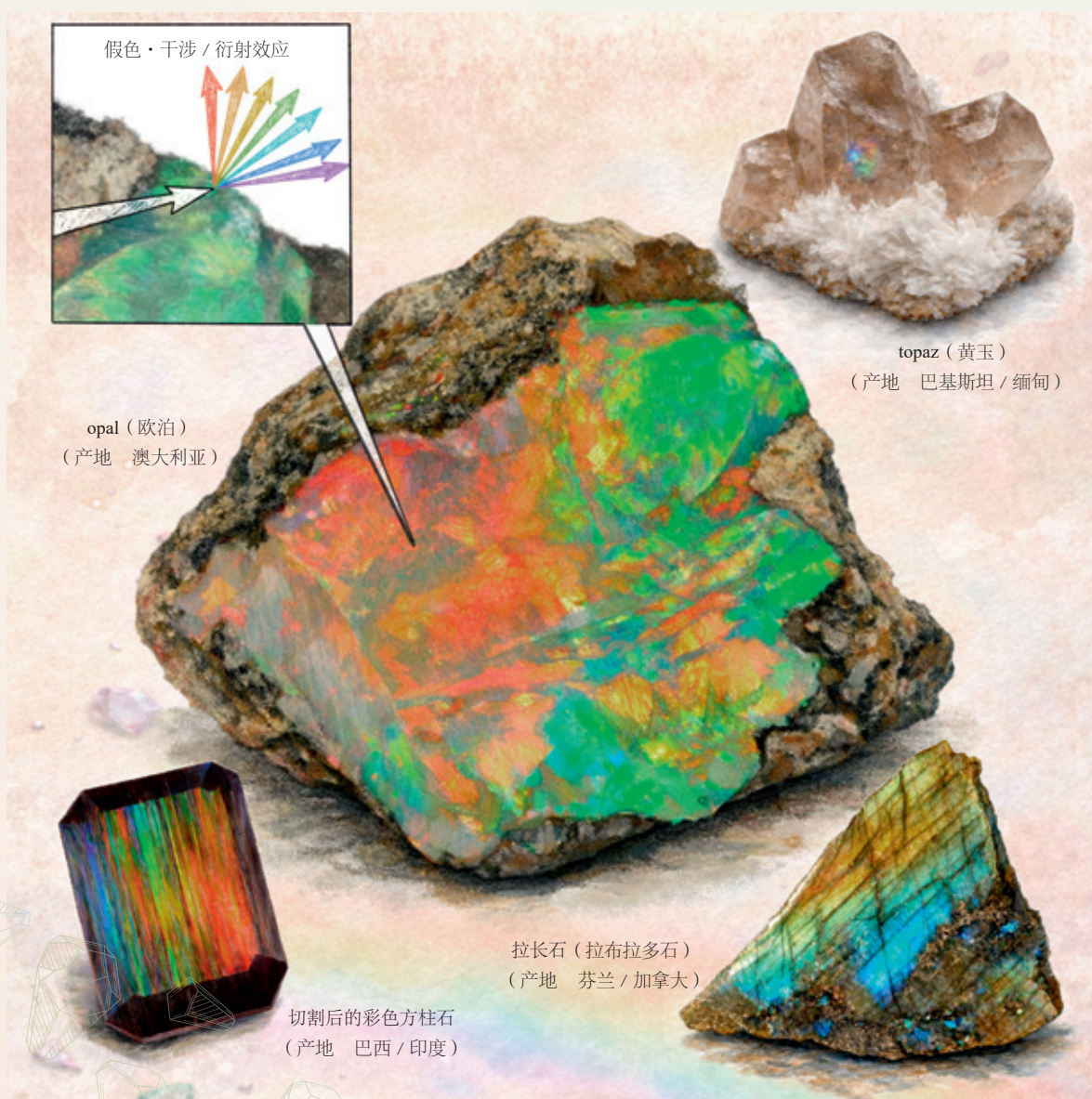


“彩虹石”

