



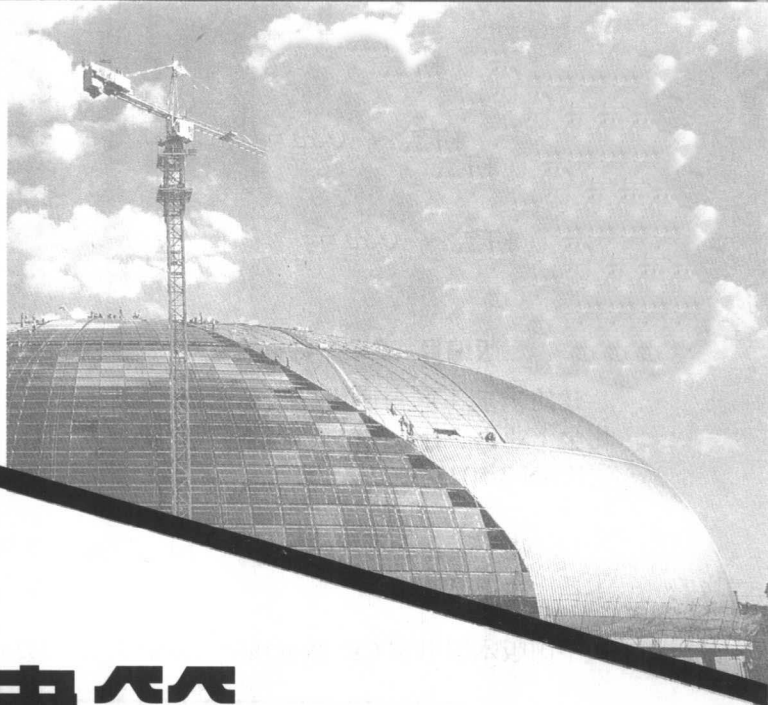
建筑玻璃 生产与应用

罗 忆 刘忠伟 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

TQ171.72
L973



建筑玻璃 生产与应用

罗 忆 刘忠伟 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北京 ·

TQ171.72
L973

QAWO 2/04

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

建筑玻璃生产与应用/罗忆, 刘忠伟编著. —北京:
化学工业出版社, 2005.2
ISBN 7-5025-6592-2

I. 建… II. ①罗…②刘… III. 建筑玻璃-生产
工艺 IV. TQ172.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 004234 号

建筑玻璃生产与应用

罗 忆 刘忠伟 编著

责任编辑: 陈志良

文字编辑: 贾 婷

责任校对: 宋 玮

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话 (010) 64982530

<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

三河市东柳装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 19 彩插 2 字数 350 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6592-2/TU·80

定 价: 36.00 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

建筑玻璃是建筑材料领域和建筑领域最为活跃的元素，如今建筑玻璃的种类已拓展为 30 余种，建筑玻璃几乎应用于一切建筑领域。目前我国已成为最大的建筑玻璃生产国，几乎能生产一切建筑玻璃品种，也是最大的建筑玻璃应用国、最大的玻璃幕墙生产国。本书从建筑玻璃生产和应用两个方面进行叙述。

在人类发展历史的长河中，玻璃生产是人类文明发展的载体之一，玻璃生产技术的进步，贯穿于人类发展历史的全过程。从公元 79 年人类第一次将透光不透明玻璃应用到窗上，标志着建筑玻璃生产和应用的开始，到如今能生产透明、平整、纯净和光滑的浮法玻璃，乃至品种翻新、功能各异的深加工玻璃，折射出人类工业技术进步和人类追求光明的历史。作为建筑领域功能性元素之一的玻璃，从最早的单纯窗玻璃，到如今的玻璃幕墙、玻璃采光顶、玻璃地板和玻璃隔断等，可谓如今的建筑玻璃无所不在、无所不用，正是大量建筑玻璃的应用，才催生出多种建筑形式。

