玻璃的奇妙世界

——玻璃科普手册

刘玉、侯志力 编

河北建材职业技术学院

秦皇岛市玻璃博物馆

2025 年 5 月

目　录

前　言 1

第一章 玻璃的起源：一场美丽的意外 2

1.1 天然玻璃：大自然的鬼斧神工 2

1.2 最早的玻璃：古埃及与美索不达米亚的发现 3

1.3 中国古代的玻璃：神秘的“琉璃” 4

第二章 秦皇岛与玻璃奇妙缘分：中国玻璃工业的摇篮 6

2.1 渤海湾畔的火种：中国近代玻璃工业的诞生 6

2.2 烽火中的坚守：战时玻璃工业的艰难求存 7

2.3 黄金时代：计划经济下的创新突破 7

2.4 转型与超越：市场经济大潮中的华丽转身 8

2.5 玻璃的记忆与未来：创新永无止境 8

第三章：玻璃是如何制造的——探秘玻璃工厂 10

3.1 玻璃的配方：沙子变透明的魔法 10

3.2 熔制与成型：高温下的变形记 11

3.3 玻璃的装饰与加工：赋予玻璃美丽外衣 12

3.4 玻璃工厂实地探秘：从原料到成品 13

第四章：玻璃新材料——当今功能玻璃介绍 15

4.1 钢化玻璃与夹层玻璃：安全守护者 15

4.2 光纤：信息时代的高速公路 16

4.3 生物玻璃：医疗领域的革命性材料 17

4.4 智能玻璃：会变色的未来之窗 18

第五章：玻璃的未来——特种玻璃发展方向 21

5.1 自清洁玻璃：自然界的灵感 21

5.2 能源玻璃：建筑中的发电站 22

5.3 超薄柔性玻璃：折叠屏时代的核心材料 23

卷尾语：透明的史诗，永恒的光芒 25

前　言

欢迎来到玻璃的奇妙世界！

亲爱的朋友们，欢迎来到秦皇岛玻璃博物馆！玻璃是我们生活中最常见的材料之一，从窗户、镜子到手机屏幕，甚至太空飞船的舷窗，都离不开它。但你知道玻璃是怎么被发现的吗？它又是如何从古老的工艺品变成高科技材料的呢？

秦皇岛作为中国玻璃工业的发源地之一，在中国玻璃发展史上占有重要地位。秦皇岛玻璃博物馆收藏了大量珍贵的玻璃文物和展品，是了解玻璃文化的绝佳场所。

让我们一起揭开玻璃的神秘面纱，探索这个透明世界的无限精彩！在这本手册里，我们将带你穿越时空，探索玻璃的起源、历史、制作工艺，以及它在现代科技中的神奇应用。希望通过这本小册子，能让你对玻璃有全新的认识，并在参观博物馆时获得更丰富的体验。

准备好了吗？让我们一起开启这段透明的冒险吧！

第一章 玻璃的起源：一场美丽的意外

趣味小知识：沙子+碱矿=玻璃？

根据古罗马学者普林尼在《自然史》中记录，玻璃制作方法的发现始于一次偶然：一只运载天然碱块（小苏打）的腓尼基商船，在航行途中遇到风浪，无法再继续前进，只好就近抛锚，在沙滩上过夜。船员们在岸上用碱块垒起炉灶、架锅烧火做饭时，不知不觉中加热了沙滩上的砂砾和石灰……风平浪静后人们收拾东西、准备继续航行时，忽然发现沙滩上有一些闪闪发光的、明珠似的小东西，这就是最早的玻璃。

1.1 天然玻璃：大自然的鬼斧神工

在我们人类学会制造玻璃之前，大自然早已创造了多种美丽的天然玻璃。想象一下，在远古时代，原始人类在野外可能会偶然发现一些透明或半透明的“石头”，它们与普通石头截然不同——这就是大自然的玻璃作品。

最著名的天然玻璃要数黑曜石了（见图 1）。它是一种火山玻璃，形成于火山喷发时熔岩迅速冷却的过程。黑曜石通常呈黑色，但在光线照射下会显现出美丽的虹彩。考古发现表明，早在旧石器时代，人类就已经使用黑曜石制作工具和武器了。它的边缘可以打磨得非常锋利，比当时的许多石材都更适合切割。



图 1 天然黑曜石矿石

另一种神奇的天然玻璃是陨石玻璃，古人也称“雷公墨”（见图 2）。它是陨石撞击地球时，高温高压使地表沙子瞬间熔化后形成的。古埃及人非常珍视这种淡黄色的天然玻璃，图坦卡蒙法老的金面具上就镶嵌了这种“天外来客”。它实际上是闪电击中沙滩或岩石时，瞬间高温使沙子熔化形成的玻璃状物质。古人认为这是雷神留下的墨块，具有辟邪的神奇功效。



图 2 陨石玻璃

这些天然玻璃的存在，或许启发了古代人类尝试制造人造玻璃的想法。大自然已经展示了沙子可以在高温下变成透明物质的可能性，人类需要做的就是重现并控制这一过程。

1.2 最早的玻璃：古埃及与美索不达米亚的发现

人类制造玻璃的历史可以追溯到约公元前 3500 年的古埃及和美索不达米亚地区。考古学家在这些地区的遗址中发现了最早的玻璃制品——主要是小珠子和其他装饰品。

有趣的是，玻璃的发现其实是一场“意外”！大约在 5000 年前，古埃及或美索不达米亚（今天的伊拉克一带）的工匠们在烧制陶器时，偶然发现沙子（主要成分是二氧化硅）在高温下熔化，冷却后变成了一种透明或半透明的物质——这就是最早的玻璃！不过，那时候的玻璃并不像现在这么清澈，而是带有颜色、不太透明的块状物。古人用它来做装饰品，比如珠子、护身符等。



图 3 天然碱矿

古埃及人是最早掌握玻璃制造技术的文明之一。他们用玻璃制作精美的首饰、香水瓶，甚至法老的面具装饰。而腓尼基人（古代地中海沿岸的商人）则发明了“玻璃吹制法”，让玻璃可以做成各种形状，

