

欧泊结晶状态和色斑研究的新发现

尹作为 赵 雁 田 薇

(中国地质大学珠宝学院, 武汉 430074)

摘要: 欧泊的结晶状态和色斑问题一直以来是人们探讨的重要问题。对于区分天然欧泊与人工合成欧泊的重要鉴别特征“丝绢状”和“蜂巢状”色斑的成因问题, 研究甚少。通过宝石学常规测试、扫描电镜、X-射线粉晶衍射等测试手段, 进行测试和分析, 结果表明: 欧泊是由非晶态→雏晶→亚显微隐晶态→隐晶态的这种连续渐变的状态构成, 各状态之间并无截然的界限, 并且可以是这些不同状态的集合体; 提出了欧泊与玉髓之间的宝石学界定标准, 还揭示了两种色斑形成的不同机制: “丝绢”是由天然欧泊内部的显微构造裂隙对光产生散射而形成的, 而“蜂巢”是由合成欧泊自身结构中 SiO_2 球体排布与球体本身透光性决定的。对这两种色斑成因的揭示, 为欧泊鉴定提供了理论依据。

关键词: 欧泊; 非晶态; 晶态; 色斑。

中图分类号: P571; P585 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2000)03-0302-04

作者简介: 尹作为, 男, 讲师, 1971 年生, 1998 年毕业于中国地质大学, 获矿物学硕士学位, 主要从事珠宝的鉴定、教学和科研工作。

欧泊作为比较名贵的宝石种, 受到众多人的青睐。然而对于有关欧泊的结晶状态问题, 国内外许多学者看法不一^[1~3], 多数人认为欧泊为非晶质, 有的学者认为是含雏晶的 SiO_2 球体定向而成, 至今尚无一致的认识。为此, 笔者通过大量的样品测试认为, 欧泊是由非晶态→雏晶→亚显微隐晶态→隐晶态的连续渐变的过渡状态构成, 各状态间并无截然的界限。本文还对欧泊的色斑成因进行了研究和探索, 并得到一些新的发现和启示。

1 欧泊的结晶状态

笔者对中国地质大学珠宝学院所提供的无变彩的绿欧泊、具变彩的白欧泊等样品, 经宝石学常规测定、扫描电子显微镜(SEM)测定、X-射线粉晶衍射(XRD)测定(所有样品 XRD 谱线均由中大(武汉)测试中心潘宝明测定), 结果如下(仅列出 3 个样品):

(1) 样品 I(具变彩白欧泊)。扫描电镜(JSM35-CF, 瑞士产)测试结果, 如图版 II, 1 所示, 所测样



图 1 白欧泊样品 I(粉末)的 XRD 谱线

Fig. 1 XRD spectrum of white opal sample I (power)

品放大至 78 000 倍, 所见只是非晶态 SiO_2 球粒。进行 X-射线粉晶衍射测试(图 1), 谱线表现为仅以 $22^\circ(2\theta)$ 为中心的低而宽阔的峰, 证明该欧泊是非晶态的。

(2) 样品 II。将另一粒具变彩的白欧泊也进行 X-射线粉晶衍射测试, 如图 2 所示。图谱中除以 $22^\circ(2\theta)$ 为中心低而宽阔的峰外, 谱线中还有 $d = 3.35$ 的 α -石英的特征衍射峰, 表明此样品为非晶态 SiO_2 微粒与具有弱结晶的石英雏晶的集合体。这一结果同舒科娃等(据文献[4])利用电镜研究得出的

渐变的,并且随着结晶程度的增加,其折射率、密度、硬度也在相应地增加。

这样就存在一个问题:由于玉髓是隐晶质,如何在这种连续的状态中界定欧泊与玉髓呢?笔者认为通过扫描电镜测定颗粒大小来划分欧泊和玉髓是可行的,但不能在常规检测中广泛适用;通过常规检测手段界定二者更经济实用,按以往大家所接受的惯例和知识,并根据石英族结晶程度与宝石学物理参数^[5]的关系,建议如下界定:

欧泊为 $RI < 1.50, SG < 2.50, H < 6.5$; 玉髓为 $RI \geq 1.50, SG \geq 2.50, H \geq 6.5$ 。

这种呈隐晶态的欧泊可能是后期再结晶作用形成的,因而自然界中较少,随着形成环境的变化,欧泊可以是晶态的。

2 两种色斑的成因

在对欧泊天然品与合成品的常规检测中,人们常常利用显微镜来观察色斑以区分二者,这种做法的理论依据是什么?而产生上述两种不同的色斑的原因是什么?至今尚无人能回答。笔者对此作了一定的研究分析,力求能给予较合理的解释。

