



职业技术教育“十二五”课程改革规划教材
光电技术（信息）类

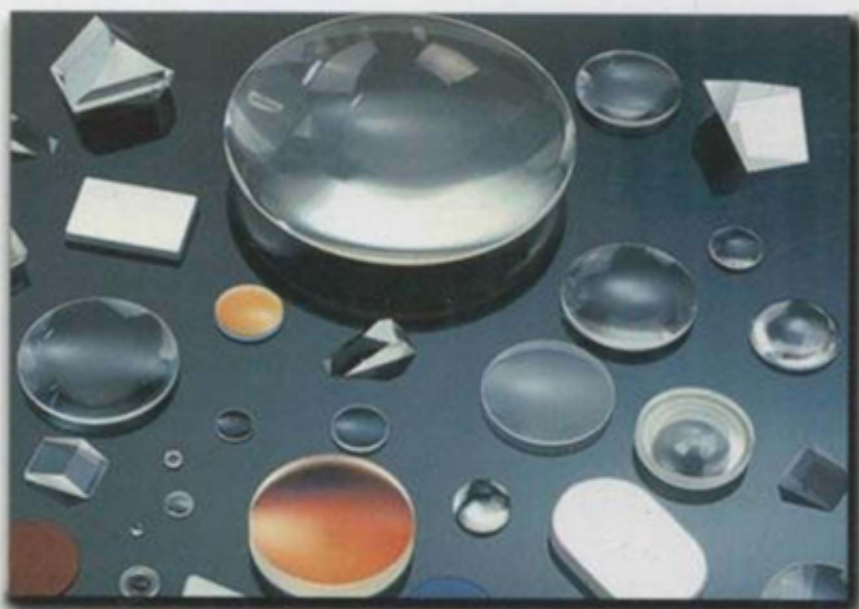
光

学零件加工与检测岗位任务解析

GUANG XUE LINGJIAN JIAGONG YU

JIANCE GANGWEI RENWU JIEXI

主 编 王丽荣
副主编 陈书剑
赵 鑫
施亚齐



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



职业技术教育“十二五”课程改革规划教材
光电技术（信息）类

光

学零件加工与检测岗位任务解析

GUANGXUE LINGJIAN JIAGONG YU

JIANCE GANGWEI RENWU JIEXI

主 编 王丽荣

副主编 陈书剑 赵 鑫 施亚齐



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

光学零件加工与检测岗位任务解析/王丽荣主编. —武汉:华中科技大学出版社, 2013. 12
ISBN 978-7-5609-9524-3

I. ①光… II. ①王… III. ①光学零件-加工-职业教育-教材 ②光学零件-检测-职业教育-教材 IV. ①TH740.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 287000 号

光学零件加工与检测岗位任务解析

王丽荣 主编

策划编辑:王红梅

责任编辑:余涛

封面设计:秦茹

责任校对:朱霞

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录排:武汉楷轩图文

印刷:武汉科源印刷设计有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:17.75

字数:431千字

版次:2014年1月第1版第1次印刷

定价:36.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

光学是一门古老而又充满活力的学科。随着科学技术的不断发展,光学逐渐与机械、电子、计算机等多门学科相融合,涉及通信、显示、加工、激光、材料等行业,光电产品覆盖科技、经济、国防、生活等国民经济各个领域,光学零部件的运用越来越广泛,而作为其基础的光学冷加工行业也迎来了空前发展。近年来在国际光电产业结构调整、转移的趋势下,世界范围内的光学冷加工产能均大规模地向中国转移,国内的传统光学加工企业抓住机遇,向现代光学加工企业转型,使得中国成为全世界规模最大的光学冷加工产能承接地和聚集地。在区域分布上,光学冷加工产能大多聚集于珠三角和长三角地区,华南地区已成为世界性的数码相机生产基地,同时也是全世界光学冷加工产能规模最大、行业集中度最高的地区。

随着光学技术应用范围不断拓宽,光学行业的许多领域出现人才供不应求的现象。多年来,我国光学行业普遍较为重视产品设计和研究的技术人员,忽略了从事工艺设计和制造的技术人员,造成从事工艺科研的人员减少,影响了加工水平的提高。在我国,开设有光学专业的大专院校不少,但缺乏专门致力于培养具有扎实基础的光学冷加工技术人才的专业。本科类院校中仅西安工业大学、长春理工大学有专门的光学零件加工专业;高职类院校有依托武汉光谷的武汉软件工程职业学院和武汉职业技术学院,依托重庆华光、明光的重庆电子工程职业学院,依托中光学集团的河南工业职业技术学院;在广东仅有中山火炬职业技术学院依托中山市火炬开发区光电基地开设了相关专业。光学人才的短缺是光学行业普遍存在的现状,因此在光学企业中存在十分严重的互相挖角现象。具有多年光学企业工作经验的技术人员及基层生产管理人员是各企业争相抢夺的对象。