比如杯子、花瓶等。这项技术让玻璃制品变得更加普及。他们特别擅长制作彩色玻璃，他们通过添加不同的金属氧化物来获得丰富的颜色：铜产生蓝色或绿色，钴产生深蓝色，锰产生紫色，铁产生绿色或棕色。著名的图坦卡蒙法老墓中就出土了大量精美的彩色玻璃制品。

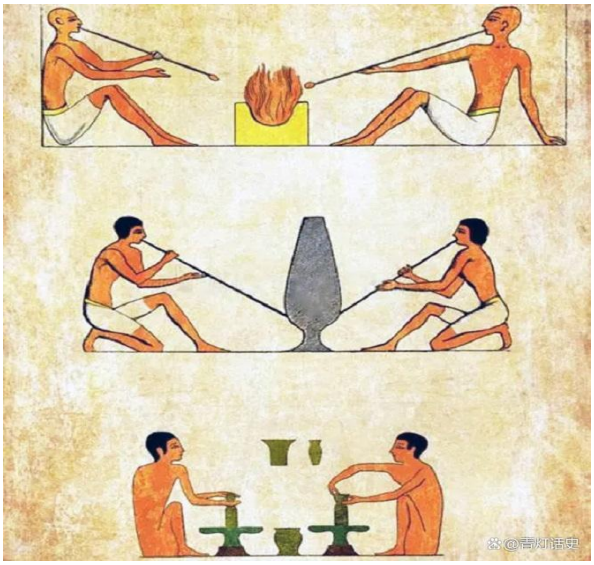


图 4 古埃及人制作玻璃示意图

在美索不达米亚，玻璃制造也是一门高度发达的技艺。亚述帝国的玻璃工匠们制作了各种装饰品和实用器皿。一块公元前 8 世纪的亚述碑文上甚至记载了玻璃制造的配方，这是已知最早的玻璃技术文献之一。

1.3 中国古代的玻璃：神秘的“琉璃”

在中国，玻璃在古代被称为“琉璃”“璆琳”“药玉”等。与西方不同，中国古代玻璃的发展走了一条独特的道路。

最早的国产玻璃出现在西周时期（约公元前 1046-前 771 年），主要是作为仿玉材料制作的珠子、管等小件饰品。春秋战国时期，玻璃制造技术有所发展，出现了更多样化的制品，如剑饰、璧环等。



图 5 春秋时期蜻蜓眼琉璃珠

值得一提的是，中国古玻璃的化学成分与西方有很大差异。西方玻璃主要是钠钙玻璃，以二氧化硅、氧化钠和氧化钙为主要成分，而中国早期玻璃多含有大量氧化铅和氧化钡，被称为铅钡玻璃。这种玻璃折射率高，更加光彩夺目，但缺点是易碎且不耐高温。



图 6 西汉弦纹玻璃杯

汉代是古代中国玻璃发展的重要时期。随着丝绸之路的开通，中西方的玻璃技术和产品开始交流。西方的钠钙玻璃技术传入中国，同时中国的铅钡玻璃也传到了西方。河北满城汉墓出土的玻璃耳杯、玻璃盘等，就是这一时期的高档玻璃制品。

魏晋南北朝时期，随着佛教的传播，玻璃被大量用于制作佛教用品。隋唐时期，玻璃器皿更加丰富，工艺也更加精细。法门寺地宫出土的伊斯兰玻璃器，见证了当时中外玻璃技术的交流。

有趣的是，在中国古代，玻璃长期被视为与玉石同等珍贵的材料，甚至被赋予了某些神秘属性。这与现代玻璃作为日常材料的形象形成了鲜明对比。

第二章 秦皇岛与玻璃奇妙缘分：中国玻璃工业的摇篮

趣味小知识：为什么我国玻璃工业发源于秦皇岛？

三个优势让秦皇岛成为中国现代玻璃工业的发源地：一是优质石英砂资源。秦皇岛作为海滨城市，周边储藏着大量适合玻璃制造的高纯度石英砂；二是便捷的交通条件。秦皇岛是我国最早拥有铁路的城市之一，1893 年建“汤河站”（后改建“秦皇岛站”）；1898 年秦皇岛港开埠，为玻璃工业原材料运输和产品外销提供了便利。三是能源供应。玻璃生产需要大量煤炭作为燃料，附近的开滦煤矿是我国北方早期大型煤矿之一，为玻璃工业发展提供了充足燃料保障。

在中国北方蜿蜒的海岸线上，秦皇岛这座滨海城市与玻璃结下了跨越百年的不解之缘。当清晨的阳光穿透薄雾，洒在现代化玻璃工厂的幕墙上时，折射出的不仅是七彩的光晕，更是一段关于创新、坚持与转型的工业传奇。这里，被誉为“中国玻璃工业的摇篮”，每一块玻璃都仿佛在诉说着一个民族工业从无到有、由弱变强的动人故事。

2.1 渤海湾畔的火种：中国近代玻璃工业的诞生

20 世纪初的中国，玻璃还是一种稀罕物。普通百姓家的窗户多用油纸糊就，玻璃器皿更是富贵人家才能享用的奢侈品。当时国内仅有的几家玻璃作坊，仍停留在传统手工吹制阶段，生产的玻璃浑浊厚薄不均，生产效率低，质量不稳定。第一次世界大战期间，欧洲玻璃进口受阻，一些有识之士意识到，中国必须建立自己的现代化玻璃厂，才能摆脱依赖。1921 年，比利时乌德米财团看中了中国市场，计划在华投资建厂。他们联合时任北洋政府财政总长的周学熙等实业家，决定在交通便利、资源丰富的秦皇岛建立玻璃厂。



图 6 1924 年耀华厂老照片

当时世界上最先进的平板玻璃制造技术是比利时弗克法（Fourcault Process），周学熙等人花费重金引进该技术，并聘请比利时工程师指导建厂。1922 年 3 月，耀华玻璃厂在秦皇岛破土动

