

· 问题讨论 ·

关于翡翠研究中几个重要问题的思考

周艳^{1,2}, 刘嵘³, 曹姝旻^{1,4}

(1. 中国地质大学 研究生院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质博物馆, 北京 100034;

3. 中国地质大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 4. 广东省珠宝玉石及贵金属检测中心, 广东 广州 510080)

摘要: 随着与翡翠伴生或共生的过渡品种的不断出现, 翡翠成因研究和人工合成技术开发面临着新的挑战 and 契机。首先, 现行的行业性翡翠命名标准已显得过于笼统, 难以区分传统观念中的翡翠及其过渡种属, 妨碍了市场的良性发展。此外, 越来越多的研究表明, 在高压俯冲带内, 传统观念中的翡翠及其伴生岩石, 如钠铬辉石岩(玉)、绿辉石岩(玉)、钙铝榴辉岩等一些高压岩石之间存在时间和空间上的关联性。笔者认为俯冲带中形成的深部熔体与超基性岩之间的交代变质是导致岩石分带和岩性多样化的根本原因, 提出了俯冲带熔体交代成因说, 认为俯冲带、深部流体和超基性岩体是形成翡翠及其过渡品种的3个必要条件, 并因此指出在人工合成过程中引入流体相很可能是降低实验条件的苛刻程度、从而合成出真正具有商业意义的翡翠的途径。

关键词: 翡翠; 命名更新; 成因; 人工合成

中图分类号: P619.28⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)01-0087-06

A preliminary discussion on some important problems in jadeite research

ZHOU Yan^{1,2}, LIU Rong³ and CAO Shu-min^{1,4}

(1. Graduate School, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Geological Museum of China, Beijing 100034, China; 3. College of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 4. Guangdong Provincial Gem & Precious Metal Testing Centre, Guangzhou 510080, China)

Abstract: With the continuous appearance of jades associated with jadeite, the researches on the genesis and synthetic technology of jadeite are facing new challenges and opportunities. The existing National Standard of Jadeite Nomenclature has become too broad, and it is difficult to distinguish jadeite in the traditional concept from its transitional species, which would hinder the healthy development of the market. In addition, more and more studies show that in the subduction zone of high pressure, jadeite is spatially and temporally related to other high-pressure rocks such as ureyitite (jade), omphacitite (jade) and groeclogite. The authors believe that the diversification of rock zonation and lithology of these high pressure rocks can be attributed to the metasomatism that took place between deep melt and ultrabasic rocks in the subduction zone, and thus propose a hypothesis of subduction melt metasomatism to explain jadeite formation. It is held that the subduction zone, deep melt and ultrabasic rocks constitute three necessary conditions for the formation of jadeite and its transitional varieties. It is also thought that the introduction of fluid phase in the synthesizing process can possibly alleviate the harsh conditions of high temperature and high pressure reaction and hence realize the successful synthesis of commercial jadeite.

Key words: jadeite; nomenclature renewal; genesis; synthesis

收稿日期: 2008-05-18; 修订日期: 2008-09-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40202008)

作者简介: 周艳(1981-), 女, 硕士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事宝玉石矿物方面的研究, E-mail: zhouyan81@126.com.

无论在宝石学研究还是在宝石商贸中,翡翠都处于举足轻重的地位。近年来,随着翡翠资源的日益匮乏,人们一方面加大了合成翡翠实验研究的力度;另一方面也开始寻找与翡翠相似的替代品种,可见翡翠样品的多元化发展已经成为一种必然的趋势。在这种新形势下出现了几个亟待解决的问题:其一,迫切需要完善和细化翡翠的分类命名方案;其二,需要解决翡翠的成因机制争议,为下一步的矿床勘探和开发提供理论依据;其三,重新审视合成翡翠的实验思路,为合成翡翠的商品化奠定理论基础。为此,本文拟从翡翠的命名标准更新、成因争议和我国的合成方法与技术开发这3个翡翠研究中的重要问题入手,通过分析研究,以期对翡翠饰品的市场导向及翡翠资源的综合开发利用提供思路和依据。