目前,各光学企业绝大多数的基层管理人员是从普通员工中提拔上来的。虽然这些人有两年以上(部分甚至超过十年)的光学加工经验,但由于自身学历水平的限制,素质相对较差,欠缺管理理论基础,处于“知其然不知其所以然”的程度。因此在个人提升的空间与时间上受到了很大的限制,企业为此也付出了更多的培训成本。

针对光学加工行业的现状,以及光学加工所对应的工作岗位进行任务解析,本书列出了各个工作岗位常见的工作任务,并对各个工作任务给出较为具体的工作指导意见,对可能遇到的问题给出了参考的解决方案。

本书的第一、二、四、九部分由王丽荣编写,第三、五部分由陈书剑编写,第六、七部分由赵鑫编写,第八部分由施亚齐编写。全书由王丽荣统稿。

本书可作为光学专业学生学习和实习的参考资料,也可作为光学行业技术人员在实际工作中的工作指南。

编 者
2013 年 8 月

目 录

第一部分 光学加工与检测相关岗位通用工作任务	(1)
任务一 掌握光学材料知识	(2)
任务二 掌握光学加工常用辅料知识	(25)
任务三 读懂光学零件图及工艺卡	(38)
任务四 掌握光学零件工艺一般知识及安全操作知识	(57)
第二部分 透镜加工岗位	(61)
任务一 透镜毛坯的设计与生产	(62)
任务二 透镜铣磨	(65)
任务三 透镜精磨	(76)
任务四 透镜抛光	(83)
任务五 透镜的定心磨边	(91)
任务六 零件的清洗	(98)
任务七 透镜工艺规程的编制	(102)
第三部分 棱镜和平板加工岗位	(109)
任务一 平面铣磨	(111)
任务二 棱镜的倒角	(116)
任务三 上盘、下盘方法及夹具	(118)
任务四 平面精磨	(127)
任务五 平面抛光	(129)
任务六 棱镜工艺规程的编制	(131)
第四部分 平板加工岗位	(135)
任务一 平板的单面加工	(136)
任务二 掌握双面加工的基本原理	(138)
任务三 掌握影响双面加工质量的主要工艺因素	(141)
第五部分 刻划岗位	(145)
任务一 认识光学光刻工艺	(146)

任务二 认识光学曝光技术	(152)
任务三 掩模板制造	(154)
任务四 光刻常见质量故障分析与解决	(155)
第六部分 光学零件的胶合岗位	(159)
任务一 透镜胶合定中心的原理及方法	(161)
任务二 胶合工艺流程	(163)
任务三 拆胶	(166)
任务四 胶合质量分析	(168)
第七部分 波片的加工岗位	(171)
任务一 掌握晶体零件制造特点	(172)
任务二 进行晶体的定向	(173)
任务三 掌握加工波片的工艺流程	(175)
第八部分 非球面光学零件加工岗位	(177)
任务一 认识非球面	(178)
任务二 掌握常见非球面的光学性质	(182)
任务三 数控研磨抛光法制造非球面	(187)
任务四 光学玻璃模压成型法制造非球面	(194)
任务五 光学塑料注射成型法制造非球面	(203)
任务六 非球面零件的检测	(218)
第九部分 光学零件检验岗位	(225)
任务一 外观检验	(226)
任务二 面形(光圈)识别与度量	(230)
任务三 使用干涉仪进行面形(光圈)检验	(236)
任务四 平板玻璃平行度检验	(239)
任务五 棱镜角度检验	(242)
任务六 透镜角度检验	(251)
任务七 透镜外径检验	(255)
任务八 透镜中心厚度检验	(258)
任务九 透镜焦距检验	(260)
任务十 透镜曲率半径检验	(263)
任务十一 棱镜尺寸检验	(267)
任务十二 像质检验	(269)
参考文献	(277)



第一部分

光学加工与检测相关岗位 通用工作任务

◆知识要求：

- (1)掌握光学玻璃牌号表示方法及各项性能指标；
- (2)熟悉各类光学常用辅料；
- (3)掌握光学制图的各项要求,对新旧制图标准有正确的认识；
- (4)掌握光学零件加工工艺的一般知识和安全操作知识。

