维普资讯 http://www.cqvip.com

月光石的基本特征及月光效应机理研究①

龙西法，刘之萍，周 亶
（中科院福建物质结构研究所，福建 福州 350002）

摘 要：月光石有几种颜色，但分析测试表明都属于正长石，研究表明月光效应是由其自身结构决定的。

关键词：月光石；基本特征；月光效应
中图分类号：P578.968；P574.19 **文献标识码**：A **文章编号**：1001－5663(2002)01－0037－03

1 月光石的基本特征

月光石，顾名思义，就是透过的光具有象朦胧的月光一样的宝石，它属于长石族矿物的一个品种，在某一个特定的方向，它能产生一种特殊的光学效应，使石头看起来非常漂亮。这种光学效应能产生多种颜色，有蓝色、乳白色、淡青色、浅黄色、橙色等。本次研究所采集的样品，按颜色的不同分为六种，有清蓝色、浊蓝色、金黄色、淡青色、乳白色、无色等，分别编号为0－1至0－6号。分别采用不同的几种分析测试方法进行测试。

1.1 月光石的特征

本次采集的月光石样品均为成品，弧面型，月光效应比较显著。测得了样品的折射率，并用静水称重法测得了它们的比重(表1)，然后把六种样品分别磨制成两个方向的定向薄片，其中一个方向平行月光效应方向，另一个方向垂直于产生月光效应平面的方向，在偏光显微镜下观察，所得的结果如下：

表1 月光石的基本特征

Table 1 The basic character of moonstone

样号	手标本颜色	折射率	相对密度
0－1	清蓝色	1.520～1.524	2.56
0－2	浊蓝色	1.52±	2.56
0－3	黄色	1.520～1.525	2.57
0－4	青色	1.520～1.523	2.57
0－5	乳白色	1.52±	2.57
0－6	无色	1.52±	2.56

月光石在偏光显微镜下均表现为无色、透明、负低突起、无解理、二轴负光性，消光一致均匀。根据以上基本特征，可以断定样品为正长石，它们比较明显的一个特点是：在镜下对两个方向的定向薄片进行观察(一个是平行产生颜色的方向，一个是垂直产生颜色的方向)，均没有发现双晶，而且解理也很少见，在镜下呈单晶体特性，消光一致。

1.2 X－射线粉晶衍射分析

把0－1、0－2、0－4、0－5、0－6五个样制成粉末样，对其进行X－射线粉晶衍射分析，所用仪器为SIEMENS D500－1型X－射线粉晶衍射仪，采用铜靶，工作电压为35KV。

五个样品的衍射曲线几乎一样，最强峰的位置对应的d值均为0.323nm左右，其它两个次强峰的d值也一致，分别为0.378nm和0.332nm。这说明五个样品的成分和物相均相同，均是同一种矿物。经过与标准图谱对照比较，可知这些样品均为正长石。

1.3 等离子直读光谱分析

把0－1、0－2、0－4、0－5、0－6五个样品制成粉末样，进行等离子光谱分析，所采用的仪器为PS－6型电感耦合等离子体－原子发射光谱仪，简称ICP－AES，根据需要，本次研究只进行了钾、钠、钙三种主要常量元素的分析，分析的结果如表2所示：

由于所给出的结果为质量浓度，把以上数据均除以相应的原子量，得到原子浓度然后再百分化，得到各元素的原子百分比浓度，如表3所示：

① 收稿日期：2001－03－02 作者简介：龙西法(1969－)，男，河南开封人，博士研究生。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 2　不同月光石的钾、钠、钙等离子光谱分析结果(单位：$\times 10^{-6}$)

Table 2　The spectrum analysis results of K, Na and Ca ions different moonstones

样号	O−1	O−2	O−4	O−5	O−6
Na	22608.4	39291.5	20230.0	20940.1	19280.7
K	3191.25	1934.06	4119.61	4476.68	2565.37
Ca	98931.0	70106.1	96037.1	92106.0	93374.5

测试单位：中南工大测试中心　　测试人：曹玲江

表 3　不同月光石中钾、钠、钙的原子百分比含量

Table 3　Atom percentage contents of K, Na Ca in different moonstones

样号	Na	K	Ca	总量
O−1	27.31	70.47	2.22	100
O−2	28.06	70.58	1.36	100
O−4	25.53	71.48	2.99	100
O−5	26.90	69.79	3.31	100
O−6	25.43	72.62	1.95	100

由上述结果可以看出不同的月光石样品中三种主要元素的含量基本相同，按照 Smith 的长石分类命名原则，把上述钾、钠、钙的含量关系投影到三角形分类图上，可以知道，这五种样品均落在正长石区域，再次验证了月光石属于正长石品种。

2　月光效应机理

2.1　月光石的微观结构特点

从 Ab−Or 二元相图(如图 1)分析可知，当温度下降至固相线以下时，长石将发生熔离，形成两种成分比例不同的长石，据 Ribbe 的实验矿物学知：两种长石呈层状产出。即含 Ab 比较高的长石以层状出溶于含 Ab 比较低的长石基体中，其出溶方向为(601)。出溶条纹的宽度可以从亚显微级到几个毫米不等。可以作如下划分：隐条纹长石(条纹宽度为亚显微级)，显微条纹长石(条纹宽度光学可见)，条纹长石(肉眼可见)。据 Laves 1952 年提出：隐条纹长石中，钾长石和钠长石条纹之间的结构是连续地跨过条纹的界面，属于共格出溶，其出溶宽度为纳米级，一般是在几十纳米和几百纳米之间。

