

光学零件工艺手册

下 册



国防工业出版社

光学零件工艺手册

(下)

《光学零件工艺手册》编写组 编写

国防工业出版社



A 501359

内 容 简 介

本手册分为上、中、下三册。上册为光学零件的基本加工，中册为特种加工，下册为常用资料附录。

本书下册是上、中两册的附录，主要包括制造光学零件的常用材料、光学零件加工中常用的辅助材料及其制备工艺。另外，还附有球缺矢高计算、球面镜盘尺寸系列、小角求对边、光学零件重量计算等常用数表。

本手册可供光学仪器制造专业的光学工人、干部、技术人员和有关专业院校的师生参考。

光学零件工艺手册

(下)

《光学零件工艺手册》编写组 编写

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业业书刊出版业 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

787×1092 1/16 印张 19 3/8 插页 2 451 千字

1977年4月第一版 1977年4月第一次印刷 印数：0,001—5,000册

统一书号：N15034·1544 定价：3.15元

绪 言

在毛主席革命路线指引下，我国的光学工业迅速发展起来了。光学仪器已广泛地应用在国民经济的许多部门和领域。随着光学工业的日益发展，新型光学仪器的采用和光学设计技术的不断提高，对光学零件的制造，在质量和数量上都提出了愈来愈高的要求。

近年来，在无产阶级文化大革命强劲东风和大庆精神的鼓舞下，我国光学战线上的广大工人、干部和技术人员以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，高举鞍钢宪法的光辉旗帜，坚持“独立自主，自力更生”的伟大方针，在三大革命运动实践中，积累了许多宝贵经验。为适应光学工业生产发展的需要，经过调查研究，我们搜集整理了一些经验和资料，并作了一些必要的试验后，撰编成这本《光学零件工艺手册》。

本书在内容安排上，是以工艺为主，也相应地阐述了一些与工艺有关的基本知识和工艺原理。另外，还把加工过程中常用的材料、辅料和数表列为附录。

本书主要供从事光学工业的广大工人、干部、技术人员，以及有关专业院校的师生参考使用。

在本书编写过程中，得到全国许多单位和同志们们的热情帮助和大力支持，特此志谢。由于编者水平有限，书中欠妥和错误之处在所难免，希望同志们提出批评指正。

《光学零件工艺手册》编写组

一九七六年五月

目 录

| | | | |
|-------------------|----|------------------|-----|
| I、光学玻璃 | 7 | IV、光学零件胶合用胶 | 99 |
| (一) 无色光学玻璃 | 7 | 一、冷杉树脂胶 | 93 |
| 一、分类和牌号 | 12 | 二、丙烯酸 | 100 |
| 二、质量指标 | 13 | 三、环氧树脂胶 | 100 |
| 三、理化机械性能 | 15 | 四、丙烯酸 | 102 |
| 四、化学组成成分 | 15 | 五、晶体胶合用胶 | 102 |
| 五、无色光学玻璃牌号对照 | 20 | V、光学零件镀膜材料 | 105 |
| 六、无色光学玻璃大类对照 | 31 | 表V-1蚀刻材料的性能及用途 | 105 |
| (二) 耐辐射光学玻璃 | 31 | 表V-2保护材料的性能及用途 | 106 |
| 一、牌号及性能 | 31 | 表V-3填充着色材料的性能及用途 | 130 |
| 二、质量指标 | 32 | (二) 照相用辅助材料 | 131 |
| (三) 有色光学玻璃 | 33 | 表V-4感光材料的性能及用途 | 131 |
| 一、类型、牌号及性能 | 33 | 表V-5显影材料的性能及用途 | 137 |
| 二、质量指标 | 36 | 表V-6定影材料的性能及用途 | 139 |
| 三、化学稳定性 | 47 | 表V-7其他材料的性能及用途 | 141 |
| (四) 其他光学玻璃 | 48 | VI、光学零件加工通用辅助材料 | 144 |
| 一、光学石英玻璃 | 48 | (一) 清洗材料 | 144 |
| 二、三氯化二砷玻璃 | 52 | 一、酸、碱、盐及其溶液 | 144 |
| 三、窗用平板玻璃 | 52 | 二、有机溶剂 | 146 |
| 四、硬质玻璃 | 54 | (二) 擦拭材料 | 148 |
| 五、G、G-17 耐高温玻璃 | 54 | 一、脱脂擦布 | 148 |
| 六、九五灯工玻璃 | 55 | 二、脱脂棉 | 156 |
| 七、水准泡玻璃 | 55 | 三、擦拭纸 | 155 |
| 八、TQ1透气玻璃 | 56 | (三) 保护材料 | 155 |
| 九、乳白色玻璃 | 56 | 一、保护胶液 | 156 |
| II、光学晶体和光学塑料 | 68 | 二、可剥性涂料 | 156 |
| (一) 光学晶体 | 68 | 三、保护用漆及其稀释剂 | 158 |
| 一、晶体的基本性质 | 68 | (四) 包装材料 | 158 |
| 二、光学晶体的性能 | 68 | 一、包装用纸 | 158 |
| (二) 光学塑料 | 64 | 二、棉花 | 169 |
| 一、有机玻璃 | 64 | 三、丝织和绒织物 | 169 |
| 二、聚碳酸酯等光学塑料 | 67 | (五) 其他材料 | 169 |
| III、光学零件基本加工用辅助材料 | 69 | 一、水 | 169 |
| (一) 磨料 | 69 | 二、常用折射液 | 170 |
| (二) 抛光粉 | 76 | 三、基本加工常用冷却液 | 171 |
| (三) 抛光模层材料 | 82 | 四、润滑材料 | 172 |
| 一、抛光精油 | 82 | 五、环氧树脂 | 172 |
| 二、树脂 | 84 | IV、常用材料辅助制备工艺 | 185 |
| 三、纤维材料 | 88 | 一、三氧化二铁抛光粉的制备工艺 | 186 |
| 四、其他材料 | 90 | | |
| (四) 粘结材料 | 90 | | |
| (五) 制造水准泡的辅助材料 | 96 | | |

| | | | |
|--------------------------|-----|--------------------|-----|
| 二、氧化铈抛光粉的制备工艺 | 188 | 十二、脱脂剂的处理工艺 | 207 |
| 三、氟氧化铈混合稀土抛光粉的制备工艺 | 189 | 十三、脱脂抹布的处理工艺 | 208 |
| 四、氧化铈抛光粉的急冷处理工艺 | 190 | Ⅸ、光学零件重量计算 | 210 |
| 五、抛光柏油的熬制工艺 | 191 | Ⅹ、常用数表 | 216 |
| 六、胶条蜡的熬制工艺 | 191 | 一、常用材料的莫氏硬度 | 216 |
| 七、火漆的熬制工艺 | 191 | 二、优先数及优先数系 | 216 |
| 八、磨边胶的熬制工艺 | 192 | 三、小角求对边 | 218 |
| 九、甲酰胺的配制工艺 | 192 | 四、光学零件球缺矢高计算 | 220 |
| 十、化学镀膜用的材料制备工艺 | 193 | 五、球面镜盖尺寸系列 | 261 |
| 十一、真空镀膜用的薄膜材料制备工艺 | 196 | | |