从广义上说，多种形式的玻璃产品用之于建筑，是基于建筑还内部空间于大自然的理念，是一种返祖现象。从狭义上说，由于现代建筑结构无论在形式上、材料上、工艺上、色彩上的配搭，都可以是多重性的，建筑师通过表现结构来体现建筑的艺术美、工艺美。从技术上说，人们可以通过选择玻璃的通透（清玻璃）、有选择性的通透（镀膜）、透光不透明（彩釉）来获得不同的建筑空间（室内空间），这些正是 21 世纪建筑文化的重要特征，同时也刺激了建筑玻璃技术的发展。

本书共包括四章，第一章简要介绍了 37 种建筑玻璃的定义、生产方法、性能和用途。第二章详细叙述了建筑玻璃生产技术发展史、浮法玻璃、钢化玻璃、夹层玻璃、中空玻璃和镀膜玻璃的生产技术，特别是介绍了当今最先进的纯平、无应力斑、镀膜玻璃的钢化技术和点式中空玻璃生产技术。第三章详细叙述了各种建筑玻璃的性能表征方法、计算方法和测量方法。第四章是全书的重点，内容包括幕墙玻璃结构设计、门窗玻璃结构设计、普通玻璃防热炸裂设计、屋面玻璃结

构设计、水下用玻璃结构设计、幕墙玻璃热工性能计算、建筑门窗热工性能计算、建筑玻璃结露点计算、建筑玻璃隔声、防噪声设计和双层通道幕墙性能计算，几乎涉及一切建筑玻璃应用领域。