1 翡翠命名标准的更新

目前,对于翡翠的命名,国内教科书及检测机构所依据的国家标准 GB/T16552-2003《珠宝玉石命名》和 GB/T15553-2003《珠宝玉石鉴定》,只是将其定义为主要由硬玉矿物组成的玉石。然而,20世纪90年代以来,随着翡翠开采方法的改进和翡翠需求量的增加,在缅甸翡翠矿床及玉石市场上出现了一些与翡翠共生或伴生的过渡品种,如钠铬辉石玉、绿辉石玉和钠长硬玉玉等玉石。它们的硬玉含量或者大于50%,或者其主要矿物为与硬玉有着密切共生或交代关系的辉石。这些过渡品种的出现,为翡翠的命名提出了一个新的课题,是否将其归类于翡翠还存在较大分歧:一种观点认为这些过渡品种不应该归为翡翠大类,翡翠应该是由硬玉矿物组成的玉石,但硬玉矿物含量是大于50%、或大于75%、或大于80%等各说不一(张蓓莉等,1999);另一种观点认为这些过渡品种的宝石学、矿物学特征与翡翠(硬玉玉)相近,且市场上早已有这些过渡品种的出售,也得到了行业的认可,因此应划归为翡翠大类(张梅等,2004)。国内珠宝鉴定证书的出具主要根据 GB/T16552-2003 和 GB/T15553-2003,而这两个标准并未给出这一类过渡品种的明确命名。因此,当这类过渡玉种被拿到检测中心检测时,可能会出现不同机构出具不同检测结果的现象,引起翡翠市场的混乱,降低消费者的消费信心(曹姝旻等,2007)。因此,翡翠的命名问题已迫在眉睫。为了维护翡翠市场的良性发展,应加强在此方面的研究,给出一个合理的命名方案,尽快对原有标

准进行修改。

2 翡翠成因的争议

由于翡翠形成过程复杂,条件苛刻,世界上可产翡翠的国家或地区甚少,仅有缅甸、日本、俄罗斯、美国等国产出,但优质翡翠仅产在缅甸,且市场上销售的翡翠95%以上来自缅甸(施光海等,2004)。因此,有关翡翠成因的讨论多针对缅甸翡翠。缅甸硬玉岩位于印度板块的东部那加阿拉干(Naja-Arakan)缝合带与密支那(Myitkyina)缝合带之间的实皆(Sagaing)走滑断裂带西部的蛇纹岩带内,主要呈脉状、块状、透镜状等产于蛇纹岩化超基性岩之中(施光海等,2001)。由于缅甸政局动荡,很少有地质学家对矿区做过实地考察,一直以来,缅甸翡翠矿床地质图都是引用1934年由乔西伯尔(Chhibber)发表、后经苏温(Soe-win)和凯勒(Keller)等人做过修改补充的地质图(转引自张位及,2002)。这些因素使得翡翠成因蒙上一层神秘的面纱,导致翡翠多种成因说产生,归纳起来,主要有岩浆学说、原位变质学说、热液交代学说和新岩浆学说。岩浆学说认为翡翠是酸性熔融体(残余花岗岩浆)在高压条件下侵入到超基性岩中的脱硅产物(基也夫林科,1981)。原位变质成因说认为翡翠是在区域变质时原生钠长石分解为硬玉和石英而形成的(基也夫林科,1981;欧阳秋眉,2000)。热液交代学说主要有3种观点:莫尔科夫基娜推测翡翠直接在高温高压作用下,从作用于超基性岩的溶液中交代形成(转引自奥岩,1998);多勃列佐夫等在分析前苏联翡翠矿床的形成条件后认为,翡翠是花岗岩类岩脉和淡色辉长岩类岩脉,在1.2~1.4 GPa压力下,并在高钠的化学势的水溶液作用下发生交代作用的结果(转引自奥岩,1998)。柯尔仁斯基认为,翡翠是花岗岩类岩石与超基性岩发生交代作用形成的,因而产在花岗岩类岩石与超基性岩的接触带上(转引自奥岩,1997)。崔文元等(2000)和施光海等(2001)根据硬玉岩中含 H_2O-CH_4-Jd 的三相包裹体的存在,对围岩进行了常量元素、微量元素和稀土元素研究,得出硬玉是由含 H_2O 和 CH_4 、富Na贫Si的硬玉质硅酸盐熔融体结晶而形成的,也就是这里所说的新岩浆学说。

以上4种观点都存在或多或少的问题,如岩浆学说无法解释翡翠矿体成条带状对称分布的特征(奥岩,1998),变质学说无法解释有些缅甸硬玉样品中既没有发现石英也没有发现长石的存在,交代学说未能

