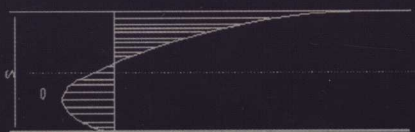
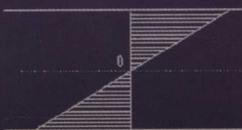
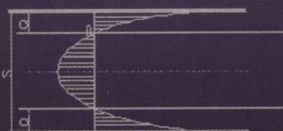


# 安全玻璃

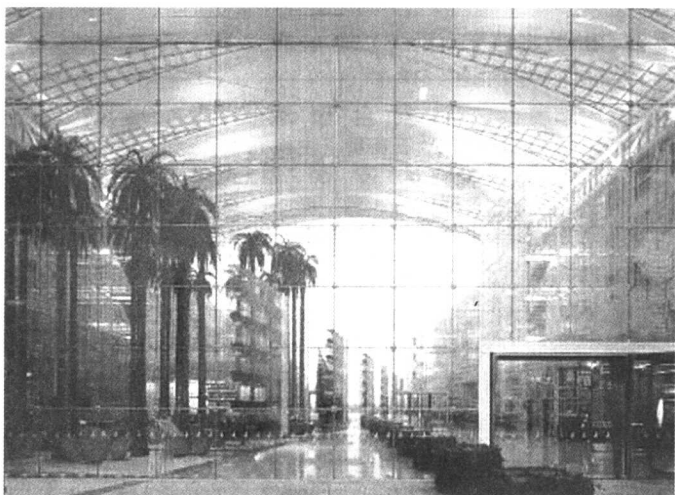
石新勇 主编  
杨建军 陈璐 副主编



化学工业出版社  
材料科学与工程出版中心

# 安全玻璃

石新勇 主编  
杨建军 陈璐 副主编



化学工业出版社  
材料科学与工程出版中心  
· 北 京 ·

本书从安全的基本定义以及对安全的要求出发,结合安全玻璃的起源和国内外发展现状,介绍了安全玻璃的概念和分类,对普通安全玻璃、保安防范用安全玻璃以及广义的安全玻璃,如防电磁辐射玻璃、防X射线玻璃等,均从原材料、工艺技术、工艺装备、结构设计 with 性能检测、质量检验与控制、国内外标准化研究、应用技术等方面进行了系统全面的论述,还介绍了安全玻璃最新的材料、技术、工艺、产品以及全球法规相关内容,并尽可能全面地汇集有关安全玻璃的国家与行业标准,方便读者查阅。

本书可供从事玻璃研究、生产、设计、检测、施工、监理等单位的技术人员阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

安全玻璃/石新勇主编. —北京:化学工业出版社,  
2006.5  
ISBN 7-5025-8789-6

I. 安… II. 石… III. 安全玻璃 IV. TQ171.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第053033号

---

## 安 全 玻 璃

石新勇 主编

杨建军 陈 璐 副主编

责任编辑: 窦 臻

责任校对: 陈 静

封面设计: 九九设计工作室

\*

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)

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 24½ 字数 490 千字

2006年6月第1版 2006年6月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8789-6

定 价: 49.00 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

# 序

改革开放以来,随着国民经济的迅速发展,我国逐渐成为世界上最大的平板玻璃生产国,现有浮法玻璃生产线 150 条。在平板玻璃产量增加的同时,玻璃深加工率也不断提高,特别是作为我国国民经济支柱产业的建筑业和交通运输业的飞速发展,促进和带动了玻璃深加工行业的发展。发展深加工玻璃已成为我国玻璃行业调整结构、实现产品升级换代、逐步由大变强的重要途径。

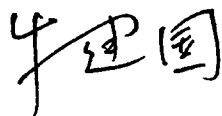
其中,安全玻璃作为深加工玻璃的主导产品,在房屋建筑、家庭装饰、汽车、火车、船舶、飞机、家电等领域得到越来越广泛的应用。特别是 2002 年我国开始实行安全玻璃产品的 3C 认证制度以来,促进了安全玻璃行业产业结构调整,实现了与国际接轨,提高了企业的质量管理水平和产品质量。2003 年 12 月 4 日国家发展和改革委员会、建设部、国家质量监督检验检疫总局、国家工商总局正式颁布了《建筑安全玻璃管理规定》,于 2004 年 1 月 1 日起正式实施后,安全玻璃 2004 年的产量比 2003 年增长了 32.5%。目前,安全玻璃生产技术正朝着生产装备大型化、工艺技术节能化、产品品种多样化、管理控制信息化的方向发展,前景一片光明。