——多彩矿物的世界

□文 / 张超 郝彧

第一作者简介 张超，地质矿产工程师、科学传播助理研究员，主要从事地质矿产、地学科普研究及博物馆展览工作。



> “彩虹石”图鉴 葛若雯/绘

彩虹被我们视为世间美好的意象之一，有人将具有多重色彩的矿物（如萤石、碧玺等）称作“彩虹矿物”。这些矿物色彩丰富，几乎涵盖所有色系，严格来说，它们并不能真正被称为“彩虹石”，因为它们的色彩大多是在不同的标本上才会有不同的色彩体现（也有西瓜碧玺等较为稀有的矿物，在同一件标本上能够具有两种或两种以上的色彩）。不过，自然界的神奇之处正在于此，仍然有那么几种矿物，在特定条件下，于同一件标本上就会展现出彩虹般的色彩，集万千斑驳于一身。比如方柱石和托帕石的变种、晕彩拉长石和欧泊，它们仅凭一块标本，便能让我们领略到彩虹般的绚丽色彩。

要想探究这些矿物呈现多重色彩的原因，就要了解它们的呈色原理。地质学中，矿物颜色可分为自色、他色、假色三种类型。

自色是矿物本身固有的化学成分和内部结构所决定的颜色。对同一种矿物来说，自色是固定的，比如黄铜矿和孔雀石中的铜致色，橄榄石中的铁致色，菱锰矿中的锰致色，等等。矿物的自色对鉴定矿物有着重要意义。

他色是指由矿物本身成分、结构之外的元素所致的矿物色彩，这些机械混入物的成分与矿物本身的结构和成因有一定联系，而且这些矿物的他色是相对固定的。矿物他色的例子有很多，比如大名鼎鼎的红宝石因含有铬离子而呈红色，绿柱石因含有钒铬离子呈红色、含有锰离子呈粉色，水晶因含有锰离子呈粉色、含有铁离子呈黄色、灰色，等等。

假色是某些物理因素引发的呈色现象，这种物理过程与矿物本身固有的成分或结构无关。它是矿物结构中偶然出现的孔洞或裂隙、



> 欧泊 山西自然博物馆 / 藏

表面的氧化薄膜等使光线发生干涉、衍射等光学效应而显现出的色彩。主要类型有晕色（裂隙引起）、锃色（氧化薄膜引起）和变彩（观察方向不同而色彩不同），比如斑铜矿深蓝紫色的锃色就是典型的氧化膜引起的假色。

假色现象中的晕彩效应，是指入射光线遇到薄膜发生干涉或衍射作用，致使某些特定波长的光波减弱或消失、某些光波得以加强，最终表现出多种色彩的现象。矿物内发生的干涉和衍射密切相关的，它们经常同时发生。生活中由光的干涉引起的现象有很多，比如彩虹就是当阳光穿过水滴时，光线发生折射和反射现象而形成的七彩光谱；水中或肥皂泡的油层虹彩效果也属类似情况。某些宝石晶体内部分布有极薄的裂隙面，光线通过裂隙面同样会产生干涉作用，使裂隙表面呈现七彩光芒。这种现象经常出现在水晶或者玛瑙之中。光的衍射现象在日常生活中也有实例，在太阳或灯光周围出现的光圈叫作星芒，其原理就是光的衍射。在宝石学中，宝石内部的衍射效应同样能呈现出色彩斑斓的衍射条纹，比如

澳宝之王——欧泊。

这样说来，我们俗称的“彩虹石”的颜色其实是矿物的假色。其中最著名的矿物是欧泊，除欧泊外较为知名的假色矿物还有彩虹托帕石、彩虹方柱石和晕彩拉长石等。要注意的是，这种彩色矿物的现象在现实标本中是十分稀少、难得一见的，但是大自然的“独特配色”依然魅力无穷。

