

新世纪全国高等院校珠宝首饰设计专业十一五重点规划教材

宝石鉴定检测仪器 操作与应用

郭杰 廖任庆 罗理婷 编著



上海人民美术出版社

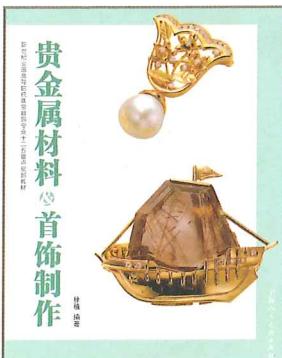


● 本教材由常规宝石鉴定仪器和大型分析测试仪器两大部分构成。常规的宝石鉴定仪器主要用于宝石种属的鉴定，具有典型特征的人工及改善宝石的鉴别及鉴定。随着科技的发展市场上的人工及改善宝石与天然宝石之间的差别越来越小，常规的宝石鉴定仪器在鉴定宝石天然性方面的不足之处越来越突出，但是常规的宝石鉴定仪器仍然是各个质检机构主流检测手段之一，同时学习仪器使用的过程也是培养学科思维的最有效方式之一。

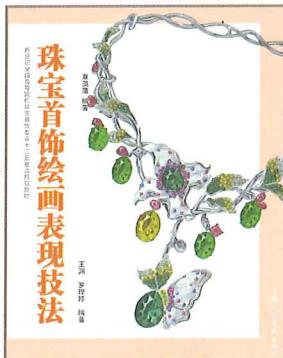


● 大型分析测试仪器主要用于解决传统的检测仪器所无法解决的某疑难问题。不容置疑，先进的分析测试技术在宝石学鉴定与研究的领域中将发挥出愈来愈重要的作用。作者向读者介绍了大型分析测试仪器的基本原理、基本结构、实用方法，即大型分析测试仪器在宝石学方面的应用。本教材提供了宝石学相关名词解释和常用宝石参数等内容，方便读者查阅。

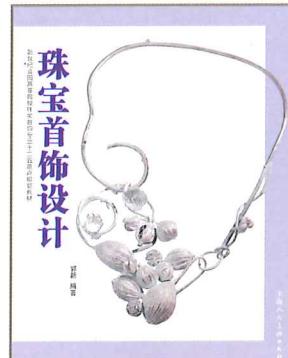
新世纪全国高等院校珠宝首饰设计专业十二五重点规划教材



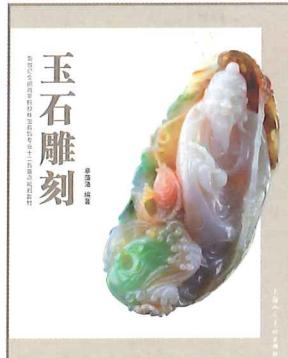
《贵金属材料与首饰设计》



《珠宝首饰绘画表现技法》



《珠宝首饰设计》



《玉石雕刻》



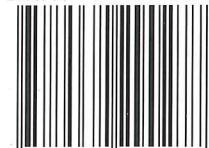
《珠宝鉴定》



《首饰蜡版制作》

上架建议：艺术设计

ISBN 978-7-5322-9027-7



9 787532 290277 >

定价：49.00元

号: 13612848355

新世纪全国高等院校珠宝首饰设计专业十二五重点规划教材

宝石鉴定检测仪器 操作与应用

上海人民美术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

宝石鉴定检测仪器操作与应用/郭杰编 廖任庆 罗理婷著. —上海:上海人民美术出版社, 2014.11
ISBN 978-7-5322-9027-7

I . ①宝… II . ①郭… III . ①宝石—检测仪表
IV . TS933

中国版本图书馆CIP数据核字 (2014) 第115167号

新世纪全国高等院校珠宝首饰设计专业十二五重点规划教材

宝石鉴定检测仪器操作与应用

编 著 郭 杰

廖任庆

罗理婷

责任编辑 柳 方

版式设计 朱庆荧

技术编辑 季 卫

出版发行: 上海人民美术出版社

上海市长乐路 672 弄 33 号

邮编: 200040 电话: 021-54044520

印 刷: 上上海海红印刷有限公司

开 本: 889×1194 1/16 10 印张

版 次: 2014 年 11 月第 1 版

印 次: 2014 年 11 月第 1 次

印 数: 0001-3300

书 号: ISBN 978-7-5322-9027-7

定 价: 49.00 元

序言

人类有追求美的天性，而美在不同的载体上呈现的形式不尽相同。宝玉石以其自然独特之美和加工后的文化特质早在旧石器时代晚期就征服了人类，历尽万年岁月，新的宝玉石品种不断被发现和改造，天然性也逐渐被列入宝玉石美的范畴。

随着人类进入科技时代，矛盾的双方：改善和合成技术与鉴定技术在斗争中促进了宝石学的发展。在18世纪前，仅凭有经验的双眼，就可以分出宝玉石是否经过了改善；其后改善技术水平的提高，以及大量合成技术的出现，使得鉴定技术不得不迈入常规的光学仪器时代；20世纪90年代之后，改善技术又得到了大幅提升，合成的水平也有了长足的进步，常规的光学仪器再也不能完全满足鉴定的需要了，大量谱学大型仪器的应用也就势在必然了。

该书借鉴 Gemological Institute of America Inc.、Gubelin Gem Lab Ltd.、GRS GemResearch Swisslab AG 三个宝石实验室对学科基础名词释义、宝石相关参数和性质展示手法从一个崭新的视角，以图文并茂的形式分析常见宝石实验室仪器的操作、现象解析，并以图文的形式简单的介绍宝石学中常见大型仪器种类机器应用。使读者学习理解更为直观容易。



2014.5.15

前言

随着社会经济的发展，珠宝首饰消费越来越普及，普通百姓也逐渐成为消费主体，高档收藏投资也风头正盛。但随之而来，珠宝检测也面临新、难、杂的挑战。常规珠宝仪器的使用目前仍然是各珠宝质检机构检测珠宝首饰的主要手段，现代测试技术的广泛引入和使用，为珠宝检测注入新的生命力，也逐渐成为研究型珠宝检测机构、珠宝教科研单位解决检测疑难杂症的重要手段。并在一定程度上能够解决天然宝石与人工宝石、天然宝石与优化处理宝石及新宝石品种检测、定性等问题。

本教材分为常规珠宝检测仪器操作使用（第一章~第八章）和现代测试技术介绍（第九章）两部分，是一本集常规珠宝检测仪器操作使用与现代测试技术介绍为一体的综合性、实用性珠宝鉴定学习入门级基础教材。能够满足高等院校、高职高专、技工院校、珠宝教育培训机构及珠宝企业内部员工培训学习宝石鉴定仪器操作使用技能的需要，也能拓展学习者珠宝检测视野和思路。本教材的编写着重突出仪器操作使用和现象解析。图文并茂、简明扼要，融学科专业能力培养、学科专业素质提升、学科思维打造于一体，是一本实用性极强，参考价值极高的专业教材。

常规珠宝检测仪器操作使用（第一章~第八章）由郭杰老师编写，重点介绍了偏光镜、折射仪、二色镜、分光镜、紫外荧光灯、查尔斯滤色镜等常规珠宝检测仪器。按照宝石实验室仪器操作难易程度、观察结果分析难易程度和仪器使用广泛性分为8章，每章以章节目的为开始，采用图文并茂的方式按照仪器的原理、使用方法、结果解析、异常情况分析、仪器检测基本现象的顺序进行编排，同时每章节配套相应仪器操作流程及实操练习记录表格。

现代测试技术介绍（第九章）由廖任庆老师编写。选取了珠宝检测中所涉及的测试、分析部分典型大型检测仪器。根据这些仪器功能进行分类，以图文并茂的形式介绍谱学特征分析类仪器、化学成分分析类仪器、表面特征分析类仪器、宝石结构与物相分析类仪器。本篇章编排以仪器发展状况、基本原理、基本结构及在宝玉石检测中具体应用为主线，重点突出了每类仪器在解决珠宝检测难点方面的作用，并以宝石应用实例来佐证说明。

本教材的图片拍摄及图片后期处理由罗理婷完成，并进行相应图片文字说明。

本教材的编写始终得到了中国地质大学（武汉）珠宝学院杨明星院长、深圳技师学院珠宝首饰系李勋贵主任、深圳市飞博尔珠宝科技有限公司徐思海先生和武汉天之逸科技有限公司董彪先生的帮助。文中部分图文对照的内容得到中国地质大学（武汉）珠宝学院杨明星院长百忙之余的指正和校对，文中部分图片的拍摄及后期处理得到深圳技师学院珠宝首饰系刘志强老师、陈杨老师、张艳婕老师的帮助。此外，教材编写还得到了珠宝行业众多朋友、专家的支持和帮助。另外特别感谢上海人民美术出版社孙青编辑、柳方编辑在百忙中对教材稿件的审核与编排。最后对支持本教材出版和发行的所有同仁，在此表示诚挚的感谢。

笔者在资料搜集、文字描述、图片特征拍摄过程中都秉承专业和直观易懂的原则，但书中定有疏漏和不妥之处，敬请有关专家、学者及广大读者不吝赐教，以便进一步改进和提高。

笔者
2014年5月 深圳

目 录

前言

常规珠宝检测仪器操作和使用

第一章 偏光镜

第一节 偏光镜的原理及用途	13
第二节 偏光镜基本类型	14
第三节 偏光镜的结构	15
第四节 偏光镜的操作及现象解析	15
第五节 偏光镜常见异常情况分析	22
第六节 偏光镜测试宝石光性条件及常见宝石类型小结	25
第七节 偏光镜记录格式要求	25

第二章 折射仪

第一节 折射仪的原理及用途	29
第二节 折射仪的结构	30
第三节 折射仪的操作及现象解析	31
第四节 折射仪常见异常情况及其分析	38
第五节 折射仪测试宝石光性条件小结	38
第六节 折射仪记录格式要求	39

第三章 二色镜

第一节 二色镜的基本原理	43
第二节 二色镜的结构	44
第三节 二色镜的操作及现象解析	44

第四节 二色镜常见异常情况及其分析	46
第五节 二色镜测试宝石光性条件及常见宝石多色性小结	47
第六节 二色镜记录格式要求	49

第四章 分光镜

第一节 分光镜的原理及用途	53
第二节 分光镜的类型和结构	53
第三节 分光镜的操作及应用	54
第四节 分光镜常见异常情况及其分析	57
第五节 分光镜测试宝石条件及常见宝石分光镜下现象小结	58
第六节 分光镜记录格式要求	60

第五章 紫外荧光灯

第一节 紫外荧光灯的原理及用途	63
第二节 紫外荧光灯的类型	63
第三节 紫外荧光灯的结构	63
第四节 紫外荧光灯的操作及现象解析	64
第五节 紫外荧光灯常见异常情况及其分析	68
第六节 紫外荧光灯测试宝石条件及常见宝石紫外荧光灯下现象小结	69
第七节 紫外荧光灯记录格式要求	71

第六章 查尔斯滤色镜

第一节 滤色镜的原理及用途	73
第二节 滤色镜的类型	73
第三节 滤色镜的结构	74
第四节 查尔斯滤色镜的操作及应用	74
第五节 查尔斯滤色镜常见异常情况及其分析	77
第六节 查尔斯滤色镜测试宝石条件及常见 宝石查尔斯滤色镜下现象小结	77
第七节 查尔斯滤色镜记录格式要求	79

第七章 双筒立体变焦显微镜

第一节 显微镜的类型	81
第二节 双筒立体变焦显微镜的结构	82
第三节 双筒立体变焦显微镜的操作	83
第四节 双筒立体变焦显微镜的应用	85
第五节 常见宝石内含物特征小结	87
第六节 双筒立体变焦显微镜记录格式要求	92

第八章 其他宝石观察常用仪器简介

第一节 宝石镊子	95
----------	----

第二节 10 倍放大镜 (10× 放大镜)	95
第三节 切工镜	98
第四节 钻石热导仪、莫桑石检测仪	99

宝石检测现代测试技术介绍

第九章 大型分析测试仪器

第一节 傅里叶变换红外光谱仪	107
第二节 激光拉曼光谱仪	113
第三节 紫外—可见分光光度计	119
第四节 X 射线荧光光谱仪	124
第五节 扫描电镜	128
第六节 激光诱导击穿光纤光谱仪	132
第七节 阴极发光仪	135
第八节 珍珠层厚度无损检测仪	141

附录

第一节 宝石常规仪器观察中涉及到的相关名词	147
第二节 紫外荧光灯下宝石常见现象	149
第三节 宝石吸收光谱小结表	152

参考文献



常规珠宝检测仪器 操作和使用

随着经济和时代的发展，传统用于巫术和王权的象征的珠宝首饰逐渐大众化，逐步转化成为身份、财富、品味的象征。进入18世纪后光学、力学等学科突飞猛进地发展，为宝石检测仪器的出现打下了夯实的基础。随着宝石新产地的不断发现，各国之间频繁地交流，宝石学逐步从矿物学、地质学中剥离出来，成长并发展成为一门独立的学科。宝石的检测也从开始的简单的肉眼观察发展到使用各类体积小巧轻便的仪器进行测试分析，进而发展到使用原理和分析较为复杂，体积较大的大型分析测试仪器进一步研究分析。

常规的宝石鉴定仪器主要用于宝石种属的鉴定、具有典型特征的人工及改善宝石的鉴别及鉴定。随着科技的发展，市场上的人工及改善宝石与天然宝石之间的差别越来越小，常规的宝石鉴定仪器在鉴定宝石天然性方面的不足之处越来越突出，但是常规的宝石鉴定仪器仍然是各个质检机构主流检测手段之一，同时学习仪器使用的过程也是培养学科思维的最有效方式之一。

珠宝鉴定中的常规的宝石鉴定仪器按照操作和分析思路可以分为如下几类：

1. 操作简单、结论分析简单：正交偏光镜（Crossed Polarizer）、折射仪（Gem Refractometer）、二色镜（Dichroscope）、热导仪（Diamond Thermal Conductivity Meter）
2. 操作简单、结论分析复杂：查尔斯滤色镜（Chelsea Colour Filter）、分光镜（Gem Spectroscopic）、紫外荧光灯（Ultraviolet Fluorescent）
3. 操作复杂、结论分析复杂：宝石显微镜（Gemolite）

第一章

偏光鏡

能力目标

偏光镜是珠宝实验室常规宝石鉴定仪器之一，要求通过本章节的学习，掌握偏光镜的原理、结构、种类、操作、现象解析以及观察时需要注意的事项，能熟练使用偏光镜对透明度和净度较好的珠宝玉石进行观察。

第一节 偏光镜的原理及用途

偏光镜底部光源发出自然光（图 1）经过下偏光片转换成偏振光（图 2），通过非均质体宝石，再转换成两束传播方向不同，振动方向相互垂直的偏振光（图 3）。

当偏振光振动方向与上偏光片偏光位置一致时，偏振光可通过上偏光片能观察到宝石是亮的。当偏振光方向与上偏光片位置不一致时，偏振光不能通过上偏光片，此时观察宝石是暗的。

通过正交偏光镜下宝石明暗变化的观察可以进行宝石光性的判断；通过正交偏光镜下宝石干涉图的观察可以进行宝石轴性的判断；通过单偏光镜下宝石多色性的观察可以进行宝石光性、轴性的初步判断。

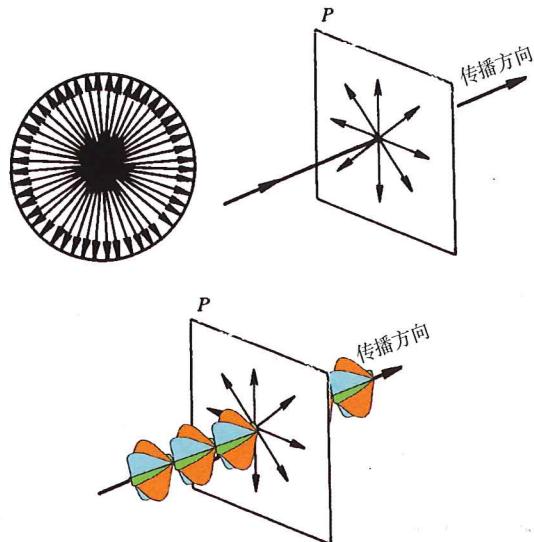


图 1 自然光振动的分布特点

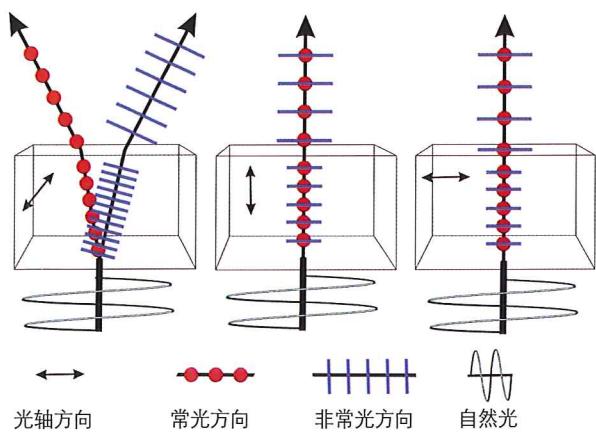


图 2 光在冰洲石（非均质体的一种）中的双折射现象

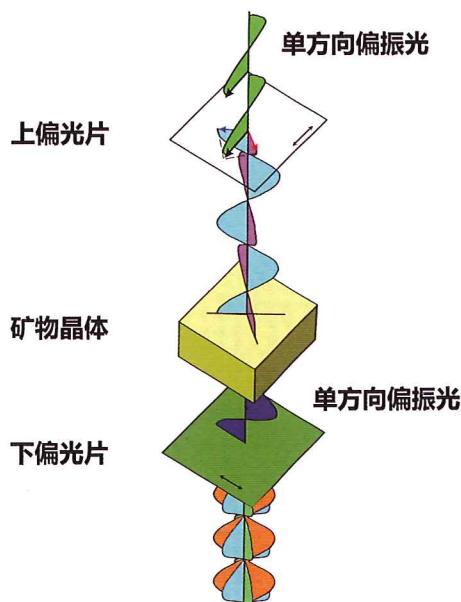


图 3 偏光镜原理

第二节 偏光镜基本类型

根据偏光镜的体积及便携程度，偏光镜可分为三种类型：便携式偏光镜、台式偏光镜、带偏光功能的宝石显微镜。

便携式偏光镜：借助电池产生底光源，体积小，便于携带，适合测量体积较小的宝石（图 4）。

台式偏光镜：借助电源线产生底光源，不可使用电池，常见于宝石实验室中，适合大部分宝玉石测量（图 5）。

带偏光功能的宝石显微镜：借助电源线产生底光源，不可使用电池，常见于专业宝石研究机构中，适合大部分宝玉石测量（图 6）。

带视频功能的偏光镜：通过偏光镜、锥光干涉球和 CCD 视频系统，将典型宝石的锥光干涉图进行放大演示，使学员能够直观地观察宝石干涉图样，准确寻找干涉图，并通过干涉图的形状特征判断宝石光性、轴性（图 7）。



图 4 便携式偏光镜



图 5 台式偏光镜



图 6 带偏光功能的宝石显微镜



图 7 带视频功能的偏光镜

第三节 偏光镜的结构

偏光镜由一个装灯的铸件和两个偏振片，即起偏镜（下），检偏镜（上）所构成（图 8）。

第一台正交偏光镜的偏光片是由天然褐色碧玺制成，现在偏光片多为玻璃或者塑料制成。

第四节 偏光镜的操作及现象解析

一、明暗状态观察及宝石光学性质判断

1. 偏光镜基本操作步骤

- 1) 接通偏光镜电源，打开偏光镜电源开关。
- 2) 转动上偏光片可见视域出现明暗变化（图 9~10），转动上偏光片至最黑位置（图 10）。
- 3) 将宝石置于偏光镜载物台上（图 11）。
- 4) 转动载物台 360° ，从上偏光片往下观察宝石

明暗变化现象。

- 5) 记录宝石随载物台转动的明暗变化规律及明暗交替次数，对于某些典型特征可采用素描图的方式绘图（图 12~19）。

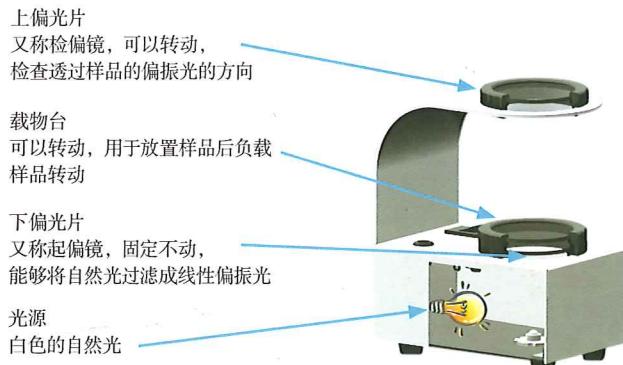


图 8 偏光镜结构示意图



图 9 正交偏光镜下视域全暗状态现象



图 10 正交偏光镜下视域全亮状态现象

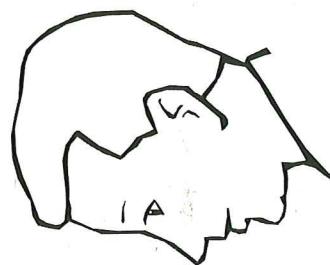
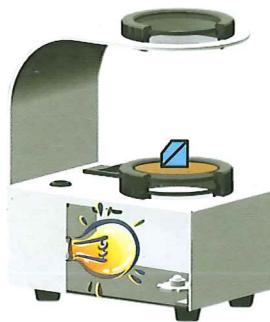


图 11 偏光镜观察姿势及宝石常见放置角度图



2. 基本现象及观察结果解析

在晶体光学中，根据光线进入矿物材料传播速度是否产生改变将矿物材料分为均质体和非均质体两大类。

均质体（也称为各项同性）是指光波入射晶体后，光波在晶体中各个方向的传播速度都相等，晶体各个方面光学性质相同，表现为不改变入射光波的性质，只有一个折射率。晶体中的高级晶族等轴晶系和非晶体均属于均质体。
全消光

非均质体（也称为各向异性）是指光波入射物质后，光波传播速度随其振动方向不同而发生变化，晶体各个方面光学性质不同，表现为改变入射光波的性质，宝石折射率值因振动方向不同而不同。晶体中级晶族

的三方晶系、四方晶系、六方晶系，低级晶族的斜方晶系、单斜晶系、三斜晶系均属于非均质体。

1) 正交偏光镜下，转动宝石 360° ，观察到宝石四明四暗现象（图 12~19），非均质体（如水晶、碧玺、绿柱石族宝石、刚玉族宝石、橄榄石、托帕石等）。

2) 正交偏光镜下，转动宝石 360° ，观察到宝石全暗现象（图 20~27），可判断宝石为均质体（如钻石、萤石、尖晶石、石榴石、玻璃、欧泊、塑料等）。

3) 正交偏光镜下，转动宝石 360° ，观察到宝石全亮现象（图 28~35），可判断宝石为多晶质集合体（如翡翠、软玉、石英岩、玉髓、玛瑙等）。

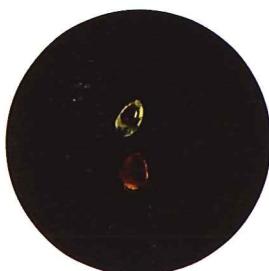


图 12 非均质体在 0° 时
正交偏光镜下现象



图 13 非均质体在 45° 时
正交偏光镜下现象

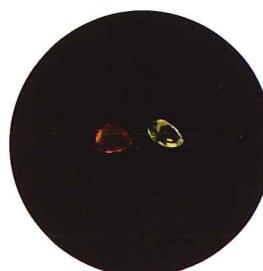


图 14 非均质体在 90° 时
正交偏光镜下现象



图 15 非均质体在 135° 时
正交偏光镜下现象



图 16 非均质体在 180° 时
正交偏光镜下现象

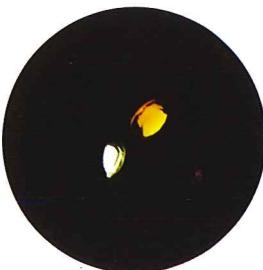


图 17 非均质体在 225° 时
正交偏光镜下现象

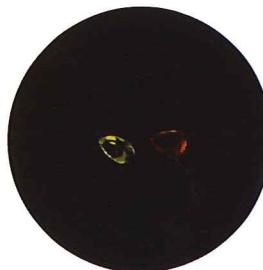


图 18 非均质体在 270° 时
正交偏光镜下现象



图 19 非均质体在 315° 时
正交偏光镜下现象



图 20 均质体在 0° 时正交偏光镜下现象



图 21 均质体在 45° 时正交偏光镜下现象

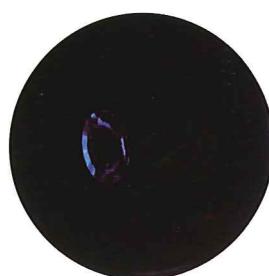


图 22 均质体在 90° 时正交偏光镜下现象



图 23 均质体在 135° 时正交偏光镜下现象



图 24 均质体在 180° 时正交偏光镜下现象



图 25 均质体在 225° 时正交偏光镜下现象



图 26 均质体在 270° 时正交偏光镜下现象



图 27 均质体在 315° 时正交偏光镜下现象

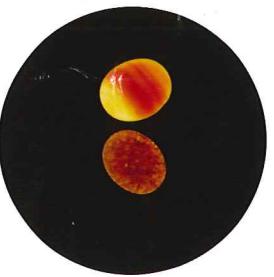


图 28 集合体在 0° 时正交偏光镜下现象



图 29 集合体在 45° 时正交偏光镜下现象



图 30 集合体在 90° 时正交偏光镜下现象

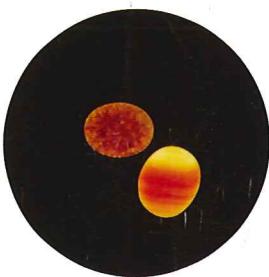


图 31 集合体在 135° 时正交偏光镜下现象

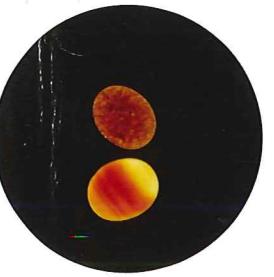


图 32 集合体在 180° 时正交偏光镜下现象

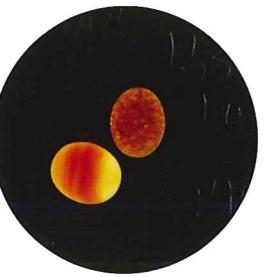


图 33 集合体在 225° 时正交偏光镜下现象



图 34 集合体在 270° 时正交偏光镜下现象



图 35 集合体在 315° 时正交偏光镜下现象

3. 异常情况分析

1) 均质体宝石呈现全亮状态

现象：正交偏光镜下，转动宝石 360°，均质体宝石呈现全亮的状态（图 36~43，图中黄色为折射率大于 1.78 人造钇铝榴石，蓝色为折射率 1.520 的玻璃）。

分析：高折射率本质和近似全内反射切工的原因进入宝石偏振光发生折射，从而显示类似全亮的状态。此类现象宝石具有以下共性：高折射率，色散明显，亚金刚光泽—金刚光泽，如钻石、合成立方氧化锆、人造钇铝榴石等。某些欧泊中也会呈现类似现象。为更有效地辨识现象，观察时可用典型全暗或全亮宝石作对比。



图 36 均质体在 0° 时
正交偏光镜下现象



图 37 均质体在 45° 时
正交偏光镜下现象

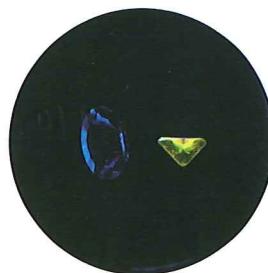


图 38 均质体在 90° 时
正交偏光镜下现象



图 39 均质体在 135° 时
正交偏光镜下现象

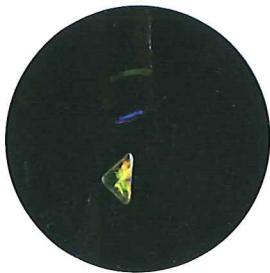


图 40 均质体在 180° 时
正交偏光镜下现象



图 41 均质体在 225° 时
正交偏光镜下现象

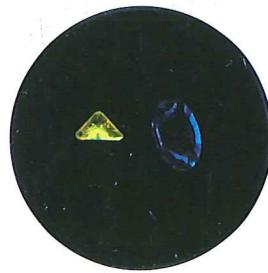


图 42 均质体在 270° 时
正交偏光镜下现象



图 43 均质体在 315° 时
正交偏光镜下现象



正交偏光镜下均质体的异常消光
现象（合成尖晶石的榻榻米结构）



正交偏光镜下均质体的异常消光
现象（琥珀的异常消光）



正交偏光镜下均质体的全暗现象

图 44 正交偏光镜下均质体异常消光现象与全暗现象对比图

二、干涉图观察及宝石轴性判断

在台式偏光镜或带偏光功能的宝石显微镜中，翻转非均质体宝石，仔细观察可在某个特定的方向看到宝石的干涉色，进而找到宝石的干涉图。根据干涉图的形态可将非均质体宝石细分为一轴晶宝石和二轴晶宝石，某些宝石还可以根据干涉图直接进行定名，例如根据牛眼干涉图，可以判断宝石为水晶。

1. 偏光镜基本操作步骤

- 1) 接通偏光镜电源，打开偏光镜电源开关。
- 2) 将正交偏光镜视域调为最暗状态。
- 3) 在上下偏光片间上下、左右各个方向转动宝石。

4) 当转到某个位置，从上偏光片上观察到宝石出现虹彩效应或干涉色时（图 45），在上偏光片与宝石之间加入锥光干涉球（图 46~47），观察宝石干涉图（图 48）。

2. 基本现象及观察结果解析

宝石的干涉图是宝石某个特定方向才能见到的特殊现象，因此在观察宝石干涉图时需要翻转宝石找寻该方向及现象。

- 1) 一轴晶宝石黑十字干涉图（图 49~50），除水晶以外的刚玉族、碧玺等所有中级晶族宝石均可见此干涉图。



图 45 非均质体宝石在偏光镜下的虹彩效应
(右上角为放大图)



图 46 锥光干涉球外观及结构图



图 47 锥光干涉球的加入
(右上角为加入干涉球后干涉图的放大)



图 48 水晶干涉图
(右上角为水晶干涉图放大图)

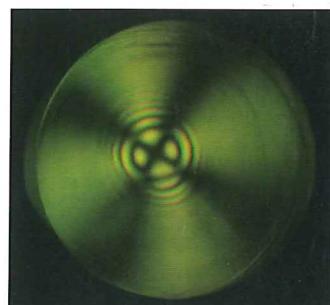


图 49 一轴晶宝石黑十字干涉图



图 50 一轴晶宝石黑十字干涉素描图

2) 二轴晶宝石单臂干涉图(图51~52),橄榄石、托帕石等所有低级晶族宝石均可见此干涉图。

3. 异常情况分析

1) 均质体宝石中有时出现一种假黑十字干涉图(图53),与非均质体中级晶族宝石的正常黑十字干涉图(图54)容易混淆,但是可依据有无带彩色干涉色圈来区分,有彩色干涉色圈为正常非均质体宝石干涉图(图55),无彩色干涉色圈(图54)则为均质体的假黑十字干涉图,需要注意的是均质体宝石某些时候也能看到类似非均质体的干涉色现象(图56~57),但加入锥光干涉球后,只有非均质体才能呈现带彩色干涉色圈的十字、中空黑十字或者一字形黑带部分。均质体无法观察到上述现象(图58)。

2) 中级晶族三方晶系的水晶与其他中级晶族宝石不同,它不呈现黑十字干涉图,而是呈现螺旋浆状、牛眼状干涉图(图59~61),仅水晶中可见此现象,其他宝石迄今尚无报道。



图 51 二轴晶宝石单臂干涉图



图 52 二轴晶宝石单臂干涉素描图

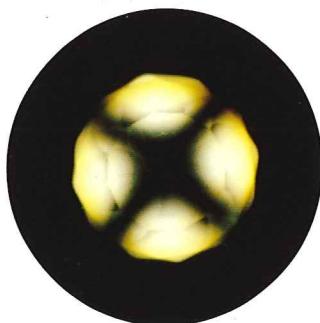


图 53 均质体假黑十字干涉图

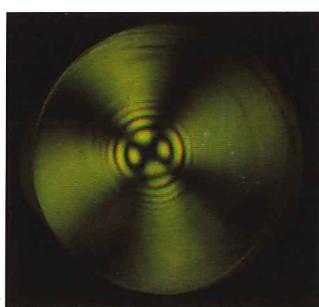


图 54 非均质体的黑十字干涉图



图 55 非均质宝石的干涉图

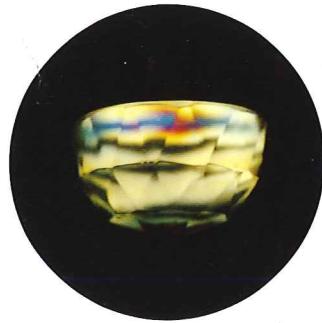


图 56 玻璃的异常消光

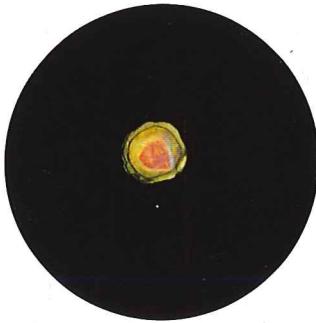


图 57 碧玺晶体的干涉色

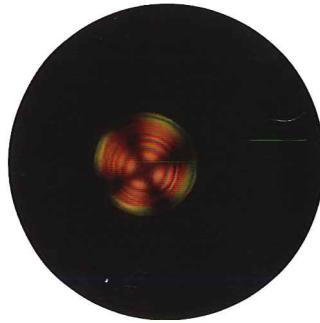


图 58 碧玺一轴晶黑十字干涉图

3) 二轴晶宝石双臂干涉图(图62~63),橄榄石、托帕石等所有低级晶族宝石均可见此干涉图,但该现象较为罕见,常见二轴晶单臂干涉图。

三、多色性观察及轴性判断

利用偏光镜,在上下偏光片平行的条件下,将宝石贴近载物台,多角度翻转宝石,在某些特定的方向可观察宝石的多色性,可以根据看到的不同颜色数量,判断宝石是具有二色性还是三色性的。但是要准确地描述宝

石的多色性,还是需要借助二色镜。

1. 偏光镜基本操作步骤

- 1) 接通偏光镜电源,打开偏光镜电源开关。
- 2) 转动偏光镜的上偏光片,使上下偏光振动方向平行,视域呈全亮(图64)。
- 3) 将宝石贴近载物台,用手或者宝石夹转动宝石,分别从2~3个不同的方向上,对宝石颜色进行观察(图65~66)。

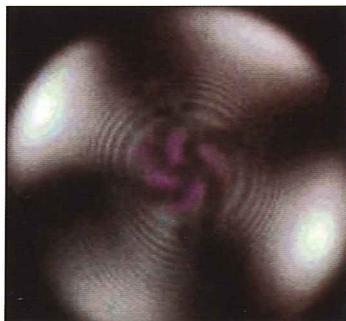


图 59 水晶的螺旋桨状干涉图

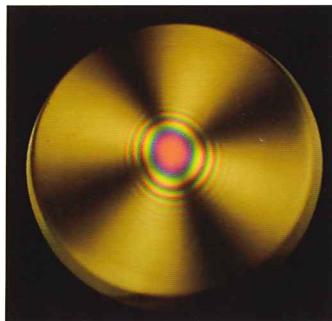


图 60 水晶的牛眼状干涉图

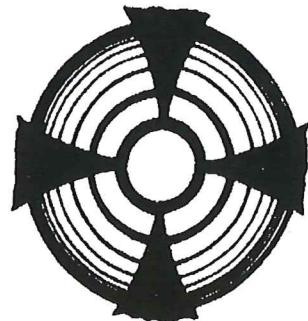


图 61 水晶的牛眼状干涉图素描图



图 62 双臂干涉图

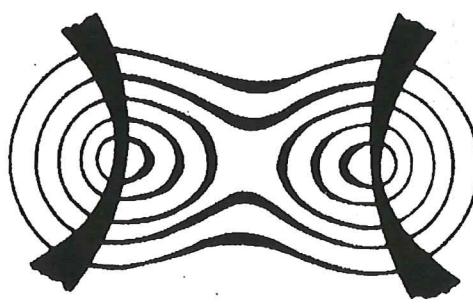


图 63 双臂干涉图素描图



图 64 正交偏光镜视域全亮状态

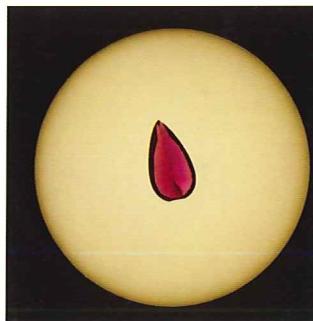


图 65 正交偏光镜视域全亮状态
红宝石某方向颜色

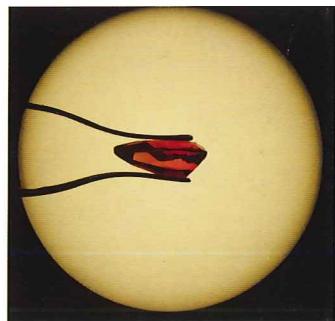


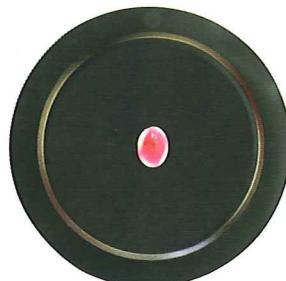
图 66 正交偏光镜视域全亮状态红宝石
另外一个方向颜色

2. 基本现象及观察结果解析

1) 翻转宝石，发现宝石未出现颜色的变化，可能的原因是宝石不具有多色性或者多色性弱，可使用二色镜进一步判断。

2) 翻转宝石，发现宝石出现两种颜色的变化，可以判断宝石为非均质体宝石（图 65~66）。

3) 翻转宝石，发现宝石出现三种颜色的变化，可以判断宝石为非均质体低级晶族的宝石。



红宝石在 0° 时正交偏光镜下现象



红宝石在 45° 时正交偏光镜下现象



红宝石在 90° 时正交偏光镜下现象



红宝石在 135° 时正交偏光镜下现象



红宝石在 180° 时正交偏光镜下现象



红宝石在 225° 时正交偏光镜下现象



红宝石在 270° 时正交偏光镜下现象



红宝石在 315° 时正交偏光镜下现象

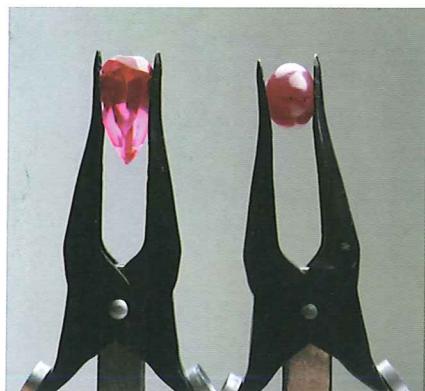
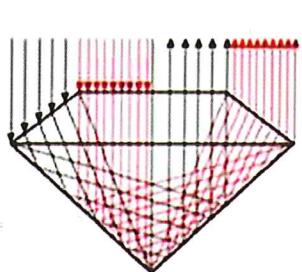


图 67 透明度不同的红宝石
左边为透明的红宝石：可见典型四明四暗现象
右边为微透明的红宝石：可见全暗现象

2. 现象：多晶质集合体玉石偏光镜下出现全暗消光

比如绿松石、青金石等（图 69~70）。

</



标准圆钻型全内反射示意图



钻石在 0° 时正交偏光镜下现象



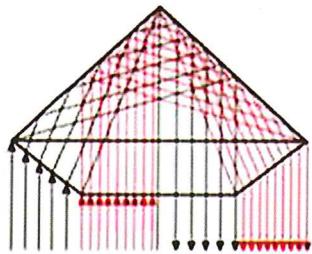
钻石在 90° 时正交偏光镜下现象



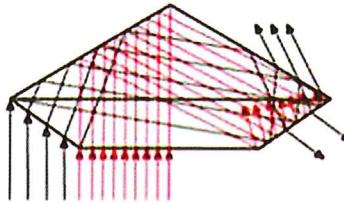
钻石在 180° 时正交偏光镜下现象



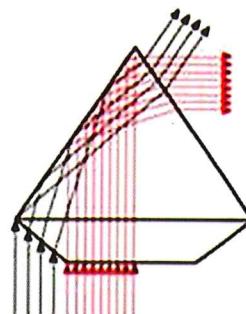
钻石在 270° 时正交偏光镜下现象



亭部比率合适的标准圆钻型宝石，光线从宝石台面全部折回，该类切工非均质体宝石可见全暗现象



亭部浅的标准圆钻型宝石，光线从宝石腰部漏出，该类切工非均质体宝石可见四明四暗现象



亭部深的标准圆钻型宝石，光线从宝石亭尖漏出，该类切工非均质体宝石可见四明四暗现象

图 71 标准圆钻型切工全内反射现象

第六节 偏光镜测试宝石光性条件及常见宝石类型小结

一、偏光镜测试宝石光性条件小结

- 1) 不透明的宝石不能进行偏光下光性检测。
- 2) 颗粒偏小的宝石不能进行偏光下光性检测。
- 3) 多孔、多裂隙、多杂质宝石进行偏光下光性检测时需要结合其他仪器结果，最终确定宝石光性。
- 4) 光泽强、火彩明显，切工具有全反射效果的宝

石进行偏光下光性检测时需要结合其他仪器结果，最终确定宝石光性。

5) 聚片双晶的样品、拼合处理的样品会因不同部分消光方位不同出现视域全亮的现象，进行偏光下光性检测时需要结合其他仪器结果，最终确定宝石光性。

二、常见宝石偏光镜下现象小结

表 1 常见宝石偏光镜下现象小结

现象		结论	实例
宝石转动一周，四明四暗（或仅见干涉色）	十字干涉图	非均质体	中级晶族：绿柱石、刚玉、碧玺、锆石、磷灰石等
	牛眼干涉图		水晶
	双臂干涉图		低级晶族：堇青石、托帕石、橄榄石、各类辉石、黝帘石（含坦桑石）、金绿宝石、日光石、月光石等
	单臂干涉图		
宝石转动一周异常消光		均质体	高级晶族：钻石、石榴石、萤石、尖晶石等
宝石转动一周全暗			非晶体：天然玻璃、玻璃、塑料、欧泊、合成欧泊等
宝石转动一周全亮		多晶质集合体	集合体：翡翠、软玉、石英岩、玉髓、玛瑙、东陵石、钠铬长石玉等

第七节 偏光镜记录格式要求

- 1) 要求注明检测宝石时上、下偏光片相对位置：正交（将上偏光片转动至视域最黑位置为正交状态）或者平行（将上偏光片转动至视域最亮位置为平行状态）。
- 2) 正交偏光镜下现象使用专业术语描述：四明四

暗、全暗、全亮、异常消光。

3) 正确判定并使用专业术语描述结论。

光性：非均质体、均质体、多晶质集合体。

轴性：一轴晶、二轴晶。

思考练习题

按照下列要点使用偏光镜观察宝石（可参考宝石光性观察流程图 72 进行），并将观察结果记录在表 2 中。可观察透明、弧面型的水晶、月光石、橄榄石、碧玺等具有典型干涉图的宝石。

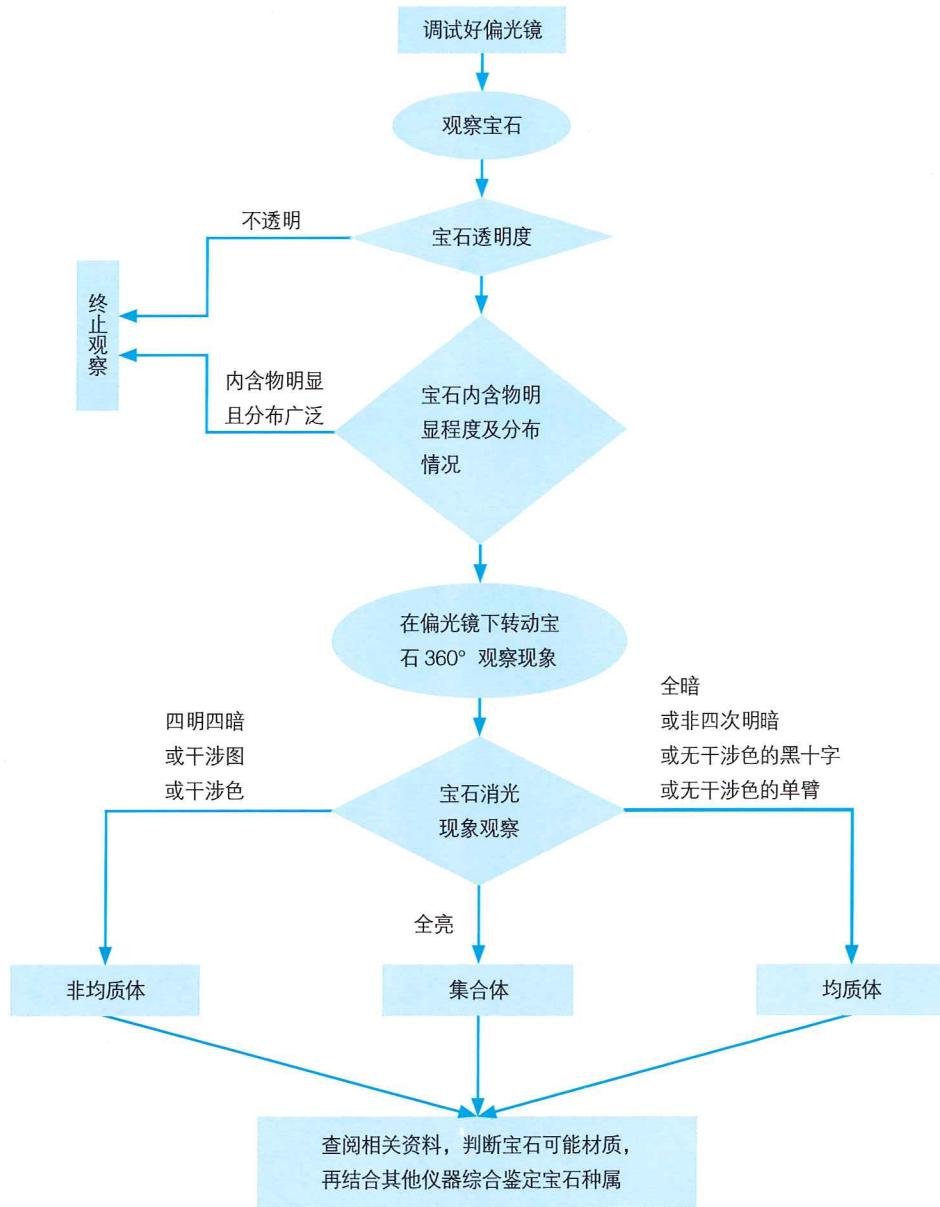


图 72 宝石偏光镜使用及分析观察流程图

表 2 正交偏光镜观察记录表

样品编号	颜色	透明度
	光泽	宝石大小 (mm)
上、下偏光片相对位置		内含物明显程度及分布情况
观察现象记录		正交偏光镜下现象
		宝石干涉图素描
观察结果分析		宝石光性
		宝石轴性

第二章

折射仪

能力目标

折射仪是依据折射和全反射的原理，测宝石临界角值，并将它转化为折射率的仪器，也是常规宝石鉴定仪器之一。要求通过本章节的学习，掌握折射仪的原理、结构、操作、现象解析以及观察时需要注意的事项，能熟练使用折射仪对不同形状的珠宝玉石进行观察。

第一节 折射仪的原理及用途

折射仪是根据全反射原理制造的（图 1）。

当光线从光密介质进入光疏介质时，折射线偏离法线方向，折射角大于入射角。当折射角为 90° 时的入射角称为临界角，所有大于临界角的入射光线不能进入光疏介质而在光密介质内发生反射，并遵循反射定律（图 2）。

针对折射仪而言，可以理解为：当光线由光密介质的铅玻璃半球进入光疏介质的宝石时，如果入射角稍微大于宝石的临界角（折射光线与法线方向垂直时入射光线与法线的夹角）就造成全反射，光线就全反射回玻璃半球内（图 3），并透射到已标定好的刻度尺上，再通过目镜和偏光片放大观察，直接读出标尺上的数值，就是宝石的折射率。

刻度尺上的标定读数是根据标定读数（宝石折射率）等于玻璃折射率乘以临界角的 \sin 数值计算出来的。

折射仪可以通过刻面型宝石折射率的测定、宝石双折射率的测定进行光性的判定，可以通过弧面型宝石折射率的测定进行宝石品种的快速鉴别及鉴定。



图 1 折射仪外观、偏光片附件、通过目镜看到的标尺

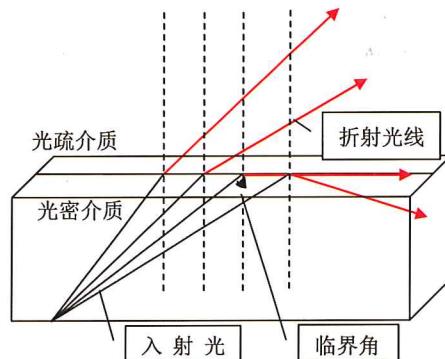


图 2 反射定律示意图（黑色为入射光线、红色为反射光线）

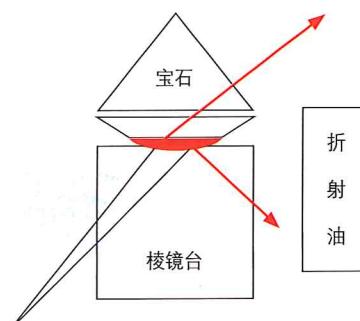


图 3 折射仪棱镜台与宝石交界处光的路径和全内反射

* 第一节、第二节折内容均引用自施健主编的《珠宝首饰检验》，中国标准出版社，1999.5。

测定范围：1.40~折射油值

1.40~1.81 (1.78)

$RI: 1.78 = \text{碘甲烷} + \text{饱和溶解硫}$

第二节 折射仪的结构

折射仪的型号很多，但大同小异，常用的一般主要由棱镜台、反射镜、标尺、透镜、目镜、套在目镜上的偏光片、光源和折射油（接触液）组成（图 4~5）。

1) 棱镜：位于折射仪金属台正中央，构成测台。根据全内反射原理，相对于宝石来说，它应为光密介质，要求由高折射率的单折射材料制作。目前用于制作棱镜的材料是铅玻璃（折射率 1.86~1.96）或立方氧化锆（折射率 2.16）。由铅玻璃制作的棱镜，仪器的清晰度高，但铅玻璃硬度小，易被磨损；由立方氧化锆制作的棱镜耐磨，但仪器的清晰度差些。这两种材料的色散都较大。

2) 反射镜：将全反射的光折返，以便于观察。

3) 标尺：一般安装在仪器内部棱镜与反射镜之间。标尺上标有折射率 1.40~1.80 的刻度和数字。

4) 透镜：起聚焦作用。

5) 偏光片：这是宝石仪器的附件，可以随意取舍。转动偏光片，测试时当全反射的振动方向与偏光片的振动方向一致时，可以提高仪器的清晰度。

6) 光源：不同波长的光通过给定的两个介质，所获得的折射率是不同的。日光由七色光组成。若以日光作为光源，由于棱镜的高色散材料制成，光通过后视域中出现的是一条宽的彩色谱带。单折射宝石出现一条彩色谱带，测试时可以黄与绿色的边界为准读数。

双折射宝石会出现两条彩色谱带，特别是当双折射率不大，两条彩色谱带靠近甚至重叠时，折射率读数将很困难。因此，用于折射仪的光源要求是单色光。

宝石学中统一采用波长为 589.5nm 的黄光。黄光可有以下四种方法获得。第一：仅允许 589.5nm 光通过的干涉滤光片；第二：发射黄光的二级灯管；第三：单色滤光目镜；第四：钠光灯。

光源可以安装在折射仪内，也可单独存在。前者折射仪进光口一侧有插孔，后者设有进光口。

7) 折射油（接触液）：这是用折射仪测试宝石折射率的必备液体。无论待测样品测试面如何光滑平整，当与棱镜接触时，两者之间难免有空气进入而影响测试效果。为保持两者良好的光学接触，必须使用接触液。由二碘甲烷（折射率 1.74）加晶体硫，加温使硫溶解并达到饱和状态，可获折射率为 1.78 的接触液（制作时一定在有通风设备的条件下）；若再加 18% 的四碘乙烯，可获得折射率为 1.81 的接触液。折射率高的接触液价格高，毒性也大些。接触液的折射率控制了待测样品的范围，宝石检测期望有无毒的高折射率接触液。