但是,我国安全玻璃生产技术与发达国家相比,在材料研制、工艺制造、能源消耗、自动化水平、产品质量等方面还存在一定的差距。另一方面,安全玻璃的正确使用与否关系到人民生命财产安全。因此,安全玻璃的研究者、制造者、使用者等各方人士都应该清楚地了解玻璃的隐患以及应采取的措施,安全玻璃的定义、分类和特性,什么地方必须使用安全玻璃,安全玻璃的相关检验方法和验收准则,安全玻璃的产品认证以及认证的有关知识。

为了满足安全玻璃业内人士的需要,中国建筑材料科学研究院石新勇教授等专家在多年从事安全玻璃科研、标准制定、检验以及质量管理的基础上,编写了《安全玻璃》一书,从安全的基本定义以及对安全的要求出发,结合安全玻璃的起源和国内外发展现状,第一次明确了安全玻璃的概念和分类,对安全玻璃从原材料、工艺技术、工艺装备设计、结构设计与性能检测、质量检验与控制、国内外标准化研究等方面进行了系统全面的论述,并介绍了安全玻璃最新的材料、技术、工艺、产品以及全球法规相关内容。

该书内容翔实，值得一读。我相信，该书的出版必将对安全玻璃的发展起到积极的推动作用。

国家发展和改革委员会经济运行局

A handwritten signature in black ink, consisting of the characters '朱建国' (Zhu Jianguo) in a stylized, cursive script.

2006 年 1 月于北京

# 前 言

随着建筑、汽车行业的发展和人们对生活空间环境的要求越来越高，具有优良安全性的安全玻璃在汽车、火车、船舶、飞机、家电等工业领域以及房屋建筑、家庭装饰等行业得到越来越广泛的应用。

为了从根本上消除普通玻璃对人及财产安全造成的威胁，世界各国都纷纷颁布法律法规，强制推广安全玻璃。2002年，我国将安全玻璃纳入强制性产品认证范畴。2003年12月4日，我国国家发展和改革委员会、建设部等四部委联合发布了《建筑安全玻璃管理规定》，从而将安全玻璃的使用纳入了法制轨道。

但是，对于究竟什么是安全玻璃，安全玻璃有哪些种类，不同种类的安全玻璃有什么特性，安全玻璃是如何制造的，安全玻璃的性能如何检验和评价，在不同的场合如何使用不同的安全玻璃，安全玻璃的强制性产品认证是如何进行的，国内外安全玻璃的标准有什么区别等问题，安全玻璃的生产者特别是消费者并不一定很清楚，为了使广大的科研、生产、设计、施工、监理等单位都能够充分了解安全玻璃产品性能、生产工艺、检测手段、使用方法、应用场合，我们在现有国内外有关资料的基础上，汇集中国建筑材料科学研究院五十多年安全玻璃的研究和标准制定、修订的经验，以及国内外最新进展，编写了这本《安全玻璃》，以飨读者。

本书由石新勇主编，杨建军、陈璐为副主编，韩松、张明亮、王睿、莫娇、江农基、汪如洋参加编写。

本书在编撰过程中，常静宜、戴克攻、马眷荣、包亦望教授给予了大力支持，国家发展和改革委员会经济运行局牛建国副局长特为本书题写序言，左岩、龚健、邱国洪为本书提供了资料，郭世昌为本书绘制了部分插图，在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平的局限性，本书的缺憾仍恐难免，敬请广大读者提出批评意见。  
(编者 E-mail: rockyshi@263.net)