◆技能要求：

- (1)正确使用光学材料手册,掌握根据工作要求选择和测试光学材料特性的技能；
- (2)正确理解与绘制光学零件图和工艺卡。

任务一 掌握光学材料知识

1 光学材料的基础知识

1.1 光学材料分类

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,了解光学材料的种类、性质及其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)、光学晶体、光学塑料等。其中,用于可见光范围内的无色光学玻璃,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。

无色光学玻璃又可分为普通光学玻璃、耐辐射光学玻璃和激光玻璃。普通光学玻璃是制造一般用途的光学透镜、棱镜、分划板、度盘、光栅、刻尺的主要光学材料;耐辐射光学玻璃具有抗辐射稳定性,用在具有 γ 射线、X射线的场合;激光玻璃可以用在不同激光器的谐振腔中,作为产生激光的工作物质。而有色光学玻璃主要用来制造不同的光学滤光片。

1.2 玻璃的组成及其物理特性

1.2.1 玻璃的组成

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

严格来讲,玻璃并不是固体。玻璃熔融体在冷却过程中,虽不像固体那样有确定的固化温度,但随着黏度的增加,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。人们常常称玻璃为凝固的过冷液体也就是这个道理。而光学玻璃就是一种特殊的玻璃,光学玻璃与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,现代的光学玻璃不再像窗玻璃那样,仅仅由砂子、纯碱和石灰石组成,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,这些光学玻璃都是由各种氧化物的多组分(通常每种牌号玻璃有4~10种组分)按不同配比而获得的。另外,也可利用个别组分的特高含量来得到不同光学常数的玻璃。

长期以来,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($1700\text{ }^\circ\text{C}$ 以上),除非熔炼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他物质,以改善玻璃的性能和满足光学系统成像的需要。例如,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),可增大玻璃的折射率,但化学稳定性变差;加入氧化钠(Na_2O),虽然玻璃的化学稳定性和机械强度变差,但可以降低熔炼温度。此外,根据需要还可以加入其他物质。

综上所述,玻璃是由多种氧化物组成的。荷兰学者查哈里阿生(Zachariasen)将玻璃中的各种氧化物分为两类:一类是能生成玻璃的,如 B_2O_3 、 As_2O_3 、 SiO_2 、 Ta_2O_5 等,它们均属 A_2O_3 、 AO_2 、 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 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,玻璃的结构和性质也就不同。因此,可以根据光学玻璃中各类氧化物的含量百分比来初步判断其各种性能。例如,构成玻璃网络体的氧化物含量高,化学稳定性好;相反,构成网络外体的氧化物含量高,化学稳定性差。

各类氧化物对玻璃性质的影响如表 1-1 所示。

表 1-1 各类氧化物对玻璃性质的影响

名 称	减 小	增 大
二氧化硅	相对密度、膨胀系数	化学稳定性、耐温性、机械强度、黏度
氧化铝	析晶能力(当加入的质量为 2%~5%时)	机械强度、化学稳定性、黏度
氧化硼	析晶能力、黏度、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、黏度(当加入的质量达 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、色散系数	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

1.2.2 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,在各方向测得的数值是相等的。这说明玻璃虽然属于无定形态,其内部质点排列是无序的,但其具有统计学上的均匀结构。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,因此玻

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,有转为晶体的内在条件(即由高能状态向低能状态转化),然而玻璃即使经过长期放置也无明显的结晶析出,这是由于玻璃的黏度非常大,从而阻滞了这种转化。

(3)无固定熔点。

玻璃态物质由固态转变为液态是在一定温度范围内进行的,它不像晶体有确定的熔点。

(4)变化的可逆性。

玻璃态物质随着温度的变化会经历固态、过冷液体、液态三个状态,其物理、化学性质的变化是可逆的。这是对玻璃进行热加工,使之精确成型的理论依据。

(5)可变性。

玻璃的性质会随着玻璃成分的变化,在一定范围内发生连续和渐进的变化。

1.3 光学玻璃的特性

光学玻璃可以控制光的传播方向,并改变光波段的相对光谱能量分布,能做到这一点,主要依靠光学玻璃化学成分与光学常数的准确与一致。

1)严格的化学成分

光学玻璃的主要组成是各种氧化物,按氧化物在玻璃结构中的作用,又分为形成体氧化物、中间体氧化物、网络外体氧化物,还有使玻璃获得某些必要性质的加速熔炼过程的原料,如澄清剂、着色剂、脱色剂、助熔剂等。表 1-2 列出几种光学玻璃的化学成分,表中所列 SiO_2 、 B_2O_3 、 P_2O_5 是作为玻璃的形成体引入的; Al_2O_3 属于中间体氧化物; Na_2O 、 K_2O 等是网络外体氧化物,主要降低玻璃熔炼时的黏度,从而降低熔炼温度。表中的碱土金属氧化物,如 PbO 、 BaO 、 ZnO 、 CaO 等主要用于调整玻璃的光学常数及其他性能; As_2O_3 和 Sb_2O_3 是引入的澄清剂,用于改善光学玻璃的透光性质。