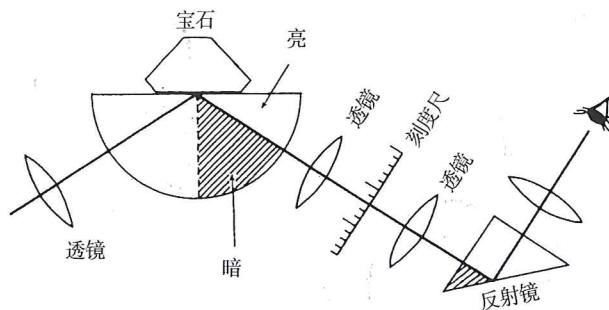


图 4 折射仪内部结构名称素描示意图



图 5 折射仪内部结构名称实物示意图

高值被低值变

第三节 折射仪的操作及现象解析

判断宝石的琢型，选择相应的测试方法：刻面型宝石选择大刻面宝石测定法；弧面型或者大刻面宝石测定法无法测试的刻面型宝石选择点测法。

一、刻面型宝石折射率的测定，宝石双折射率的测定及光性的判定

1. 大刻面宝石测定法的步骤

1) 擦净棱镜台（测试台）和宝石。

2) 接通宝石折射仪电源，打开折射仪上的电源开关（或打开光源，使光进入折射仪）（图 6）。

3) 在棱镜台（测试台）正中央点少量折射油（接触液），一般直径 1~2mm 即可（图 7~8）。

4) 选宝石最大、最平整光滑的面向下，用手轻推样品至棱镜台正中央（图 9）。

5) 眼睛靠近目镜观察阴影边界（图 10）。读数并记录。若阴影边界不清晰，可加偏光镜观察。观察时转动偏光片到阴影边界清晰时读数并记录。

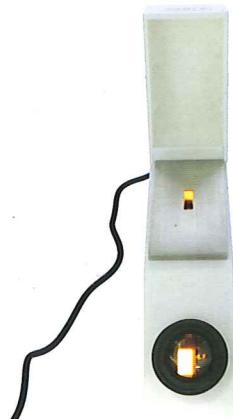


图 6 折射仪电源打开后



图 7 折射油点取的位置

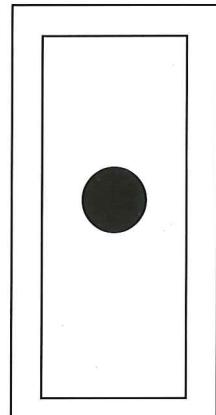


图 8 折射油点取相对大小



图 9 大刻面宝石测定法放置位置及宝石方向

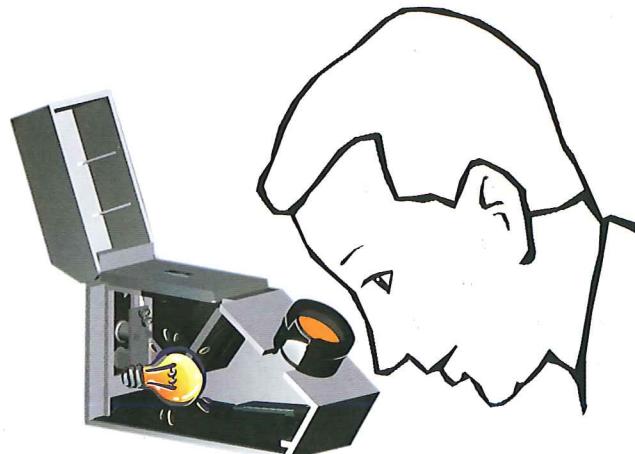


图 10 大刻面宝石测定法姿势图

6) 原地转动样品 360° ，每转动 45° 按上述步骤读数记录，获样品不同位置上的折射率。测试最小误差宝石折射率也可以转动更小角度进行记录，例每转动 15° 进行一次折射率的记录（图 11）。

2. 基本现象及观察结果解析

在晶体光学中，自晶体中心在各振动方向上按比率截取相应的折射率值。所有振动方向上都可以截取一个线段，把各线段端点连起来会得到一个立体的封闭图形，称之为光率体。即光率体是围绕着晶体中的一点在光波的振动方向上以折射率的大小为向量半径所作的几何曲面。

光率体根据晶体是否改变入射光线的性质和振动方向分为均质体光率体（图 12~13）、一轴晶光率体（图 14~17）、二轴晶光率体（图 18）三类。对于其中的一轴晶光率体可进一步细分为一轴晶正光性光率体和一轴晶负光性光率体；二轴晶光率体可进一步细分为二轴晶正光性光率体和二轴晶负光性光率体。

光轴是指光波在非均质体中传播时，存在的一个或两个不改变入射光线性质、振动方向的特殊方向。有一个光轴的光率体称为一轴晶光率体，包括中级晶族的三方晶系、四方晶系、六方晶系。有两个光轴的光率体称为二轴晶光率体，包括低级晶族的斜方晶系、单斜晶系、三斜晶系。

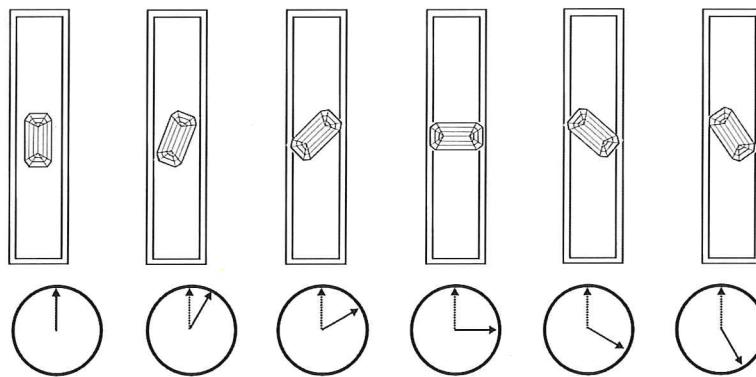


图 11 原地转动样品 180° ，每转动 15° 记录时宝石方向示意图

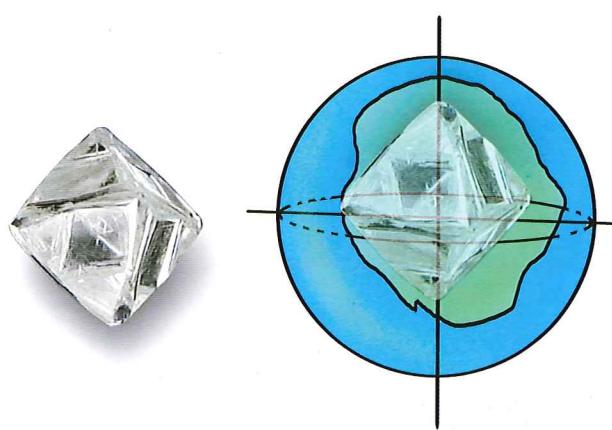


图 12 左为钻石晶体原石，右为钻石的光率体

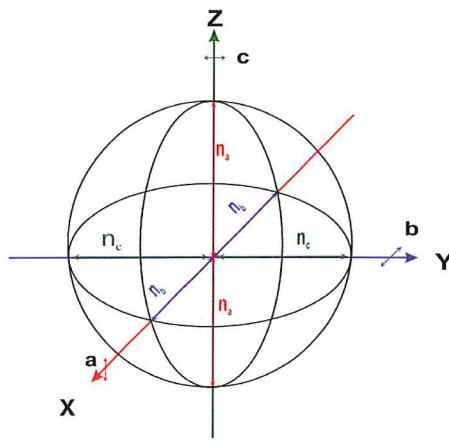


图 13 均质体光率体素描图

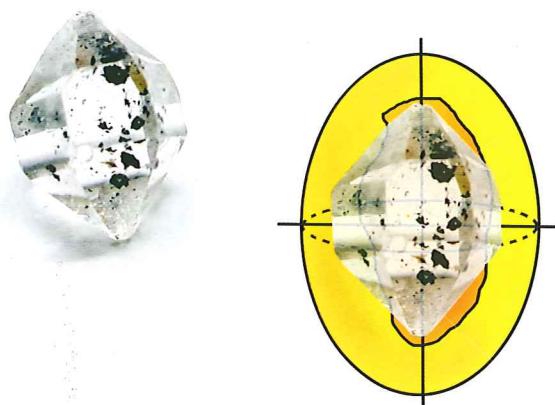


图 14 左为水晶晶体原石，右为水晶的光率体图

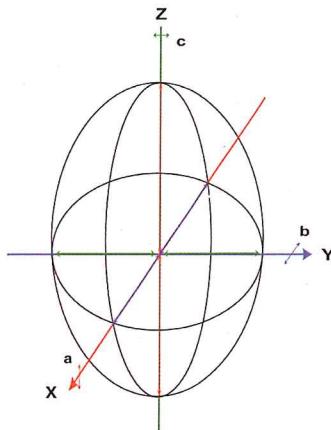


图 15 一轴晶正光性光率体素描图
一轴晶正光性光率体(横截面为圆形的椭球体), 光轴方向平行
C(Z) 轴, Ne 方向平行 C(Z) 轴, No 方向平行 Y 轴

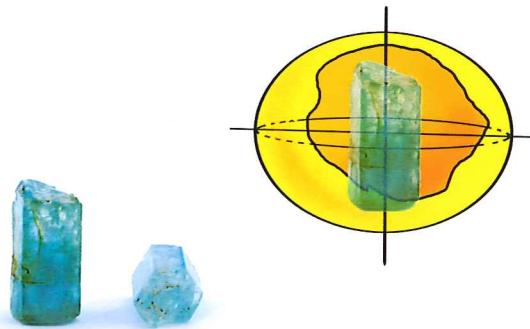


图 16 左为海蓝宝石晶体原石，右为海蓝宝石光率体一轴晶负光性光率体素描图

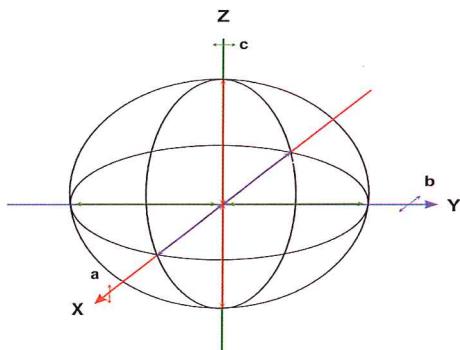


图 17 一轴晶负光性光率体(横截面为圆形的椭球体), 光轴方向平行
C(Z) 轴, Ne 方向平行 C(Z) 轴, No 方向平行 Y 轴

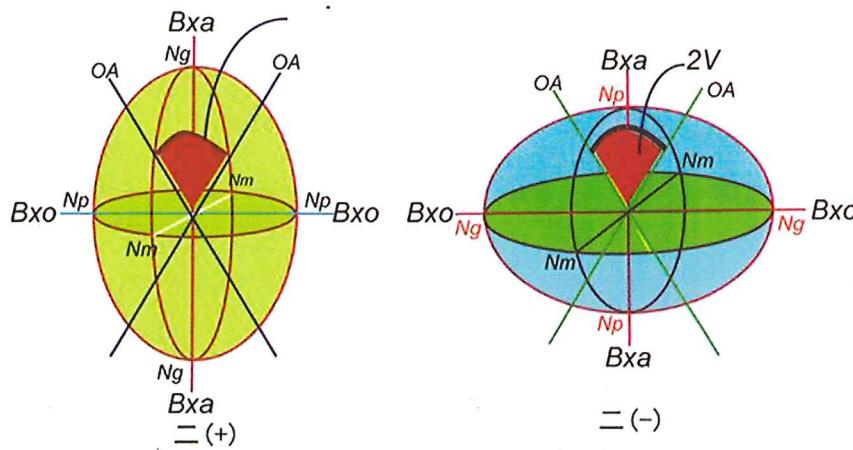


图 18 二轴晶光率体(横截面为椭圆形的三轴不等椭球体), 三个光学主轴: Ng 轴、Nm 轴和 Np 轴, 两轴垂直, 代表二轴晶三个主要光学方向。三个主折射率: Ng、Nm、Np。大小关系 Ng>Nm>Np。两个光轴(OA): 垂直于光轴的光率体切面为半径为 Nm 的圆, 即沿光轴方向入射的光不发生双折射。由于有两个光轴, 故称二轴晶。光轴角: 两光轴之间所夹的锐角称为光轴角, 符号 2V, 2V 的角平分线称锐角等分线, 符号 Bxa, 两个光轴之间所夹的钝角平分线称钝角等分线, 符号 Bxo

1) 测试过程中, 显示一条阴影边界, 且转动样品时, 阴影边界位置不变(图19)。可判断观察宝石为均质体(如萤石、尖晶石、石榴石、玻璃、欧泊、塑料等)。

2) 测试过程中, 显示两条阴影边界, 且转动样品时, 两条阴影边界:一条移动, 一条不移动(图20或图22中现象)。可判断观察宝石为非均质体一轴晶宝石(如水晶、碧玺、绿柱石族宝石、刚玉族宝石等)。

如果宝石的阴影边界移动的是高值(Ne), 可进一步判断宝石为一轴晶正光性(图20~21), 缩写为“U(+)", 标记为-轴(+).

如果宝石的阴影边界移动的是低值(No), 可进一步判断宝石为一轴晶负光性(图22~23)。缩写为“U(-)", 标记为-轴(-)。

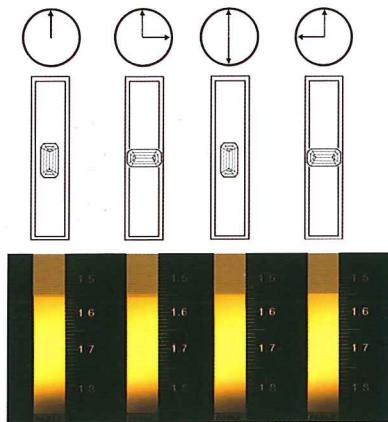


图20 棱镜台上水晶转动不同角度时折射率变化情况示意图

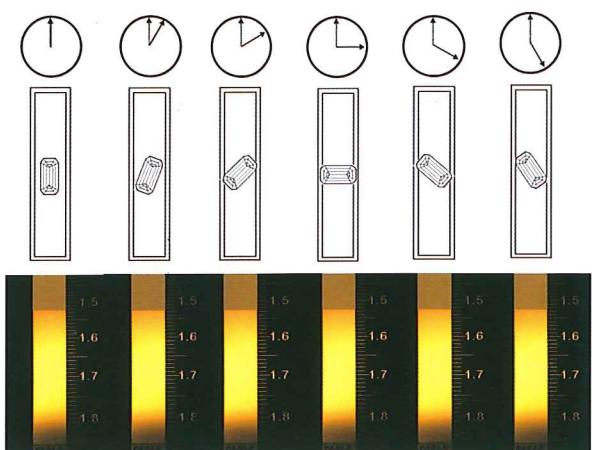


图19 棱镜台上玻璃转动不同角度时均质体(玻璃)折射率变化情况示意图(以每隔15°转动记录一次为例)

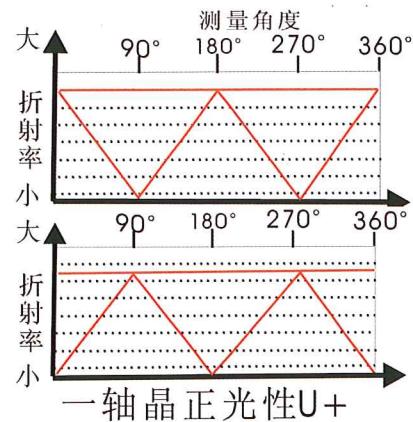


图21 一轴晶正光性(缩写为U+)宝石转动不同角度观察到的变化情况

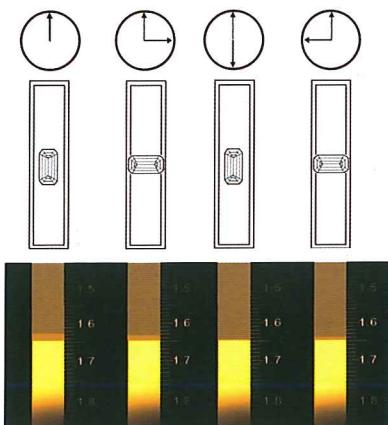


图22 棱镜台上碧玺转动不同角度时折射率变化情况示意图

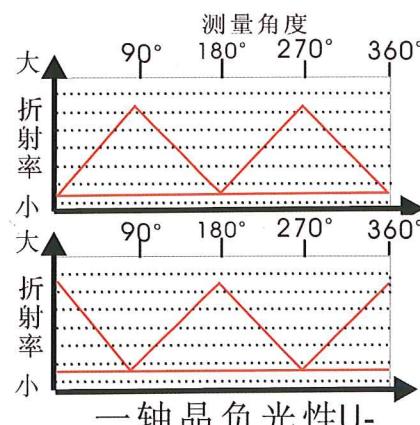


图23 一轴晶负光性(缩写为U-)宝石转动不同角度观察到的变化情况

3) 测试过程中, 显示两条阴影边界, 且转动样品时, 两条阴影边界都移动 (图 24 或图 26 中现象)。

可判断观察宝石为非均质体二轴晶宝石 (如橄榄石、托帕石等)。

如果高值阴影边界 (N_g) 移动超过半程 ($N_g - N_m > N_m - N_p$, 即 $B_{xa} = N_g$), 可进一步判断宝石为非均质体二轴晶正光性宝石 (图 24~25)。缩写为 “B (+)”, 标记为二轴 (+)。

如果低值阴影边界 (N_p) 移动超过半程 ($N_g -$

$N_m < N_m - N_p$, 即 $B_{xa} = N_p$), 可进一步判断宝石为分非均质体二轴晶负光性宝石 (图 26~27)。缩写为 “B (-)”, 标记为二轴 (-)。

4) 测试过程中, 整个视域较暗, 仅能观察到折射油所形成位于 $1.78 \pm$ 附近的一条影像边界 (具体影像边界数值可因折射油配方不同而略有差异) (图 28), 或者位于 $1.78 \pm$ 附近的阶梯状黑带可判断为宝石折射率超出范围 (图 29)。

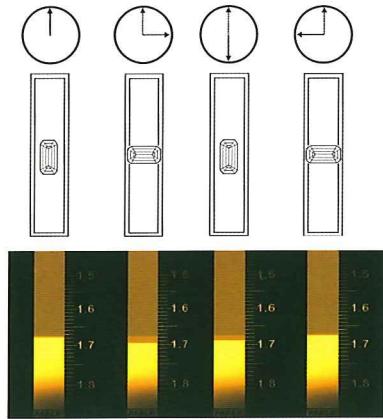


图 24 棱镜台上透辉石转动不同角度时
折射率变化情况示意图

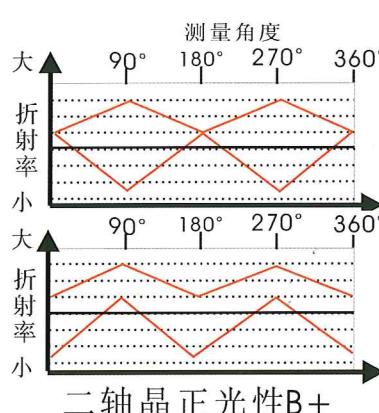


图 25 二轴晶正光性 (缩写为 B+) 宝石
转动不同角度观察到的变化情况示意图

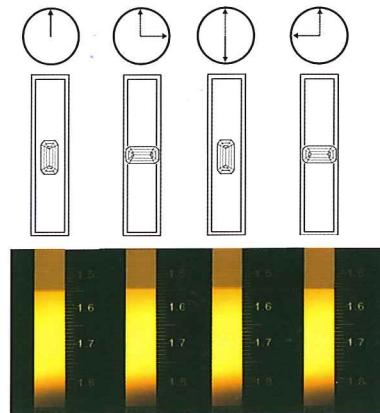


图 26 棱镜台上堇青石转动不同角度时
折射率变化情况示意图

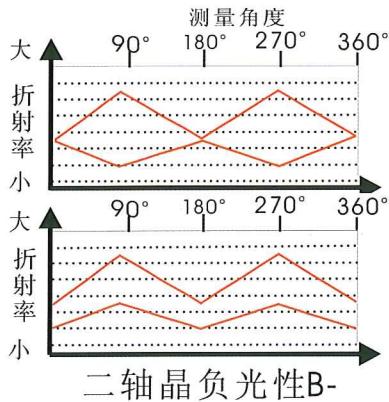


图 27 二轴晶负光性 (缩写为 B-) 宝石转动
不同角度观察到的变化情况示意图

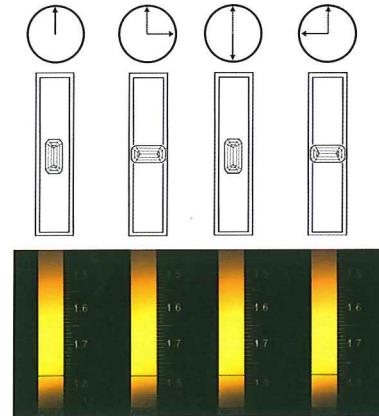


图 28 宝石折射率超出 1.78 现象之折射油边界

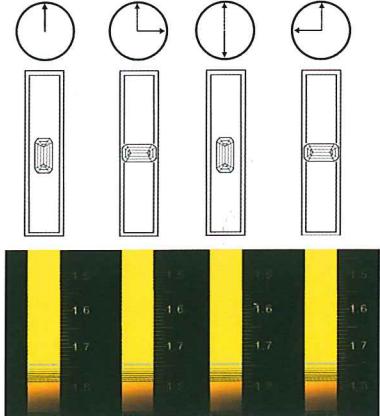


图 29 宝石折射率超出 1.78 现象之阶梯状黑带

3. 大刻面宝石测定法异常情况分析

1) 测试过程中, 显示一条阴影边界, 且转动样品时, 阴影边界位置不变, 并且在正交偏光镜下现象为四明四暗或者呈现明显多色性。

可判断为一轴晶正光性宝石, 且其折射率高值大于 1.78, 折射率低值小于 1.78, 例如蓝锥矿 (1.757~1.804) 等。或者判断为双折射率小的非均质体宝石, 例如磷灰石 (1.634~1.638) 等。

2) 测试过程中, 显示一条阴影边界, 且转动样品时, 阴影边界位置不断变化, 无固定值, 并且在正交偏光镜下现象为四明四暗或者呈现明显多色性。

可判断为一轴晶负光性宝石, 且其折射率高值大于 1.78, 折射率低值小于 1.78, 例如菱锰矿 (1.621~1.847)。

3) 测试过程中, 样品某一方向显示两条阴影边界且阴影边界位置固定, 转动宝石后观察该现象消失。

可判断为非均质体一轴晶宝石。如图光性未定的一轴晶宝石转动不同角度观察到的变化情况所示。

4) 测试过程中, 样品某一方向显示两条阴影边界, 两条阴影边界: 一条移动, 一条不移动。转动宝石后观察该现象消失。

可判断为非均质体二轴晶宝石。因为该方向可能为二轴晶宝石垂直 Ng、Nm、Np 的切面, 又称假一轴晶宝石 (Np 与 Nm 接近), 例如托帕石 (1.619~1.627)。

二、弧面型宝石折射率的测试

1. 点测法的步骤

- 1) 擦净棱镜台 (测试台) 和宝石。
- 2) 接通宝石折射仪电源, 打开折射仪上的电源开关 (或打开光源, 使光进入折射仪)。
- 3) 去掉偏光片 (个别型号的折射仪还要去掉

目镜)。

4) 在棱镜台 (测试台) 正中央直接点少量折射油 (接触液), 一般直径 $\leqslant 1\text{mm}$ 即可, 或者将折射油点在金属台上而后用宝石弧面一端蘸取少量折射油 (图 30)。

5) 将宝石的弧面向下, 用手放样品在棱镜台正中央 (图 31)。

6) 眼睛远离折射仪 30~35cm 处观察。头部略上下移动, 在标尺上寻找圆 (椭圆) 形的影像点 (图 32)。

7) 上方至下方圆形影像点由暗逐渐变亮。找出上半圆暗、下半圆亮的影像点位置, 读取并记录明暗交界处标尺上的读数, 即获此样品的近似折射率 (图 33)。

2. 基本现象及观察结果解析

1) 圆 (椭圆) 形的影像点处于上半圆暗、下半圆亮的位置时, 读取并记录明暗交界线所对应处标尺上的读数, 即获此样品的近似折射率。

2) 圆 (椭圆) 形的影像点在上下移动的过程中, 如果发现影像点明暗变化区域只有四分之三或者二分之一, 则选择有明暗变化的图形上面半个暗, 下面半个亮的位置时, 读取并记录明暗交界线所对应处标尺上的读数, 即获此样品的近似折射率。

3. 点测法异常情况分析

1) 圆形影像点的明暗变化若是在标尺上方亮、下方暗, 则需要重新测试。

2) 影像点形状不是上下对称时 (图 34), 请调整宝石方向, 确保影像点的上下对称性以便更加准确地读数。

3) 影像点在上下移动的过程中, 发现明暗变化区域过小, 影像点黑色轮廓较厚 (图 35), 则需要用纸巾吸取部分折射油后重新按照上述步骤测试。

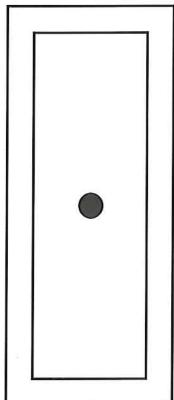


图 30 折射油点取
相对大小



图 31 弧面型宝石测定法放置位置及宝石方向

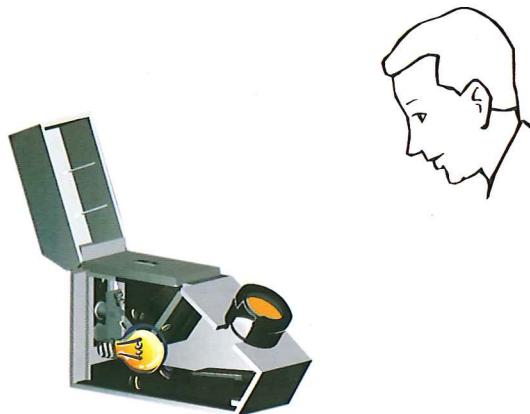


图 32 弧面型宝石测定法姿势图及宝石放置方向

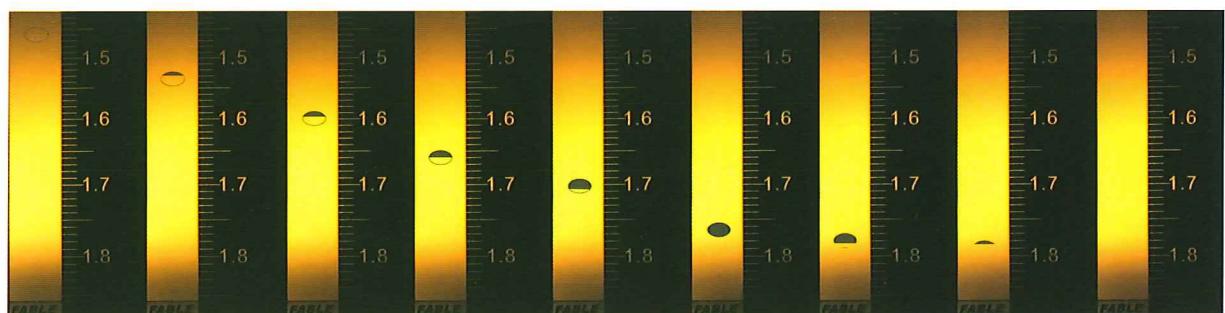


图 33 视线从标尺上方向下移动时可见椭圆形阴影变化情况（以折射率为 1.66 的翡翠为例）

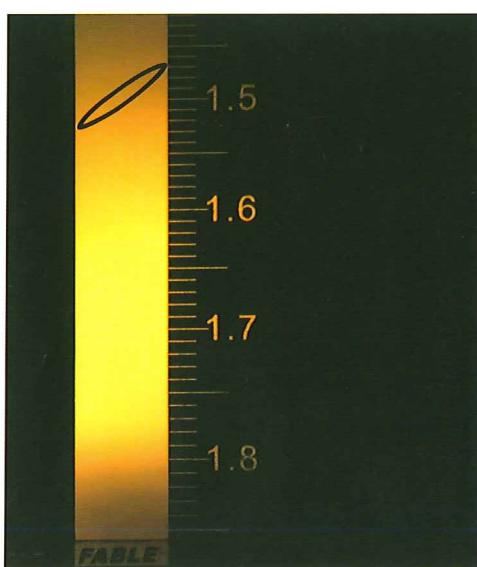


图 34 影像点黑色轮廓未呈现上下对称时需要转动宝石，
直到影像点黑色轮廓上下对称为止

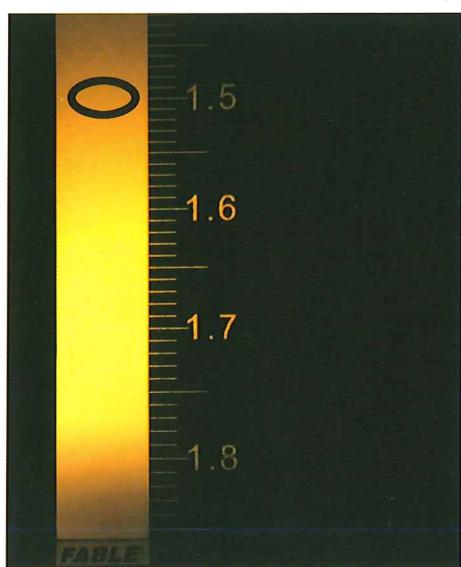


图 35 影像点黑色轮廓较厚需要减少折射油滴的
大小重新测试

第四节 折射仪常见异常情况及其分析

1) 现象：颗粒较小或者看起来较为平整且抛光的宝石，用大刻面宝石测定法无法准确读取数据。

分析：大刻面宝石测定法要求被测试宝石有大的、平滑的且抛光良好的平面，上述三个条件其中任何一条不满足，即无法使用大刻面宝石测定法读出宝石阴影边界数据。

2) 现象：用大刻面宝石测定法观察宝石数据，无法读取到宝石数据阴影边界。

分析：重复大刻面宝石测定法后，仍然无法读取到宝石数据阴影边界的，可判断宝石折射率超出折射仪范围。

3) 现象：用大刻面宝石测定法观察宝石数据，在1.78的附近位置读取到多条阴影边界线。

分析：重复大刻面宝石测定法后，仍然在1.78的附近位置读取到多条阴影边界线，可判断宝石折射率超出折射仪范围。

4) 现象：用点测法观察宝石数据，无法读取到圆（椭圆）形的影像点，上半圆暗、下半圆亮的阴影边界。

分析：重复点测法后，仍然无法读取到圆（椭圆）形的影像点，上半圆暗、下半圆亮的阴影边界的，可判断宝石折射率超出折射仪范围；需要注意的是有些宝石折射率较高使用点测法测试时，读取数据可采用圆（椭圆）形的影像点变成灰色时，圆（椭圆）形的影像点一半位置所对应的读数。

5) 现象：用点测法观察宝石数据，圆（椭圆）形的影像点，产生明暗变化的区域较小，有很厚的一层深色边界。

分析：拿起宝石，减少宝石与棱镜台接触点的接触液（折射油）的量后，重新使用点测法观察宝石数据，圆（椭圆）形的影像点厚的深色边界会变薄，从而提高读数的精确度。

第五节 折射仪测试宝石光性条件小结

一、折射仪测试宝石光性条件小结

1) 未抛光或者抛光差的宝石不能进行折射仪检测（图36）。

2) 宝石的折射率 <1.35 或者 >1.81 都无法读数。

3) 宝石的颜色，透明度与是否能够使用折射仪测试不存在因果关系。

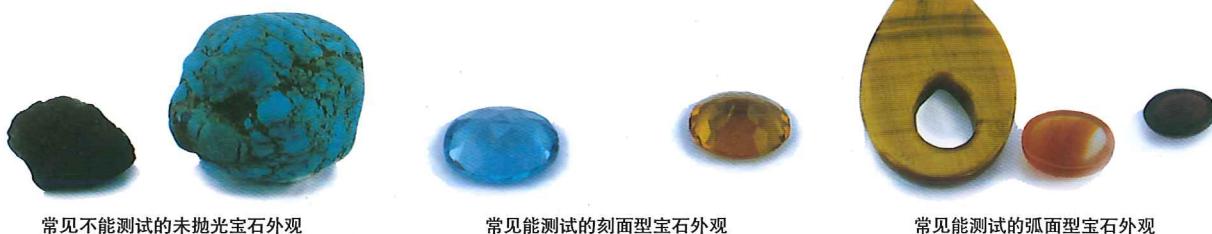


图36 宝石外形对比图

二、常见折射率范围及其对应宝石材质

常见折射率范围及其对应宝石材质见表 1。

表 1 常见折射率范围及其对应宝石材质

折射率范围	宝石名称
< 1.50	欧泊、萤石、塑料、玻璃、方钠石、方解石、大理石、珊瑚、天然玻璃
1.50 ~ 1.60	青金石、硅孔雀石、月光石、钠长石玉、天河石、玉髓、硅化木、木变石、珍珠、青田石、贝壳、日光石、琥珀、象牙、滑石、董青石、石英、龟甲、查罗石、方柱石、拉长石、寿山石、蛇纹石、独山玉、绿柱石（含祖母绿、海蓝宝石）、菱锰矿
1.60 ~ 1.70	软玉、绿松石、托帕石、碧玺、葡萄石、磷灰石、红柱石、硅铍石、橄榄石、翡翠、煤精、辉石、锂辉石、顽火辉石、透辉石、黝帘石、斧石
1.70 ~ 1.78	石榴石、符山石、蓝晶石、尖晶石、塔菲石、水钙铝榴石、绿帘石、蔷薇辉石、金绿宝石、蓝锥矿、刚玉
> 1.78	锆石、人造钇铝榴石、榍石、锡石、合成立方氧化锆、人造钛酸锶、钻石、合成金红合成碳硅石、赤铁矿、人造钆镓榴石

第六节 折射仪记录格式要求

1. 要求记录宝石的琢型：刻面型或者弧面型

2. 宝石观察的基本操作

- 1) 大刻面宝石测定法需原地转动宝石 360° ，记录至少四个不同方向观察数据。
- 2) 点测法不需要转动宝石，直接读数即可。

3. 记录格式的正确描述

1) 大刻面宝石测定法记录不同方向观察数据后，选取记录全部数据中最大值和最小值或者没有变化的那个固定数据，作为宝石的折射率，折射率结果保留小数点后三位数，例如 1.545~1.554。

2) 点测法记录的结果保留两位数且数据后加“点”或“点测”，例如 1.66（点）或者 1.66（点测）。

4. 结论正确判定

- 1) 大刻面宝石测定法可以推断出结论，即均质体、非均质体。

其中非均质体可依据折射率阴影边界线的变化情况进一步判断其轴性和光性，例如记录为非均质体一轴晶正光性等。

非均质体还可以进一步计算宝石的双折射率，用多组记录结果中的最大值减去最小值即得到宝石的双折射率，例如转动宝石多个方向的折射率的四组或者更多组记录中，最大值为 1.554，最小值为 1.545，可记录宝石折射率为 1.545~1.554，其双折射率为 1.554 减去 1.545 的差值，即宝石双折射率为 0.009。

2) 点测法无法推断出光性的结论，只按照要求做数据记录即可。

思考练习题

按照下列要点使用折射仪观察宝石（可参考宝石折射仪使用及分析流程图 37 进行），并将观察结果记录在表 2 中。可观察水晶、月光石、橄榄石、碧玺、托帕石等折射率易观察的宝石。

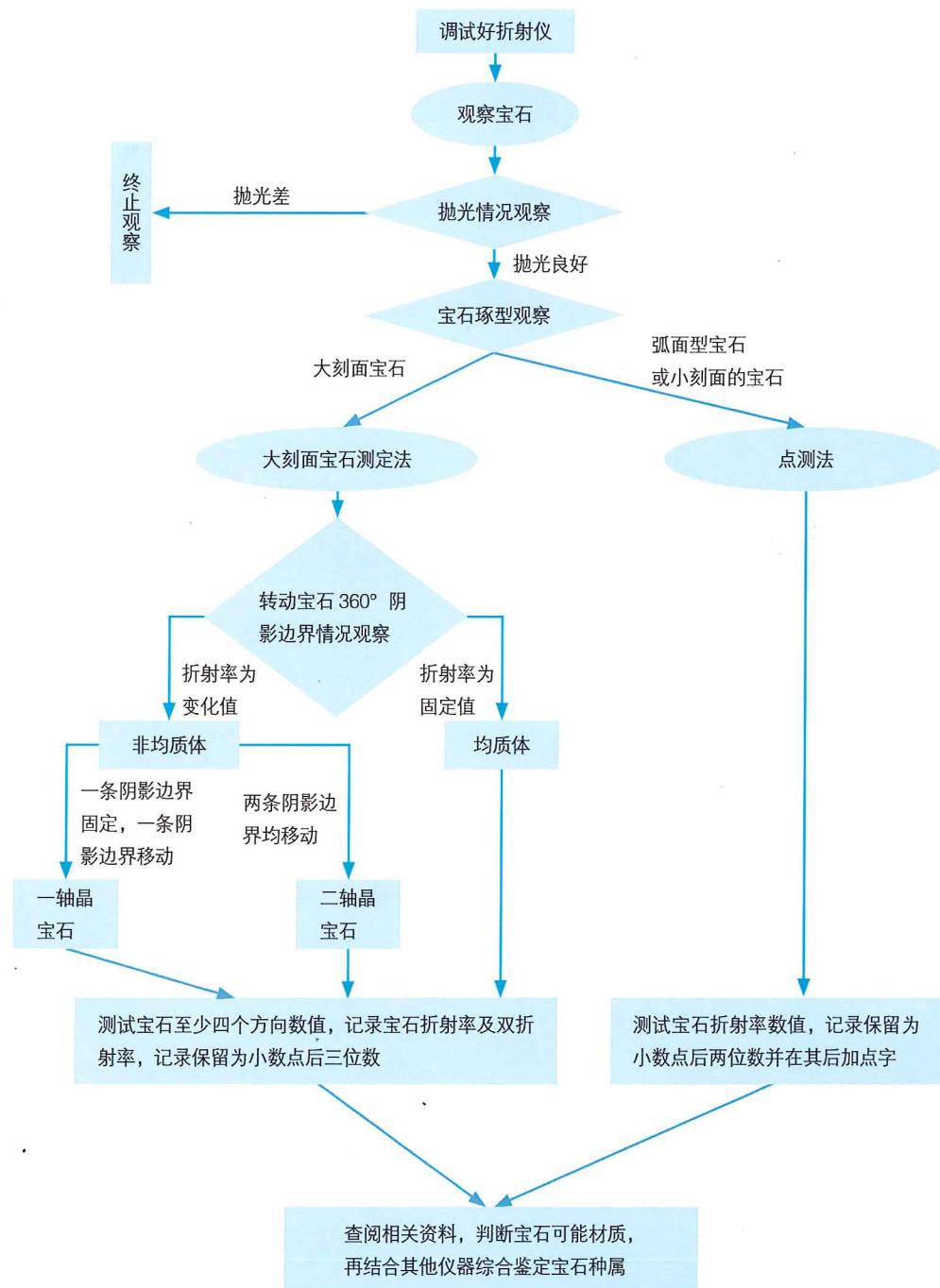


图 37 宝石折射仪使用及分析流程图

表 2 折射仪观察记录表

样品编号	颜色	琢型
	光泽	宝石大小 (mm)
	透明度	抛光评价
至少四个方向宝石折射率记录		
观察结果分析	宝石折射率	
	宝石双折射率	
	宝石光性	
	宝石轴性	

第三章

二色镜

能力目标

二色镜是珠宝实验室常规鉴定仪器之一，要求通过本章节的学习，掌握二色镜的原理、结构、二色镜的操作、现象解析以及观察时需要注意的事项，能熟练使用二色镜对透明度和净度较好的宝石进行观察。

第一节 二色镜的基本原理

自然光通过非均质体（中级晶族、低级晶族）有色宝石，分解成两束传播方向不同、振动方向相互垂直的偏振光。这两束光各自的传播方向也不同。非均质体有色宝石的各向异性导致了宝石对不同振动方向的光的吸收不同，只要能将这两种振动的光分离开来，就可能看到不同的颜色。

通常一轴晶宝石从同一光源下不同角度观察宝石可能出现两种颜色，称为二色性；二轴晶宝石同一光源下不同角度观察宝石出现三种颜色，称为三色性，上述情况统称为多色性（图 1）。



图 1 蓝青石的多色性现象

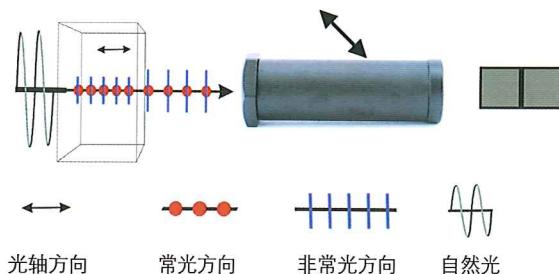


图 3 透过宝石的光的振动方向与二色镜冰洲石棱面体光轴相交 45° 时，见不到多色性原理

均质体（高级晶族、非晶体），集合体宝石无法分解进入宝石的光束，因此不存在多色性。

非均质体有色宝石具各向异性，因而存在多色性。只有当穿过宝石的两束偏振光振动方向与二色镜中冰洲石棱面体光率体主轴互相平行或垂直时（图 2），看到的才是宝石真正的多色性颜色（图 3）。若透过宝石的光的振动方向与二色镜冰洲石棱面体光轴相交 45° 时，则见不到多色性（图 4）。这就是为什么在转动二色镜和宝石的过程中，窗口颜色不断变化的原因。



图 2 宝石二色镜外观

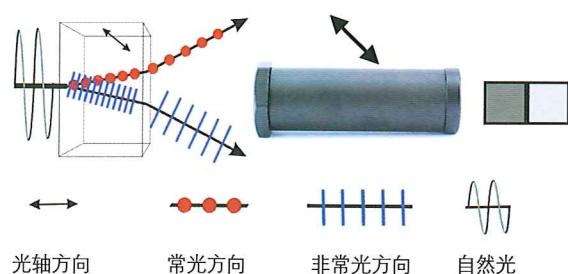


图 4 透过宝石的光的振动方向与冰洲石棱面体光率体主轴互相平行或垂直时，能够看到宝石的真正多色性原理

第二节 二色镜的结构

条件：①非负透光
②多色透明

常用的二色镜是冰洲石二色镜，它由玻璃棱镜、冰洲石棱面体、透镜、通光窗口和目镜所组成（图 5）。

冰洲石具有极强的双折射，双折射率为 0.172 ($No=1.658$, $Ne=1.486$)，它能将一束光分解成两条偏振光线。冰洲石棱面体的长度设计成正好可使小孔的两个图像在目镜里能并排成像。当观察具多色性的宝石时，冰洲石二色镜将透过宝石的两束偏振化色光再次分解，使两束偏光的颜色并排出现于窗口的两个影像中。

第三节 二色镜的操作及现象解析

二色镜可以用于宝石多色性的观察及宝石光学性质的判断。

1. 二色镜基本操作步骤

- 1) 观察时使得光线通过待测样品，光源应为白光或自然光，绝不能用单色光或偏振光。
- 2) 待测样品尽量靠近二色镜窗口部位，眼睛紧靠目镜部位进行观察（图 6）。
- 3) 边观察边转动待测样品和二色镜（图 7）。
- 4) 记录通过透光窗口观察到的颜色种类情况及观察难易程度（图 8~10）。

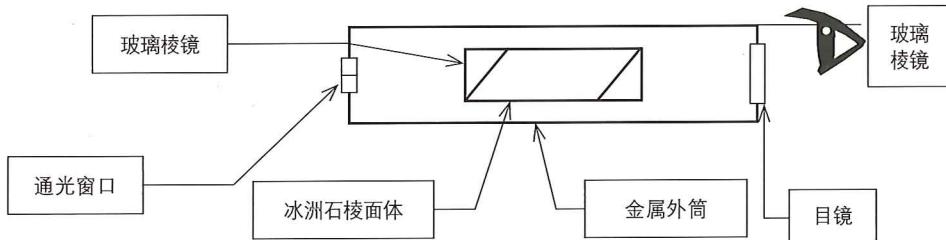


图 5 二色镜结构素描图



图 6 二色镜观察示意图

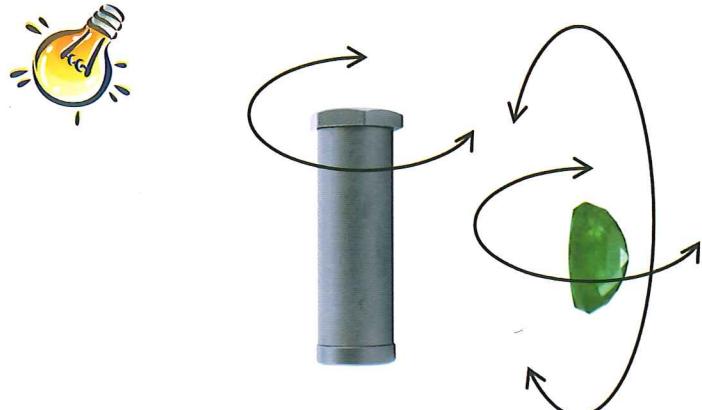


图 7 观察过程中可多角度转动二色镜及宝石

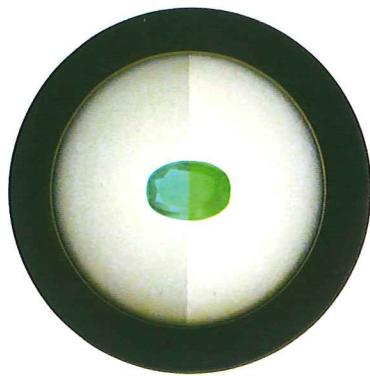


图 8 祖母绿明显多色性

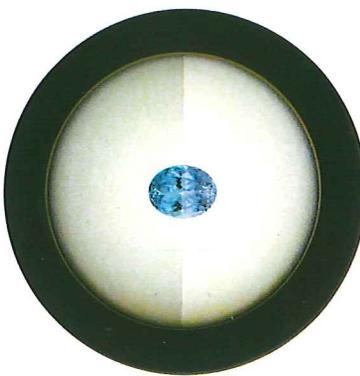


图 9 海蓝宝石中等多色性

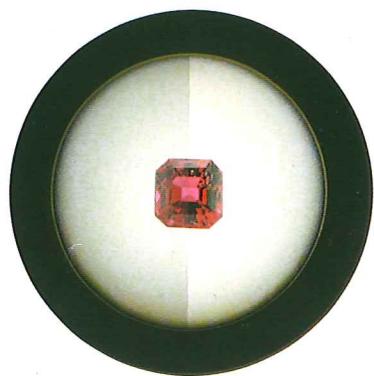


图 10 尖晶石无多色性

2. 基本现象及观察结果解析

1) 转动待测样品和二色镜，透过仪器观察待测样品，发现仪器左右窗口出现两种颜色的变化（图 11），可判断为非均质体宝石（如碧玺、红宝石等）。对于红宝石而言，如果从台面观察能够看到橙红色和红色的多色性，可怀疑其为合成红宝石（怀疑原因如图 12 所示），但是需要显微镜观察内含物及生长纹进一步确认。

2) 转动待测样品和二色镜，透过仪器观察待测样品，多方位转动宝石及仪器，发现仪器左右窗口累计出现三种颜色的变化，可判断为非均质体二轴晶宝石（如坦桑石、堇青石等）（图 13）。

3) 转动待测样品和二色镜，透过仪器观察，未发现仪器左右窗口待测样品出现颜色的变化，可能的原因是宝石不具有多色性或者多色性弱，下列宝石均可能出现上述情况：均质体（如萤石、尖晶石、石榴石、玻璃、欧泊、塑料等），多晶质集合体（如翡翠、软玉、石英岩、玉髓、玛瑙等），非均质体中的水晶、橄榄石等弱多色性宝石。

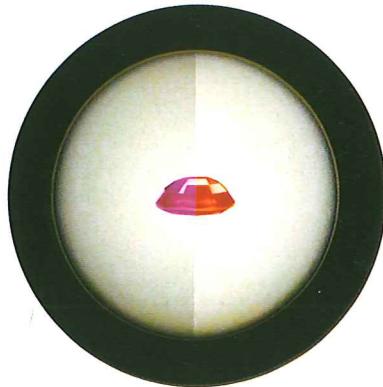


图 11 红宝石多色性

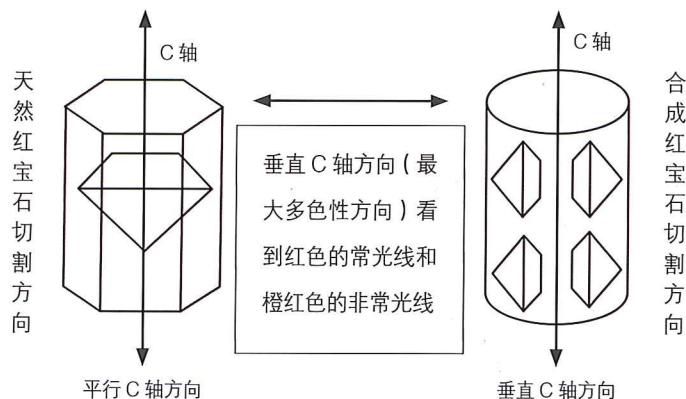


图 12 天然红宝石与合成红宝石台面方向呈现不同多色性原因

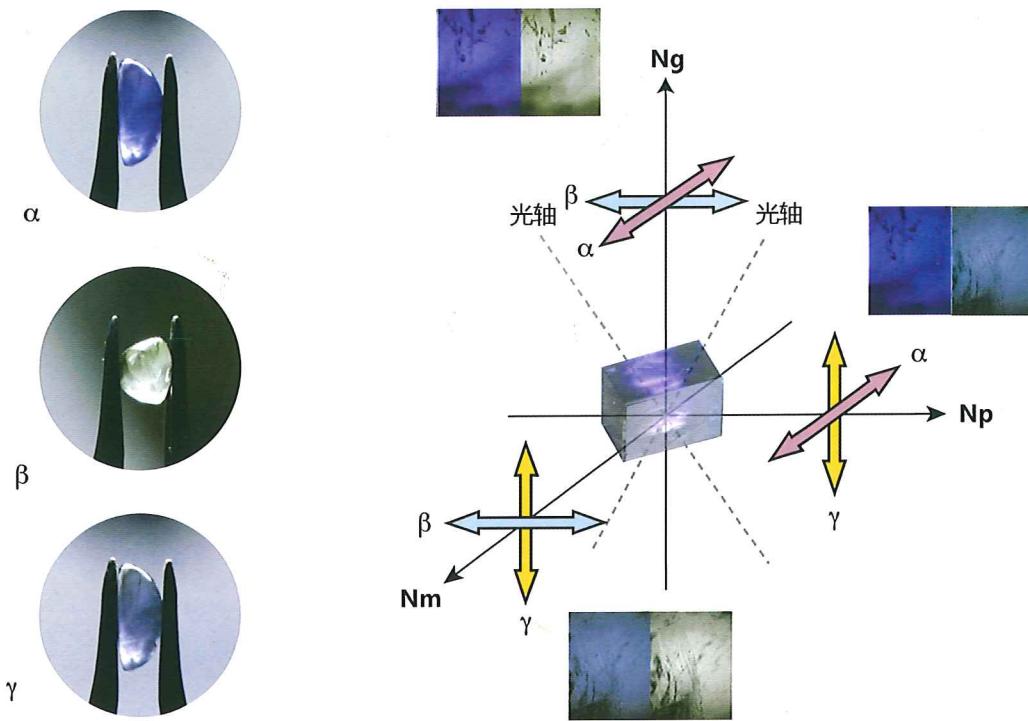


图 13 莹青石的多色性 (图中 Ng 代表二轴晶光率体中最大的折射率, Np 代表二轴晶光率体中最小的折射率, Nm 代表二轴晶光率体中介于二者之间的主折射率, α 、 β 、 γ 代表的是光的振动方向)

第四节 二色镜常见异常情况及其分析

1) 现象：某些有色双折射宝石虽然多角度转动二色镜及宝石，但是无法观察到多色性，比如红宝石、祖母绿等。

分析：红宝石、祖母绿一般都多裂隙、多杂质，使得进入宝石的光线再次折射或者分解，因此观察多色性较为困难（图 14~16）。

2) 现象：多晶质集合体玉石虽然多角度转动二色镜及宝石，但是无法观察到多色性，如翡翠、软玉、玛瑙、青金石等。

分析：多晶质集合体玉石不能够将进入宝石的光线分解成为两束，因此无法观察到多色性（图 17）。

3) 现象：颗粒较小的宝石，没有多色性现象可以观察（图 18）。

分析：颗粒太小的宝石，使用二色镜观察多色性现象比较困难，可辅助以正交偏光镜判断宝石是否具有多色性。

4) 现象：折射仪测试下已经判定宝石是非均质体二轴晶，且宝石有色、透明、内部干净，但是无法观察到多色性。

分析：并非所有非均质体有色透明宝石都能观察到多色性，例如多色性弱的橄榄石（图 19），虽然通过折射仪能够判断宝石为非均质体二轴晶，且宝石肉眼观察为黄绿色、透明、内部干净，但是该宝石确实无法观察到多色性，因此在这里可以得到一个结论：有多色性的宝石一定是非均质体，没有多色性的宝石无法判断其是均质体、非均质体还是集合体。



