

无色光学玻璃

1 光学玻璃牌号分类和命名

1.1 光学玻璃牌号分类

根据折射率 n_d 和色散系数 ν_d 在 $n_d-\nu_d$ 领域图中的位置和玻璃组成，无色光学玻璃按表 1 分为 16 类。

表 1

玻璃类别名称	代 号	玻璃类别名称	代 号
氟冕玻璃	FK	轻火石玻璃	QF
轻冕玻璃	QK	火石玻璃	F
冕玻璃	K	钡火石玻璃	BaF
磷冕玻璃	PK	重钡火石玻璃	ZBaF
钡冕玻璃	BaK	重火石玻璃	ZF
重冕玻璃	ZK	镧火石玻璃	LaF
镧冕玻璃	LaK	重镧火石玻璃	ZLaF
冕火石玻璃	KF	特种火石玻璃	TF

1.2 光学玻璃牌号命名

每种光学玻璃牌号按其所属的玻璃类别名称的代号再加序号组成。此外，还用六位数字作代码来表征每一个牌号，其中前三位数字表示该牌号玻璃折射率小数点后三位数，后三位数字表示该牌号玻璃阿贝数。例如：H-K9L, $n_d=1.51680$, $\nu_d=64.20$, 其代码为 517642。

1.3 无铅、砷、镭玻璃牌号的命名

无铅、砷、镭以及其它放射性元素的玻璃牌号，用“环”字汉语拼音字母的声母“H”加“-”作为前缀表示。例如：H-K9L。

1.4 低软化点玻璃牌号的命名

用于模压成型的低软化点无铅、砷、镭以及其它放射性元素的玻璃牌号，用“低”字汉

语拼音字母的声母“D”加“-”作为前缀表示。例如：D-K9L。

1.5 高透过玻璃牌号的命名

紫外高透过玻璃牌号,按原有的习惯命名,用“ultraviolet”单词的首字母“U”作为前缀表示;例如:UQF50。高透过玻璃是在牌号序号后加“High Transmittance”单词的首字母“HT”表示;例如:ZF7LHT。

2 光学性能

2.1 折射率

每个牌号的光学玻璃均按表2所列的12条光谱线给出5位小数的折射率,这些谱线折射率的精密测量按GB/T 7962.11测试方法进行,其测量精度为 $\pm 3 \times 10^{-6}$ 。

表 2

光谱线	元素	波长 (nm)	光谱线	元素	波长 (nm)
汞紫外线 i	Hg	365.01	氦黄线 d	He	587.56
汞紫线 h	Hg	404.66	钠黄线 D	Na	589.29
汞蓝线 g	Hg	435.84	氦氖激光线	He-Ne	632.80
镉蓝线 F'	Cd	479.99	镉红线 C'	Cd	643.85
氢蓝线 F	H	486.13	氢红线 C	H	656.27
汞绿线 e	Hg	546.07	氦红线 r	He	706.52

2.2 色散和阿贝数

中部色散为 $n_F - n_C$ 或 $n_{F'} - n_{C'}$ 。

色散系数(即阿贝数) ν_d 定义如下:

$$\nu_d = (n_d - 1) / (n_F - n_C) \dots\dots\dots (1)$$

还列出 ν_e 为

$$\nu_e = (n_e - 1) / (n_{F'} - n_{C'}) \dots\dots\dots (2)$$

2.3 色散公式

在 365~706.5nm 光谱范围内,如果还需知道另外一些波长的折射率,可由下列色散公式算出:

$$n^2 = A_0 + A_1 \lambda^{-2} + A_2 \lambda^{-4} + A_3 \lambda^{-6} + A_4 \lambda^{-8} + A_5 \lambda^{-10} \dots\dots\dots (3)$$

式中: $A_0 \sim A_5$ —计算常数(随玻璃牌号而变,分别列入各牌号性能数据表中);

λ —波长, μm ;

n —所求折射率, n 计算精度:在 400nm~706.5nm 范围内为 $\pm 3 \times 10^{-6}$;在 365nm~400nm 范围内为 $\pm 5 \times 10^{-6}$ 。

2.4 相对部分色散

对波长 X 和 Y 的相对部分色散 $P_{X,Y}$ 用下式表示:

$$P_{X,Y} = (n_X - n_Y) / (n_F - n_C)$$
$$P'_{X,Y} = (n_X - n_Y) / (n_{F'} - n_{C'}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

