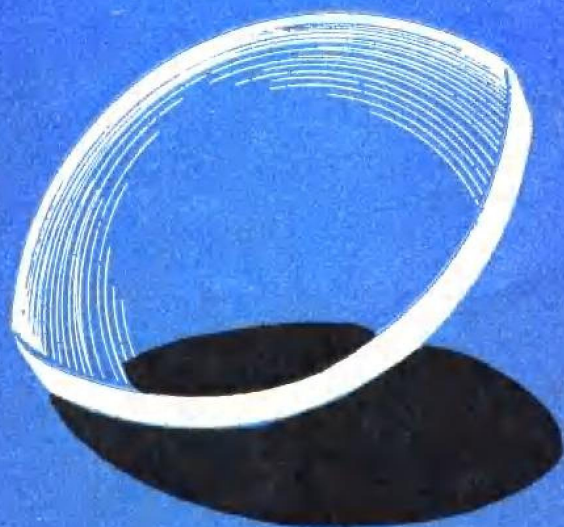




蔡立
田守信
编著

光学零件加工技术



华中工学院出版社

40.3

内 容 简 介

全书共分十五章，其主要内容有：光学材料；透镜的加工原理及理论基础，基本工艺方法，特别着重阐述了国内外七十年代以来出现的新工艺、新技术；高精度及特种零件的加工与检测方法；光学车间的组织与管理；工艺规程的编制等。

本书是高等院校“光学工艺及测试”专业本科生的必修课教材，也可作为业余大学、职工大学同类专业的教材，同时还是“光学仪器”专业的师生和从事光学生产的工程技术人员有益的参考书。

光学零件加工技术

蔡立 田守信 编著

责任编辑 常江南

华中工学院出版社出版

(武昌路)

新华书店湖北发行所发行

华中工学院出版社沔阳印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：20 字数：445,000

1987年6月第1版 1987年6月第1次印刷

印数：1-1300

ISBN 7-5609-0005-4/TH·1

统一书号：15255-108 定价：3.34元

前 言

《光学零件加工技术》一书，是作者在《光学零件冷加工技术》教材（国防工业出版社，1981年2月）的基础上，重新修订编著的。

在编著本书过程中，作者根据“光学工艺及测试”专业必设的“光学零件加工技术”这门课程的教学大纲的要求，总结了自己使用原教材的教学实践，本着教育要面向现代化、面向世界、面向未来的指导方针，对原教材内容作了较大的修改和增删。不仅广泛收集了国内外七十年代以来光学加工方面的新技术、新工艺以及有关的理论研究的文献资料，而且也总结并编入了作者近年的科研成果。因此，该书较全面地反映了当前国内外光学加工的水平。本教科书不仅系统地讲授了光学零件加工的基本工艺方法，而且加强了工艺理论的阐述，并注意理论联系实际。作者旨在使学生在学完本课程后，不仅能够胜任光学零件生产的技术工作，而且也为今后从事该学科领域的科研、教学和组织管理工作打下良好的基础。

本书在编著过程中，考虑到“光学工艺及测试”专业学生，在讲授本课程之前，通常要进行认识性生产实习，实习中还要讲授光学工艺的部分内容，同时，该专业还设有《光学机床》、《光学测量》、《光学镀膜技术》、《刻度和照相技术》等专业课，因此，凡与上述课程重复的内容，本书均未列入。

全书共十五章，由长春光学精密机械学院光学工程系光学工艺教研室蔡立同志主编，另外，田守信同志参加编写了第十一章、十二章和十三章。

本书敬请北京工业学院查立豫副教授主审，并由兵器工业部第一编审委员会“光学材料与光学工艺”编审小组审定。在此作者表示衷心感谢。

由于本书的编著时间仓促，特别是作者水平所限，书中缺点和错误在所难免，诚恳欢迎各位读者批评指正。

作 者

符号规定一览表

A	——相对口径 (D/F);
A_p	——单个金刚石磨片的面积;
B	——光学零件表面疵病等级;
C	——透镜的中心偏差;
D	——透镜的口径 (磨边后的外圆直径);
D_0	——透镜的有效通光口径;
$D_0 A$	——透镜 A 面的有效通光口径;
$D_0 B$	——透镜 B 面的有效通光口径;
D_B	——标准样板的口径;
D_c	——零件粗磨完工后的口径;
D_{cm}	——粗磨模的口径;
D_{dm}	——倒角模的口径;
D_g	——工作样板的口径;
D_j	——镜盘的口径;
D_{jm}	——精磨模的口径;
D_{jt}	——抛光模基体的口径;
D_m	——磨轮中径;
D_{min}	——定心夹头的最小直径;
D_{pm}	——抛光模的口径;
D_{tm}	——贴置模的口径;
D_{zm}	——粘结模的口径;
D_λ	——有色玻璃的光密度;
d	——透镜的中心厚度;
d_c	——零件粗磨完工的厚度;
d_j	——零件精磨完工的厚度;
dD_m	——磨轮中径的制造误差;
$d\alpha$	——磨轮角度调整误差;
E_λ	——有色玻璃的吸收率;
f	——透镜的前焦距;
f'	——透镜的后焦距;
H_{cm}	——粗磨模的矢高;
H_{dm}	——倒角模的矢高;
H_j	——镜盘的矢高;
H_{jm}	——精磨模的矢高;
H_{jt}	——抛光模基体的矢高;
H_{pm}	——抛光模的矢高;
H_{zm}	——粘结模的矢高;

