

高等学校教材

光学零件工艺学习题集

查立豫 林鸿海 郭乐群 编著

兵器工业出版社

光学零件工艺学习题集

查立豫 林鸿海 郭乐群 编著

兵器工业出版社

光学零件工艺学习题集

*

查立豫 林鸿海 郭乐群 编著

兵器工业出版社 出版

(北京市海淀区车道沟10号)

新华书店总店北京科技发行所经销

北京市海淀区昊海印刷厂印装

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 11.625 字数: 280千字

1989 年 7 月第 1 版 1989 年 7 月第 1 次印装

印数: 1500 册 定价 2.35 元:

ISBN7-80038-075-0/TH·6(课)

内 容 简 介

本书包括光学材料、光学零件的基本工艺以及光学零件的特种工艺三大部分。本书是高等院校光学仪器类专业本科生必修课教材——《光学零件工艺学》的配套书。

本习题集分为例题和习题两大部分。习题部分，收集了 30 年来《光学零件工艺学》教学中所使用的各种题目，并加以总结、提高、加深和扩充，其中包括打有“*”号的、难度较大的思考题。例题部分是《光学零件工艺学》教材中具有典型意义的题目，并吸收了近 10 年来国内外在光学工艺方面的科研成果，注意加强工艺理论，突出实践环节，重视新技术、新设备、新材料的应用。对学生学习光学零件工艺课程有很好的启发性，对光学工艺的科研和生产有重要的参考价值。

本书可供光学工艺科研人员、高等学校有关专业的教师、光学工厂技术人员参考，也可作为业余大学、职工大学、夜大学用的教材。

×

×

×

本书由穆英教授主审，经原兵器工业部第一教材编审委员会聘请严沛然教授任责任编辑审定，同意作为教材出版。原兵器工业部教材编审室责任编辑：姚康年。

前 言

本习题集是根据 1984 年原兵器工业部高等学校光学仪器类教材会议拟订的《光学零件工艺学》的教学大纲编写的《光学零件工艺学习题集》。全书分为例题和习题两大部分。共有例题 200 个,习题 621 个。由浅入深,注意基本概念,既有证明题,也有数字运算题,既有工夹磨具设计及工艺规程的编制,也有机床设备的正确使用和维护保养,着重对学生基本知识、基本理论和基本技能的训练。经验表明,工艺设计是一个十分复杂的问题,学生把他们的理论知识用于实际问题时,常常会遇到许多困难,通过习题,把学到的理论知识与工程技能有机地结合起来,使学生能正确分析和解决具体问题。

本书由北京工业学院查立豫任主编并编写了第 1~7 章,华东工学院林鸿海编写第 8、11、15 章,并与西安工业学院郭乐群合编第 9、10、16 章。

本书承蒙哈尔滨工业大学穆英教授主审,原兵器工业部第一教材编委会审核,兵器工业部教材编审室审定,作者谨向他们表示深切谢意。

由于作者水平有限,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 1986.12,于北京。

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，所采用的符号与《光学零件工艺学》教材的符号一致，包括：

(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	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	所有磨具、 模 具
1	2	o	c	j	p	m

(三) 各种直径和中径

棒料直径	滚圆后直径	上盘时零件直径	定心磨边后直径	标准样板直径	工作样板直径	磨轮中径
D_s	D_t	D_e	D	D_B	D_G	D_M

(四) 各种厚度

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	
d_o	d_{c1}	d_{c2}	d_{j1}	d_{j2}	d_{p1}	d_{p2}

(五) 各种磨具、夹具、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_{jt}	D_{jt}	H_{jt}	r_{jt}
倒角模	$R_{\varphi m}$	$D_{\varphi m}$	$H_{\varphi m}$	$r_{\varphi m}$
镜 盘	R_j	D_j	H_j	r_j

目 录

第一篇 光学材料

第一章	光学玻璃·····	(1)
第二章	光学晶体·····	(17)
第三章	光学塑料·····	(22)

第二篇 光学零件的基本工艺

第四章	光学零件的技术条件·····	(24)
第五章	光学工艺材料·····	(29)
第六章	光学零件的毛坯成型与铣磨工艺·····	(34)
第七章	光学零件的精磨工艺·····	(58)
第八章	光学零件的抛光工艺·····	(92)
第九章	透镜的定心磨边工艺·····	(104)
第十章	光学零件的结合工艺·····	(118)
第十一章	光学零件基本加工工艺规程设计·····	(128)

第三篇 特殊光学零件工艺

第十二章	非球面光学零件工艺·····	(137)
第十三章	晶体光学零件工艺·····	(146)
第十四章	塑料光学零件工艺·····	(150)

