

无色光学玻璃测试方法
折射率温度系数测试方法

Colourless optical glass test methods
Temperature coefficient of refractive index

本标准适用于测量无色光学玻璃折射率温度系数 β 。测量温度范围定为 $-40\sim+20^{\circ}\text{C}$ 及 $+20\sim+80^{\circ}\text{C}$ 。测量谱线为c'、d、e、F'、g五条谱线。测量精度 $\Delta\beta$ 为 $\pm 5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 。

1 原理

1.1 测量采用斐索干涉原理

如图1, 当一束单色光垂直照射两表面几乎平行的玻璃样品时, 从两表面反射回的光束相干涉产生等厚干涉条纹, 其光程差与干涉条纹之间有如下关系:

$$2nl = K\lambda - \frac{1}{2}\lambda \dots\dots\dots(1)$$

式中: λ —— 测量谱线的波长, nm;
 n —— 样品的常温折射率;
 l —— 样品厚度, mm;
 K —— 干涉条纹级数。

当样品温度改变时, 其折射率 n 及厚度 l 均发生变化, 即光程差发生变化, 因而干涉条纹亦随之变化。则有:

$$\frac{\Delta n}{\Delta T} = \frac{\lambda}{2l} \cdot \frac{\Delta K}{\Delta T} - n \frac{\Delta l}{l \cdot \Delta T}$$

式中: $\frac{\Delta n}{\Delta T}$ —— 折射率温度系数 β ;
 $\frac{\Delta K}{\Delta T}$ —— 温度变化1度时干涉条纹的变化量;
 $\frac{\Delta l}{l \cdot \Delta T}$ —— 温度变化1度时单位长度的变化量(即膨胀系数 a)。

所以上式可写成:

$$\beta = \frac{\lambda}{2l} \cdot \frac{\Delta K}{\Delta T} - na \dots\dots\dots(2)$$