表 1-2 几种牌号光学玻璃的化学成分

单位: %

玻璃牌号	K9	BaK2	ZK7	LaK3	PK2	F2	BaF2	ZBaF3	ZF2	TF3
SiO_2	69.13	59.36	32.90	3.58		47.24	52.26	29.77	39.10	
B_2O_3	10.75	3.06	17.40	29.51	2.91			4.92		52.00
Al_2O_3			2.00	1.00	8.37			2.18		9.66
P_2O_5					67.68					
ThO_2				15.15						
ZrO_2				3.90						
La_2O_3				34.48						
As_2O_3	0.36	0.50	0.50		0.50	0.50	0.40	0.20	0.25	0.30
Sb_2O_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		

续表

玻璃牌号	K9	BaK2	ZK7	LaK3	PK2	F2	BaF2	ZBaF3	ZF2	TF3
ZnO		4.94		5.00			9.56	10.64		
CaO			1.20					2.57		
CdO				7.03						
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						

从表中占质量百分比的化学成分来看,光学玻璃的化学组成是十分严格的,精确到万分之一的不同化学组成才能保证这种牌号光学玻璃的各种基本性能。

2) 准确的光学常数

光学玻璃的光学常数主要是指折射率和色散系数。由于折射率决定光束进入光学玻璃之后的传播方向,且折射率随波长的变化而变化,所以折射率随波长的变化率决定了光的色散程度,因此,只有光学玻璃的光学常数十分准确,才能保证光学设计者根据其光学常数的名义值设计的成像要求和成像质量。

为了定量地表示玻璃的光学性质,首先要选定标准波长,国家标准《光学和光学仪器 参考波长》(GB/T 10050—2009)中规定了以下列波长为标准:

钠(Na)光谱中的D线——波长589.29 nm,黄色;

氦(He)光谱中的d线——波长587.56 nm,黄色;

氢(H)光谱中的F线——波长486.13 nm,浅蓝色;

氢(C)光谱中的C线——波长656.27 nm,红色。

上述波长下的折射率分别用 n_D 、 n_d 、 n_F 、 n_C 表示。比较不同牌号的光学玻璃折射率应以相同波长下的折射率来比较。黄色光折射率,国家标准以前用 n_D 表示,新标准改用 n_d 表示。

色散系数 ν_d 的定义如下:

$$\nu_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} \quad (1-1)$$

色散系数,通常又称为阿贝常数,而 $n_F - n_C$ 通常称为光学玻璃的中部色散。

对光学玻璃,折射率 n_d 的名义值需要精确到 10^{-5} ,实际值与名义值的允差差值最低也要控制在 20×10^{-4} 以内;而色散系数 ν_d 的名义值要精确到 10^{-2} ,实际值与名义值的允差最大也要小于1.5%;中部色散的名义值要精确到 10^{-6} 。这些说明了光学玻璃常数的准确性。

3) 定量要求光谱透过率

光学玻璃的光谱透过率应当与使用光学玻璃的光电仪器相适应,玻璃的反射、散射、吸收和透过性能对光电仪器的成像质量影响很大。

反射:由表面粗糙程度、光的入射角、玻璃折射率等因素决定。因为折射率是波长的函数,因此反射比也是根据波长的不同而有所不同的。

散射:当玻璃中含有折射率不同的微粒时,如小的气孔和杂质,就能使光经过时发生散射。散射不仅损失了入射光的能量,而且也改变了入射光的光谱成分,减少散射需要提高玻

璃的光学均匀性。

吸收:光线透过玻璃时,光强随着玻璃的厚度而衰减的现象,称为光吸收。光的吸收与光的反射、散射相同,也是随波长的不同而变化的。光通过光学玻璃后的光能量等于入射光能总量减去光的反射、散射和吸收损失。可见,由于光学玻璃的不同性质,透射光的光谱成分和入射光的光谱成分将发生不同的变化,而这个变化是可以控制的,可以通过选用不同性能、不同品质的光学玻璃,以及通过对光学玻璃的光学常数、着色、均匀性、内部疵病、光吸收的控制达到不同用途的需求。

