

# 宝石学简明教程

Concise Gemology

主 编 于万里

副主编 罗永安 高太忠

东北大学出版社

沈 阳

于万里 2006

图书在版编目 (CIP) 数据

宝石学简明教程 / 于万里主编 . — 沈阳 : 东北大学出版社, 2006.2  
ISBN 7-81102-188-9

. 宝... . 于... . 宝石—教材 . P578

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 146101 号

---

出 版 者: 东北大学出版社

地 址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮 编: 110004

电 话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传 真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: www.neupress.com

印 刷 者: 沈阳农业大学印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 11.375

插 页: 4

字 数: 269 千字

印 数: 1 ~ 2000 册

出版时间: 2006 年 2 月第 1 版

印刷时间: 2006 年 2 月第 1 次印刷

责任编辑: 孟 颖

责任校对: 解 丽

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

---

定 价: 25.00 元

# 前言

随着国民经济的发展和人民生活水平的提高，近年来珠宝业在我国得到了迅速发展。珠宝已经不再是少数人的奢侈品，而逐渐成为人们日常生活的一部分。珠宝业的迅速发展亟需宝玉石方面的专门人才。为了满足这方面的人才需求，一些大专院校相继设立了相关专业。本教材是作者多年从事宝石专业教学的经验总结。同时，为满足其他专业学生获得宝玉石方面知识的需要，本教材在讲清基本原理、基本理论和基础知识的前提下，尽可能简练，使之既能适应宝石专业学生学习的需要，又适合于作为其他专业的学生学习宝石学的入门教材。

本书内容包括：宝石学基础知识，宝石的鉴定方法，常见宝石，常见玉石，其他宝玉石，有机宝石，宝石的合成优化与处理以及附录。

本书由燕山大学于万里教授主编。第1章和第6章由河北科技大学高太忠教授、燕山大学罗永安老师共同编写，其余章节由于万里教授执笔。全书由于万里教授统编定稿。研究生尹蓉、张金赞、范春丽、张佰锋在本书的编写过程中做了大量的资料收集、编辑整理、文字处理和校对等工作，在此表示感谢。

作者

2005年11月于燕山大学

# 目 录

第 0 章	绪 论	1
0.1	宝石的概念	1
0.2	宝石的特点	1
0.3	宝石的分类	2
0.4	宝石的命名方法	4
第 1 章	宝石学基础知识	6
1.1	宝石的结构	6
1.2	宝石的成分	12
1.3	宝石的物理性质	16
第 2 章	宝石的鉴定方法	36
2.1	宝石的常规检测	36
2.2	大型仪器在宝石鉴定中的应用	46
第 3 章	常见宝石	55
3.1	钻 石	55
3.2	红宝石和蓝宝石	68
3.3	绿柱石族宝石	72
3.4	金绿宝石	75
3.5	碧 玺	77
3.6	尖晶石	79
3.7	锆 石	80
3.8	托帕石	82
3.9	橄榄石	84
3.10	石榴石	85
3.11	水 晶	88
3.12	长 石	91
第 4 章	常见玉石	93
4.1	翡 翠	93
4.2	软 玉	102

4.3	蛇纹石玉 .....	105
4.4	独山玉 .....	108
4.5	欧 泊 .....	110
4.6	石英岩玉 .....	112
4.7	玉髓、木变石和硅化木 .....	114
4.8	绿松石 .....	117
4.9	青金石 .....	120
4.10	方钠石.....	123
4.11	孔雀石.....	124
4.12	萤 石.....	124
4.13	碳酸盐类玉石.....	125
4.14	天然玻璃.....	126
4.15	丁香紫玉.....	127
4.16	寿山石.....	128
4.17	鸡血石.....	129
4.18	青田石.....	130
第 5 章	其他宝玉石.....	132
第 6 章	有机宝石.....	147
6.1	珍 珠 .....	147
6.2	珊 瑚 .....	149
6.3	琥 珀 .....	150
6.4	龟甲（玳瑁） .....	152
第 7 章	宝石的合成优化与处理.....	153
7.1	宝石的合成方法 .....	153
7.2	宝石的优化与处理方法 .....	157
附 录	.....	162
附表 1	宝石折射率检索表 .....	162
附表 2	宝石密度检索表 .....	166
附表 3	宝石硬度检索表 .....	168
附表 4	常见宝石的可见光吸收光谱 .....	169
附表 5	常见宝石的优化处理方法 .....	172
参考文献	.....	173

# 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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熔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。

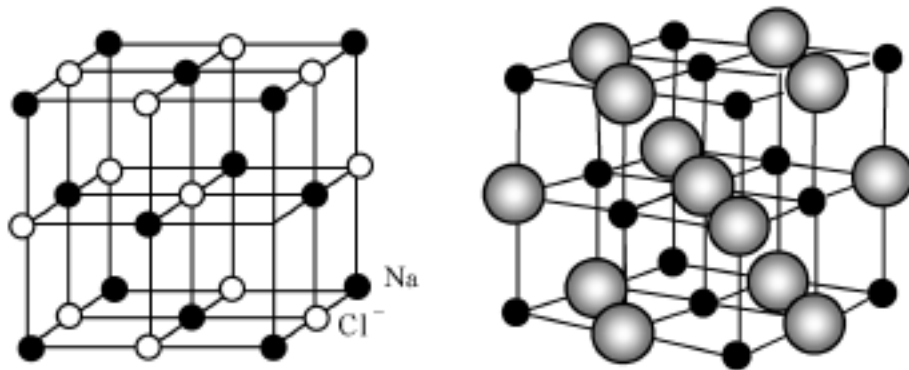


图 1-2 食盐的晶体结构(图中小球代表  $\text{Na}^+$ ，大球代表  $\text{Cl}^-$ )

### (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。

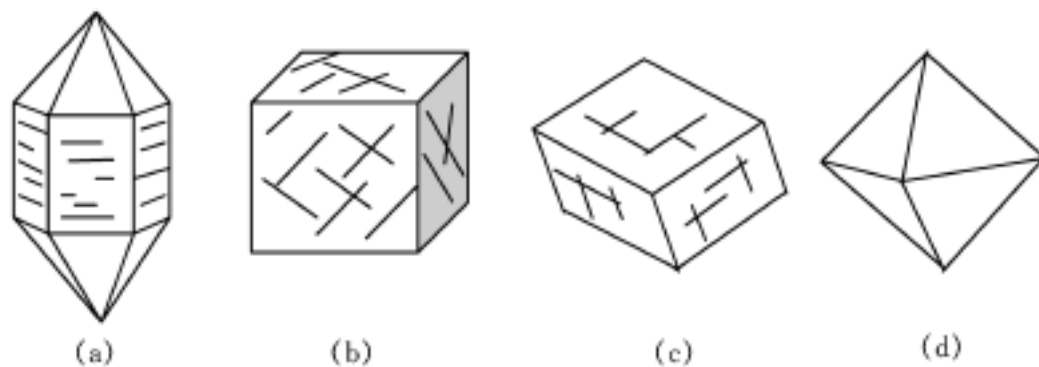


图 1-3 水晶  $\text{SiO}_2$ (a)，萤石  $\text{CaF}_2$ (b)，冰洲石  $\text{CaCO}_3$ (c)，钻石  $\text{C}$ (d) 晶体

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)。

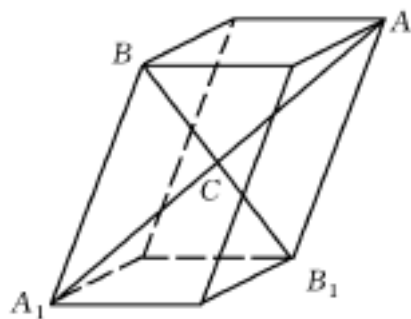


图 1-4 具有对称中心( $C$ )的图形

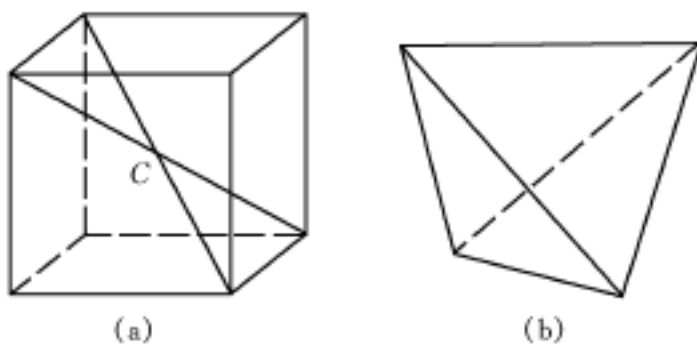


图 1-5 立方体有 1 个对称中心(a), 四面体无对称中心(b)

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)。

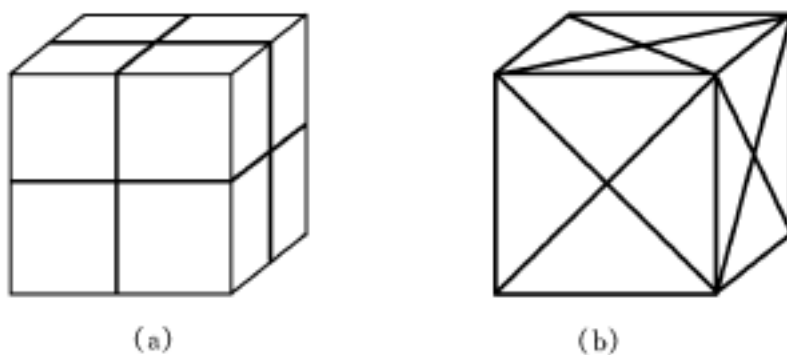


图 1-6 立方体的 9 个对称面

(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( $360^\circ$ )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

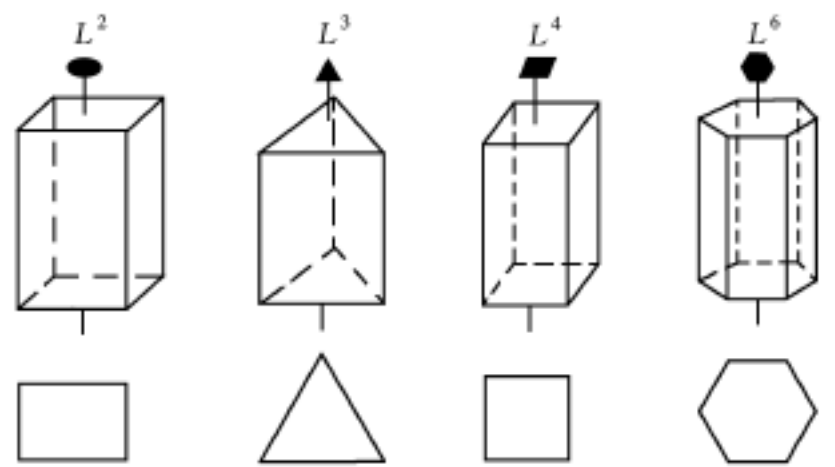


图 1-7 晶体中的对称轴示意图(其下对应的图为垂直该轴的切面图)

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 $L^3$	$a = b = c$ $= = 90^\circ$	$3 L^4 4 L^3 6 L^2 9 PC$	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 $L_i^6$	$a_1 = a_2 = a_3 \quad c$ $= = 90^\circ$ $= 120^\circ$	$L^6 6 L^2 7 PC$	祖母绿，海蓝宝石，绿柱石，磷灰石
	三方晶系	有 1 个 $L^3$	$a_1 = a_2 = a_3 \quad c$ $= = 90^\circ$ $= 120^\circ$	$L^3 3 L^2 3 PC$	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 $L_i^4$	$a = b \quad c$ $= = 90^\circ$	$L^4 4 L^2 5 PC$	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	$a \quad b \quad c$ $= = 90^\circ$	$3 L^2 3 PC$	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	$a \quad b \quad c$ $= = 90^\circ$ $> 90^\circ$	$L^2 PC$	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 $P$	$a \quad b \quad c$ $90^\circ$ $> 90^\circ$	$L^1$ 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  $\alpha$ -石英( $\text{SiO}_2$ )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( $\text{Mg, Fe})_2[\text{SiO}_4]$ 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( $\text{Mg, Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 、金红石  $\text{TiO}_2$  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  $[SiO_4]$  单四面体或  $[Si_2O_7]$  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、软玉和矽线石等。

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， $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Fe}^{2+}$  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  $\text{Mg}^{2+}$ ，这种橄榄石称为镁橄榄石。如果一部分  $\text{Mg}^{2+}$  被  $\text{Fe}^{2+}$  代替，并且  $\text{Fe}^{2+}$  占  $\text{Mg}^{2+}$  及  $\text{Fe}^{2+}$  总和的 10% ~ 30%，称为贵橄榄石。如果  $\text{Fe}^{2+}$  代替  $\text{Mg}^{2+}$  的比例进一步增加，直到全部  $\text{Mg}^{2+}$  都被  $\text{Fe}^{2+}$  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  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的晶体结构中  $\text{Cr}^{3+}$  部分代替  $\text{Al}^{3+}$ ，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， $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Fe}^{2+}$  所占据的位置为六次配位的八面体空隙，其中  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Fe}^{2+}$  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  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Fe}^{2+}$  可以形成完全类质同像代替。而在红宝石  $\text{Al}_2\text{O}_3$  晶格中， $\text{Cr}^{3+}$  离子与  $\text{Al}^{3+}$  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， $\text{Cr}^{3+}$  只能与  $\text{Al}^{3+}$  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  $\text{Cu}^+$  和  $\text{Na}^+$  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  $\gamma$  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。

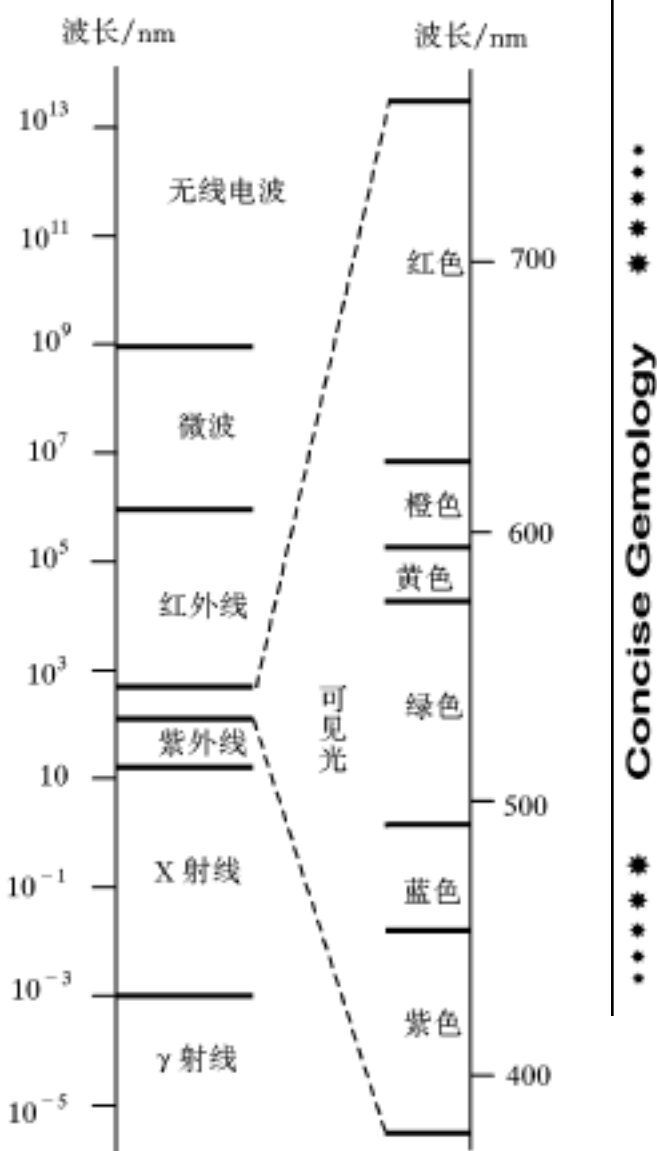


图 1-8 可见光光谱与电磁波谱的关系示意图

### 1.3.1.2 自然光与偏振光

自然光，一切从光源直接发出的光波，如太阳、电灯、星体等发出的光都是自然光。自然光在垂直光波传播的平面内，可沿各个方向振动，并且振幅相等，如图 1-9(a) 所示。

偏振光，在垂直光波传播方向的某一固定平面内沿一定方向振动的光波称为平面偏振光，简称偏振光或偏光，如图 1-9(b) 所示。自然光可以通过反射、折射、选择性吸收等作用转变为偏振光。

根据光学性质的不同，可以把宝石材料划分为光性均质体(各向同性介质)和光性非均质体(各向异性介质)，简称均质体和非均质体。等轴晶系的宝石和非晶质体宝石的光学性质在各个方向相同，称为均质体，如石榴石、萤石、钻石、尖晶石和火山玻璃等；中级晶族和低级晶族宝石的光学性质随方向而异，称为非均质体，如水晶、红宝石、蓝宝石、祖母绿和碧玺等。大多数宝石属于非均质体。

自然光或偏振光在射入均质体或非均质

体后，既会发生振动方向的变化，又会发生传播方向的变化。传播方向的变化与光的折射和反射有关，取决于入射光与宝石表面的夹角。如果入射光垂直宝石表面入射，就不会发生传播方向改变的现象。因此，这里在讨论光波的振动方向时，只考虑入射光波垂直宝石表面入射。光波在宝石中传播方向的变化将在宝石对光的折射与反射部分讨论。

如图 1-10 所示，自然光或偏振光光波进入均质体宝石时，基本不改变入射光波的振动特点和振动方向。

非均质体宝石情况略为复杂。中级晶族的宝石晶体有一个光轴，光轴的方向与高次轴平行。比如，祖母绿为六方晶系，它有一个六次轴与六方柱的延长方向平行，晶体中的光轴就与六次轴( $L^6$ )平行。三方晶系和四方晶系的光轴分别与晶体中的三次轴( $L^3$ )和四次轴( $L^4$ )平行，如图 1-7 所示。低级晶族晶体具有两个光轴，光轴之间的夹角称为光轴角。不同晶体的光轴角不同。

光波进入非均质体宝石时，除沿平行于光轴方向入射外，都会分解成振动方向互相垂直的两束偏振光。当入射光为自然光时，非均质体能改变光波的振动特点，将其分解成互相垂直的两束偏光，发生双折射。当入射光为偏振光时，非均质体宝石将此偏振光再次分解成互相垂直的两束偏振光，从而原振动方向发生改变。

图 1-11 以祖母绿晶体为例说明入射光平行于光轴入射到晶体中的情况。祖母绿属六方晶系，有一个光轴与六次轴平行。当入射光平行于光轴入射到晶体中时，不管

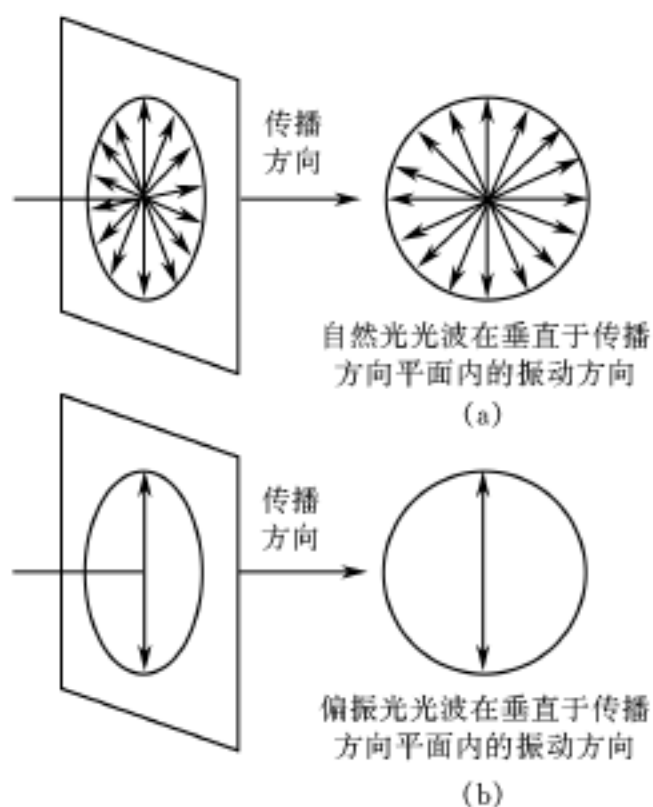


图 1-9 自然光(a)与偏振光(b)振动特点示意图

是自然光还是偏振光，都不改变入射光的振动方向。

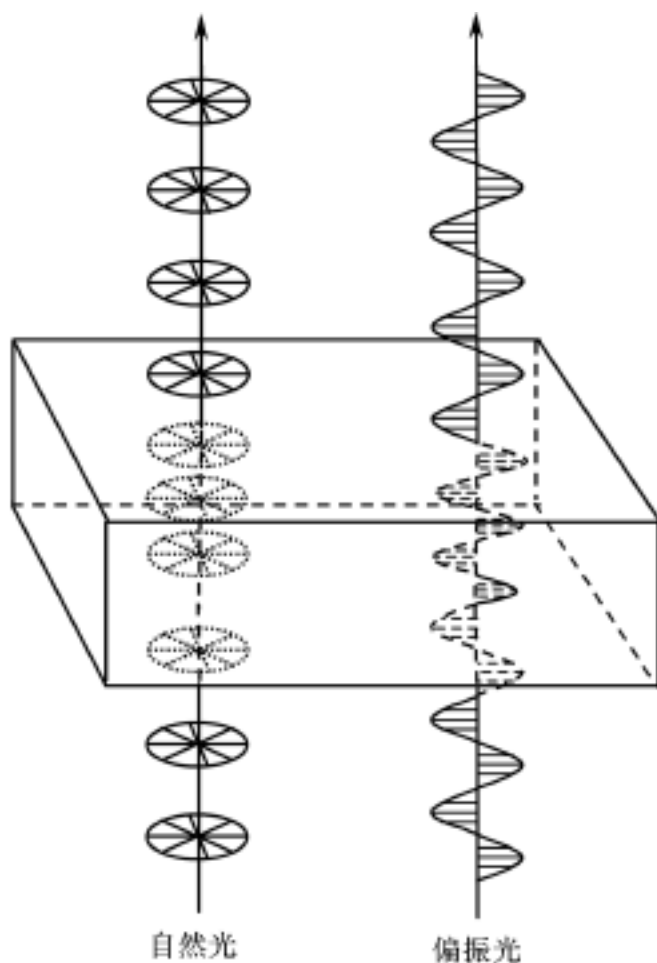


图 1-10 光波垂直均质体宝石入射示意图

当光波与光轴斜交射入到一轴晶非均质体宝石中时，会分解形成两束偏振光。仍以祖母绿为例，结合图 1-12 进行说明。

一束自然光与祖母绿的柱面成一定角度射入到祖母绿晶体后，会分解成两束偏振光。一束偏振光振动方向垂直于光轴(祖母绿的光轴与  $z$  轴平行)，称为常光，记为  $N_o$ ，折射率为  $N_o = 1.583$ 。一轴晶宝石垂直于光轴的折射率大小相等，所以垂直光轴的偏振光称为常光。另一束偏振光振动方向平行于光波传播方向与光轴构成的平面，称为非常光，记为  $N_e$ ，折射率为  $N_e = 1.577$ 。

如果一束偏振光入射到祖母绿晶体中，也会分解成  $N_o$ 、 $N_e$  两束偏振光。这两束偏振光的振动方向与自然光分解成的  $N_o$ 、 $N_e$  的振动方向相同，如图 1-13(a) 所示。但是，偏振光分解成的  $N_o$ 、 $N_e$  两束偏光是入射偏振光的矢量分解，或者说  $N_o$ 、 $N_e$  的矢量和等于入射偏振光的振幅，如图 1-13(b) 所示。因此其振幅大小与入射光的振动方向有关。由于光的振幅反映了光的强弱，因此，偏振光分解后光强比自然光要弱。

低级晶族的宝石具有两个光轴，在不同宝石晶体中，两个光轴的夹角和方位不

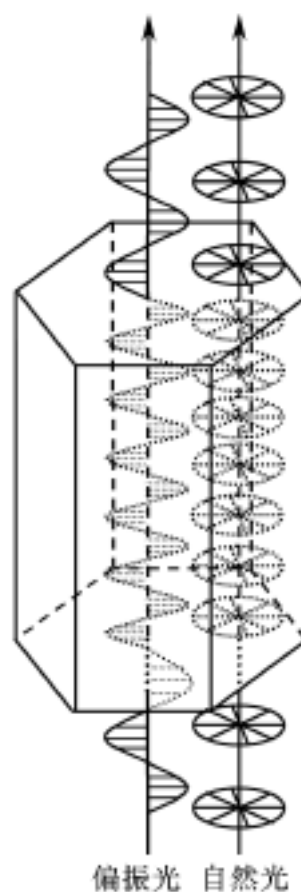


图 1-11 光波平行光轴入射到祖母绿晶体中振动方向示意图

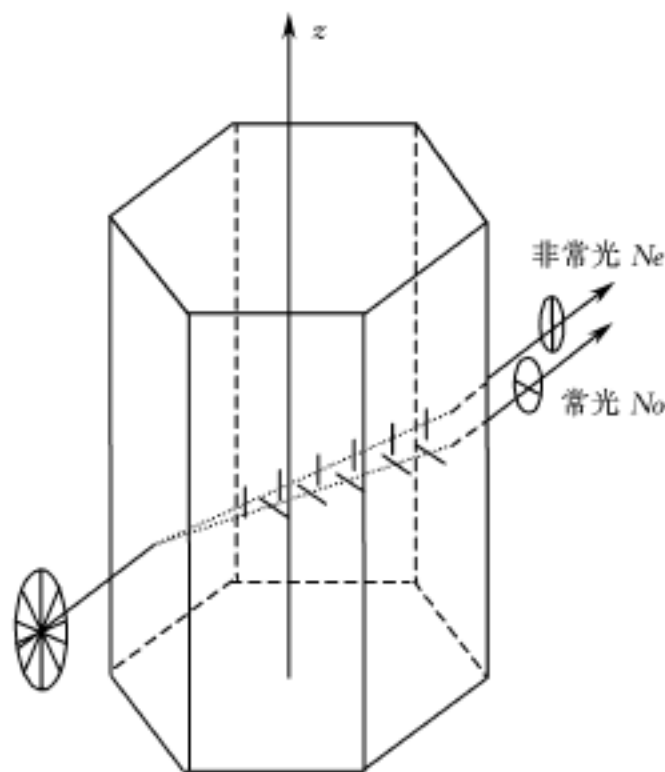


图 1-12 自然光沿任意方向进入祖母绿晶体发生双折射现象示意图



同。光波进入到低级晶族宝石晶体中时，也会分解成互相垂直的两束偏振光。偏振光的振动方向与光波的入射方向和两个光轴的方向有关。

### 1.3.1.3 颜色

颜色是宝石最直观的光学性质，它是肉眼鉴别宝石时最主要的单项指标，又是决定宝石品级，确定宝石价值大小的重要因素。颜色的研究是宝石学中一个非常重要的课题。

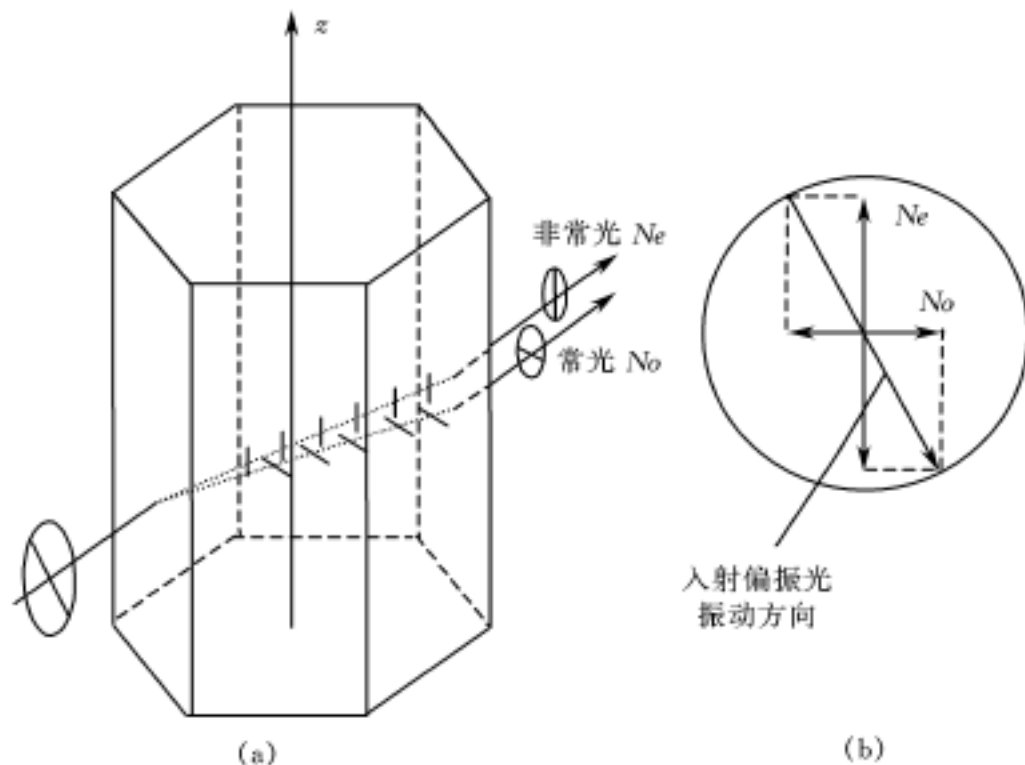


图 1-13 偏振光沿任意方向进入祖母绿晶体发生双折射现象示意图

#### (1) 颜色的形成

颜色不是物质的特性，它只是光作用于人的眼睛，并在大脑中产生的一种感觉。这种光是由物体反射、透射及相互作用产生的。宝石的颜色还与观察时所用的光源有关。

物体本身没有颜色，人们之所以能够看到颜色，是由于眼睛接受到该物体反射或透过部分光波的结果。在光波透过物体时，一般情况下只有部分入射光能够透过，其余入射光被物体吸收。通常称这种吸收为选择性吸收。同样，物体所反射的光波也具有选择性。透过物体的透射光和反射回来的反射光的总和进入人的眼睛，刺激视神经所产生的结果就是物体的颜色。

由于物体的颜色与所用的光源有关，因此，在观察宝石颜色时一般选择包含全部可见光的等量光波的光源，比如日光光源。人工光源则要求包含全部光谱色。如果在单一颜色的光源下观察宝石的颜色，就会得出错误的结果。例如，观察红宝石时，如果在偏红色的光源下观察，宝石会比实际颜色显得更红。

狭义的彩色是指除了白色、灰色及黑色外，人们对所有其他颜色的感觉。为了避免在“颜色”上造成概念上的混淆，将白、灰、黑称为“非彩色系列”，而将白、灰、黑以外的一切颜色称为“彩色系列”。因此，可以说宝石有白、灰、黑及各种彩色（如蓝色、黄色、蓝绿色等）。

无色一般适用于描述透明的宝石。这种宝石可以透过可见光中等量的光波。例如，无色的钻石及玻璃。

(2) 颜色的三要素

颜色是彩色(红、橙、黄、绿等)和非彩色(黑、白及各种灰色)的总和。不同的颜色在外观上可以以三种方式互相区别：色质、饱和度和亮度，称为颜色的三要素。如图 1-14 所示。

色质也称色调，指一种颜色能描述为红、绿或蓝色的属性，通常用主波长表示。例如，某宝石色质的主波长为 589nm，表明该宝石呈橙黄色。也可简单地由色质的中和色来描述。

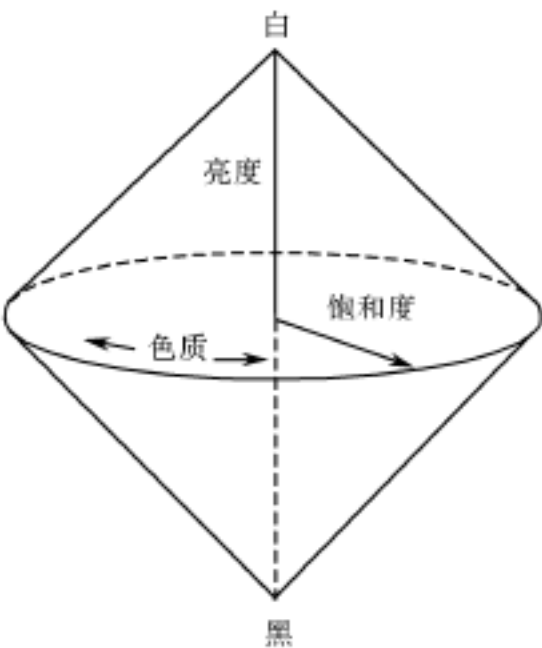


图 1-14 色彩锥体

饱和度也称色品，指彩色的纯净程度，或是白光的混入程度。通常用色光和白光的比例来定量表示。例如，饱和度 60% 的色光，指有 40% 的白光混入，宝石的颜色不像纯净时那样鲜艳。饱和度可简单地用很深、深、中等、浅和很浅五个等级来区别。

亮度也称强度或明度，指彩色的明亮程度，也是色光的光强大小。可用光波振幅的平方表示亮度，在宝石学中通常用视觉透射率来描述，它取决于宝石和照射光线的相互作用以及宝石琢磨质量的优劣。亮度还可简单地用高、中、低来形容。

(3) 致色元素

大多数宝石含有能引起对光选择性吸收的致色元素。宝石常见的致色元素如表 1-2 所示，均为过渡元素。这些元素的电子结构与可见光中特定频率的电磁振动相协调，当光线穿过晶体时吸收其部分能量，产生吸收带，因而残余光线中出现了颜色。

表 1-2 宝石中常见的致色元素

元 素	符 号	原子序数	元 素	符 号	原子序数
钛	Ti	22	铁	Fe	26
钒	V	23	钴	Co	27
铬	Cr	24	镍	Ni	28
锰	Mn	25	铜	Cu	29

致色元素有时是宝石的主要化学成分，比如橄榄石的化学成分是铁镁硅酸盐  $(Mg, Fe)_2[SiO_4]$ ，致色元素 Fe 是基本成分。由主要元素引起的颜色称为自色，这种矿物也称为自色矿物。常见的自色宝石如表 1-3 所示。由于自色是宝石矿物内在的原因引起的颜色，所以自色矿物的颜色很少变化。自色宝石品种比较少，且颜色变异较小。

表 1-3 常见自色宝石及其致色元素

致色元素	宝石名称	颜 色	致色元素	宝石名称	颜 色
钛 (Ti)	蓝锥矿	蓝	铁 (Fe)	铁铝榴石	红
铬 (Cr)	钙铬榴石	绿		橄榄石	绿
锰 (Mn)	菱锰矿	粉	铜 (Cu)	孔雀石	绿
	蔷薇辉石	粉		硅孔雀石	蓝绿
	锰铝榴石	橙		绿松石	绿蓝

当宝石的颜色是由宝石中微量元素引起的，这种颜色称为他色，相应的宝石也称为他色宝石。常见的他色宝石如表 1-4 所示。

表 1-4 常见他色宝石及其致色元素

致色元素	宝石名称	颜 色	致色元素	宝石名称	颜 色
钒(V)	绿柱石 钙铝榴石 黝帘石	绿 绿 淡紫、蓝	铁(Fe)	金绿宝石 海蓝宝石 电气石 尖晶石 软玉	黄 绿、蓝 绿、褐 蓝 绿
铬(Cr)	红宝石 尖晶石 祖母绿 翡翠 变石	红 红 绿 绿 红、绿	钴(Co)	尖晶石(极纯) 合成尖晶石	蓝 蓝
			镍(Ni)	玉髓 蛋白石	绿 绿
锰(Mn)	绿柱石	红			

1.3.1.4 多色性

宝石的颜色与光波的振动方向有关。对于各向异性的宝石，进入宝石的光波的振动方向不同，其颜色也不同。因此，严格地讲，宝石的颜色是在偏振光下所显示的颜色。现以蓝宝石的颜色为例进行说明。蓝宝石属三方晶系，中级晶族。具有一个光轴，光轴平行于六方柱的延长方向。入射偏振光如果平行于光轴入射，由于光波为横波，其振动方向垂直光轴(即垂直于六方柱的延长方向，如图 1-15 所示)，蓝宝石呈蓝色。如果入射偏振光垂直于光轴进入蓝宝石晶体，并且振动方向平行于光轴(即平行于六方柱的延长方向)，蓝宝石呈现蓝绿色。这就是蓝宝石的二色性。如果入射光的振动方向介于二者之间，则呈现二者之间的过渡色。

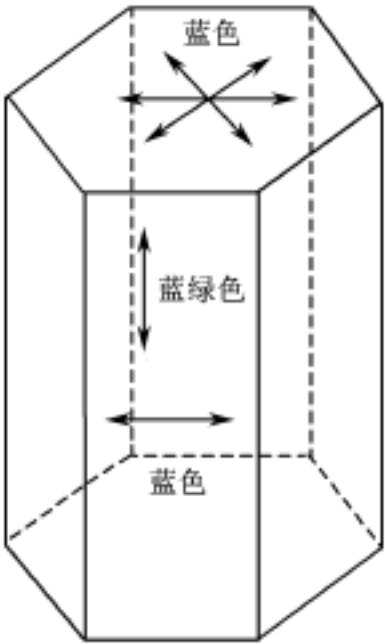


图 1-15 蓝宝石晶体不同方向偏振光所显颜色示意图

在观察宝石时，一般并不在偏振光下观察。因此，所看到的宝石的颜色是不同振动方向偏振光颜色的混合色。比如，如果自然光平行于光轴入射到蓝宝石晶体中，由于光波是横波，自然光的振动方向垂直于光轴，因此所有振动方向的光都呈蓝色。人们所看到的颜色是这些不同振动方向颜色的混合色，仍为蓝色。如果自然光垂直于光轴入射到蓝宝石晶体中，由于自然光波沿各方向都有振动，因此既有蓝绿色，也有蓝色，还有介于二者之间的混合色。这些颜色混合在一起，就是我们看到的颜色。由于蓝色的混入，绿色色调不如在偏振光下浓。因此，在自然光下看到的蓝宝石的多色性要比在偏振光下弱。其他中级晶族宝石的二色性与蓝宝石的二色性的原理相同，但是二色性的强弱不同，颜色也各不相同。

低级晶族的宝石有时会显示三色性，即宝石在三个不同方向上颜色不同，其原理与二色性相似。二色性和三色性统称为宝石的多色性。

宝石的多色性一般分为强、中、弱、无四个等级。肉眼可以观察到多色性的为强；肉眼较难观察到多色性，但是用二色镜很容易观察到，为中；用二色镜能够观察到多色性，为弱；用二色镜无法观察到的，为无。



一个非常有用的数据。折射率也可表示为光在空气中的传播速度与在某物质中的传播速度之比。对于某种宝石而言，有

$$\text{折射率} = \frac{\text{光在空气中的传播速度}}{\text{光在宝石中的传播速度}} \quad (1-2)$$

金刚石的折射率为 2.417，即光在空气中的行进速度是在金刚石中的 2.417 倍。

对于均质体宝石，包括等轴晶系和非晶质的宝石，由于其内部结构为各向同性的，光线在均质体中沿各个方向的传播速度相同，因此这类宝石在任意方向上均表现出相同的光性，即只有一个折射率值。

对于非均质体宝石，包括除等轴晶系以外其余六个晶系，均表现出各向异性。光波在非均质体宝石中传播时传播速度不仅与传播方向有关，还与偏振光的振动方向有关。因而不同振动方向的光波具有不同的折射率。以祖母绿晶体为例，振动方向垂直光轴的光波的折射率为  $N_o = 1.583$ ，振动方向平行于光轴的光波的折射率为  $N_e = 1.577$ 。振动方向介于二者之间的折射率  $N_e$  也介于  $N_e$  和  $N_o$  之间，即  $N_o > N_e > N_e$ 。由于光束进入非均质体宝石时会分解成振动方向互相垂直，传播方向不同的两束偏振光，因此，这两束偏振光的折射率是不同的。

如果以晶体的几何中心为中心，以折射率为半径，把光沿不同振动方向时宝石的折射率用图形表示出来，这种图形就是光率体。比如，祖母绿的光率体是一个上下方向压扁的旋转椭球体。光率体的直立轴平行于光轴，即平行于柱体的延长方向，直立轴的长度为  $N_e (1.577)$ ，通过光率体中心的水平截面为一个圆，圆的半径为  $N_o (1.583)$ 。利用光率体，可以很方便地确定任意方向的折射率。比如，测定祖母绿垂直柱面折射率的大小。由于光率体垂直柱面的截面为一个圆，圆的半径为 1.583，因此在该面上任意方向的折射率都相等，为 1.583。再比如，测定祖母绿柱面上不同方向折射率的大小。由于柱面与光率体的截面为一个椭圆，平行于光轴方向的椭圆半径为 1.577，因此该方向的折射率为 1.577，而垂直于光轴方向的椭圆半径为 1.583，因此该方向的折射率为 1.583。

均质体宝石为各向同性，不同方向的折射率相等，因此均质体宝石的光率体为一个球体。

中级晶族宝石具有一个光轴，光轴平行于晶体中的高次轴，称为一轴晶，光率体为旋转椭球体。光率体的直立轴与光轴平行，长度为  $N_e$ ，光率体的水平截面为一个圆，半径为  $N_o$ 。如果  $N_e > N_o$ ，称为一轴晶正光性；如果  $N_e < N_o$ ，称为一轴晶负光性。水晶为一轴晶正光性，其光率体为一个沿光轴方向拉长的旋转椭球体，如图 1-1 所示。祖母绿为一轴晶负光性，如图 1-17 所示。

低级晶族的宝石具有两个光轴，所以低级晶族的宝石也称为二轴晶宝石。其光率体为三轴不等长的椭球体。三轴长分别记为  $N_g$ ， $N_m$  和  $N_p$ ，其中  $N_g$  最大， $N_m$  中等，

$N_p$  最小。以橄榄石为例，橄榄石光率体与晶体的坐标轴及晶体外形的关系如图 1-18 所示。橄榄石  $(\text{Mg, Fe})[\text{SiO}_4]$  的折射率与其中含 Fe 量有关。含 Fe 量越高，折射率越

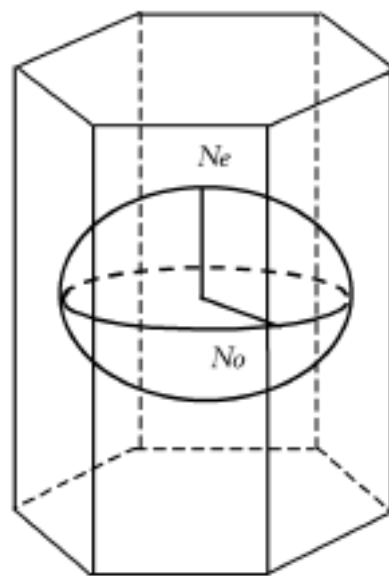


图 1-17 祖母绿晶体光率体与晶体关系示意图

大。如果 Fe 占 Mg, Fe 总量的 30%, 这种橄榄石就是深绿色的橄榄石, 则其光率体对应的三轴轴长为  $N_g = 1.733$ ,  $N_m = 1.715$ ,  $N_p = 1.692$ 。对于二轴晶宝石, 如果  $N_g - N_m > N_m - N_p$ , 称为二轴晶正光性; 如果  $N_g - N_m < N_m - N_p$ , 称为二轴晶负光性。前面提到的橄榄石  $N_g - N_m = 0.018$ ,  $N_m - N_p = 0.023$ ,  $N_g - N_m < N_m - N_p$ , 因而为二轴晶负光性。

不论一轴晶还是二轴晶, 折射率最大值与最小值的差值称为双折射率。即对于一轴晶正光性宝石, 其双折射率为  $N_e - N_o$ , 对于一轴晶负光性宝石, 双折射率为  $N_o - N_e$ 。对于二轴晶宝石, 其双折射率为  $N_g - N_p$ 。水晶的双折射率为  $N_e - N_o = 0.009$ , 含 Fe 量占 Mg、Fe 总量 30% 的橄榄石的双折射率为  $N_g - N_p = 0.141$ 。

在宝石学中, 折射率值为 1.35 ~ 1.81 的宝石, 其折射率可以在折射仪上测定。折射仪是宝石鉴定中常用的仪器, 另外也可用显微镜和油浸法测定折射率值。常见宝石的折射率见附表 1。

为了测定宝石的折射率, 必须明确全反射的概念。当光线从光密介质进入到光疏介质时, 由于光在光疏介质中传播的速度快, 因此折射角大于入射角, 如图 1-19 所示。当入射角逐渐增大时, 折射角也逐渐增大。当入射角增大到某一值(如入射光 2)时, 折射角可以达到 90°。这时, 折射光不再进入光疏介质, 而是沿着两种介质的界面传播, 把这时的入射角称为全反射临界角, 记为  $i_0$ 。如果入射角大于全反射临界角  $i_0$ , 折射光就会从两种介质的界面全部反射到光密介质中, 如入射光束 3。

如果已知光密介质的折射率  $N_0$ , 只要测出全反射临界角  $i_0$ , 根据折射定律, 就可以计算出光疏介质的折射率  $N$ , 即

$$N = N_0 \sin i_0 \quad (1-3)$$

#### 1.3.1.6 光 泽

光泽是宝石表面对可见光的反射能力, 它反映了宝石表面的明亮程度。光泽在很大程度上取决于宝石的折射率, 还与反射率、吸收比以及抛光程度等因素有关。反射率是指光垂直入射宝石表面时的强度与反射光强度的比值。光泽按强弱可分为金属光泽、半金属光泽、金刚光泽和玻璃光泽 4 个等级。

除按照光泽的强弱所划分的 4 个等级外, 宝石表面的光滑程度和宝石矿物颗粒的集合方式不同, 也会使宝石的光泽发生变化, 形成一些特殊的光泽, 如油脂光泽、沥

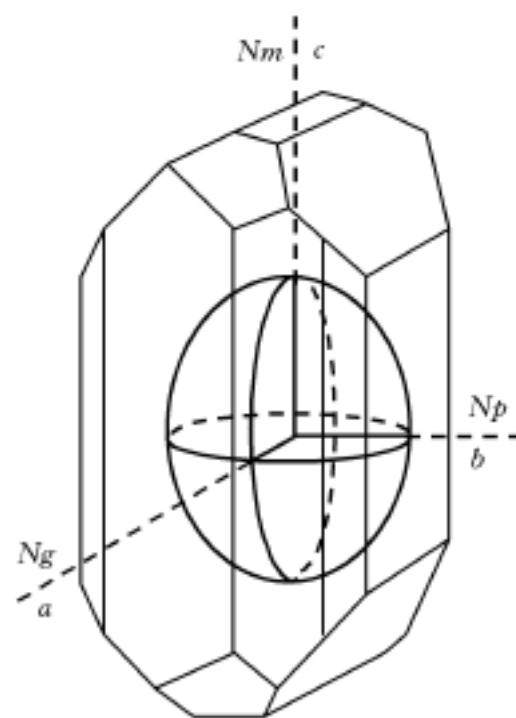


图 1-18 橄榄石晶体中的光率体示意图

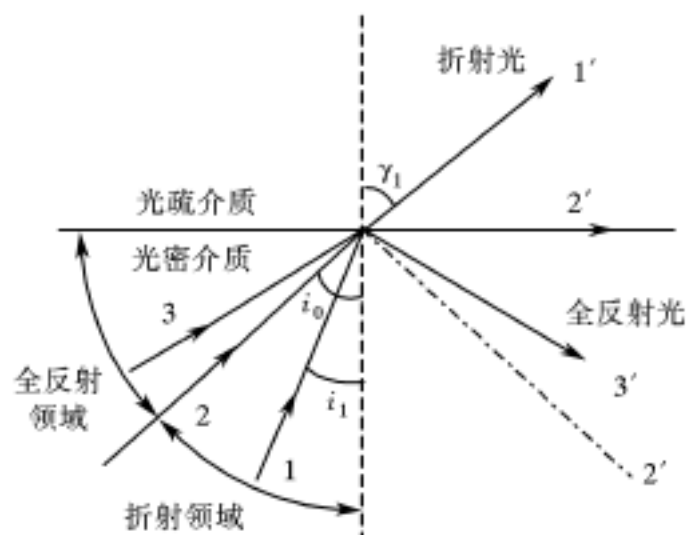


图 1-19 光的全反射示意图

青光泽、蜡状光泽、树脂光泽、丝绢光泽和珍珠光泽等。

金属光泽，金属和金属矿物可呈现这种光泽，光泽极强，能将入射光的大部分反射出来，反射率大于 25%。具金属光泽的宝石折射率一般大于 2.40。如金、银、黄铁矿、白铁矿等具有金属光泽。宝石中具有这种光泽的很少见。

半金属光泽，光泽强度仅次于金属光泽，反射率 19% ~ 25%。具有半金属光泽的宝石矿物，其折射率一般为 1.85 ~ 2.40。宝石矿物中的赤铁矿和磁铁矿可具有这种光泽。

金刚光泽，一些宝石表面能将相当大部分的光作平面反射，这种光泽为金刚光泽。具有金刚光泽的宝石矿物，其折射率为 1.80 ~ 2.40，反射率为 10% ~ 19%。金刚石是典型的具有金刚光泽宝石。金刚光泽是透明宝石所能具有的最强的光泽。

玻璃光泽，具有玻璃光泽的宝石反射率 4% ~ 10%，折射率为 1.30 ~ 1.80。多数宝石具有玻璃光泽。如红宝石、祖母绿、尖晶石、水晶等。

油脂光泽、树脂光泽和沥青光泽。见于宝石矿物不平坦的断口上，是由于非常细微的粗糙表面使光线漫反射的结果。无色透明的宝石矿物的断口常具油脂光泽，如水晶的断口；如果宝石为黄 ~ 黄褐色，其断口的光泽称为树脂光泽，如琥珀；如果宝石的颜色呈黑色，其断口的光泽称为沥青光泽，如黑曜石的断口。

蜡状光泽，在一些透明玉石矿物的隐晶质或非晶质致密块体上，由于反射面的不平坦而产生的一种比油脂光泽暗些的光泽，如块状叶蜡石的光泽。

丝绢光泽，由于纤维构造所产生的反光现象。如虎睛石、鹰睛石。

珍珠光泽，在珍珠表面或一些解理发育的浅色透明宝石矿物表面所见到的一种柔和多彩的光泽。如珍珠、石膏等。

在打磨光亮的宝石中，最重要的光泽是玻璃光泽和金刚光泽。各种光泽之间并没有明显的界限，没有两种光泽完全相同的宝石。光泽可以使宝石更加明亮，同时不同光泽也为鉴定宝石提供了有用的线索。

#### 1.3.1.7 透明度

透明度指宝石允许可见光透过的程度。假设  $I_0$  为入射光的强度，当它穿过 1cm 厚的介质后，光的强度减弱为  $I$ ，则

$$\frac{I}{I_0} = \quad (1-4)$$

式中， $\frac{I}{I_0}$  为介质的透光系数。显然， $\frac{I}{I_0}$  介于 0 ~ 1 之间，越接近于 1，介质的透明度就越高。

透明度一般分为以下 5 个等级：

透明，能容许绝大部分光透过的现象。当隔着 1cm 厚的透明矿物观察其后面的物体时，可清晰地见到物体轮廓的细节。如水晶等。

亚透明，能容许相当多的光透过的现象。当隔着 1cm 厚或更薄的半透明矿物观察其后面的物体时，能看到物体的轮廓，但是无法看清细节。白玉髓是典型的例子。

半透明，能容许部分光线透过，当隔着宝石观察其后面的物体时，仅能看到

物体轮廓的阴影。

亚半透明，仅在宝石边缘棱角处有少量光线透过，隔着宝石无法看清其后面的物体。如黑曜岩和天河石。

不透明，基本上不容许光透过的现象。当隔着不透明矿物的薄片观察时，完全见不到其后面的物体。如黑玉髓和绿松石。

对于不同的宝石，之所以表现出不同的透明度，是因为它们对光的反射和吸收的程度不同所致。

在实际应用时，有时为了方便，透明度的划分常常采取更为简单的三分法，即只分为透明、半透明和不透明三个级别。

#### 1.3.1.8 发光性

宝石的发光性是指宝石在外加能量(如紫外线、X射线等)的照射下发出可见光的性质。发光性的实质是矿物晶格吸收了较高的外加能量，然后以较低能量，即可见光形式释放出来造成的。在发光过程中，能量的释放可分为两个阶段，其一是在可见光区域内释放，发生机理是矿物晶体中原子或离子的外层电子，在受到外来能量激发时，电子发生跃迁过程而引起的。即当电子从较高的能级回落到较低能级的空位上时，将释放出多余的能量。这部分能量以相应波长的可见光形式发射出来，这种发光性称为荧光。具有荧光性矿物只要在外加能量连续作用下，就能持续释放某种可见光；但是外加能量一旦取消，发光即停止，如红宝石常发红色荧光。

在宝石鉴定过程中，常常观察宝石的紫外荧光现象。一般把紫外荧光的强度分为强、中、弱、无四个等级。

宝石的发光现象还常常被用在钻石的选矿上。在钻石的选矿过程中，有一个选矿环节称为光选。它是利用钻石受到X射线照射后会发出很强的荧光的性质挑选钻石的。

在另外一些矿物晶体结构中，激发电子可被晶体缺陷所捕获。如果捕获是暂时的，激发电子以一定速度回落到基态，能持续地释放出一定能量的可见光。即使在外加能量停止后仍能继续发光，这种缓慢衰退的发光称为磷光。比如，某些含有稀土元素的萤石常常具有磷光效应。具有磷光效应的宝石有时被称为夜明珠。

#### 1.3.1.9 特殊光学效应

由于光的反射、折射、干涉和衍射等作用，在宝石中还会产生一系列特殊光学效应，常见的有猫眼效应、星光效应、变彩效应和变色效应等。

##### (1) 猫眼效应

猫眼效应是在点光源的照射下宝石表面呈现出一条闪亮的光带，呈线状分布，犹如猫的眼睛一样，故而得名。如果转动宝石或改变观察角度，亮带也随之移动。产生猫眼效应必须具备三个条件：

宝石内含有丰富的呈平行排列的针状、管状或纤维状包裹体；

琢磨宝石时底面平行于包裹体的方向；

宝石应琢磨成弧面型。因为反射出的光垂直于内含物延伸方向，故通常内含物排列沿弧面型短轴方向，即猫眼光带平行弧面型宝石长轴方向。

猫眼现象的产生是宝石内部定向排列的包裹体对入射光的折射和反射造成的。图



1-20 为猫眼形成原理示意图。上图为具猫眼效应宝石的平面图，沿宝石中心的亮线为猫眼线。沿  $MN$  作一剖面，剖面图如图 1-20 的下半部分所示。点光源可以看作一束平行的光束。当光束入射到宝石内部时，由于宝石的折射率大于空气的折射率，光束会发生折射。由  $A$  点入射到宝石中的光线经过折射照射到  $A$  点，由于宝石内部含有定向排列的包裹体，这些包裹体对光线具有反射作用， $A$  点的光线经反射后照射到  $O$  点。同样道理，由  $B$  点入射的光束经过折射和反射后，也能够照射到  $O$  点。 $A$  点入射的光束能否照射到  $O$  点与宝石表面的形状和宝石的折射率有关。如果宝石的形状加工的恰好合适， $A$ 、 $B$  点以及其他位置的入射光经过折射和反射后就都能够照射到  $O$  点。由于所有的入射光经过折射和反射后都照射到了  $O$  点，所以  $O$  点就很亮。这只是一条针状或管状包裹体所起的作用。由于宝石内部有多条密集排列的针状、管状或纤维状包裹体，这些包裹体都会使入射到宝石内部的光发生反射。宝石平面上所有的亮点连接起来就成为一条很亮的猫眼线。由猫眼的形成原理不难理解，猫眼线应该与宝石内部的定向排列的针状或管状包裹体垂直。

能产生猫眼效应的宝石大约有 20 多种。最著名的宝石是金绿宝石的一个亚种猫眼，其他能产生猫眼效应的宝石有：海蓝宝石猫眼、碧玺猫眼、磷灰石猫眼、方柱石猫眼、蛇纹石猫眼、红柱石猫眼、透辉石猫眼、绿帘石猫眼、透闪石猫眼和孔雀石猫眼等。

## (2) 星光效应

一些弧面形宝石在点光源的照射下呈现出由一个中心点向四周呈放射状的亮线的现象称为星光效应。每条亮线称为星光线。常见的有四射星光(即由中心点向四周有 4 条星光线，实际上是 2 条星光线相交形成的)和六射星光(即由中心点向四周有 6 条星光线，实际上是 3 条星光线相交形成的)，个别情况下可见有十二射星光。斜方晶系和四方晶系的宝石可出现四射星光，三方和六方晶系的宝石可出现六射星光，等轴晶系的宝石既可以出现四射星光，也可以出现六射星光。常见的如星光顽辉石(斜方晶系，四射星光)、星光蓝宝石(六射星光，三方晶系)、星光水晶(六射星光，三方晶系)、星光绿柱石(六射星光，六方晶系)、星光海蓝宝石(六射星光，六方晶系)、星光尖晶石(等轴晶系，四射星光或六射星光)、星光石榴石(等轴晶系，四射星光或六射星光)等。

星光效应的形成原理与猫眼相似，每一条星光线实际上可以看作一条猫眼线。如果有两组定向排列的针状或管状包裹体，就可能产生四射星光，如果有三组定向排列

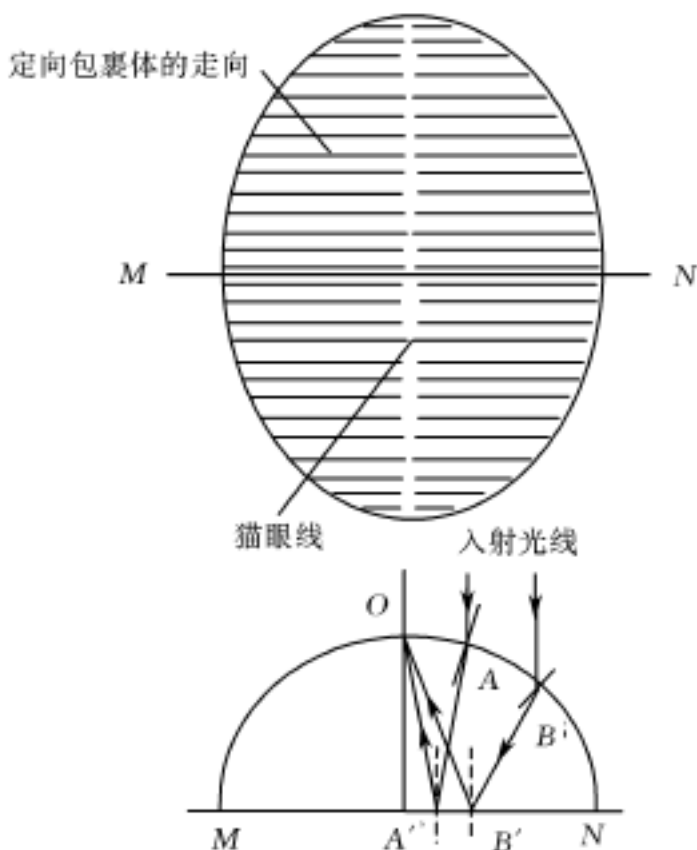


图 1-20 猫眼线的形成原理示意图(上图为平面图示意图，下图为沿  $MN$  线的剖面示意图)

的针状或管状包裹体，则可以出现六射星光。图 1-21 是六射星光的星光线与定向包裹体的关系示意图。可见，星光的产生条件是：

宝石具有大量的两个或两个以上方向定向排列的针状、管状或纤维状包裹体；

宝石呈弧面形，底面平行于包裹体的平面。

例如，刚玉含有三组与三个横轴平行排列、与纵轴垂直的互成 120° 的针状金红石包裹体，当宝石切磨成弧面形且其底面与金红石针面平行时，便产生了六射星光效应。事实上，也可看作三个方向猫眼的叠加。如果在另一平面上出现第二套完整发育的内含物，分布在第一套三组之间，这时琢磨成弧面型后，将出现罕见的十二射星光。

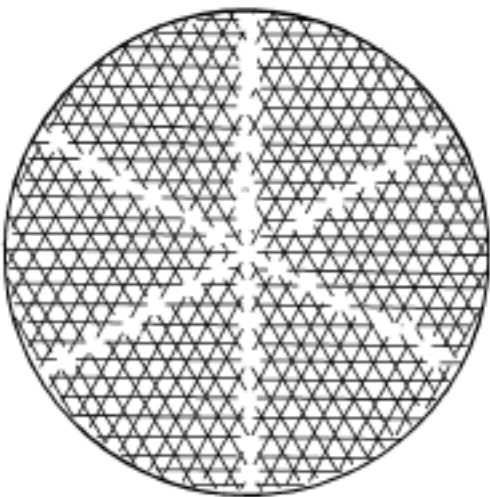


图 1-21 六射星光宝石包裹体与星光线方向示意图

(3) 变彩效应

某些宝石由于其特殊结构对入射光发生干涉、衍射作用产生颜色，并且颜色随着光源或观察角度的变化而变化，这种光学效应称为变彩效应。

具有变彩效应宝石的典型代表是欧泊。欧泊的颜色呈现很多小的色斑。当转动宝石时，每个色斑的颜色将依光谱色色序发生变化，整个宝石呈现出斑斓的色彩。某些拉长石也可以出现变彩效应。

变彩效应是由于欧泊等宝石的特殊结构造成的。欧泊的主要成分是  $\text{SiO}_2$ ，但是含有一定量的水。 $\text{SiO}_2$  呈近于等大的球体作规则排列，球体之间由含水的  $\text{SiO}_2$  胶体联结，球体与胶体之间的折射率有微小的差异。球体与球体之间的孔隙与球体直径近于等长。欧泊的这种结构实际上构成了典型的三维光栅。

光通过光栅会发生干涉和衍射作用，产生彩色，可以通过一维光栅即杨氏双缝实验简单解释。一束单色光透过狭缝  $S$  后，经过狭缝  $S_1$  和  $S_2$  照射到屏幕上(如图 1-22 所示)。 $S_1$  和  $S_2$  可以看作两个独立的光源。由于  $S_1$  和  $S_2$  是来自同一个光源  $S$ ，

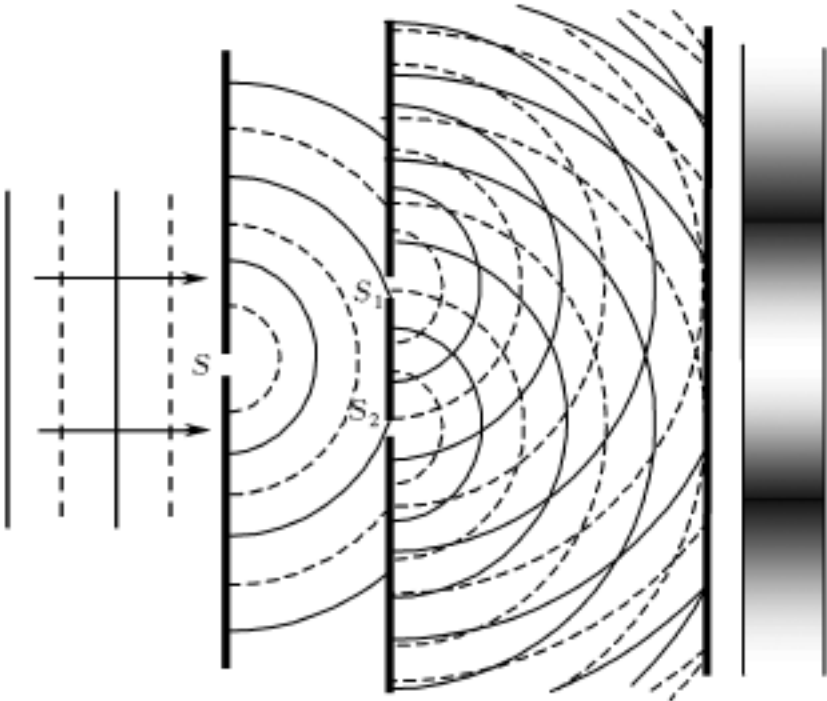


图 1-22 一维光栅——杨氏双缝干涉实验示意图

因此波长、相位都相同，满足相干光源的条件。由  $S_1$  和  $S_2$  发出的光如果波峰和波峰、波谷和波谷相互叠加，两束光强相干加强，在屏幕上呈现亮带；如果两束光的波峰和波谷相互叠加，两束光强相干减弱，在屏幕上呈现黑色。如果入射的光源为复合光，比如日光，在屏幕上会出现彩色条纹。即中间条带为白色，向两边依次为紫色、蓝色、绿色、黄色、橙色和红色。如果从不同的角度观察，就会看到不同的干涉色。杨氏双缝实验是一维光栅，在欧泊中看到的一般是三维光栅。三维光栅比一维光栅更复杂些，但是基本原理是一样的。

$\text{SiO}_2$  小球的排列并不是在整个欧泊内部都呈规则排列的，而是分成多个小的块体。每个块体大小不等，多为  $1 \sim 10\text{mm}$ 。在每一个小块体内部， $\text{SiO}_2$  小球的排列是规则的，而块体之间存在角度差。由于每一个小块体可以看作一个独立的三维光栅，因此整个欧泊可以看作由多个小的三维光栅组成的。在转动欧泊时，每一个小块体的颜色都可能依光谱色发生变化。整个欧泊包括很多这种小的色斑，因此看起来颜色非常丰富。