图 14 透明度不同的红宝石，左边为透明的红宝石，右边为微透明的红宝石

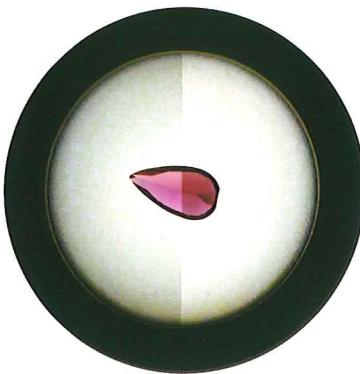


图 15 透明红宝石可见明显多色性

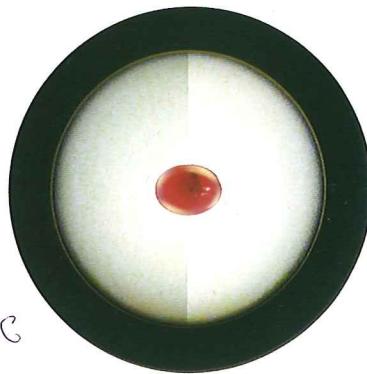


图 16 微透明红宝石无法观察到多色性

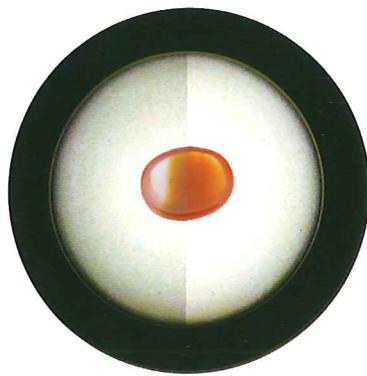


图 17 玛瑙无多色性

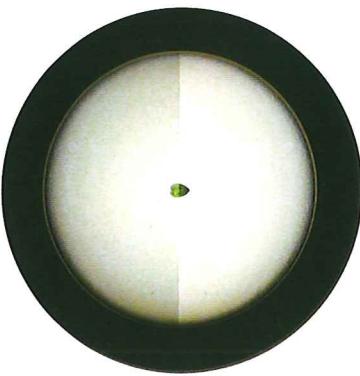


图 18 具有强多色性的铬透辉石因体积小，观察多色性较为困难

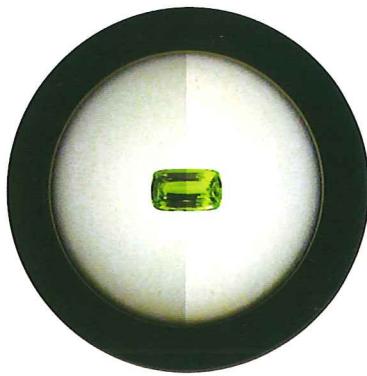


图 19 橄榄石弱多色性

第五节 二色镜测试宝石光性条件及常见宝石多色性小结

一、二色镜测试宝石光性条件小结

- 1) 不透明或者无色的宝石不能用二色镜进行观察。
- 2) 多孔、多裂隙、多杂质的宝石不能使用二色镜进行观察。
- 3) 颗粒偏小的宝石不能使用二色镜进行观察。

二、常见宝石二色镜下现象小结

表 1 二色镜下常见宝石现象

宝石光性	宝石名称	可见多色性时宝石主要体色	多色性强弱程度	宝石多色性颜色
一轴晶	碧玺	色彩丰富，包括光谱中红、橙、黄、绿、蓝、紫的所有颜色，同一晶体内外或不同部分可呈双色或多色	中 / 强 体色深者多色性肉眼可见	多色性随体色变化，通常为颜色较深和较浅的差别，如绿 / 深褐
	刚玉	色彩丰富，包括光谱中红、橙、黄、绿、蓝、紫的所有颜色	取决于自身颜色及颜色深浅程度	除了无色刚玉之外，有色刚玉均具有二色性，二色性颜色通常为颜色深浅差异，如深红 / 浅红等
	绿柱石	祖母绿特征为翠绿色，可略带黄或蓝色色调	中 / 强	蓝绿 / 黄绿
		海蓝宝石为各种深浅的蓝色	弱 / 中	蓝 / 蓝绿色或不同色调的蓝色
		绿柱石通常为金黄色、粉色、蓝色	弱	金色绿柱石：绿黄色 / 黄色或不同程度的黄色
			弱 / 中	浅红 / 紫红
			弱 / 中	浅蓝 / 蓝
	水晶	紫色、黄色、粉红色、不同程度的褐色 / 黑色，以及绿色	弱 与体色深浅有关	多色性随体色变化，通常为颜色较深和较浅的差别，如黄 / 浅黄
	磷灰石	蓝色、绿色、紫色、粉红色、黄色等	蓝色品种多色性强，其他为弱	蓝 / 无色带黄色调
	合成刚玉 仿变石	日光下：灰蓝色 钨丝灯下：紫蓝色	强	日光下：浅褐绿 / 深紫 钨丝灯下：褐黄 / 深紫
	锆石（多色性一般不明显，热处理产生蓝色锆石除外）	蓝色	强	蓝 / 棕黄 / 无色
		绿色	很弱	绿色 / 黄绿色
		橙 / 褐色	弱到中	紫棕色 / 棕黄色
		红色	中	紫红色 / 紫褐色
	方柱石	紫色、粉红，紫色	中 / 强	蓝 / 蓝紫红
		黄色	弱 / 中	不同的黄色色调

二轴晶	金绿宝石	金绿宝石通常为浅 / 中黄 / 黄绿色、灰绿色、褐色 / 黄褐色以及很罕见的浅蓝色	弱到中	黄色 / 绿色 / 褐色
		猫眼主要为黄色 / 黄绿色、灰绿色、褐色 / 褐黄色	弱	黄 / 黄绿 / 橙色
		变石在日光下常为带有黄色色调、褐色色调、灰色色调或蓝色色调的绿色，白炽灯下呈现橙色或褐红色 / 紫红色	强	绿色 / 橙黄色 / 紫红色，缅甸抹谷产出的变石可呈现紫红色 / 草绿色 / 蓝绿色
	托帕石	黄棕色 / 褐黄色、浅蓝色 / 蓝色、粉红色 / 褐红色，极少数呈绿色	弱到中	多色性随体色变化，通常呈现二色性
	红柱石	褐绿色、黄褐色，也有绿色、褐色、粉色、紫色等	强 肉眼可见	褐黄绿 / 褐橙 / 褐红
	夕线石	蓝色	强	无色 / 浅黄色 / 蓝色
	辉石	锂辉石：绿色和紫色、粉色为主	绿色中，紫色、粉色中 / 强	绿色者：深绿 / 蓝绿 / 淡黄绿色 紫色、粉色者：粉红 / 紫红 / 近无色
		透辉石：各类绿色、紫色、褐色、黑色	弱 / 强	体色越深者，三色性越强 铬透辉石为浅绿 / 深绿色
		顽火辉石：暗褐红 / 褐绿、黄绿色	弱到中	褐黄 / 黄 / 绿 / 黄绿
		普通辉石：灰褐、褐色、紫褐色、绿黑色	弱 / 强	体色越深者，三色性越强 浅绿 / 浅褐 / 绿黄色
	堇青石	蓝色、蓝紫色	强 肉眼可见	深紫蓝 / 浅蓝紫 / 淡黄
	黝帘石 (坦桑石)	常见带褐色调的绿蓝色，还有褐色、黄绿色等	强	绿色者：蓝色 / 紫红色 / 绿黄色 褐色者：绿色 / 紫色 / 浅蓝色 黄绿色者：暗蓝色 / 黄绿色 / 紫色

第六节 二色镜记录格式要求

- 1) 宝石基本操作，即多方位多角度转动宝石。
- 2) 多色性现象描述格式，多色性颜色数量，多色性强弱，多色性颜色描述（例如：对于具有二色性的宝石可描述为二色性，强，红 / 紫红。对于具有三色性的宝石可描述为三色性，强，深蓝紫 / 浅蓝紫 / 浅黄色）。
- 3) 结论正确判定，结论分为三种情况：无法判断，非均质体，非均质体二轴晶。

思考练习题

按照下列要点使用二色镜观察宝石，可参考宝石二色镜使用及分析观察流程图进行（图 20），并将观察结果记录在表 2 中。可观察弧面型的碧玺、坦桑石、堇青石等具有典型特征的宝石。

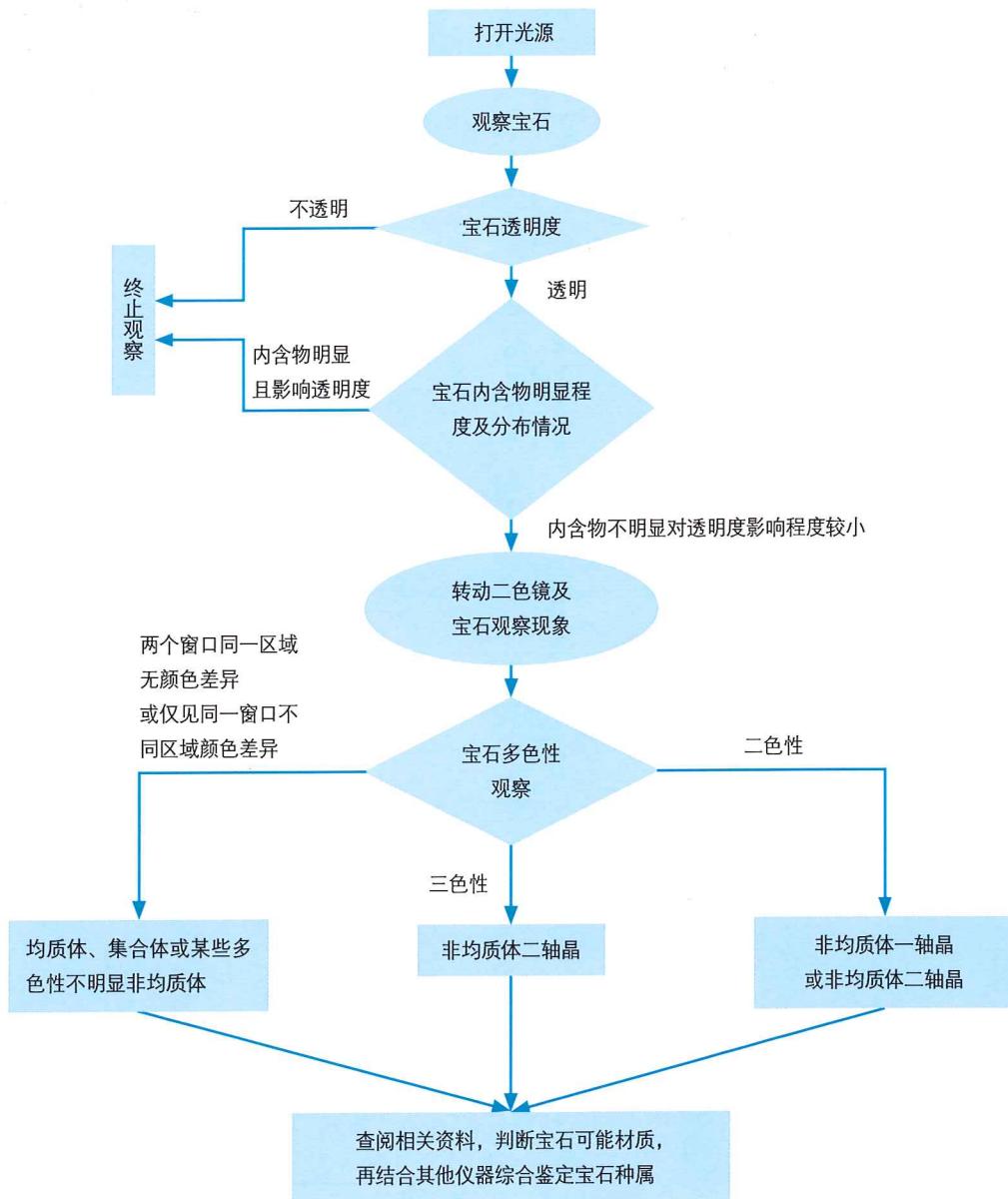


图 20 宝石二色镜使用及分析观察流程图

表 2 二色镜观察记录表

样品编号	颜色	透明度
	光泽	宝石大小 (mm)
透明度		内含物明显程度及分布情况
观察现象记录	多色性颜色累计数量	
	多色性强弱描述	
	多色性颜色描述	
观察结果分析	宝石光性	
	宝石轴性	

第四章

分光镜

能力目标

分光镜是珠宝实验室常规鉴定仪器之一，要求通过本章节的学习，掌握分光镜的原理、结构、种类；分光镜的操作、现象解析以及观察时需要注意的事项，能熟练使用分光镜对珠宝玉石进行观察，对于典型选择性吸收现象能够判断其致色元素种类。

第一节 分光镜的原理及用途

白光由红、橙、黄、绿、蓝、紫等不同波长的光组成，利用色散元件（三棱镜或光栅）便可将白光分解成不同波长的单色光且构成连续的可见光光谱（图 1）。

由于宝石中的元素（它们往往是致色元素）对于光具有选择性吸收，因此穿透宝石的光或者经过宝石表面反射的光进入分光镜后，在可见光光谱区域会产生黑带或者黑线的组合，这种现象称之为吸收光谱。

第二节 分光镜的类型和结构

1) 根据体积及便携程度不同，分为便携式（图 2）和台式分光镜（图 3）。

2) 根据分光镜所利用的色散元件不同，分为棱镜式（图 4）和光栅式（图 5），实验室中多使用棱镜式分光镜（表 1）。

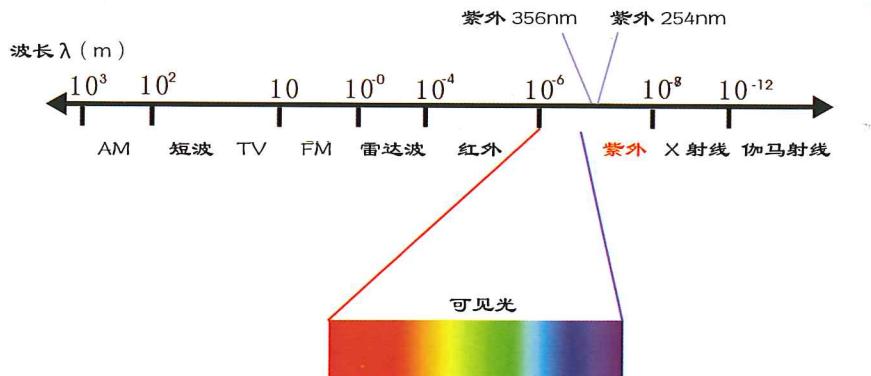


图 1 连续的可见光光谱波长范围



图 2 可调棱镜式分光镜



图 3 台式分光镜

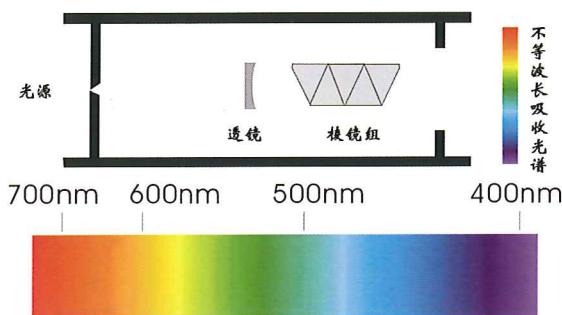


图 4 棱镜式分光镜结构及吸收光谱特征

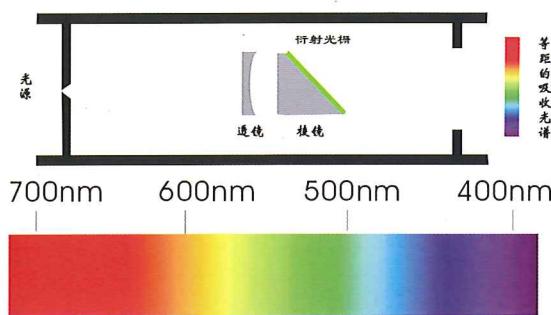


图 5 光栅式分光镜结构及吸收光谱特征

表 1 棱镜式和光栅式分光镜的特征

	特点	焦距和狭缝
棱镜式分光镜	光谱的蓝紫区相对扩宽，红光区相对压缩；红光区分辨率要比蓝光区差。透光性好，可产生一段明亮光谱。	有的棱镜式分光镜可以根据需要调节焦距和狭缝，一般来说，狭缝大，亮度大但吸收线的清晰度差。
光栅式分光镜	所产生光谱各色区大致相等；红光区分辨率比棱镜式要高；透光性差，需要强光源照明。	已固定，无需调节焦距和狭缝。

第三节 分光镜的操作及应用

一、分光镜基本操作步骤

分光镜操作的关键在于光源的使用，以及控制来自宝石的光线进入分光镜的狭缝中，光源的使用根据宝石的情况有三种照明方法的选择。

1. 透射光法观察宝石条件及基本步骤

1) 适用于透明一半透明的宝石，形状不规则的宝石也适用。

2) 具体操作方法（图 6）：

- 宝石置于光源上方，使得光线透过宝石。
- 分光镜方向与透过宝石方向平行，并且使得光线进入分光镜。
- 读取宝石吸收光谱中黑带或者黑线的位置。

2. 内反射光法观察宝石条件及基本步骤

1) 适用于颜色较浅，颗粒较小的宝石。

2) 具体操作方法（图 7）：

- 将宝石置于黑色的背景上。
- 调节入射光角度，使得宝石内部反射光线。
- 分光镜对准宝石表面露出的光亮点进行观察。
- 读取宝石吸收光谱中黑带或者黑线的位置。

3. 表面反射光法观察宝石条件及基本步骤

1) 适用于透明度差的宝石。

2) 具体操作方法（图 8）：

- 将宝石置于黑色的背景上。
- 调节入射光角度，使得宝石表面反射光线。
- 分光镜对准宝石表面的反射光线进行观察。
- 读取宝石吸收光谱中黑带或者黑线的位置。

有色宝石

二、分光镜的应用

吸收光谱中黑带或者黑线的组合可以辅助判断宝石中的某些微量元素的种类，辅助鉴别外观相似的宝

石，例如颜色相似的、经过加工的红宝石和尖晶石可以通过吸收光谱的不同而快速区分（表 2）。

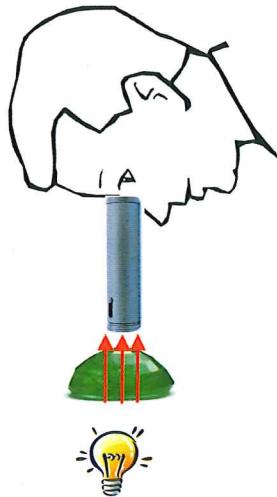


图 6 透射光法

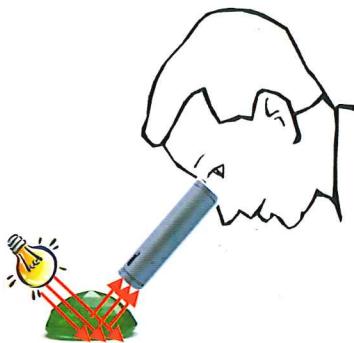


图 7 内反射光法

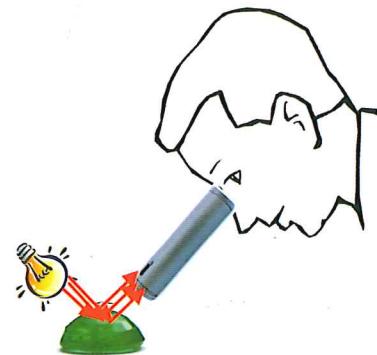


图 8 表面反射光法

表 2 红色系常见天然宝石与合成宝石吸收光谱对比

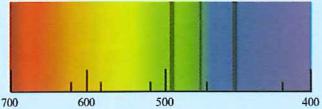
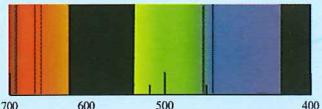
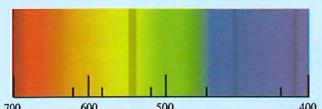
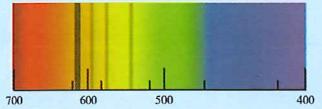
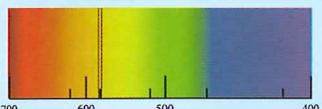
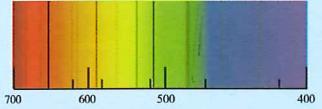
红色系宝石	吸收光谱特征
红宝石	红宝石通常在红区 693nm 附近出现一条（实际上是两条吸收线）
合成红宝石	与天然红宝石吸收光谱相同，但是光谱明显，更加易于观察
尖晶石	尖晶石在红区会出现多条吸收线，该现象也被称为风琴管状吸收光谱
合成尖晶石	与尖晶石对比多了位于红区 685nm 的吸收线

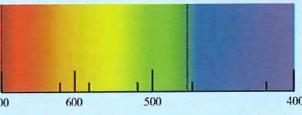
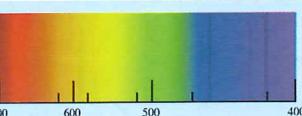
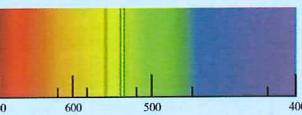
大部分彩色的宝石（含极少部分无色宝石）能够产生颜色的原因是因为含有能够选择性吸收光的元素（大部分情况为致色元素），这些元素主要的是过渡元素族的金属元素，它们是铁（Fe）、钒（V）、铬（Cr）、锰（Mn）、钛（Ti）、钴（Co）、镍（Ni）、铜（Cu）；其次还有稀土元素如钕（Nd）、镨（Pr）以及放射元素铀（U）和钍（Th）等。这些元素会导致宝石形

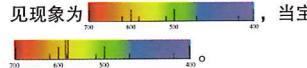
成各种颜色，有些致色元素具有自己典型的吸收特征（表 3）。

需要注意的是同一元素、同一宝石的吸收光谱不会因为光源使用方法的不同而产生差异，也不会因为使用分光镜的不同产生差异。不同元素的宝石吸收光谱具有不同特征，同一元素、不同宝石的吸收光谱具有不同特征。

表 3 宝石致色元素及其对应吸收光谱特征

致色元素	原子序数	宝石颜色	宝石实例	吸收光谱特征	典型吸收光谱图
铁 Fe	26	红、蓝、绿、黄等颜色	金绿宝石、海蓝宝石、碧玺、蓝尖晶石、软玉、铁铝榴石、橄榄石、透辉石、斧山石、堇青石等	光谱带主要分布在绿光区和蓝光区	 由铁致色的橄榄石吸收光谱图，光栅式分光镜观察
铬 Cr	24	绿色和红色	红宝石、祖母绿、翡翠、变石、钙铬榴石、红色尖晶石、翠榴石等	紫光区吸收带、黄绿区宽吸收线、红光区窄吸收线，红宝石和合成红宝石中能够见到蓝光区中的吸收带	 由铬致色的红宝石吸收光谱图，光栅式分光镜观察
锰 Mn	25	粉色、橙色	红绿柱石、菱锰矿、蔷薇辉石、锰铝榴石、查罗石、某些红色碧玺等	最强的吸收区位于紫区并可延伸到紫区外，部分由蓝区吸收	 由锰致色的菱锰矿吸收光谱图，光栅式分光镜观察
钴 Co	27	粉色、橙色、蓝色	蓝色合成尖晶石、合成变石等	橙色、黄色、绿光区有三条强而宽的吸收带	 由钴致色的蓝色合成尖晶石吸收光谱图，光栅式分光镜观察
镨 Pr、钕 Nd	镨 59 钕 60	钕、镨常常共生在一起形成黄色和绿色	磷灰石、浅紫色合成氧化锆等	磷灰石黄光区有数条密集的细的吸收线	 磷灰石的吸收光谱图，光栅式分光镜观察
铀 U	92	虽然不能导致鲜艳的颜色但是有明显的吸收光谱	锆石	通常能够使得锆石产生1~40条谱线，并在各个色区分布均匀	 锆石的吸收光谱图，光栅式分光镜观察

钒 V	23	绿色、紫色或者蓝色	钙铝榴石、黝帘石、合成刚玉(仿变石)等	含有钒的合成刚玉在蓝区475nm有清晰的吸收线	
铜 Cu	29	绿色、蓝色、红色等	孔雀石、硅孔雀石、绿松石等	蓝区460nm处有宽的弱吸收带、紫区432nm处有强吸收带	
硒 Se	34	红色	某些红色玻璃等	含硒的红色玻璃在绿区中显示一条宽带，但是大多数的红色玻璃吸收带出现在532nm、537nm、540nm、560nm处	
镍 Ni	28	绿色	绿玉髓、绿欧泊等	未见典型吸收光谱	
钛 Ti	22	蓝色	蓝锥矿等	未见典型吸收光谱	

表格说明  为光栅式分光镜标尺，而非宝石吸收带或者吸收线，当用分光镜观察在无荧光线和吸收线的自然光时可见现象为 ，当宝石出现吸收光谱时其吸收线和吸收带应纵向贯穿整个光谱，如磷灰石吸收光谱中580nm附近的双线

第四节 分光镜常见异常情况及其分析

1) 现象：已知某些宝石没有吸收光谱，但是在观察的过程中，仍然发现在黄绿区或者其他颜色区域发现有吸收线。

分析：人的血液是具有吸收光谱的，因此尽量不要用手拿宝石进行观察，此外某些眼镜也有吸收光谱。测试前应检查。

2) 现象：分光镜中出现穿越各个色区的水平黑线。

分析：分光镜狭缝中有灰尘或者其他原因导致该现象的出现，此时分光镜需要检修。

3) 现象：观察长时间后，宝石的吸收光谱模糊甚至消失。

分析：光有热辐射，宝石长时间受热对于吸收光谱的清晰程度具有一定影响。

4) 现象：已知宝石具有吸收光谱，但是无法观察到。

分析：杂质元素的含量会影响吸收光谱的明显程度，可以尝试转动宝石，增加光在宝石中透过的距离来解决此问题。

第五节 分光镜测试宝石条件及常见宝石分光镜下现象小结

一、分光镜测试宝石条件小结

具有吸收光谱的宝石品种，不是每个宝石都能清晰地显示吸收光谱。宝石的颜色、透明度、形状等对观察吸收光谱都有影响。

1. 颜色

- 1) 一般来说宝石颜色越深，致色元素含量越高，元素对光的吸收性越强，光谱也越清晰。
- 2) 多色性明显的各向异性宝石，不同方向上吸收光谱也可能出现差异。因此，观察时有时也需要变换方向，如变石。
- 3) 无色宝石除无色锆石、无色钻石、无色顽火辉石、无色翡翠外无明显的吸收光谱。

2. 透明度

光在透明宝石中穿过的光程越长，吸收光谱越清晰，半透明宝石光程适中即可。

3. 形状和大小

当宝石形状和大小太极端时，需要注意选择光源照明方式观察吸收光谱，一般太小的宝石会选择反射法进行观察。

4. 宝石是拼合石

必须注意光穿越的部位，判断吸收光谱的起因。

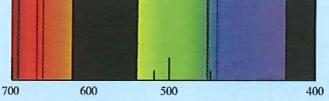
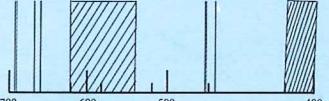
5. 观察背景条件

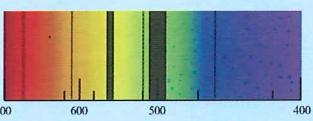
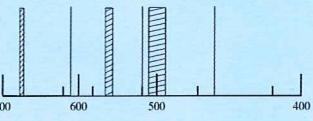
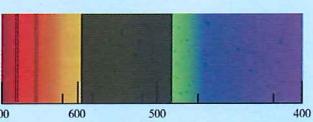
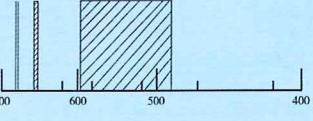
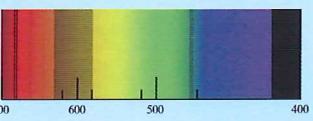
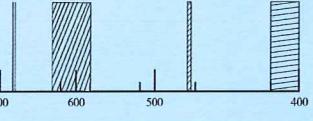
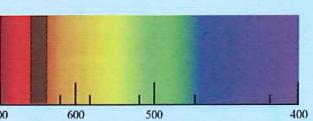
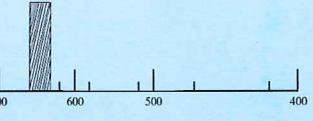
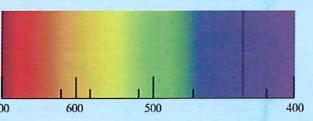
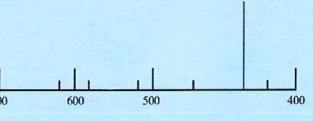
应在暗环境下使用，排除荧光线（亮线）对于宝石吸收光谱的干扰。

二、常见宝石分光镜下光谱小结

常见宝石吸收光谱见表 4。

表 4 常见宝石吸收光谱见

宝石名称	光谱图及光谱素描图（光栅式）		描述
红宝石	光谱图		红区有 694nm、692nm、668nm、659nm 吸收线，620nm ~ 540nm 吸收带，476nm、475nm 强吸收线，468nm 弱吸收线，420nm ~ 400nm 吸收带
	光谱素描图		

<p>红色 铁铝榴石</p> 	<p>光 谱 图</p>  <p>光 谱 素 描 图</p> 	<p>504nm、520nm、573nm 强吸收带, 423nm、 460nm、610nm、680 ~ 690nm 弱吸收带</p>
<p>红色 尖晶石</p> 	<p>光 谱 图</p>  <p>光 谱 素 描 图</p> 	<p>685nm、684nm 强吸收线, 656nm 弱吸 收带, 595nm ~ 490nm 强吸收带</p>
<p>祖母绿</p> 	<p>光 谱 图</p>  <p>光 谱 素 描 图</p> 	<p>683nm 和 680nm 强吸收线, 662nm 和 646nm 弱吸收线, 630nm~580nm 部分 吸收带, 紫区全吸收</p>
<p>染绿色翡翠 (铬盐染色)</p> 	<p>光 谱 图</p>  <p>光 谱 素 描 图</p> 	<p>650nm 吸收带</p>
<p>无色及结构 细腻的翡翠</p> 	<p>光 谱 图</p>  <p>光 谱 素 描 图</p> 	<p>437nm 吸收线</p>

第六节 分光镜记录格式要求

1) 要求注明检测宝石时分光镜的样式, 即光栅式、棱镜式。

2) 根据宝石颜色、透明度和形状选择合适的照明方式观察, 并将吸收光谱观察结果绘制素描图。

3) 吸收光谱的正确描述。黑带或者黑线出现的颜色区域及数量强度。如果黑带覆盖满整个颜色区域, 可以用普遍吸收这个词, 对于黑带或者黑线黑色的浓

度可以用强、弱、明显等常用修饰词来进一步描述, 例如红宝石的Cr谱可以描述为: 红区有3条吸收线, 黄绿区普遍吸收, 蓝区3条吸收线, 紫区普遍吸收。

4) 结论正确判定, 查阅相关资料后, 判断宝石产生吸收光谱的元素, 对于某些特定宝石, 可以根据吸收光谱直接定名宝石。

思考练习题

按照下列要点使用分光镜观察宝石(可参考宝石分光镜的使用及分析观察流程图进行), 并将观察结果记录在表4中。可观察具有典型吸收光谱特征且易于观察的宝石, 如红宝石等。

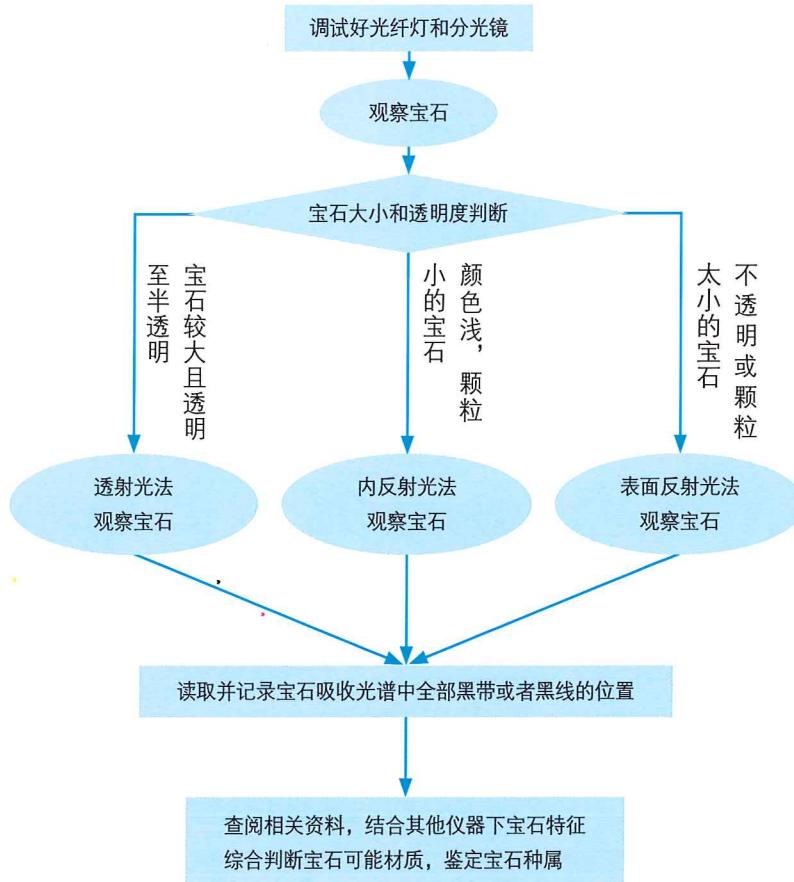
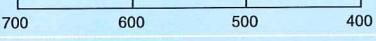


图9 宝石分光镜的使用及分析观察流程图

表 4 分光镜观察记录表

样品编号	颜色	透明度
	光泽	宝石大小 (mm)
分光镜类型		外形
观察现象记录		光谱素描图 (光栅式) 
观察结果分析		宝石致色元素

第五章

紫外荧光灯

能力目标

紫外荧光灯是珠宝实验室常规鉴定仪器之一，要求通过本章节的学习，掌握紫外荧光灯的原理、结构、紫外荧光灯的操作、现象解析以及观察时需要注意的事项，能熟练使用紫外荧光灯对珠宝玉石发光性进行观察。

第一节 紫外荧光灯的原理及用途

紫外线是一种波长在 10nm~400nm 之间的电磁波，位于可见光和 X 射线之间，波长较可见光短，肉眼一般无法观察到。实际应用大多数是 200nm~400nm 之间的紫外线，为方便起见又把这一部分紫外光划分为三部分：短波，200nm~280nm；中波，280nm~315nm；长波：315nm~400nm。其中短波和长波常用于宝石鉴定中。

紫外荧光灯是内部装有能辐射出一定波长范围的紫外光的紫外灯灯管，经过特制的滤光片后，仅射出主要波长为 365nm 的长波（缩写为 LW）或 253.7nm 的短波（缩写为 SW）紫外光。

宝石受到高能辐射（如紫外光，X 射线等）有的会发出具有特有波长的可见光——荧光，关闭辐射源后，有的还会继续短暂（1s~2s）发光——磷光。

宝石在长、短波紫外线下的发光特性和差异可以作为宝石鉴别的一个依据，尤其是天然宝石与人工及改善宝石的区分。是一种重要的辅助性鉴定仪器。

第二节 紫外荧光灯的类型

根据体积大小，紫外荧光灯可以分为便携式紫外荧光灯（图 1~2）和实验室常用紫外荧光灯（图 3），它们的原理和作用都是一样的，仅仅是体积大小的区别而已。

第三节 紫外荧光灯的结构

紫外灯由辐射出一定范围紫外光波的灯管，特制的二片滤光片（只允许 365nm 及 253.7nm 紫外光通过）、黑色材料制成的宝石仓和挡板（或透明有机玻璃）构成（图 4）。紫外灯由开关控制，分别提供长波紫外光（LWUV 365nm）和短波紫外光（SWUV 253.7nm）



图 1 便携式紫外荧光灯外观



图 2 便携式紫外荧光灯外观



图 3 紫外荧光灯外观

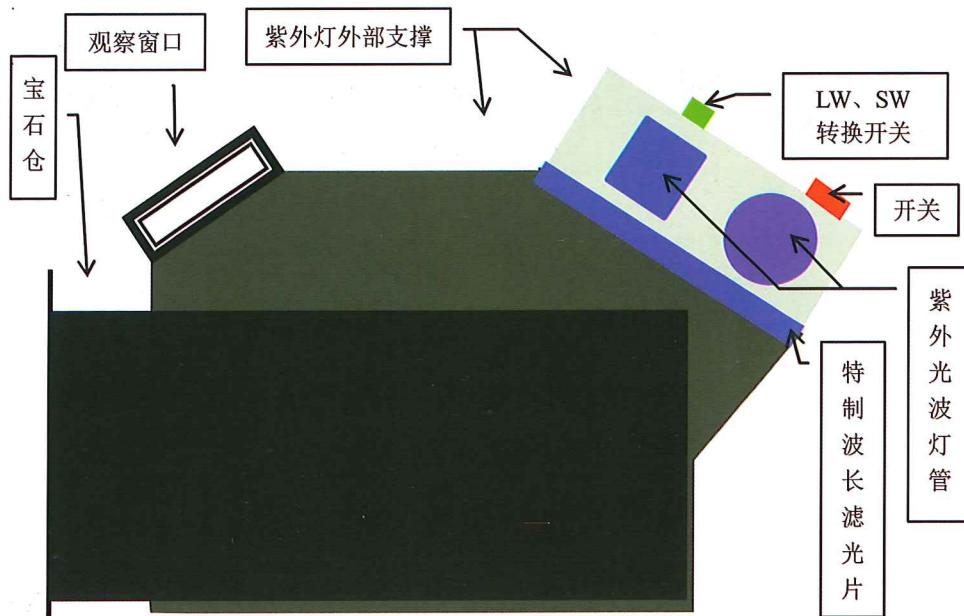


图 4 紫外荧光灯结构示意图

第四节 紫外荧光灯的操作及现象解析

一、紫外荧光灯基本操作步骤

- 1) 擦净宝石（宝石上的油脂、纤维或者灰尘等往往具有发光性）。
- 2) 将宝石置于紫外荧光灯宝石仓黑色的背景上（图 5）。
- 3) 关好宝石仓的盖子（图 6）。
- 4) 接通电源，打开电源开关。
- 5) 眼睛贴近观察窗口，让眼睛适应宝石仓中黑暗的宝石，并注意有无周围灯光影响，使宝石完全处于黑暗中。
- 6) 打开紫外灯开关稍等片刻（等待紫外灯的发射），按下 LWUV2s~3s 秒后放开，长波紫外灯即点亮，从窗口观察宝石在长波荧光下的荧光颜色、强度（图 8）并作记录。

7) 按下 SWUV2s~3s 后放开，短波紫外灯即点亮，从窗口观察宝石在短波荧光下的荧光颜色、强度（图 9）并作记录。

8) 观察完毕，关闭紫外灯开关，打开宝石仓取出样品进行下一步常规仪器观察。

二、紫外荧光灯的应用

宝石的发光性受所含微量元素和晶格结构的影响（图 10~12）。铁和钒的存在能够明显遏制发光的强度和颜色（图 13~15）。因此同种宝石的发光性往往存在差异性（图 16~18），导致紫外荧光灯的测试结果只能作为宝石定名的辅助手段而非可靠依据。

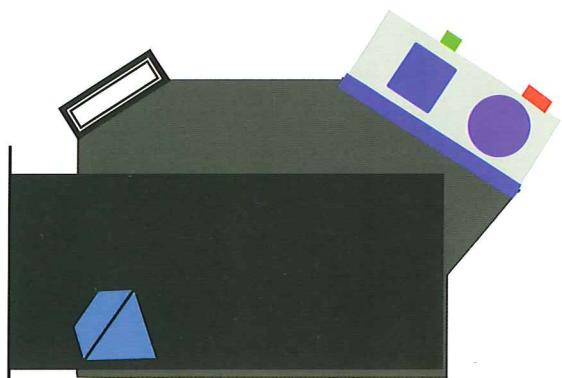


图 5 将宝石置于宝石仓内部，在闭合宝石仓前需要通过目镜大致确定宝石位置

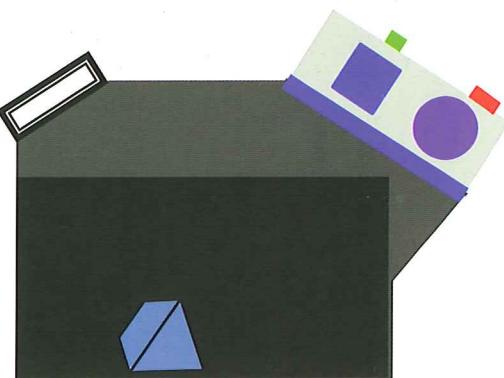


图 6 宝石测试时紫外荧光灯的状态



图 7 自然光下的人造钇铝榴石



图 8 LW 紫外光下人造钇铝榴石的荧光



图 9 SW 紫外光下人造钇铝榴石的荧光



图 10 自然光下无色透明的五种仿钻



图 11 LW 紫外光下无色透明五种仿钻的荧光



图 12 SW 紫外光下无色透明五种仿钻的荧光



图 13 自然光下的含铁的玛瑙



图 14 LW 紫外光下玛瑙无荧光，呈现惰性



图 15 SW 紫外光下玛瑙无荧光，呈现惰性



图 16 自然光下的钻石



图 17 LW 紫外光下钻石的荧光

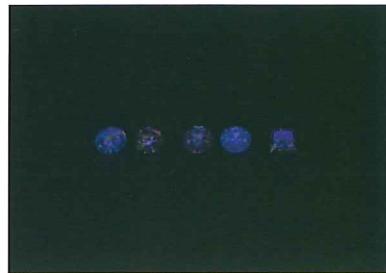


图 18 SW 紫外光下钻石的荧光

1. 与天然宝石有关的应用

- 1) 宝石微量元素初步判断：含有铬和锰的宝石一般都有荧光，含铬的绿色宝石可呈现红色荧光，例如祖母绿。
- 2) 某些宝石产地判断：宝石可因为铬、铁、锰、钒等微量元素的不同导致宝石荧光呈现色调差异，例如缅甸红宝石显示强的红色荧光而颜色较深的泰国红宝石荧光颜色较暗。
- 3) 区分颜色相似同色系天然宝石：红宝石、尖晶石、石榴石、碧玺有时因颜色相似而难以辨别，可以通过荧光来有效区分辨分红宝石、尖晶石和碧玺、石榴石（图 19~21）。

石、石榴石、碧玺有时因颜色相似而难以辨别，可以通过荧光来有效区分辨分红宝石、尖晶石和碧玺、石榴石（图 19~21）。

2. 与人工合成宝石有关的应用

- 1) 天然宝石与合成宝石的区分：一般合成宝石发光强度比天然宝石强，例如合成红宝石和天然红宝石（图 22~24），但是也有例外：如欧泊、橙色蓝宝石、青金岩、钻石等，其合成品可无荧光（图 25~27）。



图 19 自然光下的石榴石（左一）、红宝石（左二）、碧玺（右二）、尖晶石（右一）



图 20 LW 紫外光下石榴石（左一）、红宝石（左二）、碧玺（右二）、尖晶石（右一）的荧光



图 21 SW 紫外光下石榴石（左一）、红宝石（左二）、碧玺（右二）、尖晶石（右一）的荧光



图 22 自然光下的红宝石（左）、合成红宝石（右）



图 23 LW 紫外光下红宝石（左）、合成红宝石（右）的荧光

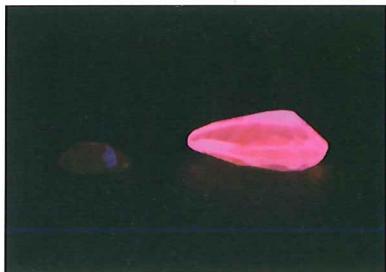


图 24 SW 紫外光下红宝石（左）、合成红宝石（右）的荧光

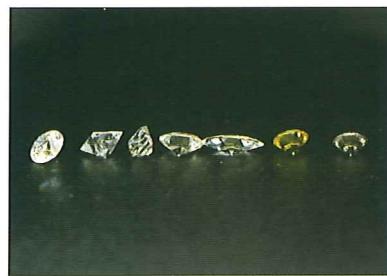


图 25 自然光下的钻石 (左边五颗)、合成钻石 (右一、右二)



图 26 LW 紫外光下钻石 (左边五颗)、合成钻石 (右一、右二) 的荧光



图 27 SW 紫外光下钻石 (左边五颗)、合成钻石 (右一、右二) 的荧光

3. 与改善宝石有关的应用

2) 很多彩色合成宝石由于含有 Cr、Mn、V、Co、Ni、Ti、Fe 等元素及其化合物，在短波下可呈现不同颜色的荧光（表 1）。

许多优化处理品如充填了玻璃、胶、染料等物质后，优化处理宝石中的充填物质具有发光性，例如漂白充填处理翡翠出现荧光的原因就是因为胶的存在（图 28~30）。但是天然黑珍珠具有红色荧光，而染色的黑珍珠不具有荧光。

表 1 常见焰熔法合成宝石荧光颜色

荧光颜色	焰熔法合成宝石品种
红色	合成红宝石、合成橙色蓝宝石、合成黄色蓝宝石、合成变色蓝宝石、合成紫色蓝宝石、合成绿色蓝宝石、合成蓝色尖晶石
橙色	合成变色蓝宝石、合成橙色蓝宝石、合成黄色蓝宝石、合成绿色蓝宝石
黄色	合成蓝绿色尖晶石
绿色	合成黄色和黄绿色尖晶石，合成一些蓝色蓝宝石



图 28 自然光下的翡翠



图 29 LW 紫外光下翡翠的荧光

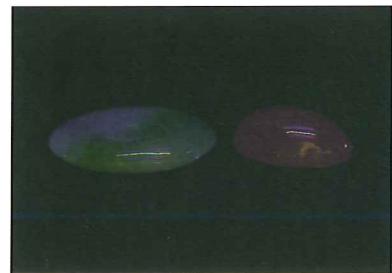


图 30 SW 紫外光下翡翠的荧光

第五节 紫外荧光灯常见异常情况及其分析

1. 现象：观察宝石发现其具有荧光或者无荧光，但是查阅相关资料并无此对应记录。

分析：再次确认宝石擦拭干净，重复测试步骤，如果仍然确定有荧光现象，将现象记录下来后可查阅相关专业资料或进行大型仪器测试分析其荧光产生原因。

2. 现象：宝石呈现颗粒状、线条状等与宝石外形轮廓不一致的不均匀荧光。

分析：1) 宝石表面经过加工后，一般较为平滑明亮，容易对紫外光产生反射，因此会造成有宝石表面出

现紫外灯的反射影（图 31）。

2) 未擦拭干净的宝石表面在紫外荧光灯下可见附着物质轮廓形态的荧光（图 32），如颗粒状、斑点状、线状等，将宝石再次擦拭干净重复操作观察步骤即可。

3) 如重复测试宝石仍然有物质轮廓形的荧光现象，则有可能是由于宝石内部结构不均匀产生的荧光（图 33）。还有可能宝石是由多种矿物组成的玉石集合体，荧光发自其中某一种矿物，如青金石中的方解石有荧光（图 34~36），可能是优化处理的宝石中局部充填物的荧光。



图 31 左边三角形紫红色部分为灯光反射影，
右边红色点状为灯光反射影
(SW 短波下钻石的荧光)



图 32 图中左边蓝白色点状物为灰尘的荧光，
右边为中等强度蓝白色荧光的钻石
(LW 短波下钻石的荧光)

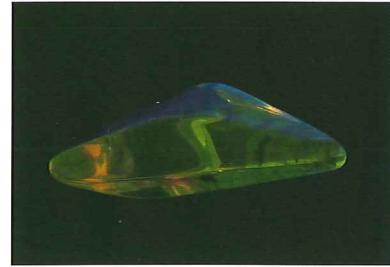


图 33 LW 紫外光下琥珀的不均匀荧光

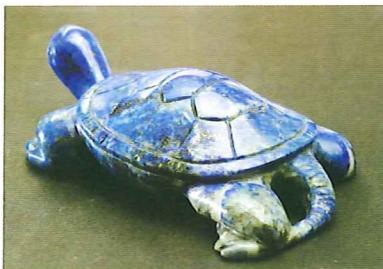


图 34 自然光下的青金石



图 35 LW 紫外光下青金石的荧光



图 36 SW 紫外光下青金石的荧光

第六节 紫外荧光灯测试宝石条件及常见宝石紫外荧光灯下现象小结

一、紫外荧光灯测试宝石条件小结

任何颜色、光泽、透明度、外形的宝石均可以使用紫外荧光灯进行观察。

二、常见宝石紫外荧光灯下现象小结

一般情况下宝石的发光强度是 LWUV 比 SWUV 要强。

表 2 紫外荧光灯下宝石常见现象

宝石名称	长波紫外光下可能的荧光颜色	短波紫外光下可能的荧光颜色
红宝石	红色	红色
橙色蓝宝石	强, 橙色 / 红色或者无荧光	强, 橙色 / 红色
紫色或变色蓝宝石	中等至强, 红色或者无荧光	弱至中等, 红色或者无荧光
黑色蓝宝石	无荧光	无荧光
刚玉族 深蓝色蓝宝石	中等强度, 红色至无荧光	中等强度, 红色至无荧光
焰熔法合成红宝石	强, 橙色 / 红色	中至强, 橙色 / 红色
合成橙色蓝宝石	红色、橙色	弱, 红色、橙色
合成黄色蓝宝石	弱, 红色或者无荧光	弱, 红色
合成蓝色蓝宝石	无荧光	弱到中等强度的蓝白色至黄绿色
合成刚玉 (仿变石)	中等强度, 橙色 / 红色	红色或者出现蓝色荧光区域
绿柱石族 祖母绿	微弱的红色, 绿色或者无荧光	微弱的红色或者无荧光
合成祖母绿	绝大部分合成祖母绿显示砖红色荧光 (LW 和 SW, 一般 LW 下荧光特征更加明显), 部分吉尔森公司合成祖母绿显示弱到中等的橙色 / 红色荧光 (LW 和 SW) 或中等强度的黄绿色荧光, 部分无荧光 (LW 和 SW)	
浸油祖母绿	油显示带黄色调的, 黄色或者橙色	微弱的荧光或者无荧光
摩根石	微弱的红色, 紫红色或者无荧光	微弱的红色, 紫红色或者无荧光
海蓝宝石	无荧光	无荧光

	红色、橙色、粉红色尖晶石	弱 / 强的红色或者橙色	弱的红色、橙色或者无荧光
尖晶石	合成红色尖晶石	强, 红色	
	合成浅蓝色尖晶石	弱 / 中等强度, 橙色	蓝白色
	合成蓝色尖晶石	强, 红色	强, 蓝白色
	合成深蓝色尖晶石	强, 红色	强, 斑驳的蓝色
	合成变色尖晶石	中等强度, 暗红色	中等强度, 暗红色
欧泊	黑欧泊或者白欧泊	无 / 中等强度, 灰蓝色、绿色或者黄色 (LW 和 SW), 可能会有磷光	
	普通蛋白石或者水欧泊	无 / 强, 绿色或者黄绿色 (LW 和 SW), 可能会有磷光	
	火欧泊	无 / 中等强度, 棕绿色 (LW 和 SW), 可能会有磷光	
翡翠	浅绿色	无 / 弱, 白色	
	浅黄色	无 / 弱, 绿色	
	白色翡翠	无 / 弱, 黄色	
	浅紫色翡翠	无 / 弱, 白色	
	染色处理的紫色翡翠	弱 / 中等强度, 橙色	橙色, 强度比 LW 弱
	深色翡翠	无荧光 (惰性)	无荧光 (惰性)
	漂白充填处理翡翠	弱 / 强, 蓝白色	弱 / 强, 蓝白色
	蓝色托帕石	中等强度, 黄色或者无荧光	
	萤石	蓝色, 紫色	蓝色, 紫色
	软玉	无荧光 (惰性)	无荧光 (惰性)
	孔雀石	无荧光 (惰性)	无荧光 (惰性)
	橄榄石	无荧光 (惰性)	无荧光 (惰性)
	琥珀	黄绿色至橙黄色或者无荧光, 也可以显示白色、黄色、绿色或者蓝色荧光	短波荧光颜色与长波下相同, 但是强度较弱
珊瑚	白色珊瑚	弱 / 强的蓝白色或者无荧光 (LW 和 SW)	
	橙色、红色、粉色珊瑚	橙色或者粉橙色或者无荧光 (LW 和 SW)	
	牛血红珊瑚	深红色或者无荧光 (LW 和 SW)	

珍珠	天然珍珠	无 / 强, 蓝色、黄色、绿色、粉红色 (LW 和 SW)	
	养殖珍珠	无 / 强, 蓝色、黄色、绿色、粉红色 (LW 和 SW)	
	天然黑珍珠	无 / 强, 红色, 一些可以显示粉红色、斑驳的粉红色或者白色荧光	
	染色黑珍珠	无荧光	弱, 白色或者无荧光

第七节 紫外荧光灯记录格式要求

1) 发光性现象描述格式, 按键名称, 强度, 颜色, 例如: LWUV : 强, 蓝色。其中对于强度可使用下列词语进行描述: 强 (strong)、中 (Medium)、弱 (faint)、