作者

2006年1月

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一章 概述 .....                | 1  |
| 第一节 安全玻璃的定义和分类 .....        | 1  |
| 一、定义 .....                  | 1  |
| 二、分类 .....                  | 1  |
| 第二节 安全玻璃的特点 .....           | 2  |
| 一、安全性 .....                 | 2  |
| (一) 玻璃破坏的原因与机理 .....        | 3  |
| (二) 玻璃破裂对人体造成伤害的过程 .....    | 3  |
| (三) 安全玻璃的安全性能要求 .....       | 4  |
| (四) 安全玻璃的破裂性质 .....         | 4  |
| 二、保安防范特性 .....              | 5  |
| 三、抗自然灾害特性 .....             | 5  |
| 四、安全玻璃的其他特性 .....           | 5  |
| 第三节 安全玻璃的起源与发展 .....        | 6  |
| 一、概述 .....                  | 6  |
| 二、汽车安全玻璃的起源与发展 .....        | 6  |
| 三、建筑用安全玻璃的起源与发展 .....       | 9  |
| 四、我国安全玻璃的起源、现状与发展前景 .....   | 10 |
| 第四节 安全玻璃的使用 .....           | 10 |
| 一、安全玻璃法规的出台促进了安全玻璃的使用 ..... | 10 |
| 二、安全玻璃使用的一般原则 .....         | 11 |
| 第二章 安全玻璃种类、特点、制造及使用 .....   | 13 |
| 第一节 钢化玻璃 .....              | 13 |
| 一、钢化玻璃的定义与分类 .....          | 13 |
| 二、钢化玻璃的发展历史 .....           | 14 |
| 三、钢化玻璃的原理 .....             | 15 |
| (一) 玻璃中内应力的类型与形成原因 .....    | 15 |
| (二) 玻璃物理钢化的原理 .....         | 18 |
| (三) 钢化玻璃应力释放速度的理论 .....     | 21 |
| 四、钢化玻璃设计 .....              | 23 |
| (一) 钢化玻璃生产技术概述 .....        | 23 |
| (二) 钢化玻璃类型设计 .....          | 24 |
| (三) 特殊钢化玻璃技术 .....          | 37 |
| 五、钢化玻璃设备 .....              | 44 |
| (一) 垂直钢化玻璃生产线 .....         | 45 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| (二) 水平法钢化玻璃生产线 .....        | 54  |
| (三) 钢化设备新发展 .....           | 60  |
| 六、钢化玻璃生产与使用中应注意的问题 .....    | 63  |
| (一) 钢化玻璃的外观缺陷 .....         | 63  |
| (二) 钢化玻璃加热过程中的弯曲问题 .....    | 64  |
| (三) 钢化玻璃生产过程中的自爆 .....      | 66  |
| (四) 安装 .....                | 67  |
| (五) 边角的保护 .....             | 67  |
| (六) 表面避免划伤 .....            | 67  |
| 七、钢化玻璃性能、标准与检测方法 .....      | 67  |
| 八、钢化玻璃的应用 .....             | 69  |
| (一) 航空领域 .....              | 69  |
| (二) 建筑领域 .....              | 69  |
| (三) 汽车工业 .....              | 70  |
| (四) 火车、船舶运输方面 .....         | 70  |
| (五) 家用电器、日用家具、卫生洁具等方面 ..... | 70  |
| (六) 电子行业 .....              | 71  |
| (七) 化工领域 .....              | 71  |
| (八) 其他领域 .....              | 71  |
| 第二节 夹层玻璃 .....              | 71  |
| 一、夹层玻璃分类 .....              | 71  |
| 二、夹层玻璃特点及性能 .....           | 72  |
| (一) 安全特性 .....              | 72  |
| (二) 保安防范特性 .....            | 74  |
| (三) 防火特性 .....              | 74  |
| (四) 防紫外线特性 .....            | 74  |
| (五) 隔热性能 .....              | 75  |
| (六) 隔声性能 .....              | 76  |
| (七) 夹层玻璃的设计和安装通用性 .....     | 80  |
| 三、夹层玻璃制备原理、制造方法 .....       | 80  |
| (一) 夹层玻璃的原材料 .....          | 80  |
| (二) 干法夹层玻璃的制备原理和制造方法 .....  | 90  |
| (三) 影响干法夹层玻璃质量的因素 .....     | 101 |
| (四) 湿法夹层玻璃的制备原理和制造方法 .....  | 102 |
| (五) 影响湿法夹层玻璃质量的因素 .....     | 104 |
| (六) 湿法夹层工艺的特点 .....         | 105 |
| (七) EN 胶片夹层玻璃的生产工艺及设备 ..... | 105 |
| 四、夹层玻璃检验标准 .....            | 107 |
| 五、夹层玻璃的应用 .....             | 108 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 第三节 防弹(防盗)玻璃 .....               | 109 |
| 一、概述 .....                       | 109 |
| 二、防弹(防盗)玻璃的结构与性能 .....           | 110 |
| (一) 防弹玻璃的性能要求 .....              | 110 |
| (二) 防弹玻璃的结构 .....                | 111 |
| (三) 影响防弹玻璃性能的因素 .....            | 114 |
| (四) 防盗玻璃的结构与性能 .....             | 115 |
| 三、防弹(防盗)玻璃的制备 .....              | 117 |
| 四、防弹(防盗)玻璃检验标准 .....             | 118 |
| 五、防弹(防盗)玻璃的应用 .....              | 118 |
| (一) 应用场合 .....                   | 118 |
| (二) 防弹玻璃的选择 .....                | 118 |
| (三) 防弹玻璃的安装 .....                | 119 |
| 第四节 防火玻璃 .....                   | 119 |
| 一、防火玻璃的分类 .....                  | 119 |
| (一) 概述 .....                     | 119 |
| (二) 复合防火玻璃的种类 .....              | 120 |
| (三) 单片防火玻璃的种类 .....              | 121 |
| (四) 具有防火性的空心玻璃砖 .....            | 123 |
| 二、防火玻璃特点及性能 .....                | 123 |
| (一) 防火玻璃的耐火性能 .....              | 123 |
| (二) 复合防火玻璃的其他特点 .....            | 125 |
| (三) 单片防火玻璃的其他特点 .....            | 125 |
| 三、防火玻璃制备原理、制造方法 .....            | 126 |
| (一) 灌注型夹层复合防火玻璃制造方法 .....        | 126 |
| (二) 夹层型复合防火玻璃制造方法 .....          | 126 |
| (三) 防火胶黏剂的种类及性质 .....            | 127 |