I 光学玻璃

玻璃是由玻璃材料的熔体过冷却所得的一种无定形物质，由于粘度逐渐增加而具有固体的机械性质。一般无机玻璃（包括光学玻璃）的外部特征有较高的硬度、较大的脆性、对可见光具有一定的透明度并在裂开时具有蜡状的折断面。玻璃态材料具有以下物理通性：

1. 各向同性。玻璃内部任何方向所量得的物理性能（如折射率，热膨胀系数等）是同值的。
2. 从熔融状态到固体状态的性质变化过程是连续和可逆的。如玻璃的比容、比热等理化性能与温度之间的关系曲线（图 I-1）所示，在比容、比热的曲线上可以看到 ab 、 cd 、

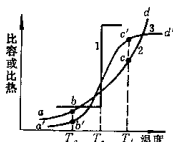


图 I-1 玻璃的比容和比热与温度的关系曲线

1—晶体；2—玻璃比容与温度；
3—玻璃比热与温度。

$a'b'$ 、 $c'd'$ 各段均近似于一直线，而 bc 、 $b'c'$ 段为一曲线。同时，由图可知， b 点和 b' 点之温度坐标相同，以温度 T_g 表示；又 c 点和 c' 点的温度坐标也相同，以温度 T_f 表示。当温度低于 T_g 时，其粘度大于 10^{15} 泊，玻璃成脆性；当温度高于 T_f 时，其粘度小于 10^9 泊，玻璃内开始出现液体状态的典型性质。 T_g 和 T_f 的温度范围即为玻璃固化温度范围，此温度范围随玻璃的不同而不同，可在几十度到几百度之间。由此可知，玻璃的物理化学性质是连续渐变的。若是晶体，如图 I-1 曲线 1 所示，当温度为 T_f 时，它的物理化学性质即产生突然的升高或降低。

3. 玻璃状态比晶体状态含有较高的内能，所以玻璃态有向晶体转变的可能。但由于玻璃在室温下的粘度很大，无限地变慢了这种转变过程。

光学玻璃一般由较复杂的化学成分所组成。玻璃的性质也就随其化学组分的不同而不同。

(一) 无色光学玻璃

常用无色光学玻璃在国家标准 (GB 903-65) 中有较详细的规定，主要适用于尺寸(直径或最大边长)不大于 150 毫米或重量不超过 3 公斤的无色光学玻璃毛坯。