工，总投资 120 万银元，由中比合资经营（中方持股 51%，比方持股 49%）。工厂占地约 200 亩，建设了熔窑、引上机、退火车间等核心设施。经过两年建设，1924 年 5 月，耀华玻璃厂成功生产出中国第一块机制平板玻璃，厚度均匀、透明度高，彻底改变了中国依赖进口玻璃的历史。工厂采用当时先进的垂直引上法工艺，将熔化的玻璃液通过机械牵引形成连续玻璃带，日产玻璃达 500 标准箱。这些玻璃通过铁路销往全国各地，被用于上海外滩建筑群的窗户、天津租界区的商店橱窗，甚至远销东南亚。

2.2 烽火中的坚守：战时玻璃工业的艰难求存

1937 年抗日战争全面爆发，秦皇岛玻璃工业迎来了最严峻的考验。日军占领工厂后，将大量设备拆运至东北，企图扼杀中国的玻璃制造能力。然而，耀华的技术骨干们冒着生命危险，将关键图纸和工艺配方藏在夹壁墙中，部分技术人员辗转内迁，在重庆等地建立临时玻璃作坊，为战时医院生产药瓶和光学玻璃。

抗战胜利后，工人们用双手在废墟中重建工厂。1948 年，耀华厂成功复产，生产的玻璃优先用于修复战争损毁的学校、医院。这段特殊岁月锻造出秦皇岛玻璃人坚韧不拔的精神品格，也为新中国玻璃工业储备了珍贵的技术力量。

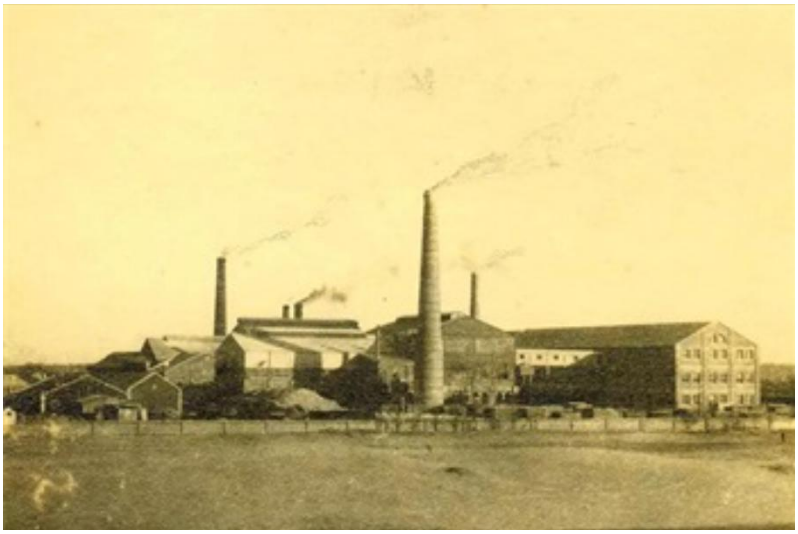


图 8 1933 年耀华厂全景

2.3 黄金时代：计划经济下的创新突破

新中国成立后，秦皇岛玻璃工业迎来了发展的“黄金三十年”。在国家重点支持下，这里诞生了多个“中国第一”：

1958 年，中国第一条自主设计的压延玻璃生产线投产，专门生产用于温室的波纹玻璃；

1968 年，研制出航空防弹玻璃，助力国防建设；

1971 年，成功生产出中国第一批浮法玻璃样品，这项技术革命使中国跻身世界玻璃工业第一梯队。

浮法工艺作为20世纪70年代最先进的玻璃生产工艺，当时英国皮尔金顿公司垄断此项技术，对华严格封锁。以葛世平为首的科研团队，在简陋实验室里经过1200多次试验，最终攻克了玻璃液在锡槽上平整流动的核心难题。这一时期，秦皇岛不仅向全国输送优质玻璃产品，更成为技术输出的摇篮。援建了洛阳、成都等地的玻璃厂，被誉为“中国玻璃工业的黄埔军校”。工厂附属的技术学校培养出数千名技术工人，他们带着“秦皇岛经验”走向全国各地。



图9 1954年毛泽东主席视察耀华厂

2.4 转型与超越：市场经济大潮中的华丽转身

改革开放的春风吹拂渤海湾，秦皇岛玻璃工业面临前所未有的挑战与机遇。20世纪80年代，乡镇企业如雨后春笋般涌现，玻璃市场从卖方市场转向买方市场。以耀华为代表的老国企开始推行“一业为主，多种经营”战略，在保持平板玻璃优势的同时，开发出钢化玻璃、中空玻璃等深加工产品。

1995年是个转折点。秦皇岛玻璃工业设计研究院成功将浮法玻璃技术出口到印度，实现了从技术引进到技术输出的历史性跨越。进入21世纪，秦皇岛玻璃产业向高端化、绿色化迈进。2010年建成的Low-E低辐射玻璃生产线，每年可为建筑节能减少碳排放15万吨；2015年投产的电子触摸屏用超薄玻璃，厚度仅0.12毫米，可用于智能手机屏幕；2020年建设的特种玻璃实验室，研发出可用于航天器的耐高温玻璃材料。截至2024年，秦皇岛市辖区内聚集了超过9000家玻璃相关企业，生产有建筑玻璃、汽车玻璃、航空航天玻璃、中空玻璃、防火玻璃、防弹玻璃、镀膜玻璃、玻璃纤维及制品等多个品类的数百种产品，形成了从石英砂开采到高端玻璃制造的完整产业链。

2.5 玻璃的记忆与未来：创新永无止境

为了保存和展示秦皇岛与中国玻璃工业的辉煌历史，2010年秦皇岛市玻璃博物馆建成开放。博物馆依托“耀华玻璃厂”工业遗址建设，建筑遗址为国家级文物保护单位，总占地11.25亩，建筑面积

2822 平方米。它连接着过去与现在，记录着一座城市与一种材料的特殊情缘。博物馆是国家文物局批准的“国家二级博物馆”，省科技厅批准的“河北省四星级科普示范基地”，是国内唯一首家以玻璃为主题的国有博物馆。现有展品 2000 余件，免费向社会公众开放，每年接待社会公众 20 余万人次，已成为活态的玻璃文化传承中心和秦皇岛城市文化新名片。展望未来，秦皇岛市从最初只能生产窗用平板玻璃，到今天制造航天器舷窗、光纤预制棒等高科技产品；从单一的生产基地，发展为集研发、设计、制造、培训于一体的“玻璃硅谷”。

