

LaK747/509光学玻璃的改进

王 中 才*

本文着重研究了 $B_2O_3-La_2O_3-ZnO$ 与 $B_2O_3-La_2O_3-CdO$ 为基础的多元系统LaK747/509玻璃性能之间的差异, 试验了向玻璃中引入氟化铝对玻璃性质的影响, 最后在 $B_2O_3-La_2O_3-ZnO$ 多元系统中, 研制成功了无钽、无镉、无钇的LaK₃改进配方。玻璃的光吸收得到了显著改善, 去掉了毒害较重的CdO原料, 大大降低了生产成本。为LaK₃玻璃的扩大生产及广泛应用, 提供了基础及有利条件。

一、前 言

LaK₃玻璃是设计高级光学镜头不可缺少的重要材料。七十年代初期, 长春光机所首次研制成功了无钽LaK₃玻璃, 成品已用于各种镜头设计中。随后大邑光电所等进一步作了配方改进试验工作^[3-5], 他们采用重庆超纯硼酸作原料, 得出了光吸收较好的成品玻璃。但玻璃中含价格高昂的氧化钇, 玻璃原料纯度级别要求高, 成品玻璃光吸收大, 生产成本高等等, 仍然是比较突出问题。

过去采用的LaK₃玻璃生产配方, 是以硼、镧、镉多元系统作基础, 玻璃组成中含氧化钇6%及氧化镉7.4%。除了原料价格高昂及毒害较重外, 玻璃析晶上限为1050℃, 出炉时, 粘度亦较小(只有十几个泊), 浇注时易产生冲击条纹, 影响成品率和玻璃质量的提高。这些问题造成了LaK₃玻璃不能大量的正常生产, 无法充分满足光学设计工作的实际需要。

本工作以玻璃组成的变化引起玻璃内部阴离子集团在结构状态上的差异及其与玻璃性能之间的关系出发^[1], 试验了引入氟化物对含钇含镉LaK₃玻璃(以下简称为YCK₀系)析晶性能及光吸收的影响。研究了用ZnO代替CdO及去掉价格高昂的氧化钇后的 $B_2O_3-La_2O_3-ZnO$ 多元系统玻璃的若干性质的变化规律。在研究试验的基础上, 最后研制成功了去镉含钇及去镉又去钇的两种LaK₃玻璃的改进配方, 经12立升扩大试验取得了较好的结果。

二、实验过程

(一) 实验所采用的原料

为了研究不同的玻璃组成及制备工艺对玻璃吸收的影响, 为以后扩大生产统一条件, 我们在实验的全过程均采用通常生产使用的光学玻璃原料, 对原料的着色杂质含量没有作特殊要求及限制, 情况如下:

* 孟繁武同志是本工作的合作者, 隋秉凯同志和光机所一车间熔炼全体同志参加了扩大试验工作。

| 名称 | (分子式) | 产地 | 纯度 |
|------|--------------------------------|----|-----|
| 石英砂 | SiO ₂ | 招远 | 工业纯 |
| 硼酸 | H ₃ BO ₃ | 北化 | 工业纯 |
| 氧化锆 | ZrO ₂ | 焦作 | 工业纯 |
| 氧化锌 | ZnO | 云南 | 工业纯 |
| 铅丹 | Pb ₃ O ₄ | 城阳 | 工业纯 |
| 氢氧化铝 | Al(OH) ₃ | 张店 | 工业纯 |
| 氟化铝 | AlF ₃ | 天津 | 专用 |
| 氧化镧 | La ₂ O ₃ | 上跃 | 专用 |
| 氧化钇 | Y ₂ O ₃ | 上跃 | 专用 |
| 氧化镉 | CdO | 上跃 | 专用 |
| 氧化铌 | Nb ₂ O ₅ | 上跃 | 专用 |
| 氧化砷 | As ₂ O ₃ | 雄黄 | 工业纯 |