本书涉及建筑玻璃生产和应用两个领域，牵涉多行业、多学科，限于作者水平，本书不足和谬误在所难免，敬请同行指正。

作 者

2004年10月于北京



图1 钢化玻璃生产线



图2 明框玻璃幕墙

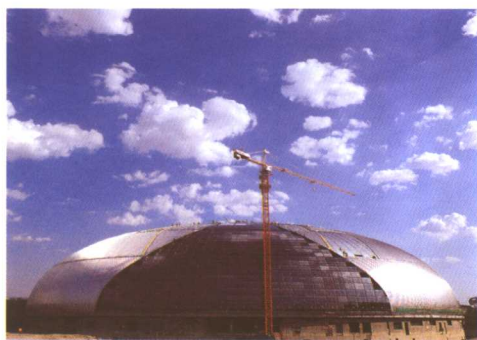


图3 国家大剧院



图4 隐框玻璃幕墙



图5 北京希尔顿饭店的玻璃幕墙



图6 竖隐横框玻璃幕墙

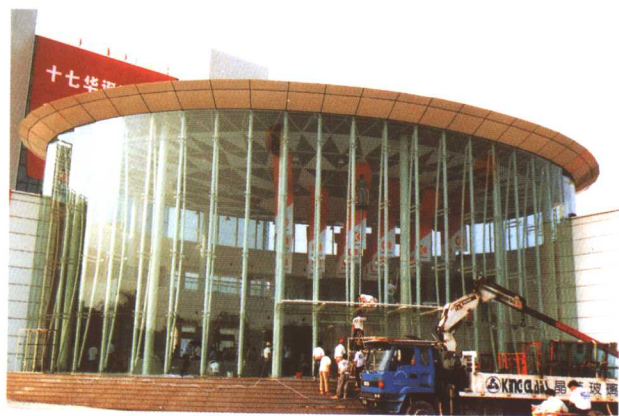


图7 金属支撑结构点支式玻璃幕墙

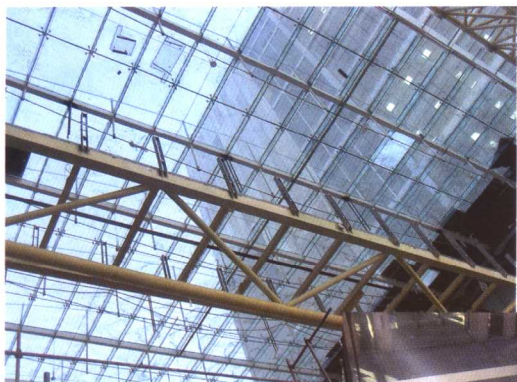


图8 点支式全玻璃幕墙



图9 杆(索)式玻璃幕墙

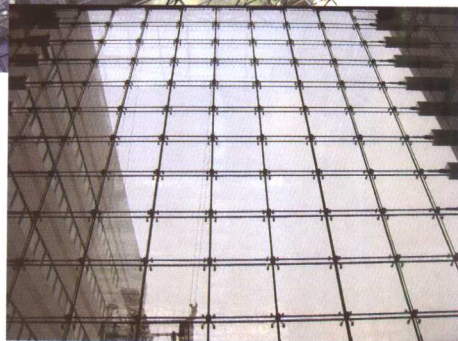


图10 平面网索结构



图11 杭州大剧院

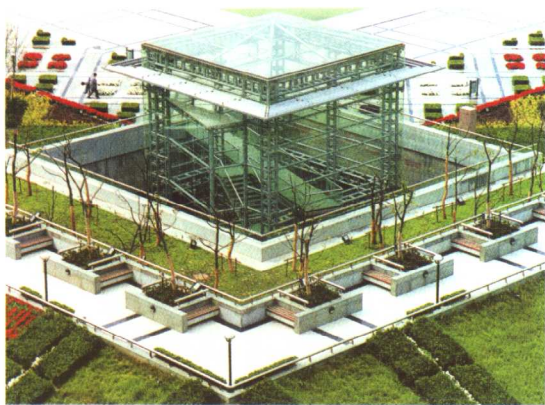


图 12 上海世纪大道



图 13 深圳城市花园展示中心



图 14 山东出版社



图 15 吉林大学麦克德尔米德实验室

目 录

第一章 建筑玻璃种类	1
第一节 浮法玻璃	2
第二节 钢化玻璃	3
第三节 中空玻璃	7
第四节 夹层玻璃	10
第五节 幕墙用钢化玻璃和半钢化玻璃	13
第六节 着色玻璃	16
第七节 阳光控制镀膜玻璃	17
第八节 低辐射玻璃	20
第九节 夹丝玻璃	26
第十节 压花玻璃	29
第十一节 防火玻璃	30
第十二节 防弹玻璃	32
第十三节 玻璃马赛克	35
第十四节 光栅玻璃	37
第十五节 单片防火玻璃	39
第十六节 釉面玻璃	40
第十七节 真空玻璃	41
第十八节 减反射玻璃	44
第十九节 光致变色玻璃	44
第二十节 电致变色玻璃	45
第二十一节 磨砂玻璃	45
第二十二节 电磁屏蔽玻璃	46
第二十三节 肋板玻璃	47
第二十四节 泡沫玻璃	49
第二十五节 乳白玻璃	49
第二十六节 冰花玻璃	49

第二十七节	热弯玻璃	50
第二十八节	贴膜玻璃	51
第二十九节	波形玻璃	51
第三十节	波形夹丝玻璃	52
第三十一节	槽型玻璃	52
第三十二节	空心玻璃砖	53
第三十三节	微晶玻璃装饰板	54
第三十四节	防X射线玻璃	55
第三十五节	地板玻璃	55
第三十六节	彩绘玻璃	56
第三十七节	玻璃镜	57
第二章	建筑玻璃生产技术	59
第一节	建筑玻璃生产技术的发展历史	60
第二节	浮法玻璃生产技术	62
第三节	钢化玻璃生产技术	71
第四节	夹层玻璃生产技术	88
第五节	中空玻璃生产技术	95
第六节	镀膜玻璃生产技术	100
第三章	建筑玻璃性能特征的表征方法、测试方法和计算方法	105
第一节	建筑玻璃弯曲强度的测量	106
第二节	玻璃热导率的测量	108
第三节	建筑玻璃抗风压强度的测量	110
第四节	玻璃材料弹性模量、剪切模量和泊松比的测量	114
第五节	玻璃线膨胀系数的测量	119
第六节	玻璃光学性能的测量	123
第七节	钢化玻璃的性能与测量	134
第八节	中空玻璃的性能与测量	137
第九节	夹层玻璃的性能与检测	144
第十节	幕墙用钢化玻璃与半钢化玻璃的性能与检测	148
第十一节	阳光控制镀膜玻璃的性能与检测	150
第十二节	低辐射镀膜玻璃的性能与检测	153
第十三节	着色玻璃的性能与检测	155
第十四节	光栅玻璃的性能与测量	156
第十五节	单片防火玻璃的性能与测量	158

