

高等学校教材

光学零件工艺学

查立豫 林鸿海 编著

兵器工业出版社

光·学 零 件 工 艺 学

查立豫 林鸿海 编著

*

兵器工业出版社 出版

(北京市海淀区车道沟10号)

新华书店发行

航空工业部印刷厂印装
第六二一所

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 25¹/₂。 字数: 619千字
1987年7月第1版 1987年7月第1次印刷 印数: 1—6000

统一书号: 15471·001 定价: 4.20元

ISBN 7-80038-000-9/TH·1

宋

前 言

本教材是根据1984年高等学校光学仪器专业教材会议拟订的《光学零件工艺学》的教学大纲编写的。全书包括光学材料、光学零件的基本工艺以及光学零件的特种工艺三大部分，是高等院校光学仪器类专业本科生的必修课教材。

全书以典型零件的基本工艺为重点，深入阐述光学加工机理、表面成型原理、光学加工机床、磨具设计、夹具设计、工艺规程的设计。着重分析工艺因素对光学加工质量与效率的影响，使光学仪器类专业的学生在学完本门课程后，既能胜任光学工艺的研究工作，又能使光学设计、光学工艺与光学检测形成一个完整的系统。

本书在广泛收集近十年来国内外光学工艺科研成果的基础上，加强了工艺理论，注意了新工艺、新技术、新材料、新设备的应用与推广。

本书由北京工业学院查立豫同志和华东工学院林鸿海同志编著。第一章~第七章、第十二章~第十四章由查立豫同志编写，第八章~第十一章、第十五章~第十六章由林鸿海同志编写。由查立豫同志统编全部书稿。

本书承蒙中国科学院天文仪器厂李德培高级工程师主审。兵器工业部第一教材编审委员会光学材料与光学工艺编审小组审查，第一教材编审委员会审核，兵器工业部教材编审室审定，作者谨向他们致以深切谢意。并向引为本书参考资料的作者和单位致谢。

由于编者水平有限、编写时间仓促，书中缺点与不足之处，敬请广大读者批评指正。

作 者 1985.1.于北京

内容简介

本书包括光学材料、光学零件的基本工艺及光学零件的特种工艺三大部分，是高等院校光学仪器类专业本科生的必修课教材。

本教材总结了近三十年来《光学零件工艺学》课程的教学经验；增加了近十年来国内外在光学工艺方面的科研成果；加强了工艺理论，注意了新工艺、新技术、新设备、新材料的应用和推广。对光学工厂的生产有重要的参考价值，可供光学工艺科研人员、高等院校有关专业的教师、光学工厂技术人员参考，也可作为业余大学、职工大学、夜大学用教材。

本书由李德培主审，经原兵器工业部第一教材编审委员会光学材料及工艺编审小组于1985年7月召开的全体会议审定，同意作为教材出版。兵器工业部教材编审室责任编辑：杨实诚。

术 语 符 号

一 本教材采用国家标准、机械工业部标准、兵器工业部标准所规定的各种术语符号。

二 除标准规定的以外，采用下述各符号

(一) 对曲率半径、零件直径、中心厚度、边缘厚度的规定

曲率半径	零件直径	中心厚度	边缘厚度
R 或 r	D	d	t

(二) 对所加脚标的规定

	第一面加工后	第二面加工后	原始尺寸	粗磨有关尺寸	精磨有关尺寸	抛光有关尺寸	磨具、模具
所加脚标	1	2	0	c	j	p	m

(三) 各种直径或中径

棒料直径	滚圆后直径	上盘时零件直径	标准样板直径	工作样板直径	磨轮中径	定心磨边后直径
D_0	D_g	D_1	D_B	D_a	D_M	D

(四) 工件各工序间厚度

毛坯 厚度	粗磨完工后厚度		精磨完工后厚度		抛光完工后厚度	
	第一面	第二面	第一面	第二面	第一面	第二面
d_0	dc_1	dc_2	dj_1	dj_2	d_{p1}	d_{p2}

