

第 0 章

绪论

0.1 宝石的概念

宝石的概念有广义和狭义之分。根据国家标准 GB/T 16552—2003 《珠宝玉石名称》，广义的宝石是珠宝玉石的简称，包括天然珠宝玉石和人工宝石两大类。狭义的宝石是指具有珠宝玉石的特征，可加工成装饰品的天然产出的矿物单晶体（可含双晶），是天然珠宝玉石的一种。

0.2 宝石的特点

据统计，目前在自然界中已经发现的矿物有 3 200 余种，但是能够作为宝石的只有 230 余种。可见，只有少数自然界中矿物的精华才有资格跻身于宝石的行列。那么，具有哪些特点的矿物或者材料能够成为宝石呢？一般认为，能够成为宝石的矿物或材料应该具有美丽、耐久和稀少等三个特点。

0.2.1 美 丽

宝石的首要条件是美丽。美丽主要体现在颜色、透明度、光泽、色散和特殊光学效应等方面。

(1) 颜色

宝石最主要的用途是美化人们的生活，给人带来美感。给人视觉感官带来刺激的首先是宝石的颜色。同种矿物或材料，如果不具有美丽的颜色，可能成为不了宝石。比如，同样是由化学成分 Al_2O_3 组成的矿物刚玉，如果不具有漂亮的颜色，就只能作为工业磨料使用，不能成为宝石。但是，如果其具有鲜艳的红色，就成为一种高档宝石——红宝石。如果其具有鲜艳的蓝色，则成为另外一种高档宝石——蓝宝石。一般来说，宝石的颜色越鲜艳、越美丽，其价格就越昂贵。

(2) 透明度

透明度是衡量宝石质量好坏，或者是否能够成为宝石的一个重要指标。一般来讲，宝石的透明度越好，质量越好。透明度好的宝石可能比透明度差的宝石价格高出几十倍甚至上百倍，而透明度差则可能达不到宝石级别。比如，一件透明度好、颜色

漂亮的翡翠价格可能高达数百万，而透明度差的翡翠可能只值数十元。

(3) 光泽

光泽是宝石表面反射光的能力。宝石的光泽强，看起来会给人一种灿烂夺目的感觉。比如，钻石虽然不具有鲜艳的颜色，但是却能够成为宝石之王，其中一个很重要的原因，就在于钻石具有很强的光泽。

(4) 色散

将进入宝石的白光分解成单色光的能力称为宝石的色散，在宝石界内也常常被俗称为“火”或“火彩”。色散强的宝石在自然光的照射下会呈现出斑斓的颜色，为宝石增添了无穷的美丽。

(5) 特殊光学效应

宝石的特殊光学效应是指宝石的猫眼效应、星光效应、变色效应等。有些宝石颜色、透明度等项指标可能并不很出众，但是由于具有某种特殊光学效应，也使其成了漂亮的宝石。比如，黑色的刚玉由于颜色不好，可能达不到宝石级别，不能作为宝石使用。但是，如果它具有星光效应，则可以加工成星光蓝宝石。

0.2.2 耐久

人们一提起钻石，可能就会想起“钻石恒久远，一颗永流传”。钻石之所以能够恒久远、永流传，关键在于钻石具有极高的硬度和非常稳定的化学性质。换句话说，钻石具有非常好的耐久性。质量好的宝石一般都具有较高的硬度和良好的韧度，具有稳定的化学性质。

0.2.3 稀少

物以稀为贵，宝石也是如此。宝石的稀有主要体现在两个方面：一个是数量上，宝石在地壳内的储量很少。可以设想，如果遍地是金刚石，它也就不会成为宝石了。另一方面体现在质量上。有些宝石数量并不少，但是质量好的却很少，因此，只有质量好的宝石才能成为稀世珍宝。

0.3 宝石的分类

0.3.1 宝石的成因分类

根据现行国家标准，宝石按照成因可分为天然珠宝玉石和人工宝石两类。

(1) 天然珠宝玉石

天然珠宝玉石可以进一步分为天然宝石、天然玉石和天然有机宝石三类。

天然宝石是指由自然界产出的，具有美丽、耐久和稀少性，可加工成装饰品的矿物单晶体（可含双晶）。狭义的宝石指的就是此类。

天然玉石是指由自然界产出的，具有美丽、耐久和稀少性，可加工成装饰品的矿物集合体，少数为非晶质体。

天然有机宝石是指由自然界生物生成，部分或全部由有机质组成可用于首饰及装

饰品的材料。

(2) 人工宝石

人工宝石是完全或部分由人工生产或制造用作首饰及装饰品的材料的统称，包括合成宝石、人造宝石、拼合宝石和再造宝石。

合成宝石是指完全或部分由人工制造且自然界有已知对应物的能够用作首饰或工艺品的晶质或非晶质体，其物理性质、化学性质和晶体结构与所对应的天然珠宝玉石基本相同，如合成红宝石、合成蓝宝石和合成水晶等。

人造宝石是指由人工制造且自然界无已知对应物的能够用作首饰或工艺品的晶质或非晶质体，如人造钇铝榴石。

拼合宝石是指由两块或两块以上材料经人工拼合而成，且给人以整体印象的珠宝玉石，简称“拼合石”。

再造宝石是指通过人工手段将天然珠宝玉石的碎块或碎屑溶解或压结成具整体外观的珠宝玉石，如“再造琥珀”、“再造绿松石”。

0.3.2 宝石的价值分类

在日常生活及宝石商贸中，常常按照天然宝石和天然玉石的价值分类。

(1) 天然宝石

按照天然宝石的价值和稀缺程度，常把天然宝石分为高档宝石和中低档宝石。

高档宝石。高档宝石是指那些颜色、透明度、硬度（一般摩氏硬度大于7）等物理性质都居于宝石之冠的宝石。根据价值的高低及珠宝界的习惯，目前国际珠宝界公认的高档宝石品种有钻石、红宝石、蓝宝石、祖母绿、金绿宝石（变石、猫眼）等5种。

中低档宝石。除高档宝石之外的宝石，一般不再细分，统称为中低档宝石。这些宝石也具有美丽、耐久和稀少等特点，但是与高档宝石相比要逊色一些。主要包括碧玺、石榴石、水晶、尖晶石和绿柱石等。