i	——入射角;
i'	——折射角;
l	——长度;
N	——零件与工作样板之间的光圈数;
N'	——镜盘上零件的总数;
N_B	——凸凹标准样板之间的光圈数;
N_G	——工作样板与标准样板之间的光圈数;
N_j	——零件精磨后所要求的光圈数;
n_c	——玻璃对红光 (c 谱线 $\lambda = 0.6563\mu\text{m}$) 的折射率;
n_D	——玻璃对黄光 (D 谱线 $\lambda = 0.5893\mu\text{m}$) 的折射率;
n_d	——玻璃对黄光 (d 谱线 $\lambda = 0.5876\mu\text{m}$) 的折射率;
n_F	——玻璃对蓝光 (F 谱线 $\lambda = 0.4861\mu\text{m}$) 的折射率;
q	——光学零件的气泡度;
q	——压强;
R	——透镜的曲率半径;
R_0	——非球面顶点的曲率半径;
R_1	——透镜第一表面的曲率半径;
R_2	——透镜第二表面的曲率半径;
R_c	——粗磨后透镜的曲率半径;
$R_{c.m}$	——粗磨模的曲率半径;
$R_{d.m}$	——倒角模的曲率半径;
R_j	——镜盘的曲率半径;
$R_{j.m}$	——精磨模的曲率半径;
$R_{j.t}$	——抛光模基体的曲率半径;
$R_{p.m}$	——抛光模的曲率半径;
$R_{t.m}$	——贴置模的曲率半径;
$R_{t.p}$	——抛光模塑料贴片的曲率半径;
$R_{t.p}$	——塑料贴片的叶片曲率半径;
$R_{z.m}$	——粘结模的曲率半径;
S_F	——透镜的前截距;
$S'_{F'}$	——透镜的后截距;
T	——温度;
T_B	——玻璃热处理的上限温度;
T_j	——玻璃呈塑性的最低温度;
T_s	——玻璃呈脆性的最高温度;
t	——透镜的边缘厚度;
V_{E-M}	——玻璃与磨具的相对运动速度;
V	——线速度;
V_r	——相对速度;
Z	——磨具上磨片的数目;

β	——放大倍率;
β'	——相对速度系数;
γ_{om}	——粗磨模的半张角;
γ_{dm}	——倒角模的半张角;
γ_j	——镜盘的半张角;
γ_{jm}	——精磨模的半张角;
γ_{ji}	——抛光模基体的半张角;
γ_{pm}	——抛光模的半张角;
γ_{im}	——贴置模的半张角;
γ_{zm}	——粘结模的半张角;
ΔD	——透镜磨边余量;
ΔN	——局部光圈数;
ΔR	——曲率半径的偏差;
ΔR_0	——测量误差所造成的曲率半径的偏差;
ΔR_1	——矢高制造误差所造成的曲率半径的偏差;
ΔR_{N_B}	——标准样板光圈误差所造成的曲率半径的偏差;
ΔR_{N_a}	——工作样板光圈误差所造成的曲率半径的偏差;
ΔT	——温度梯度;
ΔV	——金刚石磨具的磨耗体积;
Δt	——透镜的边厚差;
δ	——胶层的厚度;
θ_1	——第一光学平行差;
θ_2	——第二光学平行差;
λ	——波长;
μ	——摩擦系数;
ν	——阿贝数;
π	——尖塔差;
τ_λ	——有色玻璃的透过率;
φ	——定心角;
ω	——角速度;
ω_r	——相对角速度;

量 和 单 位 一 览 表

量的名称	单 位 名 称	单 位 符 号
长 度	千 米	km
	米	m
	厘 米	cm
	毫 米	mm
	微 米	μm
	毫微米	nm
质 量	吨	t
	千克(公斤)	kg
	克	g
	毫克	mg
时 间	秒	s
	分	min
	[小] 时	h
	日(天)	d
角	弧度	rad
	度	°
	[角] 分	'
	[角] 秒	"
速 度	米每秒	m/s
	千米每小时	km/h
角 速 度	弧度每秒	rad/s
转 速	转每分	min^{-1} 或r/min
力	牛[顿]	N
面 积	千平方米	km^2
	平方米	m^2
	平方分米	dm^2
	平方厘米	cm^2
	平方毫米	mm^2
体 积	立方米	m^3
	立方分米[升]	dm^3 [L或l]
	立方厘米	cm^3
	立方毫米	mm^3