(五) 各种模具、镜盘工作面尺寸

	曲率半径	外 径	矢 高	半对角
粗磨模	R_{cm}	D_{cm}	H_{cm}	r_{cm}
精磨模	R_{jm}	D_{jm}	H_{jm}	r_{jm}
抛光模	R_{pm}	D_{pm}	H_{pm}	r_{pm}
贴置模	R_{tm}	D_{tm}	H_{tm}	r_{tm}
粘结模	R_{zm}	D_{zm}	H_{zm}	r_{zm}
基 体	R_t	D_{it}	H_{jt}	r_{jt}
倒边模	R_{φ_m}	D_{φ_m}	H_{φ_m}	r_{φ_m}
镜 盘	R_j	D_j	H_j	r_j

(六) 各种光圈数

凸凹标准样板 间光圈数	工作样板与标准样 板间光圈数	工件抛光后所要求 的光圈数	工件超精磨后所要 求的光圈数	工件精磨后所要求 的光圈数
N_B	N_G	N_P	N_C	N_J

(七) 各种曲率半径

凹 面 曲 率 半 径	凸 面 曲 率 半 径	参考表面曲率半径		二次曲线顶 点曲率半径
		(测量时)	(磨二次曲面时)	
R_{\circ}	R_{tu}	R_{c_s}	r_{\circ}	r

(八) 各种曲率半径偏差

球 面 标 准 样 板				球面工作样板
曲率半径 偏 差	测量误差所造成 的曲率半径误差	矢高制造误差所造成 的曲率半径误差	光圈误差所造成 的曲率半径误差	光圈误差所造成 的曲率半径误差
ΔR_B	ΔR_c	ΔR_h	ΔR_{BN}	ΔR_{GN}

(九) 反射、透过、吸收

反射系数	反 射 率	透过系数	透 过 率	吸收系数
ρ	R	τ	T	E

目 录

术语符号

绪 论

第一篇 光学材料

第一章 光学玻璃	(4)
§ 1-1 玻璃的特性及结构	(4)
§ 1-2 无色光学玻璃	(6)
§ 1-3 有色光学玻璃	(23)
§ 1-4 特种光学玻璃	(27)
第二章 光学晶体	(32)
§ 2-1 晶体的基本概念	(32)
§ 2-2 晶体的性质	(35)
§ 2-3 光学晶体的质量指标	(39)
§ 2-4 光学晶体的分类及用途	(43)
第三章 光学塑料	(47)
§ 3-1 塑料的结构与分类	(47)
§ 3-2 光学塑料的使用和特性	(48)
§ 3-3 几种常用的光学塑料	(50)

第二篇 光学零件的基本工艺

第四章 光学零件的技术条件	(55)
§ 4-1 对光学玻璃的要求	(55)
§ 4-2 对光学零件基本工艺的要求	(56)
§ 4-3 光学零件图	(67)
第五章 光学工艺材料	(71)
§ 5-1 磨料、砂轮与金刚石磨具	(71)
§ 5-2 抛光粉	(74)
§ 5-3 抛光膜层材料	(74)
§ 5-4 冷却液	(76)
§ 5-5 粘结材料	(76)
§ 5-6 清洗材料	(76)
§ 5-7 擦拭材料	(78)
§ 5-8 保护材料	(79)

§ 5-9 光学仪器防雾剂	(82)
§ 5-10 光学仪器防霉剂	(83)
第六章 光学零件的毛坯成型与铣磨工艺	(86)
§ 6-1 型料毛坯的成型工艺及精密退火	(86)
§ 6-2 块料毛坯的切割工艺	(91)
§ 6-3 光学零件的外圆铣磨工艺	(97)
§ 6-4 光学零件球面与平面的铣磨工艺	(99)
第七章 光学零件的精磨工艺	(124)
§ 7-1 光学零件的上盘与工夹具设计	(124)
§ 7-2 光学加工中的表面成型原理	(138)
§ 7-3 散粒磨料精磨工艺	(149)
§ 7-4 高速精磨工艺	(151)
§ 7-5 超精磨工艺	(168)
第八章 光学零件的抛光工艺	(173)
§ 8-1 玻璃抛光机理	(173)
§ 8-2 光圈的识别	(175)
§ 8-3 古典法抛光工艺	(184)
§ 8-4 高速抛光工艺	(191)
§ 8-5 高精度平面光学零件的抛光工艺	(196)
§ 8-6 高精度球面光学零件的抛光工艺	(206)
§ 8-7 超光滑表面光学零件的抛光工艺	(212)
§ 8-8 离子抛光工艺	(213)
§ 8-9 光学玻璃抛光表面的腐蚀及其防护	(215)
第九章 透镜的定心磨边工艺	(224)
§ 9-1 概述	(224)
§ 9-2 光学法定心磨边工艺	(225)
§ 9-3 机械法定心磨边工艺	(230)
第十章 光学零件的结合工艺	(235)
§ 10-1 概述	(235)
§ 10-2 光学零件的胶合工艺	(235)
§ 10-3 光学零件的光胶工艺	(242)
第十一章 光学零件基本加工工艺规程设计	(245)
§ 11-1 工艺审查	(245)
§ 11-2 加工余量	(247)
§ 11-3 光学零件工艺规程的设计	(251)