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·····	(154)
第十六章	光学零件的刻度与照相工艺·····	(169)

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部分。光学玻璃是无机高分子凝聚态物质，是光学材料的主要组成部分，用途最为广泛；光学晶体是具有有规则排列结构的固体，是红外、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，电光、声光、变频等非线性晶体的重要材料；光学塑料是有机高分子化合物，价格低、成形方便、质轻、抗震，是很有发展前途的光学材料。

第一章 光学玻璃

光学玻璃是最主要的光学材料，其光学常数的范围广，能很好满足光学设计的要求，特别是引入稀有元素后，更为新型光学系统的设计创造了条件。另外，光学玻璃还应满足光学玻璃制造过程中的热加工工艺性能，以及使用过程中，除光学性能以外的各种机械、物理和物理化学性能的要求。

例 题

例 1-1 我国无色光学玻璃国家标准 GB903-87 中，对无色光学玻璃规定了哪几种系列？

解 我国无色光学玻璃分为两种系列：

1. 普通无色光学玻璃系列，以 P 表示，简称 P 系列，牌号序号由 1-99；
2. 耐辐射光学玻璃系列，以 N 表示，简称 N 系列，牌号序号由 501~599。

例 1-2 什么是光学玻璃类型？我国无色光学玻璃国家标准 GB903-87 中，规定了哪几种类型？它们的化学组成系统是什么？

解 光学玻璃类型是指化学组成、光学常数比较接近的若干玻璃牌号的总称。我国无色光学玻璃国家标准规定无色光学玻璃分为 18 个类型，它们的名称和化学组成系统如表 1-1 所示。

例 1-3 无色光学玻璃的新国家标准 GB903-87 比原标准 GB903-65 增加了几种光学玻璃类型、几种光学玻璃牌号？改变了哪些牌号？取消了哪些牌号？

解 无色光学玻璃的新国家标准 GB903-87 比原标准 GB903-65 增加五种光学玻璃类型，它们是氟冕玻璃 FK、特冕玻璃 TK、镧火石玻璃 LaF、重镧火石玻璃 ZLaF 和钛火石玻璃 TiF。

表 1-1 无色光学玻璃的类型及化学组成系统

序号	光学玻璃类型	化 学 组 成 系 统
1	FK	$RF-RF_2-RPO_3-R(PO_3)_2$
2	QK	$R_2O-B_2O_3-SiO_2$; $R_2O-B_2O_3-Al_2O_3-SiO_2-RF$
3	PK	$R_2O-RO-B_2O_3-Al_2O_3-P_2O_5$
4	K	$R_2O-RO-B_2O_3-SiO_2$
5	BaK	$R_2O-BaO(ZnO, CaO)-B_2O_3-SiO_2$
6	ZK	$BaO(ZnO, CaO)-B_2O_3-SiO_2$
7	LaK	$RO-La_2O_3-B_2O_3-SiO_2$
8	TK	$RF-RF_3-As_2O_3$
9	KF	$R_2O-PbO-B_2O_3-SiO_2$; $R_2O-PbO-B_2O_3-SiO_2-RF$
10	QF	$R_2O-PbO-SiO_2$; $R_2O-PbO-B_2O_3-SiO_2-TiO_2-RF$
11	F	$R_2O-PbO-SiO_2$
12	BaF	$R_2O-BaO-PbO-B_2O_3-SiO_2$
13	ZBaF	$BaO(ZnO)-PbO(TiO_2)-B_2O_3-SiO_2$
14	ZF	$PbO(TiO_2)-SiO_2$
15	LaF	$B_2O_3-La_2O_3-PbO(CdO)$
16	ZLaF	$B_2O_3-La_2O_3-Ta_2O_5$
17	TiF	$R_2O-PbO-B_2O_3-TiO_2-SiO_2-RF$
18	TF	$R_2O-Sb_2O_3-B_2O_3-SiO_2$; $PbO-Al_2O_3-B_2O_3$

注：表中R表示一价或二价或三价金属

GB903-65 共有 81 个牌号，取消了 TF2 牌号，增加了55个牌号，所以新标准 GB903-87 共有 135 个牌号。取消 TF2 的原因是它的特殊部分色散性能比同类玻璃差得太多。

将原国标 GB903-65 中的四个牌号更名，它们是 ZK12、ZBaF6、ZBaF7 和 QF4，重新分别命名为 LaK11、LaF1、LaF5 和 TiF2，这是因为前三个牌号含一定数量的 La_2O_3 ，后一个牌号含有一定数量的 TiO_2 ，考虑到新标准 GB903-87 已有 LaF 类和 TiF 类，故将其更名。