说明钠质流体的来源,且脱硅的方向与实际不符。新岩浆学说合理解释了很多地质现象,但最大的缺陷在于:这种富含 Na、Al、Si 大规模的流体从何而来? Dobretsov 和 Ponomareva(1965)认为 Na、Al、Si 来自侵入超基性岩的花岗岩(斜长花岗岩)和浅色辉长岩(孟繁聪等,2007);崔文元等(2000)认为这种含水与甲烷的硬玉成分的硅酸盐熔体可能来源于地幔;周征宇等(2005)认为形成硬玉所需 Na 很可能来源于富盐的海水及洋底沉积物;易晓等(2006)认为形成硬玉岩的物质可能来源于俯冲洋壳上部的沉积物。

可见关于缅甸翡翠岩的成因还存在很大的争议。作者认为合理的成因模型应该以翡翠(即纯硬玉岩)的地质产出特征和岩石学特征为出发点。首先硬玉岩局限于南北走向的帕敢超基性岩带内,且以脉状、透镜状产出,显然其成因与超基性岩有密切关联。其次帕敢地区位于欧亚板块和印度板块的碰撞带上,且在超基性岩体的围岩中发现了蓝片岩,说明存在与俯冲有关的高压变质作用。另外纯硬玉岩及出现在纯硬玉岩与蛇纹岩之间的钠铬辉石岩、绿辉石岩等岩石均显示异常简单的单矿物或者二矿物组合,例如硬玉岩中硬玉的含量可达 90% 以上,绿辉石岩中绿辉石的含量为 80%~90% (欧阳秋眉等,2002)。基于上述考虑,作者认为等化学的原位变质论(in-situ metamorphism)很难解释简单组合的特点。尽管在大别山、阿尔卑斯等高压变质带中报道有硬玉岩或者是硬玉石英岩,但是在这些岩石中均含有较多的石英,是斜长石分解成硬玉和石英的产物。而纯硬玉岩中并不含有石英,和上述高压-超高压变质岩不具有可比性。此外在自然界中尚未能找到和硬玉岩具有相同化学组成的原岩类型。

至于热液交代学说,从缅甸的个例来看,尽管在帕敢的南侧出现了花岗闪长岩岩体,但是硬玉岩及其过渡岩石并没有分布在花岗闪长岩与超基性岩的接触带上,因此其成因似乎与花岗闪长岩体的活动没有直接关系。

由此看来新老岩浆说的观点更令人信服。关键问题是流体来源以及性质和成分如何。俯冲过程可以提供相当可观的流体/或熔体。随着俯冲作用的进行,地壳物质不断脱水,这些物质同时会在地壳和上地幔层次诱发部分熔融,形成安山质或长英质熔体。然而这种熔融体活动显然不能仅局限于超基性岩内。据研究,帕敢地区硬玉岩的形成条件与围岩中的蓝片岩形成条件一致(施光海等,2001),即帕敢地

区的超基性岩及其围岩似乎经历了相同的高压变质和退变质历史。然而在超基性围岩中并没有发现硬玉质流体活动的产物,因此纯硬玉质流体的起源并不能简单地用俯冲流体活动来解释。事实上俯冲带中演化出的流体或者长英质熔体与超基性岩之间存在非常大的化学成分差别,加上存在流体相,元素扩散能力大为增强,因此绝不能忽视流体与围岩之间的交代变质作用(metasomatism)。

笔者认为俯冲带熔体交代说(melt metasomatism)可以统合新老岩浆说,并能很好地解释其流体来源。施光海等(2000)报道了硬玉晶体中的三相和二相流体包裹体,其中硬玉中的三相包裹体主要组成为硬玉质硅酸盐熔体(占 80%), H_2O 与 CH_4 只占三相包裹体总体积的 20% 左右。俯冲带内高压-超高压变质岩中流体、硅酸盐熔体的活动在大别山也有类似的报道(韩郁菁等,1996; Fu Bin *et al.*, 2003)。因此在俯冲高压变质过程中,伴随着流体活动,流体与围岩发生交代变质作用必然导致一些特殊岩石类型的出现,例如纯硬玉岩、绿辉石岩、钠长硬玉岩等。