(2) 天然玉石

天然玉石按照其价值常分为高档玉石、中低档玉石和雕刻石三类。

高档玉石。目前在国际上公认的高档玉石只有翡翠和软玉两种。这两种玉石价值较高，色泽美丽，具有较高的硬度，其摩氏硬度为6.5~7，具有非常好的韧性和耐久性。

中低档玉石。与高档玉石相比，在美丽、耐久、稀少性上都较逊色，摩氏硬度为5~6的玉石，一般划归到中低档玉石类中，如玛瑙、蛇纹石玉、独山玉、孔雀石、青金石、石英岩和绿松石等。这类玉石的价值一般要低于高档玉石。

雕刻石。习惯上，一般把摩氏硬度低于4，可以用雕刻刀进行工艺加工的玉石称为雕刻石。最常见的有鸡血石、寿山石和田黄。一般雕刻石的价值不高，但是有些雕刻石价值可以很高；如田黄。

0.4 宝石的命名方法

在国家有关标准没有出台以前，宝石命名比较混乱。尤其在商业上，常常令人误解。比如，有人把红色的尖晶石称为“大红宝石”，将绿色的水晶称为“绿宝石”，将染色的石英岩称为“马来玉”，将合成立方氧化锆称为“俄罗斯钻”等。为规范宝石名称，国家质量技术监督局于1996年发布了国家标准 GB/T 16552—1996（《珠宝玉石名称》），并于2003年对该标准进行了修订，由国家质量监督检验检疫总局发布实施。

国家标准《珠宝玉石名称》对各种宝石的命名给出了具体的原则和方法。按照国家标准《珠宝玉石名称》，珠宝玉石的命名以珠宝玉石的基本名称为基础，对于优化处理宝石、人工宝石和具有其他特殊光学效应的宝石，辅以修饰词语。具体有以下原则。

(1) 珠宝玉石的基本名称

以矿物、岩石名称作为珠宝玉石的基本名称，部分珠宝玉石沿用传统名称。

(2) 天然珠宝玉石的命名

天然珠宝玉石直接使用基本名称来命名。天然玉石如果基本名称结尾无“玉”字，也可以在基本名称后加“玉”字作为其基本名称。

例如，天然石榴石、尖晶石、绿帘石、蛇纹石、葡萄石、钠长石等宝石可以用其矿物、岩石名称作为基本名称，其中蛇纹石、葡萄石、钠长石为天然玉石，也可以在基本名称后加一“玉”字，分别命名为“蛇纹石玉”“葡萄石玉”和“钠长石玉”。红宝石、蓝宝石、祖母绿、翡翠、玛瑙等的基本名称沿用传统名称，这些天然宝石可以直接命名为“红宝石”“蓝宝石”“祖母绿”“翡翠”和“玛瑙”。

(3) 具有特殊光学效应宝石的命名

在命名具有特殊光学效应的宝石时，将特殊光学效应加在基本名称前后。

具有星光效应的宝石在基本名称前加“星光”两字，具有猫眼效应的宝石在基本名称后加“猫眼”两字。例如，具有星光效应的红宝石、蓝宝石、石榴石可以分别命名为“星光红宝石”“星光蓝宝石”和“星光石榴石”；具有猫眼效应的石英、祖母绿、矽线石命名为“石英猫眼”、“祖母绿猫眼”和“矽线石猫眼”。

(4) 合成宝石和人造宝石的命名

在命名合成宝石和人造宝石时，在合成、人造宝石材料的名称前面分别加“合成”、“人造”两字。例如，人工合成的红宝石、蓝宝石分别命名为“合成红宝石”、“合成蓝宝石”，人造的钛酸锶可以命名为“人造钛酸锶”。

(5) 拼合宝石和再造宝石的命名

在命名拼合宝石时，在拼合材料的后面加“拼合石”。例如，用玻璃和石榴石拼合而成的拼合石应命名为“玻璃石榴石拼合石”。

在命名再造宝石时，在再造材料名称的前面加“再造”两字。例如，由青金石碎屑压制而成的再造材料，作为宝石使用，应命名为“再造青金石”。

(6) 优化处理宝石的命名

在命名优化宝石时直接使用宝石的基本名称，优化方法不必在定名中反映。例

如，热处理对于红宝石和蓝宝石是一种优化方法。经过热处理的红宝石、蓝宝石直接定名为“红宝石”“蓝宝石”即可。

在命名时处理宝石不能直接使用宝石的基本名称，有以下两种命名方法：一是在处理宝石的基本名称后面加括号，在括号内注明“处理”字样或注明具体处理方法。如经过染色处理的蓝宝石可命名为“蓝宝石（处理）”或“蓝宝石（染色）”。二是在处理宝石基本名称前面描述具体处理方法。例如，经染色处理的蓝宝石可命名为“染色蓝宝石”。

第 1 章

宝石学基础知识

1.1 宝石的结构

1.1.1 晶体与非晶体

天然珠宝玉石绝大多数是产于地壳中的矿物。矿物是地壳中的各种化学元素，在地质作用下不断进行迁移、运动、分散和聚集所形成的。矿物中除少量能够作为宝石之外，大部分矿物是人类生产和生活的重要物质来源，是构成地壳岩石的物质基础。自然界中的矿物很多，大约有 3200 种，但最常见的只有五六十种，而构成岩石的主要矿物只不过二三十种。各种矿物都具有一定的形态和物理性质，可以作为鉴别矿物的依据。

绝大多数珠宝玉石具有晶体结构，是晶质体，只有一小部分呈胶体状态。所谓晶质体，就是化学元素的离子、离子团或原子按一定规则重复排列而成的固体。矿物的结晶过程实质上就是在一定介质、一定温度、一定压力等条件下，物质质点有规律排列的过程。由于质点呈规则排列，就使晶体内部具有一定的晶体构造，称为晶体格架。这种晶体格架相当于一定质点（离子等）在三维空间形成的无数相等的六面体，这些六面体互相平行排列构成空间格子构造。因此，各种矿物具有多种多样的晶体构造。