a 值用同样的干涉原理测得。样品处置情况如图2。

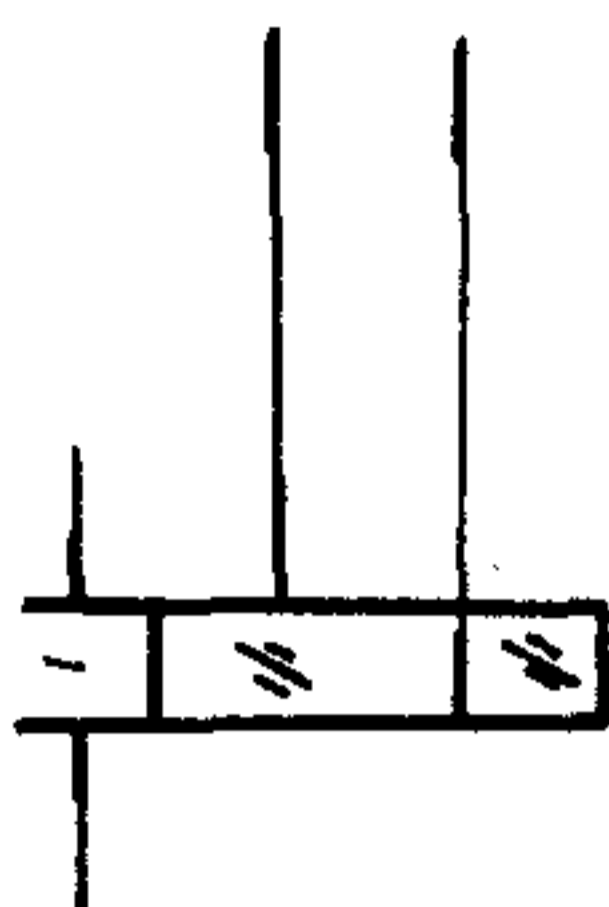


图 1 光从平板表面反射发生干涉

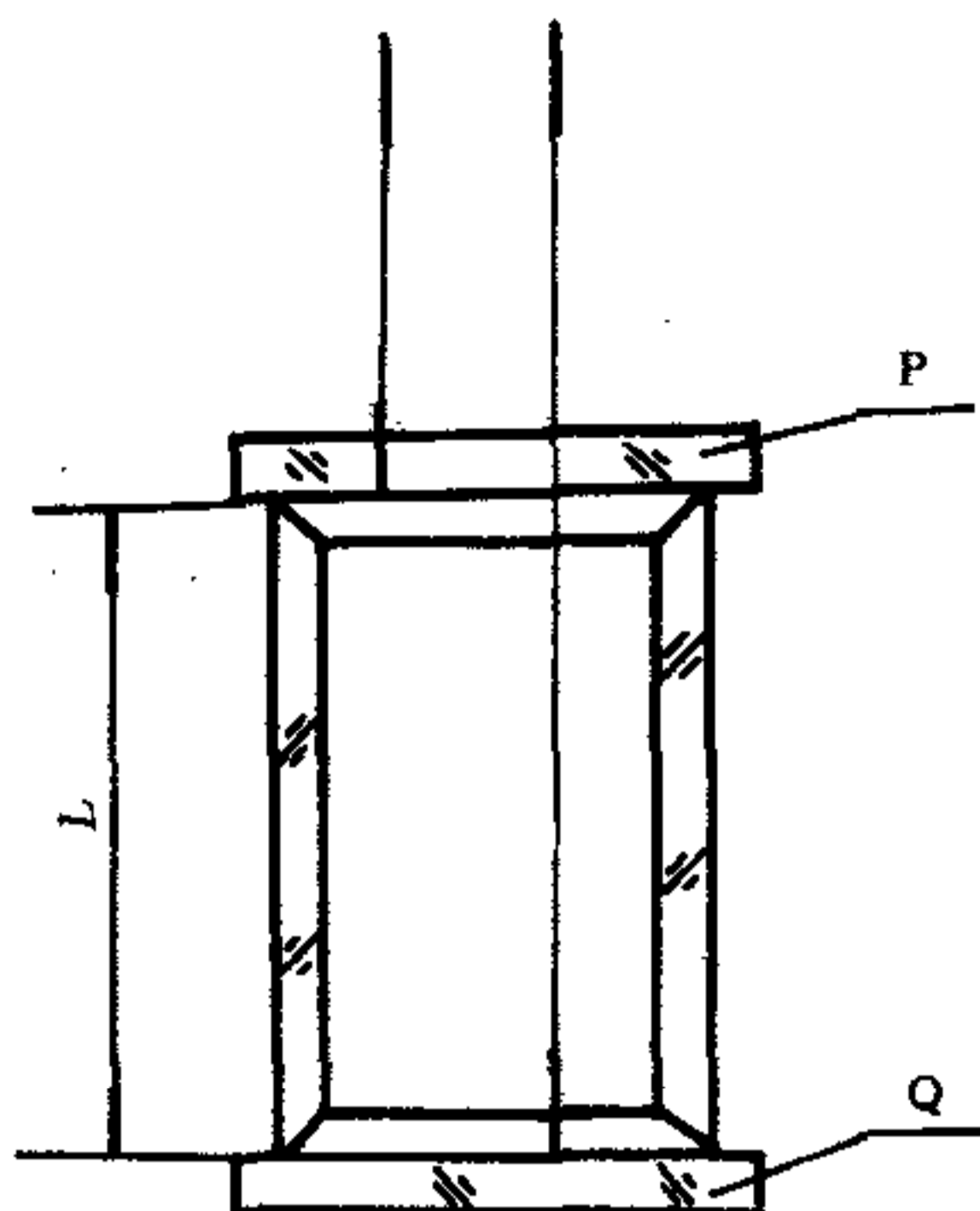


图 2 光从上下干涉板表面反射发生干涉

垂直入射的光线，从与样品接触的上干涉板P的下表面及下干涉板Q的上表面反射，反射回的两束光线产生干涉，同样有：

$$2 n_a L = M_\lambda - \frac{1}{2} \lambda$$

式中： n_a ——空气的折射率；
 L ——样品长度，mm；
 M_λ ——干涉条纹级数。

置样品于变化的温度场中，便有：

$$a = \frac{\Delta L}{L \cdot \Delta T} = \left(\frac{\lambda}{2L} \cdot \frac{\Delta M}{\Delta T} - \frac{\Delta n_a}{\Delta T} \right) / n_a \quad \dots\dots\dots (3)$$