渤海潮涌，玻璃澄明。秦皇岛这座“玻璃之城”的故事仍在续写，它提醒着我们：任何一个传统产业，只要坚持创新驱动、质量为先，都能焕发持久生命力，成为民族工业皇冠上璀璨的明珠。

第三章：玻璃是如何制造的？——探秘玻璃工厂

趣味小知识：玻璃是固体吗？

尽管看起来像固体，但玻璃并不是传统意义上的固体，而是一种无定形固体或高黏度液体。玻璃的原子排列和液体一样是无序的，这种无序排列使得玻璃具有液体的某些特性。玻璃其实在缓慢地流动，但只有经过非常长的时间（几百年），我们的肉眼才能观测出变化，这可以解释为什么一些古老建筑的玻璃窗底部比顶部更厚。

玻璃看起来神奇，但它的基本原料却出奇地简单——主要就是我们常见的沙子！不过，要从沙子变成透明光滑的玻璃，还需要一些“魔法配方”。

3.1 玻璃的配方：沙子变透明的魔法

玻璃的主要成分是二氧化硅（SiO_2），也就是石英砂的主要成分。纯净的二氧化硅熔点高达 1700° C，这在古代是难以达到的温度。为了降低熔点，需要添加助熔剂。古代使用天然碳酸钠（泡碱）或草木灰作为助熔剂，现代则使用纯碱（碳酸钠 Na_2CO_3）。纯碱能将熔点降低到约 1500° C。

但是，纯碱玻璃有个缺点——它能溶于水，这就是为什么古代有些玻璃器皿会随着时间流逝而腐蚀。为了解决这个问题，还需要添加稳定剂，通常是石灰石（碳酸钙 $CaCO_3$）。这样得到的钠钙玻璃，就是今天最常见的玻璃类型，约占全部玻璃产品的 90%。

现代玻璃的典型配方大致为：

- 二氧化硅（沙子）72%
- 纯碱（碳酸钠）15%
- 石灰石（碳酸钙）10%
- 其他添加剂 3%

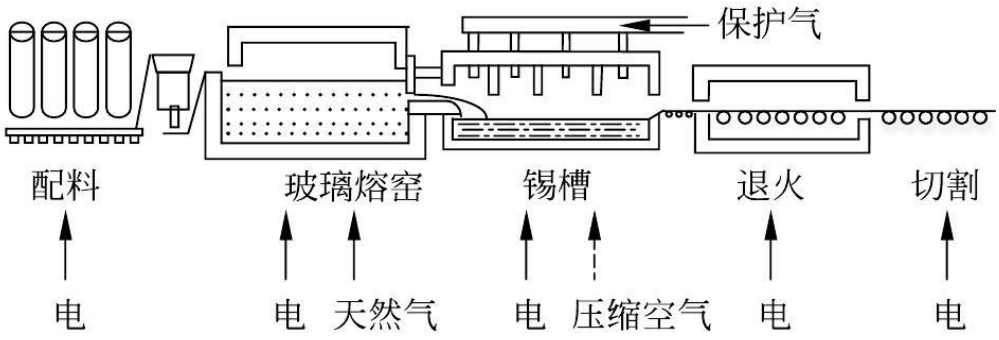


图 10 浮法玻璃生产工艺流程

这些原料经过精确配比后，就成为“配合料”，准备进入熔制工序。为了提高玻璃的性能或获得特殊效果，还可以添加各种辅助原料：

- 澄清剂（如硫酸钠）帮助去除气泡
- 着色剂（各种金属氧化物）赋予不同颜色

- 乳浊剂（如氟化物）制造不透明效果
- 氧化剂或还原剂控制玻璃的氧化状态

有趣的是，回收的碎玻璃（称为“熟料”）也可以作为原料加入，这不仅能减少资源消耗，还能降低熔化温度。现代玻璃生产中，熟料比例通常可达 20-30%，有些环保玻璃产品甚至能达到 90%。

3.2 熔制与成型：高温下的变形记

准备好了配方，接下来就是让这些原料经历“高温变形记”，变成我们熟悉的玻璃。这个过程主要分为熔制和成型两个阶段。

熔制阶段

原料被送入巨大的玻璃熔窑中。现代玻璃厂通常使用连续生产的池窑，它就像一个超大的高温游泳池，一端不断加入原料，另一端不断取出熔融玻璃。熔窑的温度高达 1500-1600°C，足以让石头般的原料变成黏稠的玻璃液。



图 11 融化的玻璃

熔制过程实际上分为几个步骤：

（1）硅酸盐形成：800-900°C 碳酸盐分解，与二氧化硅反应
（2）玻璃形成：1200°C 左右，混合物变成透明液体
（3）澄　清：更高温度下，气泡上升排出
（4）均　化：通过搅拌或自然对流使玻璃液成分均匀
（5）冷　却：降至适合成型的温度（约 1100°C）