第三篇 特种光学零件工艺

第十二章 非球面光学零件工艺	(268)
-----------------------------	---------

§ 12-1	概述	(268)
§ 12-2	非球面光学零件制造	(270)
§ 12-3	非球面光学零件的检验	(286)
第十三章	晶体光学零件工艺	(297)
§ 13-1	概述	(297)
§ 13-2	晶体的选料	(297)
§ 13-3	晶体的定向	(299)
§ 13-4	晶体零件加工的基本工序	(302)
§ 13-5	几种典型晶体零件的加工举例	(305)
第十四章	塑料光学零件工艺	(310)
§ 14-1	概述	(310)
§ 14-2	塑料光学零件的注射成型	(311)
§ 14-3	塑料光学零件的热压成型	(319)
§ 14-4	塑料光学零件的浇铸成型	(320)

第四篇 光学零件的特种工艺

第十五章	光学零件的镀膜工艺	(321)
§ 15-1	光学薄膜简介	(321)
§ 15-2	真空镀膜机	(332)
§ 15-3	真空镀膜工艺	(342)
§ 15-4	光学薄膜性能的测量	(353)
§ 15-5	化学镀膜工艺	(360)
第十六章	光学零件的刻度与照相工艺	(364)
§ 16-1	概述	(364)
§ 16-2	机械法制取分划工艺	(366)
§ 16-3	照相法制取分划工艺	(375)
§ 16-4	机械法与照相法相结合——光刻法制取分划	(385)
§ 16-5	制取光栅的新方法	(389)

绪 论

一 光学零件工艺学的性质及其在社会主义建设中的作用

光学零件工艺学是研究如何采用多、快、好、省的技术手段和工艺措施去改变光学材料的形状、尺寸、表面质量和表面性质，从而制造出所需要光学零件的一门科学。

光学零件工艺学研究的内容，基本上分为两个方面

(一) 光学材料的性能；

(二) 光学零件的制造工艺，包括光学零件的基本工艺和特种工艺。

光学零件工艺学是劳动人民直接从生产实践中总结出来，又应用到生产中解决实际问题的，并经过生产实践反复验证和不断提高的工艺学科。到目前为止，它虽然有一套比较完整的体系和理论根据，对生产实践起着指导作用，但它还不够完善，随着生产的发展，科学技术水平的提高，光学零件工艺学将不断地发展。另外，光学工艺领域中不断涌现的新材料、新设备、新技术、新工艺又促进了光学仪器和其他学科的发展。

光学仪器的核心部分是光学系统，而光学系统是由光学材料制成的光学零件所组成，所以，光学零件工艺学在社会主义建设中的作用可以用光学仪器的重要性来衡量。

首先，光学仪器在国防尖端技术方面起着眼睛的作用，担任着观察敌情、监视敌踪的重要任务；在空间科学方面利用望远镜来观测或用电影经纬仪来跟踪拍摄人造天体；在原子能方面，由于工作物质的强烈放射性，不能直接目视，必须借助于远距离观测的潜望镜，对于快速的核爆炸，则需利用高速摄影装置来拍摄瞬时照片，以便研究爆炸的过程。

在近代自然科学发展中，光学仪器的作用是很突出的，例如没有光谱仪器来获得各类物质的发射及吸收光谱，人们对物质内部结构的认识就不会达到今天这样的高度。各元素的同位素也是依靠高分辨率的光谱仪器来测定数量和品种。对于太阳和遥远的恒星只有通过光谱仪器才能知道它们的组成。