例 1-4 为什么原国标 GB903-65 中采用 D 线测得的折射率 n_D 作为光学玻璃的主折射率，而新标准 GB903-87 中用氦 d 线测得的折射率 n_d 作为主折射率？

解 这是由于 D 谱线 ($\lambda=589.2nm$) 不是单根谱线，而是波长为 $\lambda=589.0nm$ 和 $\lambda=589.6nm$ 的双线平均值，因此，用 D 谱线来精密测量玻璃的主折射率引起的误差比 d 谱线大，故现在世界各国都是采用 n_d 作为主折射率，这样，便于今后国际交往。

例 1-5 无色光学玻璃新国家标准 GB-908-87 与原标准 GB903-65 相比， n_d 、 n_F-n_C 和 ν_d 标准值有何区别？

解 GB903-65 中，光学玻璃的折射率与色散系数值的小数点位数，对 n_D 为 4 位，对 n_F-n_C 为 5 位，对 ν_D 为 1 位；新国家标准 GB903-87 中，光学玻璃的小数点位数，对 n_d 为 5 位，对 n_F-n_C 为 6 位，对 ν_d 为 2 位。这是为了与 n_d 作为光学玻璃主折射率的作法一致。

例 1-6 无色光学玻璃新国家标准 GB903-87 与原标准 GB903-65 相比较，折射率谱线有何变化？

解 GB903-65 采用 12 条谱线，各谱线折射率为 n_i 、 n_h 、 n_g 、 n_F 、 n_e 、 n_c 、 n_A' 、

$n_{863.0}, n_{950.8}, n_d, n_D, n_{G'}$ 。其中 n_d 和 $n_{G'}$ 是以 $(n_d - n_D)$ 、 $(n_{G'} - n_s)$ 形式列出；新标准 GB903-87 采用 14 条谱线，各谱线折射率为 $n_i, n_h, n_s, n_F, n_{F'}, n_e, n_d, n_D, n_{C'}, n_C, n_r, n_s, n_t$ 和 $n_{632.8}$ 。两者比较，新标准 GB903-87 取消了 $n_{G'}, n_{A'}, n_{863.0}, n_{950.8}$ 共四种折射率；增加了 $n_{F'}, n_{C'}, n_r, n_s, n_t$ 和 $n_{632.8}$ 共六种折射率。 $n_{G'}$ 和 $n_{A'}$ 的取消是因为它们是双谱线折射率平均值，误差大，过去只有苏联标准采用，现在“ГОСТ 13659-78 标准”中也已取消，故新标准 GB903-87 中也取消； $n_{863.0}$ 和 $n_{950.8}$ 也只有苏联标准采用，而且光源不易解决，故也取消。增加的 n_r, n_s, n_t 是分别代替 $n_{A'}, n_{863.0}$ 和 $n_{950.8}$ 使用，而 $n_{632.8}$ 是激光谱线折射率，供设计激光光学仪器使用。

例 1-7 试比较用中部色散 $n_F - n_C$ 的偏差值分类和用色散系统 ν_d 分类的优缺点。

解 无色光学玻璃的新国家标准 GB903-87 用色散系数 ν_d 分类，而不用 $n_F - n_C$ 分类，其优点是：

1. 用 ν_d 偏差分类有利于光学设计消色差的计算。光学玻璃的色散偏差会引起光学系统的色象差，从而使象质变坏，所以设计光学仪器时，都要进行消色差计算。例如，对于薄透镜系统，当物体在无穷远时，可用下式计算轴向色差

$$L'_{ch} = -f'^2 \sum_{u=1}^{u=m} \left(\frac{h_u}{h_1} \right)^2 \frac{\varphi'_u}{\nu_u} \quad (1-1)$$

式中 L'_{ch} ——轴向色差；

f' ——象方焦距；

h_u ——主光线投射高；

$$\varphi'_u = \frac{u'}{n'} - \frac{u}{n};$$

ν_u ——色散系数。

对于因玻璃色散偏差而造成的光学系统的色差变化，可以对式 (1-1) 微分求得

$$dL'_{ch} = -f'^2 \sum_{u=1}^{u=m} \left(\frac{h_u}{h_1} \right)^2 \frac{\varphi'_u}{\nu_u^2} d\nu_u \quad (1-2)$$

由式 (1-2) 可知，由色散系数的偏差可以直接求出对色差的影响。

如果用中部色散偏差作为色散性能分类指标，则式 (1-1) 应变为下式

$$L'_{ch} = -f'^2 \sum_{u=1}^{u=m} \left(\frac{h_u}{h_1} \right)^2 \frac{n_F - n_C}{n_d - 1} \varphi'_u \quad (1-3)$$

