

# 玻璃制造工艺

王承遇 陈 敏 陈建华 主编



化学工业出版社

# 玻璃制造工艺

王承遇 陈 敏 陈建华 主编



化学工业出版社

·北京·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

玻璃制造工艺/王承遇, 陈敏, 陈建华主编. —北京: 化学工业出版社,  
2006. 6

ISBN 7-5025-8581-8

I. 玻… II. ①王…②陈…③陈… III. 玻璃-生产工艺 IV. TQ171. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 038729 号

---

### 玻璃制造工艺

王承遇 陈 敏 陈建华 主编

责任编辑: 王蔚霞

文字编辑: 颜克俭

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 九九设计工作室

\*

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

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市万龙印装有限公司装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 29½ 字数 733 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8581-8

定 价: 59.00 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

## 本书编委会名单

主 编：王承遇 陈 敏 陈建华

参编人员（以姓氏笔画为序）：

王承遇 王晓峰 卢 琪 史 非 刘 缙  
齐 济 李 霞 李长敏 谷秀梅 张梅梅  
陈 敏 陈建华 陈景华 赵 军 姜妍彦  
韩静云 潘玉昆

# 前 言

近年来,我国玻璃工业得到飞速发展,平板玻璃产量多年位居世界第一,日用玻璃在世界也有一席之地,新型玻璃(特种玻璃)研制方面也取得较大成绩,但技术水平以及自主创新能力与发达国家仍有较大差距,我们必须依靠科技进步,提高劳动者素质,使我国玻璃工业赶上国际先进水平。有鉴于此,我们根据多年从事教学和科研的实践经验,编写了《玻璃制造工艺》一书。本书从阐述玻璃工艺原理入手,以此为主线贯穿各个章节,理论联系实际;以工程技术为主要板块,用较大篇幅阐述各种玻璃的制造工艺;将先进技术与传统工艺相结合,既介绍传统工艺又反映国内外的先进技术;按照科学发展观的要求,将节能降耗、环境友好、循环经济作为本书的编写原则。本书可作为大专院校材料科学与工程专业、无机非金属材料专业的教材和教学参考书,也可供玻璃工业、建材工业、建筑工业、硅酸盐工业、化学工业、电真空工业的科技人员、管理人员和技术工人阅读。

本书编委会的组成人员(以姓氏笔画为序)有王承遇(大连轻工业学院)、王晓峰(洛阳工业高等专科学校)、卢琪(辽宁省商品进出口检验检疫局)、史非(大连轻工业学院)、刘缙(洛阳工业高等专科学校)、齐济(大连民族学院)、李霞(山东轻工业学院)、李长敏(大连轻工业学院)、谷秀梅(大连轻工业学院)、张梅梅(山东轻工业学院)、陈敏(大连轻工业学院)、陈建华(盐城工学院)、陈景华(盐城工学院)、赵军(山东轻工业学院)、姜妍彦(大连轻工业学院)、韩静云(苏州科技学院)、潘玉昆(东华大学)。主编王承遇、陈敏、陈建华。各章节编写人员分工如下:第1、4、24章王承遇、卢琪,第2、15章史非,第3章王晓峰,第5、6章赵军,第7、8、9、10、18章陈建华,第11章刘缙,第12章陈景华、陈建华,第13章谷秀梅、姜妍彦、李长敏,第14章陈敏、王承遇,第16章李霞,第17章张梅梅,第19章陈敏,第20章韩静云,第21、23章齐济,第22章姜妍彦。全书由王承遇、陈敏审稿和统稿。

由于编写者水平有限,书中不足之处在所难免,希望读者不吝指正。

编者

2006年5月

# 目 录

<b>1 概论</b> .....	1	3.2.6 玻璃密度的计算.....	42
1.1 玻璃的定义.....	1	<b>3.3 玻璃的力学性质</b> .....	43
1.2 玻璃的品种.....	2	3.3.1 玻璃的机械强度.....	43
1.2.1 按组成分类.....	2	3.3.2 玻璃的弹性.....	45
1.2.2 按形状分类.....	3	3.3.3 玻璃的硬度和脆性.....	47
1.2.3 综合分类.....	3	<b>3.4 玻璃的光学性质</b> .....	48
参考文献.....	5	3.4.1 玻璃的光学常数.....	48
<b>2 玻璃的结构和形成</b> .....	6	3.4.2 玻璃的折射率.....	48
2.1 玻璃态.....	6	3.4.3 色散.....	50
2.2 玻璃的形成.....	7	3.4.4 玻璃的反射、吸收和透过.....	50
2.2.1 形成玻璃的条件.....	7	<b>3.5 玻璃的热学性质</b> .....	51
2.2.2 形成玻璃的物质.....	10	3.5.1 热膨胀系数.....	51
2.2.3 形成玻璃的方法.....	13	3.5.2 玻璃的比热容.....	53
2.3 玻璃的结构.....	16	3.5.3 玻璃的导热性.....	53
2.3.1 玻璃的结构理论.....	16	3.5.4 玻璃的热稳定性.....	54
2.3.2 典型玻璃的结构模型.....	18	<b>3.6 玻璃的电学和磁学性质</b> .....	54
2.3.3 分子动力学模拟在玻璃结构 和性质研究中的应用.....	23	3.6.1 玻璃的电学性质.....	54
2.4 玻璃的分相.....	24	3.6.2 玻璃的磁学性质.....	60
2.4.1 玻璃分相热力学.....	24	<b>3.7 玻璃的化学稳定性</b> .....	61
2.4.2 玻璃分相动力学.....	25	3.7.1 玻璃的侵蚀机理.....	61
2.4.3 分相对玻璃性质的影响.....	26	3.7.2 影响玻璃化学稳定性的主要 因素.....	64
2.5 玻璃的析晶.....	27	3.7.3 几种特殊的侵蚀情况.....	65
2.5.1 玻璃析晶的原因.....	27	<b>3.8 玻璃的表面性质</b> .....	67
2.5.2 影响玻璃析晶的因素.....	28	3.8.1 玻璃的表面结构和表面成分.....	67
参考文献.....	28	3.8.2 玻璃表面的离子交换.....	68
<b>3 玻璃的性质</b> .....	30	3.8.3 玻璃表面的界面行为.....	68
3.1 玻璃的黏度和表面张力.....	30	参考文献.....	70
3.1.1 玻璃的黏度.....	30	<b>4 玻璃成分设计</b> .....	71
3.1.2 玻璃的表面张力.....	36	4.1 玻璃成分的设计原则.....	71
3.2 玻璃的密度.....	40	4.1.1 玻璃成分必须在玻璃形成区, 形成玻璃而不析晶.....	72
3.2.1 玻璃密度的测量方法.....	40	4.1.2 玻璃性质必须达到要求的 指标.....	72
3.2.2 玻璃密度与成分的关系.....	40	4.1.3 要符合绿色设计、绿色制造 和绿色产品的要求,保护环 境和环境协调.....	72
3.2.3 玻璃密度与温度关系.....	41		
3.2.4 玻璃密度与压力的关系.....	41		
3.2.5 玻璃密度与热历史的关系.....	41		