4) 很小的内应力

玻璃的内应力是在玻璃冷却过程中,由于玻璃内、外层温度变化的速率不同,从而造成内、外层的结构不同而形成残留应力,所以内应力又称为热应力。

光学玻璃由于有极高的均匀性要求,必须通过对玻璃的粗退火和精密退火,将其内应力尽可能地消除到最小的程度。所谓退火,是将玻璃加热到低于玻璃转变温度附近的某一温度,进行保温均热,以消除玻璃各部分的温度梯度,使应力松弛释放,然后再按应力消除的允许程度恒速缓慢降温的工艺过程。

光学玻璃的精密退火要求在特制的、温度梯度很小的精密退火炉中进行,保温时间一般不低于 24 h,线性降温很慢,大块的光学玻璃开始降温的速度大约是每小时 1℃的水平,以便于内应力的良好消除。

5) 注重批次性

光学玻璃在生产中,随着原材料的批量、产地的变化、原材料化学组成允差的变化,以及熔炼工艺参数的微量差别,会造成不同批号的玻璃光学常数的微量变化,这个变化一般是同批量光学常数允许误差的 2~10 倍。所以在大批量的光学制造中,为了保证光学零件的互换性和产品性能的一致性,要求尽可能使用同一批次的某牌号光学玻璃生产同一光学零件,不能光注意玻璃的牌号而忽视玻璃的批号(如熔炼号、退火号)。光学玻璃的这种因玻璃的批号不同而造成的微观性能差别,在高精度的光学零件生产中是需要注意的。

这种微观性能差别,还因为光学玻璃生产的方法不同而不同。以前,光学玻璃传统的制造方法是黏土坩埚熔炼,每个黏土坩埚分别配料,单独熔炼,最后敲掉黏土坩埚取出光学玻璃,利用其中的一部分,利用率约为 40%,而且一维尺寸一般不大于 150 mm,重量一般不超过 3 kg,这时每一块光学玻璃实际上相当于一个批号。以后改黏土坩埚为铂金坩埚熔炼,通过浇注成型,就不需要破坏坩埚了,生产周期缩短,一次熔炼玻璃的量达到 10 L,原料的利用率也提高到 70%左右,这时一次浇注成型的玻璃实际上相当于一个批号。现在光学玻璃的熔炼普遍采用铂金池连续熔炼、连续压型、连续退火,原料的利用率提高到 90%,生产周期也缩短到 25 d,同一批号的光学玻璃的数量得到极大提高,这是适应现代化大批量生产的制造方式。表 1-3 所示的为光学玻璃制造方法的比较。

表 1-3 各种光学玻璃制造方法的比较

生产方式	黏土坩埚熔炼	铂金坩埚熔炼	铂金池熔炼
生产特点	不连续	不连续	连续
生产周期(含退火)	170 d	33 d	25 d

续表

生产方式	黏土坩埚熔炼	铂金坩埚熔炼	铂金池熔炼
成型方式	埚内成型	浇注成型	成型条料
原料利用率	40%	70%	90%

2 无色光学玻璃基本知识

2.1 无色光学玻璃的分类及命名

光学玻璃品种的发展,大概以 20 世纪 40 年代为界限分为两个阶段。20 世纪 40 年代以前发展的光学玻璃,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使用这些光学玻璃。这些光学玻璃的产量很大,约占整个光学玻璃产量的 80%。它们是以硅酸盐系统作为基础的,称它们为常用光学玻璃。20 世纪 40 年代以后发展起来的光学玻璃,即新品种光学玻璃,其生产量在逐步增加。这些新品种光学玻璃对于发展光学仪器有重要作用。它们是以硼酸盐和磷酸盐系统作为基础的玻璃,有的也引入锆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,非氧化物玻璃(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组成部分。