某些拉长石由于聚片双晶的片状构造提供了光线干涉的必要条件，从而在一个方向上某些波长的波(颜色)得到了加强，另一些波长的波减弱，形成拉长石的变彩效应。

#### (4) 变色效应

宝石的颜色随入射光光源的不同而发生变化的现象称为变色效应。

变色效应最好的宝石是变石，它在日光下呈绿色，在白炽灯下呈红色。有人将好的变石称为日光下的祖母绿，灯光下的红宝石。其他有些宝石也会产生变色效应。

这里以变石的变色效应为例，介绍一下变色效应的原理。变色效应的产生既与光源有关，也与宝石对不同波长的光的吸收有关。图 1-23 的上半部分画出了日光和钨丝灯光的光强与波长之间的关系。由图可见，日光中波长较长的红色光强度较低，蓝

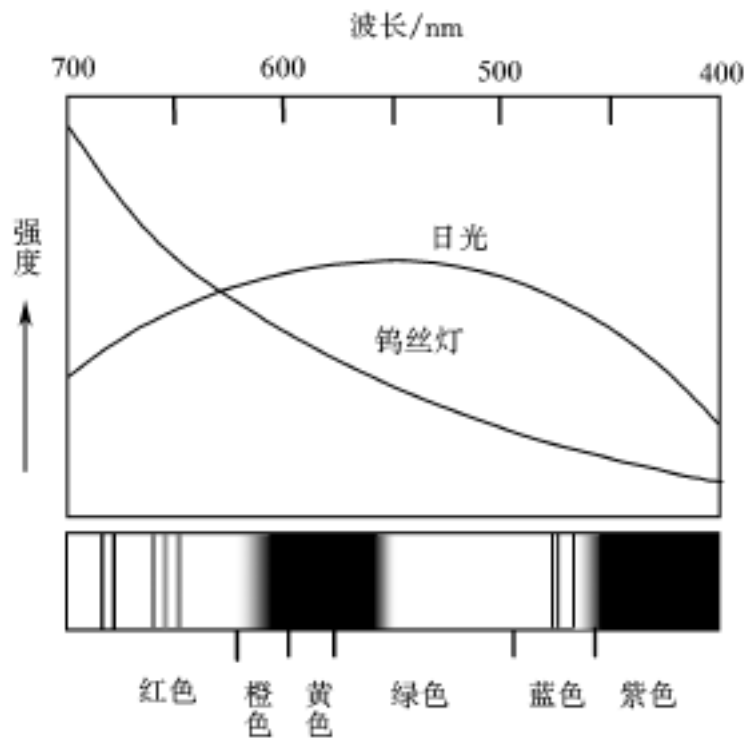


图 1-23 变色效应的产生原理

上图为日光和钨丝灯光强度随波长的变化曲线，下图为变石的吸收光谱

绿色光的强度较强。钨丝灯灯光则与之不同，钨丝灯灯光的长波部分光强最强，波长越短，光强越弱。因此，钨丝灯的红光最强。图 1-23 的下半部分是变石的吸收光谱。变石的吸收光谱很特别，它在橙光到黄光区有一个宽吸收带，紫区全吸收，在红区和蓝区各有数条吸收线。正是由于日光、钨丝灯光的光强随波长的不同而不同，加之变石的特殊的吸收光谱，才使变石具有变色效应。在日光照射下，由于变石对橙黄色光和紫光的强烈吸收，只有红光和绿光(主要为绿光，含有一定量的蓝色光)透过宝石，而日光中红色光强相对较弱，因此变石在日光下呈现绿色。当在白炽灯下观察变石时，同样只有红光和绿光透过宝石，但是由于白炽灯的红光强度高，绿光强度弱，因而呈现红色。

祖母绿和红宝石的吸收光谱与变石相似，但是这两种宝石并不能产生变色效应。其原因是祖母绿和红宝石的吸收光谱中橙黄色区吸收带的位置与变石有差异。祖母绿的吸收光谱中橙黄区的吸收带比变石更靠近红色区，绿色区宽，因此即使在白炽灯下祖母绿也呈绿色。红宝石的吸收光谱中橙黄区的吸收带比变石更靠近绿色区，对绿色光吸收强，对红光吸收弱，因而红宝石在日光下仍呈红色而非绿色。

除变石外，某些蓝宝石、石榴石等也可以有变色效应。变色效应不仅在天然变石中发生，在合成变石和刚玉中也可出现。

1.3.2 宝石的力学性质

宝石的力学性质指宝石在外力(如刻划、敲打、挤压和拉伸等)作用下所呈现的性质。

(1) 密度

宝石鉴定中经常使用的是相对密度。相对密度是指宝石在空气中的质量与 4 下同体积水的质量之比。在测定时，也可以采用其他液体(比如四氯化碳)进行测定。计算公式为

宝 石 的  
相对密度 =  $\frac{\text{宝石在空气中的质量}}{\text{宝石在空气中的质量} - \text{宝石在液体介质中的质量}} \times \frac{\text{液体介质的密度}}{1}$  (1-5)

在 4 时，1cm<sup>3</sup> 水的质量几乎精确为 1g。如果测定密度时温度低于或高于 4 ，可以将测定温度条件下水的密度值作为修正系数，利用式(1-5)计算。不同温度条件下水和四氯化碳的密度值如表 1-6 和表 1-7 所示。

表 1-6 不同温度下水的相对密度

温度/	相对密度	温度/	相对密度	温度/	相对密度	温度/	相对密度
0	0.999 868	9	0.999 809	18	0.998 623	27	0.996 542
1	0.999 927	10	0.999 728	19	0.998 433	28	0.996 262
2	0.999 968	11	0.999 632	20	0.998 232	29	0.995 973
3	0.999 992	12	0.999 525	21	0.998 021	30	0.995 676
4	1.000 000	13	0.999 404	22	0.997 799	31	0.995 369
5	0.992 992	14	0.999 271	23	0.997 567	32	0.994 054
6	0.999 968	15	0.999 126	24	0.997 326	33	0.994 731
7	0.999 929	16	0.998 970	25	0.997 074	34	0.994 399
8	0.999 876	17	0.998 802	26	0.996 813	35	0.994 059

表 1-7 不同温度下四氯化碳的相对密度

温度/	相对密度	温度/	相对密度	温度/	相对密度	温度/	相对密度
3	1.630	12	1.612	21	1.593	30	1.575
4	1.628	13	1.610	22	1.591	31	1.573
5	1.626	14	1.608	23	1.589	32	1.571
6	1.624	15	1.604	24	1.587	33	1.569
7	1.622	16	1.602	25	1.585	34	1.567
8	1.620	17	1.600	26	1.583	35	1.565
9	1.618	18	1.599	27	1.581	36	1.563
10	1.616	19	1.597	28	1.579	37	1.561
11	1.614	20	1.595	29	1.577	38	1.559

宝石的密度差别很大，最小的是琥珀，仅为  $1.00 \sim 1.10 \text{ g/cm}^3$ ，最大的是人造钷镱榴石，达  $7.05 \text{ g/cm}^3$ 。大多数宝石的密度为  $2.0 \sim 4.0 \text{ g/cm}^3$ 。密度是宝石一个非常重要的物理量，对于宝石的鉴定和分选都有重要的意义。如钻石的密度为  $3.52 \text{ g/cm}^3$ ，常用来模仿钻石的钷铝榴石的密度为  $4.58 \text{ g/cm}^3$ ，合成立方氧化锆为  $5.80 \text{ g/cm}^3$ 。常见的钻石仿造品在相对密度上差别很大，只要测定一下它们的密度即可区别它们。一些塑料仿造品由于“很轻”，可以很容易地与所仿的天然宝石相区别。

密度是由组成材料的化学成分和晶体结构决定的，并且还受形成环境的影响，因此，它可有一定的变化范围。在附表 2 中给出了常见宝石的密度值，可供使用者在宝石鉴定过程中查询。

(2) 硬度

矿物的硬度是指矿物抵抗外力的机械作用(如刻划、压入、研磨等)的强度。根据机械作用力性质的不同，硬度可以分为刻划硬度、压入硬度和研磨硬度三类。

德国矿物学家弗瑞里奇·摩斯(Friedrich Mohs)在 1822 年提出了一种实用的分类表，它将十种能获得高纯度的常见矿物按彼此间抵抗刻划能力的大小依次排列，构成摩氏硬度计。摩氏硬度 1~10 级的顺序为：滑石，石膏，方解石，萤石，磷灰石，长石，石英，黄玉，刚玉，金刚石。

宝石的硬度通常是 6~10 级。由于尘埃中的主要成分是石英，所以珍贵宝石的硬度都在 7 级以上。需要特别值得注意的是：矿物的硬度具有对称性和异向性。这种硬度大小随方向而变化的性质称为差异硬度。差异硬度最明显的是蓝晶石，沿晶体延长方向的硬度是 4.5，而垂直延长方向的硬度为 6.5。

硬度是矿物和宝石的重要物理量和鉴定标志，但在宝石成品鉴定上很少使用。因为硬度测试会在宝石上留下刻痕，而且一些宝石性脆或解理发育，在刻划时很可能产生裂纹而破坏宝石。除非万不得已，硬度测试不用于已琢磨好的宝石。

金刚石是已知最硬的天然矿物，其硬度在平行八面体的方向上大于立方体和菱形十二面体，所以金刚石的切割或研磨通常沿平行于立方体或菱形十二面体的方向进行。

宝石硬度为宝石加工提供了重要的基础。不同硬度的宝石选择不同的研磨和抛光材料，特别是差异硬度的存在，为金刚石的琢磨提供了可能性。

(3) 韧性

硬度大的宝石韧性不一定好，尽管它的绝对硬度可能很大，甚至连钻石也是硬而

脆的。韧性也称打击硬度，指宝石抵抗破碎的能力。很难破碎的性质为韧性，易破碎的性质为脆性。

钻石虽然可以切铁如泥，但如果用铁棒敲击时极易破碎，这不是因为它比铁软而是因为它比铁脆。锆石是最典型的例子。锆石的摩氏硬度为 6.5 ~ 7.5，但它稍与许多较软的物质相触，便会发生磨损，甚至用一张宝石包装纸将锆石松散地包装，其刻面边缘也会遭受破损，这种现象称为“纸蚀”。锆石的保存应分别迭叠在棉纸内。

玉雕材料及玛瑙等宝石是已知矿物中最强韧者。尽管它们的硬度不太高，但它们仍是最不易破损的宝石。这是由其矿物之间的结合方式决定的，这类材料多为纤维状交织结构。矿物微晶交织在一起使之能够抵抗外力的冲击。这也是这类宝石，如软玉、硬玉受人们喜爱的重要原因。

黑金刚石是黑色微晶形式的金刚石，有着单晶钻石不能达到的韧性，在工业上价值极高。

常见宝石韧性从强到弱依次为：黑金刚石 软玉 翡翠 红宝石 蓝宝石 钻石 水晶 海蓝宝石 橄榄石 祖母绿 黄玉 月光石 金绿宝石 萤石。

(4) 解理、裂开与断口

由于外力的作用，常可使宝石遭受破裂，这些破裂可以是沿某些清晰方向裂成光滑的平面，也可以是任意方向的不规则的裂口。破裂具有以下三种性质。

解理。

矿物在外力作用下，严格地沿着一定结晶学方向裂成光滑平面的性质称为解理。这些平面称为解理面。

解理是晶体特有的一种性质。晶体内部的质点呈格子状规则排列，空间格子由一层层的面网叠加而成。不同方向的面网之间的化学键的强弱不同，面网之间的结合力强，晶体就不容易沿这些面网裂开。相反，有些方向的面网结合力相对比较弱，晶体就容易沿这些方向裂开，这种现象就是解理。由于晶体不同方向上面网间距不同，面网之间的结合力也不同，因而解理具有方向性。比如，云母呈层状，层与层之间化学键很弱，因此解理平行于层面出现。只有晶体才有可能出现解理，绝大多数晶体都程度不等地发育有解理。

在不同的晶体中，或者在同一晶体的不同晶面方向上，其面网之间的键力强弱不同，因而解理面的完好程度也不同。在宝石学中，按照解理产生的难易程度分为极完全解理、完全解理、中等解理、不完全解理和极不完全解理五级，如表 1-8 所示。

表 1-8 解理级别划分及特征表

解理级别	难易程度	解理面特点	举 例
极完全解理	极易裂成薄片, 很难发生断口	光滑、平整	云 母
完全解理	很易裂成平面或小块, 断口难出现	光滑平整闪光的平面, 可呈台阶状	黄玉、萤石、正长石、方解石
中等解理	可以裂成平面, 断口较易出现	较平整闪光的平面	金绿宝石、金刚石
不完全解理	不易裂成平面, 出现许多断口	不平整、不连续, 带有油脂感	磷灰石、锆石、橄榄石
极不完全解理	极难出现平面, 裂口均为断口	无解理面, 断口常不平整	石英、电气石、尖晶石

解理是晶体固有的属性，它对于宝石学的意义在于：

a. 尽管一些宝石硬度很大，但由于解理发育，在受到外力作用时，极易破裂，所以应避免碰撞和刻划。

b. 解理有助于宝石的鉴定。如钻石腰棱处保留的解理痕迹有助于区别一些无解理的仿钻，翡翠解理面的闪光——翠性，为翡翠的鉴定依据之一。

c. 在宝石加工中，利用解理面劈开宝石或去掉原石中质量较差的部分。特别是在钻石加工中常沿八面体方向劈开金刚石。

d. 在宝石切磨时，无法沿解理方向抛光宝石，所以在宝石加工中，至少应使刻面和解理面保持  $5^\circ$  以上的夹角。

裂开。

矿物在受到外力打击时，沿一定的结晶方向裂成平面的性质称为裂开，其平面称为裂开面。裂开与解理在现象上极为相似，但产生的原因不同。解理是沿晶体结构中面网之间键力最弱的平面产生的定向破裂，它是由晶体结构本身的固有特点直接决定的。裂开则是由非固有的其他原因所引起的定向破裂，主要是因为沿晶体结构中一定方向的面网上，分布有他种物质的夹层；或是在定向压力下晶格发生滑移，产生机械双晶等原因所造成的。例如辉石可因沿  $\{100\}$  方向的面网上夹有一系列磁铁矿的薄层而出现平行  $\{100\}$  的裂开；红宝石和蓝宝石可沿  $\{0001\}$  和  $\{10\bar{1}1\}$  产生裂开等。

断口。

断口指矿物在外力打击下，不按一定的结晶方向发生断裂而形成的断开面。断口和解理是互为消长的，即解理越发育，断口越不发育，反之亦然。断口既可在晶体矿物中出现，也可在非晶体矿物中出现；既可在单晶体上出现，也可在同种矿物的集合体中出现。

非晶质宝石的断口相当典型，如玻璃的断口特征具有鉴定意义。玻璃破裂时，具有弯曲凹状面，形态似贝壳，故称为贝壳状断口。这种断口在非晶质材料及解理不发育或极不发育的结晶质材料中很常见。例如天然玻璃、石英、绿柱石等。

另一种发育于韧性纤维状结构的宝石之上(如软玉)的参差不齐，常呈锯齿状的破裂称为锯齿状断口。利用断口鉴定宝石有两个典型的例子。绿松石及其玻璃仿制品都具有贝壳状断口，但前者呈暗淡光泽，后者为玻璃~油脂光泽；玻璃常用来仿玉髓，但玉髓的断口为蜡状光泽。

### 1.3.3 宝石的其他性质

#### (1) 导电性

导电性是物质对电流的传导能力。一般情况下，金属矿物是电的良导体，非金属矿物是电的不良导体，而有些矿物则是电的半导体。

大多数宝石都不导电，但赤铁矿、合成金红石和天然蓝色钻石(Ⅱb型)等宝石可以导电。对于天然蓝色钻石的半导体性质最为重要，因为这是其区别于人工致色钻石的特征之一，人工致色的蓝色钻石不导电。

#### (2) 压电性

压电性指某些无对称中心的晶体，当受到定向压力或张力的作用时，两端出现数量相等而符号相反的电荷的性质。晶体产生压电效应的根源在于，晶体为极性晶体，

无对称中心。当晶体受到应力作用时，晶格变形，总电偶极矩发生改变，引起晶体表面荷电。这种性质常用于工业上，例如用作频率控制的石英谐振器。

(3) 导热性

矿物晶体的导热性具有异向性，它与宝石的光学性质相似，分为均质体和非均质体。晶体的导热性一般高于相应的非晶体的导热性。比如在 0℃ 时，石英晶体沿着 z 轴的导热性是熔融状石英的导热性的 10 倍。

不同宝石的热传导性能也不同，对比它们的热导率可有效地区分宝石。表 1-9 列出了常见宝石的相对热导率。由表可见，金、银的热导率远大于宝石晶体的热导率，但是钻石的热导率比金、银还要高得多。钻石由于具有非常好的导热性，不仅可以用来制作特殊电子元器件的散热器，还可以利用这个特性制作鉴定钻石的热导仪。

表 1-9 常见宝石的相对热导率(以尖晶石热导率为基数 1)

宝石名称	相对热导率	宝石名称	相对热导率
钻石	56.9 ~ 170.8	电气石	0.45
金	44	橄榄石	0.41
银	31	锆石	0.39
刚玉	2.96	绿柱石	0.34 ~ 0.47
黄玉	1.59	铁铝榴石	0.28
尖晶石	1	镁铝榴石	0.27
赤铁矿	0.96	钙铁榴石	0.26
红柱石	0.64	坦桑石	0.18
金红石	0.63	翡翠	0.4 ~ 0.56
石英	0.5 ~ 0.94	钙铝榴石	0.48
玻璃	0.08		

加热会影响宝石的颜色。这是由于一些变价的色素离子在不同的温度条件下价态改变，或者加热使得晶体结构发生变化而影响其颜色。为了提高某些宝石的品质，可以利用加热的方法来改善宝石的颜色，例如对于玛瑙、蓝宝石和海蓝宝石的加热处理。对于含有裂隙、潜在解理和大量内含物的宝石，加热时应极其小心。

(4) 磁性

矿物的磁性，主要是由于矿物成分中含有铁、钴、镍、铬、钛和钒等元素所致。磁性的强度与矿物中含有这些元素的量，尤其是与含铁量有关。一些矿物由于化学组成中某些元素的量是可变的，因此这些矿物的磁性也随之变化。

物体产生磁性的根源，在于物体内部电荷的运动。在物体的原子、分子或分子团内部，存在着环形电流，环形电流就像导线中的电流一样，在它们的周围空间形成磁场，使每个物质微粒成为一个微小的磁体。通常这些物质微粒由于自旋形成电流的方向呈紊乱状态，所以物体不显示磁性。如果物质微粒在外界因素作用下环形电流的方向大致相同，则显示出磁性。矿物的磁性可分为抗磁性、顺磁性和铁磁性三种。

在自然状态下，很少有宝石能被磁铁吸引，但含有微量磁铁矿的宝石可能会显磁性。赤铁矿一般不具磁性，而一些仿造品可能被磁铁所吸引。磁性也可用于鉴别软玉和蛇纹石，后者通常含有磁铁矿微粒。



## 第 2 章

## 宝石的鉴定方法

### 2.1 宝石的常规检测

#### 2.1.1 折射率的测定

宝石的折射率是鉴定宝石的重要参数，测定宝石折射率最常用的仪器是阿贝宝石折射仪。

##### 2.1.1.1 折射仪的结构

折射仪主要由高折射率棱镜、棱镜反射镜、透镜、标尺和目镜等组成，其工作原理如图 2-1 所示。高折射率棱镜必须是单折射物质，制成半圆形。待测折射率的宝石放在折射棱镜的表面上。入射光射入到半圆形的棱镜后，入射角小于全反射临界角的光线被折射到待测宝石中，入射角大于全反射临界角的光线被反射回到棱镜内。这样，在棱镜的另一侧，就会形成明暗两个区域。明暗两区的分界线与全反射临界角相对应。根据折射定律，待测宝石的折射率  $N$  为

$$N = N_0 \sin i_0 \quad (2-1)$$

式中， $N_0$  为高折射率棱镜的折射率， $i_0$  为全反射临界角。在折射仪中为了观察方便，用一棱镜反射镜将高折射率棱镜的反射光反射到上方，如图 2-1 所示。在两个棱镜之间还有若干个透镜和标尺，这样从目镜中就可以直接将待测宝石的折射率值读出来。

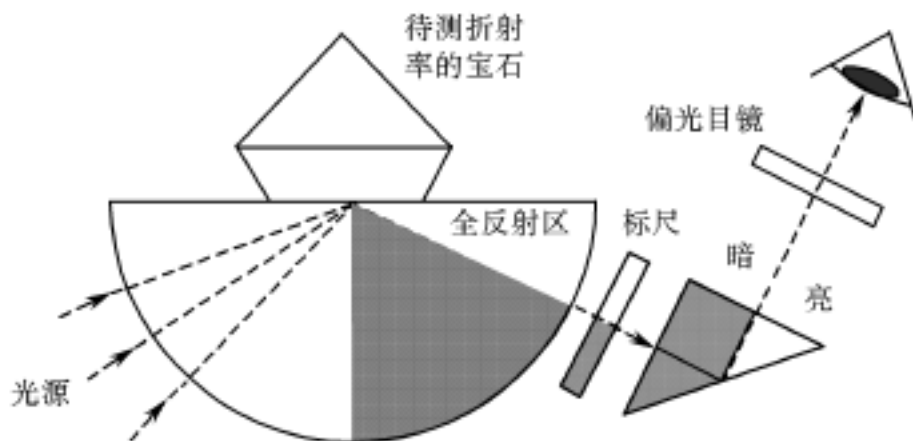


图 2-1 折射仪工作原理示意图

在第 1 章中介绍了宝石的折射率与光波在宝石中的振动方向有关，即对于非均质体宝石，一般情况下光波的振动方向不同，折射率也不同。经过宝石折射的自然光会分解成相互垂直的两束偏振光，两束偏振光的折射率不同。为了观察这两束振动方向互相垂直的偏振光的折射率，在折射仪的目镜筒上装有偏光目镜。偏光目镜只允许某一振动方向的偏振光透过。转动偏光目镜，分别使这两束折射光透过偏光目镜，就可以分别读出偏振光的折射率值。

2.1.1.2 折射仪的光源

测定宝石折射率必须用单色光作为光源。最理想的光源是钠光灯产生的黄色光（波长为 589.5nm），因为它能提供最清楚的阴影边界线。由于钠光灯价格较贵，也可以使用干涉滤光片或发光二极管产生的黄光作为折射仪的光源。

2.1.1.3 接触液

在测定宝石折射率时，为了保持棱镜和宝石之间有良好的光学接触，以获得准确的读数，必须在所测宝石和棱镜之间，使用一种特殊的接触液。它的折射率应与棱镜的折射率相近，而且必须大于所测宝石的折射率。常用的接触液有：

- 二碘甲烷，折射率为 1.742；
- 二碘甲烷 + 硫的饱和溶液，折射率为 1.78；
- 二碘甲烷 + 硫 + 四碘乙烯，折射率为 1.81。

接触液一般有较强的腐蚀性和剧毒，在使用时要注意安全。测定完毕，要及时用酒精将折射仪清洗干净。

2.1.1.4 折射仪的使用

折射仪可以测定宝石的折射率、双折射率及光性符号。对不同外形的宝石要采取不同的折射率测定方法。

(1) 平面宝石折射率的测定

在测定宝石折射率前，首先用二甲苯或无水酒精清洗工作台面和待测宝石的某一个平面。在擦洗工作台时，动作要轻，手指特别是指甲不要触及台面。接通电源，在折射仪工作台上滴上一小滴折射率油（油的折射率一般为 1.81）。将宝石的某一较大面积的抛光平面放在油滴上面，并慢慢地推入到台面中间，使宝石平面与工作台面充分接触。将眼睛贴近目镜（约距目镜 3cm 左右），上下左右移动，如果被测宝石折射率不大于 1.81，视域内就可以看到一个暗区和一个亮区，标尺上数字小的那一段为暗区，数字大的那一段为亮区，明暗交界处的刻度值即为被测宝石的折射率。

因为宝石矿物的光学性质不同，不同宝石的折射率也不同。均质体宝石在不同方向上折射率值相同，用折射仪只能测得一个折射率值，将其称为单折射。非均质体宝石在不同方向上测得的折射率一般不同，将这种现象称为双折射。

单折射率的测定。

在如上操作之后，将偏光片放在目镜上，转动偏光片，观察明暗区交界线的变化，若明暗区交界线不动，在工作台上转动宝石。若明暗区交界线仍然不变，则再调换被测样品的测试面并转动宝石，若折射率值仍不变，说明该宝石只有一个折射率。

只有一个折射率的宝石为均质体或非晶质体(玻璃质)。

双折射率的测定。

将宝石放在折射仪的工作台面上,来回转动目镜上的偏光目镜,如果发现视域中明暗区交界线上下移动,移动数值的最大值和最小值即为被测宝石的两个折射率。具有双折射率的宝石可能是一轴晶,也可能是二轴晶。

在测折射率时不断转动宝石,如果两个折射率中有一个不变,则为一轴晶宝石。其中不变的折射率为常光的折射率  $N_o$ ,变化的折射率为非常光折射率  $N_e$ 。如果较小的折射率不变,表明  $N_e > N_o$ ,说明该宝石为一轴晶正光性;反之,如果较大的折射率不变,表明  $N_e < N_o$ ,说明该宝石为一轴晶负光性。二者的差值就是该宝石的双折射率。双折射率是鉴定宝石的一个重要参数。

如果在转动宝石时两个折射率都在变化,说明该宝石为二轴晶。这时,如果要测定该宝石的光性,就需要不断转动宝石并且仔细地记录宝石两个折射率的变化情况。如果大折射率的变化范围比小折射率的变化范围大,说明  $N_g - N_m > N_m - N_p$ ,为二轴晶正光性;反之,如果大折射率的变化范围比小折射率的变化范围小,说明  $N_g - N_m < N_m - N_p$ ,为二轴晶负光性。

宝石鉴定是采用综合物理常数鉴定法,有些方法可以互补。一般情况下,用折射仪只需准确测定单折射率或双折射率即可,无须测定宝石的光性及光性符号。

#### (2) 弧面宝石和小刻面宝石折射率的测定

弧面宝石和小刻面宝石折射率的测定需采用点测法,此种方法是对弧面型宝石或小的刻面宝石测定近似折射率的方法。在折射仪棱镜中央滴上一小滴接触液,将待测宝石的弧面轻轻置入接触液上,眼睛在离目镜约 30cm 左右的地方观察,视域内会出现一个小圆圈(如是小的刻面,则视域内出现的是小刻面的形状)。当眼睛上下移动时,小圆圈的位置也随之改变,由低折射率区域内的全暗至高折射率区域内的全亮,只有小圆圈处于一半暗一半亮的位置时,明暗的界限才是所测宝石折射率的位置。此方法所测的折射率值为一近似值。

#### 2.1.1.5 测定折射率的注意事项

测宝石折射率时,折射油不宜滴多,油滴直径为 0.5 ~ 0.1mm 即可。

当测定折射率时,若在视域中看不到宝石的影像或看不见明暗分界线,可能是以下几种原因所致:

- 被测宝石的折射率大于浸油折射率,即大于 1.81;
- 宝石置于工作台面的位置不对,即未放平或未放正;
- 因镶嵌原因,宝石与浸油和工作台面不能充分接触;
- 眼睛观察的方位不对,需上下、左右反复调整观察方向和位置。

折射油有较强的腐蚀性,测定完毕应及时用棉签或滤纸蘸酒精将工作台清洗干净。

因工作台硬度低,测定折射率时动作要轻,避免将台面磨损,影响观察效果。

使用一段时间后,工作台面会遗留接触油沉淀物。这时可用二甲苯或二碘甲烷清洗。

2.1.2 多色性的观察

当光线进入到非均质体宝石时，会分解成相互垂直的两束偏振光。由于晶体的不同方向对偏振光的吸收不同，所以不同方向的偏振光会呈现不同的颜色，称这种现象为宝石的多色性。二色镜是用来观察宝石多色性的常用仪器，它是用冰洲石或偏振片制成的。二色镜能将透过宝石的两束偏振光再次分解，并且使其并排出现在两个窗口影像中。

用以观察多色性的宝石必须是单晶体、有颜色、透明，多晶体宝石不能观测多色性。观察宝石的多色性时要将二色镜的窗口对准由宝石透过的可见光，眼睛对准目镜。在观察过程中要不断地转动二色镜和宝石，因为在宝石的不同方向上多色性的强弱不同，在某些方向上甚至看不到多色性。

根据多色性显示程度的不同，可以将宝石的多色性分为强、中、弱、无四个等级，等级的划分标准如表 1-5 所示。

2.1.3 均非性的测定

宝石的均非性是指宝石是光性均质体还是光性非均质体。可以有多种方法测定宝石的均非性，偏光仪是其中一种常用的比较简单的仪器。

2.1.3.1 偏光仪的结构

偏光仪由上下两个偏振片(即上下偏光镜)与光源构成，如图 2-3 所示。在下偏光镜片上，有一个可以转动的玻璃支架，待检测的宝石放在玻璃上。

2.1.3.2 宝石光性鉴别方法

使用偏光仪检验样品前，先调整上偏光镜片，使上、下偏光镜片处于正交状态，此时由上偏光镜上方观察，视域呈全暗状态。然后将样品放置在玻璃支架上，观察旋转样品时的变化情况。

(1) 光性均质体

光性均质体包括等轴晶系和非晶质宝石。如果把均质体宝石放置在正交偏光镜间，任意转动和翻动宝石样品，视域中始终呈现全暗，即全消光状态，没有任何明暗变化现象。最常见的光性均质体宝石有：钻石(金刚石)、合成立方氧化锆(cz)、钕铝榴石(YAG)、钕镓榴石、石榴子石、尖晶石、钛酸锶和各种玻璃等。

(2) 光性非均质体

光性非均质体包括除等轴晶系之外的其他六个晶系的宝石。在正交偏光镜下，以

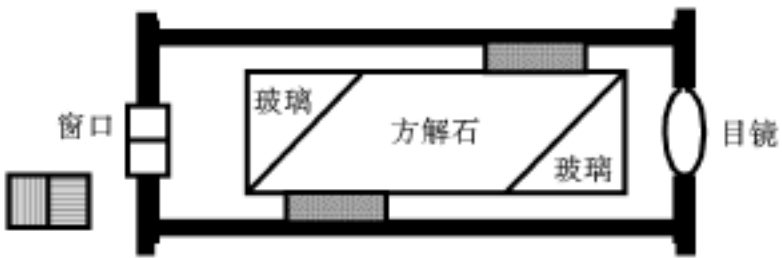


图 2-2 二色镜的构造示意图

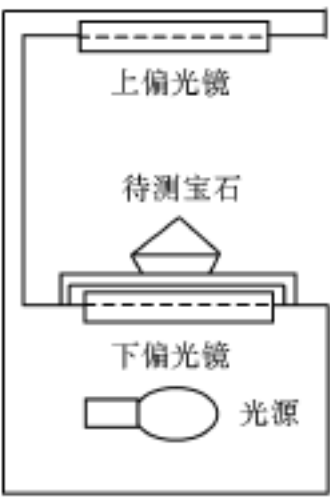


图 2-3 偏光仪结构图

光路为轴线旋转样品一周(360°), 样品会呈现出有规律的四次明暗变化现象。这种明暗变化是非均质体宝石所特有的性质。如果非均质体宝石的光轴平行于光路, 绕光路旋转时样品将保持全消光; 但是样品一旦翻动后, 宝石的光轴就会偏离光路, 在旋转宝石过程中就会出现明暗变化。最常见的光性非均质体宝石有: 红宝石、蓝宝石、金绿宝石、变石、托帕石(黄玉)、海蓝宝石、祖母绿及绿柱石类宝石、碧玺(电气石)、金红石、锆石、橄榄石和水晶等。

若将宝石放在正交偏光下视域明亮, 转动样品时, 视域不出现消光现象, 表明该样品可能是隐晶质或多晶集合体, 如翡翠、软玉或玉髓等。

#### 2.1.4 可见光光谱的测定

可见光入射到宝石中, 宝石会对可见光中某些波长的光波进行选择吸收, 吸收后的光谱称为宝石的可见光吸收光谱。不同宝石之所以具有不同的颜色, 是因为它们对可见光的不同吸收造成的。不同的宝石吸收光谱不同, 为识别和鉴定宝石提供了一种有效的方法。

##### 2.1.4.1 可见光分光镜和吸收光谱

观察宝石可见光吸收光谱所用的仪器是分光镜。分光镜能够将白光分解成单色光, 其原理如图 2-4 所示。一束白光射入棱镜之后, 由于棱镜的折射率大于空气的折射率, 白光会发生折射。白光是由不同波长的单色光复合而成的, 棱镜对不同波长光的折射率不同。红光的折射率小于紫光的折射率, 因此, 红光和紫光进入棱镜后传播方向不同。光波从棱镜中入射到空气中时, 还要发生一次折射。经过这次折射, 红光和紫光传播方向被分开的角度更大。其他颜色的光波长介于红光和紫光之间, 经过折射后折射线也介于红光和紫光之间。这样, 一束白光经过棱镜之后就被分解成了红、橙、黄、绿、蓝、紫等颜色的单色光。

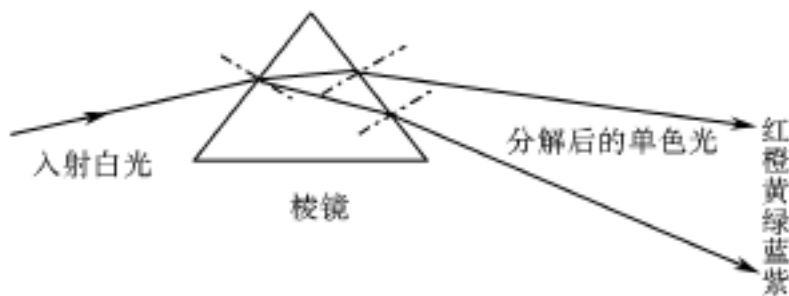


图 2-4 棱镜将白光分解为单色光示意图

光波透过宝石后, 宝石可能对某一波长的可见光有不同程度的吸收。被吸收的波段在吸收光谱上为黑线或黑带。不同宝石吸收线的位置、强度和带宽不同。常见宝石的吸收光谱如附表 4 所示。

分光镜有棱镜式和衍射光栅式两种。棱镜式分光镜由多个棱镜组合而成, 这样入射到分光镜中的光线和从分光镜中射出的光线相互平行, 便于使用。在精密的衍射光栅分光仪中, 来自不同方向的平行连续光谱将通过会聚透镜, 分别聚焦在焦平面不同的光波刻度尺位置上, 从而形成连续的可见光吸收光谱。

用棱镜式和光栅式分光镜观察到的光谱稍有不同。用棱镜式分光镜看到的光谱紫

区范围较宽，红区较窄；用光栅式分光镜看到的光谱的不同波长的色光近于等距分布。宝石学家经常使用的是棱镜式分光镜，它具有结构简单，操作简便等优点。由于这种分光镜对于短波范围的紫光 and 蓝光区的吸收显示比较清晰，对于长波红光区范围的吸收显示比较弱，因此，红光区范围吸收的进一步详细检查可借助于光栅式分光镜进行。

2.1.4.2 宝石中能产生特征吸收光谱的元素

吸收光谱的产生是由于宝石中含有致色元素造成的，不同致色元素的吸收光谱特点不同。实际上，即使同一种致色元素，当其在不同宝石中出现时，吸收光谱既有相似之处，也有差别。这种不同和差别为鉴定和识别宝石提供了有效的方法和手段。

宝石中常见的致色元素如下。

(1) 铬

铬元素致色的宝石多呈鲜艳的红色或绿色，它是红宝石、合成红宝石、红色尖晶石、粉红色黄玉、变石、祖母绿、翡翠和石榴石等宝石的主要致色元素。铬在上述宝石中所产生的光谱略有差异，吸收光谱特征大致为紫光区具有吸收带、黄绿区具有宽吸收带、红光区具有窄吸收线。在红宝石和合成红宝石的吸收光谱中，在蓝色区能见到明显的吸收线。

(2) 铁

在宝石中呈二价或三价形式存在的铁都是强致色剂。二价铁能使宝石产生红、绿或蓝色，如铁铝榴石、橄榄石、蓝色尖晶石、透辉石、符山石、堇青石等。吸收光谱表现为在绿光区或蓝光区内出现特征吸收带。三价铁通常使宝石呈现黄、蓝或绿色，如黄绿、绿及蓝色的蓝宝石、海蓝宝石、金绿宝石、黄色正长石和翡翠等。

(3) 锰

锰是引起菱锰矿、蔷薇辉石和某些碧玺呈红色的主要原因。吸收光谱为在紫光区和蓝光区内出现宽的吸收带。

(4) 钴

钴是合成变石常用的致色元素，合成蓝色尖晶石和蓝色玻璃由钴致色，其吸收光谱在橙、黄和绿光区有三条明显的吸收强带。在合成蓝色尖晶石内，强吸收带位于 630，580 和 543nm 处，其中间带(580nm)处带最宽；在蓝色玻璃中，强吸收带位于 656，590 和 538nm 处，其中间带(590nm)处带最窄。

(5) 铜

铜在低价状态(亚铜)时呈红色，在变价(铜)状态时呈蓝色或绿色。绿松石的天蓝色是由铜致色，其吸收光谱在 460nm 处有一宽而淡的吸收带，在紫区 432nm 处有一强带，该吸收带即为绿松石的诊断带。

(6) 稀土

金属铷和锶总是共生在一起，它们是黄色磷灰石的主要致色元素。在磷灰石光谱中黄光区有数条密集而细的吸收线，这些吸收线可以作为判断含铷和锶的磷灰石的依据。

(7) 铀

铀虽然不能导致鲜明的颜色，却能产生明显的吸收谱，最稳定的吸收线位于中红区，其他各色区都可伴有谱线，如锆石。

#### 2.1.5 发光性的测定

常用来激发宝石发光的辐射能量主要有可见光、紫外线和 X 射线。

##### 2.1.5.1 可见光

在透明宝石中，由铬离子致色的宝石大多呈鲜艳的红色或绿色，这是因为铬离子致色的宝石能吸收蓝光和绿光的缘故。检查此种含铬致色的宝石品种的一种有效途径，就是利用蓝色可见光照射宝石样品，激发样品内的电子发生能级跃迁，而后用红色和橙色滤光片加以观察。若宝石发红光即为可见光激发下所产生的荧光，检测用蓝色可见光光源的获取，可以在强可见光光源上遮一块蓝色滤光片。在蓝光下显红色荧光的常见宝石有祖母绿、合成祖母绿、红宝石、红色尖晶石、变石、合成红宝石等。必须指出，观察宝石发光性时，以在黑暗环境中进行为佳，否则周围环境的色光会影响和干扰宝石发光性的观察。

##### 2.1.5.2 紫外线

紫外荧光灯是通过荧光灯中的特殊灯管发出紫外线来激发宝石荧光的一种仪器。紫外线波段的波长为 10 ~ 400nm，宝石学中常用波长为 200 ~ 400nm 的紫外线。为方便使用，又把波长为 200 ~ 400nm 的紫外线划分为三个部分：短波范围 200 ~ 280nm，主波长为 253.7nm；中波范围 280 ~ 315nm；长波范围 315 ~ 400nm，主波长为 365nm。

紫外荧光的功能是用来检测宝石是否具有荧光或磷光，根据荧光特点有时可揭示某些宝石中油剂或染料的存在。通常，短波紫外线产生的荧光比长波的弱，但在某些情况下只有短波才能得到确切的结果。短波紫外线具备的能量比长波紫外线大，能使特定的电子跃迁到所需的激发能级。

紫外线对眼睛有危害，操作者绝不可用肉眼直视紫外灯，以免烧伤眼睛。

紫外光的观察很简单，将宝石样品放到无反射背景的黑暗环境里，打开荧光灯，观察宝石是否发光，若宝石发光说明宝石具有紫外荧光，若不发光则为惰性。若关掉紫外灯后，宝石仍继续发光则说明宝石具有紫外磷光。宝石在长波或短波紫外线的照射下所发出的可见光如表 2-1 所示。

##### 2.1.5.3 X 射线

某些宝石在高能量 X 射线的照射下能够产生 X 射线荧光。由于 X 射线辐射能量高，对人体有一定的伤害，使用操作时应有妥善的安全防护措施，一般情况下不宜使用 X 射线。借助 X 射线可区别钻石及其仿制品(如合成立方氧化锆)、红宝石和合成红宝石、天然珍珠和养殖珍珠等。常见宝石在 X 射线照射下的发光性如表 2-1 所示。必须指出，即使同种宝石的 X 射线荧光的颜色和强度也会因其产地、内部结构、化学组分等原因而有很大差异，因此，X 射线荧光光性不能作为鉴定宝石的直接依据，应结合其他方法的检验结果综合分析。

表 2-1 常见宝石的紫外线和 X 射线荧光

荧光颜色	长波紫外线/ 365nm	短波紫外线/ 253.7nm	X 射线/ 平均 0.01nm
白色	塑料，琥珀，欧泊	合成白色尖晶石，胶，塑料，琥珀，龟甲，欧泊	钻石，方柱石
红色	合成红宝石，红宝石，红色尖晶石，合成橙色蓝宝石，变石，合成绿色蓝宝石，合成变色蓝宝石，合成绿色尖晶石，合成祖母绿，蓝晶石，火欧泊(褐红)	粉红色蓝宝石，红色尖晶石，合成橙色蓝宝石，方解石，变石，合成变色蓝宝石，合成祖母绿，钻石，火欧泊(褐色、红色)	红宝石，合成红宝石，红色尖晶石，合成橙色蓝宝石，合成变色蓝宝石，合成绿色尖晶石，合成祖母绿，铯绿柱石，祖母绿
橙色	蓝晶石，黄色蓝宝石，方柱石，钻石，合成变色蓝宝石，白色蓝宝石，合成绿色蓝宝石，合成橙色蓝宝石，方钠石(橙色斑点)，青金石(橙色斑点)	黄色蓝宝石，方柱石，钻石，合成橙色蓝宝石，合成绿色蓝宝石(褐橙色)，白色蓝宝石，合成变色蓝宝石	蓝晶石，黄色蓝宝石，方解石(包括大理石)，方柱石，合成白色蓝宝石，合成绿色石榴石，透锂长石，浅黄色硼铝镁石
黄色	钻石，琥珀，磷灰石，锆石，托帕石，火欧泊(浅褐色)	钻石，锆石，琥珀	钻石、锆石、养殖珍珠、透辉石、青金石
绿色	合成黄色尖晶石，合成黄色~绿色尖晶石，钻石，磷灰石，合成白色尖晶石，琥珀，合成蓝宝石(很弱)	合成黄色和绿色尖晶石，合成绿色尖晶石，钻石，琥珀	合成黄色尖晶石，合成黄~绿色尖晶石，矽线石，合成白色尖晶石，钻石，塔菲石
蓝色	钻石，赛黄晶，萤石，珍珠，琥珀，月光石	蓝锥矿，白钨矿，萤石，赛黄晶，钻石，合成蓝色尖晶石，合成蓝宝石，象牙，琥珀，塑料	萤石，蓝锥矿，钻石，白钨矿，合成蓝宝石，蓝晶石，合成白色~蓝色尖晶石，青金石，方钠石，托帕石，锆石，月光石
紫色	萤石、钻石、磷灰石、方柱石、铯绿柱石、透辉石	萤石，钻石，铯绿柱石，合成粉红色蓝宝石	萤石，赛黄晶，方柱石，粉红色碧玺，锆石

2.1.6 内部结构的观察

无论是天然宝石还是人工宝石，在其结晶过程中，由于物理化学条件的变化，在其内部结构中会遗留下某些结晶生长的痕迹及其特征产物(如包裹体、色带、双晶纹等)，这为宝石种类的识别和真伪鉴别提供了有用的依据。此外，宝石加工琢磨的优劣也会直接影响宝石的经济价值。因此，宝石内部结构的放大检查是观察鉴定宝石的一个非常重要的环节。

宝石放大检查所使用的仪器主要有宝石显微镜、10 倍宝石放大镜等。

2.1.6.1 放大镜

10 倍宝石放大镜是宝石工作者必备之物。用于观察宝石的 10 倍放大镜由两个或多个透镜构成，它应具有较高的清晰度，能消除影响观察宝石效果的球面像差和色差。

2.1.6.2 双目宝石体视显微镜

宝玉石内部某些特征或现象非常细微，用 10 倍甚至 20 倍的放大镜也难以观察



到。为了鉴定和评价宝石，观察宝石的内部结构、确定这些内部结构现象或特征往往是很关键的，这时必须借助于另一种放大倍数更高的光学仪器，即宝石显微镜。宝石显微镜主要由显微镜座(装有内藏式底光源，光源上部即为样品台)、镜臂、接物镜(镜头上部有一连续变换倍数螺旋，可更换不同的放大倍数)和接目镜(常用的接目镜有5倍、10倍和20倍数种)等组成，放大倍数一般为10~160倍。

### (1) 宝石显微镜的照明方式

宝石显微镜与其他显微镜的区别关键是照明装置。显微镜的照明方式根据观察宝石的需要分为暗域法、亮域法和垂直照明法。

暗域法。这种方法用侧光照明，背景为黑色并且无反射光，使宝石中内含物在暗色背景下显得更清晰，如用这种照明方法能很容易地观测到维尔纳叶法合成刚玉中的弯曲生长线。暗域照明法原理如图2-5(a)。

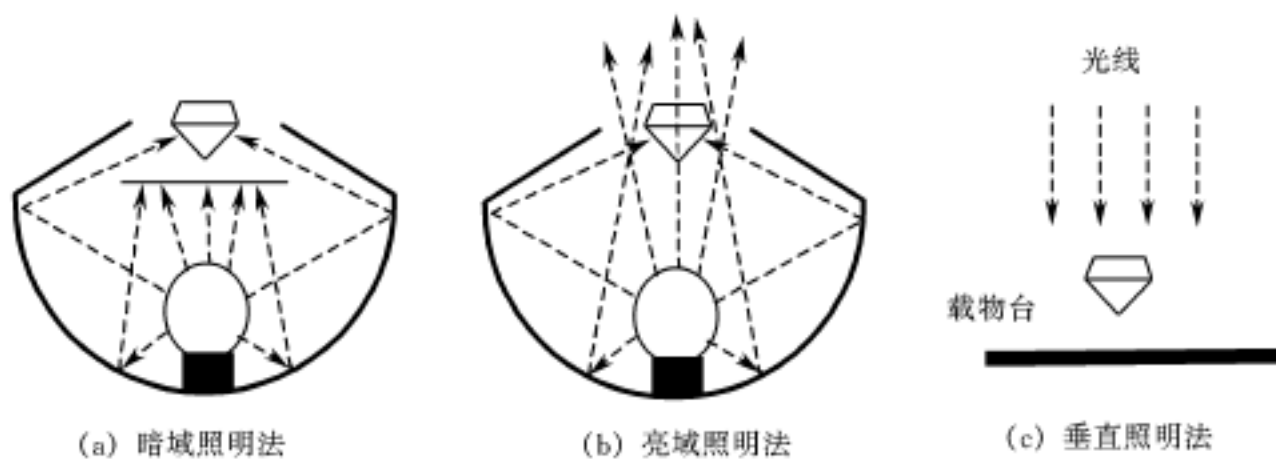


图 2-5 宝石显微镜常用的三种照明方法示意图

亮域法。这种方法由底部光源对宝石进行直接照明，一般光圈常锁得很小，使宝石中的内含物在明亮的背景下呈现黑色影像，这也是一种观察弯曲条纹或其他低突起宝石的有效方法。亮域照明法原理如图2-5(b)所示。

垂直照明法。这种方法是从宝石的上方进行照明，观察者可在反射光中观察宝石的表面特征，这种方法对于检测不透明至微透明宝石很重要。垂直照明法原理如图2-5(c)所示。

### (2) 显微镜焦距的调整

宝石显微镜有两个目镜，其中一个目镜上带有可调焦距的旋钮，另一个目镜上没有。当将宝石放在载物台上后，先用没有可调旋钮的目镜对准宝石，用宝石显微镜支架上的旋钮调整焦距，待看清楚后，再调整可调焦距的目镜焦距。反复操作，直至两眼焦距调准，观察图像清晰为止。

### (3) 宝石显微镜的用途

宝石显微镜用途很广，它是宝石检测实验室必备仪器之一。通过放大观察，宝石的微观世界便一目了然。

观察宝石表面特征，包括观察宝石表面的刻痕、蚀象、破损、拼合面(气泡、光泽差异)等。

观察宝石内部特征，包括观察宝石内含物的种类、形态、数量，以及双晶面、生长纹、颜色的色形分布特点等。

观察宝石的后刻面棱重影，由于非均质体宝石具有双折射现象，透过宝石观察宝石另一面的刻面棱会出现重影现象。双折射率越大，后刻面棱重影越明显，这对于鉴定宝石有时会起到很大的作用。例如，合成碳硅石是一种与钻石性质很相近的宝石，它的摩氏硬度为 9.25，与钻石很相近。因为合成碳硅石的导热性能也很好，即使用热导仪也无法将钻石与合成碳硅石区别开来。但是，如果观察合成碳硅石的后刻面棱重影，则可以将它与钻石区分开来。合成碳硅石为六方晶系，是非均质体，有双折射现象，在显微镜下会看到后刻面棱重影；钻石为等轴晶系，均质体，没有双折射，在显微镜下观察不到后刻面棱重影。其他如锆石、橄榄石等宝石的后刻面棱重影也很明显。

近似折射率的测定，如宝石为晶体碎块、无光滑平面供折射仪测试时，可在显微镜下用一种浸液测定宝石的近似折射率。主要方法有贝克线法、柏拉图法和直接测量法。

吸收光谱的观察，以一手持式分光镜代替目镜，并使用透射照明法，可以观测宝石的可见光吸收光谱。当宝石的体积比较小，直接观察宝石的吸收光谱比较困难时，用这种方法尤其有效。

观察宝石的干涉图，将两片偏振片放在物镜下，并调整偏振片的方向使其正交。用物台下聚光镜提供收敛光，可观察宝石的干涉图。将待测宝石浸没在与宝石折射率相近的浸液中，并用宝石夹转动宝石，直到干涉图出现为止。根据宝石的干涉图，可以确定宝石的光性和轴性，并可以估计光轴角的大小。对于某些性质相似的宝石用其他方法鉴定比较困难时，可以采用这种方法。

显微照相，在目镜上装一照相机，可直接拍下在宝石中所观测到的现象，以提供永久性的照相记录，这对于教学和研究是很有益处的。

### 2.1.7 热导率的测定

不同的宝石具有不同的热导率，钻石的热导率更明显地高于其他宝石，利用这个特征，制作了测定宝石热导率的仪器——热导仪，主要用来鉴定钻石和与之相似的宝石。

#### 2.1.7.1 热导仪的原理及结构

热导仪是根据钻石具有良好的传热性而设计的。典型的钻石热导仪由金属针状测头与控制盒组成，控制盒内装有由热敏电阻元件组成的电路。热敏电阻可以给测头针尖加热并进行热导率测量，当测头尖端触及钻石表面时，温度明显下降，由表头、信号灯或鸣叫声指示测定结果。

#### 2.1.7.2 热导仪的使用

打开热导仪的电源，对测头加热(一般需 20s)。

将热针触及样品表面，根据热导仪发出的信号(不同型号的热导仪表示方法不同，如表头、信号灯和鸣叫声)，可以确定被测样品的热导率。

由于绝大多数的宝石不具有导热性或热导率极低，一般热导仪均为区别钻石与人造仿制品而设计的(人造仿制品热导率极低或不导热)，其他宝石均不需使用热导仪。

在测定宝石的热导率时，注意控制观测环境空气，使其不要流通，以免影响观测效果。

## 2.2 大型仪器在宝石鉴定中的应用

随着合成宝石技术和宝石优化处理技术的进步，新的宝石合成品、代用品、仿制品不断出现，新的处理方法和手段也不断更新。一些经优化处理过的宝石与天然宝石的差别越来越小，用常规检测手段甚至无法检测出二者的差别，这给珠宝玉石的检测提出了更高的要求。过去，许多大型仪器只是在进行宝石学研究工作时才使用，现在某些大型仪器也由研究手段逐渐变成珠宝检测的常规手段。这些大型仪器主要包括红外光谱仪、拉曼光谱仪、阴极发光仪、X射线荧光光谱仪等。

### 2.2.1 红外光谱仪

#### 2.2.1.1 红外光谱的基本原理

红外光谱又称分子振动转动光谱，是一种分子光谱。分子的运动包括整体的平动、转动、振动及电子的运动，分子的总能量可近似地看作这些运动能量之和，即

$$E_Q = E_t + E_e + E_v + E_r \quad (2-2)$$

式中， $E_t$ 、 $E_e$ 、 $E_v$ 和 $E_r$ 分别代表分子的平动能、电子运动能、分子振动能和转动能。除 $E_t$ 外，其余三项都是量子化的，统称为分子内部运动能。分子光谱产生于分子内部运动状态的改变。

分子有不同的电子能级( $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、...)，每个电子能级包括不同的振动能级( $v_0$ 、 $v_1$ 、 $v_2$ 、...)，每个振动能级又包含不同的转动能级( $J_0$ 、 $J_1$ 、 $J_2$ 、...)。一定波长的电磁波作用于物质的分子，会引起分子相应能级的跃迁，产生分子吸收光谱。分子电子能级跃迁产生的光谱称为电子吸收光谱，其波长位于紫外-可见光区，称为紫外-可见光光谱。电子能级跃迁的同时伴有振动能级和转动能级的跃迁，分子振动能级跃迁产生的光谱为振动光谱。振动能级跃迁的同时伴有转动能级的跃迁，红外吸收光谱是分子的振动-转动光谱。分子发生振动和转动跃迁时所需要的能量远小于电子能级跃迁所需要的能量，因而其光谱处于红外区。

红外光谱是分子的振动转动光谱，但并不是分子的任何振动都能产生红外光谱。产生红外吸收光谱的物质吸收电磁辐射应满足两个条件：第一，辐射应具有刚好能满足物质跃迁时所需的能量；第二，辐射与物质之间有耦合作用。

红外辐射具有适合的能量，能导致振动跃迁的产生。当一定频率(一定能量)的红外光照射分子时，如果分子中某个基团的振动频率和外界红外辐射的频率一致，就满足了第一个条件。为满足第二个条件，分子必须有偶极矩的改变。已知任何分子就其整个分子而言，是呈电中性的，但由于构成分子的各原子因价电子得失的难易而表现出不同的电负性，分子也因此显示不同的极性。通常可用分子的偶极矩 $\mu$ 描述分子极性的大小。设正负电中心的电荷分别为 $+q$ 和 $-q$ ，距离为 $d$ 。在振动过程中 $d$ 的瞬时值不断地发生变化，因此 $\mu$ 也发生相应的改变，分子亦具有确定的偶极矩电荷

中心重叠,  $d=0$ , 故分子中原子的振动并不引起  $\mu$  的变化。上述物质吸收辐射的第二个条件, 实质上是外界辐射迁移它的能量到分子中去, 这种能量的转移是通过偶极矩的变化来实现的。当偶极子处在电磁辐射的电场中时, 此电场作周期性反转, 偶极子将经受交替的作用力而使偶极矩增加或减小。由于偶极子具有一定的原有振动频率, 显然, 只有当辐射频率与偶极子频率相匹配时, 分子才与辐射发生相互作用(振动偶合)而增加它的振动能, 使振动加剧(振幅加大), 即分子由原来的基态振动跃迁到较高的振动能级。可见, 并非所有的振动都会产生红外吸收, 只有发生偶极矩变化的振动才能引起可观测的红外吸收谱带, 称这种振动为红外活性的, 反之则称为非红外活性的。

由上述可见, 当一定频率的红外光照射分子时, 如果分子中某个基团的振动频率和它一样, 二者就会产生共振, 此时光的能量通过分子偶极矩的变化而传递给分子, 这个基团就吸收一定频率的红外光, 产生振动跃迁; 如果红外光的振动频率和分子中各基团的振动频率不符合, 该部分的红外光就不会被吸收。因此, 若用连续改变频率的红外光照射某试样, 由于该试样对不同频率的红外光的吸收程度不同, 使通过试样后的红外光在一些波长范围内变弱(被吸收), 在另一些范围内则较强(不吸收)。将分子吸收红外光的情况用仪器记录, 就得到该试样的红外吸收光谱图。根据红外辐射的波长可将其分为近、中、远红外三个区。

近红外波长范围为  $0.78 \sim 2.5 \mu\text{m}$ , 波数范围为  $12\,820 \sim 4\,000 \text{cm}^{-1}$ , 主要反映倍频与合频光谱。倍频是指由  $\nu_0$  向  $\nu_2$  能级的跃迁所产生的振动吸收带, 出现在强的基频带波数的大约 2 倍处(实际上比 2 倍要低), 一般都是弱吸收带。如  $\text{C} \equiv \text{O}$  的伸缩振动波数约在  $1\,715 \text{cm}^{-1}$  处, 其倍频带出现在约  $3\,400 \text{cm}^{-1}$  处。合频带出现在两个或多个基频波数之和或波数之差附近。如基频波数分别为  $X \text{cm}^{-1}$  和  $Y \text{cm}^{-1}$  的两个吸收带, 其合频带可能出现在  $(X \pm Y) \text{cm}^{-1}$  附近。倍频带与合频带统称为泛频带, 其跃迁概率小, 强度弱, 通常不易检出。

中红外区波长范围为  $2.5 \sim 25 \mu\text{m}$ , 波数范围为  $4\,000 \sim 400 \text{cm}^{-1}$ 。它涉及分子的基频振动吸收, 是物质结构和组分分析的重要区域, 不同的分子或基团都有自己的特征能级, 从而就有各自的特征光谱。根据光谱即可鉴定宝石种类或大类。

远红外区波长范围为  $25 \sim 1\,000 \mu\text{m}$ , 波数范围为  $400 \sim 100 \text{cm}^{-1}$ 。它涉及分子的纯转动能级跃迁、晶体的晶格振动等, 在宝石学中应用极少。

#### 2.2.1.2 测定方法

傅立叶变换红外光谱用于宝石的测定方法可分为透射法和反射法两类。

##### (1) 透射法

透射法又可分为粉末透射法和直接透射法。粉末透射法是将样品研磨成  $2 \mu\text{m}$  以下的粒径, 用溴化钾以  $1\,100 \sim 1\,200$  的比例与样品混合压制成薄片, 即可测定宝石矿物的透射光谱图。直接透射法是将宝石样品直接置于样品台上, 由于宝石样品厚度大、透过率不好, 波数小于  $2\,000 \text{cm}^{-1}$  的红外光全被样品吸收, 因而不能得出这一波数范围内的信息, 即缺失波数小于  $2\,000 \text{cm}^{-1}$  的有机物和水的吸收峰。

##### (2) 反射法

反射法测定宝石具有快速、准确、不损坏样品的优点。需要的辅助附件有红外显微镜或镜式反射装置，将抛光的样品的一面置于样品台上，通过红外光的表面反射，又被探测器接收，得到波数小于  $2\,000\text{cm}^{-1}$  的反射法的吸收光谱。与直接透射法联合使用可互相验证，互为补充。

### 2.2.1.3 红外光谱在宝石学中的应用

红外光谱主要反映物质与红外辐射相互作用时振动能级的变化。各种分子都有自己的特征能级，存在各自的特征谱，即特定的基团有自己的特征频率。这就是红外光谱鉴别宝石矿物的基础。

红外光谱目前在宝石鉴定中主要应用在鉴定宝石的种类、鉴定天然宝石与合成宝石以及优化处理宝石等方面。下面以几个例子介绍红外光谱在宝石鉴定中的主要应用。

#### (1) 优化处理翡翠的鉴定

随着处理技术的不断提高，很多处理翡翠用常规方法很难鉴定，有的用常规方法甚至无法鉴别。红外光谱是鉴别优化处理翡翠的有效方法。

天然产出的翡翠与优化处理翡翠的红外光谱有明显差别。漂白充填处理翡翠的充填材料中含有碳氢的羟基，不同的充填物羟基的结构不同，因而红外吸收光谱也有所不同。未经任何处理翡翠的红外光谱曲线如图 2-6(a) 所示。图 2-6(b) 为少量注蜡翡翠红外光谱曲线。图 2-6(c) 和 (d) 为漂白充填处理翡翠的红外光谱曲线。由图可见，浸蜡的翡翠在  $2\,854$ 、 $2\,920\text{cm}^{-1}$  处有吸收峰。经过漂白充填处理的翡翠由于充填的材料不同，在红外光谱中吸收峰的位置也有差异。现在比较常见的是在  $3\,100 \sim 3\,000\text{cm}^{-1}$  附近的吸收峰，这是环氧树脂中芳烃的 C—H 键的伸缩振动峰(在  $3\,054$  和  $3\,035\text{cm}^{-1}$  附近)。

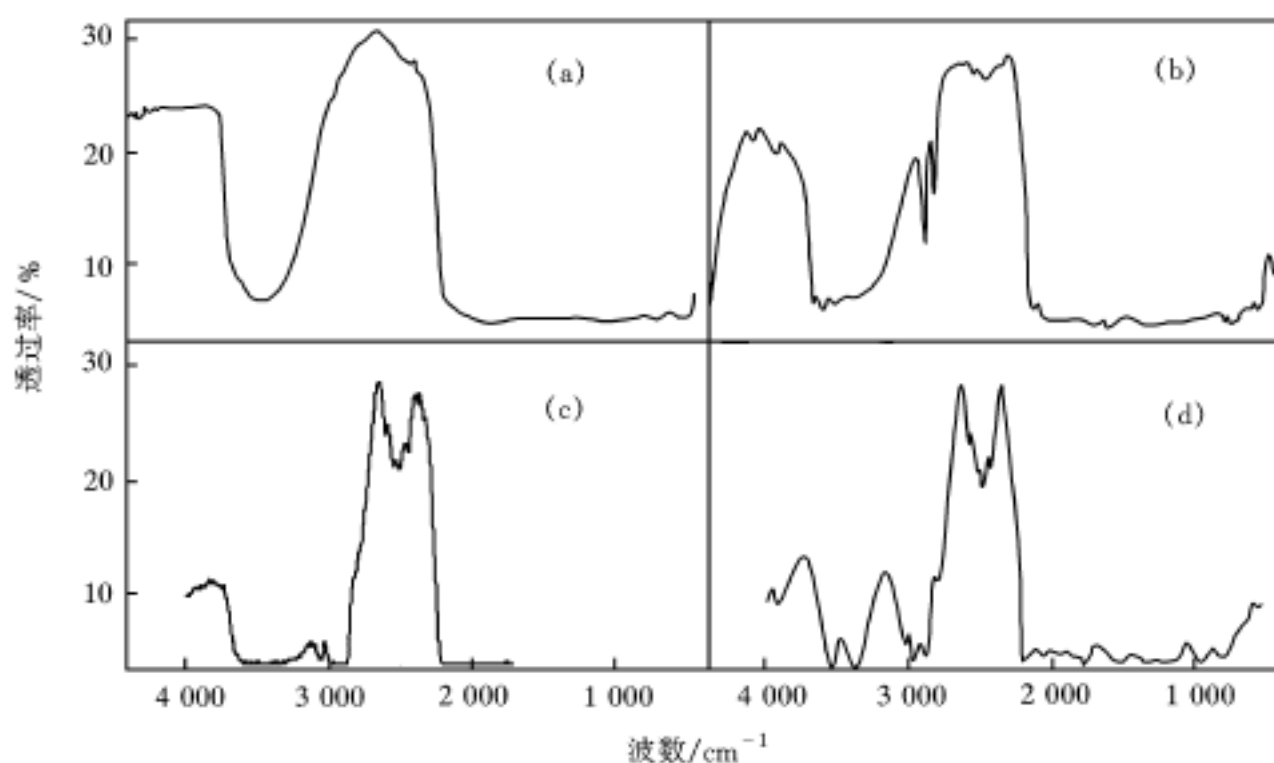


图 2-6 翡翠及处理翡翠的红外光谱曲线

#### (2) 钻石与合成钻石的鉴定

根据含氮及硼杂质的量与存在形式，钻石可分为 a，b，a 及 b 四种类型。a 型钻

石中氮以片状聚合物的形式存在，b 型钻石中氮以单独不纯物的形式存在。天然钻石以 a 型为主，合成钻石以 b 型为主。利用红外光谱可以判别钻石类型。由图 2-7 可以看出，天然产出的 a 型钻石和合成的 b 型钻石的红外吸收峰明显不同。