(二) 配方研制工作

1) 对含钇硼、镧、镉系统 (YCK₀系) 配方的改进

LaK₃ 玻璃原配方^[6]组成如下:

| 组成 | SiO ₂ | B ₂ O ₃ | La ₂ O ₃ | Y ₂ O ₃ | CdO | ZrO ₂ | As ₂ O ₃ |
|-----|------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|------------------|--------------------------------|
| wt% | 4.30 | 32.80 | 41.86 | 6.00 | 7.43 | 7.43 | 0.32 |

我们认为, 影响 YCK₀ 系 LaK₃ 玻璃质量不稳的重要因素是配方中某些组成的比例不当造成的。在熔化过程中, 该玻璃出现了不易熔化和消除的表面层, 如用不锈钢勺子取出丢掉, 会使玻璃光性不准确。如果提高熔化温度又会造成玻璃颜色变深, 光吸收增大, 因此必须对组成比例进行适当的调整。以下称调整后的系统为 YCK 系, 玻璃组成的调整情况及有关性质见表 1。

由表中数据及结果可以看出, 由于我们调整了 ZrO₂/La₂O₃ 和 ZrO₂/Y₂O₃ 的比例, 并引入了 Al₂O₃ 或 AlF₃ 和 PbO 等组份后, 玻璃的熔化温度不断降低, 光吸收变小, 收到了好的效果。主要原因是消除了玻璃液表面的难熔表皮后, 熔化温度得以降低, 对减少玻璃光

表 1 YCK 系玻璃配方及其部分性质

| 编号 | 78-1 | 78-2 | 78-5 | 78-6 | 78-7-2 | 78-7-3 | B-74 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| SiO ₂ | 4.30 | 4.30 | 4.30 | 4.30 | 3.80 | 3.80 | 3.60 |
| B ₂ O ₃ | 32.80 | 32.80 | 32.80 | 32.80 | 32.80 | 32.80 | 32.80 |
| La ₂ O ₃ | 41.86 | 42.86 | 41.86 | 42.90 | 42.90 | 43.90 | 42.90 |
| Y ₂ O ₃ | 6.00 | 6.00 | 7.00 | 7.00 | 7.00 | 7.16 | 7.16 |
| CdO | 7.43 | 7.43 | 7.43 | 7.43 | 7.43 | 7.43 | 7.43 |
| ZrO ₂ | 7.43 | 6.43 | 6.43 | 6.43 | 6.43 | 6.43 | 6.43 |
| AlO ₃ | — | — | — | — | 2.00 | — | — |
| AlF ₃ | — | — | — | — | — | 2.50 | 2.50 |
| PbO | — | — | — | — | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| 高温搅拌 | 1360℃ | 1320℃ | 1310℃ | 1300℃ | 1280℃ | 1260℃ | 1260℃ |
| 出炉 | 1030℃ | 1000℃ | 1000℃ | 990℃ | 980℃ | 940℃ | 1010℃ |
| 光吸收% | >1.5 | <1.4 | <1.4 | <1.1 | <0.99 | <0.86 | <0.84 |
| 规模 | 300CC | 300CC | 300CC | 300CC | 300CC | 300CC | 2l |

吸收及熔制操作都有利。

2) 去掉氧化镉的试验

经过改进的 YCK 系配方, 熔化温度降低到 1260℃, 出炉温度降低 20℃, 光吸收已由常出级下降到 1%, 虽然这是一个进步, 但玻璃的析晶性能还是比较差的。而且由于组成中含有 7.43% 的氧化镉, 不仅对人的毒害大, 还因为氧化镉原料不易提纯, 在玻璃中使玻璃增加着色, 对改善玻璃光吸收不利。因此, 我们又进一步开展了用 ZnO 取代 CdO 的试验工作。配方更动情况及有关性质见表 2。

实验结果证明, 用中间体氧化物 ZnO 取代有害组份 CdO 后, 玻璃系统变成了含 Y₂O₃ 的 B₂O₃-La₂O₃-ZnO 多元系统 (简称 YZK 系), 该系统对于调制高折射率、低色散的镧冕光学玻璃是比较理想的。玻璃性能比含 CdO 的好。