由 (1-3) 式可以看出， L'_{ch} 除与 f' 、 h_u/h_1 、 φ'_u 有关外，还与 $n_F - n_C$ 和 n_d 有关。每炉玻璃的 n_d 与标准值总有偏差 dn_d ，所以分析中部色散 $n_F - n_C$ 的偏差对色差 L'_{ch} 的影响时，其微分公式中必然包含 n_d 的偏差 dn_d 对 L'_{ch} 的影响，因而增加了微分公式的繁琐。所以，在实际进行光学设计时，往往略去 dn_d 对 L'_{ch} 的影响，以使设计简化，即把 n_d 当作常数看待。这样，对式 (1-3) 微分，就得 $d(n_F - n_C)$ 对 L'_{ch} 的影响

$$dL'_{ch} = -f'^2 \sum_{u=1}^{u=m} \left(\frac{h_u}{h_1} \right)^2 \frac{d(n_F - n_C)}{n_d - 1} \varphi'_u \quad (1-4)$$

由于式 (1-4) 略去了 dn_d 对 dL'_{ch} 的影响，只考虑 $d(n_F - n_C)$ 对 dL'_{ch} 的影响，

故所得的 dL'_{λ} 就有一定误差, 不如用式 (1-2) 计算的 dL'_{λ} 值精确。所以用 ν_d 的偏差作分类指标对色差计算有利。

2. 用 ν_d 偏差分类有利于国际交流, 因为世界各国, 均采用 ν_d 偏差对色散性能分类。

例 1-8 用 V 棱镜折射仪测量光学玻璃的折射率时, 试样 90° 角的偏差、折射液折射率的偏差如何影响光学玻璃折射率的测量?

解 令试样 90° 角的偏差为 α , 折射液的折射率与被测试样折射率 n 之差为 Δn , V 棱镜的折射率 n_0 。

当光线以入射角 i , 从折射率为 n_0 的玻璃进入折射率为 n 的玻璃时, 如果中间充以楔形角为 α 及折射率与 n 之差为 Δn 的折射液时, 界面产生的附加偏折角 $\Delta i'$ 如下式所示:

$$\Delta i' = \left[\frac{n}{n^2 - n_0^2 \sin^2 i} \right] \Delta n \cdot \alpha \quad (1-5)$$

由式 (1-5) 可知, 由折射液产生的附加偏折角 $\Delta i'$ 与 Δn 和 α 的乘积成正比。在 V 棱镜光学系统中, 附加偏折角传递到 V 棱镜最后一个折射面时, 将对偏折角 θ 和折射率带来 $\Delta \theta$ 和 $\Delta n'$ 的偏差, $\Delta \theta$ 和 $\Delta n'$ 与 Δn 和 α 成正比。

若 $\Delta n = 0.01$, $\alpha = 1'$, 根据计算结果, 对 $\Delta n'$ 的影响均不大于 4×10^{-6} , 能够满足测量精度的要求。

当 $\Delta n = 0.01$, $\alpha = 1'$ 时, $\Delta n \cdot \alpha = 0.01 \times 60'' = 0.6''$, 则 $\alpha = 0.6''/\Delta n$, 便是存在 Δn 时, 所允许的试样直角误差。考虑到试样加工困难, 将 α 角适当放宽, 取 $\alpha = 1''/\Delta n$, 或 $\alpha = 1''/(n_d - 1.77)$ 。这里取 $\Delta n = n_d - 1.77$, 在于使 n_d 接近 1.78 时, 公式仍有实际意义。

例 1-9 用 V 棱镜折射仪测量玻璃折射率时, 采用“一对试样法”有何优点?

解 一对试样法是利用 A、B 两块试样, 两块试样的直角都是粗略的, 但希望都大于 90° 。然后, 将两个 90° 粘结在一起, 再一起研磨, 使其成为一个平面, 再拆开。用同一折射液分别测量两块试样的折射率, 由于两块试样的直角误差数量基本相等, 而符号相反, 所以, 折射率测量误差 Δn 也基本上是数量相等而符号相反。

例 1-10 试述光学玻璃光学均匀性几种测量方法的比较。

解 光学玻璃光学均匀性几种测量方法的比较如表 1-2。

例 1-11 如何测量无色光学玻璃的折射率温度系数?