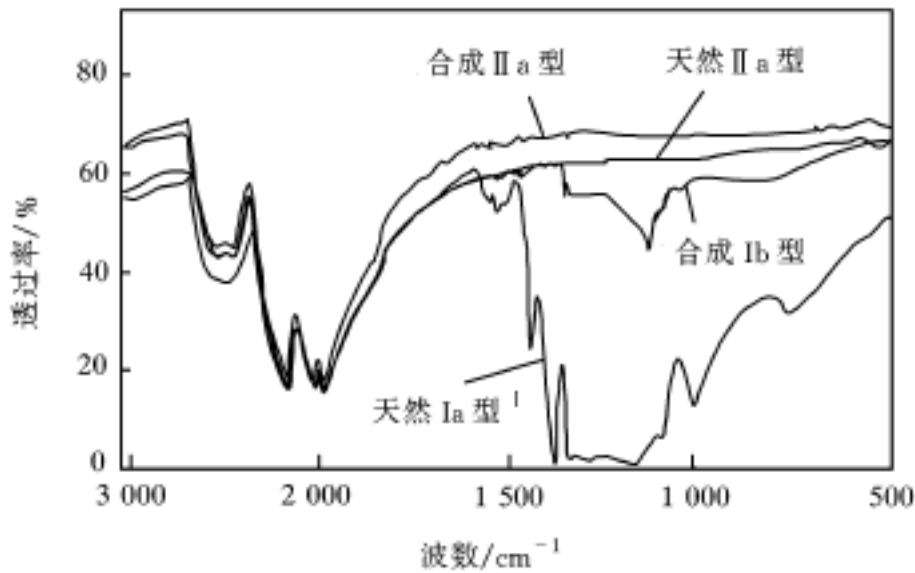


图 2-7 不同类型钻石的红外光谱曲线  
(据 H.Sumiya, et al, 1997)

(3) 天然与合成宝石的区分

非水热合成的宝石因为缺水的吸收峰，很容易与天然宝石相区分；而水热合成的宝石与天然宝石之间的区分就要困难些。

金绿宝石。根据红外吸收光谱特征可将合成宝石与天然金绿宝石相区分。天然金绿宝石的特征吸收带位于 2 160, 2 403, 4 045 及 4 150 $\text{cm}^{-1}$ 。这些吸收带是合成金绿宝石所没有的，合成金绿宝石的特征吸收带常位于 2 800 ~ 3 600 $\text{cm}^{-1}$ ，与方向无关,如图 2-8 所示。少数合成产品在 2 500 ~ 2 700 或 3 300 ~ 3 700 $\text{cm}^{-1}$ 有吸收带。另外，天然金绿宝石在生长过程中混入了  $\text{H}_2\text{O}$  或  $\text{OH}$ ，因而 2 800 ~ 3 300 $\text{cm}^{-1}$ 区的吸收带通常较强。

祖母绿。Stockton(1987)曾研究了 37 个天然祖母绿，19 个水热合成祖母绿以及 38 个助熔剂合成祖母绿。

助熔剂法合成祖母绿没有 3 400 ~ 4 000 $\text{cm}^{-1}$  区的强吸收，因而很容易与天然祖母绿区分。在 19 个水热合成祖母绿中，有 17 个具有 2 600 ~ 3 000 $\text{cm}^{-1}$  的强

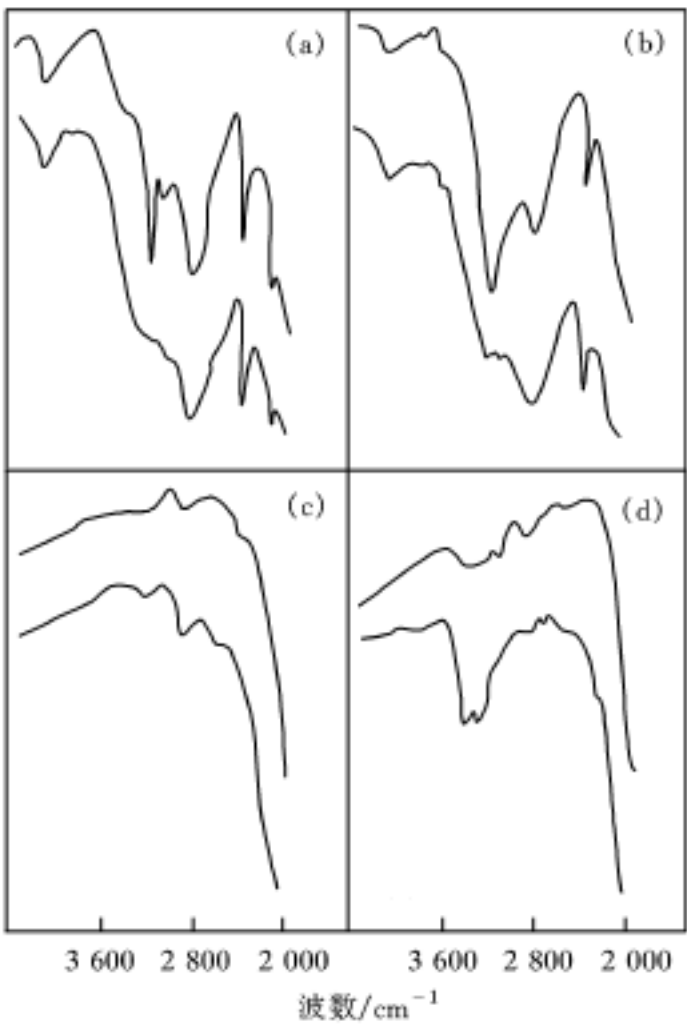


图 2-8 金绿宝石与合成金绿宝石的红外吸收光谱，  
每个样品测定了两个不同方向的红外光谱  
(a) 金绿宝石(坦桑尼亚)； (b) 金绿宝石(巴西)；  
(c)，(d) 合成金绿宝石

(据 Stockton, et al, 1988)

吸收, 这一吸收特征可用于天然与水热合成祖母绿的区分。大多数水热合成祖母绿具有  $2\,745$ ,  $2\,830$ ,  $2\,930$ ,  $2\,995$ ,  $3\,490$ ,  $4\,052$  或  $4\,375\text{cm}^{-1}$  吸收带, 这些带在天然祖母绿中从未出现过。有两种由水热法合成的祖母绿难以鉴别: 一种是由奥地利 Swarovski 实验合成的, 另一种是由俄罗斯的水热法合成的祖母绿。这两种合成祖母绿没有  $2\,600 \sim 3\,000\text{cm}^{-1}$  的强吸收带, 但所有的俄罗斯合成祖母绿具有  $4\,052$  和  $4\,375\text{cm}^{-1}$  两个吸收带, 而 Swarovski 样品出现了  $4\,052\text{cm}^{-1}$  吸收带, 未观察到  $4\,375\text{cm}^{-1}$  吸收带。

此外,  $2\,200 \sim 2\,400\text{cm}^{-1}$  内的吸收特征也可用于天然与水热合成祖母绿的区分。在这一区域内, 天然祖母绿至少有 2 个(通常是 3 个)吸收带, 位于  $2\,290$ ,  $2\,340$  和  $2\,385\text{cm}^{-1}$ 。 $2\,290\text{cm}^{-1}$  带从未在合成祖母绿中出现, 而天然祖母绿常有此带。在合成祖母绿中,  $2\,340\text{cm}^{-1}$  带的位置由  $2\,310 \sim 2\,329\text{cm}^{-1}$ , 而在天然祖母绿中, 此带的位置由  $2\,335\text{cm}^{-1}$  变化至  $2\,342\text{cm}^{-1}$ 。另外, 天然祖母绿中,  $\text{CO}_2$  的  $2\,358\text{cm}^{-1}$  带常比  $2\,340\text{cm}^{-1}$  带强, 而在合成祖母绿中则相反, 如图 2-9 所示。

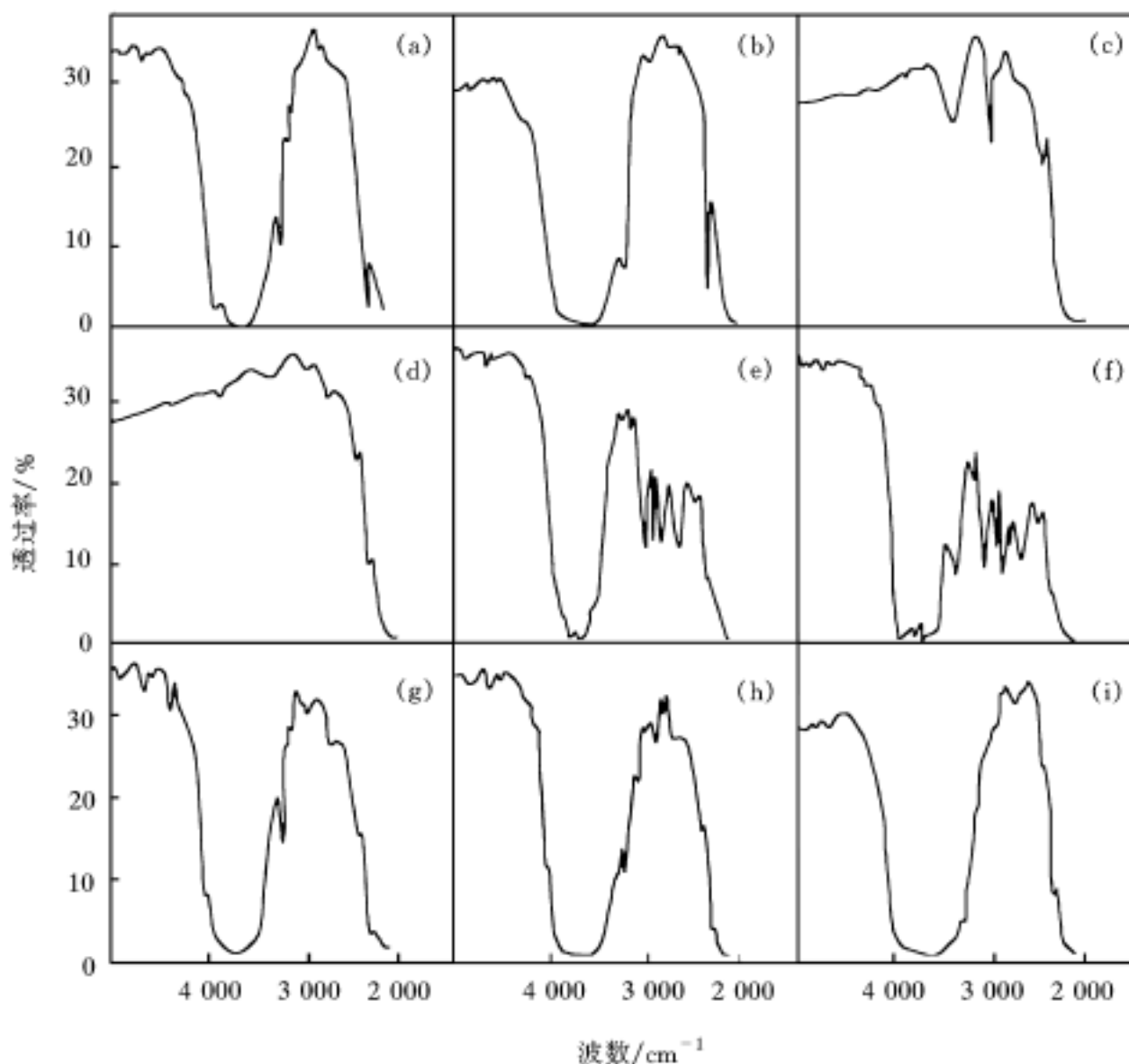


图 2-9 祖母绿与合成祖母绿红外光谱曲线

(a), (b) 祖母绿; (c), (d) 助熔剂合成祖母绿; (e), (f) 水热法合成祖母绿;  
(g), (h) 俄罗斯水热法合成祖母绿; (i) Swarovski 水热法合成祖母绿

(据 Stockton, et al, 1987)

### 2.2.2 拉曼光谱仪

拉曼光谱技术是近年来迅速发展起来的物理光谱分析技术。每种物质都有它特定的拉曼光谱，不同的物质分子，由于其基本成分和结构不同，具有不同的拉曼光谱特征，据此可以用分光计探测拉曼光谱散射光的强度，获取有用的信息，达到测定和鉴别物质的目的。拉曼光谱技术自 20 世纪 80 年代引入我国以来，研究人员成功地将该项技术应用于矿物学和宝石学研究，取得了丰硕的成果。

一束射入物质的光，就是一根探针。当光穿过物质后，便携带了有关物质的各种信息。折射、反射、吸收等常规光测量，提供了关于物质的许多宏观信息。然而，最丰富的更深层次的信息，是光与物质发生非弹性散射时携带出来的。在这种“非弹性碰撞”之后，光子或者将自己的部分能量传递给介质粒子（即光子能量变低、颜色红移形成斯托克斯线），或者从后者获得部分能量（即光子能线）。

从粒子碰撞的角度最容易理解光散射的原理。光束由光子组成，光子具有能量、动量  $K$ ，当它进入物质时，就和物质中激发的量子-元激发（准粒子）发生碰撞，进行能量和动量的交换。大量的研究已经使人们确信，物质中存在许多种元激发。从散射光谱中可以看出，散射光所携带的信息不只限于元激发的能量、动量。

散射峰的形状（线型）也带有物质的信息。通常非弹性散射峰具有洛伦兹线型，这是由导出元激发振幅的运动方程决定的，其谱线宽度，则与该元激发的“寿命”有关。元激发产生后，通过与其他激发、物质中的缺陷等相互作用而转化、消失。所以，研究线型、线宽和磁共振实验中测量共振线宽一样，可以提供相应元激发的弛豫过程方面的信息等。

任何晶体都有其特定的原子组成、结构、对称性，因而有一系列独有的振动，称为声子谱或振动谱，这种谱实际上就是相应晶体的“指纹”，准确测量物质的振动谱为识别晶体提供了坚实的基础。

（1）通过测定宝石中的包裹体来鉴别宝石类型和产地

如图 2-10 所示为缅甸蓝宝石内锆石包裹体拉曼光谱图，图 2-11 所示为马达加斯加蓝宝石内三相包裹体的拉曼光谱图，此图说明该三相包裹体含  $\text{CO}_2$  和硬水铝石。通常某些大理岩内（巴基斯坦和阿富汗）红宝石的气液包裹体中含混有  $\text{H}_2\text{S}$  的  $\text{CO}_2$  的气泡，其特征拉曼光谱具  $2\,011\text{cm}^{-1}$  峰，可作为非热处理红宝石的鉴定特征。

（2）通过测定助熔剂残余确定合成宝石类型

卡桑（Chatham）合成祖母绿中助熔剂残余的拉曼光谱在  $221$  和  $570\text{cm}^{-1}$  有主峰。多罗斯（Dourois）合成红宝石的助溶剂残余的拉曼光谱峰值为  $133$ ， $824$ ， $850\text{cm}^{-1}$ ，据此可以将天然宝石与两种不同方法合成的宝石区分开来。

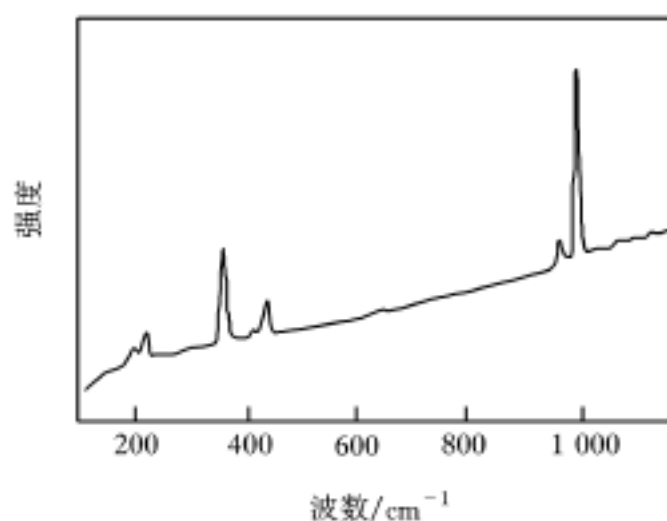


图 2-10 缅甸蓝宝石锆石包裹体拉曼光谱图  
（据王瑛等，1998）



### (3) 确定祖母绿的充填物类型

利用拉曼光谱可区分充填物材料是天然树脂还是合成树脂。天然树脂主峰位于  $2\ 800 \sim 3\ 100\text{cm}^{-1}$ ,  $1\ 200 \sim 1\ 700\text{cm}^{-1}$  有弱峰。合成树脂的  $1\ 250$ ,  $1\ 606$ ,  $3\ 008$  和  $3\ 069\text{cm}^{-1}$  峰很明显, 如图 2-12 所示为祖母绿内几种充填物的拉曼光谱曲线。

### (4) 确定宝石类型

当宝石用常规仪器检测无法确定其类型, 或者对于已镶嵌的宝石无法使用一些常规仪器、方法进行检测时, 则有可能通过拉曼光谱的测定, 将其与标准光谱比较以确定宝石种类。图 2-13 所示为几种不同宝石的拉曼光谱曲线。

拉曼光谱也有其局限性, 其中包括:

无法用于检测金属和合金材料。

非均质材料不同入射方向的拉曼光谱峰值强度不同, 但峰值位置不变, 所以与参考标准光谱比较时应考虑这一因素。

一些多晶质宝石, 如绿松石、珍珠等, 受荧光的影响拉曼光谱不易测定。

虽然拉曼光谱是一种无损鉴定法, 但在测定某些热不稳定矿物和有机物时仍要小心。

宝石的荧光会影响拉曼光谱的测定, 减弱激光束强度和增加扫描时间可以部分消除这种影响。

宝石显微镜的物台和物镜距离限制了较大宝石的测定。

总之, 拉曼光谱显微镜以其各种优势必将在宝石学领域得到越来越广泛的应用。

### 2.2.3 X 射线荧光光谱仪

1895 年德国物理学家伦琴发现了 X 射线, 1896 年法国物理学家乔治发现了 X 射线荧光。20 世纪 40 年代末, 弗利德曼和伯克斯应用盖克计数器研制出波长色散 X 射线荧光光谱仪。自此, X 射线荧光光谱分析(XRF)进入蓬勃发展的阶段。经过几代人的努力, 现已由单一的波长色散 X

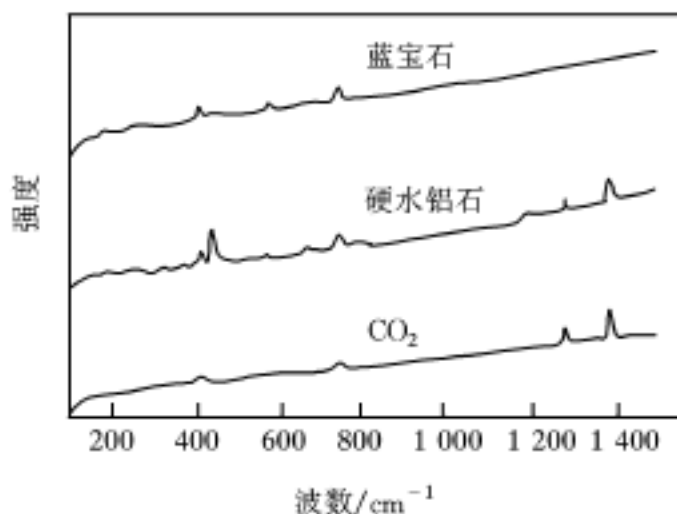


图 2-11 马达加斯加蓝宝石包裹体拉曼光谱图  
(据王瑛等, 1998)

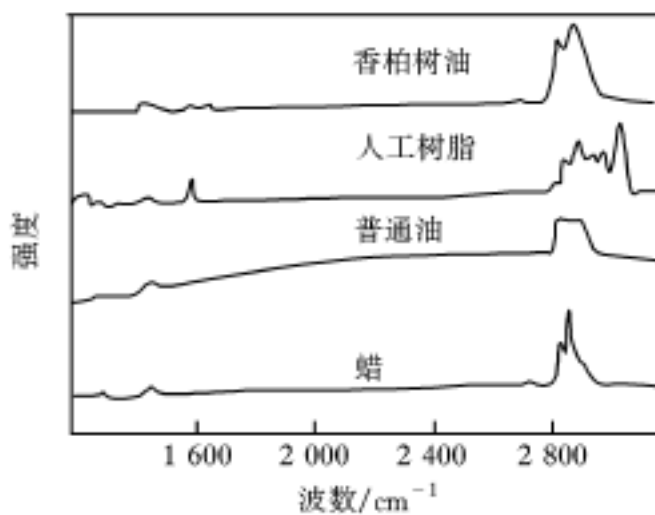


图 2-12 祖母绿内充填物拉曼光谱图  
(据王瑛等, 1998)

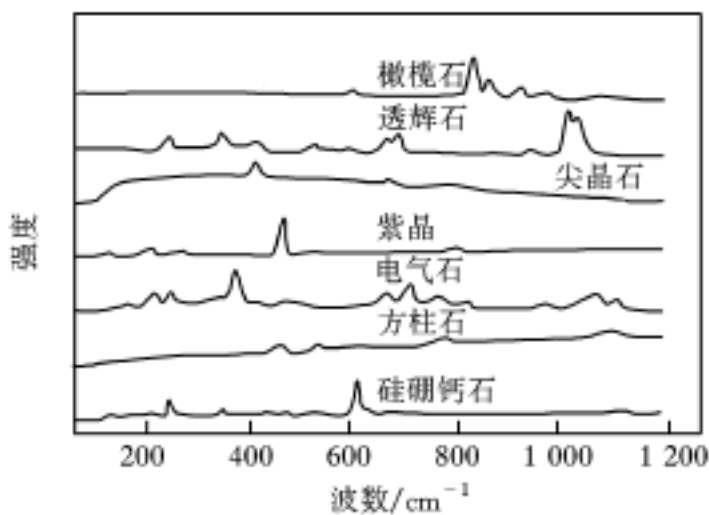


图 2-13 天然宝石的拉曼光谱图  
(据王瑛等, 1998)

射线荧光光谱仪发展成拥有波长色散、能量色散、全反射、同步辐射、质子 X 射线荧光光谱仪和 X 射线微荧光分析仪等的大家族。

由于 X 射线荧光分析仪适用于各种宝石，且无需特别制样，测试过程对样品无损，灵敏度高，所以近年来被世界各大宝石研究所和宝石学机构所重视并应用。但由于仪器昂贵，故其应用范围受到一定的限制。目前在宝石研究和检测中主要有以下应用。

(1) 鉴定宝石的种属

不同的宝石种属具有不同的成分，用 X 射线荧光分析仪可以很容易地分析出所测宝石的化学成分和含量，从而达到鉴定宝石种属的目的。

(2) 区分合成、天然宝石，淡水、海水珍珠

由于合成宝石的生长环境相对单一，且含有代表合成环境的杂质元素，据此即可判断其成因，如 Ga 是天然红宝石的特征元素，而 Pb、Mo 等则是合成红宝石的鉴定特征。由于珍珠贝的种类差异和水域差别，淡水珍珠相对含 Mn 量高，而海水珍珠含 Mn 量则相对较低。含 Mn 量可帮助判断珍珠的成因。

(3) 判断宝石的产地

世界上各宝石产地都有其特征的地质环境和产状特点，因此其微量元素的种类及含量也有一定的规律性，找到了这种微量元素分布的规律性，即可大致得出产地的信息。

2.2.4 阴极发光仪

当某些物质受到某种能量激发时，会从物体表面发射出光的辐射，光辐射频率大多在可见光范围，即波长在 400 ~ 760nm 之间，也可能有紫外或近红外光辐射的发射，这种现象称为发光。阴极发光是指带能量的电子束轰击某些物质表面造成的发光，由于带能量的电子束一般是由阴极发射，经阳极电压加速而得到的，因此，电子束轰击造成的发光习惯上称为阴极发光。此外，还有摩擦发光和电致发光等。按照在激发源移去后发光持续时间的长短可分为荧光和磷光。前者持续时间小于 10ns，后者持续时间超过 10ns。矿物的阴极发光属于荧光类型，只有在电子束激发时才能观察到发光。

用来激发并产生这种光的仪器，称为阴极发光仪。将阴极发光仪安装在显微镜上，称为阴极发光显微镜。阴极发光仪有两大类：一类是将阴极发光仪直接安装在显微镜上，称为阴极发光显微镜；另一类是把它作为电子显微镜或电子探针的附件，这类附件式阴极发光仪由于电子束细、束流小，适用于电镜上微细矿物颗粒的观察，而不能观察一般薄片中的矿物、岩石结构，且设备昂贵。

阴极发光显微镜主要由光学显微镜、电子枪、样品室、高压控制装置及真空装置等部分组成。

光学显微镜阴极发光仪可以安装在各种显微镜上，如偏光显微镜、体视显微镜、金相显微镜等，可根据工作目的进行选择。光学显微镜可以是单筒，也可以是双筒，各有其优缺点。单筒显微镜可以减少阴极发光的色散，但工作时间长时，眼睛易疲劳。使用双筒(或三筒——带照相设备)显微镜眼睛不易疲劳，有照相设备，可随时照

相，但三筒增加了阴极发光的色散，影响发光强度。不论采用哪种显微镜，对同一薄片，既可观察偏光特征，又可观察阴极发光特征，显微镜的放大倍数可达 20 ~ 200 倍，但必须使用长焦距物镜，镜头要短，若样品室上安装了隐蔽式窗口，放大倍数可达 400 ~ 800 倍。

电子枪的作用是向样品室发射电子束激发样品，使样品发光。电子枪可分为热阴极式和冷阴极式两种。热阴极式电子枪阴极为钨丝，钨丝加热后发射电子。其优点是加速电压高(可达 30kV)，电子束能量高，激发力强，可使难以发光的矿物发光。缺点是体积较大，真空度高，真空系统复杂，因此使用热阴极式电子枪的较少。第二种电子枪为冷阴极式电子枪。它是利用气体放电的原理制成的电子枪，气体可以是空气、氦气或其他气体。冷阴极电子枪的基本工作原理是，在两个加有电位差的电极之间建立一个稳定的放电过程。为了形成放电，电极之间的气体应具有适当范围的压强。从冷阴极随机发射的电子(可能靠场发射或热电子发射而起动)使气体分子电离，所产生的正离子向阴极加速。正离子与阴极碰撞产生更多的电子，从而产生级联过程，使稳定放电得以形成。放电中主要包含向阳极运动的电子和向阴极运动的正离子，也可能含有少量的负离子。电子通过阳极孔离开放电区域而投向靶子。

样品室是放样品的地方，是组装在显微镜物台上的真空室，与显微镜物台以连接板相连，还连接了电子枪和真空系统。

高压控制系统包括冷阴极电源、聚焦电路及真空监测指示装置。

真空系统由真空泵、接连管、泵开关、真空管、进气阀和真空阀组成。电子枪和样品室都要求在真空条件下工作。

近几年，阴极发光技术在宝石鉴定和研究领域的应用获得了很大的发展。在区分天然与合成钻石、天然与优化处理翡翠、晶体的生长过程等方面都有较多的研究。这里以天然与合成钻石的区分为例，介绍其在宝石研究中的应用。

阴极发光技术最成功的应用就是能迅速有效地区分天然和合成钻石。由于生长环境的不同，天然钻石和合成钻石在生长结构上有显著的差异。天然钻石一般形成八面体或立方体等单形，合成钻石则发育成相对复杂的由八面体、立方体、菱形十二面体和四角三八面体等单形组成的聚形晶体。这样在合成钻石晶体中就形成了多种生长区，不同生长区的生长速度等特征不同，所含杂质成分的含量也不同，从而导致阴极发光下显示不同颜色和不同生长纹等特征。这些生长结构的差别导致天然钻石和合成钻石在阴极发光下具有截然不同的特征。天然钻石通常显示相对均匀的蓝色 ~ 灰蓝色，而且发光区形态极不规则，分布也无规律性；合成钻石不同的生长区发出不同颜色的光，且具有几何对称性。

# 第 3 章 常见宝石

## 3.1 钻 石

钻石的矿物学名称为金刚石，在珠宝行业通常把能够达到宝石级的金刚石称为钻石。钻石是所有宝石中硬度最大的，而且光泽强，加工后不易磨损，具有很强的色散和亮度，因而钻石艳丽夺目，光彩照人，有着“宝石之王”的美称。钻石是最受欢迎的宝石，在市场上的销售量占有所有珠宝销售量的 80% 以上。

### 3.1.1 钻石的基本性质

化学成分，钻石的主要成分为 C，其质量分数可达 99.95%，次要成分有 N，B，H，微量元素有 Si，Ca，Mg，Mn，Ti，Cr，S，惰性气体及稀土元素，稀有元素，达 50 多种，这些次要组分决定了钻石的类型、颜色及物理性质。

结晶学特征，钻石为等轴(立方)晶系，晶体形态常为八面体、菱形十二面体和立方体等，有时形成双晶。

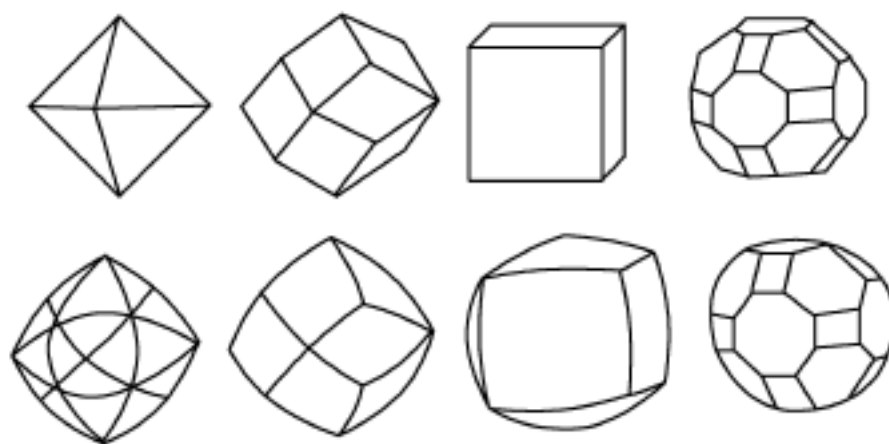


图 3-1 钻石常见的晶体形态

解理，具八面体中等～完全解理。

硬度，摩氏硬度为 10。不同产地的钻石硬度稍有变化，同一晶体不同方向上的硬度也有所不同。

密度，钻石的密度值为  $3.52\text{g/cm}^3$ 。由于钻石的成分单一，因此密度值变化很小，这一特征值常被应用于钻石的检验和鉴定中。

折射率，2.42，由于钻石为光性均质体，因而为各向同性。

色散，钻石的色散现象有时也俗称火彩，钻石具有很高的色散度，色散值为0.044，是天然无色宝石中色散值最大的宝石。

多色性，钻石属均质体矿物，无多色性。

颜色，无色，通常略带深浅不同的黄色调，也具有蓝、红、紫、褐和黑等不同颜色。

发光性，钻石在紫外线照射后可发出浅蓝色、蓝色、黄色、黄绿色、粉红色、橙红色、淡蓝、白色及几乎无色的光。利用钻石是否有荧光以及荧光颜色的不同，可以区分钻石的品种及其他物理性质。

1 吸收光谱，无色～黄色钻石可见下列波长被吸收而形成的光谱带：478，465，451，435，402，423，415 和 390nm。特别是 415nm 的吸收线的存在是无色～浅黄色钻石为天然钻石的标志。合成钻石缺失 415nm 吸收线。蓝～绿色钻石具有 537，504 和 498nm 的吸收线。

2 荧光，在强度和颜色上均有较大变化。对无色及黄色钻石来说，在紫外线照射下大多数呈蓝色～白色荧光。对棕色及绿色钻石来说，常见绿色荧光。

3 光泽，金刚光泽。

4 内含物，天然金刚石结晶时，可能将早期结晶的矿物包裹在晶体内，称为包体。常见的有石榴石、金刚石、石墨、橄榄石等。

5 化学性质，耐酸、耐碱，化学性质稳定，熔点高，在纯氧中加热至 1 770 时会分解。在真空中加热到 1 700 会变成石墨。

3.1.2 钻石的分类

根据钻石成分中氮元素的存在形式及物理性质的差异，钻石可分为 I 型和 II 型两种。

I 型，含少量杂质元素氮。根据氮的存在形式，又可细分为 Ia 和 Ib 型：Ia，杂质氮以片状聚合物形式存在，一般呈无色～浅黄色，天然钻石大多属于此类；Ib，杂质氮以分散状态形式存在，呈无色～黄色、棕色等，合成钻石多为 Ib 型。

II 型，基本不含氮(质量分数小于 0.001%)，II 型钻石又可细分为 IIa 型和 IIb 型两种：IIa，基本不含氮，呈无色～棕色粉红色系列，其颜色是由于碳原子的错位形成的内部缺陷产生的；IIb，不含氮但含少量的硼，为半导体，通常呈淡蓝色。

3.1.3 钻石的质量评价

对于无色～浅黄色系列的钻石，一般用下列四个标准来评价钻石的质量。

颜色 (Colour)，指钻石体色饱和度与理想无色状态的差异程度，越是无色的钻石越稀有(彩色钻石除外)。

净度 (Clarity)，指钻石中的包裹体对其透明度的影响程度，钻石净度越高越稀有。

切工 (Cut)，切磨工艺使钻石显示瑰丽的程度。

克拉重 (Carat weight)，钻石质量越大就越稀有，因此，随着单颗钻石质量的增加，其价值也显著提高。

只有以上四个方面都得到评价，一颗钻石的质量和价格才能得到确定。由于上述

四个指标均以英文字母 C 开头，故钻石的评价又称 4C 评价。

3.1.3.1    颜色分级

(1) 钻石的颜色级别

国际珠宝界将无色～浅黄色系列的钻石的颜色由无色(称为白)～浅黄色依次划分为 D～Z 共 23 个等级，其中 D～N 等 11 个等级是最常用的，N 以下的一般已经达不到宝石级。我国常用 100～90 等数字表示钻石颜色的等级，如表 3-1 所示。

(2) 钻石颜色的分级方法

钻石颜色的分级要在特殊的钻石灯下进行，不能由日光照射。钻石灯的色温要求为 5 000～7 200K。

钻石颜色的分级要用标准比色石。比色石净度在 SI 级以上，并且不能有紫外荧光。

钻石分级的环境不能有彩色色调。

钻石的分级由经过专门训练的分级师进行。

表 3-1                                钻石颜色等级对照表

GIA 标准	我国习惯用法	颜色描述
D	100	极白
E	99	
F	98	优白
G	97	
H	96	白
I	95	微黄(褐、灰)白
J	94	
K	93	浅黄(褐、灰)白
L	92	
M	91	浅黄(褐、灰)
N	90	
N 以下	< 90	黄(褐、灰)

3.1.3.2    钻石的净度分级

钻石中所有的缺陷统称为瑕疵或内含物。就瑕疵所处的位置而言，可分为内部瑕疵和外部瑕疵。瑕疵可以是矿物包裹体，也可以是各种裂隙等。

(1) 内部瑕疵

顾名思义，内部瑕疵，是指深入到钻石内部的瑕疵。如果被完全包裹在钻石的内部，称作封闭式内部瑕疵。这类瑕疵通常是原生的，与后期人为破坏无关。另外还有一类是与表面连通的瑕疵，称为开放式内部瑕疵。这类瑕疵虽在表面有开口，但仍以深入内部为主，而且常对钻石的净度造成严重影响，故而也将其视为内部瑕疵。如一些大的裂隙、大而深的破口以及激光孔等均属此类。内部瑕疵对净度级别有重要影响，常见的内部瑕疵如下。

结晶包裹体，包裹在钻石内部的矿物晶体。常见的有石榴石、辉石、橄榄石、金刚石、石墨等。

云状物，钻石中呈朦胧状、乳状、无清晰边界的一类包裹体。有时也称为雾状包裹体。

点状包裹体，钻石内部极细小的包裹体，有时亦称为针点，一般用 10 倍放大镜观察不到清晰的形状即可视之为点状包裹体。

羽状纹，钻石内部似羽毛状的一类裂隙的统称。羽状纹可以是封闭的，也可以与表面连通。羽状纹的大小形状千差万别，常有一个相对平整的面，也可以是凹凸起伏的。

内部生长纹，亦称生长线、生长结构、内部纹理等，是保存在钻石内部的生长痕迹。有些条带之间还有颜色差别，矿物学上称之为色带。

裂理，沿着解理面和双晶结合面的裂开，有时较难与羽状纹区别，在净度分级时常将其与羽状纹视为相同的瑕疵类型。

内凹原始晶面，凹入钻石内的原始晶面，晶面上常保留有阶梯状、三角锥状生长纹，多出现在钻石的腰部。

空洞，钻石上大而深的破口，形状多不规则，可以是加工时碰掉的破口，也可以是原钻石内部的包裹体在切磨时崩掉留下的孔洞。空洞的特点是在钻石表面有开口。

缺口，钻石腰部、刻面棱线上较小的破口。缺口与空洞的区别在于规模较小且多分布在腰棱线上。

① 击痕，钻石受到外力撞击留下的痕迹，围绕撞击中心有向外放射状散布的须状裂纹。当延深至钻石内部时称之为碎伤。

1 激光孔，用激光束和化学药品去除钻石内部的深色包裹体时留下的孔洞，形状类似白色的漏斗或管道。有时可被高折射率的玻璃质充填。

2 须状腰，在钻石的打圆过程中，由于操作不当在钻石腰部产生的一系列竖直的细小裂纹，形如胡须，故而得名。

## (2) 外部瑕疵

外部瑕疵是暴露在钻石表面的缺陷。除少数几种外，外部瑕疵多由人为因素造成，相对内部瑕疵对钻石的净度影响较小。一些微小的外部瑕疵经重新加工去除不会影响钻石的净度等级，常见的外部瑕疵如下。

原始晶面，钻石上保留的未经人工抛光的原有结晶面，在腰部常见。常有明显的阶梯状、三角状生长花纹。

外部生长纹，钻石表面的生长痕迹，与内部生长纹基本相同，一旦暴露在钻石表面即称之为外部生长纹。

刮伤，钻石表面被锐器刮伤的痕迹。

抛光纹，由于抛光不慎在钻石表面留下的平行的线状痕迹。

烧痕，抛光不当在钻石表面留下的糊状疤痕。

额外刻面，除规定的刻面之外所有多余的刻面。

棱角磨损，钻石刻面的棱线所受极轻微的损伤。

## (3) 钻石的净度分级

钻石的净度可以分为 FL(Lc)，VVS，VS，SI，P 共 5 个大的级别。其中各个大的级别又分为若干个小的级别。如 VVS 分为 VVS<sub>1</sub> 和 VVS<sub>2</sub>，VS 分为 VS<sub>1</sub> 和 VS<sub>2</sub>，

SI 分为 SI<sub>1</sub> 和 SI<sub>2</sub>，P 分为 P<sub>1</sub>，P<sub>2</sub> 和 P<sub>3</sub>。各个级别的特征如表 3-2 所示。

无 瑕 级	钻 石 净 度 等 级 表	
	Lc(FL)	完全无瑕疵
极微瑕疵级	VVS <sub>1</sub>	极难发现瑕疵(10 倍镜下)
	VVS <sub>2</sub>	很难发现瑕疵(10 倍镜下)
微瑕疵级	VS <sub>1</sub>	难以观察瑕疵(10 倍镜下)
	VS <sub>2</sub>	较易观察瑕疵(10 倍镜下)
瑕疵级	SI <sub>1</sub>	容易观察瑕疵(10 倍镜下)
	SI <sub>2</sub>	很容易观察瑕疵(10 倍镜下)
重瑕疵级	P <sub>1</sub>	肉眼可见瑕疵
	P <sub>2</sub>	肉眼易见瑕疵
	P <sub>3</sub>	肉眼很易见瑕疵

影响钻石净度的主要因素为：

内含物的大小，内含物越大，对钻石净度的影响越大。一般大于 5μm 的内含物在 10 倍放大镜下可见，小于 5μm 的内含物在 10 倍放大镜下不可见，这一规律也被称为 5μm 规则。

内含物的数量，内含物数量越多，对钻石净度的影响越大。

内含物的位置，台面下方对净度影响最大，其次是冠部、腰部和亭部。

内含物的颜色和反差，颜色越暗，对净度影响越大；反差越大，对净度影响越大。

处理钻石的净度不分级。

3.1.3.3 钻石的切工分级

钻石的切工分级主要针对标准圆钻分级(即理想式切工)。切工分级是从比率和修饰度两方面进行的，即钻石的切工级别包括比率级别和修饰度级别。

标准圆钻型切工的各部分名称如图 3-2 所示。

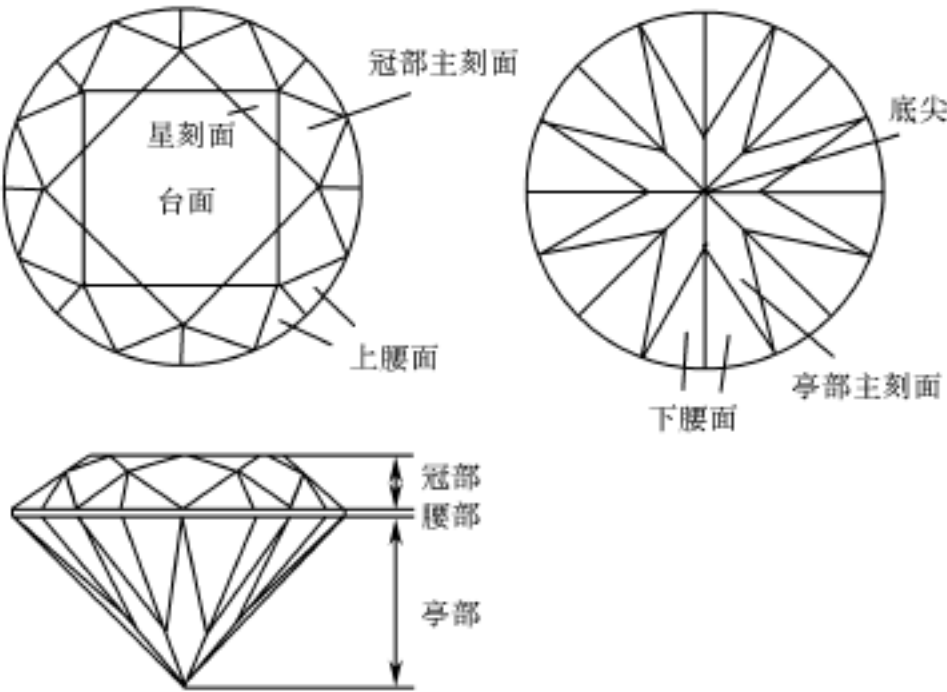


图 3-2 标准圆钻型钻石各部分名称



(1) 比率

比率(也称之为比例)是指以腰平均直径为 100%，其他各部分相对它的百分比。比率是决定钻石切工优劣最重要的因素，切割的比例恰到好处，钻石则璀璨夺目；反之，切割比例不当，将会极大地影响钻石的亮度和火彩，使钻石暗淡失色。

比率包括钻石各部分相对平均直径的比值，主要有：台宽比，冠部台面宽度相对腰平均直径的百分比；冠高比，冠部高度相对腰平均直径的百分比；腰厚比，腰部厚度相对腰平均直径的百分比；亭深比，亭部深度相对腰平均直径的百分比；底尖比，底尖的最大直径与腰平均直径的百分比；全深比，底尖到台面的垂直距离与腰平均直径的百分比。

除了上述这些线段的比例外，在钻石切割中，有两个角度很重要。尽管与上述那些线段的比例有直接关系，但是在钻石切工分级中人们还是习惯性地将它们单独列出以示其重要性。它们是：

冠部角，冠部主刻面与腰围所在平面之间的夹角；

亭部角，亭部主刻面与腰围所在平面之间的夹角。

比率的等级是根据实测的几个主要比率划分的，比率的等级可划分为很好、好、一般三个等级，如表 3-3 所示。

表 3-3		钻石切工比率及角度分级表				%
	一 般	好	很 好	好	一 般	
台宽比	50	51 ~ 52	53 ~ 66	67 ~ 70	71	
冠高比	8.5	9 ~ 10.5	11 ~ 16	16.5 ~ 18	18.5	
腰厚比	0 ~ 0.5	1 ~ 1.5	2 ~ 4.5	5 ~ 7.5	8	
亭深比	39.5	40 ~ 41	41.5 ~ 45	45.5 ~ 46.5	47	
底尖比			< 2	2 ~ 4	> 4	
全深比	52.5	53.0 ~ 55.5	56 ~ 63.5	64.0 ~ 66.5	67.0	
冠角/(°)	26	27.0 ~ 30.6	30.7 ~ 37.7	37.8 ~ 40.6	40.7	

(2) 修饰度

修饰度指钻石切磨工艺优劣程度，是评价钻石切工的一个重要指标。就钻石切工而言，尽管修饰度的重要性较比率差些，但修饰度仍可以影响钻石整体的切工，修饰度通常包括以下几个方面。

腰围不圆，钻石的腰不同部位直径不相等。一般来说，腰部的最大直径和最小直径之间相差不超过 2%，即可视为很好。

冠亭部尖点不对齐，冠部主刻面与亭部主刻面、上腰面与下腰面棱线未对齐。

尖点不尖锐，刻面的棱线没有在应该的位置上交汇成一个点。

同名刻面大小不等，在同一颗钻石上，同名刻面大小不均一，其中以冠部刻面大小不均一较为严重。

腰面与冠面不平行，正常情况下台面和腰围所在平面是平行的，但如果切磨失误，这两个平面会有一定夹角。这种偏差是较严重的修饰度偏差，可影响钻石的亮度和火彩。

波状腰，腰围不在同一平面上。

骨状腰，相邻两个腰围的最大厚度相差较大。

锥状腰，钻石的腰围不在同一个圆柱体上。

偏心，底尖偏离中心。

额外刻面，规定刻面以外的所有多余的刻面称为额外刻面。通常额外刻面多出现在腰部附近，在亭部和冠部较少见。

3.1.3.4 钻石的克拉质量

钻石的质量单位是克拉(ct)， $1\text{ct} = 0.2\text{g} = 100\text{分(点)}$ 。

如果成品钻石的颜色、净度、切工均相同，则质量越大，其每克拉单位价格越高。一般情况下，钻石的价格是以质量的平方乘以相应品级钻石的市场基价，即

$$\text{钻石的价格} = \text{克拉质量}^2 \times \text{基础价}$$

钻石的质量是在高精度的天平上直接称量的。对已镶嵌的宝石，如果切割比例标准，也可以进行质量估算。不同形状的钻石有不同的质量估算公式，对于圆钻，其质量可用式(3-1)进行估算，即

$$\text{钻石的质量} = \text{腰围直径}^2(\text{mm}) \times \text{全深比}(\text{mm}) \times \text{调整系数 } k \quad (3-1)$$

式中，全深比一般为腰围直径的60%；调整系数 $k$ 一般为0.0061，根据腰厚比的大小， $k$ 值通常为0.0060~0.0065。

3.1.4 钻石的合成

3.1.4.1 合成方法

1953年，人工合成钻石首次在瑞士ASEA公司试制成功。随后，1954年美国通用公司合成钻石成功。1961年，日本人工合成了当时最大的一颗钻石，质量为3.5ct。1970年，美国奇异公司首次合成出宝石级钻石，但其颜色呈黄色。1988年，英国戴比尔斯公司人工合成了重达11.4ct、浅黄色、大颗粒、透明的宝石级金刚石，呈八面体歪晶。目前，俄罗斯人工合成的浅黄色钻石已投入市场，而且实验室里已经可以合成出无色的宝石级钻石。迄今为止，已知人工合成钻石的方法有高温高压法、爆炸法、气相沉积法等，其中利用高温高压法和气相沉积法已经能够生产出无色的高净度宝石级合成钻石。

3.1.4.2 合成钻石的鉴定

(1) 颜色

大多数合成钻石为黄色，有一种为近似琥珀的黄色。

(2) 内外部显微特征

合成钻石内常可见到细小的铁或镍铁合金触媒金属包裹体，在反光条件下这些金属包裹体可见金属光泽。

由于合成钻石是在金属触媒中生长的，所以其晶面上常会显示不寻常的树枝状生长花纹。

天然钻石一般形成八面体或立方体等单形或聚形，而合成钻石则发育为由八面体、立方体、菱形十二体和四角三八面体等单形组成的聚形晶体，这样在合成钻石

中形成多种生长区，不同生长区中含氮和其他杂质量不同，会导致折射率的轻微变化，在显微镜下可观察到生长纹理及不同生长区的颜色差异。

### (3) 荧光特性

合成钻石在长波紫外光下常呈惰性，在短波紫外光下因受自身不同生长区的限制，发光性具有明显的分带现象。

### (4) 吸收光谱

无色～浅黄色天然钻石在 415, 452, 465 和 478nm 有吸收线，合成钻石则缺失 415nm 吸收线。

### (5) 异常双折射

在正交偏光下观察，天然钻石常具弱到强的异常双折射，干涉色颜色多样，多种干涉色聚集形成镶嵌图案。而合成钻石异常双折射很弱，干涉色变化不明显。

### (6) 阴极发光

合成钻石的不同生长区所接受的杂质成分(如氮)量不同，在阴极发光下显示不同颜色和不同生长纹等特征。

阴极发光的颜色。天然钻石通常显示相对均匀的蓝色～灰蓝色，有些情况下可见小块黄色和蓝白色发光区，但这些发光区形态极不规则(不受某个生长区控制)，分布也无规律性。合成钻石不同的生长区发出不同颜色的光，且具有规则的几何图形(受生长区控制)。八面体生长区发黄绿色光，分布于晶体四个角顶，对称分布，呈十字交叉状；立方体生长区发黄色光，位于晶体中心(即八面体区十字交叉点)，呈正方形；菱形十二面体生长区位于相邻八面体与立方体生长区之间，呈蓝色的长方形。由于合成钻石以八面体和立方体晶面为主，所以在电子束轰击下合成钻石通常显示占绝对优势的黄色～黄绿色光，与天然钻石的蓝色调形成鲜明对比。

生长纹特征。天然钻石的生长纹不发育，如果出现，通常表现为长方形或规则的环状，在极少数情况下，生长纹非常复杂。合成钻石生长纹发育，但生长纹的特征因生长区而异。八面体生长区通常发育平直的生长纹，并可有褐红色针状包裹体伴生(仅在阴极发光下可见)；立方体生长区没有生长纹，但有时见黑十字包裹体；四角三八面体生长区边部发育平直生长纹。

## 3.1.5 钻石的优化与处理

钻石的优化处理一般包括两方面：一是对钻石中的包裹体加以处理以提高钻石净度；二是改善钻石的颜色。

### 3.1.5.1 颜色优化处理

#### (1) 颜色优化处理的方法

古老的处理方法是在钻石表面涂上一层薄薄的带紫色的、折射率很高的物质，这样可使钻石颜色提高 1～2 个级别，也有的在钻戒底托上加上金属铂。这些方法很原始，也极易鉴别。物理改色法，是用放射性照射的方法来改变钻石的颜色，可称为永久性改色法。利用辐照可以产生不同的色心，从而改变钻石的颜色。如用中子进行辐射，褐色钻石可改变为美丽的天蓝色、绿色，这种辐射改色方法只适用于有色而且

颜色不好的钻石。20 世纪 70 年代末，美国研制了使浅黄色钻石褪色的方法。这种方法是在高压下长时间加热样品，其褪色机理实质上是将浅黄色 Ib 型金刚石结构中分散替代碳原子的氮原子在高压下聚集起来。结果使 Ib 型钻石转变为 Ia 型钻石，从而颜色也发生了改变，使黄色变浅。

(2) 改色钻石的鉴定

对于古老的欺骗性改变钻石颜色的方法，只要仔细观察，是不难鉴别的。需认真对待的是物理改色的钻石颜色，对这些改色钻石的鉴定可从以下三方面进行。

颜色分布特征。天然致色的彩色钻石，其色带为直线状或三角形状，色带与晶面平行。而人工改色钻石颜色仅限于刻面宝石的表面，其色带分布位置及形状与琢形形状及辐照方向有关。

吸收光谱。含氮的无色钻石经辐照和加热处理后可产生黄色，这种黄色是由 H<sub>3</sub> 和 H<sub>4</sub> 色心引起的，且以 H<sub>4</sub> 色心占优势，而天然黄色钻石没有 H<sub>4</sub>，或 H<sub>4</sub> 色心不明显。在吸收光谱中，由 H<sub>4</sub> 色心引起的吸收线的存在是钻石经辐照的证据。另外，595 或 2 026nm 和 1 936nm 吸收线的出现，也是辐照钻石的鉴定依据。

导电性。天然蓝色钻石由于含杂质硼而具有导电性，辐照而成的蓝色钻石则不具导电性。

3.1.5.2 净度处理

当钻石中含有固态包裹体，特别是有色和黑色包裹体时，钻石的净度会大大受影响。根据钻石组成元素 C 的可燃性，可以利用激光技术在高温下对钻石进行激光打孔，直达包裹体，将钻石中的有色或黑色包裹体除去，再用化学药品进行清理，并充填玻璃或其他无色透明的物质。

激光打孔处理的钻石，会在钻石表面留下永久性的激光孔眼，而且因为充填物质硬度永远不可能与钻石相同，往往会形成凹坑，尽管难以观察，但对有经验的钻石专家来说，只要认真仔细观察钻石的表面，鉴别它并非很困难的事情。

3.1.6 钻石仿制品及其鉴别

3.1.6.1 钻石的仿制品

钻石的仿制品种类很多，最古老的代用品是玻璃，后来用天然无色锆石等天然矿物，随后人们用人工方法制造钻石的仿制品，主要有合成立方氧化锆、合成碳硅石（又称合成碳硅石）、钇铝榴石、铅玻璃、钆镓榴石、钛酸锶、合成金红石、合成白色尖晶石、合成白色蓝宝石、合成白钨矿等。

3.1.6.2 主要鉴别方法

钻石的仿制品主要模仿钻石无色透明、高色散、高折射率的特点，但是它们在热学性质、硬度、密度、包裹体、荧光性质及吸收光谱等方面均有程度不同的差别，利用这些差异，便可以将它们区别开来。

(1) 热导仪法

用热导仪鉴别钻石及其仿制品快速简便而准确，对于嵌入首饰中的钻石与代用品

的鉴定最有意义。但是由于合成碳硅石的热导性也很好，与钻石接近，所以用热导仪无法区分钻石和合成碳硅石。

#### (2) 密度法

钻石的相对密度为 3.521。各种仿制品的密度与之均有差异。可以用测密度的方法把它们区别开。

#### (3) 偏光镜检查

钻石为均质体矿物，在偏光镜下全消光；合成碳硅石、金红石、水晶、锆石、合成白色蓝宝石、托帕石等均为非均质体，用偏光镜很容易将它们区分开来。

#### (4) 色散

钻石的色散为 0.044。水晶、尖晶石、托帕石、白色蓝宝石等色散均小，人造的仿制品，如人造金红石、钛酸锶矿等比钻石色散大得多，根据色散可加以区别。

#### (5) 折射率测定

对于铅玻璃、水晶、托帕石等低折射率的样品，其折射率均小于 1.81，完全可以用测折射率法将它们区分开。大部分合成的钻石仿制品折射率均比较高，用折射仪不仅测不到折射率，而且容易损坏折射仪，因此，一般不用测定折射率的方法进行鉴别。

#### (6) 从加工质量看硬度

钻石的硬度最高，在放大镜下可见钻石的棱边锐利，各小面光滑。而硬度低的仿制品的棱边钝，各小面上有擦痕。

#### (7) 双折射重影的观测

在放大镜下，从三个不同的方向观察晶体对面的棱，若有重影则肯定不是钻石。有些仿制品，如锆石、合成金红石、合成碳硅石及白钨矿等，可看见双折射重影。

### 3.1.7 钻石的主要产地

世界上有 20 多个国家赋存有金刚石矿产，主要分布在澳大利亚、非洲的西部和南部以及俄罗斯的亚洲部分。目前，全世界金刚石产量每年超过 1 亿克拉，其中宝石级约占 15%，近宝石级约占 38%，工业级约占 47%。主要金刚石产出国是：澳大利亚、刚果(金)、博茨瓦纳、俄罗斯和南非等五个国家，其金刚石产量之和占世界总产量的 93% 左右。其他金刚石产出国还有纳米比亚、安哥拉、中非共和国、巴西、委内瑞拉、加纳、塞拉利昂、几内亚、科特迪瓦、中国、利比里亚、坦桑尼亚等。

#### 3.1.7.1 澳大利亚

澳大利亚主要的金刚石矿床分布在西澳大利亚州库木努拉(Kununurra)以南 120km 的阿盖尔，它是在 20 世纪 70 年代末期才被发现的，含金刚石的 AK-1 号火山岩筒是有别于金伯利岩的钾镁煌斑岩。在 AK-1 号岩筒北边的斯摩克河和东南边的上莱姆斯通河上都有富集的冲积砂矿金刚石矿床。这三部分矿床统称为阿盖尔金刚石矿床。阿盖尔金刚石矿床总储量为 4.148 亿克拉，其中 AK-1 岩筒矿石储量 6 100 万吨，品位 6.8ct/t，远景储量 8 500 万吨，品位 6.1ct/t，是世界上品位最高的原生金刚石矿床。AK-1 岩筒两侧河床上的冲积砂矿床金刚石矿石储量 50 万吨，平均品

位 4.6ct/ t。

阿盖尔金刚石矿床不仅储量大、品位高，而且质量优良，其中有一颗重 3.14 克拉的粉红色中略带紫色的经切割的金刚石，在纽约克里斯蒂拍卖行拍出 125.6 万美元的创纪录的价格。

另外，澳大利亚西部波文河 (Bow River) 亦有金刚石产出，已探明储量大于 900 万克拉，品位 0.32ct/ t。

澳大利亚年产金刚石多于 3 500 万克拉，居世界首位，其中宝石级 5%，近宝石级 45%，工业级 55%。

3.1.7.2 非 洲

非洲金刚石储量和产量均占世界的一半，有举足轻重的地位，在非洲产金刚石的国家有十多个。

(1) 刚果(金)

在 1986 年被澳大利亚超过以前，刚果(金)一直是世界金刚石产量最大的国家，其金刚石矿山主要分布在加丹加省、巴克万加省、东开赛省的姆吉布~马伊、西开赛省的切卡帕，矿床工业类型主要是侏罗纪的金伯利岩筒、三叠纪的“含金刚石砂砾岩系”；现代河床冲积砂矿金刚石矿床也是一种重要的类型，阶地砂矿、河漫滩砂矿金刚石矿床也很发育。

刚果(金)年产金刚石约 2 000 万克拉，其中工业级大于 65%，宝石级小于 5%，近宝石级 30%。刚果(金)金刚石产量虽然居世界第二位，但由于产品中工业级占的比重大，其产品的平均价格每克拉小于 10 美元，因而经济价值相对较低。

刚果(金)的金刚石矿由南非戴比尔斯联合采矿有限公司作如下分类，这个分类也适合非洲其他金刚石生产国：

- A，特大宝石级：>10ct；
- B，粗粒宝石级：2~10ct；
- C，中粒宝石级：0.45~2ct；
- D，细粒宝石级：<0.45ct。

此外，还有近宝石级和工业级两个级别。

(2) 博茨瓦纳

博茨瓦纳金刚石生产矿山主要有三座：杰瓦能、列特汗坎、身拉帕。这些矿山都很年轻，其储量足够开采 40 年以上，生产能力强，潜力很大。博兹瓦纳年产金刚石约 18 百万克拉，产品中宝石级占 20%，近宝石级 50%，其余 30% 为工业级。

(3) 南非

提到金刚石，世人印象最深的就是南非。这是因为：南非出产了世界上最大的重 3 106ct 的金刚石——库利南钻石，且质地极佳；赋存金刚石的工业源岩即角砾云母橄榄岩首先被确认于南非金伯利市区，被命名为“金伯利岩”，闻名于世；控制南非及其他非洲一些金刚石产出国金刚石开采、加工、分级、定价、销售的戴比尔斯联合采矿有限公司总部设在南非。

在南非，含金刚石的金伯利岩管岩筒有 150 个，集中分布在金伯利市与布亚赫斯

卡坦之间，以及比勒陀利亚、里赫腾堡、纳马卡兰德。冲积金刚石砂矿床主要分布在瓦尔河、奥伦次河、林波波河，以及开普高地。南非生产金刚石已有 100 多年的历史，主要的矿山有金伯利尔、科费贺特印、法因茨、纳马卡兰德、普列米尔。南非年产金刚石超过 1 000 万克拉，其中宝石级 25%，近宝石级 37%，工业级 38%。南非出产的金刚石不仅颗粒大，而且色泽美丽多样，从无色到红、黄、蓝、褐、墨绿、金黄色等都有。

#### (4) 安哥拉

在安哥拉发现的含金刚石的金伯利岩管超过 300 个，储量 5 000 万克拉，远景储量 2.2 亿克拉；矿床工业类型除金伯利岩型外，还有河流冲积砂矿型“戈诺达砾岩型”。金刚石生产矿山主要在安德拉达。安哥拉年产金刚石约 2 500 万克拉，宝石级占 70%，近宝石级 20%，工业级仅 10%，因而经济价值较高。

#### (5) 纳米比亚

原生金伯利岩型金刚石矿床分布在纳米比亚南部的斯别尔格贝特，它是南非西部纳马卡兰德金刚石矿床向北延伸的组成部分。斯别尔格贝特金刚石矿床以出产粗粒宝石级金刚石闻名于世，产品中粗粒宝石级（不小于 2ct）占 25%，细～中粒宝石级占 73%，其余 2% 为工业级。河流～滨海冲积型金刚石砂矿床有三处：一是奥兰次河至华尔威斯湾沿海地带，另一处在埃里扎比次湾，第三处在卢德立次湾的近海海底。这三处次生金刚石砂矿床所产金刚石都是粗～细粒宝石级的。

纳米比亚年产金刚石超过 100 万克拉，其中 95% 是宝石级的，居世界之首位，5% 是工业级的。

#### (6) 中非共和国

中非共和国金刚石开采地在上科托省和上萨哈省的河流冲积矿床中，年产金刚石 50 万克拉，其中宝石级占 55%，近宝石级占 35%，工业级占 10%。由于中非是非洲为数不多的拥有金刚石切割工厂的国家之一，所以虽然其金刚石年产量不大，但其每年出口经切割后的金刚石的产值超过 4 000 万美元。不过，这个国家每年走私在外的金刚石是其官方公布的年产量的 2 倍。

#### (7) 塞拉利昂

经过长期的开采，塞拉利昂金刚石资源储备已近枯竭，目前年产金刚石约 40 万克拉，其中 55% 是宝石级的，35% 是近宝石级的，10% 是工业级的。在 20 世纪 80 年代，在科伊杜地区新发现了两个含金刚石的金伯利岩筒及其附近的冲积矿床，金刚石储量 240 万克拉，至少可供开采 15 年。同其他一些生产金刚石的非洲国家一样，塞拉利昂也存在非法开采和大量走私金刚石的问题。

#### (8) 加纳

加纳的金伯利岩型金刚石矿床分布在西南部的阿克迪亚，冲积矿床在贝莱姆河，但是，处理  $100\text{m}^3$  砂砾石只能获得 142ct 的金刚石。加纳年产金刚石约 40 万克拉，其中宝石级仅 8%，近宝石级 25%，工业级 67%。

#### (9) 科特迪瓦

这个国家的金刚石产自 Torigo 和 Seguela 两个冲积矿床中，产品中主要是 0.45ct 的细粒宝石级金刚石，年产量约 25 万克拉，其中宝石级 50%，近宝石级 40%，工业

级 10%。上述官方估计的产量只有非法开采估计产量的 1/ 4。

(10) 几内亚

几内亚金刚石储量 3 亿克拉，最大的生产矿山是阿列多尔。几内亚年产金刚石 25 万克拉，其中宝石级 70%，近宝石级 15%，工业级 15%。

此外，利比里亚、斯威士兰、坦桑尼亚、莱索托等国也有金刚石产出，但已不占重要地位。

3.1.7.3 欧洲和亚洲

(1) 俄罗斯

俄罗斯的金矿分布在西伯利亚的雅库特自治共和国宋塔尔和奥列尼奥克以及扬古迪亚，这些地方共发现 500 个金伯利岩筒，其中只有 10% 是含金刚石的，包括著名的“黎明”岩筒、“和平”岩筒、“成功”岩筒等。俄罗斯年产金刚石约 1 300 万克拉，居世界第 4 位，其中宝石级 26%，近宝石级 44%，工业级 30%，总的情况是粒度较小。

(2) 中国

金伯利岩型金刚石矿床分布在辽宁省瓦房店市和山东省蒙阴县的西峪和王村。河流相冲积金刚石砂矿床主要分布在湖南省西部沅江及其支流(如麻阳县武水中下游)流域。西藏安多县东巧的洪积扇中也发现有金刚石，但粒度很小，其源岩是超基性岩建造。中国年产金刚石约 30 万克拉，其中宝石级 20%，近宝石级 40%，工业级 40%。目前，中国金刚石矿产勘查靶区主要在湖南省西南部和贵州省东南部的金伯利岩建造，以及四川省南部的西昌—攀枝花裂谷带上已圈定的钾镁煌斑岩。

(3) 印度

印度是世界上最早开采和加工金刚石的国家，目前其储量已接近枯竭，孟买附近的浦那金刚石矿床每年的产量只有 1.4 万克拉左右。只是在 20 世纪 90 年代初在 Madhya Pradesh 发现了新的金刚石矿床。印度目前仍有 70 万名从事金刚石切割、琢磨、抛光的熟练工人。