成型阶段

根据最终产品不同，有多种成型方法：

（1）平板玻璃成型
- 浮　法：熔融玻璃液体漂浮在锡液表面，形成平整表面
- 压延法：用金属辊碾压玻璃液形成平板
- 引上法：从玻璃液中直接拉引出平板

（2）容器玻璃成型

- 吹-吹法：先用压缩空气初步成型，再转入模具中吹制成型
- 压-吹法：先用冲头预压，再吹制成型
- 拉 管法：制作玻璃管时使用

（3）玻璃纤维成型

- 熔融玻璃通过铂金漏板的小孔拉出细丝
- 可以连续纤维或短纤维形式生产

（4）特种玻璃成型

- 光学玻璃需要精密退火以消除内应力
- 玻璃器皿可能采用手工吹制或离心成型

成型后的玻璃制品还需要经过退火处理，即在特定温度曲线下缓慢冷却，以消除内部应力，防止破裂。退火不好的玻璃可能会在存放或使用时突然碎裂。



图 12 玻璃纤维布

3.3 玻璃的装饰与加工：赋予玻璃美丽外衣

成型后的玻璃制品往往还需要经过各种装饰和加工，才能成为我们日常生活中见到的精美产品。这些工艺既增强了玻璃的美观性，也提升了其实用功能。

热加工工艺

- 热塑形：将玻璃重新加热后进行弯曲、拉伸等再成型
- 熔　接：将多个玻璃部件在高温下连接在一起
- 火焰抛光：用高温火焰使玻璃表面重新熔化变得光滑

冷加工工艺

- 切割：用金刚石或硬质合金刀具进行切割
- 磨边：打磨玻璃边缘，消除锋利棱角
- 钻孔：用特殊钻头在玻璃上打孔

- 喷砂：用高速砂粒冲击玻璃表面，产生磨砂效果
- 雕刻：用旋转刀具或激光在玻璃表面雕刻图案

表面装饰工艺

- 彩绘：使用特殊玻璃颜料绘制图案，然后高温固化
- 镀膜：在表面镀金属或金属氧化物薄膜，产生反射或色彩效果
- 贴花：将装饰图案转印到玻璃表面
- 酸蚀：用氢氟酸腐蚀玻璃表面，产生哑光效果

特殊效果处理

- 钢化处理：将玻璃加热后快速冷却，使表面形成压应力，强度提高 4-5 倍
- 夹层处理：在两片玻璃间夹入 PVB 薄膜，破碎时不会飞溅
- 中空处理：两片玻璃间隔一定距离密封，形成隔热隔音层

在现代工业生产中，许多装饰和加工工序已经实现了自动化。例如，大型平板玻璃的切割、磨边、清洗可以全部由计算机控制的流水线完成；瓶罐玻璃的喷涂、贴标也实现了高速自动化生产。

3.4 玻璃工厂实地探秘：从原料到成品

为了让读者更直观地了解玻璃制造过程，让我们虚拟参观一个现代化的玻璃工厂，看看日常生活中使用的玻璃瓶是如何生产出来的。



图 13 玻璃生产线

第一步：原料准备

卡车将主要原料（石英砂、纯碱、石灰石等）运送到工厂，经过质检后存入不同的料仓。计算机控制系统按照配方自动称量各种原料，并加入一定比例的碎玻璃。混合好的配合料通过传送带送往熔窑。

第二步：高温熔制

配合料进入巨大的池窑中。这座熔窑长约 30 米，宽约 10 米，内部温度高达 1600°C。原料在高温下逐渐熔化，经过几天时间从一端

流向另一端，最终变成均匀的玻璃液。熔窑 24 小时不间断运行，一次点火可以连续生产数年。

第三步：成型制作

1100° C 左右的玻璃液从熔窑末端流出，被剪切成适当大小的“料滴”。每个料滴落入初型模中，压缩空气将其预吹成“小泡”；然后转移到成型模中，再次吹气使其紧贴模具内壁，形成最终的瓶子形状。整个过程只需几秒钟。

第四步：退火处理

新成型的玻璃瓶温度仍有几百度，需要通过长约 20 米的退火窑缓慢冷却。退火窑分为加热区、保温区和冷却区，精确控制温度曲线，消除玻璃内部应力。不当的退火会导致玻璃瓶在后期自动破裂。

第五步：质量检测

冷却后的瓶子经过自动检测线，摄像头检查每个瓶子的尺寸、形状和表面缺陷；激光检测瓶壁厚度分布；部分样品还要进行耐压测试。不合格品会被自动剔除并送回碎玻璃系统。

第六步：后续加工

根据客户需求，瓶子可能还要进行喷釉（增加表面强度）、彩绘、贴标等二次加工。最后按规格包装，准备发往饮料厂或食品厂。

通过这样的工厂之旅，我们可以看到，看似简单的玻璃瓶，其实蕴含着复杂的工艺技术和精密的流程控制。每一件玻璃制品都是多学科知识和多年技术积累的结晶。

第四章：玻璃新材料——当今功能玻璃介绍

趣味小知识：钢化玻璃和玻璃钢

钢化玻璃和玻璃钢不一样。钢化玻璃是一种预应力玻璃,通过将玻璃先加热,再急速冷却,使其表面形成一层“铠甲（压应力层）”,让它从脆弱的“小透明”变身刀枪不入的“玻璃侠”！玻璃钢又叫“玻璃纤维增强塑料”,由玻璃纤维和树脂制造而成,质轻而硬,不导电,性能稳定,机械强度高,耐腐蚀,可以代替钢材制造机器零件和汽车、船舶外壳。

从古埃及人制作的彩色玻璃珠，到中世纪教堂绚丽的彩绘玻璃窗，再到现代高楼大厦的通透幕墙，玻璃始终在人类文明中扮演着重要角色。今天，科学家和工程师们正在重新定义玻璃的可能性，让它从单纯的透光材料变身为具有各种神奇功能的“特种”材料。

4.1 钢化玻璃与夹层玻璃：安全守护者

在日常生活中，我们经常听到“钢化玻璃”“夹层玻璃”这些名词,它们与普通玻璃有什么不同？又是如何保护我们安全的呢？让我们一起来了解这些安全玻璃的神奇之处。

钢化玻璃

钢化玻璃是通过热处理工艺使普通玻璃表面形成压应力层而制成的。制作过程是:将切割好的平板玻璃加热到接近软化点(约620°C），然后迅速用冷空气均匀吹拂两面，使表面先冷却固化，而内部仍在收缩。这样就在玻璃表面形成了强大的压应力，内部则形成拉应力。

钢化玻璃的特点是:

- 强度高：抗弯强度是普通玻璃的4-5倍
- 安全性好：破碎时裂成小颗粒，不易造成严重伤害
- 耐温变：可承受200°C以上的温差变化

由于这些优点，钢化玻璃广泛应用于汽车侧窗、建筑幕墙、淋浴房、家具等领域。需要注意的是，钢化玻璃一旦成型就无法再切割或钻孔，所有加工都必须在钢化前完成。

夹层玻璃

夹层玻璃是由两片或多片玻璃中间夹着坚韧的PVB（聚乙烯醇缩丁醛）薄膜，经高温高压处理黏合而成的。当玻璃受到冲击破裂时，碎片会粘在中间的薄膜上，不会飞溅伤人。

夹层玻璃的独特性能包括:

- 防穿透性：即使玻璃破碎，薄膜也能阻挡物体穿过
- 隔音性能：中间的薄膜能有效降低噪声传播
- 紫外线阻挡：PVB薄膜可以过滤掉99%以上的紫外线

夹层玻璃是汽车前挡风玻璃的标准配置，也常用于银行柜台、天

窗、高空建筑等安全要求高的场所。一些高级夹层玻璃还能防弹、防爆，用于特殊安保需求。

中空玻璃

虽然不是安全玻璃，但中空玻璃（两片玻璃中间留有空隙并密封）在建筑节能方面发挥着重要作用。它能有效隔热隔音，是现代节能建筑的标准配置。高级的中空玻璃还会充入惰性气体并在玻璃表面镀低辐射膜，进一步提高保温性能。

这些功能玻璃的发展，使得玻璃从简单的透光材料变成了具有多种功能的“智能”建筑材料，大大拓展了玻璃的应用领域。在秦皇岛玻璃博物馆，你可以亲眼看到这些玻璃的性能演示，感受科技如何让传统材料焕发新生。

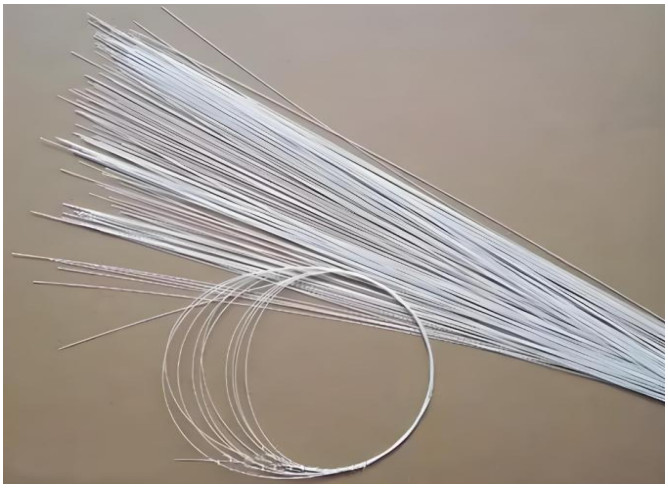


图 14 玻璃光纤

4.2 光纤：信息时代的高速公路

如果说有什么材料最能代表信息时代，那非光纤莫属。这种比头发丝还细的玻璃丝，承载着全球绝大部分的数据传输任务，是互联网的物理基础。让我们揭开光纤的神秘面纱。

光纤结构

光纤主要由三部分组成：

（1）纤芯：高纯度二氧化硅玻璃，直径约 9 微米（单模）或 50/62.5 微米，光信号在此传播

（2）包层：折射率略低于纤芯的玻璃，将光限制在纤芯内

（3）涂覆层：保护光纤表面的塑料层

工作原理

光纤传输基于全反射原理。当光从高折射率介质（纤芯）射向低折射率介质（包层）时，如果入射角大于临界角，光就会完全反射回纤芯中。这样，光就能在光纤中曲折前进而不泄露。

光纤制造

制造超纯玻璃光纤是一个极其精密的过程：

（1）制备预制棒：通过化学气相沉积法（如 MCVD）制造具有精确折射率分布的玻璃棒

（2）拉丝：将预制棒在高温炉中软化，以每分钟数十米的速度拉成细丝

（3）涂覆：立即在光纤表面涂上保护层

（4）测试：检查光纤的几何尺寸、传输性能等参数

优势

- 带宽巨大：一根光纤可同时传输数百万路电话
- 损耗极低：现代光纤在 1550nm 波段的损耗仅 0.2dB/km
- 不受电磁干扰：不会像电缆那样受雷电或电力线影响
- 重量轻体积小：比同容量的铜缆轻得多
- 安全性高：难以窃听，不产生电火花

应用场景

除了我们熟悉的互联网通信，光纤还应用于：

- 医疗：内窥镜、激光手术
- 工业：传感器、机器视觉
- 军事：陀螺仪、水下通信
- 艺术：装饰照明

有趣的是，光纤的核心材料依然是二氧化硅，与古代玻璃的主要成分相同。但现代光纤的纯度要求极高，杂质含量必须低于十亿分之一，这体现了玻璃技术达到的惊人高度。

4.3 生物玻璃：医疗领域的革命性材料

当玻璃遇到生命科学，会产生怎样的奇迹？生物玻璃就是这样一种神奇的材料，它能够在人体内与骨组织直接结合，甚至促进骨骼再生。让我们了解这种医疗领域的革命性材料。

生物玻璃的发现

1969 年，美国佛罗里达大学的 Larry Hench 教授首次开发出能够与活体骨组织化学键合的硅酸盐玻璃，命名为 45S5 生物玻璃。这一发现开创了生物活性材料的新领域。

工作原理

当生物玻璃植入体内后，其表面会经历一系列化学反应：

（1）离子交换：玻璃中的 Na^+ 与体液中的 H^+ 交换

（2）玻璃溶解：SiO_2 网络水解形成硅醇基

（3）碳酸羟基磷灰石层形成：钙磷在表面沉积

（4）与骨组织化学键合：新生骨细胞直接在玻璃表面生长

这种独特的生物活性使得它不需要纤维组织包裹就能与骨组织紧密结合。

生物玻璃组成

典型的 45S5 生物玻璃成分为：

- 45% SiO_2
- 24.5% Na_2O
- 24.5% CaO
- 6% P_2O_5

通过调整成分，可以控制其溶解速度和生物活性。

临床应用

（1）骨修复：用于牙槽骨缺损、颌面骨缺损等修复

（2）牙　科：牙周病治疗、根管填充

（3）创伤治疗：骨水泥、骨填充物

（4）药物递送：作为药物缓释载体

优势

- 良好的生物相容性和生物活性
- 降解速率可调，最终被新生骨替代
- 无免疫排斥反应
- 具有骨传导甚至骨诱导能力

随着人口老龄化，骨缺损和骨相关疾病日益增多，生物玻璃在骨科、牙科等领域的应用前景广阔。未来，我们可能会看到更多具有治疗功能的智能生物玻璃材料。

4.4 智能玻璃：会变色的未来之窗

想象一下，窗户玻璃能根据阳光强弱自动调节透明度，或者用手指轻轻一点就能从不透明变成透明——这不是科幻电影，而是智能玻璃已经实现的“魔法”。让我们一起探索这些会“思考”的玻璃。