4.1.4	玻璃成分设计必须考虑工艺性能需要	73	6.1.1	成分应正确、稳定	100
4.1.5	原料能大量供应、质量稳定、成本低廉	73	6.1.2	含有一定量的水分	100
4.2	玻璃成分的设计方法	73	6.1.3	具有一定气体率	101
4.2.1	玻璃成分的经验设计	74	6.1.4	混合均匀	101
4.2.2	玻璃成分的计算机辅助设计	75	6.2	料方计算	101
参考文献		81	6.2.1	人工计算法	101
<b>5</b>	<b>玻璃原料与原料处理</b>	<b>82</b>	6.2.2	计算机编程计算法	104
5.1	主要原料	82	6.3	原料的称量和混合	106
5.1.1	引入二氧化硅的原料	82	6.3.1	原料储存	106
5.1.2	引入氧化铝的原料	83	6.3.2	称量	107
5.1.3	引入氧化硼的原料	84	6.3.3	混合	108
5.1.4	引入氧化钠的原料	85	6.3.4	配合料的质量检验	109
5.1.5	引入氧化钾的原料	86	6.3.5	原料和配合料的输送	110
5.1.6	引入氧化钙的原料	86	6.3.6	玻璃料方的调控	112
5.1.7	引入氧化镁的原料	87	参考文献		112
5.1.8	引入氧化钡的原料	87	<b>7</b>	<b>玻璃熔制</b>	<b>114</b>
5.1.9	引入氧化锌的原料	87	7.1	玻璃熔制过程	114
5.1.10	引入氧化铅的原料	88	7.2	配合料的熔化	115
5.2	辅助原料	88	7.2.1	硅酸盐形成	115
5.2.1	澄清剂	88	7.2.2	玻璃形成	118
5.2.2	氧化剂	90	7.2.3	影响玻璃熔化的因素	118
5.2.3	还原剂	90	7.3	玻璃液的精炼及冷却	121
5.2.4	助熔剂	90	7.3.1	玻璃窑内的气体及平衡	121
5.2.5	乳浊剂	91	7.3.2	气泡的生成与消失	122
5.2.6	着色剂	92	7.3.3	澄清剂的作用机理	125
5.2.7	脱色剂	94	7.3.4	玻璃液的均化	128
5.3	原料的选用	95	7.3.5	玻璃液的冷却	130
5.3.1	原料的选用原则	95	7.3.6	影响玻璃液精炼速度和质量的因素	131
5.3.2	原料的质量控制	95	7.4	玻璃熔制新工艺和新技术	135
5.4	原料的处理	96	7.4.1	计算机自动控制熔制过程	135
5.4.1	工艺流程	96	7.4.2	富氧燃烧、全氧助燃和全氧燃烧	136
5.4.2	原料的破碎和粉碎	97	7.4.3	电熔、辅助电熔和混合熔制	138
5.4.3	原料的脱水和干燥	98	7.4.4	配合料预热和窑外分解	140
5.4.4	原料的过筛	98	7.4.5	鼓泡	141
5.4.5	原料的除铁	98	7.4.6	氧化还原指数控制熔制气氛	142
参考文献		99	参考文献		146
<b>6</b>	<b>配合料制备与料方计算</b>	<b>100</b>			
6.1	配合料的质量要求	100			