此外,缅甸硬玉岩区出现的钠铬辉石玉、绿辉石玉等过渡翡翠品种以及新近报道的钙铝榴辉岩等,与翡翠(硬玉玉)共同赋存于超基性岩体中,它们形成于同一区域地质构造环境条件下,且相互之间或在空间上过渡出现,例如绿辉石玉分布在硬玉玉与超基性岩之间;或存在时间上的先后演化关系,如钙铝榴辉岩中的石榴石和绿辉石中均含有硬玉包体。这表明硬玉岩与其过渡品种以及其他共存在超基性岩中的岩石类型之间存在成因联系。因此在今后的研究中需要加强对硬玉玉以外的其他岩石类型的成因研究,从而为解决翡翠(硬玉玉)成因争议提供事实依据。

3 我国合成翡翠方法与技术的开发

2006 年笔者有幸见到两粒美国通用公司(GE)合成的高品级翡翠,该合成翡翠样品颜色翠绿,透明度,肉眼分辨不出其与天然翡翠的差别。GE 合成翡翠的出现,在高档翡翠日趋减少的今天,具有重要的学术及商业意义,不但为宝石学领域提供新的研究方向,也为我国合成翡翠研究提出了新的要求。

对于合成翡翠的研究,国外早在 19 世纪末就开展了以理论研究为主的实验研究,如 Boettcher 等在 3.5 GPa 和 1 500°C 以下范围内对硬玉与钠长石+霞

石、钠长石与硬玉 + 石英之间的固相转换的单变反应曲线进行了研究 (Wyllite, 1971)。1963 年, 贝尔 (Bell) 和罗茨勃姆 (Roseboom) 等人曾就影响硬玉合成的压力与温度关系进行了研究, 发现人工合成翡翠的成矿模拟实验只能在高温高压下进行 (转引自郭颖等, 2000)。由于钠铝辉石的特殊结构, 通常情况下很难实现由非晶或其他晶体向钠铝辉石晶体的转化, 所以都未获得成功 (郭颖等, 2000)。随着高压技术的进一步发展, 特别是宝石级金刚石的成功合成, 为合成翡翠提供了经验、注入了活力。终于在 1984 年, De Vries 和 Fleischer (1984) 利用超高压高温技术首次合成了翡翠。但由于合成出的翡翠颗粒小且品级不高, 因此实际意义并不大。1985 年 5 月日本的斋藤正敏利用离子喷镀方法合成了品级较高的翡翠 (斋藤正敏, 60-86019, 90813, 96522)。但是, 因为该合成方法成本昂贵而无法投入生产。

我国合成翡翠的研究开始于 20 世纪 80 年代后期, 中科院长春应用化学研究所和吉林大学模拟天然翡翠的生成环境, 在六面顶超高压设备上, 采用高温高压灼烧法合成了直径达 12 mm、厚 6 mm 的大颗粒的观赏性较好的翡翠, 并得出结论: 在 3.0 ~ 5.0 GPa、1150 ~ 1750℃ 条件范围内, 非晶质向钠铝辉石晶体转化; 在 >4.0 GPa、>1450℃、>45min 范围内合成的钠铝辉石可作为翡翠 (赵延河等, 1993, 1994)。虽然合成出的翡翠的各项物理参数与天然翡翠相符, 但其商业意义却不大, 因为合成翡翠样品存在较多问题: 样品出现黑心或暗心; 颜色分布不均匀, 出现染色剂聚集现象; 颜色不稳定, 容易褪色; 透明度不高, 且出现边缘透明、中心不透明的现象 (崔硕景等, 1994)。魏然等 (2004) 对合成翡翠样品进行分析, 发现被测样品主要由结晶质和玻璃质物质组成, 结晶矿物粗大, 具方向性; 结晶质和玻璃质物质的化学成分基本一致, 接近硬玉矿物的组成, 其中结晶质矿物为硬玉; 合成硬玉样品的结构比天然翡翠的结构简单得多, 仅见矿物的定向结构。

综上所述, 早期合成翡翠均未达到宝石级, 并不具有商业意义, 因此, 市场上合成翡翠并不多见。由于 GE 公司尚未公开其合成方法的细节, 因此, 对于 GE 合成翡翠的可参考文献不多。据曹姝旻等 (2006) 报道, GE 合成翡翠的化学组成相对较纯, 化学成分以贫 Fe 为特征, 且 Ca 和 Mg 明显偏低; 主要为微晶结构, 硬玉微晶局部呈定向平行排列或卷曲状-微波状构造。GE 合成翡翠晶格内存在微量的水分子, 由羟