数据表中按牌号给出了 $P_{d,C}$ 、 $P_{e,d}$ 、 $P_{g,F}$ 和 $P'_{d,C'}$ 、 $P'_{e,d'}$ 、 $P'_{g,F'}$ 值。

根据阿贝公式, 对于大多数所谓“正常玻璃”而言, 如下的线性关系是成立的:

$$P_{X,Y} = m_{X,Y} v_d + b_{X,Y} \quad \dots\dots\dots (5)$$

这种直线关系以 $P_{X,Y}$ 为纵坐标, v_d 为横坐标来表示的。式中 $m_{X,Y}$ 为斜率, $b_{X,Y}$ 为截距。众所周知, 二级光谱的校正, 即对两个以上波长消色差, 至少需要用一种不符合公式(5)的玻璃(即其 $P_{X,Y}$ 值偏离阿贝经验公式)。其偏离值用 $\Delta P_{X,Y}$ 表示, 则每个 $P_{X,Y} - v_d$ 点相对于符合公式(5)的“正常线”平移了 $\Delta P_{X,Y}$ 量。这样, 各种玻璃牌号的 $\Delta P_{X,Y}$ 数值可用下式求出:

$$P_{X,Y} = m_{X,Y} v_d + b_{X,Y} + \Delta P_{X,Y} \quad \dots\dots\dots (6)$$

因此 $\Delta P_{X,Y}$ 就定量地表示了与“正常玻璃”相比时的特殊色散的偏离特性。

我们选 H-K6 和 F4 作为“正常玻璃”, H-K6 和 F4 相对部分色散和阿贝数符合阿贝公式(5)。

数据表中按牌号给出了 $\Delta P_{g,F}$ 、 $\Delta P_{F,e}$ 。它们的计算公式如下:

$$\Delta P_{F,e} = P_{F,e} - 0.4894 + 0.000541 v_d$$
$$\Delta P_{g,F} = P_{g,F} - 0.6457 + 0.001703 v_d \quad \dots\dots\dots (7)$$

2.5 应力光学系数 B

玻璃中的机械应力会导致光产生双折射。应力光学系数表示有效应力与应力双折射产生的光程差之间的关系:

$$\delta = B \cdot d \cdot F \quad \dots\dots\dots (8)$$

- 式中: δ —光程差, nm;
B—应力光学系数, /Pa;
d—光在玻璃中通过的路程, cm;
F—施压应力, Pa。

2.6 内透射比 τ

内透射比为不包含试样表面反射损失时的透射比。按 GB/T 7962.12 规定的方法测量。数据表中给出了各种牌号玻璃 5mm、10mm 厚的不同波长内透射比值。

2.7 着色度 (λ_{80}/λ_5)

光学玻璃透射光谱特性用着色度 (λ_{80}/λ_5) 表示, 按以下方法确定: 样品厚度 10mm \pm 0.1mm, λ_{80} 是玻璃透射比达到 80% 时对应的波长, λ_5 是玻璃透射比达到 5% 时对应的波长。并以 10nm 为单位表示。例如: 玻璃透射比达到 80% 时对应的波长为 368nm, 玻璃透射比达到 5% 时对应的波长为 313nm, 着色度 λ_{80}/λ_5 为 37/31, 见图 1。