在适当的环境里，例如有使晶质体生长的足够空间，则晶质体往往表现为一定的几何外形，这种具有良好几何外形的晶质体，通称为晶体。但是，大多数晶质体矿物由于缺少生长空间，许多晶粒同时生长，互相干扰，不能形成良好的几何外形。实际上，晶质体和晶体除了外表形态有区别外，内部结构并无任何区别，所以二者概念基本相同。

非晶体是与晶体相对立的概念，非晶体也是一种固态物质，但其内部质点在三维空间不呈周期性重复排列。因此，非晶体不可能遵循为晶体所共有的空间格子规律，它也不可能具有为晶体所共有的那些基本性质。表现在外形上，它在任何条件下都不可能自发地成长为规则的几何多面体；在内部结构上，其各个部分之间，仅仅在统计意义上是均一的，而在不同方向上的性质则是同一的。所以，非晶体在外部形态上是一种无定形的凝固态物质，在内部性质上则是统计上均一的各向同性体。其实，从这

些方面的特性来看，非晶体更类似于液体。所以，非晶体也可以看作过冷却的液体，或者说是硬化了的液体。当加热非晶质体时，它将逐渐软化，最后变成熔体，而没有固定的熔点。

在晶体与非晶体之间划分绝对严格的界线是比较困难的。在许多具有长链状分子的纤维类物质或高聚合物中，存在着分子之间呈一维或二维的周期性重复排列的情况。显然，它们是介于晶体与非晶体之间的过渡类型的物体。非晶体的分布远不如晶体那么广泛。在天然宝玉石中，只有欧泊、火山玻璃以及由于受到放射性蜕变的影响而玻璃化的一些宝石（如低型锆石等），属于非晶体。此外，在其他领域中，也只有诸如玻璃、塑料、树脂和沥青等少数物质属于非晶质的范畴。与结晶质相比，它们只占有极少部分。

1.1.2 晶体的基本性质

晶体和其他所有物质一样，它们的各项性质取决于其本身的化学组成和内部结构。由于晶体是具有格子构造的固体，一切晶体的内部结构都共同遵循晶体的空间格子规律。因此，也就具备着为晶体所共有的、由格子构造所决定的基本性质。

(1) 均一性

均一性指晶体在不同部位上都具有相同性质的特性。因为晶体是具有格子构造的固体，在同一晶体的各个不同部分，质点的分布是一样的，所以晶体的各个部分的物理化学性质也是相同的，这就是晶体的均一性。例如，假定把一个晶体分成许多小晶块，那么，每一个小晶块都具有相同的密度；当光沿着相同的结晶方向射入各个小晶块时，都产生同样的折射角等。因此，对于从同一晶体中分割出来的各个部分而言，它们必定具有完全相同的内部结构，从而它们所表现的各项性质也必定完全一致。

非晶体也具有均一性。如玻璃的不同部分折射率、膨胀系数、热导率等都是相同的。由上述概念可知其均一性是统计的、平均近似的均一，称为统计均一性。同样液体和气体也具有均一性。

(2) 异向性

异向性指晶体内部不同方向上质点的排列不同，晶体的性质随方向的不同而表现出差异的特性。晶体的异向性表现在解理、折射率、硬度、颜色等性质上。比如，在水晶平行于柱体的延长方向上测量其折射率为 $N_e = 1.553$ ，而在垂直于柱体方向上测量其折射率则为 $N_o = 1.544$ 。如果把不同方向的折射率值用图形表示出来，其形状为一个沿上下方向拉长的旋转椭球体，椭球体沿任意方向的半径就是在该方向上折射率值的大小，如图 1-1 所示。再如宝石的颜色，在平行于蓝宝石晶体柱体的方向上观察，蓝宝石呈蓝色；在垂直于蓝宝石柱体的方向上观察，则呈蓝绿色。又如云母、方解石等矿物晶体，具有完好的解理，受力后可沿晶体一定的方向，裂开成光滑的平面。

根据空间格子规律可知，晶体结构中质点排列的方式和间距，在相互平行的方向上都是一致的；但在不相

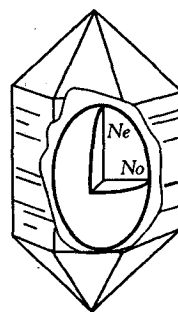


图 1-1 水晶晶体折射率与方向的关系图 — 光率体

互平行的方向上，一般说来都是有差异的。当沿着不同方向进行观察时，晶体的各种性质将表现出一定的差异来，此即晶体的各向异性。

(3) 对称性

对称性指晶体中的相同部分（如在外形上相同的晶面、晶棱和角顶，内部结构中相同的面网、行列或原子、离子等）或性质，能够在不同的方向或位置上有规律地重复出现的特性。例如，祖母绿是一种高档的宝石，它的晶体常常长成六方柱状。如果以六方柱的中心为轴，把祖母绿的晶体围绕此轴旋转一周，晶体的 6 个柱面会重复 6 次，即晶体的相同部分重复了 6 次，这就是祖母绿晶体对称性的表现。晶体的对称性不仅仅表现在外形上，还表现在其他物理性质和内部结构上。

晶体的对称性取决于其格子构造，格子构造本身就是质点重复规律的体现，对称性是晶体非常重要的性质，是晶体分类的基础。此外，在一个空间格子中，不相平行的行列或面网，它们的性质（表现在行列的结点间距及面网的密度和间距上）一般是不同的，但这也不排斥在某几个不相平行的特定方向上，出现性质相同的行列或面网，如图 1-2 的 NaCl 晶体结构中，沿着其小立方块的三组棱的方向，质点具有完全一致的排列方式和相等的间隔。显然，这也是一种对称性，在晶体中是极为普遍的。晶体内部结构上的对称，必然要反映到晶体的外形和物理性质上来，使它们也表现出对称的特性。

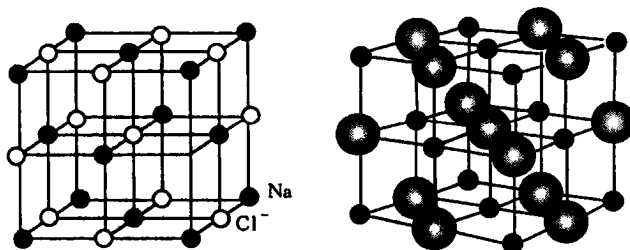


图 1-2 食盐的晶体结构(图中小球代表 Na^+ ，大球代表 Cl^-)