基伸缩振动导致一组红外吸收谱带出现在 3 373、3 470、3 614 cm^{-1} 处, 证实 GE 合成翡翠是在中低温、高压环境和水的参与条件下结晶而成。由上可以看出, 翡翠并不一定在高温高压下才能合成。而我国之所以未能合成出高级别的翡翠, 可能与合成的方法有关。GE 合成翡翠中水的吸收峰的出现以及天然翡翠中 $\text{H}_2\text{O}-\text{CH}_4\text{-Jd}$ 的三相包裹体的存在, 说明水在翡翠的形成中起了一定作用。郭颖 (2000) 将我国合成翡翠之所以色不正、透明度差、达不到宝石级要求的原因, 归结于与晶质化过程的结晶状态有关, 并认为解决这一问题的关键是在硬玉晶体生成后, 模仿翡翠后期动力变质作用, 对硬玉晶体进行机械处理, 这样在形成较致密细腻的合成翡翠的同时又十分有利于致色离子 Cr^{3+} 进一步的扩散, 达到质地与美丽颜色的统一, 从而合成出优质翡翠。然而, GE 合成翡翠的结构与天然翡翠经后期地质改造所形成的结构并不相同。可见, 我国要合成出高级别的翡翠, 应首先考虑改变合成方法。当然, 合成出高档翡翠不能奢望在短时间内完成, 另外还要解决颜色着色不均、不稳定等问题, 这需要我国研究者再接再厉, 不懈努力。

4 结论

(1) 加强翡翠命名方面的研究, 尽快完善和细化翡翠的分类命名方案, 为钠铬辉石玉、绿辉石玉等与翡翠共生或伴生的玉石品种给出合理的命名。

(2) 合理的翡翠成因模型应该以翡翠 (即纯硬玉岩) 的地质产出特征和岩石学特征为出发点, 且绝不能忽视流体与围岩之间的交代变质作用。基于此提出俯冲带熔体交代说, 认为俯冲带熔体交代说可以统合新老岩浆说, 并能很好地解释其流体来源。

(3) 在翡翠人工合成过程中引入流体相, 很可能是降低实验条件的苛刻程度、合成真正具有商业意义翡翠的途径。

References

- Ao Yan. 1997. Studies of genesis for primary deposit of Burm jadeite jade [A]. National Annual Meeting Paper of Assembly of Gemmology [C]. 12 ~ 29 (in Chinese).
- Ao Yan. 1998. Studies of genesis for primary deposit of Burm jadeite jade (1) [J]. China Gems & Jades, 30(4) : 31 ~ 33 (in Chinese).
- Cao Shumin, Qi Lijian, Guo Qinghong, et al. 2006. Gemmological Characteristics of GE Synthetic Jadeite Jade [J]. Journal of Gem & Gem-