<b>8 玻璃成形</b> .....	<b>148</b>	10.1.1 玻璃中的热应力 .....	<b>181</b>
8.1 玻璃成形原理 .....	<b>148</b>	10.1.2 玻璃应力的表示与测定 .....	<b>183</b>
8.1.1 玻璃成形过程 .....	<b>148</b>	10.1.3 玻璃中应力的消除 .....	<b>185</b>
8.1.2 玻璃成形性质 .....	<b>148</b>	10.1.4 冷却时永久应力的控制 .....	<b>185</b>
8.1.3 玻璃成形制度 .....	<b>150</b>	10.1.5 玻璃的退火温度 .....	<b>186</b>
8.1.4 玻璃制品成形方法概述 .....	<b>152</b>	10.2 玻璃退火工艺 .....	<b>188</b>
8.2 拉制法 .....	<b>153</b>	10.2.1 玻璃退火工艺过程 .....	<b>188</b>
8.2.1 玻璃管的拉制 .....	<b>153</b>	10.2.2 制定退火曲线时的有关 问题 .....	<b>189</b>
8.2.2 平板玻璃的拉制 .....	<b>154</b>	10.2.3 玻璃的退火设备 .....	<b>190</b>
8.2.3 玻璃纤维的拉制 .....	<b>156</b>	10.2.4 玻璃的精密退火 .....	<b>191</b>
8.3 吹制法 .....	<b>156</b>	10.3 玻璃的淬火 .....	<b>192</b>
8.3.1 吹-吹法 .....	<b>157</b>	10.3.1 淬火玻璃的特性 .....	<b>192</b>
8.3.2 压-吹法 .....	<b>160</b>	10.3.2 影响玻璃淬火的工艺因素 .....	<b>193</b>
8.3.3 转吹法 .....	<b>160</b>	10.4 玻璃淬火工艺 .....	<b>194</b>
8.3.4 带式吹制法 .....	<b>161</b>	10.4.1 风冷淬火工艺 .....	<b>194</b>
8.4 压制法和压延法 .....	<b>162</b>	10.4.2 液冷淬火工艺 .....	<b>195</b>
8.4.1 压制法 .....	<b>162</b>	10.4.3 玻璃制品的化学强化 .....	<b>195</b>
8.4.2 压延法 .....	<b>162</b>	参考文献 .....	<b>196</b>
8.5 浇铸法 .....	<b>163</b>	<b>11 玻璃的加工</b> .....	<b>197</b>
参考文献 .....	<b>164</b>	11.1 玻璃的热加工 .....	<b>197</b>
<b>9 玻璃缺陷</b> .....	<b>165</b>	11.1.1 玻璃的热弯 .....	<b>197</b>
9.1 玻璃缺陷类型与形成原因 .....	<b>165</b>	11.1.2 丝网印刷 .....	<b>200</b>
9.1.1 气泡的类型与形成原因 .....	<b>165</b>	11.1.3 玻璃表面堆釉 .....	<b>202</b>
9.1.2 结石的类型与形成原因 .....	<b>167</b>	11.2 玻璃的冷加工 .....	<b>204</b>
9.1.3 条纹和节瘤及其形成原因 .....	<b>169</b>	11.2.1 切割 .....	<b>204</b>
9.2 玻璃缺陷的鉴定 .....	<b>170</b>	11.2.2 磨边 .....	<b>206</b>
9.2.1 气泡的鉴定 .....	<b>170</b>	11.2.3 喷砂 .....	<b>207</b>
9.2.2 结石的检验 .....	<b>172</b>	11.2.4 钻孔 .....	<b>208</b>
9.2.3 条纹和节瘤的鉴定 .....	<b>176</b>	11.2.5 激光内雕 .....	<b>208</b>
9.2.4 玻璃缺陷的在线检测 .....	<b>178</b>	11.3 玻璃的表面处理 .....	<b>209</b>
9.3 防止玻璃缺陷的措施 .....	<b>179</b>	11.3.1 玻璃表面的清洁 .....	<b>209</b>
9.3.1 优化玻璃料方 .....	<b>179</b>	11.3.2 刻蚀 .....	<b>210</b>
9.3.2 提高配合料质量和投料 质量 .....	<b>179</b>	11.3.3 抛光 .....	<b>210</b>
9.3.3 改进作业制度 .....	<b>179</b>	11.3.4 玻璃的表面增强 .....	<b>210</b>
9.3.4 使用优质耐火材料 .....	<b>179</b>	参考文献 .....	<b>222</b>
9.3.5 改进熔窑结构和筑炉质量 .....	<b>180</b>	<b>12 平板玻璃及建筑玻璃</b> .....	<b>223</b>
参考文献 .....	<b>180</b>	12.1 浮法玻璃 .....	<b>223</b>
<b>10 玻璃退火与淬火</b> .....	<b>181</b>	12.1.1 浮法玻璃的化学组成及 原料 .....	<b>223</b>
10.1 玻璃退火原理 .....	<b>181</b>		