其中 $\Delta n_a / \Delta T = \beta_a$ 为空气的折射率温度系数。各温度下的空气折射率及其温度系数用下式计算：

$$(n_t - 1) = (n_s - 1) \frac{1 + a_s t_s}{1 + a_s t} \cdot \frac{P}{P_s} \quad \dots\dots\dots (4)$$

n_t 为所求温度 t 时空气折射率， P 为所求状态下的气压， t_s 取 20°C ，则： $n_s = 1.000270$ ， $P_s = 760\text{mm Hg}$ ， $a_s = 0.003671$ 为空气膨胀系数。因此式(3)中的：

$$\frac{\Delta n_a}{\Delta T} = \begin{cases} -0.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} & (\text{温度为 } \pm 20 \sim +80^\circ\text{C}) \\ -1.2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} & (\text{温度为 } -40 \sim +20^\circ\text{C}) \end{cases}$$

若把样品放入真空系统中， $n_a = 1$ ， $\Delta n_a / \Delta T = 0$ 则有：

$$a = \frac{\lambda}{2L} \cdot \frac{\Delta M}{\Delta T} \quad \dots\dots\dots (3')$$

本方法就是把测得的 $\Delta M / \Delta T$ 及 $\Delta K / \Delta T$ 代入公式(3)〔或(3')〕及(2)中而求得 β 值。若样品放于真空系统中，则测得的 β 值为绝对折射率温度系数 β_{abs} 。

1.2 相对折射率温度系数 β_{rel} 与绝对折射率温度系数 β_{abs} 的换算

因为介质的绝对折射率 n_{abs} ，相对折射率 n_{rel} 及空气折射率的关系为：

$$n_{abs} = n_{rel} \cdot n_a$$

将该式对温度微分可得：

$$\beta_{rel} = (\beta_{abs} - n_{rel} \cdot \beta_a) / n_a \quad \dots\dots\dots (5)$$

