

浅谈四个产地蓝宝石的宝石学特征

杜书恒, 魏文俊

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2024年12月10日; 录用日期: 2025年2月3日; 发布日期: 2025年2月12日

摘要

宝石包裹体的研究一直是珠宝领域的热点之一, 但对于五大名贵宝石之一的蓝宝石包裹体的对比研究还不多。前人运用常规宝石学测试、谱学测试如拉曼光谱等现代测试手段, 对选自澳大利亚、阿扎德克什米尔、中国山东、非洲几内亚等产地的蓝宝石样品的宝石学特征进行测试分析。本文在前人的相关研究成果的基础上, 对蓝宝石矿床特征以及澳大利亚、阿扎德克什米尔、中国山东、非洲几内亚等产地的蓝宝石的宝石学特征进行了归纳与总结。通过初步探讨不同产地的蓝宝石包裹体特征的独特表现, 以及它们在包裹体特征方面的差异性, 不仅为蓝宝石的产地溯源提供了重要依据, 而且为珠宝市场也提供了更可靠的鉴定依据。

关键词

蓝宝石, 产地, 包裹体, 矿床特征, 宝石学特征

A Brief Discussion on the Gemological Characteristics of Sapphire from Four Different Origins

Shuheng Du, Wenjun Wei

College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Dec. 10th, 2024; accepted: Feb. 3rd, 2025; published: Feb. 12th, 2025

Abstract

The study of gemstone inclusions has long been a hot topic in the jewelry field. However, comparative research on inclusions in sapphires, one of the five precious gemstones, is still limited. Previous researchers have used conventional gemological tests and modern spectroscopic techniques, such as Raman spectroscopy to analyze the gemological characteristics of sapphire samples from Australia,

Azad Kashmir, Shandong, China, and Guinea in Africa. Based on the previous research results, this paper summarizes the characteristics of sapphire deposits and the gemological features of sapphires from Australia, Azad Kashmir, Shandong, China, and Guinea in Africa. By initially exploring the unique manifestations of inclusions in sapphires from different origins and their differences in inclusion characteristics, this study not only provides important evidence for the origin traceability of sapphires but also offers more reliable identification criteria for the jewelry market.

Keywords

Sapphire, Origin, Inclusion, Deposit Characteristics, Gemological Characteristics

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

蓝宝石作为五大名贵宝石之一,具有产量稀少、颜色丰富美丽、折射率高、硬度高等特点,在彩色宝石贸易中具有重要地位。蓝宝石在国际宝石交易市场上一直都受到消费者的追捧,蓝宝石的商业价值受诸多因素影响,不仅仅受其颜色和净度的影响,而且还受其产地的影响,不同产地蓝宝石的价格存在较大差异。

然而,不同产地的蓝宝石在品质、颜色等方面往往存在一定差异,而这些差异在很大程度上与宝石内部的包裹体特征密切相关。包裹体作为宝石在形成过程中捕获的各种物质,犹如宝石内部的“指纹”,蕴含着丰富的产地信息[1]。包裹体在宝石中的存在既有利也有弊:一方面会对宝石的品质产生影响;另一方面,包裹体还可以反映宝石的产地信息。本文收集了不同产地蓝宝石的文献资料,对比分析它们的包裹体特征,包括其种类、成分、分布规律等方面,进而揭示这些特征与产地地质环境之间的内在联系,为蓝宝石的产地鉴定提供重要依据。

2. 蓝宝石概述

蓝宝石属于刚玉族矿物,英文名字 Sapphire 来源于拉丁语 Spphirus,希腊语 Sappheires,希伯来语 Sappir,梵语 Sanipriga,字面意思是“对土星的珍爱”[2]。实际上,宝石界将红宝石以外的其余各色的宝石级刚玉统称为蓝宝石,包括蓝色、黄色和无色等。