无 (None)。

2) 结论正确判定。紫外荧光灯观察结果只能作为鉴别辅助依据, 不具有鉴定意义。

思考练习题

按照下列要点使用紫外荧光灯观察宝石 (可参照宝石紫外荧光灯的使用及分析观察流程图 37 进行), 并将观察结果记录在表 3 中。可观察红宝石、合成立方氧化锆等具有典型特征的宝石。

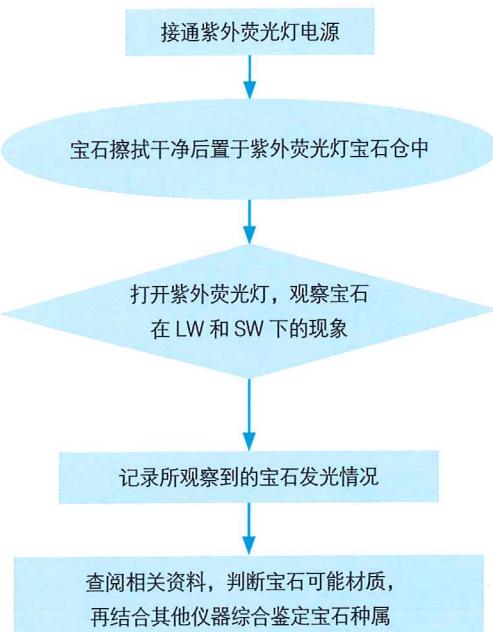


表 3 紫外荧光灯观察记录表

样品编号	颜色	透明度	
	光泽	宝石大小 (mm)	
	LW: 强度	LW: 颜色	
	SW: 强度	SW: 颜色	
观察现象记录	观察结果分析		

图 37 宝石紫外荧光灯的使用及分析观察流程图

第六章

查尔斯滤色镜

能力目标

查尔斯滤色镜是珠宝实验室常规鉴定仪器之一，要求通过本章节的学习，掌握查尔斯滤色镜的原理、结构、查尔斯滤色镜的操作、现象解析以及观察时需要注意的事项，能熟练使用查尔斯滤色镜对珠宝玉石进行观察。

第一节 滤色镜的原理及用途

滤色镜有很多种，分别用于检测不同颜色的宝石。滤色镜可区分颜色相似的宝石，其原理是：有色宝石的颜色是宝石对白光选择性吸收后的残余色，它由不同波长混合组成。不同宝石具有相似的颜色，但其组成中的各单色光不尽相同（图1）。

用滤色镜观察宝石，对组成宝石的某些波长的光起“过滤”作用，使混合部分减少。这样在滤色镜下原来颜色相似的宝石可显示不同的颜色，从而达到区分它们的目的（图2）。

查尔斯滤色镜的主要用途是用来观察蓝色或绿色宝石品种以及区分某些宝石品种、某些人工改善宝石品种。

第二节 滤色镜的类型

市场上常见的和宝石相关的滤色镜有三种：查尔斯滤色镜（又称祖母绿镜）（图3）、翡翠滤色镜（图4）和红宝石滤色镜（图5），三种滤色镜外观差别不大。

查尔斯滤色镜、翡翠滤色镜主要用于检测颜色相似的蓝色和绿色宝石。

红宝石滤色镜主要用于检测颜色相似的红色和粉红色宝石。

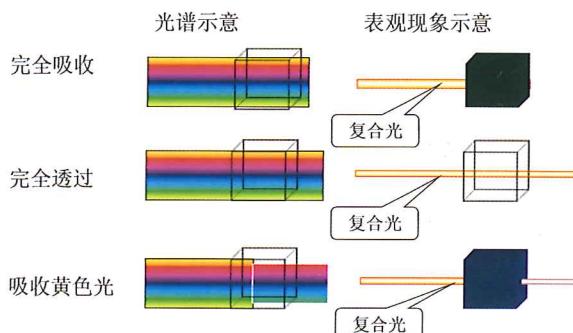


图1 物质的颜色与光的关系

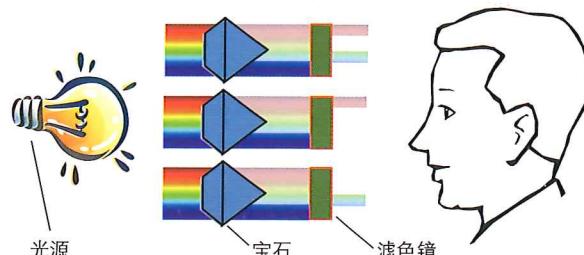


图2 查尔斯滤色镜原理图



图3 查尔斯滤色镜外观图



图 4 翡翠滤色镜外观图

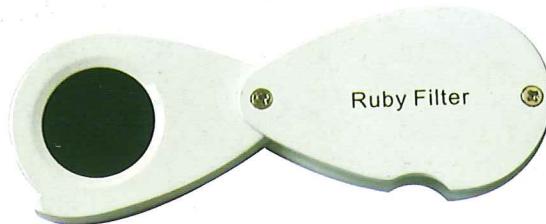


图 5 红宝石滤色镜外观图

第三节 滤色镜的结构

滤色镜由能吸收特定波长光的两个滤色片组成。

最早和最常用的是英国伦敦查尔斯工学院使用的查尔斯滤色镜。查尔斯滤色镜由只允许深红和黄绿光通过的滤色片叠加组成，用于检测颜色相似的蓝色和绿色宝石。



图 6 宝石光纤灯外观图

第四节 查尔斯滤色镜的操作及应用

~~只允许深红色和黄绿色光通过~~

一、查尔斯滤色镜基本操作步骤及现象

- 1) 擦净样品。
- 2) 将样品置于光源下，在常规宝石实验室中，是置于光纤灯下（图 6）。
- 3) 在样品上方 30~40cm 处手持滤色镜贴近眼睛观察（图 7）。
- 4) 观察样品颜色变化情况并记录。

查尔斯滤色镜是由黄绿色和红色的滤色片组成，因此通过查尔斯滤色镜能够看到的只有红色和黄绿色，其他颜色均被查尔斯滤色镜过滤掉了（图 8~9）。

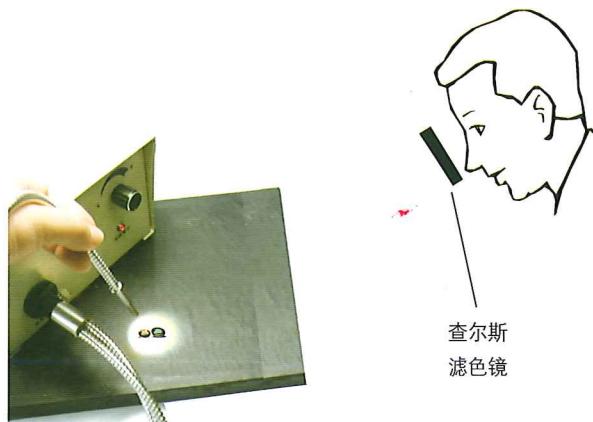


图 7 查尔斯滤色镜观察姿势



图 8 光纤灯下的宝石
(左右两个宝石都是祖母绿)

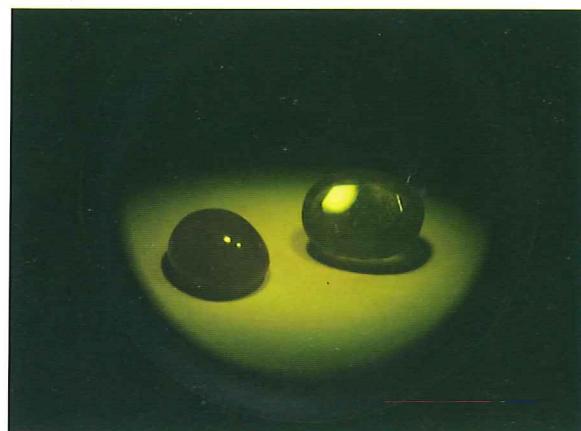


图 9 查尔斯滤色镜下宝石颜色变化情况
(左边祖母绿显示红色, 右边祖母绿显示带红色调)

(二) 查尔斯滤色镜的应用

查尔斯滤色镜的检测仅作为补充测试手段, 不能作为鉴定宝石的主要依据, 查尔斯滤色镜检测结果可随着宝石的颜色深浅和大小而变化, 如果宝石中存在不止一种致色元素, 检测结果还取决于不同致色元素的浓度。

1. 钴致色的合成蓝色宝石和天然蓝色宝石区分

钴的化合物被用于合成宝石中, 产生蓝色, 如合成尖晶石、玻璃、合成水晶等, 这些含钴化合物的宝石能通过红光, 在查尔斯滤色镜下呈现红色或者粉红色, 而天然蓝色宝石如蓝色尖晶石、蓝宝石、海蓝宝石、蓝色托帕石等在查尔斯滤色镜下呈现绿色或灰绿色(图 10~11)。

2. 特定染料染色翡翠和天然翡翠的区分

用铬盐染色的翡翠在查尔斯滤色镜下会变红, 天然翡翠通常不变色, 但这个也不绝对, 需要其他仪器

进一步确认(图 12~13)。

3. 天然宝石中的海蓝宝石和托帕石的区别

海蓝宝石在查尔斯滤色镜下呈现淡绿色的色调, 托帕石呈现非常浅的肉色(图 14~15)。

4. 天然或合成红宝石和其他颜色相似宝石品种的区别

在红色宝石中, 天然或合成红宝石在查尔斯滤色镜下呈现带红色调的粉红色或者红色, 某些红宝石甚至会在滤色镜下看到红色的荧光, 其他红色系宝石例如石榴石、碧玺、尖晶石等在滤色镜下是暗的, 带肉色或者是灰色的, 这与其他颜色红色系宝石不同(图 16~17)。

然而很多天然或者合成红宝石中由于含有铁, 上述现象也可能不明显。

5. 区分不同产地祖母绿 (部分准确)
哥伦比亚祖母绿 — 红色 (铬致色)
— 云南祖母绿 — 绿色 (V致色)



图 10 光纤灯下的蓝色宝石

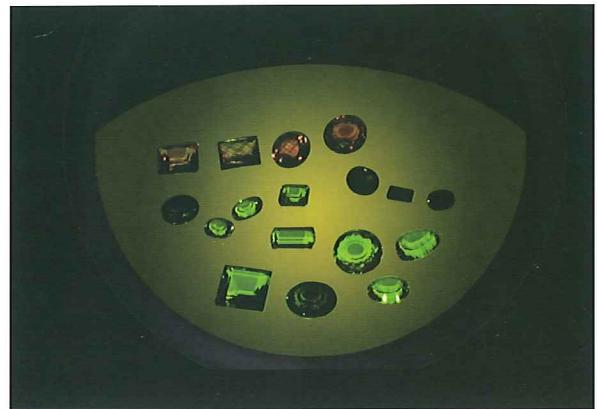


图 11 查尔斯滤色镜下蓝色宝石颜色变化情况

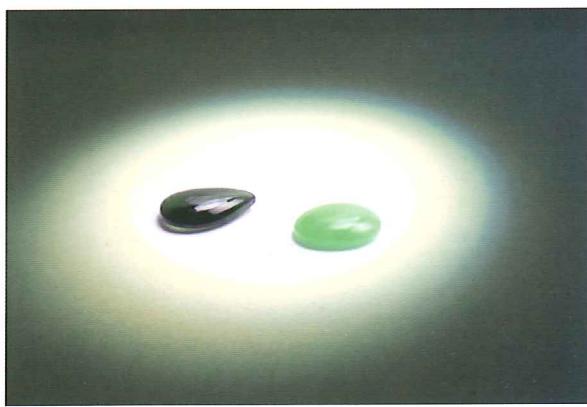


图 12 光纤灯下的宝石（左为天然翡翠，右为染色翡翠）

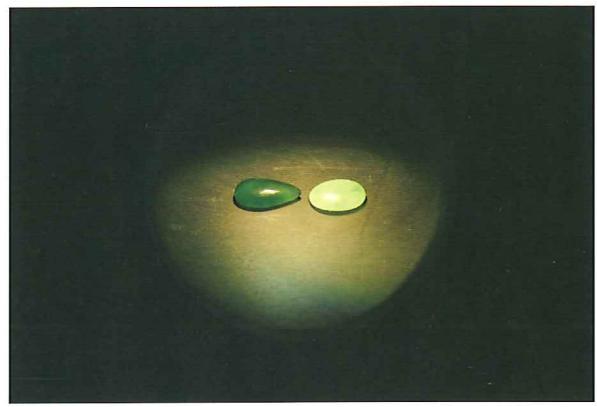


图 13 查尔斯滤色镜下宝石颜色变化情况
(左呈现蓝绿色的为翡翠，右呈现黄绿色的为充胶染色翡翠)

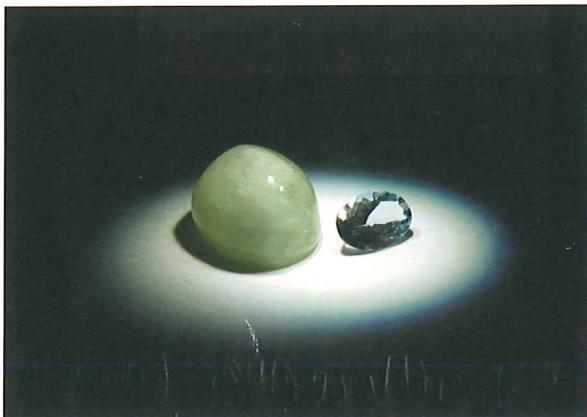


图 14 光纤灯下的宝石（左为海蓝宝石，右为蓝色托帕石）



图 15 查尔斯滤色镜下宝石颜色变化情况
(左带明显绿色的为海蓝宝石，右呈现肉色的为蓝色托帕石)

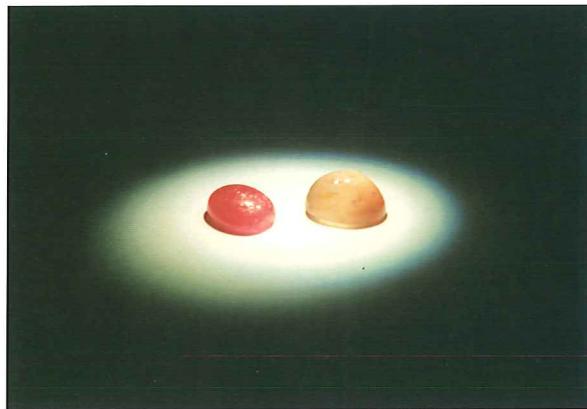
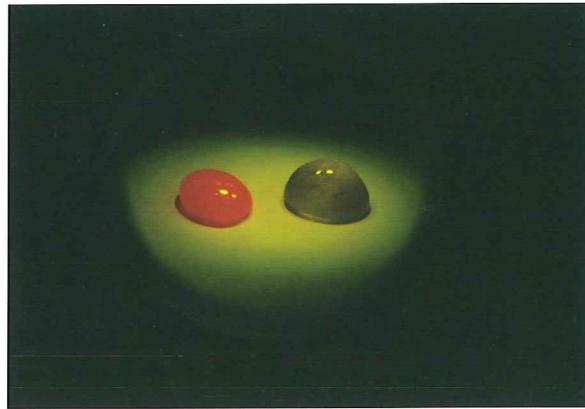


图 16 光纤灯下的宝石（左为红宝石，右为碧玺）

图 17 查尔斯滤色镜下宝石颜色变化情况
(左显示明亮红色且带荧光现象的为红宝石，右显示灰粉色的为碧玺)

第五节 查尔斯滤色镜常见异常情况及其分析

1) 现象：观察某些宝石样品，发现其具有颜色变化，但是查阅相关资料并无此记录。

分析：由于同种宝石产地、成因不同，杂质元素含量不同等原因，同种宝石在滤色镜下呈现的颜色深浅或色调产生变化，最典型的就是祖母绿，有些祖母绿在查尔斯滤色镜下会呈现红色，有些仍然呈现绿色，因此滤

色镜的测试结果仅供参考。

2) 现象：观察某些宝石样品，发现未出现相关资料中相应的颜色。

分析：相关资料记录中查尔斯滤色镜下会变红的宝石不一定都会显示红色，样品含铁量高，铁会抑制红色的出现，因而判断要谨慎。

第六节 查尔斯滤色镜测试宝石条件及常见宝石查尔斯滤色镜下现象小结

一、查尔斯滤色镜测试宝石条件小结

1) 任何光泽、透明度、外形的样品均可以使用查尔斯滤色镜进行观察

2) 查尔斯滤色镜多用来观察蓝色、绿色的宝石，

某些时候可以用来区分天然或者合成红宝石及其相似宝石。

二、常见宝石查尔斯滤色镜下现象小结

表 1 查尔斯滤色镜下宝石常见现象

宝石名称	查 Charles 滤色镜下现象	宝石名称	查 Charles 滤色镜下现象
绿色系宝石		红色系宝石	
变石	粉红色到明亮的红色	暗红色无荧光的石榴石	红色
碧玺	绿(某些含铬碧玺镜下呈现红色)	没有荧光的拼合的石榴石	暗红色
东陵石	带红色调的	无荧光的拼合玻璃	带红色调的
铬玉髓	红	天然或者合成的具有强荧光的红宝石	红色
绿玉髓	绿	有荧光的红尖晶石	红色
祖母绿	粉红至红(某些非洲和印度祖母绿呈现绿色)	有荧光的合成尖晶石	红色(粉红色合成尖晶石不显示红色)
翠榴石	带红色调的	蓝色系宝石	
顽火辉石	绿	海蓝宝石	鲜明的绿色
萤石	带红色调的	拼合石榴石	蓝绿色
拼合玻璃	绿	深蓝色拼合玻璃	红色
绿色锂辉石	微弱的粉红色	浅蓝色拼合玻璃	带绿色调的
翡翠	绿	青金石	弱棕红色
橄榄石	蓝绿色	黑色蓝宝石	绿色(在人造光光源下呈现紫色的蓝色蓝宝石在滤色镜下呈现红色)
蓝宝石	绿	方钠石	浅褐色
染色岫玉	红	尖晶石	带红色调的
染色玉髓	红	钴致色的尖晶石	红色
染色翡翠	红	蓝绿色的瑞士青金石	蓝绿色
绿色玻璃	大多数为暗淡的绿色,极少数带有浅红色调	合成蓝宝石	深蓝绿色(无法通过滤色镜区分天然蓝宝石和合成蓝宝石)
合成祖母绿	强烈的红色	合成深蓝色尖晶石	红色
合成蓝宝石	红色	合成浅蓝色尖晶石	橙色
合成刚玉仿变石	红	合成锆石蓝尖晶石	橙色到红色

合成尖晶石(早期合成的)	红色	合成青金石蓝尖晶石	明亮的红色
沙弗来	红	锆石	带绿色调的
钙铬榴石	粉红	紫色系宝石	
绿色锆石	带红色调的	紫水晶	带红色调的
海蓝宝石	明显的绿色	紫色蓝宝石	明亮的红色

第七节 查尔斯滤色镜记录格式要求

1) 查尔斯滤色镜下现象描述格式：光源，查尔斯滤色镜下宝石颜色。例如：光纤灯，红色。

2) 结论分析：虽然查尔斯滤色镜最初被称为祖母绿镜，但是它不能将常与祖母绿混淆的宝石材料与

祖母绿区分开。查尔斯滤色镜观察结果只能作为鉴别辅助依据，不具有鉴定意义和诊断性，对于结论的解释需要慎重。

思考练习题

按照下列要点使用查尔斯滤色镜观察宝石（可参照宝石查尔斯滤色镜的使用及分析观察流程图18进行），并将观察结果记录在表2中。可观察合成钻尖晶石、红宝石等具有典型特征的宝石。

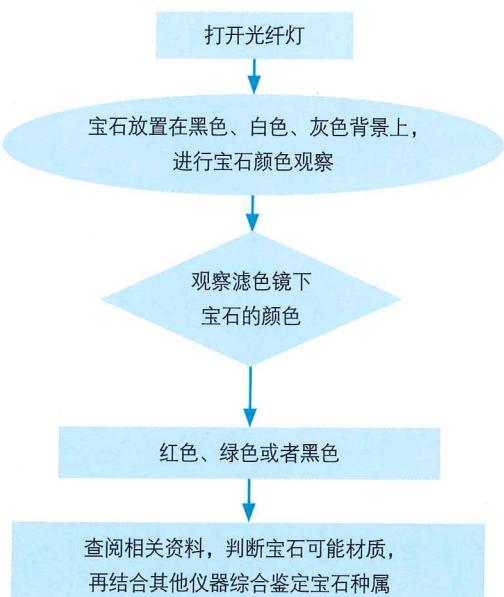


表2 查尔斯滤色镜观察记录表

样品编号	颜色	透明度
	光泽	宝石大小 (mm)
光源类型		
观察现象记录	查尔斯滤色镜下颜色	
观察结果分析		

图18 宝石查尔斯滤色镜的使用及分析观察流程图

第七章

双筒立体变焦显微镜

能力目标

双筒立体变焦显微镜是珠宝实验室常规鉴定仪器之一，要求通过本章节的学习，掌握双筒立体变焦显微镜的结构、种类、操作、现象解析以及观察时需要注意的事项，能熟练使用双筒立体变焦显微镜对珠宝玉石进行观察。

第一节 显微镜的类型

显微镜有许多种类型，如单筒显微镜、双筒显微镜、双筒变焦显微镜、双筒立体显微镜、双筒立体变焦显微镜（图1）、带视频功能的双筒立体变焦立式显微镜（图2）等。目前宝石显微镜多采用立式双筒立体连续变焦显微镜，也有双筒立体变焦卧式显微镜（图3）。

双筒立体连续变焦显微镜是实验室常用显微镜，其设计非常适宜于观察宝石的内部特征和表面特征，立式显微镜的宝石夹不仅有利于宝石的转动和调整，而且可以通过光源强弱和明暗的迅速改变更清晰地观察和辨别内外部特征的种类及名称。

卧式显微镜又称水平浸油显微镜，其设计非常适宜于观察宝石的内部特征。不仅有利于宝石在油浸槽中转动，而且可以通过光源的移动提供各种照明方式。置于浸油中的宝石表面反射光和漫反射光减少，从而有利于宝石的内部包体、生长纹、色带等的观察和研究。此外，这种显微镜的光源可以在水平方向围绕宝石转动180°。不仅提供了亮域、暗域、顶部照明，而且还提供了水平照明和过渡型照明等，照明方式的改变迅速而简单。

这些常用的宝石显微镜物镜工作距离较大，能观察足够大的宝石，不会因调焦不当而对宝石和显微镜有所损害。镜下物像呈现三维立体图像，并可连续放大，通常为10~60倍。



图1 双筒立体变焦立式显微镜

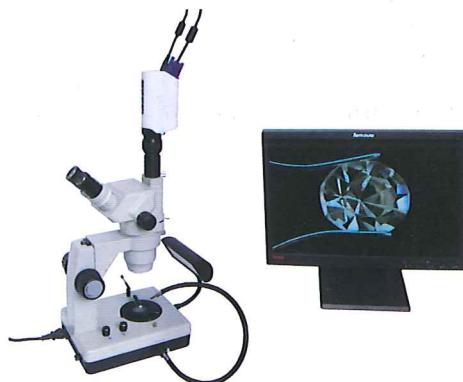


图2 带视频功能的双筒立体变焦立式显微镜



图3 双筒立体变焦卧式显微镜

第二节 双筒立体变焦显微镜的结构

宝石显微镜结构基本由三部分组成：显微镜放大系统、支架系统和光源照明系统（图 4）。

1. 显微镜的放大系统分为显微镜镜头、目镜、目镜焦距调节旋钮、连续变倍旋钮、调焦手轮、上偏光片或物镜。

2. 显微镜的支架系统分为支架直臂、调焦手轮、支架直臂与底座连接螺丝、底座、宝石夹、镜头托架、镜头固定螺丝。

3. 显微镜的光源照明系统分为顶光源开关旋钮、底下光源开关旋钮、侧光源开关旋钮、底座、底光源及反射系统底座、电源开关旋钮、电源线、暗域亮域切换旋钮、宝石夹、缩光圈调节把手、下偏光片、载物台、锥光干涉球、顶光源、侧光源。

其中调焦旋钮既是放大系统组件也是支架系统组件，底座既是属于支架系统的底座，也是属于光源照明系统，内部集成相应照明电路及元器件。

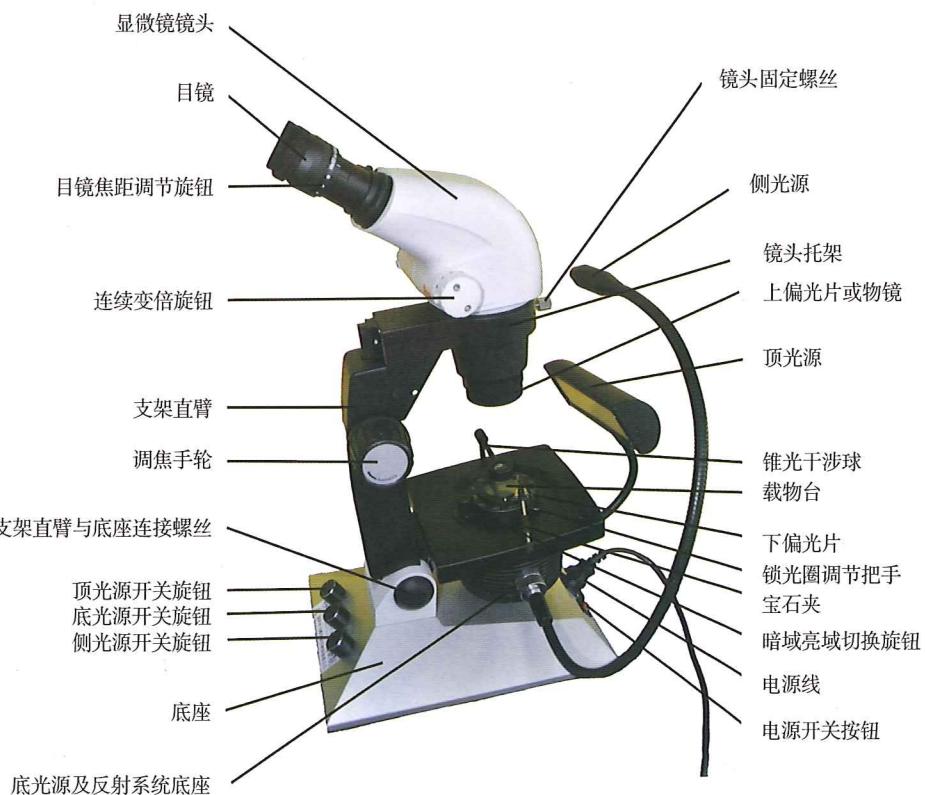


图 4 宝石显微镜结构名称图

第三节 双筒立体变焦显微镜的操作

1. 显微镜视度调节及调焦

- 1) 旋转连续变倍旋钮到最大倍率。
- 2) 将左右目镜上的目镜焦距调节旋钮旋转到0刻线位置。
- 3) 通过左边的目镜观察，如果像不清晰，旋转调焦手轮使标本清晰。
- 4) 旋转连续变倍旋钮到最小倍率。
- 5) 通过右边的目镜观察，如果像不清晰，旋转右目镜焦距调节旋钮使标本像清晰。
- 6) 再旋转连续变倍旋钮到最大倍率，通过右边的目镜观察，如果像不清晰，可重复以上3~5步骤，这可使视度调节更精确。
- 7) 旋转连续变倍旋钮到最小倍率，通过左边的目镜观察，如果像不清晰，旋转左目镜焦距调节旋钮使像清晰。完成上述步骤后，根据各人差异继续进行显微镜瞳距调节，用手握住左右目镜管，按方向，推拉左右目镜管，直到双目感到舒适为止。

2. 显微镜的使用

- 1) 接通显微镜电源线，全球通用宽电压，100~240V之间均可。
- 2) 打开电源开关按钮，电源开关按钮变亮，表示电源可以正常工作。
- 3) 调节显微镜至双眼能够清晰地观察到宝石夹。
- 4) 在宝石夹上固定需观察的宝石，水平放置于显微镜镜头正下方。
- 5) 选择观察所需的照明光源和照明方式。根据照明的需要，调节顶光源开关旋钮、底光源开关旋钮和侧光源开关旋钮，调节光亮大小，同时可以利用锁光圈调节把手调节暗域或亮域照明方式下的通光量。顺时针方向拨动锁光圈调节把手，通光量增大；逆时针方向拨动

锁光圈调节把手，通光量减少。

6) 根据放大需要，调节连续变倍旋钮，选择合适的放大倍率，放大倍率为：连续变倍旋钮对齐刻度数字×显微镜目镜倍率，连续变倍旋钮最大可以调节至刻度数字为4。如放大倍率仍不能满足需要，可以在显微镜镜头底端加载物镜或更换更高倍率显微镜目镜，此时显微镜放大倍率为：连续变倍旋钮对齐刻度数字×显微镜目镜倍率×物镜倍率。例如连续变倍旋钮对齐刻度数字为1，显微镜目镜倍率为10，物镜倍率为10，则放大倍数为 $1 \times 10 \times 10 = 100$ 倍，可缩写为100×。

7) 放大观察完毕，顺时针调节调焦手轮至最低位置，关闭电源开关按钮，拔掉电源线，将宝石和显微镜配件放入指定位置或盒子保存，并用防尘罩罩住宝石显微镜。

3. 显微镜的照明方式及调节方式

- 1) 垂直照明：显微镜调节好之后打开顶光源开关旋钮（图5）。
- 2) 暗域照明：显微镜调节好之后打开底光源开关旋钮，根据需要调节至合适亮度，并将暗域亮域切换按钮逆时针转动至不能动即可（图6）。
- 3) 亮域照明：显微镜调节好之后打开底光源开关旋钮，根据需要调节至合适亮度，并将暗域亮域切换按钮顺时针转动至不能动即可（图7）。
- 4) 侧向照明：显微镜调节好之后打开侧光源开关旋钮，并将侧光源调节至合适照明角度（图8）。
- 5) 散射照明：显微镜调节好之后打开底光源开关旋钮，根据需要调节至合适亮度，并将暗域亮域切换按钮顺时针转动至不能动，在宝石夹之下，载物台之上放入一层纸巾即可（图9）。

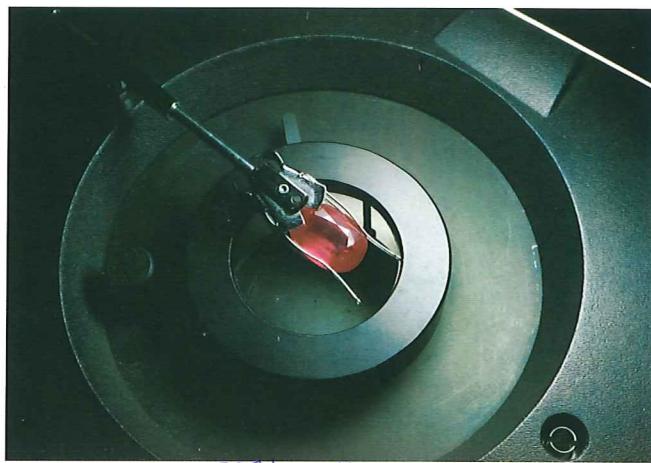
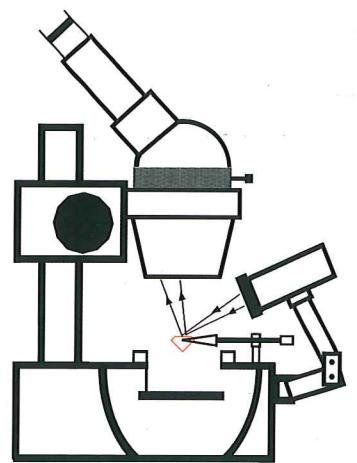


图 5 垂直照明
观察表面特征
珠宝

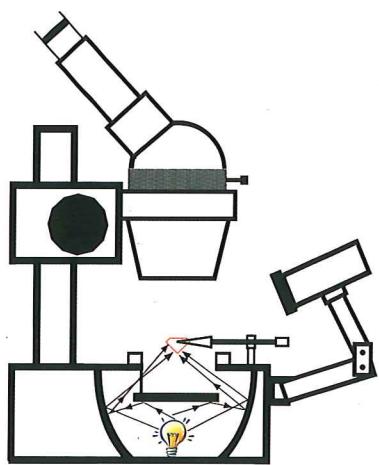


图 6 暗域照明
观察宝石内部特征
看宝石透明度高

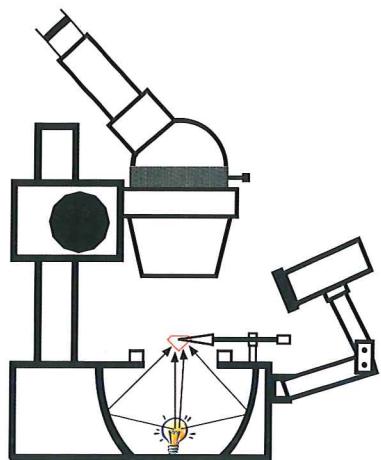


图 7 亮域照明
看宝石透明度低

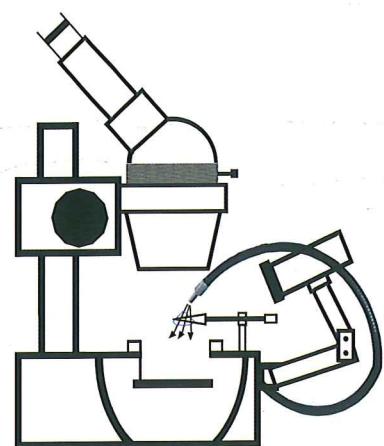


图 8 侧向照明

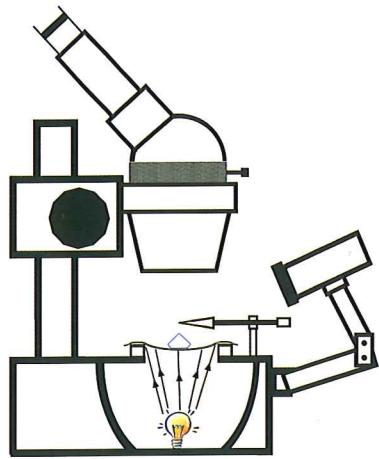


图 9 散射照明法

第四节 双筒立体变焦显微镜的应用

一、宝石内外部特征观察

1. 表面特征的观察

表面特征是指宝石表面的凹坑、划痕、断口、破裂、表面印记等现象。如贝壳断口纹理及其薄膜干涉效

应（图 10），钻石腰围激光刻注证书编码（图 11），翡翠表面橘皮效应（图 12）等。

常用垂直照明观察宝石。

2. 内部特征的观察

内部特征是指宝石内部的矿物、生长纹、裂隙、其他物质填充痕迹、颜色色形、重影（图 13）等现象。如水晶内部的晶体包裹体（图 14~15）、方解石等。特殊内含物的对宝石具有鉴定意义，如月光石的蜈蚣足状包体、玻璃里的气泡（图 16~17）、脱玻化

玻璃里的雏晶（图 18）等。

常用暗域照明法、亮域照明法、侧向照明法、散射照明法观察宝石内部特征，用垂直照明法观察宝石近表面内部特征。



图 10 贝壳断口纹理及其薄膜干涉效应
(垂直照明法, 15 倍放大)



图 11 钻石腰围激光刻注编码
(垂直照明法, 20 倍放大)



图 12 翡翠表面的橘皮效应
(垂直照明法, 15 倍放大)



图 13 重影 (暗域照明法, 15 倍放大)

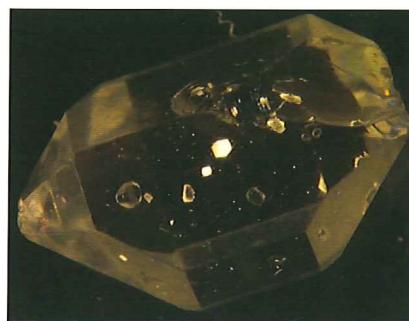


图 14 水晶内部的包裹体
(正交偏光镜下拍摄)



图 15 水晶内的晶体包裹体
(暗域照明法, 40 倍放大)

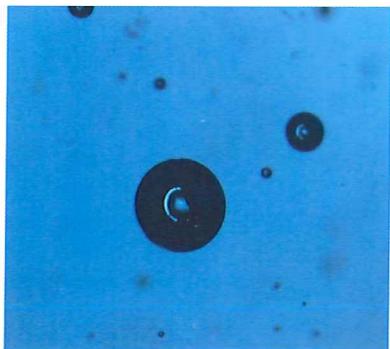


图 16 玻璃里的气泡
(暗域照明法, 20 倍放大)



图 17 玻璃里的气泡
(暗域照明法, 40 倍放大)



图 18 脱玻化玻璃里的雏晶
(暗域照明法, 40 倍放大)

二、干涉图的观察

在显微镜镜头底端加载上偏光片，在显微镜通光口位置加载下偏光片和载物台，在亮域照明状态，顺时针方向拨动锁光圈调节把手，至通光量最大位置，转动上偏光片至显微镜目镜观察视域最黑位置即可，将宝石置载物台正中间，加载锥光干涉球，使锥光干涉球透镜正对宝石，此时从显微镜目镜观察宝石锥光干涉图。

三、测试宝石近似折射率*

1. 贝克线法

在显微镜或者偏光显微镜下，两个折射率不同的介质接触处可以看到比较暗的边缘，称为矿物轮廓；在轮廓线附近可以看到一条由于光线集中而明亮的细线，这条明亮的细线最先由德国学者贝克（Becke, 1893）发现，后人以他的名字命名为贝克线。

将样品浸入已知折射率的浸液中，在显微镜下观察。当样品与浸液的折射率不同时，准焦后样品边缘出现亮线——贝克线。此时提升镜筒，若亮线向样品快速移动，说明样品的折射率比浸液折射率大；若亮线向浸液移动，则反之。亮线移动速度快，说明两者折射率差值大；亮线移动速度慢，说明两者折射率差值小。

2. 柏拉图法

将样品浸入已知折射率的浸液中，观察样品，调节焦距，使之准焦于样品上方的液体中，若样品的折射率大，此时样品的边缘呈白色，下降镜筒，准焦点下移，变棱变黑；若浸液比样品的折射率大，样品的边棱呈黑色，准焦点下移，边棱变白。

3. 直接测量法（真厚度 / 视厚度法）

用此法测试折射率，要求镜柱上安装游标卡尺；样品多为圆多面型。测量步骤如下：

- 1) 用胶泥将样品固定在载玻片上。要求台面向上，并平行于载玻片，底与载玻片接触。将固定有样品的载玻片置于载物台上。
- 2) 转动变焦调节圈，在适当的放大倍数（稍大一点）下观察样品（放大倍数越大，所获得结果准确性越大）。
- 3) 调节焦距，分别准焦于样品的台面和底，准焦时各自读出游标卡尺上的数据，两个数据相减，即获得视厚度。
- 4) 测量样品的真厚度。有两种方法，一种用卡尺直接测量，另一种是测量视厚度后，将样品轻轻地移出视域，然后准焦于载玻片，并读出游标卡尺上的数据，此数与准焦于台面所获数值相减，即为真厚度。用真厚度除以视厚度获样品近似折射率。

第五节 常见宝石内含物特征小结

常见的宝石有刚玉、祖母绿、翡翠等，每种宝石的内含物特征不尽相同（如表1）。

*三、测试宝石近似折射率的内容均引用自施健主编的《珠宝首饰检验》，中国标准出版社，1999.5。

表 1 常见宝石内含物特征小结

宝石 名称	特征描述
刚玉 红 宝 石	● 金红石 这是红宝石中最常见的矿物包裹体，可呈粗的短柱状或细小针状，后者往往成 60° 和 120° 角在同一面内交叉分布并与 C 轴垂直，三组细针状金红石密集排列时可出现星光效应。在红宝石内，金红石呈无色 / 褐黄色，突起很高，表面圆滑干净。
	● 锆石 这也是红宝石中常见的矿物晶体包体。常呈柱状或粒状，突起高，有时表面粗糙，在其周围常有放射性产生的微裂纹或褐色的晕圈。提升显微镜镜筒，贝克线向锆石内移动。
	● 刚玉 红宝石中经常会包裹有原生或同生的刚玉晶体，这些晶体无色或有色，形状不规则，有时呈浑圆状，与红宝石的界线轮廓因折光率相近而不明显，鉴定特征是其折光率与红宝石相近，突起不明显但具有不同的消光方位。
	● 尖晶石 常呈八面体，由两个角锥相连而成，无色最为常见，单个或成群沿某些缺陷分布，折光率低于刚玉而成负突起，提升镜筒，贝克线向红宝石移动。
	● 石榴石 通常呈圆球状，有时可见菱形十二面体或三八面体的部分晶面，多数呈暗褐色，在红宝石内轮廓清楚。
	● 云母 经常为片状、六边形或其碎块，无色 / 褐色，有时可见解理。
	● 赤铁矿 褐色或黑褐色板状体，不透明 / 半透明，反射光下可见钢灰金属光泽。当包体较薄时可见褐红色。
	● 水铝矿 三组针状包体呈三维立体分布，每两组之间近于垂直。
	● 色带或色斑 天然红宝石中可见有平直的色带或不规则的红色色斑，后者在缅甸红宝石中尤为常见。色斑的分布无规律性。
	● 裂理 天然红宝石“十红九裂”，这是因为红宝石具有裂理的缘故。天然红宝石的裂理或平直或弯曲，没有规律性，其内可充填有后生的矿物或熔体流体包裹体，或铁锰质氧化物。
刚玉 白 宝 石	● “指纹状”包裹体 天然红宝石中同生的指纹状包裹体常常分布在一些较大的晶体缺陷中，“指纹”往往由单相或多相的流体或熔融包裹体或者流体与熔体共存的流体熔融包裹体组成，一般无色或浅色。而后生的指纹状包体常分布在一些微裂纹内，“指纹”由褐 / 褐黑色的熔体组成，形态除指纹状外还可呈网格状、链状等。
	● 熔体包裹体 由熔体与气体、多种熔体、熔体和结晶相等组成，形态不规则，与红宝石边界清楚，有时在明场照明中可见粗糙的表面。与结晶矿物包裹体的区别是在正交偏光镜下，熔体呈全消光或仅有其中结晶具有光性，无色 / 褐色常见。
	● 流体熔融包裹体 一种特殊的包裹体类型，它主要是指流体包裹体，含 CO ₂ 的流体包裹体与熔体或结晶相的包裹体在小范围内共存。

宝石 名称	特征描述
刚玉 蓝 宝 石	<ul style="list-style-type: none"> ● 缅甸蓝宝石 主要的产地为抹谷地区，目前是世界优质蓝宝石的重要来源，缅甸蓝宝石的重要特征是颜色鲜艳纯正，其内部含有针状和柱状的金红石，针状金红石呈 60° 和 120° 交叉，当绢丝状金红石密集时可加工成星光蓝宝石，熔蚀圆滑的细小刚玉晶体也是缅甸蓝宝石中常见的晶体包裹体，在蓝宝石的裂理面经常可见指纹状的气液包裹体分布。 ● 斯里兰卡蓝宝石 是世界上浅蓝色蓝宝石最重要的来源，蓝宝石也属于变质交代成因，一些浅色或无色的 geode 蓝宝石经过加热处理可成为颜色鲜艳的高质量蓝宝石。斯里兰卡的蓝宝石的内部特征是具有比缅甸蓝宝石更为细长的金红石针状和有应力纹或晕圈围绕的锆石晶体包裹体，有时还可发现有呈碎片状分布的黑云母。整体感觉而言，斯里兰卡蓝宝石内部具有的雾状条带或斑块是特征性的。 ● 克什米尔蓝宝石 曾经是世界最优质的蓝宝石，带紫色调的靛蓝色蓝宝石，但近年来的产量已很低，该地蓝宝石蓝色鲜艳微带紫色，内部雾状包裹物产生乳白色反光效果使蓝宝石有睡眼惺忪的华贵感觉，其重要的内部特征是含有电气石和熔蚀的长石晶体，部分宝石中还发现有放射性很强的黑色沥青铀矿包裹体。色带和尘状微粒在克什米尔蓝宝石中也是特有的。 ● 尼日利亚的蓝宝石 近年来非洲成为蓝宝石最重要的新产地之一，其中尼日利亚高质量蓝宝石便是其中重要的一员。尼日利亚蓝宝石主要呈蓝色和黄色，晶体呈板状、桶状和棱柱状，蓝宝石一般具有较强色带和裂理，有次生的愈合包裹物及钠长石、铀烧绿石、负晶形两相包裹体是其重要特征。 ● 澳大利亚蓝宝石 澳大利亚是目前世界产量最大的蓝宝石产地，蓝宝石属于岩浆成因。该地蓝宝石以呈深蓝 / 墨蓝色为主，因为铁的含量高，具有非常明显的蓝 / 绿色的两色性。澳大利亚的蓝宝石一般透明度不够高，使颜色过深，因而往往是送到泰国加热处理后才投放市场。具有尘状熔融包裹体和指纹状包裹体，有铌铁矿及辉石、锆石等结晶质包体并有明显的色带是其重要特征。 ● 中国蓝宝石 中国是世界最新发现的重要的蓝宝石产地之一，蓝宝石分布在山东、江苏、海南等地玄武岩冲积物内，属于岩浆成因，中国蓝宝石和澳大利亚的蓝宝石类型相似，多数为较深的蓝色，二色性明显。其重要的内部特征为含有多种类型包裹体共存的流体熔融包裹体及锆石、长石、云母、铌钽铁矿等结晶矿物。

宝石 名称	特征描述
祖母绿	<ul style="list-style-type: none"> ● 三相包裹体 过去一直是哥伦比亚天然祖母绿的典型特征，虽然最近在其他产地的天然祖母绿及部分合成祖母绿中也有发现，但仍以哥伦比亚天然祖母绿最为常见。包裹体以不规则形态为主，其内有一个圆球状气泡及立方形或矩形的子晶及液相组成，包裹体无色透明，与祖母绿界线清楚，单独或数个分布，大多为同生包裹体。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 黄铁矿 可在不同产地的天然祖母绿中发现，多数有一定晶形，部分为不规则粒状，不透明，透射光中呈黑色，反射光下呈铜黄色，当呈微粒状或尘状分布时，易被误认为石墨。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 方解石 为白色、半透明的菱形晶体或不规则的侵蚀残晶，常见于哥伦比亚木佐矿区的祖母绿。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 磁铁矿 可以呈褐色出现在任何产地的祖母绿的裂隙和羽状体中，黑色的不透明的铁矿物可能以晶体形式存在。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 赤铁矿 褐红色至黑色的不透明晶体，外形界线圆滑，常见于津巴布韦桑达瓦纳祖母绿中。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 闪石类矿物 (阳起石 / 透闪石) 一般呈柱状或针柱状，突起高，颜色多样，不同产地有差别，如津巴布韦为鲜绿色针状透闪石，而俄罗斯为“竹节状”无色 / 褐色阳起石。闪石类矿物包裹体有时可见裂理或解理，解理交角 124°，横切面对称消光，其他切面平行或斜消光。提升镜筒贝克线向矿物包体移动。具体种属有时要进行进一步测试才能确定。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 云母类矿物包裹体 天然祖母绿中常见的结晶质包裹体，一般呈各种形态的片状，各地颜色可不同，部分可见明显的解理，在祖母绿内呈高正突起。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 氟碳钙铈矿 哥伦比亚木佐 (Mozo) 矿天然祖母绿独特的矿物包体，呈粒状分布，极高正突起，糙面显著，有时可见放射状晕圈，颜色为褐色。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 毒砂 主要出现在澳大利亚及中国的祖母绿内，不透明，反射光下呈灰白色，形状为菱柱状到不规则粒状。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 孔洞和负晶 祖母绿中细管状的孔洞可小于一毫米至几毫米，平行 C 轴排列，内部可含有两相或三相包裹体。哥伦比亚祖母绿含典型的三相包裹体，呈圆或长而尖的外形，内含液体及一个浑圆的气泡和一个正方形的岩盐晶体。印度祖母绿含有负晶，为两相包体，沿晶体的某个方向大致定向排列。包体略呈矩形，只有当平行 C 轴观察时，包体呈六边形。在矩形的角上会伸出一小尾巴，尾巴内含有云母碎片，形状很像逗号。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 羽状体 液体充填的羽状体在祖母绿中较常见，经常被铁质成分浸染成褐色或黑色。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 生长环带 在一些天然祖母绿中常见平行于柱面或底面的颜色分带和生长环带，总体呈六边形。 不同产地的祖母绿还含有一些特有的矿物包裹体，如俄罗斯祖母绿有时会见到平行于底轴面的薄圆盘状的孔洞，反射光下这些孔洞呈银白色，而从其他某些视角看又可能是黑色的（澳大利亚和某些俄罗斯祖母绿中可见有锡石晶体）。另外在天然祖母绿中还含有辉钼矿、金红石、电气石、萤石、硅铍石晶体等。

宝石 名称	特征描述
翡翠	<ul style="list-style-type: none"> ● 翠性闪光 <p>翠性闪光是由翡翠组成矿物的解理面造成的，对翡翠外观的影响小，有时还可能是正面的影响。根据大小和形态，翠性分为雪片、蚊子翅和沙星三类。翠性经过抛光和上蜡等工序后，就不容易看到了，尤其是沙星状的翠性，表面上，雪片状的解理面当抛光不彻底时，可以形成带有许多小凹坑，与周围边界清楚，并在某一方向上仍可见到一致反光的略为小凹的表面，如果进一步抛光就会形成桔皮状的表面。</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ● 杂色的色斑或色带 <p>杂色的色斑或色带是指除绿色以外的色斑或色带，也称脏色，如黄褐色、黑灰色等。但不能把底色作为脏色对待，也不能把俏色以及多色的组合（福禄寿）当作杂色。</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ● 石花 <p>石花是翡翠中团块状的白色絮状物，从宝石学的角度上看，石花也可能是翡翠中的包裹体，即可能不是硬玉，而是其他的矿物组成，也可能是愈合裂隙。但由于这些石花或多或少与后期的充填、交代作用有关，同时与翡翠的颗粒大小有关，所以也可以看作为结构特征。 石花在透明度较好的翡翠中见到，根据形状和特征分为石脑、棉花和芦花三种类型：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 芦花：是轻微的石花，灰白色的絮状物成细小分散的形式分布在翡翠中，不特别明显。 2) 棉花：较为明显的白色或灰白色絮状物，成较为集中的团块状，比较明显。 3) 石脑：明显的白色或灰白色絮状物，相对于芦花和棉花来说与周围的界限比较截然，显得有点像硬块，是最为严重的石花类型。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 黑点、黑丝和黑块 <p>翡翠中常有呈点状、斑状、丝状和带状的黑色部分，这些不同形态的黑色可能由不同的原因造成，并且在矿物组成上也会有很大的差异。黑点常常是铬铁矿被硬玉交代后的残余，黑斑常是角闪石团块，黑丝是角闪石交代翡翠的中小脉体，黑带则是较大的黑丝。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 黑点 2) 黑丝和黑带 <p>翡翠中的黑丝、黑带是由碱性角闪石或绿辉石造成的。碱性角闪石的作用也须分不同的情况对待，如果绿色为主体的翡翠中含有黑色的角闪石，这些黑色或暗色矿物对翡翠的外观产生不利的影响，应作为净度特征对待。但是，如果在无色或白色为主体的翡翠制品中含有这些暗色的矿物，对翡翠的外观不产生负面影响，反而会提高翡翠制品的价值，这时这些暗色的条带不作为净度特征，而是作为颜色要素来看待。</p>
翡翠	<ul style="list-style-type: none"> ● 石纹 <p>石纹按宝石学理论是一种愈合裂隙，行家也称为“水迹”，认为对翡翠制品的耐久性没影响，但对外观可产生程度不同的影响。</p> <p>石纹有大有小，有疏有密，有明显和不明显之分。最细小的石纹是愈合或者部分愈合的颗粒间隙，可呈白色，数量多时会对透明度产生影响。大的石纹往往和翡翠受到动力变质作用有关，有时会形成平行波浪线，对外观的影响相当的明显。</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ● 裂纹 <p>裂纹与石纹不同，是未经愈合的裂隙。与石纹相比，裂纹对翡翠品质的影响要大得多，只要翡翠具有在正常照明下肉眼可见到的裂纹，其价值至少要降低三分之一。裂纹与石纹的区别是，石纹在透射光下不明显，光线仍能穿透过去，只是透明光量有所减少，而且从反射光下观察表面上没有痕迹。而裂纹则相反，透射光会被裂痕阻挡不易穿透，反射光下能在表面上看到裂痕。在抛光面上指甲刮摸可感到明显受阻。</p>

补充：

① 蓝宝石包括了红宝石以外的所有颜色种类的刚玉宝石，如橙红色的帕德马蓝宝石、黄色蓝宝石、白色蓝宝石等，其包裹体种类和红宝石有一定的相似性，但更为复杂，各产地的组成也不一样。

虽然蓝宝石内结晶质包裹体的特征与红宝石相类似，但下列几种矿物包裹体是蓝宝石特有的，包裹体性质如下：长石多无色透明或灰白色，粒柱状或熔融粒状。

铌铁矿，铌钽铁矿，钛铁矿呈片状，粒柱状和柱状，褐/褐黑色极高正突起，半透明/不透明，具体矿物种需通过电子探针或 XFR 等方法测试才能确定。

褐帘石、铀烧绿石、独居石均为含放射性的矿物，通常为粒状，褐/褐黑色，半透明/不透明，高/极高突起，糙面显著，包裹体外围均有应力纹或晕色圈，无法在正常显微镜下确定物种。