- mology, 8(1): 1~4 (in Chinese with English abstract).
- Cao Shumin, Zhong Zengqiu, Qi Lijian, *et al.* 2007. Gemmological characteristics of a similar jadeite contents more albite[J]. Journal of Gem & Gemology, 9(4): 57~58 (in Chinese).
- Cui Shuojing, Zhao Tinghe, Yan Xuewei, *et al.* 1994. Polycrystalline jadeite gem[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 8(2): 99~106 (in Chinese with English abstract).
- Cui Wenyuan, Shi Guanghai, Yang Fuxu, *et al.* 2000. A new viewpoint—Magma genesis of jadeite jade[J]. Journal of Gem & Gemology, (3): 16~22 (in Chinese with English abstract).
- DeVries R C and Fleischer J F. 1984. Synthesis of jadeite for jewelry[J]. Mater. Res. Soc. Symp. Proc., 22: 203~208.
- Dobrestsov N L and Ponomareva L G. 1965. Comparative characteristics of jadeite and associated rocks from Polar Ural and Near-Balkhash region [J]. Academia Scientific USSR, 31: 178~243.
- Я также Фу-Линке Е. (Yu Yonggang translation). 1981. Jadeite jade[J]. Geological Science and Technology Abroad, (2)(in Chinese).
- Fu Bin, Jacques L R Touret, Zheng Yongfei, *et al.* 2003. Fluid inclusions in granulites, granulitized eclogites and garnet clinopyroxenites from the Dabie-Sulu terranes, eastern China[J]. Lithos, 70(3~4): 293~319.
- Guo Ying, Xiong Ning, Song Gongbao, *et al.* 2000. Research of the occurrence and synthesis of Burma jadeite[J]. Journal of Southwest Institute of Technology, 15(2): 46~49 (in Chinese with English abstract).
- Han Yujing and Zhang Zeming. 1996. Fluids in high-pressure and ultra-high pressure metamorphism[J]. Earth Science Frontiers, 3(3~4): 222~229 (in Chinese with English abstract).
- Meng Fancong, Alexander B Makeyev, Yang Jingsui, *et al.* 2007. Jadeite from Synm-Keultramafic complex, Polar Urals, Russia[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(11): 2766~2774 (in Chinese with English abstract).
- Ouyang Qiumei. 2000. Complete Works of Jadeite (Volume 1) [M]. Hongkong: Tiandi Book Ltd. (in Chinese).
- Ouyang Qiumei, Li Hansheng and Guo Xi. 2002. Study on mineralogy of omphacite jade[J]. Journal of Gem & Gemology, 4(3): 1~4 (in Chinese with English abstract).
- Shi Guanghai and Cui Wenyuan. 2004. Textures and microstructures of myanmar jadeite: implications for formation of jadeite Fei-ts'ui[J]. Journal of Gem & Gemology, 6(3): 8~11 (in Chinese with English abstract).
- Shi Guanghai, Cui Wenyuan, Liu Jing, *et al.* 2001. Petrology of jadeite-bearing serpentized peridotite and its country rocks from Northwestern Myanmar (Burma) [J]. Acta Petrologica Sinica, 17(3): 483~490 (in Chinese with English abstract).
- Shi Guanghai, Cui Wenyuan, Wang Changqiu, *et al.* 2000. Fluid inclusion in jadeite in Pharkant area, Myanmar[J]. Chinese Science Bulletin, 45(13): 1433~1437 (in Chinese).
- Wyllite P J. 1971. The Dynamic Earth[M]. New York, 55~85.
- Wei Ran, Zhang Beili and Sheng Caiqing. 2004. Study on mineralogy of synthetic jadeite jade stone[J]. Journal of Gem & Gemology, 6(2): 7~9 (in Chinese with English abstract).
- Yi Xiao, Shi Guanghai and He Mingyue. 2006. Jadeitized omphacite from myanmar jadeite area[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(4): 971~976 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Beili, Gao Yan and Ao Yan. 1999. A preliminary study on the non-destructive identification of clinopyroxene jades from Myanmar [J]. Journal of Gem & Gemology, 1(4): 1~6 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Mei, Hou Pengfei and Wang Jianming. 2004. Geomological and mineralogical properties of black jadeite [J]. Jiangsu Geology, 28(2): 100~102 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Weiji. 2002. Jadeite deposit geology in Pharkant area, North Myanmar[J]. Yunnan Geology, 21(4): 378~390 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Tinghe, Cui Shuojing and Yan Xuewei. 1994. Crystallization of Clinopyroxene NaAlSi₂O₆ from Glass[J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 10(7): 604~609 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Tinghe, Cui Shuojing, Yan Xuewei, *et al.* 1993. Synthesis of jadeite gemstone under high temperature and high pressure[J]. Journal of Synthetic Crystals, 22(2): 124~127 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Zhengyu, Liao Zongting and Xu Yaoming. 2005. The new genesis model of jadeite in Burma[J]. Shanghai Geology, (1): 58~61 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 奥岩. 1997. 缅甸翡翠原生矿床成因研究[A]. 全国宝石学年会论文集[C]. 12~29.
- 奥岩. 1998. 缅甸翡翠原生矿床成因研究(上)[J]. 中国宝石, (4): 30~34.
- 曹妹旻, 亓利剑, 郭清宏, 等. 2006. GE合成翡翠的宝石学特征[J]. 宝石和宝石学杂志, 8(1): 1~4.
- 曹妹旻, 钟增球, 亓利剑, 等. 2007. 一种含钠长石较多的似翡翠玉石的宝石学特征[J]. 宝石和宝石学杂志, 9(4): 57~58.
- 崔文元, 施光海, 杨富绪, 等. 2000. 一种新观点——翡翠新的岩浆成因说[J]. 宝石和宝石学杂志, 2(3): 16~22.
- 崔硕果, 赵延河, 阎学伟, 等. 1994. 人造聚晶翡翠宝石[J]. 高压物理学报, 8(2): 99~106.
- 基也夫林科 E. 著(喻永刚译). 1981. 翡翠[J]. 国外地质科技, (2).
- 郭颖, 熊宁, 宋功保, 等. 2000. 翡翠成因与人工合成的研究[J]. 西南工学院学报, 15(2): 46~49.
- 韩郁菁, 张泽明. 1996. 高压超高压变质作用中的流体[J]. 地学前缘, 3(3~4): 222~229.
- 孟繁聪, Makeyev B, 杨经纬, 等. 2007. 俄罗斯极地乌拉尔 Cbzym-Key超基性岩体中的硬玉岩[J]. 岩石学报, 23(11): 2766~2774.
- 欧阳秋眉. 2000. 翡翠全集上册[M]. 香港: 天地图书有限公司.
- 欧阳秋眉, 李汉声, 郭熙. 2002. 墨翠——绿辉玉石的矿物学研究[J]. 宝石和宝石学杂志, 4(3): 1~4.
- 施光海, 崔文元. 2004. 缅甸硬玉岩的结构与显微构造: 硬玉质翡翠的成因意义[J]. 宝石和宝石学杂志, 6(3): 8~11.
- 施光海, 崔文元, 刘晶, 等. 2001. 缅甸含硬玉蛇纹化橄榄岩及其围岩的岩石学研究[J]. 岩石学报, 17(3): 483~490.
- 施光海, 崔文元, 王长秋, 等. 2000. 缅甸帕敢地区硬玉岩中流体包裹