12.1.2	浮法玻璃熔制	224	13.5	保温瓶玻璃	280
12.1.3	浮法玻璃成形原理	225	13.5.1	保温瓶的性能要求	280
12.1.4	浮法成形工艺过程	228	13.5.2	保温瓶玻璃的组成	281
12.1.5	浮法玻璃退火	229	13.5.3	瓶胆制造工艺	282
12.1.6	浮法玻璃的切装	230	13.5.4	影响保温瓶质量的工艺因素	284
12.2	普通平板玻璃	230	参考文献	285	
12.2.1	普通平板玻璃生产工艺	230	<b>14 仪器玻璃和医用玻璃</b>	<b>286</b>	
12.2.2	薄平板玻璃的生产	232	14.1	理化仪器玻璃	286
12.3	平板玻璃深加工制品	234	14.1.1	理化仪器玻璃的性质要求	286
12.3.1	钢化玻璃	234	14.1.2	仪器玻璃的分类	289
12.3.2	镀膜玻璃	238	14.1.3	仪器玻璃成分	290
12.3.3	中空玻璃	241	14.1.4	仪器玻璃的熔制及加工	295
12.3.4	夹层玻璃	243	14.2	温度计玻璃	300
12.4	建筑玻璃构件	245	14.2.1	温度计玻璃的型号、分类	300
12.4.1	空心玻璃砖	245	14.2.2	对温度计玻璃的性能要求	300
12.4.2	槽形玻璃	246	14.2.3	温度计玻璃的成分及性质	302
12.4.3	饰面玻璃	247	14.3	医用玻璃	303
参考文献	247		14.3.1	中性玻璃的化学组成	303
<b>13 容器玻璃</b>	<b>249</b>		14.3.2	中性玻璃的制备工艺	304
13.1	瓶罐玻璃	249	参考文献	305	
13.1.1	玻璃瓶罐的分类及技术要求	249	<b>15 电真空与电子玻璃</b>	<b>306</b>	
13.1.2	瓶罐玻璃的成分	250	15.1	电子管与电光源玻璃	306
13.1.3	原料及选料基本要求	251	15.1.1	电子管和电光源玻璃的性能要求	306
13.1.4	瓶罐玻璃的配料	252	15.1.2	电真空玻璃的分类	307
13.1.5	瓶罐玻璃的熔制	253	15.1.3	电真空玻璃的组成和特点	307
13.1.6	玻璃瓶罐的成型	254	15.1.4	白炽灯和荧光灯玻璃的组成	310
13.1.7	玻璃瓶罐的性质测定及质量检验	261	15.2	显示器玻璃	311
13.2	器皿玻璃	263	15.2.1	显示器用玻璃基板的种类	311
13.2.1	器皿玻璃的化学组成	263	15.2.2	显示器玻璃基板的特性	312
13.2.2	器皿玻璃的原料	267	15.2.3	显示器用玻璃的生产方法	313
13.2.3	器皿玻璃的熔制	267	15.3	半导体与超导玻璃	314
13.2.4	玻璃器皿的成型与退火	268	15.3.1	半导体玻璃	314
13.2.5	玻璃器皿的加工	269	15.3.2	超导玻璃	316
13.3	晶质玻璃	272	15.4	二次电子发射玻璃	318
13.3.1	铅晶质玻璃	273	15.4.1	二次电子发射玻璃的组成与特性	318
13.3.2	无铅晶质玻璃	275			
13.4	耐热玻璃餐具与炊具	277			
13.4.1	微晶玻璃类餐具与炊具	277			
13.4.2	耐热玻璃餐具与炊具	280			

15.4.2	二次电子发射玻璃的制造工艺	319	18.1	微晶玻璃的结构与性能	354
15.5	低熔焊料玻璃	320	18.1.1	低膨胀锂铝硅微晶玻璃	354
15.5.1	低熔焊料玻璃的分类	320	18.1.2	钙铝硅建筑微晶玻璃	356
15.5.2	结晶型低熔焊料玻璃	321	18.1.3	电子工业用特种微晶玻璃	357
15.5.3	复合型低熔焊料玻璃	322	18.2	微晶玻璃制备工艺	358
15.5.4	无铅低熔焊料玻璃	322	18.2.1	微晶玻璃的组成设计	359
参考文献		323	18.2.2	微晶玻璃的熔制与成形	360
<b>16</b>	<b>光学玻璃</b>	<b>324</b>	18.2.3	微晶玻璃的热处理	360
16.1	无色光学玻璃	324	18.2.4	烧结及加工	361
16.1.1	玻璃的种类及组成	324	18.3	工业废渣微晶玻璃	361
16.1.2	生产工艺	326	18.3.1	制备微晶玻璃的工业废渣	362
16.1.3	质量检验	330	18.3.2	废渣微晶玻璃的组成	363
16.2	有色光学玻璃	331	18.3.3	废渣微晶玻璃的结构	364
16.2.1	玻璃分类	332	18.3.4	工业废渣微晶玻璃的性能与应用	365
16.2.2	有色玻璃的生产	332	参考文献		365
16.3	红外和紫外光学玻璃	334	<b>19</b>	<b>生物玻璃</b>	<b>367</b>
16.3.1	红外光学玻璃概况	334	19.1	骨修复用生物玻璃	367
16.3.2	几种主要的红外光学玻璃	335	19.1.1	生物活性玻璃	369
16.4	特种光学玻璃	337	19.1.2	含碱的磷钙硅系统生物微晶玻璃	371
16.4.1	稀土发光玻璃	337	19.1.3	无碱的氟磷钙硅系统生物活性微晶玻璃	371
16.4.2	耐辐射光学玻璃	337	19.1.4	可切削生物微晶玻璃	372
16.5	眼镜玻璃	338	19.1.5	玻璃(微晶玻璃)基的生物活性骨水泥	373
16.5.1	分类及要求	338	19.1.6	多孔生物玻璃或微晶玻璃	373
16.5.2	成分及生产工艺	338	19.2	齿科修复用生物玻璃	374
16.5.3	光致变色玻璃	339	19.3	临床治疗用生物玻璃	375
16.5.4	特种眼镜玻璃	339	19.3.1	靶向释放药物玻璃	375
参考文献		340	19.3.2	放射线治疗用生物玻璃	375
<b>17</b>	<b>石英玻璃和高硅氧玻璃</b>	<b>341</b>	19.3.3	铁磁性生物微晶玻璃	376
17.1	石英玻璃	341	19.4	生物载体玻璃	376
17.1.1	石英玻璃的种类和应用	341	参考文献		377
17.1.2	石英玻璃的性能	342	<b>20</b>	<b>玻璃纤维与玻璃纤维增强材料</b>	<b>378</b>
17.1.3	石英玻璃的生产工艺	344	20.1	连续纤维	378
17.1.4	石英玻璃的加工和退火	347	20.1.1	玻璃纤维的基本性质	378
17.2	高硅氧玻璃	348	20.1.2	玻璃纤维的化学成分	380
17.2.1	高硅氧玻璃的种类	348			
17.2.2	高硅氧玻璃的性能	349			
17.2.3	高硅氧玻璃的制造工艺	350			
参考文献		353			
<b>18</b>	<b>微晶玻璃</b>	<b>354</b>			