| 玻璃牌号 | 折 射 率 n_D | 中 部 色 散 | | 色 散 系 数 | | 折 射 率 | | 折 射 率 增 量 $\times 10^6$ | | | 线 膨 胀 系 数 $\alpha \times 10^7$ | | 退 火 温 度 ℃ |
|-------|----------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|-----------|-----------|-------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|--|-----------------|
| | | $n_F - n_C$ $\times 10^6$ | $\frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$ | n_F | n_C | β_C | β_D | β_F | 温 度 由 -60~ +20℃ | 温 度 由 +20~ +120℃ | | | |
| QK1 | 1.47040 | 704 | 66.8 | 1.47532 ₈ | 1.46828 ₈ | -0.3 | -0.2 | | 80 | 83 | 390 | | |
| QK2 | 1.47810 | 729 | 65.6 | 1.48319 ₄ | 1.47590 ₁ | 6.2 | 6.5 | 6.9 | 33 | 35 | 610 | | |
| QK3 | 1.48740 | 696 | 70.0 | 1.49226 ₇ | 1.48530 ₇ | -1.0 | -0.9 | -0.6 | 86 | 92 | 500 | | |
| K1 | 1.49960 | 805 | 62.1 | 1.50525 ₈ | 1.49720 ₈ | 3.2 | 3.3 | 3.7 | 59 | 62 | (510) | | |
| K2 | 1.50040 | 758 | 66.0 | 1.50370 ₈ | 1.49812 ₆ | 3.2 | 3.4 | 3.7 | 58 | 65 | 600 | | |
| K3 | 1.50460 | 786 | 64.8 | 1.51002 | 1.50222 | | | | | 64 | 528 | | |
| K4 | 1.50890 | 832 | 61.0 | 1.51378 | 1.50546 | | | | | 49 | 515 | | |
| K5 | 1.51090 | 805 | 63.4 | 1.51565 ₂ | 1.50760 ₂ | 2.1 | 2.2 | 2.5 | 74 | 84 | 560 | | |
| K6 | 1.51110 | 845 | 60.5 | 1.51700 | 1.50855 | | | | | | 527 | | |
| K7 | 1.51470 | 849 | 60.6 | 1.52067 ₄ | 1.51218 ₄ | 4.1 | 4.2 | 4.6 | 65 | 71 | (560) | | |
| K8 | 1.51590 | 909 | 56.8 | 1.52234 | 1.51325 | | | | | 91 | 455 | | |
| K9 | 1.51630 | 806 | 64.1 | 1.52195 ₅ | 1.51389 ₅ | 2.6 | 2.8 | 3.3 | 72 | 76 | 560 | | |
| K10 | 1.51810 | 879 | 58.9 | 1.52428 ₄ | 1.51549 ₄ | 3.6 | 3.7 | 4.2 | 64 | 71 | (550) | | |
| K11 | 1.52630 | 875 | 60.1 | 1.53246 ₄ | 1.52371 ₄ | 3.7 | 4.0 | 4.4 | 69 | 75 | | | |
| K12 | 1.53350 | 962 | 55.5 | 1.54029 ₈ | 1.53067 ₈ | 2.9 | 3.1 | 3.7 | 81 | 94 | (550) | | |
| PK1* | 1.51900 | 743 | 69.8 | 1.52420 ₆ | 1.51677 ₆ | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 85 | 91 | | | |
| PK2* | 1.54860 | 806 | 68.1 | 1.55425 ₄ | 1.54619 ₄ | | | | 70 | 71 | | | |
| BaK1 | 1.53020 | 877 | 60.5 | 1.53837 ₈ | 1.52760 ₈ | 1.9 | 2.1 | 2.5 | 74 | 80 | 540 | | |
| BaK2 | 1.53990 | 905 | 59.7 | 1.54627 ₆ | 1.53722 ₆ | 1.6 | 1.8 | 2.2 | 74 | 84 | 550 | | |
| BaK3 | 1.54670 | 871 | 62.8 | 1.55282 ₁ | 1.54411 ₁ | 3.4 | 3.6 | 4.0 | 56 | 64 | 570 | | |
| BaK4 | 1.55210 | 872 | 63.3 | 1.55852 ₆ | 1.54980 ₂ | 2.7 | 2.8 | 3.2 | 60 | 67 | (590) | | |
| BaK5 | 1.56060 | 961 | 58.3 | 1.56737 ₆ | 1.55776 ₃ | 2.3 | 2.5 | 2.9 | 71 | 77 | (570) | | |
| BaK6 | 1.56380 | 928 | 60.8 | 1.57032 ₆ | 1.56101 ₆ | 2.9 | 3.0 | 3.4 | 59 | 61 | (610) | | |
| BaK7 | 1.56880 | 1015 | 56.0 | 1.57597 ₁ | 1.56582 ₁ | 3.7 | 3.9 | 4.4 | 65 | 74 | 570 | | |
| BaK8 | 1.57240 | 996 | 57.5 | 1.57942 ₈ | 1.56946 ₈ | 3.1 | 3.3 | 3.8 | 64 | 70 | 620 | | |
| BaK9 | 1.57440 | 1018 | 56.4 | 1.58154 | 1.57136 | | | | | 77 | 574 | | |
| ZK1 | 1.56880 | 904 | 62.9 | 1.57515 ₁ | 1.56611 ₁ | 2.8 | 2.9 | 3.1 | 58 | 65 | 600 | | |
| ZK2 | 1.58310 | 983 | 59.3 | 1.58997 | 1.58014 | | | | | 71 | 618 | | |
| ZK3 | 1.58910 | 962 | 61.2 | 1.59586 ₂ | 1.58624 ₂ | 3.3 | 3.5 | 3.8 | 54 | 60 | 550 | | |
| ZK4 | 1.60880 | 1034 | 58.9 | 1.61601 | 1.60567 | | | | | 70 | 645 | | |
| ZK5 | 1.61110 | 1095 | 55.8 | 1.61884 ₂ | 1.60789 ₂ | 2.0 | 2.1 | 2.6 | 68 | 72 | (630) | | |
| ZK6 | 1.61260 | 1050 | 58.3 | 1.61999 ₄ | 1.60949 ₆ | 2.0 | 2.1 | 2.3 | 63 | 69 | 550 | | |
| ZK7 | 1.61300 | 1012 | 60.6 | 1.62012 ₇ | 1.61000 ₇ | 2.7 | 2.9 | 3.4 | 67 | 73 | 620 | | |
| ZK8 | 1.61400 | 1114 | 55.1 | 1.62187 ₇ | 1.61073 ₇ | 3.9 | 4.0 | 4.5 | 62 | 69 | 680 | | |
| ZK9 | 1.62030 | 1029 | 60.3 | 1.62757 | 1.61728 | | | | | | | | |
| ZK10 | 1.62200 | 1097 | 56.7 | 1.62976 ₆ | 1.61876 ₆ | 2.1 | 2.3 | 2.7 | 68 | 73 | | | |
| ZK11 | 1.63840 | 1151 | 55.5 | 1.64657 | 1.63506 | | | | | | 645 | | |
| ZK12 | 1.66450 | 1217 | 54.6 | | | | | | | 93 | | | |
| LaK1* | 1.65940 | 1150 | 57.3 | 1.66750 ₄ | 1.65600 ₄ | | | | 71 | 78 | | | |
| LaK2* | 1.69200 | 1269 | 54.5 | 1.70095 ₈ | 1.68826 ₈ | | | | 78 | 86 | | | |
| LaK3* | 1.74680 | 1466 | 50.9 | 1.75715 ₇ | 1.74249 ₇ | | | | 49 | 56 | | | |