在具变彩的天然欧泊色斑表面,“丝绢状”是由不同方向的纤维构成的(图版Ⅱ,4),照片中纤维本身呈灰暗色。在显微镜下观察,转动欧泊,这些纤维几乎都是灰暗色(即使在不同的色斑上),只有特定角度时这些纤维才变得亮起来,再一轻微转动,仍为灰暗色,并且这些纤维可以因为欧泊的转动而产生移动,并非固定于某一色斑上。

笔者对这些具有变彩的欧泊进行扫描电镜观察时,发现构成欧泊的 SiO_2 球体即使是等大规则紧密堆积,仍然可以见到许多方向有所不同的显微构造裂隙(如图版Ⅱ,5)。

欧泊的变彩是由 $150\sim300\text{ nm}$ 的 SiO_2 等大球体规则紧密堆积对光产生干涉和衍射而形成的^[6],而这些裂隙的存在对欧泊形成变彩过程中对光的干涉和衍射起到破坏和阻碍作用,即对干涉色光起到散射和漫反射的作用,光波在此处无法正常干涉而造成此处变彩中断,产生灰暗色调,而在特定角度即在入射光波的镜面反射位置上见到的仅是反射的波段,因而变得亮起来,但转动即失。也正是由于这些显微构造裂隙方向不一致,因而色斑表面的条纹可呈不同的方向,并且随欧泊转动,裂隙对散射的干涉

图2 白欧泊样品Ⅱ(粉末)的XRD谱线

Fig. 2 XRD spectrum of white opal sample Ⅱ (power)

图3 样品Ⅲ绿色欧泊(粉末)的XRD谱线

Fig. 3 XRD spectrum of opal sample Ⅲ of green color (power)

欧泊由 $8\sim15\text{ nm}$ 具弱结晶的非晶态 SiO_2 微粒组成的认识一致。

(3)样品Ⅲ(不具变彩的绿色欧泊)。经宝石学常规测定为 $RI=1.46\sim1.47, SG=2.1\sim2.2, H\approx6$, 偏光镜下全亮。对欧泊的扫描电镜测试:样品放大至 500 倍仅为球状(图版Ⅱ,2),大小不一,球粒直径为 $1\times10^4\sim2\times10^4\text{ nm}$,超出所能形成变彩的 SiO_2 球粒直径,因而无变彩;当放大至 2 000 倍和 5 000 倍时,会发现这些球粒似毛绒状,由大量微晶体构成;放大至 18 000 倍,可清楚地看见晶体颗粒(图版Ⅱ,3),长度在 $1\ 000\sim2\ 000\text{ nm}$ 左右。

对这一绿色欧泊再进行 X-射线粉晶测试,如图3所示,出现了 $d=4.58, d=4.41$ 和 $d=4.27$ 的吸收峰,表明该样品中含有 α -鳞石英,同时也说明该欧泊为晶质集合体。

通过上述 XRD 测定分析,根据晶体生长规律,我们认为:欧泊是由非晶质→晶质集合体之间连续

色光角度改变,产生的灰暗条纹发生轻微的移动.笔者称这些条纹为“变彩间断”,实际上是内部显微构造的反映.

值得注意的是,天然欧泊在形成过程中,由于 SiO_2 球体堆积过程中总要受到液体流的微弱干扰,加上形成后地层压力和轻微压力变动,对紧密堆积的球体产生不同方向上的破坏作用(不同方向上的剪切应力造成的),必然会在球体之间产生构造裂隙缺陷.上述过程是在自然地质状态下几乎难以避免的,因而几乎所有天然欧泊都可以见到这些构造裂隙,即总是可以见到具有纤维条带的“丝绢状”色斑.这也为通过这种“丝绢状”色斑来鉴别天然欧泊提供了依据.

某些合成欧泊中的“蜂巢状”色斑,也是内部结构的一种展现.合成欧泊色斑呈“蜂巢状”,即如六方格子状,排列规则(图版II,6).仔细观察它们,会发现“蜂巢”壁是由亮线构成的,而单个“蜂巢”内部较暗.