20.1.3	玻璃纤维的生产	382	效应	424	
20.1.4	玻璃纤维的技术要求	389	21.3.4	非线性光学玻璃的制备 方法	424
20.1.5	玻璃纤维的应用	390	21.3.5	非线性光学玻璃的研究和 应用	425
20.2	定长纤维与玻璃棉	393	21.4	声光玻璃和磁光玻璃	425
20.2.1	玻璃棉的基本性质	393	21.4.1	声光玻璃	425
20.2.2	玻璃棉的化学成分	397	21.4.2	磁光玻璃	426
20.2.3	玻璃棉及制品的生产工艺	397	21.5	纳米发光玻璃	427
20.2.4	玻璃棉的技术要求	397	21.5.1	纳米玻璃的研究内容	427
20.2.5	玻璃棉的应用	400	21.5.2	发光玻璃中的纳米技术	427
20.3	玻璃纤维增强塑料	401	参考文献	427	
20.3.1	概述	401	22	生态环境玻璃	429
20.3.2	玻璃纤维增强塑料的性能	402	22.1	光催化降解污物玻璃	429
20.3.3	玻璃纤维增强塑料的成型 方法	403	22.1.1	光催化降解原理	429
20.3.4	玻璃纤维增强塑料的应用	405	22.1.2	光催化降解污物玻璃的 制备	430
20.4	玻璃纤维增强水泥	411	22.1.3	影响光催化降解污物的因素 及提高其效率的途径	431
20.4.1	概述	411	22.2	智能玻璃	432
20.4.2	玻璃纤维增强水泥的性能	411	22.2.1	电致变色智能玻璃的结构及 工作原理	433
20.4.3	玻璃纤维增强水泥的生产 工艺	412	22.2.2	电致变色智能玻璃调光调热 原理	435
20.4.4	玻璃纤维增强水泥的应用	413	22.2.3	智能玻璃的制备方法	435
参考文献		415	22.3	太阳能电池玻璃	436
21	光电子玻璃	416	参考文献	438	
21.1	光导纤维	416	23	核技术玻璃	439
21.1.1	光纤的结构和传光原理	416	23.1	概述	439
21.1.2	光纤的分类	416	23.2	核检测玻璃	439
21.1.3	玻璃光纤的性能要求	417	23.2.1	核检测	439
21.1.4	玻璃光纤的生产工艺	417	23.2.2	核剂量	439
21.1.5	玻璃光纤的应用	420	23.3	防辐射玻璃	441
21.2	激光玻璃	420	23.3.1	防辐射玻璃与射线间的 作用	441
21.2.1	激光玻璃的特点	420	23.3.2	防X射线和γ射线的玻璃	441
21.2.2	激光玻璃的性质	421	23.3.3	防中子射线的玻璃	442
21.2.3	激光玻璃的性能参数	421	23.3.4	玻璃屏蔽射线能力的参数	442
21.2.4	钕激光玻璃的成分	422	23.3.5	防辐射玻璃的研究与应用	442
21.2.5	激光玻璃的制造工艺	422	23.4	核废料固化处理玻璃	443
21.2.6	激光玻璃的应用	423			
21.3	非线性光学玻璃	423			
21.3.1	非线性光学玻璃的性质	423			
21.3.2	玻璃的二阶非线性光学 效应	424			
21.3.3	玻璃的三阶非线性光学				

23.4.1	概述	443	24.3	玻璃工业粉尘污染及防治	450
23.4.2	核固化玻璃的成分	443	24.3.1	粉尘的分类及允许限度	450
23.4.3	核废料固化玻璃的熔制	444	24.3.2	粉尘的防治	451
23.4.4	核固化玻璃的性质	445	24.4	玻璃工业中废气污染及防治	452
23.4.5	核废料固化玻璃的研究 方向	446	24.4.1	废气的来源、组成与允许 限度	452
参考文献		446	24.4.2	废气污染的防治	453
<b>24</b>	<b>玻璃工业环境污染与防治</b>	<b>448</b>	24.5	废水污染和防治	454
24.1	玻璃工业对环境污染的概况	448	24.5.1	玻璃厂废水来源及污染	454
24.1.1	玻璃本身的有害物质	448	24.5.2	废水的防治	455
24.1.2	玻璃制造过程中的污染	448	24.6	玻璃工业固体废弃物污染及 防治	455
24.1.3	按对生态环境污染的情况 分类	449	24.6.1	固体废弃物来源及污染	456
24.2	玻璃本身有害物质污染及 防治	449	24.6.2	固体废弃物污染的防治	456
24.2.1	玻璃本身有害物质的 污染	449	24.7	噪声的污染和防治	457
24.2.2	玻璃有害物的防治	450	24.7.1	噪声来源和危害	457
			24.7.2	噪声的控制与防治	458
			参考文献		458