解 采用斐索干涉仪测量无色光学玻璃的折射率温度系数。当一束单色平行光垂直入射到两表面平行的样品时, 从两表面反射的光是相干涉的, 产生干涉条纹, 其关系为

$$2nl = \lambda N \quad (1-6)$$

式中 λ ——测定波长;

n ——该波长的常温折射率;

l ——被测样品的厚度;

N ——干涉条纹数。

当样品温度改变时, 由于样品折射率 n 和厚度 l 变化, 而使得光程变化, 则干涉条纹

表 1-2 测量光学玻璃光学均匀性方法的比较

序号	方法	原 理	精 度	主 要 优 缺 点
1	全息干涉法	全息干涉原理和普通干涉方程相结合	目测： $d(\angle n) \leq \pm 1 \times 10^{-6}$ 光电数据处理： $d(\angle n) \leq \pm 1 \times 10^{-7}$	1. 测量精度是六种方法中最高的； 2. 可于一次测量中同时测出 $\angle h$ 和 $\angle n$ ，其它五种方法均做不到； 3. 差分干涉降低了对光学元件的质量要求； 4. 测量结果不直观，对操作者有一定的要求。
2	合曼干涉法	光的干涉原理	理论精度 1×10^{-6}	1. 测量精度较高，使用较方便； 2. 对干涉仪的光学元件质量要求高，难以制作大口径的合曼干涉仪； 3. 采用组合图形法可提高测量精度。
3	MZ干涉法	光的干涉原理	薄片样品 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 大尺寸激光玻璃棒 $d(\angle n) \leq \pm 1 \times 10^{-6}$	1. 测量精度较高，适用大尺寸(柱状)样品检验，和星点法相结合，可测量大尺寸激光玻璃棒的静态光畸变； 2. 对干涉仪光学元件质量要求高。
4	星点法	波前畸变原理	定性检验	1. 设备简单，操作方便，结果直观； 2. 用于固体激光棒的检验，可给出静态平均发散角； 3. 精度低不能定量。
5	刀口阴影法	波前畸变原理	可发现 $\lambda/20 \sim \lambda/50$ 的波前畸变	1. 灵敏度较高的定性测量方法； 2. 设备简单，操作方便； 3. 不能用于高精度定量测量。
6	鉴别率法	光的衍射成像原理	精度最低	1. 测量精度低，主观误差较大； 2. 不易制作大口径平行光管； 3. 作为均匀性测量实用上有困难。

发生变化

$$\frac{dn}{dT} = \frac{\lambda}{2l} \frac{dN}{dT} - n \frac{dl}{dT} \quad (1-7)$$

式中

$\frac{dn}{dT}$ —— 折射率温度系数；

$\frac{dN}{dT}$ —— 温度升高 1°C ，干涉条纹的变化量；

$\frac{dl}{dT}$ —— 温度升高 1°C ，样品单位长度的变化量。即为膨胀系数。

所以，当测得 $\frac{dN}{dT}$ 和 $\frac{dl}{dT}$ 后，代入 (1-7) 式，即可算得 $\frac{dn}{dT}$ 。

样品为 $\phi 25 \times 5\text{mm}$ 的干涉平板，上下表面夹角小于 $10''$ 。表面疵病 $B = \text{I}$ ，平面度为

1/4 光圈。测量范围 -40°C — $+80^{\circ}\text{C}$ ，测量谱线为 632.8nm 、 e 线、 g 线、 D 线、 F 线。测量精度 $\Delta\left(\frac{dn}{dT}\right) < \pm 1 \times 10^{-6}$ 。

例 1-12 试述无色光学玻璃折射率的绝对温度系数与相对温度系数的关系。

解 绝对温度系数与相对温度系数的关系如式 (1-8) 所示

$$\left(\frac{dn}{dT}\right)_{\lambda, T}^{\text{rel}} = \frac{1}{n_{\lambda}} \left[\left(\frac{dn}{dT}\right)_{\lambda, T}^{\text{abs}} - n_{\lambda} \left(\frac{dn_a}{dT}\right)_{\lambda, T} \right] \quad (1-8)$$

式中 $\left(\frac{dn}{dT}\right)_{\lambda, T}^{\text{rel}}$ ——光学玻璃折射率的相对温度系数；

$\left(\frac{dn}{dT}\right)_{\lambda, T}^{\text{abs}}$ ——光学玻璃折射率的绝对温度系数；

$\left(\frac{dn_a}{dT}\right)_{\lambda, T}$ ——空气折射率的温度系数；

n_{λ} ——空气中玻璃的折射率；

n_a ——空气的折射率。

例 1-13 如何计算空气折射率的温度系数？

解 一般求 20°C — 120°C 范围内的空气折射率温度系数，先求出 20°C 和 120°C 时空气的折射率

$$n_{a, T} = 1 + \frac{0.000294}{1 + \alpha T} \quad (1-9)$$

式中 $n_{a, T}$ ——当 $T^{\circ}\text{C}$ 时空气的折射率；

α ——空气的线膨胀系数，一般 $\alpha = 0.00367$ ；

$$\therefore n_{a, 20^{\circ}\text{C}} = 1.000272;$$

$$n_{a, 120^{\circ}\text{C}} = 1.000203;$$

$$\text{则 } \left(\frac{\Delta n_a}{\Delta T}\right)_{20-120^{\circ}\text{C}} = \frac{1.000203 - 1.000272}{120 - 20} = -0.69 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}.$$