本次研究用的月光石样品在光学显微镜下呈现单晶体性质，主要表现为消光一致、均匀、无双晶，无解理，因此可以认为月光石属于隐条纹长石，钠长石出溶于钾长石中属于共格出溶。

2.2　月光效应的表现特点及成因

(1)月光效应只出现在某一个特定的面上。

(2)不同的月光石可有不同的色调。

(3)在产生月光效应时，对着该方向观察，可看到月光效应的补色。

(4)在产生月光效应的位置附近作不大的转动，月光效应不发生色调的变化，当转动过大时，将看不到月光效应。

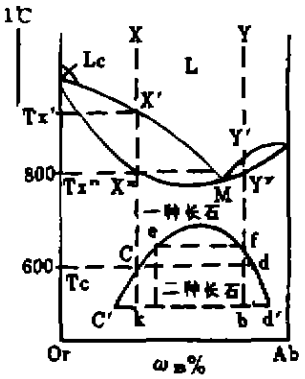


图 1　Ab−Or 二元相图

Fig 1　The two dimensional Ab-Or phase diagram

结合月光石的结构特点和月光效应的表现特点，可以认为月光效应是由光的散射作用引起的。散射光发生的必要条件是传光介质是光性非均匀介质或密度不均匀介质，光学性质的非均匀性可能是由于均匀物质中散布着折射率与它不同的其他物质的大量微粒，也可能是由于物质本身组成部分的不规则性所造成，这些非均匀性部分的特征是：杂质微粒的线度一般比光的波长小，它们相互之间的距离比光的波长大，而且排列无规则，因此它们在光的作用下的振动彼此之间就没有固定的位相关系，在任何观察点所看到的总是它们所发出的次级辐射的不相干迭加，到处不会相消，从而形成散射光。

根据瑞利定律，只有在非均匀介质的各个独立部分的线度比光波的波长小的情况下才能够观察到符合瑞利定律的散射。

月光石的成份中钠长石的含量远低于钾长石的含量，钠长石沿(601)面方向出溶于钾长石中，出溶条纹的厚度在几十到几百个纳米之间，在[601]方向上，两种条纹长石相间排列，钠长石条纹的厚度小于钾长石条纹的厚度，且两种长石的光性有差别，这种结构

维普资讯 http://www.cqvip.com

是符合光的散射条件的，因而将在(601)面上产生光的散射现象。

随着月光石内部钠长石出溶条纹厚度的不同，将产生不同的光学现象，当条纹厚度低于可见光波的波长时，将发生光的散射现象，根据散射规律，散射光的强度与波长的4次方成反比，那么短波长的蓝紫光将受到更强烈的散射，而长波段的红光由于散射较轻将透过样品。所以月光石将呈现以蓝色为主的短波长色调。当出溶条纹的厚度逐渐增大到可见光的波长以至于超过光的波长时，除了散射作用之外，还将发生光的衍射作用。出溶条纹的厚度不同、衍射作用将产生不同的颜色，这些颜色与散射光复合在一起，呈现出该月光石的色调，因此，不同月光石的颜色取决于出溶条纹的厚度。

根据散射定律，散射光强与散射方向有关，散射光强正比于$(1+\cos 2\theta)$，θ角为光的入射方向与观察方向的夹角。因而在沿着入射方向，散射光最强，随着θ角的增大，散射光将逐渐减弱。对于月光石则表现为沿着入射方向月光效应最强，其它方向散射光逐渐减弱以至于看不到月光效应，这就说明月光效应的特定的方向性。

产生月光效应时，对着入射光的方向观察、样品将呈现月光效应颜色的补色调，这也可以用光的散射来解释：以蓝色月光石为例，沿着入射方向，蓝紫光强烈散射，从正面可观察到蓝色的月光效应，而其它色光散射程度较小，将大部分透过样品、复合成蓝紫光的补色光——橙黄光。

3 结论

(1)通过多种测试手段证明，月光石属碱性长石的正长石矿物，矿物的成分与宝石的质量的优劣并无直接关系。

(2)月光效应是由其本身结构的特殊性引起的物理光学效应，具有方向性，月光效应出现在(601)方向。

(3)月光效应是由于光的散射作用或者是由散射和干涉的综合作用所引起，正长石的隐纹共格出溶结构是月光效应产生的根本原因，共格出溶条纹的厚度决定了月光效应的色调。

参考文献：

[1] 姚启钧. 光学教程[M]. 北京：人民教育出版社，1983.

[2] 潘兆橹，王濮. 系统矿物学[M]. 北京：地质出版社，1984.

[3] 潘兆橹. 结晶学与矿物学[M]. 北京：地质出版社，1975.

[4] 北京大学地质学系岩矿教研室. 光性矿物学[M]. 北京：地质出版社，1979.

[5] 中科院编写组. 矿物X射线粉晶鉴定手册[M]. 北京：科学出版社，1978.

[6] 金石琦. 晶体光学[M]. 北京：科学出版社，1995.

[7] 杨南起、无机非金属材料测试方法[M]. 武汉：武汉工业大学出版社，1996.

[8] P. H. Ribbe. 长石矿物学[M]. 北京：地质出版社，1983.

[9] J. V. Smith, W. L. Brown. Feldspar mineralogy. 1974.

STUDY ON BASIC CHARACTER OF MOONSTONE AND THE MECHANISM OF ITS MOONLIGHT EFFECT

LONG Xi-fa, LIU Zhi-ping, ZHOU Dan

(Material Structure Institute of the Chinese Academy of Sciences, Fujian Fuzhou 350002. China)

Abstract: The moonstone has several kinds of color, they all belong to orthoclase. It is shown by study that the moonlight effect is determined by its own inner structure.

Key Words: Moonstone; Basic character; Moonlight effect