芒硝($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$)	无水芒硝白色或浅绿色结晶, 密度 2.7g/cm ³
	苛性钠: $NaOH$	
	硝石: $NaNO_3$	无色或浅黄色六角形结晶体, 密度 2.25g/cm ³
P ₂ O ₅	磷酸铝、磷酸钠、磷酸二氢铵、磷酸钙、骨灰等	
K ₂ O	碳酸钾: K_2CO_3	白色结晶粉末, 密度 2.3g/cm ³
	钾硝石或火硝: KNO_3	透明晶体, 密度 2.1g/cm ³
CaO	石灰石、方解石、沉淀碳酸钙	
MgO	白云石(苦灰石): $CaCO_3 \cdot MgCO_3$	白色或浅灰色
	菱苦土: 主要成分 $MgCO_3$	

(2) 着色剂 在玻璃配合料或玻璃熔体中, 加入一种在高温条件下使玻璃着成一定颜色的物质, 称为玻璃的着色剂。根据着色剂在玻璃中呈现的状态不同可分为离子着色剂、胶体着色剂和硫硒化物着色剂。常用的离子着色剂有锰化合物、钴化合物、镍化合物、铜化合物、铬化合物、钒化合物、铁化合物、硫、稀土元素氧化物、铀化合物等; 常用的胶体着色剂有金化合物、银化合物、铜化合物等; 常用的硫硒化物着色剂有硒、硫化镉、铋化合物。

(3) 脱色剂 无色的平板玻璃应有良好的透明度。但由于玻璃是由多种原料制得的, 原料中含有铁、铬、钛、钒等化合物和有机的有害杂质, 从而使玻璃着成不希望有的颜色。为消除这种颜色而采取在配合料中加入脱色剂的办法解决。脱色剂按其作用可分为化学脱色剂和物理脱色剂两种。常用的化学脱色剂有硝酸钠、硝酸钾、硝酸钡、三氧化二砷、氧化铈、三氧化二铈等; 常用的物理脱色剂有二氧化锰、硒、氧化钴、氧化钼、氧化镍等。