续表

量的名称	单位名称	单位符号
摄氏温度	摄氏度	°C
粘度	帕(斯卡)秒	Pa·s
波长	毫微米 微米	nm μm

目 录

第一章 光学材料

§ 1-1 物质的玻璃态和玻璃的结构	(1)
§ 1-2 无色光学玻璃	(5)
§ 1-3 有色光学玻璃	(10)
§ 1-4 特种光学玻璃	(11)
§ 1-5 微晶玻璃	(13)
§ 1-6 光学晶体	(14)
§ 1-7 光学塑料	(18)
主要参考文献	(21)

第二章 光学零件加工的技术条件及工艺系统

§ 2-1 光学零件的设计基准及尺寸链	(22)
§ 2-2 光学零件图	(25)
§ 2-3 对光学玻璃的要求	(28)
§ 2-4 对光学零件的要求	(29)
§ 2-5 光学零件加工的工艺系统	(32)
主要参考文献	(34)

第三章 光学零件毛坯的生产

§ 3-1 熔炼玻璃的成型和退火	(35)
§ 3-2 块料毛坯的生产	(38)
§ 3-3 热压成型毛坯的生产	(40)
§ 3-4 棒料毛坯的生产	(43)
主要参考文献	(45)

第四章 粗 磨

§ 4-1 研磨的本质	(46)
§ 4-2 铣削加工原理	(49)
§ 4-3 磨料和磨具	(52)
§ 4-4 铣磨加工中工艺参数的选择	(56)
§ 4-5 铣削球面几何形状精度分析	(59)
§ 4-6 铣磨球面产生的表面疵病	(62)
主要参考文献	(64)

第五章 精 磨

§ 5-1 金刚石精磨机理及规律性	(65)
§ 5-2 球面金刚石磨具的余弦磨耗规律	(72)
§ 5-3 球面金刚石高速精磨工艺	(77)
§ 5-4 金刚石精磨中的冷却液	(86)

§ 5-5 精磨的表面结构·····	(90)
主要参考文献·····	(92)
第六章 抛 光	
§ 6-1 抛光机理·····	(93)
§ 6-2 样板检验原理·····	(97)
§ 6-3 中等精度光学零件的高速抛光·····	(108)
§ 6-4 抛光模层材料及抛光粉·····	(115)
§ 6-5 光学零件的腐蚀及抛光液pH值的控制·····	(122)
主要参考文献·····	(128)
第七章 透镜的定心磨边	
§ 7-1 概述·····	(129)
§ 7-2 光学定心的原理·····	(130)
§ 7-3 机械定心的原理·····	(134)
§ 7-4 定心磨边工艺·····	(137)
主要参考文献·····	(141)
第八章 光学零件的胶合	
§ 8-1 概述·····	(142)
§ 8-2 树脂胶合法·····	(142)
§ 8-3 光胶法·····	(149)
§ 8-4 透镜胶合定中心的原理及方法·····	(153)
主要参考文献·····	(154)
第九章 球面光学样板的加工	
§ 9-1 样板的型式和尺寸·····	(155)
§ 9-2 球面样板的加工工艺·····	(158)
§ 9-3 球面样板的精度分析·····	(160)
主要参考文献·····	(166)
第十章 模具夹具的设计	
§ 10-1 平面模具的设计·····	(167)
§ 10-2 球面镜盘的设计·····	(171)
§ 10-3 球面模具的设计·····	(175)
§ 10-4 棱镜研磨、抛光的夹具·····	(181)
§ 10-5 铣磨夹具的设计·····	(183)
主要参考文献·····	(188)
第十一章 高精度光学零件的加工	
§ 11-1 概述·····	(189)
§ 11-2 高精度平面的加工与检测·····	(190)
§ 11-3 高精度棱镜加工与检测·····	(202)
主要参考文献·····	(207)
第十二章 非球面光学零件的加工	
§ 12-1 概述·····	(208)

§ 12-2 去除法加工非球面·····	(210)
§ 12-3 附加加工法加工非球面·····	(229)
§ 12-4 非球面的检验·····	(235)
主要参考文献·····	(238)

第十三章 特殊材料的光学零件的加工

§ 13-1 晶体光学零件的加工·····	(239)
§ 13-2 塑料光学零件的制造·····	(246)
§ 13-3 光学纤维的制造·····	(255)
§ 13-4 梯折透镜的制造·····	(258)
主要参考文献·····	(260)

第十四章 光学车间的组织与管理

§ 14-1 光学车间的组织与管理·····	(261)
§ 14-2 安全技术与工业卫生·····	(264)
§ 14-3 光学零件加工过程中的环境控制·····	(265)
主要参考文献·····	(269)