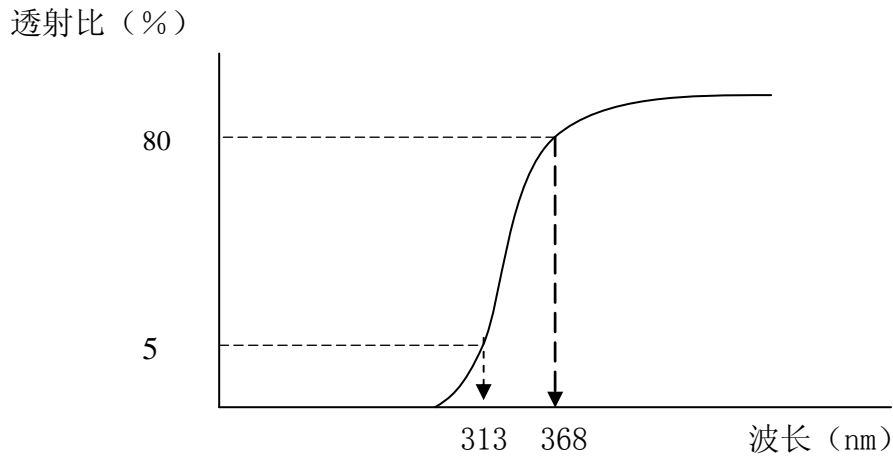


图 1

3 化学性能

光学玻璃元件在制造和使用过程中，其抛光表面抵抗各种侵蚀性介质作用的能力称为光学玻璃的化学稳定性。

3.1 抗潮湿大气作用稳定性 RC (S) (表面法)

根据对潮湿大气作用的稳定性，分为三级：

- 1 级— 在温度 50℃，相对湿度 80% 的条件下，玻璃抛光表面形成水解斑点的时间超过 20h；
- 2 级— 在相同试验条件下，形成水解斑点的时间在 5h~20h 之间；
- 3 级— 在相同试验条件下，形成水解斑点的时间不到 5h。

3.2 抗酸作用稳定性 RA (S) (表面法)

根据对酸溶液作用的稳定性，分为三级：

- 1— 在 0.1N、温度 50℃ 的醋酸溶液作用下，玻璃抛光表面的破坏深度达 135nm 的时间超过 5h；
- 2— 在相同试验条件下，破坏深度达 135nm 的时间在 1h~5h；
- 3— 在相同试验条件下，破坏深度达 135nm 的时间不到 1h。

3.3 耐水作用稳定性 Dw(粉末法)

按 GB/T 17129 的测试方法，根据下式计算：

$$D_w = \frac{B-C}{B-A} \times 100 \quad \dots\dots\dots(9)$$

- 式中：Dw —— 玻璃浸出百分数，%；
- B —— 过滤器和试样的质量，g；
- C —— 过滤器和浸出后试样的质量，g；
- A —— 过滤器质量，g。

由计算得出的浸出百分数，将光学玻璃耐水作用稳定性 D_w 分为 6 类，见表 3。

表 3

类 别	1	2	3	4	5	6
浸出百分数 (D_w)	<0.04	0.04~0.10	>0.10~0.25	>0.25~0.60	>0.60~1.10	>1.10

3.4 耐酸作用稳定性 D_A (粉末法)

按 GB/T 17129 的测试方法，根据下式计算：

$$D_A = \frac{B-C}{B-A} \times 100 \quad \dots\dots\dots (10)$$

- 式中： D_A —— 玻璃浸出百分数，%；
 B —— 过滤器和试样的质量，g；
 C —— 过滤器和浸出后试样的质量，g；
 A —— 过滤器质量，g。

由计算得出的浸出百分数，将光学玻璃耐酸作用稳定性 D_A 分为 6 类，见表 4。

表 4

类 别	1	2	3	4	5	6
浸出百分数 (D_A)	<0.20	0.20~0.35	>0.35~0.65	>0.65~1.20	>1.20~2.20	>2.20

4 热学性能

4.1 热膨胀系数 α

光学玻璃热膨胀系数是指一定温度范围内温度升高 1℃ 时玻璃每单位长度的伸长量。

按 GB/T 7962.16 规定的方法进行测量，试验测出的是玻璃的平均热膨胀系数，见图 2。数据表中给出了 +20℃ ~ +120℃ 和 +100℃ ~ +300℃ 的平均热膨胀系数。

4.2 转变温度 T_g

光学玻璃在某一温度区间会逐渐由固态转变成可塑态。其转变温度 T_g 是指玻璃试样从室温升温至弛垂温度 T_s ，其低温区域和高温区域伸长直线部分延长相交的交点对应的温度，见图 2。按 GB/T 7962.16 规定的方法进行测量。