例 1-14 如何测量无色光学玻璃折射率压力系数？

解 无色光学玻璃折射率的压力系数是指暂时外应力作用下，光学玻璃折射率的变化。

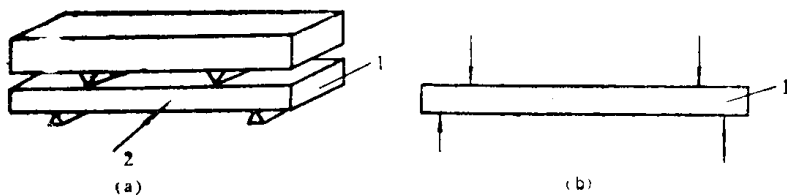


图1-1 试样受力情况

1—试样； 2—受检方向

样品置于干涉仪的透射光路中，受单轴负载，如图 1-1 所示。由于密度和几何尺寸的变化，引起总光程变化，从而导出折射率与压力的函数关系。

长条形样品在外力作用

下,产生一弯曲应变。沿轴方向,上表面受一压应力,下表面受一拉应力,中性轴线则不受任何力。轴向应变的同时,伴随有侧向应变,中性面以上受一拉应力,向侧向膨胀,中性面以下则受一压应力,向内收缩。这些应力的合力必须与作用于该截面上的弯矩 M 等效。试样横截面如图 1-2 所示。

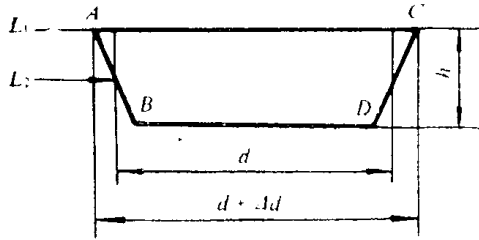


图 1-2 试样横截面示意图

由图 1-2 可知,试样通光方向的厚度为 d ,上表面厚度为 $d + \Delta d$,光在通过 d 和 $d + \Delta d$ 两个不同的路程时,产生一光程差,此光程差可用干涉仪来度量。

设 s_1 、 s_2 为两束光的光程

$$s_1 = (n + \Delta n)(d + \Delta d) \quad (1-10)$$

$$s_2 = nd + n_a \cdot \Delta d \quad (1-11)$$

式中 n ——光学玻璃常压下的折射率;

n_a ——空气的折射率。

由于光程差 $s_1 - s_2$,使干涉条纹产生位移,若干涉条纹位移了 N 条,则

$$N\lambda = 2(s_1 - s_2) = 2[\Delta n \cdot d + \Delta d(n - 1)] \quad (1-12)$$

$$\Delta n = \frac{N\lambda}{2d} - \frac{\Delta d}{d}(n - 1) \quad (1-13)$$

式中 λ ——测量光的波长。

光学玻璃作为弹性体,则应满足虎克定律:

$$\frac{\Delta d}{d} = P_x \cdot \frac{\mu}{E} \quad (1-14)$$

式中 μ ——光学玻璃试样的泊松比;

E ——光学玻璃试样的弹性模量;

P_x ——长条形玻璃样品上、下两表面的最大有效力;

Δd ——外力作用下,试样宽度变量。

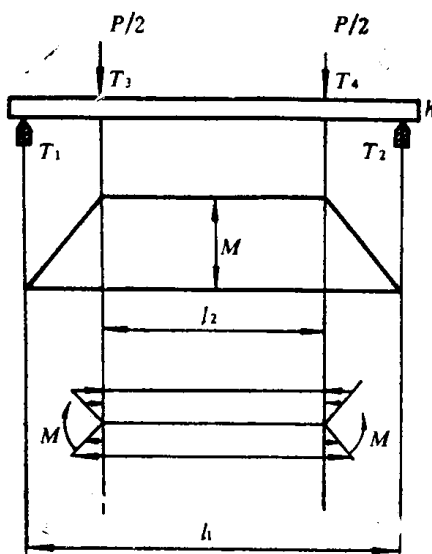


图1-3 合力矩图解

代入式(1-13),得

$$\Delta n = \frac{N\lambda}{2d} - \frac{\mu}{E}(n - 1) \cdot P_x \quad (1-15)$$

长条形样品放于两刀刃 T_1 和 T_2 上,两刀刃之间的距离为 120mm,通过在同一平面上的双刀刃 T_3 和 T_4 施压,发生弯曲应变。位于刀刃 T_1 、 T_3 和 T_2 、 T_4 之间的一段玻璃,就有一纯弯曲的弯曲力矩,如图 1-3 所示。