第十五章 光学零件工艺流程编制

§ 15-1 定位基准·····	(270)
§ 15-2 加工余量·····	(271)
§ 15-3 编制工艺流程的原则和步骤·····	(273)
主要参考文献·····	(308)

第一章 光学材料

光学零件是光学仪器最重要的组成部分，而光学材料是光学零件加工的对象，因此，了解其种类、性质以及与加工工艺性的关系，对于从事光学生产是十分必要的。

光学材料有光学玻璃（包括无色光学玻璃、有色光学玻璃和特种光学玻璃）、微晶玻璃、光学晶体和光学塑料等。其中，用于可见光范围内的光学玻璃，在光学仪器的制造中使用最多，绝大多数透镜、棱镜等光学零件，均由无色光学玻璃制成。因此，本章重点是光学玻璃。

§ 1-1 物质的玻璃态和玻璃的结构

一、光学玻璃的组成

光学玻璃和普通玻璃之间的主要区别是：光学玻璃具有高度的透明性、物理及化学上的高度均匀性以及特定和精确的光学常数。因此，现代光学玻璃不再象窗玻璃那样，仅仅由砂子、纯碱和石灰石（ $\text{SiO}_2-\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}$ ）组成，而是含有元素周期表中的大部分元素，只是组合和含量不同而已。目前，光学玻璃的牌号已有数百种，这些光学玻璃是由玻璃多组分的（通常每种牌号玻璃有4~10种组分）不同配比而获得的。另外，也可利用个别组分的高含量来得到不同光学常数的玻璃。

长时期以来，各国对于本国所生产的各种牌号玻璃的成分和工艺是严格保密的。一般来讲，玻璃的主要成分是二氧化硅（ SiO_2 ），又称石英砂。它使得玻璃机械强度高、化学稳定性好、热膨胀系数小，但它的熔点太高（ 1700°C 以上），除非熔制特殊需要的石英玻璃，才单独使用石英砂。

通常熔炼玻璃都加入其它物质，以改善玻璃的性能和满足光学系统成像的需要。如加入氧化铝（ Al_2O_3 ），能提高玻璃的化学稳定性和机械强度；加入氧化铅（ PbO ）和氧化钡（ BaO ），可以增大玻璃的折射率，但化学稳定性降低；加入氧化钠（ Na_2O ），虽然玻璃的化学稳定性和机械性能变差，但它可以降低熔炼温度。此外，根据需要还可以加入其它物质。

综上所述，玻璃是由多种氧化物组成的。查哈里阿生（Zachariasen）将玻璃中的各种氧化物分成两类：一类是能生成玻璃的，如 B_2O_3 、 As_2O_3 、 SiO_2 、 Ta_2O_5 等，以上均属 A_2O_3 、 AO_2 和 A_2O_5 型氧化物，称这类氧化物为玻璃形成体，即构成玻璃网络体；另一类氧化物，如 Na_2O 、 K_2O 、 CaO 、 BaO 、 PbO 等，属于 A_2O 和 AO 型氧化物，它们不能生成玻璃的网络体，只是插入玻璃的网络结构中，构成网络外体，但能改变玻璃的性质。

玻璃中氧化物的组成不同，玻璃的结构和性质亦不同。因此，可以根据光学玻璃中，每类氧化物的百分比，初步断定光学玻璃的各种性能。例如，组成玻璃网络体的氧化物含量高，化学稳定性好；相反，组成网络外体的氧化物含量高，化学稳定性差。

各种氧化物对玻璃性质的影响如表1-1所示。

表 1-1 各种氧化物对玻璃性质的影响

名 称	减 小	增 大
二 氧 化 硅	比重、膨胀系数	化学稳定性, 耐温性, 机械强度, 粘度
氧 化 铝	析晶能力(当加入2~5%时)	机械强度化学稳定性, 粘度
氧 化 硼	析晶能力, 粘度, 膨胀系数	化学稳定性, 温度急变抵抗性, 折射率
氧化钠和氧化钾	化学稳定性, 耐温性机械强度, 结晶能力硬度	膨胀系数
氧 化 镁	析晶能力, 粘度(加入量达25%时)	耐温性, 化学稳定性, 机械强度
氧 化 钡	化学稳定性	比重、折射率、析晶能力
氧 化 铅	化学稳定性, 硬度, v_D 值	折射率
氧 化 锌	膨胀系数	耐温性, 化学稳定性, 机械强度
氧 化 钙	耐温性	膨胀系数, 硬度, 化学稳定性, 机械强度, 析晶能力

