

蓝晶石——纵横二重硬度之石 【Al₂SiO₅ 三部曲之一】



蓝晶石，矿物符号 **Ky**，化学式 **Al₂SiO₅**，三斜晶系，主要发育于变质岩中，属中压变质相特征变质矿物。本标本产于坦桑尼亚，作为一个蓝晶石控来说，如此深的蓝色在我看到它的第一眼当时，就让某鹰果断地不淡定了起来，于是，从一开始收集矿物时便有了蓝晶石的某鹰，从此就又多了一只重复的标本。

“坚硬”，估计是人们对山间磐石所产生的第一印象了。不过，就像所有科学家都对量化有着特殊的执着一样，地质学家同样不甘让自己的研究对象停滞在感性的描述上。于是，德国人腓特烈·摩耳以十种晶体为标准建立的，用以量化“坚硬”尺度的摩氏硬度计，便于 1812 年应运而生（见图 1）。在这个尺度下，通过试验被测材质能否被十种标度晶体刻下划痕，就可以推量出这种材质的莫氏硬度值。硬度数值较高的材质能够刻画数值较低者，而反之则不可。如：硬度为 7.0 的石英（SiO₂）便能够轻松地刻得动硬度为 6.0 的正长石（KAlSi₃O₈），如果有一种材质能够刻得动正长石而不能刻画石英，那么它的硬度便介于 6.0 与 7.0 之间。



说来有意思，人们在很多领域试图建立确定性时，仿佛总得有那么一些不老实的家伙专门负责投几朵“不愉快”的乌云。而且这些个乌云中，还经常会出些那种让人不敢忽略的主，否则

说不定哪天就把你的大厦给连根端了。今天我们介绍的主角——蓝晶石，便是其中一位：它的摩氏硬度竟然是 **4.5** 和 **6.5**！换句话说，用一把普通的小钢刀（硬度约在 **5.5**）刻划同一块蓝晶石，你可能遭遇刻得动和刻不动两种结果！这就怪了。蓝晶石的化学式是 Al_2SiO_5 ，明明是有着严格明确化学成分的纯净物，怎么会同时拥有两种硬度呢？

深谙科学实验的你可能会说：“何必大惊小怪”。——从实际来看，一种矿物的硬度，多少要受混入杂质的多少、被蚀变程度的大小、以及温度和压力等外界条件的控制。在各种因素的影响下，矿物的实际硬度应该落在一个误差区间里而不是一个确定的数值上，因此出现硬度波动的情况，又有什么不正常呢？

为了明确这种诡异的结果是否真的源自外界条件的干扰，咱们不妨把物理学上那种理想条件给搬过来。我们严格控制压力与温度变量，并使用高纯度的新鲜蓝晶石作为被测对象，尽可能去除一切可能造成影响的干扰项——然后——再测定它的硬度。这次的结果，总会出现一个确定的数值了吧？

但不好意思，即便在这样的条件下重复无数次，蓝晶石的双重硬度永远不会消失。**4.5** 和 **6.5**——两个数值如同附身于晶体一般，依然游离在晶体那湛蓝色的美丽表面。换句话说，同时具有两种硬度，是这种晶石自身内蕴的性质，而非来自于外界条件的杂扰！想一想身边常见的晶体——石英、刚玉、方解石...几乎所有常见的晶体，都不会让自己平白无故地呈现两种截然不同的硬度啊。

其实，这种乍一看略为奇妙的状态叠加，与它的晶轴取向严格有关。换句话说，在我们进行刻画实验前，必须事先约定好刻画所沿的方向——原来，蓝晶石的两重不同的硬度分别表现在不同的方向上：沿着晶体的长轴方向呢，其硬度表现为 **4.5**；而平行于短轴方向，其硬度则表现为 **6.5**。如此一来，究竟小刀能不能刻动蓝晶石，其实决定权不在晶体而在于你，在于你沿哪个方向去刻划它了。

由蓝晶石所表现出来的这种独特的现象的背后，本质上却是大自然的晶体们普遍具有的一种重要性质——各向异性。简单来说，晶体的各向异性（**crystal anisotropy**）是指晶体的物理性质随观察方向不同而不同的特征。它与[自限性]、[均一性]、[对称性]与[最小内能稳定性]一起，共同称为晶体的五大基本性质。蓝晶石，便是在[硬度]这一物理性质上将各向异性演绎得最为出彩的代表，因此，这种洋溢着湛蓝色光的板状晶体，又有着另外一种广为人知的名称——二硬石。