所以测得 β_{abs} ，从式(4)及式(5)中可计算出 β_{rel} 。

2 仪器

仪器由光学系统、高、低温炉及其控制系统、记录及数据处理系统三部分组成，见图3。

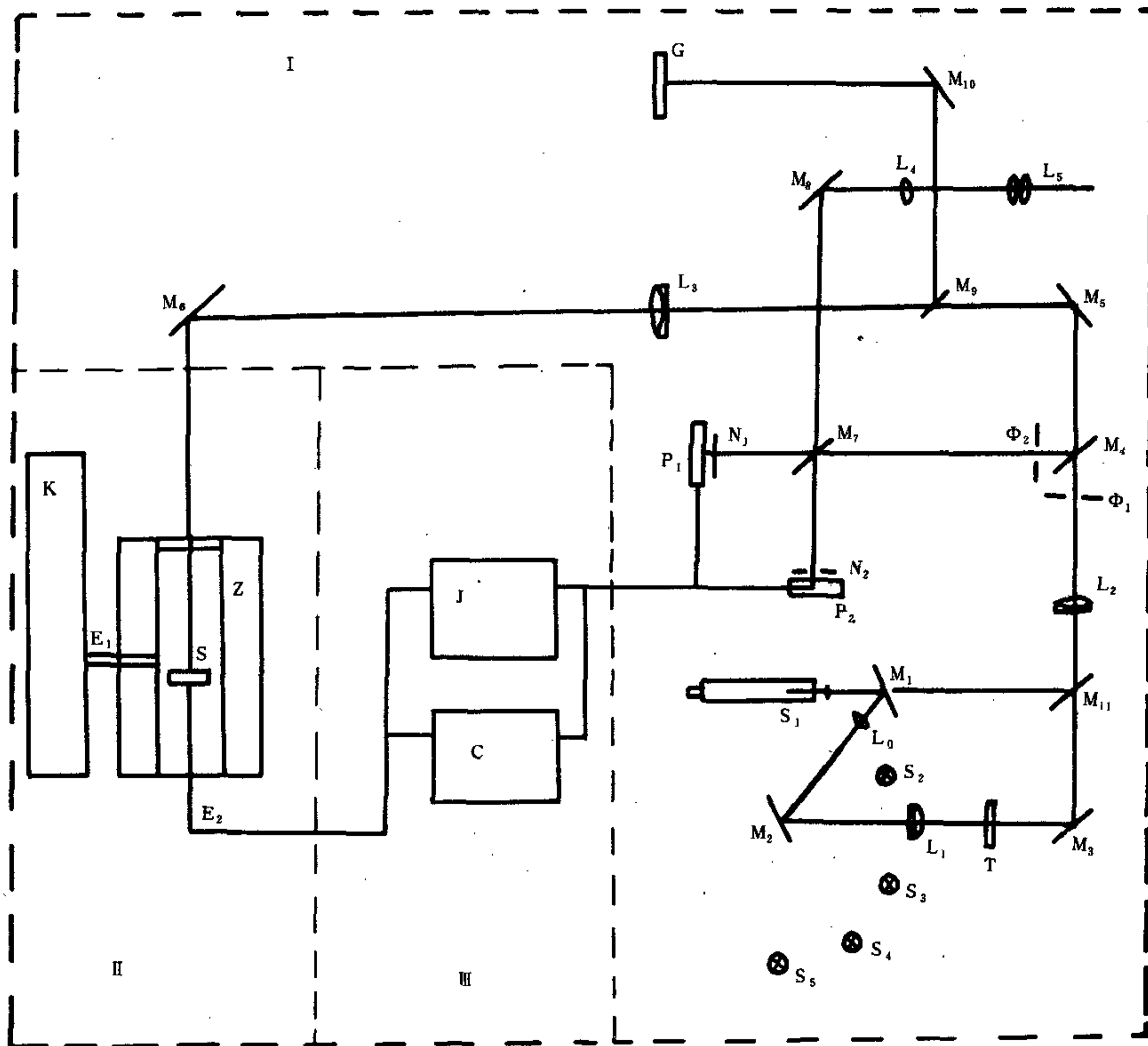


图3 折射率温度系数测定仪、装置图

- I. 光学系统: S₁~S₅—光源; M₁, 4, 7, 9—半透半反镜;
 M₂, 3, 5, 6, 8, 10, 11—全反镜; M₉, 10—可移动反射镜; L₀—扩束镜;
 L₁, 2—聚光镜; L₃—准直物镜; L₄, 5—物镜、目镜; T—滤光片;
 Φ₁, 2—光阑; N₁, 2—狭缝; P₁, 2—光电倍增管; G—显示屏
- II. 真空炉及控制系统: Z—真空炉; K—自动控制系统; S—样品;
 E₁, 2—控温偶、测量偶
- III. 记录及数据处理系统: J—双笔记录仪; C—单板计算机

2.1 光学系统

2.1.1 光源箱: 其中有He-Ne激光器, He、Hg、Cd灯, 及可拆换的c'、d、e、F'、g五种干涉滤光片。

2.1.2 自准直仪：其口径为 $\phi 35\text{mm}$ ，相对孔径为1:10。

2.1.3 光电转换器：用光电倍增管接收干涉条纹变化的信息，经差分放大后输给记录及数据处理系统。其测量干涉条纹精度 $\delta_{\Delta K}$ 小于0.1。