第十六节	玻璃马赛克的性能与测量	161
第十七节	防弹玻璃的性能与测量	163
第四章	建筑玻璃应用技术	167
第一节	幕墙玻璃结构设计	168
第二节	门窗玻璃结构设计	221
第三节	普通玻璃防热炸裂设计	225
第四节	屋面玻璃结构设计	230
第五节	水下用玻璃结构设计	241
第六节	幕墙玻璃热工性能计算	247
第七节	建筑门窗热工性能计算	258
第八节	建筑玻璃结露点的计算	271
第九节	建筑玻璃隔声、防噪声设计	275
第十节	双层通道幕墙性能计算	288



第一章

建筑玻璃种类

mm		mm	
2002-2000 毫米	2000-1500 毫米	1500-1000 毫米	1000-500 毫米
1000-500 毫米	500-200 毫米	200-100 毫米	100-50 毫米
50-20 毫米	20-10 毫米	10-5 毫米	5-2 毫米
2-1 毫米	1-0.5 毫米	0.5-0.2 毫米	0.2-0.1 毫米
0.1-0.05 毫米	0.05-0.02 毫米	0.02-0.01 毫米	0.01-0.005 毫米

建筑玻璃种类繁多, 功能各异, 但其基本功能是相同的, 即遮风、避雨、采光, 也是为众人所熟知的。如果仅仅满足这些基本功能, 建筑玻璃的生产技术便不会发展, 也不会有今天如此众多的建筑玻璃, 可以说, 建筑玻璃已形成了一个庞大的家族, 衍生出许多不为众人所知的功能和品种。本章将按类叙述各种玻璃的定义、尺寸规格、外观质量和基本用途。

第一节 浮法玻璃

利用浮法工艺生产出的平板玻璃称之为浮法玻璃。浮法工艺过程为: 熔融的玻璃液从熔窑连续地流入有保护气氛保护的熔融金属锡槽中, 由于玻璃液与锡液的密度不同, 玻璃液漂浮在锡液的表面上, 由于重力和液体表面张力的共同作用, 玻璃液在锡液表面上自由展平, 从而成为表面平整、厚度均匀的玻璃液带, 通过外力拉引作用, 向锡槽的后部移动。在移动进程中, 经过来自炉顶上方的火焰抛光、拉薄、冷却、硬化后引上过渡辊台。辊子转动把玻璃带送进退火窑, 经过降温、退火、切裁, 形成平板玻璃产品。

浮法玻璃厚度均匀性好, 纯净透明。经过锡面的光滑作用和火焰抛光作用, 玻璃表面平滑整齐, 平面度好, 具有极好的光学性能。浮法玻璃的装饰特性是透明、明亮、纯净, 室内光线明亮, 视野广阔, 可应用于普通建筑门、窗, 是建筑天然采光的首选材料, 几乎应用于一切建筑, 在建筑玻璃中用量最大, 也是玻璃深加工行业中的重要原片。特别是超白浮法玻璃, 其透明和纯净性更是无以复加。

浮法玻璃的尺寸允许偏差、厚度允许偏差、外观质量、对角线差及弯曲度应符合以下规定。

1. 尺寸允许偏差

浮法玻璃应为正方形或长方形, 其尺寸允许偏差应符合表 1.1 的规定。

表 1.1 浮法玻璃的尺寸允许偏差

/mm

厚 度	尺寸允许偏差	
	尺寸小于 3000	尺寸 3000~5000
2, 3, 4	±2	—
5, 6		±3
8, 10	+2, -3	+3, -4
12, 15	±3	±4
19	±5	±5