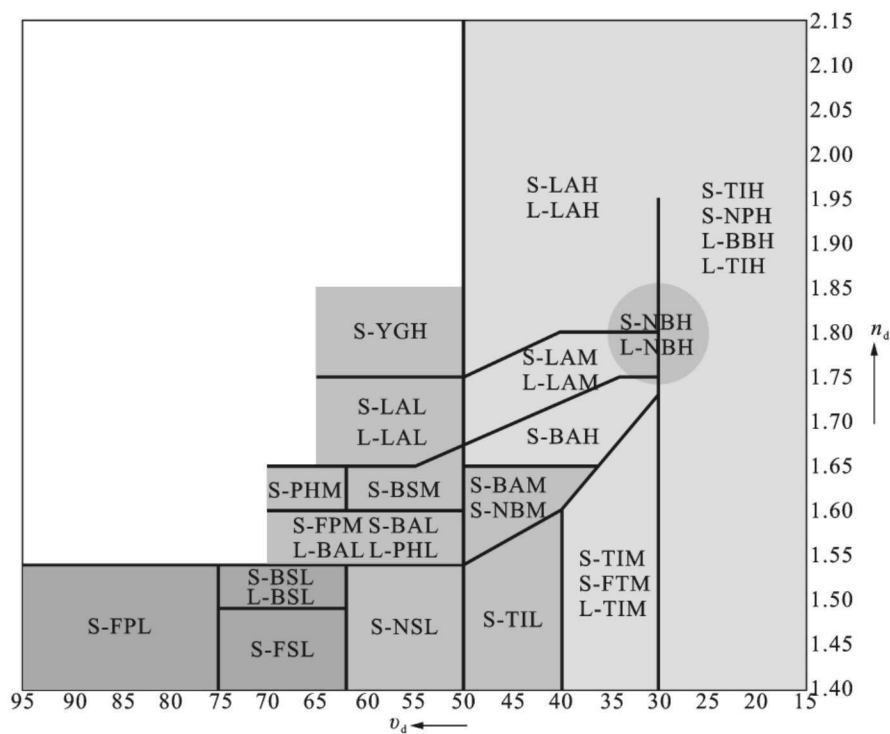
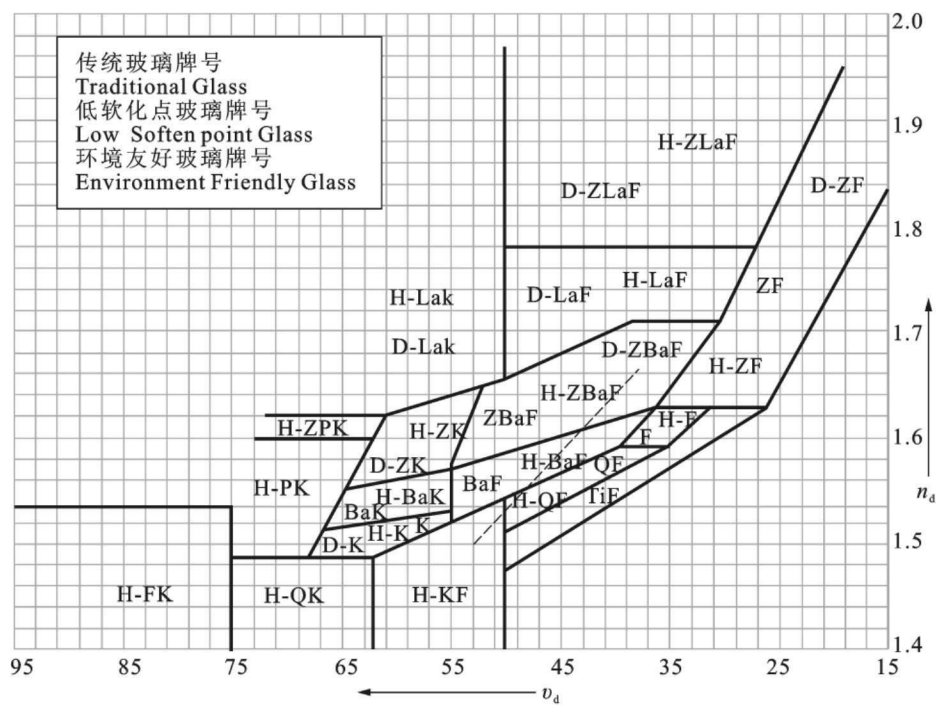
光学玻璃的发展与光学仪器的发展是相互联系的,光学系统的改进往往取决于新型光学玻璃。如为了消除光学系统的色差,就需采用不同阿贝数的玻璃,因此光学玻璃开始分为冕牌玻璃和火石玻璃两大类。后来,随着高级光学系统发展的需要,在每一大类光学玻璃内又发展出了若干小类。在进行光学设计时,选择光学玻璃的主要依据是折射率 n_d 和色散系数(阿贝数) ν_d ,故光学玻璃即以 n_d (或 n_D)和 ν_d (或 ν_D)为其特征性质,构成光学玻璃 $n_d-\nu_d$ 领域图,分别如图 1-1 和图 1-2 所示。

在 $n_d-\nu_d$ 领域图中,不同玻璃处于不同的位置。按折射率和色散系数的不同,玻璃 $n_d-\nu_d$ 领域图可分为若干个区域,每一区域内都有折射率及色散系数相差不大的若干玻璃。各区域内的玻璃统称为一类品种。品种是折射率及色散系数相近的玻璃的总称。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色散系数。