| (四) 单片防火玻璃的制备原理及方法 .....         | 128 |
| 四、防火玻璃的检验标准 .....                | 129 |
| 第五节 防护玻璃 .....                   | 130 |
| 一、耐辐照玻璃(防耐辐射玻璃) .....            | 131 |
| 二、防X射线玻璃和防 $\gamma$ 射线玻璃 .....   | 133 |
| (一) 防X射线和防 $\gamma$ 射线无机玻璃 ..... | 133 |
| (二) 铅塑玻璃材料 .....                 | 134 |
| 三、防中子射线玻璃 .....                  | 136 |
| 四、剂量计玻璃 .....                    | 137 |
| 五、防电磁辐射玻璃 .....                  | 138 |
| 六、防紫外线玻璃 .....                   | 138 |
| 七、激光防护玻璃 .....                   | 139 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| <b>第三章 安全玻璃的应用</b>    | 141 |
| <b>第一节 汽车用安全玻璃</b>    | 141 |
| 一、汽车风窗玻璃              | 141 |
| (一) 汽车风窗玻璃的种类及其应用     | 141 |
| (二) 汽车风窗玻璃的应用要求       | 141 |
| 二、汽车风窗以外用玻璃           | 145 |
| (一) 钢化玻璃              | 145 |
| (二) 夹层玻璃              | 145 |
| (三) 中空玻璃              | 146 |
| (四) 塑料安全玻璃            | 146 |
| (五) 顶篷用安全玻璃           | 147 |
| 三、汽车安全玻璃的颜色           | 147 |
| 四、汽车用安全玻璃的发展趋势        | 148 |
| (一) 不断增大的面积及日渐复杂的外观设计 | 148 |
| (二) 优秀的光学质量           | 148 |
| (三) 夹层玻璃强化技术使用越来越多    | 149 |
| (四) 多功能汽车玻璃的应用        | 149 |
| (五) 汽车玻璃的集成度大大增加      | 149 |
| (六) 汽车玻璃的质量越来越轻       | 150 |
| <b>第二节 建筑安全玻璃</b>     | 150 |
| 一、建筑安全玻璃的安全性能要求       | 150 |
| (一) 碎片状态              | 150 |
| (二) 抵抗钢体冲击能力          | 150 |
| (三) 抗人体撞击能力           | 150 |
| 二、建筑安全玻璃的应用部位         | 152 |
| 三、不同种类安全玻璃的应用         | 157 |
| (一) 夹层玻璃              | 157 |
| (二) 钢化玻璃              | 163 |
| (三) 防火玻璃              | 166 |
| 四、建筑安全玻璃应用中常见的问题      | 169 |
| (一) 钢化玻璃的应力斑          | 169 |
| (二) 钢化玻璃的自爆           | 169 |
| (三) 夹层玻璃与密封胶的相容性      | 172 |
| (四) 贴膜玻璃              | 172 |
| 五、建筑安全玻璃的发展趋势         | 174 |
| <b>第三节 铁道车辆用安全玻璃</b>  | 175 |
| 一、概述                  | 175 |
| 二、高速列车用安全玻璃           | 175 |
| (一) 国内外高速列车发展概述       | 175 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| (二) 高速列车玻璃 .....                   | 176 |
| (三) 高速列车气密性车窗结构 .....              | 179 |
| 三、地铁列车用安全玻璃 .....                  | 181 |
| 第四节 飞机用安全玻璃 .....                  | 181 |
| 一、飞机用抗鸟撞玻璃 .....                   | 184 |
| 二、飞机用电加温玻璃 .....                   | 184 |
| 三、飞机用隐身玻璃 .....                    | 185 |
| 四、飞机用圆弧风挡玻璃 .....                  | 186 |
| 第五节 电磁屏蔽玻璃 .....                   | 187 |
| 一、概述 .....                         | 187 |
| (一) 电磁屏蔽玻璃的起源与发展 .....             | 187 |
| (二) 电磁屏蔽玻璃的制造方法和分类 .....           | 188 |
| (三) 屏蔽玻璃的设计 .....                  | 190 |
| 二、电加热电磁屏蔽玻璃 .....                  | 191 |
| 三、防爆电磁屏蔽玻璃 .....                   | 192 |
| 第四章 国内外安全玻璃标准及法规概述 .....           | 194 |
| 第一节 汽车安全玻璃标准 .....                 | 194 |
| 一、夹层玻璃 .....                       | 195 |
| 二、区域钢化玻璃 .....                     | 196 |
| 三、钢化玻璃 .....                       | 197 |
| 四、塑玻复合材料 .....                     | 197 |
| 五、中空安全玻璃 .....                     | 198 |
| 第二节 其他安全玻璃标准 .....                 | 199 |
| 一、建筑用安全玻璃标准 .....                  | 199 |
| 二、铁道车辆用安全玻璃标准 .....                | 201 |
| 三、其他 .....                         | 201 |
| 第三节 汽车安全玻璃标准与全球性技术法规 .....         | 201 |
| 第五章 安全玻璃产品检测标准 .....               | 204 |
| 第一节 钢化玻璃标准 .....                   | 204 |
| 一、钢化玻璃 .....                       | 204 |
| 二、钢化玻璃(修订版报批稿) .....               | 211 |
| 三、幕墙用钢化玻璃与半钢化玻璃 .....              | 220 |
| 第二节 夹层玻璃标准 .....                   | 226 |
| 第三节 防火玻璃 .....                     | 238 |
| 第四节 汽车安全玻璃标准 .....                 | 246 |
| 第五节 铁道车辆、船舶等用安全玻璃标准 .....          | 266 |
| 一、船用钢化安全玻璃 .....                   | 266 |
| 二、船用舷窗和矩形窗钢化安全玻璃非破坏性强度试验 冲压法 ..... | 272 |
| 三、船用矩形窗电加温玻璃(报批稿) .....            | 278 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 四、铁道车辆用安全玻璃 .....         | 286 |
| 五、机车船舶用电加温玻璃 .....        | 301 |
| 六、机车电加温玻璃（报批稿） .....      | 307 |
| 第六节 飞机用安全玻璃标准 .....       | 317 |
| 一、飞机防弹玻璃规范 .....          | 317 |
| 二、飞机电加温玻璃规范 .....         | 326 |
| 三、飞机抗鸟撞玻璃规范 .....         | 337 |
| 第七节 防弹玻璃标准 .....          | 346 |
| 一、防弹玻璃 .....              | 346 |
| 二、装甲车辆用防弹玻璃规范 .....       | 353 |
| 第八节 居室用玻璃台盆、台面 .....      | 362 |
| 附录 中国安全玻璃的强制性产品认证简介 ..... | 370 |
| 参考文献 .....                | 377 |