(4) 印度尼西亚

加里曼丹是印度尼西亚金刚石生产基地，年产量约 10 万克拉，其中宝石级 80%，但单粒小于 1ct，其储量足够再开采 20 年。

3.1.7.4 南美洲

南美洲产金刚石的国家有巴西、委内瑞拉、圭亚那、玻利维亚，但矿床规模较小，产量也不大。

(1) 巴西

巴西是南美洲主要的金刚石产出国，金伯利岩型金刚石矿床主要分布在巴伐利亚州及米纳斯吉拉斯州，但品位很低，故以开采冲积砂矿床为主，这种次生矿床的品位很高，且所产金刚石质量优良。巴西年产金刚石超过 60 万克拉，其中宝石级 55%，近宝石级 35%，工业级 10%。

(2) 委内瑞拉

委内瑞拉金刚石采自冲积矿床，年产量约 50 万克拉，但质量较差，其中宝石级



29%，近宝石级 36%，工业级 35%。

#### 3.1.7.5 北美洲

美国阿肯色州普拉累克地区的钾镁煌斑岩中赋存有金刚石，已在进行勘探；上密执安半岛的 6 个火山岩筒正在进行勘查金刚石的工作。

1990 年首次在加拿大西北部耶鲁奈夫市北东 360km，靠近北极圈北纬 65° 的湖泊地带发现了金伯利岩型的钻石原生矿，现已发现 51 个金伯利岩岩管，其中大多数均含钻石。有 5 个岩管具有重要经济价值，其钻石以无色透明为主，质量好，宝石级钻石占 30% ~ 40%，平均品位是 0.25 ~ 1.00ct/t，年产量预计可能会达到 400 万克拉。加拿大西北部钻石原生矿床的发现是 20 世纪 90 年代以来世界钻石史上一次重大突破。

### 3.2 红宝石和蓝宝石

红宝石和蓝宝石是刚玉矿物的两个不同的宝石品种。红宝石因红色而得名，蓝宝石据蓝色而命名。实际上，除红宝石和蓝宝石外，刚玉还有许多颜色，其他不同颜色的宝石级刚玉通称为蓝宝石，如黄色蓝宝石、绿色蓝宝石和无色蓝宝石等。红宝石和蓝宝石在声望上仅次于钻石。

红宝石和蓝宝石是著名的珍贵宝石，由于硬度仅次于钻石，且颜色瑰丽，而深得人们的喜爱。红宝石、蓝宝石、钻石、金绿宝石和祖母绿被称为世界五大珍贵宝石。近年来，优质的红蓝宝石稀缺，各国都很重视优质品的找寻。

#### 3.2.1 红宝石和蓝宝石的基本性质

化学成分： $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，即氧化铝。纯净时为无色。当含铬(Cr)0.9% ~ 4% 时呈红色；含铁(Fe)和钛(Ti)时呈蓝色。

结晶习性：三方晶系。完整的晶体常为六方柱状或桶状，有时呈板状，可具双晶。

解理：无解理。由于存在叶片状双晶，发育有平行底面和菱面的裂开。

硬度：摩氏硬度为 9，随产地不同而稍有不同。

密度： $3.90 \sim 4.10 \text{ g/cm}^3$ 。视纯净度而变，多数刚玉类宝石的密度为  $3.99 \sim 4.00 \text{ g/cm}^3$ 。

折射率： $1.76 \sim 1.78$ 。

双折射率：0.008。

光性特征：一轴晶，负光性。

色散：低，0.018。

多色性：刚玉类宝石具有二色性。红宝石的二色性为紫红色和浅黄红色，紫色和橙红色，红色和粉红色。蓝宝石的二色性为亮蓝和暗蓝色，蓝色和绿蓝色或绿色。黄色蓝宝石多色性弱。一般刚玉类宝石的颜色越深，其二色性越明显。

1 发光性：红宝石在紫外光下有明显的红色荧光。不同产地因微量元素含量不

同而存在强度差异。蓝宝石大多数无荧光，斯里兰卡的黄色蓝宝石在紫外线及 X 射线下可能显示橙黄色荧光。

2 吸收光谱：红宝石在红光区 692nm 处有一对双线。668 和 659nm 处有两根弱线，以 550nm 为中心的黄绿区普遍吸收，蓝区 476，475 和 468nm 处有三条吸收线，紫光区普遍吸收。

蓝宝石通常含三条谱带，分别为蓝光区的 471，460，450nm 处。绿色、黄色常显同种光谱，通常仅见 450nm 一条吸收带，这是由于二价铁引起的。

3 特殊光学效应：红宝石和蓝宝石均可显示星光效应，发育完好的星光可使宝石价值倍增，也可有猫眼效应，但是比较少。

3.2.2 红宝石和蓝宝石的合成

由于天然红蓝宝石比较名贵，又比较稀少，因而很早就有人研究合成红蓝宝石，但真正能大量生产成为商品是在 1902 年，法国科学家维尔纳叶用焰熔法合成了红宝石。以后人们又用助熔剂法、水热法合成了红宝石和蓝宝石。

用焰熔法生产的红蓝宝石成本低，速度快，几个小时就能生产出一个 20g 以上的完好晶体。因此用这种方法合成的红蓝宝石在市场上比较多。此种方法合成的红蓝宝石不含矿物包裹体，常见弯曲生长纹、未熔的原料粉末及圆形或拉长的气泡。其他特征是颗粒较粗大，颜色鲜艳明亮，肉眼看上去内部洁净，紫外线照射具有强的荧光，垂直台面观察具有强的多色性等。

助熔剂法生产红蓝宝石的周期很长，宝石结晶速度非常慢。为了使形成的红蓝宝石晶体有一定的尺寸，降温结晶的时间可能长达一年，因此生产效率低，成本高。生产出来的红蓝宝石不含矿物包裹体，常见不同形状的助熔剂残留体，如枝杈状、蠕虫状残留体，白色助熔剂粉末形成的指纹状、飘纱状残留体。此外，宝石中还见有液体、负晶以及由器皿上脱落的三角形、六边形、不规则形铂晶片。生长纹平行或呈折线状，与天然品很相似。

1957 年，美国贝尔实验室用水热法生产出了合成红宝石。这种红宝石的生产周期也很长，宝石结晶非常慢，成本高。它比焰熔法和助熔剂法生产的更接近于天然红宝石，但不包含矿物包裹体。与天然宝石比较，合成宝石内部洁净、透明度高、颜色鲜艳且分布均匀。最典型的特征是具有三角锯齿状和水波状生长纹，见有成群的白色点状包裹体、指纹状及飘纱状包裹体。当种晶片未切除时易于辨认。

自从合成红蓝宝石批量生产以后，人们一直在研究合成星光红蓝宝石的方法。1947 年，美国联合碳化物公司的林德分公司用焰熔法生产出了具有六射星光的红蓝宝石，从此市场上就出现了合成星光红蓝宝石，同时生产出了紫、绿、黄、褐等各种颜色的合成星光蓝宝石。合成星光宝石的星光线比较呆板，星光线粗细均匀，直而无扭曲，星线一直延伸到宝石的最边缘，不如天然星光红宝石、蓝宝石的色彩自然、活泼。

3.2.3 红宝石和蓝宝石的优化与处理

3.2.3.1 红宝石和蓝宝石的优化处理方法

由于颜色和透明度都很理想的天然红蓝宝石较为少见，因此人们一直试图通过一

些方法以改善天然红蓝宝石的颜色和透明度，以增加其美观程度，提高其价格。目前，经常采用下列几种方法。

#### (1) 辐照处理

辐照处理法可用于红蓝宝石的改色。对无色或淡色的宝石处理后，使之产生色心或改变色心，由无色变为有色，由浅色变为深色。对无色～淡黄色蓝宝石进行辐照，可产生深黄色～褐色。无色～粉红色者可变为黄色～橙色。

#### (2) 热处理

宝石的热处理可以生色、增色，也可以褪色。热处理通过改变过渡元素的价态，使其达到改色的目的。如果在淡蓝色或无色的刚玉中含有足够的铁( $\text{Fe}^{3+}$ )和钛( $\text{Ti}^{4+}$ )， $\text{Fe}^{3+}$ 不产生蓝色，将其置于还原环境下，进行热处理，可将 $\text{Fe}^{3+}$ 还原为 $\text{Fe}^{2+}$ ，便加深了蓝色。相反，如果在氧化环境中加热，使 $\text{Fe}^{2+}$ 变成 $\text{Fe}^{3+}$ ，即可将蓝色变浅或去掉蓝色。该种技术可用来淡化蓝色太深的蓝宝石的颜色或除掉浅粉红色及黄色刚玉类宝石中的蓝色成分，使其颜色纯正。

另外，对红蓝宝石加热，可使其内部的 $\text{TiO}_2$ 固熔体出熔，形成金红石，或使已有的金红石熔解而消失。在氧化环境下，加热至 $1\,300\sim 1\,900\text{ }^\circ\text{C}$ ，使 $\text{TiO}_2$ 固熔体出熔，产生星光。若将宝石在还原环境中延续加热一段时间，温度为 $1\,600\sim 1\,900\text{ }^\circ\text{C}$ ，则可使金红石熔解。迅速冷却 $2\sim 12\text{h}$ 后，便可除去不希望有的金红石包裹体，使宝石的清晰度变佳，但颜色变化不大。

据国外权威机构的统计，世界市场上出售的红宝石80%是经过高温改色的，而蓝宝石高温改色的达到90%以上。国际上大多数国家认为这种改色方法没有向宝石中加入任何物质，可以算是天然宝石。我国相关国家标准规定，经过热处理的红蓝宝石在命名时不必反映。只有美国法律规定经过高温改色的宝石必须向顾客说明，价格要比天然品适当降低一些。

#### (3) 扩散处理

经扩散处理法处理的刚玉类宝石，可将星光和颜色扩散到蓝宝石和红宝石中。例如，如果想产生星光，可将钛酸铝溶液涂到宝石上，然后在 $1\,750\text{ }^\circ\text{C}$ 下加热数天，冷却后再进行第二次热处理。

#### (4) 充填处理及注油处理

对于一些多孔或多裂隙的宝石填入有色的油、蜡、塑料和玻璃等，一方面掩盖了裂隙和空洞，另一方面改变了宝石的颜色，使宝石颜色更美丽。但当充填物挥发或脱落时，就会显现原形。用这种方法改色的红蓝宝石，珠宝界通常视之为“假货”，是一种处理方法，在命名时需要反映出来。

### 3.2.3.2 鉴定方法

这里主要介绍加热改色红蓝宝石的鉴定方法。根据热处理过的天然红蓝宝石特征，可以将它们与未处理的天然红蓝宝石区别开来。

从表面特征来看，经过热处理的宝石的腰棱处及小面的表面可见到麻点小凹坑(因热处理后对这些部位不再磨光)。

热处理过的刚玉类宝石中，金红石包裹体的排列为不连续状，而且部分金红

石晶体已消失，这与热处理前的金红石排列情况有明显差异。

经热处理后的刚玉类宝石中的液态包裹体常发生爆裂，并在其周围产生裂隙。

在大部分(近 80%)加热处理的泰国红宝石中，可以看到由矿物(石榴子石、磁黄铁矿、尖晶石、磷灰石、橄榄石、透辉石等)包裹体熔化而形成的外形为椭圆状、浑圆状的残留物。有时为不透明。在其周围常见液相~气相包裹体爆裂作用形成的环状裂隙。

经热处理的宝石多见不规则的色带、色斑和云雾状外观。

从吸收光谱来看，经热处理的黄色和蓝色蓝宝石在蓝紫区(450nm)不显吸收带。不过，要注意绝大部分合成宝石也有这种特点。

某些经过热处理的蓝色蓝宝石在长波紫外光中显示淡绿色或淡蓝色荧光。由于一些合成蓝色蓝宝石也显淡绿色荧光，因此这种检测结果可靠性较差。

3.2.4 红宝石和蓝宝石与相似宝石的鉴别

红宝石和蓝宝石与相似宝石的鉴别，主要靠稳定的物理常数，如密度、硬度和折射率，并结合光性特征等。

与红宝石类似的宝石有红色尖晶石、红色石榴石、红色锆石、红色碧玺和红色绿柱石等，主要鉴别特征如表 3-4 所示。与蓝宝石相似的宝石有蓝色托帕石、蓝色尖晶石、蓝色碧玺、海蓝宝石、蓝晶石、坦桑石、堇青石和蓝锥矿等，主要鉴别特征如表 3-5 所示。

表 3-4 红宝石与相似宝石的主要鉴别特征

名 称	摩氏硬度	密度/ (g cm <sup>3</sup> )	折 射 率	光 性	多 色 性
红 宝 石	9	4.00	1.760 ~ 1.768	一轴晶负光性	有
红色尖晶石	8	3.60	1.718	均质体	无
红色石榴石	6.5 ~ 7.5	3.61 ~ 4.15	1.714 ~ 1.810	均质体	无
红色锆石	6.5 ~ 7.5	4.65	1.926 ~ 2.020	一轴晶正光性	有
红色碧玺	7 ~ 8	3.06	1.615 ~ 1.655	一轴晶负光性	有
红色绿柱石	7 ~ 8	2.72	1.564 ~ 1.602	一轴晶负光性	有

表 3-5 蓝宝石与相似宝石的主要鉴别特征

名 称	摩氏硬度	密度/ (g cm <sup>3</sup> )	折 射 率	光 性	多 色 性
蓝 宝 石	9	4.00	1.760 ~ 1.768	一轴晶负光性	有
蓝色托帕石	8	3.53	1.619 ~ 1.627	二轴晶正光性	有
蓝色尖晶石	8	3.60	1.718	均质体	无
蓝色碧玺	7 ~ 8	3.06	1.615 ~ 1.655	一轴晶负光性	有
海蓝宝石	7 ~ 8	2.72	1.564 ~ 1.602	一轴晶负光性	有
蓝晶石	4 ~ 7	3.56 ~ 3.68	1.713 ~ 1.729	二轴晶负光性	有
坦桑石	6 ~ 7	3.35	1.693 ~ 1.802	二轴晶正光性	有
堇青石	7 ~ 8	2.60 ~ 2.66	1.532 ~ 1.570	二轴晶正、负光性	有
蓝锥矿	6 ~ 7	3.65 ~ 3.68	1.757 ~ 1.804	一轴晶正光性	有
蓝柱石	7 ~ 8	3.08	1.652 ~ 1.671	二轴晶正光性	有

### 3.2.5 红宝石和蓝宝石的主要产地

#### 3.2.5.1 红宝石的产地

红宝石的产量少，十分珍贵。一般颗粒都比较小，一粒超过 5ct 的红宝石已经很少见，而一粒超过 10ct 的红宝石就成为稀世珍宝了。超过 100ct 的红宝石最为罕见，美国史密森学院博物馆展出一颗重 137ct 的 Rosser Reeves 红宝石，伦敦大英博物馆中展出的“爱德华红宝石”，重 167ct。

红宝石最著名的产地是缅甸，特别是北部抹谷地区出产的一种叫“鸽血红”的红宝石更佳。这种红宝石鲜艳夺目，如同当地一种鸽鸟的鲜血一样，故得名“鸽血红”。

柬埔寨也是红宝石的著名产地，主要产于金边一带。

斯里兰卡产的红宝石颜色稍浅些，多为粉红色。

泰国产的红宝石大部分颜色较深，从微紫红到棕红色。

红宝石还产于印度、巴西、肯尼亚和越南。

中国云南、新疆、青海、安徽、黑龙江及海南等省也见有红宝石产出。

#### 3.2.5.2 蓝宝石的产地

与红宝石相比，蓝宝石不仅产量多，而且大颗粒的也多。纽约博物馆陈列的“印度之星”重 536ct，华盛顿自然历史博物馆的一颗蓝宝石“亚洲之星”重 330ct。而最大的一颗蓝宝石重 2302ct。

颜色最好的蓝宝石产自克什米尔，为蓝色略带紫色，即矢车菊蓝色。

缅甸抹谷产的蓝宝石透明度高，裂隙少，颜色近似克什米尔产的蓝宝石，是国际市场上引人注目的佳品。

柬埔寨蓝宝石来自金边地区和马德望省两个产地，颜色很漂亮，只是颗粒大的不多。

斯里兰卡产的蓝宝石杂质少，颜色也十分惹人喜爱。

泰国、澳大利亚，我国山东、海南也有大量蓝宝石产出，但颜色深，需要人工处理减色，以提高其透明度。

## 3.3 绿柱石族宝石

祖母绿、海蓝宝石和绿柱石同属绿柱石族，它们的矿物名称为绿柱石。

祖母绿是绿柱石族中最珍贵的品种，也是世界五大高档宝石之一，被誉为绿色宝石之王，它是指由铬元素致色的翠绿色宝石级绿柱石。祖母绿一名是由波斯语音译来的。

海蓝宝石是指呈蓝色至浅蓝色(或称海蓝色)的宝石级绿柱石。除祖母绿和海蓝宝石外，其他包括由铁致色的绿色宝石级绿柱石，则直接以绿柱石作为宝石名称使用。

在翠绿色和绿色的宝石级绿柱石中，由铬元素致色的称为祖母绿，由铁元素致色的称为(绿色)绿柱石，这样定义是否科学，有待研究探讨。如前几年在我国云南麻栗坡发现的“祖母绿”，就是由钒、铬、铁共同致色的，属于富钒贫铬、铁的品种，对

其命名问题，至今存在争议。如果将所有呈翠绿色、纯正绿色，或微带蓝、黄色调的绿色宝石级绿柱石，无论其是由铬致色，还是由钒或铁致色，都称之为祖母绿，也就不会产生麻栗坡祖母绿归属上的争议了。

祖母绿内部常有较多的微裂隙和包裹体，所以内部少裂隙较洁净的祖母绿成品多在 2ct 以下，即使小于 0.2ct 的成品，也常用来镶嵌首饰。

3.3.1 绿柱石族宝石的基本性质

化学成分： $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ ，即铍铝硅酸盐，不同亚类分别含有铬、铁、锂、锰、钒、铁等微量致色元素。

结晶习性：六方晶系，晶体呈六方柱状，具柱、锥和平行双面，常见平行于柱面的条纹。

解理：不完全，与晶体底面平行。

硬度：摩氏硬度为 7 ~ 8，性脆。

密度： $2.67 \sim 2.90\text{g/cm}^3$ ，碱金属含量越高密度越大。

折射率： $1.564 \sim 1.602$ ，碱金属含量越高折射率越大。

双折射率： $0.005 \sim 0.008$ 。

光性特征：一轴晶，负光性。

色散：低，0.014。

多色性：与颜色深浅有关，浅色弱至中等，深色中等至强。

- 1 发光性：在紫外线照射下，一般无荧光或有弱的荧光。
- 2 吸收光谱：祖母绿红区中 683 和 680 以及 637nm 处见吸收线，红区中 662 和 646nm 处及黄区中有弱吸收带。
- 3 特殊光学性质：可见猫眼效应，很少有星光效应。

3.3.2 绿柱石族宝石的合成

合成祖母绿的方法有助熔剂法和水热法两种。由助熔剂法合成的祖母绿，其密度和折射率比天然祖母绿略低；而水热法合成的祖母绿，密度和折射率与天然祖母绿相同。

水热法也用来合成海蓝宝石和红色、紫色或淡绿色绿柱石。

合成祖母绿与天然祖母绿最显著的不同是合成祖母绿中不含多种矿物包裹体，尤其是不含三相包裹体。但是含有硅铍石和脱落的铂金片，后者与金属矿物相似；也有资料称，在水热法合成祖母绿的液体包裹体中同时存在石英。此外，加了铁元素的合成祖母绿，在其吸收光谱中 427nm 处会出现铁的吸收带。而这条吸收带，在天然祖母绿吸收光谱中从未出现过。

助熔剂法合成的祖母绿中，除硅铍石、铂金片包裹体外，最常见的是絮状、管柱状助熔剂包裹体以及由微细滴状助熔剂、气液等组成的指纹状、网状、细纱状包裹体。

水热法合成的祖母绿，除含有种晶片、硅铍石和铂金片外，常含有大头针状包裹体和指纹状、细纱状、絮状或絮团状包裹体。此外，具有三角形齿状生长纹、波浪状

生长纹以及波浪状裂纹等。

3.3.3 绿柱石族宝石的优化与处理

优化处理的方法主要有热处理法、辐照法和注油法。就祖母绿、海蓝宝石和绿柱石而言，热处理法和辐照法主要是针对绿柱石宝石进行的，而且这两种方法互为反作用，即经热处理得到的颜色，可通过辐照恢复原色；由辐照得到的颜色，也可通过加热处理将颜色转变或退掉。

热处理可以使绿色、黄绿色绿柱石转变成海蓝色，成为优质海蓝宝石，也可以使橘黄色绿柱石转变成粉红色。通过加热到 700℃，还可以使一些极微细的包裹体或裂隙消失，提高绿柱石的净度和透明度。

辐照法可以使绿柱石由无色变成粉红色或黄色，蓝色变成绿色，粉红色变成橘黄色等，而且这些颜色对光是稳定的。对那些微裂隙较多的宝石，常采取注入法，即向微裂隙中注入与宝石折射率相近的润滑油、松节油、液体石蜡、加拿大树胶等，来掩盖微裂隙的存在。

此外还有染色处理，即在宝石的微裂隙中浸入染料，使宝石的颜色加深，该方法可将浅绿色祖母绿染成深绿色。经注油或染色处理的宝石，油液或染料多沿裂隙分布，放大检查可发现。缓慢加热宝石，油液会渗出，这种现象称为“出汗”。用镜头纸擦拭，油液或染料会污染镜头纸。

3.3.4 绿柱石族宝石与相似宝石的鉴别

这里主要介绍祖母绿与相似宝石的鉴别。在各种宝石中，与祖母绿相似的宝石有铬透辉石、翠榴石、钙铝榴石、钙铬榴石、绿色碧玺、绿色蓝宝石、绿色磷灰石、绿色萤石等。主要鉴别特征如表 3-6 所示。

表 3-6 祖母绿与绿色相似宝石的主要鉴别特征

名 称	摩氏硬度	密度/ (g cm <sup>3</sup> )	折射率	光 性	多色性
祖母绿	7 ~ 8	2.72	1.564 ~ 1.602	一轴晶负光性	有
铬透辉石	5.5 ~ 6.5	3.27 ~ 3.38	1.664 ~ 1.729	二轴晶正光性	有
翠榴石	6.5 ~ 7.5	3.84	1.888	均质体	无
钙铝榴石	6.5 ~ 7.5	3.61	1.740	均质体	无
钙铬榴石	6.5 ~ 7.5	3.75	1.850	均质体	无
绿色碧玺	7 ~ 8	3.06	1.615 ~ 1.655	一轴晶负光性	有
绿色蓝宝石	9	4.00	1.760 ~ 1.768	一轴晶负光性	有
绿色磷灰石	5	3.18	1.624 ~ 1.667	一轴晶负光性	有
绿色萤石	4	3.18	1.434	均质体	无

3.3.5 绿柱石族宝石的主要产地

世界上最优质的祖母绿出自哥伦比亚，一般认为穆佐矿山品质第一，契沃尔、科斯凯斯特矿山居次。

乌拉尔祖母绿，产于东乌拉尔山脉。它稍带黄绿色，有时具褐色色调。晶体产于

金云母片岩中，较大晶体有云雾状瑕疵，且色彩不佳，有些小晶体色彩优美。

津巴布韦的桑达瓦纳祖母绿产于透闪石片岩和云母绿泥石片岩中，粒径一般为 1~3mm。优质祖母绿占 5%，质量一般的占 10%，85% 不够宝石级。

印度拉贾斯坦邦的祖母绿不均匀地赋存在伟晶岩与超基性片岩接触带的黑云母片岩中。优质祖母绿具有深绿色，半透明或透明，晶体粒径不大。

巴西祖母绿产于片岩中，1900 年左右出现在市场上的祖母绿为浅微黄绿色，酷似普通绿柱石，但可见到 Cr 吸收光谱，之后在许多州发现了新的优质祖母绿。目前其产量可能比哥伦比亚还要多。祖母绿的其他产地还有赞比亚、奥地利、澳大利亚、南非、坦桑尼亚、挪威、美国、巴基斯坦等。我国仅在个别地区找到一些祖母绿矿化点，至今未找到有工业价值的矿床。

海蓝宝石和绿柱石主要产地有巴西、俄罗斯、美国、中国(新疆)、印度、马达加斯加、加拿大、墨西哥等。其中巴西是优质海蓝宝石的主要产出国，其海蓝宝石产量占世界总产量的 70%。世界上最大的、质量达 110.5kg 的海蓝宝石晶体，也是在巴西发现的。

3.4 金绿宝石

金绿宝石是一种铍铝氧化物宝石，这一名称出自希腊语，意为“金黄色绿柱石”。绿柱石是铍铝硅酸盐宝石，早期将绿柱石宝石称为“绿宝石”(现在仍有人这样称呼)，将金黄色绿柱石宝石称为“金绿宝石”。那时被称为金绿宝石的，实际上既包括金黄色绿柱石，又包括铍铝氧化物宝石在内。因为后者含稀有金属元素铍，常与绿柱石共生，并且也常呈金黄色，以至于将二者混为一谈。现在金绿宝石一词，专门用来称呼铍铝氧化物宝石，而金黄色绿柱石只能称为绿柱石，并加颜色描述。

具有变色效应的金绿宝石称为变石；具有猫眼效应的金绿宝石称为猫眼；同时具有变色效应和猫眼效应的金绿宝石称为变石猫眼；不具变色效应，也不具猫眼效应的金绿宝石，直接使用金绿宝石这一名称。由于猫眼、变石和变石猫眼同属金绿宝石族，因此，将这四种宝石放在同一节中介绍。

变石之所以能变色，是其自身对可见光的选择性吸收和光源不同造成的。它对红光和绿光的吸收很少，对其他色光则强烈吸收。日光或日光灯发出的光，绿光成分偏多，照射变石，变石呈绿色；烛光或钨丝白炽灯发出的光，红光成分偏多，照到变石上，变石呈红色。因此，变石被誉为“白天的祖母绿，晚上的红宝石”。

猫眼，是具有猫眼效应的金绿宝石的专用名称，其他任何具有猫眼效应的宝石，都不得称为猫眼，只能在其基本宝石名称后加“猫眼”二字来称呼，如月光石猫眼、矽线石猫眼等。在所有具猫眼效应的宝石中，猫眼是最为贵重的一种宝石。当金绿宝石晶体中含有大量平行分布的针状或丝状金红石包裹体时，即可产生猫眼效应。其亮线(或称眼线)以细长、标准、清晰、明亮、灵活为佳。

变石和猫眼都属于稀有品种，变石猫眼则更为罕见。至于不具变色效应，也不具猫眼效应的普通金绿宝石，如果颜色好，透明度高，也属优质高档宝石。



### 3.4.1 金绿宝石的基本性质

化学成分： $\text{BeAl}_2\text{O}_4$ ，铍铝氧化物。

结晶习性：晶体常呈扁平板状或者厚板状，假六方三连晶、六边形偏锥状。假六方三连晶可通过凹角辨出。在晶体底(轴面)面上常有条纹。

解理：两组不完全解理，一组中等解理。

硬度：摩氏硬度为 8.5。

密度： $3.73\text{ g/cm}^3$ 。

折射率： $1.744 \sim 1.758$ 。

双折射率： $0.009 \sim 0.011$ 。

光性特征：二轴晶正光性。

色散：低，0.014。

多色性：中等，但在优质变石中明显。

1 发光性：紫外线照射下，猫眼无荧光；变石无荧光或具中等紫红色荧光；黄色和黄绿色金绿宝石，在短波紫外线照射下，有的具黄绿色荧光。

2 吸收光谱：变石在 670，662，650，640，630，472，466nm 处有吸收线，在 543~595nm 范围为吸收带。黄色金绿宝石在 640nm 以上吸收，在 516，496nm 处为吸收线，在 436~445nm 范围为吸收带。猫眼在 445nm 处有一强吸收带，与黄色金绿宝石差别不大。

3 特殊光学性质：可具变色效应、猫眼效应，星光效应稀少。

### 3.4.2 金绿宝石的合成

由于变石的稀少、珍贵和供不应求，促使人们对合成变石的研究。1973 年用助熔剂法合成的变石问世。虽然也有用其他方法(如提拉法)合成的变石，但市场上见到的合成变石，主要还是由助熔剂法合成的产品。用助熔剂法合成的变石，品质优良，只是合成过程复杂，所需时间较长，价格昂贵。

合成变石在化学成分、晶体结构、物化性质等方面均与天然变石基本相同。由于合成变石与天然变石的生成环境存在差异，表现在包裹体上有明显不同，因此，包裹体是鉴别合成变石的可靠依据。

助熔剂法合成的变石，不含天然矿物包裹体。经常见到的包裹体是残留的助熔剂，有时可见到三角形或六边形来自铂金坩埚的铂金片。铂金片在某些方向看起来黑色不透明，转动一定方向，铂金片可发出强烈的反射光。

应当注意的是，残留的助熔剂包裹体也常呈指纹状或羽状，与天然变石中的指纹状、羽状气液包裹体非常相似，须仔细观察辨别。

另外，助熔剂法属高温熔融法。在应用此方法的过程中，没有水分子的加入，因此在合成变石的内部晶体结构中不含水分子。天然变石形成于自然环境中，晶体的内部总会有微量的水分子。应用红外光谱仪可检测变石中是否含有水分子。对于含水分子的天然变石在红外光谱上将产生水分子的特征吸收峰，而合成变石无此吸收峰存在。

3.4.3 金绿宝石与相似宝石的鉴别

自然界中具有变色效应的宝石不只变石一种，还有蓝宝石、尖晶石、钙铁榴石、萤石等，如表 3-7 所示；具猫眼效应的宝石则更多，如表 3-8 所示。各种宝石所固有的物化性质是鉴别它们的可靠依据。

表 3-7 变石与其他具变色效应宝石的主要鉴别特征

名 称	摩氏硬度	密度/ (g cm <sup>3</sup> )	折射率	光 性	多色性
变 石	8.5	3.73	1.744 ~ 1.758	二轴晶正光性	有
蓝宝石	9	4.00	1.760 ~ 1.768	一轴晶负光性	有
尖晶石	8	3.60	1.718	均质体	无
钙铁榴石	6.5 ~ 7.5	3.84	1.888	均质体	无
萤 石	4	3.18	1.434	均质体	无

表 3-8 猫眼与其他具有猫眼效应宝石的主要鉴别特征

名 称	摩氏硬度	密度(g cm <sup>3</sup> )	折射率	其 他
猫 眼	8.5	3.73	1.75±	含针状、丝状包体
砂线石猫眼	6.5 ~ 7.5	3.25	1.66±	平行排列的纤维状集合体
虎睛石	6 ~ 7	2.64 ~ 2.71	1.53±	具石棉的平行纤维假象
月光石猫眼	6	2.55 ~ 2.76	1.52 ~ 1.58	含针状包体
透闪石猫眼	6 ~ 6.5	3.00	1.62±	平行排列的纤维状集合体
阳起石猫眼	6 ~ 6.5	3.00	1.63±	平行排列的纤维状集合体
碧 玺猫眼	7 ~ 8	3.06	1.62±	含针状、丝状、管状包体
磷辉石猫眼	5	3.18	1.63±	含针状、丝状包体
透辉石猫眼	5.5 ~ 6.5	3.27 ~ 3.38	1.68±	含丝状包体
海蓝宝石猫眼	7 ~ 8	2.72	1.58±	含管状包体
方柱石猫眼	5 ~ 6	2.50 ~ 2.78	1.55±	含针状、管状包体
石英猫眼	7	2.66	1.54±	含针状、丝状包体
玻璃猫眼	5 ~ 6	变化较大	1.50±	平行排列的玻璃纤维

3.4.4 金绿宝石的主要产地

金绿宝石常产于古老变质岩、花岗岩、伟晶岩和云母片岩中。由于化学性质稳定，耐腐蚀，也常富集于砂矿中。

斯里兰卡猫眼宝石较为著名，其猫眼石和变石都产于砂矿。斯里兰卡也是变石猫眼的唯一产地。

优质变石产于白云母片岩和砂矿中。著名的产地有俄罗斯乌拉尔山，但晶体较小。斯里兰卡变石晶体稍大，但晶体质量稍逊于乌拉尔变石。

3.5 碧 玺

碧玺的矿物学名为电气石，宝石界习惯上将宝石级的电气石称为碧玺。碧玺是一种古老的宝石品种，在古代相当贵重。

### 3.5.1 碧玺的基本性质

化学成分：铝、镁、铁的复杂硼硅酸盐。化学成分比较复杂，经常发生类质同像，化学式为 $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Li}, \text{Al})_3(\text{Al}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{V})_6[\text{BO}_3]_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{OH}, \text{F})_4$ 。

结晶习性：柱状、长柱状，柱面有明显的纵纹，横断面为球面三角形。

解理：无，贝壳状断口。

硬度：摩氏硬度为 7 ~ 7.5。

密度：3.01 ~ 3.11 g/cm<sup>3</sup>。

折射率：1.615 ~ 1.655。

双折射率：0.018(0.014 ~ 0.021)。

光性特征：一轴晶，负光性。

色散：低，0.017。

发光性：一般情况下碧玺在紫外光下无荧光，粉红色碧玺在长波、短波紫外光照射下有弱红到紫红色的荧光。

1 多色性：浅色者多色性中等，深色者多色性强。

2 吸收光谱：红色和粉红色电气石在绿区 525nm 有一窄带，它可被绿区的宽吸收带所掩盖。在蓝区有 450 和 458nm 两条窄带。绿色和蓝色电气石在红区被普遍吸收，在绿区 498nm 有一强带，在蓝区 468nm 处有时有一较弱的带。

3 特殊光学性质：可具猫眼效应。

### 3.5.2 碧玺的品种

碧玺的颜色最丰富，按其颜色分为下列品种。

红碧玺，颜色由于含锰而呈红色 ~ 粉红色，多色性明显，也呈红色和粉红色，巴西的粉红色碧玺在短波紫外光下可发蓝色或淡紫色荧光。价值最高的为商业上称做“双桃红”碧玺。

蓝碧玺，由于含铁而呈现蓝色，多色性由中到强，呈深蓝色和浅蓝色。

绿碧玺，颜色由铅和钒元素致色，多色性显著，为浅绿色和深绿色。双折射率高，通常接近 0.018，少数可高达 0.039。

褐碧玺，多为镁电气石，多色性明显，深褐色 ~ 绿褐色。

双色碧玺，往往有沿晶体的长轴方向分布的色带(双色、三色和多色)，或呈同心带状分布的色带，为内红外绿时通常称为“西瓜碧玺”。

### 3.5.3 碧玺与相似宝石的鉴别

碧玺以具有显著的多色性为鉴定特征，与相似宝石可用折射率和密度加以区别。因为折射率为 1.62 ~ 1.65 的宝石，双折射率都不高于 0.010。如果碧玺的最大双折射率测不准时，易与红柱石、黄玉相混。这时，用相对密度为 3.05 g/cm<sup>3</sup> 的重液能够很快地将它们分开。此外，用丝绸摩擦或在灯泡旁加热可产生静电并吸附灰尘、纸屑等特征，也是辅助鉴别依据。

3.5.4 碧玺的主要产地

具有宝石价值的碧玺，除褐碧玺产于大理岩外，其他皆产于花岗伟晶岩中。自然界碧玺产地很多，而优质者不多见。世界上主要产出国的碧玺产状和颜色各具一定特色。

斯里兰卡。主要产黄碧玺和褐碧玺。产于该岛南部冲积砂矿中，为宝石级碧玺最早发现的产地。

俄罗斯。其碧玺产于乌拉尔山穆辛卡的花岗岩碎裂风化的黄色黏土层中。优质者有蓝色、红色和紫红色。

缅甸。主要产红碧玺，产于片麻岩、花岗岩的冲积砂矿中。

美国。美国加利福尼亚是世界上主要优质碧玺原料的产地之一。既有完美的晶体，又有达到宝石级的原石。

中国。中国新疆等地的碧玺均产于伟晶岩中，主要有红色、绿色、黄色和褐色，并常有双色和三色的碧玺产出。

3.6 尖晶石

尖晶石是宝石的矿物名称。过去曾将红色尖晶石称为大红宝石，根据我国国家标准，现在以矿物名称尖晶石作为宝石名称使用。优质的红色尖晶石颜色鲜艳、纯正，可与红宝石相媲美。

3.6.1 尖晶石的基本性质

化学成分：分子式为  $MgAl_2O_4$ ，其中 Mg 可被少量的 Fe, Zn, Co, Mn 代替，而 Al 可被 Fe 和 Cr 代替。

结晶习性：尖晶石为等轴晶系。单晶体常呈八面体，有时八面体和菱形十二面体组成聚形；双晶常见，双晶面依 {111} 成接触双晶。

解理：无。具贝壳状断口。

硬度：摩氏硬度为 8。

密度： $3.60\text{ g/cm}^3$ ，富含 Fe, Zn, Mn, Cr 的密度会高些。

折射率：1.718，富含 Fe, Zn, Mn, Cr 的折射率可略高些。

双折射率：无。

光性特征：均质体。

色散：中等，为 0.020。

发光性：长波紫外光下为弱至强，短波紫外光下无至弱。

1 多色性：无。

2 吸收光谱：天然红色和粉红色尖晶石显示典型的铬吸收光谱图，在红区 686 和 675nm 处见两条主要的谱线。天然蓝色尖晶石在橙、黄和绿区有模糊的吸收带，在蓝区有两条吸收带。

### 3.6.2 尖晶石的品种

尖晶石有各种深浅不同的红、蓝、绿、淡紫、紫、橙、橙红、玫瑰、褐、灰、黑等颜色。颜色大体分为红、蓝和其他，其中以红、蓝为主要颜色。

红色尖晶石，主要含有微量  $\text{Cr}^{3+}$ ，红色尖晶石是尖晶石中最珍贵的宝石品种。由于其颜色与红宝石相似，常把它误认为是红宝石。如英国王冠上著名的“黑太子红宝石”、“铁木儿红宝石”等著名的宝石一直被当作红宝石，直到近代才被鉴定出是尖晶石。

蓝色尖晶石，含有  $\text{Fe}^{2+}$  和  $\text{Zn}^{2+}$ ，大多数蓝色尖晶石都是从灰暗蓝色～紫蓝色，或带绿的蓝色。

具变色效应的尖晶石，这种品种的尖晶石非常稀少。在阳光下，它呈现亮灰蓝色，而在人工光源下，则呈现紫色。

星光尖晶石，这些尖晶石都是呈暗紫色～黑色，数量很少。这种尖晶石含有定向排列的金红石针状包裹体，可以产生四射星光或六射星光效应。

### 3.6.3 尖晶石与相似宝石的鉴别

红色尖晶石易与镁铝榴石、红宝石相混，而蓝色尖晶石易与蓝宝石相混。

红色尖晶石与镁铝榴石的区别，主要靠它们的折射率、所含包体的情况、紫外光下荧光和吸收光谱特征的差异进行区分。

红色尖晶石与红宝石的区别是：红宝石为非均质体，具有二色性，折射率值及密度比红色尖晶石高。在红色尖晶石的吸收光谱图中，蓝区内无吸收线，而红宝石在蓝区内有三条吸收线。红宝石具有平直的、交叉的或六边形环状生长线及色带。

蓝色尖晶石与蓝宝石的区别是：蓝宝石具有二色性。蓝宝石的密度比蓝色尖晶石大，折射率也高。蓝宝石为一轴晶，负光性，而蓝色尖晶石为均质体。蓝宝石具有特征性的生长线和色带。

### 3.6.4 尖晶石的主要产地

尖晶石常产于片岩、蛇纹石及有关岩石中。宝石级尖晶石多产于接触交代矿床中的大理岩和灰岩中，高质量的尖晶石常常产于冲积砂砾矿中。尖晶石主要产地有缅甸抹谷、斯里兰卡、肯尼亚、尼日利亚、坦桑尼亚、巴基斯坦、越南、美国和阿富汗等。

## 3.7 锆石

锆石类宝石颜色多样、洁净、明亮。无色锆石很像钻石。按其物理性质和化学成分，可分为高型、中型和低型三个变种。但绝大多数锆石宝石为高型锆石。

### 3.7.1 锆石的基本性质

化学成分： $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$ ，即锆的硅酸盐。

结晶习性：晶体常呈短柱状、锥状及柱状和锥状聚形，常见双晶，滚圆状砾石。

解理：不完全，易碎，刻面棱边缘易破损。

硬度：高型锆石摩氏硬度为 7 ~ 7.5，低型锆石可低至 6。

密度：从高型至低型逐渐变小，范围为 3.90 ~ 4.73g/ cm<sup>3</sup>，大多数锆石为 4.00g/ cm<sup>3</sup>。

折射率：高型锆石为 1.925 ~ 1.984，中型锆石为 1.875 ~ 1.905，低型锆石为 1.810 ~ 1.815。

双折射率：高型锆石为 0.061，中型锆石为 0.03，低型锆石为 0.005。

光性特征：一轴晶，正光性。

色散：强，0.038。

多色性：弱至强。

1 发光性：紫外灯下一般无荧光，但有些具强的荧光，荧光的颜色中棕带有不同程度的黄色。

2 吸收光谱：锆石在红区 653.5，659nm 处有两条特征性的吸收光谱，有时还伴有其他多条清晰的黑色吸收线，它们散布在不同的色区。

3 特殊光学性质：可具猫眼效应、星光效应。

3.7.2 锆石的类型

锆石根据其结晶程度可分为高型、中型和低型。

(1) 高型锆石，为受辐射少，晶格没有或很少发生变化的锆石，属四方晶系，具有较高的折射率、双折射率、密度和硬度，适于作宝石。也是锆石中最重要的宝石品种。

(2) 低型锆石，指结晶程度低，晶格变化大的锆石，折射率、双折射率、密度和硬度均较低。

(3) 中型锆石，结晶程度介于高型和低型之间的锆石，其物理光学性质也介于高型和低型锆石之间。

商业中常根据颜色将锆石划分为以下品种。

(1) 无色锆石，是宝石级锆石中最著名的一种，因为它近似钻石，过去常用来模仿钻石。

(2) 蓝色锆石，天然蓝色锆石很少，大多是用其他颜色的锆石加热以后得到的，它具多色性，呈现蓝色 ~ 绿色，最优者是铁蓝色。

(3) 红色锆石，它与红宝石有些相似，有橙红色、棕色及红色，价格与蓝色相似。

(4) 黄色锆石，有鲜黄色的、浅黄色的、金黄色的和黄绿色的。价格比蓝锆和红锆要低。

(5) 棕色锆石，这是最常见的锆石，它具有红褐色、深茶色、烟叶色和黄棕色，光泽很强，因颜色不好，价格偏低。

### 3.7.3 锆石与相似宝石的鉴别

高型锆石很容易和钻石相混，可作钻石的仿制品。在利用双折射现象区分锆石和钻石时，要从几个不同方向观察，避免仅从锆石无双折射现象的光轴方向进行观察，从而导致错误判断。

绿色低型锆石可能与绿色碧玺相混，也可能与透辉石、翠榴石、橄榄石相混。利用折射仪和密度仪及宝石偏光镜进行鉴别，另外它们的吸收光谱特征不同。

绿色蓝宝石与绿色低型锆石易相混。蓝宝石的折射率为  $1.762 \sim 1.770$ ，比低型锆石的折射率低，为一轴晶负光性；低型锆石为均质体。它们的吸收光谱有明显差异。

蓝色锆石可模仿海蓝宝石。区分两者最有效的办法是在放大镜或显微镜下观察它们的双折射现象，即观察对面小面棱的双影线。海蓝宝石没有蓝色锆石那样明显的双影线，且折射率和密度都低得多。

褐黄色锆石易与褐黄色的硼铝镁石相混，它们都有双折射现象。但用折射仪很容易区分它们。因为硼铝镁石的折射率为  $1.668 \sim 1.707$ ，比锆石低得多。

楣石与锆石也易相混。楣石的双折射现象很明显，密度为  $3.52 \text{ g/cm}^3$ ，低于所有类型的锆石。锆石和楣石的吸收谱特征也不同。

### 3.7.4 锆石的主要产地

锆石产于伟晶岩和碱性岩中，高温形成的锆石晶体多为柱面发育，碱性岩中锆石多以四方双锥形为特征。宝石级锆石大多呈碎屑沙砾状矿物产于各种沙砾层中。

泰国、斯里兰卡为锆石的主要产出国。斯里兰卡以产各种颜色的锆石而著称，泰国为宝石级锆石的主要来源地。其他产出国还有缅甸、法国、澳大利亚和坦桑尼亚等。

我国宝石级锆石也有产出。产于海南的红色锆石是碱性玄武岩中的深源巨晶矿物，同蓝宝石共生，并呈嵌晶存在。福建明溪碱性玄武岩中可见无色锆石巨晶产出。

## 3.8 托帕石

托帕石在我国地质学上是指矿物黄玉(也叫黄晶)。如果将矿物名称黄玉或黄晶作为宝石名称使用，前者与软玉中的黄色品种黄玉同名，后者与水晶中的黄色品种黄晶同名，就会造成同名不同物的混乱现象。因此，我国宝石界以“Topaz”的译音托帕石作为宝石名称使用，专指那些宝石级的黄玉矿物晶体。

### 3.8.1 托帕石的基本性质

化学成分：含氟的铝硅酸盐，化学式为  $\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F}, \text{OH})_2$ 。

结晶习性：斜方晶系，晶体多为柱状，柱面常有纵纹。采自砂矿中的托帕石多被磨蚀为椭圆形。

解理：具有平行底面的完全解理，易裂开。

硬度：摩氏硬度为 8。  
密度：3.53 ~ 3.56g/cm<sup>3</sup>。  
折射率：1.619 ~ 1.627。  
双折射率：0.008 ~ 0.010。  
光性特征：二轴晶正光性。  
色散：弱，为 0.013。  
多色性：弱至中等。

- 1 发光性：在长波紫外光中蓝色和无色托帕石发弱的黄绿色光；黄褐色和粉红色黄玉发橙黄色光，在短波紫外光中荧光较弱。
- 2 特殊光学性质：可具猫眼效应(稀少)。

3.8.2 托帕石的类型

托帕石是一种流行而耐用的宝石，有各种各样的颜色，其中最珍贵的颜色为粉红色、红色和金黄橙色。粉红色托帕石超过 5ct 以上，金黄色托帕石超过 20ct 以上都少见。

粉红色、红色托帕石。颜色从黄色 ~ 红色，中间有红橙色、粉红色 ~ 红色一系列过渡颜色品种。多色性明显由粉红色 ~ 黄色或无色。该品种透明度好，内含物少，当颜色艳丽、质量优良时，是中档宝石中的珍贵品种。目前，在国际市场中出售的粉红色 ~ 红色托帕石大部分是用黄褐色的托帕石经加热后变色而成的。这种托帕石颜色稳定，不会褪色。

黄色托帕石。商业上经常描述为金黄色 ~ 酒黄色托帕石，金黄色是黄中带橙色；酒黄色则是黄中带红色。单纯的淡黄色或黄褐色的托帕石，只能作为加热改色的宝石原料。黄色品种具明显的黄色 ~ 褐黄色多色性。

黄色托帕石外观上与黄色水晶很相近，极易混淆。原石从晶形、解理等方面很容易区别。成品必须从折射率、密度、荧光效应、放大观察等方面进行鉴别。

蓝色托帕石。天蓝色，常带一点灰色或绿色，多色性明显。内含物较多。蓝色托帕石在国际市场上较畅销，外观似海蓝宝石，但价格却低得多。市场上许多蓝色托帕石是无色或浅蓝色托帕石经过放射线照射后变为蓝色的。

无色托帕石。无色品种自然界较多，晶体较大。因折射率高、色散低，琢磨成刻面型宝石后并不美观而不被人喜爱，因而常常经过辐射处理把无色托帕石变成蓝色托帕石。

3.8.3 托帕石与相似宝石的鉴别

与托帕石相似的宝石矿物有碧玺、赛黄晶、红柱石、磷灰石、海蓝宝石等。

碧玺的密度为 3.03 ~ 3.25g/cm<sup>3</sup>，比托帕石的密度低。碧玺的二色性明显，在放大镜下，通过碧玺的台面可以看见明显的刻面棱双影，而托帕石的双折射重影弱。碧玺的多色性比托帕石明显得多。除粉红色和棕黄色托帕石的颜色比碧玺的颜色深外，其他颜色的托帕石都比碧玺颜色浅，两者颜色不完全相同。

赛黄晶的密度为 2.99 ~ 3.01g/cm<sup>3</sup>，红柱石的密度为 3.17g/cm<sup>3</sup>，均比托帕石小。



另外，红柱石有很强的多色性，比托帕石的多色性明显得多。

磷灰石的密度为  $3.17 \sim 3.23 \text{ g/cm}^3$ ，小于托帕石。磷灰石为一轴晶，托帕石为二轴晶。

海蓝宝石的折射率为  $1.566 \sim 1.594$ ，密度为  $2.60 \sim 2.90 \text{ g/cm}^3$ ，均比托帕石小。海蓝宝石有带绿色调的多色性，而托帕石的多色性中没有绿色调。海蓝宝石为一轴晶，托帕石为二轴晶。

#### 3.8.4 托帕石的主要产地

托帕石是在高温并有挥发组分作用的条件下形成的，产出于花岗伟晶岩、酸性火成岩的晶洞、云英岩和高温热液钨锡石英脉中，在冲积层中呈砾石产出。

巴西盛产托帕石，世界上很多优质的黄玉宝石原料都来源于巴西，主要为橙黄和橙褐色宝石级托帕石。

美国产无色和蓝色托帕石，部分晶体达到宝石级。

我国托帕石以无色为主，产于云南、内蒙西部、新疆等地的伟晶岩中。

其他产出国还有巴基斯坦、墨西哥、俄罗斯、马达加斯加、缅甸、斯里兰卡、澳大利亚、纳米比亚和津巴布韦等。

### 3.9 橄榄石

橄榄石是一种造岩矿物，也是一种常见宝石，因其颜色类似橄榄绿而得名。

#### 3.9.1 橄榄石的基本性质

化学成分：常见的橄榄石，是两个端员组分镁橄榄石 ( $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$ ) 和铁橄榄石 ( $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$ ) 形成完全类质同像系列，其化学式为  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ 。成分中常含有 Na, Ca, Al, Ni, Mn, Gr, Ti 等元素。

结晶习性：橄榄石是一种岛状结构的硅酸盐，属斜方晶系。

解理：不完全。

硬度：摩氏硬度为 6.5。

密度：  $3.27 \sim 3.34 \text{ g/cm}^3$ 。

折射率：  $1.654 \sim 1.690$ 。

双折射率：0.036。

光性特征：二轴晶，正光性或负光性。

色散：中等，0.020。

多色性：弱。

1 吸收光谱：由铁致色，一般显典型铁的吸收光谱，在蓝区 457, 477, 497nm 处有三条强吸收窄带。

2 发光性：在长紫外光、短紫外光下照射无荧光、磷光反应。

3 特殊光学性质：曾发现过猫眼效应的橄榄石。

3.9.2 橄榄石与相似宝石的鉴别

易与橄榄石类宝石混淆的是绿色碧玺、锆石、透辉石、硼铝镁石、黄绿色金绿宝石及钙铝榴石等宝石矿物。

绿色碧玺的折射率为 1.624 ~ 1.644，密度为 3.06g/cm<sup>3</sup>，比橄榄石低，且具有明显二色性，为一轴晶负光性。

锆石具有比橄榄类宝石明显亮的光泽，折射率很高，达 1.925 ~ 1.984，用常规折射仪无法测量。锆石的密度为 4.70g/cm<sup>3</sup>，也远远高于橄榄石。锆石为一轴晶正光性，而橄榄石为二轴晶。

透辉石的折射率为 1.675 ~ 1.701，比橄榄石类宝石高，密度为 3.29g/cm<sup>3</sup>，比橄榄石低。

硼铝镁石的密度为 3.48g/cm<sup>3</sup>，比橄榄石类宝石高，多色性明显，在蓝色和蓝绿色区有四条吸收带，而橄榄石只有三条吸收带。

金绿宝石的折射率为 1.746 ~ 1.755，密度为 3.73g/cm<sup>3</sup>，比橄榄石高。

钙铝榴石的折射率为 1.740，密度为 3.61g/cm<sup>3</sup>，比橄榄石高。石榴石为均质体宝石，无双折射现象和多色性，而橄榄石为斜方晶系宝石，双折射率较大并具有弱多色性。

3.9.3 橄榄石的主要产地

宝石级橄榄石大多产于玄武岩的橄榄岩(称地幔岩)包体中。我国东部大陆地区广泛分布新生代玄武岩，橄榄岩包裹体即存在于碱性玄武岩中，见于火山口附近。我国河北张家口、吉林蛟河均有这类橄榄石矿床，且是世界优质橄榄石产地，黑龙江、山西、新疆等地也有发现。此外，美国亚利桑纳州、夏威夷，前苏联，巴西，澳大利亚，捷克和肯尼亚等地均有橄榄石矿。

3.10 石榴石

石榴石是矿物族的名称，因其晶体形态颇似石榴籽，故名石榴子石。石榴石族宝石包括六个不同的品种：镁铝榴石、铁铝榴石、锰铝榴石、钙铝榴石、钙铁榴石、钙铬榴石。作为宝石的石榴石曾被称为紫牙乌，根据国家标准，这一名称已停止使用，现以石榴石或具体种属的名称作为其宝石名称。

3.10.1 石榴石的基本性质

化学成分：石榴石的一般化学式可用 X<sub>3</sub>Y<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>]<sub>3</sub> 表示，其中 X 代表二价阳离子，主要是 Ca<sup>2+</sup>，Mg<sup>2+</sup>，Mn<sup>2+</sup>，Fe<sup>2+</sup>；Y 代表三价阳离子，主要为 Al<sup>3+</sup>，Fe<sup>3+</sup>，Cr<sup>3+</sup>。

结晶习性：石榴石为岛状结构的硅酸盐，属等轴晶系。常有完好的晶形，多呈菱形十二面体和四角三八面体，或二者的聚形。

解理：通常解理不发育，个别品种有不完全解理。

硬度：摩氏硬度为 6.5 ~ 7.5。

密度：在  $3.50 \sim 4.20 \text{ g/cm}^3$  范围内变化，视品种而不同。镁铝榴石为  $3.78 \text{ g/cm}^3$ ，铁铝榴石为  $4.05 \text{ g/cm}^3$ ，锰铝榴石为  $4.15 \text{ g/cm}^3$ ，钙铝榴石为  $3.61 \text{ g/cm}^3$ ，钙铁榴石(含翠榴石、黑榴石)为  $3.84 \text{ g/cm}^3$ ，钙铬榴石为  $3.75 \text{ g/cm}^3$ 。

折射率：镁铝榴石为  $1.714 \sim 1.742$ ，常见为  $1.740$ 。铁铝榴石为  $1.790$ ，锰铝榴石为  $1.810$ ，钙铝榴石为  $1.740$ ，钙铁榴石(含翠榴石、黑榴石)为  $1.888 \sim 2.010$ ，钙铬榴石为  $1.850$ 。

双折射率：无。

光性特征：均质体。

色散：视品种而不同。多数色散较弱，但是翠榴石的色散很强。

多色性：无。

1 发光性：石榴石族矿物特别是宝石级的石榴石，在紫外灯下为惰性，这是石榴石区别于其他红色宝石的特征之一。

2 吸收光谱：不同的石榴石品种吸收光谱差别较大，将在下面的有关内容中介绍。

### 3.10.2 石榴石的品种

根据二价阳离子和三价阳离子的特征，将石榴石分为两类：一类是二价阳离子不同，三价阳离子均为  $\text{Al}^{3+}$ ，称为铝系石榴石；另一类是二价阳离子均为  $\text{Ca}^{2+}$ ，三价阳离子不同，称为钙系石榴石。具体种属如下。

铝系石榴石：

镁铝榴石  $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$

铁铝榴石  $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$

锰铝榴石  $\text{Mn}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$

钙系石榴石：

钙铝榴石  $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$

钙铁榴石  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$

钙铬榴石  $\text{Ca}_3\text{Cr}_2[\text{SiO}_4]_3$

石榴石的类质同像非常广泛，在同一系列内部可形成以任意比例替代的完全类质同像，在两个系列之间也能形成有限替代的不完全类质同像。所以自然界产出的石榴石，无论哪一个种属，其化学成分都是不纯的。

此外，石榴石中还可以含有 Ti, V, P, Y 等元素。当  $\text{SiO}_2$  不足时，还可以出现  $4(\text{OH})^-$  替代  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ ，形成水榴石。

翠榴石是含铬的绿色钙铁榴石变种；黑榴石是富含钛的褐黑色钙铁榴石变种。

#### (1) 镁铝榴石

镁铝榴石为常见品种之一，呈粉红色、血红色至暗红色，中等色散(0.022)，含铬的镁铝榴石的吸收光谱在红区有弱双线，黄区 564nm，蓝区 527nm 和 505nm 处有三条宽吸收带，在紫区有 440, 445nm 普遍吸收带。

(2) 钙铝榴石

钙铝榴石以白色、浅绿色、浅褐色常见，色散中等(0.028)，但常被体色掩盖。钙铝榴石根据颜色可进一步划分为以下类型。

铁钙铝榴石，又称贵榴石，内部有许多圆形磷灰石及锆石包裹体和独特的油脂光泽，具有 407，430nm 的 Fe 吸收带。

铬钒钙铝榴石，具有明亮的绿色至黄绿色，查尔斯镜下显粉红色或红色，易与祖母绿混淆。

(3) 锰铝榴石

锰铝榴石以暗红色常见，也有黄色～橙黄色。色散中等(0.027)，常被体色掩盖。吸收光谱由锰所致，在紫区 410，420，432nm 处有强吸收带，在蓝绿、蓝、紫区可伴有 520，480，460nm 较弱带。锰铝榴石典型包裹体是由液滴组成的羽状体。

(4) 铁铝榴石

铁铝榴石常呈褐色、深红色，色散中等(0.024)，常被体色掩盖，在黄、绿和蓝区有 573，520，504nm 三条宽的吸收带。常具有弱的四射星光效应。可含针状金红石的包裹体，并与菱形十二面体的边缘平行。

(5) 钙铁榴石

钙铁榴石以绿色、黄褐色、黑褐色常见，还常呈色调不同的环带构造，具有高色散(0.057)，虽部分被体色掩盖，仍显火彩。钙铁榴石以其颜色不同，分为翠榴石、黄榴石和黑榴石，其中翠榴石最有价值，似祖母绿色，具有较高的色散和较强的光泽。一般翠榴石晶体较小，很少超过 10ct。

翠榴石几乎总是含有细的、弯曲的石棉纤维和典型的“马尾状”包裹体，它们可能以放射状图案排列。查尔斯滤色镜下呈红色或淡粉红色。分光镜下，除 576，527，505nm 处三条宽线外，红区在 701nm 处有一条铬引起的双吸收线，橙区有两个扩散带，紫区 440nm 处出现一个强吸收带，位于光谱的终端。橙区的弱吸收带是它特有的吸收光谱。

(6) 钙铬榴石

钙铬榴石为翠绿色至墨绿色，由铬致色。适于加工的钙铬榴石极少。

3.10.3 石榴石与相似宝石的鉴别

(1) 镁铝榴石

该类宝石常与红色尖晶石、锆石和红宝石相混。

尖晶石的折射率一般小于 1.72，而镁铝榴石则大于 1.72。尖晶石和镁铝石榴石中的包体种类不同。尖晶石中含有八面体尖晶石和磁铁矿包体，镁铝榴石中含金红石矿物包体。红色尖晶石在长波及短波紫外光下发红色荧光，而镁铝榴石几乎不发荧光。红色尖晶石在红区有一组荧光吸收线。

区分镁铝榴石和红色锆石比较容易。锆石的折射率为 1.925～1.984，密度为 4.70g/cm<sup>3</sup>，明显高于镁铝榴石。锆石具有强双折射现象，为一轴晶正光性，而镁铝榴石为均质体。

红宝石的折射率都在 1.760 以上，而镁铝榴石有低于 1.760 者。红宝石具有多色

性，在紫外灯下发荧光，镁铝榴石则无。镁铝榴石为均质体，红宝石为一轴晶负光性。

#### (2) 铁铝榴石

铁铝榴石与红宝石易混淆。红宝石为非均质体，一轴晶负光性，具二色性，而铁铝榴石无多色性，为均质体。在长波紫外光下，红宝石出现亮桔色荧光，而铁铝榴石呈弱的荧光。二者的吸收光谱特征有差异。

#### (3) 锰铝榴石

锰铝榴石常与锆石相混。但锆石的折射率和密度均高于锰铝榴石。

#### (4) 钙铝榴石

黄色钙铝榴石常与托帕石和锆石相混。

托帕石的折射率为  $1.610 \sim 1.636$ ，比钙铝榴石低得多，且为非均质体，二轴晶正光性。

橘黄色锆石具有较高的折射率和密度，具有强双折射现象。

#### (5) 钙铁榴石

翠榴石容易与绿色的宝石矿物，例如橄榄石、祖母绿和碧玺等混淆。

橄榄石、祖母绿和碧玺为非均质性，它们的折射率分别为  $1.654 \sim 1.690$ ， $1.577 \sim 1.583$ ， $1.624 \sim 1.644$ ，明显低于翠榴石的折射率。它们的密度分别为  $3.34$ ， $2.72$ ， $3.06 \text{ g/cm}^3$ ，均低于钙铁榴石的密度  $3.84 \text{ g/cm}^3$ 。

### 3.10.4 石榴石的主要产地

石榴石是多成因矿物，在岩浆岩和变质岩中都可形成，分布较为广泛。不同的种属成因和产状也不相同。镁铝榴石产于金伯利岩、榴辉岩、橄榄岩及由橄榄岩变来的蛇纹石中。铁铝榴石产于花岗岩的内接触带及结晶片岩、片麻岩、榴辉岩、变粒岩和某些角闪岩中。锰铝榴石产于花岗岩的内接触带及伟晶岩、结晶片岩、石英岩中，这种石榴石较少见。钙铝榴石产于矽卡岩，在区域变质的钙质岩石中也有产出。钙铁榴石产于矽卡岩，黑榴石主要产于碱性岩。钙铬榴石常与铬铁矿共生于蛇纹石中，也产于接触变质的石灰岩(大理岩)，是一种罕见的石榴石。

含有石榴石的各种岩石风化后，石榴石可转入砂矿中。

世界上产石榴石的国家很多，如巴西、美国、墨西哥、加拿大、俄罗斯、中国、斯里兰卡、缅甸、印度、巴基斯坦、澳大利亚、南非、坦桑尼亚、马达加斯加、肯尼亚和津巴布韦等。

## 3.11 水晶

石英是自然界中最常见、最主要的造岩矿物，也是珠宝界应用数量和范围颇大的一类宝石。石英宝石可有显晶质、隐晶质等多种结晶形态，其中单晶石英在珠宝界统称为水晶。

3.11.1 水晶的基本性质

化学成分：水晶的化学成分为二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )，含微量的其他元素时，能使无色水晶出现颜色。

结晶习性：三方晶系，常发育成完好柱状晶体，常见呈六方柱、菱面体、三方双锥等。并见有横纹和双晶。

解理：无解理，具贝壳状断口。

硬度：摩氏硬度为 7。

密度： $2.65\text{ g/cm}^3$ 。

折射率：1.544 ~ 1.553。

双折射率：0.009。

光性特征：一轴晶正光性。

色散：低，0.013。

多色性：无色水晶没有多色性，有色水晶可有多色性，多色性的颜色及强弱受有色水晶体色及体色的深浅影响。一般讲，体色越深，多色性就越明显。

1 特殊光学性质：有猫眼和星光效应。

3.11.2 水晶的品种

依据颜色，可将水晶划分成水晶、紫晶、黄晶、烟晶等不同的宝石品种。依据特殊的光学效应，又可将其划分为星光水晶及水晶猫眼两个品种。

(1) 水晶

水晶无色透明，二氧化硅的成分中不含杂质，水晶多呈单个柱状晶体或晶簇产出，质量从几千克至十多千克的晶体较多，几百千克以上至吨重者也不少见。但透明无瑕、无裂隙的大块晶体比较难得。当有内含物混入时，只要不影响透明度，反而能增添新鲜色彩。如含有金红石或阳起石针状晶体的水晶常称为“发晶”或“鬃晶”。

(2) 紫晶

紫晶是一种紫色的水晶，紫晶系由二氧化硅的成分中含微量氧化铁所致。紫晶多色性明显，多呈深紫色 ~ 浅紫色，透明 ~ 半透明，常见生长色带，内含物为柱状晶体及空洞、指纹状包裹体等。紫晶经加热处理能够变成黄色、棕黄色或者无色，某些紫晶加热后还可能变成绿色。

(3) 黄晶

黄晶是黄色的水晶。二氧化硅成分中含有高价铁时可呈现黄色。颜色由浅黄色、黄褐色、金橙黄色 ~ 深的橙色。晶体多为透明柱状体。黄水晶可由紫晶经过热处理变色而成，但是这种经过热处理而成的黄水晶仍保留了原紫晶的色带。