I-2

| 化学稳定性组别 | | 硝酸根 对硬度 | 比重 | 光敏收 最高 类别 | 气泡最 高级别 | 气泡类别及其能供应的最大毛坯重量 (克) | | | | | | | |
|-----------|----------|------------|------|-----------------|------------|----------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 对潮湿 大气 | 对酸 溶液 | | | | | 0~1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| A | 3 | 0.7 | 2.30 | 2 | A | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 1000 | 2000 | 3000 |
| A | 3 | 1.6 | 2.27 | 5 | D | 10 | 10 | 30 | 50 | 100 | 200 | 500 | 2000 |
| A | 2 | 0.9 | 2.46 | 2 | B | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 2000 |
| A | 1 | 1.2 | 2.50 | 4 | B | 30 | 30 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 |
| A | 1 | 1.0 | 2.38 | 3 | B | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| | | | 2.40 | 2 | B | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 1 | | 2.50 | 2 | C | 10 | 30 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 |
| | 1 | 1.0 | 2.40 | 3 | A | 100 | 300 | 500 | 700 | 1000 | 2000 | 3000 | 3000 |
| | | | 2.54 | 2 | A | 50 | 100 | 300 | 300 | 300 | 500 | 500 | 1000 |
| A | 1 | 1.0 | 2.53 | 3 | B | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| | | | 2.63 | 2 | A | 100 | 300 | 500 | 500 | 500 | 1000 | 1000 | 3000 |
| A | 1 | 1.0 | 2.52 | 1 | A | 200 | 300 | 500 | 700 | 1000 | 2000 | 2000 | 3000 |
| A | 1 | 0.8 | 2.57 | 3 | C | 30 | 30 | 50 | 100 | 200 | 500 | 2000 | 3000 |
| A | 1 | 1.0 | 2.61 | 2 | A | 100 | 300 | 500 | 500 | 500 | 1000 | 1000 | 3000 |
| B | 1 | 1.0 | 2.76 | 4 | C | 30 | 30 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 3000 |
| | | 0.4 | 2.58 | 2 | E | — | 5 | 10 | 10 | 50 | 300 | 500 | 1000 |
| | | | 2.94 | 3 | E | — | 5 | 10 | 10 | 50 | 300 | 500 | 1000 |
| A | 1 | 0.8 | 2.76 | 2 | A | 50 | 100 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 1 | 0.9 | 2.86 | 2 | A | 50 | 100 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1500 | 3000 |
| A | 2~3 | 0.8 | 2.85 | 2 | B | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 2~3 | 0.9 | 2.91 | 2 | B | 30 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 1 | 0.9 | 3.02 | 2 | B | 30 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 1 | 0.9 | 3.08 | 3 | B | 30 | 30 | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 3000 |
| A | 2~3 | 0.7 | 3.12 | 1 | B | 100 | 100 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 3000 |
| A | 1 | 0.8 | 3.20 | 2 | C | 30 | 30 | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 3000 |
| | | | 3.09 | 4 | B | 30 | 30 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 3000 |
| A | 3 | 0.8 | 3.06 | 3 | D | 10 | 10 | 50 | 100 | 500 | 700 | 1000 | 3000 |
| | | | 3.28 | 3 | D | — | 5 | 10 | 10 | 100 | 100 | 300 | 1000 |
| A | 3 | 0.9 | 3.29 | 3 | D | — | 10 | 20 | 30 | 100 | 200 | 500 | 1000 |
| | | | 3.54 | 4 | E | — | 5 | 10 | 10 | 100 | 100 | 300 | 1000 |
| A | 3 | 0.7 | 3.56 | 3 | D | 10 | 10 | 30 | 50 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 3 | 0.7 | 3.51 | 4 | E | — | 5 | 10 | 10 | 100 | 200 | 300 | 1000 |
| A | 3 | 0.7 | 3.60 | 4 | D | — | 5 | 10 | 10 | 100 | 100 | 300 | 1000 |
| A | 3 | 0.7 | 3.61 | 3 | D | 10 | 10 | 30 | 50 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| | | | | 4 | D | — | 5 | 10 | 10 | 100 | 100 | 300 | 1000 |
| A | 3 | 0.8 | 3.58 | 3 | D | — | 5 | 10 | 30 | 100 | 300 | 1000 | 3000 |
| | | | 3.69 | 4 | E | — | 5 | 30 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| B | 3 | | 4.01 | 3 | B | — | 5 | 10 | 30 | 100 | 300 | 1000 | 2000 |
| A | 3 | | 4.35 | 4 | E | — | 5 | 10 | 30 | 50 | 100 | 300 | 300 |
| A | 3 | | 4.25 | 2% | E | — | 5 | 10 | 30 | 50 | 100 | 300 | 300 |
| A | 3 | 1.6 | 2.51 | 4% | E | — | 5 | 10 | 30 | 50 | 100 | 300 | 300 |