如果说多彩的矿物世界是大自然的神来之笔，那么集万千斑驳于一身的“彩虹石”则是大自然进一步的精雕细琢。

彩虹欧泊

欧泊，英文名称 opal，主要组成矿物为蛋白石，是一种成分以二氧化硅为主，含少量水分子的非晶质矿物。其名称源自拉丁文 opalus，其本意为“集宝石之美于一身”。

欧泊因独特的变彩效应被誉为“最美丽宝石”之一，是澳大利亚的国石，又称为“澳宝”。

欧泊的形成与地质环境和化学过程密切相关，通常孕育于沉积岩或火山岩中。其形成伴随复杂的物理化学反应，过程可简述如下：硅酸盐溶液渗入岩石或土壤的裂缝后，随着水分逐步蒸发，富含硅质的凝胶不断硬化，最终形成蛋白石。这一过程往往需要数万年乃至数百万年。

欧泊的变彩效应源于其内部二氧化硅分子的排列结构。这些分子在三维空间中紧密堆积，形成类似光栅的结构，当光线通过分子之间的空隙时，会产生干涉和衍射现象，使得欧泊在不同角度和光线下呈现出五彩斑斓的色彩变化。此外，欧泊变彩效应的强弱还与其体色（矿物块体的内透射色）密切相关，通常深色（如黑色或深蓝色）的欧泊变彩效果更加显著，因为深色能够更好地衬托出多彩的光斑。

根据欧泊的体色，人们将欧泊进行了分类，主要类型有：以黑色或深色体色著称的黑欧泊；体色为白色或浅色、半透明或不透明的白欧泊；体色为橙色或橙红色的火欧泊；如水晶般完全透明至半透明的水晶欧泊；含水量高、结构疏松的水欧泊；薄层状分布于硅质富铁岩石中的砾石欧泊。

不同产地的欧泊各有特色。欧泊的主要产地是澳大利亚，其产量约占全球



＞ 托帕石晶体及饰品

的 90%，尤以新南威尔士州、昆士兰州和南澳大利亚州的产出最为优质，黑欧泊和白欧泊更是其中的代表品种。此外，墨西哥也出产一种特殊的火欧泊，以其浓郁的橙红色和夺目光彩而著称。

彩虹托帕石

托帕石是英文“topaz”的音译，其矿物名称为黄玉，因易与黄色软玉或水晶混淆，珠宝商贸中便普遍使用其音译名称。托帕石是一种有悠久历史的宝石品种，其常见的色彩有无色、蓝色、黄色、粉色、褐色等，有时也会像西瓜碧玺一样在同一块标本中出现两种色彩，其中一种多彩变种便是彩虹托帕石，这种托帕石在阳光下会呈现彩虹般的色彩，因而被人们形象地称为彩虹托帕石。

托帕石多形成于热液矿床（地下高温流体形成的矿床）中，伟晶岩（矿物晶体硕大的岩石）中亦能产出颗粒硕大、晶形完好的托帕石晶体，素有“宝石之都”美誉的巴西米纳斯吉拉斯州就有产出。受自身的形成环境影响，托帕石在晶体生长过程中，内部常常出现许多裂隙和孔洞。

彩虹托帕石的色彩为假色现象，也就是其色彩与自身所含的元素和结构无关，而是因其晶体内部特殊构造对光的物理作用而形成。托帕石形成过程

中产生的这些孔隙无疑为彩虹色的显现奠定了基础。

托帕石内部的孔隙大多为管状空腔，当这些管状空腔近似平行排列，空腔之间的间隙接近可见光的波长（390~760 纳米）时，光线射入晶体内部，遇到这些近似规律排列的管状空腔，就会发生特殊的光学效应，激发出彩虹般的色彩。