- 体[J]. 科学通报, 45(13):1 433~1 437.
- 魏然, 张蓓莉, 沈才卿. 2004. 合成硬玉玉石的矿物学研究[J]. 宝石和宝石学杂志, 6(2):7~9.
- 易晓, 施光海, 何明跃. 2006. 缅甸硬玉岩区的硬玉化绿辉石岩[J]. 岩石学报, 22(4):1~76.
- 斋藤正敏. 公开特许公报(A)昭 60-86019, 90813, 96522.
- 张蓓莉, 高岩, 奥岩. 1999. 缅甸单斜辉石玉种无损鉴定方法的初步研究[J]. 宝石和宝石学杂志, 1(4):1~6.
- 张梅, 候鹏飞, 汪建明. 2004. 黑色翡翠的宝石学及矿物学特征[J]. 江苏地质, 28(2):100~102.
- 张位及. 2002. 缅甸北部帕敢地区翡翠矿床地质[J]. 云南地质, 21(4):378~390.
- 赵廷河, 崔硕景, 阎学伟. 1994. 钠铝辉石由非晶态到晶态的转化研究[J]. 物理化学学报, 10(7):604~609.
- 赵廷河, 崔硕景, 阎学伟, 等. 1993. 翡翠宝石的高温高压合成[J]. 人工晶体学报, 22(2):124~127.
- 周征宇, 廖宗廷, 马婷婷. 2005. 缅甸翡翠原生矿床成因机制新探[J]. 上海地质, (1):58~61.

2007 年度部分地质学类期刊主要计量指标一览表

序号	刊名	影响因子	总被引频次	他引率
1	地质科学	4.359	1771	0.64
2	岩石学报	3.524	4079	0.49
3	大地构造与成矿学	2.323	830	0.69
4	地学前缘	2.306	3023	0.91
5	矿床地质	2.145	1361	0.82
6	地质学报	2.090	1876	0.85
7	中国地质	2.082	1156	0.77
8	中国科学 D	1.839	3288	0.91
9	地质论评	1.773	1981	0.94
10	地球化学	1.662	1694	0.92
11	地球科学	1.657	2200	0.84
12	高校地质学报	1.621	894	0.94
13	岩石矿物学杂志	1.548	902	0.85
14	地质通报	1.367	1900	0.79
15	地球学报	1.278	1277	0.85
16	西北地质	1.175	551	0.62
17	矿物岩石地球化学通报	1.123	614	0.92
18	地球科学进展	1.103	2029	0.95
19	现代地质	1.103	858	0.87
20	沉积学报	1.053	2031	0.89
21	地层学杂志	1.037	470	0.79
22	矿物岩石	0.801	710	0.88
23	地质与勘探	0.751	841	0.78
24	地质科技情报	0.737	775	0.85
25	吉林大学学报地球科学版	0.701	897	0.72
26	岩矿测试	0.701	522	0.79
27	矿物学报	0.653	706	0.89
28	沉积与特提斯地质	0.513	327	0.92
29	新疆地质	0.503	650	0.90
30	地质力学学报	0.496	309	0.84

本表数据引自《2008 年版中国科技期刊引证报告(核心版)》(中国科学技术信息研究所编)。