在机械工业、建筑业、材料工业和医学、生物学方面各种类型的光学检测仪器和显微镜都是必不可少的。在文化生活中，各种照相机、电影摄影机和电影放映机等更是大家所熟知的。

从以上可以看出光学仪器在社会主义建设中的重要作用。而光学材料和光学零件的制造质量直接影响到光学仪器的成象质量和其他性能；光学零件的生产效率关系到光学仪器制造业的发展。因此，光学零件工艺学是社会主义建设中一门不可缺少的学科，一个现代化的先进国家必须很好地发展它。

二 我国光学零件工艺学的发展简史

我国是个历史悠久的文明国家，勤劳勇敢的中国人民在科学技术方面作出了许多成就，有过不少发明创造和理论总结，在光学方面也不例外。公元前三世纪，战国时代的墨翟在他的墨经一书中记载着光的直线传播和小孔成象的实验、凹面镜和凸面镜的成象，这比古希腊欧几里德 (Euclid) 对光直线传播的记载早了一百多年。从记载我国周代工业技术和制度的

“考工记”可知，当时已经会用铜锡各半的合金制造凹面镜，并用凹面镜取火。东汉时期王充的“论衡”中曾记载了原始玻璃的熔炼技术。到了第九世纪，宋代沈括在“梦溪笔谈”中对凹面镜和凸面镜的成象以及凹面镜焦点都作了详细的记载，它比第十三世纪英国人R·培根(Bacon)用凹面镜取火约早四百年。元代赵友钦(1279—1368年)在“革象新书”中记录了小孔成象的实验，正确的研究了屏的照度与光源强度和距离的关系……。可见我国古代在光学上的贡献并不逊于世界上任何其他民族，有极光辉的历史，同时也说明我国是世界上古老光学工艺发展最早的国家之一。

但是，近百年来，帝国主义、封建主义和官僚资本主义的统治，使解放前我国的光学工业处于典型的半殖民地的状态，它的命脉完全操纵在侵略者的手中，听凭其摆布和扼杀，仅有的十分简陋的作坊式的光学工厂，几乎全是帝国主义插进我国的吸血管和资本家残酷剥削劳动人民的场所。

解放后，在共产党的领导下，为我国光学工业开辟了无限广阔的前景。各大中小城市相继建立了许多新的光学工厂；科学院系统成立了多个光学精密机械研究所，分布在祖国各个地方；不少高等院校设立了光学仪器类专业，使光学仪器的科研、教育和生产体系，从无到有，从小到大，得到了蓬勃的发展。我国生产的光学仪器质量不断提高、品种不断扩大，产量不断增加、有的光学仪器进入国际市场，达到世界先进水平。

就光学零件工艺而言，光学玻璃正朝着提高质量和扩大品种的方向发展，为了满足光学设计上高折射率和低色散的要求。发展了镧冕和镧火石玻璃系统；红外紫外光学仪器的发展，要求能满足红外、紫外性能的光学玻璃、光学晶体、半导体和光学塑料；天文光学仪器需要大块的低膨胀的玻璃；原子能技术需要防辐射和耐辐射的光学玻璃；玻璃的基础理论方面，特别是纤维光学、激光器、光电子学、光敏性等许多其他领域内的应用，促进了对玻璃基础理论的深入研究。光学零件基本工艺中，大批量光学零件的生产近十年来正朝着毛坯型料化、粗磨机械化、精磨和抛光高速化、定心磨边自动化和建立光学加工流水线等方向发展。毛坯的一次滴料成型正在深入地进行试验研究；粗磨机械化在各光学工厂广泛地应用；高速精磨的试验成功并在生产中推广，使精磨单工序的效率提高了十倍以上；对中等精度和中等尺寸的光学零件已基本上采用了高速抛光和机械法定心磨边工艺；精密光学零件的加工工艺也不断发展和提高。在满足生产需要的同时，光学工艺基础理论研究也正在逐步深入，并取得可喜的成果。光学零件特种工艺正朝着精密、高级、大型方向发展，例如真空镀膜中采用电子束蒸发技术和反应蒸发技术，镀制从真空紫外到远红外的各个光谱区域的各种多层光学薄膜，研制精确控制的膜厚测量装置，正逐步向着镀膜过程用电子计算机处理数据进行监控的自动化方向发展；精密刻划方面，成功地采用了光刻法、莫尔条纹定位和激光干涉条纹定位、全息照相、离子蚀刻等先进技术，制作出如21位编码盘和全息闪耀光栅等精密的刻划元件。这一切都说明了我国光学工艺已经进入一个更高的发展阶段，成为我国光学工业的雄厚基础。