方解石，常见为粒状或菱面体形，无色或灰白色，常见解理，解理纹具双影，正交偏光下有时可见具高级白干涉色。

② 玉石中的包裹体一般指能够影响到宝石外观的完善性的各种现象。对翡翠而言，有石花、黑点、翠性闪光（解理裂隙）、杂色的色带（斑）、石纹和裂纹等。

第六节 双筒立体变焦显微镜记录格式要求

- 1) 要求注明检测宝石时显微镜的状态或条件，即照明方式、放大倍数。
- 2) 宝石内外部特征观察操作，在不同照明方式下全方位转动宝石。
- 3) 宝石的外部特征描述要点：刮痕、抛光纹（痕）、微缺口、损伤、撞击痕、酸蚀网纹、解理、裂理、断口等。
- 4) 宝石内部特征描述要点。

根据宝石内部特征是否立体，将内含物分为两类，一类是平面性质的特征，例如裂隙、生长纹、色带等；另外一类是立体性质的特征，例如晶体包裹体等。

- 对于二维平面的特征：颜色，外形，分布情况。例如：无色，平行线状，宝石局部可见。

- 对于三维立体的特征：颜色，光泽，透明度，外形，分布情况。例如：黄色，金属光泽，不透明，晶体，宝石局部可见。

思考练习题

按照下列要点使用显微镜观察宝石（可参考宝石显微镜使用及分析观察流程图 19 进行），并将观察结果记录在表 2 中。可观察橄榄石、碧玺等通常特征较为丰富的宝石。

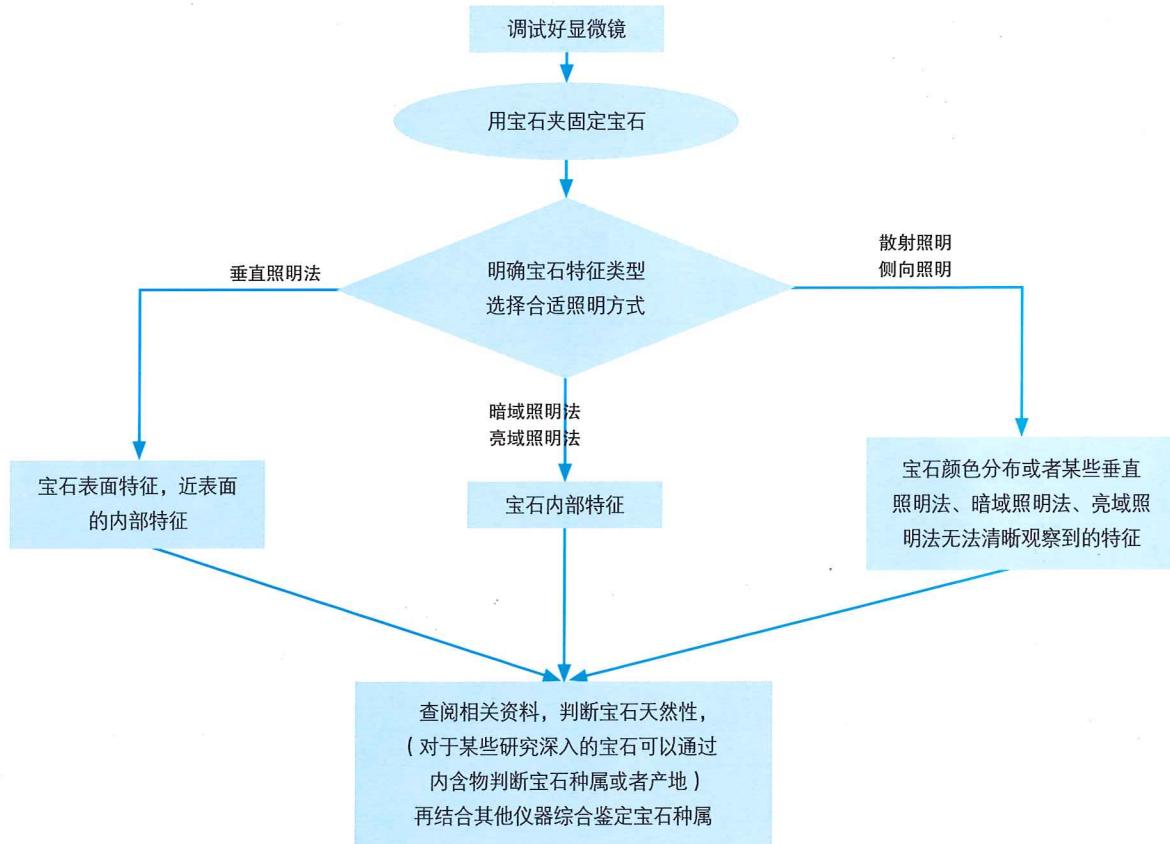


图 19 宝石显微镜使用及分析观察流程图

表 2 显微镜观察记录表

样品编号	颜色	透明度
	光泽	外形
宝石大小 (mm)	重量	
观察现象记录		照明方式、放大倍数、宝石特征（对于某些特征可以采用素描图或者拍照方式记录）
观察结果分析		

第八章

其他宝石观察 常用仪器简介

能力目标

镊子、10倍放大镜、切工镜、热导仪、莫桑石检测仪是珠宝鉴定人员常用辅助工具及仪器，要求通过本章节的学习，掌握镊子、10倍放大镜并能熟练使用镊子、10倍放大镜对珠宝玉石进行观察。了解切工镜、热导仪、莫桑石检测仪的使用方法并能够理解其结果的含义。

第一节 宝石镊子

宝石镊子是一种辅助夹持固定宝石以便更好定向观察宝石的工具。根据其用途可分为宝石镊子（图1~2）和仪器附加宝石夹（图3）。

宝石镊子：一般配合10倍放大镜使用，内侧有凹槽或者“#”纹以加紧和固定宝石。根据宝石的硬度不同，有专门设计或者增加特定附件用来夹取不同宝石的镊子，例如珍珠由于其流线的外形和摩式硬度比一般的镊子低的特性，夹取珍珠的镊子一般尖端末尾会被设计为圆形或者会在普通镊子上套上黑色的橡胶套。



图1 不带锁的宝石镊子外观



图2 带锁的宝石镊子外观

仪器附加宝石夹：极少单独使用，一般配合显微镜、台式分光镜配套使用。

宝石镊子在使用时一般是将镊子较粗、圆滑的一端放置在掌心，用拇指和食指控制镊子开合，为了观察的稳定性，如果有条件可以将手肘支撑在桌面上。为了防止宝石的意外损害，初学者使用镊子时，在镊子下方一定要配备一个黑色托盘，这样当用力不足时，宝石会掉落在黑色托盘上，同时还要注意不要太用力，防止夹取宝石过紧而使得宝石蹦出。

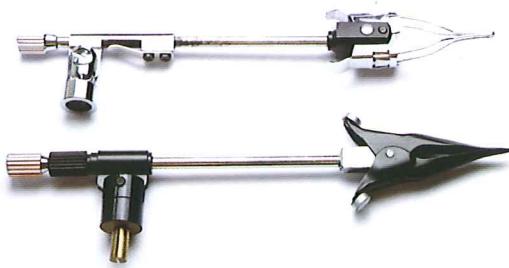


图3 仪器附加宝石夹

第二节 10倍放大镜

放大镜有很多种，日常生活中用的放大镜是由单片凸透镜构成的。其放大倍数与凸透镜的曲率有关系，放大倍数越大，凸透镜曲率越大，常引起视域范围边部图

像畸变（像差）和出现彩色边缘（色差）；宝石、放大镜、观测者之间工作距离取决于放大倍数，工作距离 = 清晰影像的最小距离（正常视力为25cm）/ 放大倍数

(10倍)。放大倍数越大，工作距离越小，操作不便，视域范围亦缩小。

为了解决上述存在问题，宝石学中一般选择10倍放大镜(图4)。在放大镜的结构上也做了改进，以消除像差和色差(图5)。检验放大镜质量的好坏可以用放大镜观察米格纸上 $1\times 1\text{mm}$ 正方形格子图形，注意方格是否变形来确定。

一、10倍放大镜结构

10倍放大镜结构基本一致(图6)，但是根据放大棱镜的层数仍然可以将放大镜分为两种：

双合镜放大镜：由两片凸透镜构成。无像差。

三合镜放大镜：由两片铅玻璃制成的凹凸透镜中夹一无铅玻璃制成的突凸透镜黏合而成(图7)，无像差，无色差。

二、10倍放大镜的使用方法及应用

1. 10倍放大镜基本操作步骤

1) 擦净样品及其放大镜。
2) 双目睁开，一手拿放大镜(可以将放大镜套在一只手的食指上，图8)，另一手用镊子夹住宝石。放大镜靠近眼睛，距离约2.5cm(可按照图9中的姿势将拿放大镜的手的拇指贴在脸上)；样品靠近放大镜，距离亦为2.5cm左右，为保持工作距离及放大镜和样品的稳定，可将夹有宝石的镊子放在拿放大镜的那只手的中指和无名指之间，方便调整样品与放大镜之间的距离，并将胳膊支撑在桌子上。



图4 放大镜外观

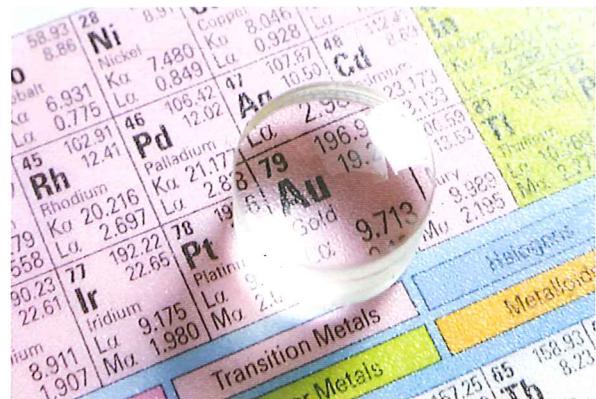


图5 视域内无像差和色差的放大镜



图6 放大镜结构



图7 三合镜侧视图

3) 调整好姿势后, 根据观察的需要选择光源的强弱及其光源的照明方式(如钻石分级需要选择色温在5500~7200K范围内的日光灯)。

4) 转动样品观察样品内外部特征, 并随时微距调节工作距离, 以便始终清晰地观察到各种影像(图10)。



图8 通常都是右手拿放大镜, 左手拿镊子, 方便随时放下放大镜记录观察内容



图9 镊子与放大镜的距离及放置的位置图



图10 透过放大镜看到的现象



图11 钻石表面破口(与钻石本身存在光泽差异)(10倍, 反射光)

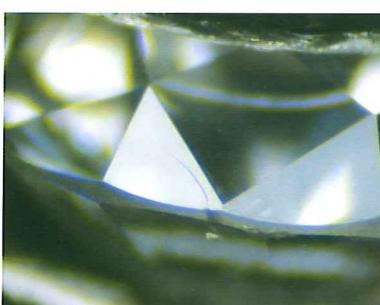


图12 反射光下钻石内部延伸到表面的羽状纹(10倍, 反射光)

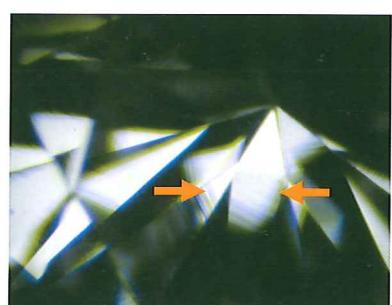


图13 钻石抛光纹(不同刻面平行纹路方向不同)(10倍, 内反射照明法)

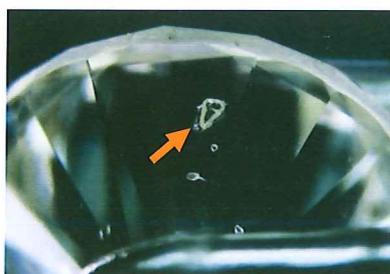


图14 钻石内部的晶体包裹体(10倍, 透射光)



图15 钻石的底尖破损(10倍, 透射光)



图16 钻石的深色包裹体(10倍, 透射光)

2. 10倍放大镜的应用

1) 反射光下可观察到的现象: 表面特征(图11~13), 例如宝石表面光泽差异、凹坑、抛光纹等。

2) 透射光下可观察到的现象: 内部特征(图14~16), 例如晶体包裹体、双晶纹等。

第三节 切工镜

切工镜是专门用来观察切工好的某些标准圆钻型宝石中因切工产生的某些特殊图案的仪器(图17)。通常用来观察钻石，也可以用来观察碳化硅等宝石。

(一) 切工镜的结构

切工镜外观多为长筒状，一般由中空圆筒状框架、滤色薄膜、双凸透镜三个部分组成，并配有特制的黑色宝石托盘(图18)。

中空圆筒状框架根据观察的需要靠近观察者眼睛一端被设计为不透明，靠近被观测宝石部分被设计为磨砂半透明状，红蓝双色滤色薄膜是将红色向外，蓝色向内卷起后置入中空圆筒状框架不透明部分内。

起放大作用的双凸透镜是固定于中空圆筒状框架不透明和半透明部分之间。

(二) 切工镜的使用方法及应用

1. 切工镜的使用步骤

1) 将标准圆钻型宝石根据观察的需要放置在特制的黑色宝石托盘中央的凹槽中(图19)。

2) 将切工镜半透明磨砂状一端放置在特制的黑色宝石托盘上方(图20)。

3) 观察宝石是否存在因其切工而产生特殊的图案，并记录结果。

4) 上下颠倒宝石并将宝石放置在特制的黑色宝石托盘中央的凹槽中，重复步骤1、2，观察宝石是否存在因其切工而产生特殊的图案，并记录结果。

2. 切工镜的应用

观察切工好的标准圆钻型宝石中的“八心八箭”现象，“八心八箭”的现象出现与否与宝石的品种没有必然关系，例如切工好的标准圆钻型合成立方氧化锆中也可见“八心八箭”的现象。

“八心八箭”现象是指切工好的标准圆钻型宝石中，垂直台面向亭尖方向观察可见以钻石亭尖为放射点等距离排列的“八箭”(图21)，而垂直亭尖向台面方向观察可见以钻石亭尖为放射点等距离排列的“八心”(图22)的这两个现象的统称。



图17 左边切工镜，右边为切工镜附件(特制黑色宝石托盘)



图18 切工镜结构



图19 特制黑色宝石托盘中宝石的放置位置及观察方向



图 20 观察现象时仪器的放置

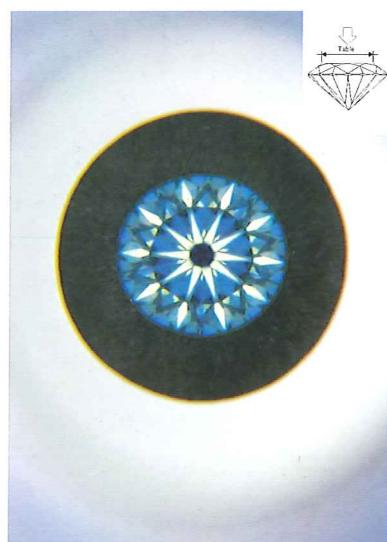
图 21 从台面往亭尖方向观察到的八箭现象
(图 20 垂直往下看)

图 22 从亭尖往台面方向观察到的八心现象

第四节 钻石热导仪、莫桑石检测仪

钻石热导仪（图 23）是利用钻石的良好导热性能（表 1）的原理而设计制作的一种小巧实用的检测仪器。在实际的应用中，针对钻石热导仪无法区分钻石和莫桑石的盲区专门设计和制作了莫桑石检测仪（图 24），钻石热导仪、莫桑石检测一体仪（图 25）。

天然钻石、合成碳化硅（莫桑石）热导性能好，热导率高，故散热快；而仿钻和绝大多数宝石的导热性能差，热导率低，因此散热也慢。热导仪、莫桑石检测仪就是通过被测样品的散热速率来分辨确定钻石、合成碳化硅和其他仿钻材料的真伪。



图 23 钻石热导仪外观



图 24 莫桑石检测仪外观



图 25 钻石热导仪、莫桑石检测一体仪外观

表 1 不同材料的热导率

宝石名称	热导率, W/(m · K)	金属材料名称	热导率, W/(m · K)
钻石	669.89~2009.66	金 (100%)	外 296.01 形
碳化硅	≥ 300, 因方向不同而存在差异	银 (100%)	418.68
观尖晶石察现象记录	11.76	铜	388.12
祖母绿 (C 轴方向)	5.48	铝	203.06

一、钻石热导仪、莫桑石检测仪的结构

钻石热导仪、莫桑石检测仪的结构类似。钻石热导仪具体各部分名称 (图 26)：探针、三色显示灯、预备指示灯、喇叭、电源开关 / 调整钮、电源盖板、电源指示灯、导热 (电) 板、视钻支撑托盘。主体由集成热

敏元器件组成，仪器前端装有一个针状热敏金属探针头 (图 27~28)，测试时检测仪内的热敏元件先加热热敏金属探针头。



图 26 热导仪各部分名称



图 27 钻石热导仪、莫桑石检测仪测试端（左为钻石、莫桑石一体热导检测仪，中为莫桑石检测仪，右为钻石热导仪）

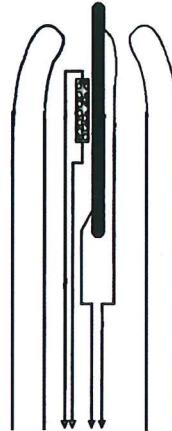


图 28 热导仪测试端结构素描图

二、钻石热导仪、莫桑石检测仪的使用方法及应用

钻石热导仪、莫桑石检测仪因其结构及原理的高度相似性，它们的使用步骤相同。

1. 钻石热导仪、莫桑石检测仪的使用步骤

1) 打开电源开关，电源指示灯点亮，仪器开始预热，几秒钟之后预备指示灯点亮，表示仪器已处于可使用状态（图 29）。对于钻石热导仪还需要根据背后表格数据（图 30）调试好仪器（图 31）后方可进行下一步。

2) 将被测的裸钻放入视钻支撑托盘合适的凹孔中，并将其台面朝上（图 32）。已镶嵌者不必放托盘孔中，而用手持其“托”即可。

3) 取下探针套，手持仪器、右手食指触及仪器后盖的导电板（图 33）。

4) 使探针垂直地与被测真、仿钻石的台面轻轻地接触（图 34），不要太用力，否则会使探针损坏。

5) 仔细注视仪器发光二极管点亮个数并聆听仪器是否发出“嘟——嘟”声（俗称鸡叫声），记录观察结果。



两个红灯亮起时，仪器预热完毕，可进行第二步操作

钻石热导仪可使用状态



“READY”下绿灯亮起时，仪器预热完毕，可进行第二步操作

莫桑石检测仪可使用状态

图 29 仪器的可用状态（钻石热导仪、莫桑石检测一体仪可使用状态）



图 30 钻石热导仪背面数据表



旋转图中蓝色尖头所指旋钮，调整绿灯数量为实际温度条件及宝石大小结合热导仪背后表格中的数字，例如 10~30°C，宝石重量在 0.06~0.5ct 选择数字 4，绿灯数量调节为 4。

图 31 钻石热导仪调试最终状态



图 32 钻石在视钻支撑托盘凹槽中的放置方向



图 33 手持仪器时右手食指触及仪器后盖的导电板



图 34 探针垂直地与被测真、仿钻石的台面轻轻地接触

2. 钻石热导仪、莫桑石检测仪的应用

根据仪器是否鸣叫或者仪器上相应指示灯是否亮起（图 35~38）检测待测宝石是否为钻石、莫桑石或者其他仿制品。

仪器使用时探针必须垂直轻触宝石表面，当仪器探针与金属、大块的刚玉接触时可发出与确认钻石时一致的“嘟——嘟”声（钻石、金属、碳化硅、大块刚玉的导热率接近，钻石热导仪、莫桑石检测仪无法区分）。

同时，使用仪器时，右手食指必须捏住背部金属属板，这是为了防止误判。警报系统是为了防止热导仪探

头直接接触金属部分，使热导仪发出错误的信号而设置的。警报系统是由人体、金属、探头及热导仪背后的一块直角三角形的金属板及蜂鸣器等组成。当探头误接触到金属托或其他金属时，蜂鸣器就会发出短促的“嘟！嘟！”声，而不是接触钻石时拉长的“嘟——嘟——”声。

为了使得测试结果更加准确，仪器使用环境为 5~35°C，空气相对湿度 ≤ 80%，且被检测宝石必须清洁、干燥。



图 35 被测宝石为钻石时，钻石热导仪的状态



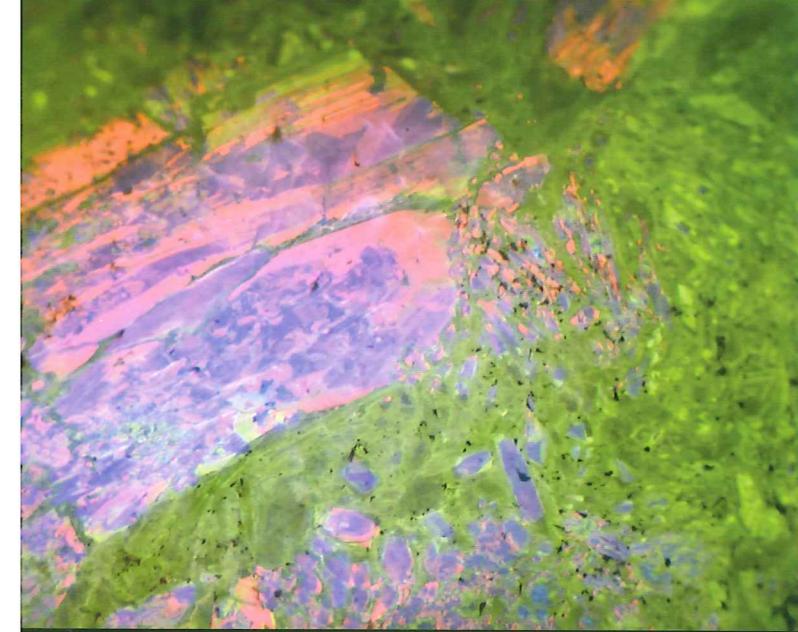
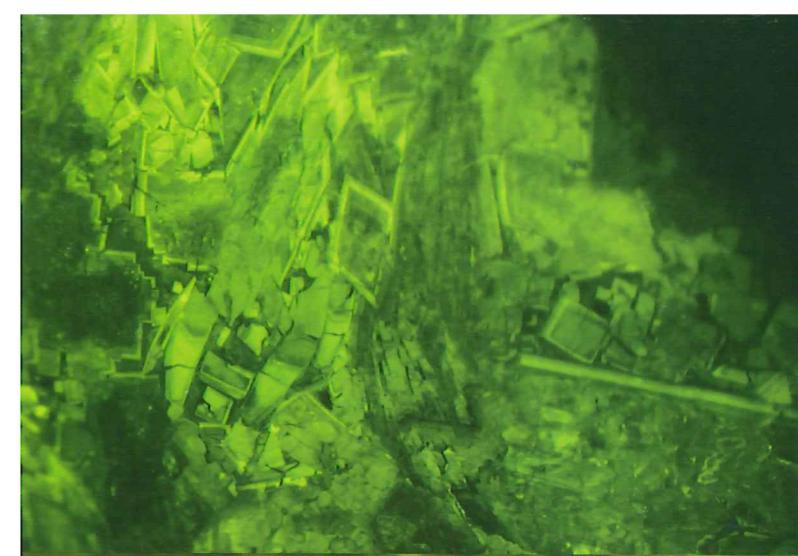
图 36 被测宝石为莫桑石时，莫桑石检测仪的状态



图 37 被测宝石为莫桑石时，钻石、莫桑石一体热导检测仪的状态



图 38 被测宝石为钻石时，钻石、莫桑石一体热导检测仪的状态



宝石检测 现代测试技术介绍

现代高新科技的发展，促进了新的合成宝石、人造宝石和优化处理宝石品种的相继面市。一些合成宝石与天然宝石之间的差别日趋缩小，一些优化处理宝石的表面及内部特征与天然宝石相差无几，使得宝玉石鉴定中的一些疑难、热点问题应运而生。一些传统、常规的宝石鉴定仪器及鉴定方法已难以满足人们对珠宝鉴定的要求。

大型分析测试仪器主要用以解决传统的检测仪器所无法解决的某些疑难问题。不容置疑，先进的分析测试技术在宝石学鉴定与研究的领域中将发挥出愈来愈重要的作用。

珠宝鉴定中的分析测试仪器按照用途可以分为如下几类：

谱学特征分析仪：傅里叶变换红外光谱仪(FTIR)、激光拉曼光谱仪(LAMAN)、紫外—可见分光光度计(UV-NIS)、穆斯鲍尔谱仪、荧光分光光度计。

化学成分分析仪：电子探针(EPMA)、X射线荧光光谱仪(EDX)、激光剥蚀等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)、激光诱导光谱仪(LIBS)。

表面特征分析仪：扫描电镜(SEM)、原子力显微镜(FAM)、微分干涉显微镜(DICM)、钻石观测仪(Diamond View)、阴极发光仪(CL)。

结构与物相分析仪：透射电子显微镜(TEM)、X—粉晶衍射仪(XRD)、X—射线单晶衍射仪(XRD)、珍珠厚度测试仪。

第九章

大型分析测试仪器

第一节 傅里叶变换红外光谱仪

红外光谱 (Infrared Spectroscopy, IR) 的研究开始于 20 世纪初期, 自 1940 年商品红外光谱仪问世以来, 红外光谱在有机化学研究中得到广泛的应用。20 世纪初 Coblenz 已发表了一百多种有机化合物的红外光谱图, 给有机化学家提供了鉴别未知化合物的有力手段。到 50 年代末就已经积累了丰富的红外光谱数据。到 70 年代, 在电子计算机蓬勃发展的基础上, 傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 实验技术进入现代化学家的实验室, 成为结构分析的重要工具。它以高灵敏度、高分辨率、快速扫描、联机操作和高度计算机化的全新面貌使经典的红外光谱技术再获新生。近几十年来一些新技术 (如发射光谱、光声光谱、色—红联用等) 的出现, 使红外光谱技术得到更加蓬勃的发展。红外光谱仪近年来在宝石鉴定、检测方面得到广泛应用, 尤其各种类型宝石标准图谱的分类、建立更加促进红外光谱仪在宝石研究方面的深入。

一、基本原理

(一) 红外光区分类

红外光是指位于可见光和微波区之间, 即波长约为 $0.78 \sim 1000 \mu\text{m}$ 范围内的电磁波, 通常将整个红外光区分为以下三个部分 (表 1)。

表 1 红外光谱分区表

区域	波长 μm	波数 cm^{-1}	能级跃迁类型
远红外区	$25 \sim 1000$	$400 \sim 10$	分子转动
中红外区	$2.5 \sim 25$	$4000 \sim 400$	基团的伸缩振动, 特征性强指纹区 ($1300 \sim 400 \text{cm}^{-1}$)
			特征频率区 ($4000 \sim 1300 \text{cm}^{-1}$)
			单键伸缩振动, 含氢基团的弯曲振动, C—C 骨架振动
近红外区	$0.78 \sim 2.5$	$12820 \sim 4000$	OH、NH 及 CH 键的倍频吸收

1. 远红外光区: 波长范围为 $25 \sim 1000 \mu\text{m}$, 波数范围为 $400 \sim 10 \text{cm}^{-1}$ 。该区的红外吸收带主要是由气体分子中的纯转动跃迁、液体和固体中重原子的伸缩振动、某些变角振动、骨架振动以及晶体中的晶格振动所引起的, 在宝石学中应用极少。远红外光谱属于分子的转动光谱和某些基团的振动光谱。

2. 中红外光区: 波长范围为 $2.5 \sim 25 \mu\text{m}$, 波数范围为 $4000 \sim 400 \text{cm}^{-1}$ 。绝大多数物质的基频吸收带都出现在该区, 中红外光谱属于分子的基频振动光谱。 $4000 \sim 400 \text{cm}^{-1}$ 的红外光谱图大体上分为特征频率区 ($4000 \sim 1300 \text{cm}^{-1}$) 以及指纹区 ($1300 \sim 400 \text{cm}^{-1}$) 两个区域。其中特征频率区中的吸收峰基本是由基团的伸缩振动产生的, 数目不是很多, 但具有很强的特征性, 因此在基团鉴定工作上很有价值, 主要用于鉴定官能团。如羰基, 不论是在酮、酸、酯或酰胺等类化合物中, 其伸缩振动总是在 1700cm^{-1} 左右出现一个强吸收峰, 则大致可以断定分子中有羰基。

指纹区的情况不同, 该区峰多而复杂, 没有强的特征性, 主要是由一些单键 C—O、C—N 和 C—X (卤素原子) 等的伸缩振动及 C—H、O—H 等含氢基团的弯曲振动以及 C—C 骨架振动产生。当分子结构稍有不同时, 该区的吸收就有细微的差异。这种情况就像每个人都有不同的指纹一样, 因而称为指纹区。指纹区对于区

别结构类似的化合物很有帮助。

3. 近红外光区：波长范围为 $0.78 \sim 2.5\text{ }\mu\text{m}$ ，波数范围为 $12820 \sim 4000\text{cm}^{-1}$ ，该区吸收谱带主要是物质的倍频吸收，近红外光谱是由分子的倍频、合频产生的。

(二) 红外光谱基本原理

当一束频率连续变化的红外光照射在物质上时，一种可能为矿物内部分子运动全部吸收，不再从矿物内部射出；另一种可能为红外光束强度大，部分能量被分子能级跃迁吸收，还有部分能量透过矿物。分子吸收了某些频率的辐射，同时将吸收的能量转变为分子振动能和分子转动能，引起偶极矩的变化，产生分子振动和转动能级的跃迁，使相应于这些区域的透射光强度被吸收而减弱。由于每种分子具有特定的振动能级，能够选择性地吸收相应频率（或者波长）的红外光，记录到物质的这种吸收（红外光的透过率 / 吸收率与波数关系）的曲线，就得到红外光谱。

假设多原子分子（或基团）的每个化学键可以近似地看成一个谐振子，则其振动形式主要有两种形式：

1. 伸缩振动 (Stretching Vibration)

沿键轴方向发生周期性的变化的振动称为伸缩振动

(图 1)。伸缩振动又可分为：

对称伸缩振动和不对称伸缩振动。

2. 弯曲振动 (Bending Vibration)

使键角发生周期性变化的振动称为弯曲振动(图 2)。

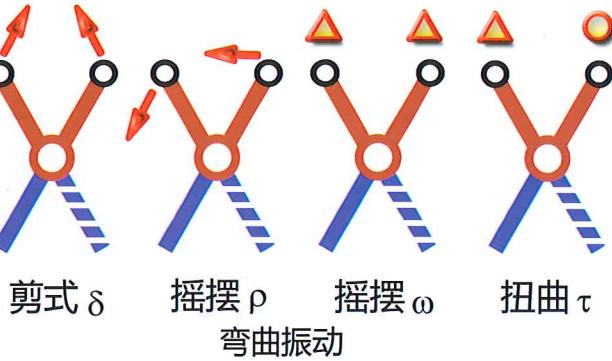


对称 ν_s

伸缩振动



不对称 ν_{as}



弯曲振动
剪式 δ 摆摆 ρ 摆摆 ω 扭曲 τ

图 1 伸缩振动示意图

弯曲振动可分为：

1) 面内弯曲振动：在几个原子所构成的平面内进行振动称为面内弯曲振动。

面内弯曲振动可分为剪式振动和面内摇摆振动。

2) 面外弯曲振动：在垂直于几个原子所构成的平面外进行振动称为面外弯曲振动。

面外弯曲振动可分为：面外摇摆振动和卷曲振动。

弯曲振动比伸缩振动容易，对称伸缩振动比不对称伸缩振动容易，面外弯曲振动比面内弯曲振动容易。

二、红外光谱仪基本结构

目前常用的红外光谱仪根据其分光原理主要分成两种类型：

(一) 棱镜和光栅式光谱仪

这类红外光谱仪属于色散型，其单色器为棱镜或光栅，属单通道测量光谱仪。

(二) 傅里叶变换红外光谱仪

属于非色散型红外光谱仪，其核心部分是一台双光束干涉仪。

由于色散型红外光谱仪的光栅或反光镜的机械轴承长时间连续使用容易磨损，影响波长的精度和重现性，而且机械部件较多，仪器的抗震性能较差，图谱容易受到杂散光的干扰，扫描速度较慢，扩展性能差，使用范

图 2 弯曲振动示意图

围较窄。其次要使用外部标准样品校准仪器，其分辨率、信噪比等指标都相应较差。

因此，目前在珠宝检测和研究中，主要还是采用傅里叶变换红外光谱仪（图3）。它通过测量干涉图并对干涉图进行傅里叶积分变换的方法来确定干涉图与光谱图之间的对应关系，从而达到测定和研究近红外光谱的目的。

珠宝检测和研究中所用的傅里叶变换红外光谱仪其基本组成包括五部分（图4~5）：

1. 分析光发生系统

由光源、分束器、样品等组成，用以产生负载样品信息的分析光。

2. 干涉仪

以麦克尔逊干涉仪为代表，其作用是使光源发出的光分为两束后，造成一定的光程差，用以产生空间（时间）域中表达的分析光，即干涉光。

3. 检测器

用以检测干涉光。

4. 采样系统

通过数模转换器把检测器检测到的干涉光数字化，并导入计算机系统。

5. 计算机系统和显示器

将样品干涉光函数和光源干涉光函数分别经傅里叶变换为强度及频率分布图，二者的比值即样品的近红外图谱，并在显示器中显示。

傅里叶变换红外光谱仪用于宝石检测，其测试方法主要有透射法和反射法两种。

1. 透射法

透射法可分为粉末透射法和直接透射法。

1) 粉末透射法

是一种有损测试方法，适用于原石、玉石雕件等。具体方法是将样品研磨成 $2\mu\text{m}$ 以下的粒径的粉末，用溴化钾与样品混合并压制成薄片后测试，可以获得宝石指纹区的重要信息。

2) 直接透射法

是一种无损测试方法，适用于薄至中等厚度，具有一定透光性的珠宝玉石原料或成品（图6~7）。具体方法是将宝石样品直接置于样品台上，让红外光透过宝



图3 傅里叶变换红外光谱仪

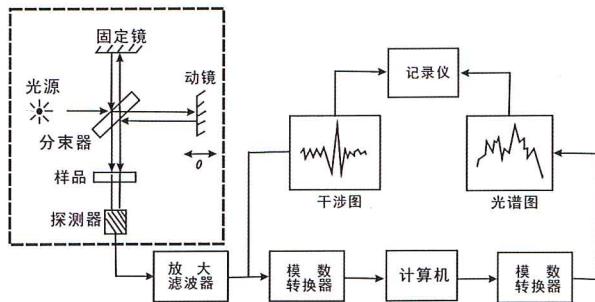


图4 傅里叶红外光谱仪结构原理素描图

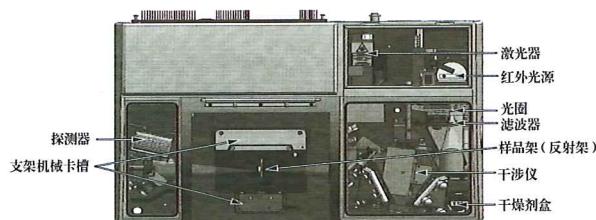


图5 傅里叶红外光谱仪内部结构图

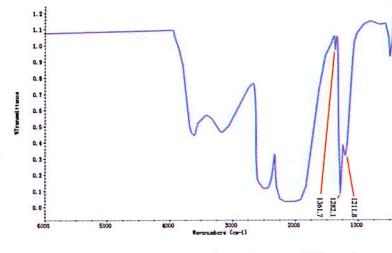


图6 透射法红外光谱图（Ia型钻石）
(纵坐标为 Transmittance)



图7 红外光谱透射法测试宝石示意图

石，可以获得宝石中水分、有机质的特征，为某些充填处理的宝玉石中有机高分子充填材料的鉴定提供了一种便捷、准确、无损的测试方法。但是由于宝石样品厚度较大， 2000cm^{-1} 以下的波数被全部吸收，因而难以得到宝石指纹区的信息。

2. 反射法

反射法是一种无损检测方法，适用于几乎所有的不透明或透明白然宝玉石、合成宝玉石、优化处理宝玉石及其各种宝玉石仿制品（图8~9）。红外反射光谱的类型有镜反射、漫反射和衰减全反射三种。镜反射和漫反射红外光谱在宝石学应用中最为广泛。透明或不透明宝石都可以测到这两种红外光谱，获得宝石矿物晶体结构中羟基，水分子的内、外振动，阴离子、络阴离子的伸缩或弯曲振动。

三、傅里叶变换红外光谱仪宝石学方面应用

傅里叶变换红外光谱仪在宝玉石鉴定和研究方面应用非常广泛，下面以较为常用的钻石类型的划分、翡翠与优化处理翡翠区分、琥珀真伪鉴别三种应用为例介绍傅里叶变换红外光谱仪的应用。

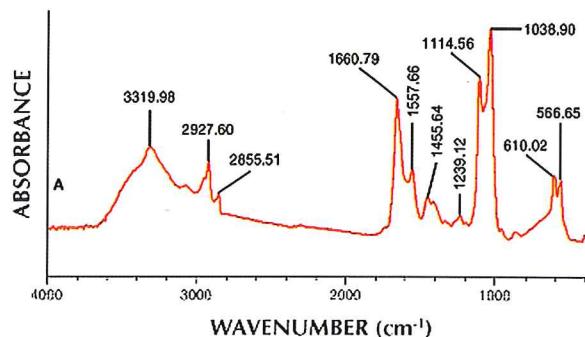


图8 反射法红外光谱图（现代象牙）
(纵坐标为 Absorbance)



图9 红外光谱反射法测试宝石示意图

表2 钻石的类型及红外光谱吸收峰

	I型					II型	
	Ia				Ib	IIa	IIb
	含不等量的杂质氮原子，聚合态				单氮原子	基本不含杂质 氮原子	含少量杂质 硼原子
杂质原子 存在形式	双原 子氮	三原 子氮	集 合 体 氮	片晶氮	孤氮		分散的硼代替 碳的位置
晶格缺陷心 及亚类	N2 IaA	N3 IaAB	B1 IaB	B2 IaB	N		B
红外光谱吸收 谱带 / cm^{-1}	1282、 1212		1175	1365、 1370	1130、1344	1100~1400 范围内 无吸收	2800

(一) 钻石类型的划分

钻石中 N 不同的浓度和集合体具有不同的红外光谱特征，不仅可分辨 I 型和 II 型，还能区分 IaA、IaB、IIa 和 IIb 等亚类型（表 2）。

1. Ib 型钻石

Ib 型钻石具有 C 型氮红外吸收特征峰（后简称为 C），红外光谱图中表现为在 1130cm^{-1} 、 1344cm^{-1} 处有红外特征吸收峰（图 10）。

2. IaA 型钻石

IaA 型钻石具有 A 型氮红外吸收特征（后简称为 A），红外光谱图中表现为在 1282cm^{-1} 、 1212cm^{-1} 处有红外特征吸收峰（图 11）。

3. IaB 型钻石

IaB 型钻石具有 B 型氮红外吸收特征（后简称为 B），红外光谱图中表现为在 1175cm^{-1} 、 1010cm^{-1} 处有红外特征吸收峰（图 12）。

4. IaAB 型钻石

IaAB 型钻石在 A (1282cm^{-1})、B (1175cm^{-1})、Platelet ($1358\sim1378\text{cm}^{-1}$) 处有红外特征吸收峰（图 13）。

Platelet : C 填隙子加少量氮，N3 的结构。

5. IIa 型钻石

IIa 型钻石在 $1000\sim1500\text{ cm}^{-1}$ 无红外特征吸收峰，II a 型钻石中会含有极少量的 B 型氮（图 14）。

6. IIb 型钻石

IIb 型钻石在 $1000\sim1500\text{ cm}^{-1}$ 无红外特征吸收，具有 2457cm^{-1} 、 2803cm^{-1} 吸收线。

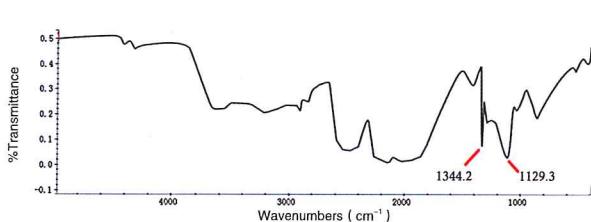


图 10 Ib 型钻石红外吸收光谱

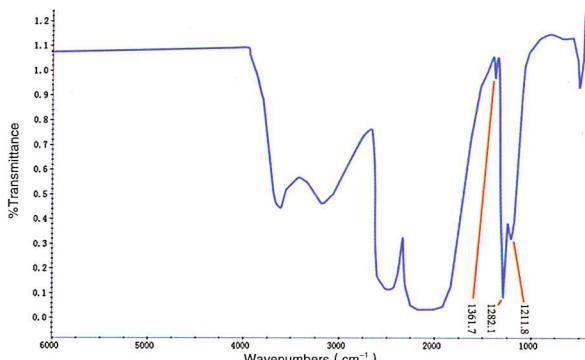


图 11 IaA 型钻石红外吸收光谱

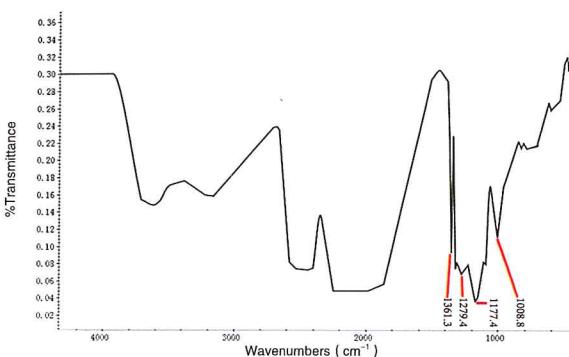


图 12 IaB 型钻石红外吸收光谱

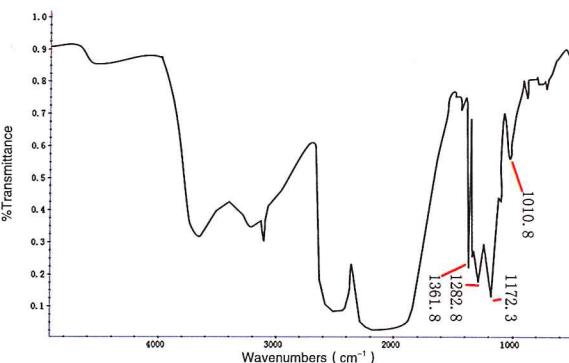


图 13 IaAB 型钻石红外吸收光谱

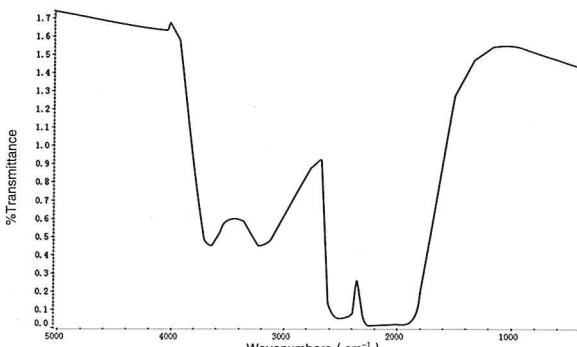


图 14 IIa 型钻石红外吸收光谱

(二) 翡翠与优化处理翡翠区分

天然翡翠在400~4000cm⁻¹波数区间红外吸收光谱，主要特征是：400~2200cm⁻¹波数的红外光被样品全部吸收，在2200~3000cm⁻¹波数区间有一中心位于2600cm⁻¹波数的宽透过峰，3000~3700cm⁻¹波数有一中心位于3500cm⁻¹波数的宽吸收带。

充填处理翡翠中注入少量的环氧树脂，采用透射法测试能够有效检测出树脂吸收峰。其主要吸收位于：2870cm⁻¹、2928cm⁻¹、2964cm⁻¹的吸收峰，3035cm⁻¹、3058cm⁻¹的吸收峰分别构成两个较大的吸收谷，并且在2870cm⁻¹、2928cm⁻¹、2964cm⁻¹三个吸收峰中，2964cm⁻¹波数的吸收往往比2928cm⁻¹波数的吸收更为强烈。此外在2200~2600cm⁻¹波数范围内，还可以见到不太明显的多个吸收峰。这些吸收峰都具有诊断性的意义。

经过过蜡或蜡油浸泡过的翡翠，会有少量蜡或油渗入到翡翠颗粒间隙或缝隙中，在红外吸收光谱上也能显示出相应的吸收峰。这些吸收峰与充填处理翡翠的比较相似，要认真区分。利用透射法检测过蜡或浸油翡翠，蜡或油的主要位于2850cm⁻¹、2925cm⁻¹、2960cm⁻¹三个波数的吸收峰组成的峰系（图15）。

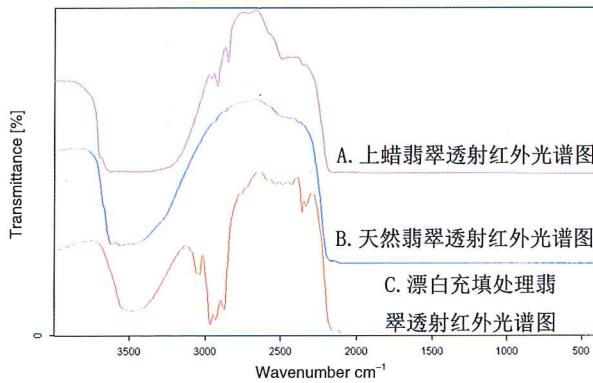


图15 天然翡翠与处理翡翠透射法红外光谱图

- A. 上蜡翡翠透射红外光谱图 (紫色表示)；
- B. 天然翡翠透射红外光谱图 (蓝色表示)；
- C. 漂白充填处理翡翠透射红外光谱图 (红色表示)

(三) 琥珀真伪鉴别

天然琥珀的主要成分为琥珀酸、琥珀酯醇、琥珀油等。天然琥珀中由 ν_{as} (CH₂)官能团的反对称伸缩振动致红外吸收谱带主要出现在2929cm⁻¹处（视产地不同而异），而 ν_{as} (CH₂)对称伸缩振动致红外吸收谱带主要出现在2859cm⁻¹处，与之对应的 δ (CH₂, CH₃)官能团的弯曲振动致红外吸收中强谱带的具体位置视其产地不同而异，如辽宁琥珀则分别出现在1456、1375cm⁻¹处，表征天然琥珀的基本骨架为脂肪族脂结构。由脂肪族脂中 ν (C=O)官能团的伸缩振动致红

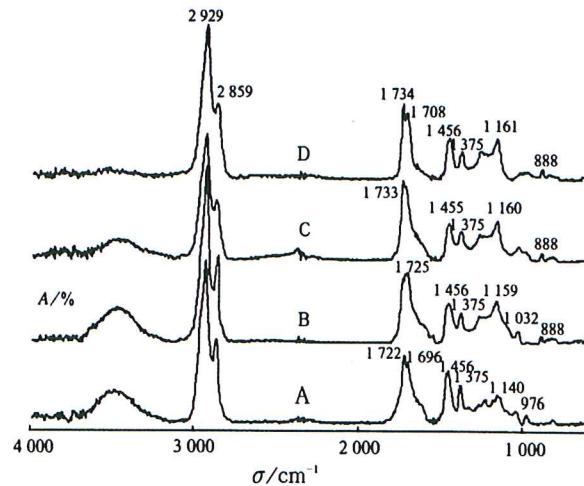


图16 不同产地天然琥珀的红外吸收光谱(经K-K变换)
A. 中国辽宁琥珀；B. 俄罗斯琥珀；C. 乌克兰琥珀；D. 波兰琥珀

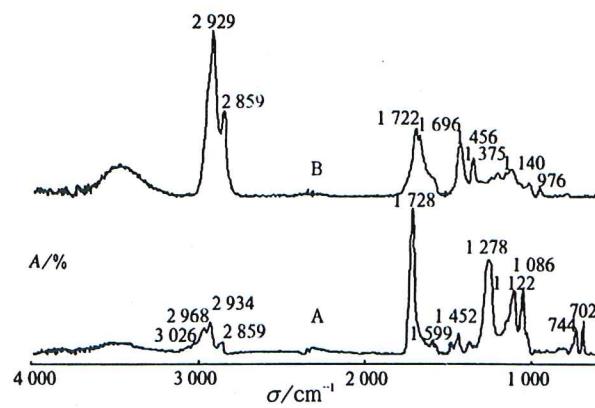


图17 琥珀(B)和人造树脂肪琥珀(A)的红外吸收光谱
(经K-K变换) A. 人造树脂肪琥珀；B. 琥珀

外吸收中强谱带出现在 $1720\sim1740\text{ cm}^{-1}$ 处(分裂峰,视其产地不同而异),如辽宁琥珀主要出现在 1740 cm^{-1} 处。由 $\nu(\text{C}-\text{O})$ 伸缩振动致红外吸收弱谱带出现在 $1140\sim1160\text{ cm}^{-1}$ 处(视产地不同而异),而辽宁琥珀中 799 cm^{-1} 处的红外吸收弱谱带归属 $[\text{CH}(\text{CH}_3)_2]$ 骨架振动所致(图16)。

人造树脂指经过人工共聚或缩聚反应而生成高分子量的树脂状物质。近期国内珠宝市场上大量出现的人

造树脂仿琥珀的成分为不饱和聚酯类树脂(醇酸类树脂)。该人造树脂中由苯环伸缩振动致红外吸收弱谱带位于 3026 cm^{-1} 处,与之对应的苯环弯曲振动致红外吸收弱谱带则出现在 1599 cm^{-1} 处。由 $\nu(\text{C}=\text{O})$ 官能团的伸缩振动致红外吸收强锐谱带出现在 1728 cm^{-1} 处, 1122 、 1086 cm^{-1} 处红外吸收弱谱带归属 $\nu(\text{C}-\text{O})$ 伸缩振动所致(图17)。

第二节 激光拉曼光谱仪

1928年,印度物理学家拉曼用水银灯照射苯液体,发现了新的辐射谱线,即在入射光频率 ω_0 的两边出现呈对称分布的,频率为 $\omega_0-\omega$ 和 $\omega_0+\omega$ 的明锐边带,这种新的分子辐射被称为拉曼散射,其中 ω 是介质的元激发频率。与此同时,前苏联的兰茨堡格和曼德尔斯塔报导在石英晶体中发现了类似的现象,即由光学声子引起的拉曼散射,称之为“并合散射”。法国罗卡特、卡本斯以及美国伍德证实了拉曼观察研究的结果。30年代,我国物理学家吴大猷等在国内开展了原子分子拉曼光谱研究。1934年,普拉坎克比较详尽地评述了拉曼效应,对振动拉曼效应进行了较系统的总结。30年代至60年代,拉曼散射的研究处于一个低潮时期,主要的原因来自激发光源太弱的问题。直到1960年,红宝石激光器的出现,使得拉曼散射的研究进入了一个全新时期。由于红宝石激光器的单色性好、方向性强、功率密度高,用它作为激发光源,大大提高了激发效率。1962年,珀托和伍德首次报道了运用脉冲红宝石激光器作为拉曼光谱的激发光源来开展拉曼散射的研究,从此激光拉曼散射成为众多领域在分子原子尺度上进行振动谱研究的重要工具。

拉曼光谱仪经历了从色散型拉曼光谱仪开始,发展到傅立叶变换拉曼光谱仪(抑制荧光效应强,测量快

速),共振拉曼光谱仪(增强散射截面,抑制荧光),紫外拉曼光谱仪(紫外光的穿透深度浅,特别适合探测获得表面信息),到小型拉曼光谱仪(能耗小,效率高,适合长时间工作),利用共聚焦效应可以测量不同深度层面的拉曼光谱信息和图像,进行三维立体拉曼光谱的测量研究工作。利用输出功率大的激光脉冲作为激发光源,通过受激拉曼散射、反拉曼散射、超拉曼散射、相干反斯托克斯拉曼散射等效应,发展非线性的拉曼散射,其优点是信噪比高,相干性好,抑制荧光和抗热辐射能力强。利用超快脉冲技术,发展纳秒、皮秒、飞秒时间分辨拉曼光谱技术,可以研究分子、原子跃迁和瞬态过程。结合近场光学显微镜的特点发展的近场拉曼光谱仪,近场拉曼图像仪,扩展了光学衍射的分辨率;结合利用表面增强效应,提高测试精度和灵敏度,可以测量单分子的拉曼光谱;结合共聚焦的深度层面探测,可以获得三维立体拉曼图谱和图像。

一、基本原理

当一束激光的光子与作为散射中心的分子发生相互作用时,大部分光子仅是改变了方向,发生散射,而光的频率仍与激发光源一致,这种散射称为瑞利散射。但

也存在很微量的光子不仅改变了光的传播方向，而且也改变了光波的频率，这种散射称为拉曼散射（图 18）。拉曼散射的产生原因是光子与分子之间发生了能量交换，改变了光子的能量。

