

猫眼光和星光成因之若干问题的探讨

罗谷风

(南京大学地球科学系, 南京 210093)

猫眼光和星光是宝石中的一类特殊光学现象。众所周知, 它们是由于在切磨成弧面型的宝石中, 平行于底面赋存有一组或多组平行密集排布的细小针状包裹体对入射光发生反射所引起的。当只有一组这样的包裹体时, 只在与包裹体伸长方向相垂直的一个方向上产生一条直线状的反射光带, 即猫眼光 (Catoyancy)。若同时存在 n 组这样的包裹体时, 则相应出现 n 条光带, 它们交于一点而呈现从中心向外放射的 $2n$ 条星芒, 即 $2n$ 射星光 (asterism)。

猫眼宝石一般切磨成椭圆形的弧面琢型, 长轴垂直于针状包裹体的伸长方向, 如图 1- A。图 1- B 是当由正上方照明时其横切面上的光路示意图。由图可见, 在弧顶处被包裹体反射的光线将循原路折返。但随着离开弧顶位置, 光的入射角递增, 在入射光进入宝石并经浅层包裹体反射后又透出宝石的过程中, 两次通过界面时, 光路都将向弧顶中心方向偏折, 且光线透出界面的该点距弧顶越远, 其偏折角亦越大, 直至因超过临界角被全反射而不能透出宝石。这样, 当位于弧顶正上方观察时, 接收到的是反射光 1, 宝石表层被它们所照亮的部位则形成一条沿弧顶正中平行于长轴方向连续分布的细窄亮带 (图 1- A), 即猫眼光的所谓“眼线”。当视点向右移动时, 接收到的反射光依次变为 2, 然后 3。由于它们出射点位置的变化, 因而使所见亮线相应逐渐左移。这就是眼线会发生逆向游动的原因。同理, 若视点不动而入射光源向一侧偏斜时, 亦会产生相同的效应 (图 1- C)。由此还可知, 当有几个光源以不同角度投射时, 便会产生同样数目且呈平行排布的眼线。因此, 猫眼光中光带的数目纯由外因所决定, 而不是反映其好坏的标志。

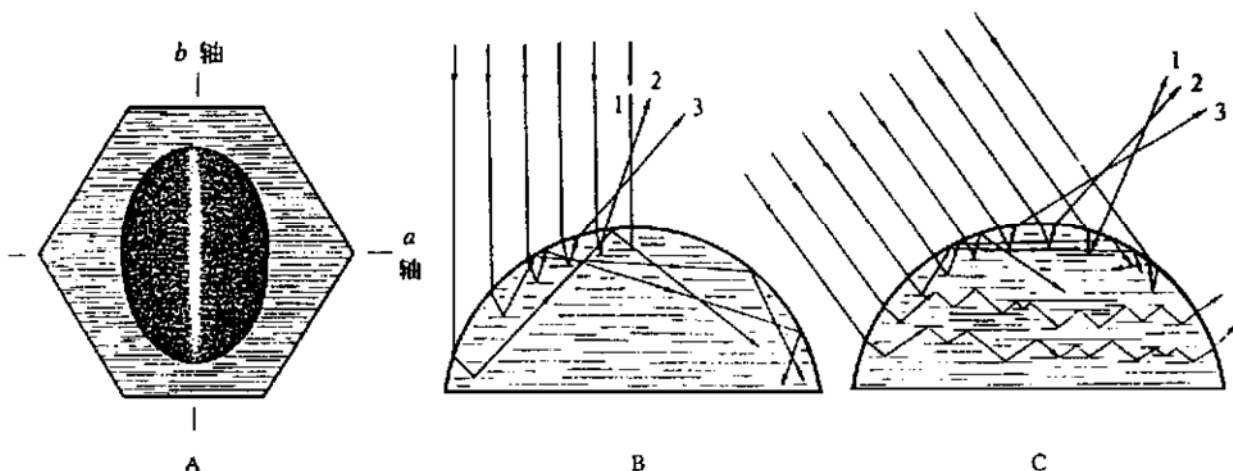


图 1 猫眼石的测试示意图

A- 金绿宝石猫眼中的一组平行包裹体及其所产生的“眼线”在晶体中的取向关系; B、C- 产生猫眼光的示意图; B 只画出了对称光路的左侧一半

此外, 在侧射光照射下, 猫眼宝石以眼线为界, 在其迎光的一侧反而较暗而表现为本身

的体色, 而背光的一侧则显著带有一种明亮而柔和的乳白色调。这是由于投射到宝石侧下部位的入射光在穿过界面并被浅层包裹体反射后, 虽因超过全反射临界角而不能直接透出表面, 但在宝石内部密集分布的细小针状包裹体之间可以反复地被多次反射, 最终除部分被吸收外, 其余可在背光一侧分散透出宝石 (图 1- C 下部), 并达到相当于漫反射的效果, 从而使宝石该侧呈现出明亮而如同蛋白光 (Opalescence, 即乳光) 般的朦胧柔和的乳白色调。因此从本质上讲, 这一现象主要是因两侧亮度上的反差所致, 而并非颜色上的不同。