然而，我们还须清醒地看到，我国的光学零件工艺学现状同世界先进水平还有一段距离，还远不能适应在本世纪内把我国建设成为农业、工业、国防和科学技术现代化的伟大的社会主义强国的需要，我们面临的~~任务~~任务十分艰巨。但是，我们相信，在共产党领导下，经过全体从事光学工艺的科研人员和工程技术人员的奋斗，我国光学工艺耸立于世界先进之林的情景，为期不远！

三 学习光学零件工艺学的方法

光学零件工艺学是一门实践性很强的学科，在学习和掌握光学工艺基本理论的同时，要重视光学工艺实验和光学工艺生产实习，要将书本知识与生产实际紧密结合起来。

光学零件工艺学中各部分虽有一定联系，但又有较大的独立性，因此在学习中要以辩证唯物论为指针，将已学过的基础知识和专业知识，如普通化学、仪器制造工艺学、公差与技术测量、应用光学、物理光学等，和课程内容紧密结合，加深对本课程内容的理解和握掌

第一篇 光学材料

光学材料包括光学玻璃、光学晶体和光学塑料三大类。光学玻璃是用得最广泛的光学材料，属于无机物，是高分子的凝聚态物质；光学晶体是有规则排列结构的固体，由于人工晶体的培养比较困难，生产量远不如光学玻璃大。所以，光学晶体只有在光学玻璃不能满足要求的情况下才使用，例如红外、紫外、偏振、闪烁等方面用的光学晶体，激光技术上采用的激光晶体，非线性晶体所包括的电光晶体、声光晶体、变频晶体等；光学塑料属于有机物，是有机高分子化合物，由于它价格低廉、成形方便、质轻、抗震等优点，近年来有着很大的发展。

第一章 光学玻璃

§1-1 玻璃的特性及结构¹

一 玻璃的定义

不论化学成分和固化温度范围如何，一切由熔体过冷却所得的无定形体，由于粘度逐渐增加而具有固体的机械性质的，均称之为玻璃。而且由液态变为玻璃态的过程应当是可逆的。

二 玻璃的特征

(一) 各向同性 由于组成玻璃的原子或离子，从统计观点上看其排列在各个方向上是一致的，因此，玻璃的物理性质，例如折射率、热膨胀系数、导电系数等，不因测量方向的不同而不同，

(二) 介稳性 玻璃态比晶态含有较高的内能，所以，玻璃态有放出这部分高出的内能向晶态转变的可能性，因此，它并不十分稳定；但是，由于常温下的玻璃具有很高的粘度，阻碍着玻璃态向晶态的转变，因此，玻璃仍然是比较稳定的。

(三) 稠化过程的渐变可逆性 玻璃熔体在冷却过程中没有新相出现，而是逐渐地稠化，而且是可逆的。这与结晶物质不同，熔融状的结晶物质，只能在固定的结晶温度下结晶，待全部结晶后，温度才开始下降。