晶体被定义为内部质点在三维空间呈现周期性排列的物体。换句话说,判定一种物质为晶体,便是看其内部是否有某种单元可以供你一直“Ctrl+V”下去而且还完全没有缝隙。为了表示晶体内部这种可以像砖块一样重复堆砌的基本单元,人们引入了空间格子的概念。空间格子是把晶体抽象成具体的骨架,而无视晶体具体化学结构的一种几何模型。可以想象,这种格架自然是由一个个“点”被一条条棱联系起来而构成的。而这一个个点便被称为“结点”。

于是,将目光缩到最小,不难发现,晶体内部最小可重复单元,必然是某个结点沿由它发射出去的棱走,汇合所有相邻方向上最近的结点而构成的平行六面体。从这种抽象的几何结构还原为实际的晶体化学结构,这样的—个基本单元便被称为晶胞。空间格子是平行六面体单元的复制与堆叠,而实际晶体则是晶胞的复制与堆叠。

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

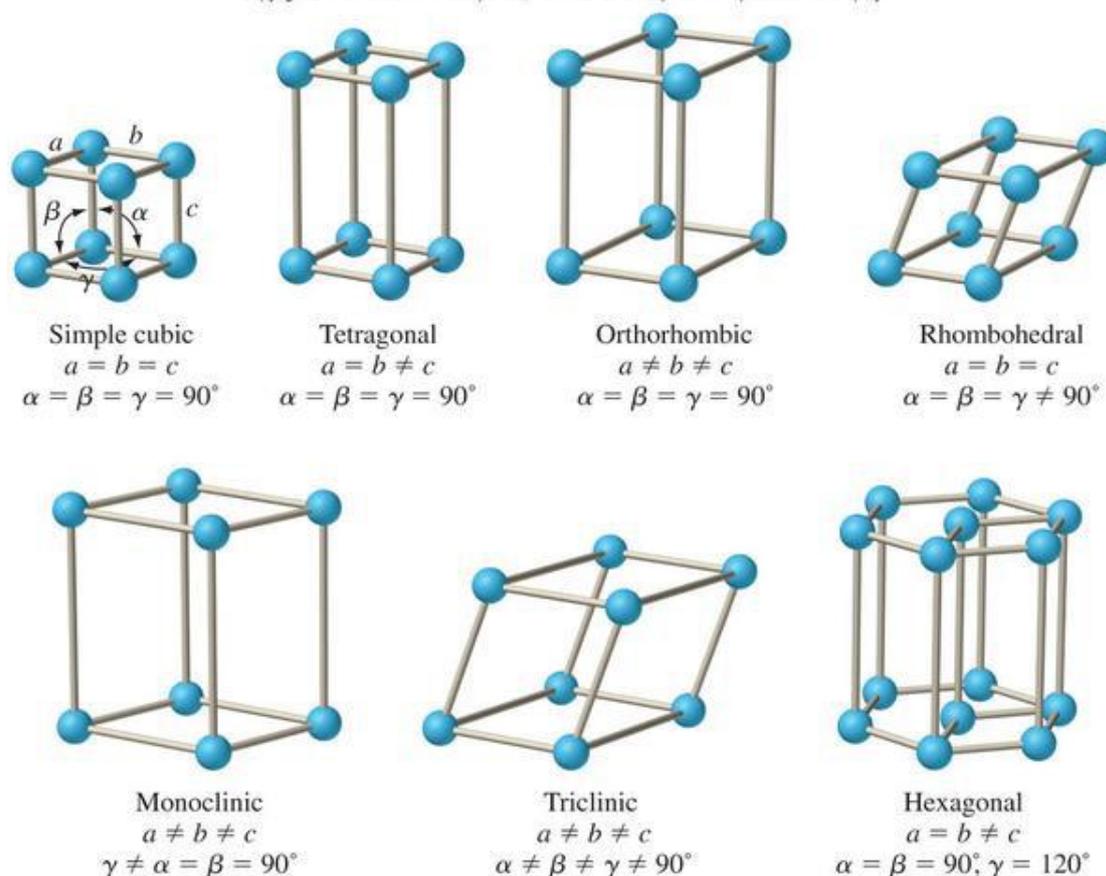


图2 以空间格子的边棱和夹角为变量,能够将所有的晶体归纳为七大晶系。由左上开始依次是:等轴晶系、四方晶系、斜方晶系、三方晶系、单斜晶系、三斜晶系和六方晶系。正是三维方向上晶体结构空间对称性的破缺,使得晶体各向异性的存在有了几何学的基础。