| 玻璃牌号 | 折 射 率 | | 色散系数 | 折 射 率 | | 折射率增量 $\times 10^6$ | | | 线膨胀系数 $\alpha \times 10^7$ | | 退火温度 $^{\circ}\text{C}$ |
|--------|---------|-------------------------------------|------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------|-----------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | n_D | $\frac{n_F - n_C}{n_D} \times 10^5$ | | n_F | n_C | β | β_D | β_F | 温度由 -60°C | 温度由 $+20^{\circ}\text{C}$ | |
| KF1 | 1.50050 | 875 | 57.2 | 1.50666 ₇ | 1.49791 ₇ | 4.1 | 4.3 | 4.8 | 63 | 68 | 460 |
| KF2 | 1.51530 | 946 | 54.5 | 1.52197 ₆ | 1.51251 ₆ | 3.3 | 3.5 | 4.0 | 63 | 66 | |
| KF3 | 1.52620 | 1032 | 51.0 | 1.53350 ₆ | 1.52318 ₆ | 3.2 | 3.4 | 3.9 | 83 | 91 | (460) |
| QF1 | 1.54800 | 1195 | 45.9 | 1.55648 ₇ | 1.54453 ₇ | 2.3 | 2.6 | 3.3 | 72 | 79 | (480) |
| QF2 | 1.56080 | 1199 | 46.8 | 1.56931 ₄ | 1.55732 ₄ | 3.3 | 3.5 | 4.2 | 71 | 74 | |
| QF3 | 1.57490 | 1392 | 41.3 | 1.58481 ₅ | 1.57089 ₅ | 4.1 | 4.4 | 5.1 | 66 | 72 | 470 |
| QF4* | 1.58000 | 1526 | 38.0 | 1.59090 ₀ | 1.57564 ₃ | | | | 83 | 88 | |
| QF5 | 1.58200 | 1385 | 42.0 | 1.59189 | 1.57804 | | | | | 83 | 472 |
| F1 | 1.60310 | 1590 | 37.9 | 1.61445 ₆ | 1.59855 ₆ | 3.6 | 4.1 | 5.2 | 71 | 74 | |
| F2 | 1.61280 | 1659 | 36.9 | 1.62465 ₇ | 1.60806 ₇ | 4.9 | 5.2 | 6.1 | 71 | 74 | 440 |
| F3 | 1.61640 | 1684 | 36.6 | 1.62843 ₆ | 1.61159 ₆ | 4.6 | 4.9 | 5.8 | 74 | 76 | (430) |
| F4 | 1.61990 | 1706 | 36.3 | 1.63209 ₆ | 1.61503 ₆ | 5.0 | 5.5 | 6.5 | 71 | 74 | (440) |
| F5 | 1.62420 | 1738 | 35.9 | 1.63563 ₇ | 1.61925 ₇ | 5.0 | 5.4 | 6.6 | 74 | 75 | (450) |
| F6 | 1.62480 | 1757 | 35.6 | 1.63737 ₇ | 1.61980 ₇ | 0.7 | 1.2 | 2.3 | 95 | 101 | (440) |
| F7 | 1.63610 | 1800 | 35.4 | 1.64908 | 1.63108 | | | | | 102 | 459 |
| BaF1 | 1.54800 | 1016 | 53.9 | 1.55518 ₃ | 1.54502 ₃ | 2.7 | 2.9 | 3.4 | 71 | 74 | (540) |
| BaF2 | 1.56960 | 1152 | 49.4 | 1.57777 ₅ | 1.56825 ₅ | 2.5 | 2.8 | 3.6 | 76 | 83 | (540) |
| BaF3 | 1.57950 | 1076 | 53.9 | 1.58712 ₄ | 1.57636 ₄ | 3.9 | 4.1 | 4.7 | 68 | 75 | 560 |
| BaF4 | 1.58260 | 1254 | 46.5 | 1.59150 ₆ | 1.57896 ₆ | 2.6 | 2.9 | 3.5 | 78 | 82 | 520 |
| BaF5 | 1.60550 | 1379 | 43.9 | 1.61531 | 1.60152 | | | | | 82 | 550 |
| BaF6 | 1.60760 | 1318 | 46.1 | 1.61697 ₄ | 1.60379 ₄ | 4.6 | 5.0 | 5.9 | 69 | 73 | 520 |
| BaF7 | 1.61400 | 1534 | 40.0 | 1.62494 ₄ | 1.60960 ₄ | 4.6 | 4.9 | 5.7 | 72 | 77 | (490) |
| BaF8 | 1.62590 | 1601 | 39.1 | 1.63733 ₆ | 1.62132 ₆ | 2.7 | 3.1 | 3.9 | 83 | 87 | (460) |
| ZBaF1 | 1.62220 | 1171 | 53.1 | 1.63049 ₁ | 1.61878 ₁ | 4.3 | 4.5 | 5.0 | 64 | 70 | (610) |
| ZBaF2 | 1.63950 | 1325 | 48.3 | 1.64890 ₇ | 1.63565 ₇ | 4.3 | 4.6 | 5.3 | 51 | 61 | (500) |
| ZBaF3 | 1.65680 | 1285 | 51.1 | 1.66590 ₆ | 1.65305 ₆ | 2.3 | 3.4 | 4.0 | 74 | 81 | 620 |
| ZBaF4 | 1.66410 | 1874 | 35.4 | 1.67752 ₂ | 1.65878 ₂ | 8.1 | 8.6 | 9.9 | 60 | 66 | 455 |
| ZBaF5* | 1.67090 | 1419 | 47.3 | 1.68098 ₁ | 1.66679 ₁ | 2.2 | 2.5 | 3.1 | 78 | 84 | 600 |
| ZBaF6* | 1.69350 | 1410 | 49.2 | | | | | | | 105 | |
| ZBaF7* | 1.75350 | 2008 | 37.6 | | | | | | | 98 | |
| ZF1 | 1.64750 | 1912 | 33.9 | 1.66119 ₆ | 1.64207 ₆ | 2.9 | 3.4 | 4.5 | 83 | 87 | 440 |
| ZF2 | 1.67250 | 2087 | 32.2 | 1.68747 ₃ | 1.66660 ₂ | 5.7 | 6.2 | 7.8 | 79 | 80 | (430) |
| ZF3 | 1.71720 | 2431 | 29.5 | 1.73468 ₁ | 1.71037 ₁ | 5.8 | 6.8 | 9.1 | 78 | 82 | 420 |
| ZF4 | 1.72800 | 2570 | 28.3 | 1.74649 ₁ | 1.72079 ₁ | 4.2 | 4.9 | 7.0 | 93 | 96 | 400 |
| ZF5 | 1.73980 | 2628 | 28.2 | 1.75871 ₄ | 1.73243 ₄ | 7.0 | 7.9 | 10.1 | 80 | 82 | 420 |
| ZF6 | 1.75500 | 2743 | 27.5 | 1.77475 ₅ | 1.74732 ₅ | 7.1 | 8.0 | 10.3 | 79 | 82 | 420 |
| ZF7* | 1.80600 | 3178 | 25.4 | 1.82893 ₆ | 1.79715 ₆ | 8.7 | 9.7 | 12.8 | 81 | 83 | 410 |
| TF1 | 1.53940 | 1022 | 51.8 | 1.53662 ₅ | 1.52640 ₅ | 3.3 | 3.5 | 3.9 | 59 | 63 | 480 |
| TF2* | 1.55380 | 1140 | 48.6 | 1.56187 ₇ | 1.55047 ₇ | 2.3 | 2.6 | 3.3 | 72 | 74 | (480) |
| TF3* | 1.61230 | 1389 | 44.1 | 1.62214 ₆ | 1.60825 ₆ | 2.8 | 3.1 | 3.5 | 49 | 55 | (480) |