4.3 弛垂温度 T_s

如图 2 所示，弛垂温度 T_s 是指玻璃试样在升温过程中停止膨胀时的温度。按 GB/T 7962.16 规定的方法进行测量。

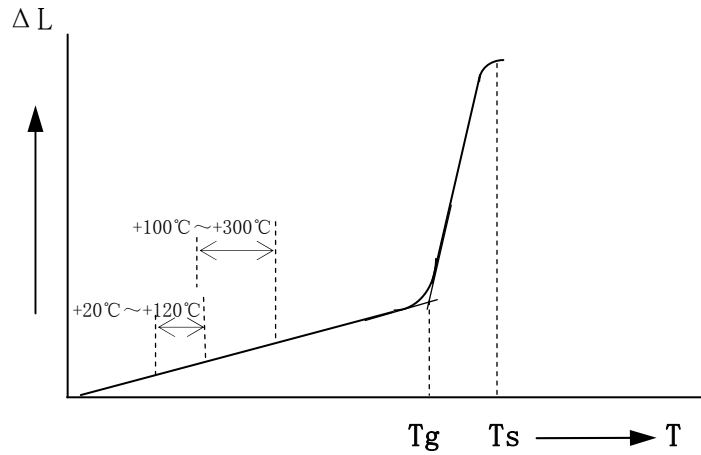


图 2

4.4 应变点 $T_{10}^{14.5}$

应变点是玻璃粘度为 $10^{14.5} \text{ d pa} \cdot \text{s}$ (或 $10^{13.5} \text{ pa} \cdot \text{s}$) 时的温度。即几小时内可消除玻璃内应力的温度。

4.5 退火点 T_{10}^{13}

退火点是玻璃粘度为 $10^{13} \text{ dpa} \cdot \text{s}$ (或 $10^{12} \text{ pa} \cdot \text{s}$) 时的温度。即几分钟内可消除玻璃内应力的温度，也即玻璃退火上限温度。

5 机械性能

5.1 杨氏模量 E 、剪切模量 G 和泊松比 μ

光学玻璃杨氏模量、剪切模量和泊松比按下列公式计算：

$$E = \frac{4G^2 - 3G \times V_l \times \rho}{G - V_l^2 \times \rho} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$G = V_s^2 \times \rho \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1 \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

- E —杨氏模量, Pa;
- G —剪切模量, Pa;
- μ —泊松比;
- V_l —纵波速度;
- V_s —横波速度;
- ρ —玻璃密度, g/cm^3 。

5.2 Knoop 硬度 H_k

Knoop 硬度按 GB/T 7962. 21 规定的测试方法测量。该方法采用对称棱角为 172° 30′ 和 130° 的四角锥金钢石压头，给其施加一定负荷垂直压在试样上，保持一定时间后，撤去负荷，用显微镜观察并测量试样上压痕长对角线的长度，按下列公式计算 Knoop 硬度：

$$H_k = F / (0. 07028 \cdot L^2) \dots\dots\dots (14)$$

式中：

- F—负荷，N；
- L—压痕长对角线的长度，m；
- H_k — Knoop 硬度，Pa。

5.3 磨耗度 F_A

磨耗度是指：将试样压紧在旋转圆盘上，边加磨料边研磨，在相同条件下，试样的磨损减少量与标准试样的磨损减少量（体积）之比，乘以 100 后所得的数值，可用公式表示如下：

$$F_A = \frac{W / \rho}{W_0 / \rho_0} \times 100 \dots\dots\dots (15)$$

式中：

- F_A：磨耗度
- W：试样的磨损减少质量，g；
- W₀：标准试样的磨损减少质量，g；
- ρ：试样的密度，g/cm³；
- ρ₀：标准试样的密度 g/cm³。

5.4 密度 ρ

光学玻璃的密度指 20℃ 以下单位体积的质量。光学玻璃的密度按 GB/T 7962. 20 规定的方法进行测量。单位以 g/cm³ 表示。

6 玻璃质量指标

6.1 折射率 n_d 和阿贝数 v_d 允许偏差

折射率 n_d 和阿贝数 v_d 与标准值的允许偏差分为 3 级，见表 5

表 5

级别	折射率允许偏差 Δ n _d	级别	阿贝数允许偏差 Δ v _d %
1	± 30 × 10 ⁻⁵	1	± 0. 5
2	± 50 × 10 ⁻⁵	2	± 0. 8
3	± 100 × 10 ⁻⁵	3	± 1. 0