(4) 烟晶

烟晶是烟色 ~ 棕褐色水晶，其颜色由天然放射性物质造成。烟晶加热后可变成无色水晶，但经放射性物质辐射后，可恢复原色。

(5) 芙蓉石

芙蓉石是一种淡红色 ~ 蔷薇红色石英，因成分中含有微量的锰和钛而致色。单晶

体少见，通常为致密块状；常具带状构造，彩色带与无色带相间分布，透明度较低，多呈云雾状，或半透明状；一般情况下，由于自身体色较浅，多色性表现不明显，可呈无色～浅粉色。在部分情况下芙蓉石内可含有针状金红石包体，因而磨制成弧面宝石可显示出星光。芙蓉石的颜色不太稳定，在空气中加热可褪色，在阳光下曝晒颜色能变浅。

#### (6) 双色水晶

双色水晶是紫色和黄色共存一体的水晶，紫色、黄色分别占据晶块的一部分，两种颜色的交接处有着清楚的界限。双色是由水晶内的双晶所致。

#### (7) 绿水晶

市场上几乎不存在天然产出的绿水晶，它们是紫水晶在加热成黄水晶过程中出现的中间产物，或是由于无色水晶中含大量绿泥石等矿物的细小鳞片而被渲染成绿色的一种水晶。

#### (8) 石英猫眼

当晶体中含有大量平行排列的纤维状包体，如石棉纤维时，其弧面形宝石表面可显示猫眼效应，珠宝界称之为石英猫眼。

#### (9) 星光水晶

当水晶中含有两组以上定向排列的针状、纤维状包体时，其弧面形宝石表面可显示星光效应，一般为六射星光，也可有四射星光。

### 3.11.3 水晶与相似宝石的鉴别

紫晶、黄晶易与方柱石相混。与紫晶相混的是紫色方柱石，二者颜色相近、折射率范围相近。在常规鉴定中，可从以下几方面进行区别。

紫晶的颜色常不均匀，具有色带和色块，而方柱石的颜色相对均匀。

方柱石的双折射率略高于紫晶，在平行光轴的切面中，可看见后刻面重影。

在显微镜下观察，可以发现方柱石中典型的包体是一些平直的平行排列的细管，而紫晶中的包体常是不规则的气液两相的包体。

在偏光镜下，利用干涉图可以准确地区分水晶与方柱石。水晶的干涉图是牛眼状、螺旋桨状，而方柱石则是标准的一轴晶干涉图，且水晶为正光性，方柱石为负光性。

与黄晶易混的是黄色方柱石，区别二者可借鉴紫晶与紫色方柱石的鉴别方法，此外还可以考虑以下两点。

a. 黄色方柱石在短波紫外光下可有红色荧光，在长波紫外光下发黄色荧光，而黄晶无荧光或荧光极弱。

b. 在方柱石系列中，黄色方柱石有最大的双折射率，因此根据其后刻面的重影可以将之与黄晶区分开。

### 3.11.4 水晶的合成

合成水晶是在种晶的基底上生长起来的一种晶体。种晶的取向主要有两种：一种垂直于  $z$  轴，另一种平行于  $y$  轴。不同颜色的合成水晶的种晶取向不同，掺杂离子

也不太相同。

(1) 颜 色

合成水晶是在相对稳定的条件下经人工生产出来的。由于生长条件相对稳定，因此颜色均一，没有层次感。而天然彩色水晶一般颜色深浅不均，生动，有层次感。

(2) 种 晶

在一些合成水晶中可见种晶板，种晶板有无色、彩色两种。种晶板与后期生长水晶之间有清楚的界限和颜色差异。

(3) 包体特征

天然水晶可有品种繁多的固态包体，而合成水晶主要出现的是锥辉石，或石英的微晶核。这些固态包体都表现为一种面包渣状。

(4) 红外吸收光谱

天然无色水晶以  $3\,595$  和  $3\,484\text{cm}^{-1}$  为特征吸收，而合成水晶缺失  $3\,595$  和  $3\,484\text{cm}^{-1}$ ，并以  $3\,585$  或  $5\,200\text{cm}^{-1}$  吸收明显为特征。

天然紫晶与合成紫晶因含  $\text{OH}^-$  及  $\text{Fe}$  含量较高，二者具有相似的红外光谱，但是合成紫晶具有明显的  $3\,545\text{cm}^{-1}$  谱带，天然紫晶中这一谱带的强度则明显减弱。

天然黄晶与合成黄晶红外光谱大致相同，热处理黄晶以相对较弱的  $5\,200\text{cm}^{-1}$  谱带与天然黄晶和合成黄晶相区别。

与天然烟晶相比，合成烟晶的红外光谱缺失  $3\,595$ ， $3\,484\text{cm}^{-1}$  吸收。

3.11.5 水晶的优化与处理

水晶的优化处理主要有热处理、辐照处理和染色处理。

热处理多用于一些颜色较差的紫晶，将紫晶加热后可制成黄晶或过渡产品绿晶。

辐照处理用于无色水晶制成烟晶。先对无色水晶进行辐照使其变为深棕色、黑色，再经热处理减色，以形成所需的颜色。

染色处理，首先是把待处理的无色水晶加热、淬火后浸于配好颜色的溶液中，有色溶液沿淬火裂缝侵入，使水晶染上各种颜色。染色水晶有明显的炸裂纹，颜色全部集中在裂隙中，用放大镜或显微镜观察容易发现。

3.12 长 石

3.12.1 长石的基本性质

- 化学成分：长石是钾、钠和钙的铝硅酸盐。
- 结晶习性：以柱状和板状为主，常见双晶。
- 解理：以  $90^\circ$  或近  $90^\circ$  相交的两组解理完全，第三组解理不完全。
- 硬度：摩氏硬度为  $6 \sim 6.5$ 。
- 密度： $2.55 \sim 2.68\text{g/cm}^3$ 。
- 折射率： $1.520 \sim 1.570$ 。



双折射率：0.008 ~ 0.010。

光性特征：二轴晶负光性。钠长石和拉长石为二轴晶正光性。

色散：0.012。

多色性：一般不明显，黄色正长石及带色的斜长石可显示不同的多色性。

1 发光性：无色至弱粉红色、黄绿色、橙红色。

2 吸收光谱：不特征。黄色正长石具 420，448nm 宽吸收带。

### 3.12.2 长石的品种

长石常见的宝石品种有正长石中的月光石、透明正长石、微斜长石的绿色变种天河石、斜长石中的日光石、拉长石等。

月光石是正长石和钠长石两种成分层状交叠的宝石矿物。通常呈无色 ~ 白色，也可呈浅黄色、橙色 ~ 淡褐色、蓝灰色或绿色，透明或半透明，具有特征的月光效应——随着样品的转动，在某一角度，可以看见白色 ~ 蓝色的发光效应。

正长石 常见颜色为浅黄色至金黄色，富含铁元素而致色。

透长石 为钾长石中稀有品种，常见颜色有无色、粉褐色，呈透明或半透明。

天河石 是微斜长石中呈绿色及蓝绿色的变种，成分和微斜长石一样为钾铝硅酸盐，其颜色是因含钨致色。

日光石是钠奥长石中最重要的品种，有时也称之为砂金效应长石。钠奥长石中因含有大致定向排列的金属矿物薄片，如赤铁矿和针铁矿，随着宝石的转动，能反射出红色或金色的反光，即砂金效应。

拉长石最重要的宝石品种有晕彩拉长石。其特征是当把宝石样品转动到一定角度时，可见整块样品亮起来。

### 3.12.3 长石与相似宝石的鉴别

绿柱石的折射率、密度略高于月光石。绿柱石常含有平行排列的管状包体、气液包体，而月光石具有典型的蜈蚣状包体。

由于日光石具有砂金效应的特殊现象，在天然宝石中与日光石相似的品种不多，其中东陵石与日光石具相同的砂金效应，二者的鉴别在于：东陵石含有铬云母片，而日光石内含片状金属氧化物赤铁矿、针铁矿，而且日光石呈现金黄色 ~ 橙黄色的闪光，而东陵石只是绿色的片状闪光。

拉长日光石中有少量呈绿色，但东陵石的折射率、密度比日光石的稍高，折射率点测 1.54，密度 2.65g/cm<sup>3</sup>。

# 第 4 章 常见玉石

## 4.1 翡 翠

翡翠是最珍贵、价值最高的一种玉石，被称为“玉石之冠”或“玉石之王”，主要产于缅甸。在东方一些国家和地区深受人们的喜爱，因而国际珠宝界称翡翠为“东方之宝”。

### 4.1.1 翡翠的基本性质

#### (1) 矿物组成

翡翠是以硬玉为主的由多种细小矿物组成的矿物集合体。它的主要组成矿物为硬玉，次要矿物有钠铬辉石、透闪石、透辉石、霓石、霓辉石、钠长石以及少量铬铁矿、磁铁矿、赤铁矿和褐铁矿等。由此可见，组成翡翠的主要矿物是含 Na 的辉石类矿物，其次是含 Na 的闪石类矿物和钠长石等。

#### (2) 化学组成

作为翡翠的主要构成矿物，硬玉的化学成分为  $\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 。该矿物的化学成分为  $\text{SiO}_2$  (59.4%)， $\text{Al}_2\text{O}_3$  (25.2%)， $\text{Na}_2\text{O}$  (15.4%)。其成分中一般含有少量的  $\text{Ca}^{2+}$ ， $\text{Mg}^{2+}$ ， $\text{Fe}^{2+}$ ， $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Cr}^{3+}$  等。

#### (3) 结 构

翡翠本身是矿物集合体，其主要组成矿物硬玉属单斜晶系，晶形为柱状。但单晶体极少见，通常以纤维状和粒状集合体产出。由于细小的纤维状硬玉矿物紧密地交织在一起，形成毛毡状结构，因此，翡翠有很强的韧性，耐久性非常好。在显微镜下观察，可以看到翡翠主要呈变晶结构(包括柱状变晶结构、粒状变晶结构、纤维状变晶结构等)。

不论翡翠原料或成品，只要在抛光面上仔细观察，均可见到变斑晶交织结构，像花斑一样。也就是说在一块翡翠上可以见到两种形态和排列方式不同的硬玉晶体。一种是颗粒稍大的粒状(斑晶)，另一种是在斑晶周围交织在一起的纤维状小晶体。同一块翡翠的斑晶颗粒往往大小均一，斑晶两端稍尖，像眼球状。斑晶的长轴和纤维状小晶体的延长方向一致，有明显定向排列的迹象。

有时也可以见到交代结构(包括交代净边结构、交代残余结构和交代环带结构等)

和碎裂结构(包括碎斑结构、糜棱结构等)。如果按照翡翠矿物颗粒的大小,可以分为粗粒(粒径大于 3mm)、中粒(粒径 1~3mm)、细粒(粒径 0.1~1mm)和显微粒状结构(粒径小于 0.1mm)。

#### (4) 光学性质

##### 颜色。

翡翠的颜色丰富多彩,有绿色、红色、紫色、黄色、白色等各种颜色。其中绿色翡翠最受人们欢迎,也是价值最高的品种。

翡翠的颜色与翡翠中所含的杂质元素有关。不含任何杂质的硬玉是无色(或白色)的。当硬玉中含有适量的 Cr 时(Cr 以类质同像的形式代替 Al),翡翠呈纯正的翠绿色。如果 Cr 含量过高,翡翠则变成深绿色甚至黑绿色。当硬玉中含有适量的 Fe 时(Fe 以类质同像的形式代替 Al),翡翠呈灰绿色。如果硬玉中的 Fe 以 +3 价形式出现,翡翠呈现红色或黄色。

在商贸领域描述翡翠的颜色时,有时与翡翠的透明度(水头)和结构、质地结合起来,通常用下列词语来描述翡翠的颜色。

艳绿:绿色纯、正、浓,但不带黑色调。

蓝绿:绿色中微带蓝色调,以宝石学观点称之为绿中微蓝。正因其绿中微蓝色调,使其看起来充满冷静之神秘感,给人较“沉”的感觉。

翠绿:绿色鲜活,若生于玻璃地中,如绿水般摇晃欲滴,颜色较艳绿浅,为标准绿色之代表。

阳绿:绿色鲜阳,微带黄色调,故绿色中带有亮丽的生命感。

淡绿:绿色较淡,不够鲜阳。

浊绿:颜色较淡绿色深,但略带混浊感。

暗绿:色彩虽浓但较暗,不鲜阳,仍不失绿色调。

黑绿:绿色浓至带黑色调。

蓝色:色彩偏微蓝,微带绿色调,宝石学称之为蓝中微绿。

灰色:颜色不蓝、不绿、不黑,带灰色调。

黄色:大多数的黄色来自内皮,黄色调搭配的质地常为冬瓜地以上的玉种。

紫色:与翡红相对,生于雾者为翡红,生于玉肉者多为桩(紫色),分为淡紫、紫色、艳紫、蓝紫。

白色:此种颜色在硬玉中最常见,当它生于化地以上为无色,生于豆地以下则为白色。

翡红:多出于内皮中,生于玉肉中者,多呈丝状分布,亦有的呈片状,在裂缝中的红色为铁元素入侵的结果。

黑色:无绿色调,呈墨黑色。

三彩:白地上有二色者叫“福禄”,有三色者叫“福禄寿喜”。

##### 光泽。

翡翠具有玻璃光泽或油脂光泽。

##### 透明度。

一般常常把翡翠的透明度称为“水头”。水头长、水头足就是透明程度好。反之,

水头差、水头短就是透明度不好。翡翠透明度如何，珠宝界称作“几分水”：一分水指 3mm 厚的翡翠是半透明的，二分水指 6mm 厚的翡翠是半透明的。有二分水的翡翠就是很好的玻璃地了。要特别注意的是观察透明度时，光的强弱和翡翠厚度变化对其影响较大。

透明度越好，翡翠的质量越高。翡翠是多晶矿物集合体，多数为半透明到不透明。一般来说，翡翠矿物颗粒越细则透明度（即水头）越好；颗粒越粗，则透明度越差。矿物成分单一、不含其他矿物、结构均一的翡翠透明度好。

翡翠的结构和透明度在翡翠的商贸领域常常被称为翡翠的质地，也称为翡翠的种。它是指翡翠的透明度、粒度、结构等共同产生的效果，常见的种有：

玻璃地：质地明亮、清澈、细腻。最重要的是具有类似宝石单一结晶体的“硬”的感觉，极少可见石纹，若有可见，其杂质多为冻石花形、甘蔗渣或片状的黑烟。此种质地镶起后常可见内部的反射光芒，有时会有“猫眼”现象。这个质地是所有质地中的最高等级，可谓千万年不变。

冰地：顾名思义，其结晶如冰块或冰糖感觉，洁净度颇高，质地也颇细致，但其感觉不如玻璃地冻、硬，这种质地镶起后水头相当好。

化地：其质地正如“果冻”之半透明状，但可见细微小石花、棉絮等。

油地：种质冰、硬，感觉有油脂光泽浮于表面。一般颜色较墨绿之玉石更有机会出现。

冬瓜地：质地亦接近半透明状，感觉如煮熟后之冬瓜。

糯米地：质地要透不透，具有如熟糯米的细腻感，一般所说的芙蓉地与此质地接近。

翻生地：质地类似糯米地，但玉肉中部分结晶如不熟之生米般出现饭渣。

豆地：如豆般不太通透，透明度只入表面二分，有非常多可见的棉柳、苍蝇翅、稀饭渣等，此种质地 in 强光下照射一段时间后易起小白花，“娇度”降低。

白地：一般玉石结晶多呈白色和无色，白色又是最常见的色彩，此质地已无通透可言，此质地与常说的“瓷地”接近。

芋头地：白中略带灰，色如芋头一般。

灰地：不透明，质地多纤维，色暗如香灰般，具沙性。

乌地：质地呈黑褐色，不透明。

如果按照透明度，即水头，从好到差，可以将其与翡翠质地的描述作如下对比：

玻璃地，十分水；冰地，八分水；化地、油地，六分水；冬瓜地；四分水；糯米地，三分水；翻生地、豆地，二分水；白地、芋头地、灰地、乌地，零分水。

折射率。

翡翠为多晶集合体，点测的折射率值一般为 1.66。

光性特征。

翡翠的组成矿物硬玉为单斜晶系，二轴晶，正光性， $2V = 72^\circ$ 。翡翠为非均质集合体。

吸收光谱。

翡翠在紫光区 437nm 处有一强吸收线，为翡翠的特征吸收谱线。Cr 致色的绿色

翡翠在红光区 630, 660 和 690nm 处可出现三条吸收谱线。染色翡翠在红光区 650nm 处可见到宽吸收带。

发光性。

天然翡翠绝大多数无荧光, 少数绿色翡翠有弱绿色荧光。漂白、注油翡翠有橙黄色荧光。早期的充填处理翡翠有弱~中等的黄绿色、蓝绿色荧光, 近期充填处理翡翠荧光很弱, 甚至无荧光。染色的红色翡翠有橙红色荧光。

#### (5) 硬度和密度

硬玉的摩氏硬度为 6.5~7, 密度为  $3.24 \sim 3.43 \text{ g/cm}^3$ , 常见值为  $3.33 \text{ g/cm}^3$ , 与二碘甲烷密度相近。

#### 4.1.2 翡翠与相似玉石及仿制品的鉴别

与翡翠相似的玉石主要有石英岩、独山玉、水钙铝榴石、绿帘石、软玉、蛇纹石玉等。翡翠的其他仿制品最常见的是玻璃。

##### (1) 与石英岩的鉴别

容易冒充翡翠的是绿色的石英岩。尤其是染成艳绿色的石英岩(俗称马来西亚玉)。只要利用仪器测定一下二者的折射率和密度, 是很容易将它们区分开的。翡翠的折射率为 1.66(点测), 而石英岩的折射率为 1.54, 翡翠的密度为  $3.33 \text{ g/cm}^3$  左右, 而石英岩的密度为  $2.65 \text{ g/cm}^3$ 。二者的结构也不同, 翡翠具有纤维交织结构、柱状变晶结构, 而石英岩具有粒状结构。翡翠具有 437nm 吸收峰, 而石英岩无此吸收峰。染色石英岩的绿色沿颗粒之间的缝隙进入, 绿色呈网状分布, 粒间见染料, 滤色镜下可呈红色, 也可不变色, 吸收光谱在 650nm 处具明显的宽吸收带。

东陵石是一种含绿色铬云母的石英岩, 是显晶质石英集合体。由于含有绿色的铬云母使整个岩石呈绿色。显微镜下观察可以看到铬云母呈鳞片状。整体为玻璃光泽, 云母片为丝绢光泽。在分光镜下可以见到红区具有铬吸收线。东陵石的折射率、密度、硬度等与石英岩相同。

澳洲玉简称澳玉, 指产在澳大利亚的绿玉髓。玉髓是隐晶质或微晶的石英集合体, 颗粒极为细小, 因此肉眼见不到石英颗粒, 即使在高倍显微镜下隐晶质的石英颗粒也极为细小。绿色分布一般较均匀, 有时也可见到斑点状分布。半透明~不透明。玻璃光泽。硬度为 6.5~7, 有时外观酷似翡翠, 但是只要测定其折射率、密度, 就会很容易地将其与翡翠分开。此外, 如果用肉眼鉴定, 其颜色、结构和翠性与翡翠明显不同。翡翠绿色分布特征为团块状、条带状、丝絮状, 澳玉的绿色分布一般很均匀; 翡翠是变斑晶交织结构, 澳玉是微晶等粒结构; 翡翠有翠性, 澳玉无翠性。

##### (2) 与独山玉的鉴别

独山玉是产自河南独山的一种黝帘石化的斜长岩, 颜色以白色、绿色为主, 很不均匀, 绿色常为蓝绿色, 粒状结构。独山玉的密度为  $2.73 \sim 3.18 \text{ g/cm}^3$ , 而翡翠为  $3.33 \text{ g/cm}^3$ , 独山玉的折射率为 1.57~1.70, 通常点测值为 1.57, 而翡翠为 1.66。

##### (3) 与水钙铝榴石的鉴别

绿色的水钙铝榴石看起来与翡翠很相似, 如果不进行测量, 很可能将其误认为翡翠。虽然水钙铝榴石为均质集合体, 但是由于颗粒之间光的折射与反射, 使之在正交

偏光镜间并不消光。二者的密度也很接近，水钙铝榴石的密度为  $3.40\text{g/cm}^3$  左右，但是只要测定它的折射率，就会将它们区分开来。水钙铝榴石的折射率为 1.72(点测)，而翡翠的折射率为 1.66。

#### (4) 与绿帘石的鉴别

绿帘石也是与翡翠比较相似的玉石。二者的密度相近，但是绿帘石的折射率高于翡翠，为 1.73(点测)，依此可以将二者区别开来。

#### (5) 与软玉的鉴别

软玉与白色的、浅绿色的翡翠相似，两者的鉴别主要依据结构、折射率和密度等性质。软玉具典型的纤维交织结构，与翡翠比较，颗粒更为细小，外观更为细腻，所以尽管这类组成软玉的矿物(角闪石类)也具两组完全解理，但在软玉的成品或原石上却见不到星点状或线状闪光，更无片状闪光。软玉呈暗绿色，颜色较均匀。软玉在密度、折射率、吸收光谱等方面与翡翠完全不同。软玉的相对密度一般在  $3.00\text{g/cm}^3$  左右，折射率为 1.60，都低于翡翠。软玉一般没有特征的吸收光谱，而翡翠在 437nm 处有特征的吸收谱线。根据这些特征不难将翡翠与软玉区分开来。

#### (6) 与蛇纹石玉的鉴别

蛇纹石玉的硬度和折射率都明显小于翡翠，因此，如果使用仪器测定一般不会把二者相混。但是，如果只凭肉眼观察，二者还是有些相似。蛇纹石玉的绿色趋于黄绿色，色较浅淡，均匀，有明显的油脂光泽，无星点状闪光，与翡翠比较容易区分。

#### (7) 与玻璃的鉴别

翡翠的仿制品主要是玻璃。按照仿翡翠玻璃的外部特征及在市场上出现的先后次序，大致分为以下五种：“料器”、仿玉玻璃、脱玻化玻璃(“马来西亚玉”)、现代仿翡翠玻璃。

玉器行业把早期仿翡翠的玻璃称为“料器”，特点是半透明绿色，具大小不等的圆形气泡。颜色不均，见旋涡状构造，贝壳状断口。有些密度较高，是加铅的玻璃。折射率 1.40~1.70，荧光可有可无。有许多绿色仿玉的戒面、帽扣、簪针等都属于此类。

在 20 世纪 50~70 年代，常见半透明~透明的绿色玻璃仿翡翠。其颜色鲜艳、均匀，一般无旋涡状构造，偶见气泡，贝壳状断口，折射率 1.51~1.55，密度  $2.4\sim 2.5\text{g/cm}^3$ ，一般无荧光。

脱玻化玻璃仿翡翠称马来西亚玉，它与翡翠十分相似。目前市场上可见到玻璃地艳绿色和玻璃地老艳绿色两种。用肉眼观察时，与天然优质翡翠的最大区别是透明度高，没有天然翡翠的那种团块状、微透明的白色石花。用仪器测试折射率为 1.54，密度为  $2.64\text{g/cm}^3$ 。表面有浇铸冷却的光滑收缩凹面。

### 4.1.3 翡翠的优化处理

翡翠常见的优化处理方法有热处理、漂白处理、浸油处理、浸蜡处理、充填处理、染色处理等。其中热处理、漂白处理和浸无色油为优化方法，其他方法为处理方法。

#### (1) 加热处理

加热是为了使黄色、棕色、褐色的翡翠转变成鲜艳的红色，因为黄色、棕色和褐

色翡翠的颜色都是次生的。不是所有的翡翠都能加热生成红色，只有黄色、棕色、褐色的翡翠才能进行热处理产生红色，并且应使大小相近的翡翠同炉加热。

热处理时将选好的翡翠清洗干净后放在加热炉中加温。温度不需太高，样品最好包上，悬空吊在炉中。升温速度要缓慢，当升到一定温度时，翡翠颜色转变为猪肝色时，开始缓慢降温，冷却之后翡翠就呈现红色。为获得较鲜艳的红色，可进一步将翡翠浸泡在漂白水数小时进行氯化，以增加它的艳丽程度。

翡翠的热处理过程实际上与天然红色翡翠的形成基本相同，所不同的是通过加热加速了褐铁矿失水的过程，使其在炉中转变成赤铁矿，所以一般不必加以区别。如果一定找出某些不同的话，天然红色翡翠稍微透明一些，加热的红色翡翠透明度要差些。

#### (2) 漂白处理

翡翠的颗粒常因存在一些铁、锰杂质，而产生黑、灰、褐、黄等杂色，影响了翡翠的美观程度，降低了翡翠的价值。为了去掉这些杂色，人们采用化学的方法对翡翠进行漂白处理，使翡翠的表面变得干净。

经过轻度漂白的翡翠不易鉴定，只在样品的表面留下极细的裂纹。较为明显的漂白则在翡翠的表面留下明显的裂纹，因为没有注胶，所以看上去发白，透明度差，虽然杂质去掉了，但表面结构遭到一定程度的破坏。

#### (3) 浸油浸蜡处理

为了掩盖翡翠的裂纹，增加透明度，经常对翡翠进行浸油浸蜡处理。一般选择裂纹较多、质地较差的翡翠原石或成品。

将选择好的翡翠放入油或蜡的液体中，稍稍加温、浸泡，使油或蜡的液体沿裂隙和微小缝隙渗入，经过再抛光可增加透明度，使原有的缝隙变得不明显。

经过浸油浸蜡的翡翠如果放在盐酸中浸泡，能够看出翡翠内部的裂纹。缓慢地在酒精灯上加热可使油或蜡出溶。利用红外光谱测量会出现明显的有机物峰，浸蜡者具明显的  $2\ 854$ 、 $2\ 920\text{cm}^{-1}$  特征吸收峰。在紫外荧光灯的照射下，浸油者可有黄色荧光，浸蜡者可有蓝白色荧光。经过浸油浸蜡处理的翡翠光泽比较暗淡，呈明显的油脂光泽或蜡状光泽。

#### (4) 漂白充填处理

漂白处理加上充填处理也俗称“B货”，充填处理是指对经过严重酸洗的翡翠进行充填固结。从结构破坏程度上看，在溶解掉翡翠中杂色、脏色的同时，也溶解掉部分翡翠颗粒，将翡翠特有的较为致密的结构破坏，因此在颗粒之间出现较多较大的缝隙，有的甚至呈疏松的面包渣状。这样的翡翠不可能直接使用，所以必须用一些能够起固结作用的有机聚合物(如树脂或塑料)充填于缝隙之间，既固结了翡翠又加强了透明度。

漂白充填处理翡翠(即B货翡翠)制作的主要步骤如下。

首先将要处理的翡翠泡入冰醋酸、双氧水或酒精中，加热到  $300^\circ\text{C}$  左右。加热时间根据需要而定，可能长达数月之久。这时，翡翠内部的黑点杂质等大部分被酸液溶解带出，原有的绿色部分会向周围扩散因而变淡，使整个翡翠的绿色变得更加均匀亮丽，地子的透明度也大大改善。然后，将经酸液浸泡的翡翠洗净，把环氧树脂或专用的无色油状“光学填充剂”加高压注入到翡翠中，填充因酸蚀产生的缝隙、空洞和龟

裂。最后，打磨抛光翡翠的外表。翡翠成品经酸液等浸泡后，其表面很可能变得粗糙，光亮度降低，因此常在翡翠表面涂一薄层石蜡或环氧树脂等材料，然后进行机械抛光。这样，一块地子通透、绿色鲜亮均匀，外表闪闪发光的漂白充填处理翡翠就出来了。

经过漂白充填处理的翡翠的充填物为树脂或塑料等有机聚合物，影响了翡翠的光泽，这种漂白加充填处理的翡翠常有树脂光泽、蜡状光泽或者玻璃光泽与树脂光泽、蜡状光泽混合。经这种方法处理的翡翠的绿色仍为原生颜色，但经过酸性溶液的浸泡，基底变白了，绿色也变得发黄，看起来很不自然，绿色分布较浮，原本丝状、带状的颜色被渐渐扩展开来，原来颜色的定向性也被破坏了。经过漂白充填处理的翡翠由于充填物与翡翠本身的硬度差别较大，所以表面易产生“橘皮效应”，即表面凹凸不平，在原生的绺裂处呈较明显的凹沟，充填物明显低于两边，许多绺裂组成纵横交错的“沟渠”。近期加工技术较好的漂白加充填处理的翡翠表面非常光滑，无上述现象，必须更加仔细地观察和测定。

有些经过漂白充填处理的翡翠的密度和折射率值会偏低，密度常为  $3.20 \sim 3.30 \text{ g/cm}^3$ ，少数达  $3.33 \text{ g/cm}^3$ 。折射率值为 1.65(点测)。但是，很多经过漂白充填处理的翡翠的密度和折射率与天然翡翠基本相同，尤其是近期出现了处理技术比较好的翡翠，所以密度和折射率的测定只能作为参考数据。

将翡翠用紫外线灯照射，天然翡翠(即 A 货)不发荧光，经漂白充填处理的翡翠(B 货)，则可能产生蓝白色的荧光。由于有些填充剂也不发荧光，因此只能作出这样的结论：凡是用紫外线照射产生荧光的翡翠，很可能经过漂白充填处理，而不发荧光的翡翠则不能确定它是否经过处理，须进一步检查。

显微观察是鉴定漂白充填处理翡翠的比较有效方法。

首先用反射光观察样品的表面，通常可见到三种情况：第一种情况，表面凹凸不平，呈橘皮状，伴随有交叉的绺裂凹沟，这是漂白充填处理翡翠的比较典型的特征。早期漂白充填处理的翡翠一般都具有这种特征，但是近期处理技术比较好的漂白充填处理翡翠的这种特征并不明显。需要注意的是，现在有些翡翠具有比较明显的橘皮效应，但是经红外光谱证实并没有经过充填处理，而是只经过了漂白处理。对于这种情况，尤其要小心。第二种情况，表面抛光较好，但局部可见细小裂纹相对集中。这是因为翡翠经漂白充填处理后又经过较为细致认真的再抛光，使得表面较光滑，局部细小裂纹是被破坏的翡翠颗粒间的极细小缝隙未被充填的表现。第三种情况，表面极为光滑，细小的裂纹很少，但在表面出现很多类似翠性反光的亮点，亮点往往是在较粗大颗粒的表面或内部，沿解理方向有许多亮点，重叠分布，而不是解理整体的片状闪光。如将显微镜放大到高倍，可见这些小亮点为小的气泡，由此分析，这是由于在充填处理时未能把缝隙里面的空气全部抽空而保留下来的气泡。观察翡翠的内部结构需要用透射光。经过漂白充填处理的翡翠结构松散、颗粒边缘界限模糊、颗粒破碎、解理不连贯。

红外光谱分析是测定有无充填物的有效方法，目前所用的充填物主要是有固结作用的有机聚合物，特点是成分中含有碳氢的羟基，而且不同的充填物羟基的结构不同，呈现不同的吸收谱带。



再有一种辅助的鉴别法是“听音”。B 货翡翠因被酸泡，内部被溶蚀出缝隙空洞，因此把两个手镯或两块雕件互敲时，发出的声音就不够清脆而有空、哑之声；A 货翡翠互敲时则声音清脆悦耳。当然，此法只是一种辅助手段，因为天然的 A 货翡翠在质地欠密实或有裂纹时，互敲声音亦有空、哑的；而 B 货翡翠酸蚀不太严重时，也可能互碰声音依然清脆。

#### (5) 染色处理

为了增加翡翠的颜色，使颜色浅淡或无色的翡翠变成绿色、红色或紫色，以达到获得较多经济利益目的，有些人采取染色的方法使翡翠颜色加深。用于染色的翡翠要有一定的缝隙，即颗粒较粗者比较适宜。首先将选好的待染色的翡翠用稀酸清洗，干燥后放入准备好的染料(如氨基染料)或颜料(如铬酸盐)溶液中，稍微加热，浸泡的时间视翡翠的大小和质地而定。已染上颜色的翡翠需再次烘干上蜡，为的是增加透明度，掩盖缝隙。炝色是先将翡翠加热，使细小的翡翠颗粒之间产生微裂隙，然后迅速放入染料或颜料溶液中，这种方法可以减少浸泡时间，但颜色沿裂隙分布会更加明显。

用高倍放大镜或显微镜观察经过染色处理的翡翠的颜色分布，可见翡翠的绿色浮于表面，没有由内向外的色根，相反却可见颜色(即染料)沿裂隙从外面进入的现象。所以看到的颜色呈丝网状分布，大的绺裂中可见染料的沉淀或聚集。

染色处理翡翠与天然翡翠的可见光吸收光谱不同。天然绿色翡翠中可见 690, 660, 630nm 吸收线近于等距分布，而且强度由高到低逐渐变弱。人工染色的绿色翡翠无 690, 630nm 吸收线，仅在 650nm 处出现一宽带。人工染色的其他玉石(如石英岩、方解石等)也具有同样的特征。

用查尔斯滤色镜观察，多数染色翡翠在查尔斯滤色镜下显棕红色或浅棕红色，加几滴热盐酸也会褪色。但近期有些染色翡翠由于所用的着色剂的改变，在滤色镜下不显红色。

经过染色处理的翡翠在红外光谱中会出现  $2\ 854$  和  $2\ 920\text{cm}^{-1}$  反映有机物存在的特征吸收峰。

天然翡翠一般没有紫外荧光。有些染色翡翠在紫外光的照射下，会发黄绿色荧光。如果翡翠被染成红色，会出现橙红色的荧光。

#### 4.1.4 翡翠的质量评价

影响翡翠质量的主要因素有颜色、结构、透明度、质地特征、裂隙和含杂质情况、成品的工作工艺水平及块体(质量)大小等。

##### (1) 颜色

颜色是评价翡翠的最主要的因素。但颜色的评价标准是多方面的，包括颜色的种类及绿色的“浓”、“正”、“阳”、“均”等方面的情况。

“翠”为绿，翡为“红”和“紫”。绿色、浓艳纯正的紫色和红色的翡翠均属高档品种。近些年来，紫色和红色翡翠价格不断提高，但仍以绿色者为最珍贵。翡翠玉器以红、绿、紫三色共存或红、绿、黄、蓝、紫五色共存的最惹人喜爱，价格最高。因而，除了好的单一的绿色之外，如果有好的组合颜色，搭配得当，互相衬托，鲜艳瑰丽，同样也是高档品种。

评价翡翠的绿色常用“浓”、“正”、“阳”、“均”四个字。“浓”是指浓而不能淡，要像雨后的冬青树叶或芭蕉叶那种浓碧绿色为好。“阳”就是鲜艳明亮、不阴暗。“正”就是无任何杂色混在翠中，就称“色正”；如含任何杂色，就是有“邪色”，就不好。“均”（或称“和”）是指绿色均匀柔和，绿色部分与质地颜色和透明度相互协调，显露出翡翠的瑰丽来。反之，就叫“淡”、“阴”、“邪”、“花”，就是绿色不理想。

大体上看，绿色品种的优劣依次排列顺序为：绿色—微带黄的绿色—黄绿色—微带灰（或蓝）的绿色—灰绿色。在评价翡翠原料的颜色时，要注意原料的绿色在制成成品后，其色调会有变化的情况。在不同的照明条件下，翡翠的颜色不同，要避免在光线阴暗及强日光下观察翡翠的颜色。禁用聚光手电筒观察绿的好坏，因为在强透射光下，任何绿色，不管是否纯正，其色调都很好，因而，在这种情况下，常使人对颜色判断产生错误。

#### （2）结构

翡翠的结构在评价翡翠的经济价值中，起着重要作用。翡翠的结构优劣在宝石行业常用“老种”和“新种”来表示。“老种”是指翡翠中的硬玉矿物颗粒很细，为纤维变晶结构，玉质细腻，透明度好。“新种”是指翡翠中的硬玉矿物颗粒粗，粒状结构，颗粒之间结合的紧密程度差，透明度差。翡翠的“老种”比“新种”价值高，但在同一块标本上，其结构粗、细有变化。因而，“老种”和“新种”可见于同一块标本中。

#### （3）透明度

宝石行业中常把翡翠的透明度叫做“水头”。翡翠的透明度能达到透明的极少，多为半透明～不透明。矿物成分单一、结构均一、质地细腻的翡翠细嫩润滑而通透清彻，光泽晶莹凝重，透明度高。反之，矿物成分复杂，结构不均匀，颗粒粗大的翡翠透明度差。在评价翡翠透明度时，可用聚光电筒，观察透明度和裂隙情况。

#### （4）质地

质地的坚实细润程度、净度、透明度、底色种类等是决定翡翠价格的主要因素，质地坚实、细润、洁净、透明度好、底色均匀漂亮者为优质品，例如具玻璃地者为佳品。结构粗、含石花、透明度差、颜色不均匀者，质量比较差。

#### （5）裂隙和杂质

裂隙和杂质的存在，可以降低翡翠的质量，而且裂隙太多时，成品不能保证较大的块度，从而也影响到翡翠的价值。

#### （6）加工工艺

翡翠的加工工艺对翡翠有很大影响。翡翠质量的好坏与其款式的设计有很大关系。好的工艺应该是因材施艺、构思巧妙、图案精美、做工精良。

### 4.1.5 翡翠的产地

缅甸是世界上翡翠的主要供应国，著名的优质翡翠矿床就位于缅甸北部乌龙河流域。大约在 13 世纪就开始在这一带开采冲积砂矿和冰川砂矿，直到 1871 年才发现原生的翡翠矿床。翡翠矿床主要分布在缅甸的度冒、缅冒、潘冒和奈冒四个矿区。

前苏联已知的翡翠矿床中有哈萨克斯坦的伊特穆隆达和列沃-克奇佩利矿床。在

美国的加利福尼亚州中部的海岸山脉区，有几个质量不高的翡翠矿床，其中最大的是克列尔克里克矿床，位于圣别尼托县境内，还有门多西诺县的利奇湖矿床和一些小型的翡翠冲积砂矿。在中美洲地区的危地马拉，1952 年发现了麦塔高翡翠矿床，该矿床位于埃尔普罗格诺索省曼济纳尔村附近。日本也有几个翡翠矿床点，分布在本州地区。

我国至今未发现真正的翡翠矿床。历史上曾有“翡翠产于云南永昌府”之说，实际上是指缅甸密支那地区，因为在明万历年间该地区属云南省永昌府管辖。不过也有资料报道过，中国西部地区曾发现翡翠矿点，可否成为矿床还需后人开发研究。

## 4.2 软 玉

软玉，英文名称为 Nephrite。世界产出软玉的地方较多，其中以中国新疆和田地区产的玉质量最佳，产玉历史最悠久，故前苏联地球化学家费尔斯曼称软玉为中国玉。

### 4.2.1 软玉的基本性质

#### (1) 矿物组成及化学成分

软玉主要由透闪石～阳起石系列的矿物集合体组成，为角闪石岩玉。有时含有少量透辉石、滑石、蛇纹石、黑云母、绿泥石、绿帘石、石墨、磁铁矿、铬铁矿等矿物。透闪石～阳起石系列矿物的化学成分主要为  $\text{SiO}_2$ ， $\text{MgO}$ ， $\text{CaO}$ 。含少量  $\text{Fe}$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ，并含有  $\text{Na}$ ， $\text{K}$ ， $\text{Al}$ ， $\text{Mn}$  等微量元素。其矿物分子式为  $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ 。其中  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Fe}^{2+}$  呈完全类质同像替代。当  $n(\text{Mg}^{2+})/n(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}) > 90\%$  时，称为透闪石。 $n(\text{Mg}^{2+})/n(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+})$  为  $50\% \sim 90\%$  时，称为阳起石。软玉中主要为透闪石，较少为阳起石。

#### (2) 晶系及结晶习性

软玉的主要组成矿物角闪石中的透闪石～阳起石，为单斜晶系。透闪石～阳起石矿物一般呈长柱状或纤维状晶形，软玉是这些纤维状矿物的集合体。

#### (3) 结构构造

软玉的典型结构为纤维交织结构、块状构造。组成软玉的透闪石～阳起石矿物颗粒非常细小，一般为  $0.1 \sim 0.01\text{mm}$ ，因而软玉的质地非常致密、细腻。由于软玉具有纤维交织结构，非常细小的纤维状矿物颗粒相互交织使颗粒之间的结合力非常强，因此软玉具有非常好的韧性，不易碎裂。尤其是经过风化、搬运作用形成的卵石，或称仔料，玉质好，韧性更为突出，上好的羊脂白玉就产于其中。

#### (4) 光学性质

颜色。软玉的颜色取决于组成软玉的矿物颜色。不含铁的透闪石呈白色和灰白色，含铁的透闪石呈淡绿色，阳起石的颜色为绿色。当软玉中含有石墨和磁铁矿时，则出现灰黑色或黑色。另外还有黄绿、青白、灰等颜色的软玉。一般来说，软玉的颜色较均一。

光泽及透明度。古人称和田玉“湿润而泽”，就是其光泽带有很强的油脂性，给人以滋润的感觉。软玉的质地细腻、光泽滋润、柔和、颜色均一、光洁如脂，绝大多数为半透明~不透明，以不透明为多，极少数为透明。

折射率及光性。折射率为 1.606~1.632，点测法为 1.60~1.61。软玉是多矿物集合体，在正交偏光下不消光。

吸收光谱。软玉很少显吸收性，个别软玉在 689nm 有双重吸收光谱线；在 498 和 460nm 有两条模糊不清的吸收光谱带；在 509nm 有一条灵敏的光谱线。

发光性。紫外线下软玉无荧光。

#### (5) 力学性质

硬度。软玉的硬度为 6~6.5。

密度。软玉的密度为 2.90~3.10g/cm<sup>3</sup>，常见值为 2.95g/cm<sup>3</sup>。

### 4.2.2 软玉的品种

#### (1) 按产状划分

山料又名山玉、碴子玉，或称宝盖玉，指产于山上的原生矿。山料的特点是开采下来的玉石呈棱角状，块度大小不同，且质地良莠混杂不分。

山流水由采玉和琢玉艺人命名，指原生矿石经风化崩落，并由冰川或洪水搬运过的玉石。山流水的特点是距原生矿近，块度较大，棱角稍有磨圆，表面较光滑。

仔玉，呈卵状，大小皆有，但小块多，大块少。这种玉质地好，水头足，色泽洁净。仔玉是由山料风化崩落，经大气、流水风化、分选、剥蚀沉积下来的优质部分。

#### (2) 按颜色及花纹划分

白玉，指呈白色的软玉，优质者称“羊脂玉”，洁白细腻如同羊脂，组成矿物主要是透闪石，呈纤维状集合体。

青玉的颜色呈淡青~深青，与白玉相比，只有颜色略呈青绿或绿带灰。

青白玉，指颜色介于白玉与青玉之间，似白非白、似青非青的软玉。与白玉相比，青玉、青白玉中的透闪石量略有减少，阳起石、绿帘石量稍有增加，因古人曾用青玉、青白玉名称，故现今仍然沿用之。

碧玉，指绿、鲜绿、深绿色或暗绿色的软玉，含较多的绿帘石和磁铁矿等杂质，颜色不均，多用作器皿。

黄玉，指呈黄、蜜蜡黄、栗黄、秋葵黄、鸡蛋黄、米黄、黄杨黄等颜色的软玉，但它决非宝石中的托帕石（其矿物学名称为黄玉），也不是黄色的水晶（有人将其称为黄晶）。

墨玉，指呈纯黑、墨黑、深灰色，有时呈“青黑”色的软玉。往往与青玉相伴，其光泽比其他玉石暗淡。因内含碳质或石墨而显墨绿色，常有黑白相间条带。

糖玉，指呈血红、棕红、紫红、褐红色的软玉，其中以血红色糖玉为最佳，多在白玉和青玉中居从属地位。

花玉，指在一块玉石上具有多种颜色，且分布得当，构成具有一定形态的“花纹”的玉石，如“虎皮玉”、“花斑玉”等。

#### 4.2.3 软玉与相似玉石的鉴别

软玉有其独特的矿物组成,通过硬度、颜色、结构、构造、光泽、密度等特征可以将其与翡翠、蛇纹石玉、石英岩玉、钙铝榴石玉(含水钙铝榴石)和大理岩玉等分开。

##### (1) 硬度

在玉雕制品不显眼的地方,用标准矿物硬度计小心刻划。利用它们硬度的不同加以鉴别。软玉的硬度比翡翠和石英岩玉稍低,但比碳酸盐岩玉及蛇纹石玉高。

##### (2) 密度

对于小件玉雕制品可用测密度的办法进行鉴别。但大件玉雕制品不适用该法。软玉的密度比翡翠低,但比蛇纹石玉偏高,比碳酸盐岩玉及石英岩玉明显高。

##### (3) 折射率

对于小件玉雕制品也可利用光滑的平面,用折射仪测折射率。软玉的折射率(点测  $1.60 \sim 1.61$ )比翡翠低,但比石英岩玉、碳酸盐岩玉和蛇纹石玉高。

##### (4) 结构

组成软玉的矿物颗粒比翡翠更加细小,因而软玉的结构更加细腻。在翡翠中利用显微镜或放大镜有时能够看到纤维状、柱状或粒状结构,而软玉由于结构细腻,一般看不见这种结构。石英岩玉和碳酸盐岩玉为粒状结构,不见翡翠中的纤维状嵌晶结构。蛇纹石玉的纤维交织结构,分布不均匀,可见“云朵”状的白色斑块,并含黑斑。

##### (5) 颜色及光泽

软玉的颜色种类与翡翠不同。翡翠常具条带状绿色,很少为单一的白色,光泽较强,透明度较高,表面有像涂了植物油那样的透明感。而软玉有油脂光泽,表面像涂了动物油脂,光泽柔和滋润,透明度一般比翡翠要差,多为微透明~不透明。蛇纹石玉常为黄绿色,与软玉的颜色差异较明显。石英岩玉和碳酸盐岩玉具玻璃光泽。

##### (6) 可见吸收光谱和红外吸收光谱特征

软玉在  $509\text{nm}$  处有吸收线,与其他玉石的吸收光谱明显不同。在  $3\ 600 \sim 3\ 700\text{cm}^{-1}$  红外光谱区内,可见透闪石~阳起石类中的  $\text{OH}^-$  引起的吸收峰。而翡翠中不含  $\text{OH}^-$ ,因而不该吸收峰。

#### 4.2.4 软玉的仿制品及其鉴别

##### (1) 玉髓

绿色玉髓外观上与绿色软玉相似,这是因为玉髓本身为隐晶质石英,颗粒极细小。肉眼鉴定软玉与玉髓的区别为:玉髓制品多具玻璃光泽;玉髓制品有较高的透明度;玉髓制品手掂有轻感。另外,玉髓的折射率、密度低于软玉,而硬度却大于软玉。

##### (2) 玻璃

玻璃常用来仿制软玉。常见为白色仿玉玻璃,在玉器市场上极为常见。仿玉玻璃的特点是乳白色、半透明~不透明,常含有大小不等的气泡。贝壳状断口,折射率

1.51 左右，密度  $2.50\text{g/cm}^3$  左右，均明显低于软玉。

4.2.5 软玉的质量评价

(1) 颜色

颜色对于软玉质量的评价很重要。通常要求颜色均匀明快、无杂色。软玉中白色者质量最好，最受人们的喜爱。

(2) 质地

组成的矿物结构致密、质地细腻、纯净、无瑕疵。如软玉中含有变斑晶或其他矿物颗粒，则会有粗糙感，不利于工艺上的应用。

裂纹对软玉的质量影响很大。古时常将裂纹称为“玉病”。裂纹的存在直接影响软玉的价值。

(3) 光泽

评价光泽是否理想要看抛光后的效果。软玉大多为油脂光泽，如油脂中透着清亮，则光泽为佳。

(4) 透明度

鉴定软玉的透明度是以 2mm 厚的软玉透光程度为标准。一般质细、色美、透明度好者质量好。

(5) 硬度和韧性

软玉硬度 6 ~ 6.5，其韧性是所有宝玉石中最好的。经测定各种软玉的抗压强度为：青玉平均强度为 361.7MPa，粗白玉平均强度 112.3MPa，碧玉平均强度 412.9MPa。韧性大对玉雕制作中精雕细琢起着重要作用。

(6) 块度和质量

软玉的质量越大，价值越高。

4.2.6 产状和产地

软玉经常发现于河卵石或砾石中。新西兰产的软玉呈暗绿色 ~ 黑色，称为“毛利绿色石”，产于卵石层中。俄罗斯贝加尔湖软玉呈菠菜绿色，并与因含石墨而呈黑色或有黑色斑点的品种共生，优质者似翡翠。澳大利亚产的软玉也呈菠菜绿色。软玉的其他产地有加拿大、津巴布韦(罗德西亚)、意大利、墨西哥和波兰，以及美国威斯康星、阿拉斯加、加利福尼亚和怀俄明州等地。我国软玉主要产于新疆维吾尔自治区和台湾省。新疆产的软玉广泛分布于塔什库尔干到且末一带、昆仑山和阿尔金山的北麓以及北天山一带，台湾的软玉产于花莲县丰田等地。

4.3 蛇纹石玉

4.3.1 蛇纹石玉的基本性质

(1) 矿物组成与化学成分

蛇纹石玉是一种微细纤维状、叶片状和胶状蛇纹石矿物集合体，含少量透闪石、

结晶碳酸盐矿物。蛇纹石是一种层状结构的硅酸盐矿物，化学式为 $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ 。根据组成蛇纹石玉各种矿物的含量不同，蛇纹玉石的物理性质亦有较大变化。

#### (2) 形态

呈细腻的致密块体，少数为纤维状块体(琢磨后有猫眼效应)。

#### (3) 颜色

蛇纹石矿物本身为无色~淡黄色、黄绿色~绿色。而蛇纹石玉的颜色除受蛇纹石本身颜色影响外，还受矿物共生组合的影响。常见的蛇纹石玉主要有绿色、黄色、红色等，其中绿色者质量最好。

#### (4) 其他物理性质

蛇纹石玉石质细腻，手摸有滑感，半透明~不透明，蜡状光泽~玻璃光泽，参差状断口，密度 $2.44\sim 2.80\text{g/cm}^3$ ，常见值为 $2.57\text{g/cm}^3$ 。折射率 $1.555\sim 1.573$ ，常见的点测值为1.56。硬度常见值为 $2\sim 3.5$ ，由于含有少量的透闪石等成分，有些蛇纹石玉的硬度可达6。在鉴定蛇纹石玉时，尤其要注意不要单纯根据硬度较大而将某些蛇纹石玉误认为软玉。由于蛇纹石玉为多晶集合体，因此在正交偏光下表现为无消光位，在紫外灯下蛇纹石表现为荧光惰性。有时在长波紫外线下可有微弱的绿色荧光，不具有特征吸收谱线。

### 4.3.2 蛇纹石玉与相似玉石的鉴别

#### (1) 软玉

黄绿色软玉外观上可能与岫玉(蛇纹石玉)相似，因为岫玉的结构也很细腻，肉眼鉴定软玉与黄绿色岫玉的区别如下。

软玉主要呈油脂光泽，而岫玉则主要呈蜡状光泽。

大部分情况下软玉的透明度低于岫玉的透明度。

软玉的硬度明显高于岫玉，岫玉制品的棱角更趋于圆滑。

软玉制品往往颜色单一，而大块的岫玉制品可出现灰、黑、黄绿等几种颜色间杂的现象。

在实验室条件下，岫玉与软玉是很易区别的。蛇纹石玉的折射率、密度、硬度与软玉比有很大差别，不难区分。

#### (2) 葡萄石

葡萄石由纤维状葡萄石集合体组成。颜色为浅绿色~浅黄绿色，半透明，蜡状光泽。硬度 $6\sim 6.5$ ，点测法折射率为1.63，密度为 $2.88\text{g/cm}^3$ ，均比蛇纹石高。非均质体，放射状纤维状结构，有密集的白色云朵，因含少量方解石，所以遇盐酸起泡。

#### (3) 水钙铝榴石

水钙铝榴石为浅绿色~浅黄绿色，半透明，蜡状光泽。硬度为7，点测法折射率为1.72，密度为 $3.47\text{g/cm}^3$ ，均比蛇纹石高。均质体，粒状结构，有较多的黑色小点。

4.3.3 蛇纹石玉质量评价

蛇纹石质玉料的质量一般从颜色、透明度、质地、块度等方面进行划分。色泽好、透明度高、质地细腻、无裂纹、块度大者质量优良。有人依据这四个方面将蛇纹石玉的质量划分为以下四个等级。

特级品，颜色呈碧绿色、黄绿色、浅绿色，无裂纹或稍有一些裂纹和杂质，半透明，块重在 50kg 以上者。

一级品，颜色呈碧绿色、浅绿色、黄绿色，稍有一些裂纹和杂质，半透明，块重在 10kg 以上者。

二级品，颜色呈碧绿色、浅绿色，无碎裂，稍有杂质，块重在 5kg 以上者。

三级品，色泽较好，微透明，无碎裂，块重在 2kg 以上。

4.3.4 蛇纹石玉的产地

我国的蛇纹石玉分布较广。辽宁、甘肃、青海、新疆、陕西、四川、云南、西藏、广西、湖北、河南、安徽、江西、福建、台湾、吉林等地都有蛇纹石玉产出或有矿化点。其中以辽宁岫岩产的蛇纹石玉产量最高、质量最好。

岫岩位于辽宁南部，是我国重要的蛇纹石玉产地。产于岫岩的蛇纹石玉简称岫玉。实际上，现在岫玉已经不再特指产于岫岩的蛇纹石玉。按照现行国家标准，岫玉已经不再具有产地意义，而可以作为蛇纹石玉的玉石名称。产于岫岩的岫玉主要由叶蛇纹石组成，颜色多呈绿色，有时可见碧绿、红、黄、褐等颜色，半透明，质地细腻，蜡状光泽，硬度 3.5 ~ 6。

产于甘肃酒泉的蛇纹石玉也称为祁连玉或酒泉玉，呈墨绿色、黑色，颜色分布不均匀。由含黑色斑点和黑色团块的暗绿色致密块状蛇纹石组成，半透明 ~ 微透明。

产于广东信宜县的蛇纹石玉也称为南方玉，呈黄绿色、暗绿色、绿色，颜色不均，不透明，有浓艳的黄色、绿色斑块，蜡状光泽。

产于新疆昆仑山和阿尔金山的蛇纹石玉也称为昆仑山玉。呈暗绿、淡绿、浅黄、黄绿、灰白等颜色，质地细腻，蜡状光泽，硬度 3.5，密度  $2.60\text{g/cm}^3$ ，有些与软玉伴生，质量上乘，可与产于岫岩的岫玉相媲美。

产于台湾花莲县的蛇纹石玉也称为台湾玉，呈草绿色、暗绿色，常见一些黑色斑点和条带纹，玉质细腻，半透明，蜡状光泽，硬度 5.5，密度  $3.01\text{g/cm}^3$ ，玉质较好。

按照现行国家标准，除了岫玉名称可以作为蛇纹石玉名称以外，其他以产地命名的蛇纹石玉名称已经不再采用，而应当命名为蛇纹石玉或岫玉。

蛇纹石玉是一种常见的玉石原料，在世界各地多个国家都有产出。世界上产出蛇纹石玉较多的国家有朝鲜、阿富汗、印度、新西兰、美国、俄罗斯、波兰、英国、意大利、安哥拉和纳米比亚等国，其中以朝鲜的蛇纹石玉最好。



## 4.4 独山玉

独山玉是一种黝帘石化的斜长岩，因产于我国河南独山而得名。独山玉色彩鲜艳、质地细腻、致密坚硬，与新疆和田玉、湖北郧县绿松石和辽宁岫岩玉一起号称中国“四大名玉”。

### 4.4.1 独山玉的基本性质

#### (1) 矿物组成与化学成分

独山玉的主要组成矿物为拉长石和黝帘石，次要矿物为次闪石、纤闪石、透闪石~阳起石、透辉石。含有少量铬云母、黑云母等矿物。独山玉的化学组成变化较大，随其组成矿物含量的变化而变化。

#### (2) 结构构造

独山玉一般具细粒(粒度小于 $50\mu\text{m}$ )状结构。其中斜长石、黝帘石、绿帘石、黑云母、铬云母和透辉石等矿物呈他形~半自形晶，集合体为致密块状。

#### (3) 颜色

独山玉主要有白色、绿色、黄色、紫色和杂色。

#### (4) 其他物理性质

独山玉的硬度为 $7.5\sim 8$ ，密度为 $2.73\sim 3.18\text{g/cm}^3$ 。呈玻璃光泽~油脂光泽；微透明~半透明。折射率大小受组成矿物影响，在宝石实验室用点测法测得的折射率为 $1.56\sim 1.70$ 。正交偏光镜下没有消光位。在紫外灯下，独山玉表现为荧光惰性，有的品种可有微弱的蓝白色、褐黄色、褐红色荧光。

### 4.4.2 独山玉的品种

独山玉按颜色划分有30多个品种，可将其归纳为白色、绿色、黄色、紫色和杂色五类。

#### (1) 白独山玉

白独山玉呈白色、乳白色及带灰的白色，半透明，质地细腻，玻璃光泽或油脂光泽，主要矿物成分是斜长石和部分黝帘石，少量绿帘石、透辉石和绢云母。其工艺名称为水白玉(黝帘石化斜长岩)、白玉(黝帘石化斜长岩)、芙蓉玉(黝帘石岩)和乌白玉(黝帘石化斜长岩，碎斑结构)。

#### (2) 绿独山玉

绿独山玉以绿色和翠绿色为主，颜色似翡翠。质地细腻，坚硬致密，玻璃光泽，半透明~微透明。玉质为绢云母化黝帘石化斜长岩。其工艺名称为绿翠(透闪、透辉、黝帘石化斜长岩)、翠玉(透闪、黝帘石化斜长岩)、青玉(透闪石、阳起石斜长岩)。

#### (3) 紫独山玉

紫独山玉呈暗绿色，并在虾肉斑的质地上分布有淡紫色的斑点。质地细腻，坚硬致密，玻璃光泽，不透明。玉质为黝帘石化斜长岩。工艺名称为紫玉(透辉、绿帘石化斜长岩)、亮棕玉(透辉、黝帘石化斜长岩)。

#### (4) 黄独山玉

呈均匀的黄绿色或橄榄黄绿色。质地细腻，坚硬致密。玉质为绿帘石化黝帘石化斜长岩。工艺名称为橙玉(绿帘石、黝帘石化斜长岩)。

#### (5) 杂色独山玉

颜色较混杂，质地细腻。致密坚硬，有玻璃光泽。主要组成矿物为斜长石、黝帘石和绿帘石。

### 4.4.3 独山玉与相似玉石的鉴别

与独山玉相似的玉石有石英岩玉、软玉、翡翠、碳酸盐岩玉及蛇纹石玉等。

#### (1) 与石英岩玉的区别

独山玉和石英岩玉都为粒状结构，但是独山玉的折射率和密度比石英岩玉高。石英岩玉主要呈绿色，颜色较均匀，其界线无明显突变。独山玉颜色杂，不同颜色之间的界线明显。

#### (2) 与软玉的区别

独山玉与软玉的鉴别主要是靠结构、光泽、质地及颜色。独山玉为粒状结构，而软玉为纤维交织结构。独山玉质地不如软玉细腻，光泽不及软玉强。软玉为油脂光泽，而独山玉为玻璃光泽~油脂光泽。独山玉的颜色分布较软玉杂乱。

#### (3) 与翡翠的区别

优质绿色独山玉的质地细腻，很像翡翠。但它们的结构明显不同，翡翠常为纤维状嵌晶结构，而独山玉为粒状变晶结构。翡翠的绿色呈带状、线状分布特征，这是由呈绿色的纤维状的硬玉矿物集合体定向排列造成的。独山玉的绿色部分由粒状的绿色绿帘石矿物集合体造成。独山玉的密度和折射率比翡翠高。

#### (4) 与碳酸盐岩玉的区别

独山玉的硬度、密度、折射率比碳酸盐玉高。碳酸盐岩玉为白色和绿色，独山玉以绿色为主。碳酸盐岩玉遇酸起泡。

#### (5) 与蛇纹石玉的区别

独山玉的硬度、密度、折射率比蛇纹石玉高。独山玉为白色和绿色，蛇纹石玉以绿色为主。独山玉为粒状结构，而蛇纹石玉为非常细腻的纤维交织结构。

### 4.4.4 独山玉的质量评价

独山玉的经济评价依据主要是颜色、裂纹、杂质及块度等。以白色和绿色的独山玉为优质品。透明度好、质地细腻、无裂纹、无杂质者质量佳。颜色杂、色调暗、透明度差、有裂纹和杂质的独山玉质量差。

### 4.4.5 独山玉的产地

独山玉是一种蚀变斜长岩，是我国特有的玉石矿种，主要产于河南省南阳市。此外在新疆西准葛尔地区和四川雅安地区也有类似的玉种发现。

## 4.5 欧 泊

### 4.5.1 欧泊的基本性质

#### (1) 矿物组成与化学成分

欧泊的组成矿物为贵蛋白石(Opal), 另有少量石英、黄铁矿等杂质矿物。化学成分为  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , 其各组分的质量分数分别为  $\text{SiO}_2$ , 65% ~ 90%;  $\text{H}_2\text{O}$ , 4% ~ 9%, 最高可达 20%; 有时含  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (可达 9%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (可达 3%),  $\text{MnO}$  (可达 10%), 有机质 (可达 3.9%) 等杂质。

#### (2) 结晶状态

欧泊为非晶质体, 无一定外形。通常为肉冻状、葡萄状、钟乳状和皮壳状块体等。

#### (3) 颜色

由于内部的特殊结构, 欧泊的颜色呈现变彩色。从不同的角度观察欧泊, 欧泊中的彩色色斑呈现不同的变彩。欧泊的基体可有黑、白、橙、蓝和绿等多种颜色。欧泊的色斑不规则, 并且色斑一般很小。

#### (4) 其他物理性质

欧泊的折射率为 1.44 ~ 1.46, 硬度 5 ~ 6.5, 密度  $2.15 \sim 2.23 \text{ g/cm}^3$ 。呈玻璃光泽 ~ 树脂光泽, 透明 ~ 不透明, 均质体, 无多色性。火欧泊的折射率为 1.37。黑色或白色体色的欧泊可具中等强弱的白色、浅蓝色、浅绿色和黄色紫外荧光, 并可有磷光。有时磷光持续时间较长。绿色欧泊在 660, 470nm 处有吸收线, 其他颜色的欧泊无特征吸收光谱。

### 4.5.2 欧泊的品种

欧泊是赋存于蛋白石中的变彩块体。一块欧泊含有无数彩片, 其底色可能是无色、乳白色、暗灰色或黑色。每片彩片的颜色取决于球粒的大小, 直径小的球粒衍射的光波短, 呈现短波的紫蓝色。粒径大的球粒衍射的光波长, 呈现橙红色。根据颜色特征和光学效应, 欧泊可分为以下种类。

白欧泊, 体色为白色, 半透明 ~ 透明, 具变彩效应。

黑欧泊, 指在蓝色、暗蓝色、黑色或绿色基底上出现强烈变彩的欧泊, 它是欧泊中最珍贵的变种。其中蓝色基底者, 亦称为“蓝欧泊”。

晶质欧泊, 体色透明无色, 变彩较弱。

火欧泊, 欧泊中的特殊品种, 呈橘红色、橙色、橙红色或红色, 半透明, 没有变彩或变彩很弱。

### 4.5.3 合成欧泊及其鉴定

目前生产的合成欧泊是仿照天然欧泊的结构, 先做成氧化硅小球, 然后沉淀、压实和黏结而成, 与天然欧泊类似。但经过仔细鉴定是可以区别的。

合成欧泊的色斑结构特殊, 呈柱状排列, 具有三维形态, 而天然欧泊的色斑

是二维的彩片。正对着合成欧泊的柱体看过去，柱体界限分明，边缘呈锯齿状，被紧密排列的交叉线分隔，从而产生一种镶嵌状的感觉，这种结构称为蜥蜴皮结构。

荧光反应有差别，大多数天然欧泊在长波紫外灯下发强的淡白色荧光，并有持续的磷光；而合成欧泊荧光很弱且无磷光。另外，合成欧泊在长波紫外线下比天然欧泊更透明。

密度差异，合成的欧泊密度为  $2.06\text{g/cm}^3$ ，比天然欧泊的密度 ( $2.15\text{g/cm}^3$ ) 低。

红外光谱特征，两者的水分子振动谱有明显差异。

#### 4.5.4 欧泊的优化处理

##### (1) 染色处理

某些多孔的欧泊可用糖(葡萄糖和乳糖等)、蜂蜜和硫酸处理，进行染色，以仿制黑欧泊。染色处理后的欧泊具色斑，在放大镜下，见黑色往往沉淀在彩片或球粒中间，偶尔见到黑色小点。染色对于欧泊为处理方法。

##### (2) 注油处理

有时，为了掩盖欧泊的细小裂隙，采用注油和上蜡法。只要小心地把热的针尖靠近宝石表面，但不与之接触，油和蜡将会析出到表面上来，并形成珠滴。用放大镜进行观察，效果更清楚。如果注无色油，则为优化方法；如果注有色油，则为处理方法。

##### (3) 注塑料

将黑色塑料注入欧泊，可使黑欧泊更透明，色更深。这种欧泊半透明~不透明，密度低，一般为  $1.90\text{g/cm}^3$ 。在放大镜和显微镜下，可发现有注塑料的迹象。如果注入的塑料为黑色，在欧泊中可见黑色集中的小束。注塑料对于欧泊为处理方法。