二、物质的玻璃态及其物理特性

(一) 物质的玻璃态

严格来讲, 玻璃不是固体。玻璃熔融体在冷却过程中, 虽不象固体那样有确定的固化温度, 但随着粘度的增加, 玻璃具有固体的机械性质。可是, 由于熔融体迅速冷却, 内部分子来不及规则排列就凝成固态, 因此, 玻璃保留了液态分子无规则排列的结构, 即低温的固态保留了高温液态的无定性结构, 称为玻璃态。人们常常称玻璃叫作过冷却液体就是这个道理。

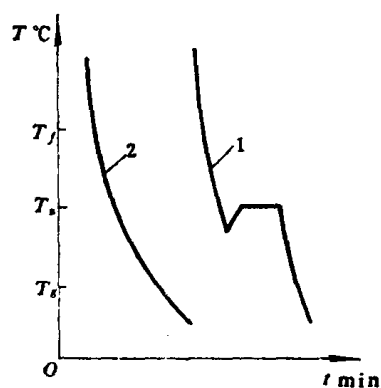


图 1-1 熔融体凝固的过程

图 1-1 表示了熔融体凝固的过程。它说明处于熔融状态的物质冷却时, 可能生成结晶态或玻璃态(无定形态)。

图 1-1 中, 曲线 1 表示熔融体在冷却过程中, 降至熔点 T_m 温度时, 会放出全部的熔化热, 经过一段时间间隔, 熔融体转变成结晶态, 且晶体呈结晶态。曲线 2 表示熔融体冷却时, 无确定的固化温度, 潜在的热量没有全部放出, 从而冷却成固态时, 仍保留了高温的液态结构, 生成无定形态, 即分子无规则排列。玻璃则呈无定形态。

(二) 玻璃的物理特性

玻璃除具有固体的机械性质和光学性能外, 还具有以下物理特性:

1. 各向同性

玻璃的性质, 如硬度、弹性模数、折射率等, 在各向测得的数值相等。它说明玻璃虽属无定形态, 内部质点排列是无序的, 但它具有统计的均匀结构。因此, 玻璃是各向同性的。

2. 介稳状态

在一定条件下, 物质可能处于相对稳定状态, 但并不是能量最低储存状态, 称为介稳状态。玻璃熔融体冷却生成固态, 并没有放出全部的潜在热, 内部含有多余的内能储存, 故玻

璃处于热力学的不稳定状态，即介稳状态。

按照能量转化的观点，高能状态有向低能状态转化的趋势。因此，从理论上讲，玻璃有转为晶体的内在条件，即由高能状态向低能状态转化。然而，玻璃体经过长期放置也无明显的结晶析出，这是由于玻璃粘度非常大，阻止它向晶体转化。

3. 玻璃从熔融态向固态转化过程是连续可逆的

玻璃从熔融态到机械固态，是在一个相当宽的温度范围内完成的，变化过程是连续的，没有固化点，只有固化温度范围。随着温度的降低，熔融体粘度愈来愈大，最后变成固态。

图1-1中，(T_f — T_g)称为固化温度范围，它随玻璃成分不同而异，此时玻璃呈粘滞状态。 T_f 为玻璃呈塑性的最低温度，即是玻璃拉成丝的最低温度，其粘度系数 $\eta = 10^8 \text{Pa}\cdot\text{s}$ 。 T_g 为玻璃呈脆性的最高温度，即是玻璃退火的上限温度，此时玻璃的粘度系数 $\eta = 10^{12} \text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

玻璃由固态变成熔融态的过程与上相反，但也是连续的。玻璃加热到 T_g 温度时，失去脆性，逐渐产生粘滞状，继续加热至 T_f 温度，呈现流动的熔融体。

在上述连续可逆的变化过程中，玻璃的性质，如粘度、比热等也是连续可逆的。如图1-2所示。

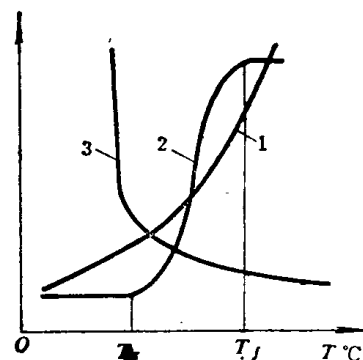


图1-2 玻璃的性质与温度的关系

1——比容； 2——比热；
3——粘度

三、玻璃的结构

关于玻璃的结构，近半个世纪以来，人们曾提出各种各样的假说，但由于涉及的问题比较复杂，到目前为止，尚未得到完善的、一致的结论，但比较流行的普遍承认的是“无规则网络学说”与“晶子学说”。

无规则网络学说，是1932年荷兰学者查哈里阿生提出的。该学说认为：玻璃的原子、离子或原子团之间的结合，构成一个连续的网络体，而网络体呈现出很大的不规则性。网络学说强调了玻璃结构的连续性、均匀性和无序性。