2.2 高、低温炉及其控制系统

2.2.1 电阻高温炉及三级半导体致冷低温炉：在 $\phi 40\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的炉腔内，径向温度梯度小于 $0.1^\circ\text{C}/\text{cm}$ ，轴向温度梯度小于 $0.1^\circ\text{C}/\text{cm}$ 。测温、控温的感温元件电势约为 $0.04\text{mV}/^\circ\text{C}$ 。测温精度 $\delta_{\Delta T}$ 小于 0.5°C 。

2.2.2 电控系统：以一任意给定速率自动控制线性升、降温。一般升、降温速率以 $(0.5 \sim 0.7^\circ\text{C})/\text{min}$ 为宜。

2.2.3 真空装置：其真空度为 $1 \times 10^{-1}\text{mmHg}$ 。

2.3 记录及数据处理系统

2.3.1 记录仪：用双笔记录仪记录炉温及干涉条纹变化的信息，可得到 $\Delta K/\Delta T$ 及 $\Delta M/\Delta T$ 。

2.3.2 单板微计算机：用以对 K 、 M 、 T 变化的信息随时自动采样并进行数据自动处理，打印给出测量结果。

3 样品和干涉板

3.1 β 样品

3.1.1 对材料要求

条纹度1c，气泡度A级，应力双折射1类。

3.1.2 加工要求

两大面抛光 $\nabla 14$ ，B为Ⅲ级，平行度 θ 为 $15''$ ，平面度 N 为0.25， ΔN 为0.1，其余抛光 $\nabla 6$ ，样品尺寸如图4。