注：如用户有特殊要求可按合同供货。

光学玻璃折射率和阿贝数按 GB/T 7962.1 规定的测试方法进行测量。折射率测量精度为 $\pm 3 \times 10^{-5}$ ，中部色散的测量精度为 $\pm 2 \times 10^{-5}$ 。

6.2 光学均匀性

6.2.1 尺寸小于 150mm 的玻璃毛坯

尺寸小于 150mm 的玻璃毛坯的光学均匀性按 GB/T 7962.2 规定的测试方法进行测量。该方法是根据放在平行光管光束中的玻璃试样引起该装置分辨率的变化而规定的。如果平行管给出具有理论分辨率 α_0 的象，而当玻璃试样放入后，分辨率增至 α ，那么玻璃的不均匀性可用其比值 α / α_0 来表示，分为 4 级，见表 6。

表 6

级 别	α / α_0	星 点 图 象
1	1.0	中央是一个明亮的圆斑，外面是些同心的圆环，这些圆环无断裂，尾翘、畸角及扁圆变形现象。
2	1.0	中央是一个明亮的圆斑，外面是一些变形的圆环，圆环同样无断裂，尾翘、畸角等现象。
3	1.1	----
4	1.2	----

6.2.2 尺寸大于 150mm 的玻璃毛坯

尺寸大于 150mm 的玻璃毛坯的光学均匀性以一块玻璃中各部分折射率偏差最大值 Δn_{\max} 来表示，按 GB/T 7962.4 规定的测试方法进行测量，分为 4 级，见表 7。

表 7

级 别	Δn_{\max}
H1	$\pm 2 \times 10^{-6}$
H2	$\pm 5 \times 10^{-6}$
H3	$\pm 10 \times 10^{-6}$
H4	$\pm 20 \times 10^{-6}$

6.3 应力双折射

6.3.1 中部应力

玻璃毛坯应力双折射以最长边中部单位长度上的光程差 δ 表示，按 GB/T 7962.5 规定的测试方法进行测量，分为 5 级，见表 8。

表 8

级 别	玻璃中部光程差 δ (nm/cm)
1	2
1a	4
2	6
3	10
4	40(粗退火条料) 60(粗退火板料)

6.3.2 边缘应力

玻璃毛坯应力双折射以其距边缘 5% 直径或边长处单位厚度上的最大光程差 δ_{\max} 表示，按 GB/T 7962.6 规定的测试方法进行测量，分为 5 级，见表 9。

表 9

级 别	玻璃中部光程差 δ_{\max} (nm/cm)
S1	3
S2	5
S3	10
S4	20
S5	80

6.4 条纹度

条纹用点光源和透镜组成的条纹检查仪，从最容易看见条纹的方向上，与标准试样作比较检查，分为 3 级，见表 10。

表 10

级 别	条 纹 程 度
A	无肉眼可见的条纹
B	有细而分散的条纹
C	有轻微的平行条纹

6.5 气泡度

光学玻璃气泡质量按 GB/T 7962.8 规定的测试方法进行测量，玻璃中允许气泡含量等级是由 100cm^3 玻璃中所含气泡（直径 $\phi \geq 0.05\text{mm} \sim 2\text{mm}$ ）的总截面积来确定，分为 7 级，见表 11。结石、结晶体及其它夹杂物也作气泡计算。扁长气泡取最长轴和最短轴的算术平均值为直径计算截面积。

表 11

级 别	直径 $\phi \geq 0.05\text{mm}$ 气泡总截面积 ($\text{mm}^2/100\text{cm}^3$)
A ₀₀	$\leq 0.003 \sim 0.03$
A ₀	$> 0.03 \sim 0.10$
A	$> 0.10 \sim 0.25$
B	$> 0.25 \sim 0.50$
C	$> 0.50 \sim 1.00$
D	$> 1.00 \sim 2.00$
E	$> 2.00 \sim 4.00$

6.6 光吸收系数

光吸收系数用球形光度计按 GB/T 7962.9 规定的测试方法进行测量，玻璃光吸收系数等于 1cm 光路上被玻璃吸收的白光光通量与开始进入该光路前入射光光通量之比，分为 8 级，见表 12。

表 12

级 别	光吸收系数不大于	级 别	光吸收系数不大于
00	0.001	3	0.008
0	0.002	4	0.010
1	0.004	5	0.015
2	0.006	6	0.030