图 15 热变色玻璃

电致变色玻璃

原理：在电场作用下，玻璃中的电致变色材料（如氧化钨）发生氧化还原反应，改变颜色和透光率。

特点：

- 透光率可连续调节（通常 60%-5%）
- 调节速度较慢（几分钟）
- 需要持续电压维持状态

应用场景：高档建筑幕墙、汽车天窗、飞机舷窗

悬浮粒子玻璃（SPD）

原理：玻璃夹层中的悬浮粒子在无电场时随机排列，阻挡光线；施加电场后粒子有序排列，变得透明。

特点：

- 调节速度快（几秒钟）
- 可控制部分区域变暗
- 需要持续电压维持透明状态

应用场景：会议室隔断、隐私玻璃、博物馆展柜

热致变色玻璃

原理：利用材料（如钒氧化物）随温度变化的光学性质改变。

特点：

- 自动响应温度变化
- 无需外部能源
- 响应不可逆或可逆

应用场景：温控建筑窗户、汽车后窗

光致变色玻璃

原理：玻璃中的银盐或有机分子在紫外线照射下发生结构变化，颜色加深。

特点：

- 最常见于变色眼镜
- 响应速度受温度影响
- 自动可逆

应用场景：眼镜、建筑窗户

液晶调光玻璃

原理：夹层中的液晶分子在电场作用下取向改变，从散射状态变为透明状态。

特点：

- 切换速度快（毫秒级）
- 不透明状态呈乳白色
- 需要持续电压维持透明

应用场景：投影屏幕、隐私隔断、广告展示

智能玻璃具有节能性好、舒适性高、隐私性强等优点，能够减少空调或照明的能耗、自动调节光线或温度、即时切换透明状态。随着技术进步和成本下降，智能玻璃正从高端应用走向普通建筑和消费领域。未来，我们可能会看到更多集成传感、能源采集等功能的“超智能”玻璃，成为建筑物联网的重要组成部分。

第五章：玻璃的未来——特种玻璃发展方向

趣味小知识：会发电的玻璃。

传统观念里，电力可以通过风能、水能产生。玻璃能不能进行能源转化，用来发电？发电玻璃又叫碲化镉薄膜太阳能电池，将一块普通的玻璃，表面涂抹碲化镉光电材料后，可以使平平无奇的绝缘体玻璃具备导电特性，最终成为可提供电力输出的特殊玻璃体。用这种玻璃做建筑物外墙，在阳光充足情况下 1 平方米玻璃每年可以发电 150 度左右，普通人家里只需要 10 平米发电玻璃，就可以实现生活用电“自给自足”。

当我们惊叹于当代玻璃科技的种种奇迹时，一个更加激动人心的问题自然浮现：玻璃的未来将去向何方？事实上，材料科学家们早已将目光投向了更远的疆界——那些能够重新定义行业标准、突破应用极限的特种玻璃材料。这些“未来玻璃”正在实验室里孕育生长，它们或将彻底改变我们与这个透明世界的互动方式。

5.1 自清洁玻璃：自然界的灵感

大自然总是能给科学家带来灵感。荷叶表面的自清洁效应启发研究人员开发出了自清洁玻璃，这种神奇的材料能让灰尘和污渍难以附着，甚至能在雨水冲刷下自动保持清洁。

光催化自清洁玻璃

原理：在玻璃表面涂覆一层纳米二氧化钛（TiO_2）薄膜。在紫外线作用下，TiO_2产生强氧化性的活性基团，能分解有机污物；同时使表面具有超亲水性，水形成薄膜而非水滴，带走分解的污物。

特点：

- 需要阳光中的紫外线激活
- 能分解油污等有机污染物
- 防雾效果良好

应用场景：建筑幕墙、汽车玻璃、温室顶棚

超疏水自清洁玻璃

原理：模仿荷叶表面结构，创造微观粗糙表面并修饰低表面能物质，使水接触角大于 150°，形成水珠滚落带走灰尘。

特点：

- 不依赖光催化
- 对无机灰尘效果更好
- 长期使用可能磨损

应用场景：太阳能电池板、光学仪器保护罩

双效自清洁玻璃

结合光催化和超疏水两种机制，开发出同时具有光催化分解能力和超疏水特性的玻璃，适用于不同环境条件。

特点：

- 减少清洁维护成本
- 保持良好透光率
- 延长玻璃使用寿命
- 环保，减少清洁剂使用

未来，随着纳米技术和表面工程的发展，我们可能会看到更多具有自愈、防冰等高级功能的自清洁玻璃，让高楼大厦的外墙永远保持晶莹剔透。



图 16 碲化镉发电玻璃

5.2 能源玻璃：建筑中的发电站

在全球能源转型的背景下，将普通建筑玻璃转变为能源收集装置是一个极具吸引力的构想。能源玻璃正是这样一种革命性产品，它既能保留玻璃的基本功能，又能将阳光转化为电能或热能。

光伏玻璃

原理：将太阳能电池技术整合到玻璃中，常见类型有：

- 晶硅光伏玻璃：在玻璃基板上沉积晶硅电池
- 薄膜光伏玻璃：使用非晶硅、CdTe 或 CIGS 等薄膜技术
- 透明光伏玻璃：选择性吸收紫外和红外光的有机或量子点电池