# 第一章 概 述

## 第一节 安全玻璃的定义和分类

### 一、定义

中文所说的安全，在英文中有 safety 和 security 两种解释。实际上，中文的安全也有两个层次的含义：一是指自然属性的安全（safety），它主要是指发生自然灾害（水、火、震等）和准自然灾害（如产品设计不合理，环境、卫生要求不合格等）所产生的对安全的破坏，这类安全的被破坏，主要不是由于人的有意参与而造成的。二是有明显人为属性的安全（security），它主要是指由于人的有目的参与（如盗窃、抢劫、刑事犯罪、恐怖袭击等）而引起的对安全的破坏。所以，广义地讲，安全应该包括 safety 和 security 两层含义。

因此，在广义上，安全玻璃是指能够使发生自然灾害和准自然灾害所产生的对安全的破坏，以及由于人的有目的参与而引起的对安全的破坏，而造成的各种对人体和财产的伤害，降低到最低程度的玻璃的总和。通常，在实际应用中，安全玻璃是指通过各种增强处理，如钢化、夹层、与其他高强透明材料复合、采用特殊玻璃成分以及经过特殊处理而制成的玻璃。而人们的普遍意识中，安全玻璃是指将普通平板玻璃或浮法玻璃经特殊加工后使具有一定安全性的玻璃，通常不包括采用特殊成分而具有特殊防护功能的玻璃，如防 X 射线的铅玻璃等。此时的安全玻璃通常具有机械强度高、抗冲击、抗热震、破碎时形成无尖锐的棱角的颗粒或碎片不飞溅、不掉落的特点，能有效防止冲击、爆炸、弹击、静压爆破及火灾等原因引起的对人体的伤害。