(四) 固化过程中玻璃物理化学性质的连续渐变性质 图1-1中，曲线1是晶体的物理化学性质与温度的关系曲线，当结晶温度为 t_1

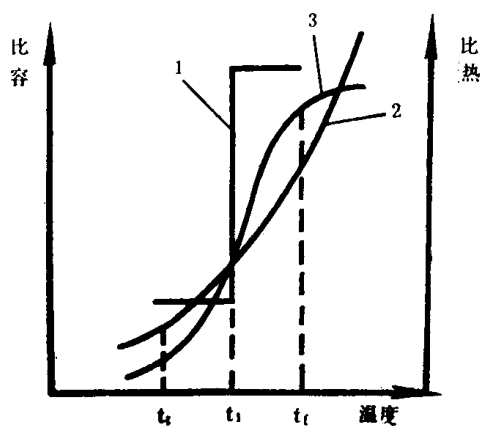


图1-1 玻璃的比容、比热与温度的关系曲线
1—晶体； 2—玻璃比容； 3—玻璃比热。

时,晶体的物理化学性质发生突变。曲线2和3分别表示玻璃的比容、比热与温度的关系曲线。图中标 t_g 与 t_f 表示玻璃的固化温度范围,当温度低于 t_g ,玻璃的粘度大于 $10^{12}\text{Pa}\cdot\text{s}$,玻璃呈现脆性;当温度高于 t_f ,粘度小于 $10^8\text{Pa}\cdot\text{s}$,玻璃出现液态的典型性质。由曲线2和3可以看到,当温度低于 t_g 和高于 t_f 时,成直线关系;在 t_g 和 t_f 的温度范围内,成曲线关系,说明系统的性质在加速变化,但是并非突变,而是连续渐变的。

三 玻璃的结构^[3]

对玻璃结构的研究早在十九世纪已开始,但到目前为止,还没有一个统一的、最后被完全肯定的玻璃结构理论。下面介绍两种主要的玻璃结构学说。

(一) 晶子学说

晶子学说主要认为玻璃中包括有规则与无规则两个部分。有规则部分就是晶子,晶子不同于具有正常晶格的微小晶体,而是晶格极度变形的较有规则的排列区域。晶子的化学性质是由化学组成所决定,可以是一定组成的化合物,也可能是固熔体。晶子相互间由中间过渡层所隔离,因而离晶子中心愈远,不规则程度愈显著。也就是玻璃具有近程有序。

晶子学说的实验基础是:硅酸盐玻璃在 500°C 以下,玻璃折射率的变化仅仅与温度有关,在 $520\text{--}590^\circ\text{C}$ 间观察到折射率突然变小。测定不同的玻璃时,发现此现象具有普遍性。把这现象与石英的 $\alpha\text{-SiO}_2$ 与 $\beta\text{-SiO}_2$ 的晶变相联系起来,则 $520\text{--}590^\circ\text{C}$ 的温度范围正好也是 $\alpha\text{-SiO}_2$ 与 $\beta\text{-SiO}_2$ 的晶变温度,从而,认为玻璃中有晶子存在。

(二) 不规则网状学说

根据玻璃与晶体在机械性质上的相似性,因而认为玻璃中原子或离子中的结合力也和晶体内相似,于是推论玻璃的结构应具有各方向发展的三维网络形式,但这种网络不是有序的,而是完全无规则的。不规则网状说的实验依据是:玻璃的x射线结构分析与同组分晶体相比较,所得结果比较相似。实际上,连续网状结构说着重说明了玻璃中的硅氧四面体相互间的排列具有连续性,而多面体与金属离子间的排列是统计的、无序的,因而使玻璃的宏观性质具有各向同性。而当组成改变时,玻璃的性质也连续地改变。利用连续网状说也可以解释为什么玻璃没有一定的熔点?为什么玻璃不能用一个简单的分子式来表示等等。

从上面两种玻璃结构说的阐述,可以看到晶子学说比较强调玻璃的微不均匀性和近程有序性;而连续网状结构学说则着重说明了玻璃结构网络的连续性、无序性和均匀性。反映了玻璃结构问题矛盾的两个方面。大量实验结果表明,玻璃结构是近程有序的,玻璃中存在着一定数量和大小的较规则排列的区域,因而具有微不均匀性。但从整体上来说,宏观上则是均匀的,如反映在性质上是各向同性。作为玻璃形成体的阳离子,如 Si^{+4} 、 B^{+3} 、等与氧离子在玻璃中具有一定的配位关系形成了多面体,多面体的互相连接而构成连续的网架。作为玻璃网络外体的阳离子如 Na^+ 、 K^+ 等与氧离子也有一定的配位关系,并不是任意地、统计地分布在网络空隙的。由此可见,从整体上说,玻璃结构内存在多面体构成的连续的骨架。玻璃内的有规律性是由一定数目的多面体遵循类似晶体结构的规律排列,因而在这样的区域内是有序的。但是,各有序区域之间又不象晶体结构那样具有严格的周期性,所以是不规则的与不连续的,而且由一个有序区域向另一个有序区域过渡时,化学成分也可能不同,因而又是微观不均匀的。