表 2 YZK 系玻璃部份实验配方及光学性质 (wt%)

| 编 号 | SiO ₂ | B ₂ O ₃ | La ₂ O ₃ | Y ₂ O ₃ | ZnO | ZrO ₂ | PbO | AlF ₃ | As ₂ O ₃ | 搅拌 | 出炉 | N _D | N _F -N _G | k % |
|-----------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|------------------|------|------------------|--------------------------------|-------|------|----------------|--------------------------------|------|
| B74-5 | 4.00 | 32.80 | 43.90 | 8.00 | 9.76 | 6.43 | 1.79 | 2.30 | 0.29 | 1250℃ | 860℃ | 1.7438 | 0.01462 | 0.79 |
| B77 | 3.58 | 29.36 | 42.50 | 7.16 | 7.29 | 5.77 | 1.79 | 2.30 | 0.29 | 1250℃ | 940 | 1.7519 | 0.01482 | 0.79 |
| B77-1 | 3.58 | 30.36 | 42.50 | 7.16 | 7.29 | 5.77 | 1.79 | 2.00 | 0.29 | 1250℃ | 950 | 1.7470 | 0.01465 | 0.78 |
| B78 | 3.58 | 30.36 | 42.50 | 7.16 | 6.29 | 5.77 | 1.79 | 2.30 | 0.29 | 1250℃ | 950 | 1.7473 | 0.01470 | 0.72 |
| B78-1-10 | 3.58 | 29.36 | 41.18 | 7.16 | 6.29 | 5.77 | 1.79 | 2.30 | 0.29 | 1250℃ | 880 | 1.7469 | 0.01468 | 0.72 |
| B78(2I) | 3.58 | 29.36 | 41.18 | 7.16 | 6.29 | 5.77 | 1.79 | 2.30 | 0.29 | 1250 | 910 | 1.7484 | 0.01470 | 0.78 |
| 2648(12I) | 3.58 | 29.36 | 41.18 | 7.16 | 6.29 | 5.77 | 1.79 | 2.30 | 0.29 | 1250 | 940 | 1.7473 | 0.01470 | 1.00 |

3) 去掉氧化钇的实验

为了降低 LaK₃ 玻璃原料成本, 便于大量生产, 扩大玻璃用量, 我们最后又进行了去掉氧化钇, 研制无钇、无镉、无钇的“三无” LaK₃ 玻璃配方的试验工作。玻璃配方试验过程及有关性质见表 3 和表 4。

众所周知, 氧化钇本来是制造镧冕光学玻璃性能良好的原料, 尤其是制造 ν 值大于 50 及高于 1.75 的高 N_D 的玻璃具有重要效果^[15-18]。因此要去掉氧化钇而用别的其他组份代替, 难度是比较大的。除非用氧化钇。我在 YZK 系的 B78-1-10 玻璃组成基础上, 先后进行了用 La₂O₃ 或 (La₂O₃+BaO) 替换 Y₂O₃ 的试验 (以下简称 BZK 系)。与此同时, 玻璃

表 3 BZK 系玻璃实验配方及其光学性质 (wt%)