(4) 自限性

自限性指晶体在适当的条件下能自发地形成封闭的几何多面体的性质。图 1-3 所示是几种常见结晶质宝石在自发条件下长出的完整晶体外形。

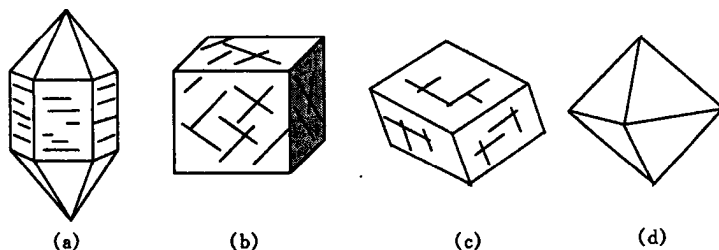


图 1-3 水晶 SiO_2 (a)，萤石 CaF_2 (b)，冰洲石 CaCO_3 (c)，钻石 C(d)晶体

由图 1-3 可以看出，晶体由平的晶面包围，晶面相交成直的晶棱，晶棱会聚成尖的角顶。在实际情况下，晶体往往并不表现为几何多面体的外形，这是由于其生长时

受到空间限制。如果让不具规则外形的晶粒继续自由成长，它们还是可以自发地成长为几何多面体外形的。从本质上讲，晶体的自限性不存在任何例外。

(5) 最小内能性

最小内能性指在相同的热力学条件下，晶体与同种物质的非晶体、液体、气体相比较，其内能最小。这一性质，可以从晶体熔融时要吸热，熔体结晶时会放热得到证明。对非晶体与晶体间的关系而言，情况也完全类似。

晶体是具有格子构造的固体，其内部质点在三维空间有规律排列，这种规律的排列是质点间的引力与斥力达到平衡的结果。在这种情况下，无论使质点间的距离增大或减小，都将导致质点的相对势能增加。非晶体、液体和气体由于其内部质点的排列是不规律的，质点间的距离不可能是平衡距离，从而它们的势能也较晶体大。也就是说在相同的热力学条件下，晶体的内能应为最小。

(6) 稳定性

稳定性指对于化学组成相同、但处于不同物态下的物质而言，以晶体最为稳定。由于晶体有最小内能，因而结晶状态是一个相对稳定的状态。这一点可以由晶体与气体、液体中质点的运动状态不同来说明。

在气体中，质点作直线的前进运动，其运动方向只有与其他质点相碰撞时才会改变。因此，气体有扩散的性质，趋向于占有最大的体积。在液体中，质点联系比在气体中紧密，质点运动时彼此不分离。质点的运动存在双重性，即质点一方面振动，同时质点的位置也在相对地移动。因此，液体可以流动，液体的形态决定于容器的形状。

在晶体中，质点只在其平衡的位置上振动，而不脱离其平衡位置。因此晶体是一个相对稳定的体系，结晶状态是一个相对稳定的状态，要使其向液态或气态转化，必须从外界传入能量。正是由于晶体的稳定性，才能使其格子构造以及其规则的几何外形得以保持。

固态非晶质从质点运动的角度来看类似晶体，或把它视为黏度极大的液体。质点处于振动状态，质点的相对移动极为困难，但如果时间很长这种运动仍可以显现出来，在温度较高时，这种运动更显著。因此非晶体相对于晶体而言是不稳定的，有自发地向晶体转变的趋势。比如，天然产出的火山玻璃在刚形成时是非晶质的。但是，形成时间比较早的火山玻璃都不再是非晶质的，而是结晶质的。这是由于非晶质的火山玻璃自发地向结晶质转化的缘故。相对而言，结晶态是最稳定的状态，它不会自发地转变为其他物态。

1.1.3 晶体的对称分类

对称是指物体相同部分之间有规律的重复。一块发育良好的晶体在晶面的形态、大小和位置等方面都具有对称性。晶体的对称是由于其内部不同方向上具有相同规则排列造成的，晶体的格子构造本身就是一种对称，因此，晶体都是对称的。但不同晶体的对称排列和形态是不同的。

(1) 对称要素

在研究对称时，为使物体作有规律重复，必须通过一定的操作，称这种操作为对

称操作。在进行对称操作时所应用的辅助几何要素（点、线、面），称为对称要素。

对称中心(C)。

对称中心是一个假想的点，如果通过此点作任意直线，则在此直线上距该点等距离的两端上必定可以找到对应点。在晶体中，若存在对称中心，其晶面必然都是两两平行而且相等的。这可以用为判别晶体或晶体模型有无对称中心的依据(如图 1-4)。在晶体中对称中心可有可无，但只能有一个(见图 1-5)。

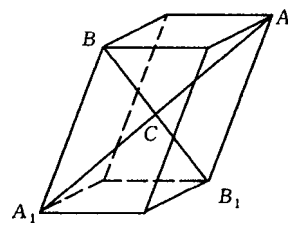


图 1-4 具有对称中心(C)的图形

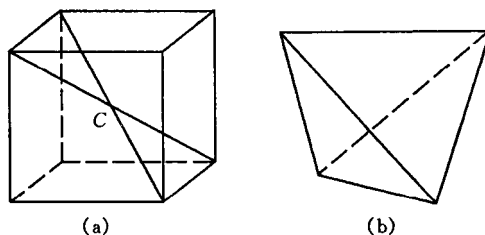


图 1-5 立方体有 1 个对称中心(a)，四面体无对称中心(b)

对称面(P)。

对称面是一个假想平面，它将图形平分为互为镜像的两个相等部分，分别相当于物体与像，两者互成镜像反映的关系。这里最重要的是“镜像反映”，如果一个晶体沿对称面切割成两半，并将切割下的半个晶体的切割面对着镜面放置，映像将重现所失去的半个晶体。