单元系统玻璃的结构,如二氧化硅、氧化硼、氧化磷等是光学玻璃中常见的玻璃形成

体。石英玻璃由硅氧四面体 $[\text{SiO}_4]$ 组成,四面体 $[\text{SiO}_4]$ 通过顶角互相连接构成三维空间的骨架,此骨架的强度,决定了石英玻璃具有较高的软化温度、机械强度和较低的热膨胀系数等性质。玻璃态二氧化硅的结构如图1-2所示。玻璃态氧化硼的结构是: B^{+3} 周围有三个 O^{-2} 形成硼氧三角体 $[\text{BO}_3]$, $[\text{BO}_3]$ 通过顶点相连构成向二维发展的层状结构,层状结构决定了玻璃态氧化硼具有较低的软化温度及化学稳定性和较高的膨胀系数,如图1-3所示。玻璃态氧化磷的结构: P^{+5} 周围有四个 O^{-2} ,形成磷氧四面体 $[\text{PO}_4]$,每个磷氧四面体中的四个键有一个是双键,使 $[\text{PO}_4]$ 产生变形, $[\text{PO}_4]$ 之间以顶角相连,但在双键的一端,四面体之间的连接断裂,所以玻璃态五氧化二磷是二维空间的层状结构。如图1-4所示。

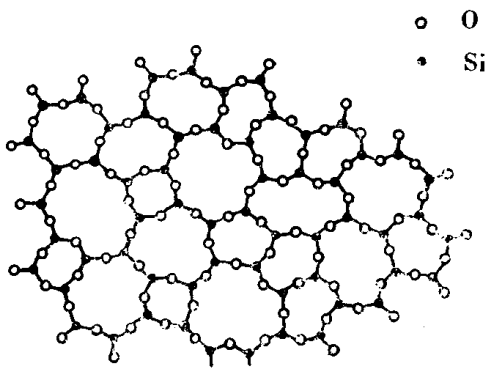


图1-2 玻璃态 SiO_2 结构模型

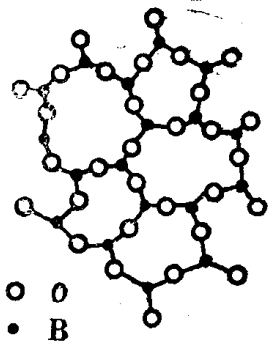


图1-3 玻璃态 B_2O_3 结构模型

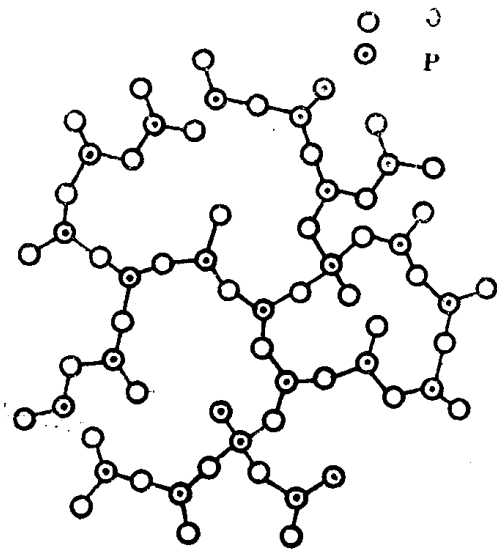


图1-4 玻璃态 P_2O_5 结构模型

§ 1-2 无色光学玻璃^{[2] [3] [4] [7] [8] [10]}

无色光学玻璃有一系列的性能要求,包括光学性能、化学稳定性、机械性能和热性能等。其中光学性能和化学稳定性比较重要。

一 光学玻璃的光学性能

(一) 无色光学玻璃的分类和化学成分

无色光学玻璃的牌号和类别是由光学常数决定的,而光学常数又取决于光学玻璃的化学成分,所以,三者之间的关系十分密切。

光学玻璃分为冕牌和火石两大类,各以K和F表示。火石玻璃比冕牌玻璃具有较大的折

射率 n_d 和较小的色散系数 v_d 值。居于两者之间的为冕火石(KF)。每类玻璃中根据比重大小分为重冕(ZK)、轻冕(QK)、重火石(ZF)、轻火石(QF)。根据含有氟、磷、钡、镧、钛等的化合物而分为氟冕(FK)、磷冕(PK)、钡冕(BaK)、镧冕(LaK)、特冕(TK)、钡火石(BaF)、镧火石(LaF)、重钡火石(ZBaF)、重镧火石(ZLaF)、钛火石(TiF)和特种火石(TF)共18类。