绝大多数溶蚀托帕石即便内部有孔隙也并不能产生彩虹般的干涉色，而只是白色的空管而已，只有少数产地，如巴基斯坦或缅甸才有少量彩虹色晶体产出。

除了天然的彩虹托帕石，现在彩色镀膜托帕石也较为普遍，其原理是在无色托帕石基体上覆盖一层膜，这个单层镀膜结构一般厚度约为 400 纳米，或在可见光谱波长范围内，从而使得自然光在经过晶体时能够产生光的干涉或衍射作用，使无色宝石产生晕彩效应，其原理类似薄膜干涉现象。

彩虹方柱石

方柱石，又称“钙钠柱石”，常简称为“柱石”，是由钠柱石-钙柱石组成的一个完全类质同象系列矿物的合称。由于其属于四方晶系，且晶型多为四方柱状和四方双锥聚形而得名。

方柱石属于较为常见的矿物，在区域变质岩、



> 彩虹方柱石 余丹/摄

矽卡岩、火山岩气孔和伟晶岩中都能产出，可以说几乎所有与变质作用相关的富钙岩石中都有方柱石产出，其形成环境决定了晶体内部会存在很多裂隙。

方柱石矿物虽然在自然界中十分常见，但是品相美观的矿物晶体并不多见，所以在很长一段时间内都未受重视。直到1913年，缅甸地区发现了宝石级方柱石，大众才认识到这种普遍但不普通的矿物。至此，方柱石摆脱了普通矿物的定位，如今已作为中档宝石在宝石界站稳脚跟，开创了独属于自己的一席之地。

方柱石有两种特殊光学效应，一种是猫眼效应，对应的品种为“方柱石猫眼”，由晶体内平行排列的管状（管状孔洞、针状）包裹体引起；另一种是晕彩效应，具有这种光学效应的方柱石晶体被称为“彩虹方柱石”。不论是猫眼效应还是晕彩效应，这两种特殊的光学现象都与晶体内部的包裹体密切相关，可以说，正是这些包裹体成就了方柱石的宝石价值。

彩虹方柱石的内部包裹体主要为赤铁矿、磁铁矿等类型，且这些包裹体的排列并非随机，它们常

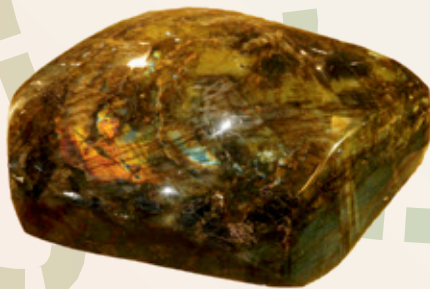
呈薄板状、相互垂直，同时与方柱石的两组结晶面平行。这些薄板的边界大多为不规则锯齿状，这意味着包裹体内部可能由无数微小的单矿物颗粒堆积聚集而成。从包裹体的内部特征可以推断，包裹体应该是在方柱石晶体形成后，由固溶体出溶形成的产物，而非晶体生长过程中捕获而来。

并不是晶体内部有包裹体就能产生晕彩效应，只有包裹体规律排列且在一定角度的反射光照射下，包裹体薄板表面才会出现彩虹光谱色。而且在同一包裹体的不同位置表现出的颜色也会存在差异，即便是同一位置不同角度下表现出的颜色也会有所不同。这是由于方柱石能够呈现彩虹色彩的原理依然是光线的衍射。当方柱石晶体内部的微小包裹体平行排列，且其相隔间隙宽度与可见光波长的范围接近时，就会形成衍射光栅，自然光（白光）在光栅上发生衍射，就会产生彩虹光谱色。由于不同位置的包裹体间距存在微小差异，其对不同单色光的衍射能力也各不相同，就会将多色光都显现出来。而在同一位置下，当入射光的方向改变时，通过不同衍射光栅的角度发生变化，从而使得被衍射的光也发生改变，最终显示出不同的光谱色彩。