根据晶体的特点，晶体中的对称面的可能数目是 0~9；立方体的对称面最多，有 9 个(见图 1-6)。

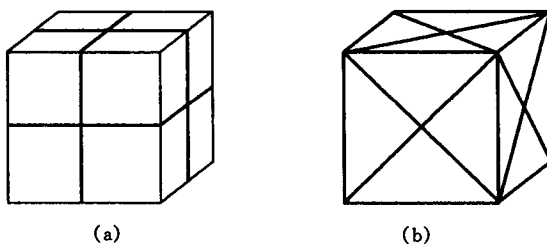


图 1-6 立方体的 9 个对称面

(a) 垂直晶面和通过晶棱中点，并彼此互相垂直的 3 个对称面；

(b) 包含一对晶棱，垂直斜切晶面的 6 个对称面

对称轴(L^n)。

对称轴是通过晶体中心的一根假想的直线。当晶体围绕其旋转一圈(360°)时，其相同的外形能重复出现 2, 3, 4 或 6 次。这时的对称轴分别称为二次轴、三次轴、四次轴或六次轴(见图 1-7)。

(2) 对称分类

根据晶体对称的特点，将晶体划分为高级、中级和低级三个晶族，中级和低级晶

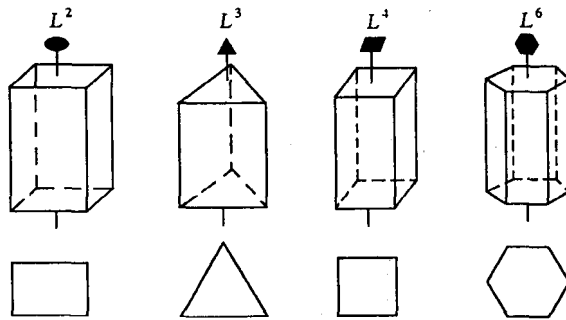


图 1-7 晶体中的对称轴示意图（其下对应的图为垂直该轴的切面图）

族又各分为三个晶系。它们是晶体研究的基础，并对晶体的光学性质和力学性质有着直接的影响。详细分类见表 1-1。

表 1-1 晶体的对称分类

晶族	晶系	对称特点	晶格常数特点	最高对称型	常见宝石品种
高级晶族	等轴晶系	有 4 个 L^3	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$3L^4 4L^3 6L^2 9PC$	钻石, 石榴石, 尖晶石, 萤石, 方钠石, 青金石
中级晶族	六方晶系	有 1 个 L^6 或 L^3	$a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	$L^6 6L^2 7PC$	祖母绿, 海蓝宝石, 绿柱石, 磷灰石
	三方晶系	有 1 个 L^3	$a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	$L^3 3L^2 3PC$	红宝石, 蓝宝石, 碧玺, 方解石(冰洲石), 水晶(石英)
	四方晶系	有 1 个 L^4 或 L^2	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$L^4 4L^2 5PC$	锆石, 金红石, 锡石, 方柱石, 符山石
低级晶族	斜方晶系	L^2 或 P 多于 1 个	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$3L^2 3PC$	橄榄石, 托帕石, 金绿宝石, 黝帘石, 堇青石, 赛黄晶, 顽火辉石
	单斜晶系	L^2 或 P 不多于 1 个	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta > 90^\circ$	$L^2 PC$	翡翠, 软玉, 日光石, 月光石, 孔雀石, 透辉石, 锂辉石
	三斜晶系	无 L^2 无 P	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \gamma \neq 90^\circ$ $\beta > 90^\circ$	L^1 或 C	斜长石, 绿松石, 蔷薇辉石, 斧石, 蓝晶石

1.1.4 晶体的结构

在晶体化学分类中，一般根据晶体结构中最强化学键在空间的分布和原子或配位多面体联结的形式，将晶体结构划分为如下几种类型。

(1) 配位型

晶格中只有一种化学键存在，它可以是离子键、共价键或金属键。键在三维空间均匀分布。配位多面体以共面、共棱或共角顶联结，同一角顶所联结的角顶不少于 3 个。如金刚石 (C) 的结构。

(2) 架状型

最强键也在三维空间均匀分布。但配位多面体主要是共角顶，同一角顶联结的配位多面体不超过 2 个，这是使结构开阔的一个原因。如 α -石英 SiO_2 的结构。

(3) 岛状型

结构中存在着原子团（岛），在团内联结的键强远大于团外的联结。如橄榄石 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ 的结构。

(4) 链状型

最强的键趋向于单向分布。原子或配位多面体联结成链，链间以弱键相联结。如辉石 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 、金红石 TiO_2 的结构。

(5) 层状型

最强的键沿二维空间分布，原子或配位多面体联结成平面网层。层间以分子键或其他弱键相联结。如蛇纹石 $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ 的结构。

1.2 宝石的成分

1.2.1 主要化学成分

按照组成宝石的主要化学成分，参照宝石的矿物学分类，可以把天然宝石划归为自然元素类、硫化物类、氧化物类、含氧盐类和卤化物类等。

(1) 自然元素类

自然元素类的宝石只有钻石一种，钻石在宝石中所处的地位是其他任何宝石无法比拟的。

钻石的晶体结构为典型的纯共价键，化学键最强。因而，其硬度极高（是自然界所有宝石中硬度最大的），光泽强，密度大，不导电。

(2) 硫化物类

硫化物类常见宝石品种较少，一般为稀少的宝石品种，如闪锌矿、雄黄、雌黄、辰砂、方铅矿、黄铁矿和黄铜矿等。

硫化物宝石的阴离子为硫，硫易被极化，电负性较小；阳离子为亲铜元素和过渡元素，位于化学元素周期表的右方，极化能力强，电负性中等。因而硫化物宝石中阴阳离子电负性相差较小，致使硫化物类宝石矿物的化学键体现着离子键向共价键的过渡，以共价键为主，并带有金属键的成分。体现在物理性质上，大多数硫化物宝石矿物具有金属光泽，透明度低，反射率强，密度大。如方铅矿、黄铁矿和黄铜矿。少数呈非金属色，金刚光泽，半透明，如闪锌矿、辰砂、雄黄和雌黄等。硫化物类宝石的硬度与硫的存在状态有关。一般简单硫化物的硬度较低，摩氏硬度为 2~4，如方铅矿、闪锌矿和辰砂等。二硫化物的硬度较高，摩氏硬度达 5~6，如黄铁矿和白铁矿等。