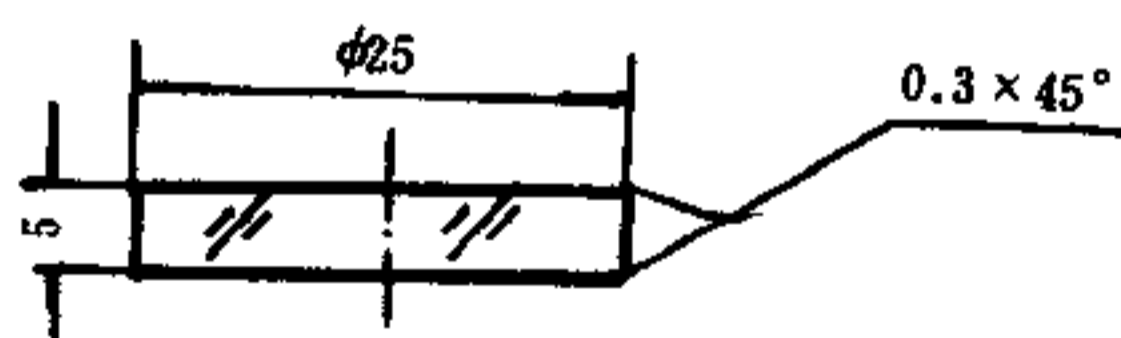


图4 折射率温度系数样品

3.2 α 样品

3.2.1 对材料要求

与 β 样品为同一块玻璃，条纹度1c，应力双折射1类。

3.2.2 加工要求

按图5要求进行。

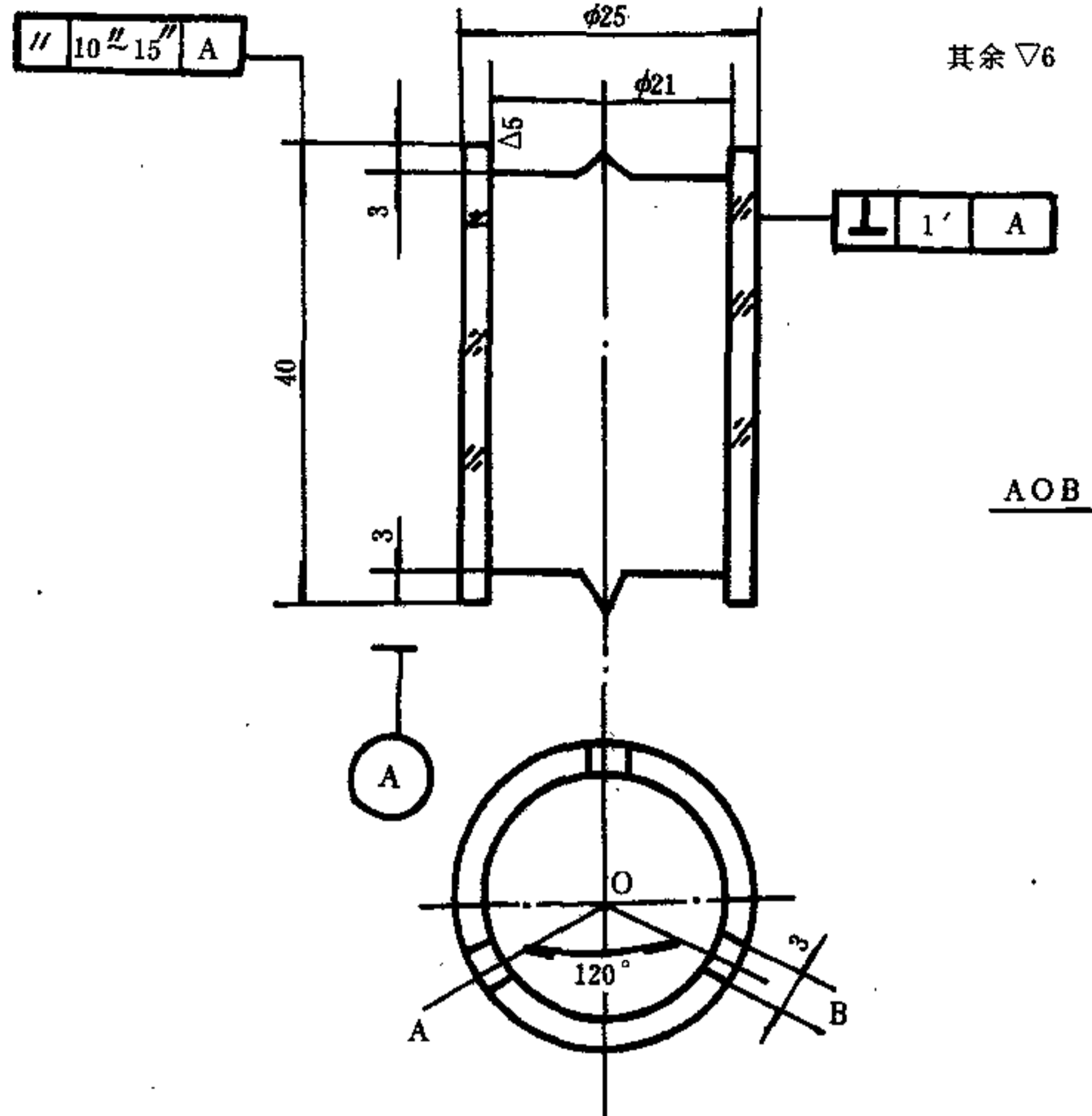


图 5 膨胀系数样品加工图

3.3 上、下干涉板

3.3.1 对材料要求

材料为熔石英，条纹度 1c，气泡度 A 级，应力双折射 1 类。

3.3.2 加工要求

两大面抛光 $\nabla 14$ ，B 为 IV 级，平行度为 $10''$ ，平面度 N 为 0.25， ΔN 为 0.1，其余面抛光 $\nabla 6$ ，样品尺寸如图 6 (a) 及 (b) 所示。