| 编 号 | SiO ₂ | B ₂ O ₃ | La ₂ O ₃ | ZnO | ZrO ₂ | AlF ₃ | PbO | BaO | As ₂ O ₃ | 搅拌 | 出炉 | N _D | N _F -N _G | k % |
|---------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|------------------|------------------|------|------|--------------------------------|-------|-------|----------------|--------------------------------|------|
| B78-1 | 3.58 | 29.36 | 47.60 | 7.29 | 5.77 | 2.24 | 1.79 | — | 0.29 | 1250℃ | 1020℃ | 1.7470 | 0.01470 | — |
| B78-1-2 | 4.66 | 28.36 | 48.61 | 7.44 | 5.81 | 2.24 | 2.83 | — | 0.30 | 1250℃ | 995 | 1.7464 | 0.01486 | — |
| B78-1-4 | 4.66 | 28.36 | 49.61 | 6.44 | 5.81 | 2.24 | 1.50 | — | 0.29 | 1250℃ | 980 | 1.7463 | 0.01461 | — |
| B75 | 3.58 | 29.60 | 44.80 | 10.76 | 5.77 | 2.05 | 2.05 | 3.90 | 0.29 | 1250℃ | 1010 | 1.7436 | 0.01486 | — |
| 75-1 | 3.58 | 29.60 | 44.80 | 9.76 | 5.77 | 2.05 | 2.05 | 3.90 | 0.29 | 1250℃ | 1000 | 1.7432 | 0.01478 | 0.45 |
| 75-2 | 3.58 | 29.60 | 44.80 | 7.76 | 5.77 | 2.05 | 2.05 | 3.90 | 0.29 | 1250℃ | 980 | 1.7462 | 0.01476 | 0.43 |
| 75-8 | 3.58 | 29.60 | 44.80 | 6.76 | 5.77 | 2.05 | 2.05 | 3.90 | 0.29 | 1250℃ | 980 | 1.7472 | 0.01466 | — |
| 75-4 | 3.58 | 29.60 | 44.80 | 5.76 | 5.77 | 2.05 | 2.05 | 3.90 | 0.29 | 1250℃ | 980 | 1.7466 | 0.01476 | 0.43 |
| 75-5 | 3.58 | 29.60 | 44.80 | 3.76 | 5.77 | 2.05 | 2.05 | 3.90 | 0.29 | 1250℃ | 1000 | 1.7450 | 0.01460 | — |
| 75-3 | 3.58 | 29.60 | 44.80 | 2.76 | 5.77 | 2.05 | 2.05 | 3.90 | 0.29 | 1250℃ | 1000 | 1.7420 | 0.01440 | — |

表 4 NZK系玻璃实验配方及其光学性质 (wt%)

| 编 号 | SiO ₂ | B ₂ O ₃ | La ₂ O ₃ | ZnO | ZrO ₂ | AlF ₃ | PbO | Nb ₂ O ₅ | As ₂ O ₃ | 搅拌 | 出炉 | N _D | N _F N _C | k% |
|----------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------|------------------|------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|----------------|-------------------------------|------|
| B78-1-5 | 4.66 | 28.36 | 40.60 | 7.29 | 5.77 | 2.24 | 1.50 | 1.50 | 0.29 | 1250℃ | 930℃ | 1.7504 | 0.01504 | — |
| B78-1-6 | 4.08 | 29.36 | 40.60 | 7.29 | 5.77 | 2.24 | 1.50 | 1.50 | 0.29 | 1250℃ | 910 | 1.7468 | 0.01488 | 0.82 |
| B78-1-7 | 4.08 | 29.36 | 41.60 | 6.29 | 5.77 | 2.24 | 0.50 | 2.50 | 0.29 | 1250℃ | 840 | 1.7544 | 0.01500 | — |
| B78-1-9 | 4.08 | 29.36 | 43.60 | 6.29 | 5.77 | 2.24 | 0.50 | 1.50 | 0.29 | 1250℃ | 910 | 1.7448 | 0.01473 | — |
| B78-1-11 | 4.08 | 29.36 | 44.10 | 6.29 | 5.77 | 2.24 | 0.50 | 1.30 | 0.29 | 1250℃ | 930 | 1.7458 | 0.01479 | — |
| B78-1-12 | 4.08 | 29.36 | 44.80 | 6.29 | 5.77 | 2.24 | — | 1.30 | 0.29 | 1250℃ | 920 | 1.7467 | 0.01468 | 0.64 |
| 2647 | 4.08 | 29.36 | 44.80 | 6.29 | 5.77 | 2.24 | — | 1.30 | 0.29 | 1250℃ | 975 | 1.7473 | 0.01468 | 0.76 |
| 2686 | 4.08 | 29.36 | 45.80 | 6.29 | 5.77 | 2.24 | — | 1.30 | 0.29 | 1250℃ | 975 | 1.7498 | 0.01486 | 0.72 |
| 2732 | 4.08 | 29.36 | 44.80 | 6.29 | 5.77 | 2.24 | — | 1.30 | 0.29 | 1250℃ | 975 | 1.7468 | 0.01473 | 0.48 |