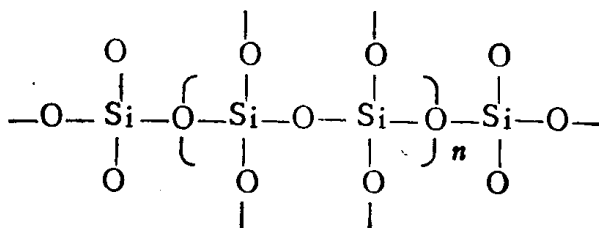
根据这个学说，可以描述玻璃的结构模型，并能解释玻璃一系列性质变化的规律。

(一) 熔石英玻璃的结构

按照网络学说，对一元体系的熔石英玻璃结构描述如下：每个硅原子与周围的四个氧原子组成硅氧四面体 $[\text{SiO}_4]$ ，各四面体之间通过顶角互相连接，形成向三度空间发展的网络结构。但其排列是无序的，而晶体石英的结构却是有序排列。

石英晶体与熔石英玻璃的结构模型如图1-3所示。

熔石英玻璃的化学组成和结构式如下：



式中 n 表示网络体结构中，链重复的数目。由于熔石英结构中，只有Si—O键，而且键力平衡，结合牢固，因此熔石英玻璃具有较高的软化温度、化学稳定性、机械强度以及较低的热膨胀系数等特性。

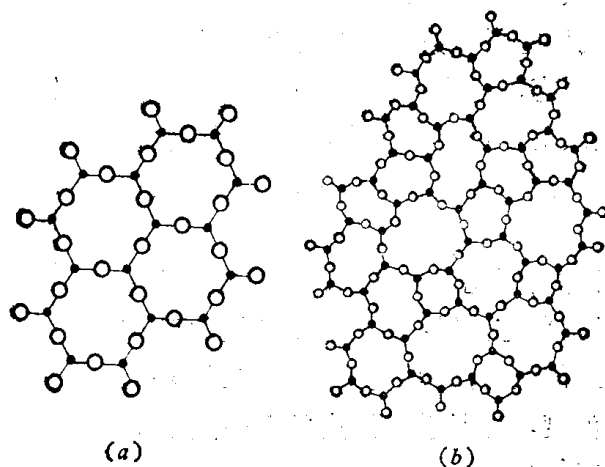


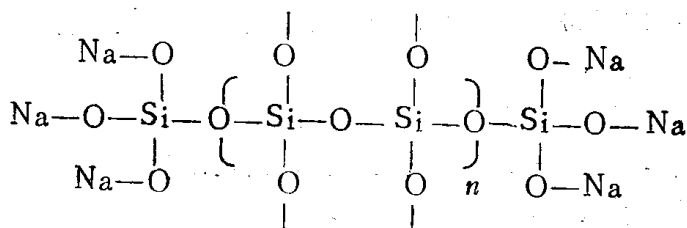
图1-3 石英晶体与熔石英玻璃的结构模型

(a) ——石英晶体； (b) ——熔石英玻璃

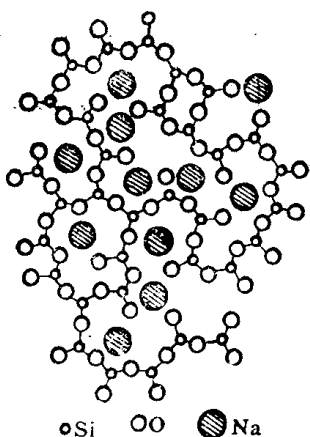
(二) $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 玻璃结构

二元体系的 $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 玻璃，是在熔石英玻璃中，加入碱金属氧化物(R_2O)或碱土金属氧化物(RO)，以使硅氧四面体 $[\text{SiO}_4]$ 组成的网络体断裂。在某些四面体之间的空隙中，均匀而无序地分布着碱金属和碱土金属的离子(R^+ 或 R^{++})。如图1-4所示。

$\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 玻璃的化学组成和结构如下：



$\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 玻璃，由于硅氧四面体连接处断裂，牢固的Si—O键被比较弱的R—O键所代替，致使玻璃结构松懈，性能降低。如果玻璃中碱金属氧化物含量愈多，硅氧键断裂愈多，则玻璃的化学稳定性和物理性能愈差。



查哈里阿生的观点，后来被瓦伦(Warren)的X射线结构分析数据所证实。所以，无规则网络学说又称为查哈里阿生—瓦伦学说，这一学说可以解释玻璃的各向同性、内部性质的均匀性和成分改变时玻璃性质变化的连续性等基本特性。因此，无规则网络学说，在长时间内成为玻璃结构学说的主要流派。

随着科学的发展，在对玻璃的性质及其结构进行更深入的研究中，人们积累了愈来愈多的关于玻璃内部结构不均匀性的资料，迫使人们重新认识查哈里阿生—瓦伦的一些观点。进而认为，现代玻璃结构理论，不仅要强调玻璃内部质