从狭义上说，安全玻璃的一种特殊类型是保安防范玻璃。根据现代汉语词典的解释，所谓防范，就是防备、戒备，而防备是指做好准备以应付攻击或避免受害，戒备是指防备和保护。因此，保安防范的定义是做好准备与保护，以应付攻击或避免受害，从而使被保护对象处于没有危险、不受威胁、不出事故的安全状态。显而易见，这里，安全是目的，防范是手段，通过防范的手段达到（实现）安全的目的，就是保安防范的基本内涵，也就是保安防范玻璃的主要作用。

### 二、分类

根据加工工艺的不同，在国外和国内都规定夹层和钢化玻璃为安全玻璃。

夹层玻璃是在两层或两层以上玻璃之间，夹入强韧的胶片黏合而成。夹层玻璃具有透明、机械强度高、耐光辐照、耐寒、耐热和破碎时的安全性能。夹层玻璃高

强、有弹性和耐穿透的中间层，可吸收大量的冲击能，即使破碎，碎片仍粘在胶片上，不飞散不掉落，具有很高的安全性能。

钢化玻璃又分为物理钢化玻璃和化学钢化玻璃。物理钢化玻璃是把玻璃加热到接近软化点之后，用高压空气、液体或固体等冷却介质均匀骤冷而制成的。化学钢化玻璃是在玻璃表面进行两种离子半径不同的离子的交换而制成的。经过钢化处理后，在玻璃表面形成压应力层。钢化玻璃的抗弯强度是普通退火玻璃的4~5倍，抗冲击强度约为普通玻璃的5倍并有一定的耐水压强度。物理钢化玻璃破碎后，碎片呈颗粒状，无尖角，安全性能很高。化学钢化玻璃强度高，不易破碎，但是一旦破碎，其碎片具有锐利尖角，容易对人造成伤害，所以不作为安全玻璃使用。

根据用途不同，安全玻璃还可以分为交通工具（包括汽车、火车、船舶、飞机）用和建筑（工业建筑与民用建筑）用安全玻璃两大类，或者分为普通安全玻璃和保安防范玻璃两类。保安防范玻璃包括屏蔽高能辐射如X射线、 $\gamma$ 射线、中子射线、紫外线、电磁波辐射的玻璃、防盗玻璃、防暴力入侵玻璃、防飓风/台风玻璃、防地震玻璃、防弹玻璃、防爆炸玻璃等。

建筑用安全玻璃的定义，在《建筑玻璃应用技术规程》JGJ 113—2003中被规定为，应用和破坏时给人的伤害达到最小的玻璃，包括符合我国国家标准GB 9962规定的夹层玻璃和符合GB 9963规定的钢化玻璃以及符合GB 15763.1规定的防火玻璃以及由它们组合的复合产品。2003年12月4日，国家发展和改革委员会、建设部、国家质量监督检验检疫总局、国家工商总局四部委联合发布的《建筑安全玻璃管理规定》指出：符合现行国家标准的钢化玻璃、夹层玻璃及由钢化玻璃或夹层玻璃组合加工而成的其他玻璃制品，如安全中空玻璃等，为安全玻璃。组成安全中空玻璃的两片或多片玻璃应都是安全玻璃。单片半钢化玻璃因碎片过大，破坏时不具有安全性，夹丝玻璃因不能满足霰弹袋试验、落球试验的要求，都不属于安全玻璃。但是，半钢化玻璃、夹丝玻璃以及贴膜玻璃在特殊的场合中使用，也能起到一定的安全防护作用。

汽车用安全玻璃根据在车身上的应用部位不同，可分为两类：风窗用安全玻璃及风窗以外用安全玻璃。风窗用的安全玻璃有区域钢化玻璃、普通夹层玻璃、钢化玻璃以及塑料玻璃复合材料。风窗以外用的安全玻璃有钢化玻璃、普通夹层玻璃、塑玻复合材料、中空玻璃以及塑料安全玻璃材料等。

## 第二节 安全玻璃的特点

### 一、安全性

安全玻璃的特点首先是其安全性，而非功能性。安全性包含两层含义：其一是在正常使用条件下不破坏；其二是如果在正常使用条件下破坏或意外破坏，不对人体造成伤害或将对人体的伤害降低为最小。而狭义的安全性主要是指受意外或自然灾害时，能够避免或减轻玻璃破裂对人体造成的伤害。在研究狭义的安全性之前，