2.1. 化学成分及晶体形态

蓝宝石的化学成分是三氧化二铝,呈三方晶系,常见单形为六方柱、菱面体、六方双锥和平行双面。常呈腰鼓状或短柱状晶体。

2.2. 颜色及多色性

蓝宝石有无色、各种蓝色色调以及绿色、黄色、粉色、褐色等。多色性明显。

3. 蓝宝石矿床特征概述

3.1. 矿床类别

在蓝宝石矿床分类领域,早期前人所整理的资料大多依循成因分类法。这一分类方式主要依据矿床

形成的内在机制, 将其划分为内生矿床与外生矿床两大类。内生矿床涵盖了岩浆型、变质型宝石矿床[3]。岩浆型矿床与岩浆活动紧密相连, 以澳大利亚诸多蓝宝石矿床为典型实例, 那里产出的蓝宝石晶体, 结晶形态规整优美, 色泽明艳动人; 变质型宝石矿床的诞生, 则主要归功于变质作用。斯里兰卡境内的部分蓝宝石矿床便隶属此类, 其产出的蓝宝石因独特的形成历程, 常常展现出别样的晶体特征与光学特性。外生矿床以宝石砂矿型为代表, 它与内生矿床的形成路径截然不同。八十年代初, 也有人单纯按该矿床产状分类(如产于碱性玄武岩中的红、蓝宝石矿床等)[3]。

3.2. 中国蓝宝石

中国蓝宝石主要产于新生代碱性玄武岩及其冲积物中。20 世纪 20 年代末, 蓝宝石矿床首次在海南省文昌县被发现。此后, 在山东、福建、江苏、黑龙江等东部沿海地区以及深大断裂带附近, 也相继勘探到此类矿床[4]。这些地区独特的地质条件, 为蓝宝石的形成与富集提供了适宜环境, 使得中国的蓝宝石资源在一定区域内得以呈现较为集中的分布态势。

3.3. 澳大利亚蓝宝石

在澳大利亚东部, 蓝宝石的形成颇具特色。其主要以捕获晶的形式诞生于中生代至新生代(其中大部分形成于新生代)时期的碱性玄武岩环境里。在漫长的地质演化进程中, 被逐渐搬运至地表, 广泛分布于新英格兰、新南威尔士、阿纳基、昆士兰等诸多地区[5][6]; 在澳大利亚西部, 蓝宝石矿较少, 如威廉伯里的 Nit-icorp 矿[7]; 不同蓝宝石矿床对应的熔岩场, 其形成时期存在显著差异, 时间范围从 0.02~95.00 Ma 不等[8]。澳大利亚蓝宝石类型大多为岩浆岩型, 但也有沉积岩型和变质岩型, 同一矿区也可能存在几大类岩石的混合型刚玉品种[9]。这些区域凭借独特的地质历史与地理条件, 见证了蓝宝石从地下到地表的奇妙旅程, 为全球蓝宝石资源库贡献了来自澳大利亚的璀璨珍宝。

4. 不同产地蓝宝石的宝石学特征

4.1. 澳大利亚蓝宝石

4.1.1. 基础特征

对澳大利亚蓝宝石原石进行常规宝石学测试发现, 其折射率 $N_e = 1.762 \sim 1.770$, $N_o = 1.770 \sim 1.778$; 双折射率为 0.008; 相对密度为 3.74~4.20; 在紫外荧光灯下显示出惰性荧光; 利用光学显微镜观察样品, 在反射光条件下, 呈强玻璃光泽; 在透射光条件下, 可看到颜色分布较不均匀且普遍分布的六边形生长色带, 常表现为黄色 - 蓝色相间[9](如图 1)。此外, 澳大利亚蓝宝石具有较强的二色性, 这种特性与致色离子的数量以及方向存在关联[10]。

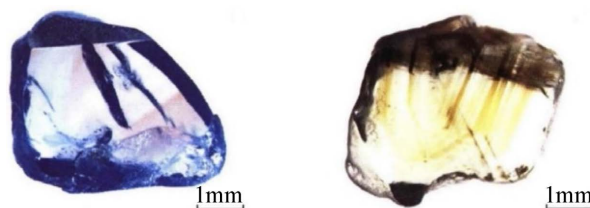


Figure 1. Hexagonal growth color band of Australian sapphire sample [9]

图 1. 澳大利亚蓝宝石样品的六边形生长色带[9]

4.1.2. 包裹体特征

学者们通过拉曼光谱分析技术, 发现澳大利亚蓝宝石的拉曼光谱除刚玉的特征谱峰外, 还存在与二

氧化碳(CO_2)有关的 1286 cm^{-1} 、 1385 cm^{-1} 处的拉曼光谱, 以及与水(H_2O)有关的 3460 cm^{-1} 处的拉曼谱峰, 进而明确了其包裹体包括二相包裹体和固态包裹体, 其中二相包裹体广泛分布于蓝宝石内部, 主要由二氧化碳(CO_2)和水(H_2O)构成; 而晶体包裹体则呈现出多样化的特征, 涵盖了诸如蓝宝石、金红石、锆石、硬水铝石以及角闪石等多种矿物晶体; 此外, 在愈合裂隙面上主要有硫磺分布[9] [11]。