(3) 氧化物类

氧化物类宝石是品种较多的一类宝石，常见品种有红宝石、蓝宝石、水晶、玛瑙、欧泊、尖晶石和金绿宝石等。

氧化物类宝石的阴离子为氧，阳离子主要为惰性气体型离子和位于元素周期表左

方的过渡型离子。化学键以离子键为主，共价键成分很少。在物理性质上，主要体现离子晶格特征，光学特征与阳离子的成分有很大关系。如阳离子为惰性气体型离子 Mg, Li, Si 等，一般表现为无色或浅色，透明至半透明，以玻璃光泽为主；若阳离子为过渡型离子 Fe, Mn, Cr, Ti 等，则宝石的颜色较深，半透明至不透明，半金属光泽。摩氏硬度一般大于 5.5。密度与阳离子元素的相对原子质量有关。如为相对原子质量较大的元素，如 Fe，则密度较大，如为轻元素，如 Si，则密度较小。

(4) 含氧盐类

按照阴离子的成分，含氧盐类宝石包括硅酸盐类、碳酸盐类、磷酸盐类和其他含氧盐类。硅酸盐类是品种最多的一类宝石，常见品种有锆石、橄榄石、石榴石、托帕石、绿帘石、祖母绿、海蓝宝石、碧玺、辉石、翡翠、软玉、矽线石、岫玉、日光石、月光石、长石、方柱石和寿山石等。碳酸盐类常见品种有方解石、孔雀石、菱镁矿、白云石和文石等。其他含氧盐类的宝石常见品种有磷灰石、绿松石、天青石和重晶石等。

硅酸盐类宝石的阳离子主要是惰性气体型离子和部分过渡型离子。阴离子除 Si 和 O 组成的络阴离子外，还可以出现一些附加阴离子，如 O^{2-} 、 OH^- 、 F^- 、 Cl^- 、 S^{2-} 、 $[CO_3]^{2-}$ 等。硅酸盐类宝石的结构主要取决于络阴离子的结构。由于硅酸盐类宝石络阴离子主要是由 Si 和 O 所组成，因此常把硅酸盐络阴离子的结构称为硅氧骨干。硅氧骨干有岛状、环状、链状、层状和架状。常把具有相应硅氧骨干的硅酸盐宝石称为岛状结构硅酸盐宝石、环状结构硅酸盐宝石等。

不同类型硅氧骨干的化学键特点有很大差异，这种差异决定了相应宝石的形态和物理化学性质。

岛状结构硅酸盐类宝石的硅氧骨干呈孤立的 $[SiO_4]$ 四面体或 Si_2O_7 双四面体，四面体之间被其他阳离子隔开，彼此分离，犹如孤岛。硅氧骨干内部为共价键。岛状结构硅酸盐类宝石一般呈三向等长的粒状形态，结构比较紧密，解理不发育，多为透明、玻璃光泽，部分可达亚金刚光泽。一般密度、硬度、折射率都比较大。常见的有锆石、橄榄石、石榴石、托帕石和绿帘石等。

环状结构硅酸盐类宝石的 $[SiO_4]$ 四面体以角顶联结形成封闭的环，根据 $[SiO_4]$ 四面体环节的数目可以有三环 $[Si_3O_9]$ ，四环 $[Si_4O_{12}]$ ，六环 $[Si_6O_{18}]$ 等。环内以共价键为主，环与环之间平行排列，环之间由金属阳离子以离子键相连。具环状结构的硅酸盐类宝石晶体一般呈柱状，柱状晶体往往属六方或三方晶系，柱的延长方向垂直于环状硅氧骨干的平面。这类宝石的结构比较致密（但是不及岛状结构致密），硬度较大，摩氏硬度为 7~8。多呈透明、玻璃光泽、浅色，硬度较高，解理不明显。常见品种有祖母绿、绿柱石、碧玺和堇青石等。

链状结构硅酸盐类宝石的 $[SiO_4]$ 四面体以角顶联结成沿一个方向无限延伸的链，其中常见的有单链和双链。链内以共价键为主，链间由金属阳离子相联。具链状硅氧骨干的硅酸盐类宝石晶体常常呈柱状或针状晶体，晶体的延长方向平行于链状硅氧骨干延长的方向，解理沿链的延长方向比较发育，可达中等到完全解理。玻璃光泽，密度中等，摩氏硬度一般为 5~6。颜色与阳离子的成分有关：阳离子为惰性气体型离子时颜色较浅，透明；阳离子为过渡型离子时，颜色较深，透明度较差。常见的品种

有辉石、翡翠、透闪石、软玉和砂线石等。

层状结构硅酸盐的硅氧骨干以 $[\text{SiO}_4]$ 四面体角顶相联，形成在二维空间上无限延伸的层。在层中每一个 $[\text{SiO}_4]$ 四面体以3个角顶与相邻的 $[\text{SiO}_4]$ 四面体相联结。金属阳离子位于层间以离子键与层相联构成结构单元。结构单元之间以分子键为主相联。层状结构硅酸盐宝石矿物多呈层状。由于层间的化学键很弱，因此硬度小，摩氏硬度一般低于3。密度小，解理发育。层状硅酸盐类宝石一般为矿物集合体，结构比较细腻。常见的宝石品种有岫玉（蛇纹石玉）、寿山石、叶蜡石和滑石等。

架状结构硅酸盐类的硅氧骨干每个 $[\text{SiO}_4]$ 四面体的4个角顶全部与其相邻的4个 $[\text{SiO}_4]$ 共用，构成架状结构。其中部分Si被Al代替，产生剩余电价，金属阳离子充填在架状结构的孔隙中，与剩余电价相平衡。由于硅氧骨干之间以共价键为主，所以架状结构硅酸盐类宝石的硬度较大，摩氏硬度常在6左右。但是架状结构硅酸盐晶格中的孔隙较大，因此这类宝石的密度较小。此类宝石中有离子键成分，晶体一般表现为透明，玻璃光泽，浅色或无色。常见的品种有长石（包括日光石、月光石、拉长石等）、方柱石、方钠石等。

碳酸盐类宝石常见的品种有方解石、菱镁矿、孔雀石、蓝铜矿等。碳酸盐类宝石的阴离子为 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 。此类宝石以离子键为主，一般颜色较浅，玻璃光泽，如果含色素离子则呈鲜艳的彩色，如孔雀石和蓝铜矿。硬度较低，摩氏硬度3~4。多数碳酸盐类矿物与酸易于反应。