每类玻璃根据光学常数的不同又分为若干牌号，按我国无色光学玻璃国家标准规定，普通光学玻璃共有135个牌号。每一种牌号在 n_d-v_d 图上各占有各自的位置。如图1-5所示。

表1-1所示是几种光学玻璃的化学成分表。国标规定的135种无色光学玻璃主要是硅酸盐玻璃，或者是硼硅酸盐玻璃。表中所列 SiO_2 、 B_2O_3 、 Al_2O_3 是作为玻璃的形成体引入的。 As_2O_3 和 Sb_2O_3 是作为玻璃的澄清剂引入的。碱土金属氧化物，如 PbO 、 BaO 、 ZnO 、 MgO 、 CaO 等主要用以调整光学玻璃的光学常数以及其他的机械性能和热性能。碱金属氧化物如 Na_2O 、 K_2O 等主要用以降低玻璃熔炼时的粘度，从而降低熔炼温度，能不用的情况下尽量不用或少用。

光学玻璃的光学常数 n_d 和 n_F-n_C 与化学成分之间存在加和关系，如式(1-1)和(1-2)所示。

$$n_d = \frac{\sum \frac{P_i}{S_i} n_{di}}{\sum \frac{P_i}{S_i}} \quad (1-1)$$

$$n_F - n_C = \frac{\sum \frac{P_i}{S_i} (n_F - n_C)_i}{\sum \frac{P_i}{S_i}} \quad (1-2)$$

式中 n_d ——玻璃的折射率；
 $n_F - n_C$ ——玻璃的中部色散；
 n_{di} ——各种氧化物存在于玻璃中的折射率；
 $(n_F - n_C)_i$ ——各种氧化物存在于玻璃中的中部色散；
 P_i ——玻璃中各氧化物的百分含量；
 S_i ——玻璃中各氧化物的修正系数。

各氧化物的光学常数和修正系数如表1-2所示。

表1-1 几种牌号光学玻璃的化学成分 (%) [5]

玻璃牌号	K9	BaK2	ZK7	LaK3	PK2	F2	BaF2	ZBaF2	ZF2	TF3
Si ₂ O	69.13	59.36	32.90	3.58		47.24	52.26	29.77	39.10	
B ₂ O ₃	10.75	3.06	17.40	29.51	2.91			4.92		52.00
Al ₂ O ₃			2.00	1.00	8.37			2.18		9.66
P ₂ O ₅					67.68					
ThO ₂				15.15						
ZrO ₂				3.90						
La ₂ O ₃				34.48						
As ₂ O ₃	0.36	0.50	0.50		0.50	0.50	0.40	0.20	0.25	0.30
Sb ₂ O ₃			0.20					0.51	0.30	
PbO						45.87	12.67	2.46	55.41	37.74
BaO	3.07	19.32	45.30		20.54		14.47	46.76		
ZnO		4.94		5.00			9.56	10.64		
CaO			1.20					2.57		
CdO				7.08						
Na ₂ O	10.40	2.95	0.50				1.36			
K ₂ O	6.29	9.86				6.39	9.28		4.94	0.30
KBr				0.30						

表1-2 各种氧化物光学常数及修正系数 [11]

族	氧化物	S _i	(n _a) _i	(n _F -n _C) _i	v _i
I	Li ₂ O	30	1.65	0.0127	51.2
	Na ₂ O	62	1.59	0.0143	41.3
	K ₂ O	94	1.58	0.0125	46.4
	Rb ₂ O	187	1.67	0.0134	50.0
	Cs ₂ O	282	1.77	0.0174	44.3
II	BeO	110	1.72	0.0092	78.3
	MgO	140	1.63	0.0130	48.4
	CaO	84	1.83	0.0177	46.9
	ZnO	223	1.96	0.0285	33.7
	SrO	164	1.87	0.0180	48.3
	CdO	188	2.07	0.030	35.7
	BaO	213	2.025	0.0228	45.0