由于平行六面体中一个结点与其延伸方向上相邻结点间的距离可能不相等,如果扩展开来的话,由其堆叠扩展而成的宏观晶体,这种不相等的距离便也会被线性地保留下来。正是这结点间距离的不相等性,成为了晶体各向异性的罪魁祸首。让我们把虚拟的几何结构还原成具

体的晶体结构吧。我们可以看到，由于具体粒子的填入，物理性质便被顺道带入了这个纯几何的格架。粒子间的键能、粒子间的距离、以及不同粒子的大小...一系列物理参数在不同方向上的差异的累积，最终表现为宏观的晶体在不同方向上光学、力学、电学等各方面性质的差异。这便是晶体五大基本性质中[各向异性]之所以存在的本质了。

虽然很多晶体在各向异性上表现得比较温和，但还是有一些晶体能够将自己的各向异性表现得十分“夸张”。这是因为，虽然空间格子在几何上给了晶体不对称性的基础，但依据填入粒子的不同，不同的晶体，在各向异性上则会把这种不对称性表现得各有高低。今天我们一起略揽的蓝晶石，便是材质硬度方面的代表。而其他物理性质上，也有很多晶体能够把各向异性表现得淋漓尽致。譬如，石墨沿晶格顺层方向上（下图横向）的电阻率可以达到 $1.67 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ ，而在垂直层面方向却只有 $4 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 。之间几乎相差 20 多倍！云母的解理在某一个特定方向上可以极为发育，使你可以沿着该面将“石头”活生生地剥成一片片可以折弯的“塑料薄膜”！绿帘石和电气石所表现出的多色性，便是沿晶体不同方向上对光线透射率与折射率的不同造成的。而方解石那著名的双折射性，也会因你转动晶体而明显地看到分岔的光束间距的变化。

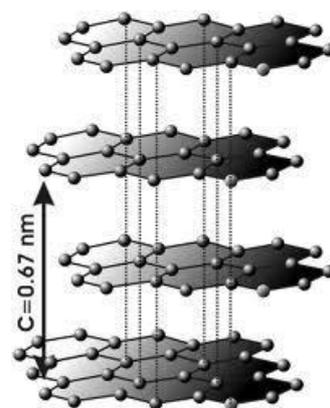
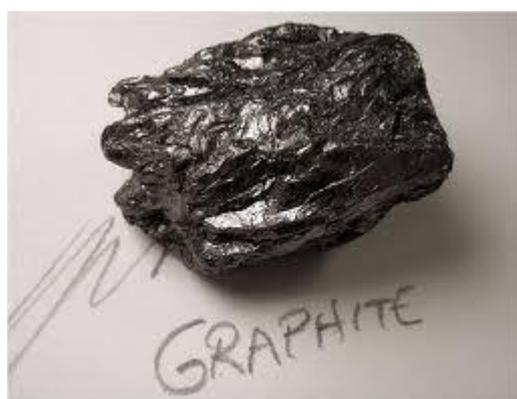


图 3 石墨的电阻率、云母的解理，都是晶体物理性质各向异性的最好表现。

主宰大地的岩石圈，毕竟坚守着身为宏观世界而内禀的那经典高贵的确定性，而尽管它在大跨度的时空尺度中，她也经常给试图揭示它的人造成无数纷繁复杂的迷象。无论是有着多重

硬度的晶石，还是有着多重物源的地层，甚至有着多期构造叠加的山脉...当确定性以一种看似不定的图景表现出来时，寻觅出它背后简洁而优雅的规律，便成为了引导地质学人在迷雾中孜孜前行的信念灯塔。

【转载自 <http://www.guokr.com/post/161200/>】