若水平法向应力为 P_x , M 为弯矩, y 为观测样品中性面到上、下两表面的距离, I 为中轴的惯性力矩,则有

$$P_x = \frac{My}{I} \quad (1-16)$$

若试样高为 h , $y=h/2$, 则最大弯矩为

$$M = \frac{P}{2} \cdot \frac{l_1 - l_2}{2} = \frac{P(l_1 - l_2)}{4} \quad (1-17)$$

式中 P ——施于试样上垂直方向的力。

长条形试样的惯性力矩为

$$I = \frac{dh^3}{12} \quad (1-18)$$

由此得出试样上、下表面的最大有效力为

$$P_x = \frac{3(l_1 - l_2)}{2dh^2} P \quad (1-19)$$

将式(1-19)代入式(1-15), 则得

$$\Delta n = \frac{N\lambda}{2d} - \frac{\mu}{E}(n-1) \cdot \frac{3(l_1 - l_2)}{2dh^2} P \quad (1-20)$$

例 1-15 用白光吸收率表示光学玻璃的光吸收性能时, 吸收率的测量精度定为多少? 哪些因素影响吸收率的测量精度? 哪个因素影响最大?

解 以白光吸收率表示光学玻璃的光吸收性能时, 吸收率的测量精度定为 $\Delta E < \pm 0.0005$, 根据下式

$$|dE| = \left| \frac{E}{l} dl \right| + \left| \frac{2(n-1)dn}{l(n+1)n} \right| + \left| \frac{dT}{lT} \right| \quad (1-21)$$

影响吸收率测量精度的有试样长度的误差 dl 、折射率误差 dn 、透过率误差 dT 。国标规定: $dl < 0.1\text{mm}$, $dn < 0.001$ 。若取 $T=0.82$ 、 $E=0.008$ 、 $n=1.65$ 、 $l=10\text{mm}$, $dT=0.0075$, 则式(1-21)中的各项为

$$\text{第一项 } \frac{E}{l} dl = \frac{0.008}{10} \times 0.1 = 8 \times 10^{-5}$$

$$\text{第二项 } \frac{2(n-1)dn}{l(n+1)n} = \frac{2 \times 0.65 \times 0.001}{1.65 \times 2.65 \times 10} = 2.9 \times 10^{-5}$$

$$\text{第三项 } \frac{dT}{lT} = \frac{0.0075}{10 \times 0.82} = 9 \times 10^{-4}$$

由此可见, 第三项的误差最大, 若 $dT=0.0075$, 则 $dE > 5 \times 10^{-4}$, 所以 dT 的影响是最大的, 而且 dT 必须小于 0.003, 否则会使 $dE > 0.0005$ 。要使 dT 小, 应选择稳压稳流的光源, 保证灯丝电流的波动小才行。

例 1-16 什么是无色光学玻璃的光谱内透过率? 用光谱内透过率表示光学玻璃的吸收性能有何优点?

解 一般所指的透过率是出射光强与入射光强的比, 包括两个表面的反射损失和试样的内部吸收。而内透过率则不包括两表面的反射损失, 仅仅是试样的内部吸收。

国标规定可采用自动记录式双光束分光光度计测量厚度为 10mm、波长从 280—700nm 的光学玻璃光谱内透过率。用下式计算

$$T_{i\lambda} = \frac{T_{2\lambda}}{T_{1\lambda}} = e^{-E_{\lambda}(l_2 - l_1)} \quad (1-22)$$

式中 $T_{i\lambda}$ ——被测样品的光谱内透过率；

$T_{2\lambda}$ ——厚度为 l_2 样品的光谱透过率；

$T_{1\lambda}$ ——厚度为 l_1 样品的光谱透过率；

E_{λ} ——被测样品的光谱光吸收系数。

采用同块毛坯相邻近处切出两块试样，两表面的加工质量完全相同，但厚度差为 10mm，将薄的一块放在参考光路中，厚的一块放在测量光路中测量而得。

若求吸收系数 E_{λ} ，可通过计算求得。

目前西德、法国、美国 and 英国都采用“光谱内透过率”，它适用于高精度自动对准、自动记录和数字显示的光学仪器，特别对吸收系数极低的光学材料更有意义。能全面地、准确地反映光学玻璃内部各波长的实际透光性能，对光学设计选用材料很有实用意义。

例 1-17 什么是光学玻璃的应力均匀性？如何测量？

解 应力均匀性包含两重含义，其一是玻璃本身残余应力的大小；其二是玻璃内各点主应力的方向分布。当考虑应力均匀性时，是把玻璃视为平行平板样品，主要考虑其二维平面内应力分布。