必须首先研究玻璃的破坏类型和机理。

### (一) 玻璃破坏的原因与机理

普通玻璃的不安全隐患主要来自玻璃的破裂、脱落等。玻璃是易碎品，在破碎后边部暴露出锋利的边沿或尖角极易对人造成刺划伤害，当碎片从高空坠落时犹如刀子从上掉下；当人体冲撞玻璃时，其断口尖角划伤皮肉。在建筑上，玻璃，特别是玻璃幕墙一般都安装在暴露部位，有可能发生破碎。

当外界作用于玻璃表层的张应力超过玻璃强度允许范围时，玻璃就要破裂。主要情况有：玻璃受到撞击时破碎；玻璃的热炸裂，玻璃特别是吸热玻璃与热反射玻璃在受到阳光照射时，在玻璃表面形成不均匀的温度场，从而在玻璃中形成热应力，当这种热应力超过玻璃的强度允许范围时发生炸裂；玻璃在受到风荷载即风压的作用后，风压的作用力超过玻璃的强度允许范围时发生破裂；玻璃安装时存在较大的应力，随着时间推移玻璃也发生炸裂；玻璃在安装之前或安装过程中边部受到损伤或存在裂纹，当受到其他外力作用时发生破裂；在地震、冰雪等其他因素的作用下发生破裂或炸裂。破裂或炸裂后的玻璃都有可能发生脱落而成为不安全因素。

因此，玻璃的安全性首先考虑防人体冲击，其次考虑防止玻璃掉落。人体冲击到玻璃上时，玻璃的受力可简化为集中力，但这种集中力与枪弹或石块等坚硬物体击中玻璃产生的集中力相比，两者的作用方式有一定的差别，如图 1-1 所示。

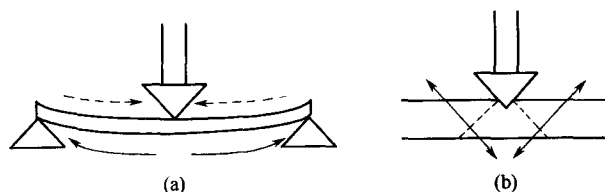


图 1-1 由不同冲击体引起玻璃破裂的不同方式

- (a) 人体、柔软的球类等较软物体冲击时的弯曲破坏（实线：拉应力；虚线：压应力）；  
(b) 枪弹、钢球、石块等较硬物体冲击时的集中力破坏（实线：拉应力；虚线：破坏面）

### (二) 玻璃破裂对人体造成伤害的过程

由于玻璃破坏造成的伤害主要表现在下面几种状况。

(1) 高空坠落 玻璃天棚或高层建筑的窗玻璃在台风、冰雹、地震或人为破坏时破碎坠落，其尖锐碎片造成人身伤害。

(2) 身体撞击 汽车风挡玻璃、建筑通道、隔墙、落地窗、大门等玻璃结构物容易受到人的碰撞，尤其对于儿童极具危险，玻璃被撞破后刺伤人体。

(3) 火灾蔓延 建筑物发生火灾时，玻璃遇火爆裂，空气流通助长火势蔓延。

(4) 防盗的薄弱部位 盗贼入室的捷径是打破门窗玻璃，玻璃抗冲击强度较低，是建筑物安全的重点防护部位。

(5) 防弹防爆的薄弱部位 银行、使馆等重要建筑易受到外来攻击的部位是门窗，子弹容易穿透、炸弹容易爆破。

在上述情况下，玻璃破裂对人体造成的直接伤害大致有割伤和刺伤，直接伤害产生的过程见图 1-2。

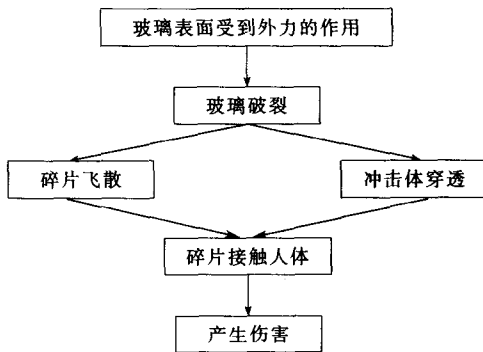


图 1-2 玻璃破裂对人体造成直接伤害的过程

这两种玻璃是最基本的安全玻璃类型，其他安全玻璃类型还有夹丝安全玻璃、热增强（半钢化）夹层安全玻璃、钢化夹层玻璃等。

### （三）安全玻璃的安全性能要求

在不同应用领域，对于安全性能的要求有所不同。比如汽车玻璃是一种被动安全部件，应具备一定的抗外力冲击能力及抗穿透能力，以抵抗外来飞溅物（如小石子）的冲击及发生意外时人体的冲击。建筑用钢化玻璃的主要安全性能包括具备抵抗一定动能刚体冲击的能力、抗人体撞击的能力和特定的破碎状态；建筑夹层玻璃的主要安全性能包括具备抵抗一定动能刚体冲击的能力、相应级别的抗人体撞击的能力。