2. 厚度允许偏差

浮法玻璃的厚度允许偏差应符合表 1.2 的规定。

表 1.2 浮法玻璃的厚度允许偏差 /mm

厚 度	厚度允许偏差
2, 3, 4, 5, 6	± 0.2
8, 10	± 0.3
12	± 0.4
15	± 0.6
19	± 1.0

3. 外观质量

浮法玻璃的外观质量应符合表 1.3 的规定。

表 1.3 浮法玻璃的外观质量

缺陷名称	质 量 要 求			
气泡	长度及个数允许范围			
	$0.5\text{mm} \leq L < 1.5\text{mm}$	$1.5\text{mm} < L \leq 3.0\text{mm}$	$3.0\text{mm} < L \leq 5.0\text{mm}$	$L > 5.0\text{mm}$
	$5.5 \times S$, 个	$1.1 \times S$, 个	$0.44 \times S$, 个	0, 个
夹杂物	长度及个数允许范围			
	$0.5\text{mm} < L < 1.0\text{mm}$	$1.0\text{mm} < L \leq 2.0\text{mm}$	$2.0\text{mm} < L \leq 3.0\text{mm}$	$L > 3.0\text{mm}$
	$2.2 \times S$, 个	$0.44 \times S$, 个	$0.22 \times S$, 个	0, 个
点状缺陷密集度	长度大于 1.5mm 的气泡和长度大于 1.0mm 的夹杂物: 气泡与气泡、夹杂物与夹杂物或气泡与夹杂物的间距应大于 300mm			
线道	肉眼不应看见			
划伤	长度和宽度允许范围及条数			
	宽 0.5mm, 长 60mm, $3 \times S$, 条			
光学变形	入射角: 2mm, 40°; 3mm, 45°; 4mm 以上, 50°			
表面裂纹	肉眼不应看见			
断面缺陷	爆边、凹凸、缺角等不应超过玻璃板的厚度			

注: L 为气泡或夹杂物的长度; S 为以平方米为单位的玻璃板面积, 保留小数点后两位; 气泡、夹杂物的个数及划伤条数允许范围为个数与 S 相乘所得的数值。

4. 对角线差

浮法玻璃的对角线差不应大于对角线平均长度的 0.2%。

5. 弯曲度

浮法玻璃的弯曲度不应超过 0.2%。

第二节 钢化玻璃

对普通平板玻璃进行再处理, 在玻璃表面上形成压应力层, 具有高机械强度和热冲击性能的玻璃制品称为钢化玻璃, 通常钢化玻璃特指物理钢化中的风钢化

玻璃，其断面应力分布如图 1.1 所示。

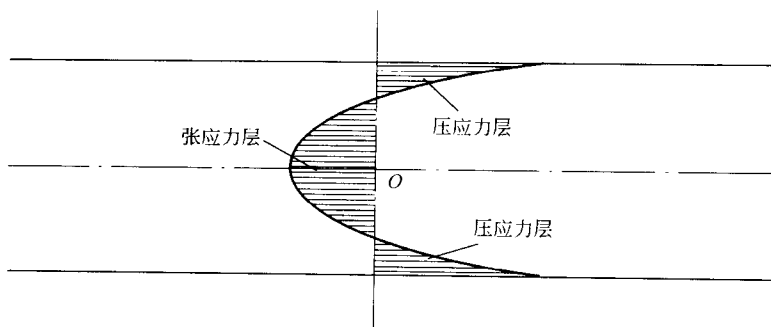


图 1.1 钢化玻璃断面应力分布

普通玻璃的表面上存在许多微小的裂纹或表面缺陷，当受到外力作用时，由于裂纹造成应力集中，致使裂纹在较小的外力作用下产生扩展，最终导致玻璃被破坏。

当玻璃表面建立压应力层后，当外力作用于玻璃时，首先由表层压应力抵消部分或者全部外力，从而大大地提高了玻璃的强度和抗冲击性能。通常钢化玻璃的表面压应力在 95MPa 以上，强度比普通玻璃高数倍，以弯曲强度表征，可以提高 $3\sim 4$ 倍，抗冲击强度是普通玻璃的 $5\sim 10$ 倍，钢化玻璃与浮法玻璃受荷载作用时其断面应力分布如图 1.2 所示。