决定宝石得以产生猫眼光的那些平行排布的针状包裹体, 之所以会在宝石中作确定的取向排布, 其根源在于两者的结构间有着某种共同之处。例如金红石晶体的 $[001]/(100)$ 当与金绿宝石晶体的 $[100]/(001)$ (按另一种晶体定向则为 $[001]/(100)$) 平行取向时, 两者结构面上的氧离子排布便达到基本对应吻合, 从而彼此可以形成面衍生 (epitaxy), 亦即金红石以其 $\{100\}$ 面与金绿宝石的 $\{001\}$ 面连生, 且前者的 $[001]$ 与后者的 $[100]$ 平行, 以此保持两者在连生面上的结构一致性。事实上, 含 Ti 的金绿宝石固溶体在发生出溶时, 为了降低界面能, 作为出溶相的金红石细小针状包裹体正是以此种方式在金绿宝石主晶中成平行密集的取向分布的。

星光的形成机理本质上与猫眼光完全相同, 星光实际上只是不同取向的多重猫眼光的叠加。因此, 星光的出现意味着在宝石中必定赋存有不只一组的包裹体。这种多组包裹体以不同取向共存的现象可区分为两类情况:

(1) 由同种晶体构成的一系列包裹体在取向上分为几组而按一定对称形式排布, 其具体关系取决于主晶的对称特点。刚玉 (0001) 面内互成 60° 交角而成三次对称分布的三组针状金红石包裹体就是最常见的此类例子。故刚玉质宝石常见六射星光。与金绿宝石一样, 刚玉中金红石包裹体的规则取向连生亦属面衍生。基于连生面上结构相互匹配的要求, 三组金红石的 c 轴总是分别垂直于刚玉的三个水平结晶轴面与六方双锥或 $\{11\bar{2}0\}$ 六方柱的一对晶面平行 (图 2)。值得指出的是, 由于刚玉晶体属三方晶系, 它不可能出现 $\{10\bar{1}0\}$ 的六方柱, 因而其水平结晶轴决不可能从六方柱面间的边棱通过。再如石榴石, 它可有平行于 $\langle 111 \rangle$ 而互成 70.5° 交角的四组针状包裹体, 绕结晶轴成四次对称分布。这四者两两共面, 故相应只出现呈 X 形斜交的四射星光。但石榴石的针状包裹体也可能平行于 $\langle 110 \rangle$ 而在 $\{111\}$ 面上成三次对称分布, 从而出现六射星光。所以, 在星光石榴石中, 除贵榴石中较常见的 X 形四射星光外, 在铁铝榴石中确实见有典型的正六射星光, 而并不局限于只有四道光茫而是六道。相应地星光石榴石也并非专指有星光的贵榴石。此外, 星光宝石显然更不是局限于刚玉类宝石之优质者; 星光现象也不是有三方晶系的宝石才会有的特征。

(2) 不同取向的包裹体之间并无对称联系, 例如某些辉石中产生十字形四射星光的两组相互正交的包裹体之间即是如此。它们各自在主晶中的具体取向完全取决于晶体结构间匹配的要求。取向不同的包裹体通常为不同种类的晶体, 并因而可能导致由它们分别所产生的星芒出现特征 (例如宽窄、长短、亮暗乃至颜色) 上的微小差异。

刚玉中的十二射星光则是以上两种类型的混合。它共有两套不同的针状包裹体, 每套均由互成 60° 交角的三组构成; 两套之间相互共面, 但绕 c 轴错开 30° 分布。由这样两套包裹体各自产生的两套六射星光叠加在一起即构成了十二射星光。

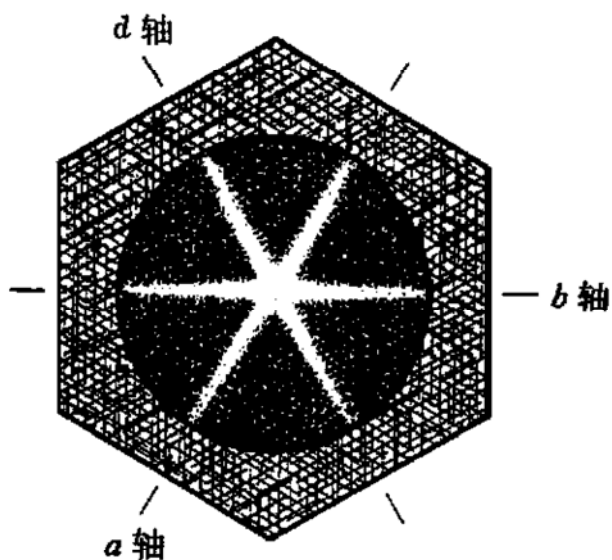


图2 刚玉质星光宝石及其(0001)面内三组针状金红石包裹体的对称分布

已知由各自均成平行密集排布的 n 组共面的针状包裹体将产生 $2n$ 射的星光, 这意味着星光都应是偶数射的而不存在奇数射的星光。此外, 由晶体对称定律决定, 在晶体中不可能存在有五组或多于六组具对称联系而共面分布的针状包裹体。同时, 在实际晶体中也还未知有多于两套相互间并无对称联系且共面作定向排布的针状包裹体。因此, 实际上也不可能出现十射星光和超过 12 的偶数射星光。至于宝石中因局部范围内包裹体发育不全或者因存在宏观缺陷、双晶等原因, 导致星光的不完整甚至个别星芒的中断或缺失, 都属于星光的残缺现象, 不能因而认为出现了诸如三射、五射、十射乃至七射等新型的星光。

<http://www.kcdz.ac.cn/>