4.2. 阿扎德克什米尔蓝宝石

4.2.1. 基础特征

对阿扎德克什米尔蓝宝石进行常规宝石学测试发现其折射率约为 $1762\sim 1770$, 相对密度取平均值为 4.05 [12]。

4.2.2. 包裹体特征

阿扎德克什米尔蓝宝石内部存在多种包裹体, 其中涵盖了气液包裹体、固体包裹体以及它们相互组合的形式。通过拉曼光谱与显微镜下特征相结合, 能够明确其固体包裹体的种类颇为丰富, 诸如锆石、石墨、水铝石、赤铁矿等固体包裹体均可被观测到(如图 2)。与此同时, 该种蓝宝石还存在各式各样不同的气液包裹体、石墨与气液包裹体的组合形式、锆石 - 石墨组合形式以及蓝色 - 紫色平行角状条带和生长纹[12], 这些特征与 Pardieu 所报道的阿扎德克什米尔蓝宝石的特征是相契合的[13]。总之, 包裹体的形态特点以及其在蓝宝石内部的存在方式, 是在显微镜下对阿扎德克什米尔蓝宝石进行鉴别时的关键要素所在[12]。

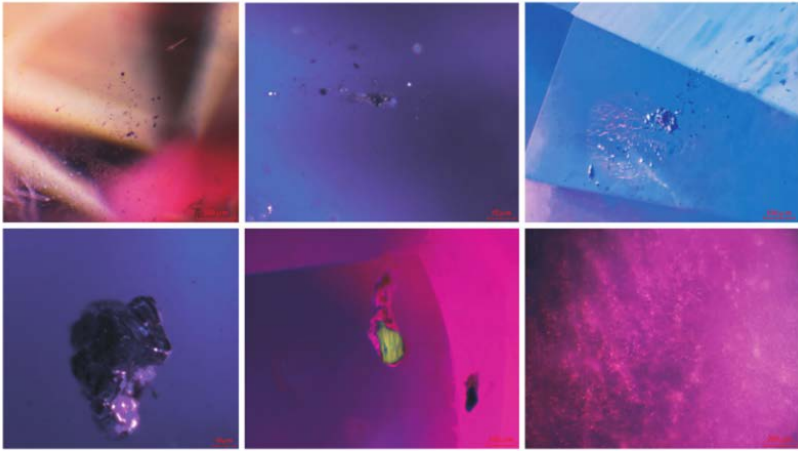


Figure 2. Solid inclusions in Azad Kashmir Sapphire Specimen [12]

图 2. 阿扎德克什米尔蓝宝石样品中的固体包裹体[12]

4.3. 中国山东蓝宝石

4.3.1. 基本特征

山东蓝宝石的常见形态为六方桶状、腰鼓状, 完整晶形为板面和六方双锥的聚形; 颜色以深蓝色 - 蓝黑色为主, 黄绿色次之, 其它颜色少见[14]。

4.3.2. 包裹体特征

山东蓝宝石所含包裹体数量巨大, 其主要特征有裂隙、裂理、色带、针状包裹体以及多相包裹体。就颜色差异来看, 黄棕色、棕褐色蓝宝石所含包裹体数量往往较多; 而蓝色、蓝绿色蓝宝石中多相包裹体发育且主要由 H_2O 、 CO_2 及玻璃相组成[15]。在已进行研究的范围内, 仅能确认的固相矿物包裹体包括

斜长石、刚玉、锆石、磷灰石、钛铁矿、各种尖晶石(铁铝尖晶石、镁铝尖晶石、铬镍尖晶石、钛铁尖晶石)、各种磁铁矿(铬磁铁矿、铬镍磁铁矿、磁铁矿)等, 以及能确认成分但不能定名的有卤化物和含硫化合物等; 此外, 还发育有气相、液相和多相包裹体[14]。

4.4. 非洲几内亚褐色蓝宝石

4.4.1. 基本特征

对非洲几内亚褐色蓝宝石原石进行常规宝石学测试发现, 其折射率为 1.762~1.770, 双折射率为 0.008; 相对密度为 3.94~4.04; 在短波紫外荧光灯下荧光呈惰性, 带红色调的样品在长波紫外荧光下会有微弱红色荧光[16]。以上常规宝石学参数均处于刚玉标准宝石学参数所规定的范围内[17]。