无色光学玻璃按化学组成和光学常数被分成两大类:一类叫冕牌玻璃,用字母“K”表示;一类叫火石玻璃,用字母“F”表示。冕牌玻璃与火石玻璃的性能差异大致如表 1-4 所示(折射率及色散系数的范围并不严格)。

表 1-4 冕牌玻璃与火石玻璃对比

冕牌玻璃(K)	火石玻璃(F)
折射率低(n_d 为 1.50 ~ 1.55)	折射率高(n_d 为 1.53 ~ 1.85)
色散系数大(ν_d 为 55 ~ 62)	色散系数小(ν_d 为 30 ~ 45)
性硬、质轻、透明度好	性较软、质较重、稍带黄绿色



在冕牌及火石两类玻璃中,按折射率的高低分成小类,折射率从低到高有“轻”、“重”之分,分别用汉语拼音的第一个字母“Q”及“Z”表示;同时,根据化学成分不同,又派生出其他各类,如钡冕(BaK)、钡火石(BaF)、镧冕(LaK)等。另外,光学玻璃中的某些品种,其特征性质不是折射率及色散系数,而是特殊的色散性能,这类玻璃在 n_d-v_d 领域图中不占有专门的区域,如 TK(特种冕牌玻璃)和 TF(特种火石玻璃)。

综上所述,光学玻璃的分类和命名可以归纳为:用 Q、Z、T 来表示折射率高低或特殊的性能;用 Ba、La、Ti、P、F 表示其化学组成;用 K 和 F 来表示冕牌或火石类。

国家标准将光学玻璃分成 18 种类型,其中冕牌玻璃 8 种,火石玻璃 9 种,另一种是介于两者之间的冕火石玻璃。德国的肖特公司(SCHOTT)和日本的保谷公司(HOYA)、小原公司(OHARA)是业界公认的著名光学玻璃生产厂家。我国的两大材料生产厂家成都光明和新华光都是引进了日本的先进工艺和技术。各国无色光学玻璃分类对照表如表 1-5 所示。

按照我国国家标准《无色光学玻璃》(GB/T 903—1987)的规定,无色光学玻璃分为两个系列:一是 P 系列的普通无色光学玻璃;二是 N 系列的耐辐射无色光学玻璃。耐辐射光学玻璃的牌号序号是 501~599,它与普通光学玻璃的区别是具有良好的耐辐射性能。

按照国家标准规定,无色光学玻璃的牌号由两部分组成,前面部分是类型代号,就是表 1-5 中字母代号,后面部分是牌号序号,牌号序号 1~99 的是 P 系列的普通光学玻璃,501~599 的是 N 系列的耐辐射玻璃。

表 1-5 各国无色光学玻璃类型代号对照表

类 别	中国	日本 HOYA	德国 SCHOTT	日本 OHARA
轻冕玻璃	QK	FC	FK	FSL
氟冕玻璃	FK	FCD	PK	FPL
冕玻璃	K	BSC	BK	BSL、NSL、ZSL
磷冕玻璃	PK			
钡冕玻璃	BaK	BAC、BACD	BAK	BAL
重冕玻璃	ZK	PCD、BACD、BACED	PSK、SK、SSK	BSM
镧冕玻璃	LaK	LAC、LACL	LAK	LAL
特冕玻璃	TK			
冕火石玻璃	KF	CF	NSL	
轻火石玻璃	QF	FEL	LLF、LF	TIL
火石玻璃	F	F	F	TIM
钡火石玻璃	BaF	BAFL	BAF、BASf	BAL、BAM
重钡火石玻璃	ZBaF	BAF、BAFD、BACED	BASF、BAF	BAH、BAM
重火石玻璃	ZF	FD	SF	TIM、TIH、PBH、PBM

续表

类 别	中国	日本 HOYA	德国 SCHOTT	日本 OHARA
镧火石玻璃	LaF	LAF、TAF	LAF	LAM、LAH
重镧火石玻璃	ZLaF	BFD	LAF、LASF	LAH
钛火石玻璃	TiF			
特种火石玻璃	TF			

2.2 无色光学玻璃的质量指标

无色光学玻璃的质量指标主要用于生产企业控制光学玻璃的质量,同时也为光学玻璃的使用者提供经济适用的选择依据。按国家标准《无色光学玻璃》(GB/T 903—1987)规定,无色光学玻璃质量指标有如下 8 种。

(1)折射率、色散系数与标准值的允许差值,用 Δn_d 、 $\Delta \nu_d$ 表示。

(2)同一批玻璃中,折射率和色散系数的一致性。

(3)光学均匀性:指同一块玻璃中各个部分折射率的渐变差异。

(4)应力双折射:玻璃由于在冷却过程中沿中心到外部的方向上的温度梯度而产生物理态不均匀的内应力,这种内应力的存在影响了光学零件的精度,玻璃中的应力使玻璃在光学上呈各向异性,当光沿一个方向的传播速度小于另一个方向的传播速度时,则产生光程差,称为双折射现象。