彩虹方柱石属于一种十分稀有的品类，目前仅在巴西和印度南部泰米尔纳德邦地区有少量产出。

晕彩拉长石

拉长石是一种钙钠长石，是钠长石和钙长石的过渡品种，属于中性斜长石。因加拿大



> 晕彩拉长石 山西自然博物馆 / 藏

拉布拉多海岸附近的圣保罗岛出产的拉长石最为著名，故又名“拉布拉多石”。宝石级拉长石是长石族中最主要的宝石品种之一。

拥有变彩效应的拉长石称为变彩拉长石，又称为“晕彩拉长石”“光谱石”等。这种令人着迷的光学现象并非来自宝石自身的体色，而是源于其内部精微结构对光的巧妙作用。普遍观点认为，晕彩是拉长石内部的聚片双晶和薄层之间对光线产生干涉、衍射双重作用的结果。具体而言，拉长石内部存在着周期性排列的极薄聚片双晶结构，其厚度恰好与可见光的波长处于同一数量级。当光线入射并穿透这些纳米级薄层时，会在不同界面发生反射，这些反射光因存在光程差而相互叠加，发生建设性或破坏性干涉，进而将白光分解成特定波长的彩色光。与此同时，其规则排列的结构也可能引起光的衍射。正是这两种精密光学效应的协同作用，才在宝石表面勾勒出变幻莫测的彩虹画卷。

更为奇妙的是，同一块拉长石原石标本的不同部位，其内部薄层结构的厚度不尽相同。这种差异，如同无数微型“光学滤镜”并列排布，从而产生不同的干涉色区域。因此，我们能在同一块宝石上观察到丰富多彩的干涉色表现：有时是单一的绿色、蓝色等，如蝴蝶翅膀般灵动闪光；有时则汇聚黄色、金黄色、红色、紫红色等多种色调。这些色彩并非静止不变，而是随着光的入射方向和观察角度的改变，呈现出平滑流转、明暗交替的动态效果。

对变彩拉长石而言，变彩强度高、覆盖面积广且色彩鲜艳度高的品种，才具有收藏与市场价值。其中尤为稀有的是，转动时能够呈现出美丽的金黄色和红色变彩的品类，其绚丽程度足以媲美贵重宝石欧泊，因而具有独特的收藏价值。

目前晕彩拉长石在全球分布广泛。其中芬兰出产的拉长石品质尤为优异，其色彩鲜艳、变彩效应强烈，备受高端市场青睐。作为拉长石的命名地，加拿大依然是重要产地。此外，美国、马达加斯加、中国等地也有大量产出，各地所产拉长石的基色与晕彩色调、风格各具特色。

“彩虹石”可谓生来自带独特光环，向来是一众矿物中最吸睛的那一个。这些具有彩虹般特殊光学效应的神奇矿物较为稀少，这使得它们中的大部分长期隐匿在大自然的秘境之中，既不被世人发现，也始终默默无闻。

彩虹方柱石和彩虹托帕石多用于珠宝设计和装饰品制作，也具有一定的收藏价值。二者的市场价值因颜色、加工工艺、产地等因素而有所差异，但总体来说彩虹方柱石更加稀有，价格较彩虹托帕石更高。欧泊被赋予“集宝石之美于一身”的盛誉，凭借独特的光学特性、文化内涵及市场稀缺性，在珠宝、收藏、艺术和投资领域占据重要地位，其中变彩效果突出、产地明确的天然欧泊最受欢迎。晕彩拉长石价格亲民，属于中档宝石。虽然不如顶级欧泊昂贵，但相比常见的彩虹托帕石，其特殊的光学效应仍赋予它更高的附加值和收藏趣味。

除了上述介绍的四种“彩虹石”之外，自然界还有很多因为光学效应而产生彩虹色彩的矿物晶体，例如，彩虹眼黑曜石、火玛瑙、日光石、斑彩螺，等等。无论它们是籍籍无名还是闻名遐迩，这些拥有独一无二彩虹光泽的矿物永远是浩瀚世界里格外耀眼的瑰宝。❏

第一作者单位 / 山西自然博物馆

（本文编辑：何陈临秋）