中还引入了氧化铌组成，最终改进了不含钇的BZK系玻璃析晶性能。研制成功了“三无”的NZK系LaK₃玻璃新配方。

(三) 扩大试验结果

1. 12立升扩大实验使用的配方见表4 2647坩，2686坩和2732坩。其中2686坩多加入了1%的La₂O₃。

2. 玻璃12立升制备工艺及光性变化数据如下：

a) 熔炼工艺见图1。

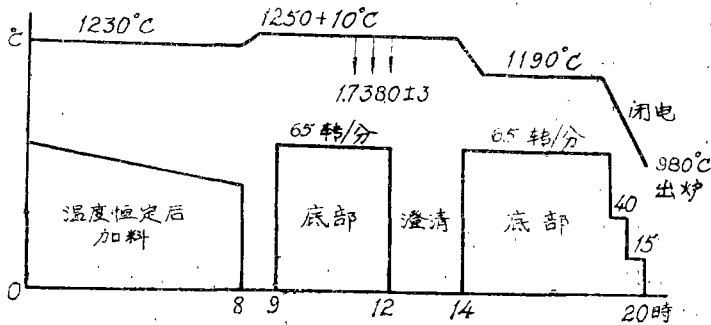


图1 玻璃熔炼工艺曲线

b) 退火工艺

模具预热600℃；635℃退火，恒温四小时；降温速率1—2℃/时。

c) 光性变化规律

退火增值：高温取样+90；浇注取样+70单位。外加氧化物其光性变化数据见表5。

表5 外加1%氧化物玻璃光性变化数据

| 氧 化 物 | B ₂ O ₃ | La ₂ O ₃ | ZrO ₂ | Nb ₂ O ₅ | SiO ₂ |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|
| N _D | -44 | +26 | +22 | +68 | -56 |
| N _F -N _C | -15 | +9 | +13 | +54 | -16 |

3) 玻璃质量情况见表6。

表 6 三无配方12升扩大实验玻璃质量

| 光 性 | 光吸收 | 气 泡 | 条 纹 | 应 力 | 均 匀 性 | 成 品 率 | 最 大 尺 寸 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|--------------|
| 1—3 | 2—3 | B | 1C | 1—2 | 2 | 31% | 150×150×49毫米 |