# 1 概论

玻璃制造已有悠久的历史，人们对玻璃起源于何时存在不同的看法，有人认为公元前 8000 年在陶瓷上就使用了玻璃质的釉，有的认为玻璃起源于公元前 3500~公元前 2000 年的埃及和美索不达米亚地区，当时以石英砂、石灰石和苏打为原料，木材为燃料，熔化温度很低，玻璃为有色或半透明，主要用作装饰品。从出土文物可知我国战国时期（公元前 475~公元前 221 年）已有了玻璃璧、玻璃耳珰、玻璃珠等装饰品，根据玻璃成分分析其为铅钡玻璃，与埃及古玻璃成分有明显的区别，因此国内一些学者认为我国玻璃是独自创造的，即“独创说”；而国外学者一般认为玻璃是在公元前 500 年左右由西方传入中国的，即“外来说”。我国古籍上称玻璃为琉璃、琉璃、玻黎等，唐代称玻璃为硝子，以后此名词传到日本，至今日本仍沿用“硝子”这一名词。由于宋代以后把陶器上釉以后的器皿称琉璃，其主要制品为琉璃瓦，清康熙初年下诏建立玻璃厂，以与制造琉璃瓦的“琉璃厂”分开。有的考古学者建议根据透明度将古代玻璃分类，不透明者为料器、半透明者为琉璃、透明者为玻璃，有的学者则建议不论料器、琉璃、玻璃，只要呈玻璃结构的古玻璃均应称为玻璃。

目前，玻璃这一名词包括了玻璃态、玻璃材料和玻璃制品。玻璃态是指物质的一种结构；玻璃材料指用作结构材料、功能材料或新材料的玻璃，如建筑玻璃、玻璃焊料等；玻璃制品指玻璃器皿、玻璃瓶罐等。玻璃材料和制品之间并没有明显界限，如平板玻璃既可称建筑玻璃材料也可称玻璃制品。

## 1.1 玻璃的定义

玻璃的定义应该包括玻璃态、玻璃材料与玻璃制品的内涵和特征。随着人们认识的深化，玻璃的定义也在不断地修改和补充，有狭义和广义的玻璃定义类型。

狭义的玻璃定义在美国材料试验学会（ASTM）、德国工业标准（DIN）以及《中国大百科全书（轻工卷和化工卷）》、《辞海》（新版）等都有记载。这些定义基本上类似，以《中国大百科全书（轻工卷）》为代表，对玻璃下的定义为“由于熔融物的过冷却，黏度增加所得具有机械固体性质的非晶态固体”，而《中国大百科全书（化工卷）》对玻璃的定义更具体化为“在熔融时能形成连续网络结构的氧化物，如氧化硅、氧化硼、氧化磷等，其熔融体在冷却过程中黏度逐渐增大并硬化而不结晶的硅酸盐无机非金属材料”。

广义的玻璃定义，如《材料科学技术百科全书》认为“玻璃是一类非晶态材料”，日本《新版玻璃手册》指出，玻璃为“表现出玻璃转变现象的非晶态物质”，扎齐斯基（Zarzycki）主编的《玻璃与非晶态材料》[《材料科学与技术丛书》（第 9 卷）]提出“玻璃只能指那些表现出玻璃转变现象的非晶态固体，除此以外的其他非晶态可以称为无定形材料”。

将以上狭义的玻璃定义与广义的玻璃定义相比，两者之间有共同之处，即玻璃不是晶体而是非晶态固体或无定形物体，两者也有不同之处，即狭义定义中对玻璃的组成和制备做了限定——在组成方面，只指无机物质，甚至局限于硅酸盐；在制备方面限于熔体冷却法。

为了给玻璃一个确切的定义，首先要给非晶态固体（Non-crystalline solids）和无定形（Amorphous）下一个定义。非晶态是否就是无定形态，学术界也有不同的看法，有人认为

非晶态就是无定形态或玻璃态，三者是等同的，如《中国大百科全书（物理卷）》就认为非晶态材料也叫无定形或玻璃材料。有的学者则认为三者应该是有所区别的。

按贝尔塔（Balta）的看法，无定形指组成质点具有完全无序的杂乱无章排列的固体。从势能来讲，由蒸气冷凝而得到的无定形态物质，其结构排列的混乱程度比玻璃要大得多，势能要高很多。

道格拉斯（Douglas）给非晶态固体下的定义为“非晶态固体是这样一类物质，它们中原子虽然也像晶体那样相互靠近，但原子的排列并不像晶体中那样有规则，只不过像液体那样的近程有序性，却像晶体那样能保持自己的形状。”泽伦（Zalle）认为非晶态固体在结构上与晶态固体本质的区别是非晶态固体不存在长程有序，没有平移周期性。参照国内外学者编写非晶态固体材料的专著中给非晶态固体材料的定义，归纳起来有两点：首先是结构上只存在微区域内的短程有序，在近邻和次近邻原子的键合（如配位数、原子间距、键角、键长等）具有一定的规律性，而没有任何长程有序；其次是当温度连续升高时，在某个很窄的温度区域内会发生明显的结构相变，是一类亚稳材料。

非晶态固体的范围比较广，包括：玻璃、凝胶、硅胶、硅矾土；非晶态半导体（非晶态化合物半导体、非晶元素半导体）；非晶态超导体；无定形碳（玻璃碳、炭黑、碳膜）；非晶态金属-类金属合金等。