拉曼光谱分析法是基于印度科学家 C.V. 拉曼（Raman）所发现的拉曼散射效应，对与入射光频率不同的散射光谱进行分析以得到分子振动、转动方面信息，并应用于分子结构研究的一种分析方法。散射光与入射光之间的频率差 ν 称为拉曼位移，拉曼位移与入射光频率无关，它只与散射分子本身的结构有关。拉曼散射是由于分子极化率的改变而产生的。拉曼位移取决于分子振动能级的变化，不同化学键或基团有特征的分子振动， ΔE 反映了指定能级的变化，因此与之对应的拉曼位移也是特征的。这是拉曼光谱可以作为分子结构定性分析的依据。拉曼谱的参数主要是谱峰的位置和强度。峰位是样品分子电子能级基态的振动态性质的一种反映，它是用入射光与散射光的波数差来表示的。峰位的移动与激发光的频率无关。拉曼散射强度与产生谱线的特定物质的浓度有关，成正比例关系。

二、基本结构

目前根据激光拉曼光谱仪用途来进行划分，可以分为三种类型。

1. 便携式拉曼光谱仪：用于现场或者野外测量；
2. 激光共聚焦拉曼显微成像光谱仪：用于实验室的固定激发波长的类型；
3. 两级或者三级光谱仪组合而成的大型的拉曼光谱仪（图 19）：用于实验室的可变激发波长的类型。其主体光谱仪结构由激光光源、外光路、色散系统、接收系统和信息处理系统五部分组成（图 20）。
1. 激光光源：它的功能是提供单色性好、功率大并且最好能多波长工作的入射光。目前拉曼光谱实验的光源已经全部用激光器代替历史上使用的汞灯。对常规的拉曼光谱实验，常见的气体激光器基本上可以满足实验的需要。在某些拉曼光谱实验中要求入射光的强度稳定，这就要求激光器的输出功率稳定。
2. 外光路：包括聚光、集光、样品架、滤光和偏振等部件。
3. 色散系统：使拉曼散射光按波长在空间分开，通常使用单色仪。由于拉曼散射强度很弱，因而要求拉曼光谱仪有很好的杂散光水平。各种光学部件的缺陷，尤其是光栅的缺陷，是仪器杂散光的主要来源。当仪器的杂散光本领小于 10~4 时，只能作气体、透明液体和透明晶体的拉曼光谱。
4. 接收系统：拉曼散射信号的接收类型分单通道和多通道接收两种。光电倍增管接收就是单通道接收。
5. 信息处理：为了提取拉曼散射信息，常用的电

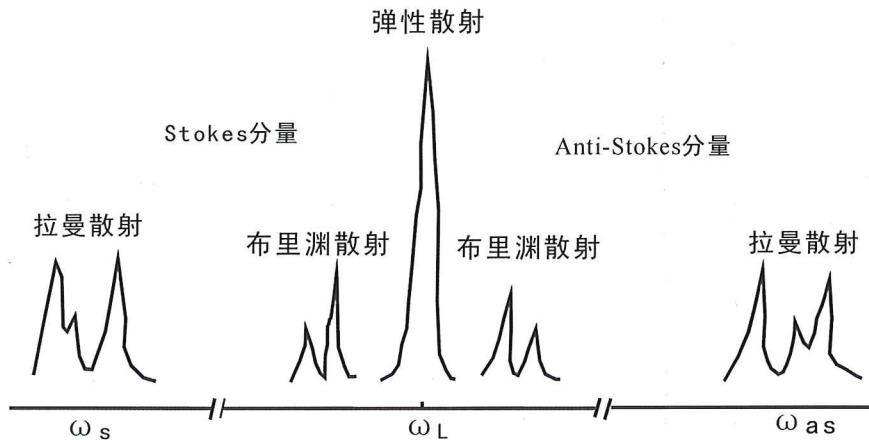


图 18 激光拉曼散射原理图

子学处理方法是直流放大、选频和光子计数，然后用记录仪或计算机接口软件画出图谱。

三、拉曼光谱仪宝石学方面的应用

1. 宝石内含物的研究分析

拉曼光谱分辨率高、灵敏度高，检测快速无损。应用拉曼光谱技术，不仅可以用于宝石内部流体包裹体的定量检测（图 21~23），而且也可以用于固体包裹体的检测（图 24）；不仅可以鉴定矿物表面的包裹体，而且也可以快速检测矿物内部的包裹体。

利用拉曼光谱技术可以鉴定出金刚石中的镁橄榄

石（图 25~26）、透辉石、石榴石、石墨及铬铁矿等矿物包裹体。还可以利用拉曼光谱技术测定斯里兰卡紫色蓝宝石中的固体矿物包裹体为方解石、锆石和磷灰石；缅甸和斯里兰卡红宝石中的矿物包裹体为金红石、尖晶石、方解石、榍石及赤铁矿，这些宝石内含物的测定大大地提高了宝石学的研究水平。

2. 石榴石族宝石品种的划分

石榴石族宝石类质同象的普遍性，颜色的多样性，物理化学性质的相近性，使得石榴石品种间的常规鉴别存在一定的难度。另外，绿色的水钙铝榴石常被用作绿色翡翠的替代品，而最近市场上出现了越来越多的黄色



图 19 激光拉曼光谱仪外观图

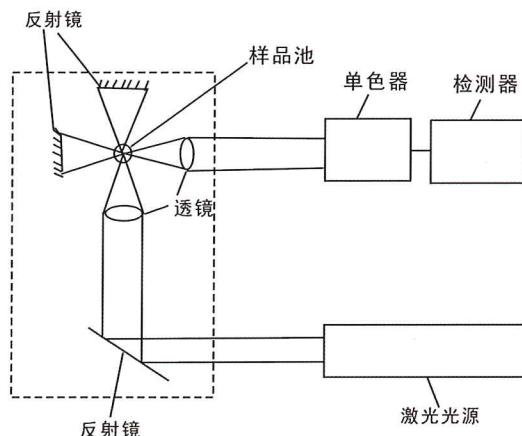


图 20 激光拉曼光谱仪内部结构图

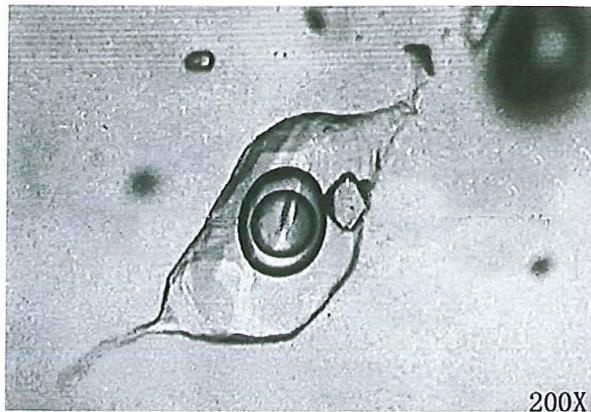


图 21 四川绿柱石中多相态流体包裹体

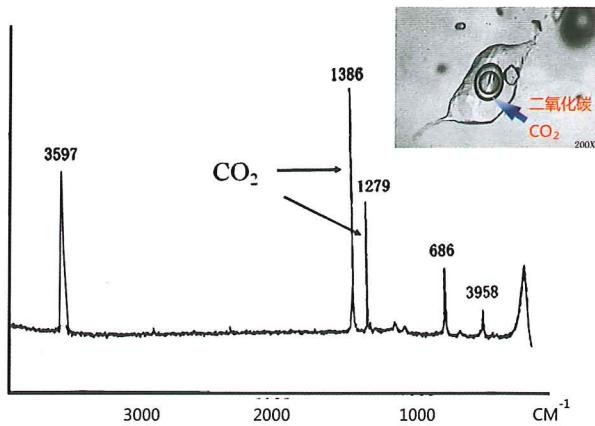


图 22 多相流体包裹体中二氧化碳拉曼光谱

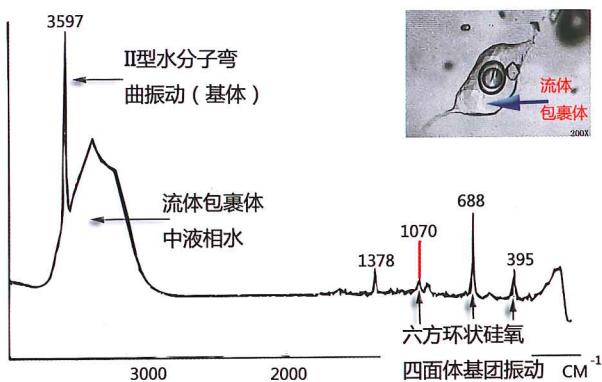


图 23 多相流体包裹体中流体包裹体拉曼光谱

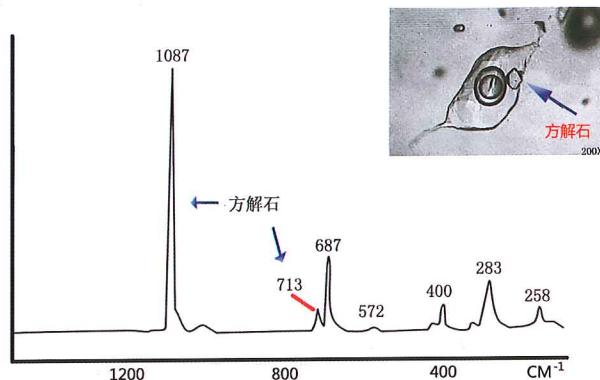


图 24 多相流体包裹体中方解石拉曼光谱

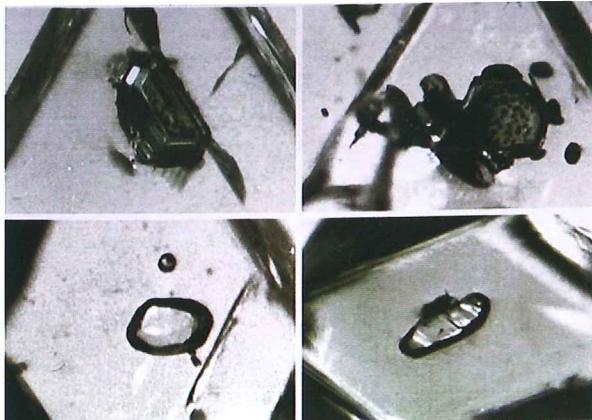


图 25 辽宁钻石中橄榄石包裹体

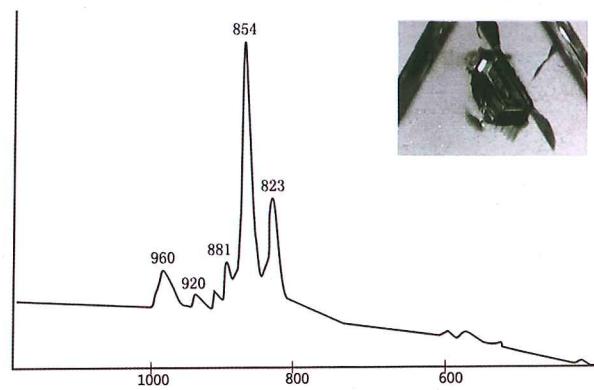


图 26 辽宁钻石中橄榄石包裹体拉曼光谱

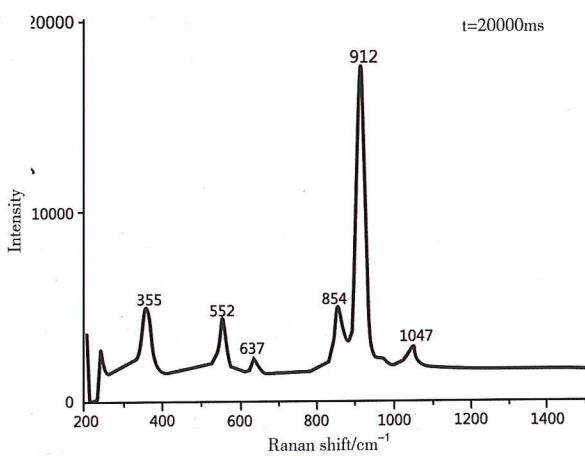


图 27 镁铝榴石拉曼光谱

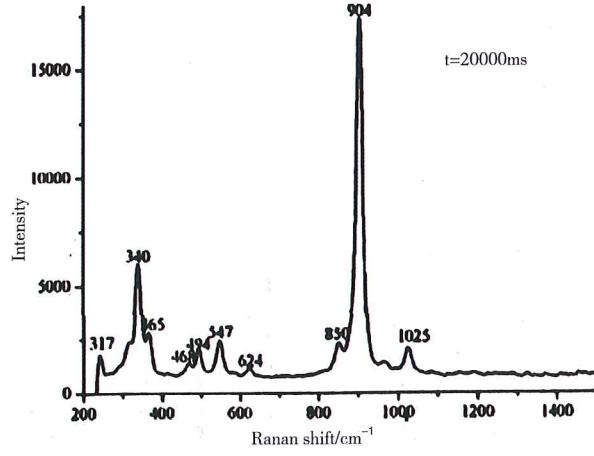


图 28 铁铝榴石拉曼光谱

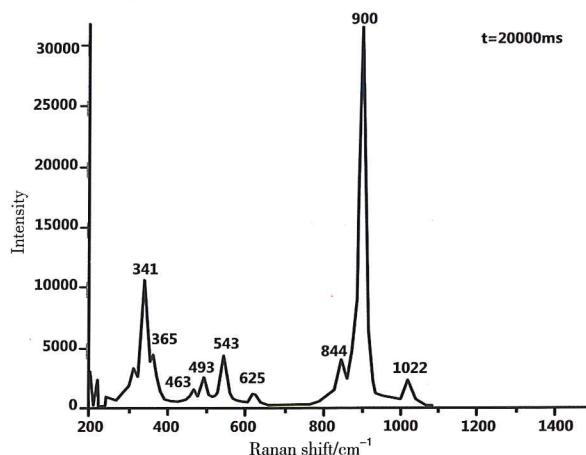


图 29 锰铝榴石拉曼光谱

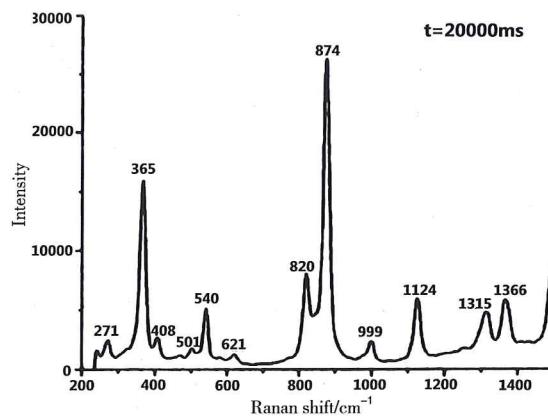


图 30 钙铝榴石拉曼光谱

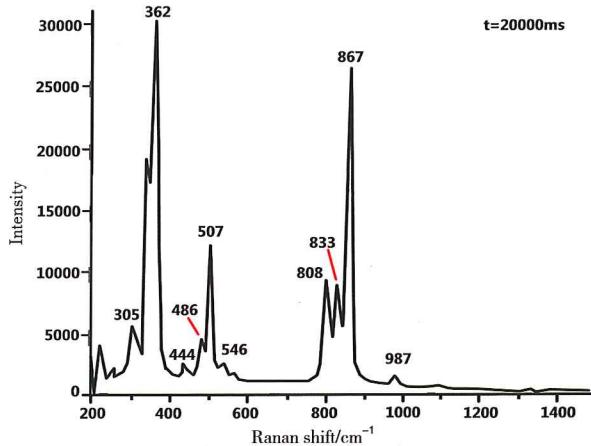


图 31 钙铁榴石拉曼光谱

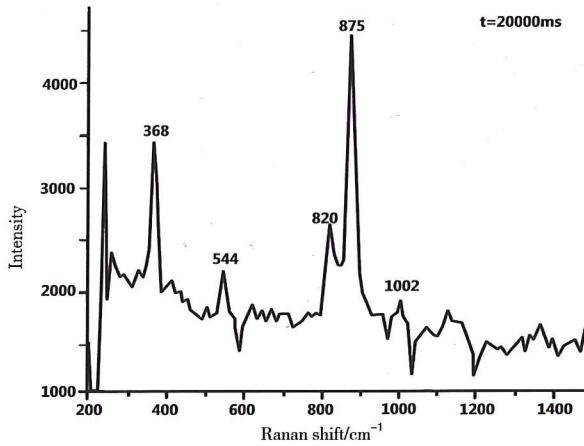


图 32 水钙榴石拉曼光谱

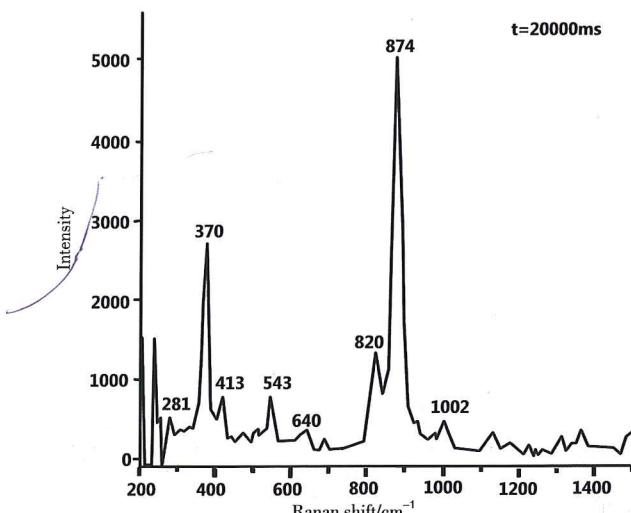


图 33 钙铝榴石多晶质集合体拉曼光谱

钙铝榴石多晶质集合体，被用作黄色翡翠的替代品，其常规仪器鉴定难度较大，甚至有些检测单位将其误认为翡翠或符山石。利用激光拉曼光谱技术可以快速有效地对石榴石进行分类和鉴定（图 27~33）。

3. 淡水养殖珍珠颜色成因分析

淡水养殖珍珠中代表致色有机物的两个吸收峰 1527 cm^{-1} 及 1132 cm^{-1} 相对强度随珍珠颜色的加深而加大，成正比关系。为典型的全共扼双键的类胡萝卜素颜料引起。

为定量计算有机物与文石谱峰强度比，对每个光谱以 1165cm^{-1} 至 1095cm^{-1} 为基线，计算代表有机物峰强的积分面积 S_1 ；再以 1095cm^{-1} 至 1070cm^{-1} 为基线，

计算代表文石峰强的积分面积 S₂, 最后计算两个峰强的比值 R=R₁/S₂。

R 值可以近似地定量代表珍珠中有机物的含量。对淡水养殖珍珠样品 R 值的测量, 可以作为评价珍珠白度的定量指标(图 34)。

4. 红珊瑚及其处理与仿制品鉴定

宝石级红珊瑚的主要成分为方解石, 白色部分为方解石, 在 1085、712、282 cm⁻¹ 处出现典型的方解石拉曼谱峰(图 35)。其红色部分具有 1518 (1517)、1296、1128、1016 cm⁻¹ 和 3740、3361、3032、2633、2250 (2247)、2147 (2146) cm⁻¹ 的吸收谱峰(图 36)。

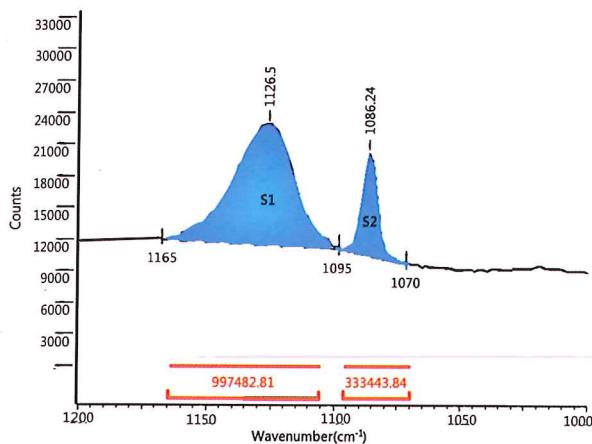


图 34 淡水养殖珍珠样品 R 值与珍珠白度之间的关系图

由于染色红珊瑚大多使用白色珊瑚染色而成, 因此, 染色红珊瑚的拉曼光谱除了出现代表方解石的拉曼谱峰外, 还出现了染色剂的拉曼谱峰。染色剂可能采用多种物质, 其两组特征的拉曼光谱主要谱峰分别位于 1475、1395、1335、1240、1201、913 cm⁻¹ 和 1649、1508、1361、1203、913 cm⁻¹(图 37)。不排除采用其他染色剂对珊瑚进行染色的可能性, 但所有染色剂与珊瑚中天然有机物比较, 拉曼光谱完全相同的可能性极小。

而对于珊瑚的仿制品一般是由贝壳、砗磲染色形成, 主要是由方解石拉曼峰与染色剂峰复合而成, 利用天然红珊瑚拉曼谱峰对比很容易区分。

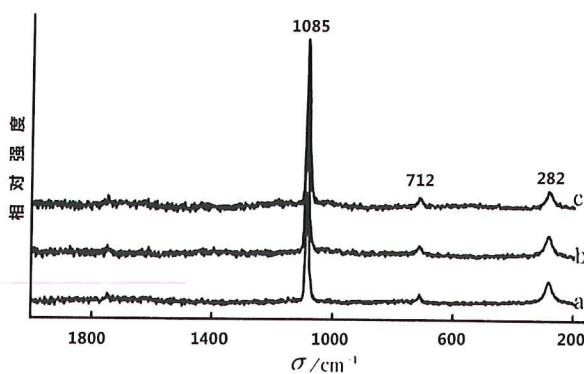


图 35 天然白珊瑚和宝石级红珊瑚白芯拉曼光谱图

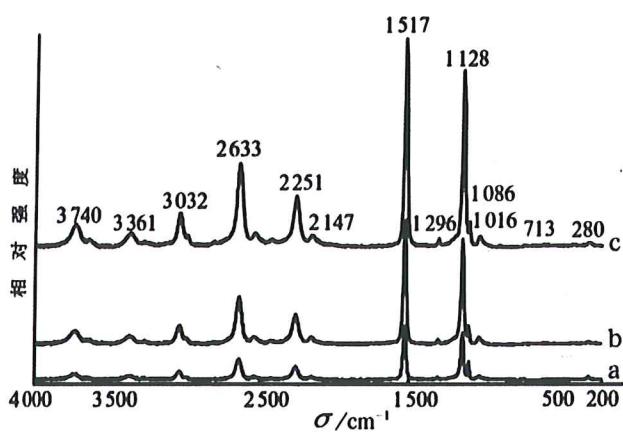


图 36 阿卡珊瑚红色部分拉曼光谱图

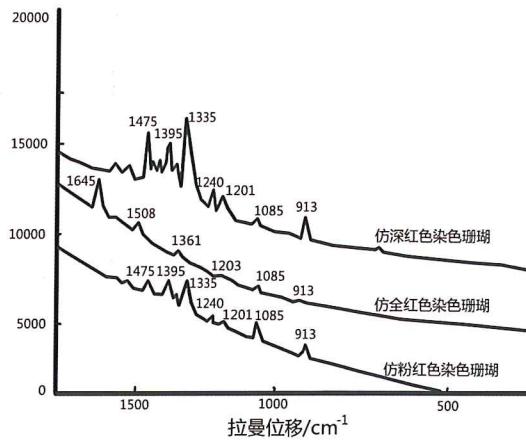


图 37 天然红珊瑚与染色红珊瑚拉曼光谱

第三节 紫外—可见分光光度计

分光光度计是杜包斯克 (Duboscq) 和奈斯勒 (Nessler) 等人在 1854 年将朗伯比尔定律应用于定量分析化学领域，并且设计出来的。1918 年，美国国家标准局制成了第一台紫外—可见分光光度计。紫外可见分光光度计除被广泛应用于物理学、化学、生物学、医学、材料学、环境科学等基础学科研究领域，还被应用于化工、医药、环境检测、冶金等应用学科领域。目前紫外—可见分光光度计在宝石学方面应用比较广泛，主要用于宝石真伪鉴别及宝石呈色机理的研究等方面。

一、基本原理

紫外—可见吸收光谱是在紫外—可见光电磁辐射作用下，由分子中的电子在能级间跃迁而产生的一种分子吸收光谱。当一束足够能量的光照射宝石时，分子的内能发生改变，3 种能量都发生跃迁，即： $\Delta E = \Delta E_e + \Delta E_v + \Delta E_r$ 。其中 ΔE_v 和 ΔE_r 产生的吸

收光谱分别位于红外区和远红外区， ΔE_e 产生的吸收光谱位于紫外—可见区。由于 ΔE_e 远远大于 ΔE_v 和 ΔE_r ，所以当发生电子能级跃迁时，则同时伴随有振动能级和转动能级的改变，因此，分子的紫外—可见吸收光谱是由许多线光谱聚集在一起的带状光谱。

无机物的紫外—可见吸收光谱的电子跃迁形式，一般分为两大类，配位场跃迁和电荷迁移跃迁（图 38）。配位场跃迁包括 $d \rightarrow d$ 跃迁和 $f \rightarrow f$ 跃迁。元素周期表中第四、五周期的过渡金属元素分别含有 3d 和 4d 轨道，镧系和锕系元素分别含有 4f 和 5f 轨道。在配体的存在下，过渡元素 5 个能量相等的 d 轨道和镧系元素 7 个能量相等的 f 轨道分别分裂成几组能量不等的 d 轨道和 f 轨道。当它们的离子吸收光能后，低能态的 d 电子或 f 电子可以分别跃迁至高能态的 d 或 f 轨道，这两类跃迁分别称为 $d \rightarrow d$ 跃迁和 $f \rightarrow f$ 跃迁。在配合物的中心离子和配位体中，当一个电子由配体的轨道跃迁到与中心离子相关的轨道上时，可产生电

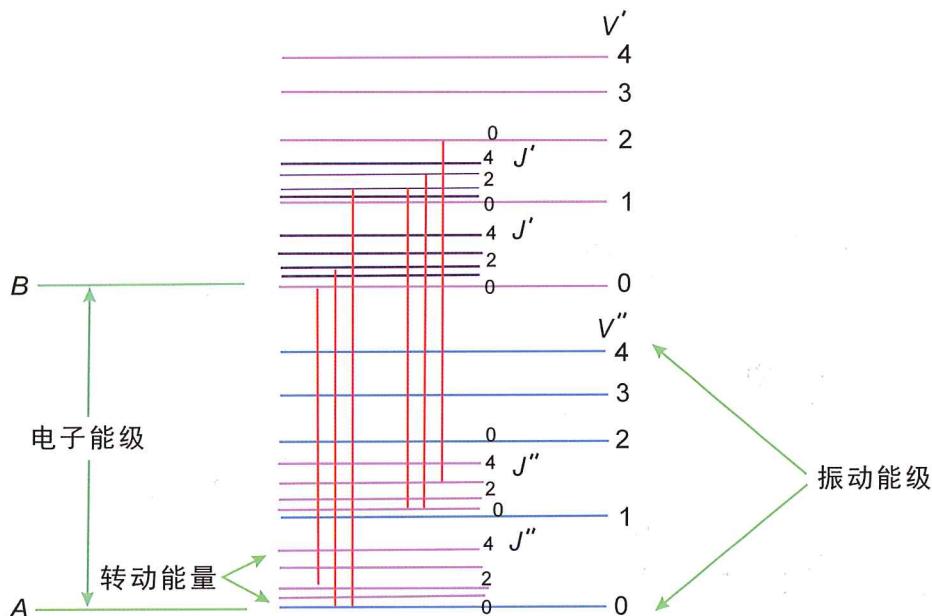


图 38 分子能级跃迁示意图

荷迁移吸收光谱。

对于宝石来说，绝大多数都是无机化合物，这些化合物由于组成和结构上的不同都有各自特征的紫外—可见吸收光谱。因此可以从吸收光谱的形状、波峰的位置及强度、波峰的数目等进行定性分析，为研究宝石的内部结构提供重要的消息。

二、紫外—可见分光光度计基本结构

目前，市场上的紫外—可见分光光度计由分光计和光度计两部分组成。一般把仪器光路中从进口狭缝到

出口狭缝之间的部分称为分光计，即单色器。分光计的职能是产生单色光，所谓单色光，就是具有一定频率的光，所以有时把光源室亦包括在单色器之内。光度计，顾名思义，它的作用是度量光的强度，由检测器和记录仪（或其他显示装置）组成（图 39）。

宝石检测中常用的紫外—可见分光光度计为双光束分光光度计（图 40），入射光经过单色器分解成两束光，一束通过参比池，一束通过样品池。光度计比较两束光的强度，经过计算将它们转换成吸收光度并作为波长的函数记录下来，并自动记录吸收光谱曲线（图 41）。

紫外—可见分光光度计测试宝石一般采用两种测试方法：直接透射法和反射法。

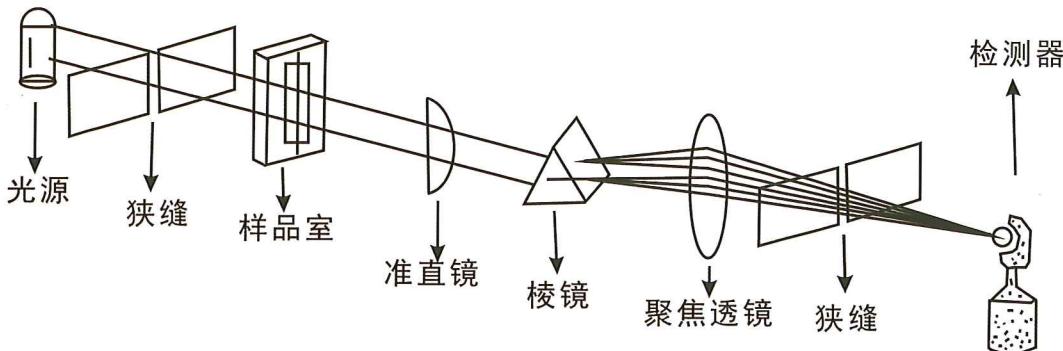


图 39 分光光度计结构示意图



图 40 紫外—可见分光光度计

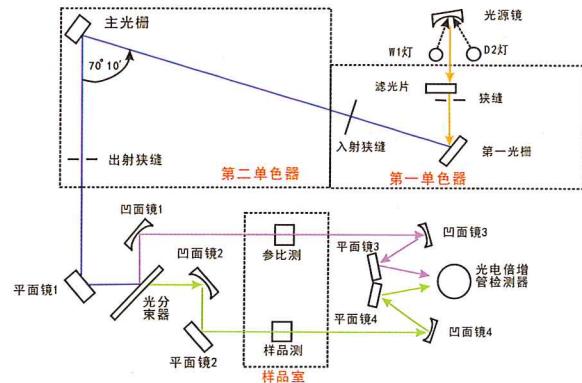


图 41 紫外—可见分光光度计内部结构示意图

1. 直接透射法

以空气作空白参比，让样品光束直接照射到宝石样品上，光度计自动比较计算两束光的强度，并转换为吸光度作为波长函数记录下来。由于宝石样品大多具有一定的厚度，透明度较差且有些已经镶嵌在不透明物品上，使得光束不能透过，从而大大限制了紫外—可见吸收光谱的应用范围。一般多用于宝石磨片后的有损检测，作为科学使用。

2. 反射法

目前随着宝石材料的研究越来越热，不透明宝石样品的吸收光谱的需求更加强烈，积分球广泛应用于分光光度计，使得不透明样品的吸光度测试成为可能。积分球是一个具有高反射性内表面的空心球体。当一束光照射在不透明固体样品表面时，由于样品表面并非镜面，产生面向四面八方的漫反射。漫反射的光线，到达积分球内壁，积分球内壁均匀涂满高反射性材质（比如 BaSO₄），由于积分球是一个封闭的中空球体，反射的光线经过无数次反射后最终几乎全部均匀地进入检测器。因此可以得到样品反射率的信息，再通过仪器自带的计算软件根据入射光和反射光的信息计算得到吸光度的数值，并绘制成吸收曲线。应用积分球测试时，一般要求样品待测面应该略大于积分球开孔，但是由于宝石体积大小不一，外形切工复杂，使得带积分球的分光光度计应用于宝石测量的通用性不强。目前国内都有些仪器公司正在着手于宝石专用的紫外—可见分光光度计的开发研制工作。届时，宝石的紫外—可见吸收光谱将为宝石的研究和鉴定提供更加丰富的信息。

三、宝石学方面的应用

1. 天然宝石与合成及优化处理宝石的鉴别

1) 天然及处理黄色蓝宝石鉴别

天然黄色蓝宝石，热处理黄色蓝宝石，辐照处理黄色蓝宝石都有 O²⁻ → Fe³⁺ 荷移产生的紫外区吸收，除此之外天然蓝宝石在 375nm、387nm 和 450nm 处有吸收窄带，这是由 Fe³⁺ 的 d 电子跃迁产生的；辐照处

理黄色蓝宝石的吸收光谱中 387nm 和 450nm 吸收谷弱，这是由于辐射处理黄色蓝宝石中 Fe³⁺ 晶体场带弱；辐照处理黄色蓝宝石还有分别以 405nm、580nm 为重心的吸收宽带。405nm 吸收宽带可能是属空穴心所致；580nm 吸收宽带是 Fe²⁺ → Ti⁴⁺ 的电荷转移吸收所致。

2) 天然红宝石与染色红宝石鉴别

染色红宝石和天然红宝石都有 600~800nm 的吸收带，此外，天然红宝石在 550nm 处有 Cr³⁺ 的吸收峰，而染色红宝石则没有，因为染色红宝石原本为无色刚玉。

2. 宝石呈色机理研究

紫外—可见吸收光谱的许多特征是由各种过渡金属离子的电子构型和配位体结构中的几何要素所决定的。

1) 红宝石呈色机理

红宝石吸收光谱中，出现 410nm 和 540nm 处的吸收带和 690nm 处的锐峰，被认为是典型的 Cr³⁺ 的 d → d 跃迁，是红宝石致红色的主要原因。另外，在其吸收光谱中还发现在 500~600nm 之间有吸收带，被认为是 Ti³⁺ 的 d 电子吸收光能而产生的 2T_{2g} → 2E_g 跃迁所致。由于自旋轨道分裂和 Jahn-Teller 分裂，使电子产生跃迁需要的能量与正八面体场中从 2T_{2g} → 2E_g 所需的能量有所差异，在光吸收谱中就表现为吸收带的左右移动（图 42）。

2) 蓝宝石呈色机理

蓝宝石的紫外—可见吸收光谱位于 377nm、388nm、451nm（461nm、471nm）、510nm、570nm 和 810nm 处。这些吸收带以下分别用 a₁、a₂、a₃、d、b 和 c 表示。a₁、a₂ 和 a₃ 吸收带存在于各色的蓝宝石中，它们的特点是吸收带较窄，强度较大且 a₁>a₂>a₃。这些吸收带均为蓝宝石晶格中 Fe³⁺ 的 d → d 电子跃迁引起。Fe³⁺—Fe³⁺ 交换耦合离子对对 a₁ 和 a₃ 带的产生有重要的影响。b 带仅见于蓝色和蓝绿色的蓝宝石中，该吸收带很宽，峰形呈舒缓状。在含 H、Fe、Ti 的蓝宝石中 b 吸收带是由缺陷团产生的。在近垂直 C 轴（与 C 轴交角 70°）的方向上，Fe²⁺ 和

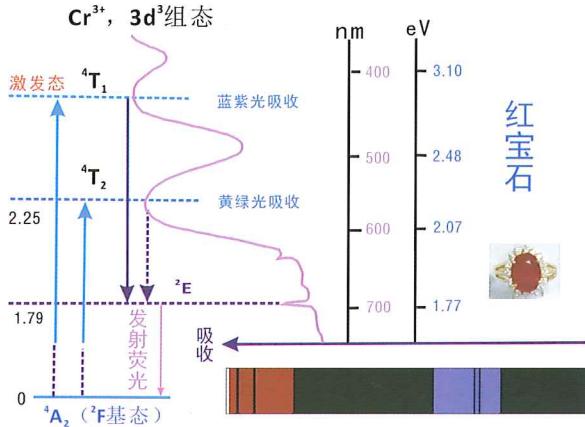


图 42 红宝石呈色机理图

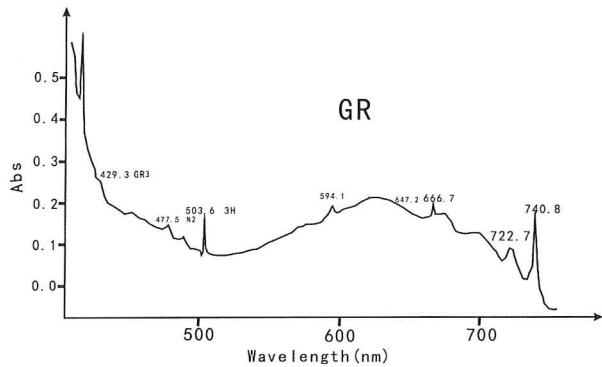
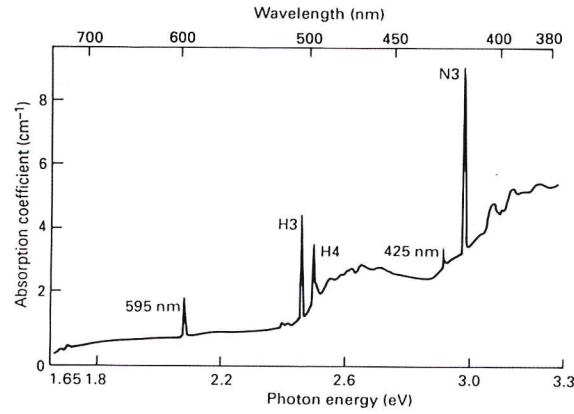
图 43 人工辐照处理的绿色钻石的各种色心：
N3、N2 和 H3 的紫外—可见光谱

图 44 黄色辐照处理钻石，Ia型钻石

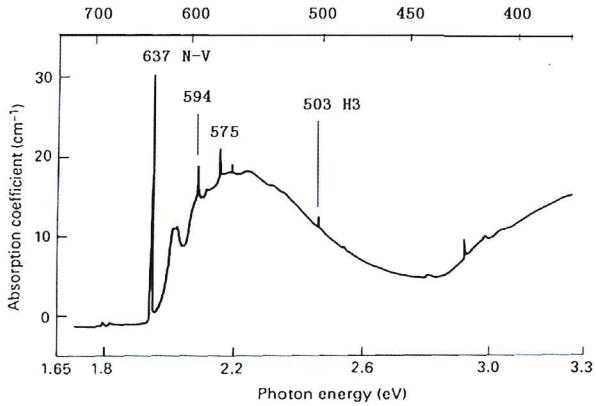


图 45 浅红色辐照处理的钻石，Ib型

Ti^{4+} 分别取代两个共棱 $[AlO_6]$ 八面体中的 Al^{3+} ，构成 $Fe^{2+}-Ti^{4+}$ 离子对。它们的原子轨道相互重叠，形成分子轨道 σ 和 σ^* 。二者之间的电子跃迁产生 b 吸收带。c 带在大部分样品中均可见到，但强度变化较大。根据 c 带的特征以及它与 d 带的相关性，其归属于 $Fe^{2+}-Fe^{3+}$ 电荷转移。d 带仅见于部分样品中，一般被认为是 Ti^{3+} 的 $d \rightarrow d$ 跃迁。紫色翡翠主要吸收带是中心为 505nm 的宽谱带，一般认为由 Ti^{3+} 中 $d \rightarrow d$ 电子 $2T_g$ ($2T_{2g}$) $\rightarrow 2E_g$ ($2E_g$) 跃迁引起。此外，在 430nm 处有一条锐谱带，由 Fe^{3+} 离子 $d \rightarrow d$ 电子 $6A_1 \rightarrow 4E$

跃迁引起；在 555nm 处有一条极弱的谱带，被认为是由 Mn^{3+} 离子 $d \rightarrow d$ 电子 $5B_1 \rightarrow 5E$ 跃迁产生的。

3. 彩色钻石的鉴定

辐照处理后的各种颜色的钻石具有多种色心结构（图 43~45），利用紫外—可见光谱可以将其与天然的有效区分。

- 1) N3 色心：导致 415nm 为主的吸收，由三个 N 组成面状的三角形，属天然成因。
- 2) GR1 色心（又称 C 色心）：钻石中 C 缺位造成

的，导致 741nm 为主的吸收，天然和人工辐照成因。

3) N-V 色心：与 1 个 C 缺位相伴的 N 组成的缺陷，如果缺陷中俘获了电子，就导致 637nm 的吸收；如果没有俘获电子，则导致 575nm 的吸收，人工辐照成因为主。

4) H4 色心：N 的 B 集合体（环绕 1 个空穴的 4 个 N 原子）俘获 1 个空穴，造成 496nm 的吸收，主要是人工处理成因。

5) H3 色心：N 的 A 集合体（成对的 2 个 N 原子）俘获 1 个空穴，造成 503nm 的吸收，主要是人工处理成因。

6) H2 色心：GR1 色心与 H3 色心组合形成 H2 色心，导致 986nm 的吸收，高温高压处理成因。

7) 594 色心：色心的结构不清楚，产生 594nm 的吸收，典型的人工处理成因。

8) H1b, H1c 色心：位于红外光区的 2024nm (4940cm^{-1}) 和 1934nm (5170cm^{-1}) 的吸收，594 色心分别与 A 集合体、B 集合体结合形成的新集合体。

4. 金色染色珍珠的鉴定

不同饱和度的金色海水珍珠样品在紫外—可见光范围内，表现为以 356 nm ($\pm 2\text{ nm}$) 为中心的最大吸收宽谱带，其右侧谱带延展至可见光蓝紫区内，导致在 400~500 nm 波长范围内呈现强度不等的选择性吸收。随着样品饱和度的递减，356nm ($\pm 2\text{ nm}$) 处吸收谱带的相对吸收强度也相应降低（图 46）。356nm 处特征吸收谱带可视为判别金色海水珍珠是否染色的诊断性证据之一。

染色处理金色海水珍珠根据染色程度不同会有所差异（图 47）。深层染色处理金色海水珍珠中由染色剂导致一组强吸收谱带主要位于可见光蓝紫区 426 nm ($\pm 2\text{ nm}$) 处；浅表层染色处理金色海水珍珠中出现性质完全不同的两组特征吸收谱带，其中一组位于可见光蓝紫

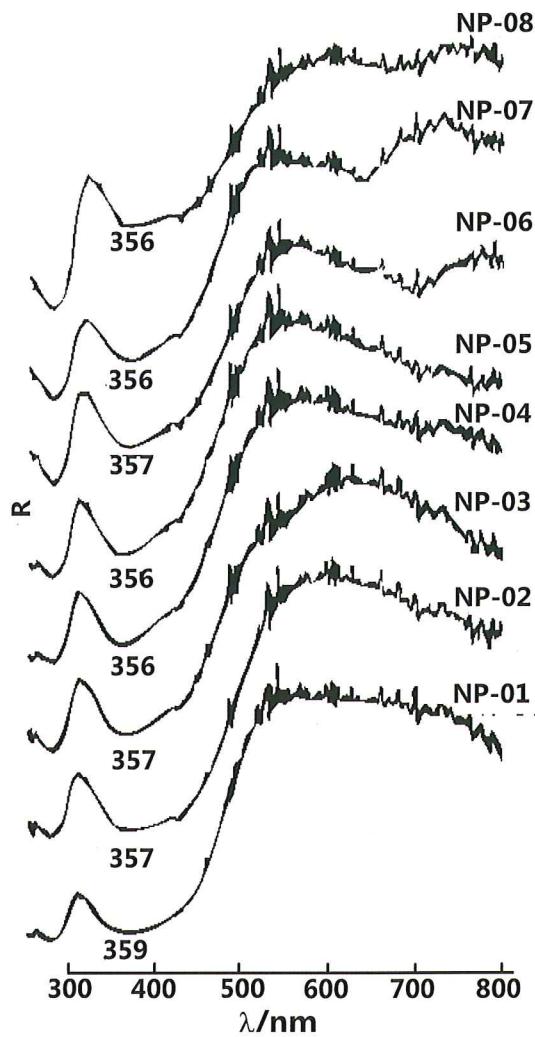


图 46 金色海水珍珠样品的 UV-NIS 反射光谱
注：自 NP-01—NP-08，样品饱和度递减

区 427 nm ($\pm 2\text{ nm}$) 处，应归因于外来染色剂所致；另一组则位于紫外区 353 nm ($\pm 2\text{ nm}$) 处，为自身的有机致色因子所致。金唇贝中金黄色珍珠内层的紫外可见光谱与金色海水珍珠的基本相同（图 48），356nm ($\pm 2\text{ nm}$) 处特征谱带的吸收强度与其珍珠层内黄色有机色素的浓度呈正相关关系，说明了金色海水珍珠与金唇贝在呈色与成核上的依附性和继承性。

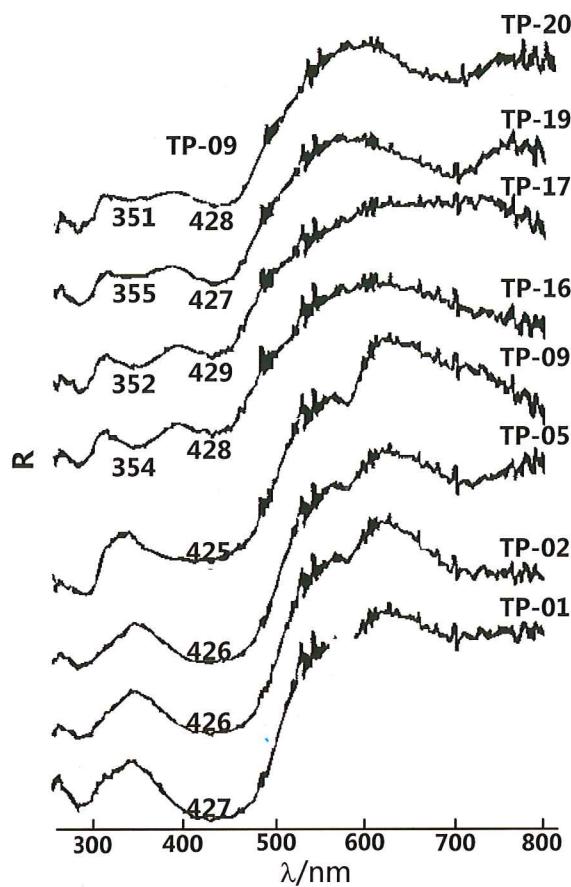


图 47 金色海水珍珠样品的 UV-NIS 反射光谱
注：自 NP-01—NP-08，样品饱和度递减

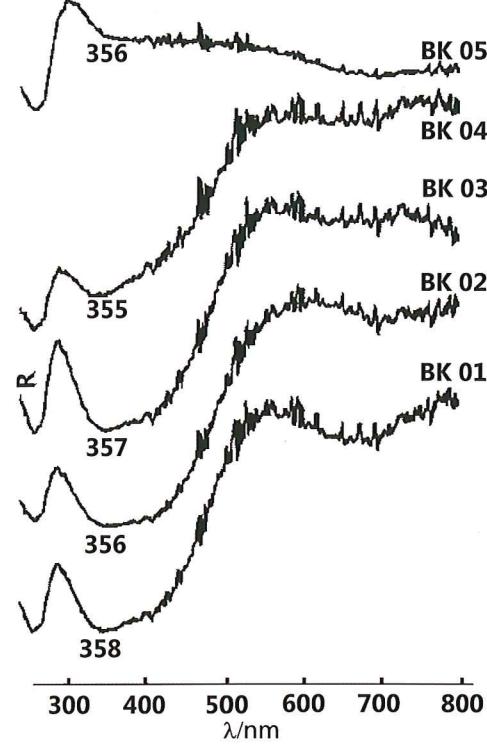


图 48 金唇贝壳样品的 UV-NIS 反射光谱
注：BK-01-BK-05，自珍珠内层的外缘向中心

第四节 X 射线荧光光谱仪

自 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 (Georgs S) 发现了 X 射线荧光，1948 年弗利德曼 (Friedman H) 和伯克斯 (Birks L S) 首先研制了第一台商品性的波长色散 X 射线荧光光谱仪以来，X 射线荧光光谱分析技术发展迅速。X 射线荧光光谱分析是材料科学、生命科学、环境

科学等普遍采用的一种快速、准确而又经济的多元素分析方法，已被广泛用于冶金、地质、矿物、石油、化工、生物、医疗、刑侦、考古等诸多部门和领域。在珠宝首饰行业中，X 射线荧光光谱仪可以用于贵金属类型及含量、宝石中特殊元素的检测。

一、基本原理

当一束高能粒子与原子相互作用时，如果其能量大于或等于原子某一轨道电子的结合能，将该轨道电子逐出，对应的形成一个空穴，使原子处于激发状态。K层电子被击出称为K激发态，同样L层电子被击出称为L激发态（图49）。此后在很短时间内，由于激发态不稳定，外层电子向空穴跃迁使原子恢复到平衡态，以降低原子能级。当空穴产生在K层，不同外层的电子（L、M、N……层）向空穴跃迁时放出的能量各不相同，产生的一系列辐射统称为K系辐射。同样，当空穴产生在L层，所产生一系列辐射则统称为L系辐射。当较外层的电子跃迁（符合量子力学理论）至内层空穴所释放的能量以辐射的形式放出，便产生了X荧光。X荧光的能量与入射的能量无关，它只等于原子两能级之间的能量差。由于能量差完全由该元素原子的壳层电子能级决定，故称之为该元素的特征X射线，也称荧光X射线或X荧光（图50）。

将样品中有待分析的各种元素利用X射线轰击使其发射其特征谱线，经过狭缝准直，使其近似平行光照射到分光晶体上，对已知其面间距为d的分光晶体点

阵面上的辐射加以衍射。依据布拉格定律，对于晶体的每一种位置，只可能有一种波长的辐射可被衍射，而这种辐射的强度则可用合适的计数器加以测量。分析样品时，鉴定所发射光谱中的特征谱线，就完成了定性分析，再将这些谱线的强度和某种适当标准的谱线强度进行对比，就完成了定量分析。

二、仪器基本结构

根据工作原理可将X荧光光谱仪分为波长色散型X荧光光谱仪（WD-XRF）（图51）和能量色散型X荧光光谱仪（ED-XRF）（图52）。

1. 波长色散型X荧光光谱仪（WD-XRF）一般由光源（X射线管）、样品室、准直器（索拉狭缝）、分光晶体、探测器（正比计数器或闪烁计数器）和数据处理系统等部件组成（图53）。它以X射线管作为样品元素的激发源，在数万伏的高压作用下，X射线管发射出X射线束（或称初级X射线或白色光）辐照在试样上，试样中各分析元素被同时激发，各元素发出各自的特征X

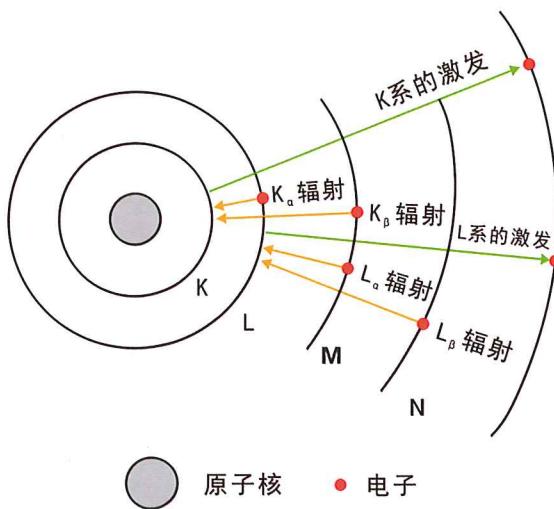


图49 K系和L系辐射产生示意图

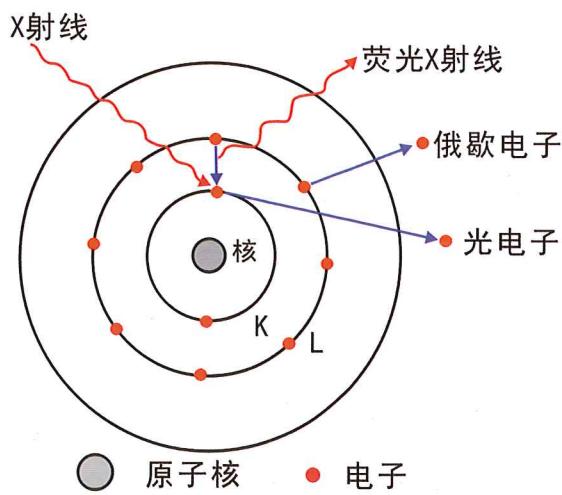


图50 荧光X射线及俄歇电子产生过程示意图



图 51 波长色散型 X 荧光光谱仪



图 52 能量色散型 X 荧光光谱仪

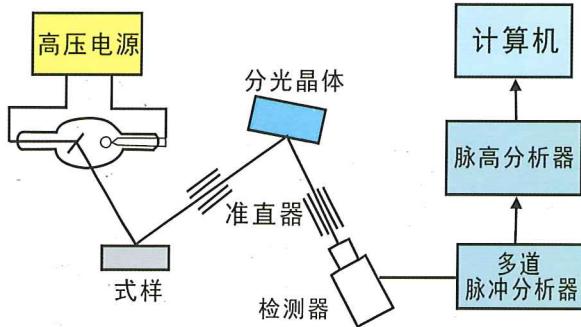


图 53 波长色散型 X 荧光光谱仪内部结构示意图

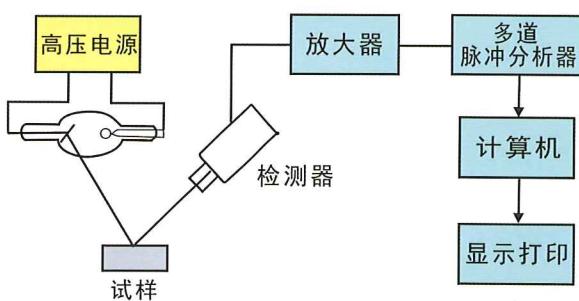


图 54 能量色散型 X 荧光光谱仪内部结构示意图

射线（或称二次 X 射线或 X 荧光）。这些特征 X 射线经准直器（索勒狭缝）准直，形成平行光，投射到安置在分光计中心测角仪上的分光晶体上。分光晶体按照布拉格角将各具有一定波长的特征 X 射线进行衍射，逐一“反射”入计数探测器中。计数器将所获得的电脉冲经放大器放大，送入脉冲幅度分析器按脉冲大小进行分类，再经计算机进行数据处理，根据其波长和强度完成定性或定量分析。