(5)光吸收系数:1 cm 厚的光学玻璃所吸收的白光光通量与进入该玻璃的白光光通量之比,称为光学玻璃的光吸收系数,用 E 表示。

(6)条纹度:条纹是玻璃内部丝状或层状的化学不均匀区,其折射率与主体不同,从而形成光的散射和异样折射,条纹度是表征光学玻璃透过率、透明度、减少光散射的性能之一。

(7)气泡度:玻璃中的气泡是玻璃在熔炼过程中气体来不及逸出所致,相当于细微的凹透镜,会引起光的散射和折射。

(8)耐辐射性能:这是专门针对 N 系列的耐辐射无色光学玻璃的质量指标,对 P 系列的普通无色光学玻璃不需要采用该质量指标。

2.3 无色光学玻璃的其他性能

一般的光学玻璃具有较好的化学稳定性。但是,玻璃在长期承受大气、酸、碱的侵蚀下,会因侵蚀介质的种类、特性的不同,而表现出不同的抗侵蚀能力。不同品牌的光学玻璃,其相应的抗侵蚀能力也大不相同。光学玻璃的这种抗侵蚀能力,常被称为玻璃的化学稳定性,主要包括以下几方面。

1)耐潮稳定性

耐潮稳定性指光学玻璃抗水汽、 CO_2 、 SO_2 等潮湿大气的侵蚀能力。玻璃中碱金属氧化物含量越多,耐潮稳定性越差,表面越易产生“白斑”、“雾浊”现象。实践表明,水汽比水溶液对玻璃具有更大的侵蚀性。

2)耐酸稳定性

除氢氟酸外,一般的酸并不直接与玻璃起反应,它是通过水的作用侵蚀玻璃。浓酸中水的含量低,所以浓酸对玻璃的侵蚀能力反而低于稀酸。当玻璃中碱金属氧化物含量较高时,玻璃的耐酸性差;反之,当玻璃中 SiO_2 含量较高时,玻璃耐酸性好。

无色光学玻璃的性能指标还包括力学性能、机械性能等,此处不再详述。现在重点介绍一个对加工方十分有用的指标,称为相对研磨硬度。玻璃相对研磨硬度是指在同等研磨条件下,被测玻璃相对于标准玻璃(K9)的研磨硬度。用标准玻璃样品的研磨量(被研磨的体积 V_0)与被测玻璃样品的研磨量(被研磨的体积 V)的比值 FA 表示。也有用“磨耗度”这个指标的,是相对研磨硬度的倒数乘以 100 后所得的数值。

相对研磨硬度为

$$FA = \frac{V_0}{V}$$

磨耗度为

$$F_A = \frac{V}{V_0} \times 100$$

由于各厂家熔炼玻璃的组分有差别,各个厂家的同一牌号玻璃可能会出现相对磨耗硬度不同的现象,因此在使用时要注意看清所用材料的生产厂家,再查相应厂家的材料手册,确定其相对研磨硬度的大小。

2.4 正确使用光学材料手册

目前,各大光学材料生产厂家基本上都会提供各自的材料手册给用户。材料手册上首先会对光学玻璃的各性能指标和质量指标做介绍,一般还会附上各个不同厂家的牌号对照表,以成都光明提供的材料手册为例,如表 1-6 所示。

表 1-6 不同厂家牌号对照示例

CDGM(成都光明)		HOYA(日本保谷)		OHARA(日本小原)		SCHOTT(德国肖特)	
CODE 代码	TYPE 牌号	CODE 代码	TYPE 牌号	CODE 代码	TYPE 牌号	CODE 代码	TYPE 牌号
517642	H-K9	517-642	BSC7	517642	S-BSL7	517642	N-BK7
569560	H-BaK7	569-560	BAC4	569563	S-BAL14	569560	N-BAK4
...	...	...	...	...	...	...	...

材料手册中通常用一个 6 位数作为玻璃的代码,该代码代表什么意思呢? 实际上该代码前三位数代表的是折射率,后三位数代表的是色散系数。以 K9 料为例,其代码为 517642,“517”表示其折射率 $n_d=1.517$ (只取三位小数),“642”则表示其色散系数 $\nu_d=64.2$ 。

材料手册上的重点是各个牌号玻璃的数据表,数据表一般包括如表 1-7 所示的内容。