玻璃只是非晶态固体的一种，换言之玻璃是非晶态固体的一个分支，此种非晶态固体在加热或冷却时表现出玻璃转变或玻璃转变可能的物质即为玻璃。玻璃转变现象，是指将玻璃加热或将能形成玻璃的熔体冷却时，在以绝对温度表示的熔点或液相温度的  $2/3 \sim 1/2$  时，热膨胀系数和比热容发生突变，此温度即为玻璃的转变温度。玻璃转变温度是玻璃的特征，也是玻璃和其他非晶态固体如凝胶、无定形碳的区别。由此观点出发，不论组成是无机物或有机物或金属，不论其制备方法是熔体冷却法或气相急冷法或溶胶-凝胶法，只要结构上是非晶态固体而且具有玻璃转变现象的均应称为玻璃，此种表述既指明了物质玻璃态的内涵，也覆盖了玻璃材料和玻璃制品的特征。因此广义的玻璃包含三大类型：无机玻璃、有机玻璃、金属玻璃。

狭义的玻璃为无机玻璃，属于无机非金属材料学科。

由于针对有机玻璃和金属玻璃已有很多专著，本书阐述的内容为无机玻璃，包括传统氧化物玻璃和新型的非氧化物玻璃和某些非晶半导体，着重为氧化物玻璃，特别是生产中广泛应用的硅酸盐玻璃。

## 1.2 玻璃的品种

玻璃的品种很多，分类也有各种方式，可按组成、性质、形状和用途来分类。

### 1.2.1 按组成分类

(1) 元素玻璃 如硫、硒、磷元素可形成玻璃，碲也有可能形成玻璃。

(2) 氧化物玻璃 古代玻璃即已经使用氧化物成分，至今大量工业化生产的玻璃仍为氧化物成分，而其中绝大部分为硅酸盐成分。氧化物玻璃具体再分为：纯氧化物玻璃如石英玻璃、多元系统氧化物玻璃如硅酸盐玻璃、硼酸盐玻璃、硼硅酸盐玻璃、磷酸盐玻璃、锗酸盐玻璃、碲酸盐玻璃、钒酸盐玻璃、铋酸盐玻璃、钨酸盐玻璃、钼酸盐玻璃、砷酸盐玻璃等。

(3) 氧氮化合物玻璃 氮取代部分氧, 形成硅铝氧氮玻璃、钙铝氧氮玻璃、钇硅铝氧氮玻璃。

(4) 非氧化物玻璃 具体分为氟化物玻璃; 氯化物、溴化物、碘化物玻璃; 硫族化合物玻璃; 卤硫化合物玻璃; 硝酸盐、硫酸盐、醋酸盐 (如 Pb、K 的醋酸盐)、碳酸盐 (如  $K_2CO_3$ - $MgCO_3$ ) 玻璃等。

按组成分类虽然比较科学, 但同一玻璃组成往往可以制造出很多玻璃品种, 如硅酸盐玻璃可以用于生产平板玻璃、瓶罐玻璃、器皿玻璃等品种, 而且玻璃使用者只需要了解玻璃产品的性能和功效, 并不太关心制备产品所用玻璃化学组成, 所以此种分类比较适合于科技工作者。

## 1.2.2 按形状分类

这是一种传统的分类方法, 很直观, 比较适合于玻璃制品, 可分为: 平板玻璃及其深加工制品 (如平板玻璃、安全玻璃、镀膜玻璃、中空玻璃、真空玻璃、玻璃幕墙); 空心玻璃 (如玻璃瓶罐、玻璃器皿、电真空玻璃、仪器玻璃和医用玻璃); 块玻璃 (如玻璃砖、建筑玻璃构件、光学玻璃、眼镜玻璃); 玻璃纤维 (如连续玻璃纤维、玻璃棉、光导纤维); 玻璃球与微珠 (如实心 and 空心玻璃球、玻璃珠宝和首饰、玻璃微珠); 多孔玻璃 (如微孔玻璃、介孔玻璃、泡沫玻璃); 玻璃薄膜和涂层 (如超薄玻璃、鳞片玻璃、功能玻璃的涂层); 纳米玻璃 (如等量子点纳米玻璃、二维和三维纳米玻璃材料) 等。

此种分类方法存在一些缺点, 同一种玻璃可能成形为不同形状, 而同一形状的玻璃制品往往可用不同玻璃制成, 性质和功能可能相差很大, 但按照此分类则列在同一类中, 显然是不完全合适的。

## 1.2.3 综合分类

按照组成和形状分类存在一些问题, 有些玻璃很难归入哪一类中, 因此将组成、性质、形状和功能综合起来进行分类为传统玻璃和新型玻璃 (特种玻璃) 两大类。

1.2.3.1 传统玻璃 传统玻璃指以天然矿物和岩石为主原料, 熔体过冷法大批量生产的玻璃材料和制品, 具体分为以下几种。

(1) 平板玻璃 浮法玻璃、压延玻璃、薄玻璃和超薄玻璃等。

(2) 安全玻璃 钢化玻璃、夹层玻璃、夹丝或夹网玻璃、防火玻璃、防盗玻璃等。

(3) 镀膜和贴膜玻璃 阳光控制玻璃、低辐射 (Low-emission) 玻璃、反射玻璃、抗反射玻璃、镜玻璃等。

(4) 建筑和建筑构件玻璃 中空玻璃、真空玻璃、空心玻璃砖、波形玻璃、槽形玻璃、曲面玻璃、斑纹玻璃、玻璃门、楼板、天花板、栏杆、玄关、间壁、花饰、门贴脸、飞檐、瓦、幕墙等。