2. 能量色散型 X 荧光光谱仪（ED-XRF）是指通过测量被测元素发射的特征 X 射线能量与相应强度，达到定性或定量分析之目的的 X 射线荧光光谱仪。ED-XRF 光谱仪基本结构主要由光源（X 射线管、电子、放射源或重离子等）、样品室、探测器（半导体探测器、正比计数器或闪烁计数器）、脉冲放大器、多道脉冲幅

度分析器和数据处理系统等部件组成（图 54）。通常，ED-XRF 光谱仪是指以 X 射线管发射的特征 X 射线作为激发源的 X 射线荧光光谱仪。

三、宝石学方面的应用

1. 贵金属首饰含量的无损检测

GB/T 18043-2013《首饰贵金属含量的测定 X 射线荧光光谱法》国家标准（图 55）中就明确规定了利用 X 射线荧光光谱测定首饰中贵金属含量的方法及要求。适用于首饰和其他工艺品的定性分析及其中贵金属（金、银、铂、钯）含量的筛选检测（图 56~57）。检测过程中不需要破坏样品，检测速度快，精度高。

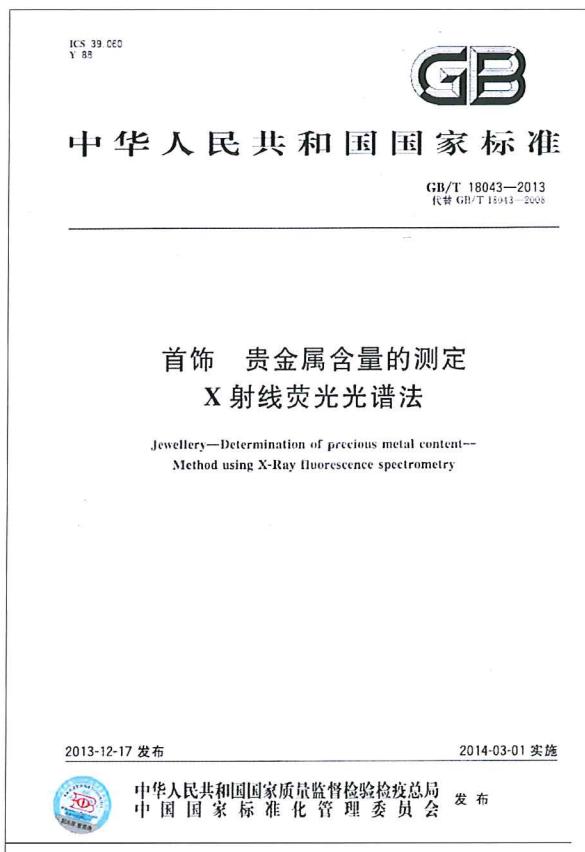


图 55《首饰贵金属含量的测定 X 射线荧光光谱法》国家标准

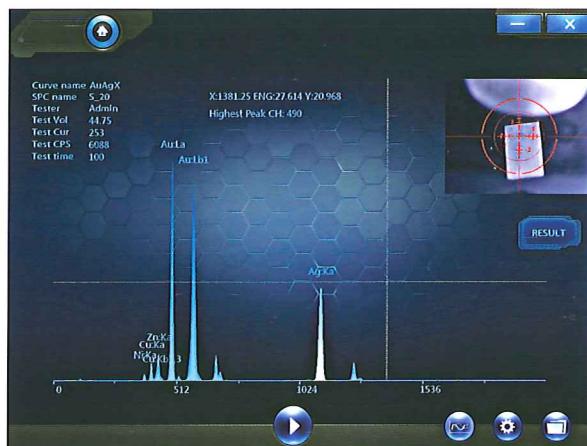


图 56 能量色散型 X 荧光光谱仪测试贵金属首饰含量



图 57 能量色散型 X 荧光光谱仪分析贵金属首饰含量数据

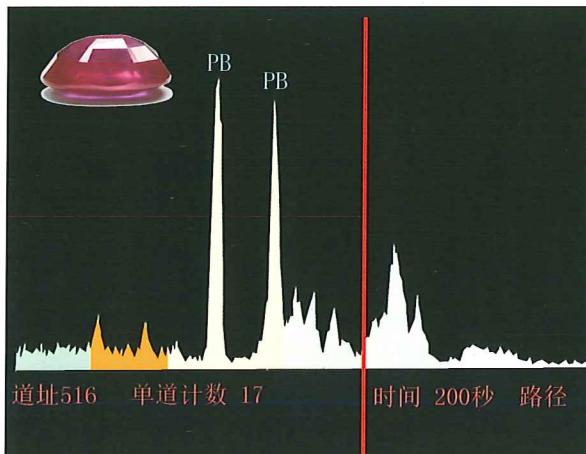


图 58 X 荧光光谱仪检测出充填处理红宝石中含有 Pb 元素

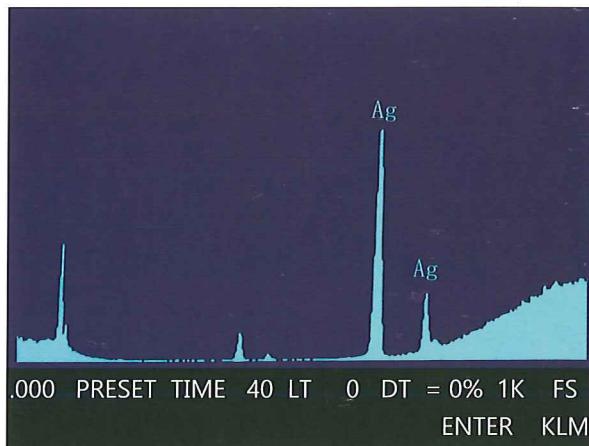


图 59 X 荧光光谱仪检测出染色处理黑珍珠中含有 Ag 元素

2. 充填处理红宝石鉴别

高铅玻璃材料 (PbO-Al₂O₃-SiO₂ 体系) 充填物的充填处理红宝石可使红宝石中的裂隙得以较好的填补和愈合，并能有效地改善红宝石的净度和透明度。由于高铅玻璃体的折射率值接近天然红宝石，故玻璃充填物的表面光泽与红宝石的十分接近。即便在宝石显微镜下，玻璃充填物与红宝石裂隙面之间的接触界线有时也不易观察到。因而，这类充填处理红宝石无论在外观特征还是在内部特征上都易与未处理的天然红宝石相混。

但通过 X 射线荧光光谱仪检测，发现充填处理红宝石中普遍含有 Pb 元素（图 58），而天然红宝石中几乎不含有 Pb 杂质元素，可以有效区分。

3. 染色黑珍珠的鉴别

目前市面上很多黑色珍珠采用银着色法使珍珠变黑，将珍珠浸泡在含硝酸银的稀氨水溶液中，暴露在光

或硫化氢气体中可得到深黑色珍珠，其致色原理是溶液中的银离子吸附到珍珠表面，并沿珍珠表面的微孔和晶质薄层的空隙向珍珠内部扩散，直至达到动态平衡。银离子与珍珠中碳酸钙分子和有机物分子之间形成引力而固着在珍珠上。

利用 X 射线荧光光谱仪可以检测到银盐染色黑珍珠 Ag 含量明显浓集于珍珠层表层（图 59）。

4. 宝石致色元素的检测

菱锰矿是典型的致色宝石矿物，其主要化学成分是 MnCO₃，常含有 Fe、Ca 等元素。因为含有致色离子 Mn²⁺，所以呈红色。不过，菱锰矿的颜色会随着 Ca 元素含量的增加而逐渐变浅，当 Fe 元素完全代替 Mn 以后，菱锰矿就会转换为褐色或是黄色。利用 X 荧光光谱仪可以有效检测出 Mn 含量与红色调浓艳程度成正比的关系。

第五节 扫描电镜

电子显微镜是以电子束作光源，电磁场作透镜，具有高分辨率和高放大倍率的显微镜。电子显微镜通过收集、整理和分析电子与样品相互作用产生的各种信息而获得物体的形貌和结构等。电子显微镜的类型可以根据电子信号和成像原理的不同而进行分类，常见的电子显微镜有透射电子显微镜（Transmission Electron Microscope, 缩写 TEM）和扫描电子显微镜（Scanning Electron Microscope, 缩写 SEM）。目前珠宝检测中常用的电子显微镜主要是扫描电子显微镜（SEM）。与光学显微镜相比电子显微镜用电子束代替了可见光，用电磁透镜代替了光学透镜并使用荧光屏将肉眼不可见的电子束成像，具有明显的优势。

一、基本原理

扫描电镜（图 60）是利用高能的入射电子轰击物质表面，在样品表面激发出二次电子、背散射电子等电子信号（图 61），二次电子、背散射电子多少与电子束入射角有关，也就是说与样品的表面结构有关，二次电子、背散射电子由探测体收集，并在那里被闪烁器转变为光信号，再经光电倍增管和放大器转变为电信号来控制荧光屏上电子束的强度，显像管中的电子束在荧光屏上也作光栅状扫描，并且这种扫描运动与样品表面的电子束的扫描运动严格同步，这样即获得强度与所接收信号强度相对应的扫描电子像，这种图像反映了样品表面的形貌特征。

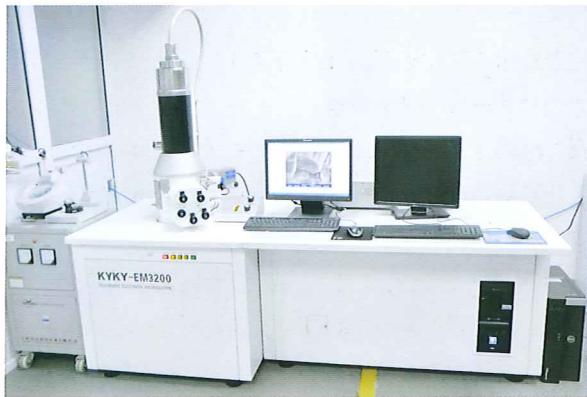


图 60 扫描电镜 (SEM)

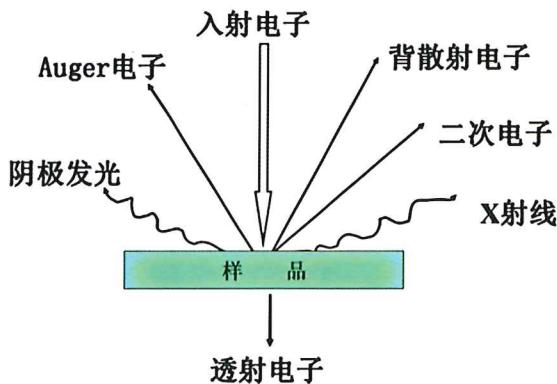


图 61 入射电子在样品表面激发出的各种电子信号

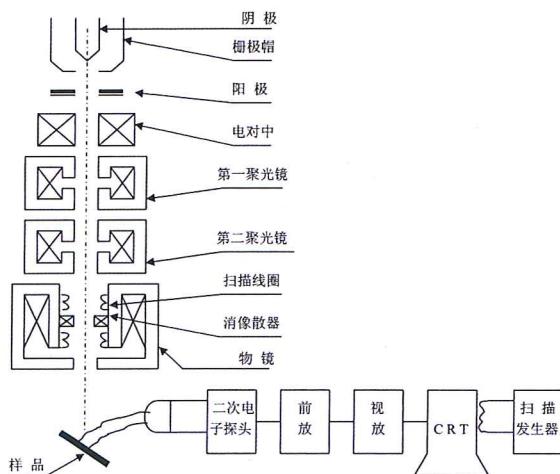


图 62 扫描电镜内部结构图

二、基本结构

扫描电镜主要由真空系统、电子束系统及成像系统三部分组成(图 62)。

1. 真空系统

真空系统主要包括真空泵和真空柱两部分。真空柱是一个密封的柱形容器，真空泵用来在真空柱内产生真空。之所以要用真空，主要基于以下两点原因：

电子束系统中的灯丝在普通大气中会迅速氧化而失效，所以除了在使用 SEM 时需要用真空以外，平时还需要以纯氮气或惰性气体充满整个真空柱。其次为了增大电子的平均自由程，从而使得用于成像的电子更多。

2. 电子束系统

电子束系统由电子枪和电磁透镜两部分组成，主要用于产生一束能量分布极窄的、电子能量确定的电子束用以扫描成像。

电子枪用于产生电子，主要有两大类，共三种，一类是利用场致发射效应产生电子，称为场致发射电子枪。另一类则是利用热发射效应产生电子，有钨枪和六硼化镧枪两种。

电磁透镜主要由汇聚透镜和物镜两组镜头组成。汇聚透镜用于缩小电子束，物镜除了缩小电子束之外，还可以用于聚焦电子束。

3. 成像系统

成像系统主要是利用电子探测器收集二次电子、背散射电子信息，经过放大到光电倍增管，光信号即被转变成电流信号，再经前置放大及视频放大，电流信号转变成电压信号，最后被送到显像管的栅极。显像管的荧光屏上的画面与样品被电子束照射面呈严格同步扫描，逐点逐行一一对应，这样就形成样品表面形貌。

三、扫描电镜在宝石学中的应用

1. 金覆盖层厚度的测量

国家标准《GB/T 17722-1999 金覆盖层厚度的扫描电镜测量方法》中就提出了对金覆盖层厚度的直接测量方法，用扫描电镜从金饰品的断面上直接测定其覆盖层的成分（图 63）、覆盖层的层数和各层的厚度等，对于评价上述各类金制品的品质将具有十分重要的意义。

具体测试方法是先将被测金覆盖层样品的外面加金属保护层后，在垂直覆盖层方向切成薄片，经过镶嵌、研磨、抛光后制成试样，利用扫描电镜观察二次电子像和背散射电子像直接测定覆盖层层数和金覆盖层的平均厚度。

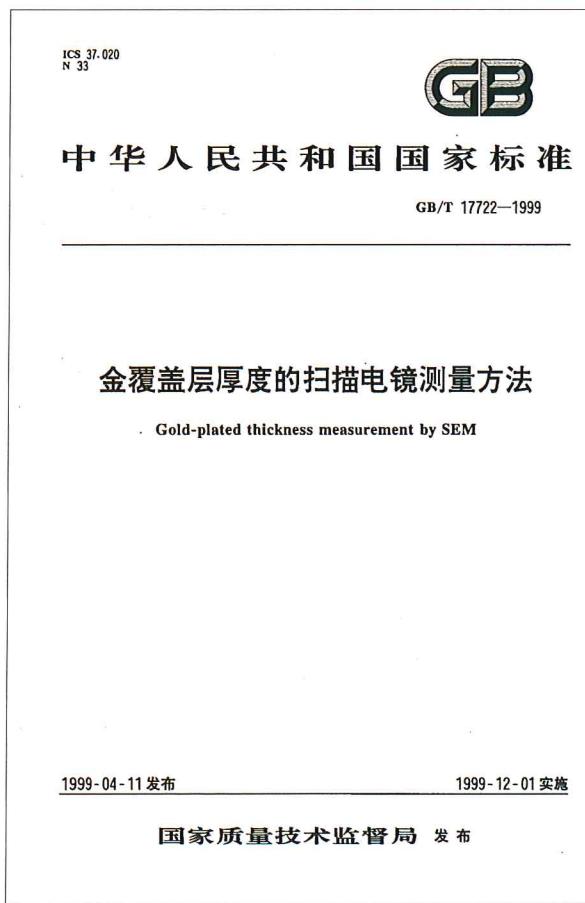


图 63《金覆盖层厚度的扫描电镜测量方法》国家标准

2. 玉石结构形貌分析

传统上的玉石是指具有细腻致密的结构、较高的韧性、较大的硬度、温润柔和的光泽、良好的光洁度和较好的半透明度的单矿物或多矿物集合体。由于组成的矿物颗粒细小，结构细腻致密且不能破坏样品等原因，用肉眼和普通光学显微镜无法将其单晶形态、结构特征和化学组成等对玉石种属准确判断和定名至关重要的因素搞清楚，只得求助于扫描电镜。

采用扫描电镜仅对玉石的微形貌进行观察，即可对一些外观相似、常规手段很难分辨的玉石制品进行超显微鉴定和分析。例如，目前翡翠有众多的替代品、假冒品（如：青海翠玉、山由玉、软玉等），它们无论是从颜色、折光率，还是比重、硬度等物性方面都与翡翠相似，用常规手段较难分辨。但在扫描电镜下，这些“假翡翠”便原形毕露了。青海翠玉为粒状矿物与少量片状绿泥石组成，山由玉主要由片状矿物和少量纤维状、粒状矿物组成，而软玉则由直径小于0.01mm的极其细小的纤维状透闪石、阳起石组成（图 64）。但真正的翡翠在扫描电镜下为纤维状、柱状硬玉矿物和粒状霓石、钠铬辉石组成的矿物集合体（图 65），而且矿物的颗粒越细小，玉的质地也越好，也就是说翡翠的水头就越好。对于充填处理 B 货翡翠的鉴定，也可由其呈现的表面损伤图像和沿被灌注晶粒边界的白色放电线（放电是由于高聚化合物的存在而造成的）得到满足的结论。

3. 珍珠层结构分析

珍珠外表面及珍珠沿其径向近外表面区域，珍珠层的文石板片断面结构通过扫描电镜分析，可以较清晰地看出珍珠表面的文石板片呈“梯田式”延伸，文石板片之间如“叠瓦状”规则堆积，具有典型的光栅结构特征（图 66）。珍珠表面的“叠瓦状”结构的疏密程度与其近珍珠表面的文石板片厚度存在一定的对应性，即表面的“叠瓦状”结构越致密，近珍珠外表面附近的珍珠层文石板片的厚度越薄。

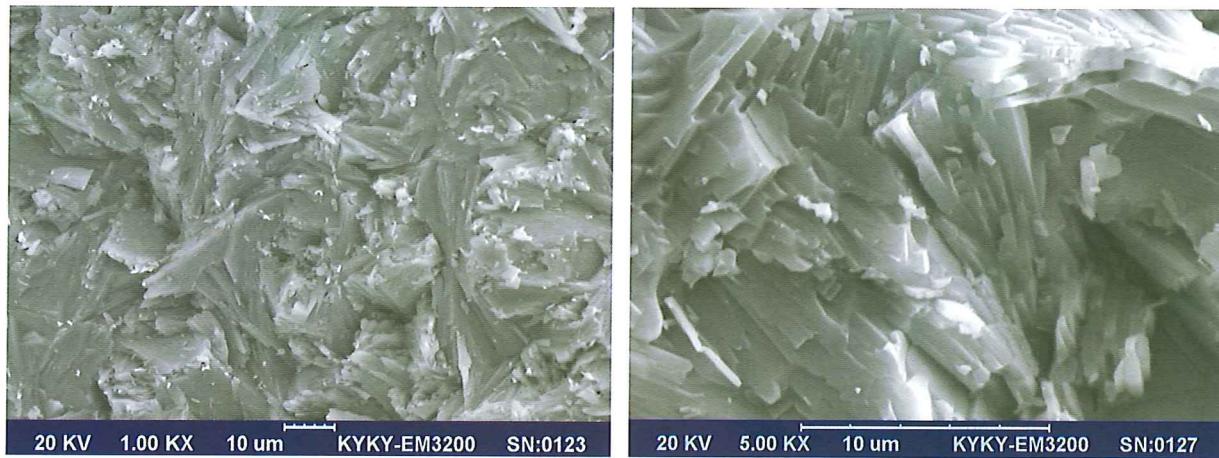


图 64 扫描电镜下观察到的软玉内部晶体呈纤维交织结构

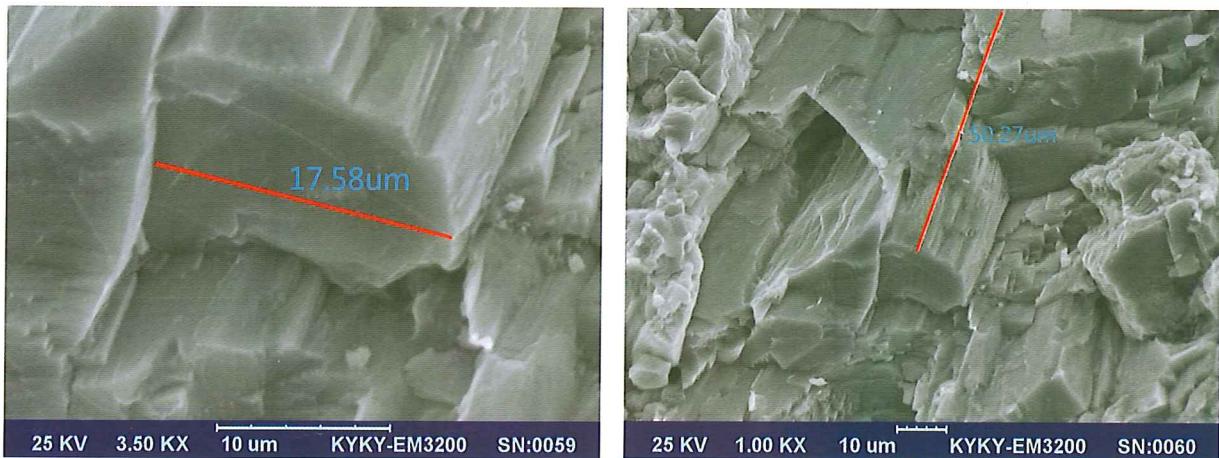


图 65 翡翠柱状颗粒在扫描电镜下的形态和尺寸

4. 欧泊变彩效应结构分析

欧泊的矿物名称为蛋白石，分为普通蛋白石和贵蛋白石（欧泊），前者只有乳光而无变彩，后者才有变彩。根据体色和结构性质欧泊又可分为黑欧泊、白欧泊、火欧泊和晶质欧泊，其体色有白色、黑色、灰色、蓝色、绿色、红色等，转动样品时，从固定角度可观察到各种颜色的片状色斑，即变彩。通过高分辨率扫描电镜观察

到欧泊的纳米结构后，有关其变彩成因是因为欧泊是由 150~300 nm 的 SiO₂ 等大球体规则紧密堆积对光产生干涉和衍射而形成的（图 67），每一小片区域内 SiO₂ 球体产生了一维或二维衍射光栅，这些小球在三维空间规则排列构成了一个立体衍射光栅，因而产生了丰富多彩的变彩效应。



图 66 不同淡水珍珠表面及内部自然断面扫描电镜下的形貌特征
a、b—白色珍珠 c、d—紫色珍珠 e、f—粉色珍珠

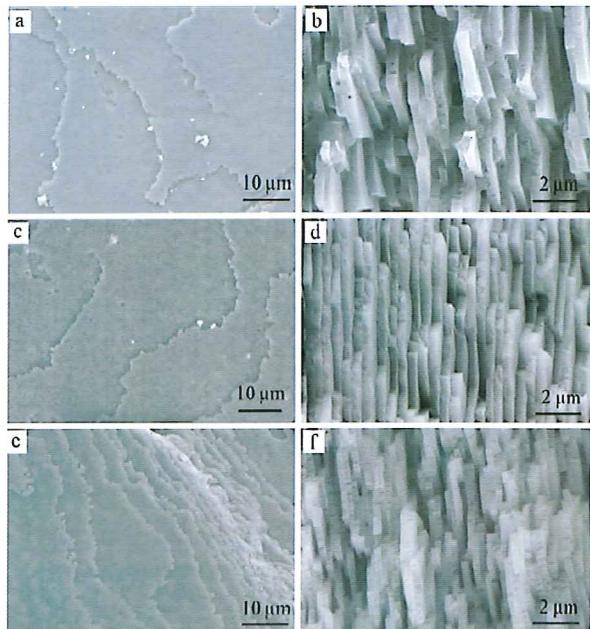


图 67 欧泊扫描电镜下观察到的 SiO_2 堆积形成的三维立体衍射光栅

第六节 激光诱导击穿光纤光谱仪

激光诱导击穿光谱仪 (LIBS) 是 20 世纪中后期出现并逐渐发展起来的一种基于原子发射光谱学, 可以用于物质成分和浓度分析的测试。该测试技术具有无须制样、装置简单等独特的优势, 已经引起了诸多领域的重视和研究。目前, LIBS 技术作为一种定性分析手段, 能分析气、液、固态样品。LIBS 系统可以检测出大部分元素, 包括 Be 等轻元素, 在宝石鉴定和研究领域越来越受到重视, 可鉴别镀膜、染色、充填及扩散等优化处理宝石, 如 Be 扩散处理蓝宝石、充胶处理翡翠与天然翡翠, 其过程快捷、方便。

一、基本原理

将一束高功率的激光束聚焦于样品表面, 样品表面

反射小部分的激光能量, 剩下的能量被吸收。由于脉冲激光持续时间极短, 不足以产生由样品聚焦点处向外的热扩散, 因此聚焦点处产生瞬时高温并蒸发部分物质, 蒸发后的气体经过多光子电离及电子—离子碰撞等过程, 最终形成了高密度的等离子体。激光等离子体通常持续时间为 2~520ns, 等离子体会随时间演化为等离子体羽, 并产生辐射光子, 采用光学采集系统采集, 并通过对光谱中的特征谱线进行分析, 从而实现了样品的微区元素成分分析 (图 68)。

二、基本结构

激光诱导击穿光纤光谱仪 (LIBS) (图 69) 主要由激光器、控制系统、光学系统及分析系统组成。

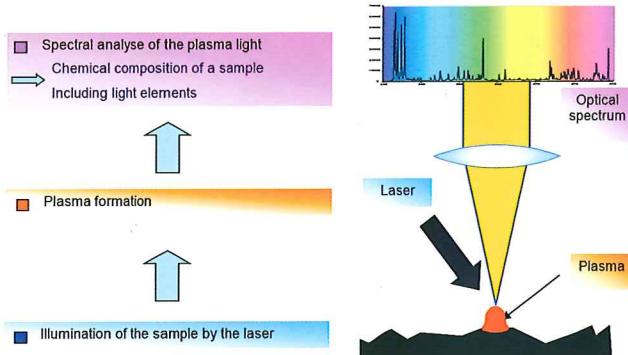


图 68 LIBS 工作原理图



图 69 激光诱导击穿光纤光谱仪 (LIBS)

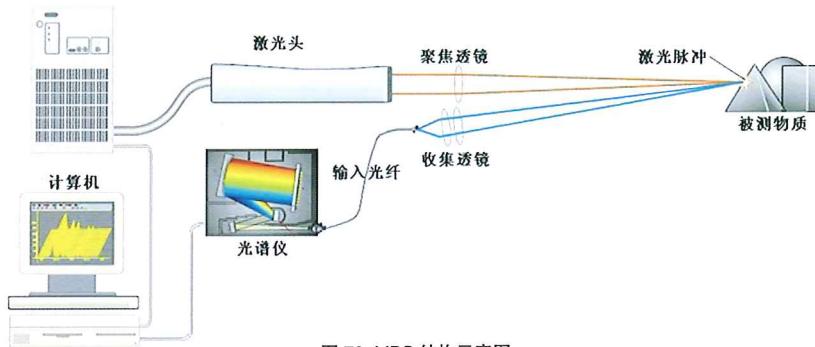


图 70 LIBS 结构示意图

具体工作流程是由 Nd : YAG 调节激光器发出的脉冲激光束经透镜聚焦于待测样品表面，将样品放置于可调样品台上，环境气体 (Ar 气) 从平行于样品台的方向注入，由 CCD 光纤光谱仪采集样品受激发产生的等离子体的发射光线，由激光器同步触发光谱仪进行延时控制，经光谱仪处理采集的数据后在计算机上显示光谱图，再由软件对其进行识别和分析 (图 70)。

Be 扩散处理红、蓝宝石的检测，LIBS 对于轻原子 Be 具较高的灵敏度，即使含量较低也可以有效地检测出来。

Be 扩散蓝宝石与天然蓝宝石的光谱 (图 71) 中可以看出，Be 扩散蓝宝石中 313nm 处 Be 离子线十分明显，而天然蓝宝石则无此特征线，根据这条谱线可以较为肯定地判断宝石是否经过 Be 扩散处理。

2. 区分海水与淡水珍珠

海水珍珠与淡水珍珠 Mn、Ba、Sr 等微量元素的含量具有较为明显的差异。

大部分淡水珍珠含微量的 Mn 元素，而海水珍珠则不含 Mn 元素 (图 72)。

淡水珍珠中 Ba 元素的谱线均比较明显，而海水珍珠中则基本没有测出。海水珍珠光谱中 Sr 元素谱线稍高于淡水珍珠，所以可以通过 Ba/Sr 的比值来进行判断海水与淡水珍珠 (图 73)。

三、激光诱导击穿光纤光谱仪 (LIBS) 在宝石学方面的应用

LIBS 能够无损、准确、快速地进行多元素分析，同时能对宝石中的微量、痕量元素进行探测。在宝石鉴定方面可以用于镀膜、染色、充填及扩散等优化处理宝石。

1. Be 扩散红、蓝宝石的鉴别

LIBS 最早被应用于宝石学并引起重视就是源于对

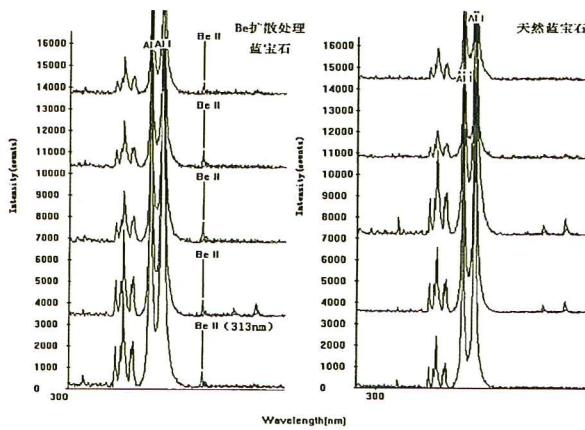


图 71 Be 扩散蓝宝石 (左) 与天然蓝宝石 (右) Be 元素离子谱线对比

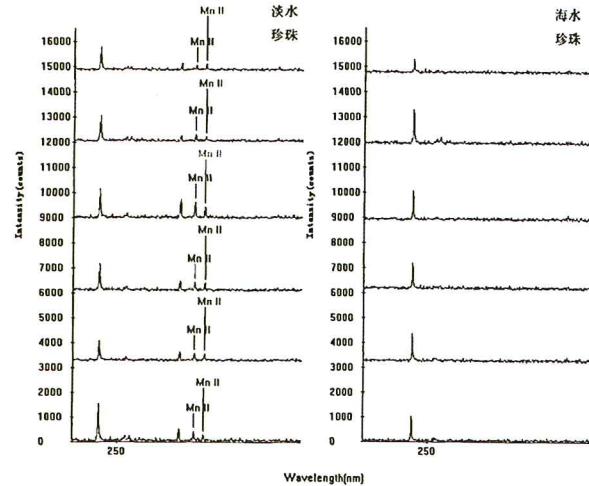


图 72 淡水珍珠 (左) 与海水珍珠 (右) Mn 元素离子谱线对比

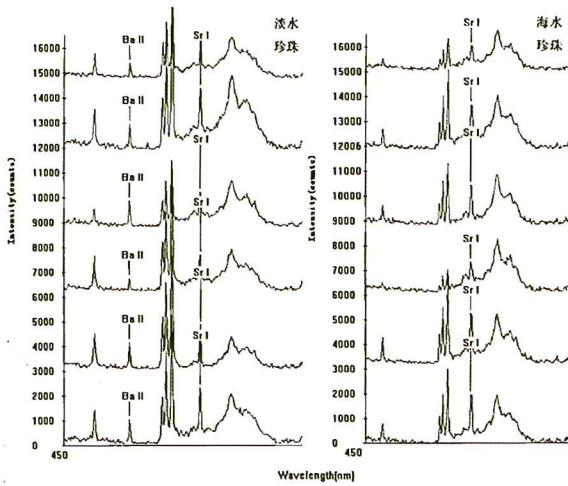


图 73 淡水珍珠 (左) 与海水珍珠 (右) Ba、Sr 元素离子及原子谱线对比

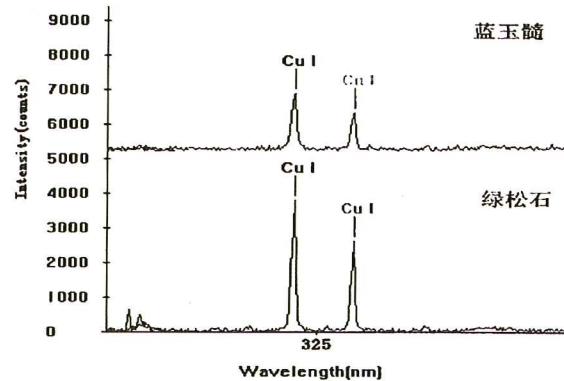


图 74 蓝玉髓 (上) 及绿松石 (下) 光谱中 Cu 元素的原子谱线

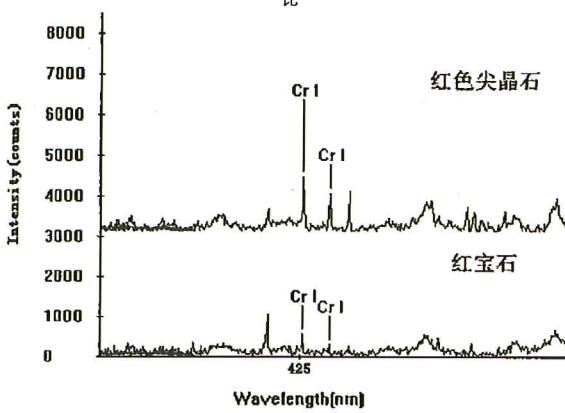


图 75 红色尖晶石 (上) 和红宝石 (下) 光谱中 Cr 元素的原子谱线

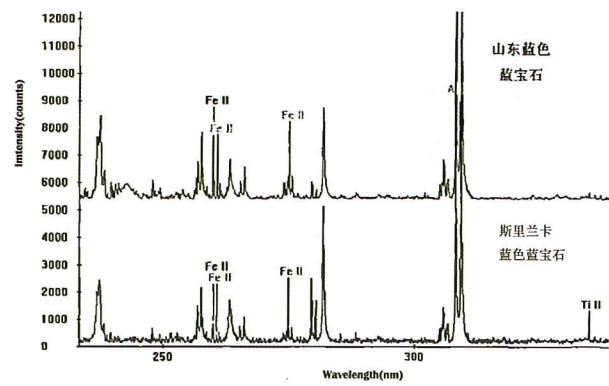


图 76 山东蓝色蓝宝石 (上) 和斯里兰卡蓝宝石 (下) 光谱中的 Fe、Ti 离子谱线对比

3. 过渡族金属元素检测

宝石成分中 Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu 等过渡金属元素的存在会导致宝石产生各种各样的颜色，利用 LIBS 检测这些过渡金属元素可以帮助研究宝石的颜色成因。

图 74 显示了蓝玉髓及绿松石样品中检测出普遍认为是导致其呈蓝色的 Cu 元素。

图 75 显示了红色尖晶石和红宝石中的微量的 Cr 元素，它致使这两者宝石显示红色调。图 76 中是山东蓝宝石（上）和斯里兰卡蓝宝石（下）的光谱对比，主要对比了 Fe、Ti 元素离子谱线强度的不同，正是因为 Fe/Ti 比值较高，山东蓝宝石才会具明显重于斯里兰卡蓝宝石的深蓝色调。

第七节 阴极发光仪

阴极发光现象最早发现于一百多年前，19世纪80年代，主要用于观察宝石，20世纪开始进入考古学和矿物学等研究。1965年利用阴极发光原理制成的仪器和光学显微镜相结合，从此较广泛地应用于地球科学的研究。我国于20世纪70年代开始引进阴极发光技术，根据宝石受电子轰击发光的原理和影响因素，近年来，阴极发光技术开始与电子探针及离子探针分析结合，拓展到宝石微区研究。阴极发光技术对宝石可以进行快速无损鉴定检测，用以区分天然宝石和合成宝石，研究宝石矿物内部结构，分析生长过程及形成环境，研究宝石的缺陷中心，确定宝石中微量杂质离子的种类、价态等方面。

一、基本原理

从阴极射线管发出具有较高能量的电子束激发宝石矿物的表面，使电能转化为光辐射而产生的现象，称之为阴极发光（图 77）。矿物阴极发光的起因是晶体的分子畸变，当晶体受到电子束轰击时，晶体内部将产生电子空穴，晶体局部能级变化并呈激发态，这些激发中心易处于能量的亚稳定状态，它们可捕获电子成为发光中

心。阴极发光技术是通过电子束轰击样品使之发光，以研究其成分、晶体形态及二者相互关系等特征的新技术方法，由于不同种类的宝石矿物或相同种类、不同成因的宝石矿物在电子轰击下会发出不同颜色或不同强度的光，同时一些与晶体生长环境有关的晶体结构或生长纹也可得到显示。

这种发光只在电子束激发时才能观察到，按照发光类型，属于荧光发光类型，一般涉及物质的深度不超过 $10\mu\text{m}$ ，阴极发光技术可以对宝石进行无损鉴定。

二、阴极发光仪基本结构

阴极发光仪（图 78）主要由高压发生器、高压控制系统、真空泵、真空控制系统、冷阴极电子枪、样品室等几部分组成（图 79）。另可以配置显微镜和照相系统辅助放大成像。

阴极发光仪由高压发生器产生高压，由高压电缆连接冷阴极电子枪阴极上，电子枪产生电子束，在真空系统控制电流、电压的大小，再采用电子束偏转、汇聚工具将电子束打到装载在样品室内的样品上，再在显微镜观察样品阴极射线激发下的荧光现象。

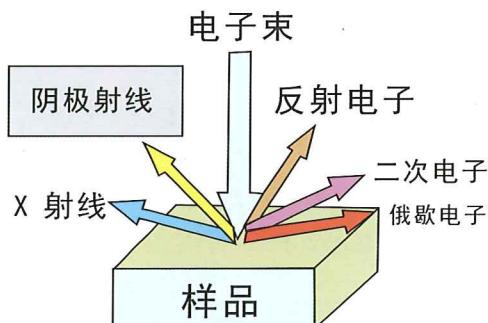


图 77 阴极射线产生原理图

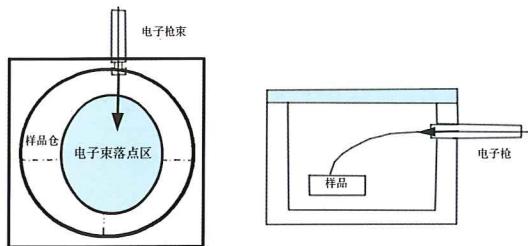


图 79 阴极发光仪结构示意图



图 78 宝石阴极发光仪

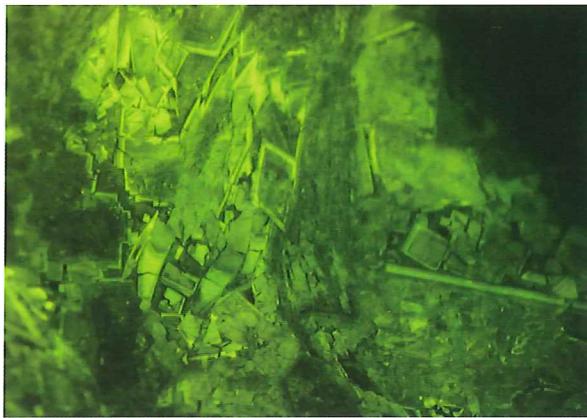


图 80 天然翡翠 (A货) 阴极发光图

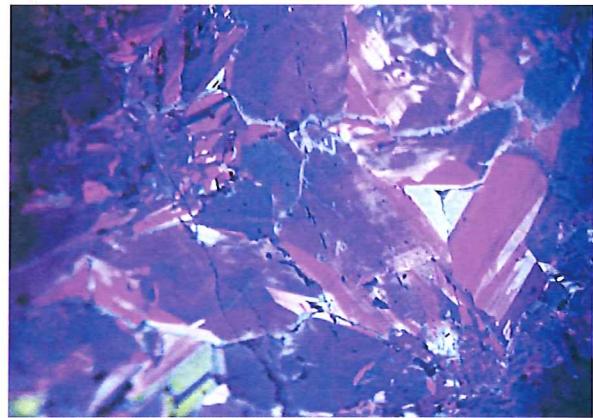


图 81 天然翡翠 (A货) 阴极发光图

三、阴极发光仪宝石学方面应用

1. 翡翠方面的应用

1) 翡翠与翡翠仿制品的区分

在阴极发光下翡翠的主要矿物成分硬玉通常发暗至中亮绿至黄绿色光；当硬玉成分较纯时发亮紫红色光；当硬玉中不含铁而含钙和锰时往往发中至亮紫蓝色光和白色光；依据阴极发光图像能较好地区分翡翠和其他相

似玉石和仿制品。

2) 翡翠 A、B、C 货的鉴别

在阴极显微镜下翡翠的结构清楚可见，A、B、C 货各有其明显的区别特征：

A 货：翡翠因杂质成分不同，其发光各有特色。在

阴极显微镜下以发暗绿—黄绿色光带，蓝紫色光为主，个别的发葡萄红色和白色光，其晶体结晶完好结构特征明显，且因其成分不同而发光各有其特色（图 80~81）。

B 货：发均匀的亮绿—黄绿色光，晶体周边常被溶蚀成港湾状或参差状，裂缝充填，有胶，可发绿色的光，裂缝两侧的晶体溶蚀现象明显，从 B 货横切面看，自边部向中心，裂缝及颗粒间注胶物质由多变少。A 货和 B 货中硬玉都可见有环带，但因后者受过溶蚀作用而使矿物颗粒边缘凸凹不平，或外圈的环带被溶蚀而残留不全，A 货则有完整的晶形和环带（图 82~83）。

C 货：主要的阴极发光特征是裂缝发育且不发光，染料在裂缝向颗粒间隙渗透的特征在阴极发光下清晰可见（图 84~85）。

2. 在钻石鉴别和研究方面的应用

1) 天然钻石生长环带—研究和探讨形成环境的物理化学条件的变化。

由于钻石生长环境的变化，物质成分的供应也产生变化，因此钻石在阴极发光下显示不同的颜色和不同生长纹。阴极发光环带结构特征综合体现了各种地质事件，对研究和探讨形成环境的物理化学条件的变化有着重要的意义。

2) 天然与合成钻石的区分

生长环境的不同，所接受的杂质成分含量的不同，造成天然和合成宝玉石在生长结构上有不同的生长区，且具有规则的几何图形（受生长区控制）。常见的八面体生长区呈十字交叉状分布于晶体的角顶，发深蓝色和

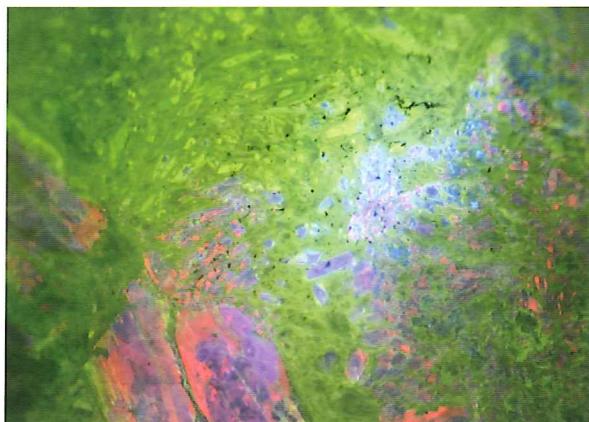


图 82 酸洗充填处理翡翠（B 货）阴极发光图

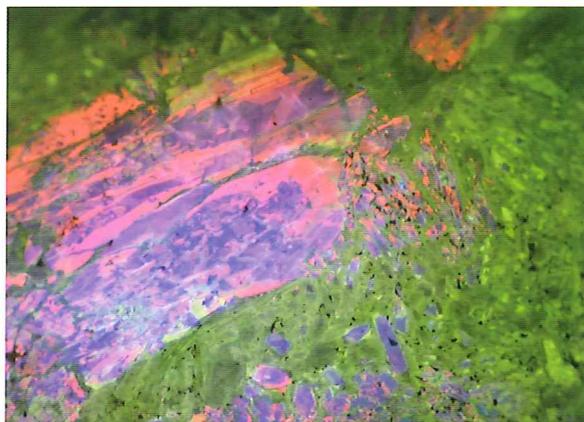


图 83 酸洗充填处理翡翠（B 货）阴极发光图

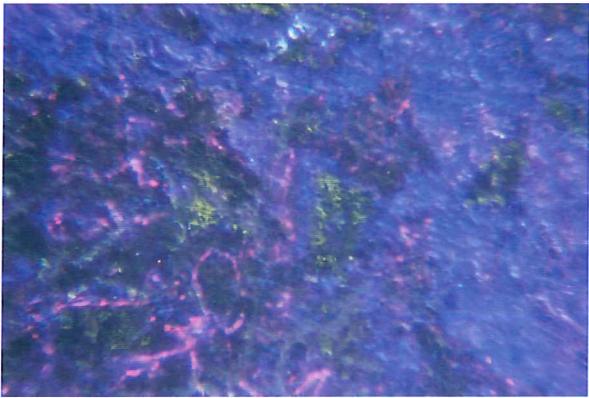


图 84 染色翡翠（C 货）阴极发光特征

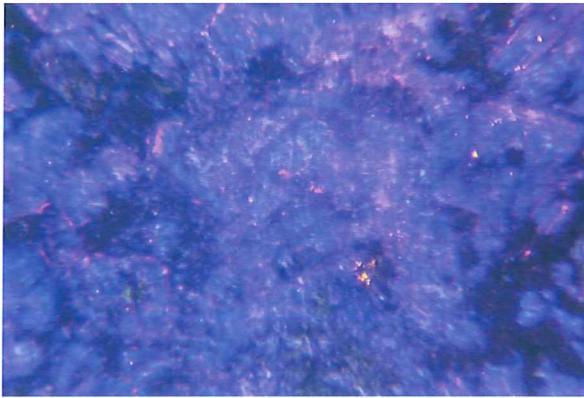


图 85 染色翡翠（C 货）阴极发光特征

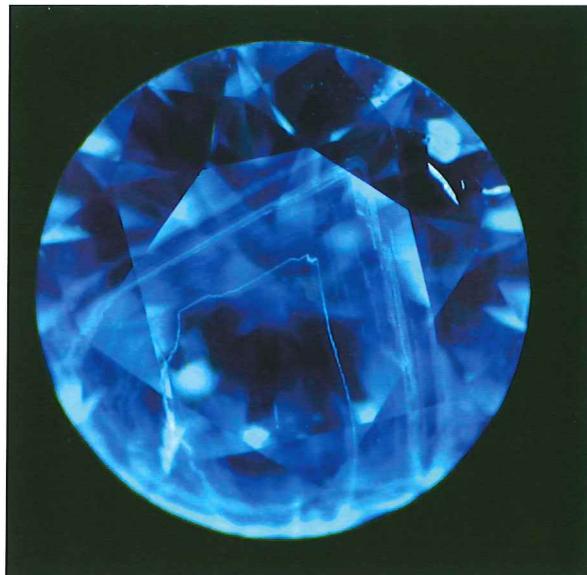


图 86 天然钻石阴极发光图

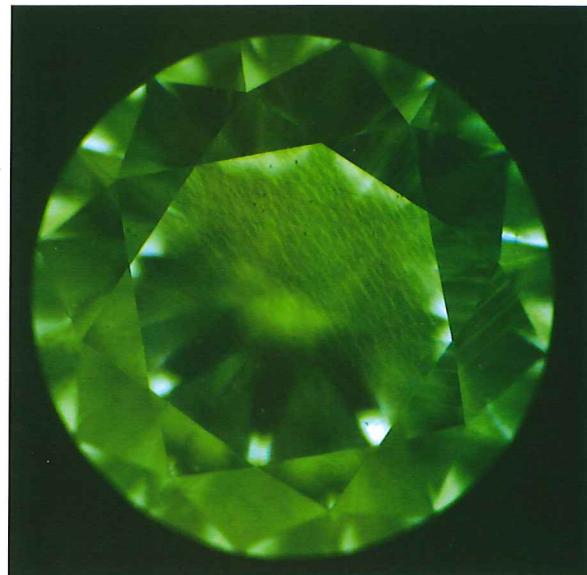


图 87 CVD 合成钻石阴极发光图



图 88 CVD 合成钻石阴极发光图

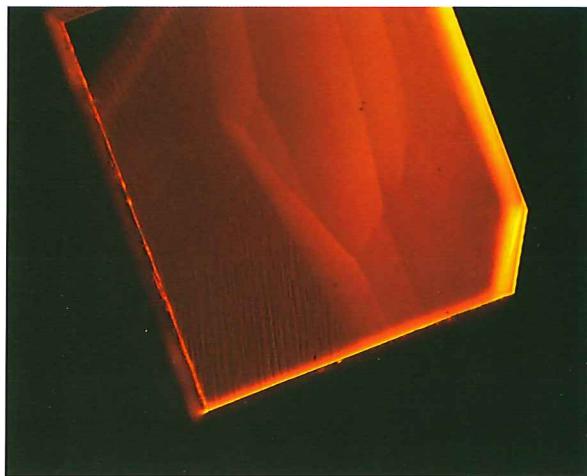


图 89 CVD 合成钻石阴极发光图

浅蓝色的光（图 86）。在电子束激发下，天然钻石多发出相对均匀的中强蓝色—灰蓝色光，并显示规则或不规则的生长环带结构；由于合成钻石晶体多以聚形（八面体和立方体）为主，在不同的生长区则发出不同颜色的光，并显示几何对称的生长分区结构，如{100}生长区发黄绿色光，分布于其中四个角顶，呈对称分布，为十字交叉状（图 87）。籽晶幻影区发黄色光（或弱发光），位于晶体中心呈正方形，而{111}生长区呈环带分布。

尤其是近两年大颗粒、高净度、高色级 CVD 合成钻石的出现，对市场冲击很大，利用阴极发光仪能够

有效区分天然钻石与 CVD 合成钻石。CVD 钻石显示典型的橙色阴极发光色和有些弧度的直线型图案（图 88~89）。这种荧光色是产生于 NV 中心的（575nm），直线型图案则被认为源自于独特的 CVD 浓墨材料生长过程。在大多数的Ⅱ型天然钻石中，可以观察到被记为 Band-A 的斑点和直线型（因为晶体位错产生）的深蓝发光色。在某些天然钻石中罕见由 NV 中心导致的橙色发光，而是显示在 CVD 钻石中未见到的马赛克般的图案。

3) 区别处理前和处理后的钻石

同一颗钻石样品，在高温高压处理前的阴极发光为

黄色，经高温高压处理后的阴极发光为蓝色。

4) 钻石的缺限中心研究

宝玉石在阴极射线激发下可以发射出色调、谱位及强度不等的光，可利用阴极发光的图形和阴极发光光谱的表征，揭示缺陷中心及发光机理。当辐照源的高能粒子进入钻石，会形成电子缺陷心，从阴极发光谱中可识别出 ND1 心（发光峰位于 388nm）和 S1 心（发光峰位于 515~520nm）。ND1 心主要出现在 Ia 型钻石中，具有重要的标型鉴定意义。S1 心属于一种典型的辐射损伤中心，一般发射强蓝绿色光。