### （四）安全玻璃的破裂性质

为了充分发挥安全玻璃的安全特性，在使用过程中，除了考虑其安全性能要求以外，还应考虑在不同冲撞条件下或不同的使用场合，安全玻璃的破裂形式。

安全玻璃的破裂形式具有三种不同的情况：其一是不破裂，安全玻璃保持原状；其二是安全破裂后，形成无伤害的碎片或不足以造成伤害；其三是抑制破裂，安全玻璃破裂后没有明显的裂痕。

产生破裂所需能量的多少，与玻璃的种类和组成有关。因此，对于安全破裂，不同的安全玻璃又具有不同的破裂特点。

（1）钢化玻璃 钢化玻璃破碎时，碎成小的、相对无伤害性的碎片。但是，一旦破碎，钢化玻璃不能阻止撞击物（或人）的穿透，因此如果钢化玻璃作为屋顶斜面天窗玻璃的话，撞击物（或人）会跌到下面地板上。如果碎片不是从很高的地方落下的话，由于玻璃碎片很小而且无伤害性，碎片对下方的人和财务的损害将被减少到最小限度。

（2）夹层玻璃 在碎裂的情况下，夹层玻璃碎片应被黏附在中间层上而不会飞溅或掉落。

（3）夹丝安全玻璃 在玻璃碎裂的情况下，中间的金属丝网将把玻璃碎片网在一起。

(4) 热增强(半钢化)夹层安全玻璃 在受到冲击时,热增强(半钢化)玻璃将破裂,形成同退火玻璃一样的大块碎片,如果是构成夹层玻璃,那么碎片将黏附在中间层薄膜上。如果夹层玻璃、夹丝安全玻璃和热增强(半钢化)夹层安全玻璃是全框架安装的,而且导致破碎的冲击不是特别强大,那么大块玻璃碎片落下的可能性很小。

(5) 钢化夹层安全玻璃 两片钢化玻璃可以通过夹层形成夹层安全玻璃。在两块玻璃同时碎裂的情况下,整块夹层玻璃可能下垂落出框架。

## 二、保安防范特性

保安防范性是指在受人为蓄意或故意行动侵害时免除危险或减少伤害或损失。安全和保安防范性通常都依赖于玻璃的性能。而具有保安防范性的玻璃,对于危及安全的意外和蓄意伤害都有抵御作用。夹层玻璃是保安防范玻璃的基础材料。通过改变夹层玻璃的结构、胶片种类以及原片玻璃种类,由夹层玻璃可以制作出许多符合多种安全和保安防范要求的玻璃制品,同时集隔热、隔音、透光、透视和美观于一身。

玻璃的保安防范性主要包括以下三方面。

(1) 防暴力入侵性 延缓或阻止入侵者的暴力侵入。UL972 要求玻璃经得住冲击能量为 542J 的钢球 5 次的撞击,ASTM 最低防暴力入侵等级-I 级要求玻璃经得住 1kg 重圆头大锤的 10 次打击。

(2) 防弹性能 阻止子弹的贯穿,使入射物(从炸弹弹片到强火力步枪子弹)偏转方向;防止被保护面产生过多的玻璃飞溅物。

(3) 防爆炸(炸弹和意外爆炸)性能 在受冲击波作用后或爆炸产生碎片的冲击后,玻璃仍保留在框架中。

## 三、抗自然灾害特性

夹层玻璃是具有抗自然灾害特性安全玻璃的基础材料。抗自然灾害特性主要包括以下两方面。

(1) 防飓风/风暴性 在飓风和大风期间,玻璃破碎主要由小飞射物和风夹杂物造成。适当的夹层玻璃一旦破碎,应能保留在框架中,维持外围护结构的一体性,不对室内人员和财产造成进一步的威胁。

(2) 防地震性 地震时,玻璃碎片是造成损失和伤害的潜在因素。因此,适当的夹层玻璃在摇晃的条件下,应能保留在框架中,防止玻璃的飞溅和掉落。

## 四、安全玻璃的其他特性

为了获得安全性、保安防范性和抗自然灾害性,不应牺牲玻璃的基本性能优势。因此,安全玻璃还应具有一定的光学性能和耐环境等性能,特别是应用在交通工具上,应具有一定的可见光透过程。