7 耐辐射玻璃及其耐辐射性能

一类对 γ 射线辐射稳定（不变色）的光学玻璃，称为耐辐射玻璃。这类玻璃是在普通光学玻璃配方基础上加入少量其它氧化物熔制而成。因此它们具有对应普通光学玻璃相同的光学常数值，其牌号序号按对应普通光学玻璃牌号序号加上 500 构成，例如 K9 玻璃，其对应耐辐射玻璃牌号为 K509。

耐辐射玻璃的耐辐射性能用剂量为 10^5R (即 25.8C/kg) 的 γ 射线辐射，每厘米厚度上光密度增量 ΔD 来表示，或用等效上述剂量的 X 射线辐射后每厘米厚度上光密度增量 $\Delta D1$ 来表示，见表 13。

8 玻璃供货形式

8.1 光学玻璃块料

两大面细磨，其余四面粗磨，边、角稍倒棱，经精退火。

表 13

牌号	耐辐射性能		牌号	耐辐射性能		牌号	耐辐射性能	
	$\Delta D1$	ΔD		$\Delta D1$	ΔD		$\Delta D1$	ΔD
K502	0.035	0.035	ZK507	0.025	0.025	BaF503	0.045	0.070
K505	0.030	0.035	ZK508	0.025	0.025	BaF504	0.045	0.040
K507	0.035	0.045	ZK509	0.035	0.040	BaF506	0.065	0.060
K509	0.030	0.015	ZK510	0.025	0.020	BaF508	0.055	0.045
K510	0.060	0.060	ZK511	0.065	0.065	ZBaF501	0.055	0.060
BaK501	0.025	0.015	KF501	0.065	0.070	ZBaF502	0.090	0.200
BaK502	0.020	0.015	KF502	0.110	0.090	ZBaF503	0.055	0.065
BaK503	0.025	0.020	QF502	0.110	0.080	ZBaF504	0.200	0.200
BaK506	0.025	0.025	QF503	0.110	0.110	ZBaF505	0.200	0.200
BaK507	0.040	0.040	F502	0.080	0.070	ZF501	0.080	0.080
BaK508	0.020	0.025	F503	0.065	0.070	ZF502	0.060	0.080
ZK501	0.030	0.025	F504	0.060	0.070	ZF503	0.080	0.120
ZK503	0.025	0.025	F505	0.050	0.070	ZF504	0.120	0.200
ZK505	0.025	0.025	F506	0.060	0.070	ZF505	0.120	0.120
ZK506	0.020	0.025	BaF502	0.060	0.090	ZF506	0.080	0.120

8.2 光学玻璃条料

切断面为自然透明面，其余四面为自然成型面，经粗退火或精退火。

8.3 光学玻璃压型坯料

8.3.1 光学玻璃一次压型坯料

一次压型坯料是通过熔炼直接滴料压制成型的坯料，经精退火。

8.3.2 光学玻璃二次压型坯料

二次压型坯料是再次加工热压成型，经精退火。规格尺寸公差见表 14。

8.4 光学玻璃果形料（或称 Gobs 料）

果形料（或称 Gobs 料）是一种截面积几乎为圆形的毛坯，重量或体积按客户需要确定，未经精退火。

8.5 其它

客户提出的特殊要求的、大规格的玻璃。

表 14

单位: mm

型料的 ϕ	DP 产品		RP 产品	
	外径公差	厚度公差	外径公差	厚度公差
$\phi < 15$	± 0.10	± 0.20	± 0.10	± 0.50
$15 \leq \phi < 29$	± 0.10	± 0.20	± 0.15	± 0.35
$29 \leq \phi < 40$	± 0.15	± 0.20	± 0.20	± 0.30
$40 \leq \phi < 60$	± 0.20	± 0.20	± 0.30	± 0.30
$60 \leq \phi < 90$	± 0.30	± 0.40	± 0.35	± 0.35
$90 \leq \phi < 150$	± 0.40	± 0.40	± 0.40	± 0.40
$\phi \geq 150$	± 0.50	± 0.50	± 0.50	± 0.50

9 相互检索目录

本目录光学玻璃相互检索表中的牌号相等仅指玻璃代码构成相等，而玻璃组分 CDGM、HOYA、OHARA、SCHOTT 和 SUMITA 是不同。