4.4.2. 包裹体特征

拉曼光谱分析的结果表明, 非洲几内亚的褐色蓝宝石其内部包含硬水铝石、金红石、磁铁矿、赤铁矿、黄铁矿等多种包裹体, 但其内部最为常见的是三组按定向排列的针状包裹体, 此外, 还有大量裂隙, 以及诸如固体包裹体、两相及多相包裹体等不同类型的包裹体[16]。

红外光谱分析结果表明, 该褐色蓝宝石均清晰呈现出与硬水铝石密切相关的 O-H 振动峰[16]。据前人的研究成果可知, 硬水铝石的特征吸收峰位于 $2115\sim 2125\text{ cm}^{-1}$ 和 1900 cm^{-1} 附近, 硬水铝石大部分是以薄膜的形式依附在流体包裹体壁上, 很少以柱状形式存在[18][19]。当硬水铝石被加热到 450°C 以上时, 其内部的水分会因结构遭到破坏而随之逸出, 进而致使红外特征峰的半高峰减弱; 待加热温度达到 800°C 后, 硬水铝石的特征峰则会彻底消失[20]。由此可知, 硬水铝石中 O-H 振动峰的存在与否, 可作为判定该褐色蓝宝石是否经过热处理的重要依据[16]。

5. 包裹体特征对比

澳大利亚蓝宝石有二相包裹体(二氧化碳和水)、固态包裹体(多种矿物晶体)和硫磺[9]。阿扎德克什米尔蓝宝石有气液包裹体、固体包裹体(多种矿物晶体)及其组合形式[12]。中国山东蓝宝石有裂隙、裂理、色带、针状包裹体、多相包裹体以及多种固相矿物包裹体和其他成分包裹体[14][15]。非洲几内亚褐色蓝宝石有硬水铝石、金红石、磁铁矿、赤铁矿、黄铁矿等多种包裹体, 常见三组按定向排列的针状包裹体[16]。

通过对比可以发现, 不同产地蓝宝石包裹体的形成过程都受到当地地质环境(包括岩石成分、热液活动、地质应力等)的影响。澳大利亚和阿扎德克什米尔蓝宝石包裹体形成过程中热液活动起到重要作用; 中国山东蓝宝石包裹体受后期地质应力和生长过程中成分变化影响较大; 非洲几内亚褐色蓝宝石包裹体则与矿源区岩石成分和晶体生长方向等因素关系密切。这些包裹体特征可以作为鉴别不同产地蓝宝石的重要依据。

6. 结语与展望

在宝石的世界中, 澳大利亚、阿扎德克什米尔、中国山东以及非洲几内亚等地所产的蓝宝石皆独具魅力, 各有特色。就基本特征而言, 这些产地的蓝宝石在折射率、相对密度等常规宝石学参数方面, 存在着一定的相似之处, 但在颜色、形态等方面存在明显差异。而聚焦于包裹体特征时, 其多样化特点更是展露无遗。这些产地的蓝宝石, 凭借包裹体在种类、形态、分布状况等方面的区别, 再结合谱学特征分析, 展现出丰富多样的特性。

澳大利亚蓝宝石通过拉曼光谱分析确定包裹体成分、明确包裹体类型, 从而将其用于产地鉴别; 阿扎德克什米尔蓝宝石结合拉曼光谱与显微镜下的特征确定固体包裹体种类, 还借助显微镜观察包裹体的

形态特点及其在蓝宝石内部的存在方式, 以此作为产地鉴别关键要素; 中国山东蓝宝石的包裹体特征也可用于鉴定产地, 而不同颜色其内部包裹体情况有差异。非洲几内亚褐色蓝宝石通过拉曼光谱分析确定内部包含的多种包裹体, 采用红外光谱分析确定与硬水铝石密切相关的 O-H 振动峰, 以此来判断其是否热处理。四个产地的蓝宝石包裹体特征差异不仅受到其形成时的地质环境, 包括岩石类型、热液活动、地质应力以及矿源区成分等因素影响, 还通过包裹体的种类、成分、分布规律等诸多方面反映出来。通过深入研究这些特征, 不仅为学者们准确鉴别蓝宝石的产地提供了可能, 还极大地拓宽了人们对于全球不同产地蓝宝石包裹体特性的认知范畴。

未来, 我们期待借助更先进的检测技术和分析手段, 进一步挖掘这些产地蓝宝石的细微差异和潜在特性, 从而更加精准地鉴定和区分不同产地的蓝宝石。同时, 也希望通过持续的研究, 能够更好地揭示蓝宝石形成过程中的诸多奥秘, 为全球宝石产业的健康发展提供更坚实的理论支撑。