三、实验结果与讨论

(一) LaK₃ 玻璃光吸收问题

各种因素对 LaK₃ 玻璃光谱透过率的影响见图 2。由图中可以看出：

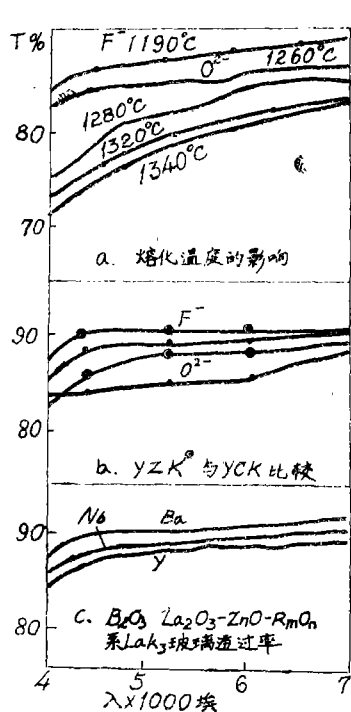


图 2 各种因素对 LaK₃ 玻璃透过率的影响

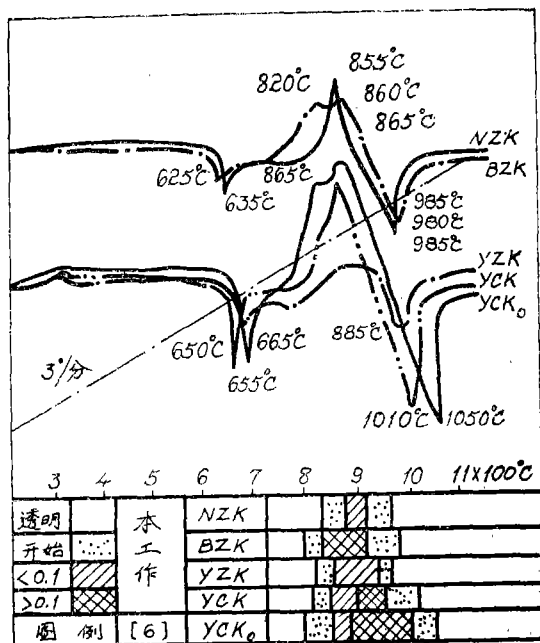


图 3 各系统 LaK₃ 玻璃析晶性能
上部差热曲线 (差放 ± 200)
下部强迫梯度析晶 (1 小时)

(1) 玻璃在可见光范围的透过率随熔制温度升高而降低。而决定熔制温度的高低是玻璃液表面形成的硬皮。在 YCK₀ 系玻璃中当 ZrO_2/La_2O_3 和 ZrO_2/Y_2O_3 比例(重量百分比)分别大于 1/6 和 1/1 时, 玻璃液表面将形成坚硬的难熔块状物。比值愈大, 硬块愈不易熔化。如果提高熔化温度, 使难熔块熔化消除, 玻璃光吸收数值也随之增加。这一结果与相图中的数据相符^[7, 8]。

(2) 由于 AlF₃ 的引入, 玻璃熔化温度下降到了 1190°C, 化出的玻璃透过率有所提高, 在短波部份更为明显, 见图 2 a 和 b。

氟化铝能降低熔化温度的机理一是文献^[11-12] 所论述的 Al³⁺ 引入玻璃组成后, 降低了玻璃中 B₂O₃ 在高温下挥发损耗。二是因为氟离子在熔化过程中易于挥发, 通过玻璃液面时, 增大了表面层富集的 SiO₂ 相的溶解度, 不易形成难熔的硬皮, 因而玻璃可在较低温度

下熔制成功。对改善玻璃的光吸收有利。除了熔化温度的影响外，由于氟化物在玻璃中有消色作用，也使得玻璃的光吸收变小^[10]。

(二) LaK₃玻璃的析晶性能

LaK₃玻璃光学常数所要求的化学组成，决定了该种玻璃不易作到稳定，析晶性能差^[2]。各系统 LaK₃玻璃析晶性能比较见图 3。

实验结果指出：

(1) 在 YCK₀ 系中引入 AlF₃ 可以减慢玻璃的结晶速度，析晶温度上限可降低 40℃。这是因 Al³⁺ 形成了 [AlO₄]⁻，增强了网络强度，提高了粘度的结果^[9]。F⁻ 的引入降低了玻璃液相线温度。

(2) 用 ZnO 置换 CdO，玻璃的析晶速度明显下降，原因是 Zn²⁺ 形成了 [ZnO₄]²⁻，进入了玻璃结构网络，加强了结构强度，阻碍了 La₂O₃·3B₂O₃ 化合物的析出及消除了 CdO·2B₂O₃ 结晶相。^[5, 13, 14]

(3) 氧化硅与氧化硼比例的选择，其最佳值是 B₂O₃:SiO₂ = 6.22:1.00 (wt%)。两者比例的选择在于调整网络生成体的四面体群之间与三角体群之间的互溶性，减少结构中的桥氧键的畸变，防止相分离而析晶。

(4) 在 B₂O₃-La₂O₃-ZnO 多元系统 LaK₃ 玻璃中，用 BaO 取代 Y₂O₃，玻璃析晶速度显著变快，并增加了新的结晶相。以 Nb₂O₅ 置换 Y₂O₃ 时，结晶速度有所增加，但主结晶相的析晶温度范围比含 Y₂O₃ 的 YZK 系缩小一半。