国家标准 GB903-87 规定应力均匀性系用玻璃中每点主应力分布对称性的等倾线及玻璃边缘 $0.05D$ (D 为样品直径) 处最大应力双折射来描述，因此要分别测定等倾线图形和边缘应力双折射值。

测量光学玻璃等倾线图形的装置如图 1-4 所示，白炽点光源 1 的光栏孔为 2mm，起偏振器 2 (P_1) 与检偏振器 5 (P_2) 的偏振度不小于 99.5%，标准球面反射镜 3 的加工要求为：口径不小于被测样品尺寸，相对孔径 $D/f \leq 0.2$ ，球面面形精度 $N = \Delta N = 0.25$ ，反射镜厚度 d 与直径 D 的比大于或等于 $1/8$ 。样品需抛光，光圈不多于 5 道，表面疵病以不影响等倾线的观察为准，样品要在恒温室放置 24h，使其达到热平衡。点燃光源，调好光路，将样品尽可能近地放在球面反射镜前，通光面垂直于光轴，然后再调整光路，使观察等倾线方便。这时观察玻璃在正交偏振光路中的等倾线图形，起偏器和检偏器同步转动，

观察 0° 、 22.5° 、 45° 下玻璃的等倾线图。按表 1-3 中所示等倾线图形分级。

将此样品再放到立式应力仪载物台上测量玻璃边缘 $0.05D$ 处最大双折射值。然后按表 1-3 中所规定的分类。

例 1-18 光学玻璃的新国家标准 GB903-87 中，如何对耐酸稳定性进行分类定级？

解 采用酸度为 $\text{pH}=2.9$ 的

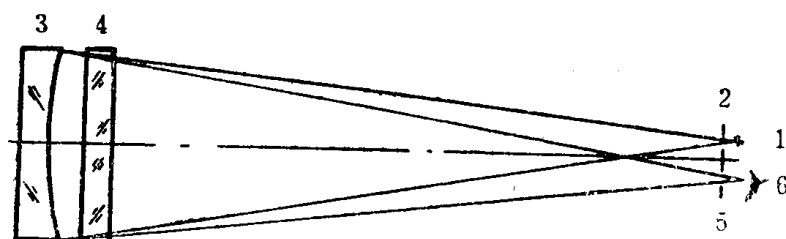


图1-4 测量光学玻璃等倾线图形的装置

1—白炽点光源；2—起偏振器 P_1 ；3—标准球面反射镜；
4—样品；5—检偏振器 P_2 ；6—观察器

表 1-3 应力均匀性分类分级

级别	玻璃形状	等 倾 线 图 形			类别	边缘0.05D处最大 应力双折射值nm/cm
		$\theta_p=0^\circ$	$\theta_p=22.5^\circ$	$\theta_p=45^\circ$ 具体规定		
A	圆形			θ_p 为任何角度时, 等倾线均成正交黑十字, 线条光滑、连续、对称, 方形毛坯的等倾线呈卐字形。	1	5
	方形				2	10
					3	15
B	圆形			$\theta_p=0$ 时, 等倾线呈正交黑十字, 其它角度时, 呈双曲线, 双曲线拉开的距离小于 $D/8$, 曲线光滑、连续、对称。	1	5
	方形				2	10
					3	15
C	圆形			$\theta_p=0$ 时, 等倾线呈近似黑十字, 其它角度时, 呈双曲线, 拉开距离小于 $D/4$, 曲线光滑、连续、对称。	1	5
	方形				2	10
					3	15

注 D 为毛坯口径。若边缘 0.05D 处最大应力双折射值小于 5nm/cm, 则可不计等倾线图形, 但边缘最大最小应力差应小于 2nm/cm。

醋酸、pH=4.6 的标准醋酸盐、pH=5.8 的蒸馏水作为测定介质, 在白炽灯下观察玻璃样品的抛光表面, 被上述试剂侵蚀后, 出现紫蓝色干涉色的时间, 或表面呈现杂色、或脱落现象的时间, 对光学玻璃进行递减式分类定级。所需时间如表1-4 所示。

表 1-4 光学玻璃耐酸侵蚀性所需时间

成膜时间 介质 酸度	pH=2.9	pH=4.6	pH=5.8
级 别			
1a	>5h		
1b	<5h; ≥0.5h		
2a		>30min	
2b		<30min; ≥5min	
3a			>3h
3b			≤3h

1 类: 在 pH=2.9 醋酸中侵蚀 5h 以上未出现紫蓝干涉色为 1a 级; 小于 5h, 大于