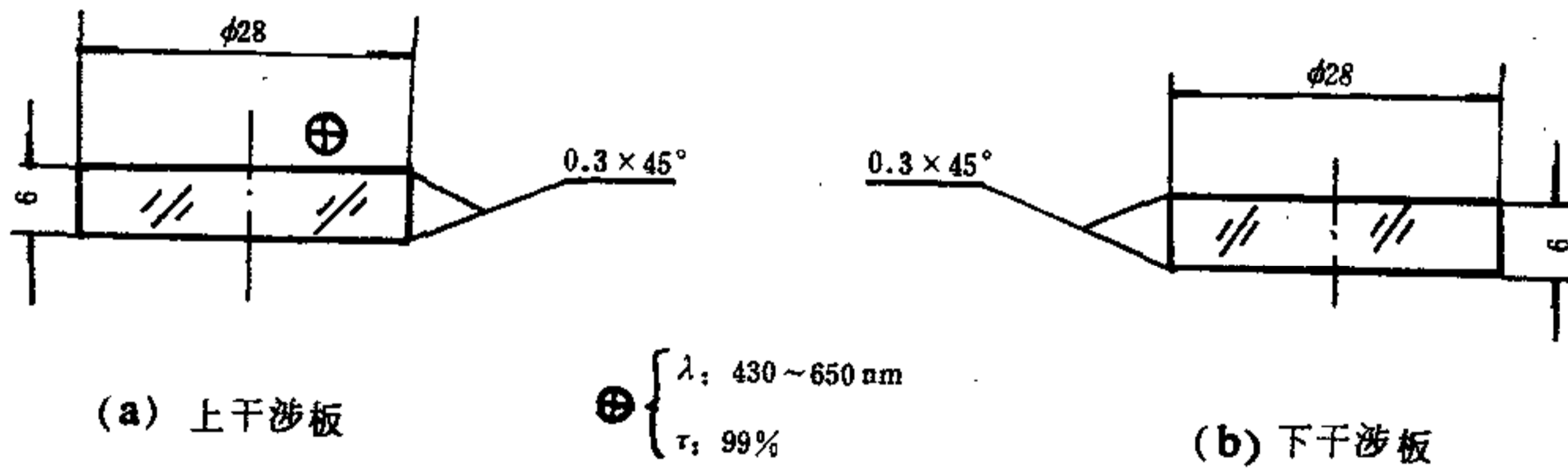


图 6 干涉板加工图

4 测量

- 4.1 用 V 棱镜折光仪测量该玻璃的 c' 、 d 、 e 、 F' 、 g 线的折射率。
- 4.2 用千分尺测量 β 样品的厚度 l 及 α 样品的厚度 L 。
- 4.3 先后将 α 样品， β 样品放于高、低温炉中，测量 $\Delta M/\Delta T$ ， $\Delta K/\Delta T$ 。
- 4.4 由单板微计算机直接打印出测量结果，或者按表 1 及表 2 记录测量结果。
- 4.5 按表 3 填写测试报告单。

表 1 膨胀系数测定记录

玻璃牌号	熔 炼 号		退 火 号	
$T_1 \sim T_2, ^\circ\text{C}$	λ	L	$\Delta M / \Delta T$	$\alpha \times 10^7 / ^\circ\text{C}$
-40 ~ +20				
+20 ~ +80				

测量者:

日期

复核者:

日期

表 2 折射率温度系数测定记录

玻璃牌号	熔 炼 号		退 火 号				
$T_1 \sim T_2, ^\circ\text{C}$	λ	l	$\Delta K / \Delta T$	n	$\alpha \times 10^7 / ^\circ\text{C}$	$\beta_{\text{obs}} \times 10^6 / ^\circ\text{C}$	$\beta_{\text{res}} \times 10^6 / ^\circ\text{C}$

测量者:

日期

复核者:

日期

表 3 折射率温度系数测试报告单

玻 璃 牌 号	熔 炼 号				退 火 号					
$T_1 \sim T_2$ $^\circ\text{C}$	$\beta_{\text{res}} \times 10^6 / ^\circ\text{C}$					$\beta_{\text{obs}} \times 10^6 / ^\circ\text{C}$				
	c'	d	e	F'	g	c'	d	e	F'	g

测量者:

日期

复核者:

日期

附加说明:

本标准由中国科学院光电技术研究所、长春光学精密机械研究所起草。

本标准主要起草人刘乃英、段文琴。