注：表中2%，4%，2%分别为LaK2、LaK3和QF4的最大光吸收系数。

续

| 化学稳定性组别 | | 研丽相 对硬度 | 比重 | 光吸收 最高 类别 | 气泡最 高级别 | 气泡类别及其他供应的最大毛坯重量 (克) | | | | | | | |
|-----------|----------|------------|------|-----------------|------------|----------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 对潮湿 大气 | 对酸 溶液 | | | | | 0~1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| C | 1 | 1.0 | 2.52 | 2 | B | 30 | 30 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 1 | 0.9 | 2.69 | 4 | D | 10 | 10 | 30 | 50 | 300 | 500 | 1000 | 1000 |
| C | 1 | 0.8 | 2.71 | 3 | B | 30 | 30 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 3000 |
| A | 1 | 0.9 | 2.73 | 4 | A | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 1 | 0.7 | 3.02 | 2 | A | 100 | 300 | 300 | 300 | 500 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 1 | 0.8 | 3.23 | 2 | A | 50 | 100 | 100 | 100 | 300 | 500 | 3000 | 3000 |
| A | 1 | | 2.61 | 2% | D | — | 10 | 20 | 30 | 100 | 200 | 500 | 1000 |
| | | | 3.20 | 2 | A | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 3000 | 3000 |
| A | 1 | 0.7 | 3.48 | 2 | B | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 1 | 0.5 | 3.57 | 1 | A | 100 | 300 | 500 | 500 | 700 | 1000 | 2000 | 3000 |
| A | 1 | 0.6 | 3.60 | 1 | A | 100 | 300 | 500 | 500 | 700 | 1000 | 2000 | 3000 |
| A | 1 | 0.7 | 3.63 | 2 | A | 100 | 300 | 500 | 500 | 700 | 1000 | 3000 | 3000 |
| A | 1 | 0.6 | 3.67 | 2 | A | 100 | 300 | 500 | 500 | 700 | 1000 | 3000 | 3000 |
| C | 2 | 0.7 | 3.63 | 2 | A | 200 | 200 | 300 | 500 | 1000 | 1000 | 2000 | 3000 |
| | | | 3.61 | 2 | B | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 1 | 0.8 | 2.92 | 3 | A | 100 | 200 | 300 | 300 | 500 | 700 | 2000 | 3000 |
| A | 1 | 0.6 | 3.16 | 3 | B | 50 | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 3 | 0.6 | 3.23 | 2 | B | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 1 | 0.5 | 3.28 | 2 | A | 100 | 300 | 300 | 500 | 1000 | 1000 | 3000 | 3000 |
| | | | 3.52 | 2 | B | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 1 | 0.9 | 3.47 | 2 | C | 10 | 30 | 50 | 100 | 500 | 1000 | 2000 | 3000 |
| A | 1 | 0.9 | 3.56 | 2 | B | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 2 | 0.6 | 3.67 | 3 | A | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 2000 | 3000 |
| A | 3 | 0.5 | 3.66 | 3 | D | — | 5 | 10 | 10 | 50 | 100 | 300 | 3000 |
| A | 3 | 0.6 | 3.82 | 3 | D | — | 5 | 10 | 30 | 100 | 300 | 1000 | 3000 |
| A | 3 | 0.8 | 3.98 | 4 | E | — | 5 | 30 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 1 | 0.8 | 3.96 | 2 | D | 10 | 10 | 30 | 50 | 300 | 500 | 1000 | 1000 |
| A | 3 | 0.5 | 4.02 | 3 | E | — | — | 10 | 30 | 50 | 300 | 1000 | 3000 |
| B | 3 | | 4.41 | 3 | B | — | 5 | 10 | 30 | 100 | 300 | 1000 | 2000 |
| A | 3 | | 4.45 | 4 | B | — | 5 | 10 | 30 | 100 | 300 | 1000 | 2000 |
| A | 1 | 0.5 | 3.86 | 2 | A | 100 | 200 | 300 | 300 | 700 | 1000 | 2000 | 3000 |
| A | 1 | 0.6 | 4.09 | 2 | A | 50 | 50 | 100 | 100 | 200 | 300 | 500 | 3000 |
| A | 3 | 0.5 | 4.46 | 2 | B | 50 | 70 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 3 | 0.5 | 4.52 | 2 | B | 10 | 10 | 30 | 50 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 3 | 0.6 | 4.65 | 2 | B | 50 | 70 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 3 | 0.5 | 4.77 | 3 | B | 10 | 10 | 30 | 50 | 300 | 500 | 1000 | 3000 |
| A | 3 | 0.5 | 5.19 | 3 | E | — | 5 | 10 | 50 | 100 | 100 | 300 | 1000 |
| A | 3 | 0.9 | 2.55 | 2 | B | 100 | 300 | 300 | 500 | 1000 | 1000 | 2000 | 3000 |
| A | 3 | 0.6 | 2.71 | 2 | C | 50 | 50 | 100 | 100 | 300 | 500 | 1000 | 1000 |
| — | — | 0.8 | 3.15 | 5 | C | 10 | 10 | 30 | 50 | 300 | 300 | 500 | 1000 |

一、分类和牌号

各种牌号的无色光学玻璃，按其在光学玻璃领域图中的部位进行分类（见图 I-2）。牌号的名称，是在类别代号后面加上一个编号（一般以同一类别中之折射率大小为序）而组成。

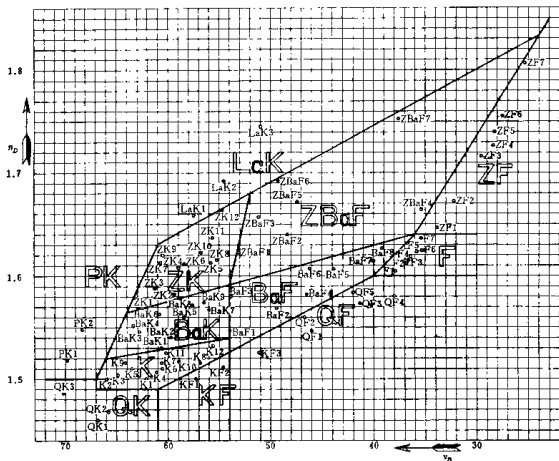


图 I-2 光学玻璃领域图

无色光学玻璃的种类见表 I-1。

表 I-1

| 玻璃名称 | 代号 | 玻璃名称 | 代号 |
|-------|-----|--------|------|
| 轻冕玻璃 | QK | 轻火石玻璃 | QF |
| 冕玻璃 | K | 火石玻璃 | F |
| 磷冕玻璃 | PK | 钡火石玻璃 | BaF |
| 钡冕玻璃 | BaK | 重钡火石玻璃 | ZBaF |
| 重冕玻璃 | ZK | 重火石玻璃 | ZF |
| 镧冕玻璃 | LaK | 特种火石玻璃 | TF |
| 冕火石玻璃 | KF | | |

无色光学玻璃的性能指标及技术规范见表 I-2。

二、质量指标

无色光学玻璃按下列各项质量指标分类和分级：

表 I-3

| 类别 | 允许差值 | |
|----|-------------------------|-------------------------|
| | 折射率 | 中部色散 |
| 1 | $\pm 5 \times 10^{-4}$ | $\pm 5 \times 10^{-5}$ |
| 2 | $\pm 7 \times 10^{-4}$ | $\pm 7 \times 10^{-5}$ |
| 3 | $\pm 10 \times 10^{-4}$ | $\pm 10 \times 10^{-5}$ |

折射率、中部色散与标准数值的允许差值，同
一批玻璃中折射率和中部色散的一致性，光学均匀
性，应力双折射，光吸收系数，条纹度，气泡度。

1. 根据折射率和中部色散与标准数值的允许
差值，光学玻璃分为三类见表 I-3。

2. 根据同一批玻璃中折射率和中部色散的一
致性，光学玻璃可分为四级见表 I-4。

表 I-4

| 级别 | 同一批毛坯中的最大差值 | |
|----|----------------------|--------------------|
| | 折 射 率 | 中 部 色 散 |
| A | 0.5×10^{-4} | 1×10^{-5} |
| B | 1×10^{-4} | |
| C | 2×10^{-4} | |
| D | 折射率在所定类别的允许差值范围内 | |