#### 4.5.5 欧泊与相似宝石及仿制品的鉴别

##### (1) 变彩拉长石

变彩拉长石与欧泊易相混。但它常有解理纹，并含有钛铁矿、金红石和磁铁矿等矿物包裹体，以此可与天然欧泊相区分。

##### (2) 塑料

欧泊的结构、折射率、密度、硬度等特征与塑料均有区别。欧泊的塑料仿制品在外观上与欧泊很相像，但它缺少天然欧泊的典型结构，在正交偏光下可见异常双折射，并可能存在气泡。天然欧泊的折射率为 1.45，塑料制品的折射率一般在 1.48~1.53。塑料仿制品的密度为  $1.20\text{g/cm}^3$ ，比欧泊低得多。塑料的硬度为 2.5，用针可以划动，而欧泊为 5~6，针尖划不动。

##### (3) 玻璃

玻璃常用来仿制欧泊。依据天然欧泊变彩的形态特征以及玻璃欧泊具有高的折射率和密度可以区别。玻璃欧泊的折射率为 1.49~1.52，而天然欧泊只有 1.45；玻璃欧泊的密度为  $2.4\sim 2.5\text{g/cm}^3$ ，而天然欧泊仅为  $2.15\text{g/cm}^3$ 。另外玻璃欧泊无孔隙，不会吸水。

##### (4) 拼合石

二层石常用天然或合成的欧泊黏结劣质欧泊、黑玛瑙、脉石欧泊及其他类似的深

色材料而成。用放大镜观察宝石顶层,可发现接合层内球形或扁平圆盘状气泡。三层石的顶层用无色透明的水晶、玻璃或塑料。底层可为劣质欧泊、脉石欧泊、黑玛瑙或其他黑色材料。中间为薄层的天然或合成欧泊,或带晕彩的非欧泊材料(珍珠母、蝴蝶翅等)。其他识别特征是:顶部玻璃或水晶的折射率高于欧泊,接合处见气泡,玻璃中含气泡及螺旋纹,天然欧泊具有特有的不同于合成欧泊的色斑结构。若三层石中产生晕彩的薄层不是欧泊,而是带晕彩的非欧泊物质时,可用天然(或合成)欧泊的特殊色斑结构来加以鉴别。

#### 4.5.6 欧泊的质量评价

目前市场上出售的欧泊有“整颗粒”、二层石和三层石三种形式,以整颗粒的价值最高,三层石最低。底色、变彩和坚固性是评价欧泊质量的主要因素。

底色——底色为黑色和深色的欧泊最佳。

变彩——变彩要遍布整个宝石,而且要均匀完整。质量好的欧泊呈现七色光谱,特别应呈现红色及罕见的紫色及紫红色。变彩应具有强烈的亮度和透明度。

坚固性——欧泊不可有裂纹,若有裂纹极易破损。

#### 4.5.7 欧泊的矿床类型与产地

古代的欧泊多产于印度和捷克等地,16世纪在墨西哥,19世纪在德国的伯尼克和澳大利亚被发现。现在澳大利亚是世界上产欧泊最多的国家,约占世界总产量的90%以上,其中80%又集中在库伯佩迪和明塔比两地,库伯佩边城有“世界欧泊之都”的美誉,欧泊成为澳大利亚的“国石”。

欧泊的成因类型有火山期后热液型和古风化壳型两种矿床。

##### (1) 火山型(火山期后热液)

主要产于喷发岩及其凝灰岩中的热液(火山期后)矿床。欧泊多呈细脉状沿火山岩裂隙、空洞和在原生气孔中充填发育。此类矿床的欧泊颜色品种多,变彩性好,但大部分易裂而影响质量。一般产出规模不大。

主要产出国为捷克和斯洛伐克,白色欧泊呈脉状产于灰褐色安山岩中。墨西哥以火欧泊最为著名,产于硅质火山熔岩孔洞中。

##### (2) 风化壳型

产于中~新生代沉积岩类型风化壳中的欧泊具有更重要的经济价值。欧泊多赋存在风化壳下部,风化较弱的蒙脱石化灰白色和浅褐色黏土层中,呈脉状分布,极不均匀,矿石厚度一般为2~4cm。澳大利亚的闪电蛤是世界上最优质的黑欧泊。

## 4.6 石英岩玉

### 4.6.1 石英岩玉的基本性质

石英岩玉的成分、结构与单晶石英基本相同,它们只是单晶体和多晶集合体的区别。由于多晶集合体结晶程度不同,石英岩玉有许多不同品种。

### (1) 矿物组成及化学成分

石英岩玉的主要矿物成分为石英(占 95% 以上)。含有少量的铬云母、锂云母、蓝闪石、赤铁矿、方解石和萤石等。白色石英岩几乎全部由石英组成, 粒径一般小于 0.2mm。颗粒越小, 质地越细腻, 性脆, 颜色为纯白色或带蓝色、带绿色的白色。

### (2) 形态

石英晶体是三方晶系矿物。石英岩玉是由结晶质的  $\text{SiO}_2$  组成的, 一般看不到石英矿物的完整晶体, 集合体呈致密块状。

### (3) 颜色

纯净的石英岩玉无色, 当含有不同的杂质元素或含有其他矿物包裹体时可呈现不同的颜色。

### (4) 其他物理性质

石英岩玉由于为多晶集合体, 因此只能用点测法测出一个折射率, 为 1.53 ~ 1.54。抛光平面可呈玻璃光泽, 断口一般呈油脂光泽。微透明 ~ 半透明。表现为集合偏光, 正交偏光镜下无消光位。由于隐晶质或显晶质石英排列的非定向性, 在集合体中见不到多色性。一般无特征光谱, 仅个别品种因含少量致色元素可产生特征的吸收光谱。密度为  $2.60\text{g/cm}^3$ , 摩氏硬度在 6.5 左右。

## 4.6.2 石英岩玉的品种

不同产地的石英岩玉的结构、次要矿物成分也有一定的差别。主要品种有东陵石、密玉、贵翠、京白玉等。

### (1) 东陵石

东陵石是绿色含铬云母石英岩。粒状结构, 颗粒较粗, 明显地可看到宛如繁星般的绿色铬云母鳞片。微透明 ~ 半透明。玻璃光泽。铬云母片呈丝绢光泽。密度  $2.70 \sim 2.80\text{g/cm}^3$ , 折射率近于 1.54。与其相似的玉石只有中国河南的密玉。区别在于密玉石英颗粒较细, 内含绢云母。东陵石是受欢迎的中档玉料。

### (2) 密玉

密玉因产在河南密县而得名, 它是一种含 3% ~ 5% 绢云母的石英岩。石英颗粒较细, 微透明 ~ 半透明。浅绿色的绢云母呈鳞片状在石英岩中稀疏分布, 颜色根据绢云母的含量不同而呈白色 ~ 浅绿色。硬度 7, 密度  $2.63 \sim 2.68\text{g/cm}^3$ , 折射率  $1.544 \sim 1.553$ , 点测为 1.54, 具玻璃光泽。目前使用的密玉常常经过染色处理。

### (3) 贵翠

贵翠产于贵州省晴隆县大厂一带。贵翠是一种含高岭石的细粒石英岩, 质地较细, 但由于含的是绿色高岭石, 所以颜色不像东陵石和密玉那样鲜艳, 高岭石的鳞片也不太明显, 再加之高岭石的分布不均匀, 所以多呈颜色分布不均匀的带灰色调的淡绿色, 用肉眼粗略观察很像劣质的翡翠。硬度 7, 密度近  $2.65\text{g/cm}^3$ , 目前只用来做低档小饰品。

### (4) 京白玉

京白玉是一种质地细腻、光泽油润的白色石英岩。因应用最早的玉料来自北京郊区, 所以取名京白玉, 实际上这种玉料在全国许多地方均有产出。京白玉呈白色, 颜

色均一，无杂质，石英颗粒细小，粒径一般小于 0.2mm，玻璃光泽，硬度 7，密度  $2.65\text{ g/cm}^3$ ，折射率 1.54。质地细腻，用肉眼观察颇似青白玉和翡翠。区别是密度小，折射率低，粒状结构。

#### 4.6.3 石英岩玉的优化处理

石英岩玉常见的优化处理方法是染色处理。染色处理的石英岩常常用来仿冒翡翠。染色处理的石英岩颜色沿着石英的粒间分布，用分光镜观察，可以看到在红区 650nm 处具有宽吸收带。

#### 4.6.4 石英岩玉与相似玉石的鉴别

从某些外表特征上，石英岩玉与翡翠、软玉、蛇纹石玉和碳酸盐岩玉相似。从颜色、光泽、结构、矿物成分、硬度、密度、折射率及吸收光谱等特征方面入手，较易将它们区分开来。

与石英岩玉相比，翡翠的颜色很少为单一白色，与白色石英岩玉的纯白色明显不同。翡翠的绿色常为条带状，这与东陵石和密玉的绿色分布较均一的情况不同。翡翠的纤维状嵌晶结构与石英岩玉的粒状结构明显不同。石英岩玉密度和折射率比翡翠低，光泽也比翡翠弱。

与石英岩玉相比，软玉的光泽柔和滋润。软玉为纤维束状结构、纤维交织结构和毡状结构，与石英岩玉的粒状结构不同。软玉的密度和折射率高。软玉结构细腻，见不到鳞片状云母闪光现象。

蛇纹石玉的硬度比石英岩玉低，折射率则比石英岩玉高，透明度好，含有白色云朵状斑块。蛇纹石玉中不含云母片，因而看不到闪闪发光的鳞片。

碳酸盐岩玉的硬度明显比石英岩玉低。折射率(约 1.48~1.66)偏高，遇稀盐酸起泡。

#### 4.6.5 石英岩玉的产地

东陵玉主要产于印度，密玉产于我国河南省密县，贵翠产于贵州晴隆，京白玉最早来源于北京郊区，现在全国各地普遍产出。

### 4.7 玉髓、木变石和硅化木

玉髓为隐晶质硅质玉，它是由隐晶质的  $\text{SiO}_2$  组成的玉石。根据结构、构造特点和杂质含量，玉髓分为玛瑙、碧玉两个品种。木变石和硅化木为交代成因的硅质岩玉。

#### 4.7.1 基本性质

##### (1) 矿物组成和化学成分

玉髓的化学成分主要是  $\text{SiO}_2$ ，呈隐晶质集合体。常含有铁、锰、镍、钙等多种微量杂质元素。木变石和硅化木由细粒石英组成。

### (2) 结构构造

隐晶质的  $\text{SiO}_2$  一般称为玉髓。如果玉髓具有带状结构，一般将其称为玛瑙，如果含有杂质，将其称为碧玉。但是，目前在商业领域常常将三者笼统地称为玛瑙。交代成因的硅质岩玉称为木变石或硅化木，它们常常保留被交代矿物或物体的结构构造。

### (3) 光学性质

玉髓、木变石和硅化木可呈现各种颜色，这与其所含的杂质有关。常见的有白色、红色、蓝色、绿色等。折射率  $1.535 \sim 1.540$ ，正交偏光镜下不消光，有玻璃光泽。

### (4) 其他物理性质

玉髓的硬度为  $6.5 \sim 7$ ，密度为  $2.55 \sim 2.7 \text{ g/cm}^3$ 。木变石的硬度为  $7$ ，密度为  $2.90 \sim 3.30 \text{ g/cm}^3$ 。硅化木的硬度为  $7$ ，密度为  $2.65 \sim 2.91 \text{ g/cm}^3$ 。

## 4.7.2 主要品种

### (1) 玉髓

超显微隐晶质石英集合体，单体呈纤维状，杂乱或略定向排列，粒间微孔内充填水分和气泡，多呈块状产出。可含 Fe, Al, Ca 等杂质，或其他矿物的细小颗粒。根据颜色和所含杂质，玉髓又可细分为白玉髓、绿玉髓、蓝玉髓、红玉髓和光玉髓等品种。

白玉髓，呈白色或灰白色，半透明～微透明，玉质细腻，矿物组成主要为微晶～细晶石英，杂质很少。

绿玉髓，我国市场上的绿玉髓主要来自澳大利亚，人们常称之为澳玉。天然绿玉髓由 Ni 或 Cr 致色。染色绿玉髓用铬盐作染色剂。

蓝玉髓，蓝色～灰蓝色，半透明～微透明。密度  $2.58 \sim 2.64 \text{ g/cm}^3$ ，蜡状光泽。台湾产的蓝玉髓含  $0.01\% \sim 0.02\%$  的铜，并含有微量的铀 ( $0.002\% \sim 0.035\%$ )。

红玉髓，为红色、棕红色的玉髓，其颜色是由于含有微量的 Fe 所致。

光玉髓，含有氧化铁呈半透明橙红色的玉髓。

### (2) 玛瑙

玛瑙的组成矿物以隐晶质的  $\text{SiO}_2$  为主，有时含有少量蛋白石及微粒石英等，为条带状隐晶质的块体，如果块体无条带构造即为玉髓。按照颜色、环带、杂质或包裹体等特点可细分出许多品种。

按颜色分类。

红玛瑙，该种玛瑙以红色为主，呈褐红色、酱红色、黄红色。除含  $\text{Fe}^{3+}$  外，尚有部分颜色灰暗的含  $\text{Fe}^{2+}$ 。天然红玛瑙中含有其他颜色的条带、条纹，其界线清晰可见。

蓝玛瑙，以蓝色为主体成分，间有白色、红色等条带及缠丝环带，界线清楚。

紫玛瑙，以紫色为主的玛瑙，最佳颜色是葡萄紫色。

白玛瑙，白色、灰白色和灰色相间分布的玛瑙。

黑花玛瑙，以黑和白为主色的玛瑙称为黑花玛瑙。黑白对比很漂亮，黑花玛瑙中



若有其他色则更好。

按条带分类。

缟玛瑙，亦称条带玛瑙，是一种颜色相对简单、条带相对平直的玛瑙，常见的缟玛瑙可有黑白相间条带或红白相间条带。当缟玛瑙的条带变得十分细窄时，又可称为缠丝玛瑙。

带玛瑙，有带状构造的玛瑙，有单色，也有多色，按不同颜色可细分为许多品种。

城寨玛瑙，在缟玛瑙或带玛瑙中有棱角状构造者，形同隐约可见的“城廓”，故称之为城寨玛瑙，类似国外有风景图案的“风景玛瑙”。

按杂质或包裹体分类。

晕玛瑙，质地有云雾状感觉的玛瑙。

苔藓玛瑙，因含绿泥石或沿裂纹有氧化锰的渗入，出现树枝状、羊齿植物状的花纹，或如同苔藓植物一样的花纹，故称之为苔藓玛瑙。

火玛瑙，为一种含深层“包裹体的玛瑙”，在玛瑙的微细层理之间含有薄层的液体或板状矿物等包裹体。在光的照射下可产生薄膜干涉效应，如果切工正确，火玛瑙将显示五颜六色的晕彩。

水胆玛瑙，这种玛瑙内部含有封闭的空洞，洞中含有天然的水和气体，摇晃时可见水在流动并发出声响。

### (3) 碧玉

碧玉是含杂质的玉髓，其中的杂质主要为氧化铁和各种黏土矿物，透明度差，多为不透明。颜色较深，一般呈深红色、暗红色、绿色或其他杂色。按照碧玉的颜色常常将其命名为红碧玉、绿碧玉、黑碧玉等，如果含有特殊矿物或具有特殊花纹，也可参加命名。例如，有些碧玉具有多种色彩，犹如风景画，可称为风景碧玉；有的碧玉中散布着许多红色斑点，可称为滴血石；有的碧玉含有大量赤铁矿，呈暗红色，可称为铁碧玉或红碧玉。

### (4) 木变石

这是一种由于  $\text{SiO}_2$  交代作用，仅保留了原矿物晶形而成的硅质玉石，也称之为假晶石英质玉石。

当蓝色钠闪石石棉被二氧化硅部分置换时，残余的钠闪石石棉及完全被置换的钠闪石石棉仍保留其纤维状晶形和假晶时的产物称为木变石。

木变石原矿物为镁钠闪石石棉。木变石由褐黄色密集排列的纤维状石英集合体组成，在高倍显微镜下观察，闪石纤维细如发丝，定向排列，交代的二氧化硅已具脱玻化现象，呈非常细小的石英颗粒。不透明，硬度为 6.5，密度  $2.9 \sim 3.0 \text{ g/cm}^3$ ，磨成薄片在偏光镜下呈现非均质集合体特征。木变石的褐黄色是由石棉析出的铁质沉淀在纤维状石英孔隙中造成的。根据木变石的颜色，常将木变石分成虎睛石、鹰睛石和斑马虎睛石等品种。

虎睛石，如果木变石的颜色为黄色～黄褐色，常将其称为虎睛石。虎睛石除褐黄色纤维外，尚有黄色和较多的蓝色纤维。另外虎睛石的石英纤维较短，而且方向不整齐，像斑块一样沿任意方向排列。如果虎睛石的显微呈定向排列，可具有猫眼效应。

鹰睛石，如果木变石的颜色呈蓝色或灰蓝色，常将其称为鹰睛石。

斑马虎睛石，如果木变石的颜色既有黄褐色又有蓝色，并且两者呈斑块状分布，则称其为斑马虎睛石。

(5) 硅化木

硅化木实际上是一种树木的化石。它是 SiO<sub>2</sub> 置换了数百万年前埋入地下的树干，并保留了树干及其结构的形态的产物。主要成分已经不再是木质，而是 SiO<sub>2</sub>，并且常含 Fe、Ca 等杂质。颜色为土黄、淡黄、黄褐、红褐、灰白、黑等，抛光后可具玻璃光泽，不透明。硬度为 7，密度为 2.65 ~ 2.91 g/cm<sup>3</sup>。按物质成分及 SiO<sub>2</sub> 存在的状态，又可分为普通硅化木、玉髓硅化木、蛋白石硅化木。玉石业所用硅化木要求颜色鲜艳、光泽强、木质结构清晰、质地致密坚韧。

4.7.3 优化处理

玉髓的优化处理主要采用热处理和染色两种方法，另外还有水胆玛瑙的注水处理。

(1) 热处理

经过热处理，可以改变或改善玉髓的颜色。玛瑙、虎睛石常常经过热处理。在热处理过程中，玛瑙或虎睛石中的 Fe<sup>2+</sup> 可以转变成 Fe<sup>3+</sup>，从而产生较鲜艳的红色。如果在还原的条件下加热，还可以转变成灰黄色或灰白色。玉髓的热处理为一种优化方法。

(2) 染色处理

玉髓和玛瑙的染色是被宝玉石界业内人士和消费者所普遍接受的方法，因此被认为是一种优化方法。目前市场上的绝大部分玛瑙制品都是经过染色处理的，经过染色处理的玛瑙表现出极其鲜艳的颜色。

(3) 水胆玛瑙的注水处理

水胆玛瑙是玛瑙腔体内含有液态水的一种玛瑙。当晃动水胆玛瑙时，可以听见腔体内水晃动的响声。有的水胆玛瑙甚至能够透过表面看到腔体内部包含的水。但是，如果水胆玛瑙有较多裂隙时，或在加工过程中产生裂缝时，水胆中的水便会缓慢溢出，直至干涸，整个水胆玛瑙失去工艺价值。为了提高它的价值，有人将玛瑙浸于水中，利用毛细作用，使水进入腔体，或采用注入法使水回填，然后用胶将细小的缝隙堵住。水胆玛瑙的注水处理是一种处理方法。

4.8 绿松石

4.8.1 绿松石的基本性质

(1) 矿物组成与化学成分

绿松石玉主要组成矿物是绿松石，常含埃洛石、高岭石、石英、褐铁矿、磷铝石等杂质，这些杂质的加入比例将直接影响绿松石的质量。绿松石矿物是一种含水的铜

铝磷酸盐类矿物，其分子式为  $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 。其主要化学成分的质量分数分别为： $\text{SiO}_2$  34.12%， $\text{Al}_2\text{O}_3$  36.84%， $\text{CuO}$  9.57%， $\text{H}_2\text{O}$  19.47%。但我国(湖北和安徽)、美国、伊朗、埃及、哈萨克斯坦等地区的绿松石的化学成分与其矿物理论值有一定差异，与其中含有  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ， $\text{MnO}$ ， $\text{CaO}$ ， $\text{ZnO}$  及  $\text{SO}_2$  等杂质有关。

#### (2) 形态

绿松石属三斜晶系，晶体极少见，偶见有短柱状单晶。通常见到的绿松石为隐晶质~非晶质集合体。

#### (3) 颜色

晶体呈蓝色；块体呈深蓝色、浅蓝色、淡绿色、蓝绿色或黄绿色。 $\text{Cu}^{2+}$  对绿松石的基本颜色(天蓝色)起决定性作用。含  $\text{Fe}^{3+}$  者，则呈黄色、绿色。

#### (4) 其他物理性质

硬度为 5.5~6。密度为  $2.4 \sim 2.9 \text{ g/cm}^3$ ，常见值为  $2.76 \text{ g/cm}^3$ 。折射率为  $1.61 \sim 1.65$  (一般情况下绿松石不能接触浸油)，双折射率为 0.040。绿松石在查尔斯滤色镜下呈淡绿色。晶体呈玻璃光泽，块体呈蜡状光泽。不透明，脆性。在蓝区 420nm 处，有一不清晰的吸收带，432nm 处有一强的窄吸收带，有时在 460nm 处，有一模糊的吸收带。质量最好的绿松石称为“瓷松”，其摩氏硬度可达 5.5~6，但是常见的绿松石由于脱水作用使其密度和硬度都有所降低，硬度最低的绿松石摩氏硬度仅为 2.9。

### 4.8.2 绿松石的品种

#### (1) 按照绿松石的颜色划分

蓝色绿松石，蓝色，不透明块体，有时为暗蓝色；

浅蓝色绿松石，浅蓝色，不透明块体；

蓝绿色绿松石，蓝绿色，不透明块体；

绿色绿松石，绿色，不透明块体。

#### (2) 按绿松石的致密度和硬度分为三个等级

摩氏硬度 5.3~6，性脆而柔，断口近贝壳状，质地细腻，经抛光后好像上了釉的瓷器，这类绿松石称为“瓷松”。

摩氏硬度 4.5~5.3，断口平坦，或有丝麻茬，质地较细，仅次于“瓷松”，这类绿松石称为“硬绿松石”。

摩氏硬度 4.5 以下，质地松软，断口参差呈粒状，这类绿松石称为“面松”或“泡松”。

### 4.8.3 绿松石与仿制品及相似宝玉石的鉴别

#### (1) 再造绿松石

这类仿制品是由塑料或树脂将绿松石或其他材料的碎粒黏结而成。用绿松石料黏结的产品特征是：在 10 倍放大镜(或显微镜)下可见粒状结构，在浅蓝色基质中有蓝色角砾状斑块。密度( $2.20 \sim 2.55 \text{ g/cm}^3$ )低于天然绿松石的密度。用非绿松石材料制成的仿制品的密度为  $2.40 \sim 2.60 \text{ g/cm}^3$ ，个别达  $2.75 \text{ g/cm}^3$ ，也比天然绿松石的密度低。

### (2) 合成绿松石

天蓝色，颜色均一，在 50 倍放大镜下观察可见球粒状结构。

### (3) 玻璃

玻璃不具有绿松石的结构。在 10 倍放大镜下，可看到气泡。检查宝石边棱和钻眼处的缺口上的光泽和断口，玻璃仿制品的缺口呈玻璃光泽，贝壳状断口。绿松石缺口表面呈暗淡的蜡状光泽，断口往往是平滑的。玻璃的密度可达  $3.33\text{g/cm}^3$  左右，相似的瓷的密度为  $2.3 \sim 2.4\text{g/cm}^3$ ，都在绿松石的密度范围之外。

### (4) 染色菱镁矿

一种碳酸盐矿物集合体，粒状结构，玻璃光泽，有人工着色的痕迹，遇酸起泡。

### (5) 磷铝石

磷铝石的折射率(1.58)和密度( $2.40 \sim 2.60\text{g/cm}^3$ )较绿松石低，红区中有两条吸收带。磷铝石的颜色通常不像绿松石那么蓝。

### (6) 天蓝石

天蓝石的折射率(1.62)与绿松石相近，其密度( $3.10\text{g/cm}^3$ )明显地大于绿松石。玻璃光泽，不具绿松石的结构，透明度比绿松石高。

### (7) 硅孔雀石

硅孔雀石与绿松石的物理性质有明显的不同。它的折射率(约 1.50)和密度(约  $2.0 \sim 2.5\text{g/cm}^3$ )都比绿松石的低。

### (8) 染色玉髓和碧玉

染色玉髓和碧玉呈玻璃光泽，透明度好，折射率 1.54，有时见环带构造，在查尔西滤色镜下显粉红色，均与绿松石不同。

## 4.8.4 绿松石的优化处理及其鉴别

绿松石是一种古老的玉石，其人工优化处理方法归纳起来大致有以下几种。

### (1) 浸蜡处理

当灌注油和蜡时，可用热的针尖靠近，但不要接触宝石的表面，油和蜡将会渗出，而形成球珠。用放大镜进行观察，效果更好。

### (2) 染色处理

将绿松石成品浸于无机或有机染料中，使其染色。染色绿松石颜色不自然。国内市场上的染色绿松石常呈深蓝绿色或深绿色，且过于均匀，这种颜色与天然的天蓝色绿松石有着明显的差别，给人以不真实感。且颜色仅在浅部，一般在 1mm 左右，在样品表面的剥落处和样品背后的坑凹处，有可能露出浅色的核。部分染色绿松石在作氨水试验时可以掉色，用蘸氨水的棉球擦拭，棉球上可沾有蓝绿色。

### (3) 充填处理

为了填补绿松石的孔隙，可注入塑料。注入塑料的绿松石的折射率( $1.45 \sim 1.56$ )和密度( $2.0 \sim 2.4\text{g/cm}^3$ )比天然绿松石的折射率和密度都低。灌注硅酸钠(水玻璃)的绿松石的密度偏低( $2.40 \sim 2.70\text{g/cm}^3$ )，以此可与未经处理的绿松石相区别。

## 4.8.5 绿松石的质量评价

绿松石的质量可以从颜色、密度、硬度、花纹和块度等方面来评价。

一级品(波斯级)绿松石呈蓝色~天蓝色,颜色均一柔和,微透明,表面呈玻璃光泽;二级品(美洲级)绿松石呈浅蓝色、不透明,颜色不够鲜艳;三级品(埃及级)绿松石呈蓝绿色或绿蓝色,在淡色底子上有深蓝色色斑,质地较细,多孔,吸水性强;四级品(阿富汗级)呈浅或暗的黄绿色,铁线多的无商业价值。

#### 4.8.6 绿松石的成因与产地

世界著名绿松石矿床在地质结构和绿松石堆积类型上相当一致。属外生淋滤成因的,都与含磷和含铜硫化物矿化岩石的线性风化壳有关。这些岩石可以是年轻的酸性喷出岩(流纹岩、粗面岩、石英斑岩、二长岩等)和花岗岩,也可以是含磷的沉积岩(页岩、砂岩、粉砂岩)。

伊朗尼沙普尔矿床,位于伊朗东北部,长期以来都是世界优质绿松石的来源。绿松石产在早第三纪灰岩和砂岩中,被断裂切割,并被粗面岩和玄武岩覆盖。在构造破碎带的角砾岩和粗面岩中,见有黄铁矿、黄铜矿、磷灰石细脉。绿松石呈细脉状、树枝状赋存在角砾岩、粗面岩的破碎带上,沿构造裂隙充填沉积。

中国湖北云盖寺矿床,绿松石赋存在下寒武统的黑色含碳、含泥硅质页岩和硅质板岩的构造破碎带中,矿床呈透镜状、结核状、镶嵌状、脉状充填在构造裂隙中。

目前,世界绿松石的产出大国有伊朗、智利和美国。中国、澳大利亚、墨西哥、秘鲁和俄罗斯也有绿松石产出。

### 4.9 青金石

#### 4.9.1 青金石的基本性质

##### (1) 矿物组成与化学成分

青金石主要矿物组成是青金石,并可有方解石、黄铁矿、方钠石、透辉石、云母、角闪石等矿物,其主要化学成分为 $(\text{Na}, \text{Ca})_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{SO}_4, \text{Cl}, \text{S})_2$ 。青金石中还常见有透辉石、方解石、黄铁矿等矿物,偶尔含有方钠石和蓝方石。在阿富汗青金石玉料中,青金石矿物仅占25%~40%。

##### (2) 形态

玉石青金石主要由矿物青金石组成,青金石矿物为等轴晶系,晶形为菱形十二面体,玉石青金石为粒状矿物集合体。

##### (3) 颜色

青金石常呈暗蓝色、天蓝色、紫蓝色或绿蓝色。含黄铁矿时出现“金星”;含方解石时出现白色团块或斑点。

##### (4) 其他物理性质

呈块状集合体,断口为粒状、不平整,硬度5~6,密度 $2.50 \sim 2.80 \text{ g/cm}^3$ ,折射率1.50,呈玻璃~树脂光泽,不透明~半透明。在短波紫外线下可发绿色或白色荧光,青金石内的方解石在长波紫外线下发褐红色荧光。

4.9.2 青金石的品种

按矿物成分、色泽、质地和工艺美术特征的差异，可将青金石质玉石分为以下四种。

(1) 青金石

青金石即“普通青金石”。呈浓艳均匀的深蓝色、天蓝色，青金石矿物含量在 99% 以上，无黄铁矿，有“青金不带金”之称，其他杂质矿物很少，因而质地纯净，为青金石王国的最佳品种。

(2) 青金

青金质纯色浓，呈浓蓝色、艳蓝色～深蓝色、翠蓝色或藏蓝色，色泽均匀，青金石矿物质量分数在 90%～95% 以上，细密、无杂质、无白斑，含微量“金星”，即黄铁矿，有“青金必带金”之称，为青金石质玉石中的上品。

(3) 金克浪

金克浪呈深蓝色、天蓝色、浅蓝色，但不太浓艳和均匀，青金石矿物的质量分数比上述两种大为减少，是一种含有大量黄铁矿的青金石块体，通常含有较多的黄铁矿微粒。经过抛光以后，如同金龟子的外壳一样金光闪闪，所以有“金克浪”之称。

(4) 雪花催生石

浅蓝色，含有较多的白色方解石，青金石矿物的质量分数较少，一般不含黄铁矿，为青金石中的质次者。据说这种青金石入药可以帮助孕妇“催生”，因此被称为“催生石”。“催生石”抛光后，在深蓝色的底子上，似有纷飞的点点雪花，故有“雪花催生石”之称，此类青金石质玉石一般质量较差，少数质优者可作玉雕用。

4.9.3 青金石与合成青金石的鉴别

(1) 结构

合成青金石结构细而均匀，质地细腻。而天然青金石结构粗细不匀，质地细腻程度差。

(2) 颜色

合成青金石颜色(蓝色)分布均匀。天然青金石中常含方解石形成的白色条纹或条带。

(3) 杂质矿物包体

合成青金石过程中，常掺入角砾状黄铁矿杂质成分，而天然青金石中的黄铁矿呈斑点状，棱角较圆滑，为粒状。

(4) 孔隙度

合成青金石中孔隙较多，可用放大镜及宝石显微镜进行观察。将其放入水中数分钟后，取出再称重，其质量明显增加，表明有很多水渗入到孔隙中。

(5) 透明度

天然青金石的边部较薄处，呈微透明。而合成青金石的边部则不透明。

(6) 硬度

合成青金石的硬度(4.5)比天然青金石的硬度低。

#### 4.9.4 青金石与相似玉石及仿制品的鉴别

与青金石相似的玉石主要有蓝铜矿、方钠石、蓝线石石英岩、合成蓝色尖晶石等。

##### (1) 蓝铜矿

蓝铜矿在盐酸中起泡。青金石的硬度比蓝铜矿大，用小刀刻之即可进行鉴别；而密度则相反，青金石仅为  $2.5 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ ，蓝铜矿为  $3.7 \sim 3.9 \text{ g/cm}^3$ ，用手掂一掂即可进行鉴别。在蓝铜矿集合体中看不到白色条纹状方解石和金黄色小点的黄铁矿分布。

##### (2) 方钠石

青金石的颜色与方钠石相近，但是二者的结构不同。方钠石为粗晶质结构，可见到不完全解理面，青金石多为粒状结构，并且青金石的粒度很细，青金石内常见黄铁矿晶体包裹体；方钠石的颜色往往呈斑块状，在蓝色的底色上常见白色或深蓝色斑痕，也常见白色或淡粉红色脉纹，内部很难见到黄铁矿包裹体。方钠石的密度 ( $2.15 \sim 2.35 \text{ g/cm}^3$ ) 明显低于青金石 ( $2.7 \sim 2.9 \text{ g/cm}^3$ )。

##### (3) 蓝线石石英岩

蓝线石是一种硼硅酸盐，晶体呈针状、纤维状，常呈蓝色、蓝绿色、紫色、玫瑰红色。含蓝线石的石英岩呈蓝色，为半透明，玻璃光泽，层状构造，折射率较高，为 1.53，密度较高者为  $3.30 \text{ g/cm}^3$ 。金属包裹体可能出现，但与青金石中的黄铁矿不同，蓝线石石英岩内的金属矿物包裹体呈灰色。

##### (4) 染色碧玉

青金石与染色碧玉在颜色上比较相似。但是青金石的颜色分布均匀而染色碧玉颜色分布不均匀，颜色在条纹和斑块中富集，不存在黄铁矿，断口为贝壳状；在查尔斯滤色镜下通常不显红褐色，折射率较高 (1.53)，密度较低 ( $2.6 \text{ g/cm}^3$ )。条痕测试时，青金石的条痕通常为浅蓝色，而碧玉不留下条痕。

##### (5) 合成尖晶石

合成尖晶石为明亮的蓝色，颜色分布均匀，具粒状结构，可含有细小的金斑以模仿黄铁矿，光泽比青金石强得多，且通常抛光良好。透过查尔斯滤色镜观察，这种材料呈明亮的红色，它完全不同于青金石的红褐色，折射率 (1.72) 高于青金石，密度 ( $3.52 \text{ g/cm}^3$ ) 也较高，如果使用分光镜可以观察到红、绿、蓝区有带状的钴谱。

##### (6) 染色大理岩

染色大理岩在放大检查时，可以发现染色大理岩的颜色集中在裂隙和颗粒边界处，染料可被丙酮擦掉。大理岩的硬度为 4，小于小刀。大理岩与盐酸反应，青金石不与盐酸反应。

##### (7) 玻璃

用于仿青金石的蓝色玻璃不具有青金石的粒状结构，并可含有气泡和漩涡纹理，天然青金石透明度差，只有在边部较薄处表现为微透明，玻璃透明度高。玻璃仿冒品没有白色方解石条纹或条带。

4.9.5 青金石的优化处理

(1) 染色处理

对颜色差的青金石常进行染色。染色青金石的颜色较均一，无白色条纹或条带。用蘸丙酮的白棉球摩擦它的表面，白棉球会被染色。

(2) 涂蜡处理

染色的青金石涂蜡后，颜色好看，光泽较强，可使染色剂固定，不易摩擦脱落。检测涂蜡青金石最简便的办法是用热针靠近其表面，在放大镜下，可看到表面的蜡熔化，形成蜡珠。

4.9.6 青金石的质量评价

评价青金石的主要依据是颜色、杂质、裂纹和质地等。

深蓝色、无裂纹、质地细腻含杂质极少者为上品，颜色杂而不均、裂纹杂质多为下等品。几乎不含方解石但有星点状黄铁矿的青金石价值也较高。

4.9.7 青金石的产地

世界上青金石的主要生产国是阿富汗，其次是俄罗斯、智利、美国、巴西、意大利、澳大利亚等，加拿大也发现有几个青金石矿化点。

中国的青金石资源所知极少，但矿化点有所报道，近年来在西昆仑地区伟晶岩与大理岩接触带发现呈紫蓝色、蓝色，具玻璃光泽的青金石。另外西藏那曲地区已有青金石发现，当地将其用作藏药。

4.10 方钠石

方钠石虽然很少含有黄铁矿包裹体，但常与白色矿物组成纹理，因此外貌与智利青金石类似，常被误称为“加拿大青金石”。

方钠石的化学成分为  $\text{Na}_8[\text{AlSiO}_4]_6\text{Cl}_2$ ，其中 Na 可被 K 和 Ca 少量替代，为等轴晶系，很少以单晶体产出，有时呈菱形十二面体，一般呈致密结核状或浸染状、条带状集合体。方钠石多为蓝色，通常带有白色或粉红色的条纹和色斑，也可呈紫色、粉红色或白色。方钠石多呈玻璃~油脂光泽，解理面上可具珍珠光泽，呈半透明~不透明。集合体多不透明，均质体，无多色性。折射率为 1.483~1.490，点测值为 1.48。方钠石常有斑杂状的橙色紫外荧光。未见特征吸收光谱。方钠石的密度 2.15~2.40g/cm<sup>3</sup>，常见值为 2.25g/cm<sup>3</sup>。硬度 5~6。

与方钠石相似的玉石主要为青金石和硅孔雀石。方钠石很少含黄铁矿包裹体；青金石密度 2.7~2.9g/cm<sup>3</sup>，高于方钠石。方钠石通常结构较粗，而青金石结构较细。硅孔雀石是隐晶质或非晶质，无解理，多呈绿色、浅蓝绿色，硬度 2~4，明显低于方钠石。

方钠石产于霞石正长岩中，是富钠贫硅岩浆的结晶产物，常与长石、锆石、石榴石、霞石和钙霞石伴生。美国缅因州和加拿大安大略省产出优质蓝色方钠石。此外，



俄罗斯的乌拉尔山，意大利的维苏威山，挪威、德国和玻利维亚均有方钠石产出。在非洲西南还发现了一种鲜蓝色几乎透明的方钠石。

## 4.11 孔雀石

孔雀石玉为一种单矿物岩，主要组成矿物为孔雀石，化学成分为  $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$ ，为单斜晶系，单晶体多呈细长柱状、针状，集合体通常为具同心环带结构的块状，也有的呈钟乳状、皮壳状、结核状、葡萄状、肾状。常呈绿色，有浅绿、艳绿、孔雀绿、深绿和墨绿等颜色，其中以孔雀绿为最佳。结晶体呈金刚光泽，块体光泽暗淡。透明度为半透明、微透明或不透明。折射率  $1.66 \sim 1.91$ ，硬度  $3.5 \sim 4.5$ ，密度  $4.05 \text{ g/cm}^3$ （纤维块体有时低到  $3.6 \text{ g/cm}^3$ ）。二轴晶，负光性。由于透明度差，多数单晶孔雀石见不到多色性。紫外线下荧光惰性。无特征吸收谱。

孔雀石可分为宝石级孔雀石、玉石级孔雀石、青孔雀石、孔雀石猫眼、天然艺术孔雀石等品种。

孔雀石具有鲜艳的翠绿色，这种颜色特征属其独有，所以很容易与其他玉石区别。在查尔斯滤色镜下，其绿色无变化。常具同心环带构造，遇盐酸起泡。

根据孔雀石的一系列特征可以很容易将其与其他相似玉石区分开。与孔雀石相似的玉石主要有绿松石，但绿松石颜色主要是蓝色带绿，密度比孔雀石小，硬度比孔雀石大。也有用具有绿色条带的玻璃来仿冒孔雀石的，主要区别在于玻璃的条纹短而宽度不稳定，玻璃见不到丝绢光泽，贝壳状断口，并且玻璃里面可以有气泡，密度小于孔雀石。

自然界中孔雀石主要产于铜的硫化矿床的氧化带，与蓝铜矿、褐铁矿等共生。我国孔雀石主要产于长江中下游的铜矿床中，如湖北东南部的铜绿山、赣西北、安徽、广东、内蒙古、甘肃、西藏和云南等地。国外孔雀石的产地主要有赞比亚、澳大利亚、纳米比亚、俄罗斯、刚果(金)、美国、意大利和罗马尼亚等。

## 4.12 萤石

萤石的化学成分为  $\text{CaF}_2$ ，含杂质较多，还常含有少量的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3$ ， $\text{SiO}_2$  和微量的  $\text{Cl}$ ， $\text{O}_3$ ， $\text{He}$  等，为等轴晶系。单晶主要为立方体，少数为菱形十二面体、八面体。纯净的萤石无色，但因含有较多的  $\text{Y}$ ， $\text{Ce}$ ， $\text{Ca}$  等元素，造成萤石结构空位，产生色心而致色。常见的有浅绿、深绿、蓝、绿蓝、黄、酒黄、紫、紫罗兰、灰、褐、玫瑰红、深红等各种颜色。玻璃光泽，透明  $\sim$  半透明，折射率  $1.438 (\pm 0.01)$ 。均质体，无多色性。紫外光照射下萤石可有紫色或紫红色荧光，阴极射线萤石可发紫色或紫红色光。某些萤石有热发光性，即在酒精灯上加热，或太阳光下曝晒可发出磷光。紫色萤石具有摩擦发光的特性。萤石的可见光的吸收光谱不特征，变化较大，一旦有吸收，吸收线表现得很明显。

按工艺用途，萤石可分为宝石级和玉石级两种。按常见颜色，萤石可分为绿色、

紫色、蓝色等品种。

世界宝石级萤石主要分布于美国、哥伦比亚、加拿大、英国、纳米比亚、奥地利、瑞士、意大利、德国、捷克、斯洛伐克、俄罗斯、澳大利亚和南非等国家。例如，美国的伊利诺伊州、肯塔基州等产紫、紫罗兰、蓝、黄、褐等颜色及无色透明萤石，新罕布什尔州和纽约州产鲜绿色萤石。哥伦比亚产绿色萤石。加拿大安大略产无色透明萤石晶体。英国康瓦尔产白、蓝、紫罗兰、淡红褐等颜色萤石。纳米比亚产祖母绿色萤石。中国各个省区几乎都找到了萤石资源，其中宝石级萤石主要分布于浙江、安徽、江西、福建、河南、湖北、湖南、广西、四川、贵州、青海和新疆等地。

4.13 碳酸盐类玉石

碳酸盐类玉石常见的矿物品种有方解石、白云石、菱锌矿、菱锰矿、菱镁矿等。

4.13.1 方解石

方解石可形成较大的晶体而被切磨成宝石，但因硬度低、遇酸易溶解及解理发育而不适合制作首饰，经常作为收藏品。无色透明的方解石晶体称为冰洲石，具明显双折射，是一种光学材料。以方解石为主要矿物的大理岩在装饰材料中早已被广泛使用，作为玉石的大理岩常用作雕刻品。

方解石的化学成分为  $\text{CaCO}_3$ ，三方晶系，具三组菱面体完全解理，晶形多变，多以集合体形式出现。可具各种颜色。玻璃光泽，透明~半透明，一轴晶，负光性。折射率  $1.486 \sim 1.658$ ，双折射率  $0.172$ 。方解石的摩氏硬度为  $3$ ，密度为  $2.70\text{g/cm}^3$ 。遇稀盐酸溶解。

玉石级方解石工艺要求是结晶颗粒细小、致密、无杂质、块度大、颜色鲜艳。我国云南大理所产的条带状大理石闻名于世，其间的条带有黑色、绿色和不同的形状，构成了一幅幅形象逼真的山水画，成为上等装饰材料。

方解石的产地主要有美国、墨西哥，其次有英国、法国、德国、冰岛、意大利、巴基斯坦、罗马尼亚、俄罗斯、中国等。

4.13.2 白云石

白云石很少以单矿物出现，所以极少成为宝石，多以集合体形式出现，常与方解石共生。化学成分为  $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ ，三方晶系，具三组菱面体完全解理。白色和黄色比较常见。玻璃光泽，多为半透明。一轴晶，负光性。折射率  $1.486 \sim 1.658$ ，双折射率  $0.172$ 。集合体无多色性。紫外线下白云石可有橙、蓝、绿、绿白等多种颜色荧光。摩氏硬度为  $3$ ，密度  $2.60 \sim 2.90\text{g/cm}^3$ ，遇盐酸溶解。

以白云石为主要矿物的白云岩可用作雕刻原料，产于新疆哈密黄色白云石常被称为密蜡黄玉。

4.13.3 菱锌矿

菱锌矿的化学成分为  $\text{Zn}[\text{CO}_3]$ 。三方晶系，具三组菱面体完全解理。多以柱状或

纤维状集合体出现，呈皮壳状、肾状等。黄色、黄绿色、淡蓝色的比较常见。玻璃光泽，半透明。一轴晶，负光性。折射率  $1.621 \sim 1.849$ 。集合体无多色性。紫外灯下无～强荧光，并可有各种荧光颜色。无特征吸收谱。硬度 3，密度  $4.15 \sim 4.45 \text{ g/cm}^3$ ，常见值为  $4.30 \text{ g/cm}^3$ ，遇盐酸溶解。菱锌矿可用作雕刻原料。

#### 4.13.4 菱锰矿

菱锰矿的化学成分为  $\text{Mn}[\text{CO}_3]$ 。三方晶系，具三组菱面体完全解理。常呈多晶集合体。常见粉色、粉红色，常有白色、灰色、褐色或黄色条带，也常见有红色与粉色相间的条带。玻璃光泽，透明～半透明。一轴晶，负光性。折射率  $1.597 \sim 1.817$  ( $\pm 0.003$ )，双折射率 0.220。集合体无多色性。长波紫外线下无～中等粉色，短波紫外线下无～弱的红色。具 410nm 暗带，450，545nm 弱吸收带。摩氏硬度 3～5，密度  $3.45 \sim 3.70 \text{ g/cm}^3$ ，常见值为  $3.60 \text{ g/cm}^3$ 。遇酸溶解。

菱锰矿颗粒大、透明、颜色鲜艳者可做宝石，颗粒细小、半透明的集合体可以作为玉雕原料。菱锰矿的仿制品主要是一种粉红色的玻璃，玻璃仿制品可通过解理、密度、双折射、光性等方面加以区别。

菱锰矿主要产于阿根廷、澳大利亚、德国、罗马尼亚、西班牙、美国、南非等地。

### 4.14 天然玻璃

天然玻璃是指在自然条件下形成的玻璃。在宝石学中根据成因可以把天然玻璃划分为黑曜岩、玄武岩玻璃和玻陨石等。

#### 4.14.1 黑曜岩

黑曜岩是酸性火山熔岩快速冷凝的产物。主要化学成分为  $\text{SiO}_2$ ，其质量分数为 60%～75%，此外还含有  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ， $\text{FeO}$ ， $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ， $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{K}_2\text{O}$  等。几乎全部由玻璃质组成，通常会有少量石英、长石等矿物的斑晶和骸晶。

黑曜岩从透明～不透明都可出现。颜色从黑色～褐色、红色、黄色和灰色，乃至很浅的微绿色或微蓝色。最常见的是不透明～半透明的黑色～微褐暗红色的黑曜岩。黑曜岩有若干变种，例如条带状黑曜岩(其条带有点像玛瑙，不同之处仅在于条带呈波状起伏而不呈曲线状)和菊花状黑曜岩(黑色基质中分布着由结晶  $\text{SiO}_2$  构成的白色斑块)。

受成分的影响，黑曜岩的折射率为  $1.48 \sim 1.52$ ，常测值为 1.49。摩氏硬度接近 5，常呈贝壳状断口。密度  $2.33 \sim 2.46 \text{ g/cm}^3$ 。

宝石级黑曜岩的主要产地在北美，如著名的美国黄石国家公园及科罗拉多州、内华达州、加利福尼亚州等地。意大利、墨西哥、新西兰、冰岛、希腊等国也出产宝石级黑曜岩。

4.14.2 玄武岩玻璃

玄武岩玻璃是玄武岩浆喷发时快速冷凝形成的。与黑曜岩类似，也是一种以天然玻璃为主的火山岩，通常玄武岩玻璃多为碱性玄武岩的喷发物。玄武岩玻璃多为带绿色色调的黄褐色、蓝绿色。在成分上与黑曜岩有所区别， $\text{SiO}_2$  的质量分数为 40% ~ 50%，而  $\text{MgO}$ ， $\text{FeO}$ ， $\text{H}_2\text{O}$ ， $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{K}_2\text{O}$  等的质量分数要比黑曜岩中的高一些。玄武岩玻璃的密度为  $2.70 \sim 3.00\text{g}/\text{cm}^3$ 。折射率为  $1.58 \sim 1.65$ 。玄武岩玻璃中常含长石、辉石等矿物的微晶。玄武岩玻璃的著名产地有澳大利亚的昆士兰州。

4.14.3 玻陨石

玻陨石是陨石成因的天然玻璃，通常认为是石英质陨石在坠入大气层燃烧后快速冷却形成的。它的颜色通常呈透明的绿色、绿棕色或棕色。其原石表面常具有非常特征的高温熔融的结构，玻陨石的内部还常见圆形气泡及塑性流变构造等。玻陨石的密度  $2.34 \sim 2.42\text{g}/\text{cm}^3$ ，常见值为  $2.38\text{g}/\text{cm}^3$ 。折射率  $1.48 \sim 1.51$ ，常见值为 1.49。

玻陨石著名产地有捷克的波西米亚，利比亚，美国的得克萨斯，澳大利亚的西部及东南地区，以及我国的海南岛等地。在鉴定中，天然玻璃较易与人造玻璃相混，但从以下几点可将天然玻璃与人造玻璃区分开来：人造玻璃的折射率变化范围很大，为  $1.40 \sim 1.70$ ，而天然玻璃的折射率是相对固定的；人造玻璃的密度随添加剂的变化而变化，天然玻璃的密度相对固定；在放大检查中可以发现天然玻璃中有“雏晶”包裹体存在，而人造玻璃中常见有气泡。

4.15 丁香紫玉

丁香紫玉的主要组成矿物是锂云母，其次有少量锂辉石、钠长石、石英和铯榴石等。锂云母属单斜晶系，其单晶呈鳞片状，具一组完全解理，集合体常呈厚板状或短柱状的假六方形。呈丁香紫色、玫瑰紫色。单晶锂云母的折射率为  $1.524 \sim 1.537$ ，玻璃光泽，透明及微透明。二轴晶，负光性，集合体只能用点测法测得一个近似的数值，变化于  $1.54 \sim 1.56$  之间。紫外灯下一般表现为荧光惰性。未见特征光谱。摩氏硬度  $3.2 \sim 3.7$ ，密度  $2.85\text{g}/\text{cm}^3$ 。

与丁香紫玉易混的宝玉石品种不多，仅在颜色上丁香紫玉与紫色萤石、紫色水晶有相似之处，但是后二者在硬度、折射率等物性常数上与丁香紫玉有着明显的差异。另外，后二者是单晶矿物，而丁香紫玉则是矿物集合体，因此在正交偏光镜下仔细观察是不难区分的。

丁香紫玉产于钠~锂型花岗伟晶岩中，为花岗伟晶岩交代作用后期的产物，其中的共生矿物有钠长石、铯榴石、锂辉石和石英等。这种玉最初发现于我国新疆，分布于天山、阿尔泰山等地，如哈密地区。继新疆之后，陕西也发现了丁香紫玉。

## 4.16 寿山石

寿山石主要由地开石组成，其次是珍珠石、高岭石、伊利石、叶蜡石、滑石和石英，另含少量硬水铝石、红柱石、绿帘石和黄铁矿等。地开石的化学成分与高岭石完全相同，都为  $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_4$ 。由于二者的成分相同，结构相似，物理性质基本相同，因此用常规方法无法将二者区分开。二者的区别仅在于内部结构层的重叠方式不同，因而晶格常数和晶体结构不同，用 X 射线衍射可以将二者区分开来。寿山石是多种矿物的集合体，因此其化学成分有一定的变化。其中田黄石的化学组分的质量分数分别为： $\text{SiO}_2$  45.35%， $\text{Al}_2\text{O}_3$  37.19%， $\text{FeO}$  0.12%， $\text{CaO}$  0.02%， $\text{MgO}$  0.02%， $\text{K}_2\text{O}$  0.66%， $\text{Na}_2\text{O}$  0.03%。寿山石主要呈隐晶质结构、细粒结构、显微鳞片变晶结构，其次为变余凝灰结构及变余角砾结构等，并具有团粒状超微结构。

寿山石通常呈白、黄白、红、粉红、紫红、黄、褐黄、黄绿、绿、黄褐、黑褐等各种颜色。寿山石的颜色是因含有一定量的色素离子或有机质所致。一般呈蜡状光泽，个别透明度好者呈油脂光泽，其抛光面一般呈蜡状光泽或油脂光泽，个别可呈玻璃光泽。寿山石多呈不透明~微透明，个别“晶地”寿山石近于透明。折射率 1.560~1.569，点测值为 1.56。在长波紫外线照射下寿山石发弱的乳白色荧光。硬度 2~3，密度  $2.65 \sim 2.70 \text{ g/cm}^3$ ，可雕性好，常做成雕刻工艺品和印章。

寿山石主要产于福建省福州市北部的寿山乡和月洋村。按寿山石的形成、产状和分布规律，可将其分成田坑石、水坑石和山坑石。

### (1) 田坑石

田坑石按产地不同，有上坂、中坂、下坂和礁下之分。田坑石的命名主要按色泽区分品种，辅之以石质产地。田黄石是田坑石中最常见的品种，凡黄色的田石均称“田黄”，以中坂田中所产质量最佳。田黄石的表皮多具微透明黄色层，肌里则玲珑透彻，萝卜纹细而密，条理清晰。按质地的颜色可分多种，白色者称为白田，红色者称为红田，黑色者称为黑田等。其中质地细腻、半透明或透明者称为田黄冻。白田外层具有黄色的称作金裹银，田黄石外裹白色层者称为银裹金。

### (2) 水坑石

水坑石无石皮，偶含萝卜纹，间有红筋，石色内外一致，石性坚硬。水坑石主要有坑头晶、坑头冻、坑头石等品种。坑头晶石质晶莹透明，呈透明~半透明；坑头冻石质似胶冻，呈半透明~微透明；坑头石微透明~不透明。主要品种有水晶冻石、黄冻石、天蓝冻石、鱼脑冻石、牛角冻石、环冻石、鳝鱼冻石、坑头冻石及掘性坑头石等，其色泽多为黄、白、灰、蓝等颜色。

### (3) 山坑石

山坑石是寿山地区的高山、旗山、月洋三个山头方圆几十公里的矿洞中产出的矿石。山坑石因产地不同，矿脉赋存的地质条件、矿物组合及微量元素的差异各具特色，使得山坑石色泽丰富，“人间诸色它俱在，人间所无它也有”。其名目也特别多，石种有以产地命名的，例如，高山石、铁头岭石、虎岗石、尼姑寮石等；有以色相命

名的，如桃花冻高山石、艾叶绿石、藕尖白芙蓉石等；有以地形环境、民间传闻等命名的，例如，太极头高山石、马背石、无头佛坑石等。山坑石矿洞星罗棋布，品种有一百余种，既有历经千年以上的宋代老坑洞，也有近年才开采的新坑洞。所以说，山坑石是寿山石开采历史最悠久，品种最丰富，资源量最大的人间美石。

山坑石既无石皮，又无萝卜纹，石色内外一致，石质较疏松干燥。

寿山石的处理方法主要有热处理、染色处理和覆膜处理。热处理是用烟熏或加化学试剂或恒温加热，将其表面处理成黑色或红色。其颜色分布均匀完整，且仅在浅表面，无萝卜纹。染色处理是用蒸煮或罩染等方法将寿山石染成黄色或红色～暗红色，以仿田黄。其颜色沉淀集中于裂隙或孔洞中，无萝卜纹。覆膜处理是用黄色石粉与环氧树脂混合均匀，涂染于表面，制成假石皮，以仿田黄。其表面光泽异常，易具擦痕。刮下石粉呈黄色，石质较干燥，无萝卜纹。

#### 4.17 鸡血石

鸡血石指地开石中含有红色辰砂矿物的品种。鸡血石中红色部分辰砂称为“血”；而红色以外的部分称为“地”、“地子”或“底子”。所谓“地子”，是指鸡血石颜色的主体部分，即基色调。鸡血石主要用于雕刻印章或图章，因而也被称之为“印章石”或“图章石”。

地开石的化学成分与高岭石相同，都为  $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_4$ 。鸡血石主要由地开石（质量分数约 85%～95%）、辰砂（质量分数约 5%～15%）组成，并含高岭石、珍珠石、明矾石、黄铁矿和石英等（质量分数约 1%～5%）杂质。化学成分主要有  $\text{SiO}_2$ （质量分数 43.50%）、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ （质量分数 35.75%）、 $\text{H}_2\text{O}$ （质量分数 12.57%）。可见，鸡血石的实测化学组成与高岭石族矿物的化学组成很相近。

鸡血石由非常细小的地开石矿物颗粒组成，具有显微隐晶质或显微粒状、显微鳞片状结构。矿物颗粒的粒径在 5～200 $\mu\text{m}$  之间。一般具有致密块状构造，个别具有变余角砾状构造。

鸡血石的颜色包括地的颜色和血的颜色两部分。地通常呈白、灰白、乳白、瓷白、灰、浅灰、深灰、灰黑、青灰、红、粉红、紫红、黄、黄灰、褐黄、浅黄绿、深绿、黑褐、黄褐、棕、黑等颜色和无色以及它们的混合色。折射率为 1.553～1.569，平均为 1.564，其中昌化鸡血石的折射率为 1.564，巴林鸡血石的折射率为 1.563，二者的折射率极为相近。无光泽或呈土状光泽，个别透明度好者呈蜡状光泽或油脂光泽；其抛光面一般呈蜡状光泽或油脂光泽，个别可呈玻璃光泽；其中的“血”，即辰砂可呈金刚光泽。鸡血石呈不透明～近于透明，多呈不透明～微透明。

鸡血石的密度 2.53～2.68 $\text{g}/\text{cm}^3$ ，常见值为 2.61 $\text{g}/\text{cm}^3$ 。硬度为 2～3.5。

鸡血石按产地可划分为昌化鸡血石和巴林鸡血石两大类。昌化鸡血石是指产于浙江昌化的鸡血石。其血色鲜活浑厚，纯正无邪，但地稍差，因而有“南血”之称。巴林鸡血石是指产于内蒙古巴林的鸡血石。其地细腻滋润，透明度好，并以冻地为主，几乎没有“洋灰地”，且不含“砂钉”，但血色淡薄娇嫩，因而有“北地”之称。

鸡血石按地的成分、颜色、透明度和硬度因素综合分为四大类，分别是冻地鸡血

石、软地鸡血石、刚地鸡血石和硬地鸡血石。常见的有羊脂冻、红冻、芙蓉冻、藕粉冻、杨梅冻、黄冻、灰冻、黑冻、多色冻和瓷白地、红花地、石榴红地、朱砂红地、瓜瓢红地以及刘关张、水草花、花生糕、羊脑冻、大红袍、红帽子等 20 余种。

鸡血石是中国的特产玉石品种。我国的鸡血石主要产于浙江省昌化镇玉岩山至康石岭一带和内蒙古巴林右旗大板镇以北 50km 的雅玛吐山北侧。昌化鸡血石产于侏罗系上统劳村组流纹质晶屑玻屑凝灰岩中；巴林鸡血石产于侏罗系上统玛尼吐组紫色流纹岩中。昌化鸡血石和巴林鸡血石均产于中生代交代蚀变酸性火山岩的次级断裂小构造中。当沿次级断裂小构造上升的含汞(Hg)的火山热液与流纹岩或流纹质凝灰岩等围岩相互作用时，围岩发生脱硅作用即次生石英岩化，使其中的碱金属或碱土金属淋滤掉，而剩余的铝硅酸盐矿物则转变为地开石、高岭石或珍珠石等，由于地开石或高岭石形成于受限制的空间环境中，因而其结构极为致密，密度较大，并具有抗水解性。当其中含汞量大于 0.5% 时，即有微粒状辰砂析出，从而形成质地致密、细腻如玉、点缀以形态各异的鸡血红色的鸡血石。

#### 4.18 青田石

青田石是主要由叶蜡石和高岭石微晶构成的多晶集合体，含少量伊利石、一水硬铝石及蓝色团块状刚玉。叶蜡石的化学成分为  $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ ，高岭石的化学成分为  $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_4$ 。叶蜡石并非都可用于雕刻，可用以雕刻的是优等叶蜡石，它占总量不到 1%。青田石色彩丰富、光泽秀润，质地细腻，软硬适中，可雕性极强。用青田石雕制的作品五彩缤纷、玲珑剔透、晶莹如玉，别具艺术效果。纯叶蜡石构成的青田石为无色、浅黄绿色，但是量很少。大多数青田石为高岭石与叶蜡石的混合物，常因含有少量浸染状的赤铁矿而呈红色或绛红色，含刚玉而呈蓝色，含氧化锰等而呈黑色。青田石为致密块状，玻璃光泽，块状者呈油脂光泽。纯叶蜡石构成的青田石的折射率 1.55 ~ 1.60，硬度 1 ~ 1.5，密度 2.65 ~ 2.90 g/cm<sup>3</sup>。由于青田石中常含高岭石和其他杂质而使硬度提高到 2.0 ~ 2.5，密度为 2.40 ~ 2.84 g/cm<sup>3</sup>。无紫外荧光，无特征吸收光谱。

青田石产于浙江省青田县。青田石储量丰富，分布在山口、方山、石门头、塘古、山炮、白岩、岭头、季山、周村和下堡等十几个乡镇。主要产地在山口镇至方山乡一带，总称山口叶蜡石矿，质量上乘，多出产名石。作业矿区有尧土、旦洪、封门、白洋和老鼠坪等。青田石品种繁多，有名可称的典型的品种有 100 多种。命名方式有冠以产地名的，有以石色命名的，有以石的肌理构成命名的，有以花纹命名的，其中最名贵的有：

青白色的有封门出产的灯光冻、封门青、兰花青田，周村出产的竹叶青；

黄色的有封门出产的白果、羊脂白，白岩出产的北山晶；

红色的有封门出产的朱砂冻、石榴红、美人红、猪肝红；

蓝色的有封门出产的蓝带、蓝星、蓝青田；

绿色的有白洋出产的芥菜绿，山炮出产的绿青田；

棕色的有季山出产的红木冻、紫檀冻，封门出产的酱油青田；

黑色的有封门出产的黑青田；  
花色的有封门出产的三彩、五彩，旦洪出产的五彩冻等。

青田石质量优劣相差甚远，以油脂状的冻石为上品，细腻亮泽不冻为中品，粗糙无光为下品。单色的应以纯净无杂质、无裂痕的冻石为上品，石质基本纯正，细腻光泽，无裂痕为中品，石质粗而光水不足为下品。单色中杂有冻路、冻点或有近似的色相，只要是和谐协调的也属上品。彩色的，应以色形美观，色泽光润、质地细腻无裂痕为中品，色泽灰暗、色形杂乱，质地粗糙或有明显裂痕为下品。有的顽石夹冻石者，若能构成作品的亦属上品。

青田石产于中生代火山碎屑岩的硅化断裂带中。硅化带长 5km 左右，矿体呈大小不等的透镜状、囊状断续分布于硅化带中下部。青田石矿化与酸性火山岩的蚀变有关，冻状者为玻璃质熔岩碎块蚀变而来。



# 第 5 章其他宝玉石

除第 3 章和第 4 章介绍的常见宝石和玉石以外，自然界中还存在大量的宝玉石品种。这些宝玉石虽然种类繁多，但是在日常生活中比较少见。为便于读者在检验和鉴定宝玉石中使用，现将这些宝玉石的主要特征列于表 5-1 中。

表 5-1 其他珠宝玉石的主要性质表

宝石名称	闪锌矿	雄 黄	辰 砂	淡红银矿
英文名称	Sphalerite	Realgar	Cinnabar	Proustite
化学成分	ZnS	AsS	HgS	Ag <sub>3</sub> AsS <sub>3</sub>
结晶习性	晶体常呈四面体、立方体、菱形十二面体，集合体呈粒状、葡萄状、同心圆状	晶体呈柱状，有时为针状，集合体呈细微粒状、致密块状	晶体呈菱面体，板状或柱状，集合体呈致密块状、不规则粒状、粉末状或皮壳状等	晶体呈柱状和菱面体，集合体为致密块状或粒状
颜 色	无色、浅黄、棕褐、黑、绿、红、黄	橘红	暗红、鲜红、浅红	深红～米红
光 泽	金刚～半金属光泽	金刚光泽，断口油脂光泽	金刚光泽	金刚光泽
透明度	透明～半透明	透明～半透明	半透明	半透明
光 性	等轴晶系，均质体	单斜晶系，2V( - )	三方晶系，一轴晶( + )	三方晶系，一轴晶( - )
折射率	2.37	2.538～2.704	2.913～3.272	2.792～3.088
多色性	无	浅绿、黄～朱砂红色，无色～浅橙黄红	橙黄～红色，暗红色	血红、洋红
紫外荧光	无，有时呈橘红色荧光	无	无	无
吸收光谱	具 651，667，690nm 吸收线	未见特征吸收谱	未见特征吸收谱	未见特征吸收谱
解理与断口	{110}解理完全	{010}解理完全，{120}、{101}、{100}解理中等	{1010}解理完全	{1011}解理完全
摩氏硬度	3～4.5	1.5～2	2～2.5	2～2.5
密度/ (g cm <sup>3</sup> )	3.9～4.2	3.56	8.0～8.2	5.57～5.64