图1-4 $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 玻璃结构模型

点排列的连续性、均匀性和无序性，而且必须能够反映出玻璃的内部结构的另一方面，即近程有序和化学上不均匀性的方面。从而提出了关于玻璃结构的晶子学说。

晶子学说是苏联学者列别捷夫(Лебедев)于1921年首先提出的。他在研究光学玻璃退火时发现：玻璃折射率随温度变化的曲线在520°C附近折射率突然变化，如图1-5所示。

当时，列别捷夫把上述现象解释为：是玻璃中的石英“微晶”在520°C发生同质异晶转变的结果。以后，列别捷夫逐步完善了自己的学说，其要点归纳如下：玻璃是由无数“晶子”组成的。所谓“晶子”不同于一般的“微晶”，而是带有点阵变形的有序排列区域，它们分散在无定形介质中，并且从晶子区到无定形区的过渡是逐步完成的，两者间并无明显的界限。

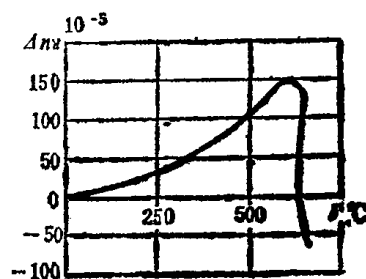


图1-5 玻璃折射率随温度变化曲线

列别捷夫的关于玻璃结构的晶子学说，也被几位学者的X射线结构分析数据所证实。与网络学说相比，晶子学说揭示了玻璃的另一方面的结构特征，即微不均匀性及近程有序性。但到目前为止，这个学说还有一系列重要的原则性问题尚未得到解决：其一，对玻璃中“晶子”的大小与数量尚有异议，但总的说来，由于晶子含量只占10~20%，而且大小为0.7~2nm，所以不能过分夸大晶子在玻璃中的作用和对性质的影响；其二，晶子的化学组成还没有得到合理的确定。

随着对玻璃结构研究认识的深入，两派学说的代表者，各自吸收了对方的合理部分，逐渐消除了原则分歧，提出了关于玻璃结构的无定形-晶子学说，即认为玻璃是具有近程有序(晶子)区域的无定形物质。

在玻璃结构理论的发展过程中，许多学者对玻璃结构的理解只是根据自己的部分试验结果，而这些试验结果仅反映了玻璃结构这个复杂问题的一个方面，因而其观点带有一定的片面性。玻璃结构的无序与有序、连续与不连续、均匀与不均匀是构成玻璃结构理论矛盾的两方面，它们同时存在于玻璃这个统一体中，而且在一定条件下，其中一方面可以起主导作用，并在玻璃的外部性质上突出地反映出来，当条件改变时，它可能为另一方面所替代。因此，关于玻璃结构的无规则网络学说和晶子学说也是对立统一的，从而形成了无定形-晶子结构学说。

§ 1-2 无色光学玻璃

一、光学玻璃的分类及命名

光学玻璃的品种繁多，其中绝大多数是无色光学玻璃，因此光学玻璃的分类及命名，主要指无色光学玻璃而言。

光学玻璃品种的发展，大致以本世纪四十年代为界限分为两个阶段。四十年代以前发展的玻璃，其光学常数的范围并不大，但品种数量很多，目前大多数光学系统仍在这些玻璃。这些玻璃的产量很大，占整个光学玻璃的80%，我们称它为常用光学玻璃，它们是以硅酸盐系统作为基础的。四十年代以后发展起来的玻璃，即新品种光学玻璃，其生产量逐步在增加。这些新品种光学玻璃，对于发展光学仪器日显重要，它们是以硼酸盐和磷酸盐系统作

为基础的玻璃，有的也引入锗酸盐和碲酸盐系统作为基础。上述常用光学玻璃和新品种光学玻璃都是氧化物玻璃。随着紫外和红外光学玻璃的发展，非氧化玻璃（主要是氟化物和硫、硒化合物玻璃）也成为新品种光学玻璃的一个重要部分。

光学玻璃的发展是与光学仪器的发展相互联系的，光学系统的改进往往取决于新型光学玻璃。如为了消除光学系统的色差，就需采用不同阿贝数的玻璃。因此，光学玻璃开始分为冕牌及火石玻璃两大类。后来，随着高级光学系统发展的需要，在每一大类内又分别发展出了若干小类。在进行光学设计时，选择玻璃的主要依据是折射率 n_d 和色散系数 ν_d ，故光学玻璃即以 n_d （或 n_s ）和 ν_d （或 ν_s ）为其特征性质，构成光学玻璃 n_d - ν_d 领域图，如图1-6所示。