注：所有毛坯的折射率和中部色散应符合该批玻璃按表 I-3 所规定的类别。

3. 光学均匀性按比值 φ/φ_0 分为五类见表 I-5，其中 φ_0 为计算所得之理论分辨角， φ 为玻璃毛坯实际测量之最小分辨角。理论分辨角 φ_0 等于 $120''/D$ (圆孔衍射) 或 $115''/D$ (矩形衍射)，式中 D 为玻璃毛坯的直径 (圆形毛坯) 或边长 (矩形毛坯用以计算 φ_0 的边)。

表 I-5

| 类别 | φ/φ_0 的最大比值 |
|-------|---------------------------|
| 1 和 2 | 1.0 |
| 3 | 1.1 |
| 4 | 1.2 |
| 5 | 1.5 |

光学均匀性要求为一类的玻璃尚需满足以下附加要求：通过玻璃毛坯观察平行光管中的星点，其绕射图象应该是一个明亮的圆点，外面有些同心的圆环，但不应出现断裂、生尾翅、畸角及扁圆变形等现象。

4. 应力双折射用最大光程差表示，以毛坯光程差最大方向之最大部位[●]的测量值为准，玻璃毛坯根据应力双折射的大小分为五类见表 I-6。

5. 光吸收系数按照白光通过玻璃中每厘米路程被吸收的光通量与起始光通量的百分比计算，分为五类见表 I-7。

● 在玻璃毛坯应力不均称分布的情况下，光程差的最大部位，可根据使用要求，限制在既定的尺寸范围之内。

表 I-6

| 类别 | 最大光程差 (微米/厘米) |
|----|---------------|
| 1 | 2 |
| 2 | 6 |
| 3 | 10 |
| 4 | 20 |
| 5 | 50 |

注：光程差以通过毛坯最大方向中部的测量数值为准。●

6. 条纹度规定为二类三级：

1) 在条纹仪上，按规定方向观察玻璃毛坯，根据条纹在投影屏上的影像情况，玻璃毛坯分为二类见表 I-8。

表 I-8

| 类别 | 发光点直径 (毫米) | 毛坯与投影屏间的距离 (毫米) | 发光点与投影屏间的距离 (毫米) | 观 察 结 果 |
|----|------------|-----------------|------------------|---------------------------|
| 1 | 2 | 500● | 750 | 在屏上不应发现任何条纹影像 |
| 2 | 4 | 500 | 750 | 在屏上发现个别条纹影像，但彼此相距不得小于10毫米 |

注：长度不超过12毫米的短小条纹，每公斤玻璃中不得超过10条。

2) 根据规定观察毛坯的方向数，条纹度分为三级见表 I-9。

表 I-9

| 级 别 | 观 察 毛 坯 的 方 向 数 |
|-----|-----------------|
| A | 3 |
| B | 2 |
| C | 1 |

7. 气泡度规定为九类五级

1) 根据玻璃毛坯中最大气泡允许的直径，气泡度分为九类见表 I-10。

表 I-10

| 类 别 | 毛坯中最大气泡的直径 (毫米) | 类 别 | 毛坯中最大气泡的直径 (毫米) |
|-----|-----------------|-----|-----------------|
| 0 | 不允许有气泡 | 5 | 0.5 |
| 1 | 0.05 | 6 | 0.7 |
| 2 | 0.1 | 7 | 1.0 |
| 3 | 0.2 | 8 | 2.0 |
| 4 | 0.3 | | |

注：扁长气泡取其最长轴和最短轴的算术平均值为直径。

● 这是国标 (GB 903-65) 中的注释，这种提法其缺点是：一则不够明确，是毛坯光程差最大方向，还是毛坯尺寸最大方向；若理解为后者，则不一定所有玻璃毛坯的应力双折射之严重现象都是在毛坯尺寸最大方向上；二则中部的测量数值不能完全反映整个玻璃毛坯应力双折射之最严重情况，尤其在用应力不均称分布的玻璃制造玻璃时，整个毛坯 (中部及边角部位) 都可能在使用尺寸范围之内。故本文建议以毛坯光程差最大方向之最大部位的测量值为准。

● 根据实际情况，也可将此数据改为 250 毫米。

2) 气泡度要求 1~8 类的玻璃, 按每公斤中直径大于 0.03 毫米的气泡平均数分为五级 (见表 I-11), 结石、结晶体和条纹的结点亦作气泡论。

表 I-11

| 级 | 别 | 一公斤玻璃中直径大于 0.03 毫米的气泡平均数不多于 (个) |
|---|---|---------------------------------|
| A | | 10 |
| B | | 30 |
| C | | 100 |
| D | | 300 |
| E | | 700 |

注: 1~8 类玻璃中直径等于 0.03 毫米或小于 0.03 毫米的气泡数量不超过相应各级中规定的气泡数量●。

三、理化和机械性能

1. 折射率增量: 温度每增高 1°C, 折射率 n_D 、 n_F 的增长值 β_C 、 β_D 、 β_F (-60~+20°C 温度范围内的平均值), 见表 I-2。

2. 线膨胀系数: 玻璃试样温度升高 1°C 其长度的相对变化。表 I-2 中所列的线膨胀系数 α , 分别取 -60~+20°C 和 +20~+120°C 温度范围内的平均值。

3. 退火温度: 玻璃粘度等于 10^{14} 泊时的温度, 见表 I-2。

4. 化学稳定性:

1) 对潮湿大气作用的稳定性: 在温度为 50°C, 相对湿度为 85% 的条件下, 根据硅酸盐玻璃抛光表面形成水解斑点的时间长短分为三级见表 I-12。

表 I-12

| 级 | 别 | 玻璃抛光表面形成水解斑点的时间 (小时) |
|---|---|----------------------|
| A | | 超过 20 |
| B | | 5~20 |
| C | | 不到 5 |

2) 对酸溶液作用的稳定性: 在温度为 50°C 的 0.1N 醋酸溶液作用下, 按照硅酸盐玻璃抛光表面的破坏深度达 135 毫微米的时间长短分为三级见表 I-13。