特点：

- 可制成不同透光率（通常 10%-50%）
- 色彩可调，适应建筑美学需求
- 发电效率通常低于传统光伏板（约 60-80%）

应用场景：

- 建筑一体化光伏（BIPV）：幕墙、窗户、天窗

- 光伏遮阳板、雨棚
- 温室顶棚、隔音屏障

太阳能热利用玻璃

原理：将太阳辐射转化为热能而非电能，类型包括：

- 吸热玻璃：特殊涂层吸收太阳能加热空气或水
- 真空集热管：双层玻璃管间抽真空，高效集热
- 光伏-热混合系统：同时发电和产热

应用场景：

- 建筑热水供应
- 空间采暖
- 工业过程供热

智能能源玻璃

结合能源收集与其他智能功能，如：

- 光伏+电致变色：发电同时调节透光率
- 热致变色光伏：温度升高时自动降低透光率提高效率
- 自清洁光伏：保持表面清洁维持高效发电

随着城市化进程加速和建筑能耗占比提高，能源玻璃有望在未来绿色建筑中扮演重要角色。想象一下，未来整个城市的玻璃幕墙都可能成为分布式能源网络的一部分，这将是怎样的场景？



图 17 可弯曲柔性玻璃

5.3 超薄柔性玻璃：折叠屏时代的核心材料

智能手机的折叠屏、可卷曲的电视、可弯曲的汽车显示屏……这些炫酷的产品背后，都离不开一种关键材料——超薄柔性玻璃。这种厚度不足头发丝直径的玻璃，正在重新定义我们对玻璃的认知。

超薄柔性玻璃的特性

- 厚度通常在 30-100 微米之间（人类头发约 70 微米）
- 可弯曲半径小至几毫米
- 保持传统玻璃的光学性能（高透光、低雾度）
- 优异的表面质量（极低粗糙度）
- 耐高温、抗化学腐蚀

应用领域

（1）消费电子：

- 折叠屏手机和平板电脑
- 可卷曲电视和显示器
- 曲面触控屏

（2）汽车电子：

- 仪表盘和中控屏
- 抬头显示（HUD）
- 车窗集成显示

（3）新能源：

- 柔性太阳能电池基板
- 薄膜电池封装

（4）其他：

- 柔性照明
- 医疗传感器
- 智能包装

超薄柔性玻璃的成功开发，打破了人们对玻璃“脆性”的传统认知，展示了通过精密控制材料微观结构可以获得惊人的力学性能。随着工艺进步和成本下降，我们可能会在未来看到更多基于超薄玻璃的创新应用，真正实现“任何表面都是显示屏”的愿景。

卷尾语：透明的史诗，永恒的光芒

站在秦皇岛的海岸边，看阳光穿透玻璃幕墙折射出七彩虹光，仿佛看见了一个世纪的工业史诗在粼粼波光中流转。这片土地上的每一粒石英砂，都镌刻着中国玻璃工业从蹒跚学步到领跑世界的壮阔历程。当我们合上这本手册，那些关于玻璃的传奇故事并未终结，它们正化作城市天际线上的流光，续写着新时代的透明篇章。

——玻璃：文明的镜像

五千年前，古埃及工匠在尼罗河畔熔炼出第一颗彩色玻璃珠时，或许不曾想到，这种脆弱的透明物质会成为人类文明最忠实的见证者。它映照过法老金面具的辉煌，过滤过中世纪教堂的神圣之光，承载过郑和宝船远航的星光，而今又化作信息时代的光纤，编织着数字世界的神经网络。玻璃的进化史，恰是一部微缩的人类文明史——每一次形态的蜕变，都是人类突破认知边界、重塑世界的印记。

——秦皇岛：透明基因的传承者

在秦皇岛，这份印记尤为深刻。1922 年耀华玻璃厂点燃的熔炉，不仅熔化了石英砂与纯碱，更熔铸了一个民族工业自强的火种。从中国第一块机制平板玻璃的诞生，到浮法工艺打破国际垄断；从战时废墟中的技术火种保存，到太空舷窗材料的自主研发——这座“玻璃之城”用百年时光，将“透明”二字锻造成民族工业的脊梁。

漫步在秦皇岛玻璃博物馆的展厅，厚重的历史与轻盈的科技在此交织。锈迹斑驳的引上机齿轮，与纤若发丝的光纤预制棒并列陈列；汉代琉璃耳杯的温润光泽，与智能调光玻璃的炫彩变幻隔空对话。这座城市像一位智慧的老匠人，既珍视着琉璃作坊的古老技艺，又紧握着电子显微镜下的纳米世界。

——未来：在透明中预见无限

站在科技与人文的十字路口，玻璃正展现出令人惊叹的“变形记”。自清洁玻璃让摩天大楼永葆明净，仿佛给城市戴上了“隐形雨刷”；能源玻璃将建筑转化为绿色电站，使每扇窗户都成为太阳的捕手；而厚度仅 0.03 毫米的超柔性玻璃，正将折叠屏手机变成可收纳的艺术品。这些创新不是魔术，而是科学家与工程师在实验室中，用无数个昼夜交替的坚持，将想象浇筑为现实。

玻璃的奇妙之处，在于它始终在“脆弱”与“坚韧”“传统”与“革新”之间寻找平衡。它教会我们：真正的强大不是固守形态，而是保有通透的本质——既能折射万千光彩，也能承受极端考验；既铭记来时的温度，也拥抱变革的炽热。

当我们用生物玻璃修复骨骼，用光纤连接世界，用智能玻璃调节生活时，实际上都在参与这场跨越五千年的透明革命。而秦皇岛，始

终是这场革命的前沿阵地。它提醒着我们：一个产业的伟大，不在于规模的大小，而在于能否让古老的材料持续焕发新生，能否让人类的想象力在透明介质中自由驰骋。

——尾声：光的延续

暮色中的秦皇岛港，货轮正装载着最新批次的 Low-E 节能玻璃驶向大洋彼岸。这些玻璃将在迪拜塔的云端折射朝阳，在悉尼歌剧院的曲面捕捉月光，在亚马逊雨林的生态建筑中调和光影。它们如同文明的使者，将源自渤海湾的透明智慧，播撒向世界的每个角落。

玻璃的故事永不完结。下一次，当你触摸手机屏幕的温润，仰望大厦幕墙的辉煌，或是透过博物馆的展柜凝视千年琉璃时，请记住：这看似平凡的透明背后，跃动着一个民族追求光明的永恒心跳。而秦皇岛，永远在这部透明史诗中，书写着属于中国的璀璨章节。