无论结晶速度很慢的 YZK 系，还是主结晶相析晶的温度范围变窄的 NZK 系，都为熔制工艺提供了有利条件，可以从工艺上控制其结晶产生。

(三) 玻璃性能比较

本工作在 12 升中获得的成品玻璃与国内外生产的 LaK₃ 玻璃进行了性能比较。

玻璃的光谱透过性质如图 4 所示。

其中 BZK 为 300CC 试验样品，YCK 和苏联 CTK₆ 为 2 立升产品，样品厚度均为 10 毫米；玻璃析晶性能比较见图 3；玻璃粘度和工艺性能比较见图 5 和表 7；其它性质比较见表 8。

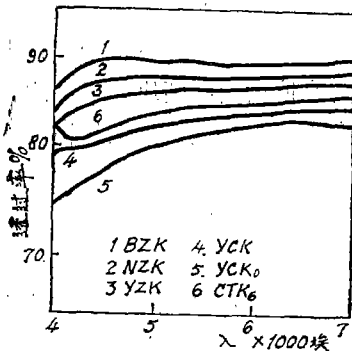


图 4 各系统 LaK₃ 玻璃透过率曲线比较

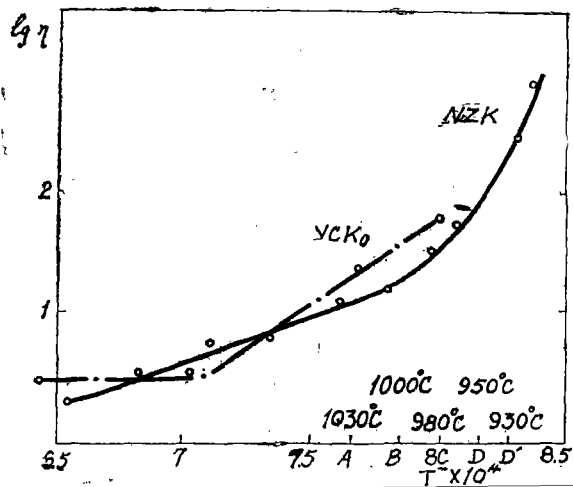


图 5 三无与原 LaK₃ 玻璃粘度曲线

表7 各系统LaK₃玻璃配方的工艺性能

| 系 统 性 能 | 本工作定型配方 | | 原使用过的配方 | |
|------------|-----------|-------|------------------|-----------------------|
| | NZK | YZK | YCK ₀ | CTK ₀ (Th) |
| 规 模 | 12升 | 12升 | 12升 | 12升 |
| 加 料 温 度 | 1230℃ | 1230℃ | 1340℃ | 1370℃ |
| 澄 清 温 度 | 1250℃ | 1250℃ | 1360℃ | 1380℃ |
| 消 除 皮 子 | 0 小时 | 0 小时 | >1.5时 | >1 时 |
| 析 晶 上 限 | 970℃ | 930℃ | 1050℃ | 890℃ |
| 出 炉 温 度 | 980℃ | 940℃ | 1030℃ | 910℃ |
| 浇 注 温 度 | 930℃ | 900℃ | 980℃ | 860℃ |
| 浇 注 粘 度 | 1g2,8 (泊) | — | 1g1.8(泊) | — |