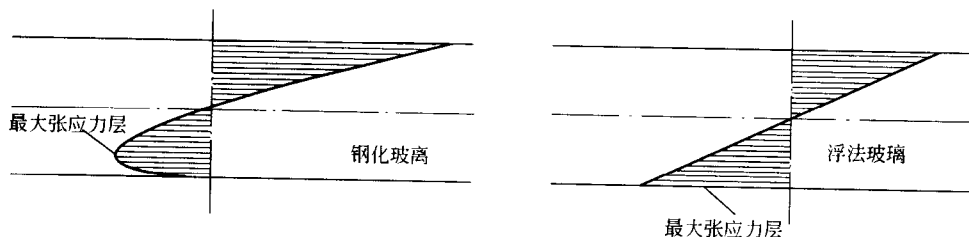


图 1.2 钢化玻璃与浮法玻璃受荷载作用时其断面应力分布

高强度也就意味着高安全性，在受到外力撞击时，破碎的可能性降低了。同时，钢化玻璃的另一个重要优点是：当玻璃破碎时，由于受到内部张应力的作用，应力瞬时释放，整块玻璃完全破碎成细小的颗粒，这些颗粒质量轻，不含尖锐的锐角，极大地减少了玻璃碎片对人体产生的伤害可能性。

如果想进一步提高钢化程度，就要采用冷却效果更好的介质，所以出现了液体钢化、固体钢化、气-液结合的雾钢化、气-固结合的粉末钢化等工艺，但是都存在着一一些问题而没有获得广泛应用。

另外，钢化玻璃耐急冷急热的性能也提高了 $2\sim 3$ 倍，一般可以承受 150°C 以上的温差，大大改善了玻璃热炸裂性能，也提高了使用安全性。

但是,钢化玻璃也存在着一些缺点。首先,存在着自爆的可能性。当玻璃在使用过程甚至运输过程中,根本没有外力作用或外力很小时,钢化玻璃自动突然整体爆裂。这是因为玻璃表面或边部存在着严重缺陷,造成表面压应力不均匀,使应力状态失衡。另外过高地追求强度,造成表面压应力过大,玻璃内应力平衡处于临界状态,也容易引发自爆。最为重要的是在玻璃内部张应力层中存在结石,如存在硫化镍结石,此时钢化玻璃具有很大的“自爆”倾向。因为结石与玻璃的膨胀系数不同,这种膨胀系数的差异使结石周围形成裂纹,此种裂纹位于钢化玻璃的张应力层,在张应力作用下会加大裂纹扩展,使玻璃自爆。硫化镍结石是在玻璃生产过程中由于使用铁制工具接触到玻璃溶液,或由玻璃原料中的铁杂质带入的。硫化镍结石一般很小,肉眼不易看到,它有一种形态转变的特性,即由 α 态转变为 β 态,在常温下这种转变非常缓慢, α 态至 β 态的转变带来结石体积由小至大的变化。这种体积的变化使硫化镍结石周围出现应力集中,若此结石存在于钢化玻璃张应力层,则玻璃自爆即成为必然。应挑选表面质量好的玻璃原片,对边部进行细致的加工,控制适宜的应力范围,防止玻璃的边角磕碰和表面划伤,才能减少玻璃自爆的可能性。

其次,钢化玻璃不宜单独在天棚、天窗结构中使用,一旦玻璃破裂产生的“玻璃雨”可能会对下面的人群造成伤害,在这种情况下一般是作成夹层玻璃使用。

再次,钢化玻璃在生产过程中会产生变形,影响光学性能,这在追求映像效果的幕墙方面应用时受到了限制。

另外,钢化玻璃一旦制成,就不能再进行任何冷加工处理,因此玻璃的成型、打孔,必须在钢化前完成,钢化前尺寸为最终产品尺寸。

钢化玻璃的尺寸允许偏差、厚度允许偏差、孔径允许偏差、外观质量及弯曲度应符合以下规定。

1. 尺寸允许偏差

钢化玻璃的尺寸允许偏差应符合表 1.4 的规定。

表 1.4 钢化玻璃的尺寸允许偏差

/mm

玻 璃 厚 度	边 长		
	$L\leq 1000$	$1000<L\leq 2000$	$2000<L\leq 3000$
	允许偏差		
4	+1	± 3	± 4
5	-2		
6			
8	+2		
10	-3		
12			
15	± 4	± 4	± 6
19	± 5	± 5	