磷酸盐类宝石常见的品种有磷灰石、绿松石、独居石。这类宝石呈离子键光学特征，玻璃光泽，硬度中等，摩氏硬度为5左右。阳离子为惰性气体型离子时无色或浅色；阳离子为过渡型离子时呈鲜艳的彩色，如绿松石。

其他含氧盐类宝石包括砷酸盐、钒酸盐、硫酸盐等。这些宝石比较少见，它们呈离子键性质，玻璃光泽，透明度较好。硬度中等到偏低。主要品种有重晶石、天青石、铅钒、硬石膏、硼铍石、硼铝镁石、方硼石、白钨矿和钼铅矿等。

(5) 卤化物类

卤化物类宝石为卤族元素与碱金属和碱土金属的化合物。这类宝石具有典型的离子键，因此，这类宝石在物理性质上表现为透明、无色、小的密度、小的折射率、弱的光泽，性脆，硬度较低。常见的品种有萤石，其他品种不常见，如冰晶石和锥冰晶石等。

1.2.2 次要化学成分

次要元素或称微量元素对宝石有着非常重要的作用。在有些情况下，次要元素决定了某种矿物的宝石品种以及是否能够成为宝石。比如，不含Cr、Fe、Ti的刚玉不能称为宝石。只有含有这些元素或其中的某种元素，才使刚玉能够跻身于宝石的行列。而不同的微量元素又决定了宝石的品种。含有Cr的刚玉如果能够达到宝石级，则成为漂亮的红宝石，而含有Fe和Ti的刚玉则成为蓝宝石。这些微量元素在宝石的晶格中一般以类质同像的形式存在。

(1) 类质同像的概念

大多数宝石为晶体。晶体中某种质点被类似的质点所代替，而能保持原有晶格，

只是晶格常数稍有改变的现象，称为类质同像。类质同像也可以称为固溶体。

晶体中的某种质点被另一种质点代替的限度是不同的。如果可以无限制地代替，称为完全类质同像，否则，称为不完全类质同像。例如，橄榄石 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ 的晶体结构中， Mg^{2+} 和 Fe^{2+} 可以任意比例地进行相互代替。如果晶格中这个位置全部是 Mg^{2+} ，这种橄榄石称为镁橄榄石。如果一部分 Mg^{2+} 被 Fe^{2+} 代替，并且 Fe^{2+} 占 Mg^{2+} 及 Fe^{2+} 总和的 $x\%$ ，称为贵橄榄石。如果 Fe^{2+} 代替 Mg^{2+} 的比例进一步增加，直到全部 Mg^{2+} 都被 Fe^{2+} 所代替，这种橄榄石称为铁橄榄石。其中贵橄榄石的颜色最鲜艳，适于作宝石，镁橄榄石颜色太浅，而铁橄榄石则颜色过深。大部分宝石发生的类质同像为不完全类质同像，如红宝石和蓝宝石。红宝石 Al_2O_3 的晶体结构中 Cr^{3+} 部分代替 Al^{3+} ，从而使其具有鲜艳的红色。

(2) 形成类质同像的条件

类质同像是类似质点的相互代替。因此，首先要求双方大小和性质相近，否则，将会引起晶格的破坏，改变晶体的结构，那就会变成另外一种矿物，而不再是类质同像的范畴。相互代替的质点必须具备以下条件。

原子或离子半径相近。

相互替代的原子或离子，其半径应当相近。一般情况下，当两种质点（原子、离子或分子）的半径不超过较小质点的 15% 时，可以进行无限制的代替，形成完全类质同像。当两种质点半径的差值占较小质点的比例为 15% ~ 40% 时，可以产生不完全类质同像。当差值与较小质点的比例超过 40% 时，不能发生类质同像。

例如，橄榄石 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ 的晶体结构中， Mg^{2+} 和 Fe^{2+} 所占据的位置为六次配位的八面体空隙，其中 Mg^{2+} 和 Fe^{2+} 的离子半径分别为 0.072nm 和 0.078nm，二者差值占较小离子的比例为 8.3%，小于 15%，因此，在橄榄石晶格中 Mg^{2+} 和 Fe^{2+} 可以形成完全类质同像代替。而在红宝石 Al_2O_3 晶格中， Cr^{3+} 离子与 Al^{3+} 的离子半径分别为 0.063nm 和 0.051nm，二者差值与较小离子半径的比值为 23.5%，因此，在红宝石晶格中， Cr^{3+} 只能与 Al^{3+} 发生不完全类质同像。

总电价平衡。

在类质同像的代替中，必须保持总电价的平衡。为使总电价保持平衡，可能采取不同的代替方式。比如，可能发生简单的代替，像橄榄石中 Mg 和 Fe 的代替。也可能发生成对的代替，像斜长石 $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]-\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ 中， $\text{Na}^+ + \text{Si}^{4+}$ 代替 $\text{Ca}^{2+} + \text{Al}^{3+}$ 。

离子类型相近。

相互代替的离子类型相差过大，势必引起键性的剧烈改变而使晶格解体。例如 Cu^+ 和 Na^+ 的电价相同，离子半径分别为 0.097nm 和 0.096nm，差值仅为 1%，但是在晶体中几乎看不到它们之间的相互代替。原因就在于它们的离子类型完全不同。

形成温度和压力。

温度增高有利于类质同像的产生，而温度降低则将限制类质同像的范围，并促使其离溶。如在高温条件下，K, Na 可以呈类质同像代替的形式存在于长石 $(\text{K}, \text{Na})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ 中。温度降低时，K, Na 不能再以类质同像的形式占据相同的晶格

位置，晶体发生离溶，形成了钾长石 $K[AlSi_3O_8]$ 和钠长石 $Na[AlSi_3O_8]$ 两种相。这两种长石相呈很薄的层状交互重叠，形成了具有特殊光学效果的宝石——月光石。

一般说来，压力的增大将限制类质同像代替的范围并促使其离溶。

(3) 类质同像对宝石性质的影响

类质同像对宝石的影响很大，主要表现在以下几个方面。

对宝石颜色的影响。

常见的类质同像一般为不完全类质同像。这种类质同像代替的离子或原子的比例一般很小。但是，它对宝石的颜色常常发生很大的影响。比如，在刚玉的晶格中，如果适量的 Cr 代替 Al ，刚玉的颜色会变红，从而使其成为红宝石，如果适量的 Fe 或 Ti 代替 Al 刚玉会呈现蓝色，成为蓝宝石， Fe 或 Ti 离子质量分数还不到 1%。