参考文献

- [1] Smith, J.D. (1984) Gemstone Inclusions: Nature and Significance. *Geological Society of America Bulletin*, **95**, 1-10.
- [2] 周国平. 宝石学[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1989: 392.
- [3] 王先政, 郇成彬. 红, 蓝宝石矿床成因——产状分类及我省主要宝石矿床地质特征[J]. 黑龙江地质, 1999, 10(4): 17-23.
- [4] 潘峰, 唐兰. 中国蓝宝石矿床类型[C]//地球科学与资源环境——华南青年地学学术研讨会论文集. 武汉: 中国地质大学, 2003: 246-248.
- [5] Graham, I., Sutherland, L., Zaw, K., Nechaev, V. and Khanchuk, A. (2008) Advances in Our Understanding of the Gem Corundum Deposits of the West Pacific Continental Margins Intraplate Basaltic Fields. *Ore Geology Reviews*, **34**, 200-215. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2008.04.006>
- [6] Wong, J., Verdel, C. and Allen, C.M. (2017) Trace-Element Compositions of Sapphire and Ruby from the Eastern Australian Gemstone Belt. *Mineralogical Magazine*, **81**, 1551-1576. <https://doi.org/10.1180/minmag.2017.081.012>
- [7] Sutherland, F.L. and Webb, G.B. (2007) Australian: Sapphires and Rubies. *Rocks & Minerals*, **82**, 116-125. <https://doi.org/10.3200/rmin.82.2.116-139>
- [8] Saminpayya, S., Manning, D.A.C., Droop, G.T.R. and Henderson, C.M.B. (2003) Trace Elements in Thai Gem Corundums. *The Journal of Gemmology*, **28**, 399-416. <https://doi.org/10.15506/jog.2003.28.7.399>
- [9] 徐娅芬, 狄敬如, 方菲. 澳大利亚蓝宝石的宝石学和谱学特征[J]. 宝石和宝石学杂志, 2019, 21(2): 24-33.
- [10] 谢意红. 刚玉族宝石的多色性及形成机理[J]. 珠宝科技, 2003, 15(5): 48-51.
- [11] Buravleva, S.Y., Smirnov, S.Z., Pakhomova, V.A. and Fedoseev, D.G. (2016) Sapphires from the Sutara Placer in the Russian Far East. *Gems & Gemology*, **52**, 252-264. <https://doi.org/10.5741/gems.52.3.252>
- [12] 黄甜甜, 郇玉杰, 孙雪莹, 等. 阿扎德克什米尔蓝宝石的包裹体拉曼光谱研究[J]. 宝石和宝石学杂志(中英文), 2022, 24(5): 101-108.
- [13] Pardieu, V., Thirangoon, K., Lomthong, P., et al. (2009) Sapphires Reportedly from Batakundi/Basil Area: A Preliminary Examination and a Comparison with Rubies and Pink Sapphires from Other Deposits in Central Asia. https://www.gia.edu/doc/batakundi_sapphire.pdf
- [14] 余晓艳. 山东蓝宝石的宝石矿物学特征[J]. 岩矿测试, 1999, 18(1): 43-47.
- [15] 陈盈, 廖宗廷, 薛秦芳. 山东蓝宝石的包裹体研究[J]. 上海地质, 2007(3): 63-66.
- [16] 余丽, 潘少逵. 非洲几内亚褐色蓝宝石的宝石学特征[J]. 宝石和宝石学杂志(中英文), 2022, 24(3): 10-19.
- [17] 张蓓莉. 系统宝石学[M]. 第2版. 北京: 地质出版社, 2006: 692-693.
- [18] Shen, A.H. and Wirth, R. (2012) Beryllium-Bearing Nano-Inclusions Identified in Untreated Madagascar Sapphire. *Gems & Gemology*, **48**, 150-151.
- [19] Zack, T., Kronz, A., Foley, S.F. and Rivers, T. (2002) Trace Element Abundances in Rutiles from Eclogites and Associated Garnet Mica Schists. *Chemical Geology*, **184**, 97-122. [https://doi.org/10.1016/s0009-2541\(01\)00357-6](https://doi.org/10.1016/s0009-2541(01)00357-6)
- [20] 周全德, 王以群. 红宝石傅里叶红外光谱研究[J]. 宝石和宝石学杂志, 2000, 2(1): 23-26.