续表 5-1

宝石名称	塔菲石	锡石	金红石	赤铁矿	锐钛矿	板钛矿
英文名称	Taaffeite	Cassiterite	Rutile	Hematite	Anatase	Brookite
化学成分	MgBeAl <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	SnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>
结晶习性	常见六方双锥或六方桶状晶形,集合体呈粒状	晶体常呈双锥状、锥柱状,有时呈针状	晶体呈四方柱状或针状,集合体呈致密块状,与锐钛矿、板钛矿为同质多象	晶体少见,常呈板状、鳞片状、粒状及隐晶质的致密块状、鲕状、豆状、肾状、粉末状	晶体为锥状或板状、柱状,与金红石、板钛矿为同质多象	晶体常呈板状、柱状,与金红色、锐钛矿为同质多象
颜色	无色、淡绿、浅粉紫、深绿、粉、红	无色、黄、浅褐、红、褐、黑	暗红、褐红、黄、橘黄、黑	钢灰至铁黑、暗红、鲜红	褐、黄、浅绿、蓝、浅紫、灰黑	淡黄、淡红、淡红褐、铁黑等
光泽	玻璃光泽	金刚光泽	金刚光泽~金属光泽	金属光泽~半金属光泽	金刚光泽	金刚光泽
透明度	透明	透明~半透明	半透明~不透明	微透明	透明~微透明	近于不透明
光性	六方晶系,一轴晶(-)	四方晶系,一轴晶(+)	四方晶系,一轴晶(+)	三方晶系,一轴晶(-)	四方晶系,一轴晶(-)	斜方晶系,2V(+)
折射率	1.717~1.736	1.984~2.140	2.605~2.901	2.690~3.220	2.452~2.658	2.583~2.741
多色性	不明显	黄~铁灰色,黄棕~黑色;浅灰绿~绿棕,红棕~深红棕色	黄色~褐色,暗红色~暗褐色	较弱,褐红~黄红	浅色晶体多色性弱,深色晶体多色性强	亮黄色~浅红褐色,亮黄色~橙黄褐色,无色、橄榄色、黄褐色
紫外荧光	无	无	无	无	无	无
吸收光谱	未见特征吸收谱	未见特征吸收谱	未见特征吸收谱	未见特征吸收谱	未见特征吸收谱	未见特征吸收谱
解理与断口	有时可见完全解理	{100}和{110}解理不完全	{110}解理完全,{100}解理中等	无解理	{001}和{011}解理完全	{110}解理不完全
摩氏硬度	8~8.5	6~7	5~6	5~6	5.5~6.5	5.5~6
密度/(g·cm <sup>3</sup> )	3.60~3.61	6.8~7.0	4.2~4.3,富铁铌钽者 5.5	5.0~5.3	3.82~3.97	3.90~4.14

续表 5-1						
宝石名称	方镁石	钽铋矿	红锌矿	赤铜矿	硬水铝石	冰晶石
英文名称	Periclase	Bismutotantalite	Zincite	Cuprite	Diaspore	Cryolite
化学成分	MgO	Bi(Ta, Nb)O <sub>4</sub>	(Zn, Mn)O	Cu <sub>2</sub> O	AlO(OH)	Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>
结晶习性	晶体少见,常呈不规则粒状或浑圆粒状	晶体呈柱状、板状	完整晶体少见,多为粒状、叶片状或致密块状	晶体呈立方体、八面体或其聚形晶	晶体呈板状、柱状、针状,集合体呈片状、鳞片状或隐晶质及胶态豆状、鲕状	晶体少见,通常呈致密块状,有时呈片状或粒状
颜色	无色、灰白、黄、棕黄、绿、黑	松脂黑色、烟灰、浅褐	橙黄、暗红、褐红	红、紫红、褐红、黑	白、灰白、黄褐、灰绿、浅红或无色	无色、白、浅灰、浅棕、浅红、砖红
光泽	玻璃光泽	金刚光泽~半金属光泽	金刚光泽	金刚光泽~半金属光泽	玻璃光泽	玻璃光泽~油脂光泽,裂理面{110}呈珍珠光泽
透明度	透明~不透明	半透明	微透明	透明~不透明	透明~半透明	透明~半透明
光性	等轴晶系,均质体	斜方晶系,2V(+)	六方晶系,一轴晶(+)	等轴晶系,均质体	斜方晶系,2V(+)	单斜晶系,2V(+)
折射率	1.736	2.320~2.460	1.990~2.056	2.849	1.682~1.752	1.338~1.340
多色性	无	集合体无多色性	集合体无多色性	无	集合体无多色性	不明显
紫外荧光	无	无	无	无	无	无
吸收光谱	未见特征吸收谱	未见特征吸收谱	未见特征吸收谱	未见特征吸收谱	未见特征吸收谱	未见特征吸收谱
解理与断口	{100}解理完全	{110}解理完全,{001}次之	{1010}解理完全,{1120}中等(合成品)	{111}解理不完全,有时可见{100}解理	{010}解理完全,{110}、{210}、{100}解理不完全	无
摩氏硬度	5.5~6	5~5.5	4~5	3.5~4.5	6.5~7	2~3
密度/(g/cm <sup>3</sup> )	3.5~3.9	8.0~9.0	5.64~5.68	5.85~6.15	3.2~3.5	2.95~3.10

续表 5-1

宝石名称	锥冰晶石	硅铍石	十字石	蓝线石	符山石	粒硅镁石
英文名称	Chiolite	Phenakite	Staurolite	Dumortierite	Vesuvianite	Chondrodite
化学成分	$\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$	$\text{Be}_2\text{SiO}_4$	$\text{Fe}_2\text{Al}_9(\text{SiO}_4)_4\text{-O}_7(\text{OH})$	$(\text{Al,Fe})_7(\text{SiO}_4)_3\text{-(BO}_3)_3\text{O}_3$	$\text{Ca}_{10}\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{-(Si}_2\text{O}_7)_2(\text{SiO}_4)_5\text{-(OH)}_4$	$\text{Mg}_5(\text{SiO}_4)_2\text{F}_2$
结晶习性	晶体通常呈很细小的双锥状,集合体呈块状	晶体呈菱面体或菱面体与柱面聚合而成的短柱状	常见晶形为短柱状,双晶非常特征	常呈柱状,有时可见平行{010}聚片双晶	晶体常呈平行c轴的柱状	常见晶形为凸透镜状,板状、柱状,常见平行{100}聚片双晶
颜色	无色、白色	无色或酒黄、淡红、褐	深褐、红褐、黄褐、淡黄	青蓝、绿蓝、褐、粉红、无色、黄绿、紫	黄、灰、绿、褐、蓝、绿蓝	黄、褐
光泽	玻璃光泽,解理面珍珠光泽	玻璃光泽	玻璃光泽,不纯净时暗淡无光或呈土状光泽	玻璃光泽	玻璃光泽	玻璃光泽
透明度	透明~半透明	透明	半透明	透明	透明	透明
光性	四方晶系,一轴晶(-)	三方晶系,一轴晶(+)	单斜晶系,2V(+)	斜方晶系,2V(-)	四方晶系,一轴晶(-)	单斜晶系,2V(+)
折射率	1.342~1.348	1.654~1.670	1.739~1.761	1.659~1.723	1.713~1.718	1.593~1.663
多色性	无	深色多色性明显,黄色硅铍石多色性为橙黄色和无色	无色,黄或红和金黄色(三色性)	具强多色性,黑色、褐色、红褐色	不明显	无色,极淡黄,极浅黄
紫外荧光	无	弱粉红、浅蓝或绿色荧光	无	无	无	无
吸收光谱	未见特征吸收谱	未见特征吸收谱	有时450nm附近强吸收线,580nm附近弱吸收线	未见特征吸收谱	464, 528.5nm弱吸收线	未见特征吸收谱
解理与断口	{001}解理完全,{011}解理中等	{1120}中等,{1011}解理不完全	{010}中等	{100}中等,{110}不完全,{210}极不完全	{110}解理不完全,{100}和{001}解理极不完全	{100}解理不完全
摩氏硬度	3.5~4	7.5~8	7.5	7	6.5~7	6~6.5
密度/(g·cm <sup>3</sup> )	2.99	2.97~3.00	3.74~3.38	3.35	3.33~3.43	3.16~3.26

续表 5-1						
宝石名称	楣石	夕线石	蓝晶石	鱼眼石	透视石	蓝锥矿
英文名称	Sphene	Sillimanite	Kyanite	Apophyllite	Diopase	Benitoite
化学成分	CaTi[SiO <sub>4</sub> ]O	Al[AlSiO <sub>5</sub> ]	Al[AlSiO <sub>5</sub> ]	KCa <sub>4</sub> (Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ) <sub>2</sub> ·F·8H <sub>2</sub> O	CuSiO <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	BaTiSi <sub>3</sub> O <sub>9</sub>
结晶习性	扁平信封状晶体,横截面呈楔形	晶体常呈柱状或纤维状	常呈柱状晶形,可见双晶	晶体呈柱状、板状、假立方体状	晶体呈柱状	晶体多呈柱状或板状
颜色	黄、绿、褐、橙、无色、红	白~灰、褐、绿、紫蓝、灰蓝	蓝、深蓝、绿、黄、灰、白	无色、黄、绿、紫、粉红	蓝绿、绿	蓝、紫蓝、浅蓝、粉或无色
光泽	金刚光泽	玻璃光泽,有的品种具丝绢光泽	玻璃光泽,断口可具有玻璃~珍珠光泽	玻璃光泽~珍珠光泽	玻璃光泽	玻璃光泽~亚金刚光泽
透明度	不透明~半透明	半透明~透明	半透明~透明	透明~半透明	透明	透明~半透明
光性	单斜晶系,2V(+)	斜方晶系,2V(+)	三斜晶系,2V(-)	四方晶系,一轴晶(+)	三方晶系,一轴晶(+)	六方晶系,一轴晶(+)
折射率	1.900~2.034	1.569~1.680	1.716~1.731	1.535~1.537	1.665~1.708	1.757~1.804
多色性	三色性中~强,黄色~褐色	白色~灰白色多色性弱,蓝色多色性强	蓝色多色性中等,无色、深蓝和紫蓝	多色性颜色随体色而异	弱,多色性颜色因体色而异	强,蓝色~无色;紫红~紫色
紫外荧光	无	蓝色矽线石可具弱红色荧光,其他颜色无荧光	长波下具弱红色荧光,短波下无荧光	短波下可具弱淡黄色荧光	无	短波下具强蓝白色荧光
吸收光谱		410, 441, 462nm 弱吸收线	可见 435, 445nm 吸收线	未见特征吸收谱	可具 550nm 宽吸收带	不具特征吸收光谱
解理与断口	{110}中等解理	可具一组完全解理	可具一组完全解理,一组中等解理	可具一组完全解理	三组完全解理	可具一组不完全解理
摩氏硬度	5~6	6.5~7.5	c轴 4~5, c轴 6~7	4~5	5	6~7
密度 / (g/cm <sup>3</sup> )	3.29~3.60	3.25	3.68	2.40	3.30	3.68
其他	可见指纹状包裹体、双晶、双折射线,色散强	可见纤维状结构,可具猫眼效应	可具固态包裹体,色带、解理纹等,可具猫眼效应	可见气液包裹体	可见气液包裹体	可见明显的后刻面棱重影及色带,色散强

续表 5-1

宝石名称	斧 石	蓝柱石	赛黄晶	绿帘石	硅孔雀石	葡萄石
英文名称	Axinite	Euclase	Danburite	Epidote	Chrysocolla	Prehnite
化学成分	$(\text{Ca}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Mg})_3\text{-Al}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}(\text{OH})$	$\text{BeAlSiO}_4(\text{OH})$	$\text{CaB}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	$\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe})_3(\text{SiO}_4)\text{-(Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$	$(\text{Cu}, \text{Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{-O}_5(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})\text{-(OH)}_2$
结晶习性	板状晶体	晶体多呈短柱状	常呈短柱状，也可呈块状集合体	晶体多呈柱状	常呈隐晶质或胶状集合体出现	呈板状、片状、葡萄状、肾状、放射状
颜 色	褐、紫褐、紫、褐黄、蓝	浅蓝绿、浅蓝、黄绿、无色	无色、浅黄、褐、粉红	浅 ~ 深绿、棕褐、黄褐、黑	绿、蓝绿、褐、黑	白色、浅黄、肉红、绿
光 泽	玻璃光泽	玻璃光泽	玻璃光泽 ~ 油脂光泽	玻璃光泽 ~ 油脂光泽	蜡状光泽 ~ 玻璃光泽	玻璃光泽
透明度	透明 ~ 半透明	透明	透明 ~ 半透明	微透明 ~ 半透明	微透明 ~ 不透明	半透明
光 性	三斜晶系, 2V(-)	单斜晶系, 2V(-)	斜方晶系, 2V(+)(-)	单斜晶系, 2V(-)	单斜晶系, 2V(+)	单斜晶系, 2V(+)
折射率	1.678 ~ 1.688	1.652 ~ 1.671	1.630 ~ 1.636	1.729 ~ 1.768	1.461 ~ 1.570	1.616 ~ 1.649
多色性	强, 紫 ~ 粉红、浅黄色、红褐色	蓝色: 蓝灰 ~ 浅蓝; 绿色: 灰绿 ~ 绿	弱, 因颜色而异	强, 绿色、褐色、黄色	集合体不显示多色性	集合体不显示多色性
紫外荧光	通常无荧光。黄色品种在短波下可具红色荧光	无或具微弱荧光	长波无 ~ 强, 浅蓝 ~ 蓝绿。短波弱	无	无	无
吸收光谱	可具 412, 466, 492, 512nm 吸收线	可具 468, 455nm 吸收线	部分可见 580nm 吸收线	445nm 强吸收线, 457nm 弱吸收线	没有特征吸收谱	
解理与断口	具一组中等解理	具一组完全解理	具一组极不完全解理	可具一组完全解理	集合体不体现解理	完全 ~ 中等解理
摩氏硬度	6 ~ 7	7 ~ 8	7	6 ~ 7	2 ~ 4	6 ~ 7
密度 / (g cm <sup>3</sup> )	3.29	3.08	3.00	3.40	2.0 ~ 2.4	2.80 ~ 2.95
其 他		可见红色、蓝色板状包裹体及环带		可见气液包裹体, 固态包裹体		纤维结构、放射状结构, 偶见猫眼效应

续表 5-1						
宝石名称	紫硅碱钙石 (查罗石)	透闪石	阳起石	蔷薇辉石	滑石	柱晶石
英文名称	Charoite	Tremolite	Actinolite	Rhodonite	Talc	Kornerupine
化学成分	$\text{K}(\text{Ca}, \text{Na})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	$(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Mg}, \text{Ca})\text{SiO}_3$	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	$\text{Mg}_3\text{Al}_6(\text{Si}, \text{Al}, \text{B})_5\text{O}_{21}(\text{OH})$
结晶习性	多为晶质集合体,呈块状	柱状晶体,多呈纤维状集合体	常呈纤维状集合体	单晶体多呈厚板状,常呈致密块状集合体	单晶呈板状,集合体呈块状	晶体多呈柱状
颜色	紫、紫蓝、黑、灰、白、褐棕	无色、灰白、粉白、浅绿、褐	浅蓝、深蓝、黄绿、黑、浅褐	浅红、粉红、紫红、褐红	浅灰白、黄、粉红、绿	黄绿、褐绿、蓝绿、黄、褐、无色
光泽	玻璃~蜡状光泽	玻璃光泽	玻璃光泽	玻璃光泽	蜡状~油脂光泽	玻璃光泽
透明度	半透明	微透明~半透明	微透明~半透明	不透明~微透明	不透明~微透明	半透明~透明
光性	单斜晶系, 2V(+)	单斜晶系, 2V(-)	单斜晶系, 2V(-)	三斜晶系, 2V(+)(-)	单斜晶系, 2V(-)	斜方晶系, 2V(-)
折射率	1.550~1.559	1.60~1.63	1.614~1.641	1.733~1.747	1.540~1.590	1.667~1.680
多色性	集合体不显多色性	可具浅黄绿色、浅绿色多色性	中等,黄~深绿	弱~中等,橙红~棕红	集合体不显示多色性	褐绿色多色性强,绿色、黄色和红褐色
紫外荧光	长波下荧光无~弱,短波无荧光	弱,粉红~橙	无	无	长波下无荧光或弱粉红荧光	无~强,荧光为黄色
吸收光谱	未见特征吸收谱	不特征	可具 503nm 弱吸收线		无特征吸收谱	可具 503nm 吸收线
解理与断口	三组解理	两组完全解理	两组完全解理	两组完全解理	集合体不显示解理	两组完全解理
摩氏硬度	5~6	5~6	5~6	5~6	1~3	6~7
密度 / (g cm <sup>3</sup> )	2.68	2.9~3.2	3.00	3.50	2.75	3.30
其他	可见纤维状结构	可见纤维状结构,可具猫眼效应	可见纤维状结构,猫眼效应	可见粒状结构及氧化锰黑色斑点	常含有脉状、斑块状杂质	可见气液和固态包裹体,猫眼效应

续表 5-1

宝石名称	硼 锂 铍 矿	硼 铍 石	方 硼 石	锰 方 硼 石	硼 铝 镁 石	钠 硼 解 石
英文名称	Rhodizite	Hambergite	Boracite	Chambersite	Sinhalite	Ulexite
化学成分	$\text{CsAl}_4\text{LiBe}_3\text{B}_{12}\text{O}_{28}$	$\text{Be}_2\text{BO}_3(\text{OH})$	$\text{Mg}_3[\text{B}_7\text{O}_{12}]\text{OCl}$	$\text{Mn}_3[\text{B}_7\text{O}_{12}]\text{OCl}$	$\text{MgAlBO}_4$	$\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6\cdot 5\text{H}_2\text{O}$
结晶习性	晶体一般呈菱形十二面体或四面体	柱状晶体	常呈立方体、四面体、菱形十二面体聚形假象,集合体呈粒状、纤维状	多呈似等轴四面体状晶体,常为不规则粒状集合体	晶体柱状,但少见,多呈粒状集合体	常呈毛发状、纤维状、结核状、块状
颜色	无色、浅黄、灰、玫瑰红	无色、白、灰、白、黄白	无色、白、灰、黄、绿	白色、微灰、紫、丁香紫	黄、深褐、浅绿、褐	白、无色
光泽	玻璃光泽~弱金刚光泽	玻璃光泽	强玻璃光泽~金刚光泽	油脂光泽~玻璃光泽	玻璃光泽	玻璃~绢丝光泽
透明度	半透明~透明	透明~半透明	透明	透明~半透明	透明~半透明	透明
光性	等轴晶系,均质体	斜方晶系,2V(+)	斜方晶系,2V(+)	斜方晶系,2V(+)	斜方晶系,2V(-)	三斜晶系,2V(+)
折射率	1.693	1.554~1.631	1.658~1.673	1.732~1.742	1.668~1.706	1.496~1.519
多色性	无多色性	不明显	弱	弱	强,淡褐~深褐,浅绿~褐色	弱
紫外荧光	短波下呈弱黄色	可具弱的橙粉色荧光	短波有弱的浅绿色荧光	无	无	短波下有蓝绿色荧光,多数有磷光
吸收光谱		无特征吸收光谱	无特征吸收光谱	无特征吸收光谱	具 493, 475, 463,452nm 吸收带	
解理与断口	无解理,断口贝壳状,性脆	一组完全解理	断口贝壳状~不平坦	无解理,断口贝壳状	不完全解理,断口贝壳状	性脆
摩氏硬度	8~8.5	7.5	7~7.5	7	6.5~7	2.5
密度/(g/cm <sup>3</sup> )	3.44	2.36	2.97~3.10	3.48	3.45	1.96
其他		有管状包裹体				手指能捏成粉末,有滑感



续表 5-1						
宝石名称	多水硼镁石	硼铝石	菱镁矿	菱铁矿	文 石	蓝铜矿
英文名称	Inderite	Jeremejevite	Magnesite	Siderite	Aragonite	Azurite
化学成分	Mg(H <sub>2</sub> O) <sub>5</sub> (B <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> )-(OH) <sub>5</sub>	Al <sub>6</sub> B <sub>5</sub> O <sub>15</sub> (OH) <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	FeCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Cu <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>
结晶习性	扁柱状或针状晶体,有时也呈板状	晶体为柱状	晶体少见,多呈粒状或隐晶质致密块状	晶体呈菱面体状、短柱状,常见粒状、块状、致密块状集合体	单晶呈柱状,多呈纤维状、柱状、晶簇状、皮壳状、豆状集合体	晶体为短柱状或厚板状,多呈放射状、块状和纤维状集合体
颜 色	无色、白、粉	淡蓝绿、淡黄、褐、无色	白、灰白、浅蓝、淡红	淡黄、灰白、浅褐、棕红、黑	白、黄白、浅绿、灰、红	深蓝、天蓝
光 泽	玻璃光泽,解理面珍珠光泽	玻璃光泽	玻璃光泽	玻璃、珍珠、绢丝光泽	玻璃光泽,断口呈油脂光泽	玻璃光泽
透明度	透明	透明~半透明	半透明~透明	半透明~透明	半透明~透明	半透明~透明
光 性	单斜晶系,2V(+)	六方晶系,一轴晶(-)	三方晶系,一轴晶(-)	三方晶系,一轴晶(-)	斜方晶系,2V(-)	单斜晶系,2V(+)
折射率	1.486~1.507	1.641~1.648	1.509~1.717	1.575~1.875	1.530~1.686	1.730~1.838
多色性	弱	黄蓝,无色~亮黄色	中等,红色~紫色	无	弱	中等,深蓝~蓝色
紫外荧光	无	无	蓝、绿、白色荧光。常有淡绿色磷光	无	无	无
吸收光谱	无特征吸收光谱	500nm处有一模糊吸收带		无特征吸收光谱		无特征吸收光谱
解理与断口	一组完全解理,性脆,断口贝壳状		菱面完全解理		无解理,断口贝壳状	中等~完全解理
摩氏硬度	2.5~3	6.5	4~4.5	4	3.5~4	3.5~4
密度/(g cm <sup>3</sup> )	1.77~1.79	3.28~3.31	2.9~3.1	3.7~4.0	2.7~2.9	3.7~3.8

续表 5-1

宝石名称	白铅矿	碳酸钡矿	角铅矿	斜钠钙石	磷钠铍石	天蓝石
英文名称	Cerussite	Witherite	Phosgenite	Gaylussite	Beryllonite	Lazulite
化学成分	$\text{PbCO}_3$	$\text{BaCO}_3$	$\text{Pb}_2\text{CO}_3\text{Cl}_2$	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_5\text{-(CO}_3)_2$	$\text{NaBe(PO}_4)_2$	$\text{MgAl}_2(\text{PO}_4)_2\text{-(OH)}_2$
结晶习性	晶体少见,多为板状、片状或块状集合体	晶体为短柱状、板状,集合体呈葡萄状	晶体为柱状、板状等	扁平状、楔状晶体	常见板状、柱状晶体	晶体见少,常呈尖锥状、板状、粒状、致密块状等
颜色	白、灰、绿、黄、无色	白、灰、浅黄、褐	无色、白、淡黄、粉红、浅褐、绿	无色、白、灰、黄	白、淡黄、无色	蓝、紫蓝
光泽	玻璃光泽~金刚光泽	玻璃光泽,断口为油脂光泽	金刚光泽	玻璃光泽	玻璃光泽,解理面珍珠光泽	玻璃光泽
透明度	不透明~微透明	半透明~透明	透明~半透明	透明~半透明	透明	透明~不透明
光性	单斜晶系, 2V(-)	斜方晶系, 2V(-)	四方晶系,一轴晶(+)	单斜晶系, 2V(+)	单斜晶系, 2V(-)	单斜晶系, 2V(-)
折射率	1.803~2.076	1.529~1.677	2.118~2.145	1.445~1.522	1.592~1.604	1.612~1.643
多色性	无	弱	弱,淡红~淡绿	弱	弱	中~强,微紫~深蓝
紫外荧光	长波下粉红色或黄色,短波下蓝色或绿色	绿色、黄色	黄色	无	无	无
吸收光谱				无特征吸收光谱	无特征吸收光谱	不明显
解理与断口	中等~不完全解理	二组完全,一组中等解理				不完全解理
摩氏硬度	3~3.5	3~3.5	2~3	2.5~3	6.5	5.5~6
密度 / (g/cm <sup>3</sup> )	6.55	4.2~4.3	6.14	1.99	2.88	3.08~3.19

续表 5-1						
宝石名称	光彩石	独居石	磷铍钙石	蓝铁矿	磷铝锰矿	水磷铝钠石
英文名称	Augelite	Monazite	Herderite	Vivianite	Eosphorite	Wardite
化学成分	$\text{Al}_2\text{PO}_4(\text{OH})_3$	$\text{CePO}_4$	$\text{CaBePO}_4(\text{F},\text{OH})$	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$\text{MnAl}(\text{PO}_4)\cdot (\text{OH})_2\cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{NaAl}_3(\text{PO}_4)_2\cdot (\text{OH})_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
结晶习性	柱类、板状及针状	晶体较小,多呈楔形、板状	柱状、板状晶体	晶体呈斜方柱,多呈放射状、肾状、球状集合体或土状块体	单晶呈柱状,集合体多为放射状、葡萄状或皮壳状、纤维状、块状	单晶为柱状,集合体呈粒状、皮壳状、束状、放射状、纤维状或同心球状
颜色	无色、白、浅黄、浅红、浅蓝	棕红、黄、黄绿	浅蓝、浅绿	无色、浅蓝、浅绿、深蓝	褐、浅红褐、黄、玫瑰红	无色、白、浅绿、浅黄绿
光泽	玻璃光泽,解理面具丝绢光泽	油脂光泽	玻璃光泽	玻璃光泽,解理面呈珍珠光泽	玻璃光泽~油脂光泽	玻璃光泽
透明度	透明~半透明	透明~半透明	透明~半透明	透明~半透明	透明~半透明	透明~半透明
光性	单斜晶系,2V(+)	单斜晶系,2V(+)	单斜晶系,2V(+)	单斜晶系,2V(+)	斜方晶系,2V(-)	四方晶系,一轴晶(+)
折射率	1.574~1.588	1.780~1.850	1.604~1.632	1.576~1.675	1.638~1.671	1.586~1.604
多色性	弱	弱	弱	强,蓝,淡黄绿,白,暗蓝,淡蓝绿,淡黄绿	强,黄,粉红,淡粉红	
紫外荧光	无		短波下呈淡绿色,长波紫外线下紫色,并有磷光	无		无
吸收光谱			无特征吸收光谱	不明显	浅褐色410nm有吸收线,490nm有弱吸收线	无特征吸收光谱
解理与断口	两组完全解理,性脆	{100}完全,{010}不完全		一组完全解理	{100}解理不完全	一组完全解理。性脆
摩氏硬度	5~5.5	5~5.5	5.5	1.5~2	4.5~5	4.5~5
密度/(g/cm <sup>3</sup> )	2.70	4.9~5.5	2.85~3.01	2.95(实测),2.71(计算)	3.10~3.25	2.87

续表 5-1

宝石名称	磷铝纳石	磷锂铝石	磷铝石	磷锰石	绿磷锰矿	银星石
英文名称	Brasilianite	Amblygonite	Variscite	Purpurite	Dickinsonite	Wavellite
化学成分	$\text{NaAl}_3(\text{PO}_4)_2\cdot(\text{OH})_4$	$\text{LiAl}(\text{PO}_4)\cdot(\text{OH},\text{F})$	$\text{AlPO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{MnPO}_4$	$\text{H}_2\text{Na}_6(\text{Mn},\text{Fe},\text{Ca},\text{Mg})_{14}(\text{PO}_4)_{12}\cdot\text{H}_2\text{O}$	$\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH},\text{F})_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}$
结晶习性	柱状晶体	短柱状或致密块状,双晶常见	晶体少见,多呈胶态,如皮壳状,结核状,肾状等	常见块状集合体,晶体少见	晶形多呈板状,有时为假菱面体	晶体一般呈柱状,但少见
颜色	淡蓝、黄绿、绿、无色	白、蓝、粉红、蓝绿、褐、无色、浅黄、微绿黄	无色、白、浅红、绿、黄、天蓝	深红、紫	浅黄、绿、橄榄绿、褐绿	黄绿、绿白、暗蓝、黄褐、暗黑、粉红
光泽	玻璃光泽	玻璃光泽~油脂光泽,解理面呈珍珠光泽	玻璃光泽	玻璃光泽	玻璃光泽,解理面具珍珠光泽,断口参差状	玻璃~松脂光泽,解理面具珍珠光泽
透明度	透明~半透明	透明~半透明	半透明	不透明	透明~半透明	透明~半透明
光性	单斜晶系, $2V(+)$	三斜晶系, $2V(+)$	斜方晶系, $2V(-)$	斜方晶系, $2V(+)$	单斜晶系, $2V(+)$	斜方晶系, $2V(+)$
折射率	1.602~1.623	1.59~1.61	1.564~1.590	1.85~1.92	1.648~1.671	1.520~1.561
多色性	微弱	弱		强,灰~玫瑰红,深红~紫红	中等,淡橄榄绿~淡黄绿	弱
紫外荧光		弱,绿色		无	无	蓝色
吸收光谱		无特征吸收光谱	红区有两个吸收带	无特征吸收光谱	不明显	无特征吸收光谱
解理与断口	解理完全	解理{100}中等,{021}不完全			一组解理完全,性脆	三组解理
摩氏硬度	5.5	5.5~6	5	4~4.5	3.5~4	3.5~4
密度 /(g/cm <sup>3</sup> )	2.98~2.99	2.92~3.15	2.53~2.57	3.2~3.4	3.14	2.36~2.39

续表 5-1						
宝石名称	板磷铁矿	红磷锰矿	无水钾镁矾	重晶石	硬石膏	天青石
英文名称	Ludlamite	Hureaulite	Langbeinite	Barite	Anhydrite	Celestite
化学成分	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Mn}_5(\text{PO}_4)_2(\text{PO}_3-(\text{OH}))_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{BaSO}_4$	$\text{CaSO}_4$	$\text{SrSO}_4$
结晶习性	板状晶形,但一般呈楔形,集合体为块状	晶体常为柱状,集合体呈块状、鳞片状或纤维状	晶体少见,多呈粒状、结核状、肾状集合体出现	板状晶体	晶体少见,多呈厚板状	板状晶体
颜色	无色、微绿、鲜绿	浅红、紫、蔷薇红、浅黄、棕、橙红、灰、无色	无色、淡蓝、玫瑰、微红、淡黄、淡绿、灰	浅蓝、白、无色	灰白、蓝、紫、粉红、无色	蓝、绿、黄绿、橙、无色
光泽	玻璃光泽	玻璃光泽~油脂光泽	玻璃光泽	玻璃光泽~松脂光泽,解理面珍珠光泽	玻璃光泽,解理面呈珍珠光泽	玻璃光泽,解理面呈珍珠光泽
透明度	透明~半透明	透明~半透明	透明	透明~半透明	透明	透明
光性	单斜晶系, $2V(+)$	单斜晶系, $2V(-)$	等轴晶系,均质体	斜方晶系, $2V(+)$	斜方晶系, $2V(+)$	斜方晶系, $2V(+)$
折射率	1.650~1.697	1.647~1.660	1.533~1.535	1.636~1.648	1.569~1.618	1.622~1.635
多色性	弱	明显,无色,淡红~黄,红黄~褐	无	弱	弱	弱
紫外荧光	无		弱,淡绿	有时具荧光,经常具磷光,呈微弱的蓝色		有时有黄色或蓝色荧光
吸收光谱	无特征吸收光谱					不明显
解理与断口	一组解理完全,性脆	一组解理完全,性脆	性脆	一组完全,一组中等,一组不完全解理,性脆	{010}完全,{100},{001}中等	{001}完全,{210}中等,{010}不完全解理,性脆
摩氏硬度	3.5	3.5	3.5~4	3~3.5	3~3.5	3~3.5
密度 / (g/cm <sup>3</sup> )	3.19	3.23	2.83	4.3~4.5	2.8~3.0	3.97~4.00

续表 5-1

宝石名称	铅矾	羟砷锌矿	乳砷铅铜矿	臭葱石	钒铅矿	白钨矿
英文名称	Anglesite	Legrandite	Bayldonite	Scorodite	Vanadinite	Scheelite
化学成分	PbSO <sub>4</sub>	Zn <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> OH·H <sub>2</sub> O	PbCu <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	FeAsO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Pb <sub>2</sub> Pb <sub>3</sub> (VO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> Cl	CaWO <sub>4</sub>
结晶习性	晶体呈板状、短柱状或锥状,集合体呈粒状、致密块状、结核状、钟乳块	晶体长柱状	常呈块状、细粒状~粉末状,亦呈皮壳状、结核状	晶体呈双锥状,常呈粒状集合体,偶呈小晶簇出现	晶体呈六方柱状、针状或毛发状,集合体为晶簇状、球状	单晶少见,一般呈不规则的粒状、块状集合体
颜色	无色、白、灰、浅黄、浅褐、浅绿	无色、蜡黄	浅黄、绿	浅绿、鲜绿、蓝绿、白、红褐	鲜红、橙、浅褐、浅黄、蓝、褐蓝	白、灰、浅黄、浅紫、浅褐、绿、橙黄、红
光泽	金刚光泽	玻璃光泽	松脂光泽	松脂光泽	金刚光泽,断口松脂光泽	半金刚光泽
透明度	透明~不透明	透明~半透明	半透明	透明	透明~不透明	半透明~透明
光性	斜方晶系,2V(+)	单斜晶系,2V(+)	单斜晶系,2V(+)	斜方晶系,2V(+)	六方晶系,一轴晶(-)	四方晶系,一轴晶(+)
折射率	1.877~1.894	1.675~1.740	1.95~1.99	1.76~1.81	2.416~2.350	1.920~1.937
多色性	弱	无色~黄色		淡紫~淡蓝	弱,橙~黄	橙黄色晶体具弱二色性
紫外荧光	弱,黄色荧光	无		无	无	短波下有蓝色荧光
吸收光谱	无特征吸收光谱	不明显		450nm 处有吸收线	无特征吸收光谱	在黄区、绿区,特别在584nm 处有弱钨线
解理与断口	贝壳状断口,性脆	解理不完全,断口不平坦,性脆		断口不平坦,性脆	性脆	{111}完全,{101}不完全解理,断口参差状
摩氏硬度	2.5~3	4.5	4.5	3.5	2.5~3	4.5~5
密度/(g·cm <sup>3</sup> )	6.1~6.4	3.98	5.5	3.3	6.66~6.88	5.8~6.2

续表 5-1		
宝 石 名 称	铬 铅 矿	钼 铅 矿
英 文 名 称	Crocoite	Wulfenite
化 学 成 分	PbCrO <sub>4</sub>	PbMoO <sub>4</sub>
结 晶 习 性	晶体呈柱状、锥状、板状,集合体呈晶簇状、块状或薄膜状	晶体呈四方锥状、四方板状,有时呈假八面体或立方柱、锥状晶体
颜 色	橙红、红、黄	无色、白、黑、红、橙、黄
光 泽	金刚光泽~玻璃光泽	金刚光泽,断口油脂光泽
透 明 度	半透明	透明~半透明
光 性	单斜晶系,2V(+)	四方晶系,一轴晶(-)
折 射 率	2.31~2.66	2.28~2.40
多 色 性	弱,橙红~中红	弱
紫 外 荧 光	短波下可具弱淡红~褐色荧光	无
吸 收 光 谱	555nm处有吸收带	无特征谱
解 理 与 断 口	性脆	性脆
摩 氏 硬 度	2.5~3	2.5~3
密 度/(g/cm <sup>3</sup> )	6.0	6.5~7
其 他		溶于硫酸,可被硝酸分解,对热略敏感

# 第 6 章

## 有机玉石

有机玉石是指由生物生成，部分或全部由有机质组成可用于首饰及装饰品的材料。有机玉石的品种主要有珍珠、珊瑚、琥珀、龟甲和贝壳等。

### 6.1 珍 珠

珍珠主要由无机物和部分有机物组成。无机物占总成分的 91% 以上，主要成分为  $\text{CaCO}_3$ 。 $\text{CaCO}_3$  主要以文石形式存在，仅有很少量以方解石形式存在。文石为斜方晶系，方解石为三方晶系。有机质主要为壳角蛋白，成分为门冬氨酸、甘氨酸等 16 种氨基酸，约占 3% ~ 7%。珍珠中还含有氧化硅、磷酸钙、氧化铁及微量元素 Na, Mg, Mn, Sr, Cu, Al, Fe, Zn, Ba, Cr, Ni 和 Ti 等。

珍珠具有同心层状构造。由文石为主体的无机层和壳角蛋白为主的有机层相间分布。珍珠同心层的多少反应了珍珠生长时间的长短。

大部分珍珠的颜色包括两部分，一部分为体色(或称背景色)，另一部分为伴色(或称色彩)。伴色是在体色的基础上呈现的，是从珍珠表面反射光中看到的，主要为玫瑰色、蓝色和绿色。珍珠的体色为白、粉红、淡黄、淡绿、淡蓝、褐、灰及黑等颜色。通常呈珍珠光泽。非均质集合体。折射率为 1.530 ~ 1.686，双折射率为 0.156。天然黑色珍珠在长波紫外光下呈浅粉红色或黑红色。其他珍珠有时可具有浅蓝色或白色荧光。在 X 射线照射下，珍珠常发出黄白色及绿色磷光。无特征吸收谱。

珍珠无解理，摩氏硬度 2.5 ~ 4。密度一般为  $2.60 \sim 2.80 \text{ g/cm}^3$ ，不同种类、不同产地的珍珠略有差异。

珍珠分为天然珍珠、养殖珍珠两大类。天然珍珠是在天然贝、蚌类体内形成的珍珠，包括天然海水珍珠和天然淡水珍珠。养殖珍珠是用人工培育的方法，在贝、蚌类体内形成的珍珠，包括海水养殖珍珠和淡水养殖珍珠。

天然珍珠质地细腻，结构均匀，珍珠层厚，多呈凝重的半透明状，光泽强。养殖珍珠的珍珠层薄，透明度较好，光泽不如天然珍珠透明度好。天然珍珠的形状多不规则，直径较小，而养殖珍珠多为圆形，较大，表面常有凹坑，质地松散。

天然珍珠多为圆粒状。圆切面由极薄的放射状同心层组成。其中心可能有细小，甚至肉眼看不见的寄生虫、砂粒、细菌或气泡等。



养殖珍珠分有核和无核两种。有核养殖珍珠可见到白色核质小球，它和珍珠质外层之间有明显的界限。天然珍珠显示出的各层之间的界限极少像养殖珍珠结合层部位那么分明，说明结构较均一。无核养殖珍珠的形态很少为圆球状，多为椭圆形及不规则状。

在鉴定珍珠时，一般在强光源下观察其内部的特征。在强反射光下观察某些薄表皮的有核养殖珍珠时，有可能看到来自表皮下的珠核的反射光束。因为它呈平行层状结构，所以，当转动珍珠时，可以在两个方向看到这种反射光。

测定珍珠的密度也是鉴定珍珠常用的方法。养殖珍珠的珠核多用淡水蚌壳磨制而成，因此其密度比天然珍珠大。在密度为  $2.71\text{g/cm}^3$  的重液中，80% 的天然珍珠漂浮，而 90% 的养殖珍珠下沉。

海水养殖珍珠比淡水养殖珍珠的颜色好，形态规则，圆度高。淡水养殖珍珠形态不规则，常有褶皱纹。

从孔中观察，海水养殖珍珠有珠核，分层界线明显，大多数淡水养殖珍珠则无珠核，而且无分层线。

珍珠的优化处理方法主要有漂白处理、染色处理和辐照处理。早在 1924 年，人们就将漂白法广泛地应用于天然珍珠和养殖珍珠的优化处理。目前，采用最多的是过氧化氢漂白法和氯气漂白法。用过氧化氢漂白是将珍珠浸泡在过氧化氢溶液中，再加热到 40℃ 左右，漂白几天至两周，同时将其暴露在阳光或紫外线下，珍珠便变成灰白色或银白色，效果好时则变成纯白色。氯气漂白法的漂白能力比过氧化氢更强，这种方法如使用不熟练，易使珍珠变脆而碎，并使珍珠形成白垩或粉状的表面。珍珠的漂白处理只对珍珠的表面进行了漂白，是一种优化方法。染色处理是将珍珠浸泡在某些特殊的化学溶液中，将珍珠表面染成各种颜色。用冷高锰酸钾溶液作染料可染成棕色。将珍珠置于碱性钴盐配制的溶液中，可染成粉红色。染色处理是一种处理方法。辐照处理是将珍珠放在钴源下照射，经过辐射的珍珠颜色会变深，辐照比较强的会变成黑色。

珍珠按照其产地分为东方珠、南洋珠、日本珠、塔希提珍珠等。

东方珠主要产于波斯湾，也称为波斯珠。波斯湾是世界上著名的产珠胜地，特别是伊朗、阿曼、沙特阿拉伯海岸已有 2000 多年的产珠历史，产出的珍珠多为白色、奶白色、淡绿色等。

南洋珠又称南珠，指中国南海北部湾海域（为广西防城、钦州、合浦、北海等地）、广东、海南所产的珍珠。中国广西合浦是历史上有名的天然南洋珍珠产地，所产珍珠粒大、形圆、色白，属世界名贵品种。但是，近几十年来，产天然珍珠的白蝶贝被人为严重捕捞，以致资源枯竭。南洋海水养殖珍珠主要产在中国广西、广东，产量很大。

日本珍珠又称为东珠，主要为海水养殖珍珠，粒度中等，一般 4~7mm，最大达 9mm，多数形态圆润，白色，带淡绿色调，有强烈珍珠光泽。

塔希提珍珠又译成大溪地珍珠，以黑珍珠闻名于世。塔希提珍珠的颜色不是纯黑，而是黑中带紫、带蓝、带绿色调，具有强烈的珍珠光泽。塔希提黑珍珠直径一般为 8~16mm，其产量只占世界珍珠产量的 1%，但是价格极高，是珍珠中最昂贵的品

种。

珍珠质量的好坏、价值的高低，决定于颜色、光泽、透明度、形状和大小等因素。优质珍珠表面应具有均匀的强珍珠光泽，并伴有彩虹般的晕色。珠层越厚，光泽越好。珍珠的颜色十分丰富，其中白色最为常见，无色珍珠中颜色越白越受欢迎。有色珍珠中黑色珍珠是最受欢迎的珍珠品种，价值也最高。其次为粉玫瑰红色和白玫瑰红色，即粉红色和白色带有玫瑰色色彩的珍珠。圆形、浑圆形的珍珠最为理想，价值也最高。梨形、长圆形、半圆形也备受欢迎。和其他宝玉石的品种一样，同一等级的珍珠，质量越大，价值越高。

## 6.2 珊 瑚

珊瑚的英文名称为 Coral，是重要的有机宝石之一，也是古今中外深受人们喜爱的宝石品种。古罗马人认为珊瑚具有防止灾祸、给人智慧、止血和驱热的功能。它与佛教的关系密切，印度和中国西藏的佛教徒视红色珊瑚是如来佛的化身，他们把珊瑚作为祭佛的吉祥物，多用来做佛珠，或用于装饰神像，是极受珍视的首饰宝石品种。

珊瑚是一种海生圆筒状腔肠动物，名叫“珊瑚虫”。在白色幼虫阶段便自动固定在前辈珊瑚的石灰质遗骨堆上。珊瑚依靠自己的触手来捕捉食物，并分泌出一种石灰质(矿物成分为方解石)来建造自己的躯壳。珊瑚在生长过程中，为了能更多地捕捉食物和吸收阳光，除向上生长外，还向前后、左右扩展，形成在三度空间中似树枝状的生物群体。随意取出一束即婀娜多姿，美丽动人，是天然的艺术品。

珊瑚有两种，一种为常见的钙质珊瑚，其化学成分主要是  $\text{CaCO}_3$ ，以微晶方解石集合体形式存在，成分中还有一定数量的有机质。另一种为角质珊瑚，几乎全部由有机质组成，常见有黑珊瑚和金珊瑚。珊瑚的形态多呈树枝状，上面有纵条纹。每个单体珊瑚横断面有同心圆状和放射状条纹。颜色常呈白色，也有少量呈蓝色和黑色。宝石级珊瑚为红色、粉红色、橙红色。红色是由于珊瑚在生长过程中吸收海水中 1% 左右的氧化铁而形成的，黑色是由于含有有机质。珊瑚为隐晶质结构，具有玻璃光泽~蜡状光泽，不透明~半透明，折光率 1.48~1.66。硬度 3.5~4，密度 2.6~2.7  $\text{g/cm}^3$ ，性脆，遇盐酸强烈起泡。在长波、短波紫外线下钙质珊瑚无荧光或具弱的白色荧光。角质珊瑚密度较低，为 1.34  $\text{g/cm}^3$ ，折射率为 1.56，无荧光，遇酸不起泡。

珊瑚的品种有红珊瑚(国外称“牛血”、“天使面”)、黑珊瑚、蓝珊瑚、地中海珊瑚、日本珊瑚、喀麦隆珊瑚、中国海南珊瑚等。珊瑚的质量相差无几，颜色和块度是经济评价与选购的依据。有颜色的比白色的质量高，颜色要求美丽、鲜艳而纯正。块度越大越好。珊瑚的价值还受到各个地方习俗的影响，如阿拉伯人偏爱鲜红色，而欧洲则流行粉红色。

珊瑚的仿制品主要有染色大理岩、红色玻璃、塑料以及合成珊瑚。

染色大理岩呈均匀的红色，具粒状结构，横断面无同心圆状构造，无不均匀条纹，用棉签沾丙酮擦拭，棉签上呈现红色。

粉红色玻璃具玻璃光泽，含有气泡，贝壳状断口，遇盐酸不起泡。

粉色塑料不具备珊瑚所特有的条带状构造，有使用模具留下的痕迹，遇盐酸不起

泡。

“吉尔森”合成珊瑚呈微细粒状结构，见不到天然珊瑚的颜色或透明度略有差异的条带状结构，密度  $2.45\text{ g/cm}^3$ ，较天然珊瑚小。

珊瑚的优化处理方法通常有漂白、染色和充填处理等。

漂白处理是珊瑚制成细胚后，用双氧水漂白除去浑浊的颜色，尤其是死枝珊瑚，如不经过漂白处理即呈浊黄色。

染色处理是将白色珊瑚浸泡在红色或其他颜色的有机染料中染成相应的颜色，当用蘸有丙酮的棉签擦拭时，若棉签被染色，即可确定为染色珊瑚。另外，染色珊瑚颜色单调而且表里不一，染料集中在小裂隙及粒间，颜色外深内浅，着色不均。

充填处理是用环氧树脂等物质充填多孔的劣质珊瑚。经过充填处理的珊瑚，其密度低于正常珊瑚。在热针试验中，充填珊瑚可有树脂等物质析出。

造型好的珊瑚常用作观赏石，也可以用作雕刻艺术品的原料或加工成项链、戒指、手镯、胸针和耳坠等。珊瑚可以作药用，“珊瑚药酒”是一种极好的补药，能排汗利尿。

珊瑚在佩戴时要注意保护。珊瑚的化学成分是  $\text{CaCO}_3$ ，化学性质不稳定，夏天炎热人体流汗时，不宜久戴珊瑚项链，因汗液中的盐和酸性分泌物会腐蚀珊瑚。珊瑚不宜多接触化妆品、香水、酒精、食盐、油污和醋等。珊瑚的结构不致密、有孔隙，易脏污，清洗时一般用中性肥皂水。

珊瑚产于温暖海洋地区，造礁珊瑚虫在近岸相当浅的暖海中生长，通常距水面 30m 生长最旺盛。地中海是著名的珊瑚宝石产地，非洲的红海素以多珊瑚礁著称。另外，西班牙、中国台湾基隆和澎湖列岛均有质量好的珊瑚产出。

## 6.3 琥 珀

琥珀一直以不同寻常的美丽、自然的形状、有趣而独特的内部结构被世界公认为最有价值、最时髦、最珍贵的宝石之一。琥珀是一种千百万年前针叶树木的树脂松香化石，大块的原始琥珀重达 3kg 多。由于特殊的地质历史条件、气候因素，琥珀有 100 多个品种，有透明的，半透明的，不透明的，还有各种颜色，如黄色、红色、褐色、米色、白色、蓝色、绿色等。有的琥珀含有非常独特的内含物，有些品种是纯树脂，也有些里面含有某些植物体，看起来像金银丝线图案一样美丽，每一个图案都是独一无二、无法重复的。还有些里面含有昆虫的标本，这些含有昆虫标本的琥珀被称为虫珀，是非常珍贵的品种。琥珀不仅仅是一种珍贵的宝石，琥珀中内含的各种各样的小动物和小植物体，也是千百万年前生命的见证。

琥珀是一种碳、氢、氧组成的有机化合物。其化学成分变化较大。化学式可写为  $\text{C}_{2n}\text{H}_{3n}\text{O}$ ，其中  $5 < n < 15$ ， $\text{C} \text{ H } 2 \text{ 3}$ 。一般含 C 79%；O 10.5%；H 10.5%（质量分数），还可含  $\text{H}_2\text{S}$  及琥珀酸和树脂酸等。

琥珀为非晶质体，透明～半透明。未加工的原料为树脂光泽，有滑腻感，抛光后呈树脂光泽～近玻璃光泽。正交偏光镜下全消光，局部因结晶而发亮。折射率为

1.539 ~ 1.545, 常见值为 1.54。在长波紫外线下具浅白蓝色及浅黄色、浅绿色荧光。短波下荧光不明显。

琥珀性脆, 断口呈贝壳状, 摩氏硬度 2 ~ 3, 密度  $1.05 \sim 1.09 \text{ g/cm}^3$ , 常见值为  $1.08 \text{ g/cm}^3$ 。

琥珀加热到 150 软化, 250 ~ 300 熔融燃烧。燃烧时有芳香气味。琥珀的导热性很差。琥珀为绝缘体, 但摩擦时可带电。琥珀易溶于硫酸和热硝酸中, 部分溶解于酒精、汽油、乙醚和松节油中。

目前琥珀按颜色及特点可划分为以下几个品种。

血珀, 透明, 色红如血者为琥珀中的上品。

金珀, 透明, 金黄色、亮黄色的琥珀属名贵品种之一。

琥珀, 透明, 淡红色、黄红色。

蜜蜡, 半透明, 金黄色、棕黄色、蛋黄色, 有蜡状感。

金绞蜜, 当透明的金珀与半透明的蜜蜡互相缠绞在一起, 形成的一种黄色的具缠绞状花纹的琥珀。

香珀, 具有香味的琥珀。

虫珀, 包含动物、植物遗体的琥珀。

石珀, 有一定石化程度的琥珀, 硬度比其他琥珀大。

琥珀的优化处理方法主要有热处理和染色处理。热处理是为增加琥珀的透明度, 将云雾状琥珀放入植物油中加热, 加热后的琥珀变得更加透明。染色处理的琥珀通过放大检查可以看出其颜色沿着裂隙分布。

与琥珀相似的宝石有硬树脂和松香; 琥珀的仿制品主要有塑料、玻璃、玉髓等。

硬树脂与琥珀很相似, 它是形成时代较晚的半化石树脂, 与琥珀成分、性质类似。但是, 硬树脂的挥发分含量高于琥珀, 如果将乙醚滴在硬树脂表面, 用手揉搓, 硬树脂会软化并发黏, 琥珀则不会变化, 但是某些年代较远的硬树脂也不会发生变化。硬树脂在短波紫外线下会发出很强的白色荧光, 而琥珀在短波紫外线照射下无荧光或荧光很弱。

松香与琥珀也具有相似性。松香是未发生硬化的树脂, 松香的颜色、光泽与琥珀都相似。但是琥珀的质量轻, 硬度小, 用手可捏成粉末, 并且松香内常常含有气泡, 短波紫外线下具强绿黄色荧光。

琥珀的仿制品主要有塑料、玻璃和玉髓等。塑料的密度一般大于琥珀。塑料的折射率为 1.50 ~ 1.66, 与琥珀的折射率值一致的很少。塑料呈塑性, 而琥珀呈脆性。

玻璃的摩氏硬度为 5.5, 密度为  $2.60 \text{ g/cm}^3$  左右, 远远高于琥珀的硬度和密度。

玉髓的密度为  $2.58 \sim 2.64 \text{ g/cm}^3$ , 硬度为 6.5 左右, 也比琥珀大得多, 因此比较易于与琥珀区别。

再造琥珀常常作为琥珀的仿制品。早期生产的再造琥珀常含有定向排列的扁平拉长状气泡和流动构造, 并有云雾状条带。新式再造琥珀透明度高, 不存在云雾状流动构造, 而具有搅动构造及未溶物。再造琥珀具有粒状结构, 在抛光面上通过反射光可以看到颗粒间存在的界限。再造琥珀存在异常双折射, 密度比天然琥珀稍低, 一般小于  $1.06 \text{ g/cm}^3$ 。再造琥珀的短波紫外荧光比天然琥珀强。

透明的纯绿色和红色的琥珀为优质品，较少见。透明无瑕的鲜黄色琥珀是最常见的品种，其价格较低。黄褐色微透明琥珀价值更低，含动植物遗体多且完整的为佳品。块度大，无裂纹的价值高。

琥珀的产地众多，主要有欧洲的波罗的海沿岸国家，如波兰、德国、丹麦、俄罗斯等，多米尼加海域也曾大量产出优质琥珀。目前，在罗马尼亚、捷克、意大利西西里岛、挪威、英国、新西兰、缅甸、黎巴嫩、美国、加拿大、智利等地均有产出。我国的琥珀主要产自第三纪抚顺煤田中，且有大量优质虫珀产出。

## 6.4 龟甲(玳瑁)

龟甲是海龟的甲壳，狭义的龟甲专指玳瑁的甲壳。龟甲具有美丽的花纹，半透明~微透明，具有良好的韧性和加工性能。玳瑁是一种凶猛的海生食肉动物，一般长60~80cm，其背壳由13块龟板构成。背甲每块大小一般为20cm×15cm，厚约3cm。

玳瑁主要由角质和骨质等有机物组成，主要成分为复杂的蛋白质。玳瑁常具有美丽的不规则斑点，其色斑多呈褐色、黄色、黄褐色及其混合色。在显微镜下观察，可见其色斑由许多圆形小色素点组成。色点越密集，则颜色越深。玳瑁的底色以黄白色、黄褐色为主，其上有暗褐色、黑色或绿色斑点和斑纹。呈油脂光泽~蜡状光泽，微透明~半透明。非晶质体。折射率约为1.55。在长波、短波紫外光下无色、黄色部分发蓝白色荧光。玳瑁无解理，断口不平坦。硬度2.5，韧性好。密度在1.29 g/cm<sup>3</sup>左右。龟甲在硝酸中变软，但是与盐酸不发生反应。遇高温颜色会变暗，用热针探触时会发出头发被烧焦的气味，在沸水中会变软。

龟甲的仿制品主要有压制龟甲、拼合龟甲、塑料等。

将龟甲碎片加热粘合在一起即为压制龟甲。这种压制成的龟甲的颜色深，在显微镜下可以看到龟甲碎片粘合的痕迹。

拼合龟甲是将一片薄的龟甲粘合在塑料底座上。放大检查可以看到龟甲与塑料之间的粘合面。

杂色的塑料也常用来模仿龟甲。龟甲具有红色圆形色素小点，而塑料制品具有带状的，且有明显界限的色带。塑料的折射率(1.50~1.55)偏低，用热针触探塑料时，会发出辛辣气味。塑料的密度一般为1.49 g/cm<sup>3</sup>左右，而龟甲的密度为1.29 g/cm<sup>3</sup>左右。龟甲与硝酸起反应，塑料制品与硝酸不起反应。

优质龟甲的特点是：较透明，底色温和，斑纹的褐色色调丰满，龟板较厚。白底黑斑的龟甲极为珍稀。玳瑁的龟龄越长，龟甲的质量越好。现杀的龟板质量好。自然死亡的龟甲由于分解作用，会出现阴影和乳白化。人们常常把活的玳瑁的龟甲作为吉祥物佩戴，相反，死去的玳瑁的龟甲则被认为是不吉利的象征。

# 第 7 章

## 宝石的合成优化与处理

### 7.1 宝石的合成方法

人工宝石是人们在实验室或工厂中采用人工手段生产的宝石。随着社会的进步和科学技术的发展，人工合成宝石的方法和手段也在不断增多。目前，常用的人工合成宝石的方法主要有焰熔法、区域熔炼法、晶体提拉法、冷坩埚法、水热生长法、助熔剂生长法、高温高压法以及化学沉积法等。

#### 7.1.1 焰熔法

维尔纳叶于 19 世纪末，用焰熔法制成了有商业意义的合成红宝石，所以，该方法也称维尔纳叶法。焰熔法是将人工宝石的原料，置于氢-氧火焰的高温下，使之熔融，然后再结晶，形成所需要的人工宝石。

用焰熔法可以合成很多种宝石，常见的有刚玉类宝石(蓝宝石和红宝石)、尖晶石、金红石和钛酸锶等。

焰熔法的合成装置如图 7-1 所示。它是将合成宝石的原料装入盛原料的容器，用振动器振动装有粉末的原料仓，使合成宝石的粉末原料从吹管上落下，再通过氢-氧火焰(一般在 2 050℃ 以上)而熔融。熔融的宝石原料下落到下部的种晶上结晶，结晶体成梨形(简称梨晶)。梨晶的熔融顶层直径约 1cm，厚仅 20μm，生长速度约 1cm/h。晶体在生长过程中要保持不断下降旋转。

焰熔法合成宝石的主要鉴定特征如下。

由于焰熔法合成宝石的梨晶在形成过程中不断旋转，因而，晶体内有密集的弧形生长环带或色带，而天然宝石生长环带和色带平直。焰熔法合成宝石中无液相包体，偶见球形、蝌蚪状气相包体，若细小气泡大量聚集，可形成云雾状包体。

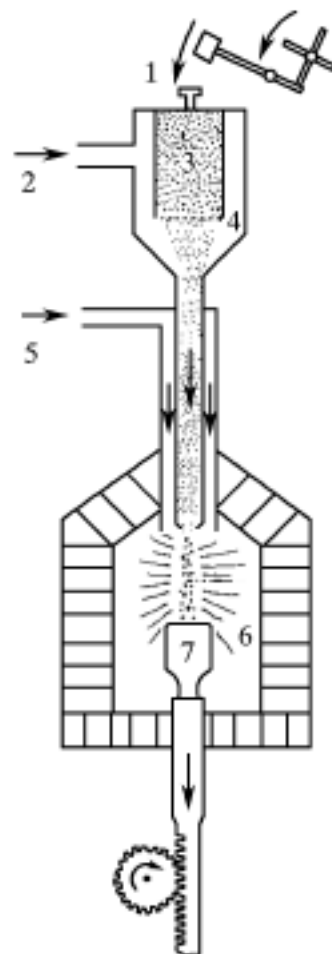


图 7-1 维尔纳叶法合成宝石示意图  
1—振动器；2—输氧气管；3— $\text{Al}_2\text{O}_3$  原料；4—筛；5—输氢气管；  
6—火焰；7—合成宝石晶体  
(据董振信，1999)

焰熔法合成宝石中没有固体结晶包裹体,但含未熔化的粉末状原料固相包体。天然宝石中有许多固体矿物包裹体(锆石、磷灰石、方解石及钛铁矿等),多呈短柱状、棱角状、片状及粒状等。

在短波紫外线照射下,合成宝石与天然宝石的荧光特征常常不同。例如,焰熔法合成的红宝石荧光为强红色荧光,而天然红宝石红色荧光稍弱。

焰熔法合成宝石呈梨状或棒状,天然宝石晶体呈不同形状的几何多面体。

合成宝石颜色鲜艳,明亮,个体大。

### 7.1.2 区域熔炼法

区域熔炼法合成宝石技术是1952年6月首次由蒲凡(Pfann)公布于众的。20世纪50年代初期,此项技术主要用于为半导体工业提供高纯度的锗和硅。如今,区域熔炼法已经广泛应用于人工宝石的合成,合成的宝石品种较多,例如合成红宝石、合成蓝宝石、合成变石和人造钇铝榴石(YAG)等。

区域熔炼法是把制作宝石的材料通过高温区,使其发生熔融和重结晶,从而形成宝石单晶体。在该法的整个合成过程中,原料都有一部分或一个区域处于熔融状态。原料可为粉末,也可为烧结棒。熔融是从原料的一端开始的,然后,通过移动加热圈或原料,使熔融区向另一端推进,如图7-2所示。

区域熔炼法能精炼和提纯晶体,所以晶体中很少出现包裹体和生长纹,晶体的质量较高。由于晶体生长过程中工艺条件的突变,区域熔炼法也会合成出质量较差的宝石晶体,其特征是生长纹混乱、晶体颜色不均匀等。

### 7.1.3 晶体提拉法

晶体提拉法是一种利用籽晶从熔体中提拉生长出晶体的方法,该方法能在较短时间内生长出晶体大、缺陷少的高质量单晶。晶体提拉法是由丘克拉斯基于1917年首先发明的,所以又称之为丘克拉斯基法。用提拉法生长出的人造钇铝榴石晶体外观与天然祖母绿晶体非常相似,深受国内外用户的欢迎。

生长晶体时将原料放入耐高温的坩埚中,加热使原料熔化。调整炉内温度场,使熔体上部处于过冷状态。将一块长约几毫米的籽晶接触熔体表面,籽晶表面稍熔后将籽晶向上提拉,使籽晶处于过冷状态,呈熔融状态的宝石原料与籽晶的接触面温度较低,从而熔体中的宝石材料不断向籽晶结晶使晶体逐渐长大。在结晶过程中不断提升结晶体,同时还要使其不断旋转如图7-3所示,从而可以生长出圆棒形晶体。提拉法的生长速度一般为 $2 \sim 6 \text{ mm/h}$ ,晶棒的直径约 $2.54 \text{ cm}$ 或稍大。

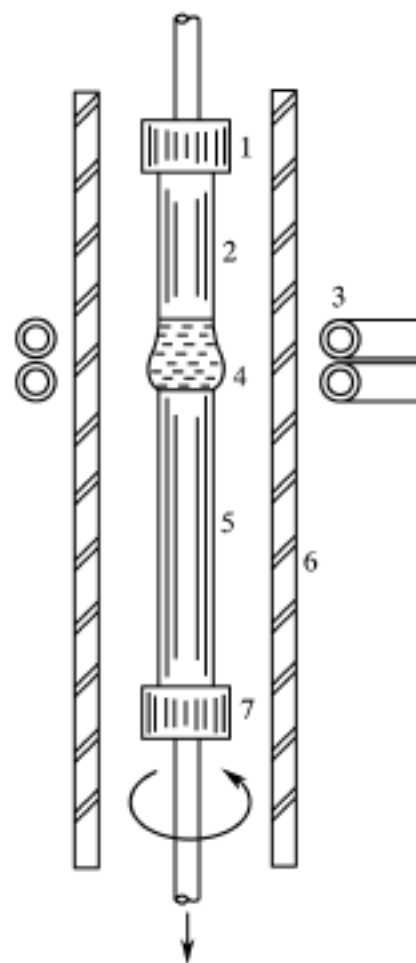


图 7-2 区域熔炼法合成宝石装置示意图  
1, 7—卡盘; 2—内装烧结棒; 3—高频加热圈; 4—熔融区; 5—合成晶体; 6—石英保温管

(据董振信, 1999)

近年来，用提拉法生长出许多有实用价值的宝石晶体，如合成无色蓝宝石、合成红宝石、钇铝榴石(YAG)、钆镓榴石(GGG)、合成变石和合成尖晶石等。

#### 7.1.4 冷坩埚法

冷坩埚法本质上是一种熔体法晶体生长技术，它是直接用拟生长的晶体材料本身作“坩埚”，利用微波使原材料加热熔融，靠冷水管中的冷水降温，使表层不熔，从而起到坩埚的作用，由内部熔体结晶出晶体的方法。目前，冷坩埚法在合成宝石方面主要用于生长合成立方氧化锆晶体。

利用冷坩埚法合成宝石的过程是：在无顶盖的、四周由可供冷水系统的铜管组成的金属环内，装入宝石粉末，由绕在炉外壁的与高频发生器相连的铜线圈提供热能，如图 7-4 所示。室温下宝石粉末一般是绝缘体，高频不能使它受热，为了克服这一点，可在粉末中加入金属片。金属片在高频下受热熔融，同时，也使宝石粉末温度升高熔融。不过，与铜冷水管靠近的一薄层宝石粉末不熔，这恰巧防止了金属壳的污染。在持续熔融几小时后，生长出近似圆柱状晶体，然后慢慢退火降温，得到所生长的宝石晶体。

#### 7.1.5 水热生长法

水热法是在水溶液中生长宝石晶体的方法。水热生长法生长宝石晶体按输运方式不同可分为三种类型：等温法、摆动法和温差法。

温差法是目前使用最广泛的水热法生长晶体的方法。多用于合成水晶、合成金红石、合成海蓝宝石等。该法是在封闭的高压釜中，在高温高压条件下，使原料在较热部位熔解于水溶液中，随后在较冷部位的籽晶上重结晶。