又比如，纯净的绿柱石 $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$ 是无色的。当少量的 Cr 代替了其中的 Al ，它就会呈现鲜艳的绿色，成为漂亮的祖母绿。纯净的硬玉 $NaAl[Si_2O_6]$ 也是无色的。当发生类质同像，部分 Cr 代替了其中的 Al 时，它就会呈现绿色，成为翡翠。

发生类质同像代替的离子或原子的量对宝石的颜色深浅有很大影响。比如，在翡翠晶格中当代替 Al 的 Cr 量很少时，翡翠呈现很浅的绿色。当代替 Al 的 Cr 的量适当时，呈鲜艳的绿色。当 Cr 的量过多时，则呈很深的绿色甚至黑色。

很多宝石的颜色都是由于类质同像产生的。因此，研究类质同像对于研究宝石的颜色具有非常重要的意义。

对宝石折射率的影响。

当宝石晶格中发生类质同像时，宝石的折射率有可能发生变化。例如，无色的未发生类质同像代替的刚玉的折射率为 $N_e = 1.759$ ， $N_o = 1.767$ ；而发生类质同像， Fe 代替 Al 所形成的深蓝色的蓝宝石的折射率值为 $N_e = 1.763$ ， $N_o = 1.771$ 。又如，无色硬玉的折射率为 1.65(点测)，而含 Cr 量较高的深色翡翠的折射率值可达 1.68(点测)。

对宝石密度的影响。

类质同像对宝石的密度有一定的影响，因此，在鉴定、研究宝石时要考虑到类质同像的因素。碧玺又称电气石，是一种比较容易发生类质同像的宝石。碧玺的化学式比较复杂，比如镁电气石 $NaMg_3Al_6[Si_6O_{18}](OH)_4$ 中的 Mg 可以被 Fe 代替，形成铁电气石 $NaFe_3Al_6[Si_6O_{18}](OH)_4$ ，发生完全类质同像。镁电气石的密度为 $3.03g/cm^3$ ，而铁电气石的密度为 $3.25g/cm^3$ 。

1.3 宝石的物理性质

宝石之所以能作为一类特殊商品，是因为宝石具有良好的物理性质，包括力学性质和光学性质。在宝石鉴定中还要利用到它的电学、磁学等其他性质。

1.3.1 宝石的光学性质

宝石的光学性质是指宝石在对可见光线吸收、反射和折射时所表现的特殊性质以

及可见光在宝石中的干涉和散射现象。

1.3.1.1 光的本质

物理学研究已经证明，光既具有粒子性，又具有波动性。从波动性角度来看，光是一种电磁波。电磁波是电磁振动在空间的传播过程。电磁振动的方向垂直其传播方向，故光波是横波，它应具有波动性，因此，宝石的许多光学现象，如反射、折射、干涉、偏振和衍射等光学现象，都可以从光的波动性给予解释。

光不但具有波动性，而且还具有粒子性。1900年普朗克提出了光的量子理论，爱因斯坦进一步发展了这个理论。他认为，光能是从光源发出的一颗颗不连续的粒子流，这些粒子称为光量子或光子。不同频率的光子具有不同的能量，它与光的频率成正比，而与光的波长成反比。即波长越短，光的能量越大。光的粒子性很好地解释了宝石的颜色成因及荧光、磷光等现象。

研究宝石材料一个最主要的内容就是各种宝石样品的光学性质。要充分了解光学性质及其在宝石鉴定中的作用，首先要了解光的本性及其在各种宝石中的作用。

可见光，太阳、蜡烛或电灯所发射的光，都是辐射能的一种形式。人们所能看得见的可见光是电磁波谱的一小部分，其他的肉眼看不见。电磁波谱波长从短到长包括γ射线、X射线、紫外线、可见光、红外线、微波和无线电波等，如图1-8所示。

宝石学研究所关心的是电磁波谱中的可见光部分。可见光只是电磁波谱中非常小的一部分，波长范围为380~760nm。但是，视觉正常的人在光亮条件下只能感受到400~700nm的光波。习惯上一般从波长最长的红光开始算起，其颜色和波长范围分别为红色(700~622nm)、橙色(622~597nm)、黄色(597~577nm)、绿色(577~492nm)、蓝色(492~455nm)和紫色(455~400nm)。但是大部分光波的波长和颜色会受光强度的影响。在可见光谱范围内，只有572nm(黄绿色)、503nm(绿色)和478nm(蓝色)三个波长的颜色不受光强度的影响，其余颜色在光强度增加时，都略向红色或蓝色偏移。因此，当光强度不同时，同一块宝石的颜色也会略有变化。将这些不同波长、不同颜色的光混合起来就是人们所见到的白光。如果白光中某一范围波长的光被吸收，则剩余所有波长的光的混合就是它的颜色。

在540nm附近，人眼能够分辨出波长改变1nm的颜色。在其他波长范围内一般可以识别出波长变化1~2nm的光的颜色。

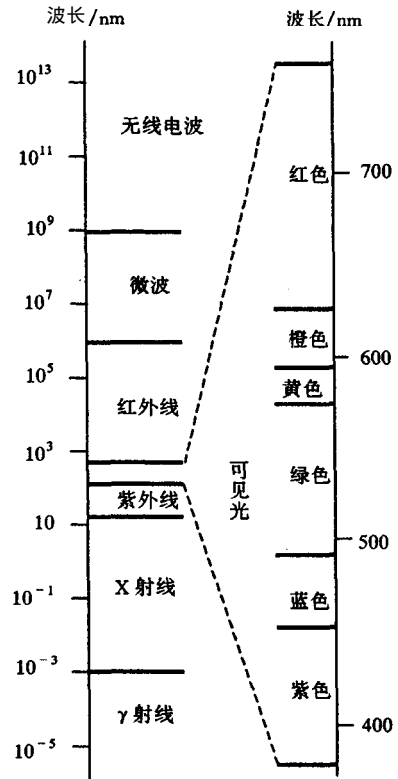


图 1-8 可见光谱与电磁波谱的关系示意图