表 I-13

| 级 | 别 | 玻璃抛光表面的破坏深度达 135 毫微米的时间 (小时) |
|---|---|------------------------------|
| 1 | | 超过 5 |
| 2 | | 1~5 |
| 3 | | 不到 1 |

5. 硬度: K9 玻璃的显微硬度为 572~824 公斤/毫米²。其他玻璃的硬度以研磨相对硬度表示。表 I-2 中的研磨相对硬度是在同样的研磨条件下, K9 玻璃磨掉的体积和该种玻璃磨掉体积之比。

6. 比重: 见表 I-2。

7. 强度:

1) 抗拉强度一般为 3~8.5 公斤/毫米²。

2) 抗压强度一般为 50~200 公斤/毫米²。

8. 弹性: 玻璃的弹性系数一般为 4800~8300 公斤/毫米²。

四、化学组成成分

- 国标 (GB 903-65) 中, 此注释不够明确, 对小于 0.03 毫米的气泡直径数值之鉴定标准, 也没有规定下限 (即小到多少为止), 故此项检验应根据设计要求具体商定。

无色光学玻璃的化学组分之参考数据见表 I-14。

表

| 玻璃牌号 | 化 学 | | | | | | | | | |
|------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------|------------------|-------------------|------------------|---|--------------------------------|------|
| | SiO ₂ | B ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | KHF ₂ | (NH ₄) ₂ SO ₄ | As ₂ O ₃ | NaCl |
| QK1 | 52.00 | 18.80 | 7.80 | — | 6.80 | — | 14.40 | — | 0.20 | — |
| QK2 | 80.09 | 12.40 | 1.48 | 0.51 | — | 5.02 | — | 0.50 | 0.50 | 1.00 |
| QK3 | 58.88 | 13.61 | — | — | 1.27 | — | 23.04 | — | 0.20 | — |
| K1 | 72.00 | 6.08 | 1.00 | — | 9.32 | — | 4.72 | — | 0.50 | — |
| K2 | 64.06 | 15.59 | 4.59 | — | 13.15 | 2.01 | — | — | 0.25 | — |
| K3 | 61.20 | 21.20 | — | — | 13.00 | 1.30 | — | — | 0.30 | 1.00 |
| K4 | 63.70 | 10.00 | 4.00 | — | — | 7.80 | — | — | 1.00 | — |
| K5 | 71.53 | 7.43 | — | 0.44 | 11.22 | 7.64 | — | — | 0.20 | — |
| | 70.60 | 7.30 | — | — | 14.50 | 5.30 | — | — | 0.30 | — |
| K6 | 68.90 | 3.20 | — | — | 14.30 | 6.00 | — | — | 0.40 | — |
| K7 | 69.29 | 8.10 | 2.45 | — | 3.45 | 10.92 | — | — | 0.38 | — |
| | 70.70 | — | — | — | 19.00 | 0.50 | — | — | 0.30 | — |
| K8 | 68.70 | — | 2.00 | — | — | 17.00 | — | — | 0.30 | — |
| K9 | 69.13 | 10.75 | — | — | 6.29 | 10.40 | — | — | 0.36 | — |
| | 69.80 | 10.00 | — | — | 8.50 | 8.90 | — | — | — | — |
| | 69.50 | 10.30 | — | — | 8.50 | 8.90 | — | — | 0.30 | — |
| K10 | 68.42 | 7.80 | 2.40 | — | 3.43 | 10.79 | — | — | 0.38 | — |
| | 69.20 | 2.00 | — | — | 11.00 | 8.00 | 1.00 | — | — | — |
| K11 | 64.01 | 5.57 | — | — | 12.60 | 2.59 | — | — | 0.42 | — |
| K12 | 59.38 | — | — | — | 12.04 | 6.52 | — | — | 0.30 | — |
| PK1 | — | 4.04 | 9.09 | 4.04 | 10.71 | — | — | — | — | — |
| PK2 | — | 2.91 | 8.37 | — | — | — | — | — | 0.50 | — |
| BaK1 | 52.99 | 3.22 | — | — | 10.07 | 3.00 | — | — | 0.50 | — |
| BaK2 | 59.36 | 3.06 | — | — | 9.86 | 2.95 | — | — | 0.50 | — |
| | 59.00 | 3.00 | — | — | 10.00 | 3.00 | — | — | 0.30 | — |
| BaK3 | 53.12 | 14.84 | — | — | 5.56 | 2.35 | — | — | 0.50 | — |
| BaK4 | 52.59 | 13.84 | 0.80 | — | 5.08 | 2.59 | — | — | 0.30 | — |
| BaK5 | 52.54 | 4.49 | 0.50 | — | 7.58 | 2.00 | — | — | 0.40 | — |
| BaK6 | 48.44 | 10.45 | 1.98 | — | 5.39 | — | — | — | 0.18 | — |
| | 49.50 | 9.00 | 2.50 | — | 5.00 | 1.50 | — | — | 1.00 | — |
| BaK7 | 49.80 | 4.91 | — | — | 7.09 | 1.26 | — | — | 0.50 | — |
| | 50.30 | 5.90 | — | — | 4.00 | 5.00 | — | — | 1.00 | — |
| BaK8 | 50.35 | 4.32 | — | — | 5.65 | — | — | — | 0.12 | — |
| | 48.00 | 3.70 | 1.00 | — | 7.50 | 1.00 | — | — | 0.50 | — |
| BaK9 | 50.60 | 7.00 | — | — | 4.50 | 4.00 | — | — | 0.70 | — |
| ZK1 | 43.44 | 18.54 | 1.00 | — | 4.01 | 1.50 | — | — | 0.30 | — |
| ZK2 | 43.50 | 9.00 | 3.00 | — | 3.70 | 0.30 | — | — | 0.50 | — |
| ZK3 | 36.90 | 17.60 | 4.24 | — | — | — | — | — | 0.60 | — |
| | 38.90 | 14.50 | 5.00 | — | — | — | — | — | 0.50 | — |
| | 38.50 | 14.90 | 5.00 | — | — | — | — | — | 1.00 | — |
| ZK4 | 35.50 | 12.00 | 4.50 | — | — | 0.50 | — | — | 1.00 | — |
| | 34.80 | 12.00 | 5.50 | — | — | — | — | — | 1.00 | — |