该方法类似于天然晶体的生长过程。最早用水热生长法合成的宝石是水晶。1950 年，美英两国用水热法进行了水晶的商业性生产。生长水晶晶体时，在高压釜内装入掺有矿化剂的水溶液，将压碎的天然石英置于容器的底部。石英受热熔解，由于高压釜内存在温度差，引起溶液对流，溶解的石英经对流后沉淀于高压釜上部温度较低的籽晶上。在 1965—1970 年间，人们一直用水热生长法合成祖母绿。生长祖母绿时，在一个顶部封口的钢质高压釜的底部填上  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{BeO}$  培养基，籽晶片固定于中部， $\text{SiO}_2$  培养基放在顶部，然后在高压釜内注满含矿化剂的水。矿化剂通常是碱

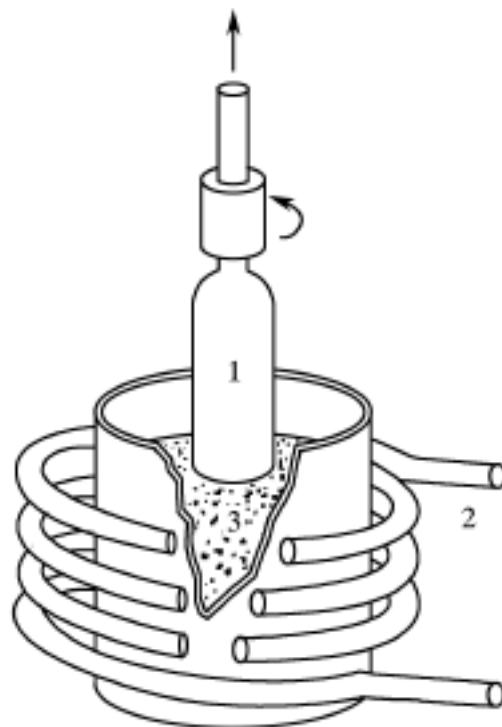


图 7-3 提拉法合成宝石装置示意图  
1—晶体（棒状）；2—高频电管；3—熔融体  
(据董振信, 1999)

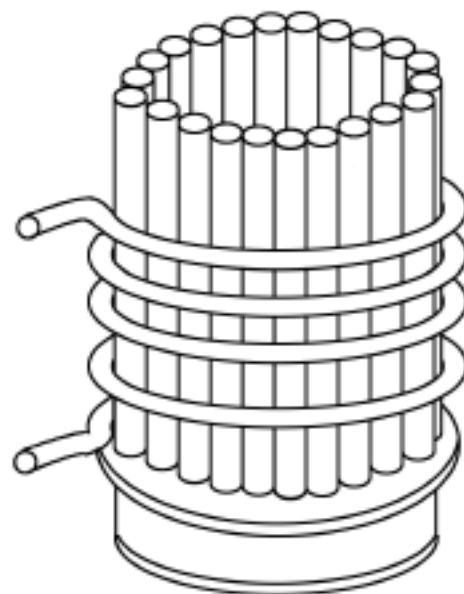


图 7-4 冷坩埚法合成宝石装置示意图  
(据董振信, 1999)



金属或铵的卤化物，这有助于晶体的生长。高压釜的压力、温度可达 140MPa 和 600℃。内壁镶有贵金属(铂)衬垫，用于防止与壁上的铁反应。温度升高使水沸腾，从而使压力升高，直至釜内顶部的石英和底部的原料全部溶解，发生对流和扩散，祖母绿形成并沉淀于籽晶上。1993 年，广西宝石研究所用该法合成祖母绿，进行了商业性生产，并成功地用该法合成了红宝石。如图 7-5 所示。

天然祖母绿的结构中不仅含有 Ⅱ型水(在不含碱或含碱少的条件下生长)，而且存在 Ⅲ型水(在含碱高的条件下生长)。而水热法合成祖母绿晶体中只含 Ⅱ型水。二者在红外光谱下的特征吸收峰不同。水热法生长的晶体在显微镜下可以看到籽晶残留的微小的籽晶片。合成祖母绿颜色浓艳，有较强的红色荧光。

#### 7.1.6 助熔剂生长法

助熔剂生长法又叫助熔剂熔化生长法。它是将宝石原料加入到助熔剂中加热，在高温下形成均匀的饱和熔液，然后通过缓慢降温或恒温下使助熔剂蒸发的办法，使熔液处于过饱和状态，结晶出宝石晶体来。助熔剂的加入可以降低宝石的熔点。常用的助熔剂有卤化物(LiF, NaCl, KF 等)、铅和铋的氧化物(PbO, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等)、硼化物(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)及锂的钒酸盐(Li<sub>2</sub>VO<sub>3</sub>)、钼酸盐(Li<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>)及钨酸盐(Li<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>)等。

根据晶体成核及晶体生长的方式不同可将助熔剂生长宝石的方法分为两大类：自发成核法和籽晶生长法。助熔剂法合成祖母绿的装置如图 7-6 所示，合成其他宝石的装置与之类似。常用助熔剂法合成的宝石有合成红宝石、合成祖母绿等。

助熔剂生长法合成的宝石有下述鉴别特征。

在用助熔剂法合成的宝石晶体中有时可见到籽晶残留体。

在用助熔剂法合成的宝石晶体中，可以见到呈羽状、毛状、纱状或束状的助熔剂残留体。

在用助熔剂法合成的祖母绿中见有铂片和硅铍石包体。铂片包裹体只有在合成宝石中才能见到，但是硅铍石在天然祖母绿中也可见到。

天然宝石中常见各种天然矿物的晶体矿物包裹体，在合成宝石中不存在这种晶体

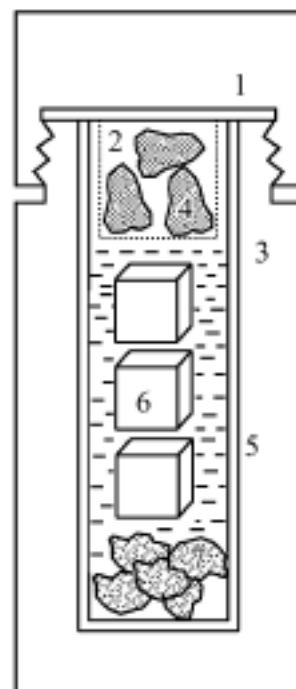


图 7-5 水热法合成祖母绿装置示意图  
1—钢高压釜盖；2—矿化溶液；3—钢高压釜；4—SiO<sub>2</sub> 培养基；5—贵金属衬；6—籽晶；7—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 BeO 培养基  
(据董振信，1999)

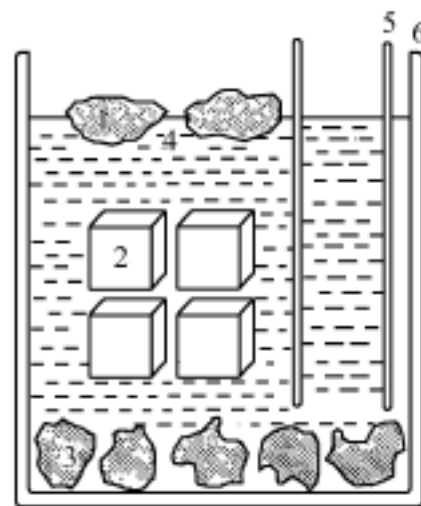


图 7-6 助熔剂法合成祖母绿装置示意图  
1—SiO<sub>2</sub> 培养基；2—籽晶；3—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 BeO 培养基；4—助熔剂；5—底部附加管；6—坩埚  
(据董振信，1999)

包裹体。

用助熔剂法合成的祖母绿晶体中无 型和 型水，用红外光谱法测定时无对应的吸收峰。

助熔剂法合成的晶体有时可观察到平直的生长条纹。

#### 7.1.7 高温超高压法

高温超高压法合成宝石是指利用高温超高压设备，使粉末样品在高温超高压条件下，产生相变和熔融进而结晶生长出宝石晶体的方法。主要适用于在高温超高压条件下形成的宝石矿物，如钻石、翡翠等。

高温高压条件的获得，最常用的是静压法(采用油压机)，也可用炸药爆炸或利用地下核爆炸方法(也称动力法)获得，后者只适用于工业级金刚石的合成。用晶种触媒法合成金刚石是以石墨、金刚石粉或石墨与金刚石粉的混合物为碳源，将其熔化于金属触媒中，在温度梯度的作用下，使熔化在触媒金属中的碳输送到高压反应腔中温度较低的金剛石晶种上。由于合成金刚石是在高温高压条件下由石墨转变而来的，所以，反应后的产物除金刚石外，还有石墨和金属(或合金)等。因此，要获得纯净的金刚石，还需要进行分离处理。

#### 7.1.8 化学气相沉积法

化学气相沉积法(CVD 法)在合成宝石方面应用最多的是合成钻石。下面就以 CVD 法合成钻石为例，介绍 CVD 法在合成宝石中的应用。CVD 法合成钻石是将碳从化合物的状态分解成单独游离的碳原子或离子状态，然后使其连续沉淀生长在晶体基片上。将碳分解成原子或离子的方法可用电热丝、微波、火焰、直流电弧等方式在反应腔体内形成一个等离子场，将甲烷及氢气导入。利用氢的催化，使甲烷释放出原子碳，碳原子逐渐沉淀生长在预先准备好的基片上。其生长速度从每小时 1 微米至数十微米不等。基片可用硅片、金属片或直接用钻石。根据需要，可生长出数微米至数百微米的钻石膜。

目前，以天然或高温高压法合成的钻石切成平行{100}晶面的薄片作为基片，用微波加热形成等离子场，在 800 ~ 1000 °C，0.101MPa 下，用 CVD 法可以在金刚石基片上生长出单晶的钻石。

用 CVD 法合成钻石的颜色可以有褐色、蓝色等，也可以生长出无色的钻石。用 CVD 法合成的钻石可以达到非常好的净度，如 VVS 甚至 FL，用常规方法很难鉴定出来。可以用 Diamod View，Diamond Sure 等仪器来鉴定这种合成钻石。

## 7.2 宝石的优化与处理方法

优化处理定义为“除切磨和抛光以外，用于改善珠宝玉石的外观(颜色、净度或特殊光学现象)、耐久性或可用性的所有方法”。优化处理可进一步划分为优化和处理两类。优化是指“传统的、被人们广泛接受的使珠宝玉石潜在的美显示出来的优化处理方法”，如加热、漂白、浸无色油以及玉髓玛瑙的染色等。处理是指“非传统的，

尚不被人们接受的优化处理方法”，如染色处理、辐照处理、表面扩散处理等。自然界中颜色、透明度、光泽皆好的宝石数量不多，采用人工优化法，可以改善质量差的宝石的颜色、透明度、牢固程度、净度，大大地提高了它的售价。

天然宝石的优化处理方法主要包括漂白、覆膜、染色、充填、热处理、辐照及表面扩散处理等。

#### 7.2.1 漂白处理

漂白处理是选用氯气、过氧化氢(双氧水)、次氯酸盐、亚硫酸盐及浓酸等适宜的化学试剂，浸泡珍珠、珊瑚、象牙、玉髓、翡翠、硅化木及木变石等宝玉石，除去暗、灰及褐等颜色，使其变白。经过这种漂白处理，使宝玉石的色泽变优。

#### 7.2.2 覆膜处理

覆膜处理是在宝石的表面覆上一层有色或无色的物质，以改善宝石的外观的方法。例如对淡黄色的钻石，涂一层薄薄的蓝色膜，可以抵消其浅黄色，从而大大改善钻石的颜色。也可在仿钻材料上镀上一层钻石薄膜，镀膜后用热导仪无法探测出来。这种仿制品很可能被误认为是钻石真品，因而，欺骗性很大。

在宝石的表面涂上一层颜色可以使宝石产生颜色或使宝石的颜色得到改善。宝玉石表面的涂层不耐磨，在擦划或剥落处常显淡色线条或斑块，也可用针刻划。一些人将颜料涂在宝石底部，然后用背面封闭式的镶嵌法，来掩盖对宝石进行的这种人工处理。在吸收光谱图中可见到人工涂料的光谱，与天然宝石的吸收光谱不同。

#### 7.2.3 染色处理

这种方法是用水、油或醇作溶剂，用有机质或无机质作染料，对宝玉石进行染色。染色法通常用于不透明或半透明宝石，但也用于透明宝石。鉴别的方法是在散射光下用放大镜或显微镜检测这些宝石的裂隙，可以看到颜色主要富集在裂隙中。常见的染色宝玉石有石英岩、大理岩、玛瑙、玉髓、碧玉、翡翠、红宝石、蓝宝石、珍珠、珊瑚、欧泊、绿松石等。石英岩和大理岩分别是由石英和方解石组成的多孔岩石，极易染色，它们常被雕刻或加工成工艺品或珠子后再染色。玉髓、玛瑙和碧玉有不同程度的孔隙存在，因而可被大量染色。用不同的矿物颜料可以将其染成红色、黄色、绿色、蓝色及黑色等。当玛瑙某些层的孔隙度小、染色剂不容易渗透时还会产生彩色条带。

染成蓝色的碧玉常常被用来模仿青金石。但是它没有青金石的粒状结构，也不含黄铁矿，可见带状构造，而且在碧玉的某些部位可见到玛瑙的典型构造，这种构造易发生褪色。

染成绿色的玛瑙可用来模仿天然绿玉髓。其染料中含铬，而天然绿玉髓大多是因含镍而致色的。玛瑙具条带状、条纹状及环带状构造。染色剂多富集在矿物颗粒边界间。微晶质翡翠通常多孔隙，可染成各种颜色，一般常染成绿色或紫红色。某些染色的绿翡翠在滤色镜下呈粉红色，而天然绿色翡翠为绿色或灰绿色。染成紫红色的翡翠在长波紫外光下发出明亮的橙黄色荧光，而天然紫红色翡翠只能发出微弱的浅褐荧

光，以此可以将染色翡翠与天然紫红色翡翠区分开来。

将珍珠放入硝酸银溶液中浸泡，然后暴露在日光下使金属银沉淀，这样可以将珍珠染成黑色。这种颜色是金属银所致，在交叉滤色片间观察，这些珍珠显惰性，不像天然珍珠那样发暗红色光，如果在养殖珍珠的珠核和珠母外层之间注入粉红染料，染料会在这些部位富集，可以用放大镜或显微镜检测出来。

综上所述，染色法所用的染料可以是无机质的(矿物质的)，也可以是有机质的。主要鉴别特征如下。

颜色种类单一，分布不均，在裂隙和孔隙处颜色浓，有染料充填。

染色宝石的吸收光谱与天然宝石不同。

在紫外光下，染色宝石与天然宝石的荧光有时有差别。染色剂经常具有较强的紫外荧光。

大多数有机染色剂可使蘸有丙酮的棉球染色。

#### 7.2.4 充填处理

充填处理是指对天然宝石注油或其他物质，掩盖裂隙以改善宝石外观或使多孔隙宝石变坚硬的方法。绿松石常用石蜡进行充填处理。孔隙大的宝石，有时用塑料、树脂或胶状玻璃进行充填。

大多数在市场上出售的祖母绿都经过注油处理。因为油的折射率比宝石孔隙中空气的折射率更接近于宝石的折射率，所以，注油后可降低裂隙的可见性，改善宝石的净度、透明度和颜色。如果注无色油，一般认为是优化方法，但是注有色油则是处理方法。蛋白石有时被注油，以掩盖裂纹。宝石人工处理的最新发展是用玻璃充填宝石的裂隙。红宝石经常有裂隙存在，因而，对该类宝石要仔细检查是否有玻璃充填其中。经过充填处理的宝石充填物的光泽与宝石的光泽不同。

检查注油的方法有以下几种。

在紫外线下，注油后的宝石发荧光。

在显微镜下检查，可以看到没有被油全部充填的空隙。

谨慎地使用热针，可从裂隙中析出油滴来。

仔细地检查宝石包装纸，纸上若有油迹，说明宝石中注过油。

#### 7.2.5 热处理

经过热处理常常可以改善宝石的颜色，有时还可以增加宝石的透明度，因此，很多宝石都经过了不同程度的热处理。热处理一般都为优化方法。

热处理是通过在不同氧化-还原条件下进行加热处理，使宝石中所含的致色离子在价态及其含量、晶体内部缺陷结构上发生变化，引起宝石的颜色和透明度发生变化，以达到改善宝石质量的目的。最常见的红宝石、蓝宝石的改色就是采用热处理法。

在热处理过程中，需要注意控制以下条件。

##### (1) 加热升温速率

一般热处理的升温过程应缓慢进行，这样，可使宝石样品不发生炸裂。

### (2) 热处理的最高温度

宝石种类不同, 其最高热处理温度也不同, 要通过实验来探索宝石样品所需的最高热处理温度。例如, 在对红宝石或蓝宝石热处理时, 升温往往接近并低于熔点温度。温度低于 1 600 ℃ 时, 该类宝石颜色无变化。温度若再升高, 会使其熔融。绿柱石类宝石加热的最高温度比红宝石或蓝宝石热处理的最高温度低得多, 通常为 200 ~ 500 ℃。

### (3) 恒温时间

恒温时间是指温度升高到一定程度后, 温度保持不变的时间。对于不同宝石, 热处理的目的不同, 恒温时间也不同。

### (4) 降温速率

宝石热处理过程中降温速率通常是较缓慢的, 以防止宝石炸裂。但在特殊情况下, 为了消除刚玉类宝石中不规则排列的金红石包裹体, 则需要迅速降温。

### (5) 加热炉内的气氛

热处理时炉内的氧化-还原气氛不同, 会使经过热处理的结果完全不同。

### (6) 加热炉内的压力

有些热处理实验, 需要控制压力。不同宝石的压力条件(常压、高压等)需通过实验进行探索。

上述条件, 对于不同种类的宝石、不同成因条件的同类宝石, 甚至同一产地的含微量元素及包裹体成分不同的同一种宝石, 其热处理的条件可相差很大。因为热处理工艺是一项严格保密的技术, 彻底公开的方法很难了解到, 因而, 要靠实践积累及反复探索。

为了达到升温 and 降温的缓慢进行, 防止宝石炸裂, 可将宝石放入坩锅中封闭, 用细砂充填其间。有时, 可将宝石包在黏土团里进行热处理。

## 7.2.6 辐照处理

辐照是粒子或电磁波的能量发射。天然宝石经过辐照处理后, 可产生色心、强化原有色心或改变原来的色心, 使宝石生色、增色或改变颜色。辐照的类型主要有三种。

### (1) 射线辐照

主要采用<sup>60</sup>Co 同位素衰变释放出 γ 射线和 β 射线, 它们的能量分别是 1.17MeV 和 1.33MeV。该方法处理的天然宝石着色力弱, 不能使金刚石着色。对托帕石采用 γ 射线辐照处理, 只能达到天蓝色。但是经过 γ 射线辐照的宝石一般不会诱发放射活性。

### (2) 高能电子束辐照

利用高能电子加速器(如直线加速器、回旋加速器等)产生高能电子束及质子束用于辐照宝石, 其能量可高达 20MeV。这种高能电子束作为辐照源改色效果较好, 但是会诱发少量放射活性。

### (3) 中子辐照

用核反应堆的中子源对宝石进行辐照处理。反应堆产生的中子有热中子和快中子

两种，其中热中子轰击会诱发放射活性，快中子则诱发色心变化。在辐照处理宝石时采用特殊装置将热中子挡住，只允许快中子通过。快中子轰击会使宝石晶体造成晶格损伤，产生大量的点缺陷，出现空位和离位原子，形成新的色心，出现颜色变化。由于中子能量高，穿透力强，所以用中子辐照改色效果好，所需的时间短，成本低。但是，经过中子改色的宝石有放射性产生，需消除放射性后再投入市场。经过中子辐照的宝石有时新出现的色心是不稳定的，需要经过热处理，使其稳定下来，这个过程称为固色处理。

7.2.7 表面扩散处理

表面扩散处理是将宝石置于含有致色离子的物质中加热，使致色离子在高温条件下扩散到宝石内部，一般只限于宝石的表层。经过扩散处理后，可以使无色或浅色的宝石颜色加深，或者使宝石产生特殊光学效应。例如，通过表面扩散处理，红宝石或蓝宝石的外表会产生颜色，某些红宝石和蓝宝石还会产生星光效应。经过钛和铁扩散的蓝宝石会产生蓝色，经铬扩散的蓝宝石会产生红色，经镍扩散的蓝宝石会产生黄色。星光效应要求渗入过量的钛。这种表面扩散作用的过程极为缓慢，即使在高温下也是如此。渗透的深度很小，一般仅数微米厚。因而，在宝石处理前，必须切磨成型。为了保留着色的薄层，只能进行很轻微的再抛光，所以宝石面上会留有麻点，而且颜色的分布不均匀。如果抛光过度，颜色层将会部分或全部丢失。鉴定经过扩散处理的宝石可以将宝石放到二碘甲烷中进行观察，也可以使用散射光观察。扩散处理后的宝石在小面边缘和宝石表面颜色加深，表现为较高的突起，轮廓清晰。还可以看到沿刻面棱颜色富集、刻面之间颜色深浅不均以及在表面凹坑或表面裂隙中颜色富集等现象。

# 附录

附表 1 宝石折射率检索表

基本名称	折射率	常见值	双折射率
火欧泊	1.370 ~ 1.430	1.40	无
欧泊	1.440 ~ 1.470	1.45	无
黑欧泊	1.440 ~ 1.470	1.45	无
萤石	1.433 ~ 1.435	1.434	无
塑料	1.460 ~ 1.700		无
硅孔雀石	1.461 ~ 1.570	1.50	集合体不可测
玻璃	1.470 ~ 1.700		无
方钠石	1.479 ~ 1.487	1.48	无
天然玻璃	1.480 ~ 1.510	1.49	无
黑曜石(火山玻璃)	1.480 ~ 1.510	1.49	无
玻璃陨石	1.480 ~ 1.510	1.49	无
方解石	1.486 ~ 1.658		0.172
冰洲石	1.486 ~ 1.658		0.172
大理石	1.486 ~ 1.658		集合体不可测
蓝田玉	1.486 ~ 1.658		集合体不可测
珊瑚	1.486 ~ 1.658		不可测
青金石	1.500 ~ 1.670	1.50	无
养殖珍珠	1.500 ~ 1.685	1.53 ~ 1.56	集合体不可测
海水养殖珍珠(海水珍珠)	1.500 ~ 1.685	1.53 ~ 1.56	集合体不可测
淡水养殖珍珠(淡水珍珠)	1.500 ~ 1.685	1.53 ~ 1.56	集合体不可测
白云石	1.505 ~ 1.743		0.179 ~ 0.184, 集合体不可测
长石	1.510 ~ 1.570		0.005 ~ 0.010
月光石	1.518 ~ 1.526	1.52	0.005 ~ 0.008
钠长石玉	1.520 ~ 1.540	1.53	无
天河石	1.522 ~ 1.530	1.52	0.008, 集合体不可测
青田石	1.550 ~ 1.600	1.55	无
天然珍珠	1.530 ~ 1.685		集合体不可测
天然海水珍珠	1.530 ~ 1.685		集合体不可测
天然淡水珍珠	1.530 ~ 1.685		集合体不可测
贝壳	1.530 ~ 1.685		0.155, 集合体不可测
鱼眼石	1.535 ~ 1.537		0.002
玉髓	1.535 ~ 1.539	1.53	集合体不可测
玛瑙	1.535 ~ 1.539	1.53	集合体不可测
象牙	1.535 ~ 1.540	1.54	无
日光石	1.537 ~ 1.547	1.53	0.007 ~ 0.010

续附表 1

基本名称	折 射 率	常 见 值	双 折 射 率
琥 珀	1.540	1.54	无
滑 石	1.540 ~ 1.590	1.54	0.050, 集合体不可测
堇 青 石	1.542 ~ 1.551	1.54	0.008 ~ 0.012
石 英	1.544 ~ 1.553	1.54	0.009
水 晶	1.544 ~ 1.553	1.54	0.009
紫 晶	1.544 ~ 1.553	1.54	0.009
黄 晶	1.544 ~ 1.553	1.54	0.009
烟 晶	1.544 ~ 1.553	1.54	0.009
绿水晶	1.544 ~ 1.553	1.54	0.009
芙蓉石	1.544 ~ 1.553	1.54	0.009
木变石	1.544 ~ 1.553	1.54	集合体不可测
虎睛石	1.544 ~ 1.553	1.54	集合体不可测
鹰睛石	1.544 ~ 1.553	1.54	集合体不可测
石英岩	1.544 ~ 1.553	1.54	集合体不可测
东陵玉	1.544 ~ 1.553	1.54	集合体不可测
硅化木	1.544 ~ 1.553	1.54	0 ~ 0.009, 集合体不可测
方柱石	1.550 ~ 1.564	1.55	0.004 ~ 0.037
查罗石	1.550 ~ 1.559	1.55	0.009, 集合体不可测
龟 甲	1.550	1.55	无
玳 瑁	1.550	1.55	无
拉长石	1.559 ~ 1.568	1.56	0.009
蛇纹石	1.560 ~ 1.570	1.56	集合体不可测
岫 玉	1.560 ~ 1.570	1.56	集合体不可测
独山玉	1.560 ~ 1.700	1.56	无
鸡血石	1.560 ~ 1.810	“地”约 1.56,“血”大于 1.81	无
寿山石	1.560	1.56	无
田 黄	1.560	1.56	无
祖母绿	1.577 ~ 1.583	1.58	0.005 ~ 0.009
海蓝宝石	1.577 ~ 1.583	1.58	0.005 ~ 0.009
绿柱石	1.577 ~ 1.583	1.58	0.005 ~ 0.009
玄武玻璃	1.580 ~ 1.650	1.58	无
羟硅硼钙石	1.586 ~ 1.605	1.59	0.019, 集合体不可测
菱锰矿	1.597 ~ 1.817	1.59	0.220, 集合体不可测
磷铝钠石	1.602 ~ 1.621	1.60	0.019 ~ 0.021
软 玉	1.606 ~ 1.632	1.60	集合体不可测
闪石玉	1.606 ~ 1.632	1.60	集合体不可测
和田玉	1.606 ~ 1.632	1.60	集合体不可测
白 玉	1.606 ~ 1.632	1.60	集合体不可测
青白玉	1.606 ~ 1.632	1.60	集合体不可测
青 玉	1.606 ~ 1.632	1.60	集合体不可测
绿松石	1.610 ~ 1.650	1.61	集合体不可测



续附表 1			
基本名称	折 射 率	常 见 值	双 折 射 率
天 蓝 石	1.612 ~ 1.643	1.61	0.031
磷铝锂石	1.612 ~ 1.636	1.61	0.020 ~ 0.027
托 帕 石	1.619 ~ 1.627	1.62	0.008 ~ 0.010
天 青 石	1.619 ~ 1.637	1.62	0.018
阳 起 石	1.614 ~ 1.641	1.63	0.022 ~ 0.027， 集合体不可测
葡 萄 石	1.616 ~ 1.649	1.63	0.020 ~ 0.035， 集合体不可测
菱 锌 矿	1.621 ~ 1.849	1.62	0.225 ~ 0.228， 集合体不可测
碧    玺	1.624 ~ 1.644	1.62	0.018 ~ 0.040； 通常 0.020， 暗色可达 0.040
硅硼钙石	1.626 ~ 1.670	1.62	0.044 ~ 0.046， 集合体不可测
赛 黄 晶	1.630 ~ 1.636	1.63	0.006
磷 灰 石	1.634 ~ 1.638	1.63	0.002 ~ 0.008， 多为 0.003
红 柱 石	1.634 ~ 1.643	1.63	0.007 ~ 0.013
空 晶 石	1.634 ~ 1.643	1.63	0.007 ~ 0.013
重 晶 石	1.636 ~ 1.648	1.63	0.012
蓝 柱 石	1.652 ~ 1.671	1.65	0.019 ~ 0.020
橄 榄 石	1.654 ~ 1.690	1.65	0.035 ~ 0.038， 常为 0.036
硅 铍 石	1.654 ~ 1.670	1.65	0.016
透 视 石	1.655 ~ 1.708	1.65	0.051 ~ 0.053
孔 雀 石	1.655 ~ 1.909	1.65	0.254， 集合体不可测
矽 线 石	1.659 ~ 1.680	1.66	0.015 ~ 0.021
辉    石	1.660 ~ 1.772	1.67	0.008 ~ 0.033
锂 辉 石	1.660 ~ 1.676	1.67	0.014 ~ 0.016
煤    精	1.660	1.66	无
顽火辉石	1.663 ~ 1.673	1.66	0.008 ~ 0.011
翡    翠	1.666 ~ 1.680	1.66	集合体不可测
柱 晶 石	1.667 ~ 1.680	1.66	0.012 ~ 0.017
硼铝镁石	1.668 ~ 1.707	1.67	0.036 ~ 0.039
普通辉石	1.670 ~ 1.772	1.67	0.018 ~ 0.033
透 辉 石	1.675 ~ 1.701	1.68	0.024 ~ 0.030
斧    石	1.678 ~ 1.688	1.68	0.010 ~ 0.012
黝 帘 石	1.691 ~ 1.700	1.69	0.008 ~ 0.013
坦 桑 石	1.691 ~ 1.700	1.69	0.008 ~ 0.013
石 榴 石	1.710 ~ 1.940		无
符 山 石	1.713 ~ 1.718	1.71	0.001 ~ 0.012
镁铝榴石	1.714 ~ 1.742	1.74	无
蓝 晶 石	1.716 ~ 1.731	1.72	0.012 ~ 0.017
尖 晶 石	1.718	1.718	无
塔 菲 石	1.719 ~ 1.723	1.72	0.004 ~ 0.005
水钙铝榴石	1.720	1.72	无
绿 帘 石	1.729 ~ 1.768	1.73	0.019 ~ 0.045
钙铝榴石	1.730 ~ 1.760	1.74	无

续附表 1

基本名称	折 射 率	常见 值	双 折 射 率
蔷薇辉石	1.733 ~ 1.747	1.73	集合体不可测
京粉玉	1.733 ~ 1.747	1.73	集合体不可测
金绿宝石	1.746 ~ 1.755	1.74	0.008 ~ 0.010
猫 眼	1.746 ~ 1.755	1.74	0.008 ~ 0.010
变 石	1.746 ~ 1.755	1.74	0.008 ~ 0.010
变石猫眼	1.746 ~ 1.755	1.74	0.008 ~ 0.010
蓝锥石	1.757 ~ 1.804	1.76	0.047
铁铝榴石	1.760 ~ 1.820	1.79	无
红宝石	1.762 ~ 1.770	1.76	0.008 ~ 0.010
蓝宝石	1.762 ~ 1.770	1.76	0.008 ~ 0.010
锰铝榴石	1.790 ~ 1.814	1.81	无
低型锆石	1.810 ~ 1.815	1.81	0.005
钙铬榴石	1.820 ~ 1.880	1.85	无
人造钇铝榴石	1.833		无
钙铁榴石	1.855 ~ 1.895		无
翠榴石	1.855 ~ 1.895		无
黑榴石	1.855 ~ 1.895		无
中型锆石	1.875 ~ 1.905		0.03
楣 石	1.900 ~ 2.034		0.100 ~ 0.135
高型锆石	1.925 ~ 1.984		0.061
人造钆镓榴石	1.970		无
锡 石	1.997 ~ 2.093		0.096 ~ 0.098
合成立方氧化锆	2.150		无
人造钛酸锶	2.409		无
钻 石	2.417		无
合成碳硅石	2.648 ~ 2.691		0.043
赤铁矿	2.940 ~ 3.220		0.280，集合体不可测





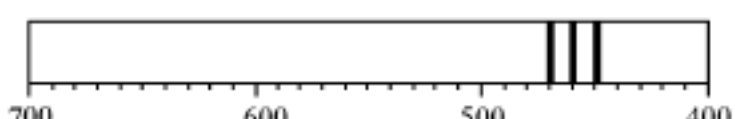





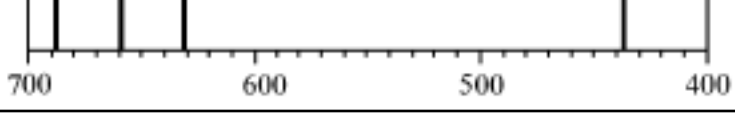

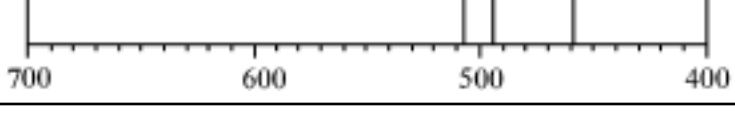

附表 2			宝石密度检索表		
基本名称	密度常见值 / (g cm <sup>3</sup> )	密度范围 / (g cm <sup>3</sup> )	基本名称	密度常见值 / (g cm <sup>3</sup> )	密度范围 / (g cm <sup>3</sup> )
塑 料	1.05	1.05 ~ 1.55	蓝田玉	2.70	2.65 ~ 2.75
琥 珀	1.08	1.00 ~ 1.10	方解石	2.70	2.66 ~ 2.76
龟 甲	1.29	1.26 ~ 1.35	硅化木	2.70	2.65 ~ 2.91
玳 瑁	1.29	1.26 ~ 1.35	天然珍珠	2.72	2.61 ~ 2.85
煤 精	1.32	1.30 ~ 1.34	天然海水珍珠	2.72	2.61 ~ 2.85
象 牙	1.70	1.70 ~ 2.00	淡水养殖珍珠	2.72	2.66 ~ 2.78
硅孔雀石	2.00	2.00 ~ 2.40	祖母绿	2.72	2.67 ~ 2.90
欧 泊	2.15	1.98 ~ 2.20	海蓝宝石	2.72	2.67 ~ 2.90
黑欧泊	2.15	1.98 ~ 2.20	绿柱石	2.72	2.67 ~ 2.90
火欧泊	2.15	1.98 ~ 2.20	海水养殖珍珠	2.75	2.72 ~ 2.78
方钠石	2.25	2.15 ~ 2.40	养殖珍珠	2.75	2.72 ~ 2.78
玻 璃	2.30	2.30 ~ 4.50	青金石	2.75	2.50 ~ 3.00
玻璃陨石	2.36	2.32 ~ 2.40	滑 石	2.75	2.58 ~ 2.83
鱼眼石	2.40	2.30 ~ 2.50	绿松石	2.76	2.40 ~ 2.90
黑曜石(火山玻璃)	2.40	2.30 ~ 2.50	玄武玻璃	2.85	2.70 ~ 3.00
天河石	2.56	2.54 ~ 2.58	贝 壳	2.86	2.70 ~ 2.89
寿山石	2.56	2.50 ~ 2.70	白云石	2.86	2.86 ~ 3.20
田 黄	2.56	2.50 ~ 2.70	独山玉	2.90	2.70 ~ 3.09
蛇纹石	2.57	2.44 ~ 2.80	葡萄石	2.90	2.80 ~ 2.95
岫 玉	2.57	2.44 ~ 2.80	硅铍石	2.95	2.80 ~ 3.00
月光石	2.58	2.56 ~ 2.65	软 玉	2.95	2.90 ~ 3.10
羟硅硼钙石	2.58	2.45 ~ 2.58	闪石玉	2.95	2.90 ~ 3.10
方柱石	2.60	2.57 ~ 2.74	和田玉	2.95	2.90 ~ 3.10
玉 髓	2.60	2.58 ~ 2.62	白 玉	2.95	2.90 ~ 3.10
玛 瑙	2.60	2.58 ~ 2.62	青白玉	2.95	2.90 ~ 3.10
鸡血石	2.61	2.53 ~ 2.68	青 玉	2.95	2.90 ~ 3.10
董青石	2.61	2.57 ~ 2.67	硅硼钙石	2.95	2.90 ~ 3.00
钠长石玉	2.62	2.60 ~ 2.63	磷铝钠石	2.97	2.94 ~ 3.00
石英岩	2.64	2.64 ~ 2.71	木变石	3.00	2.90 ~ 3.30
东陵玉	2.64	2.64 ~ 2.71	虎睛石	3.00	2.90 ~ 3.30
长 石	2.65	2.55 ~ 2.75	鹰睛石	3.00	2.90 ~ 3.30
珊 瑚	2.65	2.60 ~ 2.70	赛黄晶	3.00	2.97 ~ 3.03
日光石	2.65	2.62 ~ 2.67	阳起石	3.00	2.95 ~ 3.10
青田石	2.65	2.65 ~ 2.90	磷铝锂石	3.02	2.98 ~ 3.06
天然淡水珍珠	2.66	2.66 ~ 2.78	碧 玺	3.06	3.00 ~ 3.12
石 英	2.66	2.64 ~ 2.69	蓝柱石	3.08	3.00 ~ 3.12
水 晶	2.66	2.64 ~ 2.69	天蓝石	3.09	3.08 ~ 3.17
紫 晶	2.66	2.64 ~ 2.69	红柱石	3.17	3.13 ~ 3.21
黄 晶	2.66	2.64 ~ 2.69	空晶石	3.17	3.13 ~ 3.21
烟 晶	2.66	2.64 ~ 2.69	磷灰石	3.18	3.13 ~ 3.23
绿水晶	2.66	2.64 ~ 2.69	锂辉石	3.18	3.15 ~ 3.21
芙蓉石	2.66	2.64 ~ 2.69	萤 石	3.18	3.00 ~ 3.25
查罗石	2.68	2.54 ~ 2.78	合成碳硅石	3.22	3.21 ~ 3.23
拉长石	2.70	2.65 ~ 2.75	矽线石	3.25	3.23 ~ 3.27
冰洲石	2.70	2.66 ~ 2.76	顽火辉石	3.25	3.21 ~ 3.30
大理石	2.70	2.65 ~ 2.75	透辉石	3.29	3.22 ~ 3.40





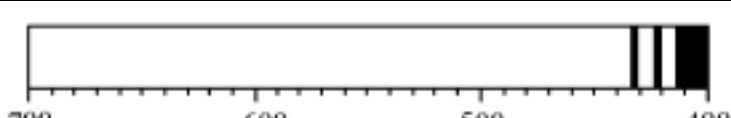

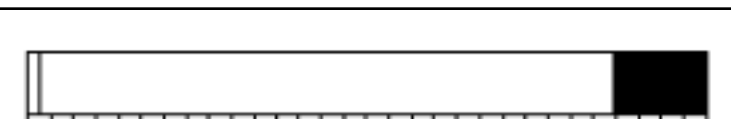
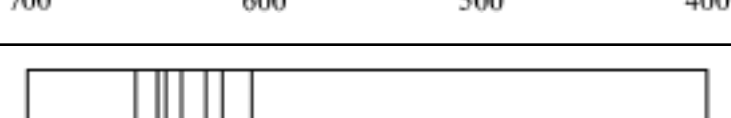

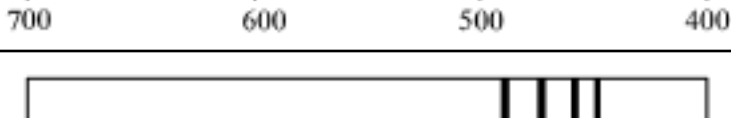
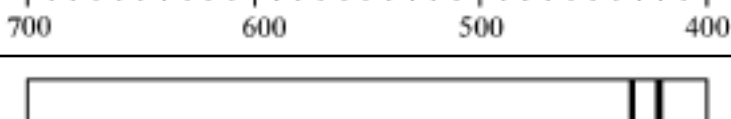
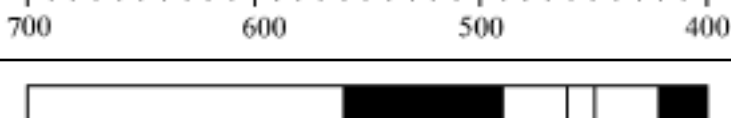
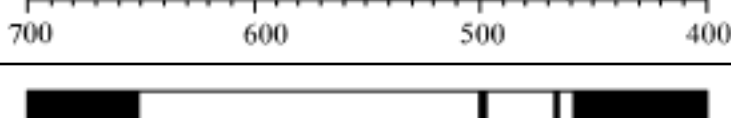

续附表 2

基本名称	密度常见值 / (g cm <sup>3</sup> )	密度范围 / (g cm <sup>3</sup> )	基本名称	密度常见值 / (g cm <sup>3</sup> )	密度范围 / (g cm <sup>3</sup> )
斧 石	3.29	2.26 ~ 3.36	猫 眼	3.73	3.71 ~ 3.75
柱晶石	3.30	3.27 ~ 3.35	变 石	3.73	3.71 ~ 3.75
透视石	3.30	3.25 ~ 3.35	变石猫眼	3.73	3.71 ~ 3.75
橄榄石	3.34	3.27 ~ 3.48	钙铬榴石	3.75	3.72 ~ 3.78
翡 翠	3.34	3.25 ~ 3.40	镁铝榴石	3.78	3.62 ~ 3.87
黝帘石	3.35	3.10 ~ 3.45	钙铁榴石	3.84	3.81 ~ 3.87
坦桑石	3.35	3.10 ~ 3.45	翠榴石	3.84	3.81 ~ 3.87
普通辉石	3.38	3.23 ~ 3.52	黑榴石	3.84	3.81 ~ 3.87
绿帘石	3.40	3.25 ~ 3.50	孔雀石	3.95	3.74 ~ 4.10
符山石	3.40	3.32 ~ 3.47	天青石	3.98	3.87 ~ 4.30
水钙铝榴石	3.47	3.36 ~ 3.55	低型锆石	4.00	3.90 ~ 4.10
硼铝镁石	3.48	3.47 ~ 3.48	红 宝 石	4.00	3.95 ~ 4.05
石榴石	3.50	3.50 ~ 4.30	蓝 宝 石	4.00	3.95 ~ 4.05
蔷薇辉石	3.50	3.40 ~ 3.70	铁铝榴石	4.05	3.93 ~ 4.30
京粉玉	3.50	3.40 ~ 3.70	锰铝榴石	4.15	4.12 ~ 4.20
钻 石	3.52	3.51 ~ 3.53	中型锆石	4.25	4.10 ~ 4.60
楣 石	3.52	3.52 ~ 3.54	菱 锌 矿	4.30	4.15 ~ 4.45
托帕石	3.53	3.52 ~ 3.57	重晶石	4.50	4.30 ~ 4.60
尖晶石	3.60	3.58 ~ 3.61	人造钇铝榴石	4.55	4.50 ~ 4.60
菱锰矿	3.60	3.45 ~ 3.70	高型锆石	4.70	4.60 ~ 4.80
钙铝榴石	3.61	3.57 ~ 3.73	人造钛酸锶	5.13	5.11 ~ 5.15
塔菲石	3.61	3.60 ~ 3.62	赤铁矿	5.20	4.95 ~ 5.28
蓝晶石	3.68	3.56 ~ 3.69	合成立方氧化锆	5.80	5.60 ~ 6.00
蓝锥矿	3.68	3.65 ~ 3.68	锡 石	6.95	6.87 ~ 7.03
金绿宝石	3.73	3.71 ~ 3.75	人造钆镓榴石	7.05	6.95 ~ 7.09


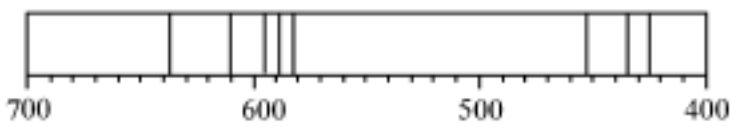
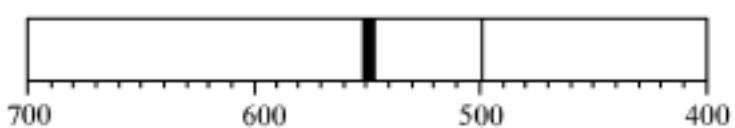


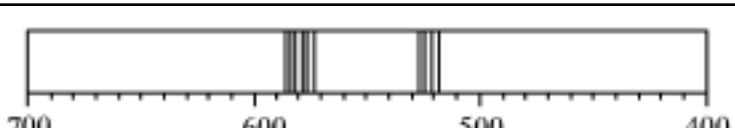
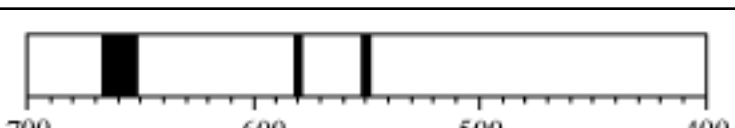

附表 3		宝石硬度检索表					
基本名称	摩氏硬度	基本名称	摩氏硬度	基本名称	摩氏硬度	基本名称	摩氏硬度
滑 石	1 ~ 3	透视石	5	闪石玉	6 ~ 6.5	硅化木	7
青田石	1 ~ 1.5	楣 石	5 ~ 5.5	和田玉	6 ~ 6.5	堇青石	7 ~ 7.5
琥 珀	2 ~ 2.5	磷灰石	5 ~ 5.5	白 玉	6 ~ 6.5	红柱石	7 ~ 7.5
鸡血石	2 ~ 3	辉 石	5 ~ 6	青白玉	6 ~ 6.5	空晶石	7 ~ 7.5
寿山石	2 ~ 3	透辉石	5 ~ 6	青 玉	6 ~ 6.5	碧 玺	7 ~ 8
田 黄	2 ~ 3	普通辉石	5 ~ 6	葡萄石	6 ~ 6.5	石榴石	7 ~ 8
象 牙	2 ~ 3	顽火辉石	5 ~ 6	独山玉	6 ~ 7	镁铝榴石	7 ~ 8
龟 甲	2 ~ 3	天蓝石	5 ~ 6	柱晶石	6 ~ 7	铁铝榴石	7 ~ 8
玳 瑁	2 ~ 3	磷铝锂石	5 ~ 6	绿帘石	6 ~ 7	锰铝榴石	7 ~ 8
硅孔雀石	2 ~ 4	磷铝钠石	5 ~ 6	符山石	6 ~ 7	钙铝榴石	7 ~ 8
煤 精	2 ~ 4	欧 泊	5 ~ 6	硼铝镁石	6 ~ 7	钙铁榴石	7 ~ 8
养殖珍珠	2.5 ~ 4	黑欧泊	5 ~ 6	蓝锥石	6 ~ 7	翠榴石	7 ~ 8
海水养殖珍珠	2.5 ~ 4	火欧泊	5 ~ 6	斧 石	6 ~ 7	黑榴石	7 ~ 8
淡水养殖珍珠	2.5 ~ 4	查罗石	5 ~ 6	锡 石	6 ~ 7	钙铬榴石	7 ~ 8
天然珍珠	2.5 ~ 4.5	阳起石	5 ~ 6	锆 石	6 ~ 7.5	蓝柱石	7 ~ 8
天然海水珍珠	2.5 ~ 4.5	绿松石	5 ~ 6	矽线石	6 ~ 7.5	硅铍石	7 ~ 8
天然淡水珍珠	2.5 ~ 4.5	青金石	5 ~ 6	橄榄石	6.5 ~ 7	祖母绿	7.5 ~ 8
蛇纹石	2.5 ~ 6	硅硼钙石	5 ~ 6	锂辉石	6.5 ~ 7	海蓝宝石	7.5 ~ 8
岫 玉	2.5 ~ 6	方钠石	5 ~ 6	翡 翠	6.5 ~ 7	绿柱石	7.5 ~ 8
方解石	3	赤铁矿	5 ~ 6	玉 髓	6.5 ~ 7	尖晶石	8
冰洲石	3	天然玻璃	5 ~ 6	玛 瑙	6.5 ~ 7	托帕石	8
大理石	3	火山玻璃	5 ~ 6	石 英	7	黝帘石	8
蓝田玉	3	玻璃陨石	5 ~ 6	水 晶	7	坦桑石	8
重晶石	3 ~ 4	黑曜石	5 ~ 6	紫 晶	7	金绿宝石	8 ~ 8.5
天青石	3 ~ 4	玄武岩玻璃	5 ~ 6	黄 晶	7	猫 眼	8 ~ 8.5
白云石	3 ~ 4	蔷薇辉石	5.5 ~ 6.5	烟 晶	7	变 石	8 ~ 8.5
羟硅硼钙石	3 ~ 4	京粉玉	5.5 ~ 6.5	绿水晶	7	变石猫眼	8 ~ 8.5
珊 瑚	3 ~ 4	钠长石玉	6	芙蓉石	7	合成立方氧化锆	8 ~ 9
贝 壳	3 ~ 4	长 石	6 ~ 6.5	赛黄晶	7	塔菲石	8 ~ 9
菱锰矿	3 ~ 5	月光石	6 ~ 6.5	木变石	7	红宝石	9
孔雀石	3.5 ~ 4	天河石	6 ~ 6.5	虎睛石	7	蓝宝石	9
萤 石	4	日光石	6 ~ 6.5	鹰睛石	7	合成碳硅石	9.25
蓝晶石	4 ~ 5	拉长石	6 ~ 6.5	石英岩	7	钻 石	10
鱼眼石	4 ~ 5	方柱石	6 ~ 6.5	东陵玉	7		
菱锌矿	4 ~ 5	软 玉	6 ~ 6.5	水钙铝榴石	7		

附表 4 常见宝石的可见光吸收光谱

宝石名称	颜 色	吸收光谱	备 注
钻 石	黄色系列		415.5nm 线特征，合成钻石缺失
钻 石	褐 (或改色)		504nm 吸收线，有时也可见 415.5nm 吸收线
立方 氧化锆			由于产品在合成过程中，常加稳定剂，因而常出现稀土谱线
红宝石 (天然或合成)	红色系列		典型铬谱，692nm 双线，以 550nm 为中心吸收带，蓝区 476，475，468nm 吸收线
蓝宝石	蓝，绿， 黄绿		470，460，450nm 三窄带，常见 450，460nm 线合并，470nm 线缺失
祖母绿	绿		典型铬谱
海蓝宝石	海蓝		铁致色，吸收光谱不特征
金绿宝石	褐黄 ~ 金黄		Fe <sup>3+</sup> 致色，特征 444nm 宽谱线
变 石	紫红 ~ 艳绿		典型铬谱
堇青石	蓝 (Fe 致色)		黄区、绿区各有一条吸收带，蓝紫区有两条模糊的吸收带
翡 翠	白，暗绿， 紫，红， 黄等		特征 437nm 线。Cr 致色翡翠具 630，660，690nm 吸收线
染色翡翠	绿		红区 650nm 有模糊宽吸收带
软 玉	白，青， 绿等 (铁致色)		不明显，有时在蓝绿区 509nm 见清楚的吸收线
尖晶石	蓝，紫		450 ~ 460nm 吸收窄带，510，550nm 吸收线

续附表 4			
宝石名称	颜 色	吸收光谱	备 注
合成尖晶石	蓝		钴 谱
尖晶石	红		典型铬谱，红区有数条密集谱线
镁铝榴石	棕红，玫瑰红		铬致色
铁铝榴石	褐红		505，527，576nm 强吸收带（铁铝窗）
锰铝榴石	红		紫区三条强吸收带
翠榴石	绿色（Cr 致色）		红区双线，紫区极强带
钙铁榴石	绿		440nm 线，不特征，部分铬致色（翠榴石）可见红区 701nm 线
钇铝榴石	无色，绿（可具变色）		常见稀土谱线
锆 石	无色		653.5，659nm 强吸收线，常伴有 40 多条吸收线
硼铝镁石	浅褐～褐		典型铁谱，蓝区具三条等距的吸收带
绿松石	绿（Fe 致色）		在紫区（432，420nm）有两条极强带
碧 玺	粉红、红		525nm 窄 带、450，458nm 线，绿区有宽吸收带
碧 玺	绿		红区普遍吸收、498nm 强带，468nm 弱带
磷灰石	黄，绿，蓝		稀土谱

续附表 4

宝石名称	颜 色	吸收光谱	备 注
铬透辉石	绿，深绿		铬致色，红区有吸收线
萤 石	绿，紫红		稀土谱
顽火辉石	绿，褐		506nm 强 吸 收 谱 线， 550nm 弱吸收谱
蔷薇辉石	粉 红		548nm 宽吸收带，503nm 窄带，蓝绿区普遍吸收
符山石	黄 ~ 褐、绿		稀土谱 462nm 线截断紫 区
楣 石	黄绿等		稀土谱
钴玻璃	蓝		Co 谱
硒玻璃	红		红区以外全吸收

\*\*\*\*\*

Concise Gemology

\*\*\*\*\*



附表 5		常见宝石的优化处理方法	
优化处理方法	宝石名称	效 果	优化处理类别
热处理	红宝石，蓝宝石，绿柱石，海蓝宝石，碧玺，锆石，托帕石，石英，红柱石，翡翠，玛瑙，萤石，寿山石，琥珀	改善颜色	优化
染色	红宝石，碧玺，石英，方解石，翡翠，软玉，欧泊，石英岩，蛇纹石，绿松石，青金石，大理石，滑石，羟硅硼钙石，寿山石，天然珍珠，养殖珍珠(珍珠)，珊瑚，琥珀，贝壳，玳瑁	改变颜色	处理
染色	玉髓(玛瑙)	改变颜色	优化
浸无色油	祖母绿，碧玺，欧泊，青金石	改善外观	优化
浸有色油	红宝石，祖母绿，碧玺	改善颜色	处理
充填	钻石，红宝石，祖母绿，碧玺，翡翠，欧泊，绿松石，孔雀石，萤石，鸡血石，珊瑚	改善净度，外观，耐久性	处理
覆膜	钻石，绿柱石，长石，翡翠，欧泊，滑石，鸡血石，寿山石，贝壳	改善颜色、外观	处理
扩散	红宝石，蓝宝石，托帕石	增色或产生星光效应	处理
辐照	钻石，蓝宝石，猫眼，碧玺，托帕石，石英，长石，方柱石，蓝柱石，萤石，养殖珍珠(珍珠)	改变颜色	处理
高温高压处理	钻石	改善颜色	处理
激光钻孔	钻石	改善净度	处理
浸蜡	长石，方解石，翡翠，绿松石	改善外观	处理
浸蜡	蛇纹石，青金石，孔雀石，珊瑚	改善外观	优化
漂白	天然珍珠，养殖珍珠(珍珠)，珊瑚	改善外观	优化

## 参 考 文 献

- [1] Balitsky V S, Balitskaya, L V, Lu T, et al . Experimental study of the simultaneous dissolution and growth of quartz and topaz .Journal of Crystal Growth, 2002(237 ~ 239) :833 ~ 836
- [2] Barilo S N, Bychkov G L, Kurnevich L A, et al . Controlled crystallization of emerald from the Buxed melt . Journal of Crystal Growth, 1999(198,199) :716 ~ 722
- [3] Bauer T, Schreck M, Sternschulte H, Stritzker B .High growth rate homoepitaxial diamond deposition on off-axis substrates . Diamond and Related Materials, 2005,3 ~ 7(14) : 266 ~ 271
- [4] Calligaro T, Colinart S, Poirot J-P, et al .Combined external-beam PIXE and l-Raman characterisation of garnets used in Merovingian jewellery . Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 2002(189): 320 ~ 327
- [5] Cheng H S, Zhang Z Q, Zhang B, et al . Non-destructive analysis and identification of jade by PIXE . Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2004(219 ~ 220) : 30 ~ 34
- [6] Collins A T . Things we still don 't know about optical centres in diamond . Diamond and Related Materials, 1999(8):1455 ~ 1462
- [7] Collins A T .The detection of colour-enhanced and synthetic gem diamonds by optical spectroscopy . Diamond and Related Materials, 2003(12) :10 ~ 11
- [8] Ferrer N, Nogues-Carulla J M . Characterisation study of cut gem diamond by IR spectroscopy . Diamond and Related Materials, 1996(5) :598 ~ 602
- [9] Gaston Giuliana, Jean Dubessyb, David Banks, et al . CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S-CO<sub>2</sub>-S<sub>8</sub>-AlO(OH)-bearing fluid inclusions in ruby from marble-hosted deposits in Luc Yen area, North Vietnam .Chemical Geology, 2003(194) :167 ~ 185
- [10] Hutchison M T, Nixon P H, Harley S L .Corundum inclusions in diamonds-discriminatory criteria and a corundum compositional dataset .Lithos, 2004(77) :1 ~ 4, 273 ~ 286
- [11] Kim I G, Yeom T H, Choh S H, et al .<sup>27</sup>Al NMR relaxation studies of an emerald single crystal . Solid State Communications, 2000(114) : 311 ~ 314
- [12] Leonyuk N I, Lyutin A V, Maltsev V V, et al . Growth and morphology of ruby crystals with unusual chromium concentration .Journal of Crystal Growth, 2005,3 ~ 4(280) : 551 ~ 556
- [13] Melo A P, Valerio M E G, Caldas L V E . Thermoluminescent characteristics of mineral samples acquired as jade .Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2004(218) : 198 ~ 201
- [14] Mercier A, Debat P, Saul J M . Exotic origin of the ruby deposits of the Mangari area in SE Kenya . Ore Geology Reviews, 1999(14) 83 ~ 104
- [15] Moroz I, Vapnik Y, Eliezri I, et al . Mineral and fluid inclusion study of emeralds from the Lake Manyara and Sumbawanga deposits, Tanzania . Journal of African Earth Sciences, 2001, 2(33) : 377 ~ 390
- [16] Novak S W, Magee C W, Moses T, et al . Using SIMS to diagnose colour changes in heat treated gem sapphires .Applied Surface Science, 2004(231 ~ 232) : 917 ~ 920

- [17] Parikh P, Saini N L, Dalela S, et al. Using XAFS, EDAX and AFM in comparative study of various natural and synthetic emeralds. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2003(199): 489 ~ 493
- [18] Ramesham R, Pehrsson P E, Smith T I, et al. Synthetic single-crystal, homoepitaxially grown, CVD diamond capacitor. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 1997(8): 69 ~ 72
- [19] Sax M, Meeks N D, Michaelson C, et al. The identification of carving techniques on Chinese jade. *Journal of Archaeological Science*, 2004,10(31): 1413 ~ 1428
- [20] Schwarz S, Rottmair C, Hirmke J, et al. CVD-diamond single-crystal growth. *Journal of Crystal Growth*, 2004(271): 425 ~ 434
- [21] Sumiya H, Toda N, Nishibayashi Y, et al. Crystalline perfection of high purity synthetic diamond crystal. *Journal of Crystal Growth*, 1997(178): 485 ~ 494
- [22] Thongnopkun P, Ekgasit S. FTIR Spectra of faceted diamonds and diamond simulants. *Diamond and Related Materials*, 2005,10(14): 1592 ~ 1599
- [23] Tomlinson E, De Schrijver I, De Corte K, et al. Trace element compositions of submicroscopic inclusions in coated diamond: A tool for understanding diamond petrogenesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2005,19(69): 4719 ~ 4732
- [24] Tourn S M, Herrmann C J, Ametrano S, et al. Tourmalinites from the Eastern Sierras Pampeanas, Argentina. *Ore Geology Reviews*, 2004,3 ~ 4(24): 229 ~ 240
- [25] Viljoen K. An infrared investigation of inclusion-bearing diamonds from the Venetia kimberlite, Northern Province, South Africa: implications for diamonds from craton-margin settings. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2002(144): 98 ~ 108
- [26] Vins V G. New radiation induced defects in HPHT synthetic diamonds. *Diamond and Related Materials*, 2005,3 ~ 7(14): 364 ~ 368
- [27] Yu W L, Guo Q Z, Bi Y J. Study of crystal defects in natural diamond. *Diamond and Related Materials*, 1993,2(2): 1239 ~ 1242
- [28] Yu W L, Tian Y L, Jiang J H, et al. Investigation of diamonds defects with synchrotron radiation facility. *Beijing Electron Positron Collider BSRF 2001 Activity Report*, 2001: 112 ~ 117
- [29] Yu W L, Zheng Q J, Tian Y L, et al. An approach in determination of the orientations of dislocations with synchrotron radiation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 2002(491): 302 ~ 306
- [30] Yun J, Dandy D S. A kinetic model of diamond nucleation and silicon carbide interlayer formation during chemical vapour deposition. *Diamond and Related Materials*, 2005,8(14): 1377 ~ 1388
- [31] 陈炳辉, 丘志力, 王敏, 等. B 货翡翠的红外光谱特征及鉴定意义. *矿物学报*, 2001,3(21): 525 ~ 527
- [32] 董振信. 宝玉石鉴定. 北京:地质出版社,1999
- [33] 董振信. 宝玉石鉴定指南. 北京:地质出版社,1995
- [34] 董振信. 天然宝石. 北京:地质出版社,1994
- [35] 郭起志, 于万里. 天然金刚石孪晶的 X 射线衍射与形貌研究. *矿物学报*, 1992,2(12): 127 ~ 130
- [36] 郭守国. 宝玉石学教程. 北京:科学出版社,1998
- [37] 何雪梅, 沈才卿. 宝石人工合成技术. 北京:化学工业出版社,2005
- [38] 李娅莉, 薛秦芳. 宝石学基础教程. 北京:地质出版社,1995
- [39] 廖宗廷, 许耀明, 陈刚, 等. 宝石学概论. 上海:同济大学出版社,1997
- [40] 刘学良, 郭守国. 充填红宝石及其鉴别. *中国宝石*, 2005,2(14): 168 ~ 169

- [41] 柳志青,沈忠悦,杨春茂. 宝石学和玉石学. 杭州:浙江大学出版社,1999
- [42] 罗永安,于万里,白峰.“再造岫玉”的宝石学研究. 宝石和宝石学,2003,1(5): 7~9
- [43] 罗永安,于万里,陈为公,等. 一种少见的人工晶体观赏石. 宝石和宝石学,2003,3(5): 4~6
- [44] 孟祥振,赵梅芳. 宝石学与宝石鉴定. 上海:上海大学出版社,2004
- [45] 欧阳秋眉,李汉声. 钠铬辉石质翡翠的主要特征. 宝石和宝石学,2004,1(6): 22~23
- [46] 潘兆橹. 结晶学及矿物学. 北京:地质出版社,1994
- [47] 彭明生. 宝石优化处理与现代测试技术. 北京:科学出版社,1995
- [48] 元利剑,袁心强,彭国祯,等. 天然与人工处理琥珀的三维荧光光谱表征. 宝石和宝石学,2005,1(7): 10~16
- [49] 元利剑,Zeng C G,袁心强. 充填处理红宝石中的高铅玻璃体. 宝石和宝石学,2005,2(7): 1~6
- [50] 丘志力. 宝石中的包裹体——宝石鉴定的关键. 北京:冶金工业出版社,1995
- [51] 田亮光,程佑法,刘海彬,等. 处理鸡血石及仿制品的鉴定. 宝石和宝石学,2004,3(6): 18~21
- [52] 田丹碧. 仪器分析. 北京:化学工业出版社,2004
- [53] 王柏松,屠荆. 黄玉的光谱研究. 光谱学与光谱分析,2000,1(20): 40~43
- [54] 王昶. 波谱分析技术在宝石鉴定中的应用评述. 光谱实验室,2001,3(18):301~303
- [55] 王萍,李国昌,孙丰云,等. 天然水晶中常见的固态包裹体研究. 珠宝科技,2003,5(15): 39~43
- [56] 王瑛,戴玉龙. 拉曼光谱显微镜在宝石学中的应用简介. 上海地质,1998,2(66): 63~64
- [57] 谢意红,王成云. 不同颜色翡翠的微量元素及红外光谱特征. 岩矿测试,2003,3(22):183~187
- [58] 余平. 红宝石和蓝宝石的铍扩散处理. 珠宝科技,2003,5(15):34
- [59] 于万里,李兰杰,田玉莲,等. 天然金刚石平行{100}的正常生长. 矿物学报,2001,1(21):39~42
- [60] 于万里,罗永安,田玉莲,等. 合成大颗粒金刚石位错的同步辐射形貌研究. 高能物理与核物理,2003,(27,Supp):92~96
- [61] 于万里,罗永安,田玉莲,等. 合成金刚石单晶体层错的同步辐射形貌研究. 矿物学报,2003,2(23):103~108
- [62] 于万里,罗永安,王明智,等. 利用同步辐射确定晶体缺陷空间方位的方法. 高能物理与核物理,2001,(25,Supp): 110~115
- [63] 于万里,田玉莲,黄万霞. Ia型天然金刚石结构缺陷的同步辐射形貌研究. 功能材料,2001,6(32):664~666
- [64] 于万里,田玉莲. 同步辐射白光貌相术计算晶体缺陷三维分布的原理与算法. 核技术,2003,3(26):179~184
- [65] 于万里,郑秋菊,田玉莲,等. 天然金刚石同生位错的同步辐射X射线貌相研究. 矿物学报,2002,3(22):196~200
- [66] 余晓艳,柯捷,雷引玲. 符山石的宝石学特征研究. 宝石和宝石学,2005,2(7):14~17
- [67] 袁心强,元利剑,杜广鹏,等. 缅甸翡翠紫外-可见-近红外光谱的特征和意义. 宝石和宝石学,2003,4(5): 11~16
- [68] 袁心强. 钻石分级的原理与方法. 武汉:中国地质大学出版社,1998
- [69] 张蓓莉. 系统宝石学. 北京:地质出版社,1997
- [70] 张丽. 助熔剂法合成尖晶石的宝石学特征研究. 宝石和宝石学,2004,2(6):18~21
- [71] 周佩玲,杨忠耀. 有机宝石学. 武汉:中国地质大学出版社,2004