(5) 瓶罐玻璃 小口瓶、大口瓶 (广口瓶、罐头瓶)、异形瓶等。

(6) 玻璃器皿 酒具、水具、餐具、耐热餐具和炊具等。

(7) 仪器玻璃 烧器、量器、温度计、水柱计、物化仪器、厚壁制品、玻璃管道、反应塔和釜等。

(8) 医用玻璃 安瓿玻璃、中性玻璃等。

(9) 光学玻璃 无色光学玻璃、有色光学玻璃、紫外和红外光学玻璃、特种光学玻

璃等。

(10) 眼镜玻璃 白托眼镜玻璃、高折率低密度眼镜玻璃、变色眼镜玻璃、防护眼镜玻璃等。

(11) 电真空和电子玻璃 灯泡玻璃、电子管玻璃、阴极射线管 (CRT) 玻璃、封接玻璃、焊料玻璃。

(12) 石英玻璃 不透明石英玻璃、透明石英玻璃、特种石英玻璃等。

(13) 微晶玻璃 功能微晶玻璃、透明微晶玻璃、可切削微晶玻璃、矿渣微晶玻璃等。

(14) 玻璃纤维 长纤维、短纤维、玻璃棉等。

(15) 艺术玻璃 玻璃料器、人造珠宝、玻璃艺术品等。

(16) 玻璃微珠和鳞片玻璃 玻璃微珠、空心玻璃微珠、鳞片玻璃等。

(17) 多孔玻璃 微孔玻璃、介孔玻璃、泡沫玻璃等。

1.2.3.2 新玻璃 (特种玻璃) 新玻璃又称特种玻璃, 在组成原料、制备、加工、功能和用途方面均与传统玻璃有明显的区别。

(1) 组成方面 传统玻璃大部分为氧化物成分, 新玻璃不仅为氧化物成分, 而且还采用非氧化物成分, 如氟化物、硫族化合物、卤硫化合物等。

(2) 原料方面 传统玻璃以天然矿石, 如石英砂、石灰石、长石以及一些化工产品为原料; 而新玻璃大都采用高纯的合成原料, 原料杂质含量有时要求达到  $10^{-6} \sim 10^{-9}$  以下。

(3) 制造方面 传统玻璃于大气中高温 (坩埚窑、池窑) 熔融, 新型玻璃则在特殊气氛中熔化, 有些新玻璃还需采用熔体急冷和超急冷法, 冷却速度可达  $10^5 \sim 10^9 \text{ }^\circ\text{C/s}$ , 还可以用气相急冷 (蒸发、溅射、反应沉积)、辐射损伤、强冲击波作用、热解、溶胶-凝胶法制备。

(4) 加工方面 传统玻璃的加工一般用机械加工、热处理、化学处理等简单方法, 而新玻璃多采用超光滑表面加工、浴法抛光、离子刻蚀、离子扩散、离子注入、电子束或激光束加工处理。

(5) 产品特性 传统玻璃产品单一, 附加值低, 每吨玻璃产值从几百元到几千元, 而新型玻璃品种多, 附加值高, 有些高新产品每克达数百元, 产品更新换代快。

(6) 企业特征 传统玻璃产量大, 为设备密集型或劳动密集型产业, 大都属于粗放式生产, 产品继续开发困难。新玻璃产量小, 为技术密集型产业, 属于集约式生产。

新玻璃品种可分为:

(1) 信息用玻璃 信息技术用材料和元件, 包括信息处理用玻璃、信息传递用玻璃、信息存储用玻璃、信息显示器用玻璃、信息传感器用玻璃等;

(2) 生物玻璃 生物工程和生物医用玻璃材料, 包括生物载体玻璃、疾病治疗玻璃、硬组织修复与骨组织工程玻璃、口腔用玻璃等;

(3) 能源和能源用玻璃 包括固体燃料电池用玻璃、太阳能电池用玻璃、太阳能集热器等;

(4) 航天航空用玻璃 包括防热用玻璃、透波用玻璃、吸波用玻璃、舷窗玻璃等;

(5) 核技术用玻璃 包括核燃料玻璃 (含  $^{235}\text{U}$  的玻璃纤维)、反应堆控制棒玻璃 (吸收中子的硼镉玻璃)、核探测玻璃 (检测  $\gamma$  射线、中子的闪烁玻璃)、防辐射玻璃 (吸收 X 射线、 $\gamma$  射线玻璃、吸收中子玻璃、吸收宇宙射线玻璃)、核废料固化处理玻璃;

(6) 海洋科学和工程用玻璃 包括海水淡化玻璃, 如反渗透膜用微孔玻璃; 海洋防污染



用玻璃，如吸附油污用玻璃微珠、防海洋生物污染涂层；潜水器及潜水服用玻璃，如玻璃微珠增强塑料。

新玻璃和传统玻璃之间没有明显界限，随时间的发展，过去的新玻璃到现在即为传统玻璃，如微晶玻璃，在 20 世纪还是新玻璃，今天有些微晶产品，如矿渣微晶玻璃已经大量生产应用；再如低膨胀微晶玻璃，过去用于火箭、导弹，目前作为耐热炊具、炊具盖板进入千家万户。随科技的发展，将有很多新玻璃品种不断地被研制和开发出来。

### 参 考 文 献

- 1 Martin M A. The Glass Bathyscape. Andrew Nurnberg: Profile Book Ltd, 2002
- 2 郭贻诚, 王震西. 非晶态物理学. 北京: 科学出版社, 1984
- 3 扎齐斯基 J. 玻璃与非晶态材料. 干福熹等译. 北京: 科学出版社, 2001
- 4 作花济夫. ガラスの事典. 東京: 朝倉書店, 1985
- 5 Sholze H. Glass: nature, structure, and properties. New York: Springer Verlag Inc. 1991
- 6 干福熹等著. 中国古代玻璃技术的发展. 上海: 上海科学技术出版社, 2005