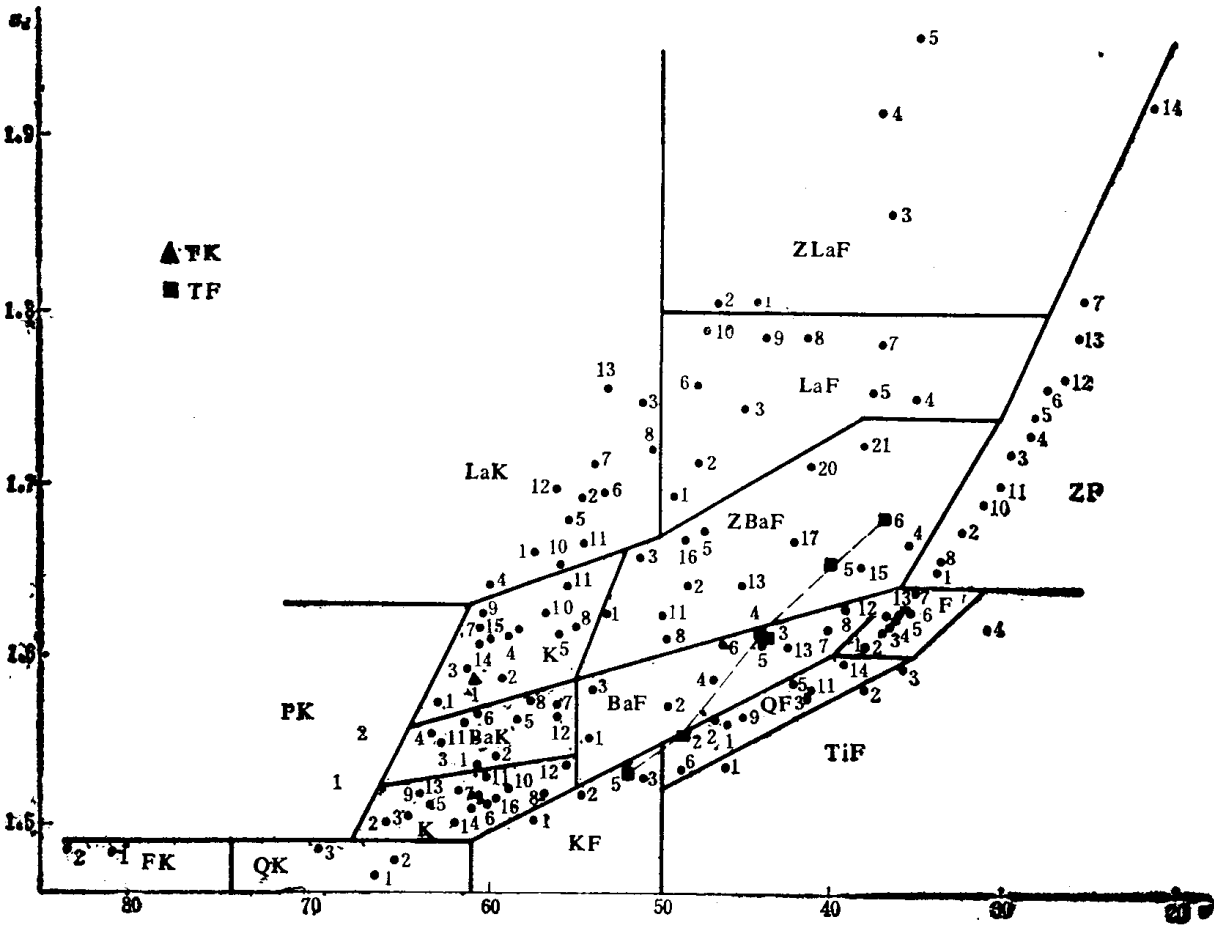


图1-6 光学玻璃 n_d - ν_d 领域图

在 n_d - ν_d 图中，不同玻璃处于不同的位置。按折射率及阿贝数的不同，将玻璃领域图分为若干区域，每一区域内都有折射率及阿贝数相差不远的若干玻璃。各区域内的玻璃统称为一类品种，品种是折射率及阿贝数相近玻璃的总称。每类品种包括的各具体玻璃称为牌号。每一光学玻璃牌号都有特定的折射率及阿贝数。

关于光学玻璃品种及牌号，各国或各制造单位都有自己的品种分类及牌号表示方法，但大都采用拉丁字母作为品种的标志，在品种标志之后附有牌号的标志。作为光学设计主要标志的折射率及阿贝数，各国或制造单位也稍有差异，有的用钠光谱 d 线（波长 $0.5876\mu\text{m}$ ）的折射率 n_d ，也有的用钠光谱 D 线（ $0.5893\mu\text{m}$ ）的折射率 n_D ，因而有相应的阿贝数 ν_d 及 ν_D 。根据我国光学玻璃的国家标准，采用拉丁字母表示品种，每一品种内的玻璃以阿拉伯数字表示序号，采用 n_d 及 ν_d 作为折射率及阿贝数。