表8 各系统LaK₃玻璃配方性能比较

| 玻 璃 性 能 | | 本 工 作 | | 国内LaK ₃ 或相当LaK ₃ 产品 | | |
|---------------------|---|--------------------------|-----------|---|----------------------|-----------------------|
| | | NZK | YZK | YCK ₀ | CTK ₀ (苏) | LaK ₂₈ (德) |
| 光 学 性 质 | N_D | 1.747033 | 1.7473 | 1.7468 | 1.7469 | 1.74416 |
| | $N_F - N_C$ | 0.014652 | 0.01470 | 0.01468 | 0.01464 | 0.014659 |
| | v_d | 50.99 | — | — | — | 50.77 |
| | $\Delta P_{F..}$ | -0.0025 | — | — | — | -0.0025 |
| | $\Delta P_{g..F}$ | -0.0087 | — | — | — | -0.0086 |
| | $T\%$ 4000Å | 85.0 | 84.0 | 76.0 | 78.0 | 97.2内透过 |
| | 光吸收% | 0.84~0.80 | 0.60~0.80 | 1.39~2 | 0.99~1.70 | — |
| 质 | $\left[\frac{dN}{dT}\right]_{\text{相对}} \times 10^3 / ^\circ\text{C}$ | 8.18 6328Å 20~120℃ | — | — | — | 5.5 C' 20~40℃ |
| | $d(g/cm^3)$ | 4.18 | 4.12 | 4.11 | — | 4.09 |
| 物 化 性 能 | $\alpha \times 10^7 / ^\circ\text{C}$ | 50(-60~20℃) | — | — | — | 57(-30~70℃) |
| | $\alpha \times 10^7 / ^\circ\text{C}$ | 53(20-120℃) | — | — | — | 68(20-300℃) |
| | $\alpha \times 10^7 / ^\circ\text{C}$ | 64(0~500℃) | — | — | — | — |
| | $Tg(^{\circ}\text{C})$ | 635 | 658 | 665 | — | 625 |
| | 耐 轮 性 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5b (德标) |
| | 耐 潮 性 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 力 学 性 质 | $H(\text{公斤/毫米}^2)$ | 719 | — | — | — |
| $G(\text{公斤/毫米}^2)$ | | 4770 | — | — | — | 4620 |
| $E(\text{公斤/毫米}^2)$ | | 12157 | — | — | — | 11920 |
| $\mu(\text{泊松比})$ | | 0.273 | — | — | — | 0.291 |

四、结 论

(1) 本工作研制成功了两种改进型的LaK₃玻璃配方。玻璃可用一般原料熔制生产，光吸收由过去的大于1.5%降为小于0.8%。其中去钇的配方兼有成本低及毒害轻的双重优

点,有重要意义。

(2) 向玻璃中引入氟化物,是研制高折射率、低色散镧冕光学玻璃的方向之一。对调整光性及降低玻璃光吸收均有利。

(3) $B_2O_3-La_2O_3-ZnO$ 多元系统中, ZnO 组成具有多种优良性质,在进一步引入氟化物基础上,可作为研制镧冕玻璃新品种的基础系统,有进一步深入研究的价值。

参 考 文 献

- [1] 干福熹; 硅酸盐学报, 1978, 6, No.2, 40.
- [2] 刘颂豪; 光学材料论文集, 1964, 41, 国防工业出版社.
- [3] 上海新沪厂; 光学玻璃专辑, 1971, 3, 18.
- [4] 沈字619部队; 光学玻璃专辑, 1971, 3, 30.
- [5] 北京603厂; 光学玻璃专辑, 1971, 3, 41.
- [6] 沈字619部队; 全国光学玻璃经验交流会资料汇编, 1972, 71.
- [7] 林祖纘, 俞慧君; 硅酸盐学报, 1964, 3, No. 3, 8.
- [8] 林祖纘, 俞慧君; 硅酸盐学报, 1964, 4, No. 1, 2.
- [9] 干福熹; 中国科学, 1974, 4, 351.
- [10] S. Kumar, C. Glass and Cer. Reseur. Inst. Bulletin, 1959, 6 No.3, 98.
- [11] 程继健, 余丽纹; 硅酸盐学报, 1962, 1, No. 1, 30.
- [12] L.F.Olufied, R.O.Wright; Glass Technology, 1962, 3, No.2, 59.
- [13] J.A.Topping, M.K.Morthy, J.Am.Cer.Soc., 1973, 56, 270.
- [14] E.M.Levin; Phys.Chem.Glass.1966, 7, 90.
- [15] USP; 4128432, 1978.
- [16] GBP; 1531849, 1979.
- [17] J₇₈-04329; 1978.
- [18] DT; 2633946, 1979.