笔者将这些合成欧泊及其热处理品置于扫描电镜下观察(图版II,7,8),发现合成欧泊球粒几乎等大,粒径约200 nm,排列非常规则.从紧密堆积的球体侧面观察(图版II,7为合成欧泊的热处理品,放大10 000倍),颗粒排布趋于一向延长,形成柱状线性孔隙,而单个颗粒本身呈六方格子状(图版II,8为合成欧泊,放大20 000倍),整个排列呈六方最紧密堆积^[7].通过上述结构,我们不难发现,“蜂巢”本身的六边形亮线是由球粒缝间所透出的干涉色光构成,单个“蜂巢”内部稍暗,是由于颗粒本身透光性差所致.色斑侧面看起来呈线状升起,也正是由于其六方紧密堆积形成的侧面的线状孔隙所透光形成.因此“蜂巢状”色斑是由 SiO_2 球粒自身形态及规则排布所造成的,是其结构的一种体现.

合成欧泊形成于人为可控的条件下,环境相对稳定,且颗粒大小一致,排列规则,呈六方紧密堆积,几乎没有天然欧泊的构造裂隙缺陷,因而合成欧泊几乎见到的都是“蜂巢状”色斑.

天然欧泊存在构造裂隙导致的“丝绢状”色斑,

这并不等于说这种现象在人工合成的欧泊中不可能出现,特别是一些塑料仿欧泊,仍可以见到“丝绢状”色斑,这可能是因为塑料硬度低,易受压力变形,产生构造裂隙缺陷,而人工合成欧泊,特别是吉尔森合成欧泊,在一定的条件下,去诱发显微构造裂隙,会产生上述“丝绢状”与“蜂巢状”并存的现象.如果技术允许,可以合成出类似天然的具“丝绢状”色斑的合成欧泊,这将会给欧泊的鉴定带来麻烦.

参考文献:

- [1] 英国宝石协会. 宝石学教程[M]. 陈钟惠译. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. 188.
- [2] 潘兆橹. 结晶学及矿物学[M]. 北京: 地质出版社, 1985. 72.
- [3] 弗朗德尔 C. 二氧化硅矿物[M]. 武汉: 武汉地质学院出版社, 1985. 220~230.
- [4] 吕麟素. 欧泊变彩机理探讨[J]. 中国宝石, 1996, (3): 49.
- [5] 周国平. 宝石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 232~298.
- [6] Fred Ward. Opal [M]. Australia: Gem Book Publishers, 1997. 62~63.
- [7] Drahme Brawn. 贵蛋白石与人造欧泊的比较[M]. 西安: 西安地质学院出版社, 1992. 12~15.

图 版 说 明

图 版 II

- 1 样品 I . 呈非晶态的具变彩的白欧泊, 扫描电镜照片, $\times 78\,000$
- 2 样品 III . 不具变彩的绿色欧泊, 扫描电镜照片, $\times 500$
- 3 样品 III . 不具变彩的绿色欧泊, 扫描电镜照片, $\times 18\,000$
- 4 天然欧泊色斑表面的暗色纤维, 显微照片, $\times 30$
- 5 球粒间纵向构造裂隙, 电镜照片, $\times 10\,000$
- 6 合成欧泊色斑表面的亮线构成“蜂巢”, 显微照片, $\times 30$
- 7 合成欧泊的热处理品, 电镜照片, $\times 10\,000$
- 8 未受热处理的合成欧泊, 电镜照片, $\times 20\,000$
标本保存在中国地质大学珠宝学院

NEW DISCOVERY OF OPAL CRYSTALLINE STATE AND COLOUR PATCH

Yin Zuowei Zhao Yan Tian Wei

(Gemmological Institute, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The opal crystalline state and colour patch have always been a hot issue in the gemmological community. However, very few literatures are focused on origins of the “silky” and “honeycomb-like cellular” colour patches, an important feature for the differentiation between natural and synthetic opals. For this reason, the authors tested and analyzed many opal samples using conventional gemmological test, SEM, and XRD. The research shows that the opal is in a continuous gradual changing state ranging from the noncrystalline to the crystallite to the sub-microscopic cryptocrystalline and finally to the cryptocrystalline. In addition, no distinct boundary is present between each two states. Furthermore, the opal may exist as an aggregate in all these different states. In this paper, the authors propose a gemological criterion to differentiate between the opal and the chalcedony, and also show different mechanisms for the formation of these two different colour patches. The “silky” colour patch occurs when the light is dispersed from the microscopic fissures inside the natural opal, but the “honeycomb-like cellular” colour patch is determined by the distribution of the SiO₂ spheres and the light transmittance characteristic of the spheres themselves within the synthetic opal. The understanding of the origins of these two colour patches has provided us with the theoretical basis for the differentiation between natural and synthetic opals.

Key words: opal; noncrystalline state; crystalline state; colour patch.