3. 珍珠鉴定方面的应用

阴极发光特征不同，快速区分黑色等颜色的辐照处理淡水养殖珍珠和天然颜色的海水养殖珍珠。

1) 各色淡水养殖珍珠因 Mn 含量高，其在阴极射线下发黄绿色光，结构细密；辐照处理淡水养殖珍珠发黄绿或绿色光，并可观察到珍珠层受处理而破损的痕迹。

2) 在阴极射线下，海水养殖珍珠珍珠层以及辐照处理海水养殖珍珠因贫 Mn 富 Sr 而不发光。

3) 阴极发光特征可作为快速无损鉴定区分珍珠的形成环境、鉴别外观类似的淡水养殖珍珠（图 90）和海水养殖珍珠（图 91）以及处理养殖珍珠的主要依据。

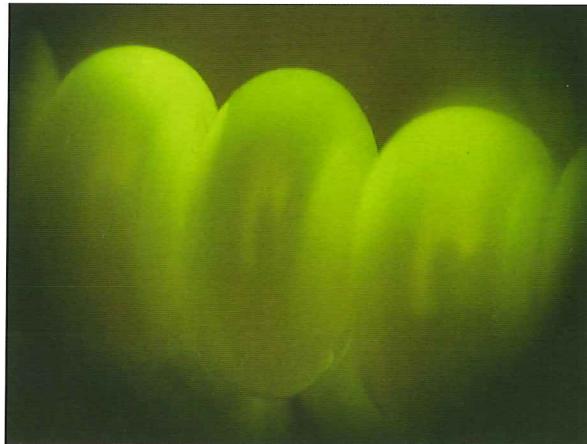


图 90 白色淡水养殖珍珠阴极发光图



图 91 白色海水养殖珍珠阴极发光图

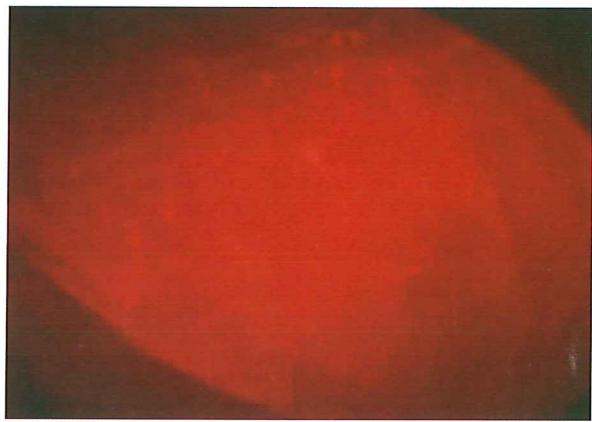


图 92 天然红宝石阴极发光图

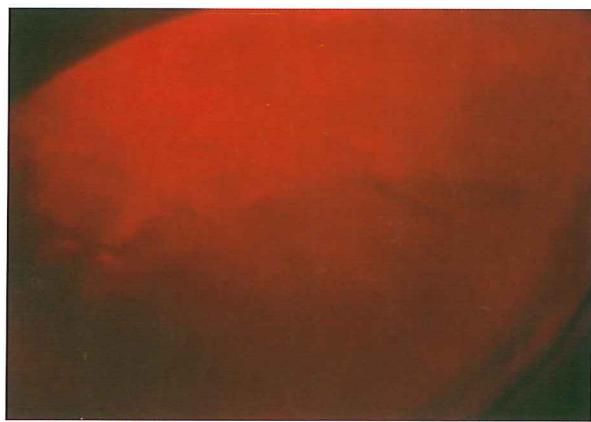


图 93 热处理红宝石阴极发光图

4. 红宝石鉴定方面的应用

天然红宝石在阴极射线的激发下，发光较快，显示均匀、中等强度的鲜红色发光，内部特征包体在阴极射线下清晰可见（图 92）。

优化红宝石（热处理红宝石）的发光速度及发光强度与天然红宝石很接近（图 93）。

染色处理红宝石及充填处理红宝石的受激发速度及发光强度均弱于天然红宝石，主要原因是由于内部外来物质〔玻璃充填（图 94）、胶充填（图 95）、颜料染色（图 96）等〕的影响。

合成红宝石的阴极发光强度高于天然红宝石，并且合成特征在阴极发光下清晰可见（图 97）。



图 94 玻璃充填处理红宝石阴极发光图



图 95 充胶处理红宝石阴极发光图

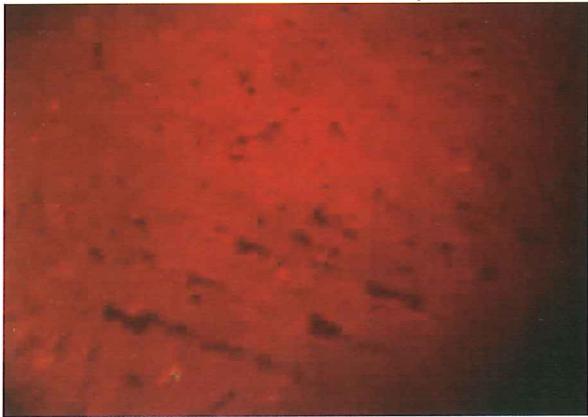


图 96 染色处理红宝石阴极发光图



图 97 水热法合成红宝石阴极发光图

第八节 珍珠层厚度无损检测仪

珍珠价值的大小，最主要的衡量指标之一就是珍珠层的厚度。一直以来，衡量珍珠层厚度采用的方法主要是凭经验，通过肉眼观察珍珠光泽感，得出珠层厚度，这种方法误差较大。或者采用破坏性方法，就是通过切开珍珠，用显微镜测量其珠层厚度。而对于珍珠层厚度能无损、快速的检测方法日益得到重视，目前成熟珍珠层厚度无损检测方法主要有两种类型：X射线法和光学相干层析法。

一、X射线珍珠层厚度无损检测仪

(一) 基本原理

该检测仪主要是采用X射线透视技术拍摄得到直观的珍珠内部结构图像，通过分析珍珠内部组成特征，对珍珠进行定性分析，确定有核珍珠与无核珍珠，利用计算机技术确定被检样品的珠层厚度（图98）。

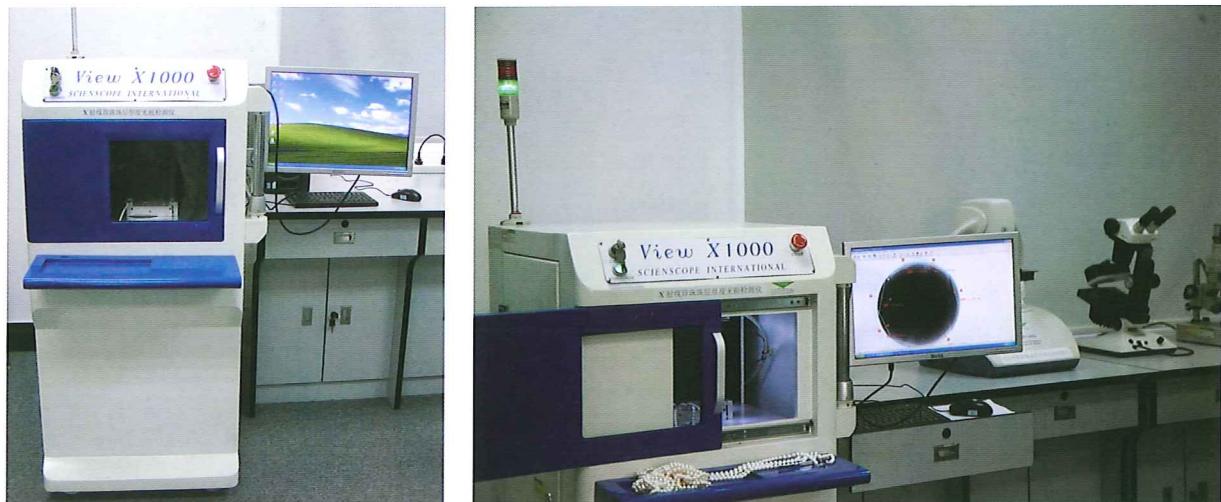


图 98 X 射线珍珠层厚度测试仪器

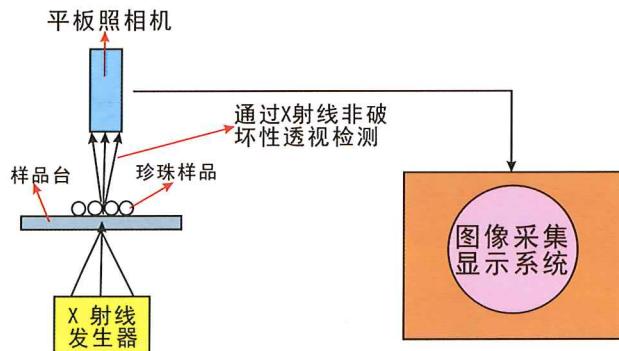


图 99 X 射线珍珠层厚度测试仪器结构图

(二) 基本结构

仪器主要由 X 射线发射器、样品台、平板照相机和图像采集显示系统组成(图 99)。X 射线发射器产生 X 射线照射样品台上的珍珠样品，X 射线能够透射通过珍珠核与珍珠层之间的缝隙，再通过平板相机接收透射出来的 X 射线，成像系统可以将平板相机接收信号转换成珍珠核与珍珠层的影像，再采用微焦点 X 射线透射技术形成测量图像，通过 CCD/ 高解析度增强屏和图像传感器采集放大，运用计算机测量软件技术对图像灰度级差进行自动甄别处理，实现无损精确测量珍珠珠层厚度，测量准确度 $\leq 0.02 \text{ mm}$ 。



图 100 X 射线珍珠层厚度测试仪测试海水珠有核结构

(三) 珍珠层无损测试

利用 X 射线珍珠层厚度无损检测仪首先可以直观、快速地看到珍珠内部结构照片全图图像，其次可以利用微焦点 X 射线透射技术测量珍珠层厚度。

1. 海水珠有核结构(图 100)。
2. 淡水珠无核内部结构(图 101)。
3. 珠层厚度软件测量(图 102)。

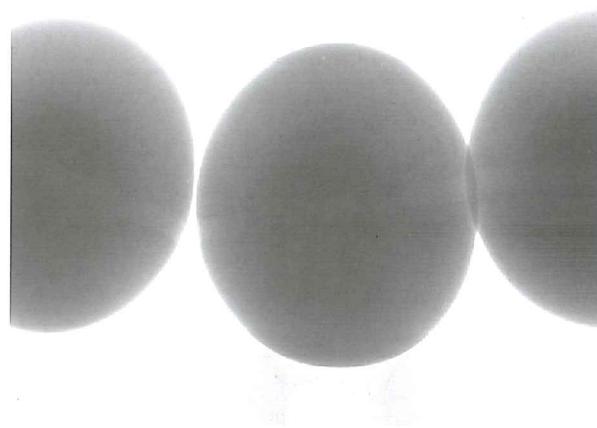


图 101 X 射线珍珠层厚度测试仪测试淡水珠无核内部结构



图 102 X 射线珍珠层厚度测试仪软件测量珠层厚度



二、近红外干涉珍珠层无损检测仪

(一) 基本原理

利用光学干涉原理，使珍珠珠层内部的背向散射光与参考光发生干涉，通过探测干涉信号来检测有核珍珠的珠层厚度。同时，通过扫描可以得到直观的珠层图像对珍珠进行定性分析。

该设备利用光学相干断层扫描（OCT）技术，OCT 是一种高灵敏度、非接触性、无损伤性、高分辨率的新兴影像学检查技术，不但能清晰地显示出珍珠内部的细微结构，以超高速获得珍珠的内在影像，同时还可以进行观察和客观的定量分析，对确认珍珠结构及组织上的瑕疵，对珍珠质量鉴定和分级非常重要，作用非常明显。OCT 原理类似超声成像，只是光波代替了超声波。OCT 的分辨率远高于超声成像，OCT 利用测量光脉冲在样品内部被散射和传播延时，通过处理，形成高分辨率、深度的图像来分析珍珠内在的微观结构。无须物理接触。横向扫描可以快速获取非侵入二维的和三维的清晰图像。由于光波波长很短，因而分辨率很高，OCT 成像的分辨率达到微米量级。由于光速接近于声速的 100 万倍，则时间延时短至 10~15s，电子设备难以直

接测量，这种差异造成了测量结构和距离的不同，因此，OCT 的核心装置是光学干涉仪（图 103）。

(二) 基本结构

仪器主要由参考臂、样品臂、低相干光干涉仪、耦合器、计算机工作站、图像处理系统、彩色喷墨打印机或激光彩色打印机组成（图 104~105）。

信号光源（超快激光或低相干光源）所发出的光束，经过透反分束镜，分为一束参考光和一束信号测量光。参考光束射往参考镜，被参考镜面反射，而信号测量光束进入珍珠后有一定的穿透深度，同时通过测量从珍珠珠层上不同的微结构细节部位散射的光的返回延迟时间来对珍珠内部结构的结构进行分解。这样，两束来自参考镜和珍珠内部组织的散射光（下称参考光和样品光）将会在分束器相遇并叠加而形成干涉仪的输出。通过软件系统对干涉仪的输出进行探测、收集、处理和存储。通过每条扫描通路，OCT 整合出一幅珍珠内部结



图 103 近红外干涉珍珠层无损检测仪

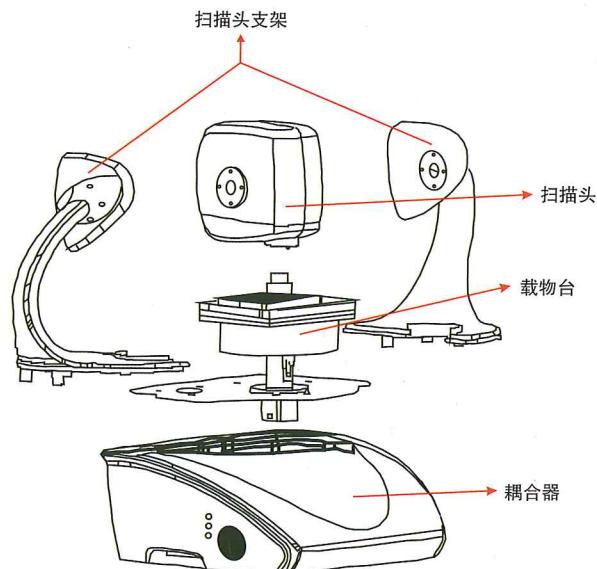


图 104 近红外干涉珍珠层无损检测仪组件图

构解剖剖面图(干涉图),图像显示为伪彩色断层图像,颜色对应反射信号的强弱。

(三) 珍珠层无损检测

采用近红外光光学相干层析法检测珍珠,仅可方便、直观、快速看到珍珠内部结构照片局部图像,并分析、测量、评价珍珠的品质。

1. 各种类型珍珠及珍珠仿制品内部结构图(光学相干层析法)(图106)。

通过近红外干涉珍珠层无损检测仪可以有效区分出珍珠及其珍珠仿制品。其测量过程快速、无损,准确度高。有效解决市面上对于珍珠仿制品检测面临有损破坏的问题。

2. 珍珠层厚度测量

利用近红外干涉珍珠层无损检测仪可以快速准确测量出珍珠层厚度(图107),其操作界面(图108)简单,非常适合检测机构对大批量珍珠的无损检测。

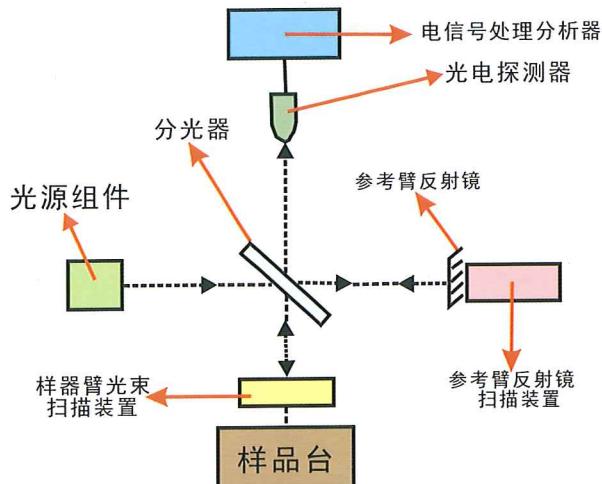


图105 近红外干涉珍珠层无损检测仪内部结构示意图

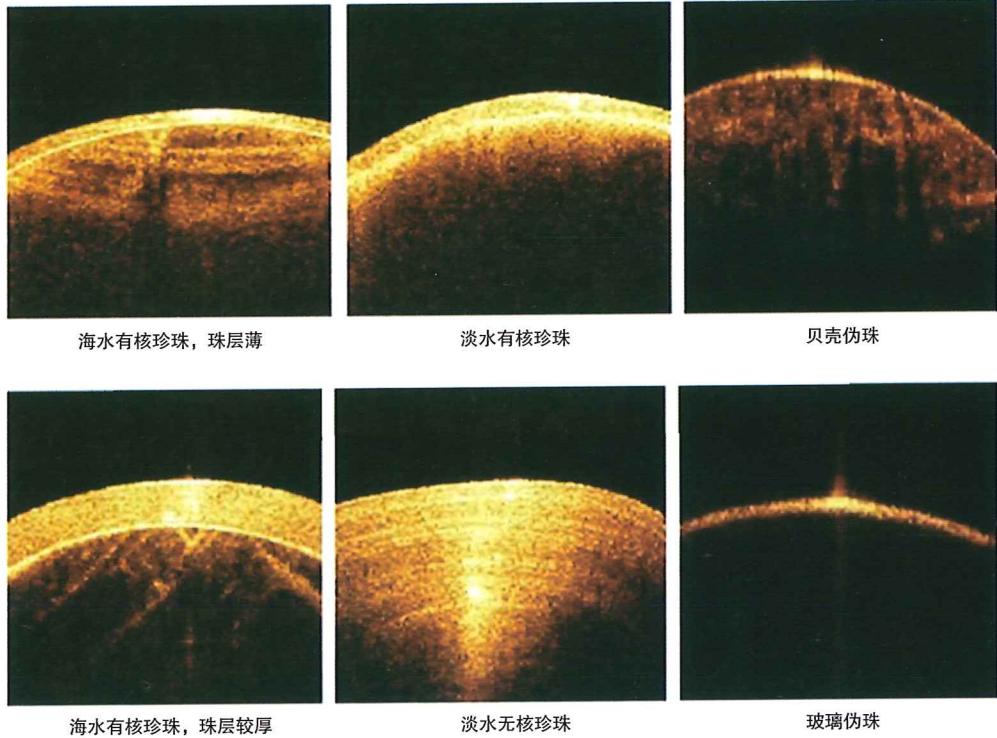


图106 近红外干涉珍珠层无损检测仪检测珍珠及仿制品内部结构

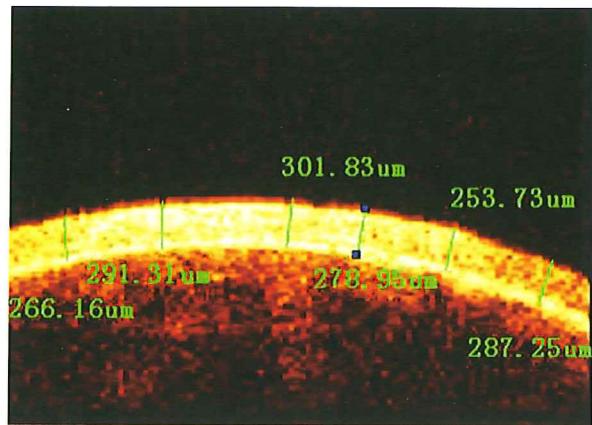


图 107 近红外干涉珍珠层无损检测仪测试珍珠厚度结果

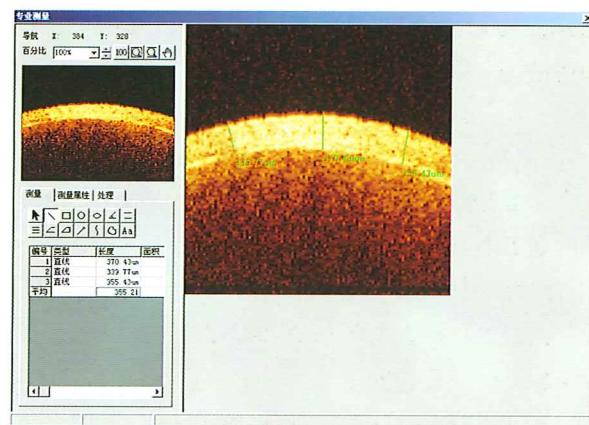


图 108 近红外干涉珍珠层无损检测仪测量软件界面

附录

第一节 宝石常规仪器观察中涉及到的相关名词

基础名词	均质体 (各向同性)	定义	指材料(宝石)在任意方向上均表现出相同的光学性质,包括非晶体和晶体中高级晶族等轴晶系宝石
		仪器下的现象	1. 加工刻面型的均质体在折射下无论测试哪个方向都是单折射 2. 正交偏光镜下全暗或者异常消光 3. 任何方向观察都没有多色性
		举例	等轴晶系的宝石材料,非晶质的宝石材料,如钻石和玻璃是各向同性的。各向同性的材料是单折射的
	非均质体 (各向异性)	定义	指材料(宝石)随方向而变化的光学性质。包括晶体中低级晶族斜方晶系、单斜晶系、三斜晶系和中级晶族三方晶系、四方晶系和六方晶系宝石
		仪器下的现象	1. 加工刻面型的非均质体在折射下呈现双折射现象,某些特殊方向显示单折射 2. 正交偏光镜下四明四暗 3. 多色性,但明显程度有差异,例如非均质体橄榄石在实际观察中多色性极难观测到
		举例	中级晶族的红宝石具有双折射、多色性和四明四暗现象
	色散值	定义	太阳光谱中弗郎霍夫B线和G线测得的材料折射率的差值。B线:红光686.7nm, G线紫光430.8nm
		举例	钻石在B线时RI为2.407, G线时为2.451,所以钻石色散值为0.044
	折射	定义	光从一种介质进入另一种不同光密度的介质时,光的传播方向发生变化的现象
		定义	指光学各向同性材料(等轴晶系或非晶质材料)允许光以相同的速度从材料的所有方向通过,因此这些材料只有一个折射率
折射仪相关名词	单折射	举例	钻石和玻璃分别是等轴晶系和非晶质材料,都是具有单折射的材料
		定义	是各向异性材料将光分解成两个独立组分所产生的光学重折(重影)效应
	双折射	举例	宝石刻面棱的重影就是双折射效应的实例
		定义	是落在表面的光有部分从表面返回的现象
	内反射	定义	光从宝石表面以下的特征反射造成的光学效应。有内包体产生的重要内反射效应是猫眼和星光效应。有结构性特征导致的一个重要内反射效应是晕彩(晕彩是由光的薄膜干涉和衍射造成的)
		定义	指光线从光密介质进入光疏介质,入射角大于临界角时,光线全部反射回到光密介质内部的现象
	全内反射	定义	指宝石的折射率超出了折射仪的测量范围1.40~1.81,从而得不到折射率读数
		举例	钻石的折射率为2.42,在一般折射仪上是无法测出读数的

偏光镜 相关名词	集合消光	定义	正交偏光下，宝石旋转一周，宝石始终保持全亮的现象
		举例	软玉、翡翠等在正交偏光下全亮
	异常消光 (异常双折射)	定义	正交偏光下，均质体宝石出现的不均匀消光的现象，表现为宝石内部可看到十字形样式、斑纹状或黑带格子状的亮、暗的消光区。有些时候根据其明暗构成的图形，可称为榻榻米现象。 其产生原因是由于材料内部应变导致在其他方面为各向同性的结构中出现一定程度的光学各向异性
		举例	有些玻璃、合成钻石、尖晶石在正交偏光下出现异常消光
二色镜 相关名词	全消光	定义	正交偏光下，宝石旋转一周，宝石始终保持全暗的现象
		举例	有些石榴石在正交偏光下全暗
	多色性	定义	在某些各向异性的有色宝石中所显示的两种或三种体色的现象
		举例	红宝石在二色镜下呈红色和橙色
紫外荧光灯 相关名词	三色性	定义	指二轴晶宝石在三个主振动方向上对光的选择性吸收而产生的三个基本体色的变化
		举例	变石有红/橙/绿三个体色的变化
	二色性	定义	指一轴晶宝石在两个主振动方向上对光的选择性吸收而产生的两个基本体色的变化
		举例	绿碧玺有绿色和褐绿色两个体色的变化
分光镜 相关名词	荧光	定义	物质在高能射线如紫外线和X射线的照射下发出可见光的现象
		举例	红宝石在紫外光LW/SW下发出明显的红色可见光
	磷光	定义	当辐射源关闭后具有荧光的物质继续发光的现象
		举例	当关闭紫外光后欧泊有绿色的磷光，萤石在辐射光源关闭后仍有发光现象
	吸收光谱	定义	用棱镜组合或衍射光栅将白光分解成红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的连续可见光谱。宝石中致色元素对光的选择性吸收使可见光谱呈现吸收带或吸收线的特征样式，其完整样式被称为吸收光谱
		举例	如橄榄石的吸收光谱，在蓝区有两条吸收线
	色心	定义	是晶体结构中的缺陷，它会对光进行吸收。这些缺陷可在生长过程中形成，也可由辐照形成。辐照可以是天然或人工的
		举例	钻石中常含有N3色心使钻石呈现浅黄色，有415.5的吸收光谱

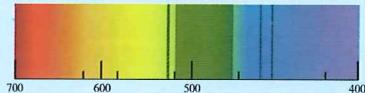
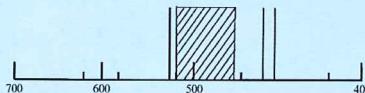
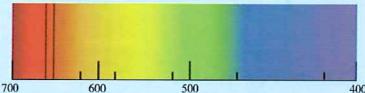
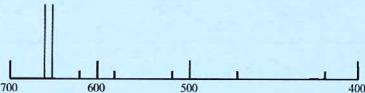
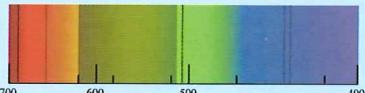
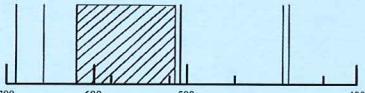
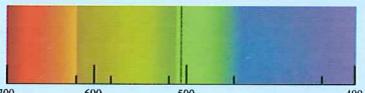
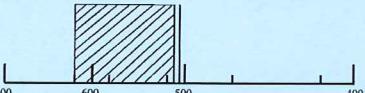
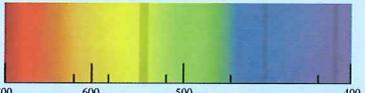
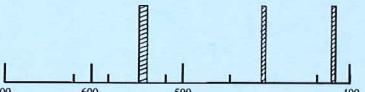
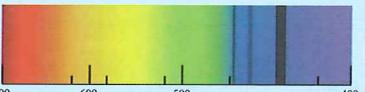
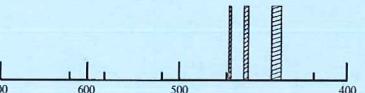
第二节 紫外荧光灯下宝石常见现象

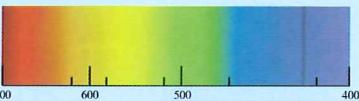
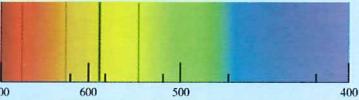
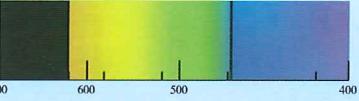
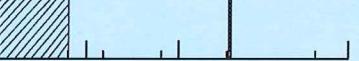
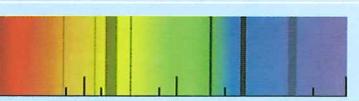
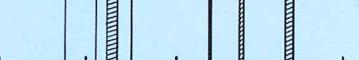
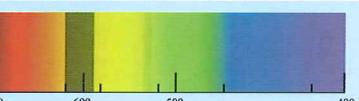
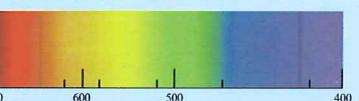
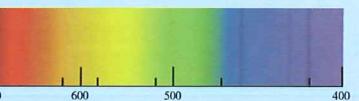
宝石名称	长波紫外光下可能的荧光颜色	短波紫外光下可能的荧光颜色
红宝石	红色	红色
缅甸红宝石	强, 红色	中等强度, 红色
斯里兰卡红宝石	强, 橙色 / 红色	中等强度, 橙色 / 红色
暹罗红宝石	弱, 红色	弱, 红色至无荧光
斯里兰卡蓝宝石	红色	红色
斯里兰卡黄色蓝宝石	中等强度, 橙红色 / 橙黄色	弱, 红色或橙黄色
无色蓝宝石	橙色 / 橙红色	橙色 / 橙红色
橙色蓝宝石	强, 橙色 / 红色或者无荧光	强, 橙色 / 红色
紫色或变色蓝宝石	中等至强, 红色或者无荧光	弱至中等, 红色或者无荧光
粉红色蓝宝石	强, 橙色 / 红色	弱, 橙色 / 红色
棕色蓝宝石	弱, 红色至无荧光	弱, 红色至无荧光
绿色蓝宝石	无荧光	无荧光
黑色蓝宝石	无荧光	无荧光
刚玉族 深蓝色蓝宝石	中等强度, 红色至无荧光	中等强度, 红色至无荧光
焰熔法合成红宝石	强, 橙色 / 红色	中至强, 橙色 / 红色
助熔剂法合成红宝石	强, 橙色 / 红色, 但比焰熔法和天然红宝石荧光强度弱	橙色 / 红色, 一般荧光强度比天然强, 某些红宝石在橙色 / 红色荧光中会呈现区域分布的蓝色荧光或者橙色 / 红色中带有蓝色调
合成橙色蓝宝石	红色 / 橙色	弱, 红色 / 橙色
合成黄色蓝宝石	弱, 红色或者无荧光	弱, 红色
合成绿色蓝宝石	弱, 红色 / 橙色	砖红色
合成蓝色蓝宝石	无荧光	弱到中等强度的蓝白色至黄绿色
合成紫色蓝宝石	强, 红色	绿蓝色
合成无色蓝宝石	无荧光	弱, 蓝白色或者无荧光
合成棕色蓝宝石	弱, 红色或者无荧光	弱, 红色或者无荧光
合成粉色蓝宝石	中等 / 强, 红色	粉紫色
合成刚玉 (仿变石)	中等强度, 橙色 / 红色	红色或者出现蓝色荧光区域

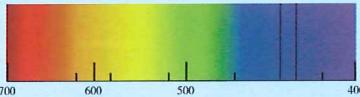
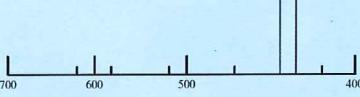
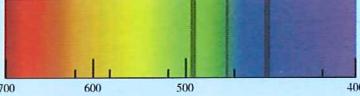
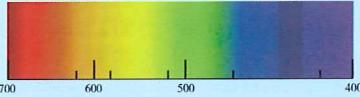
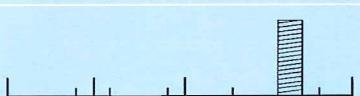
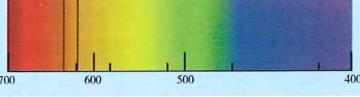
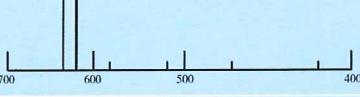
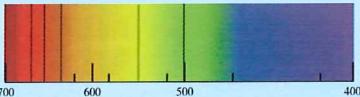
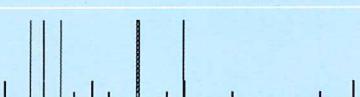
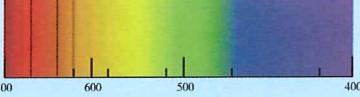
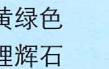
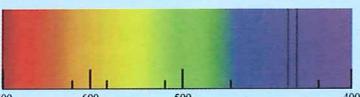
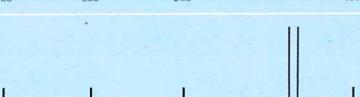
绿柱石族	祖母绿	微弱的红色，绿色或者无荧光	微弱的红色或者无荧光
	合成祖母绿	绝大部分合成祖母绿显示砖红色荧光 (LW 和 SW, 一般 LW 下荧光特征更加明显)，部分吉尔森公司合成祖母绿显示弱到中等的橙色 / 红色荧光 (LW 和 SW) 或中等强度的黄绿色荧光，部分无荧光 (LW 和 SW)	
	浸油祖母绿	油显示带黄色调的，黄色或者橙色	微弱的荧光或者无荧光
	蓝色绿柱石	无荧光	绿色
	无色绿柱石	灰黄色、粉红色或者无荧光	灰黄色、粉红色或者无荧光
	摩根石	微弱的红色，紫红色或者无荧光	微弱的红色，紫红色或者无荧光
	金黄色绿柱石	无荧光	无荧光
	海蓝宝石	无荧光	无荧光
	红色绿柱石	无荧光	无荧光
长石族	月光石	蓝色	
	钠长石	弱的棕红色或者无荧光	弱的棕红色或者无荧光
	天河石	弱的黄绿色或者无荧光	
	日光石	弱的斑驳的白色或者无荧光	
	透明黄色正长石	弱的橙红色或者无荧光	弱的橙红色或者无荧光
	月光石	蓝色、弱的粉红色或者无荧光	橙色，弱的粉红色
石英族	透明拉长石	弱的蓝色或者无荧光	
	绿色东陵石	弱的灰绿色或者无荧光	弱的灰绿色或者无荧光
	染色红石英岩	弱 / 强，红色	弱 / 强，红色
	玉髓	一般无荧光，少数呈现弱至中等的黄绿色 (LW 和 SW)	
金绿宝石	除了上述品种外石英族其他品种宝石	基本都无荧光	
	黄色或者黄绿色金绿宝石		黄绿色或者无荧光
	变石	弱的红色或者无荧光	弱的红色或者无荧光
欧泊	其他品种	一般无荧光	
	黑欧泊或者白欧泊	无 / 中等强度，灰蓝色、绿色或者黄色 (LW 和 SW)，可能会有磷光	
	普通蛋白石或者水欧泊	无 / 强，绿色或者黄绿色 (LW 和 SW)，可能会有磷光	
石榴石	火欧泊	无 / 中等强度，棕绿色 (LW 和 SW)，可能会有磷光	
	无色透明钙铝榴石		无 / 弱，橙色或者绿色
	绿色透明钙铝榴石	无 / 中等强度，红色	无 / 中等强度，红色
	其他品种石榴石	无荧光 (惰性)	无荧光 (惰性)

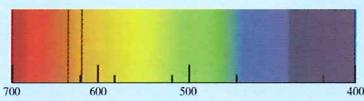
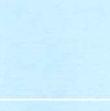
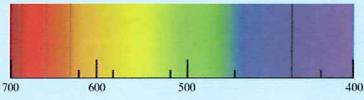
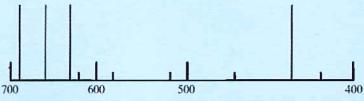
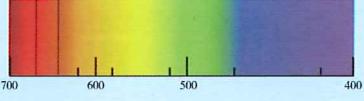
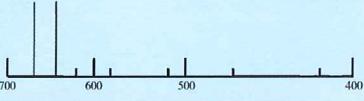
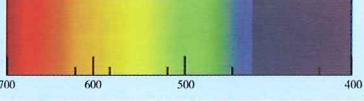
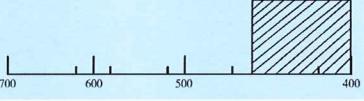
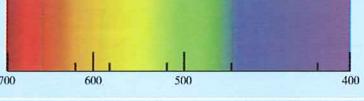
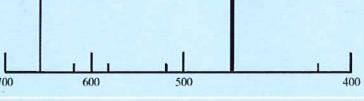
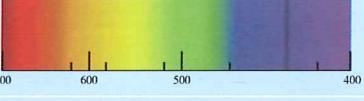
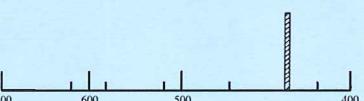
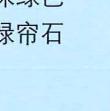
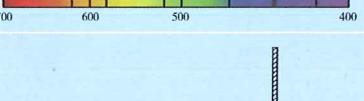
翡翠	浅绿色	无 / 弱, 白色	
	浅黄色	无 / 弱, 绿色	
	白色翡翠	无 / 弱, 黄色	
	浅紫色翡翠	无 / 弱, 白色	
	染色处理的紫色翡翠	弱 / 中等强度, 橙色	橙色, 强度比 LW 弱
	深色翡翠	无荧光 (惰性)	无荧光 (惰性)
萤石	蓝色, 紫色	蓝色, 紫色	
碧玺	粉红色碧玺有微弱的红色荧光 (LW 和 SW), 其他颜色碧玺无荧光		
透辉石	紫色		
锂辉石	橙色		
红色玻璃	黄色, 绿色, 蓝色	黄色, 绿色, 蓝色	
青金石	一般无荧光 (惰性), 青金石中的 方解石呈现弱的粉红色荧光	弱 / 中等, 绿色, 黄绿色, 橙色, 紫色	
琥珀	黄绿色至橙黄色或者无荧光, 也可 以显示白色、黄色、绿色或者蓝色 荧光	短波荧光颜色与长波下相同, 但是 强度较弱	
象牙	弱 / 强, 蓝白色荧光	弱 / 强, 蓝白色荧光	
贝壳	中等强度, 蓝色调 / 绿色调的白色或者无荧光 (LW 和 SW)		
玳瑁	所有深色的部分显示深蓝绿色荧光 (LW 和 SW)		
珊瑚	白色珊瑚	弱 / 强的蓝白色或者无荧光 (LW 和 SW)	
	橙色, 红色, 粉色珊瑚	橙色或者粉橙色或者无荧光 (LW 和 SW)	
	牛血红珊瑚	深红色或者无荧光 (LW 和 SW)	
珍珠	天然珍珠	无 / 强, 蓝色、黄色、绿色、粉红色 (LW 和 SW)	
	养殖珍珠	无 / 强, 蓝色、黄色、绿色、粉红色 (LW 和 SW)	
	天然黑珍珠	无 / 强, 红色, 一些可以显示粉 红色, 斑驳的粉红色或者白色荧光	
	染色黑珍珠	无荧光	弱, 白色或者无荧光

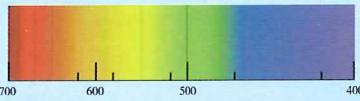
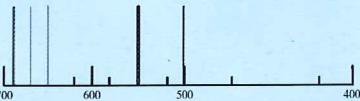
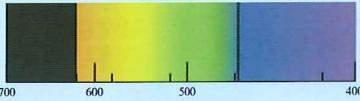
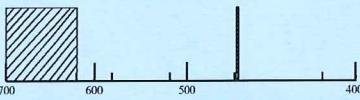
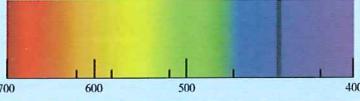
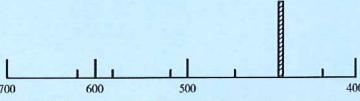
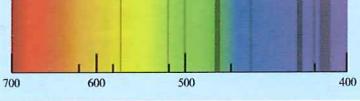
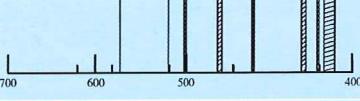
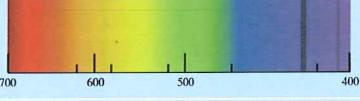
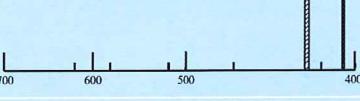
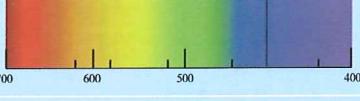
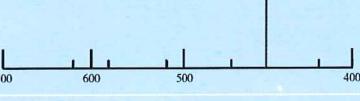
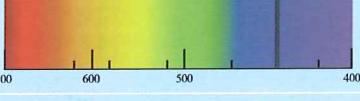
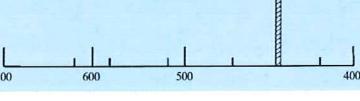
第三节 宝石吸收光谱小结表

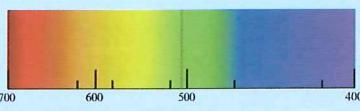
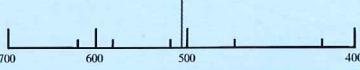
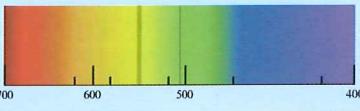
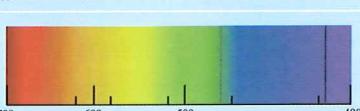
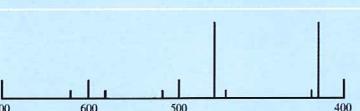
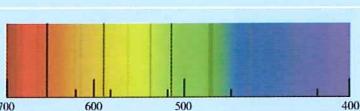
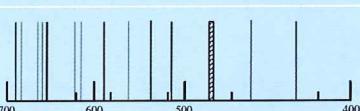
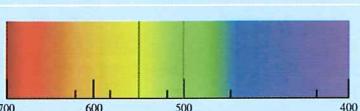
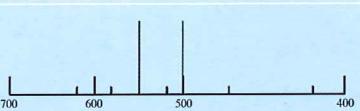
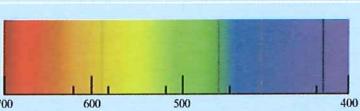
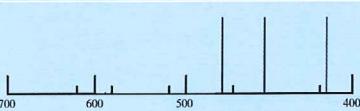
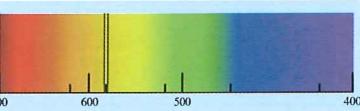
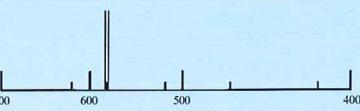
宝石名称	光谱图及光谱素描图		描述
红、粉红色碧玺	光谱图		绿光区吸收宽带，有时可见 525nm 窄带，451nm、458nm 吸收线
	光谱素描图		
粉红色方柱石	光谱图		663nm 和 652nm 吸收线
	光谱素描图		
红色镁铝榴石	光谱图		564nm 宽吸收带，505nm 吸收线，含铁者可有 440nm、445nm 吸收线，优质镁铝榴石因含有铬在红区可以有吸收
	光谱素描图		
蔷薇辉石	光谱图		545nm 吸收宽带，503nm 吸收线
	光谱素描图		
菱锰矿	光谱图		410nm、450nm、540nm 弱吸收带
	光谱素描图		
蓝色、绿色、黄色蓝宝石	光谱图		450nm 吸收带或者 450nm、460nm、470nm 吸收线
	光谱素描图		

	海蓝宝石	光谱图		537nm 和 456nm 弱吸收线, 427nm 强吸收线
	光谱素描图			
	深蓝色绿柱石	光谱图		688nm、624nm、587nm、560nm 吸收带
	光谱素描图			
	蓝色碧玺	光谱图		红区普遍吸收、498nm 强吸收带
	光谱素描图			
	蓝色尖晶石	光谱图		460nm 强吸收带、430nm~435nm、480nm、550nm、565~575nm、590nm、625nm 吸收带
	光谱素描图			
	坦桑石	光谱图		595nm、528nm 吸收带
	光谱素描图			
	堇青石	光谱图		426nm、645nm 弱吸收带
	光谱素描图			
	绿松石	光谱图		偶见 420nm、432nm、460nm 中至弱的吸收带
	光谱素描图			

	蓝晶石	光谱图		435nm、445nm 吸收带
	光谱素描图			
	橄榄石	光谱图		453 nm、477 nm、497 nm 强吸收带
	光谱素描图			
	黄绿色 钙铁榴石	光谱图		440 nm 吸收带
	光谱素描图			
	深绿色 钙铁榴石	光谱图		618nm、634 nm、685nm、690nm 吸收线
	光谱素描图			
	铬透辉石	光谱图		具有 505nm 透辉石吸收线, 635nm、655nm、670nm 吸收线, 690nm 吸收双线
	光谱素描图			
	绿色锂辉石	光谱图		686nm 吸收双线, 646nm、669nm 吸收线, 620nm 附近吸收宽带
	光谱素描图			
	黄绿色 锂辉石	光谱图		433nm、438nm 吸收线
	光谱素描图			

	翠榴石	光谱图		440nm 吸收带, 618nm、634nm 有清晰的吸收线, 685nm、690nm 有弱的吸收线
	光谱素描图			
	绿色翡翠 (铬致色)	光谱图		630nm、660nm、690nm 吸收线, 437nm 特征吸收线
	光谱素描图			
	染色绿玉髓	光谱图		645nm 和 670nm 吸收线
	光谱素描图			
	暗绿色水钙铝榴石	光谱图		460nm 以下全吸收
	光谱素描图			
	绿色欧泊	光谱图		660nm、470nm 吸收线
	光谱素描图			
	葡萄石	光谱图		438nm 吸收弱带
	光谱素描图			
	深绿色绿帘石	光谱图		445nm 吸收强带
	光谱素描图			

绿色 顽火辉石	光谱图		505nm 强吸收线, 550nm 弱吸收线, 650nm、670nm、690nm 弱吸收线
	光谱素描图		
绿色碧玺 	光谱图		红区普遍吸收、498nm 强吸收带
	光谱素描图		
金绿宝石	光谱图		445nm 吸收强带
	光谱素描图		
黄色 锰铝榴石	光谱图		410nm、420nm、430nm 吸收线, 460nm、480nm、520nm 吸收带, 有时可有 504nm、573nm 吸收线
	光谱素描图		
橙黄色钙铝榴石、铁致色的钙铝榴石(桂榴石)	光谱图		可有 407nm、430nm 吸收带
	光谱素描图		
黄色 黝帘石	光谱图		455nm 吸收线
	光谱素描图		
棕黄色 绿帘石	光谱图		445nm 吸收强带
	光谱素描图		

棕色 透辉石	光谱图		505nm 吸收线
	光谱素描图		
棕黄色、 顽火辉石	光谱图		505nm 强吸收线, 550nm 弱吸收线
	光谱素描图		
钻石	光谱图		钻石可见 415nm、453nm、480nm、594nm 吸收线。无色 / 浅黄色钻石在 415nm 有吸收带, 褐 / 绿色钻石在 504nm 有吸收线, 有的钻石可能同时具有 415nm、504nm 吸收线
	光谱素描图		
锆石	光谱图		锆石的可见吸收光谱中可具有 2~40 条吸收线, 特征谱线为 653.5nm 吸收线, 还可见 691nm、683nm、662.5nm、660nm、621nm、615nm、589.5nm、562.5nm、537.5nm、516nm、484nm、460nm、432.7nm 吸收线。蓝色和无色锆石只有 653.5nm 吸收线; 绿色锆石可多达 40 条吸收线; 红色和橙 / 棕色锆石无特征吸收线
	光谱素描图		
顽火辉石	光谱图		505nm 处有一强吸收线, 550nm 有弱吸收线
	光谱素描图		
辐照改色 钻石及天 然钻石	光谱图		415nm、453nm、478nm 吸收线, 594nm 吸收线
	光谱素描图		
各色磷灰石	光谱图		580nm 吸收双线
	光谱素描图		

榍石	光谱图		有时可见 580nm 吸收双线
	光谱素描图		
赛黄晶	光谱图		部分可见 580nm 吸收双线
	光谱素描图		
变石 (上为红色方向吸收光谱, 下为绿色方向吸收光谱)	光谱图		变石三色性强, 随着方向不同呈现不同的吸收光谱, 红色方向 678nm 吸收线, 655nm、645nm 吸收线, 605~540nm 吸收带, 适当条件下可见 472nm 吸收线、460~400nm 吸收带。绿色方向在 680nm、678nm 弱吸收线, 640~555nm 吸收带、472nm 吸收线、470~400nm 吸收带
	光谱素描图		
变色蓝宝石	光谱图		470.5nm 吸收线, 550~600nm 强吸收带及 685.5nm 吸收线
	光谱素描图		
除暗绿色外 其他水钙铝榴石	光谱图		463nm 附近吸收带
	光谱素描图		

参考文献

Reference

参考文献：

1. 施建主编, 珠宝首饰检验, 中国标准出版社, 2009;
2. 张蓓莉主编, 系统宝石学, 北京: 地质出版社, 2008;
3. 袁心强著, 应用翡翠宝石学, 武汉: 中国地质大学出版社, 2013;
4. 元利剑、袁心强、曹姝曼, 宝石的红外反射光谱表征及其应用 [J], 宝石和宝石学杂志, 2005, 7(3) : 21~25;
5. 汤红云、涂彩、陆晓颖、钱伟吉, 钻石的红外吸收光谱特征及其在钻石鉴定中的意义 [J], 上海计量测试, 2013 (1) : 2~6;
6. 范建良、刘学良、郭守国、杨明月, 石榴石族宝石的拉曼光谱研究及鉴别 [J], 应用激光, 2008, 27(4): 310~313;
7. 魏巧坤、丘志力, 一种染色红珊瑚仿制品的宝石学特征及鉴定 [J], 宝石和宝石学杂志, 2004, 6(1) : 24~26;
8. 高岩、张蓓莉, 淡水养殖珍珠的颜色与拉曼光谱的关系 [J], 宝石和宝石学杂志, 2001, 3(3) : 17~20;
9. 陈犁、王昶, 拉曼光谱技术在宝石学研究中的应用 [J], 光谱实验室, 2001, 18(6) : 780~782;
10. 陈志军、万世明、吕新彪、王文魁, 四川省平武县绿柱石中的流体包裹体研究 [J], 地质科技情报, 2002 年03期;
11. 谢意红, 紫外—可见分光光度计在优化处理宝石鉴定中的应用 [J], 分析仪器, 2003, (2): 31~33;
12. 史训立、张琳、肖滢, 紫外—可见吸收光谱应用于宝石检测的进展 [J], 光谱实验室, 2011, 28(5): 2332~2334;
13. 元利剑、黄艺兰、曾春光, 各类金色海水珍珠的呈色属性及UV-NIS反射光谱 [J], 宝石和宝石学杂志, 2008, 10 (4) : 1~8;
14. 苑执中、彭明生、李勋贵, 辐射处理彩色金刚石的紫外—可见—近红外吸收光谱研究 [A], 中国矿物岩石地球化学学会第十届学术年会论文集 [C], 2005;
15. 国家质量监督检验检疫总局, G/BT 18043-2013, 首饰贵金属含量的测定X射线荧光光谱法 [S], 中国标准出版社, 2009-07-01;
16. 卞瑶, X荧光光谱仪在珠宝玉石检测中的应用 [J], 中小企业管理与科技, 2014, (2):279~280;
17. 元利剑、C. G. Zeng、袁心强, 充填处理红宝石中的高铅玻璃体 [J], 宝石和宝石学杂志, 2005, 7(2):1~6;

18. 史凌云、郭守国、王以群, 黑色海水珍珠和人工处理黑珍珠的光谱学特征研究 [J], 激光与光电子学进展, 2012, (6):1-4;
19. 国家质量技术监督局, GB/T 17722-1999, 金覆盖层厚度的扫描电镜测量方法 [S], 中国标准出版社: 2004-04-16;
20. 严俊、胡仙超、王巨安、严雪俊、胡丹静、刘培钧、方诗彬, 不同颜色的淡水养殖珍珠呈色机理研究 [J], 岩矿测试, 2013, 32 (2): 263 - 268;
21. 尹作为、赵雁、田薇、欧泊结晶状态和色斑研究的新发现 [J], 地球科学, 2000, 25 (3): 302 - 305;
22. 吕麟素, 欧泊变彩机理探讨 [J] , 中国宝石, 1996, (3) : 49;
23. 刘晓文, 翡翠玉的扫描电子显微镜(SEM)图谱研究 [J], 矿物岩石, 2001, 21(1) : 5 - 7;
24. 吴瑞华、李雯雯、白峰, 新疆和田玉岩石学特征及扫描电镜研究, 岩石学报 [J], 1999, 15(4): 638-644;
25. 涂彩、袁心强, L IBS分析软件的研究及其宝石学应用 [J], 宝石和宝石学杂志, 2008, 10(2): 26-29;
26. 马艺闻、杜振辉、孟繁莉、林旺、徐可欣, 激光诱导击穿光谱技术应用动态 [J], 分析仪器, 2010, (3):9-14;
27. 张鼐、何锦发, 阴极显微发光下识别翡翠 [J], 宝石和宝石学杂志, 2000, 2(3): 13-16;
28. 高媛, 阴极发光在翡翠研究中的应用 [J], 光谱实验室, 2011, 28(1): 409-412;
29. 周颖, 翡翠的阴极发光结构及其宝石学意义 [J], 宝石和宝石学杂志, 2002, 4(3): 31-35;
30. 张晓晖、吴瑞华 [J] , 阴极发光镜下对翡翠及翡翠(处理)饰品的鉴定 [J], 中国宝玉石, 2002, (2): 84-851;
31. 袁心强、亓利剑、张森, 缅甸翡翠阴极发光光谱表征 [J], 宝石和宝石学杂志, 2005, 7(2): 9-13;
32. 李敬敬, 优化处理红宝石的阴极发光特征 [J], 石家庄学院学, 2012, 14(6): 18-21;
33. 李耿、蔡克勤、余晓艳、刘燕、赵海云, 养殖珍珠的阴极发光特征 [J], 桂林工学院学报, 2008, 28(4): 545-547;
34. 宋中华、兰延、沈美冬、陆太进、柯捷、刘建辉、张玉冰, NGTC实验室发现未揭示的CVD合成钻石鉴定特征研究 [J], 宝石和宝石学杂志, 2012, 14(4): 30-34;
35. 国家质量监督检验检疫总局, GB/T 23886-2009, 珍珠珠层厚度测定方法-光学相干层析法 [S], 中国标准出版社: 2010-01-01;
36. 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 18781-2008 珍珠分级 [S], 中国标准出版社:2009-05-01.
37. 曾楠、何永红、马辉、王淑霞, 应用于珍珠检测的光学相干层析技术 [J], 中国激光, 2007, 34(8): 1140-1145;
38. 王淑霞, 光学相干层析技术及其应用[J], 科教前沿,2009 (19) : 432-433;
39. 童银洪、陈敬中、杜晓东, OCT 在珍珠研究中的应用 [J], 矿物学报, 2007, 27 (1) : 69-72;
40. 阎春生、曾楠、赖淑蓉等, 光学层析成像技术的研究动态 [J], 激光杂志, 2001, 22(5) : 5-8。